

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENE
USTHB

N°d'ordre: 08/2000 - M/EL

THESE

Présenté à
L'INSTITUT DES TECHNICIENS SUPERIEURS

***Pour l'Obtention du grade de
MAGISTER EN ELECTRONIQUE***

Option : Instrumentation et Génie des systèmes

Préparée par :

DOURIDJ MESSAOUDA

**MINIMISATION DES EFFETS
DE DISTORSIONS ET DE BRUIT
DANS LES CIRCUITS MICRO-ONDES**

Soutenue le 10/10/2000 devant la commission d'examen

JURY

Mr- A. ADANE	Professeur	USTHB	Président
Mr- M.C.E. YAGOUB	Maître de Conférences	USTHB	Rapporteur
Mr- M. SMARA	Maître de Conférences	USTHB	Examineur
Mr- R. AKSAS	Professeur	ENP	Examineur
Mr- R. OUSSAID	Chargé de Recherche	USTHB	Examineur

Remerciements

Mes Chaleureux remerciements vont à mon **promoteur Monsieur Mustapha YAGOUB** pour m'avoir proposé ce sujet de Recherche, pour ses conseils et son suivi continu, ainsi que pour le soutien moral.

Que **Monsieur le Professeur A. ADANE** trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu présider mon jury de soutenance ainsi pour ces précieux conseils.

Mes remerciements les plus sincères vont à **messieurs R. AKSAS, Y. SMARA et R. OUSSAID** pour avoir bien voulu faire partie de jury.

Tous mes remerciements à ma famille et tous mes amis qui m'ont supportée.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse trouvent ici mes sincères remerciements.

SOMMAIRE

TABLE DES MATIERES

<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1
CHAPITRE I <i>GENERALITES SUR LES CIRCUITS MICRO-ONDES</i>	
A- Bruits dans les composants électroniques	4
I- Généralités.....	4
1- Définition du facteur de bruit.....	4
2- Différents types de bruit et leurs origines.....	5
II- Facteur de bruit d'un quadripôle.....	7
III- Cercles à bruit constant.....	10
B- Distorsion et produit d'intermodulation dans les circuits	11
I- Définitions.....	11
II- Différentes distorsions.....	11
1- Distorsion linéaire.....	12
2- Produit d'intermodulation.....	13
C- Conclusion	19
CHAPITRE II <i>TRANSISTORS MICRO-ONDES</i>	
A- Eléments de la théorie des circuits	20
B- Modélisation électrique des composants actifs	23
I- Diode.....	23
II- Transistor.....	23
1- Transistor MESFET.....	25
2- Transistor HEMT.....	28
C- Modélisation en bruit des transistors	29

I- Schéma équivalent en bruit.....	29
II- Facteur de bruit.....	31
D- Produit d'intermodulation.....	35
I- Choix de la méthode d'analyse.....	35
II- Méthodes fréquentielles.....	36
III- Séries de Volterra.....	38
1- Enoncé de la technique.....	38
2- Application au transistor.....	39
E- CONCLUSION.....	41

CHAPITRE III *METHODE D'OPTIMISATION*

A- APERÇU SUR LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION.....	42
I- Méthodes du gradient.....	42
II- Méthodes directes.....	43
III- Méthodes Quasi-Newton.....	44
B- ALGORITHME DEVELOPPE.....	45
C- STRATEGIE D'OPTIMISATION.....	47
D- VALIDATION DES PARAMETRES DE BRUIT DES TRANSISTORS.....	50
I- MESFET.....	50
II- HEMT.....	51
1-HEMT NE 32083A.....	51
2-HEMT CFB001-03.....	53
E- VALIDATION DES PARAMETRES DE DISTORSIONS DES TRANSISTORS....	54

F-CONCLUSION.....	58
--------------------------	-----------

CHAPITRE IV *AMPLIFICATEURS MICRO-ONDES*

A- GENERALITE.....	59
I- Stabilité et Adaptation d'un amplificateur	60
II- Conception d'un amplificateur faible bruit.....	62
III-Conception d'un amplificateur de puissance.....	63
B- OPTIMISATION DES AMPLIFICATEURS.....	64
I- Optimisation d'un amplificateur faible bruit à pHEMT.....	64
II- Optimisation d'un amplificateur faible bruit à MESFET.....	66
III- Optimisation d'un amplificateur de puissance.....	66
C- CONCLUSION.....	67

CHAPITRE -V- *OSCILLATEURS MICRO-ONDES*

A- GENERALITE.....	68
I- Condition d'amorçage ou d'oscillation.....	68
II- Condition d'entretien de l'oscillation ou de stabilité.....	69
B- ANALYSE DES OSCILLATEURS.....	70
C- OPTIMISATION DES OSCILLATEURS.....	75
I- Oscillation faible bruit.....	75
II- Oscillation à grande pureté spectrale.....	77
D- CONCLUSION.....	78

CHAPITRE -VI-

MELANGEURS MICRO-ONDES

A- GENERALITES.....	79
I- Caractéristiques des mélangeurs.....	79
1- Rapport de conversion.....	79
2- Point d'interception d'intermodulation.....	79
II- Comparaison entre mélangeurs.....	80
B- ANALYSE DES MELANGEURS.....	80
I- Analyse grand signal.....	80
II- Analyse petit signal.....	81
C- OPTIMISATION DES MELANGEURS.....	82
D- CONCLUSION.....	88
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	89

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION GENERALE

Ce travail se situe dans le vaste domaine de la modélisation et l'optimisation des performances de circuits actifs très utilisés en haute fréquence et plus particulièrement en hyperfréquences (ondes centimétriques et millimétriques).

Le problème posé concerne la mise au point de relations capables de prédire le comportement de certains paramètres électriques des circuits dont le facteur de bruit et les puissances d'intermodulation.

Les systèmes de télécommunications modernes exigent de plus en plus des performances optimales. C'est ainsi que nous avons axé nos recherches sur la minimisation des effets de distorsions et de bruit dans les circuits micro-ondes. En effet, une altération des signaux utiles mis en jeu par du bruit peut dégrader les performances d'un système micro-ondes.

Ce phénomène aléatoire peut être d'origine externe ou interne. Si le premier est indépendant du système de transmission, ce n'est pas le cas du bruit interne qui est généré par les éléments bruyants contenus dans les circuits. Il est donc possible pour un concepteur de maximiser les performances d'un circuit en optimisant les caractéristiques de ses éléments.

Dans le même cadre, un signal d'excitation est déformé s'il est appliqué à un circuit à fonction de transfert non linéaire. En effet, la génération d'harmoniques produit des signaux parasites amenant à des distorsions d'intermodulation.

Ce phénomène est également présent lors d'une trop forte amplification ou d'une dérive du point de fonctionnement dans un circuit linéaire. Enfin, l'injection de deux ou plusieurs signaux de fréquences très voisines peut amener à l'apparition de distorsions en sortie. Ces différents cas impliquent un transfert de puissance du signal utile vers les signaux indésirables et donc une diminution des performances.

Ce travail présente plusieurs aspects fondamentaux. Tout d'abord, dans le choix des paramètres retenus qui sont quelque peu occultés par les concepteurs de circuits micro-ondes.

En effet, si la littérature technique est riche en publications sur l'optimisation du gain et des problèmes liés aux désadaptations, certains critères tels que le facteur de bruit ou la pureté du signal ont été quelque peu occultés ou ont reçu moins d'attention. Aussi, ce n'est qu'avec le besoin d'affinement des performances que ces caractéristiques sont devenus essentiels dans le critère de choix d'un système de Télécommunications.

Les méthodes d'optimisation développées concernent à la fois les circuits linéaires et non linéaires. Une approche globale a permis de généraliser les résultats à différents types de circuits. Il faut retenir le fait que les composants actifs, base de tout circuit électronique, que nous avons étudié, en l'occurrence les transistors à effet de champ MESFET et HEMT, sont non seulement parmi ceux qui sont les plus complexes à modéliser, mais ils sont d'actualité puisqu'ils sont intégrés dans plus de 90 % de circuits à transistors dans les gammes centimétriques et millimétriques.

Enfin, le dernier point à retenir dans ce travail, et non le moindre, concerne l'approche elle-même. En effet, l'aspect le plus significatif et le plus original reste le fait que les équations d'optimisation ont été développées sous forme analytique.

En effet, il est commun de procéder à la mise au point d'un outil de simulation comportant deux parties : une partie d'analyse donnant les valeurs des paramètres du circuit, et une partie d'optimisation sous la forme d'une boucle d'optimisation externe qui a pour but de faire varier certains éléments afin d'améliorer les paramètres désirés. Néanmoins, cette optimisation est *numérique* donc sujette au type de circuit analysé, à la fonction électronique étudiée, à la topologie du circuit, Ces restrictions pèsent souvent sur le résultat final car elles en atténuent la portée.

De plus, faire varier des éléments ou des paramètres d'éléments d'un circuit est fastidieux, complexe et souvent source d'erreurs numériques. Dans cette optique, certains chercheurs ont privilégié l'optimisation des performances du circuit en ne prenant en compte que les éléments de base tels que les composants actifs. Ils ont ainsi développé des méthodes d'optimisation des performances intrinsèques des diodes et transistors indépendamment du circuit, puis, les ont inclus dans les systèmes.

En effet, une analyse et une optimisation *analytiques* permettent de rendre l'approche plus générale, applicable à tout type de circuit sous la seule contrainte d'utiliser le même composant de base. Il suffira de changer les données pour avoir les valeurs optimales de fonctionnement.

Ces différentes approches mises au point, il a fallu en valider leurs résultats. Dans cet objectif, nous avons d'abord étudié le fonctionnement en régime linéaire et non linéaire des transistors à effet de champ MESFET et à hétérojonction HEMT. Puis, nous avons appliqué les résultats obtenus pour simuler différents circuits micro-ondes : amplificateurs, générateurs d'harmoniques (oscillateurs) et mélangeurs.

Les valeurs obtenues ont été comparées avec succès à celles publiées dans la littérature technique ainsi qu'avec des résultats expérimentaux.

CHAPITRE-I-

Généralités sur les Circuits Micro-Ondes

Devant les exigences de plus en plus diversifiées et complexes des utilisateurs de systèmes de Télécommunications, que ce soient les industriels ou les scientifiques, les concepteurs ont été amenés à améliorer sans cesse la réalisation des circuits et par la même à perfectionner leur simulation et à optimiser leurs performances, et ce, principalement dans la gamme de fréquence micro-ondes.

Le but de ce travail étant de minimiser les effets du bruit et des effets d'intermodulation dans les circuits micro-ondes, il serait donc judicieux de définir d'abord ces grandeurs, leurs caractéristiques et les paramètres qui y sont liés afin de pouvoir les optimiser.

A) BRUITS DANS LES COMPOSANTS ELECTRONIQUES

I - GENERALITES

Le bruit est une perturbation indésirable qui se superpose au signal et aux données utiles dans un système de traitement de l'information.

1- Définition du facteur de bruit :

Le facteur de bruit F est le rapport entre la puissance de bruit totale à la puissance de bruit en sortie uniquement due au bruit d'entrée [1] – [6].

Le facteur de bruit F est une grandeur qui permet d'apprécier les performances d'un composant actif en tenant compte des différents types de bruit interne.

Par convention, on considère que la puissance de bruit idéale en sortie serait exclusivement due au bruit thermique provoqué par la résistance interne R_g du générateur de commande, considérée en principe à la température de référence T de 290°K :

$$F = \frac{\text{Puissance de bruit réelle en sortie}}{\text{Puissance de bruit en sortie due à } R_g \text{ uniquement}} \quad (\text{I-1})$$

Le dictionnaire technique *IEEE Electricité et Electronique* définit le facteur de bruit comme étant " le rapport de la puissance du bruit total par unité de bande passante délivrée par le système au dipôle de sortie à la partie de la puissance engendrée par le dipôle d'entrée à la température égale à 290K à toutes les fréquences ". Le facteur de bruit F d'un composant va dépendre essentiellement de sa structure interne, du point de repos (polarisation), de la résistance interne R_g du générateur de commande et de la fréquence [7].

Plus pratiquement, nous utiliserons cette autre définition du facteur de bruit qui prend en compte le terme { signal / bruit } ou S/B qui est le rapport de la puissance utile de signal sur la puissance utile de bruit [1], [7] :

$$F = \{ (S/B) \text{ du quadripôle d'entrée} \} / \{ (S/B) \text{ à la sortie} \} \quad (\text{I-2})$$

En introduisant la notion de température de bruit T_R ramenée à l'entrée, le facteur de bruit est donné par :

$$F = 1 + T_R / T_0 \quad (\text{I-3})$$

2- Différents types de bruits et leurs origines

Il existe plusieurs origines de bruit : les bruits d'origine externe que nous ne détaillerons pas tels que les parasites atmosphériques, cosmiques ou solaires ou même industriels et des bruits d'origine interne tels que [1], [7]- [11] :

- Bruit thermique (Thermal noise) dû à l'agitation thermique permanente des électrons dans les composants purement ohmiques (résistances). La valeur quadratique moyenne de bruit (f.e.m. efficace de bruit) est la racine carrée du carré moyen de la tension e de bruit :

$$e_{eff} = \sqrt{\bar{e}^2} \quad (\text{I-4})$$

Pour une bande de fréquence Δf dans laquelle la résistance R à la température T peut être considérée comme constante, \bar{e}^2 est donnée par la relation :

$$\bar{e}^2 = 4 K T R \Delta f \quad (\text{I-5})$$

où K est la constante de Boltzmann. En fait l'expression plus exacte serait [7] :

$$\bar{e}^2 = 4KT R \Delta f P(f) \quad (\text{I-6})$$

où $P(f)$ représente la densité spectrale de bruit déduite de la loi de Planck sur le rayonnement du corps noir.

$$P(f) = \frac{hf}{KT} \frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{KT}\right) - 1} \quad (\text{I-7})$$

h étant la constante de Planck. Pour des fréquences inférieures à 100 GHz à la température ambiante ($T_0 = 290^\circ\text{K} = 17^\circ\text{C}$) nous aurons $hf \ll KT$ donc $P(f) \cong 1$, ce qui revient à expliciter la relation (I-5).

La relation $P(f) = 1$ correspondrait au fait que dans toute la gamme des fréquences radioélectriques, le bruit thermique à une densité spectrale constante d'où l'appellation de bruit blanc. Pour des expériences aux très basses températures et en hyperfréquences, il conviendrait toutefois de prendre en compte que $P(f)$ est différent de l'unité.

- Bruit de Grenaille (shot noise) : Dû à la nature discrète des charges en mouvement (nature corpusculaire des charges), il se manifeste principalement dans les semi-conducteurs où les charges sont peu nombreuses et circulent avec de très grandes vitesses. La densité spectrale de probabilité des fluctuations du courant $I(t)$ est de la forme :

$$S_i(f) = q\bar{I} \left(\frac{\sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)}{\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)} \right)^2 \quad [\text{A}^2/\text{Hz}] \quad (\text{I-8})$$

- où :
- q : Charge de l'électron
 - τ : Temps de transit des charges
 - $\omega = 2\pi f$
 - I : Courant moyen

- Bruit de scintillation ou Bruit en $1/f$ (Flicker Noise) : Son origine est assez mal connue. Il serait lié aux inhomogénéités du matériau formant le semi-conducteur. Son expression est de la forme :

$$S_i(f) = K_F / |f^\alpha| \quad (\text{I-9})$$

avec α compris entre 0 et 2 ($\alpha = 1$ en général) et K_F une constante.

- Bruit en créneau ou de Génération-recombinaison (Burst Noise): Spécifique aux semi-conducteurs, il est lié la génération /Recombinaison des porteurs. Il est donné par :

$$S_i = K_0 \frac{\bar{I}^2}{V} \frac{\tau}{1 + (2\pi f)^2 \tau^2} \quad (\text{I-10})$$

avec V : le volume du semi-conducteur
 τ : Temps de transit des charges
 I : Courant moyen
 et K_0 une contante.

II - FACTEUR DE BRUIT D'UN QUADRIPÔLE

Soit un quadripôle Q excité par un générateur de tension E_g et d'impédance interne Z_s et chargé par une impédance Z_L (Fig. I-1).

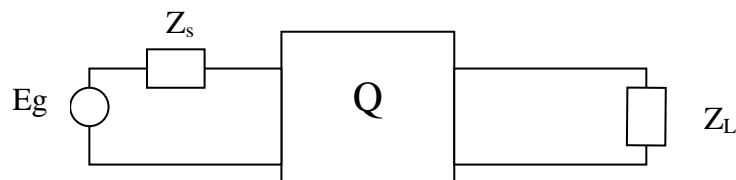


Fig. I-1 : Schéma équivalent d'un quadripôle en charge

On évalue son facteur de bruit F par [1], [2], [10] :

$$F(Z_s) = F_{min} + \frac{R_n}{R_s} \frac{[(R_s - R_{opt})^2 + (X_s - X_{opt})^2]}{(R_{opt}^2 + X_{opt}^2)} \quad (\text{I-11})$$

ou par la relation :

$$F(Y_s) = F_{min} + \frac{R_n}{G_s} [(G_s - G_{opt})^2 + (B_s - B_{opt})^2] \quad (\text{I-12})$$

avec :

R_n : résistance équivalente de bruit du quadripôle.

F_{min} : Valeur minimale du facteur de bruit F .

$Z_{opt} = R_{opt} + j X_{opt}$: Valeur optimale de l'impédance de source du point de vue bruit.

$Y_{opt} = G_{opt} + j B_{opt}$: Valeur optimale de l'admittance de source du point de vue bruit.

A une fréquence donnée et pour une polarisation donnée, le facteur de bruit F est égal à son minimum F_{min} si et seulement si, l'admittance de source que voit le quadripôle est égale à sa valeur optimale.

Cette admittance ne dépend pas de l'adaptation de sortie du quadripôle et est en général différente du conjugué de l'impédance d'entrée. Ainsi le facteur de bruit F en fonction d'une admittance donnée de source est égal à :

$$F(Y_s) = F_{min} + \frac{R_n}{G_s} |Y_s - Y_{opt}|^2 \quad (\text{I-13})$$

avec R_n la résistance équivalente de bruit qui indique la vitesse de dégradation du facteur de bruit lorsque l'admittance s'écarte de la valeur optimale. L'impédance optimale de source ainsi que la résistance de bruit sont exprimées en fonction des paramètres propres au MESFET par les équations [10] :

$$Z_{opt} = \sqrt{\frac{g_n(R_s + R_g) + \frac{PR(1-C^2)}{P+R-2C\sqrt{RP}}}{P+R-2C\sqrt{RP}}} \cdot \frac{1}{C_{gs}\omega} + \frac{1}{jC_{gs}\omega} \cdot \left(\frac{P-C\sqrt{RP}}{P+R-2C\sqrt{RP}} \right) \quad (I-14)$$

$$g_n = g_m \left(\frac{f}{f_c} \right)^2 \cdot \sqrt{P+R-2C\sqrt{RP}} \quad (I-15)$$

Avec :

$Z_{opt} = R_{opt} + jX_{opt}$: Valeur optimale de l'impédance de source du point de vue bruit.

g_n : conductance du bruit:

g_m, R_s, R_g, C_{gs} : Eléments intrinsèques du MESFET.

R, P, C : Facteur dépendant des conditions de polarisation et des dimensions du MESFET.

f_c, f : sont respectivement la fréquence de coupure et la fréquence de travail

Par analogie la température de bruit d'un système électronique est le rapport de la puissance disponible dans la bande de fréquence Δf par la valeur de la bande passante que multiplie la constante de Boltzmann [1], [10] et exprimée par :

$$T_n = T_{min} + T_o \frac{g_n}{G_s} |Z_s - Z_{opt}|^2 \quad (I-16)$$

ou en la réécrivant sous une autre forme, par :

$$T_n = T_{min} + 4NT_o \frac{| \Gamma_s - \Gamma_{opt} |^2}{(1 - | \Gamma_s |^2)(1 - | \Gamma_{opt} |^2)} \quad (I-17)$$

Où :

$$R_n = R_{opt} g_n$$

g_n : Conductance de bruit

Γ_s : Coefficient de réflexion de source

Γ_{opt} : Coefficient de réflexion optimal

T_{min} : Température de bruit minimal obtenue pour impédance de source égale à l'impédance optimale

$Z_{opt} = R_{opt} + jX_{opt}$: Impédance de source optimale

Il faut noter que la valeur de T_{min} est conditionnée par l'inégalité $T_{min} \leq 4NT_0$ ce qui limite le choix des différentes valeurs de T_{min} .

III - CERCLES À BRUIT CONSTANT

Une fois les paramètres de bruit F_{min} , R_n et Z_{opt} obtenus, le facteur de bruit d'un quadripôle peut être déterminé pour n'importe quelle impédance de source par l'expression suivante :

$$F(\Gamma_S) = F_{min} + 4N_n \frac{|\Gamma_S - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_S|^2)(1 - |\Gamma_{opt}|^2)} \quad (\text{I-18})$$

où :

$$N_n = \frac{R_n}{Z_0} \quad \text{et} \quad \Gamma_S = \frac{Z_S - Z_0}{Z_S + Z_0} \quad (\text{I-19})$$

Avec Z_0 : impédance caractéristique

L'équation précédente définit une famille de cercles à facteur de bruit F_i que l'on peut définir analytiquement à partir d'un paramètre N_i [2], [4], [10] :

$$N_i = (F_i - F_{min}) \frac{|1 + \Gamma_{opt}|^2}{4N_n} \quad (\text{I-20})$$

Le centre et le rayon du cercle à bruit constant F_i donné, sont :

$$C_{F_i} = \frac{\Gamma_{opt}}{1 + N_i} \quad R_{F_i} = \frac{1}{1 + N_i} \left[N_i^2 + N_i \left(1 - |\Gamma_{opt}|^2 \right) \right]^{1/2} \quad (\text{I-21})$$

Comme aussi bien le facteur de bruit que la mesure de bruit augmente avec la fréquence, le concepteur a intérêt à choisir un circuit d'adaptation qui permet d'obtenir le Γ_{opt} à la plus haute fréquence de travail et désadapté à la plus basse fréquence tout en conservant les mêmes valeurs de F à l'aide de cercles à bruits constant. Nous obtiendrons ainsi un facteur de bruit constant dans toute la bande.

B) DISTORSIONS ET PRODUITS D'INTERMODULATION DANS LES CIRCUITS

I- DÉFINITIONS

Les distorsions représentent la déformation du signal de sortie par rapport au signal d'entrée pour une fonction bien précise. Pour l'amplification par exemple, cette caractéristique est à prendre en compte pour toute conception car elle intervient directement sur la qualité de transmission .

Ces distorsions interviennent donc sur la qualité du signal de sortie; leur caractérisation nécessitent la détermination de la fonction de transfert $H(\omega)$ pour chaque fréquence d'excitation [10], [12] – [22].

II- DIFFERENTES DISTORSIONS

Nous distinguerons deux catégories de distorsions [2], [10], [15], [18] :

- Les distorsions linéaires qui correspondent à la différence entre la fonction de transfert réelle et la fonction de transfert idéale en amplitude et en phase.
- Les distorsions non linéaires à une fréquence donnée caractérisées par les produits d'intermodulation.

Les produits d'intermodulation sont le résultat de combinaisons linéaires de deux fréquences ou plus. Ces produits génèrent des signaux parasites interférant avec le signal utile et la différenciation de ces signaux devient difficile sauf par leurs amplitudes respectives.

Pour deux signaux d'excitation de pulsations très voisines, notées respectivement ω_1 et ω_2 , les produits d'intermodulation les plus significatifs sont généralement ceux du troisième ordre c'est à dire ceux qui se produisent à $\{2\omega_1 - \omega_2\}$ ou $\{2\omega_2 - \omega_1\}$ selon les valeurs des deux pulsations. En effet, les puissances de sortie à ces fréquences sont les plus importantes par rapport à celles des ordres supérieurs et en outre, ces fréquences sont très proches des fréquences fondamentales, donc difficiles à éliminer par filtrage.

Pour plus de clarté, nous allons expliciter ces deux types de distorsions.

1- Distorsion linéaire

Un signal distordu peut provenir d'un circuit électronique linéaire quand l'amplitude et la phase de la fonction de transfert dévient de la caractéristique idéale. La fonction de transfert $H(j\omega)$ étant connue, la sortie $y(t)$ peut être déduite de l'entrée $x(t)$ grâce à la transformée de Fourier inverse \mathbf{TF}^{-1} :

$$y(t) = \mathbf{TF}^{-1} [(H(j\omega) \cdot X(j\omega))] \quad (\text{I-22})$$

où $X(j\omega)$ est la transformée de Fourier de $x(t)$. La fonction de transfert typique d'un amplificateur est présentée sur la figure I-2.

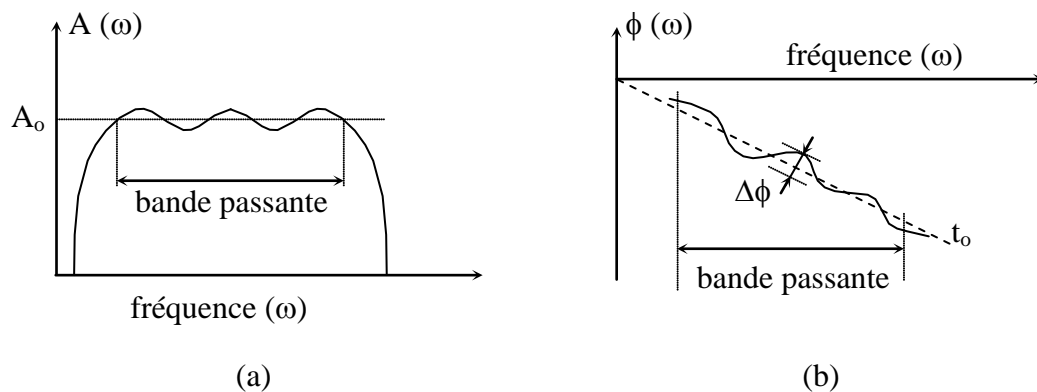


Fig. I-2 : Fonction de transfert en amplitude (a) et en phase (b) d'un amplificateur

La courbe de réponse en phase se présente sous forme de rampe. Dans le cas d'un amplificateur parfait cette rampe est rectiligne. Le retard t_0 est constant en fonction de la fréquence et se calcule à partir de la pente de la rampe considérée $t_0 = \phi/2$, où ϕ est la phase de transmission de l'amplificateur.

Dans la pratique, cette réponse en phase n'est pas rectiligne. Pour caractériser ces fluctuations on préfère en général utiliser la notion de temps de groupe. La réponse en temps de groupe se déduit aisément de la réponse en phase :

$$t_g(\omega) = d\phi / d\omega \quad (\text{I-23})$$

Ce temps de groupe est l'inverse de la vitesse de groupe, vitesse avec laquelle l'enveloppe de la porteuse modulée se propage dans l'amplificateur. Les distorsions de temps de groupe, c'est à dire les fluctuations de celui-ci autour de la valeur moyenne t_0 , vont intervenir sur la qualité de la transmission.

En effet de ces distorsions, comme ceux des distorsions d'amplitudes, dépendent du type de transmission. Dans le cas de la transmission analogique par modulation de fréquence en téléphonie ces distorsions produisent de l'intermodulation entre voies téléphoniques. Dans le cas de transmission en vidéo par modulation de fréquence, les distorsions linéaires en amplitude et en phase modifient le signal vidéo. Enfin dans une transmission numérique, elles provoquent du brouillage qui entraîne un taux d'erreurs pour un rapport porteuse à bruit donné.

La deuxième catégorie de distorsion est la distorsion due à la non linéarité de la fonction de transfert décrite par les produits d'intermodulation.

2- Produits d'intermodulation

Un système non linéaire peut être représenté par une série de puissance du signal d'entrée. L'expression de sa sortie sera de la forme [10], [15], [17], [18] :

$$V_s = K_1 V_e + K_2 V_e^2 + K_3 V_e^3 + \dots \quad (\text{I-24})$$

Où V_e et V_s sont les amplitudes respectives du signal entrée et du signal de sortie.

a) Produits d'intermodulation simples

Si nous prenons à titre d'exemple le cas le plus simple où $\{ V_e = A \cos \omega_1 t \}$, c'est à dire une seule fréquence en entrée (single tone), alors :

$$\begin{aligned} V_s &= K_1 A \cos \omega_1 t + K_2 A^2 \cos^2 \omega_1 t + K_3 A^3 \cos^3 \omega_1 t \\ &= 1/2 K_2 A^2 + (K_1 A + 3/4 K_3 A^3) \cos \omega_1 t \\ &\quad + (1/2 K_2 A^2) \cos 2\omega_1 t + (1/4 K_3 A^3) \cos 3\omega_1 t \dots \end{aligned} \quad (\text{I-25})$$

Il y a donc apparition de différents produits que l'on peut résumer selon le tableau I-1.

Tableau I-1 : Termes du signal de sortie pour une seule fréquence d'entrée.

Fréquence	$K_1 v_i$ (premier ordre)	$K_2 v_i^2$ (second ordre)	$K_3 v_i^3$ (troisième ordre)
DC		$1/2 K_2 A^2$	
ω_1	$K_1 A$		$3/4 K_3 A^3$
$2\omega_1$		$1/2 K_2 A^2$	
$3\omega_1$			$1/4 K_3 A^3$

Le signal de sortie est la superposition d'un signal DC et d'un signal à la fréquence fondamentale et signal d'harmonique 2 et 3. On caractérise en général la puissance de sortie par le point de compression à 1dB ou P_{1dB} (figure I-3).

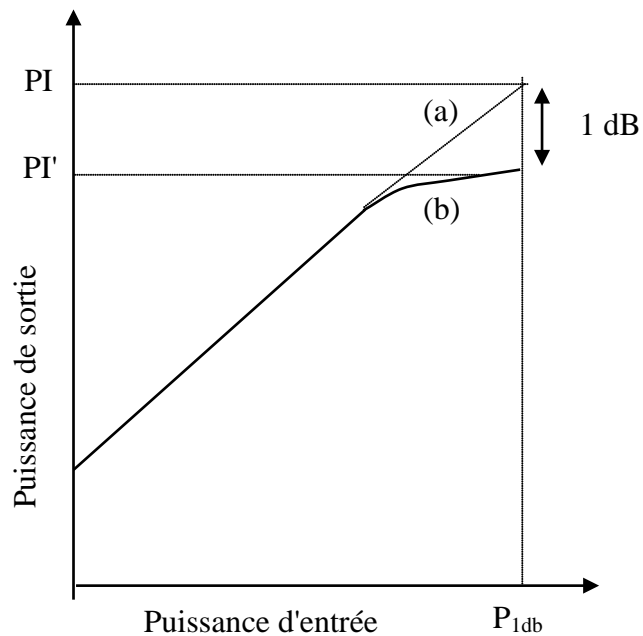


Fig. I-3 : Point de compression à 1 dB.

(a) courbe de réponse idéale

(b) courbe de réponse réelle

Le point de compression à 1 dB est le niveau de la puissance d'entrée pour lequel il y a une variation de 1 dB de la puissance de sortie par rapport à sa valeur moyenne. Il définit la linéarité du circuit car lorsque la puissance d'entrée augmente, la puissance de sortie devrait suivre de manière linéaire (courbe de réponse idéale (a)). Cependant, à partir d'un certain point, cette dernière augmente plus faiblement jusqu'à devenir presque constante (courbe de réponse réelle (b)). Le point de compression est alors déterminé lorsque l'écart entre les valeurs théorique PI et réelle PI' est de 1 dB. Il est lié à l'apparition de produits d'ordres supérieurs et donc au transfert de puissance de la fréquence de sortie vers d'autres fréquences.

Le gain à la fréquence fondamentale est exprimé par :

$$\begin{aligned} G &= 20 \log (K_1 A + 3/4 K_3 A^3) / A \\ &= 20 \log (K_1 + 3/4 K_3 A^2) \end{aligned} \quad (\text{I-26})$$

Comparé au gain linéaire :

$$G_o = 20 \log AK_1 / A = 20 \log K_1 \quad (\text{I-27})$$

Le point de compression 1dB est défini par le point où le niveau du signal est égal à $G_{1dB} = G_o - 1$.

b) Produits d'intermodulation multiples

Passons à un exemple qui met en évidence l'intermodulation multiple lorsque nous avons deux fréquences d'entrées (multiple tone) [15], [18] :

$$V_e = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t \quad (\text{I-28})$$

avec $\omega_1 > \omega_2$. Alors les termes d'intermodulation du signal de sortie en fonction des fréquences d'entrée sont extraites de l'expression suivante :

$$\begin{aligned} V_s &= K_1 V_e + K_2 V_e^2 + K_3 V_e^3 \dots \\ &= K_1 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t) + K_2 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t)^2 \\ &\quad + K_3 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t)^3 \dots \end{aligned} \quad (\text{I-29})$$

En plus de la composante continue, la non linéarité introduit des termes supplémentaires, résumés au tableau I-2, et dus à la combinaison des fréquences d'excitation sous la forme $\{ \pm m \omega_1 \pm n \omega_2 \}$ et que l'on peut regrouper comme suit :

- fréquences fondamentales ω_1, ω_2 .
- Deuxièmes harmoniques $2\omega_1, 2\omega_2$
- Troisièmes harmoniques $3\omega_1, 3\omega_2$
- Le second ordre dû à $\omega_1 \pm \omega_2$ (la somme des coefficients de ω_1 et ω_2 est égale à 2).
- Le 3^{ème} ordre d'intermodulation dû à $2\omega_1 \pm \omega_2$ et $2\omega_2 \pm \omega_1$ (la somme des coefficients égale à 3)
- ...

Tableau I-2 : Termes du signal de sortie pour deux fréquences d'entrée.

Fréquence	$K_1 V e$ (premier ordre)	$K_2 V e^2$ (second ordre)	$K_3 V e^3$ (troisième ordre)
DC		$K_2 (A_1^2 + A_2^2) / 2$	
ω_1, ω_2	$K_1 A_1 \cos \omega_1 t$ $K_2 A_2 \cos \omega_2 t$		$\left(\frac{3K_3}{4} A_1^3 + \frac{3K_3}{2} A_1 A_2^2 \right) \cos \omega_1 t$ $\left(\frac{3K_3}{4} A_2^3 + \frac{3K_3}{2} A_2 A_1^2 \right) \cos \omega_2 t$
$2\omega_1, 2\omega_2$		$K_2 \frac{A_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t, K_2 \frac{A_2^2}{2} \cos 2\omega_2 t$	
$3\omega_1, 3\omega_2$			$\frac{K_3}{4} A_1^3 \cos 3\omega_1 t, \frac{K_3}{4} A_2^3 \cos 3\omega_2 t$
$\omega_1 \pm \omega_2$		$K_2 A_1 A_2 [\cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t]$	
$2\omega_1 + \omega_2$ $2\omega_2 + \omega_1$			$\left(\frac{3K_3}{4} A_2 A_1^2 \right) \cos(2\omega_1 + \omega_2)t$ $\left(\frac{3K_3}{4} A_1 A_2^2 \right) \cos(2\omega_2 + \omega_1)t$
$2\omega_1 - \omega_2$ $2\omega_2 - \omega_1$			$\left(\frac{3K_3}{4} A_2 A_1^2 \right) \cos(2\omega_1 - \omega_2)t$ $\left(\frac{3K_3}{4} A_1 A_2^2 \right) \cos(2\omega_2 - \omega_1)t$

Le spectre de l'entrée et de la sortie du système est donné sur la figure I-4. Les signaux $\omega_1 \pm \omega_2$, $2\omega_1$, $2\omega_2$, $2\omega_1 + \omega_2$, $2\omega_2 + \omega_1$, $3\omega_1 + 3\omega_2$ peuvent être filtrés avec des filtres adéquats mais les signaux $2\omega_1 - \omega_2$ et $2\omega_2 - \omega_1$ ne peuvent être filtrés sans effet sur les signaux utiles ω_1 et ω_2 .

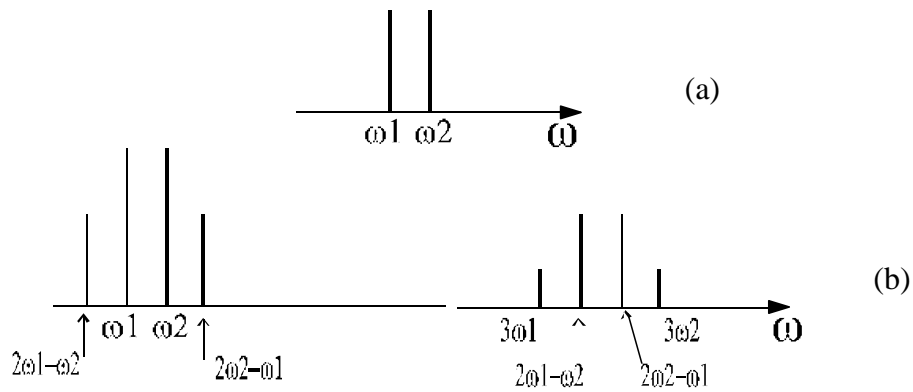


Fig. I-4 : Spectre d'un système à deux fréquences d'entrée.

(a) Spectre d'entrée

(b) spectre de sortie

Usuellement, on utilise "le point d'interception" pour mesurer les distorsions d'ordre 3 (3 IM) qui permettent de donner un aperçu de l'importance de ces produits d'intermodulation (figure I-5).

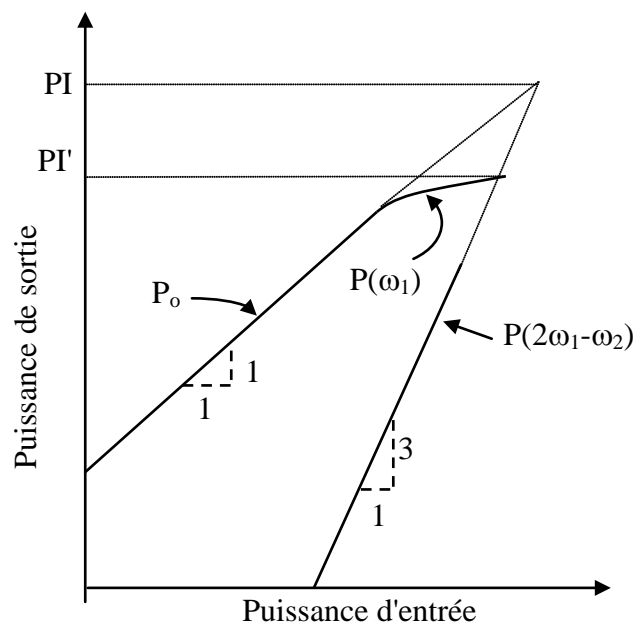


Fig. I-5 : Point d'intersection à 1 dB.

Le spectre de l'entrée et de la sortie du système est donné sur la figure I-4. Les signaux $\omega_1 \pm \omega_2, 2\omega_1, 2\omega_2, 2\omega_1 + \omega_2, 2\omega_2 + \omega_1, 3\omega_1 + 3\omega_2$ peuvent être filtrés avec des filtres adéquats mais les signaux $2\omega_1 - \omega_2$ et $2\omega_2 - \omega_1$ ne peuvent être filtrés sans effet sur les signaux utiles ω_1 et ω_2 .

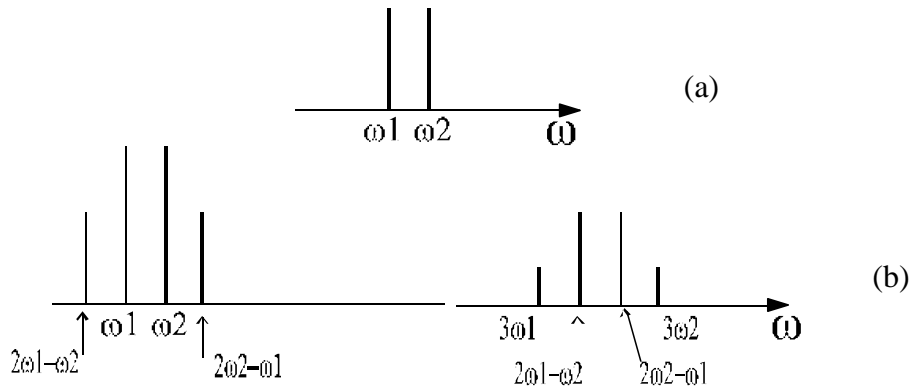


Fig. I-4 : Spectre d'un système à deux fréquences d'entrée.
 (a) Spectre d'entrée (b) spectre de sortie

Usuellement, on utilise "le point d'interception" pour mesurer les distorsions d'ordre 3 (3 IM) qui permettent de donner un aperçu de l'importance de ces produits d'intermodulation (figure I-5).

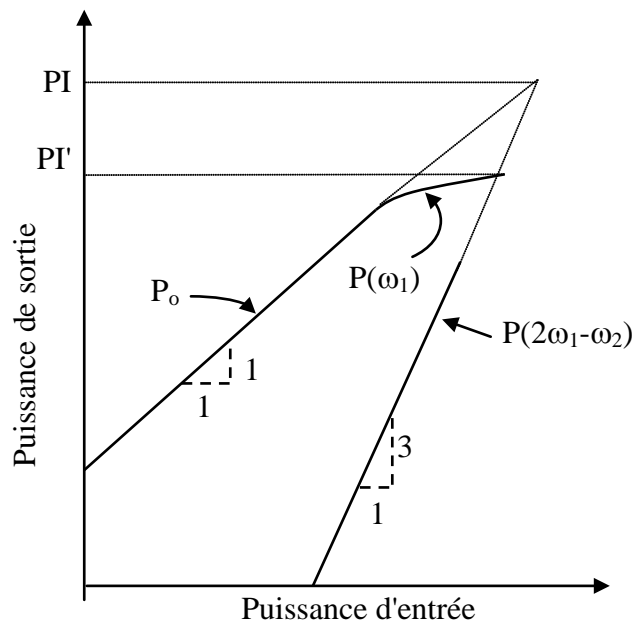


Fig. I-5 : Point d'intersection à 1 dB.

Si P_0 est la courbe d'entrée sortie du système linéaire, PI est par définition le point d'interception c'est à dire le point où la puissance P_0 intercepte la courbe $P(2\omega_1-\omega_2)$:

$$P_0 = P(2\omega_1-\omega_2) \quad (I-28)$$

Il représente le niveau de puissance de sortie pour lequel la puissance de sortie du fondamental est égale à la puissance d'intermodulation extrapolée linéairement.

Ce point d'intersection nous permet de mesurer le degré de non linéarité d'un système.

C) CONCLUSION

Nous venons de définir les notions de bruit et de distorsions et d'explicitier les grandeurs qui permettent de les quantifier telles que le facteur de bruit et les puissances d'intermodulation.

L'étape suivante consiste à les minimiser afin de produire un circuit aux performances optimales. Cependant, comme les circuits micro-ondes renferment des éléments actifs, en l'occurrence les transistors MESFETs ou HEMTs, qui sont les principales sources de bruit et de distorsions dans un système, il est nécessaire d'établir tout d'abord un schéma équivalent faible signal en bruit de ces transistors.

Il en est de même pour les distorsions, où une analyse des non linéarités permettra de définir les éléments non linéaires susceptibles d'influer sur la valeur des puissances d'intermodulation que l'on désire minimiser.

Le but du chapitre suivant sera donc d'étudier les transistors MESFETs et HEMTs utilisés dans les circuits micro-ondes.

CHAPITRE-II-

Transistors Micro-Ondes

Une fois établies les grandeurs servant à optimiser les performances d'un circuit telles que le bruit ou les distorsions, il faut pouvoir appliquer ces concepts aux éléments du circuit à optimiser.

Du point de vue bruit, le bruit thermique représente la plus importante contribution dans le calcul du facteur de bruit final. Or, les circuits micro-ondes renferment généralement des transistors ou des diodes reliés entre eux ou aux portes d'entrée-sortie par des circuits LC réactifs (cellules d'adaptation, filtres, ...). Comme ces derniers sont purement réactifs, seul le bruit émis par les composants actifs est pris en compte pour déterminer le facteur de bruit du circuit. Nous nous intéresserons donc plus particulièrement au bruit des composants actifs - diodes et transistors – et nous en déduirons leurs schémas équivalents en bruit.

Quant aux produits d'intermodulation, ils sont dus aux non linéarités des éléments. Là également, nous ne considérerons que seuls les composants actifs sont sujets à des réponses non linéaires. Il faudra alors en déduire leurs schémas électriques équivalents non linéaires.

A) ÉLÉMENTS DE LA THEORIE DES CIRCUITS

En électronique, tout circuit présente en pratique une caractéristique de transfert non linéaire. Néanmoins, en présence de signaux d'amplitude faible, cette réponse est considérée comme linéaire. Ainsi, l'envoi d'un petit signal sinusoïdal sur l'entrée d'un circuit dit linéaire ne produit en sortie qu'un signal de fréquence identique à celle de l'entrée[18],[34],[36],[41],[42].

Il en est de même lorsque ce signal est appliqué à un circuit non linéaire et ce, tant que le point de fonctionnement dynamique reste dans une zone approximativement linéaire de la caractéristique de transfert.

A titre d'exemple, considérons la caractéristique non linéaire d'un quadripôle (Fig. 2). Si le signal d'entrée V_e impose une excursion faible autour du point de repos, l'arc A_1B_1 est pratiquement linéaire.

La réponse V_s est alors linéairement déduite de l'entrée par la relation :

$$V_s = G V_e \quad (\text{II-1})$$

où G est appelé gain faible signal. Ce comportement définit le concept de linéarité où l'excitation est assimilée à un "petit signal" [2], [18]. Ce concept sera celui que nous retiendrons lors de l'étude du bruit.

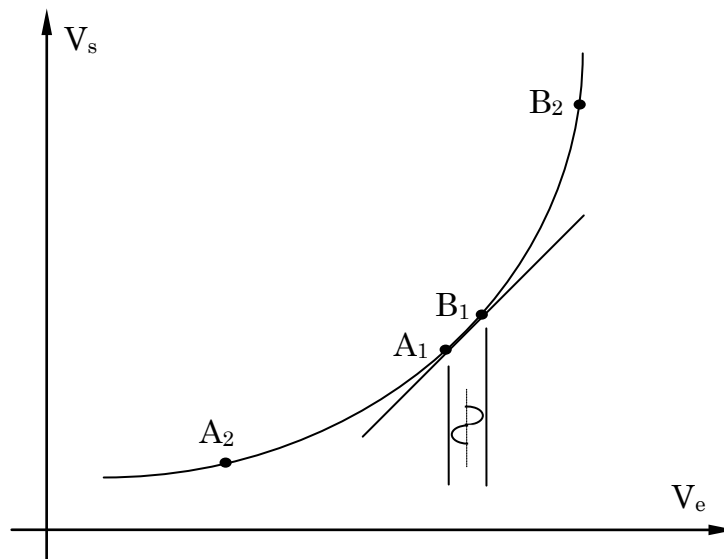


Fig. II-1 : Caractéristique de transfert non linéaire d'un quadripôle.

Si par contre l'amplitude de la tension d'entrée V_e est importante (arc A_2B_2), la réponse ne peut plus être déduite de l'équation (II-1) et les termes d'ordres supérieurs du signal V_e doivent être pris en compte pour décrire le signal de sortie V_s :

$$V_s = A V_e + B V_e^2 + C V_e^3 + \dots \quad (\text{II-2})$$

Le nombre de termes à considérer croît de concert avec l'amplitude de V_e . L'utilisation de formules trigonométriques montre que chaque mième terme " $(V_e)^m$ " génère l'harmonique mf_e de la fréquence d'entrée f_e . C'est le concept de "grand signal" que nous utiliserons pour le calcul des produits d'intermodulation [2], [18].

Plus généralement, soit un composant non linéaire excité à une fréquence f par une tension $V(t)$ et un courant $I(t)$, dans le domaine fréquentiel, qui est celui de l'étude des distorsions, le composant se comportera comme un multipôle dont chaque porte k sera

soumise à une tension V_k et un courant I_k qui correspondent aux coefficients de Fourier de $V(t)$ et $I(t)$ pour l'harmonique " kf ". Les impédances de fermetures sont les impédances équivalentes de Thévenin des réseaux passifs d'adaptation et de filtrage (une illustration de dipôle non linéaire est présentée à la figure II-2). De plus, une porte "0" peut être ajoutée pour tenir compte d'éventuels réseaux de polarisations [2].

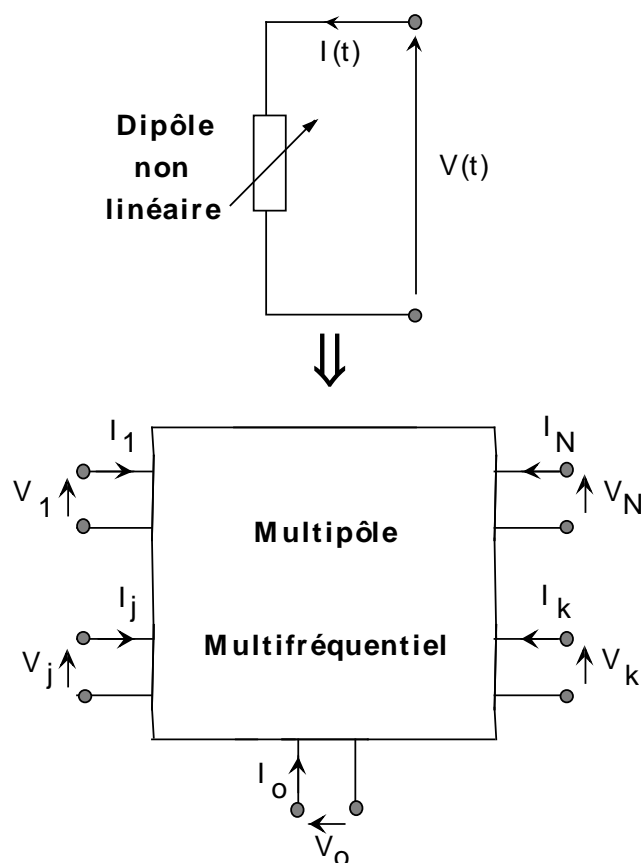


Fig. II-2 : Représentation d'un dipôle non linéaire en un multipôle multifréquentiel.

Dans toute optimisation, l'étape initiale consiste à modéliser le circuit à optimiser. Nous devons passer en revue les différents éléments entrant dans la composition d'un circuit micro-onde afin d'en tirer des modèles permettant son analyse et par la même son optimisation, et ce tant en régime linéaire que non linéaire. Etant donné que les composants passifs sont généralement simples à modéliser, c'est donc à travers la caractérisation des composants actifs micro-ondes (diodes et transistors) qu'il est possible de prédire les performances du circuit étudié.

B) MODELISATION ELECTRIQUE DES COMPOSANTS ACTIFS

Les progrès technologiques ont permis la mise au point de composants actifs micro-ondes de plus en plus performants. Pour leur simulation, le plus adéquat est de pouvoir convertir facilement un modèle linéaire ou petit signal en modèle grand signal en incluant les dépendances de ses éléments en fonction de la tension appliquée ou du courant qui les parcourt et/ou en modifiant légèrement sa topologie. Cette hypothèse valable jusqu'à la centaine de GHz environ est dite approche "quasi-statique" [2], [24] – [30].

I- DIODES

Il existe une grande variété de diodes micro-ondes pour la détection, le mélange, l'amplification, l'oscillation, la multiplication de fréquence ... parmi lesquelles nous devons distinguer les composants à temps de transit ou à transfert d'électrons tels que les diodes Gunn, IMPATT, ... [18], [24] - [26], [30] où l'hypothèse quasi-statique n'est pas valable et celles auxquelles elle s'applique comme les diodes Schottky, varactor et Tunnel.

Néanmoins, du fait de leur pertes de conversion et de leur facteur de bruit souvent élevés, les concepteurs leur préfèrent de plus en plus les transistors.

II- TRANSISTORS

Durant ces dernières décennies, parmi les transistors micro-ondes les plus usités, nous pouvons citer [16], [24], [26] – [31] :

- Le transistor bipolaire à jonction : le transistor bipolaire à jonction est un cristal en silicium dans lequel une couche de type N (ou P) est prise en sandwich entre deux couches de type P (ou N) pour former une double jonction PNP ou NPN.

Malheureusement, du fait des capacités de jonction, le transistor bipolaire à jonction est limité en fréquence (quelques GHz). De plus, il est très sensible aux variations de température et aux effets d'instabilité qui en découlent.

- Le transistor à effet de champ : le transistor à effet de champ est un dispositif semi-conducteur unipolaire. Son fonctionnement est basé sur le contrôle du passage d'un courant par une jonction polarisée en inverse.

Sur cette base, il existe trois structures principales de transistors à effet de champ :

- A grille isolée MOSFET. Ce transistor ne présente pas aujourd'hui de performances particulièrement intéressantes dans le domaine des micro-ondes. Cela est dû essentiellement à la présence d'une capacité liée à l'oxyde qui isole la grille et dégrade considérablement la rapidité de fonctionnement.
- A jonction P-N JFET. Réalisé généralement en silicium, ce transistor ne peut être utilisé à des fréquences supérieures à quelques GHz. En effet, pour ce genre de structure, il importe que le substrat soit isolant or la résistivité du silicium n'est pas assez élevée pour satisfaire à cette condition.
- A barrière Schottky MESFET. Ce composant, réalisé en Arséniure de Gallium (GaAs), a émergé en tant que composant de base pour les circuits micro-ondes. En effet, l'AsGa présente deux avantages décisifs : une résistivité intrinsèque cinq cent fois plus élevée que celle du silicium et une mobilité environ cinq fois plus grande. De plus la barrière Schottky est avantageuse du fait que les porteurs minoritaires ne jouent pratiquement aucun rôle. Ceci implique que l'on peut passer très rapidement du régime conducteur au régime inverse sans être limité par le temps nécessaire à l'évacuation des porteurs minoritaires.

De plus, ces dernières années ont vu l'émergence de nouveaux transistors à hétérojonction, où l'Arséniure de Gallium est interfacé avec l'AlAsGa. Les performances supérieures des MODFETs (Modulation Doped Field Effect Transistor) HEMTs (High Electron Mobility Transistor) et SDHTs (Selectively Doped Hetero-structure transistor) en font des composants d'avenir. En effet, le transistor à effet de champ à hétérojonction prend une place de plus en plus grande dans les circuits micro-ondes car il présente un plus faible bruit et une plus grande fréquence de coupure (utilisation en bandes millimétrique et sub-millimétrique). Enfin, il possède une meilleure mobilité impliquant une plus grande transconductance et un effet moindre des capacités parasites.

Ainsi, vu les performances spectrales des MESFETs et des HEMTs, notre étude s'orientera vers ces deux types de transistors.

Les circuits utilisant des transistors et conçus en technologie micro-électronique hybride ou sous forme monolithique atteignent des degrés de sophistication de plus en plus élevés. Aussi, le concepteur doit pouvoir se baser sur une bibliothèque de modèles fiables et valides sur une large gamme d'utilisation afin de pouvoir insérer avec succès ces composants dans un processus de C.A.O.. Il est donc essentiel de mettre au point des modèles capables de traduire correctement le comportement réel du transistor [16], [24], [28] - [33].

Il est important pour une utilisation efficace du transistor d'avoir un modèle équivalent qui soit fiable tout en étant relativement facile à exploiter. Ces deux exigences sont cependant antagonistes puisqu'un modèle rigoureux doit, soit comporter beaucoup d'éléments (jusqu'à une cinquantaine), soit être régi par des équations complexes et peu maniables. D'un autre côté, un modèle simplifié est limité en précision et/ou n'est valable que sur une plage de fréquence ou de tension donnée.

Ces conditions permettent d'expliquer un tant soit peu la tâche complexe des chercheurs qui se sont attelés à la modélisation des transistors dans les gammes micro-ondes.

1- Transistor MESFET

La modélisation du MESFET a fait l'objet divers travaux de recherche [2], [28], [30] - [58]. Le schéma le plus usité reste celui donné à la figure II-3 où deux diodes représentant l'effet d'avalanche grille- drain (diode D_a) et le courant dans la jonction grille- canal (diode D_g) peuvent être éventuellement incluses [15], [28], [32], [46], [56], [59] - [61].

En régime grand signal, les principaux éléments non linéaires qui varient en fonction des tensions appliquées, sont [2], [15], [18] :

- La capacité grille-source C_{gs} ,
- La capacité grille-drain C_{gd} ,
- La source de courant I_d .

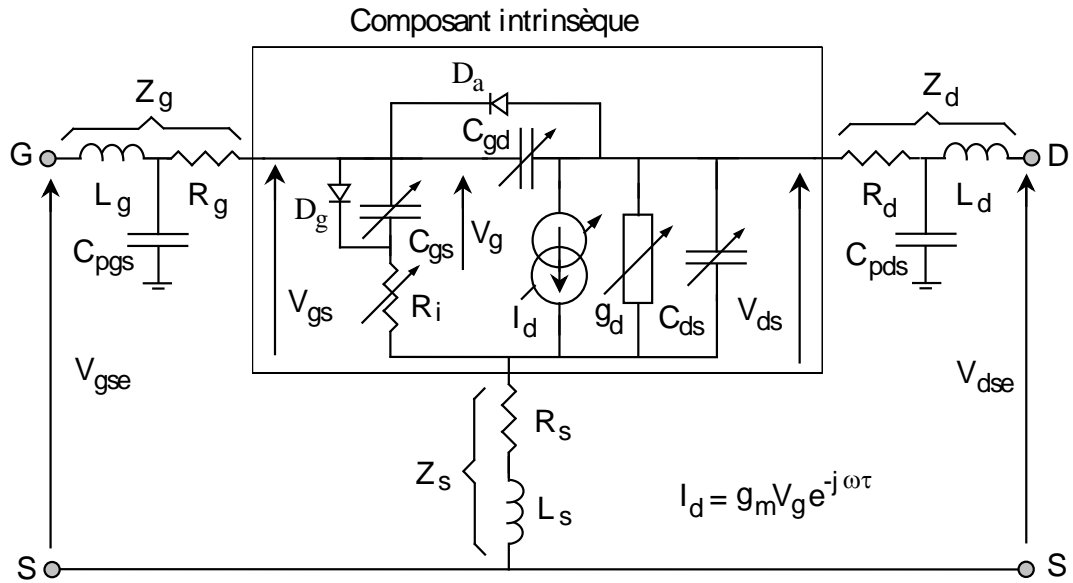


Fig. II-3 : Schéma électrique équivalent d'un MESFET.

puis à un degré moindre (selon les applications) :

- La conductance de sortie g_d (ou la résistance équivalente R_{ds}),
- La capacité drain-source C_{ds} ,

et enfin éventuellement la résistance R_i . De par sa topologie en π , le schéma intrinsèque du MESFET se décrit aisément par sa matrice admittance $[Y]$ dont les paramètres s'écrivent [59] :

$$\left. \begin{aligned}
 y_{11} &= \frac{R_i C_{gs}^2 \omega^2}{D} + j\omega \left(\frac{C_{gs}}{D} + C_{gd} \right) \\
 y_{12} &= -j\omega C_{gd} \\
 y_{21} &= \frac{g_m \exp(-j\omega\tau)}{1 + jR_i C_{gs} \omega} - j\omega C_{gd} \\
 y_{22} &= g_d + j\omega (C_{ds} + C_{gd})
 \end{aligned} \right\} \quad (II-3)$$

avec :

$$D = 1 + \omega^2 C_{gs}^2 R_i^2$$

Il faut noter que pour des fréquences supérieures à la vingtaine de GHz, C_{gs} , g_d et g_m deviennent largement dépendants des variations de la fréquence selon les relations [10], [59] :

$$\left. \begin{aligned} j\omega C_{gs}(\omega) &= j\omega C_{gs1} + j\omega^2 C_{gs2} + \dots \\ g_d(\omega) &= g_{d0} + g_{d1}\omega + g_{d2}\omega^2 + \dots \\ g_m(\omega) &= g_{m0} + g_{m1}\omega + g_{m2}\omega^2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (\text{II-4})$$

Si la dépendance du courant de grille en fonction des tensions intrinsèques grille-source V_{gs} et drain-source V_{ds} reste relativement aisée à définir, la source de courant de drain I_d représentant la non linéarité la plus prépondérante est l'élément le plus complexe à modéliser dans un transistor à effet de champ. De très nombreux travaux scientifiques et techniques ont été rapportés pour approximer la variation de cette source de courant en accord avec les caractéristiques statiques et dynamiques qui varient fortement d'un transistor à un autre selon les applications et les modes de fabrication (Fig. II-4) [28], [30], [32], [34] – [58].

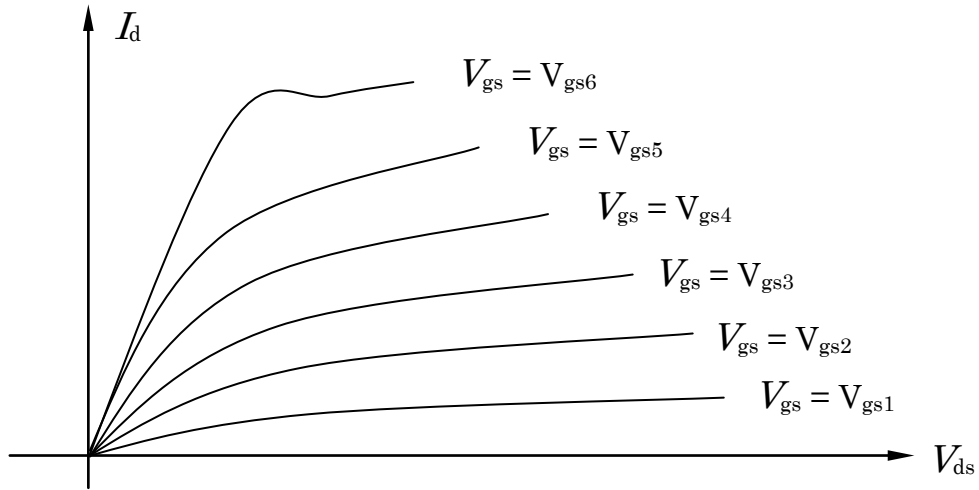


Fig. II-4 : Caractéristiques statiques $I_d(V_{gs}, V_{ds})$ d'un transistor à effet de champ avec :

$$V_{gs6} > 0 > V_{gs5} > V_{gs4} > V_{gs3} > V_{gs2} > V_{gs1}.$$

Néanmoins, c'est le modèle cubique de Curtice qui est le plus utilisé [32] :

$$I_{dMESFET} = (A_0 + A_1V_1 + A_2V_1^2 + A_3V_1^3) \tanh(\alpha V_d) \quad (\text{II-5})$$

avec A_i et α des paramètres empiriques propres au modèle et :

$$V_I = V_g (1 + \beta(V_{sat} - V_d))$$

V_{sat} étant la tension de drain à la saturation et β un paramètre empirique.

2- Transistor HEMT

La structure du HEMT est semblable à celle du MESFET, les courants source et drain sont ohmiques tandis que la grille est une barrière Schottky. Cependant son fonctionnement est basé sur l'accumulation d'un gaz d'électrons situé à l'interface d'une hétérojonction « AsGa non dopé -AlGaAs dopé de type n ». Le gaz d'électrons étant situé dans le matériau non dopé, il va permettre aux électrons de se déplacer avec une très grande vitesse [27] – [29].

Cette similarité dans la structure a permis aux chercheurs de proposer des schémas équivalents à topologie similaire (fig. II-5). La matrice admittance intrinsèque $[Y]$ du HEMT se décrit par [62] – [67] :

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} &= \frac{R_i C_{gs}^2 \omega^2}{1 + R_i^2 C_{gs}^2 \omega^2} + \frac{1}{R_{gs}} + \frac{R_j C_{gd}^2 \omega^2}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} + \frac{1}{R_{gd}} \\ &\quad + j\omega \left(\frac{C_{gs}}{1 + R_i^2 C_{gs}^2 \omega^2} + \frac{C_{gd}}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} \right) \\ Y_{12} &= -\frac{R_j C_{gd}^2 \omega^2}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} - \frac{1}{R_{gd}} - \frac{j\omega C_{gd}}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} \\ Y_{21} &= \frac{g_m(\omega) \exp(-j\omega\tau)}{1 + j\omega R_i C_{gs}} - \frac{R_j C_{gd}^2 \omega^2}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} - \frac{1}{R_{gd}} - \frac{j\omega C_{gd}}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} \\ Y_{22} &= g_d(\omega) + \frac{R_j C_{gd}^2 \omega^2}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} + \frac{1}{R_{gd}} + j\omega \left(C_{ds} + \frac{C_{gd}}{1 + R_j^2 C_{gd}^2 \omega^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (\text{II} - 6)$$

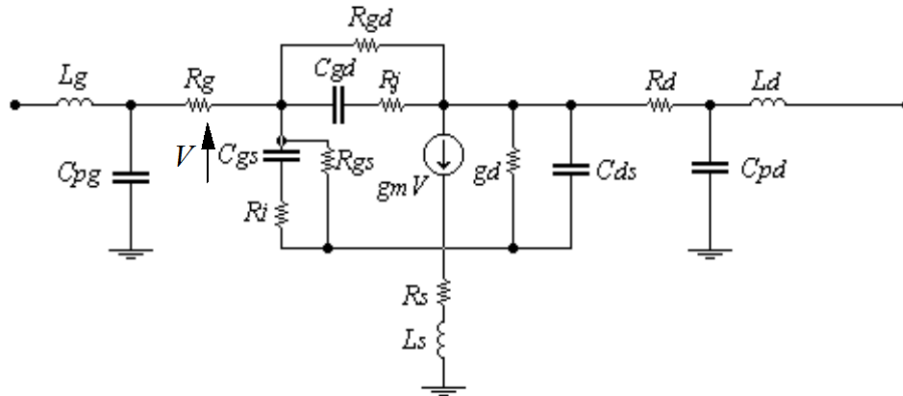


Fig. II-5 : Schéma électrique équivalent d'un HEMT.

Le modèle de Curtice pour la source de courant I_d , est quant à lui donné par :

$$I_{dHEMT} = \begin{cases} I_{dMESFET} & \text{pour } V_g \leq V_f \\ I_{dMESFET} - \frac{\xi}{\psi + 1} (V_g - V_f)^{\psi + 1} f(V_d) & \text{pour } V_g > V_f \end{cases} \quad (\text{II-7})$$

où $f(V_d)$ est une fonction empirique non linéaire, ξ et ψ des paramètres empiriques propres à chaque transistor et V_f la tension V_g au début de la dégradation de la transconductance g_m .

Une fois déterminé le schéma électrique des éléments actifs en régime de petits et grands signaux, il faut en déduire son équivalent en bruit.

C) MODÉLISATION EN BRUIT DES TRANSISTORS

I- SCHÉMA ÉQUIVALENT EN BRUIT

Les propriétés des MESFETs et HEMTs dans le domaine du bruit de fond en font des composants particulièrement bien adaptés aux traitements de signaux exigeant un faible niveau de bruit [2], [15], [28], [62], [64], [66].

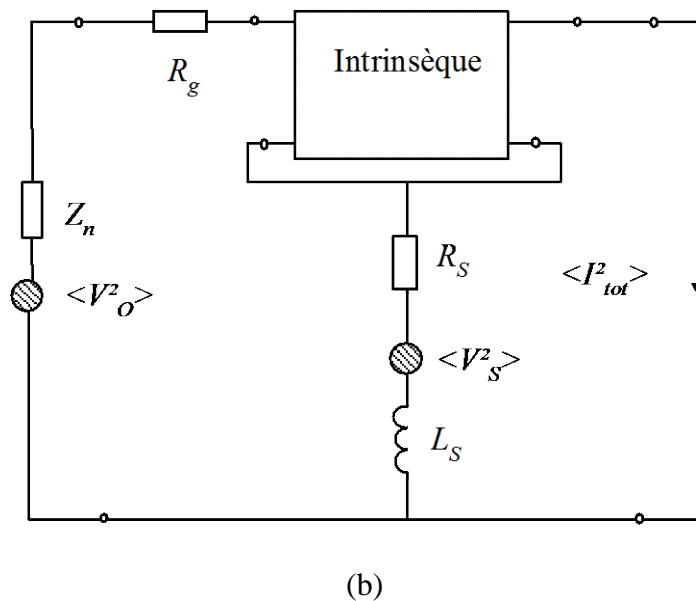
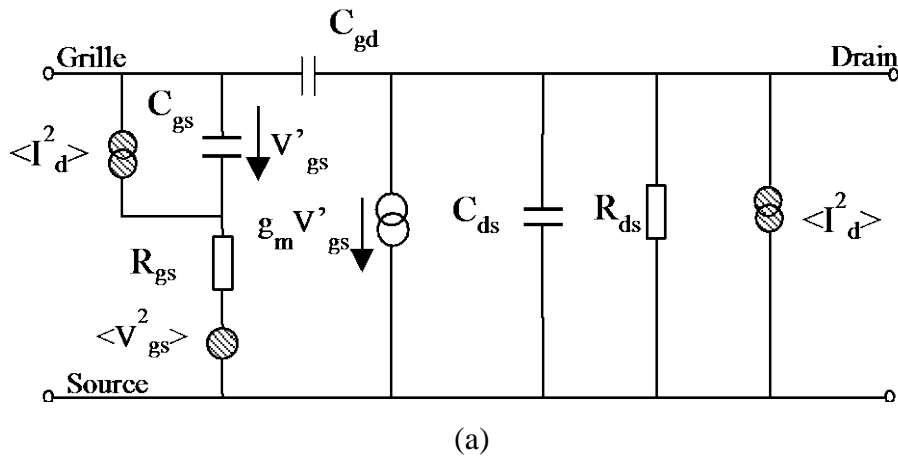


Fig. II-6 : Circuit équivalent en bruit du MESFET et HEMT :

- (a) Schéma équivalent en bruit du transistor intrinsèque
 (b) Schéma équivalent en bruit incluant les sources de bruit extrinsèque

Il existe plusieurs modèles en bruit des MESFET/HEMT [68] – [84] parmi lesquels nous pouvons citer celui de Gupta [69], de Pospiezalski [72] et celui de Pucel [85]. Un schéma usuel en bruit commun à ces deux transistors est donné à la figure II-6.

Ce schéma équivalent en bruit du MESFET/HEMT intrinsèque contient principalement les sources de courant de bruit $\langle i_g^2 \rangle$ au niveau de la grille, $\langle i_d^2 \rangle$ au niveau du drain et la source de tension $\langle V_{gs}^2 \rangle$ au niveau de la résistance R_{gs} .

Négligeant certains éléments appropriés relatif à un model spécifique, l'expression générale des courants et des tensions de bruit est comme suit [85]:

$$\begin{aligned} \langle i_d^2 \rangle &= P 4kT_0 B g_m \\ \langle i_g^2 \rangle &= R 4kT_0 B (\omega C_{gs})^2 / g_m \\ \langle V_{gs}^2 \rangle &= 4kT_g B R_{gs} \end{aligned} \quad (\text{II-8})$$

où B est la bande passante. Les sources de bruit sont corrélées par un coefficient C qui dépend des conditions de polarisation. Cette corrélation est décrite par :

$$\langle i_g^* i_d \rangle = C (\langle i_g^2 \rangle \langle i_d^2 \rangle)^{1/2} \quad (\text{II-9})$$

La partie extrinsèque du composant contribue au bruit par les bruits thermiques des résistances R_g et R_s ainsi que la partie réelle R_{ns} de l'impédance équivalente du bruit à l'entrée $Z_{ns} = R_{ns} + j X_{ns}$.

Remarque :

Il existe dans le MESFET et HEMT les autres sources de bruit citées précédemment (bruit de génération- recombinaison, bruit de scintillation, ...). Néanmoins, ces bruits sont généralement négligeables devant le bruit thermique.

II- FACTEUR DE BRUIT

Le facteur de bruit est calculé comme étant égal à :

$$F = \frac{\langle i_{tot}^2 \rangle}{\langle i_o^2 \rangle} \quad (\text{II-10})$$

où $\langle i_{tot}^2 \rangle$ représente la somme de tous les courants de bruit et $\langle i_o^2 \rangle$ la source de courant provenant des sources de bruit externes à l'entrée du transistor seulement.

En introduisant des fonctions F_I à F_V égales à [85] :

$$\begin{aligned}
 F_I &= \frac{\frac{g_m}{j\omega C_{gs}} a_{11} + b_{21}}{a_{12} b_{21} - a_{11} b_{22}} & F_{II} &= \frac{-b_{21}}{Z_C \det b} \\
 F_{III} &= \frac{-b_{21}}{\det b} & F_V &= \frac{b_{11} Z_C Y_D - b_{21}}{Z_C \det b} \\
 F_{IV} &= \frac{j\omega C_{gd} Z_C \left(1 + \frac{g_m}{j\omega C_{gs}} \right) b_{11} + b_{21}}{Z_C (a_{12} b_{21} - a_{11} b_{22} b_{21})} & & \text{(II-11)}
 \end{aligned}$$

avec :

$$a_{11} = (1 + j\omega C_{gs} R_{gs}) (1 + j\omega C_{gd} [Z_{ns} + R_g]) + j\omega C_{gs} (Z_s + Z_{ns} + R_g)$$

$$a_{12} = j\omega C_{gs} Z_s$$

$$b_{11} = 1 + j\omega C_{gd} (Z_{ns} + R_g) + \frac{Z_s + Z_{ns} + R_g}{Z_c}$$

$$b_{12} = \frac{Z_s}{Z_c} \quad b_{22} = 1 + Z_s Y_D \quad \det b = b_{11} b_{22} - b_{12} b_{21}$$

$$b_{21} = 1 + Z_s Y_D - \left(1 + \frac{g_m}{j\omega C_{gs}} \right) (1 + j\omega C_{gd} [Z_{ns} + R_g])$$

$$d_{11} = \frac{1 + Z_s Y_D}{1 + \frac{g_m}{j\omega C_{gs}}} + \frac{Z_s + Z_{ns} + R_G}{Z_C} \quad d_{12} = \frac{Z_s}{Z_C} + \frac{1 + Z_s Y_D}{1 + \frac{g_m}{j\omega C_{gs}}}$$

$$Z_{ns} = R_{ns} + j\omega X_{ns} \quad Z_c = R_{gs} + \frac{1}{j\omega C_{gs}}$$

$$Z_s = R_s + j\omega L_s \quad Y_d = \frac{1}{R_{ds}} + j\omega C_{ds}$$

la contribution de toutes les sources est déterminée comme suit :

$$\begin{aligned} \langle i_{tot}^2 \rangle &= \left\langle \left(\langle i_I \rangle + \langle i_{II} \rangle + \langle i_{III} \rangle + \langle i_{IV} \rangle \right) \left(\langle i_I^* \rangle + \langle i_{II}^* \rangle + \langle i_{III}^* \rangle + \langle i_{IV}^* \rangle \right) \right\rangle \\ \langle i_I \rangle &= \langle i_g \rangle F_I & \langle i_{II} \rangle &= \langle v_{gs} \rangle F_{II} & \langle i_{III} \rangle &= \langle i_d \rangle F_{III} \\ \langle i_{IV} \rangle &= \langle v_o \rangle F_{IV} & \langle i_V \rangle &= \langle v_s \rangle F_V \end{aligned} \quad (II-12)$$

où $\langle v_o \rangle$ représente la source de tension de bruit thermique à l'entrée et $\langle v_s \rangle$ la source de tension de bruit thermique à la sortie à la température ambiante T_a :

$$\begin{aligned} \langle v_o^2 \rangle &= 4kT_a B (R_g + R_{ns}) \\ \langle v_s^2 \rangle &= 4kT_a B R_s \end{aligned} \quad (II-13)$$

Il ne faut pas cependant perdre de vue que les courants $\langle i_I \rangle$ et $\langle i_{III} \rangle$ sont corrélés.

Vu que seulement i_g et i_d sont corrélés, par conséquent les termes $\langle i_I i_{II}^* \rangle, \langle i_I i_{IV}^* \rangle, \dots$, sont nuls. D'où :

$$\begin{aligned} \langle i_{tot}^2 \rangle &= \langle i_g^2 \rangle |F_I|^2 + \langle v_{gs}^2 \rangle |F_{II}|^2 + \langle i_d^2 \rangle |F_{III}|^2 + \langle v_o^2 \rangle |F_{IV}|^2 + \langle v_s^2 \rangle |F_V|^2 \\ &\quad + 2 \operatorname{Re} \left(\langle i_g^* i_d \rangle F_{III} F_I^* \right) \\ &= 4kB \left\{ T_a (R_g + R_{ns}) |F_{IV}|^2 + T_a R_s |F_V|^2 + T_g R_{gs} |F_{II}|^2 + P T_0 g_m |F_{III}|^2 \right. \\ &\quad \left. + R T_0 \frac{(\omega C_{gs})^2}{g_m} |F_I|^2 \right\} + 4kT_0 B C_{gs} \sqrt{PR} 2 \operatorname{Re} (C F_I^* F_{III}) \omega \end{aligned} \quad (II-14)$$

La source de bruit $\langle v_o \rangle$ introduit le courant :

$$\langle i_o^2 \rangle = \langle i_{IV}^2 \rangle = 4kT_a B R_{ns} |F_{IV}|^2 \quad (II-15)$$

et le facteur de bruit est ainsi déterminé par le rapport :

$$\frac{\langle i_{tot}^2 \rangle}{\langle i_0^2 \rangle} = \frac{4kB \left\{ T_a (R_g + R_{ns}) |F_{IV}|^2 + T_a R_s |F_V|^2 + T_g R_{gs} |F_{II}|^2 + PT_0 g_m |F_{III}|^2 \right\}}{4kT_a B R_{ns} |F_{IV}|^2} + \frac{RT_0 \frac{(\omega C_{gs})^2}{g_m} |F_I|^2 \left\} + 4kT_0 B C_{gs} \sqrt{PR} 2 \operatorname{Re}(C F_I^* F_{III}) \omega}{4kT_a B R_{ns} |F_{IV}|^2} \quad (\text{II-16})$$

Pucel a supposé que $R_{gs} = 0$ et par conséquent $\langle v_{gs} \rangle$ est nul. Pospiezalski a quant à lui annulé les valeurs R et C dans son modèle. Par contre, dans le modèle de Gupta on considère que la température de la grille est égale à la température ambiante ($T_g = T_a$).

Après des simplifications appropriées, nous aurons l'expression de la valeur minimale du facteur de bruit F_{min} :

$$F_{min} = 1 + 2\sqrt{P+R-2C\sqrt{PR}} \cdot \frac{f}{f_t} \cdot \sqrt{g_m (R_s + R_g) + \frac{PR(1-C^2)}{R+P-2C\sqrt{RP}}} \quad (\text{II-17})$$

où f et f_t représentent les fréquences respectives de travail et de transition :

$$f_t = \frac{g_m}{2\pi C_{gs}} \quad (\text{II-18})$$

La valeur optimale de l'impédance de source du point de vue bruit est donnée par :

$$Z_{opt} = \sqrt{\frac{g_n (R_s + R_g) + \frac{PR(1-C^2)}{P+R-2C\sqrt{RP}}}{P+R-2C\sqrt{RP}}} \cdot \frac{1}{C_{gs}\omega} + \frac{1}{jC_{gs}\omega} \cdot \left(\frac{P-C\sqrt{RP}}{P+R-2C\sqrt{RP}} \right)$$

$$g_n = g_m \left(\frac{f}{f_c} \right)^2 \cdot \sqrt{P+R-2C\sqrt{RP}} \quad (\text{II-19})$$

Enfin, la variation des paramètres est considérée comme linéaire en fonction de la température selon le modèle mathématique suivant :

$$P(T_a) = P(T_0) (1 + \beta \cdot (T_a - T_0)) \quad (\text{II-20})$$

où $P(T_a)$ et $P(T_0)$ représentent la valeur du paramètre P respectivement à température ambiante T_a et température nominale T_0 et où β est le coefficient thermique.

D) PRODUITS D'INTERMODULATION

I- CHOIX DE LA MÉTHODE D'ANALYSE

Les circuits faible bruit étant des circuits travaillant en régime linéaire, leur conception est relativement bien maîtrisée. Il n'en est malheureusement pas de même pour les circuits non linéaires, siège des distorsions, pour lesquels des méthodes d'analyse non linéaires sont toujours mises en œuvre pour atteindre les performances recherchées [2], [28], [33], [100] - [115]. Les différences de base entre ces différentes approches résident dans le domaine d'analyse : temporel ou fréquentiel tel que résumé au tableau II-1 [116].

En principe, la réponse d'un système non linéaire est périodique et peut être déterminée en intégrant les équations différentielles qui régissent le circuit jusqu'au régime permanent. Cette approche temporelle, si elle permet de prendre en compte simultanément un nombre élevé de non linéarités, n'est cependant pas adaptée aux circuits présentant des éléments à constante de temps relativement grande celle du signal appliqué [2],[42],[108], [110].

Une autre alternative est de considérer les équations dans le domaine fréquentiel. Cependant, si cette approche ne s'applique concrètement qu'aux circuits ayant de faibles non linéarités, elle est la seule à permettre l'étude des distorsions [2], [42], [108] - [110], [113].

Il existe également une méthode hybride, dite de l'équilibrage harmonique qui se base sur le principe de séparation du circuit en deux sous réseaux, l'un renfermant les éléments linéaires dont l'analyse se fera dans le domaine fréquentiel et le second les éléments non linéaires qui seront analysés dans le domaine temporel; le passage entre les deux réseaux se

faisant par transformation de Fourier directe ou inverse [2], [110], [116] – [117].

Tableau I : Classification des méthodes d'analyse non linéaires.

		RESEAU NON LINEAIRE	
		Domaine Temporel	Domaine Fréquentiel
R E S E A U L I N E A I R E	Domaine Temporel	Méthodes d'extrapolation Méthodes d'intégration directe	X
	Domaine Fréquentiel	Equilibrage harmonique [Méthodes directes, de relaxation, optimales, ...]	Séries de Volterra Séries de puissances Fonctions descriptives

II- MÉTHODES FRÉQUENTIELLES

Les méthodes fréquentielles développent les relations tensions-courants en séries de Puissances ou en séries de Volterra [2], [108], [110], [116], [104] - [117]. Elles établissent les équations aux nœuds ou aux mailles pour chaque harmonique de la (ou des) fréquence(s) fondamentale(s) d'entrée.

Les séries de puissances modélisent le circuit non linéaire par un réseau linéaire sélectif de fonction de transfert $H(\omega)$, constitué généralement de filtres, de réseaux d'adaptation et de polarisation, suivi d'un étage non linéaire dont la fonction de transfert $s(t)$ se met sous la forme[28] :

$$\begin{aligned}
 s(t) = f(V(t)) &= \sum_{k=1}^N a_k V^k(t) = \sum_{k=1}^N a_k \left\{ \sum_{q=-Q}^Q V_q H(\omega) e^{j\omega_q t} \right\}^k \\
 &= \sum_{k=1}^N a_k \left\{ \sum_{q_1=-Q}^Q \dots \sum_{q_k=-Q}^Q V_{q_1} \dots V_{q_k} H(\omega_{q_1}) \dots H(\omega_{q_k}) e^{(j\omega_{q_1} + \dots + j\omega_{q_k})t} \right\} \quad (\text{II-21})
 \end{aligned}$$

où $V(t)$ est l'excitation du signal d'entrée et où les coefficients a_k caractérisent le bloc non linéaire.

Par contre, pour l'analyse par séries de Volterra, les deux blocs linéaires et non linéaires ne sont plus séparés et la réponse $s(t)$ s'écrit :

$$s(t) = \sum_{k=1}^N \left\{ \sum_{q_1=-Q}^Q \dots \sum_{q_k=-Q}^Q V_{q_1} \dots V_{q_k} H_k(\omega_{q_1}, \dots, \omega_{q_k}) e^{j(\omega_{q_1} + \dots + \omega_{q_k})t} \right\} \quad (\text{II-22})$$

Cette réponse diffère de la précédente par le fait qu'elle ne contient qu'une seule fonction de transfert non linéaire $H_k(\omega_{q_1}, \dots, \omega_{q_k})$ au lieu du produit des fonctions de transfert linéaires " $a_k \cdot H(\omega_{q_1}) \dots H(\omega_{q_k})$ ". Cette fonction H_k , appelée fonction du k ème ordre, permet de définir les produits d'intermodulation.

Pratiquement, l'ordre N de la série doit être faible pour éviter les manipulations algébriques trop complexes. Cette condition devient impérative dans le cas d'excitation multifréquentielle (M signaux $x_i(t)$ d'entrée) :

$$x_i(t) = \sum_{k=1}^N x_k^{(i)}(t) = \sum_{k=1}^N |x_k^{(i)}| \cos(\omega_k t + \varphi_k^{(i)}) \quad i = 1, \dots, m \quad (\text{II-23})$$

donnant la réponse $s(t)$ suivante :

$$s(t) = \sum_{p_1=0}^{\infty} \dots \sum_{p_M=0}^{\infty} a_{p,q} \prod_{i=1}^M \left(\sum_{k=1}^N \alpha_k^{(i)} x_k^{(i)}(t - \tau_{ki})^{p_i} \right) \quad (\text{II-24})$$

où $a_{p,q}$ et $\alpha_k^{(i)}$ sont des coefficients respectivement complexes et réels et où τ_{ki} sont les retards dépendant de l'ordre de la série et du signal d'entrée correspondant.

Cette restriction de l'ordre est due au fait que les écritures sont analytiques et doivent être développées manuellement. Aussi, elles sont très lourdes même pour le cas simple de

deux signaux d'entrée surtout si on est en présence de plusieurs éléments non linéaires [2].

Cette contrainte pourrait être exclusive car pour évaluer les performances d'un composant il faudrait inclure tous les effets de tous les éléments non linéaires qui le composent et ce, à tous les ordres (degrés de non linéarité) considérés. Cependant, il faut noter que le but de notre étude est de minimiser les effets des distorsions. Dans ce cadre, les effets non linéaires présents seront faibles et seuls les premiers ordres d'intermodulation seront à considérer. De plus, il est judicieux de remarquer que dans ce cas, seule la source de courant de drain I_d aura un comportement non linéaire significatif, les autres éléments du transistor étant considérés comme quasi-linéaires [2].

C'est pourquoi nous avons retenu la méthode des séries de Volterra pour calculer les produits d'intermodulation, car, d'une part, c'est la seule à permettre une analyse multifréquentielle ainsi qu'une évaluation exhaustive des produits d'intermodulation et de plus, sa principale condition (limiter le degré de non linéarité) est respectée dans notre étude.

III- SERIES DE VOLTERRA

1- Énoncé de la technique

La fonction de transfert d'un circuit non linéaire peut être développée sous forme d'une série de Volterra qui s'écrit [3], [104] :

$$V_s(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} h_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n V_e(t - \tau_i) d\tau_i \quad (\text{II-25})$$

Dans cette expression V_e est la tension d'entrée du circuit non linéaire et V_s la tension de sortie. La fonction $h_1(\tau_1)$ est bien connu puisqu'il s'agit de la réponse impulsionnelle d'un circuit linéaire. Les autres termes $h_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$ sont, quant à eux, les noyaux de Volterra d'ordre n et dont les transformées de Fourier $H_n(\omega_1, \dots, \omega_n)$ sont des fonctions de transfert non linéaires d'ordre n .

2- Application au transistor

Nous avons vu que dans le cas des distorsions, la seule source non linéaire à considérer sera le courant I_d .

Comme il s'exprime en fonction de deux tensions que sont V_g et V_d , son développement en séries sera de la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 I_d(V_g, V_d) = & I_{dc} + \frac{\delta I_d}{\delta V_g} V_g + \frac{\delta I_d}{\delta V_d} V_d + \frac{1}{2!} \frac{\delta^2 I_d}{\delta V_g^2} V_g^2 + \frac{1}{2!} \frac{\delta^2 I_d}{\delta V_d^2} V_d^2 \\
 & + \frac{\delta^2 I_d}{\delta V_g \delta V_d} V_g V_d + \frac{1}{3!} \frac{\delta^3 I_d}{\delta V_g^3} V_g^3 + \frac{1}{3!} \frac{\delta^3 I_d}{\delta V_d^3} V_d^3 + \dots
 \end{aligned}
 \tag{II-26}$$

En termes d'incrémentations par rapport aux inconnues que sont les tensions V_g et V_d , cette écriture devient :

$$\begin{aligned}
 id(t) = & g_{m1} V_g(t) + g_{m2} V_g^2(t) + g_{m3} V_g^3(t) + \dots \\
 & + g_{d1} V_d(t) + g_{d2} V_d^2(t) + g_{d3} V_d^3(t) + \dots \\
 & + g_{md} V_g(t) V_d(t) + g_{m2d} V_g^2(t) V_d(t) + g_{md2} V_g(t) V_d^2(t) + \dots
 \end{aligned}
 \tag{II-27}$$

où les différents coefficients sont égaux à :

$$\begin{aligned}
 g_{m1} = \frac{\delta I_d}{\delta V_g} & \quad g_{m2} = \frac{1}{2!} \frac{\delta^2 I_d}{\delta^2 V_g} & \quad g_{m3} = \frac{1}{3!} \frac{\delta^3 I_d}{\delta^3 V_g} \\
 g_{d1} = \frac{\delta I_d}{\delta V_d} & \quad g_{d2} = \frac{1}{2!} \frac{\delta^2 I_d}{\delta^2 V_d} & \quad g_{d3} = \frac{1}{3!} \frac{\delta^3 I_d}{\delta^3 V_d} \\
 g_{md} = \frac{1}{2!} \frac{\delta I_d}{\delta V_g \delta V_d} & \quad g_{m2d} = \frac{1}{2!} \frac{\delta I_d}{\delta V_g^2 \delta V_d} & \quad g_{md2} = \frac{1}{2!} \frac{\delta I_d}{\delta V_g \delta V_d^2}
 \end{aligned}
 \tag{II-28}$$

qui en raison de la difficulté des écritures, se ramène souvent à [2] :

$$\begin{aligned}
 I_d(V_g, V_d) = & I_{dg}(V_g) + I_{dd}(V_d) \\
 = & g_{m1} V_g + g_{m2} V_g^2 + g_{m3} V_g^3 + \dots + g_{d1} V_d + g_{d2} V_d^2 + g_{d3} V_d^3 + \dots
 \end{aligned}
 \tag{II-29}$$

De là, le calcul des fonctions de transfert $H_n(\omega_1, \dots, \omega_n)$ sera effectué.

Ainsi, la fonction de transfert du premier ordre est :

$$H_1(\omega) = -\frac{g_{m1}}{1 + g_{d1} Z_L(\omega)} \quad (\text{II-30})$$

avec $Z_L(\omega)$ l'impédance de charge à l'harmonique (ω) considérée. La réponse d'ordre 2 est obtenue à partir de celle du premier ordre :

$$H_2(\omega_1, \omega_2) = \frac{2g_{m2} + g_{md} H_1(\omega_1) + g_{md} H_1(\omega_2)}{2 + 2 g_{d1} Z_L(\omega_1 + \omega_2)} \quad (\text{II-31})$$

La fonction de transfert du troisième ordre s'écrit alors :

$$H_3(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = \frac{I}{6 + 6 g_{d1} Z_L(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)} \quad (\text{II-32})$$

$$\cdot \begin{bmatrix} 6 g_{m3} + 2 g_{md} Z_L(\omega_1 + \omega_2) H_2(\omega_1, \omega_2) \\ + 2 g_{md} Z_L(\omega_1 + \omega_3) H_2(\omega_1, \omega_3) \\ + 2 g_{md} Z_L(\omega_2 + \omega_3) H_2(\omega_2, \omega_3) \end{bmatrix}$$

Dans le cas de deux signaux d'excitation de même amplitude :

$$v_{in}(t) = V_s \{ \cos(\omega_1 t + \phi_1) + \cos(\omega_2 t + \phi_2) \} \quad (\text{II-33})$$

le produit d'intermodulation d'ordre trois généré dans la bande passante est égal à :

$$ID3 = \frac{3}{8} V_s^3 H_3(\omega_2, \omega_2, -\omega_1) \quad (\text{II-34})$$

où $H_3(\omega_2, \omega_2, -\omega_1)$ est donnée par :

$$H_3(\omega_2, \omega_2, -\omega_1) = \frac{I}{6 + 6 g_{d1} Z_L(2\omega_2 - \omega_1)} \quad (\text{II-35})$$

$$\cdot \begin{bmatrix} 6 g_{m3} + 2 g_{md} Z_L(2\omega_2) H_2(\omega_2, \omega_2) \\ + 4 g_{md} Z_L(\omega_2 - \omega_1) H_2(\omega_2, -\omega_1) \end{bmatrix}$$

avec :

$$H_2(\omega_2, \omega_2) = \frac{2g_{m2} + 2g_{md} H_1(\omega_2)}{2 + 2 g_{d1} Z_L(2\omega_2)}$$

$$H_2(\omega_2, -\omega_1) = \frac{2g_{m2} + g_{md} H_1(\omega_2) + g_{md} H_1(-\omega_1)}{2 + 2 g_{d1} Z_L(\omega_2 - \omega_1)} \quad (\text{II-36})$$

Le point d'interception est quant à lui décrit par :

$$P_I = \frac{2 \operatorname{Re}[Z_L]}{3 |Z_L|^2} \frac{|H_1(\omega_1)|}{|H_3(\omega_1, \omega_1, -\omega_2)|} \quad (\text{II-37})$$

Les paramètres externes agissant sur les distorsions d'intermodulation sont les impédances de charge aux différentes pulsations, les coefficients de la source de courant et le niveau de la puissance d'entrée. Nous pouvons donc agir sur ces points pour rendre minimale la fonction d'intermodulation donc minimiser les distorsions et optimiser les performances de nos circuits.

E) CONCLUSION

Une fois les relations donnant le facteur de bruit et les produits d'intermodulation des transistors à effet de champ connues, il s'agit de développer une méthode d'optimisation de ces performances en fonction des circuits micro-ondes étudiés.

CHAPITRE-III-

Méthode d'optimisation

Une fois l'expression des paramètres des transistors connue, il s'agit d'optimiser les caractéristiques de circuits micro-ondes tenant compte des effets de bruit et de distorsions sur leurs performances.

A) APERÇU SUR LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION

Dans la plupart des problèmes aussi bien mathématiques que physiques, on est amené à faire appel à des méthodes de type numérique dites '*Méthodes d'optimisation*' afin d'améliorer les résultats obtenus après analyse [118] - [125]. L'optimisation des performances de circuits est actuellement l'un des domaines de recherche les plus actifs.

En micro-ondes, le développement des procédures d'optimisation ou optimiseurs a été motivé notamment par l'essor des circuits monolithiques. Lors d'une optimisation, les performances désirées sont exprimées par des fonctions objectifs sous la forme d'un ensemble de spécifications fonction de variables indépendantes telles que la fréquence, la température, Le problème posé est alors celui de la recherche de l'extremum (minimum ou maximum) d'une fonction liée au circuit considéré.

Plusieurs méthodes sont mises à la disposition du concepteur de circuits. Nous pouvons les classer en deux grandes catégories : les méthodes utilisant le gradient de la fonction à optimiser et les méthodes dites directes [9] - [17].

I- MÉTHODES DU GRADIENT

Les méthodes du gradient permettent de calculer la dérivée de la fonction pour évaluer la différence entre la réponse calculée et désirée. Les méthodes les plus usitées sont :

- Méthode du gradient à pas prédéterminé qui, partant d'un point, permet de calculer le gradient d'une fonction selon la direction de la plus grande variation de la fonction. Son inconvénient est sa très lente convergence si le pas de variation des points est mal évalué et son principal intérêt est de pouvoir se généraliser aux cas des fonctions qui ne sont pas différentiables partout.

- Méthode du gradient projeté qui adapte la précédente méthode d'optimisation sans contraintes aux problèmes avec contraintes en projetant à chaque étape le déplacement sur la frontière du domaine afin de s'assurer que le nouveau point obtenu appartienne à l'ensemble des solutions réalisables. La principale difficulté étant que le point peut sortir du domaine des solutions, il faut prévoir des procédures permettant d'y revenir.
- Méthode de Madsen et Schjaer-Jacobsen (Minimax) qui est à retenir lorsque la fonction à minimiser n'est pas différentiable à son minimum. Pour la caractériser, le gradient de chaque point doit être calculé séparément.
- Méthode du simplexe qui utilise des figures géométriques régulières formées par des points appelés "simplexes". Pour minimiser la fonction, le simplexe est modifié graduellement et rétréci autour du point optimum durant le processus itératif. C'est une méthode avec contraintes qui converge bien car elle est multidirectionnelle. Son efficacité a permis de développer plusieurs variantes telles que la méthode de Nelder-Mead.
- Méthode du gradient réduit. C'est l'une des méthodes les plus efficaces[126] ,[130].

Néanmoins, dans notre cas, les fonctions à optimiser sont des fonctions non analytiques, comme par exemple le gain d'un circuit très complexe. Aussi, le calcul des dérivées devient problématique. Il est alors fait appel à des méthodes d'approximation dites méthodes directes ou séquentielles pour mener à terme le processus d'optimisation.

II- MÉTHODES DIRECTES

Parmi les méthodes directes, nous pouvons citer :

- Méthodes d'approximation du gradient et du hessien (dérivées secondes). Le gradient et le hessien peuvent être approximés par plusieurs algorithmes dont les plus puissants sont ceux de Powell, de Broyden et des différences finies (technique des perturbations).
- Méthode de Hooke et Jeeves. C'est une méthode séquentielle dont les étapes sont constituées par deux mouvements. Le premier explore le comportement local de la fonction autour d'un point dit « point initial » et le second accélère le processus dans la direction identifiée précédemment. La méthode converge lorsque la recherche du minimum ne progresse plus vers la direction retenue.

- Méthode de Newton. Elle permet de trouver rapidement le minimum en approximant la fonction par une fonction quadratique. Cependant si la fonction est quelconque, des difficultés apparaissent dans le calcul du hessien car c'est une opération pouvant comporter des difficultés numériques et exigeant que la matrice du hessien soit définie positive (fonction convexe) en chaque pas de l'itération.
- Méthode quasi-Newton. Pour pallier aux inconvénients de la méthode de Newton d'autres méthodes ont été proposées. Elles consistent à remplacer le hessien par une approximation qui est modifiée à chaque itération. Des expressions générales ont été proposées engendrant des groupes d'algorithmes telles que ceux de Davidson-Fletcher-Powell et de Broyden-Fletcher-Godfab-Shanno. Elles sont utilisées lorsque l'erreur est importante ou quand le résultat est éloigné.

Compte tenu du problème nous venons de traiter et des résultats obtenus antérieurement au laboratoire micro ondes de L'ENSEEIH, c'est donc la méthode 'quasi-Newton' que nous avons jugée plus performante et que nous avons retenu[24].

III- MÉTHODE QUASI-NEWTON

Soit une fonction f à plusieurs variables à minimiser (maximiser). La méthode quasi-Newton consiste à déterminer l'extremum de cette fonction en lui affectant un modèle du type quadratique issu d'un développement en série de Taylor à un point p , donné par [121], [123], [124] :

$$m_c(X_c + p) = f(X_c) + \nabla f(X_c)^T p + \frac{1}{2} p^T \nabla^2 f(X_c) p \quad (\text{III-1})$$

X_c étant le vecteur des inconnues. Si X^* est la valeur exacte du vecteur X_c et S^N le pas à l'itération N , le problème revient à résoudre pour le point $X = X_c + S^N$, l'équation suivante :

$$\nabla m_c(X^*) = 0 \quad (\text{III-2})$$

L'algorithme de cette méthode peut être formulé comme suit : Soit une fonction f définie de R^n dans R , continue et différentiable. Il faut résoudre à chaque itération le système :

$$\nabla^2 f(X_K) \cdot S_K^N = -\nabla f(X_K) \quad X_{K+1} = X_K + S_K^N \quad (\text{III-3})$$

Où $\nabla^2 f(X_K)$ est la matrice du hessien et $\nabla f(X_K)$ le vecteur gradient.

B) ALGORITHME DEVELOPPE

Généralement, la fonction à minimiser (maximiser) est donnée sous forme analytique, ce qui rend le calcul des dérivées relativement facile. Néanmoins, dans le cas des circuits micro-ondes, les fonctions qui caractérisent leurs performances sont généralement trop complexes pour que l'on puisse les développer analytiquement. Et même si ces fonctions pouvaient être déduites analytiquement, le calcul de leurs dérivées deviendrait rapidement trop ardu eu égard au nombre d'inconnues à considérer. Cet aspect nous amène à faire appel à des méthodes d'approximation du gradient et du hessien telles que la méthode des différences finies. Appliquée à chacun du gradient et le hessien, ces derniers auront pour expressions respectives :

$$(J_K)_j = \frac{f(X_K + h_K \cdot e_j) - f(X_K)}{h_K} \quad X_{K+1} = X_K - J_K^{-1} \cdot \nabla f(X_K) \quad (\text{III-4})$$

$$(H)_{ij} = \frac{[f(X_K + h_i e_i + h_j e_j) - f(X_K + h_i e_i)] - [f(X_K + h_j e_j) - f(X_K)]}{h_i h_j}$$

e_i et e_j sont les vecteurs composants de la base canonique pour tout $i, j \leq N$. Quelquefois, on est confronté au problème d'un hessien non défini positif (valeurs propres non positives). Dans ce cas, on a recours à une modification au niveau de l'algorithme présenté dont l'idée est d'augmenter chaque valeur propre du hessien d'une quantité μ de façon à rendre cette matrice définie positivement pour en déduire l'extremum :

$$H_K = \nabla^2 f(X_K) + \mu_K \cdot I$$

Avec :

$$\begin{cases} \mu_K = 0 & \text{si } \nabla^2 f(X_K) \text{ est définie positivement} \\ \mu_K > 0 & \text{tant que } H_K \text{ soit définie positivement} \end{cases}$$

Un algorithme explicite de cette méthode est donné à la figure (III-1) [121], [123], [124].

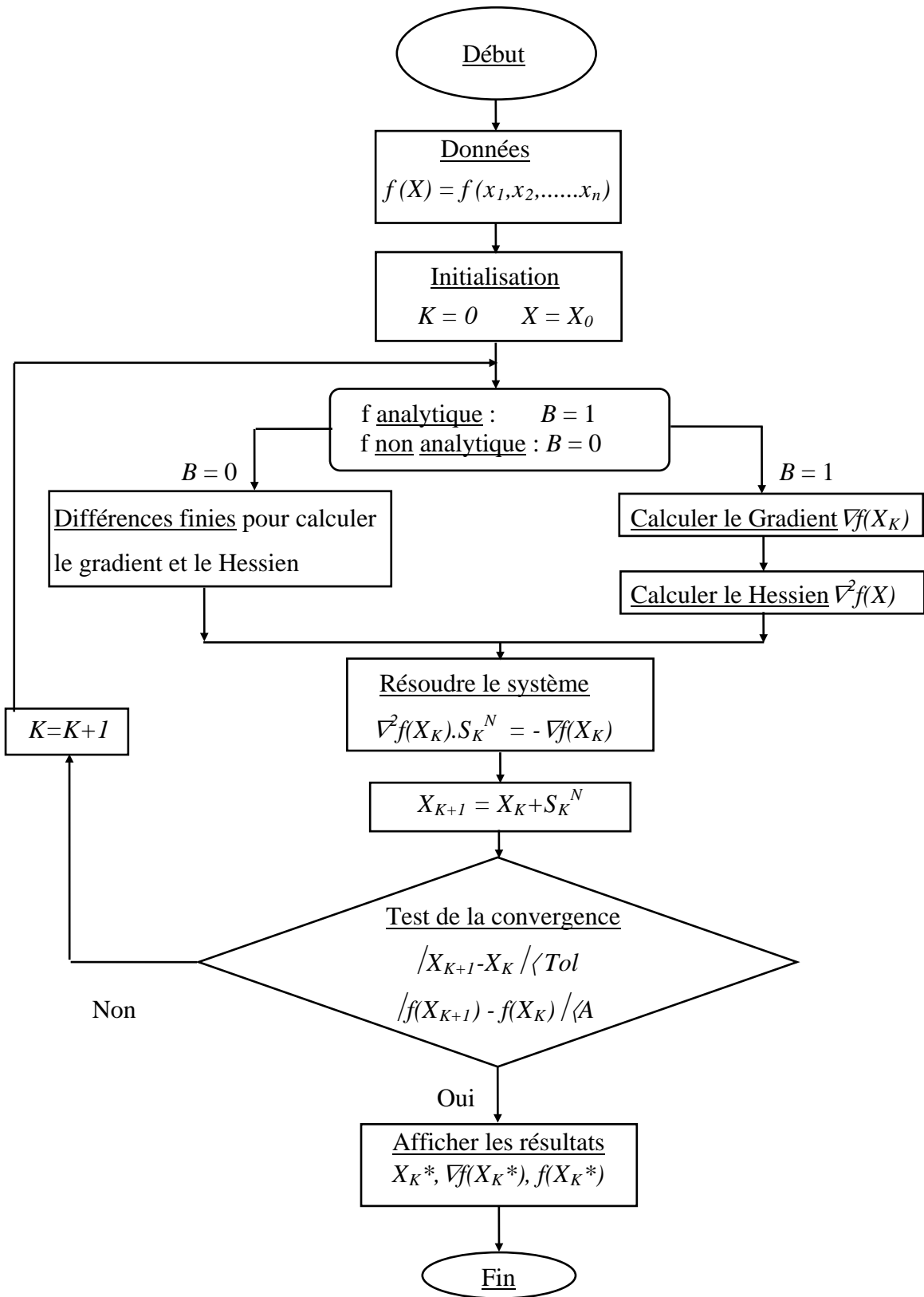


Fig. III-1: Organigramme de la méthode quasi-Newton

C) STRATÉGIE D'OPTIMISATION

L'approche usuelle consiste à inclure une boucle d'optimisation externe à la boucle d'analyse sans changer la topologie du circuit. Cette approche, si elle s'applique aisément aux circuits linéaires, ne peut l'être pour les circuits non linéaires où il est difficile d'indiquer *a priori* une topologie de circuit permettant après optimisation d'atteindre l'objectif exigé.

De plus, de par sa lourdeur, elle n'est utilisée en pratique que pour optimiser un petit nombre d'éléments à la fois. C'est donc vers l'optimisation des performances *intrinsèques* du composant essentiel du circuit, i.e. l'élément actif non linéaire, que s'orientent les recherches. Ainsi donc, nous n'optimiserons que les expressions du facteur de bruit et des distorsions dues au transistor lui même [122], [132].

De plus, comme la méthode quasi-Newton est basée sur le calcul des dérivées (gradient et hessien), leur détermination est une étape incontournable. Or, ces expressions sont trop complexes ou indisponibles pour être développées manuellement. Aussi, cette étape est souvent effectuée avec des *simplifications* ou *approximations* amenant souvent à des résultats non fiables ou à des valeurs de paramètres non physiques.

Enfin, le problème est sujet à des contraintes impliquant lors d'une résolution numérique un temps et un espace mémoire considérable sans pour autant gagner en précision : les dérivées sont sollicitées à chaque itération d'où des approximations successives qui s'additionnent et peuvent altérer la solution voire faire diverger le processus.

Pour pallier ces contraintes, nous avons développé une approche *analytique* se basant sur un logiciel de calcul formel [24],[133], en l'occurrence MAPLE [134]. Elle consiste à développer en programmation symbolique les équations à optimiser, puis, à déduire les relations *exactes* des dérivées partielles en fonction des différentes variables considérées (polarisation, impédances de charge, ...) et selon les contraintes posées par le concepteur. Ces équations complètes sont alors traduites en FORTRAN et leur résolution permet alors d'optimiser la fonction objectif (gain, coefficient de réflexion en entrée, ...).

En outre, la méthode d'optimisation doit s'appliquer aussi bien pour les circuits linéaires (faible bruit) que non linéaires (distorsions).

Aussi, partant du principe qu'un circuit linéaire est un cas particulier de circuit non linéaire, la démarche a été développée entièrement sous l'aspect non linéaire. Le but est donc de trouver une relation entre les portes d'entrée-sortie pour expliciter les paramètres d'un composant.

Or, en régime non linéaire, un transistor est assimilé à un réseau où chaque porte (k) correspond à la k ème harmonique du signal d'entrée (Fig. II-2) [18], [132]. Ainsi, pour un nombre N fini d'harmoniques, les relations tensions-courants peuvent s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{cases} I_{gsk} = f_{gk} (V_{gso}, \dots, V_{gsN}, V_{dso}, \dots, V_{dsN}) \\ I_{dsk} = f_{dk} (V_{gso}, \dots, V_{gsN}, V_{dso}, \dots, V_{dsN}) \end{cases} \quad (\text{III-5})$$

Cette écriture peut mettre en évidence une matrice admittance $[Y]$ reliant les coefficients des différentes harmoniques des tensions et courants :

$$\begin{bmatrix} I_{gso} \\ \vdots \\ I_{gsN} \\ I_{dso} \\ \vdots \\ I_{dsN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \vdots & & \\ & [Y_{11}] & \vdots & [Y_{12}] & \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots \\ & [Y_{21}] & \vdots & [Y_{22}] & \\ & & \vdots & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{gso} \\ \vdots \\ V_{gsN} \\ V_{dso} \\ \vdots \\ V_{dsN} \end{bmatrix} \quad (\text{III-6})$$

où l'indice "0" est ajouté pour tenir compte d'une éventuelle composante continue (notons que pour un élément linéaire le nombre d'harmonique $k = 0, 1$). De même, il est possible de déterminer une matrice admittance reliant les dérivées des courants et tensions :

$$\begin{bmatrix} \mathcal{A}_{gso} \\ \vdots \\ \mathcal{A}_{gsN} \\ \mathcal{A}_{dso} \\ \vdots \\ \mathcal{A}_{dsN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \vdots & & \\ & [\mathcal{Y}_{11}] & \vdots & [\mathcal{Y}_{12}] & \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots \\ & [\mathcal{Y}_{21}] & \vdots & [\mathcal{Y}_{22}] & \\ & & \vdots & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathcal{V}_{gso} \\ \vdots \\ \mathcal{V}_{gsN} \\ \mathcal{V}_{dso} \\ \vdots \\ \mathcal{V}_{dsN} \end{bmatrix} \quad (\text{III-7})$$

dont les éléments des sous matrices sont :

$$\partial Y_{11}(k,m) = \frac{\partial I_{gsk}}{\partial \mathcal{N}_{gsm}}$$

$$\partial Y_{12}(k,m) = \frac{\partial I_{gsk}}{\partial \mathcal{N}_{dsm}}$$

$$\partial Y_{21}(k,m) = \frac{\partial I_{dsk}}{\partial \mathcal{N}_{gsm}}$$

$$\partial Y_{22}(k,m) = \frac{\partial I_{dsk}}{\partial \mathcal{N}_{dsm}}$$

Le but est donc d'explicitier ces matrices afin de disposer de relations entre grandeurs d'entrée-sortie. Comme le calcul est fastidieux, tout le développement a été fait par calcul symbolique (à titre d'illustration, nous montrons en **annexe I** les développements des équations II-5 pour trois harmoniques).

Une autre raison a également motivé ce choix d'un processus automatisé de développement des équations. En effet, si pour le bruit les expressions sont relativement simples, ce n'est pas le cas pour les distorsions où la principale composante non linéaire, en l'occurrence le courant de drain I_d , doit être exprimée par deux termes séparés, contrôlés chacun par une seule tension afin de simplifier les calculs (équation II-29). Seulement, lors de la décomposition en séries, les termes croisés $V_g^p \cdot V_d^q$ sont souvent négligés. Or, s'ils sont rarement dominants, ils peuvent devenir significatifs [18] - [98]. Ces approximations, rendues inévitables lors d'un développement analytique manuel, pèsent souvent sur le résultat final car elles en atténuent la portée. Ce n'est pas le cas d'un développement analytique automatisé.

Le but est donc d'explicitier les coefficients G_{dk} , G_{mk} , G_{mdk} et G_{mkd} (équations II-28). Une fois l'étape d'écriture des équations donnant les paramètres des transistors achevée, il s'agit de valider les résultats obtenus. Nous avons alors calculé les paramètres de bruit et de distorsions de différents transistors.

REMARQUE IMPORTANTE :

Il est à noter que pour tous les résultats de paramètres de bruit ou de distorsions, les valeurs données en référence sont déterminées pour des impédances de fermetures égales à 50 Ω , tandis que nos calculs sont basés sur les valeurs optimales des impédances de source et de charge (déterminées à partir des valeurs optimales des courants et tensions des différentes portes considérées). Cette différence devrait donner des résultats relativement meilleurs que ceux obtenus par Caddemi *et al* ou Heymann *et al* [78] [135].

D) VALIDATION DES PARAMETRES DE BRUIT DES TRANSISTORS

Afin de valider le calcul des paramètres de bruit des transistors tels que le facteur de bruit minimal F_{min} et la résistance équivalente de bruit R_n , nous avons retenu différents transistors MESFET et HEMT dont nous avons comparé les valeurs données par la littérature technique avec nos résultats optimisés.

I- MESFET

1- MESFET-1

Le premier MESFET retenu a une longueur de grille $L = 0,5 \mu\text{m}$ et une largeur de grille $w = 160 \mu\text{m}$, $I_d/I_{dss}=0.4$ [135].

Les calculs ont été reportés par rapport à un transistor quasi-intrinsèque, les éléments parasites L_s , L_g et L_d ainsi que C_{pg} et C_{pd} ayant été supposés négligeables (tableau III-1).

Tableau III-1 : Valeur des éléments du schéma équivalent du MESFET-1.

R_g (Ω)	R_s (Ω)	R_d (Ω)	R_i (Ω)	g_d (mS)
0,8	2,1	0,1	11,0	2,3

C_{gd} (fF)	C_{gs} (fF)	C_{ds} (fF)	τ (ps)	g_{mo} (mS)
22,0	103,0	1,0	1,60	22,0

Le facteur de bruit minimum ainsi que la résistance équivalente de bruit sont comparés avec succès à ceux donnés par la référence [135] (fig. III-2 et III-3).

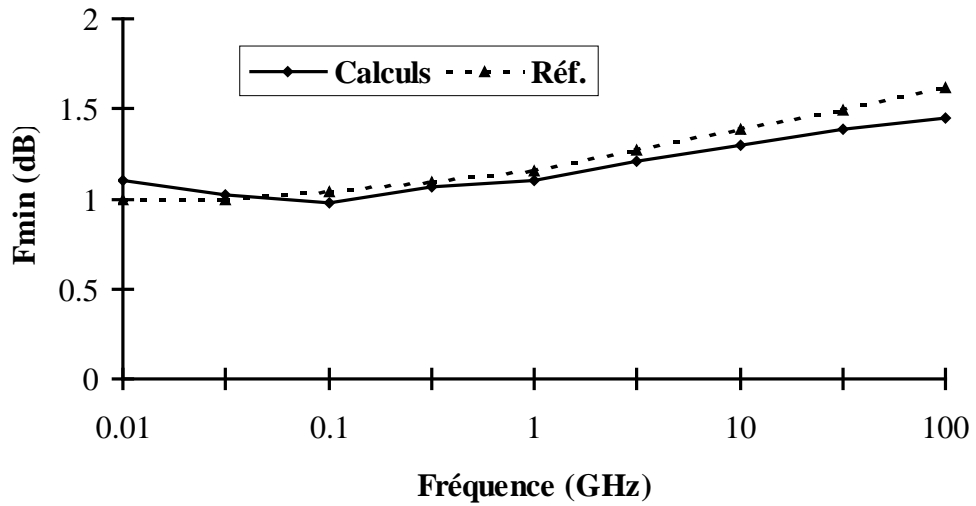


Fig. III-2 : Facteur de bruit minimal F_{min} du MESFET-1[135].

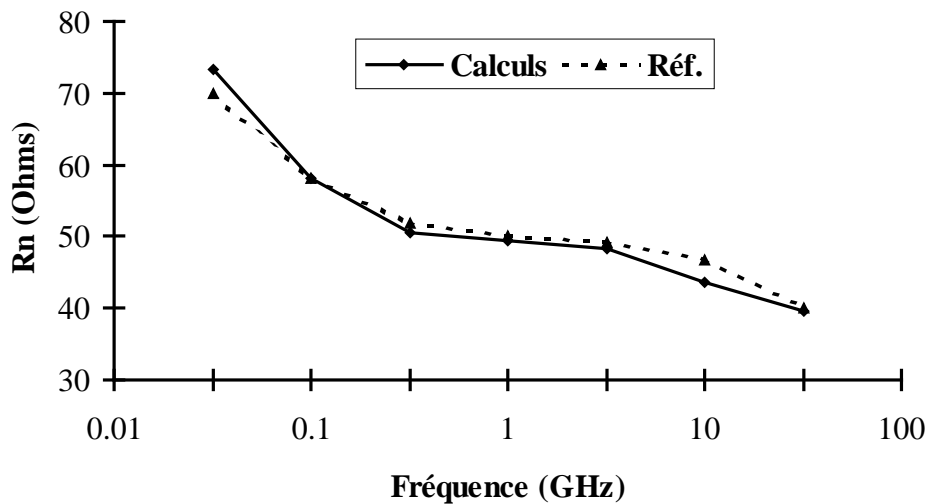


Fig. III-3 : Résistance équivalente de bruit R_n du MESFET-1[135].

II- HEMT

1- HEMT NE 32083A

Le premier transistor HEMT retenu est le NE 32083A de NEC. La valeur des éléments de son schéma équivalent petit signal sont résumées au tableau III-2 [78].

Tableau III-2 : Valeur des éléments du schéma équivalent du HEMT NE 32083A.

R_g (Ω)	R_s (Ω)	R_d (Ω)	R_i (Ω)	L_g (pH)	L_d (pH)	L_s (pH)	τ (ps)
4,0	3,0	3,0	7,0	600,0	700,0	60,0	2,5

C_{gd} (fF)	C_{gs} (fF)	C_{ds} (fF)	C_{pg} (fF)	C_{pd} (fF)	g_d (mS)	g_{mo} (mS)
15,0	240,0	10,0	130,0	150,0	2,8	45,0

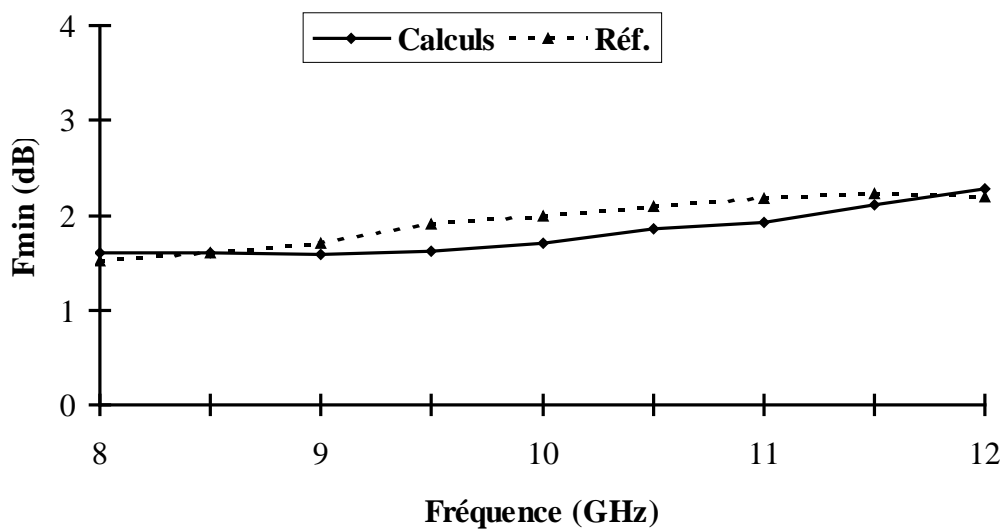


Fig. III-4 : Facteur de bruit minimal du HEMT NE 32083A[78].

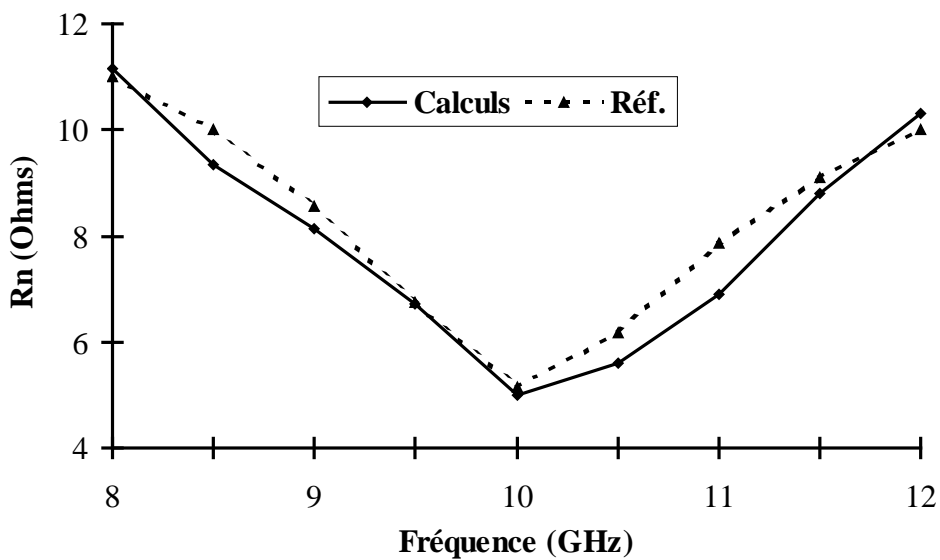


Fig. III-5 : Résistance équivalente de bruit du HEMT NE 32083A[78].

Nos résultats sont conformes à ceux donnés en [78] (fig. III-4 et III-5).

2- HEMT CFB001-03

Le second transistor HEMT étudié est un HEMT pseudomorphique (série CFB001-03 de Celeritek) dont les valeurs des éléments du schéma équivalent petit signal sont regroupées au tableau III-3 [78]. Le facteur de bruit minimum ainsi que la résistance de bruit sont comparés à ceux donnés par la référence [78] (Figures III-6 et III-7) et les résultats obtenus sont satisfaisants.

Tableau III-3 : Valeur des éléments du schéma équivalent du HEMT CFB001-03.

R_g (Ω)	R_s (Ω)	R_d (Ω)	R_i (Ω)	L_g (pH)	L_d (pH)	L_s (pH)	τ (ps)
2,3	1,1	1,5	1,4	470,0	490,0	30,0	2,1

C_{gd} (fF)	C_{gs} (fF)	C_{ds} (fF)	C_{pg} (fF)	C_{pd} (fF)	g_d (mS)	g_{mo} (mS)
23,0	230,0	70,0	13,0	60,0	5,5	66,0

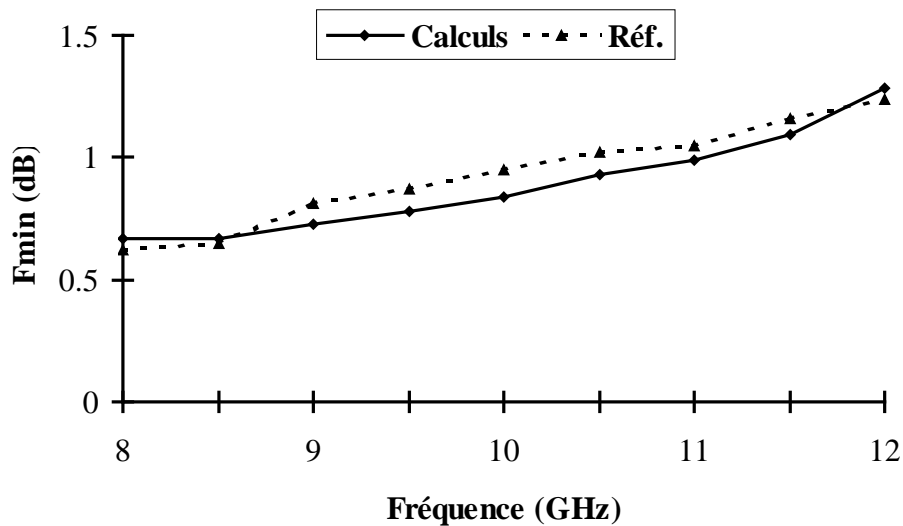


Fig. III-6 : Facteur de bruit minimal du HEMT CFB001-03 [78].

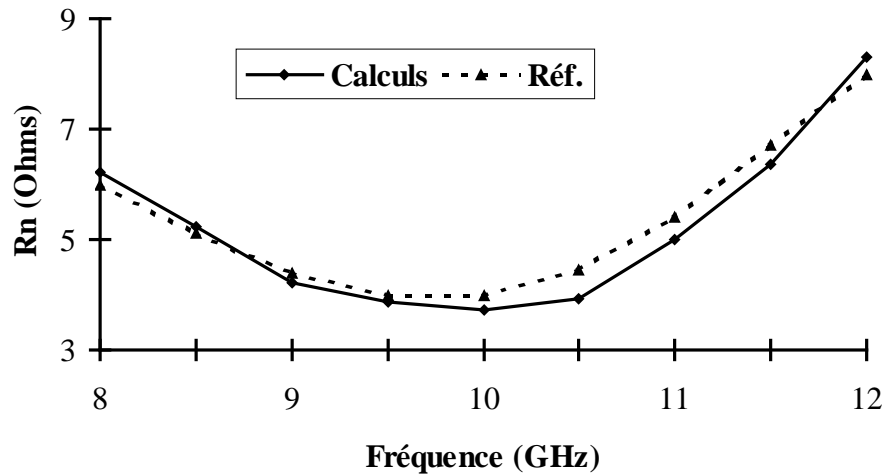


Fig. III-7 : Résistance équivalente de bruit du HEMT CFB001-03.

E) VALIDATION DES PARAMETRES DE DISTORSIONS DES TRANSISTORS

Pour le calcul des distorsions, le point le plus important est de déterminer les coefficients des équations II-28. Pour la validation de nos résultats, le transistor retenu est un MESFET (série NE 70083 de NEC) dont les éléments du schéma équivalent petit signal sont donnés au tableau III-4 [136].

Tableau III-4 : Valeur des éléments du schéma équivalent du MESFET NE 70083.

(avec $V_{ds} = 3V$, $0 \leq V_{gs} \leq -1.8V$)

R_g (Ω)	R_s (Ω)	R_d (Ω)	R_i (Ω)	L_g (pH)	L_d (pH)	L_s (pH)
2,6	3,4	2,0	5,3	470,0	530,0	220,0

C_{gd} (fF)	C_{gs} (fF)	C_{ds} (fF)	C_{pg} (fF)	C_{pd} (fF)	τ (ps)
60,0	400,0	60,0	250,0	300,0	0,2

C'est ainsi que les figures III-8, III-9 et III-10 montrent une bonne concordance entre les valeurs des coefficients obtenus par notre méthode [137] et celles données par Pedro *et al* [136].

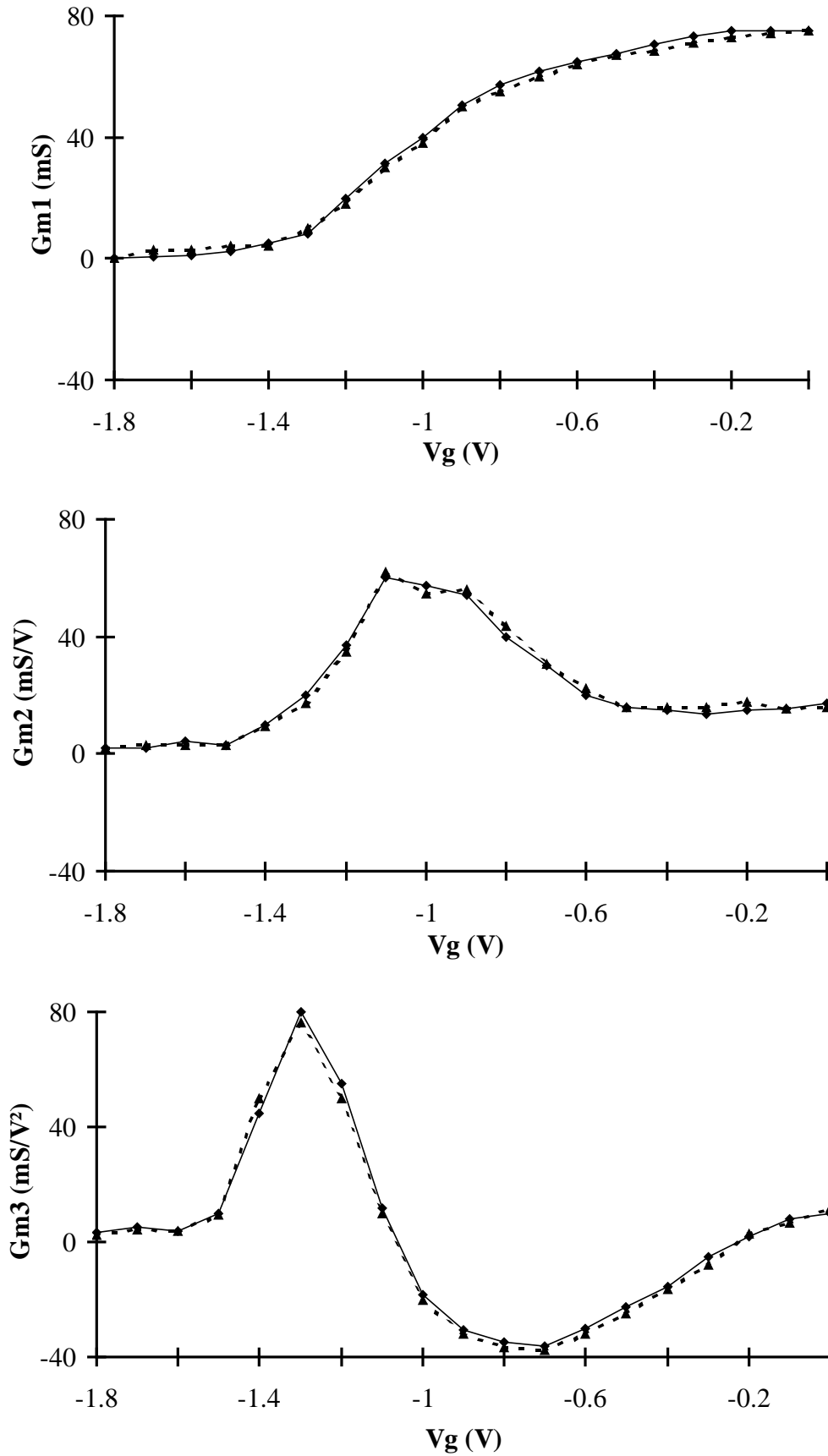


Fig. III-8 : Transistor MESFET NE 70083. Coefficients de V_g^m : G_{m1} , G_{m2} et G_{m3} : Comparaison entre nos calculs (—) et les valeurs publiées dans la littérature(----) [136].

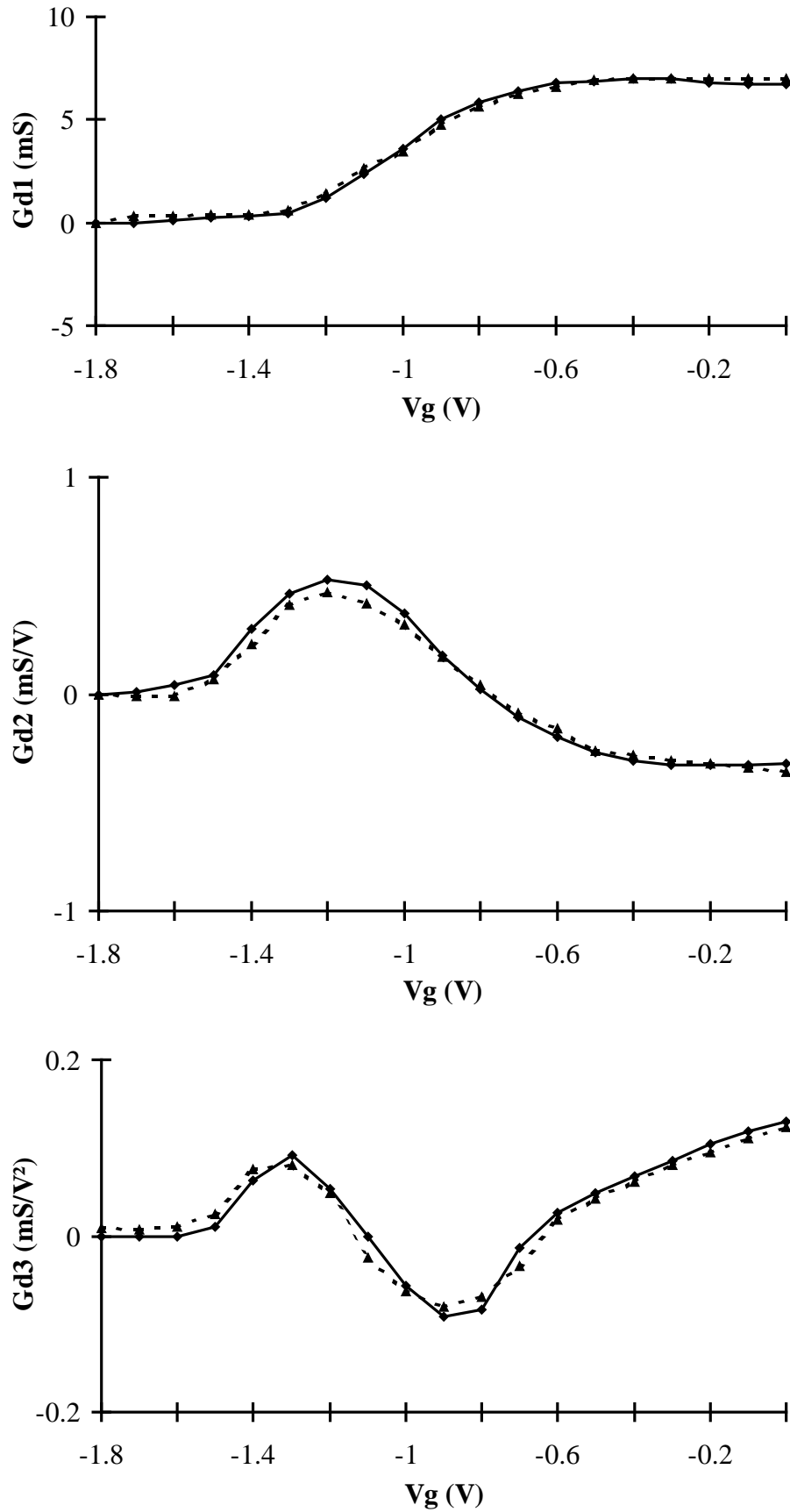


Fig. III-9 : Transistor MESFET NE 70083. Coefficients de V_d^m : G_{d1} , G_{d2} et G_{d3} : Comparaison entre nos calculs (—) et les valeurs publiées dans la littérature(----) [136].

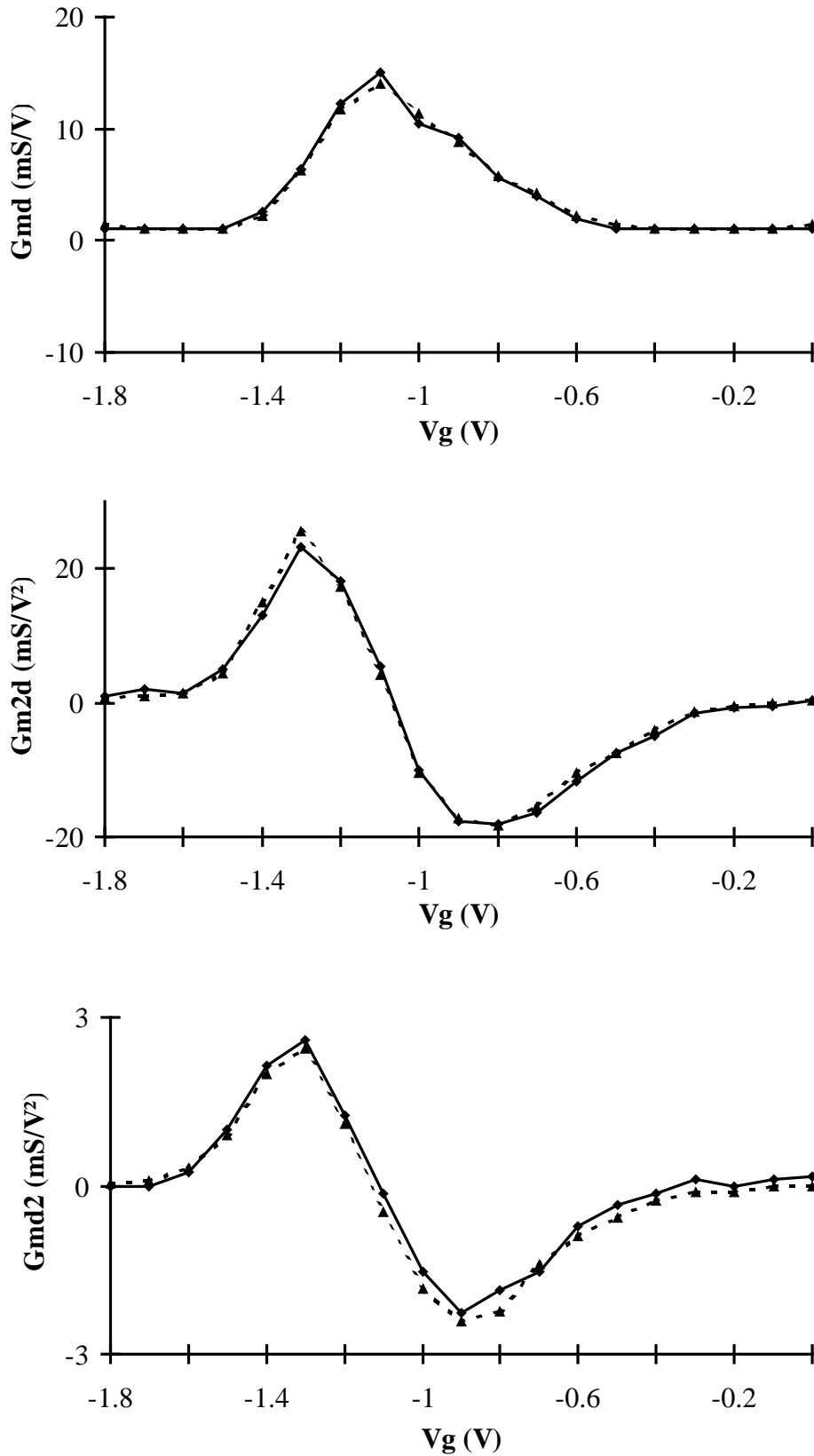


Fig. III-10 : Transistor MESFET NE 70083.

Coefficients croisés de $V_g^p \cdot V_d^q$: G_{md} , G_{m2d} et G_{md2} :

Comparaison entre nos calculs (—) et les valeurs publiées dans la littérature(----) [136].

F) CONCLUSION

Nous avons développé et validé notre méthode de calcul et d'optimisation du bruit et des effets d'intermodulation dans les transistors micro-ondes.

L'étape finale consistera à appliquer ces résultats à l'optimisation des performances de circuits micro-ondes.

CHAPITRE-IV-

Amplificateurs Micro-

Ondes

Une fois validée la méthode d'optimisation pour le calcul optimal des paramètres de bruit et de distorsions des transistors à effet de champ MESFETs et HEMTs, nous avons voulu insérer ces derniers dans des circuits de base en micro-ondes tels que les amplificateurs faible bruit et les amplificateurs de puissance afin d'en optimiser les performances.

A) GENERALITES

Par « circuit amplificateur » il est fait mention au circuit usuel où l'amplitude d'un signal est agrandie en passant de l'entrée d'un transistor (généralement la grille) à sa sortie (généralement le drain). L'élément actif de base d'un amplificateur micro-ondes est généralement un transistor bipolaire ou à effet de champ caractérisé par ses paramètres de dispersion S_{ij} :

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \qquad b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \qquad (\text{IV-1})$$

où a_i et b_i désignent respectivement l'onde incidente entrante et l'onde réfléchie sortante de la porte i correspondante [2],[10], [15],[16],[18],[24],[138]. Le transistor est excité par un générateur d'amplitude E et d'impédance interne Z_e et chargé par une impédance Z_s dont les coefficients de réflexion sont notés respectivement Γ_e et Γ_s (Fig. IV-1).

Pour toute conception d'amplificateur, les caractéristiques recherchées sont principalement une bonne adaptation et une stabilité parfaite alliées soit à un gain élevé (amplificateur de puissance) ou un facteur de bruit faible (amplificateur faible bruit)[10], [24].

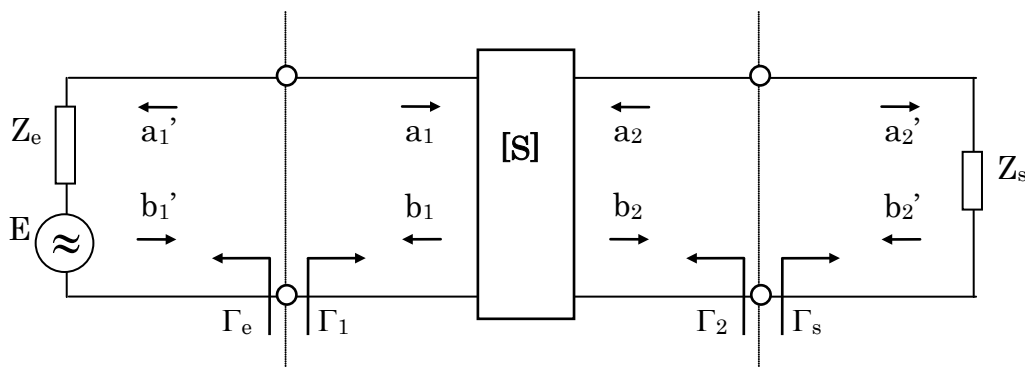


Fig. IV-1 : Schéma de principe d'un amplificateur.

Afin d'y parvenir, le choix des impédances de source Z_e et de charge Z_s sont essentielles. Aussi, concevoir un amplificateur revient à déterminer les coefficients de réflexion Γ_e et Γ_s adéquats donnant les performances recherchées.

I- STABILITÉ ET ADAPTATION D'UN AMPLIFICATEUR

Si stabiliser un amplificateur revient à le fermer par des impédances à partie réelle positive ($|\Gamma_e| < 1$ et $|\Gamma_s| < 1$), l'adapter consiste à réaliser d'une part un transfert maximal de puissance entre la source et le transistor et d'autre part entre le transistor et la charge.

Désignant par Γ_1 le coefficient de réflexion à l'entrée du transistor à sortie adaptée ($a_2 = 0$) et par Γ_2 le coefficient de réflexion à la sortie du transistor à entrée adaptée ($a_1 = 0$), ces deux conditions d'adaptation se traduisent comme suit [10] :

$$\Gamma_1 = \frac{b_1}{a_1} = \Gamma_e^* \qquad \Gamma_2 = \frac{b_2}{a_2} = \Gamma_s^* \qquad (\text{IV-2})$$

où le signe (*) correspond au complexe conjugué. Une manipulation algébrique entre les équations (IV-1) et (IV-2) donne [2],[10], [138] :

$$\Gamma_e = \left(S_{11} + \frac{\Gamma_s S_{12} S_{21}}{1 - \Gamma_s S_{22}} \right)^* \qquad \Gamma_s = \left(S_{22} + \frac{\Gamma_e S_{12} S_{21}}{1 - \Gamma_e S_{11}} \right)^* \qquad (\text{IV-3})$$

En combinant ces deux égalités, on obtient deux équations du second degré dont les solutions sont :

$$\Gamma_e = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} \qquad \Gamma_s = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2} \qquad (\text{IV-4})$$

avec :

$$\begin{aligned} B_1 &= 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 & C_1 &= S_{11} - \Delta S_{22}^* \\ B_2 &= 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 & C_2 &= S_{22} - \Delta S_{11}^* \end{aligned}$$

et où Δ est le déterminant de la matrice $[S]$.

En notant que ces expressions sont invariantes dans l'échange des indices 1 et 2, nous pouvons les réécrire sous une même forme :

$$B_1^2 - 4|C_1|^2 = B_2^2 - 4|C_2|^2 = 4(K^2 - 1)|S_{12}S_{21}|^2$$

qui fait apparaître un facteur K égal à [10], [139] :

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}||S_{21}|} \quad (\text{IV-5})$$

Cette forme montre que la possibilité d'une adaptation simultanée à l'entrée et à la sortie dépend de la valeur de K .

a) $\underline{K} \equiv \underline{1}$: ce cas n'est pas pratique puisque nous avons : $|\Gamma_e| = |\Gamma_s| = 1$

b) $\underline{K} \geq \underline{1}$: explicitons les deux solutions de Γ_e et Γ_s :

$$\begin{aligned} \Gamma_e' &= \frac{B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} & ; & & \Gamma_e'' &= \frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} \\ \Gamma_s' &= \frac{B_2 - \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2} & ; & & \Gamma_s'' &= \frac{B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2} \end{aligned}$$

en remarquant que le produit de leurs modules est égal à l'unité :

$$|\Gamma_e'| \cdot |\Gamma_e''| = 1 \quad |\Gamma_s'| \cdot |\Gamma_s''| = 1$$

on en déduit qu'une des deux solutions de Γ_e et Γ_s aura un module inférieur à l'unité. Il est donc toujours possible d'adapter simultanément l'entrée et la sortie du transistor tout en le maintenant stable.

Pour expliciter laquelle des solutions est à retenir, considérons la valeur de Δ :

- * $|\Delta| < 1$: le couple de solution à retenir est $\{ \Gamma_e', \Gamma_s' \}$.
- * $|\Delta| > 1$: le couple de solution à retenir est $\{ \Gamma_e'', \Gamma_s'' \}$.

- c) $\underline{K} \leq -\underline{1}$: pour cette valeur du coefficient K , le couple de solutions possibles est $\{ \Gamma_e', \Gamma_s'' \}$ ou $\{ \Gamma_e'', \Gamma_s' \}$. Dans ce cas, non seulement l'adaptation simultanée n'est pas possible, mais de plus, l'amplificateur est instable car on associe une racine de module supérieur à l'unité à une racine de module inférieur à l'unité.
- d) $-\underline{1} \leq \underline{K} \leq \underline{1}$: l'adaptation simultanée est impossible et l'amplificateur est dit conditionnellement stable car seules certaines valeurs de Γ_e et Γ_s sont possibles pour éviter une instabilité de l'amplificateur. Dans ce cas, il est nécessaire de délimiter les régions dans lesquelles il faut choisir les impédances de fermeture assurant la stabilité. Reportées sur le repère des coefficients de réflexion (abaque de Smith), ces régions sont en fait des cercles dits « cercles de stabilité ». Ainsi, le lieu des valeurs de Γ_s donnant la valeur critique $\{ |\Gamma_s| = 1 \}$ est un cercle dans le plan complexe dont les paramètres sont le centre Ω_2 et le rayon R_2 donnés par :

$$\Omega_2 = \frac{(S_{22} - \Delta S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \quad R_2 = \frac{|S_{12} \cdot S_{21}|}{\left| |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \right|} \quad (\text{IV-6})$$

De même pour Γ_e :

$$\Omega_1 = \frac{(S_{11} - \Delta S_{22}^*)^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \quad R_1 = \frac{|S_{12} \cdot S_{21}|}{\left| |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \right|} \quad (\text{IV-7})$$

Comme généralement les paramètres S_{ii} ont un module inférieur à l'unité, le domaine délimité par le cercle $\{ \Omega_i, R_i \}$ qui ne contient pas le centre de l'abaque de Smith correspond à des valeurs engendrant l'instabilité. Cependant ces régions ne donnent qu'une indication sommaire sur le choix des fermetures. Pour mieux cerner ces valeurs, il faut donner des indications supplémentaires sur les performances recherchées. C'est ainsi qu'un choix de gain et de facteur de bruit va permettre de déterminer exactement les impédances Z_e et Z_s .

II- CONCEPTION D'UN AMPLIFICATEUR FAIBLE BRUIT

Le facteur de bruit F d'un amplificateur est associé à l'impédance de source et est, de ce fait, fonction de Γ_e et du transistor utilisé.

Ainsi, pour un transistor présentant un facteur de bruit minimal F_{min} , le facteur de bruit désiré est égal à [2], [10], [73] :

$$F = F_{min} + 4 \frac{R_n}{Z_o} \frac{|\Gamma_e - \Gamma_{opt}|^2}{|1 + \Gamma_{opt}|^2 (1 - |\Gamma_e|^2)} \quad (\text{IV-8})$$

où : Γ_{opt} est le coefficient de réflexion Γ_e de la source correspondant à $F = F_{min}$ et Z_o l'impédance caractéristique (généralement 50 Ω). Comme pour le gain, le principe est de trouver la valeur Γ_e qui donne le facteur de bruit désiré. En posant :

$$N = \frac{|\Gamma_e - \Gamma_{opt}|^2}{1 - |\Gamma_e|^2} = \frac{F - F_{min}}{4} \frac{Z_o}{R_n} |1 + \Gamma_{min}|^2 \quad (\text{IV-9})$$

on montre que le lieu de Γ_e donnant un facteur de bruit F constant est un cercle dit « cercle à facteur de bruit constant » de rayon R_n et de centre Ω_n :

$$R_n = \frac{\sqrt{N^2 + N(1 - |\Gamma_{min}|^2)}}{1 + N} \quad C_n = \frac{\Gamma_{min}}{1 + N} \quad (\text{IV-10})$$

De même que pour le gain, la valeur de Γ_e retenue permet d'en déduire celle de Γ_s :

$$\Gamma_s = \left(\frac{S_{22} - \Delta \Gamma_e}{1 - \Gamma_e S_{11}} \right)^* \quad (\text{IV-11})$$

ces deux valeurs de coefficients de réflexion étant bien évidemment retenues ou rejetées en fonction des conditions de stabilité.

III- CONCEPTION D'UN AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE

Le gain en puissance G_p d'un amplificateur indépendant de la source Z_e . Il est défini comme le rapport de la puissance délivrée à la charge sur la puissance d'entrée [2], [139] :

$$G_p = \frac{|b_I|^2}{|a_I|^2 - |b_I|^2} \quad (\text{IV-12})$$

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE-V-

Oscillateurs Micro-

Ondes

Après l'étude des amplificateurs, nous avons retenu les oscillateurs. Le choix de tels circuits est motivé par le fait que ce sont des circuits très utilisés en micro-ondes aussi bien en génération de signaux faible bruit qu'en signaux riches en harmoniques pour les oscillateurs travaillant à la deuxième ou troisième harmonique. Ces derniers sont en effet irremplaçables lorsque l'on désire une fréquence de sortie très élevée avec un coût relativement acceptable.

A) GENERALITES

Les oscillateurs produisent un signal en sortie en l'absence de signal d'entrée. En fait, l'oscillation doit être amorcée par le bruit provenant du circuit de polarisation puis être entretenue de manière continue. Ce sont les conditions d'amorçage et d'entretien auxquelles doit satisfaire un oscillateur pour produire des oscillations durables. Une fois ces conditions remplies, il pourra être conçu de manière à délivrer le maximum de ses performances [2],[15] [16],[24],[139]-[144].

I- CONDITION D'AMORÇAGE OU D'OSCILLATION

L'approche de Kurokawa est habituellement citée comme base de conception des oscillateurs [145]. Dans cette étude, le circuit fait intervenir un dipôle d'impédance à partie réelle négative obtenue soit par un composant à résistance négative (diode) soit par un quadripôle à réaction (transistor) [143],[145]-[153]. Un oscillateur est donc un dipôle d'impédance Z_{NL} en série avec une impédance Z_{LL} symbolisant le circuit de charge constitué de la charge Z_L et du réseau externe (Fig. V-1). Si le courant qui le parcourt est sinusoïdal $\{ i(t) = I_o \cos(\omega_o t) \}$, nous obtenons :

$$[Z_{LL}(\omega_o) + Z_{NL}(I_o, \omega_o)] I_o = 0 \quad (\text{V-1})$$

En posant :

$$Z_T = Z_{LL}(\omega_o) + Z_{NL}(I_o, \omega_o) = R_T + jX_T \quad (\text{V-2})$$

nous en déduisons pour un courant non nul :

$$R_T(I_o, \omega_o) = 0 \quad \text{et} \quad X_T(I_o, \omega_o) = 0 \quad (V-3)$$

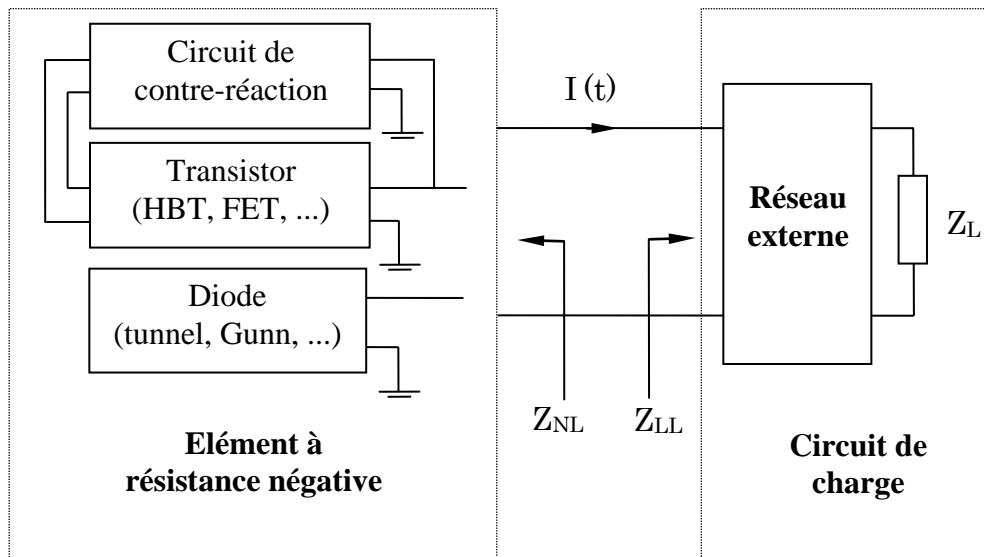


Fig. V-1 : Schéma de principe d'un oscillateur.

Comme le circuit de charge a une partie réelle positive, celle de Z_{NL} doit être négative. Cette condition, appelée condition d'oscillation peut être également énoncée en introduisant les coefficients de réflexion Γ_{NL} et Γ_{LL} de Z_{NL} et Z_{LL} respectivement (Fig. V-2) :

$$R_{NL} = -R_{LL} \quad \text{et} \quad j(X_{NL} + X_{LL}) = 0 \quad \Rightarrow \quad \Gamma_{NL} \cdot \Gamma_{LL} = 1 \quad (V-4)$$

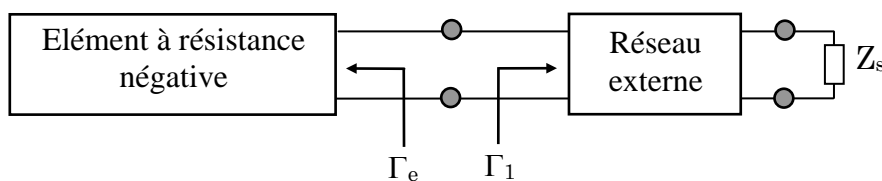


Fig. V-2 : Circuit équivalent pour la condition d'oscillation.

II- CONDITIONS D'ENTRETIEN DE L'OSCILLATION OU DE STABILITÉ

Une fois le signal amorcé, il s'agit d'entretenir les oscillations. La stabilité d'un oscillateur est analysée autour de l'amplitude I_o du courant sinusoïdal et de la pulsation complexe $\{ p = j \omega_o \}$ en leur appliquant une petite perturbation.

En développant l'impédance Z_T en série de Taylor au premier ordre autour du point (I_o, ω_o) nous aurons [143], [145], [148] :

$$Z_T \Rightarrow Z_T(I_o, \omega_o) + \frac{\partial Z_T}{\partial p} \partial p + \frac{\partial Z_T}{\partial I} \partial I_o \quad (\text{V-5})$$

Puisque Z_T doit être nul, alors en décomposant ∂Z_T en parties réelle et imaginaire, l'oscillateur sera stable s'il est possible de montrer que :

$$\frac{\partial R_T}{\partial I} \frac{\partial X_T}{\partial \omega} - \frac{\partial X_T}{\partial I} \frac{\partial R_T}{\partial \omega} > 0 \quad (\text{V-6})$$

qui n'est autre que la condition de stabilité de l'oscillateur autour du point $(I_o, j \omega_o)$.

B) ETUDE DES OSCILLATEURS

Les oscillateurs à diodes (IMPATT, RTD, Gunn [146], [148], [154]-[159]) ou à transistors (MESFET et HEMT [142], [16], [2], [153], [160] - [167]) sont classés selon leur fonction :

- Les oscillateurs à fréquence fixe délivrant un signal à grande pureté spectrale obtenu grâce à l'insertion de résonateurs diélectriques. Ils sont utilisés comme étalons de fréquence, excitateurs d'antennes, circuits de pompe pour mélangeurs,
- Les oscillateurs à harmoniques dont le signal de sortie est une des harmoniques de la fréquence d'oscillation. Ils trouvent leur utilité dans la génération de signaux aux fréquences millimétriques et sub-millimétriques.
- Les oscillateurs accordables ou VCO. Parmi ces derniers, il faut distinguer les oscillateurs accordables par YIG et ceux par varactors qui sont plus légers.
- Les oscillateurs à boucle d'injection qui délivrent une forte puissance stable sur une bande étroite. Un signal est injecté à un oscillateur via un circulateur pour l'isoler du signal de sortie (techniques de verrouillage).

Il existe de nombreux oscillateurs à diodes (Gunn principalement), néanmoins, l'émergence des transistors a amené les chercheurs à n'étudier les oscillateurs à diodes que comme un cas particulier des oscillateurs à transistors [142], [145].

Les oscillateurs micro-ondes peuvent être réalisés avec différents transistors. Ainsi, du fait de leur grand rendement et leur faible bruit de phase, les transistors MESFET sont utilisés en bande centimétrique puis les transistors pHEMT au-delà de la centaine de gigahertz [172] - [176]. Le but de l'analyse des oscillateurs est de trouver les tensions et courants aux bornes du transistor donnant la puissance optimale [24], [148]. Dans cette optique, la topologie du réseau externe autour du transistor peut se ramener à deux configurations de base que sont la configuration parallèle ou "Pi" (Fig. V-3-a) et la configuration série ou "Té" (Fig. V-3-b) [2], [177].

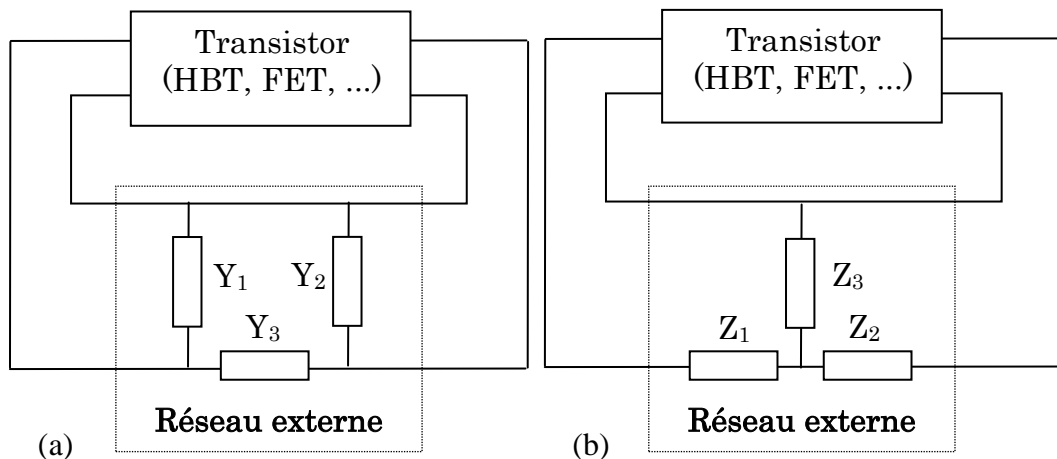


Fig. V-3 : Différentes topologies d'oscillateur

(a) réseau en "Pi".

(b) réseau en "Té".

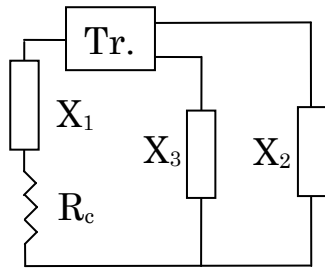
Ainsi, la configuration de l'oscillateur fait ressortir trois impédances inconnues :

$$\{ Z_1, Z_2, Z_3 \} \quad \text{ou} \quad \{ Y_1, Y_2, Y_3 \}$$

notées " $R_i + jX_i$ " (" $G_i + jB_i$ ") et représentant deux impédances réactives pures et une impédance complexe dont la partie réelle correspond à la charge R_c de l'oscillateur [2], [177].

Les figures V-4 et V-5 donnent les valeurs optimales des impédances des réseaux

respectifs en "Pi" et en "Té" pour les trois configurations possibles (position de la charge par rapport aux trois impédances).

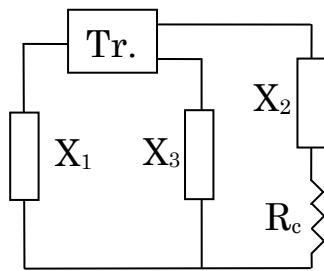


$$G_c = C_1 + A_r C_3 + A_i C_4$$

$$B_1 = C_2 + (1 - A_r)(C_4 + C_3 A_r / A_i)$$

$$B_2 = C_3 (A_r - 1) / A_i + C_4$$

$$B_3 = -C_3 A_r / A_i - C_4$$

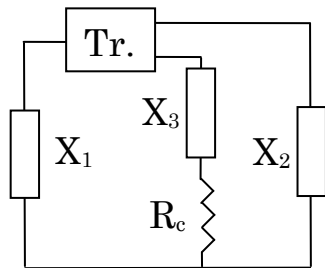


$$G_c = (C_1 + A_r C_3 + A_i C_4) / |A|^2$$

$$B_1 = C_1 (A_r - 1) / A_i + C_2$$

$$B_2 = (C_1 (A_r - |A|^2) / A_i + A_r C_4 - A_i C_3) / |A|^2$$

$$B_3 = C_r / A_i$$



$$G_c = (C_1 + A_r C_3 + A_i C_4) / |A - 1|^2$$

$$B_1 = (C_1 + C_3) A_r / A_i + C_2 + C_4$$

$$B_2 = -(C_1 + C_3) / A_i$$

$$B_3 = (C_1 - (1 - A_r) G_c) / A_i$$

avec :

$$C_1 = -\text{Re}(Y_{11} + A Y_{12})$$

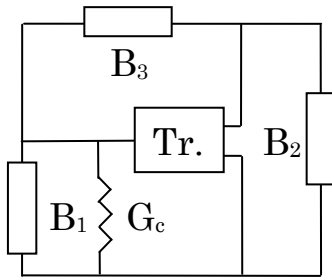
$$C_2 = -\text{Im}(Y_{11} + A Y_{12})$$

$$C_3 = -\text{Re}(Y_{21} + A Y_{22})$$

$$C_4 = -\text{Im}(Y_{21} + A Y_{22})$$

$$A = A_r + j A_i = -(Y_{21} + Y_{12}^*) / 2 \text{Re}(Y_{22})$$

Fig. V-4 : Configurations d'oscillateurs en "Pi" et relations optimales des éléments du réseau externe (Tr. = Transistor).

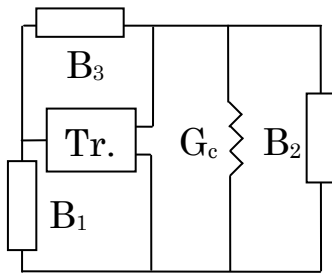


$$R_c = D_1 + F_r D_3 + F_i D_4$$

$$X_1 = D_2 - (1 + F_r)(D_4 + D_3 F_r / F_i)$$

$$X_2 = -D_3(1 + F_r) / F_i - D_4$$

$$X_3 = D_3 F_r / F_i + D_4$$

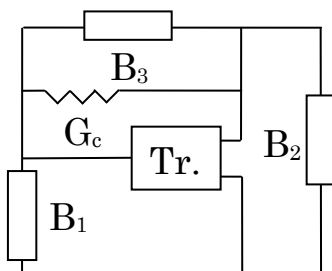


$$R_c = (D_1 + F_r D_3 + F_i D_4) / |F|^2$$

$$X_1 = D_1(1 + F_r) / F_i + D_2$$

$$X_2 = (D_1(F_r + |F|^2) / F_i + F_r D_4 - F_i D_3) / |F|^2$$

$$X_3 = -D_1 / F_i$$



$$R_c = (D_1 + F_r D_3 + F_i D_4) / |1 + F|^2$$

$$X_1 = (D_1 - D_3)F_r / F_i + D_2 - D_4$$

$$X_2 = (D_1 - D_3) / F_i$$

$$X_3 = \frac{((1 + F_r)(D_4 - (D_1 - D_3)F_r / F_i) - F_i D_1)}{|1 + F|^2}$$

avec :

$$D_1 = -\text{Re}(Z_{11} + F Z_{12}) \quad D_2 = -\text{Im}(Z_{11} + F Z_{12})$$

$$D_3 = -\text{Re}(Z_{21} + F Z_{22}) \quad D_4 = -\text{Im}(Z_{21} + F Z_{22})$$

$$F = F_r + j F_i = (Z_{21} - A Z_{11}) / (A Z_{12} - Z_{22})$$

Fig. V-5 : Configurations d'oscillateurs en "Té" et relations optimales des éléments du réseau externe (Tr. = Transistor).

C) OPTIMISATION DES OSCILLATEURS

I- OSCILLATEUR FAIBLE BRUIT

Nous avons retenu un oscillateur faible bruit donné en référence [178] (fig. V-6). Dans le cas d'un tel oscillateur, le paramètre le plus important est le bruit de phase. Pour le définir, considérons l'équation d'état de l'oscillateur à transistor [11], [174] :

$$\dot{x} = f(x) + G(x) \cdot \xi + \sum_m g^m(x) \cdot y_m \quad (\text{V-7})$$

où le vecteur x représente les variables d'état du système, ξ les différentes sources de bruit blanc, et y_m les sources de bruits $1/f^\alpha$. La matrice $G(x)$ est, quant à elle, donnée par :

$$G_{ij} = \left. \frac{\partial f_{ik}(x, \xi, y_1, \dots, y_m)}{\partial \xi_j} \right|_{\substack{\xi = 0 \\ y_1 = \dots = y_m = 0}} \quad (\text{V-8})$$

et le vecteur $g^m(x)$ par :

$$g_i^m = \left. \frac{\partial f_i(x, \xi, y_1, \dots, y_m)}{\partial y_m} \right|_{\substack{\xi = 0 \\ y_1 = \dots = y_m = 0}} \quad (\text{V-9})$$

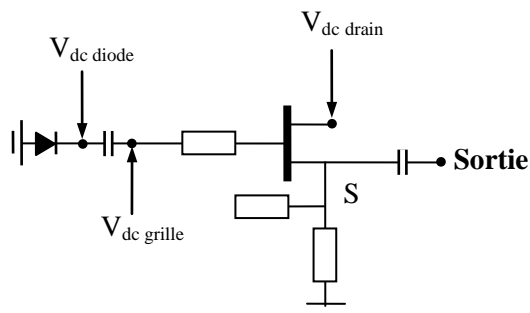


Fig. V-6 : Schéma de l'oscillateur donné en référence [45].

Les sources de bruit $1/f^\alpha$ sont caractérisées par le spectre d'autocorrélation :

$$C_{yy}^m = \frac{C_m(V_{gs}, V_{ds})}{|2\pi f_m/f_o|^{\alpha_m}} \quad (\text{V-10})$$

où $C_m(V_{gs}, V_{ds})$ est la densité spectrale du bruit pour la basse fréquence f_o du transistor. Le bruit de phase est donné alors par :

$$L(f_m) = \frac{\Delta f_{3dB}}{\pi f_m^2} + \frac{c \cdot \omega_0^2 \cdot |g_{10}|^2}{(2\pi f_m)^{2+\alpha_m}} \quad (\text{V-11})$$

Δf_{3dB} étant la bande passante à 3dB.

L'oscillateur a été simulé par rapport à nos impédances adaptées et ce, à 100 kHz par rapport à la porteuse. Nous remarquons que les valeurs de bruit de phase données par la référence sont conformes à celles obtenues par notre méthode avec nos valeurs optimales d'impédances (Fig. V-7) [180].

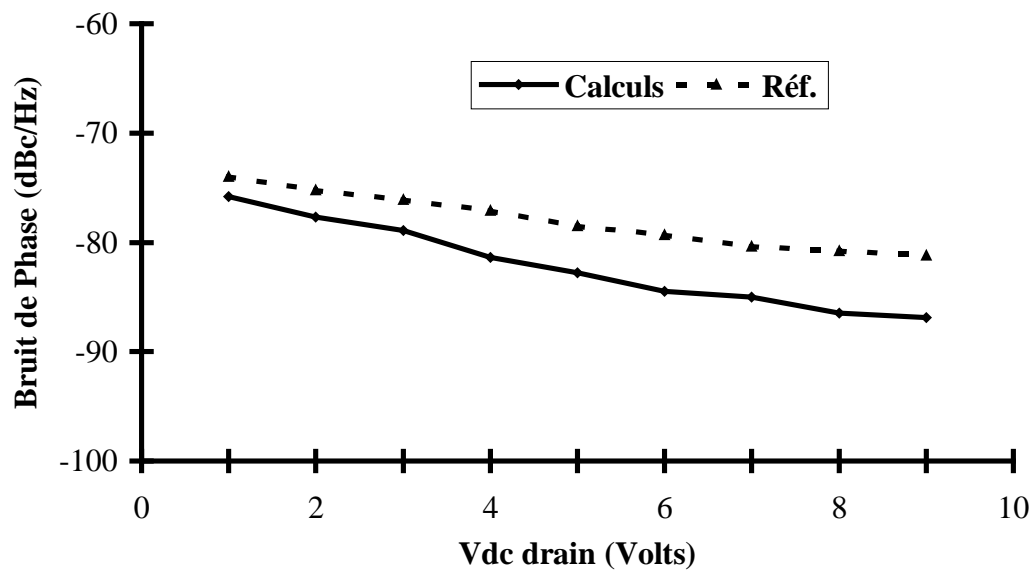


Fig. V-7 : Bruit de phase de l'oscillateur faible bruit.

II- OSCILLATEUR A GRANDE PURETE SPECTRALE

La méthode a été également appliquée aux oscillateurs à transistors donnant une grande pureté spectrale. Le circuit retenu est celui suggéré par Johnson [177] et Madjar [181] (Fig. V-8).

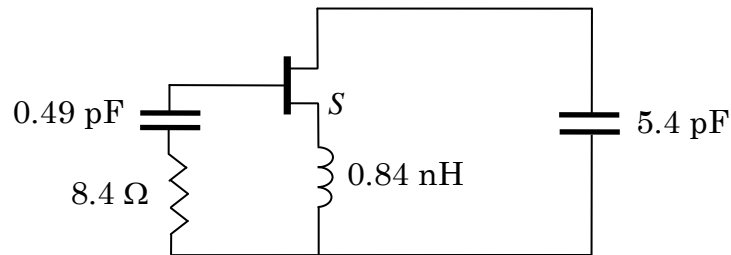


Fig. V-8 : Schéma de l'oscillateur donné par A. MADJAR référence [181].

Comme pour l'oscillateur à faible bruit, les résultats obtenus montrent une bonne concordance avec ceux de la référence, aussi bien en ce qui concerne la puissance de sortie (Fig. V-9) que le spectre qui montre bien une bonne pureté du signal de sortie (Fig. V-10).

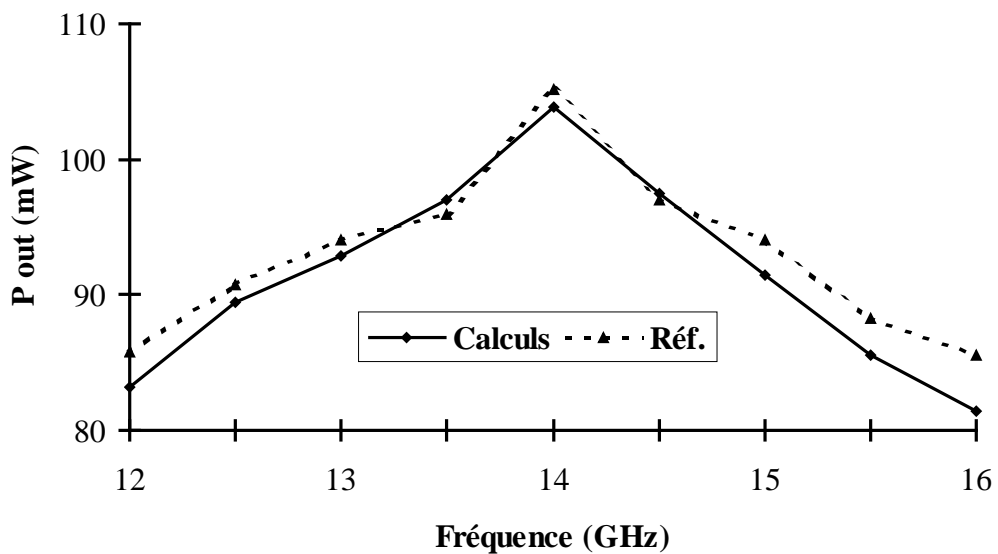


Fig. V-9 : Puissance de sortie de l'oscillateur donné par A. MADJAR référence [181].

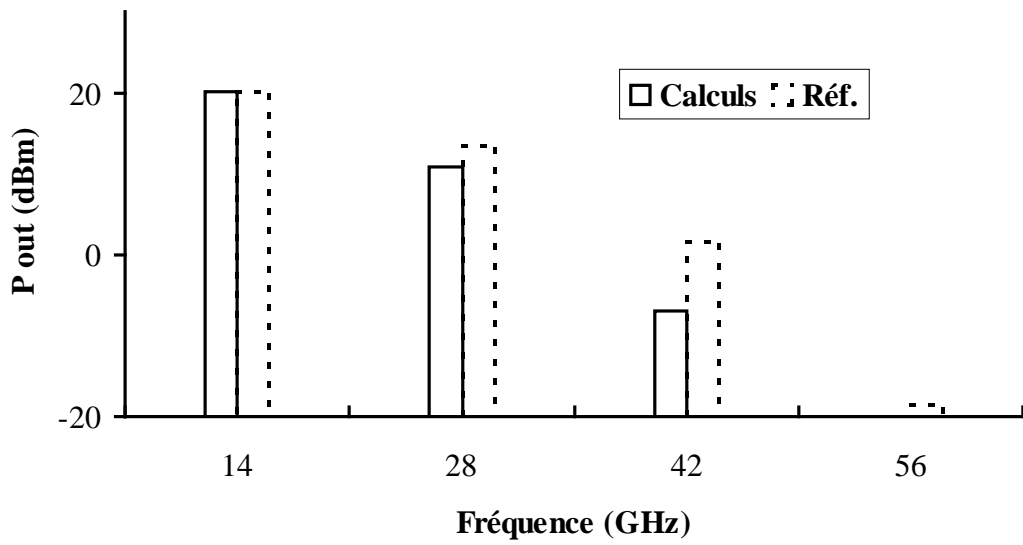


Fig. V-10 : Spectre du signal de sortie de l'oscillateur donné par Madjar [181].

D) CONCLUSION

L'optimisation des performances d'oscillateurs micro-ondes a été menée avec succès. Le dernier type de circuits que l'on doit simuler concerne les mélangeurs. De par la présence de deux signaux d'excitation en entrée, ils sont le siège de distorsions que l'utilisateur doit minimiser.

CHAPITRE-VI- Mélangeurs Micro- Ondes

Les mélangeurs étant des circuits à deux fréquences d'entrée, dont l'un à amplitude élevée, leur optimisation tant du point de vue bruit que distorsions est d'actualité.

A) GENERALITES

Le mélange ou conversion de fréquence consiste à transposer un signal incident RF de fréquence f_n en un signal de fréquence désirée f_o à l'aide d'un oscillateur local OL ou pompe de fréquence f_p [2],[24],[182]-[187]. Généralement, la fréquence f_o est dite fréquence intermédiaire FI. Etant une combinaison des fréquences f_n et f_p , elle s'écrit sous la forme :

$$f_o = \pm m f_n \pm n f_p \quad m, n = 0, 1, \dots \quad (\text{VI-1})$$

Le signal d'entrée étant en général faible, c'est le fort signal de pompe qui assure un fonctionnement grand signal. Suivant la notation préconisée par Saleh [188], la pulsation du signal d'entrée est alors liée aux pulsations des signaux de sortie et de pompe par la relation :

$$\omega_n = \omega_o + n \omega_p \quad n = 0, \pm 1, \dots \quad (\text{VI-2})$$

I- CARACTÉRISTIQUES DES MÉLANGEURS

1- Rapport de conversion

Le rapport entre la puissance RF d'entrée et celle FI de sortie exprime le transfert de puissance du mélangeur. Dans le cas d'une diode, ce rapport, inférieur à l'unité, est appelé pertes de conversion. Par contre, ce rapport peut être supérieur à l'unité lorsqu'il s'agit de transistor. On parle alors de gain de conversion [2], [18].

2- Point d'interception d'intermodulation

L'ordre d'un produit d'intermodulation est défini comme étant la somme $\{ n + m \}$ des nombres entiers utilisés dans l'équation (VI-1). La plus significative est la distorsion du 3ème ordre qui décrit le degré de non-linéarité du rapport de conversion.

II- COMPARAISON ENTRE MELANGEURS

Si les mélangeurs à diodes présentent des pertes de conversion, les mélangeurs à transistor peuvent avoir un rapport de conversion supérieur à l'unité et des niveaux de pompe plus faibles. De plus, les mélangeurs à diodes génèrent automatiquement des distorsions à cause de la forme exponentielle de la courbe courant-tension, tandis que les mélangeurs à transistors non polarisés montrent, du fait de la symétrie des courbes autour de l'origine, une bonne linéarité. Enfin, si dans les mélangeurs à diodes, il faut minimiser les pertes de conversion, dans les mélangeurs à transistors, un gain relativement élevé est facile à obtenir mais sans garanti que le facteur de bruit soit bon. Néanmoins, ce problème peut être atténué par un préamplificateur faible bruit. La configuration la plus utilisée est le mélange sur la grille basé sur un courant de drain à la saturation [2], [18], [189] – [196].

B) ANALYSE DES MÉLANGEURS

Contrairement aux circuits à une seule excitation, l'analyse des mélangeurs se scinde en deux étapes. La première, appelée analyse grand signal, est identique à l'étude des amplificateurs de puissance. Elle se fait avec le signal pompe uniquement et permet de déterminer les formes d'ondes des éléments non linéaires pour les harmoniques de la pompe. La seconde étape consiste à superposer linéairement le signal RF d'entrée au signal de pompe avec la condition que l'amplitude de la pompe soit grande devant celle du signal RF. C'est l'analyse petit signal [2], [18], [24], [187], [197] - [206].

I- ANALYSE GRAND SIGNAL

L'analyse grand signal permet de déterminer les coefficients de Fourier des tensions et courants V_e et I_e de la grille ainsi que V_s et I_s de drain.

$$V_e(t) = \sum_{k=-N}^N V_{ek} e^{jk\omega_p t} \quad ; \quad I_e(t) = \sum_{k=-N}^N I_{ek} e^{jk\omega_p t} \quad (\text{VI-3})$$

$$V_s(t) = \sum_{k=-N}^N V_{sk} e^{jk\omega_p t} \quad ; \quad I_s(t) = \sum_{k=-N}^N I_{sk} e^{jk\omega_p t} \quad (\text{VI-4})$$

II- ANALYSE PETIT SIGNAL

Une analyse petit signal est utilisée pour déterminer les performances du mélangeur. Le transistor est considéré comme un multipôle multifréquentiel où chaque porte est connectée à la fréquence correspondante par un filtre passe-bande. En additionnant le faible signal d'entrée RF au fort signal de la pompe, une tension V_j et un courant I_j s'écriront conformément aux relations précédentes :

$$V_j(t) = \sum_{k=-N}^N V_{jk} e^{j(\omega_o+k\omega_p)t} \quad ; \quad I_j(t) = \sum_{m=-N}^N I_{jm} e^{j(\omega_o+m\omega_p)t} \quad (\text{VI-5})$$

d'où la représentation en séries de Fourier d'une résistance $R_j(t)$:

$$R_j(t) = \frac{V_j(t)}{I_j(t)} = \sum_{q=-N}^N R_{jq} e^{jq\omega_p t} \quad (\text{VI-6})$$

En combinant les équations (VI-5) et (VI-6), il vient :

$$\sum_{k=-N}^N V_k e^{j(\omega_o+k\omega_p)t} = \sum_{q=-N}^N \sum_{m=-N}^N R_q I_m e^{j(\omega_o+(q+m)\omega_p)t} \quad (\text{VI-7})$$

En séparant les termes de même fréquence, nous obtenons la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{-N} \\ \vdots \\ V_0 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & \cdots & R_{-N} & \cdots & R_{-2N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ R_N & \cdots & R_0 & \cdots & R_{-N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ R_{2N} & \cdots & R_N & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{-N} \\ \vdots \\ I_0 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} \quad (\text{VI-8})$$

Les éléments de la matrice sont les termes de Fourier de la forme d'onde de la résistance du continu à la 2Nième harmonique. Puisque les séries temporelles sont purement réelles, les termes de fréquences opposées sont donc des complexes conjugués. Aussi, bien que la matrice représente une résistance, les termes autres que R_o peuvent être complexes. Ceci n'implique pas qu'une résistance puisse se comporter comme une réactance, mais qu'il y a un changement de phase dans l'impédance de transfert entre fréquences.

La relation de conversion prendra donc la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{-N}^* \\ \vdots \\ V_0 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & \cdots & R_{-N} & \cdots & R_{-2N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ R_N & \cdots & R_0 & \cdots & R_{-N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ R_{2N} & \cdots & R_N & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{-N}^* \\ \vdots \\ I_0 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} \quad (\text{VI-9})$$

Il en est de même pour la matrice de conversion d'une capacité. Ainsi :

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C(t) \frac{dV(t)}{dt} + V(t) \frac{dC(t)}{dt} \quad (\text{VI-10})$$

$$\sum_{k=-N}^N I_k e^{j(\omega_o + k\omega_p)t} = \sum_{q=-N}^N \sum_{m=-N}^N j(\omega_o + (q+m)\omega_p) V_q C_m e^{j(\omega_o + (q+m)\omega_p)t}$$

La matrice de conversion $[C]$ de la capacité vérifie donc la relation :

$$\begin{bmatrix} I_{-N}^* \\ \vdots \\ I_0 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{-N} C_0 & \cdots & \omega_{-N} C_{-N} & \cdots & \omega_{-N} C_{-2N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \omega_0 C_N & \cdots & \omega_0 C_0 & \cdots & \omega_0 C_{-N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \omega_N C_{2N} & \cdots & \omega_N C_N & \cdots & \omega_N C_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{-N}^* \\ \vdots \\ V_0 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (\text{VI-11})$$

$$[I] = j [\Omega] [C] [V]$$

où $[\Omega]$ est une matrice diagonale dont les éléments sont les pulsations des harmoniques ω_{-N} à ω_N . Il est à noter que la loi d'ohm s'applique pareillement à des scalaires ou à des matrices. De plus, les lois de Kirchhoff restent valables. La matrice de conversion finale d'un circuit est donc analogue que pour un multipôle sauf que les portes ne sont pas physiques mais représentent des fréquences.

Appliquons ce concept au transistor. Soient $[R_a]$, $[G_m]$, $[C_s]$ et $[C_d]$ les matrices de conversion respectives de R_{ds} , G_m , C_{gs} et C_{ds} . La matrice admittance $[Y]$ de transfert du mélangeur est égale à [18] :

$$[Y] = \left\{ \left[[Z_1] + [Z_C][Z_6] \right] \left\{ [Z_A]^{-1} [Z_B] \right\} + [Z_C][Z_5] + [Z_2] \right\}^{-1} \quad (\text{VI-12})$$

avec :

$$[Z_A] = [Z_3][Z_7]^{-1}[Z_6] + [Z_4]$$

$$[Z_B] = [R_a] - [Z_3][Z_7]^{-1}[Z_5]$$

$$[Z_C] = [R_a][Z_7]^{-1}$$

$$[Z_1] = [Z_{ni}] + [C_s]^{-1} + j[\Omega]L_s + (R_s + R_i)[\mathfrak{I}]$$

$$[Z_2] = +j[\Omega]L_s + R_s[\mathfrak{I}]$$

$$[Z_3] = [C_d]^{-1} + R_i[\mathfrak{I}] + \{[\mathfrak{I}] + [R_a][G_m]\}[C_s]^{-1} + [R_a]$$

$$[Z_4] = R_i[\mathfrak{I}] + \{[\mathfrak{I}] + [R_a][G_m]\}[C_s]^{-1}$$

$$[Z_5] = [Z_{no}] + j[\Omega]L_s + [R_a] + R_s[\mathfrak{I}]$$

$$[Z_6] = j[\Omega]L_s + R_s[\mathfrak{I}] - [R_a][G_m][C_s]^{-1}$$

$$[Z_7] = [R_a] \left\{ [G_m][C_s]^{-1} + [\mathfrak{I}] \right\}$$

$$[Z_{ni}] = \text{diag} \left\{ Z_{Le}(k\omega_p) \right\}$$

$$[Z_{no}] = \text{diag} \left\{ Z_{Ls}(k\omega_p) \right\}$$

où $[\mathfrak{I}]$ est la matrice identité. Ces résultats permettent de déduire les principaux paramètres dont le gain de conversion G_{mn} d'une fréquence d'entrée n à une fréquence de sortie m :

$$G_{mn} = 4|Y_{mn}|^2 \text{Re} \left\{ Z_{Le}(m\omega_p) \right\} \text{Re} \left\{ Z_{Ls}(n\omega_p) \right\} \quad (\text{VI-13})$$

ainsi que les matrices impédance d'entrée $[Z_{ent}]$ à sortie adaptée :

$$[Z_{ent}] = [Z_1] + \{[Z_2] + [Z_C][Z_5]\} \{[Z_B]^{-1}[Z_A]\} + [Z_C][Z_6] - [Z_{ni}] \quad (VI-14)$$

et de sortie $[Z_{sort}]$ à entrée adaptée :

$$[Z_{sort}] = [Z_{sort1}] + \{[Z_{sort2}][Z_{sort3}]^{-1}[Z_{sort4}]\} - [Z_{no}] \quad (VI-15)$$

avec :

$$[Z_{sort1}] = [Z_5] + [Z_7][R_a]^{-1}[Z_2]$$

$$[Z_{sort2}] = [Z_6] + [Z_7][R_a]^{-1}[Z_1]$$

$$[Z_{sort3}] = [Z_4] - [Z_3][R_a]^{-1}[Z_1]$$

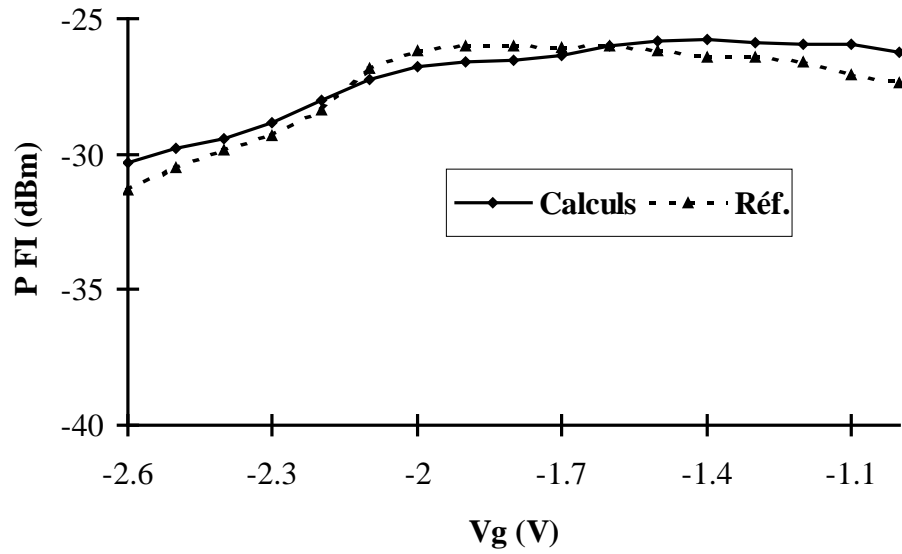
$$[Z_{sort4}] = [R_d] + [Z_3][R_a]^{-1}[Z_2]$$

Ces équations vont nous permettre de calculer les impédances de source et de charge optimales pour le mélangeur et ce, à toutes les fréquences utiles.

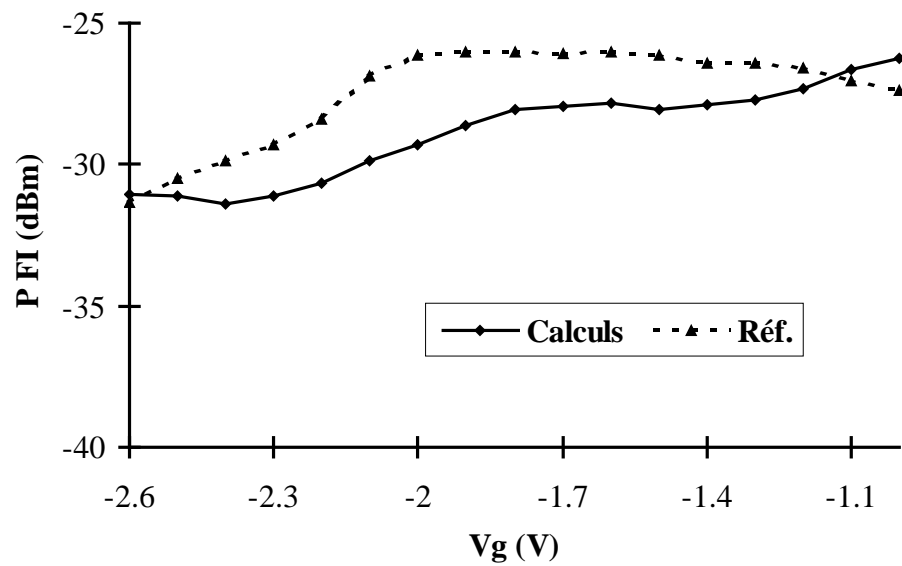
C) OPTIMISATION DES MÉLANGEURS

Nous avons retenu un mélangeur MESFET décrit à la référence [207]. Comme les mélangeurs sont des circuits très complexes à concevoir, nous avons d'abord validé notre démarche en tenant compte des mêmes paramètres que dans la référence, soit avec des impédances de 50 Ω . Les résultats obtenus pour les puissances de sortie P_{FI} du premier ordre (Fig. I-a), P_{2FI} du deuxième ordre (Fig. II-a) et P_{3FI} du troisième ordre (Fig. III-a) confirment nos calculs.

Puis nous avons recalculé ces mêmes puissances en prenant nos valeurs optimales d'impédances. Et là encore, les résultats obtenus montrent l'effet des valeurs optimisées sur les puissances de sortie du mélangeur (Fig. I-b, II-b et III-b).



(a)

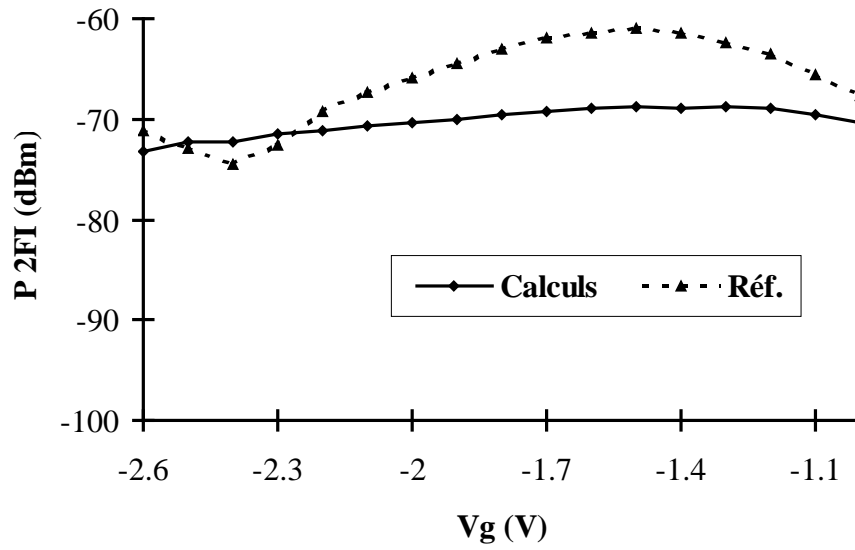


(b)

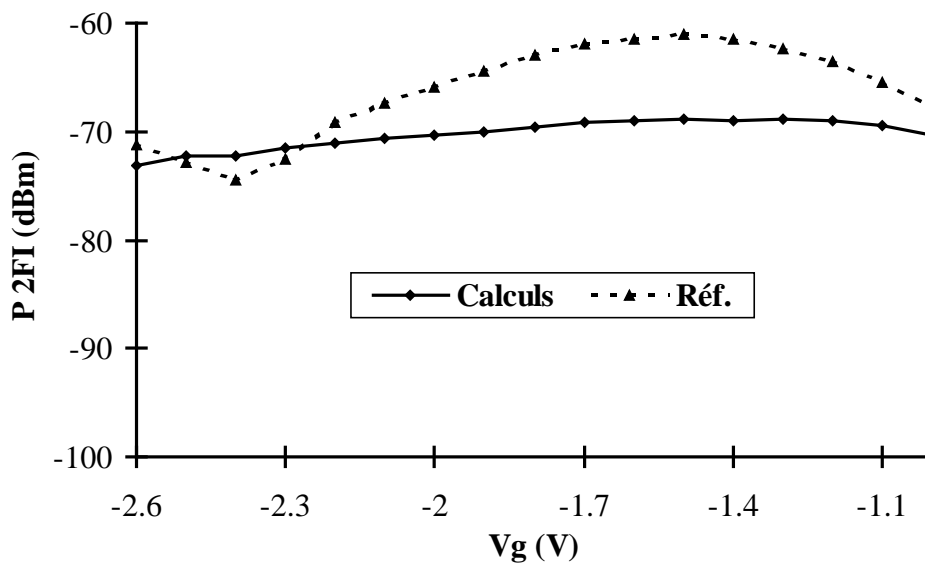
Fig. VI-1 : Mélangeur à MESFET- Puissance FI du premier ordre :
Comparaison entre les valeurs obtenue par Peng *et al* [207] et nos résultats :

(a) Avec des impédances de 50 Ω

(b) Avec nos impédances optimisées



(a)

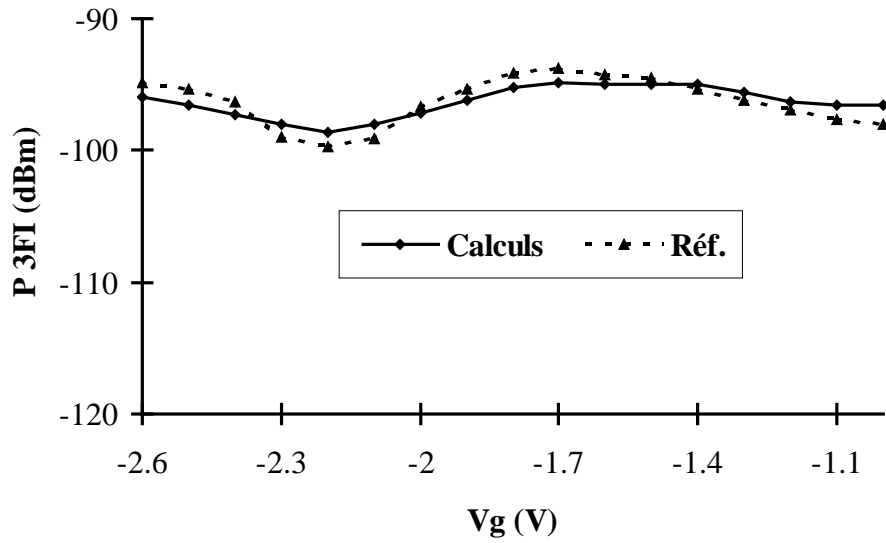


(b)

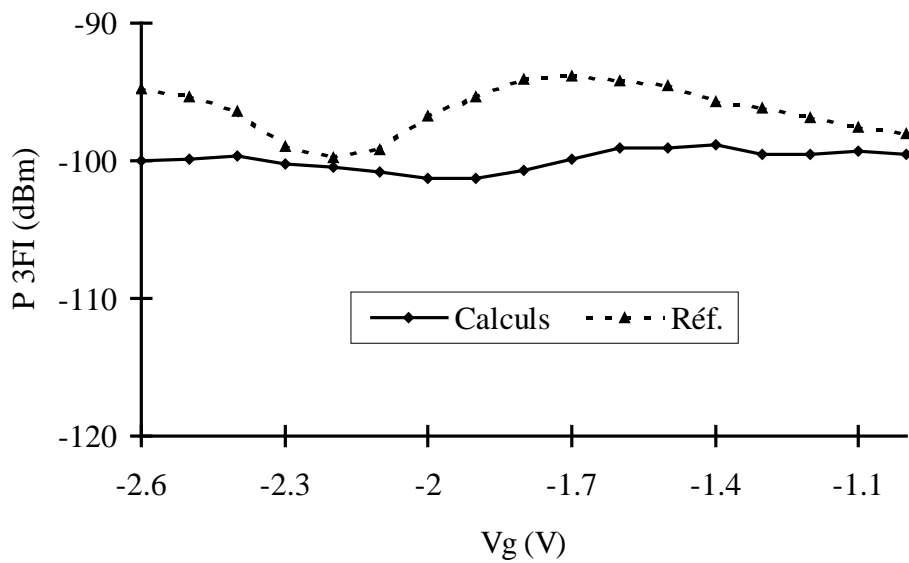
Fig. VI-2 : Mélangeur à MESFET- Puissance FI du deuxième ordre :
Comparaison entre les valeurs données par Peng *et al* [207] et nos résultats :

(a) Avec des impédances de 50Ω

(b) Avec nos impédances optimisées



(a)



(b)

Fig. VI-3 : Mélangeur à MESFET- Puissance FI du troisième ordre :
Comparaison entre les valeurs données par Peng *et al*[207] et nos résultats :

(a) Avec des impédances de 50 Ω

(b) Avec nos impédances optimisées

D) CONCLUSION

L'optimisation des performances de mélangeurs a été entreprise et les résultats obtenus confirment nos calculs.

CONCLUSION GENERALE

Grâce aux travaux que nous venons présenter notre laboratoire est maintenant doté d'outils de conception à même de permettre à tout utilisateur de circuits micro-ondes non seulement de prédire les impédances de fermetures de ces circuits, mais encore de les optimiser.

Nous avons montré, en effet, qu'il était possible d'améliorer les performances de circuits linéaires et non linéaires micro-ondes du point de vue du comportement en bruit et de la minimisation des effets de distorsion.

Le caractère inédit de notre démarche fait que cette optimisation a été entreprise sur la base d'une écriture symbolique des équations. Cette approche a permis de ne pas introduire d'approximations ou de simplifications qui résulteraient d'une écriture et d'une résolution numérique du processus d'optimisation. De plus, les aspects mis en relief, tel que le comportement en bruit de circuits linéaires et la minimisation des puissances d'intermodulations indésirables dans les systèmes non linéaires, sont intéressants car relativement peu exploités.

Certes, des travaux très importants et très diversifiés ont été menés sur ces deux paramètres. Néanmoins, ce n'est que ces toutes dernières années que les chercheurs ont fait état d'équations et de relations plus précises à même de traduire efficacement le comportement des circuits micro-ondes.

Enfin, pour une étude et une application pratique, nous avons retenu deux types de transistors à effet de champ que sont le MESFET et le HEMT. Ce choix n'est pas fortuit car ces deux composants renferment à eux seuls plus des trois-quarts des transistors utilisés dans la gamme de fréquence micro-ondes.

Notre étude a été validée sur la base de la simulation de circuits pratiques tels que les amplificateurs, les oscillateurs et les mélangeurs qui sont des circuits de base en électronique.

C'est ainsi que nous avons pu comparé avec succès nos calculs avec des résultats de publications internationales de haut niveau et avec des mesures effectuées au sein du laboratoire d'électronique de l'école nationale supérieure d'électrotechnique et d'électronique et d'informatique et d'hydraulique de l'institut national de Polytechnique de (ENSEEIH/INPT)Toulouse.

Dans le futur, il serait intéressant de pouvoir d'appliquer nos résultats a une optimisation combinée du gain et du facteur de bruit.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. Roviras, *Bruit*, Département d'électronique, ENSEEIHT, Toulouse, 1988.
- [2] G.D. Vendelin, A.M. Pavio, U. L. Rohde, *Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques*, Wiley & Sons, New York, 1990.
- [3] H. Ducan, Ed, "Focus on ISM : industrial, scientific and medical applications," *Microwave Eng. Europe*, 17-28, Aug.-Sept. 1993.
- [4] B.L. Smith, M.H. Carpentier, *The microwave engineering handbook*, Microwave Technology Series, Vol I and II, London: Chapman & Hall, 1993.
- [5] T. Werling, E. Bourdel, D. Pasquet, A. Boudiaf, "Determination of wave noise sources using spectral parametric modeling", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 2461-2467, Dec. 1997.
- [6] P.S.R. Baretto, "Theory, CAD optimization and FR & MW circuits for space use," in Proc. *Int. Microwave and Optoelectronics Conf.*, 501-508, Natal, Brazil, 1998.
- [7] A.R. Kerr, "Suggestions for revised definitions of noise quantities, including quantum effects", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 47, 325-329, Mar. 1999.
- [8] P.L. Ntake, *A computer-aided design of low-noise parametric down converters and GaAs FET mixers for low-cost satellite microwave receivers*, Ph.D. dissertation, Carleton Univ., Canada, 1977.
- [9] D.N. Held, A.R. Kerr, "Conversion loss and noise of microwave and millimeter-wave mixers : Part I - Theory ; Part II - Experiment," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 26, 49-61, Feb. 1978.
- [10] T.T. Ha, *Solid-State microwave amplifier design*, J. Wiley & Sons, New-York, 1981
- [11] F.X. Kartner, "Analysis of white and $f^{-\alpha}$ noise in oscillators", *Int. J. Circuit Theory and applications*, Vol 18, 485-519, 1990.
- [12] R.S. Tucker, "Third-order intermodulation distortion and gain compression in GaAs FET's, " *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 27, 400-408, May 1979.
- [13] K.C. Gupta, R. Garg, R. Chadha, *Computer aided design of microwave circuits*, Dedham MA, Artech House, 1981.
- [14] M.E. Hines, "The virtues of nonlinearity - detection, frequency conversion, parametric amplification and harmonic generation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 32, 1097-1104, Sept. 1984.
- [15] R. Soares, J. Graffeuil, J. Obregon, *Application des transistors à effet de champ en Arséniure de Gallium*, Eyrolles, Paris, 1984.
- [16] P.F. Combes, J. Graffeuil, J.F. Sautereau, *Composants, dispositifs et circuits actifs en micro-ondes*, Paris: Dunod Université, 1985.
- [17] L.O. Chua, C.A. Desoer, E.S. Kuh, *Linear and nonlinear circuits*, New-York: Mc Graw-Hill, 1987.

- [18] S.A. Maas, *Nonlinear microwave circuits*, Norwood MA, Artech House, 1988.
- [19] H. Yamada, S. Ohara, T. Iwai, Y. Yamaguchi, K. Imanishi, K. Joshin, "Self-linearizing technique for L-band HBT power amplifier: effect of source impedance on phase distortion," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 2398-2402, Dec. 1996.
- [20] T. Shailender, "RF interference analysis for collocated systems," *Microwave J.*, Vol 40, 80-98, Jan. 1997.
- [21] B. Gallagher, "Intermodulation in GSM receiver", *Microwave J.*, 70-83, Oct. 1997.
- [22] Caverly R.H., "Distortion in RF and microwave control devices," *Microwave J.*, Vol 40, 74-82, Dec. 1997.
- [23] M.C.E. Yagoub, Conception et optimisation des circuits micro-ondes linéaires et non linéaires, Thèse de Doctorat, USTHB, 1996.
- [24] M.C.E. Yagoub, H. Baudrand, *Conception de circuits linéaires et non linéaires micro-ondes*, Ed. Cépadués, Toulouse (France), 2000.
- [25] P.J. Bulman, G.S. Hobson, B.C. Taylor, *Transferred electron devices*, New York, Academic Press, 1972.
- [26] S.M. Sze, *Physics of semiconductor devices*, 2nd Ed., New-York, Wiley, 1981.
- [27] P. Ladbrooke, *MMIC design: GaAs FETs and HEMTs*, Norwood MA, Artech House, 1989.
- [28] J.M. Golio, *Microwave MESFETs & HEMTs*, Norwood MA : Artech House, 1991.
- [29] F. Ali, A. Gupta, *HEMTs and HBTs: devices, fabrication and circuits*, Norwood MA, Artech House, 1991.
- [30] Snowden C.M., Miles R.E., *Compound semiconductor device modelling*, London: Springer-Verlag, 1993.
- [31] S.M.S. Imtiaz, S.M. El-Ghazaly, "Performance of MODFET and MESFET: a comparative study including equivalent circuits using combined electromagnetic and solid-state simulator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 46, 923-931, July 1998.
- [32] W.R. Curtice, "GaAs MESFET modeling and nonlinear CAD", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 36, 220-230, Feb. 1988.
- [33] J. Rodriguez Tellez, M. Al-Daas, K.A. Mezher, "Comparaison of linear MESFET models for wideband circuit design" *IEEE Trans. Electron Devices* Vol 41, 288-293, Mar. 1994.
- [34] W.R. Curtice, "A MESFET model for use in the design of GaAs integrated circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 28, 448-456, May 1980.
- [35] Y. Tajima, B. Wrona, K. Mishima, "GaAs FET large-signal model and its application to circuit designs," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol 28, 171-175, Feb. 1981.
- [36] T. Kacprzak, A. Materka, "Compact DC model of GaAs FET's for large-signal computer calculation," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol 18, 211-213, April 1983.

- [37] W.R. Curtice, M. Ettenberg, "A nonlinear GaAs FET model for use in the design of output circuits for power amplifiers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 33, 1383-1393, Dec. 1985.
- [38] H. Statz, P. Newman, I.W. Smith, R.A. Pucel, H.A. Haus, "GaAs FET device and circuit simulation in SPICE," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol 34, 160-169, Feb. 1987.
- [39] V.D. Hwang, T. Itoh, "An efficient approach for large-signal modeling and analysis of the GaAs MESFET," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 396-402, April 1987.
- [40] D.H. Huang, *Modeling GaAs field effect transistors*, Ph.D. dissertation, Maryland University, 1989.
- [41] G. Ghione, C.U. Naldi, F. Filicori, "Physical modeling of GaAs MESFET's in an integrated CAD environment: from device technology to microwave circuit performance," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 37, 457-468, Mar. 1989.
- [42] J.E. Purviance, M.C. Petzold, C. Potratz, "A linear statistical FET model using principal component analysis," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 37, 1389-1394, Sept. 1989.
- [43] Z.R. Hu, J.J. McKeown, T. Brazil, J.A.C. Stewart, "Comparison of GaAs MESFET DC models," in *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, 311-314, Dallas, 1990.
- [44] R.J. Trew, "MESFET models for microwave computer-aided design," *Microwave J.*, Vol 33, 115-130, May 1990.
- [45] A. McCamant, G. McCormack, D. Smith, "An improved GaAs MESFET model for SPICE," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 822-824, June 1990.
- [46] T.J. Brazil, "A universal large-signal equivalent circuit model for the GaAs MESFET," in Proc. *21st European Microwave Conf.*, 921-926, 1991.
- [47] J.F. Vidalou, J.F. Grossier, M. Chaumas, M. Camiade, P. Roux, J.J. Obregon, "Accurate nonlinear transistor modeling using pulsed S parameters measurements under pulsed bias conditions," in *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, Boston, 95-98, 1991.
- [48] K. Nagatomo, Y. Daido, M. Shimizu, N. Okubo, "GaAs MESFET characterization using least squares approximation by rational functions," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 41, 199-205, Feb. 1993.
- [49] D.A. Patterson, V.F. Fusco, J.J. McKeown, J.A.C. Stewart, "A systematic optimization strategy K. Nagatomo, Y. Daido, M. Shimizu, N. Okubo. *Microwave Theory Tech.*, Vol 41, 395-405, Mar. 1993.
- [50] T.J. Rodriguez, K.A. Mezher, O.M. Conde Portilla, J.C. Luengo Patronicio, "A new highly accurate microwave nonlinear MESFET model," *Microwave J.*, Vol 36, 280-285, May 1993.
- [51] J.P. Teyssier, L.P. Viaud, R. Quere, "A new nonlinear I(V) model for FET devices including breakdown effects," *IEEE Microwave and guided Wave Lett.*, Vol 4, 104-107, April 1994.
- [52] T.A. Winslow, R.J. Trew, "Principles of large-signal MESFET operation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 42, 935-942, June 1994.

- [53] J. Bandler, R. Biernacki, Q. Cal, S.H. Chen, "Device statistical modelling and verification," *Microwave Eng. Europe*, 35-41, May 1995.
- [54] J. Carroll, K. Whelan, S. Prichett, D.R. Bridges, "FET statistical modeling using parameter orthogonalization," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 47-54, Jan. 1996.
- [55] M.A. Alsunaidi, S.M.S. Imtiaz, S.M. El-Ghazali, "Electromagnetic wave effects on microwave transistors using a full-wave time-domain method," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 799-808, June 1996.
- [56] I. Angelov, *Chambers nonlinear HEMT and MESFET model - extraction procedure*, Chambers Univ., Report N°26, Nov. 1996.
- [57] J.A. Reynoso-Hernandez, F.E. Rangel-Patino, J. Perdomo, "Full RF characterization for extracting the small-signal equivalent circuit in microwave FET's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 2625-2633, Dec. 1996.
- [58] Optotek Ltd, "Large-signal modeling of MESFETs and HEMTs," *Microwave J.*, Vol 40, 162-166, Nov. 1997.
- [59] G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore, E. Playez, "A new method for determining the FET small-signal equivalent circuit," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, 1151-1159, July 1988.
- [60] M. Berroth, R. Bosch, "Broad-band determination of the FET small-signal equivalent circuit," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 891-895, July 1990.
- [61] M. Berroth, R. Bosch, "High frequency equivalent circuit of GaAs FET's for large-signal applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 39, 224-229, Feb. 1991.
- [62] N.T. Linh, "Two dimensional electron gas FET's: microwave applications," in *Semiconductors & semimetals*, R.K. Willardson and A.C. Beer, Eds, Vol 24, New-York: Academic Press, 1985.
- [63] H.R. Yeager, R.W. Dutton, "Circuit simulation models for the high electron mobility transistor," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol 33, 682-692, May 1986.
- [64] P.M. Smith, A.W. Swanson, "HEMTs- low noise and power transistors for 1 to 100 GHz," *Applied Microwave*, 63-72, May 1989.
- [65] K. Shirakawa, H. Oikawa, T. Shimura, Y. Kawasaki, Y. Ohashi, T. Saito, Y. Daido, "An approach to determining an equivalent circuit of HEMT's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 43, 499-503, Mar. 1995.
- [66] M.J. Bailey, "PHEMT devices offer high power density and efficiency," *Microwaves & RF*, Vol 36, 61-70, Feb. 1997.
- [67] A. Miras, E. Legros, "Very high frequency small-signal equivalent circuit for short gate-length InP HEMT's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 1018-1026, July 1997.
- [68] R. Knöchel and K. Schüneman, "Noise and transfer properties of harmonically synchronized oscillators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 26, Dec. 1978.

- [69] M.S. Gupta, O. Pizalis, S. Rosenbaun, P.T. Greiling, "Microwave noise characterization of GaAs MESFET'S evaluation on-wafer low- frequency output noise current measurement " *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 12, 1208-1217, Dec. 1987.
- [70] A. Cappy "Noise modeling and measurement techniques" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, Jan. 1988.
- [71] W. Heinrich, "High frequency MESFET noise modeling including distributed effects", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 37, 836-842, May 1989.
- [72] M.W. Pospieszalski, " Modeling of noise parameters of MESFET's and MODFET's and their frequency and temperature dependence" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* Vol 37, 1340-1350, Sept. 1989.
- [73] H. Hughes, "Designing FET's for broad noise circles", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 41, 190-198, Feb 1990.
- [74] D.K. Ikalainer, "Extraction of device noise sources from measured data using circuit simulator software", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 41, Feb. 1990.
- [75] R. Froeligh, "An Improved Model for Noise Characterization of Microwave GaAs FET's" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 703-706, June 1990.
- [76] L. Escotte and J. Mollier, "Semidistributed model of millimeter wave fet for s parameters and noise figure predictions" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 748-753, June 1990.
- [77] G. Truitt, D. Heston, J. Klein, "A new low-noise FET structure" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 1944-1948, Dec 1990.
- [78] A. Caddemi, M. Sannino, "CAD-oriented noisy small-signal models of HEMTs," *Microwave Engineering Europe*, 45-48, Feb. 1994.
- [79] Y. Gobert, G. Salmer "Comparative behavior and performance of MESFET and HEMT as a function of temperature", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol 41, 299-305, Mar. 1994.
- [80] S.M. Lardizabal, A.S. Fernandez, L. Lawrence P. Dunleavy." Temperature-dependent modeling of gallium arsenide MESFET's ". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech* Vol 44, 357-363, Mar. 1996.
- [81] J.H. Han, K. Lee, "A new extraction method for noise sources and correlation coefficients in MESFET" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 487-489, Mar. 1996.
- [82] P. Rouquette, D. Gasquet, T. Holden, J. Moulton, "HBT's RF noise parameter determination by means of an efficient method based on noise analysis of linear amplifier networks ", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 690-694, May 1997.
- [83] R. Reuter, M. Agethen, U. Auer, S.V. Waasen, D. Peters, W. Brockerhoff, F.J. Tegude, "Investigation and modeling of impact ionization with regard to the RF and noise behavior of MESFET", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 977-983, June 1997.

- [84] T.M. Roh, Y. Kim, Y. Suh, W.S. Park, Y. Kim, "A simple and accurate mesfet channel-current model including bias dependent dispersion and thermal phenomena", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 1252-1255, Aug. 1997.
- [85] M.J. Bussgang, L. Ehrman, J.W. Graham, "Analysis of non-linear systems with multiple inputs," *Proc. IEEE*, Vol 62, 1088-1119, Aug. 1974.
- [86] R.S. Tucker, C. Rauscher, "Modelling the 3rd-order intermodulation-distortion properties of a GaAs F.E.T.," *Electron. Lett.*, Vol 13, 508-509, Aug. 1977.
- [87] J.A. Higgins, R.L. Kuvas, "Analysis and improvement of intermodulation distortion in GaAs power FET's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 28, 9-17, Jan. 1980.
- [88] V. Rizzoli, A. Lipparini, E. Marazzi, "A general purpose program for nonlinear microwave circuit design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 31, 762-770, Sept. 1983.
- [89] J.H. Haywood, Y.L. Chow, "Intermodulation distortion analysis using a frequency-domain harmonic balance technique," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, 1251-1257, Aug. 1988.
- [90] J.W. Bandler, Q.J. Zhang, R.M. Biernacki, "A unified theory for frequency-domain simulation and sensitivity analysis of linear and nonlinear circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, 1661-1669, Dec. 1988.
- [91] A.M. Crosmun, S.A. Maas, "Minimization of intermodulation distortion in GaAs MESFET small-signal amplifiers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 37, 1411-1417, Sept. 1989.
- [92] C.R. Chang, M.B. Steer, "Frequency-domain nonlinear microwave circuit simulation using the arithmetic operator method," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 1139-1143, Aug. 1990.
- [93] M.B. Steer, C.R. Chang, G.W. Rhyne, "Computer aided analysis of nonlinear microwave circuits using frequency domain spectral balance techniques : the state of the art," *Int. J. on Microwave and Millimeter CAE*, Vol 1, Apr. 1991.
- [94] S.A. Maas, "How to model intermodulation distortion," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Boston, 149-151, 1991.
- [95] M.B. Steer, "Simulation of nonlinear microwave circuits - an historical perspective and comparisons," in *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, Boston, 599-602, 1991.
- [96] J.G. Freed, "Equations provide accurate third-order IMD analysis," *Microwave RF*, 75-84, Aug. 1992.
- [97] J.C. Pedro, J. Perez, "Design techniques for low in-band intermodulation distortion amplifiers," *Microwave J.*, 94-104, May 1994.
- [98] T. Nöhri, "Frequency-domain analysis of strongly nonlinear circuits using a consistent large-signal model," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 182-192, Feb. 1996.

- [99] R. Hajji, F. Beauregard, F.M. Ghannouchi, "Multitone power and intermodulation load-pull characterization of microwave transistors suitable for linear SSPA's design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 1094-1099, July 1997.
- [100] N. Suematsu, Y. Iyama, O. Ishida, "Transfer characteristic of IM3 relative phase for a GaAs FET amplifier," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 45, 2509-2514, Dec. 1997.
- [101] V. Rizzoli, A. Neri, "State of the art and present trends in nonlinear microwave CAD techniques," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, 343-365, Feb. 1988.
- [102] M. Gayral, *Simulation des circuits microondes par la méthode d'équilibrage harmonique et spectral*, Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 1987.
- [103] W.R. Curtice, "Nonlinear analysis of GaAs MESFET amplifiers, mixers and distributed amplifiers using the harmonic balance technique," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 441-447, April 1987.
- [104] V. Volterra, *Theory of functionals and of integral and integro-differential equations*, New-York: Dover, 1959.
- [105] S. Narayanan, "Transistor distortion analysis using Volterra series representation," *Bell Syst. Tech. J.*, 991-1025, May-June 1967.
- [106] R.G. Sea, A.G. Vacroux, "On the computation of intermodulation products for a power series nonlinearity," *Proc. IEEE*, Vol 57, 337-338, Mar. 1969.
- [107] R.A. Minasian, "Intermodulation Distorsion Analysis of MESFET's Amplifier using Volterra Series Representation", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 28, 1-8, Jan. 1980.
- [108] E. Bedrosian, S.O. Rice, "The output properties of Volterra system (nonlinear system with memory) driven by harmonic and gaussian inputs," *Proc. IEEE*, Vol 59, 1688-1707, Dec. 1971.
- [109] D.D. Weiner, G.H. Naditch, "A scattering variable approach to the Volterra analysis of nonlinear systems," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 24, 422-433, July 1976.
- [110] G.M. Lambrianou, C.S. Aitchison, "Optimization of third-order intermodulation product and output power from an X-band MESFET amplifier using Volterra series analysis," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 33, 1392-1403, Dec. 1985.
- [111] K.S. Kundert, A. Sangiovanni-Vincentelli, "Simulation of nonlinear circuits in the frequency domain," *IEEE Trans. Computer-Aided Design*, Vol 5, 521-535, Oct. 1986.
- [112] G.W. Rhyne, M.B. Steer, "Generalized power series analysis of intermodulation distortion in a MESFET amplifier: simulation and experiment," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 1248-1255, Dec. 1987.
- [113] S.A. Maas, "A general-purpose computer program for the Volterra-series analysis of nonlinear microwave circuits," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, New-York, 311-314, 1988.
- [114] G.W. Rhyne, M.B. Steer, B.D. Bates, "Frequency-domain nonlinear circuit analysis using generalized power series," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, 379-387, Feb. 1988.

- [115] Y. Hu, J.J. Obregon, J.C. Mollier, "Nonlinear analysis of microwave FET oscillators using Volterra series," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 37, 1689-1693, Nov. 1989.
- [116] P.J. Lunsford II, G.W. Rhyne, M.B. Steer, "Frequency-domain bivariate generalized power series analysis of nonlinear analog circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 38, 815-818, June 1990.
- [117] T. Larsen, "Determination of Volterra Transfer functions of non-linear multiport networks", *Int. Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol 21 (2), 107-131, 1993.
- [118] P. Whittle, *Optimization under constraints: theory and applications of nonlinear programming*, New-York : Wiley, 1971.55
- [119] E. Polak, *Computational methods in optimization, a unified approach*, New-York : Academic Press, 1971.
- [120] S. Vajda, *Theory of linear and nonlinear programming*, London: Longman, 1974.
- [121] P.E. Gill, W. Murray, *Numerical methods for constrained optimization*, New-York : Academic Press, 1974.
- [122] C. Charalambous, "A unified review of optimization," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 22, 289-300, Mar. 1974.
- [123] J. Vignes, *Algorithmes numériques*, Tome II, Paris: Technip Ed., 1980.
- [124] D. Denis Jr., R.B. Schnabel, *Numerical methods of unconstrained optimization and nonlinear equations*, Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall, 1983.
- [125] W. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, *Numerical Recipes*, 2nd Ed., New-York: University Press, 1990.
- [126] J.W. Bandler, "Optimization methods for computer-aided design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 17, 533-552, Aug. 1969.
- [127] G.C.S. Bown, G.V. Geiger, "Design and optimization of circuits by computer," *Proc. IEEE*, Vol 118, 649-661, May 1971.
- [128] U.L. Rohde, "CAD packages improve circuit-optimization methods," *Microwave Syst. News*, 117-135, May 1985.
- [129] U.L. Rohde, "Designing a matched low noise amplifier using CAD tools," *Microwave J.*, Vol 29, 154-160, Oct. 1986.
- [130] C. Guo, M. Camiade, D. Rousset, A. Cessey, J.J. Obregon, A. Bert, "Optimum design of nonlinear FET amplifiers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 1348-1354, Dec. 1987.
- [131] J.W. Bandler, S.H. Chen, "Circuit optimization: the state of the art," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 36, 424-443, Feb. 1988.

- [132] "Focus on computer aided design, test and manufacture," *Microwave Engineering*, 13-23, May 1998.
- [133] M.C.E. Yagoub, H. Baudrand, "Optimum design of nonlinear microwave circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 42, 779-786, 1994.
- [134] B.W. Char, K.O. Geddes, G.H. Gonnet, B.L. Leong, M.B. Monagan, S.M. Watt, *Maple V Library Reference Manual*, New-York: Springer, 1991.
- [135] P. Heymann, M. Rudolph, H. Prinzler, R. Doerner, L. Klapproth, G. Bock, "Experimental evaluation of microwave field-effect-transistor noise models," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 47, 156-163, Feb. 1999.
- [136] J.C. Pedro, J. Perez, " Accurate simulation of GaAs MESFET's intermodulation distortion using a new drain-source current model," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 42, 25-33, Jan. 1994.
- [137] M. Douridj, M.C.E. Yagoub, "Minimisation des effets de distorsions et de bruit dans les circuits micro ondes", in Proc. 2^{ème} Séminaire Electromagnétisme et micro-ondes, Toulouse, 1999.
- [138] F. Milsant, *Amplificateurs et oscillateurs Micro-ondes*, Masson, Paris, 1980.
- [139] C. Gentili, *Amplificateurs et oscillateurs micro-ondes*, Série Electronique, Masson, Paris, 1984.
- [140] M. Douridj, M.C.E. Yagoub, "Conception optimale de circuits micro-ondes", in Proc. 11^{ème} Journées Nationales Micro-ondes, Arcachon, 1999.
- [141] B. Van Der pol, "The nonlinear theory of electric oscillators," *Proc. IRE*, Vol 22, 1051-1085, Sept. 1934.
- [142] H.J. Reich, *Functional circuits and oscillators*, New-York, Van Nostrand, 1961.
- [143] G.D. Vendelin, *Design of amplifiers and oscillators by the S-parameter method*, New-York, Wiley, 1982.
- [144] A.A. Sweet, *MIC and MMIC amplifier and oscillator circuit design*, London, Artech House, 1990.
- [145] K. Kurokawa, "Some basic characteristics of broad band negative resistance oscillator circuits," *Bell Sys. Tech. J.*, Vol 48 (6), 1937-1955, July 1969.
- [146] C.C. Hoffins, K. Ishii, "Conditions of oscillation for waveguide mounted tunnel diodes," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 176-183, Mar. 1964.
- [147] M.S. Gupta, R.W. Laton, T.T. Lee, "Performance and design of microwave FET harmonic generators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 29, 261-263, Mar. 1981.

- [148]D.J. Esdale, M.J. Howes, "A reflection coefficient approach to the design of one-port negative impedance oscillators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 29, 770-776, Aug. 1981.
- [149]R.J. Gilmore, F.J. Rosenbaum, "An analytic approach to optimum oscillator design using S-parameters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 31, 633-639, Aug. 1983.
- [150]T.J. Brazil, J.O. Scanlan, "A nonlinear design and optimization procedure for GaAs MESFET oscillators," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Las Vegas, 1987.
- [151]Y. Xuan, C.M. Snowden, "A generalized approach to the design of microwave oscillators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 1340-1346, Dec. 1987.
- [152]M.C.E. Yagoub, H. Baudrand, "Nonlinear oscillator design for maximum power," in *IEEE Int. Frequency Control Symp.*, Boston, 1994.
- [153]U. Güttich, "Microstrip DROs: MESFET, PMHEMT, and HBT compared as active oscillator devices," in *Proc. Microwave and Optronics Conf.*, 341-344, Sindelfingen, 1995.
- [154]C. Chao, G.I. Haddad, "Nonlinear behavior and bias modulation of an IMPATT diode oscillator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 21, 619-630, Oct. 1973.
- [155]R.W. Laton, G.I. Haddad, "Characteristics of IMPATT-diode reflection amplifiers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 21, 668-680, Nov. 1973.
- [156]W.H. Haydl, "Fundamental and harmonic operation of millimeter-wave Gunn diodes," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 31, 879-889, Nov. 1983.
- [157]D.C. Greim, "Developments continue in millimeter-wave Gunn oscillators," *Microwave Syst. News*, 139-144, May 1985.
- [158]O.B. Lubecke, D.S. Pan, T. Itoh, "Fundamental and subharmonic excitation for an oscillator with several tunneling diodes in series," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 43, 969-976, April 1995.
- [159]R. Judaschke, K. Schünemann, "Design and optimization of millimeter-wave IMPATT oscillators," in *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, San Francisco, 939-942, 1996.
- [160]R.M. Rector, G.D. Vendelin, "A 1.0 Watt GaAs MESFET oscillator at X-band," in *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, Ottawa, 145-146, 1978.
- [161]J.F. Sautereau, *Oscillateurs micro-ondes à TEC GaAs*, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (UPS), France, 1981.
- [162]M. Sholley, S. Maas, B. Allen, R. Sawires, A. Nichols, J. Abell, "HEMTs mm-wave amplifiers, mixers and oscillators," *Microwave J.*, Vol 28, 121-130, Aug. 1985.

- [163] H. Abe, "A GaAs MESFET self-bias mode oscillator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 34, 167-172, Jan. 1986.
- [164] K.K.M. Cheng, J.K.A. Everard, "A new and efficient approach to the analysis and design of GaAs MESFET microwave oscillators," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Dallas, 1283-1286, 1990.
- [165] R.D. Martinez, R.C. Compton, "A general approach for the S-parameter design of oscillators with 1 and 2-port active devices," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 40, 569-574, Mar. 1992.
- [166] C.C. Huang, T.H. Chu, "Analysis of MESFET injection-locked oscillators in fundamental mode of operation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 42, 1851-1857, Oct. 1994.
- [167] J.P. Pascual, J. Portilla, E. Artal, "Techniques allow simple design of MMIC oscillators," *Microwaves & RF*, 67-79, Mar. 1996.
- [168] H. Abe, Y. Takayama, A. Higashisaksa, H. Takamizawa, "A highly stabilized low-noise GaAs FET integrated oscillator with a dielectric resonator in the C band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 26, 156-162, Mar. 1978.
- [169] K. Reinhard, K. Schünemann, "Noise and transfert properties of harmonically synchronized oscillators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 26, 939-944, Dec. 1978.
- [170] T. Makino, "Temperature dependence and stabilization conditions of an MIC Gunn oscillator using a dielectric resonator," *Trans. IECE Japan*, Vol 62, 262-263, April 1979.
- [171] M. Mamodaly, M. Prigent, J.J. Obregon, "New configurations to reduce converted FM-noise in FET oscillators," in *16th European Microwave Conf.*, Dublin, 1986.
- [172] U.L. Rohde, "Designing a low noise oscillator using CAD tools," *Microwave J.*, Vol 29, 140-144, Dec. 1986.
- [173] M. Prigent, J.J. Obregon, "Phase noise reduction in FET oscillators by low-frequency loading and feedback circuitry optimization," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 349-352, Mar. 1987.
- [174] V. Güngerich, F. Zinkler, W. Anzill, P. Russer, "Reduced phase noise of a varactor tunable oscillator: numerical calculations and experimental results," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Atlanta, 561-564, 1993.
- [175] J. Verdier, O. Llopis, R. Plana, J. Graffeuil, "Analysis of noise up-conversion in microwave field effect transistor oscillator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 44, 1478-1483, Aug. 1996.

- [176] S.S. Sarin, D. Singh, "Oscillator design delivers thermal stability at Ka-band," *Microwaves & RF*, Vol 36, 81-82, Feb. 1997.
- [177] K.M. Johnson, "Large signal GaAs MESFET oscillator design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 27, 217-227, March 1979.
- [178] O. Sevimli, J.W. Archer, G.J. Griffiths, "GaAs HEMT monolithic voltage-controlled oscillators at 20 and 30 GHz incorporating Schottky-varactor frequency tuning," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 46, Oct. 1998, 1572-1576.
- [179] G. Braun, H. Lindenmeir, "Transistor oscillator with impedance noise matching", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 39, 1602- 1610, Sept. 1991.
- [180] M.C.E. Yagoub, M. Douridj, H. Baudrand, "Nouvelle approche pour la conception optimale de circuits micro-ondes à faible bruit", *15th Meeting Optics Hertzian and Dielectrics*, Besançon, France, Sept. 1-3, 1999.
- [181] A. Madjar, "Analysis of a microwave FET oscillator using an efficient computer model for the device," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 30, 915-917, June 1982.
- [182] E.H. Armstrong, "The superheterodyne - its origin, development and some recent improvements," *Proc. IRE*, Vol 12, 540-552, 1924.
- [183] L.C. Peterson, F.B. Llewellyn, "The performance and measurement of mixers in terms of linear-network theory," *Proc. IRE*, Vol 33, 458-476, July 1945.
- [184] H.C. Torrey, C.A. Withmer, *Crystal Rectifiers*, MIT Radiation Lab. Ser., Vol 15, New-York : McGraw-Hill, 1948.
- [185] P.D. Strum, "Some aspects of crystal mixer performance," *Proc. IRE*, Vol 41, 875-889, July 1953.
- [186] E.L. Kollberg, *Microwave and millimeter-wave mixers*, New-York: IEEE Press, 1984.
- [187] S.A. Maas, *Microwave mixers*, Norwood MA: Artech House, 1986.
- [188] Saleh A.A.M., *Theory of resistive mixers*, Cambridge, MA : M.I.T. Press, 1971.
- [189] J.E. Sitch, P.N. Robson, "The performance of GaAs FET as microwave mixers," *IEEE Proc.*, Vol 61, 399-400, Mar. 1973.
- [190] R.A. Pucel, D. Masse, R. Bera, "Performance of GaAs MESFET mixers at X-band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 24, 351-360, June 1976.
- [191] O. Kurita, K. Morita, "Microwave MESFET mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 24, 361-366, June 1976.
- [192] P. Harrop, "Gallium arsenide field effect transistor mixers : theory and applications," *Acta Electronica*, Vol 23, N°4, 291-297, 1980.

- [193]J.M. Rosário, C.J. Freire, "Design technique for MESFET mixers for maximum conversion gain," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol-38, 1972-1979, Dec. 1990.
- [194]T.H. Chen, K.W. Chang, S.B.T. Bui, L.C.T. Liu, G.S. Dow, S. Pak, "Broadband single- and double-balanced resistive HEMT monolithic mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 43, 477-484, Mar. 1995.
- [195]D. Neuf, "Fundamental, harmonic and sampling MESFET mixer circuits," *Microwave J.*, Vol 38, 76-86, Dec. 1995.
- [196]L. Picheta, E.A. Allamando, "Achieve microwave frequency conversion with cold FETs," *Microwaves & RF*, Vol 36, 73-78, Feb. 1997.
- [197]C.F. Edwards, "Frequency conversion by means a nonlinear admittance," *Bell Sys. Tech. J.*, Vol 35, 1403-1416, Nov. 1956.
- [198]J. Lenkowski, "Transients in periodically time-varying circuits," *IEEE Trans. on Circuit Theory*, Vol 14, 426-429, Dec. 1967.
- [199]W.K. Gwarek, *Nonlinear analysis of microwave mixers*, M.S. Thesis, Mass. Inst. Technol., Cambridge, MA, 1974.
- [200]S. Egami, "Nonlinear, linear analysis and computer aided design of resistive mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 22, 270-275, Mar. 1974.
- [201]A.R. Kerr, "A technique for determining the local oscillator waveforms in a microwave mixer," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 23, 828-831, Oct. 1975.
- [202]S.A. Maas, "Theory and analysis of GaAs MESFET mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 32, 1402-1406, Oct. 1984.
- [203]C. Camacho-Penalosa, C.S. Aitchison, "Analysis and design of MESFET gate mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 35, 643-652, July 1987.
- [204]M.C.E. Yagoub, K. Grabowski, R. Aksas, "Mélangeur microondes en bande X pour la TVDS," *Algerian J. of Technology*, Vol 5, 32-48, 1988.
- [205]M.I. Sobhy, F. Bassirat, "Nonlinear modelling and design of microwave mixers," in *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, New-York, 1111-1114, 1988.
- [206]De Flaviis F., Rozzi T., Moglie F., Sgreccia A., Panzeri A., "Accurate analysis and design of millimeter wave mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 41, 870-873, May 1993.
- [207]S. Peng, P.J. Mc Cleer, G.I. Haddad, "Nonlinear models for the intermodulation analysis of FET mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 43, 1037-1045, May 1995.

ANNEXE I

DEVELOPPEMENT DU COURANT DE DRAIN POUR UN MESFET

Le développement des équations en langage symbolique demande une place mémoire et un calcul très importants. Ces deux paramètres vont croître de manière exponentielle avec le nombre d'inconnues à considérer.

A) POSITION DU PROBLEME

A titre d'exemple, considérons le modèle cubique de Curtice pour le courant de drain d'un transistor MESFET (équation II-5) :

$$I_{dMESHET} = (A_0 + A_1 V_1 + A_2 V_1^2 + A_3 V_1^3) \tanh(\alpha V_d) \quad (A1-1)$$

$$V_1 = V_g (1 + \beta (V_{sat} - V_d))$$

Etant donné la taille des équations donnant les coefficients I_{dsk} du courant de drain I_d en fonction des coefficients des tensions V_g et V_d , nous ne présenterons *à titre d'illustration* que le développement suivant :

$$I_d = A_0 + A_1 V_1 + A_2 V_1^2 + A_3 V_1^3 \quad V_1 \approx \beta V_g (V_{sat} - V_d) \quad (A1-2)$$

en supposant que la tension de drain V_d est une constante (pour la détermination de nos résultats, les équations utilisées pour I_d et V_1 sont bien évidemment celles des relations A1-1).

En développant, pour cet exemple, le courant jusqu'au cinquième ordre (cinq harmoniques), les seules inconnues seront les coefficients de Fourier v_k de la tension V_g .

De là, le logiciel MAPLE nous a permis d'écrire *ANALYTIQUEMENT* les coefficients I_{dsk} (notés $id(k)$, $k = 1, \dots, 5$) du courant de drain I_d et ceux de sa dérivée δI_{dsk} par rapport à la tension V_g (notés $did(k)$, $k = 1, \dots, 5$) et ce, en fonction des coefficients v_k et des paramètres A_0, A_1, A_2, A_3 et β .

B) DEVELOPPEMENT DES EQUATIONS (A1-2)

```

t0 = beta*(vsat-vd)
t1 = cos(8.E0/31.E0*0.3141593E1)
t2 = v1*t0*t1
t3 = t1**2
t4 = sin(8.E0/31.E0*0.3141593E1)
t5 = t4**2
t7 = v2*t0*(t3-t5)
t8 = t3*t1
t9 = a1
t10 = a2
t11 = v3*t0*(t8-3*t1*t5)
t12 = t3**2
t13 = a3
t14 = t5**2
t16 = v4*t0*(t12-6*t3*t5+t14)
t21 = v5*t0*(t12*t1-10*t8*t5+5*t1*t14)
t23 = a0
t25 = 1.E0+(-v0-t2-t7-t11-t16-t21)*t9+t23
t26 = t10*t25**2
t27 = v1*t4
t28 = v2*t1
t29 = t28*t13*t4
t30 = t3*t4*t10
t31 = t5*t4*t13
t33 = v3*(3*t30-t31)
t34 = t8*t4
t35 = t1**t13*t31
t37 = v4*(4*t34-4*t35)
t38 = t12*t4*t13
t39 = t3*t31
t40 = t14*t4
t42 = v5*(5*t38-10*t39+t40)
t43 = -t27-2*t29-t33-t37-t42
t44 = t43**2
t45 = t9*(v0-v1*t2+v2*t7+v3*t11+v4*t16+v5*t21)
t46 = t1*t45
t47 = -3*t29+t30
t49 = 4*t33-4*t34
t51 = -5*t37+10*t38-t39
t54 = beta*(-t26+2*t28+v3*t47+v4*t49+v5*t51)
t55 = cos(t54)
t56 = t25*t55
t57 = t1*t56
t58 = cos(12.E0/31.E0*0.3141593E1)
t60 = t58**2
t61 = sin(12.E0/31.E0*0.3141593E1)
t62 = t61**2
t63 = t60-t62
t65 = t60*t58
t67 = t65-3*t58*t62
t69 = t60**2
t71 = t62**2
t72 = t69-6*t60*t62+t71
t77 = t69*t58-10*t65*t62+5*t58*t71
t81 = exp(beta*(v0+v1*t58+v2*t63+v3*t67+v4*t72+v5*t77))
t82 = v1*t61
t84 = v2*t58*t61
t85 = t60*t61
t86 = t62*t61
t87 = 3*t85-t86

```

```

t89 = t65*t61
t90 = t58*t86
t91 = 4*t89-4*t90
t93 = t69*t61
t94 = t60*t86
t95 = t71*t61
t96 = 5*t93-10*t94+t95
t99 = beta*(t82+2*t84+v3*t87+v4*t91+v5*t96)
t100 = cos(t99)
t101 = t81*t100
t102 = t1*t101
t103 = cos(2.E0/31.E0*0.3141593E1)
t105 = t103**2
t106 = sin(2.E0/31.E0*0.3141593E1)
t107 = t106**2
t108 = t105-t107
t110 = t105*t103
t112 = t110-3*t103*t107
t114 = t105**2
t116 = t107**2
t117 = t114-6*t105*t107+t116
t122 = t114*t103-10*t110*t107+5*t103*t116
t126 = exp(beta*(v0+v1*t103+v2*t108+v3*t112+v4*t117+v5*t122))
t127 = v1*t106
t129 = v2*t103*t106
t130 = t105*t106
t131 = t107*t106
t132 = -3*t130+t131
t134 = t110*t106
t135 = t103*t131
t136 = -4*t134+4*t135
t138 = t114*t106
t139 = t105*t131
t140 = t116*t106
t141 = -5*t138+10*t139-t140
t144 = beta*(-t127-2*t129+v3*t132+v4*t136+v5*t141)
t145 = cos(t144)
t146 = t126*t145
t147 = t1*t146
t148 = cos(10.E0/31.E0*0.3141593E1)
t150 = t148**2
t151 = sin(10.E0/31.E0*0.3141593E1)
t152 = t151**2
t153 = t150-t152
t155 = t150*t148
t157 = t155-3*t148*t152
t159 = t150**2
t161 = t152**2
t162 = t159-6*t150*t152+t161
t167 = t159*t148-10*t155*t152+5*t148*t161
t171 = exp(beta*(v0+v1*t148+v2*t153+v3*t157+v4*t162+v5*t167))
t172 = v1*t151
t174 = v2*t148*t151
t175 = t150*t151
t176 = t152*t151
t177 = -3*t175+t176
t179 = t155*t151
t180 = t148*t176
t181 = -4*t179+4*t180
t183 = t159*t151
t184 = t150*t176
t185 = t161*t151
t186 = -5*t183+10*t184-t185

```

```

t189 = beta*(-t172-2*t174+v3*t177+v4*t181+v5*t186)
t190 = cos(t189)
t191 = t171*t190
t192 = t1*t191
t193 = cos(5.E0/31.E0*0.3141593E1)
t195 = t193**2
t196 = sin(5.E0/31.E0*0.3141593E1)
t197 = t196**2
t198 = t195-t197
t200 = t195*t193
t202 = -t200+3*t193*t197
t204 = t195**2
t206 = t197**2
t207 = t204-6*t195*t197+t206
t212 = -t204*t193+10*t200*t197-5*t193*t206
t216 = exp(beta*(v0-v1*t193+v2*t198+v3*t202+v4*t207+v5*t212))
t217 = v1*t196
t219 = v2*t193*t196
t220 = t195*t196
t221 = t197*t196
t222 = -3*t220+t221
t224 = t200*t196
t225 = t193*t221
t226 = 4*t224-4*t225
t228 = t204*t196
t229 = t195*t221
t230 = t206*t196
t231 = -5*t228+10*t229-t230
t234 = beta*(-t217+2*t219+v3*t222+v4*t226+v5*t231)
t235 = cos(t234)
t236 = t216*t235
t237 = t1*t236
t238 = cos(7.E0/31.E0*0.3141593E1)
t240 = t238**2
t241 = sin(7.E0/31.E0*0.3141593E1)
t242 = t241**2
t243 = t240-t242
t245 = t240*t238
t247 = -t245+3*t238*t242
t249 = t240**2
t251 = t242**2
t252 = t249-6*t240*t242+t251
t257 = -t249*t238+10*t245*t242-5*t238*t251
t261 = exp(beta*(v0-v1*t238+v2*t243+v3*t247+v4*t252+v5*t257))
t262 = v1*t241
t264 = v2*t238*t241
t265 = t240*t241
t266 = t242*t241
t267 = 3*t265-t266
t269 = t245*t241
t270 = t238*t266
t271 = -4*t269+4*t270
t273 = t249*t241
t274 = t240*t266
t275 = t251*t241
t276 = 5*t273-10*t274+t275
t279 = beta*(t262-2*t264+v3*t267+v4*t271+v5*t276)
t280 = cos(t279)
t281 = t261*t280
t282 = t1*t281
t283 = cos(15.E0/31.E0*0.3141593E1)
t285 = t283**2
t286 = sin(15.E0/31.E0*0.3141593E1)

```

```

t287 = t286**2
t288 = t285-t287
t290 = t285*t283
t292 = -t290+3*t283*t287
t294 = t285**2
t296 = t287**2
t297 = t294-6*t285*t287+t296
t302 = -t294*t283+10*t290*t287-5*t283*t296
t306 = exp(beta*(v0-v1*t283+v2*t288+v3*t292+v4*t297+v5*t302))
t307 = v1*t286
t309 = v2*t283*t286
t310 = t285*t286
t311 = t287*t286
t312 = 3*t310-t311
t314 = t290*t286
t315 = t283*t311
t316 = -4*t314+4*t315
t318 = t294*t286
t319 = t285*t311
t320 = t296*t286
t321 = 5*t318-10*t319+t320
t324 = beta*(t307-2*t309+v3*t312+v4*t316+v5*t321)
t325 = cos(t324)
t326 = t306*t325
t327 = t1*t326
t328 = cos(6.E0/31.E0*0.3141593E1)
t330 = t328**2
t331 = sin(6.E0/31.E0*0.3141593E1)
t332 = t331**2
t333 = t330-t332
t335 = t330*t328
t337 = t335-3*t328*t332
t339 = t330**2
t341 = t332**2
t342 = t339-6*t330*t332+t341
t347 = t339*t328-10*t335*t332+5*t328*t341
t351 = exp(beta*(v0+v1*t328+v2*t333+v3*t337+v4*t342+v5*t347))
t352 = v1*t331
t354 = v2*t328*t331
t355 = t330*t331
t356 = t332*t331
t357 = -3*t355+t356
t359 = t335*t331
t360 = t328*t356
t361 = -4*t359+4*t360
t363 = t339*t331
t364 = t330*t356
t365 = t341*t331
t366 = -5*t363+10*t364-t365
t369 = beta*(-t352-2*t354+v3*t357+v4*t361+v5*t366)
t370 = cos(t369)
t371 = t351*t370
t372 = t1*t371
t381 = t1*exp(beta*v0+beta*v1+beta*v2+beta*v3+beta*v4+beta*v5)
t382 = cos(0.3141593E1/31)
t384 = t382**2
t385 = sin(0.3141593E1/31)
t386 = t385**2
t387 = t384-t386
t389 = t384*t382
t391 = -t389+3*t382*t386
t393 = t384**2
t395 = t386**2

```

$t_{396} = t_{393} - 6*t_{384}*t_{386} + t_{395}$
 $t_{401} = -t_{393}*t_{382} + 10*t_{389}*t_{386} - 5*t_{382}*t_{395}$
 $t_{405} = \exp(\text{beta}*(v_0 - v_1*t_{382} + v_2*t_{387} + v_3*t_{391} + v_4*t_{396} + v_5*t_{401}))$
 $t_{406} = v_1*t_{385}$
 $t_{408} = v_2*t_{382}*t_{385}$
 $t_{409} = t_{384}*t_{385}$
 $t_{410} = t_{386}*t_{385}$
 $t_{411} = -3*t_{409} + t_{410}$
 $t_{413} = t_{389}*t_{385}$
 $t_{414} = t_{382}*t_{410}$
 $t_{415} = 4*t_{413} - 4*t_{414}$
 $t_{417} = t_{393}*t_{385}$
 $t_{418} = t_{384}*t_{410}$
 $t_{419} = t_{395}*t_{385}$
 $t_{420} = -5*t_{417} + 10*t_{418} - t_{419}$
 $t_{423} = \text{beta}*(-t_{406} + 2*t_{408} + v_3*t_{411} + v_4*t_{415} + v_5*t_{420})$
 $t_{424} = \cos(t_{423})$
 $t_{425} = t_{405}*t_{424}$
 $t_{426} = t_1*t_{425}$
 $t_{427} = \cos(14.E0/31.E0*0.3141593E1)$
 $t_{429} = t_{427}**2$
 $t_{430} = \sin(14.E0/31.E0*0.3141593E1)$
 $t_{431} = t_{430}**2$
 $t_{432} = t_{429} - t_{431}$
 $t_{434} = t_{429}*t_{427}$
 $t_{436} = t_{434} - 3*t_{427}*t_{431}$
 $t_{438} = t_{429}**2$
 $t_{440} = t_{431}**2$
 $t_{441} = t_{438} - 6*t_{429}*t_{431} + t_{440}$
 $t_{446} = t_{438}*t_{427} - 10*t_{434}*t_{431} + 5*t_{427}*t_{440}$
 $t_{450} = \exp(\text{beta}*(v_0 + v_1*t_{427} + v_2*t_{432} + v_3*t_{436} + v_4*t_{441} + v_5*t_{446}))$
 $t_{451} = v_1*t_{430}$
 $t_{453} = v_2*t_{427}*t_{430}$
 $t_{454} = t_{429}*t_{430}$
 $t_{455} = t_{431}*t_{430}$
 $t_{456} = -3*t_{454} + t_{455}$
 $t_{458} = t_{434}*t_{430}$
 $t_{459} = t_{427}*t_{455}$
 $t_{460} = -4*t_{458} + 4*t_{459}$
 $t_{462} = t_{438}*t_{430}$
 $t_{463} = t_{429}*t_{455}$
 $t_{464} = t_{440}*t_{430}$
 $t_{465} = -5*t_{462} + 10*t_{463} - t_{464}$
 $t_{468} = \text{beta}*(-t_{451} - 2*t_{453} + v_3*t_{456} + v_4*t_{460} + v_5*t_{465})$
 $t_{469} = \cos(t_{468})$
 $t_{470} = t_{450}*t_{469}$
 $t_{471} = t_1*t_{470}$
 $t_{472} = 3*t_{454} - t_{455}$
 $t_{474} = 4*t_{458} - 4*t_{459}$
 $t_{476} = 5*t_{462} - 10*t_{463} + t_{464}$
 $t_{479} = \text{beta}*(t_{451} + 2*t_{453} + v_3*t_{472} + v_4*t_{474} + v_5*t_{476})$
 $t_{480} = \cos(t_{479})$
 $t_{481} = t_{450}*t_{480}$
 $t_{482} = t_1*t_{481}$
 $t_{483} = -3*t_{310} + t_{311}$
 $t_{485} = 4*t_{314} - 4*t_{315}$
 $t_{487} = -5*t_{318} + 10*t_{319} - t_{320}$
 $t_{490} = \text{beta}*(-t_{307} + 2*t_{309} + v_3*t_{483} + v_4*t_{485} + v_5*t_{487})$
 $t_{491} = \cos(t_{490})$
 $t_{492} = t_{306}*t_{491}$
 $t_{493} = t_1*t_{492}$
 $t_{494} = 3*t_{355} - t_{356}$
 $t_{496} = 4*t_{359} - 4*t_{360}$

```

t498 = 5*t363-10*t364+t365
t501 = beta*(t352+2*t354+v3*t494+v4*t496+v5*t498)
t502 = cos(t501)
t503 = t351*t502
t504 = t1*t503
t505 = cos(9.E0/31.E0*0.3141593E1)
t507 = t505**2
t508 = sin(9.E0/31.E0*0.3141593E1)
t509 = t508**2
t510 = t507-t509
t512 = t507*t505
t514 = -t512+3*t505*t509
t516 = t507**2
t518 = t509**2
t519 = t516-6*t507*t509+t518
t524 = -t516*t505+10*t512*t509-5*t505*t518
t528 = exp(beta*(v0-v1*t505+v2*t510+v3*t514+v4*t519+v5*t524))
t529 = v1*t508
t531 = v2*t505*t508
t532 = t507*t508
t533 = t509*t508
t534 = -3*t532+t533
t536 = t512*t508
t537 = t505*t533
t538 = 4*t536-4*t537
t540 = t516*t508
t541 = t507*t533
t542 = t518*t508
t543 = -5*t540+10*t541-t542
t546 = beta*(-t529+2*t531+v3*t534+v4*t538+v5*t543)
t547 = cos(t546)
t548 = t528*t547
t549 = t1*t548
t550 = t46+t57+t102+t147+t192+t237+t282+t327+t372+2*t381+t426+t471
#+t482+t493+t504+t549
t551 = cos(3.E0/31.E0*0.3141593E1)
t553 = t551**2
t554 = sin(3.E0/31.E0*0.3141593E1)
t555 = t554**2
t556 = t553-t555
t558 = t553*t551
t560 = -t558+3*t551*t555
t562 = t553**2
t564 = t555**2
t565 = t562-6*t553*t555+t564
t570 = -t562*t551+10*t558*t555-5*t551*t564
t574 = exp(beta*(v0-v1*t551+v2*t556+v3*t560+v4*t565+v5*t570))
t575 = v1*t554
t577 = v2*t551*t554
t578 = t553*t554
t579 = t555*t554
t580 = 3*t578-t579
t582 = t558*t554
t583 = t551*t579
t584 = -4*t582+4*t583
t586 = t562*t554
t587 = t553*t579
t588 = t564*t554
t589 = 5*t586-10*t587+t588
t592 = beta*(t575-2*t577+v3*t580+v4*t584+v5*t589)
t593 = cos(t592)
t594 = t574*t593
t595 = t1*t594

```

```

t596 = -3*t578+t579
t598 = 4*t582-4*t583
t600 = -5*t586+10*t587-t588
t603 = beta*(-t575+2*t577+v3*t596+v4*t598+v5*t600)
t604 = cos(t603)
t605 = t574*t604
t606 = t1*t605
t607 = cos(4.E0/31.E0*0.3141593E1)
t609 = t607**2
t610 = sin(4.E0/31.E0*0.3141593E1)
t611 = t610**2
t612 = t609-t611
t614 = t609*t607
t616 = t614-3*t607*t611
t618 = t609**2
t620 = t611**2
t621 = t618-6*t609*t611+t620
t626 = t618*t607-10*t614*t611+5*t607*t620
t630 = exp(beta*(v0+v1*t607+v2*t612+v3*t616+v4*t621+v5*t626))
t631 = v1*t610
t633 = v2*t607*t610
t634 = t609*t610
t635 = t611*t610
t636 = -3*t634+t635
t638 = t614*t610
t639 = t607*t635
t640 = -4*t638+4*t639
t642 = t618*t610
t643 = t609*t635
t644 = t620*t610
t645 = -5*t642+10*t643-t644
t648 = beta*(-t631-2*t633+v3*t636+v4*t640+v5*t645)
t649 = cos(t648)
t650 = t630*t649
t651 = t1*t650
t652 = cos(8.E0/31.E0*0.3141593E1)
t654 = t652**2
t655 = sin(8.E0/31.E0*0.3141593E1)
t656 = t655**2
t657 = t654-t656
t659 = t654*t652
t661 = t659-3*t652*t656
t663 = t654**2
t665 = t656**2
t666 = t663-6*t654*t656+t665
t671 = t663*t652-10*t659*t656+5*t652*t665
t675 = exp(beta*(v0+v1*t652+v2*t657+v3*t661+v4*t666+v5*t671))
t676 = v1*t655
t678 = v2*t652*t655
t679 = t654*t655
t680 = t656*t655
t681 = 3*t679-t680
t683 = t659*t655
t684 = t652*t680
t685 = 4*t683-4*t684
t687 = t663*t655
t688 = t654*t680
t689 = t665*t655
t690 = 5*t687-10*t688+t689
t693 = beta*(t676+2*t678+v3*t681+v4*t685+v5*t690)
t694 = cos(t693)
t695 = t675*t694
t696 = t1*t695

```

```

t697 = cos(13.E0/31.E0*0.3141593E1)
t699 = t697**2
t700 = sin(13.E0/31.E0*0.3141593E1)
t701 = t700**2
t702 = t699-t701
t704 = t699*t697
t706 = -t704+3*t697*t701
t708 = t699**2
t710 = t701**2
t711 = t708-6*t699*t701+t710
t716 = -t708*t697+10*t704*t701-5*t697*t710
t720 = exp(beta*(v0-v1*t697+v2*t702+v3*t706+v4*t711+v5*t716))
t721 = v1*t700
t723 = v2*t697*t700
t724 = t699*t700
t725 = t701*t700
t726 = 3*t724-t725
t728 = t704*t700
t729 = t697*t725
t730 = -4*t728+4*t729
t732 = t708*t700
t733 = t699*t725
t734 = t710*t700
t735 = 5*t732-10*t733+t734
t738 = beta*(t721-2*t723+v3*t726+v4*t730+v5*t735)
t739 = cos(t738)
t740 = t720*t739
t741 = t1*t740
t742 = 3*t532-t533
t744 = -4*t536+4*t537
t746 = 5*t540-10*t541+t542
t749 = beta*(t529-2*t531+v3*t742+v4*t744+v5*t746)
t750 = cos(t749)
t751 = t528*t750
t752 = t1*t751
t753 = 3*t409-t410
t755 = -4*t413+4*t414
t757 = 5*t417-10*t418+t419
t760 = beta*(t406-2*t408+v3*t753+v4*t755+v5*t757)
t761 = cos(t760)
t762 = t405*t761
t763 = t1*t762
t764 = -3*t265+t266
t766 = 4*t269-4*t270
t768 = -5*t273+10*t274-t275
t771 = beta*(-t262+2*t264+v3*t764+v4*t766+v5*t768)
t772 = cos(t771)
t773 = t261*t772
t774 = t1*t773
t775 = -3*t724+t725
t777 = 4*t728-4*t729
t779 = -5*t732+10*t733-t734
t782 = beta*(-t721+2*t723+v3*t775+v4*t777+v5*t779)
t783 = cos(t782)
t784 = t720*t783
t785 = t1*t784
t786 = 3*t220-t221
t788 = -4*t224+4*t225
t790 = 5*t228-10*t229+t230
t793 = beta*(t217-2*t219+v3*t786+v4*t788+v5*t790)
t794 = cos(t793)
t795 = t216*t794
t796 = t1*t795

```

```

t797 = cmplx(0.E0,1.E0)
t798 = sin(t234)
t799 = t216*t798
t800 = t1*t799
t801 = -3*t679+t680
t803 = -4*t683+4*t684
t805 = -5*t687+10*t688-t689
t808 = beta*(-t676-2*t678+v3*t801+v4*t803+v5*t805)
t809 = sin(t808)
t810 = t675*t809
t811 = t1*t810
t812 = sin(t782)
t813 = t720*t812
t814 = t1*t813
t815 = sin(t479)
t816 = t450*t815
t817 = t1*t816
t818 = sin(t324)
t819 = t306*t818
t820 = t1*t819
t821 = sin(t693)
t822 = t675*t821
t823 = t1*t822
t824 = sin(t279)
t825 = t261*t824
t826 = t1*t825
t827 = sin(t648)
t828 = t630*t827
t829 = t1*t828
t830 = -3*t85+t86
t832 = -4*t89+4*t90
t834 = -5*t93+10*t94-t95
t837 = beta*(-t82-2*t84+v3*t830+v4*t832+v5*t834)
t838 = sin(t837)
t839 = t81*t838
t840 = t1*t839
t841 = sin(t771)
t842 = t261*t841
t843 = t1*t842
t844 = sin(t793)
t845 = t216*t844
t846 = t1*t845
t847 = sin(t760)
t848 = t405*t847
t849 = t1*t848
t850 = sin(t54)
t851 = t25*t850
t852 = t1*t851
t853 = sin(t546)
t854 = t528*t853
t855 = t1*t854
t856 = sin(t738)
t857 = t720*t856
t858 = t1*t857
t859 = t800+t811+t814+t817+t820+t823+t826+t829+t840+t843+t846+t849
#+t852+t855+t858
t860 = sin(t43)
t861 = t25*t860
t862 = t1*t861
t863 = 3*t634-t635
t865 = 4*t638-4*t639
t867 = 5*t642-10*t643+t644
t870 = beta*(t631+2*t633+v3*t863+v4*t865+v5*t867)

```

```

t871 = sin(t870)
t872 = t630*t871
t873 = t1*t872
t874 = sin(t468)
t875 = t450*t874
t876 = t1*t875
t877 = sin(t501)
t878 = t351*t877
t879 = t1*t878
t880 = sin(t144)
t881 = t126*t880
t882 = t1*t881
t883 = 3*t130-t131
t885 = 4*t134-4*t135
t887 = 5*t138-10*t139+t140
t890 = beta*(t127+2*t129+v3*t883+v4*t885+v5*t887)
t891 = sin(t890)
t892 = t126*t891
t893 = t1*t892
t894 = sin(t490)
t895 = t306*t894
t896 = t1*t895
t897 = sin(t749)
t898 = t528*t897
t899 = t1*t898
t900 = sin(t603)
t901 = t574*t900
t902 = t1*t901
t903 = sin(t423)
t904 = t405*t903
t905 = t1*t904
t906 = sin(t369)
t907 = t351*t906
t908 = t1*t907
t909 = 3*t175-t176
t911 = 4*t179-4*t180
t913 = 5*t183-10*t184+t185
t916 = beta*(t172+2*t174+v3*t909+v4*t911+v5*t913)
t917 = sin(t916)
t918 = t171*t917
t919 = t1*t918
t920 = sin(t99)
t921 = t81*t920
t922 = t1*t921
t923 = sin(t592)
t924 = t574*t923
t925 = t1*t924
t926 = sin(t189)
t927 = t171*t926
t928 = t1*t927
t929 = t862+t873+t876+t879+t882+t893+t896+t899+t902+t905+t908+t919
#+t922+t925+t928
t932 = cos(t808)
t933 = t675*t932
t934 = t1*t933
t935 = cos(t837)
t936 = t81*t935
t937 = t1*t936
t938 = cos(t870)
t939 = t630*t938
t940 = t1*t939
t941 = cos(t890)
t942 = t126*t941

```

$t_{943} = t_1 * t_{942}$
 $t_{944} = \cos(t_{916})$
 $t_{945} = t_{171} * t_{944}$
 $t_{946} = t_1 * t_{945}$
 $t_{947} = t_{595} + t_{606} + t_{651} + t_{696} + t_{741} + t_{752} + t_{763} + t_{774} + t_{785} + t_{796} + t_{797} * (t_{85}$
 $\#9 + t_{929}) + t_{934} + t_{937} + t_{940} + t_{943} + t_{946}$
 $t_{949} = iss * t_{261}$
 $t_{950} = t_{280} * beta$
 $t_{952} = t_{949} * t_{950} * t_{241}$
 $t_{953} = t_{103} * t_{126}$
 $t_{955} = t_1 * t_{953} * t_{891}$
 $t_{956} = iss * t_{126}$
 $t_{957} = t_{941} * beta$
 $t_{959} = t_{956} * t_{957} * t_{106}$
 $t_{960} = t_{551} * t_{574}$
 $t_{962} = t_1 * t_{960} * t_{900}$
 $t_{963} = t_{13} * 0.3141593E1$
 $t_{965} = t_{963} * f * t_{58}$
 $t_{966} = t_{505} * t_{528}$
 $t_{968} = t_1 * t_{966} * t_{897}$
 $t_{969} = iss * t_{528}$
 $t_{970} = t_{750} * beta$
 $t_{972} = t_{969} * t_{970} * t_{508}$
 $t_{974} = t_{963} * f * t_{505}$
 $t_{975} = t_{148} * t_{171}$
 $t_{977} = t_1 * t_{975} * t_{926}$
 $t_{978} = iss * t_{171}$
 $t_{979} = t_{190} * beta$
 $t_{981} = t_{978} * t_{979} * t_{151}$
 $t_{982} = t_{382} * t_{405}$
 $t_{984} = t_1 * t_{982} * t_{903}$
 $t_{985} = iss * t_{405}$
 $t_{986} = t_{424} * beta$
 $t_{988} = t_{985} * t_{986} * t_{385}$
 $t_{989} = t_{697} * t_{720}$
 $t_{991} = t_1 * t_{989} * t_{812}$
 $t_{992} = iss * t_{720}$
 $t_{993} = t_{783} * beta$
 $t_{995} = t_{992} * t_{993} * t_{700}$
 $t_{996} = iss * t_{574}$
 $t_{997} = t_{604} * beta$
 $t_{999} = t_{996} * t_{997} * t_{554}$
 $t_{1000} = t_{283} * t_{306}$
 $t_{1002} = t_1 * t_{1000} * t_{818}$
 $t_{1003} = iss * t_{306}$
 $t_{1004} = t_{325} * beta$
 $t_{1006} = t_{1003} * t_{1004} * t_{286}$
 $t_{1008} = t_{963} * f * t_{427}$
 $t_{1009} = t_{328} * t_{351}$
 $t_{1011} = t_1 * t_{1009} * t_{877}$
 $t_{1012} = t_{952} + t_{955} + t_{959} - t_{962} + 40 * t_{965} - t_{968} + t_{972} - 40 * t_{974} + t_{977} - t_{981} - t_{9}$
 $\#84 - t_{988} - t_{991} - t_{995} - t_{999} - t_{1002} + t_{1006} + 40 * t_{1008} + t_{1011}$
 $t_{1013} = iss * t_{351}$
 $t_{1014} = t_{502} * beta$
 $t_{1016} = t_{1013} * t_{1014} * t_{331}$
 $t_{1017} = t_{427} * t_{450}$
 $t_{1019} = t_1 * t_{1017} * t_{815}$
 $t_{1020} = iss * t_{450}$
 $t_{1021} = t_{480} * beta$
 $t_{1023} = t_{1020} * t_{1021} * t_{430}$
 $t_{1025} = t_1 * t_{989} * t_{856}$
 $t_{1026} = t_{739} * beta$
 $t_{1028} = t_{992} * t_{1026} * t_{700}$

$t_{1029} = t_{652} * t_{675}$
 $t_{1031} = t_1 * t_{1029} * t_{821}$
 $t_{1032} = iss * t_{675}$
 $t_{1033} = t_{694} * beta$
 $t_{1035} = t_{1032} * t_{1033} * t_{655}$
 $t_{1036} = t_{193} * t_{216}$
 $t_{1038} = t_1 * t_{1036} * t_{798}$
 $t_{1039} = iss * t_{216}$
 $t_{1040} = t_{235} * beta$
 $t_{1042} = t_{1039} * t_{1040} * t_{196}$
 $t_{1044} = t_1 * t_{1029} * t_{809}$
 $t_{1046} = t_1 * t_{953} * t_{880}$
 $t_{1047} = t_{145} * beta$
 $t_{1049} = t_{956} * t_{1047} * t_{106}$
 $t_{1050} = t_2 * t_{25}$
 $t_{1052} = t_1 * t_{1050} * t_{850}$
 $t_{1053} = iss * t_{25}$
 $t_{1054} = t_{55} * beta$
 $t_{1056} = t_{1053} * t_{1054} * t_5$
 $t_{1058} = t_1 * t_{1017} * t_{874}$
 $t_{1059} = t_{469} * beta$
 $t_{1061} = t_{1020} * t_{1059} * t_{430}$
 $t_{1063} = t_1 * t_{1050} * t_{860}$
 $t_{1064} = t_{44} * beta$
 $t_{1066} = t_{1053} * t_{1064} * t_5$
 $t_{1068} = t_{963} * f * t_{238}$
 $t_{1069} = t_{1016} + t_{1019} + t_{1023} - t_{1025} + t_{1028} + t_{1031} + t_{1035} - t_{1038} - t_{1042} + t_{1044} + t_{1046} - t_{1049} - t_{1052} - t_{1056} + t_{1058} - t_{1061} - t_{1063} + t_{1066} - 40 * t_{1068}$
 $t_{1071} = t_{238} * t_{261}$
 $t_{1073} = t_1 * t_{1071} * t_{824}$
 $t_{1074} = t_{794} * beta$
 $t_{1076} = t_{1039} * t_{1074} * t_{196}$
 $t_{1077} = t_{944} * beta$
 $t_{1079} = t_{978} * t_{1077} * t_{151}$
 $t_{1081} = t_{963} * f * t_{283}$
 $t_{1083} = t_{963} * f * t_{103}$
 $t_{1085} = t_1 * t_{1000} * t_{894}$
 $t_{1087} = t_{963} * f * t_{328}$
 $t_{1088} = t_{491} * beta$
 $t_{1090} = t_{1003} * t_{1088} * t_{286}$
 $t_{1092} = t_{963} * f * t_{551}$
 $t_{1094} = t_1 * t_{966} * t_{853}$
 $t_{1095} = t_{547} * beta$
 $t_{1097} = t_{969} * t_{1095} * t_{508}$
 $t_{1099} = t_1 * t_{960} * t_{923}$
 $t_{1100} = t_{593} * beta$
 $t_{1102} = t_{996} * t_{1100} * t_{554}$
 $t_{1103} = t_{58} * t_{81}$
 $t_{1105} = t_1 * t_{1103} * t_{838}$
 $t_{1106} = iss * t_{81}$
 $t_{1107} = t_{935} * beta$
 $t_{1109} = t_{1106} * t_{1107} * t_{61}$
 $t_{1110} = t_{932} * beta$
 $t_{1112} = t_{1032} * t_{1110} * t_{655}$
 $t_{1114} = t_{963} * f * t_{607}$
 $t_{1116} = t_1 * t_{1009} * t_{906}$
 $t_{1117} = t_{370} * beta$
 $t_{1119} = t_{1013} * t_{1117} * t_{331}$
 $t_{1120} = -t_{1073} + t_{1076} + t_{1079} - 40 * t_{1081} + 40 * t_{1083} - t_{1085} + 40 * t_{1087} - t_{1090} - 40 * t_{1092} - t_{1094} - t_{1097} - t_{1099} + t_{1102} + t_{1105} - t_{1109} - t_{1112} + 40 * t_{1114} + t_{1116} - 40 * t_{1119}$
 $t_{1121} = t_{607} * t_{630}$
 $t_{1123} = t_1 * t_{1121} * t_{871}$

$t_{1124} = \text{iss} * t_{630}$
 $t_{1125} = t_{938} * \text{beta}$
 $t_{1127} = t_{1124} * t_{1125} * t_{610}$
 $t_{1129} = t_1 * t_{982} * t_{847}$
 $t_{1130} = t_{761} * \text{beta}$
 $t_{1132} = t_{985} * t_{1130} * t_{385}$
 $t_{1134} = t_1 * t_{1103} * t_{920}$
 $t_{1135} = t_{100} * \text{beta}$
 $t_{1137} = t_{1106} * t_{1135} * t_{61}$
 $t_{1139} = t_1 * t_{975} * t_{917}$
 $t_{1140} = t_{963} * f$
 $t_{1142} = t_1 * t_{1036} * t_{844}$
 $t_{1144} = t_1 * t_{1121} * t_{827}$
 $t_{1146} = t_{963} * f * t_{652}$
 $t_{1147} = t_{649} * \text{beta}$
 $t_{1149} = t_{1124} * t_{1147} * t_{610}$
 $t_{1151} = t_{963} * f * t_{697}$
 $t_{1153} = t_1 * t_{1071} * t_{841}$
 $t_{1154} = t_{772} * \text{beta}$
 $t_{1156} = t_{949} * t_{1154} * t_{241}$
 $t_{1158} = t_{963} * f * t_{193}$
 $t_{1160} = t_{963} * f * t_2$
 $t_{1162} = t_{963} * f * t_{148}$
 $t_{1164} = t_{963} * f * t_{382}$
 $t_{1165} = t_{1123} + t_{1127} - t_{1129} + t_{1132} + t_{1134} + t_{1137} + t_{1139} + 40 * t_{1140} - t_{1142} + t_{1144} + 40 * t_{1146} - t_{1149} - 40 * t_{1151} - t_{1153} - t_{1156} - 40 * t_{1158} - 40 * t_{1160} + 40 * t_{1162} - 40 * t_{1164}$
 $t_{1169} = \text{beta} * t_{58}$
 $t_{1171} = \text{beta} * t_{61}$
 $t_{1174} = \text{iss} * (t_{1169} * t_{936} + t_{839} * t_{1171})$
 $t_{1175} = \text{beta} * t_{283}$
 $t_{1177} = \text{beta} * t_{286}$
 $t_{1180} = \text{iss} * (-t_{1175} * t_{326} - t_{819} * t_{1177})$
 $t_{1184} = \text{iss} * (-t_{1175} * t_{492} + t_{895} * t_{1177})$
 $t_{1185} = \text{beta} * t_{103}$
 $t_{1187} = \text{beta} * t_{106}$
 $t_{1190} = \text{iss} * (t_{1185} * t_{942} - t_{892} * t_{1187})$
 $t_{1191} = \text{beta} * t_{607}$
 $t_{1193} = \text{beta} * t_{610}$
 $t_{1196} = \text{iss} * (t_{1191} * t_{650} + t_{828} * t_{1193})$
 $t_{1197} = \text{beta} * t_{551}$
 $t_{1199} = \text{beta} * t_{554}$
 $t_{1202} = \text{iss} * (-t_{1197} * t_{605} + t_{901} * t_{1199})$
 $t_{1203} = \text{beta} * t_{328}$
 $t_{1205} = \text{beta} * t_{331}$
 $t_{1208} = \text{iss} * (t_{1203} * t_{503} - t_{878} * t_{1205})$
 $t_{1212} = \text{iss} * (-t_{1197} * t_{594} - t_{924} * t_{1199})$
 $t_{1216} = \text{iss} * (t_{1169} * t_{101} - t_{921} * t_{1171})$
 $t_{1217} = \text{beta} * t_2$
 $t_{1219} = \text{beta} * t_5$
 $t_{1222} = \text{iss} * (-t_{1217} * t_{56} + t_{851} * t_{1219})$
 $t_{1223} = \text{beta} * t_{193}$
 $t_{1225} = \text{beta} * t_{196}$
 $t_{1228} = \text{iss} * (-t_{1223} * t_{795} - t_{845} * t_{1225})$
 $t_{1229} = \text{beta} * t_{148}$
 $t_{1231} = \text{beta} * t_{151}$
 $t_{1234} = \text{iss} * (t_{1229} * t_{945} - t_{918} * t_{1231})$
 $t_{1235} = \text{beta} * t_{382}$
 $t_{1237} = \text{beta} * t_{385}$
 $t_{1240} = \text{iss} * (-t_{1235} * t_{425} + t_{904} * t_{1237})$
 $t_{1241} = \text{beta} * t_{697}$
 $t_{1243} = \text{beta} * t_{700}$
 $t_{1246} = \text{iss} * (-t_{1241} * t_{740} - t_{857} * t_{1243})$

```

t1247 = t797*(t1012+t1069+t1120+t1165)+t1174+t1180+2*t381+t1184+t1
#190+t1196+t1202+t1208+t1212+t1216+t1222+t1228+t1234+t1240+t1246
t1251 = iss*(-t1217*t45-t861*t1219)
t1252 = beta*t238
t1254 = beta*t241
t1257 = iss*(-t1252*t773+t842*t1254)
t1258 = beta*t652
t1260 = beta*t655
t1263 = iss*(t1258*t695-t822*t1260)
t1267 = iss*(t1203*t371+t907*t1205)
t1271 = iss*(t1185*t146+t881*t1187)
t1275 = iss*(-t1235*t762-t848*t1237)
t1279 = iss*(t1229*t191+t927*t1231)
t1283 = iss*(-t1223*t236+t799*t1225)
t1284 = beta*t505
t1286 = beta*t508
t1289 = iss*(-t1284*t548+t854*t1286)
t1290 = beta*t427
t1292 = beta*t430
t1295 = iss*(t1290*t481-t816*t1292)
t1299 = iss*(t1258*t933+t810*t1260)
t1303 = iss*(-t1241*t784+t813*t1243)
t1307 = iss*(t1290*t470+t875*t1292)
t1311 = iss*(t1191*t939-t872*t1193)
t1315 = iss*(-t1252*t281-t825*t1254)
t1319 = iss*(-t1284*t751-t898*t1286)
t1320 = t1251+t1257+t1263+t1267+t1271+t1275+t1279+t1283+t1289+t129
#5+t1299+t1303+t1307+t1311+t1315+t1319
t1322 = beta*t702
t1324 = t1241*t700
t1327 = iss*(t1322*t784-2*t813*t1324)
t1328 = beta*t510
t1330 = t1284*t508
t1333 = iss*(t1328*t548-2*t854*t1330)
t1334 = beta*t108
t1336 = t1185*t106
t1339 = iss*(t1334*t942-2*t892*t1336)
t1340 = beta*t198
t1342 = t1223*t196
t1345 = iss*(t1340*t795+2*t845*t1342)
t1346 = beta*t333
t1348 = t1203*t331
t1351 = iss*(t1346*t503-2*t878*t1348)
t1355 = iss*(t1340*t236-2*t799*t1342)
t1356 = beta*t7
t1358 = t1217*t5
t1361 = iss*(t1356*t56-2*t851*t1358)
t1362 = beta*t556
t1364 = t1197*t554
t1367 = iss*(t1362*t594+2*t924*t1364)
t1371 = iss*(t1334*t146+2*t881*t1336)
t1375 = iss*(t1346*t371+2*t907*t1348)
t1376 = beta*t153
t1378 = t1229*t151
t1381 = iss*(t1376*t191+2*t927*t1378)
t1382 = beta*t657
t1384 = t1258*t655
t1387 = iss*(t1382*t933+2*t810*t1384)
t1388 = beta*t432
t1390 = t1290*t430
t1393 = iss*(t1388*t481-2*t816*t1390)
t1394 = beta*t243
t1396 = t1252*t241

```

$t_{1399} = \text{iss} * (t_{1394} * t_{281} + 2 * t_{825} * t_{1396})$
 $t_{1403} = \text{iss} * (t_{1356} * t_{45} + 2 * t_{861} * t_{1358})$
 $t_{1404} = t_{1327} + 2 * t_{381} + t_{1333} + t_{1339} + t_{1345} + t_{1351} + t_{1355} + t_{1361} + t_{1367} + t_{1371} + t_{1375} + t_{1381} + t_{1387} + t_{1393} + t_{1399} + t_{1403}$
 $t_{1408} = \text{iss} * (t_{1376} * t_{945} - 2 * t_{918} * t_{1378})$
 $t_{1412} = \text{iss} * (t_{1388} * t_{470} + 2 * t_{875} * t_{1390})$
 $t_{1413} = \text{beta} * t_{612}$
 $t_{1415} = t_{1191} * t_{610}$
 $t_{1418} = \text{iss} * (t_{1413} * t_{939} - 2 * t_{872} * t_{1415})$
 $t_{1422} = \text{iss} * (t_{1362} * t_{605} - 2 * t_{901} * t_{1364})$
 $t_{1426} = \text{iss} * (t_{1322} * t_{740} + 2 * t_{857} * t_{1324})$
 $t_{1427} = \text{beta} * t_{63}$
 $t_{1429} = t_{1169} * t_{61}$
 $t_{1432} = \text{iss} * (t_{1427} * t_{936} + 2 * t_{839} * t_{1429})$
 $t_{1436} = \text{iss} * (t_{1382} * t_{695} - 2 * t_{822} * t_{1384})$
 $t_{1440} = \text{iss} * (t_{1328} * t_{751} + 2 * t_{898} * t_{1330})$
 $t_{1441} = t_{63} * t_{81}$
 $t_{1443} = t_1 * t_{1441} * t_{920}$
 $t_{1445} = 0.3141593E1 * f$
 $t_{1446} = t_{13} * t_{288} * t_{1445}$
 $t_{1448} = t_{978} * t_{944} * t_{1378}$
 $t_{1450} = t_{1235} * t_{385}$
 $t_{1451} = t_{985} * t_{761} * t_{1450}$
 $t_{1452} = t_{387} * t_{405}$
 $t_{1454} = t_1 * t_{1452} * t_{847}$
 $t_{1456} = t_{1124} * t_{938} * t_{1415}$
 $t_{1457} = t_{612} * t_{630}$
 $t_{1459} = t_1 * t_{1457} * t_{871}$
 $t_{1461} = t_{13} * t_{612} * t_{1445}$
 $t_{1463} = t_1 * t_{1452} * t_{903}$
 $t_{1465} = t_{996} * t_{604} * t_{1364}$
 $t_{1466} = t_{108} * t_{126}$
 $t_{1468} = t_1 * t_{1466} * t_{880}$
 $t_{1470} = t_{956} * t_{145} * t_{1336}$
 $t_{1472} = t_{985} * t_{424} * t_{1450}$
 $t_{1473} = t_{702} * t_{720}$
 $t_{1475} = t_1 * t_{1473} * t_{812}$
 $t_{1477} = t_{992} * t_{783} * t_{1324}$
 $t_{1479} = t_{978} * t_{190} * t_{1378}$
 $t_{1481} = t_{969} * t_{750} * t_{1330}$
 $t_{1483} = t_{13} * t_{510} * t_{1445}$
 $t_{1484} = 80 * t_{1140} + t_{1443} + 80 * t_{1446} + 2 * t_{1448} - 2 * t_{1451} + t_{1454} + 2 * t_{1456} + t_{1459} + 80 * t_{1461} + t_{1463} + 2 * t_{1465} + t_{1468} - 2 * t_{1470} + 2 * t_{1472} + t_{1475} + 2 * t_{1477} - 2 * t_{1479} - 2 * t_{1481} + 80 * t_{1483}$
 $t_{1486} = t_{13} * t_{243} * t_{1445}$
 $t_{1487} = t_{510} * t_{528}$
 $t_{1489} = t_1 * t_{1487} * t_{897}$
 $t_{1491} = t_{13} * t_{63} * t_{1445}$
 $t_{1493} = t_{1053} * t_{44} * t_{1358}$
 $t_{1495} = t_{1020} * t_{469} * t_{1390}$
 $t_{1497} = t_{1013} * t_{502} * t_{1348}$
 $t_{1498} = t_7 * t_{25}$
 $t_{1500} = t_1 * t_{1498} * t_{860}$
 $t_{1502} = t_{13} * t_{108} * t_{1445}$
 $t_{1504} = t_{1106} * t_{100} * t_{1429}$
 $t_{1505} = t_{333} * t_{351}$
 $t_{1507} = t_1 * t_{1505} * t_{877}$
 $t_{1509} = t_{1175} * t_{286}$
 $t_{1510} = t_{1003} * t_{325} * t_{1509}$
 $t_{1512} = t_{956} * t_{941} * t_{1336}$
 $t_{1513} = t_{288} * t_{306}$
 $t_{1515} = t_1 * t_{1513} * t_{818}$
 $t_{1516} = t_{556} * t_{574}$

$t_{1518} = t_1 * t_{1516} * t_{900}$
 $t_{1520} = t_1 * t_{1466} * t_{891}$
 $t_{1522} = t_{949} * t_{280} * t_{1396}$
 $t_{1523} = t_{243} * t_{261}$
 $t_{1525} = t_1 * t_{1523} * t_{824}$
 $t_{1526} = t_{153} * t_{171}$
 $t_{1528} = t_1 * t_{1526} * t_{926}$
 $t_{1530} = t_{1013} * t_{370} * t_{1348}$
 $t_{1531} = 80 * t_{1486} + t_{1489} + 80 * t_{1491} - 2 * t_{1493} - 2 * t_{1495} + 2 * t_{1497} + t_{1500} + 80 * t_{1502} + 2 * t_{1504} + t_{1507} - 2 * t_{1510} + 2 * t_{1512} + t_{1515} + t_{1518} + t_{1520} - 2 * t_{1522} + t_{1525} + t_{1528} - 2 * t_{1530}$
 $t_{1534} = t_1 * t_{1505} * t_{906}$
 $t_{1536} = t_{1032} * t_{932} * t_{1384}$
 $t_{1537} = t_{657} * t_{675}$
 $t_{1539} = t_1 * t_{1537} * t_{809}$
 $t_{1541} = t_{1039} * t_{235} * t_{1342}$
 $t_{1543} = t_{992} * t_{739} * t_{1324}$
 $t_{1544} = t_{198} * t_{216}$
 $t_{1546} = t_1 * t_{1544} * t_{798}$
 $t_{1548} = t_{1032} * t_{694} * t_{1384}$
 $t_{1550} = t_1 * t_{1537} * t_{821}$
 $t_{1552} = t_{1020} * t_{480} * t_{1390}$
 $t_{1554} = t_{13} * t_{432} * t_{1445}$
 $t_{1555} = t_{432} * t_{450}$
 $t_{1557} = t_1 * t_{1555} * t_{874}$
 $t_{1559} = t_{1039} * t_{794} * t_{1342}$
 $t_{1561} = t_1 * t_{1544} * t_{844}$
 $t_{1563} = t_{13} * t_{387} * t_{1445}$
 $t_{1565} = t_{13} * t_7 * t_{1445}$
 $t_{1567} = t_{13} * t_{153} * t_{1445}$
 $t_{1569} = t_{13} * t_{198} * t_{1445}$
 $t_{1571} = t_1 * t_{1555} * t_{815}$
 $t_{1573} = t_{949} * t_{772} * t_{1396}$
 $t_{1574} = t_{1534} - 2 * t_{1536} + t_{1539} + 2 * t_{1541} - 2 * t_{1543} + t_{1546} + 2 * t_{1548} + t_{1550} + 2 * t_{1552} + 80 * t_{1554} + t_{1557} - 2 * t_{1559} + t_{1561} + 80 * t_{1563} + 80 * t_{1565} + 80 * t_{1567} + 80 * t_{1569} + t_{1571} + 2 * t_{1573}$
 $t_{1576} = t_1 * t_{1523} * t_{841}$
 $t_{1578} = t_{13} * t_{702} * t_{1445}$
 $t_{1580} = t_{13} * t_{657} * t_{1445}$
 $t_{1582} = t_1 * t_{1441} * t_{838}$
 $t_{1584} = t_{1106} * t_{935} * t_{1429}$
 $t_{1586} = t_{996} * t_{593} * t_{1364}$
 $t_{1588} = t_1 * t_{1516} * t_{923}$
 $t_{1590} = t_{969} * t_{547} * t_{1330}$
 $t_{1592} = t_1 * t_{1487} * t_{853}$
 $t_{1594} = t_1 * t_{1513} * t_{894}$
 $t_{1596} = t_{13} * t_{556} * t_{1445}$
 $t_{1598} = t_{1003} * t_{491} * t_{1509}$
 $t_{1600} = t_{13} * t_{333} * t_{1445}$
 $t_{1602} = t_1 * t_{1526} * t_{917}$
 $t_{1604} = t_1 * t_{1473} * t_{856}$
 $t_{1606} = t_1 * t_{1498} * t_{850}$
 $t_{1608} = t_{1053} * t_{55} * t_{1358}$
 $t_{1610} = t_{1124} * t_{649} * t_{1415}$
 $t_{1612} = t_1 * t_{1457} * t_{827}$
 $t_{1613} = t_{1576} + 80 * t_{1578} + 80 * t_{1580} + t_{1582} - 2 * t_{1584} - 2 * t_{1586} + t_{1588} + 2 * t_{1590} + t_{1592} + t_{1594} + 80 * t_{1596} + 2 * t_{1598} + 80 * t_{1600} + t_{1602} + t_{1604} + t_{1606} + 2 * t_{1608} - 2 * t_{1610} + t_{1612}$
 $t_{1620} = iss * (t_{1427} * t_{101} - 2 * t_{921} * t_{1429})$
 $t_{1621} = beta * t_{288}$
 $t_{1625} = iss * (t_{1621} * t_{326} + 2 * t_{819} * t_{1509})$
 $t_{1626} = beta * t_{387}$
 $t_{1630} = iss * (t_{1626} * t_{425} - 2 * t_{904} * t_{1450})$

$t_{1634} = \text{iss}*(t_{1626}*t_{762}+2*t_{848}*t_{1450})$
 $t_{1638} = \text{iss}*(t_{1413}*t_{650}+2*t_{828}*t_{1415})$
 $t_{1642} = \text{iss}*(t_{1394}*t_{773}-2*t_{842}*t_{1396})$
 $t_{1646} = \text{iss}*(t_{1621}*t_{492}-2*t_{895}*t_{1509})$
 $t_{1647} = t_{1408}+t_{1412}+t_{1418}+t_{1422}+t_{1426}+t_{1432}+t_{1436}+t_{1440}+t_{797}*(t_{148}$
 $\#4+t_{1531}+t_{1574}+t_{1613})+t_{1620}+t_{1625}+t_{1630}+t_{1634}+t_{1638}+t_{1642}+t_{1646}$
 $t_{1649} = \text{beta}*t_{514}$
 $t_{1654} = \text{iss}*(t_{1649}*t_{548}-t_{854}*\text{beta}*t_{534})$
 $t_{1659} = \text{iss}*(t_{1649}*t_{751}-t_{898}*\text{beta}*t_{742})$
 $t_{1661} = t_{13}*t_{726}*t_{1445}$
 $t_{1662} = \text{beta}*t_{67}$
 $t_{1667} = \text{iss}*(t_{1662}*t_{101}-t_{921}*\text{beta}*t_{87})$
 $t_{1668} = \text{beta}*t_{11}$
 $t_{1673} = \text{iss}*(t_{1668}*t_{56}-t_{851}*\text{beta}*t_{47})$
 $t_{1674} = \text{beta}*t_{247}$
 $t_{1679} = \text{iss}*(t_{1674}*t_{773}-t_{842}*\text{beta}*t_{764})$
 $t_{1680} = \text{beta}*t_{202}$
 $t_{1685} = \text{iss}*(t_{1680}*t_{795}-t_{845}*\text{beta}*t_{786})$
 $t_{1686} = \text{beta}*t_{292}$
 $t_{1691} = \text{iss}*(t_{1686}*t_{326}-t_{819}*\text{beta}*t_{312})$
 $t_{1692} = \text{beta}*t_{436}$
 $t_{1697} = \text{iss}*(t_{1692}*t_{481}-t_{816}*\text{beta}*t_{472})$
 $t_{1702} = \text{iss}*(t_{1692}*t_{470}-t_{875}*\text{beta}*t_{456})$
 $t_{1703} = \text{beta}*t_{337}$
 $t_{1708} = \text{iss}*(t_{1703}*t_{503}-t_{878}*\text{beta}*t_{494})$
 $t_{1709} = \text{beta}*t_{560}$
 $t_{1714} = \text{iss}*(t_{1709}*t_{594}-t_{924}*\text{beta}*t_{580})$
 $t_{1719} = \text{iss}*(t_{1662}*t_{936}-t_{839}*\text{beta}*t_{830})$
 $t_{1720} = \text{beta}*t_{112}$
 $t_{1725} = \text{iss}*(t_{1720}*t_{942}-t_{892}*\text{beta}*t_{883})$
 $t_{1726} = t_{1654}+t_{1659}-60*t_{1661}+t_{1667}+t_{1673}+2*t_{381}+t_{1679}+t_{1685}+t_{1691}+$
 $\#t_{1697}+t_{1702}+t_{1708}+t_{1714}+t_{1719}+t_{1725}$
 $t_{1731} = \text{iss}*(t_{1668}*t_{45}-t_{861}*\text{beta}*t_{31})$
 $t_{1736} = \text{iss}*(t_{1680}*t_{236}-t_{799}*\text{beta}*t_{222})$
 $t_{1737} = \text{beta}*t_{661}$
 $t_{1742} = \text{iss}*(t_{1737}*t_{695}-t_{822}*\text{beta}*t_{681})$
 $t_{1743} = \text{beta}*t_{706}$
 $t_{1748} = \text{iss}*(t_{1743}*t_{740}-t_{857}*\text{beta}*t_{726})$
 $t_{1749} = \text{beta}*t_{616}$
 $t_{1754} = \text{iss}*(t_{1749}*t_{650}-t_{828}*\text{beta}*t_{636})$
 $t_{1755} = \text{beta}*t_{391}$
 $t_{1760} = \text{iss}*(t_{1755}*t_{425}-t_{904}*\text{beta}*t_{411})$
 $t_{1761} = \text{beta}*t_{157}$
 $t_{1766} = \text{iss}*(t_{1761}*t_{191}-t_{927}*\text{beta}*t_{177})$
 $t_{1771} = \text{iss}*(t_{1686}*t_{492}-t_{895}*\text{beta}*t_{483})$
 $t_{1776} = \text{iss}*(t_{1737}*t_{933}-t_{810}*\text{beta}*t_{801})$
 $t_{1781} = \text{iss}*(t_{1749}*t_{939}-t_{872}*\text{beta}*t_{863})$
 $t_{1786} = \text{iss}*(t_{1755}*t_{762}-t_{848}*\text{beta}*t_{753})$
 $t_{1791} = \text{iss}*(t_{1761}*t_{945}-t_{918}*\text{beta}*t_{909})$
 $t_{1793} = t_{13}*t_{267}*t_{1445}$
 $t_{1798} = \text{iss}*(t_{1743}*t_{784}-t_{813}*\text{beta}*t_{775})$
 $t_{1800} = t_{13}*t_{764}*t_{1445}$
 $t_{1805} = \text{iss}*(t_{1720}*t_{146}-t_{881}*\text{beta}*t_{132})$
 $t_{1806} = t_{1731}+t_{1736}+t_{1742}+t_{1748}+t_{1754}+t_{1760}+t_{1766}+t_{1771}+t_{1776}+t_{178}$
 $\#1+t_{1786}+t_{1791}-60*t_{1793}+t_{1798}-60*t_{1800}+t_{1805}$
 $t_{1809} = t_{13}*t_{786}*t_{1445}$
 $t_{1811} = t_{13}*t_{31}*t_{1445}$
 $t_{1813} = t_{13}*t_{909}*t_{1445}$
 $t_{1815} = t_{13}*t_{456}*t_{1445}$
 $t_{1820} = \text{iss}*(t_{1674}*t_{281}-t_{825}*\text{beta}*t_{267})$
 $t_{1822} = t_{13}*t_{753}*t_{1445}$
 $t_{1824} = t_{13}*t_{801}*t_{1445}$
 $t_{1826} = t_{13}*t_{775}*t_{1445}$

$t_{1828} = t_{13} * t_{742} * t_{1445}$
 $t_{1833} = iss * (t_{1703} * t_{371} - t_{907} * beta * t_{357})$
 $t_{1835} = t_{13} * t_{132} * t_{1445}$
 $t_{1837} = t_{13} * t_{177} * t_{1445}$
 $t_{1842} = iss * (t_{1709} * t_{605} - t_{901} * beta * t_{596})$
 $t_{1844} = t_{13} * t_{47} * t_{1445}$
 $t_{1846} = t_{13} * t_{87} * t_{1445}$
 $t_{1847} = -60 * t_{1809} - 60 * t_{1811} - 60 * t_{1813} - 60 * t_{1815} + t_{1820} - 60 * t_{1822} - 60 * t_{1824} - 60 * t_{1826} - 60 * t_{1828} + t_{1833} - 60 * t_{1835} - 60 * t_{1837} + t_{1842} - 60 * t_{1844} - 60 * t_{1846}$
 $t_{1849} = t_{13} * t_{636} * t_{1445}$
 $t_{1851} = t_{13} * t_{681} * t_{1445}$
 $t_{1853} = t_{13} * t_{494} * t_{1445}$
 $t_{1855} = t_{13} * t_{580} * t_{1445}$
 $t_{1857} = t_{13} * t_{534} * t_{1445}$
 $t_{1859} = t_{13} * t_{883} * t_{1445}$
 $t_{1861} = t_{13} * t_{863} * t_{1445}$
 $t_{1863} = t_{13} * t_{357} * t_{1445}$
 $t_{1865} = t_{13} * t_{830} * t_{1445}$
 $t_{1867} = t_{13} * t_{312} * t_{1445}$
 $t_{1869} = t_{13} * t_{483} * t_{1445}$
 $t_{1871} = t_{13} * t_{596} * t_{1445}$
 $t_{1873} = t_{13} * t_{222} * t_{1445}$
 $t_{1875} = t_{13} * t_{411} * t_{1445}$
 $t_{1877} = t_{956} * t_{957} * t_{883}$
 $t_{1879} = t_{996} * t_{997} * t_{596}$
 $t_{1880} = t_{560} * t_{574}$
 $t_{1882} = t_1 * t_{1880} * t_{900}$
 $t_{1883} = t_{706} * t_{720}$
 $t_{1885} = t_1 * t_{1883} * t_{812}$
 $t_{1886} = t_{292} * t_{306}$
 $t_{1888} = t_1 * t_{1886} * t_{818}$
 $t_{1890} = t_{1003} * t_{1004} * t_{312}$
 $t_{1891} = t_{157} * t_{171}$
 $t_{1893} = t_1 * t_{1891} * t_{926}$
 $t_{1894} = t_{112} * t_{126}$
 $t_{1896} = t_1 * t_{1894} * t_{880}$
 $t_{1897} = t_{337} * t_{351}$
 $t_{1899} = t_1 * t_{1897} * t_{906}$
 $t_{1901} = t_{1013} * t_{1117} * t_{357}$
 $t_{1903} = t_{1124} * t_{1125} * t_{863}$
 $t_{1904} = t_{391} * t_{405}$
 $t_{1906} = t_1 * t_{1904} * t_{847}$
 $t_{1908} = t_{985} * t_{986} * t_{411}$
 $t_{1910} = t_1 * t_{1897} * t_{877}$
 $t_{1911} = t_{247} * t_{261}$
 $t_{1913} = t_1 * t_{1911} * t_{824}$
 $t_{1915} = t_{13} * t_{436} * t_{1445}$
 $t_{1917} = t_{949} * t_{950} * t_{267}$
 $t_{1919} = t_1 * t_{1894} * t_{891}$
 $t_{1921} = t_{13} * t_{616} * t_{1445}$
 $t_{1922} = t_{1877} + t_{1879} + t_{1882} + t_{1885} + t_{1888} + t_{1890} + t_{1893} + t_{1896} + t_{1899} + t_{1901} + t_{1903} + t_{1906} + t_{1908} + t_{1910} + t_{1913} + 120 * t_{1915} + t_{1917} + t_{1919} + 120 * t_{1921}$
 $t_{1924} = t_{956} * t_{1047} * t_{132}$
 $t_{1925} = t_{661} * t_{675}$
 $t_{1927} = t_1 * t_{1925} * t_{821}$
 $t_{1929} = t_{1039} * t_{1040} * t_{222}$
 $t_{1931} = t_{1013} * t_{1014} * t_{494}$
 $t_{1933} = t_{1032} * t_{1033} * t_{681}$
 $t_{1935} = t_{978} * t_{979} * t_{177}$
 $t_{1937} = t_{992} * t_{993} * t_{775}$
 $t_{1939} = t_{1032} * t_{1110} * t_{801}$
 $t_{1940} = t_{202} * t_{216}$

$t_{1942} = t_1 * t_{1940} * t_{798}$
 $t_{1944} = t_{992} * t_{1026} * t_{726}$
 $t_{1945} = t_{514} * t_{528}$
 $t_{1947} = t_1 * t_{1945} * t_{853}$
 $t_{1949} = t_{985} * t_{1130} * t_{753}$
 $t_{1951} = t_{13} * t_{514} * t_{1445}$
 $t_{1953} = t_1 * t_{1904} * t_{903}$
 $t_{1955} = t_1 * t_{1880} * t_{923}$
 $t_{1957} = t_{996} * t_{1100} * t_{580}$
 $t_{1958} = t_{67} * t_{81}$
 $t_{1960} = t_1 * t_{1958} * t_{838}$
 $t_{1962} = t_1 * t_{1925} * t_{809}$
 $t_{1963} = t_{1924} + t_{1927} + t_{1929} + t_{1931} + t_{1933} + t_{1935} + t_{1937} + t_{1939} + t_{1942} + 120 *$
 $\#t_{1140} + t_{1944} + t_{1947} + t_{1949} + 120 * t_{1951} + t_{1953} + t_{1955} + t_{1957} + t_{1960} + t_{1962}$
 $t_{1965} = t_{616} * t_{630}$
 $t_{1967} = t_1 * t_{1965} * t_{871}$
 $t_{1968} = t_{436} * t_{450}$
 $t_{1970} = t_1 * t_{1968} * t_{815}$
 $t_{1972} = t_{13} * t_{157} * t_{1445}$
 $t_{1974} = t_{13} * t_{11} * t_{1445}$
 $t_{1976} = t_{1106} * t_{1135} * t_{87}$
 $t_{1978} = t_1 * t_{1958} * t_{920}$
 $t_{1980} = t_{978} * t_{1077} * t_{909}$
 $t_{1982} = t_{13} * t_{292} * t_{1445}$
 $t_{1984} = t_{13} * t_{112} * t_{1445}$
 $t_{1986} = t_{13} * t_{337} * t_{1445}$
 $t_{1988} = t_1 * t_{1886} * t_{894}$
 $t_{1990} = t_1 * t_{1891} * t_{917}$
 $t_{1992} = t_{1003} * t_{1088} * t_{483}$
 $t_{1994} = t_{13} * t_{560} * t_{1445}$
 $t_{1996} = t_{969} * t_{1095} * t_{534}$
 $t_{1998} = t_{13} * t_{391} * t_{1445}$
 $t_{2000} = t_1 * t_{1940} * t_{844}$
 $t_{2002} = t_{1039} * t_{1074} * t_{786}$
 $t_{2003} = t_{11} * t_{25}$
 $t_{2005} = t_1 * t_{2003} * t_{850}$
 $t_{2006} = t_{1967} + t_{1970} + 120 * t_{1972} + 120 * t_{1974} + t_{1976} + t_{1978} + t_{1980} + 120 * t_{198}$
 $\#2 + 120 * t_{1984} + 120 * t_{1986} + t_{1988} + t_{1990} + t_{1992} + 120 * t_{1994} + t_{1996} + 120 * t_{1998} +$
 $\#t_{2000} + t_{2002} + t_{2005}$
 $t_{2008} = t_{1053} * t_{1054} * t_{47}$
 $t_{2010} = t_1 * t_{1968} * t_{874}$
 $t_{2012} = t_{1020} * t_{1059} * t_{456}$
 $t_{2014} = t_1 * t_{2003} * t_{860}$
 $t_{2016} = t_{1053} * t_{1064} * t_{31}$
 $t_{2018} = t_{13} * t_{247} * t_{1445}$
 $t_{2020} = t_{13} * t_{67} * t_{1445}$
 $t_{2022} = t_1 * t_{1945} * t_{897}$
 $t_{2024} = t_{969} * t_{970} * t_{742}$
 $t_{2026} = t_1 * t_{1883} * t_{856}$
 $t_{2028} = t_{1106} * t_{1107} * t_{830}$
 $t_{2030} = t_1 * t_{1965} * t_{827}$
 $t_{2032} = t_{1124} * t_{1147} * t_{636}$
 $t_{2034} = t_{13} * t_{661} * t_{1445}$
 $t_{2036} = t_{13} * t_{706} * t_{1445}$
 $t_{2038} = t_1 * t_{1911} * t_{841}$
 $t_{2040} = t_{949} * t_{1154} * t_{764}$
 $t_{2042} = t_{13} * t_{202} * t_{1445}$
 $t_{2044} = t_{1020} * t_{1021} * t_{472}$
 $t_{2045} = t_{2008} + t_{2010} + t_{2012} + t_{2014} + t_{2016} + 120 * t_{2018} + 120 * t_{2020} + t_{2022} + t_2$
 $\#024 + t_{2026} + t_{2028} + t_{2030} + t_{2032} + 120 * t_{2034} + 120 * t_{2036} + t_{2038} + t_{2040} + 120 * t_2$
 $\#042 + t_{2044}$
 $t_{2050} = t_{13} * t_{472} * t_{1445}$
 $t_{2051} = -60 * t_{1849} - 60 * t_{1851} - 60 * t_{1853} - 60 * t_{1855} - 60 * t_{1857} - 60 * t_{1859} - 60 *$

```

#t1861-60*t1863-60*t1865-60*t1867-60*t1869-60*t1871-60*t1873-60*t18
#75+t797*(t1922+t1963+t2006+t2045)-60*t2050
t2055 = t13*t640*t1445
t2056 = beta*t711
t2061 = iss*(t2056*t740-t857*beta*t730)
t2062 = beta*t117
t2067 = iss*(t2062*t146-t881*beta*t136)
t2069 = t13*t181*t1445
t2070 = beta*t72
t2075 = iss*(t2070*t101-t921*beta*t91)
t2077 = t13*t788*t1445
t2079 = t13*t91*t1445
t2081 = t13*t271*t1445
t2083 = t13*t911*t1445
t2085 = t978*t979*t181
t2087 = t992*t993*t777
t2088 = t396*t405
t2090 = t1*t2088*t903
t2091 = t565*t574
t2093 = t1*t2091*t900
t2094 = t441*t450
t2096 = t1*t2094*t874
t2097 = t117*t126
t2099 = t1*t2097*t880
t2101 = t978*t1077*t911
t2102 = t72*t81
t2104 = t1*t2102*t838
t2106 = t956*t1047*t136
t2108 = t969*t1095*t538
t2109 = t711*t720
t2111 = t1*t2109*t812
t2112 = t16*t25
t2114 = t1*t2112*t850
t2116 = t1003*t1004*t316
t2118 = t996*t1100*t584
t2119 = t666*t675
t2121 = t1*t2119*t821
t2123 = t13*t396*t1445
t2125 = t13*t162*t1445
t2127 = t13*t207*t1445
t2129 = t13*t711*t1445
t2130 = t2085+t2087+t2090+t2093+t2096+t2099+t2101+t2104+t2106+t210
#8+t2111+t2114+t2116+t2118+t2121+160*t2123+160*t2125+160*t2127+160*
#t2129
t2132 = t985*t1130*t755
t2133 = t207*t216
t2135 = t1*t2133*t798
t2137 = t1039*t1040*t226
t2139 = t1020*t1059*t460
t2140 = t621*t630
t2142 = t1*t2140*t871
t2144 = t1*t2119*t809
t2146 = t1032*t1110*t803
t2148 = t13*t621*t1445
t2150 = t1*t2088*t847
t2152 = t1*t2112*t860
t2154 = t1*t2133*t844
t2155 = t297*t306
t2157 = t1*t2155*t894
t2159 = t13*t519*t1445
t2161 = t13*t72*t1445
t2162 = t519*t528
t2164 = t1*t2162*t853

```

$t_{2166} = t_{13} * t_{252} * t_{1445}$
 $t_{2167} = t_{162} * t_{171}$
 $t_{2169} = t_1 * t_{2167} * t_{917}$
 $t_{2171} = t_{985} * t_{986} * t_{415}$
 $t_{2173} = t_1 * t_{2167} * t_{926}$
 $t_{2174} = t_{2132} + t_{2135} + t_{2137} + t_{2139} + t_{2142} + t_{2144} + t_{2146} + 160 * t_{2148} + t_{2150} +$
 $\#t_{2152} + t_{2154} + t_{2157} + 160 * t_{2159} + 160 * t_{2161} + t_{2164} + 160 * t_{2166} + t_{2169} + t_{2171} +$
 $\#t_{2173}$
 $t_{2176} = t_{342} * t_{351}$
 $t_{2178} = t_1 * t_{2176} * t_{906}$
 $t_{2180} = t_1 * t_{2109} * t_{856}$
 $t_{2182} = t_1 * t_{2102} * t_{920}$
 $t_{2184} = t_{1124} * t_{1125} * t_{865}$
 $t_{2186} = t_{1013} * t_{1117} * t_{361}$
 $t_{2188} = t_{1106} * t_{1135} * t_{91}$
 $t_{2190} = t_1 * t_{2091} * t_{923}$
 $t_{2192} = t_{1053} * t_{1064} * t_{35}$
 $t_{2194} = t_{13} * t_{342} * t_{1445}$
 $t_{2196} = t_{949} * t_{950} * t_{271}$
 $t_{2198} = t_{13} * t_{565} * t_{1445}$
 $t_{2200} = t_{13} * t_{297} * t_{1445}$
 $t_{2202} = t_{1003} * t_{1088} * t_{485}$
 $t_{2204} = t_{1039} * t_{1074} * t_{788}$
 $t_{2205} = t_{252} * t_{261}$
 $t_{2207} = t_1 * t_{2205} * t_{824}$
 $t_{2209} = t_1 * t_{2162} * t_{897}$
 $t_{2211} = t_{13} * t_{117} * t_{1445}$
 $t_{2213} = t_{1106} * t_{1107} * t_{832}$
 $t_{2215} = t_{1032} * t_{1033} * t_{685}$
 $t_{2216} = t_{2178} + t_{2180} + t_{2182} + t_{2184} + t_{2186} + t_{2188} + t_{2190} + t_{2192} + 160 * t_{2194} +$
 $\#t_{2196} + 160 * t_{2198} + 160 * t_{2200} + t_{2202} + t_{2204} + t_{2207} + t_{2209} + 160 * t_{2211} + t_{2213} +$
 $\#t_{2215}$
 $t_{2218} = t_1 * t_{2176} * t_{877}$
 $t_{2220} = t_{1013} * t_{1014} * t_{496}$
 $t_{2222} = t_{1020} * t_{1021} * t_{474}$
 $t_{2224} = t_1 * t_{2094} * t_{815}$
 $t_{2226} = t_1 * t_{2205} * t_{841}$
 $t_{2228} = t_{949} * t_{1154} * t_{766}$
 $t_{2230} = t_{13} * t_{16} * t_{1445}$
 $t_{2232} = t_1 * t_{2140} * t_{827}$
 $t_{2234} = t_{969} * t_{970} * t_{744}$
 $t_{2236} = t_{1124} * t_{1147} * t_{640}$
 $t_{2238} = t_{13} * t_{666} * t_{1445}$
 $t_{2240} = t_{1053} * t_{1054} * t_{49}$
 $t_{2242} = t_{992} * t_{1026} * t_{730}$
 $t_{2244} = t_{996} * t_{997} * t_{598}$
 $t_{2246} = t_1 * t_{2155} * t_{818}$
 $t_{2248} = t_{13} * t_{441} * t_{1445}$
 $t_{2250} = t_1 * t_{2097} * t_{891}$
 $t_{2252} = t_{956} * t_{957} * t_{885}$
 $t_{2253} = t_{2218} + t_{2220} + t_{2222} + t_{2224} + t_{2226} + t_{2228} + 160 * t_{2230} + t_{2232} + t_{2234} +$
 $\#t_{2236} + 160 * t_{2238} + t_{2240} + t_{2242} + t_{2244} + t_{2246} + 160 * t_{2248} + t_{2250} + 160 * t_{1140} +$
 $\#t_{2252}$
 $t_{2258} = t_{13} * t_{460} * t_{1445}$
 $t_{2260} = t_{13} * t_{35} * t_{1445}$
 $t_{2261} = \text{beta} * t_{519}$
 $t_{2266} = \text{iss} * (t_{2261} * t_{548} - t_{854} * \text{beta} * t_{538})$
 $t_{2267} = \text{beta} * t_{565}$
 $t_{2272} = \text{iss} * (t_{2267} * t_{605} - t_{901} * \text{beta} * t_{598})$
 $t_{2273} = -80 * t_{2055} + t_{2061} + t_{2067} - 80 * t_{2069} + t_{2075} - 80 * t_{2077} - 80 * t_{2079} - 80 *$
 $\#t_{2081} - 80 * t_{2083} + t_{797} * (t_{2130} + t_{2174} + t_{2216} + t_{2253}) - 80 * t_{2258} - 80 * t_{2260} + t_2$
 $\#266 + t_{2272} + 2 * t_{381}$
 $t_{2275} = t_{13} * t_{316} * t_{1445}$

$t_{2277} = t_{13} * t_{865} * t_{1445}$
 $t_{2279} = t_{13} * t_{832} * t_{1445}$
 $t_{2281} = t_{13} * t_{226} * t_{1445}$
 $t_{2283} = t_{13} * t_{584} * t_{1445}$
 $t_{2285} = t_{13} * t_{474} * t_{1445}$
 $t_{2287} = t_{13} * t_{496} * t_{1445}$
 $t_{2289} = t_{13} * t_{885} * t_{1445}$
 $t_{2290} = \text{beta} * t_{207}$
 $t_{2295} = \text{iss} * (t_{2290} * t_{236} - t_{799} * \text{beta} * t_{226})$
 $t_{2297} = t_{13} * t_{685} * t_{1445}$
 $t_{2299} = t_{13} * t_{730} * t_{1445}$
 $t_{2301} = t_{13} * t_{755} * t_{1445}$
 $t_{2302} = \text{beta} * t_{16}$
 $t_{2307} = \text{iss} * (t_{2302} * t_{45} - t_{861} * \text{beta} * t_{35})$
 $t_{2308} = \text{beta} * t_{621}$
 $t_{2313} = \text{iss} * (t_{2308} * t_{939} - t_{872} * \text{beta} * t_{865})$
 $t_{2314} = \text{beta} * t_{297}$
 $t_{2319} = \text{iss} * (t_{2314} * t_{492} - t_{895} * \text{beta} * t_{485})$
 $t_{2324} = \text{iss} * (t_{2314} * t_{326} - t_{819} * \text{beta} * t_{316})$
 $t_{2325} = -80 * t_{2275} - 80 * t_{2277} - 80 * t_{2279} - 80 * t_{2281} - 80 * t_{2283} - 80 * t_{2285} - 80 * t_{2287} - 80 * t_{2289} + t_{2295} - 80 * t_{2297} - 80 * t_{2299} - 80 * t_{2301} + t_{2307} + t_{2313} + t_{2319} +$
 $\#t_{2324}$
 $t_{2328} = t_{13} * t_{49} * t_{1445}$
 $t_{2333} = \text{iss} * (t_{2302} * t_{56} - t_{851} * \text{beta} * t_{49})$
 $t_{2334} = \text{beta} * t_{441}$
 $t_{2339} = \text{iss} * (t_{2334} * t_{481} - t_{816} * \text{beta} * t_{474})$
 $t_{2344} = \text{iss} * (t_{2290} * t_{795} - t_{845} * \text{beta} * t_{788})$
 $t_{2346} = t_{13} * t_{598} * t_{1445}$
 $t_{2351} = \text{iss} * (t_{2334} * t_{470} - t_{875} * \text{beta} * t_{460})$
 $t_{2353} = t_{13} * t_{361} * t_{1445}$
 $t_{2354} = \text{beta} * t_{396}$
 $t_{2359} = \text{iss} * (t_{2354} * t_{425} - t_{904} * \text{beta} * t_{415})$
 $t_{2361} = t_{13} * t_{415} * t_{1445}$
 $t_{2363} = t_{13} * t_{538} * t_{1445}$
 $t_{2368} = \text{iss} * (t_{2056} * t_{784} - t_{813} * \text{beta} * t_{777})$
 $t_{2370} = t_{13} * t_{485} * t_{1445}$
 $t_{2375} = \text{iss} * (t_{2062} * t_{942} - t_{892} * \text{beta} * t_{885})$
 $t_{2376} = \text{beta} * t_{162}$
 $t_{2381} = \text{iss} * (t_{2376} * t_{945} - t_{918} * \text{beta} * t_{911})$
 $t_{2386} = \text{iss} * (t_{2070} * t_{936} - t_{839} * \text{beta} * t_{832})$
 $t_{2387} = -80 * t_{2328} + t_{2333} + t_{2339} + t_{2344} - 80 * t_{2346} + t_{2351} - 80 * t_{2353} + t_{2359} -$
 $\#80 * t_{2361} - 80 * t_{2363} + t_{2368} - 80 * t_{2370} + t_{2375} + t_{2381} + t_{2386}$
 $t_{2392} = \text{iss} * (t_{2376} * t_{191} - t_{927} * \text{beta} * t_{181})$
 $t_{2393} = \text{beta} * t_{666}$
 $t_{2398} = \text{iss} * (t_{2393} * t_{933} - t_{810} * \text{beta} * t_{803})$
 $t_{2399} = \text{beta} * t_{252}$
 $t_{2404} = \text{iss} * (t_{2399} * t_{773} - t_{842} * \text{beta} * t_{766})$
 $t_{2406} = t_{13} * t_{777} * t_{1445}$
 $t_{2408} = t_{13} * t_{803} * t_{1445}$
 $t_{2410} = t_{13} * t_{136} * t_{1445}$
 $t_{2412} = t_{13} * t_{766} * t_{1445}$
 $t_{2417} = \text{iss} * (t_{2261} * t_{751} - t_{898} * \text{beta} * t_{744})$
 $t_{2419} = t_{13} * t_{744} * t_{1445}$
 $t_{2424} = \text{iss} * (t_{2354} * t_{762} - t_{848} * \text{beta} * t_{755})$
 $t_{2429} = \text{iss} * (t_{2308} * t_{650} - t_{828} * \text{beta} * t_{640})$
 $t_{2434} = \text{iss} * (t_{2267} * t_{594} - t_{924} * \text{beta} * t_{584})$
 $t_{2435} = \text{beta} * t_{342}$
 $t_{2440} = \text{iss} * (t_{2435} * t_{371} - t_{907} * \text{beta} * t_{361})$
 $t_{2445} = \text{iss} * (t_{2435} * t_{503} - t_{878} * \text{beta} * t_{496})$
 $t_{2450} = \text{iss} * (t_{2393} * t_{695} - t_{822} * \text{beta} * t_{685})$
 $t_{2455} = \text{iss} * (t_{2399} * t_{281} - t_{825} * \text{beta} * t_{271})$
 $t_{2456} = t_{2392} + t_{2398} + t_{2404} - 80 * t_{2406} - 80 * t_{2408} - 80 * t_{2410} - 80 * t_{2412} + t_{241}$
 $\#7 - 80 * t_{2419} + t_{2424} + t_{2429} + t_{2434} + t_{2440} + t_{2445} + t_{2450} + t_{2455}$

$t_{2459} = \beta * t_{167}$
 $t_{2464} = \text{iss} * (t_{2459} * t_{945} - t_{918} * \beta * t_{913})$
 $t_{2465} = t_{524} * t_{528}$
 $t_{2467} = t_1 * t_{2465} * t_{897}$
 $t_{2469} = t_{956} * t_{1047} * t_{141}$
 $t_{2471} = t_{13} * t_{347} * t_{1445}$
 $t_{2472} = t_{122} * t_{126}$
 $t_{2474} = t_1 * t_{2472} * t_{880}$
 $t_{2475} = t_{167} * t_{171}$
 $t_{2477} = t_1 * t_{2475} * t_{917}$
 $t_{2478} = t_{77} * t_{81}$
 $t_{2480} = t_1 * t_{2478} * t_{920}$
 $t_{2482} = t_{13} * t_{671} * t_{1445}$
 $t_{2484} = t_{13} * t_{302} * t_{1445}$
 $t_{2486} = t_{978} * t_{1077} * t_{913}$
 $t_{2487} = t_{446} * t_{450}$
 $t_{2489} = t_1 * t_{2487} * t_{874}$
 $t_{2490} = t_{21} * t_{25}$
 $t_{2492} = t_1 * t_{2490} * t_{860}$
 $t_{2494} = t_{1053} * t_{1064} * t_{40}$
 $t_{2496} = t_{13} * t_{257} * t_{1445}$
 $t_{2498} = t_{13} * t_{77} * t_{1445}$
 $t_{2500} = t_{13} * t_{446} * t_{1445}$
 $t_{2502} = t_{13} * t_{401} * t_{1445}$
 $t_{2504} = t_{969} * t_{970} * t_{746}$
 $t_{2505} = t_{212} * t_{216}$
 $t_{2507} = t_1 * t_{2505} * t_{844}$
 $t_{2508} = t_{2467} + t_{2469} + 200 * t_{2471} + t_{2474} + t_{2477} + t_{2480} + 200 * t_{2482} + 200 * t_{248}$
 $\#4 + t_{2486} + 200 * t_{1140} + t_{2489} + t_{2492} + t_{2494} + 200 * t_{2496} + 200 * t_{2498} + 200 * t_{2500} +$
 $\#200 * t_{2502} + t_{2504} + t_{2507}$
 $t_{2509} = t_{671} * t_{675}$
 $t_{2511} = t_1 * t_{2509} * t_{821}$
 $t_{2513} = t_{1032} * t_{1033} * t_{690}$
 $t_{2515} = t_1 * t_{2490} * t_{850}$
 $t_{2517} = t_{949} * t_{1154} * t_{768}$
 $t_{2518} = t_{257} * t_{261}$
 $t_{2520} = t_1 * t_{2518} * t_{841}$
 $t_{2522} = t_{13} * t_{122} * t_{1445}$
 $t_{2524} = t_1 * t_{2475} * t_{926}$
 $t_{2525} = t_{570} * t_{574}$
 $t_{2527} = t_1 * t_{2525} * t_{923}$
 $t_{2528} = t_{347} * t_{351}$
 $t_{2530} = t_1 * t_{2528} * t_{906}$
 $t_{2532} = t_{13} * t_{524} * t_{1445}$
 $t_{2533} = t_{401} * t_{405}$
 $t_{2535} = t_1 * t_{2533} * t_{903}$
 $t_{2537} = t_1 * t_{2505} * t_{798}$
 $t_{2539} = t_{1003} * t_{1088} * t_{487}$
 $t_{2541} = t_1 * t_{2509} * t_{809}$
 $t_{2542} = t_{716} * t_{720}$
 $t_{2544} = t_1 * t_{2542} * t_{856}$
 $t_{2546} = t_{1020} * t_{1021} * t_{476}$
 $t_{2548} = t_{13} * t_{212} * t_{1445}$
 $t_{2550} = t_{13} * t_{21} * t_{1445}$
 $t_{2552} = t_{1039} * t_{1074} * t_{790}$
 $t_{2553} = t_{2511} + t_{2513} + t_{2515} + t_{2517} + t_{2520} + 200 * t_{2522} + t_{2524} + t_{2527} + t_{2530} +$
 $\#200 * t_{2532} + t_{2535} + t_{2537} + t_{2539} + t_{2541} + t_{2544} + t_{2546} + 200 * t_{2548} + 200 * t_{2550} +$
 $\#t_{2552}$
 $t_{2556} = t_{13} * t_{167} * t_{1445}$
 $t_{2558} = t_{978} * t_{979} * t_{186}$
 $t_{2560} = t_{1106} * t_{1107} * t_{834}$
 $t_{2562} = t_{985} * t_{986} * t_{420}$
 $t_{2563} = t_{626} * t_{630}$

$t_{2565} = t_1 * t_{2563} * t_{827}$
 $t_{2567} = t_{13} * t_{570} * t_{1445}$
 $t_{2569} = t_{1124} * t_{1147} * t_{645}$
 $t_{2571} = t_{13} * t_{716} * t_{1445}$
 $t_{2573} = t_1 * t_{2465} * t_{853}$
 $t_{2575} = t_{969} * t_{1095} * t_{543}$
 $t_{2576} = t_{302} * t_{306}$
 $t_{2578} = t_1 * t_{2576} * t_{894}$
 $t_{2580} = t_{996} * t_{1100} * t_{589}$
 $t_{2582} = t_1 * t_{2478} * t_{838}$
 $t_{2584} = t_{1053} * t_{1054} * t_{51}$
 $t_{2586} = t_{1106} * t_{1135} * t_{96}$
 $t_{2588} = t_{1032} * t_{1110} * t_{805}$
 $t_{2590} = t_{13} * t_{626} * t_{1445}$
 $t_{2592} = t_{1013} * t_{1117} * t_{366}$
 $t_{2594} = t_1 * t_{2542} * t_{812}$
 $t_{2595} = 200 * t_{2556} + t_{2558} + t_{2560} + t_{2562} + t_{2565} + 200 * t_{2567} + t_{2569} + 200 * t_{257}$
 $\#1 + t_{2573} + t_{2575} + t_{2578} + t_{2580} + t_{2582} + t_{2584} + t_{2586} + t_{2588} + 200 * t_{2590} + t_{2592} +$
 $\#t_{2594}$
 $t_{2597} = t_{992} * t_{993} * t_{779}$
 $t_{2599} = t_1 * t_{2518} * t_{824}$
 $t_{2601} = t_{949} * t_{950} * t_{276}$
 $t_{2603} = t_1 * t_{2563} * t_{871}$
 $t_{2605} = t_1 * t_{2533} * t_{847}$
 $t_{2607} = t_{992} * t_{1026} * t_{735}$
 $t_{2609} = t_{985} * t_{1130} * t_{757}$
 $t_{2611} = t_{1039} * t_{1040} * t_{231}$
 $t_{2613} = t_1 * t_{2472} * t_{891}$
 $t_{2615} = t_1 * t_{2525} * t_{900}$
 $t_{2617} = t_{956} * t_{957} * t_{887}$
 $t_{2619} = t_1 * t_{2576} * t_{818}$
 $t_{2621} = t_1 * t_{2528} * t_{877}$
 $t_{2623} = t_{1003} * t_{1004} * t_{321}$
 $t_{2625} = t_{1013} * t_{1014} * t_{498}$
 $t_{2627} = t_1 * t_{2487} * t_{815}$
 $t_{2629} = t_{1020} * t_{1059} * t_{465}$
 $t_{2631} = t_{996} * t_{997} * t_{600}$
 $t_{2633} = t_{1124} * t_{1125} * t_{867}$
 $t_{2634} = t_{2597} + t_{2599} + t_{2601} + t_{2603} + t_{2605} + t_{2607} + t_{2609} + t_{2611} + t_{2613} + t_{261}$
 $\#5 + t_{2617} + t_{2619} + t_{2621} + t_{2623} + t_{2625} + t_{2627} + t_{2629} + t_{2631} + t_{2633}$
 $t_{2639} = t_{13} * t_{757} * t_{1445}$
 $t_{2640} = \text{beta} * t_{401}$
 $t_{2645} = \text{iss} * (t_{2640} * t_{762} - t_{848} * \text{beta} * t_{757})$
 $t_{2646} = \text{beta} * t_{347}$
 $t_{2651} = \text{iss} * (t_{2646} * t_{371} - t_{907} * \text{beta} * t_{366})$
 $t_{2653} = t_{13} * t_{746} * t_{1445}$
 $t_{2654} = \text{beta} * t_{302}$
 $t_{2659} = \text{iss} * (t_{2654} * t_{326} - t_{819} * \text{beta} * t_{321})$
 $t_{2661} = t_{13} * t_{420} * t_{1445}$
 $t_{2662} = \text{beta} * t_{524}$
 $t_{2667} = \text{iss} * (t_{2662} * t_{548} - t_{854} * \text{beta} * t_{543})$
 $t_{2668} = \text{beta} * t_{212}$
 $t_{2673} = \text{iss} * (t_{2668} * t_{795} - t_{845} * \text{beta} * t_{790})$
 $t_{2678} = \text{iss} * (t_{2668} * t_{236} - t_{799} * \text{beta} * t_{231})$
 $t_{2679} = \text{beta} * t_{257}$
 $t_{2684} = \text{iss} * (t_{2679} * t_{281} - t_{825} * \text{beta} * t_{276})$
 $t_{2685} = \text{beta} * t_{671}$
 $t_{2690} = \text{iss} * (t_{2685} * t_{933} - t_{810} * \text{beta} * t_{805})$
 $t_{2691} = \text{beta} * t_{626}$
 $t_{2696} = \text{iss} * (t_{2691} * t_{939} - t_{872} * \text{beta} * t_{867})$
 $t_{2697} = t_{2464} + 2 * t_{381} + t_{797} * (t_{2508} + t_{2553} + t_{2595} + t_{2634}) - 100 * t_{2639} + t_{264}$
 $\#5 + t_{2651} - 100 * t_{2653} + t_{2659} - 100 * t_{2661} + t_{2667} + t_{2673} + t_{2678} + t_{2684} + t_{2690} + t_2$
 $\#696$

```

t2698 = beta*t570
t2703 = iss*(t2698*t594-t924*beta*t589)
t2708 = iss*(t2654*t492-t895*beta*t487)
t2710 = t13*t589*t1445
t2712 = t13*t321*t1445
t2717 = iss*(t2679*t773-t842*beta*t768)
t2718 = beta*t446
t2723 = iss*(t2718*t481-t816*beta*t476)
t2725 = t13*t186*t1445
t2726 = beta*t21
t2731 = iss*(t2726*t56-t851*beta*t51)
t2736 = iss*(t2640*t425-t904*beta*t420)
t2741 = iss*(t2459*t191-t927*beta*t186)
t2742 = beta*t716
t2747 = iss*(t2742*t740-t857*beta*t735)
t2752 = iss*(t2646*t503-t878*beta*t498)
t2754 = t13*t366*t1445
t2755 = beta*t77
t2760 = iss*(t2755*t101-t921*beta*t96)
t2765 = iss*(t2726*t45-t861*beta*t40)
t2767 = t13*t867*t1445
t2768 = t2703+t2708-100*t2710-100*t2712+t2717+t2723-100*t2725+t273
#1+t2736+t2741+t2747+t2752-100*t2754+t2760+t2765-100*t2767
t2774 = iss*(t2742*t784-t813*beta*t779)
t2779 = iss*(t2718*t470-t875*beta*t465)
t2780 = beta*t122
t2785 = iss*(t2780*t942-t892*beta*t887)
t2790 = iss*(t2755*t936-t839*beta*t834)
t2795 = iss*(t2698*t605-t901*beta*t600)
t2800 = iss*(t2691*t650-t828*beta*t645)
t2802 = t13*t645*t1445
t2804 = t13*t690*t1445
t2806 = t13*t913*t1445
t2808 = t13*t768*t1445
t2810 = t13*t790*t1445
t2812 = t13*t40*t1445
t2814 = t13*t465*t1445
t2816 = t13*t276*t1445
t2818 = t13*t51*t1445
t2819 = t2774+t2779+t2785+t2790+t2795+t2800-100*t2802-100*t2804-10
#0*t2806-100*t2808-100*t2810-100*t2812-100*t2814-100*t2816-100*t281
#8
t2821 = t13*t476*t1445
t2823 = t13*t231*t1445
t2825 = t13*t600*t1445
t2827 = t13*t834*t1445
t2829 = t13*t887*t1445
t2831 = t13*t543*t1445
t2833 = t13*t487*t1445
t2838 = iss*(t2662*t751-t898*beta*t746)
t2843 = iss*(t2780*t146-t881*beta*t141)
t2845 = t13*t805*t1445
t2847 = t13*t779*t1445
t2849 = t13*t141*t1445
t2851 = t13*t735*t1445
t2853 = t13*t96*t1445
t2855 = t13*t498*t1445
t2860 = iss*(t2685*t695-t822*beta*t690)
t2861 = -100*t2821-100*t2823-100*t2825-100*t2827-100*t2829-100*t28
#31-100*t2833+t2838+t2843-100*t2845-100*t2847-100*t2849-100*t2851-1
#00*t2853-100*t2855+t2860
t2864 = -0.3826834E0*t800-0.8314696E0*t811-0.9238795E0*t814+0.9807
#853E0*t817+0.1E1*t820+0.7071068E0*t823+0.7071068E0*t826-0.5555702E

```

$\#0*t829-0.9807853E0*t840-0.5555702E0*t843+0.5555702E0*t846-0.382683$
 $\#4E0*t46-0.5555702E0*t57+0.3826834E0*t102+0.9238795E0*t147$
 $t2865 = 0.3826834E0*t192-0.9238795E0*t237-0.7071068E0*t282-0.6E-9*$
 $\#t327+0.1950903E0*t849-0.8314696E0*t852-0.7071068E0*t855+0.7071068E$
 $\#0*t372+0.1980785E1*t381-t426+0.6E-9*t471+0.1950903E0*t482-0.195090$
 $\#3E0*t493+0.8314696E0*t504-0.7071068E0*t549$
 $t2867 = -0.9238795E0*t595-0.9807853E0*t606+0.8314696E0*t651+0.7071$
 $\#068E0*t696-0.1950903E0*t741-0.5555702E0*t752-0.9807853E0*t763-0.83$
 $\#14696E0*t774-0.3826834E0*t785-0.8314696E0*t796+0.9807853E0*t858+0.$
 $\#9238795E0*t862+0.5555702E0*t934+0.3826834E0*t873-t876$
 $t2868 = -0.9238795E0*t800+0.5555702E0*t811-0.3826834E0*t814+0.1950$
 $\#903E0*t817-0.6E-9*t820+0.7071068E0*t823-0.7071068E0*t826+0.8314696$
 $\#E0*t829+0.1950903E0*t840-0.8314696E0*t843-0.8314696E0*t846-0.92387$
 $\#95E0*t46+0.8314696E0*t57-0.9238795E0*t102+0.3826834E0*t147$
 $t2869 = 0.9238795E0*t192+0.3826834E0*t237-0.7071068E0*t282-t327-0.$
 $\#9807853E0*t849-0.5555702E0*t852-0.7071068E0*t855+0.7071068E0*t372+$
 $\#0.1950903E0*t381+0.1E1*t471-0.9807853E0*t482+0.9807853E0*t493-0.55$
 $\#55702E0*t504+0.7071068E0*t549-0.3826834E0*t595$
 $t2871 = 0.1950903E0*t606+0.5555702E0*t651-0.7071068E0*t696-0.98078$
 $\#53E0*t741-0.8314696E0*t752-0.1950903E0*t763+0.5555702E0*t774+0.923$
 $\#8795E0*t785-0.5555702E0*t796-0.1950903E0*t858-0.3826834E0*t862+0.8$
 $\#314696E0*t934+0.9238795E0*t873+0.6E-9*t876+0.9807853E0*t937$
 $t2872 = 0.8314696E0*t879+0.9238795E0*t882+0.9807853E0*t893-0.19509$
 $\#03E0*t896-0.5555702E0*t899-0.9807853E0*t902-t905-0.3826834E0*t940+$
 $\#0.7071068E0*t908+0.5555702E0*t919-0.1950903E0*t943+0.3826834E0*t92$
 $\#2-0.9238795E0*t925-0.8314696E0*t946+0.3826834E0*t928$
 $t2876 = 0.1950903E0*t937+t797*(t2868+t2869+t2871+t2872)+0.5555702E$
 $\#0*t879-0.3826834E0*t882+0.1950903E0*t893-0.9807853E0*t896+0.831469$
 $\#6E0*t899-0.1950903E0*t902+0.9238795E0*t940-0.7071068E0*t908+0.8314$
 $\#696E0*t919+0.9807853E0*t943+0.9238795E0*t922+0.3826834E0*t925+0.55$
 $\#55702E0*t946-0.9238795E0*t928$
 $t2879 = 0.1950903E0*t1174-0.6E-9*t1180+0.1980785E1*t381+0.7071068E$
 $\#0*t952+0.1950903E0*t955+0.1950903E0*t959+0.1950903E0*t962-0.113811$
 $\#5E1*t965-0.8314696E0*t968+0.8314696E0*t972-0.2487257E1*t974-0.9238$
 $\#795E0*t977+0.9238795E0*t981+0.9238795E0*t991+0.9238795E0*t995$
 $t2880 = -0.1950903E0*t1184+0.1950903E0*t999-t1002+0.1E1*t1006-0.38$
 $\#42944E0*t1008+0.5555702E0*t1011+0.5555702E0*t1016+0.9807853E0*t101$
 $\#9+0.9807853E0*t1023-0.9807853E0*t1025+0.9807853E0*t1028+0.7071068E$
 $\#0*t1031+0.7071068E0*t1035+0.3826834E0*t1038+0.3826834E0*t1042$
 $t2882 = -0.8314696E0*t1044-0.3826834E0*t1046+0.3826834E0*t1049+0.8$
 $\#314696E0*t1052+0.8314696E0*t1056-t1058+0.1E1*t1061-0.9238795E0*t10$
 $\#63+0.9238795E0*t1066-0.3030731E1*t1068-0.7071068E0*t1073+0.5555702$
 $\#E0*t1076+0.8314696E0*t1079-0.3842944E0*t1081-0.3751862E1*t1083$
 $t2883 = 0.9807853E0*t1085-0.3030731E1*t1087+0.9807853E0*t1090-0.37$
 $\#51862E1*t1092+0.7071068E0*t1094+0.7071068E0*t1097-0.3826834E0*t109$
 $\#9+0.3826834E0*t1102-0.9807853E0*t1105+0.9807853E0*t1109+0.8314696E$
 $\#0*t1112-0.3457736E1*t1114-0.7071068E0*t1116+0.7071068E0*t1119+0.38$
 $\#26834E0*t1123$
 $t2886 = 0.3826834E0*t1127-0.1950903E0*t1129+0.1950903E0*t1132+0.92$
 $\#38795E0*t1134+0.9238795E0*t1137+0.8314696E0*t1139+0.9807853E0*t119$
 $\#0+0.8314696E0*t1196-0.9807853E0*t1202+0.8314696E0*t1208-0.3901806E$
 $\#1*t1140-0.5555702E0*t1142-0.5555702E0*t1144-0.2487257E1*t1146+0.55$
 $\#55702E0*t1149$
 $t2887 = -0.1138115E1*t1151+0.5555702E0*t1153+0.5555702E0*t1156-0.3$
 $\#457736E1*t1158-0.1848198E1*t1160-0.1848198E1*t1162-0.3901806E1*t11$
 $\#64-0.9238795E0*t1212+0.3826834E0*t1216-0.5555702E0*t1222-0.8314696$
 $\#E0*t1228+0.5555702E0*t1234-t1240-0.1950903E0*t1246-0.3826834E0*t12$
 $\#51$
 $t2890 = t963*f*t61$
 $t2891 = -0.8314696E0*t1257+0.7071068E0*t1263+0.7071068E0*t1267+0.9$
 $\#238795E0*t1271-0.9807853E0*t1275+0.3826834E0*t1279-0.9238795E0*t12$
 $\#83-0.7071068E0*t1289+0.1950903E0*t1295+0.5555702E0*t1299-0.3826834$
 $\#E0*t1303+0.6E-9*t1307+0.9238795E0*t1311-0.7071068E0*t1315-0.375186$

#2E1*t2890
 t2893 = t963*f*t106
 t2895 = t963*f*t700
 t2897 = t963*f*t508
 t2899 = t963*f*t241
 t2901 = t963*f*t5
 t2903 = t963*f*t151
 t2905 = t963*f*t385
 t2907 = t963*f*t430
 t2908 = 0.9807853E0*t1174-t1180+0.1950903E0*t381-0.7071068E0*t952+
 #0.9807853E0*t955+0.9807853E0*t959+0.9807853E0*t962+0.1155548E2*t96
 #5+0.5555702E0*t968-0.5555702E0*t972+0.2525354E2*t974+0.3826834E0*t
 #977-0.3826834E0*t981+t984+t988
 t2909 = 0.3826834E0*t991+0.3826834E0*t995+0.9807853E0*t1184+0.9807
 #853E0*t999+0.6E-9*t1002-0.6E-9*t1006+0.3901806E1*t1008+0.8314696E0
 #*t1011+0.8314696E0*t1016+0.1950903E0*t1019+0.1950903E0*t1023+0.195
 #0903E0*t1025-0.1950903E0*t1028+0.7071068E0*t1031+0.7071068E0*t1035
 t2911 = 0.9238795E0*t1038+0.9238795E0*t1042+0.5555702E0*t1044+0.92
 #38795E0*t1046-0.9238795E0*t1049+0.5555702E0*t1052+0.5555702E0*t105
 #6+0.6E-9*t1058-0.6E-9*t1061+0.3826834E0*t1063-0.3826834E0*t1066+0.
 #3077153E2*t1068+0.7071068E0*t1073-0.8314696E0*t1076+0.5555702E0*t1
 #079
 t2912 = 0.3901806E1*t1081+0.380933E2*t1083+0.1950903E0*t1085+0.307
 #7153E2*t1087+0.1950903E0*t1090+0.380933E2*t1092+0.7071068E0*t1094+
 #0.7071068E0*t1097+0.9238795E0*t1099-0.9238795E0*t1102+0.1950903E0*
 #t1105-0.1950903E0*t1109-0.5555702E0*t1112+0.3510698E2*t1114+0.7071
 #068E0*t1116
 t2915 = -0.7071068E0*t1119+0.9238795E0*t1123+0.9238795E0*t1127+0.9
 #807853E0*t1129-0.9807853E0*t1132+0.3826834E0*t1134+0.3826834E0*t11
 #37+0.5555702E0*t1139-0.1950903E0*t1190+0.5555702E0*t1196+0.1950903
 #E0*t1202-0.5555702E0*t1208+0.3961571E2*t1140+0.8314696E0*t1142+0.8
 #314696E0*t1144
 t2916 = 0.2525354E2*t1146-0.8314696E0*t1149+0.1155548E2*t1151+0.83
 #14696E0*t1153+0.8314696E0*t1156+0.3510698E2*t1158+0.1876507E2*t116
 #0+0.1876507E2*t1162+0.3961571E2*t1164-0.3826834E0*t1212-0.9238795E
 #0*t1216+0.8314696E0*t1222-0.5555702E0*t1228-0.8314696E0*t1234-0.98
 #07853E0*t1246
 t2918 = -0.9238795E0*t1251+0.5555702E0*t1257-0.7071068E0*t1263+0.7
 #071068E0*t1267+0.3826834E0*t1271-0.1950903E0*t1275+0.9238795E0*t12
 #79+0.3826834E0*t1283+0.7071068E0*t1289-0.9807853E0*t1295+0.8314696
 #E0*t1299+0.9238795E0*t1303+0.1E1*t1307-0.3826834E0*t1311-0.7071068
 #E0*t1315
 t2920 = t963*f*t196
 t2922 = t963*f*t554
 t2924 = t963*f*t331
 t2926 = t963*f*t655
 t2928 = t963*f*t610
 t2930 = t963*f*t286
 t2931 = 0.380933E2*t2890+0.1155548E2*t2893+0.380933E2*t2895+0.3077
 #153E2*t2897+0.2525354E2*t2899+0.3510698E2*t2901+0.3510698E2*t2903+
 #0.3901806E1*t2905+0.3961571E2*t2907+0.1876507E2*t2920+0.1155548E2*
 #t2922+0.2525354E2*t2924+0.3077153E2*t2926+0.1876507E2*t2928+0.3961
 #571E2*t2930-0.8314696E0*t1319
 t2936 = -0.1138115E1*t2893-0.3751862E1*t2895-0.3030731E1*t2897-0.2
 #487257E1*t2899-0.3457736E1*t2901-0.3457736E1*t2903-0.3842944E0*t29
 #05-0.3901806E1*t2907+t797*(t2908+t2909+t2911+t2912+t2915+t2916+t29
 #18+t2931)-0.1848198E1*t2920-0.1138115E1*t2922-0.2487257E1*t2924-0.
 #3030731E1*t2926-0.1848198E1*t2928-0.3901806E1*t2930-0.5555702E0*t1
 #319
 t2943 = t13*t193*t196*0.3141593E1*f
 t2947 = t13*t652*t655*0.3141593E1*f
 t2951 = t13*t607*t610*0.3141593E1*f
 t2952 = 0.9238795E0*t1327-0.7506029E2*t2943+0.1950903E0*t381+0.123

#0861E3*t2947+0.7923141E2*t1140+0.7071068E0*t1333+0.7506029E2*t2951
 #-0.1950903E0*t1339-0.5555702E0*t1345-0.5555702E0*t1351+0.3826834E0
 #*t1355+0.8314696E0*t1361-0.3826834E0*t1367+0.3826834E0*t1371+0.707
 #1068E0*t1375
 t2953 = 0.9238795E0*t1381+0.8314696E0*t1387-0.9807853E0*t1393-0.70
 #71068E0*t1399-0.9238795E0*t1403-0.8314696E0*t1408+0.1E1*t1412-0.38
 #26834E0*t1418+0.1950903E0*t1422-0.9807853E0*t1426+0.9807853E0*t143
 #2-0.7071068E0*t1436-0.8314696E0*t1440+0.3826834E0*t1443-0.7803613E
 #1*t1446
 t2958 = t13*t697*t700*0.3141593E1*f
 t2959 = 0.111114E1*t1448+0.1961571E1*t1451-0.9807853E0*t1454+0.184
 #7759E1*t1456+0.9238795E0*t1459+0.7021397E2*t1461-t1463-0.1961571E1
 #*t1465-0.9238795E0*t1620-0.1523732E3*t2958+0.9238795E0*t1468-0.184
 #7759E1*t1470-2*t1472-0.3826834E0*t1475-0.7653669E0*t1477
 t2963 = t13*t328*t331*0.3141593E1*f
 t2964 = -0.7653669E0*t1479+0.111114E1*t1481+0.1010142E3*t2963-0.50
 #50708E2*t1483-0.6154306E2*t1486-0.5555702E0*t1489+0.2311095E2*t149
 #1+0.7653669E0*t1493-0.12E-8*t1495+0.1662939E1*t1497-0.3826834E0*t1
 #500+0.7618659E2*t1502+0.7653669E0*t1504+0.8314696E0*t1507+0.12E-8*
 #t1510
 t2967 = 0.1961571E1*t1512-0.6E-9*t1515-0.9807853E0*t1518+0.9807853
 #E0*t1520+0.1414214E1*t1522-0.7071068E0*t1525+0.3826834E0*t1528-0.1
 #414214E1*t1530+0.7071068E0*t1534-0.111114E1*t1536+0.5555702E0*t153
 #9-0.1847759E1*t1541+0.3901806E0*t1543-0.9238795E0*t1546+0.1414214E
 #1*t1548
 t2971 = t13*t148*t151*0.3141593E1*f
 t2972 = 0.7071068E0*t1550+0.3901806E0*t1552+0.7803613E1*t1554+0.6E
 #-9*t1557+0.1662939E1*t1559-0.8314696E0*t1561-0.7923141E2*t1563-0.3
 #753015E2*t1565+0.3753015E2*t1567-0.7021397E2*t1569+0.1404279E3*t29
 #71+0.1950903E0*t1571-0.1662939E1*t1573-0.8314696E0*t1576-0.2311095
 #E2*t1578
 t2977 = t13*t283*t286*0.3141593E1*f
 t2981 = t13*t103*t106*0.3141593E1*f
 t2985 = t13*t58*t61*0.3141593E1*f
 t2989 = t13*t505*t508*0.3141593E1*f
 t2993 = t13*t551*t554*0.3141593E1*f
 t2997 = t13*t427*t430*0.3141593E1*f
 t2998 = 0.5050708E2*t1580-0.1584628E3*t2977+0.1950903E0*t1582-0.39
 #01806E0*t1584+0.462219E2*t2981+0.1523732E3*t2985+0.1847759E1*t1586
 #-0.1230861E3*t2989-0.9238795E0*t1588-0.462219E2*t2993-0.1414214E1*
 #t1590-0.7071068E0*t1592+0.1584628E3*t2997-0.1950903E0*t1594-0.7618
 #659E2*t1596
 t3002 = t13*t382*t385*0.3141593E1*f
 t3006 = t13*t238*t241*0.3141593E1*f
 t3010 = t13*t2*t5*0.3141593E1*f
 t3011 = -0.3901806E0*t1598+0.6154306E2*t1600+0.5555702E0*t1602-0.1
 #950903E0*t1604-0.5555702E0*t1606-0.111114E1*t1608-t1625-0.1950903E
 #0*t1634-0.1560723E2*t3002+0.5555702E0*t1638-0.1010142E3*t3006+0.55
 #55702E0*t1642-0.1662939E1*t1610-0.1404279E3*t3010+0.8314696E0*t161
 #2+0.9807853E0*t1646
 t3016 = -0.3826834E0*t1327+0.7392794E1*t2943+0.1980785E1*t381-0.12
 #12292E2*t2947+t797*(t2952+t2953+t2959+t2964+t2967+t2972+t2998+t301
 #1)-0.7803613E1*t1140-0.7071068E0*t1333-0.7392794E1*t2951+0.9807853
 #E0*t1339-0.8314696E0*t1345+0.8314696E0*t1351-0.9238795E0*t1355-0.5
 #555702E0*t1361-0.9238795E0*t1367+0.9238795E0*t1371
 t3017 = 0.7071068E0*t1375+0.3826834E0*t1381+0.5555702E0*t1387+0.19
 #50903E0*t1393-0.7071068E0*t1399-0.3826834E0*t1403+0.5555702E0*t140
 #8+0.6E-9*t1412+0.9238795E0*t1418-0.9807853E0*t1422-0.1950903E0*t14
 #26+0.1950903E0*t1432+0.7071068E0*t1436-0.5555702E0*t1440+0.9238795
 #E0*t1443
 t3019 = 0.7685888E0*t1446+0.1662939E1*t1448-0.3901806E0*t1451+0.19
 #50903E0*t1454+0.7653669E0*t1456+0.3826834E0*t1459-0.6915472E1*t146
 #1-0.3901806E0*t1465+0.3826834E0*t1620+0.1500745E2*t2958-0.3826834E

$\#0 * t^{1468} + 0.7653669E0 * t^{1470} - 0.9238795E0 * t^{1475} - 0.1847759E1 * t^{1477} + 0.1847759E1 * t^{1479}$
 $t^{3020} = -0.1662939E1 * t^{1481} - 0.9949026E1 * t^{2963} + 0.4974513E1 * t^{1483} + 0.6061462E1 * t^{1486} + 0.8314696E0 * t^{1489} - 0.227623E1 * t^{1491} - 0.1847759E1 * t^{1493} + 0.2E1 * t^{1495} + 0.111114E1 * t^{1497} + 0.9238795E0 * t^{1500} - 0.7503724E1 * t^{1502} + 0.1847759E1 * t^{1504} + 0.5555702E0 * t^{1507} - 0.2E1 * t^{1510} + 0.3901806E0 * t^{1512}$
 $t^{3023} = 0.1E1 * t^{1515} - 0.1950903E0 * t^{1518} + 0.1950903E0 * t^{1520} - 0.1414214E1 * t^{1522} + 0.7071068E0 * t^{1525} - 0.9238795E0 * t^{1528} + 0.1414214E1 * t^{1530} - 0.7071068E0 * t^{1534} + 0.1662939E1 * t^{1536} - 0.8314696E0 * t^{1539} - 0.7653669E0 * t^{1541} - 0.1961571E1 * t^{1543} - 0.3826834E0 * t^{1546} + 0.1414214E1 * t^{1548} + 0.7071068E0 * t^{1550}$
 $t^{3024} = 0.1961571E1 * t^{1552} - 0.7685888E0 * t^{1554} - t^{1557} - 0.111114E1 * t^{1559} + 0.5555702E0 * t^{1561} + 0.7803613E1 * t^{1563} + 0.3696397E1 * t^{1565} - 0.3696397E1 * t^{1567} + 0.6915472E1 * t^{1569} - 0.1383094E2 * t^{2971} + 0.9807853E0 * t^{1571} - 0.111114E1 * t^{1573} - 0.5555702E0 * t^{1576} + 0.227623E1 * t^{1578} - 0.4974513E1 * t^{1580}$
 $t^{3026} = 0.1560723E2 * t^{2977} - 0.9807853E0 * t^{1582} + 0.1961571E1 * t^{1584} - 0.455246E1 * t^{2981} - 0.1500745E2 * t^{2985} - 0.7653669E0 * t^{1586} + 0.1212292E2 * t^{2989} + 0.3826834E0 * t^{1588} + 0.455246E1 * t^{2993} - 0.1414214E1 * t^{1590} - 0.7071068E0 * t^{1592} - 0.1560723E2 * t^{2997} - 0.9807853E0 * t^{1594} + 0.7503724E1 * t^{1596} - 0.1961571E1 * t^{1598}$
 $t^{3027} = -0.6061462E1 * t^{1600} + 0.8314696E0 * t^{1602} + 0.9807853E0 * t^{1604} - 0.8314696E0 * t^{1606} - 0.1662939E1 * t^{1608} - 0.6E-9 * t^{1625} - t^{1630} - 0.9807853E0 * t^{1634} + 0.1537178E1 * t^{3002} + 0.8314696E0 * t^{1638} + 0.9949026E1 * t^{3006} - 0.8314696E0 * t^{1642} + 0.111114E1 * t^{1610} + 0.1383094E2 * t^{3010} - 0.5555702E0 * t^{1612} - 0.1950903E0 * t^{1646}$
 $t^{3031} = 0.1950903E0 * t^{1877} - 0.1950903E0 * t^{1879} - 0.1950903E0 * t^{1882} - 0.7071068E0 * t^{1654} - 0.9238795E0 * t^{1885} + 0.1E1 * t^{1888} + 0.1E1 * t^{1890} - 0.9238795E0 * t^{1893} - 0.3826834E0 * t^{1896} - 0.7071068E0 * t^{1899} - 0.7071068E0 * t^{1901} + 0.3826834E0 * t^{1903} + 0.1950903E0 * t^{1906} + 0.5555702E0 * t^{1910} + 0.7071068E0 * t^{1913} - 0.5555702E0 * t^{1659} - 0.1152883E1 * t^{1915}$
 $t^{3032} = 0.7071068E0 * t^{1917} + 0.1950903E0 * t^{1919} - 0.1037321E2 * t^{1921} + 0.1170542E2 * t^{1661} - 0.3826834E0 * t^{1924} + 0.3826834E0 * t^{1667} + 0.7071068E0 * t^{1927} - 0.5555702E0 * t^{1673} - 0.3826834E0 * t^{1929} + 0.5555702E0 * t^{1931} + 0.7071068E0 * t^{1933} - 0.9238795E0 * t^{1935} - 0.9238795E0 * t^{1937} + 0.1980785E1 * t^{381} - 0.8314696E0 * t^{1939} - 0.3826834E0 * t^{1942} - 0.1170542E2 * t^{1140}$
 $t^{3034} = 0.9807853E0 * t^{1877} - 0.9807853E0 * t^{1879} - 0.9807853E0 * t^{1882} + 0.7071068E0 * t^{1654} - 0.3826834E0 * t^{1885} - 0.6E-9 * t^{1888} - 0.6E-9 * t^{1890} + 0.3826834E0 * t^{1893} + 0.9238795E0 * t^{1896} + 0.7071068E0 * t^{1899} + 0.7071068E0 * t^{1901} + 0.9238795E0 * t^{1903} - 0.9807853E0 * t^{1906} - t^{1908} + 0.8314696E0 * t^{1910} - 0.7071068E0 * t^{1913}$
 $t^{3035} = -0.8314696E0 * t^{1659} + 0.1170542E2 * t^{1915} - 0.7071068E0 * t^{1917} + 0.9807853E0 * t^{1919} + 0.1053209E3 * t^{1921} + 0.5884712E2 * t^{1661} + 0.9238795E0 * t^{1924} - 0.9238795E0 * t^{1667} + 0.7071068E0 * t^{1927} + 0.8314696E0 * t^{1673} - 0.9238795E0 * t^{1929} + 0.8314696E0 * t^{1931} + 0.7071068E0 * t^{1933} + 0.3826834E0 * t^{1935} - 0.3826834E0 * t^{1937} + 0.1950903E0 * t^{381} + 0.5555702E0 * t^{1939}$
 $t^{3037} = -0.9238795E0 * t^{1942} + 0.1188471E3 * t^{1140} - 0.1950903E0 * t^{1944} - 0.7071068E0 * t^{1947} - 0.9807853E0 * t^{1949} + 0.5555702E0 * t^{1679} - 0.5555702E0 * t^{1685} - t^{1691} - 0.9807853E0 * t^{1697} + 0.1E1 * t^{1702} - 0.5555702E0 * t^{1708} - 0.3826834E0 * t^{1714} + 0.9807853E0 * t^{1719} - 0.1950903E0 * t^{1725} - 0.9238795E0 * t^{1731} + 0.3826834E0 * t^{1736} - 0.7071068E0 * t^{1742}$
 $t^{3038} = -0.9807853E0 * t^{1748} + 0.5555702E0 * t^{1754} + 0.9238795E0 * t^{1766} + 0.9807853E0 * t^{1771} + 0.8314696E0 * t^{1776} - 0.3826834E0 * t^{1781} - 0.1950903E0 * t^{1786} - 0.8314696E0 * t^{1791} + 0.4242641E2 * t^{1793} + 0.9238795E0 * t^{1798} - 0.3333421E2 * t^{1800} + 0.3826834E0 * t^{1805} + 0.3333421E2 * t^{1809} + 0.5543277E2 * t^{1811} + 0.4988818E2 * t^{1813} - 0.6E2 * t^{1815} - 0.7071068E0 * t^{1820}$
 $t^{3041} = 0.1170542E2 * t^{1822} - 0.4988818E2 * t^{1824} - 0.5543277E2 * t^{1826} + 0.4988818E2 * t^{1828} + 0.7071068E0 * t^{1833} - 0.2296101E2 * t^{1835} - 0.5543277E2 * t^{1837} + 0.1950903E0 * t^{1842} - 0.7576062E2 * t^{1951} - 0.4988818E2 * t^{1844} + 0.5543277E2 * t^{1846} - 0.3333421E2 * t^{1849} + 0.4242641E2 * t^{1851} + 0.3333421E2 * t^{1853} + 0.2296101E2 * t^{1855} - 0.4242641E2 * t^{1857} + 0.1170542E2 * t^{1859}$
 $t^{3042} = 0.2296101E2 * t^{1861} - 0.4242641E2 * t^{1863} - 0.5884712E2 * t^{1865} + 0.6E2 * t^{1867} - 0.5884712E2 * t^{1869} - 0.1170542E2 * t^{1871} - 0.2296101E2 * t^{1873} - t^{1953} + 0.5884712E2 * t^{2050} - 0.9238795E0 * t^{1955} - 0.9238795E0 * t^{1957} + 0.1950903E0$

$\#0 * t^{1960} + 0.5555702E0 * t^{1962} + 0.9238795E0 * t^{1967} + 0.1950903E0 * t^{1970} + 0.56$
 $\#29522E2 * t^{1972} - 0.5629522E2 * t^{1974}$
 $t3044 = 0.3826834E0 * t^{1976} + 0.3826834E0 * t^{1978} + 0.5555702E0 * t^{1980} - 0.11$
 $\#70542E2 * t^{1982} + 0.1142799E3 * t^{1984} + 0.9231458E2 * t^{1986} - 0.1950903E0 * t^{198}$
 $\#8 + 0.5555702E0 * t^{1990} - 0.1950903E0 * t^{1992} - 0.1142799E3 * t^{1994} - 0.7071068E$
 $\#0 * t^{1996} - 0.1188471E3 * t^{1998} - 0.8314696E0 * t^{2000} - 0.8314696E0 * t^{2002} - 0.55$
 $\#55702E0 * t^{2005} - 0.5555702E0 * t^{2008} + 0.6E-9 * t^{2010}$
 $t3045 = 0.6E-9 * t^{2012} - 0.3826834E0 * t^{2014} - 0.3826834E0 * t^{2016} - 0.9231458$
 $\#E2 * t^{2018} + 0.3466643E2 * t^{2020} - 0.5555702E0 * t^{2022} - 0.5555702E0 * t^{2024} - 0.1$
 $\#950903E0 * t^{2026} + 0.1950903E0 * t^{2028} + 0.8314696E0 * t^{2030} + 0.8314696E0 * t^{20}$
 $\#32 + 0.7576062E2 * t^{2034} - 0.3466643E2 * t^{2036} - 0.8314696E0 * t^{2038} - 0.8314696$
 $\#E0 * t^{2040} - 0.1053209E3 * t^{2042} + 0.1950903E0 * t^{2044}$
 $t3050 = 0.9807853E0 * t^{1944} - 0.7071068E0 * t^{1947} + t^{797} * (t3034 + t3035 + t303$
 $\#7 + t3038 + t3041 + t3042 + t3044 + t3045) + 0.1950903E0 * t^{1949} - 0.8314696E0 * t^{16}$
 $\#79 - 0.8314696E0 * t^{1685} - 0.6E-9 * t^{1691} + 0.1950903E0 * t^{1697} + 0.6E-9 * t^{1702} + 0$
 $\#.8314696E0 * t^{1708} - 0.9238795E0 * t^{1714} + 0.1950903E0 * t^{1719} + 0.9807853E0 * t$
 $\#1725 - 0.3826834E0 * t^{1731} - 0.9238795E0 * t^{1736} + 0.7071068E0 * t^{1742} - 0.19509$
 $\#03E0 * t^{1748}$
 $t3051 = 0.8314696E0 * t^{1754} - t^{1760} + 0.3826834E0 * t^{1766} - 0.1950903E0 * t^{177}$
 $\#1 + 0.5555702E0 * t^{1776} + 0.9238795E0 * t^{1781} - 0.9807853E0 * t^{1786} + 0.5555702E$
 $\#0 * t^{1791} + 0.4242641E2 * t^{1793} - 0.3826834E0 * t^{1798} + 0.4988818E2 * t^{1800} + 0.92$
 $\#38795E0 * t^{1805} + 0.4988818E2 * t^{1809} + 0.2296101E2 * t^{1811} - 0.3333421E2 * t^{181$
 $\#3 - 0.36E-7 * t^{1815} - 0.7071068E0 * t^{1820}$
 $t3054 = 0.5884712E2 * t^{1822} - 0.3333421E2 * t^{1824} + 0.2296101E2 * t^{1826} + 0.33$
 $\#33421E2 * t^{1828} + 0.7071068E0 * t^{1833} - 0.5543277E2 * t^{1835} - 0.2296101E2 * t^{183$
 $\#7 - 0.9807853E0 * t^{1842} + 0.746177E1 * t^{1951} + 0.3333421E2 * t^{1844} - 0.2296101E2$
 $\# * t^{1846} - 0.4988818E2 * t^{1849} - 0.4242641E2 * t^{1851} - 0.4988818E2 * t^{1853} + 0.554$
 $\#3277E2 * t^{1855} + 0.4242641E2 * t^{1857} - 0.5884712E2 * t^{1859}$
 $t3055 = -0.5543277E2 * t^{1861} - 0.4242641E2 * t^{1863} - 0.1170542E2 * t^{1865} + 0.3$
 $\#6E-7 * t^{1867} + 0.1170542E2 * t^{1869} + 0.5884712E2 * t^{1871} + 0.5543277E2 * t^{1873} + 6$
 $\#0 * t^{1875} - 0.1170542E2 * t^{2050} + 0.3826834E0 * t^{1955} + 0.3826834E0 * t^{1957} - 0.98$
 $\#07853E0 * t^{1960} - 0.8314696E0 * t^{1962} + 0.3826834E0 * t^{1967} + 0.9807853E0 * t^{197$
 $\#0 - 0.5544595E1 * t^{1972} + 0.5544595E1 * t^{1974}$
 $t3057 = 0.9238795E0 * t^{1976} + 0.9238795E0 * t^{1978} + 0.8314696E0 * t^{1980} + 0.11$
 $\#52883E1 * t^{1982} - 0.1125559E2 * t^{1984} - 0.9092193E1 * t^{1986} - 0.9807853E0 * t^{198}$
 $\#8 + 0.8314696E0 * t^{1990} - 0.9807853E0 * t^{1992} + 0.1125559E2 * t^{1994} - 0.7071068E$
 $\#0 * t^{1996} + 0.1170542E2 * t^{1998} + 0.5555702E0 * t^{2000} + 0.5555702E0 * t^{2002} - 0.83$
 $\#14696E0 * t^{2005} - 0.8314696E0 * t^{2008} - t^{2010}$
 $t3058 = -t^{2012} + 0.9238795E0 * t^{2014} + 0.9238795E0 * t^{2016} + 0.9092193E1 * t^{20$
 $\#18 - 0.3414345E1 * t^{2020} + 0.8314696E0 * t^{2022} + 0.8314696E0 * t^{2024} + 0.9807853$
 $\#E0 * t^{2026} - 0.9807853E0 * t^{2028} - 0.5555702E0 * t^{2030} - 0.5555702E0 * t^{2032} - 0.7$
 $\#46177E1 * t^{2034} + 0.3414345E1 * t^{2036} - 0.5555702E0 * t^{2038} - 0.5555702E0 * t^{204$
 $\#0 + 0.1037321E2 * t^{2042} + 0.9807853E0 * t^{2044}$
 $t3062 = -0.6651757E2 * t^{2055} - 0.1950903E0 * t^{2061} + 0.9238795E0 * t^{2067} - 0.3$
 $\#061467E2 * t^{2069} + 0.3826834E0 * t^{2075} + 0.6651757E2 * t^{2077} - 0.3061467E2 * t^{20$
 $\#79 + 0.5656854E2 * t^{2081} - 0.4444562E2 * t^{2083} - 0.9238795E0 * t^{2085} - 0.9238795$
 $\#E0 * t^{2087} - 0.1950903E0 * t^{2093} - t^{2096} - 0.3826834E0 * t^{2099} + 0.8314696E0 * t^{21$
 $\#01 - 0.9807853E0 * t^{2104} - 0.3826834E0 * t^{2106}$
 $t3063 = -0.7071068E0 * t^{2108} - 0.9238795E0 * t^{2111} - 0.8314696E0 * t^{2114} + 0.1$
 $\#E1 * t^{2116} + 0.3826834E0 * t^{2118} - 0.48E-7 * t^{2258} + 0.3061467E2 * t^{2260} - 0.70710$
 $\#68E0 * t^{2266} + 0.7071068E0 * t^{2121} - 0.9807853E0 * t^{2272} + 0.1560723E2 * t^{2123} - 0$
 $\#.7392794E1 * t^{2125} + 0.1383094E2 * t^{2127} + 0.455246E1 * t^{2129} + 0.1950903E0 * t^{2}$
 $\#132 - 0.3826834E0 * t^{2135} - 0.3826834E0 * t^{2137}$
 $t3065 = -t^{2139} + 0.3826834E0 * t^{2142} - 0.8314696E0 * t^{2144} - 0.8314696E0 * t^{21$
 $\#46 - 0.1383094E2 * t^{2148} + 0.1950903E0 * t^{2150} + 0.9238795E0 * t^{2152} + 0.5555702$
 $\#E0 * t^{2154} - 0.9807853E0 * t^{2157} + 0.9949026E1 * t^{2159} - 0.455246E1 * t^{2161} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2164} + 0.1212292E2 * t^{2166} + 0.8314696E0 * t^{2169} - 0.9238795E0 * t^{217$
 $\#3 - 0.7071068E0 * t^{2178} + 0.9807853E0 * t^{2180}$
 $t3066 = -0.4444562E2 * t^{2055} - 0.9807853E0 * t^{2061} + 0.3826834E0 * t^{2067} - 0.7$
 $\#391036E2 * t^{2069} - 0.9238795E0 * t^{2075} + 0.4444562E2 * t^{2077} + 0.7391036E2 * t^{20$
 $\#79 + 0.5656854E2 * t^{2081} + 0.6651757E2 * t^{2083} + 0.3826834E0 * t^{2085} - 0.3826834$
 $\#E0 * t^{2087} - t^{2090} - 0.9807853E0 * t^{2093} + 0.6E-9 * t^{2096} + 0.9238795E0 * t^{2099} + 0.$
 $\#5555702E0 * t^{2101}$

$t3067 = 0.1950903E0*t2104+0.9238795E0*t2106-0.7071068E0*t2108-0.38$
 $\#26834E0*t2111-0.5555702E0*t2114-0.6E-9*t2116-0.9238795E0*t2118-0.8$
 $\#E2*t2258+0.7391036E2*t2260+0.7071068E0*t2266+0.7071068E0*t2121+0.1$
 $\#950903E0*t2272-0.1584628E3*t2123+0.7506029E2*t2125-0.1404279E3*t21$
 $\#27-0.462219E2*t2129-0.9807853E0*t2132$
 $t3069 = -0.9238795E0*t2135-0.9238795E0*t2137+0.6E-9*t2139+0.923879$
 $\#5E0*t2142+0.5555702E0*t2144+0.5555702E0*t2146+0.1404279E3*t2148-0.$
 $\#9807853E0*t2150-0.3826834E0*t2152-0.8314696E0*t2154-0.1950903E0*t2$
 $\#157-0.1010142E3*t2159+0.462219E2*t2161-0.7071068E0*t2164-0.1230861$
 $\#E3*t2166+0.5555702E0*t2169-t2171$
 $t3070 = 0.3826834E0*t2173+0.7071068E0*t2178-0.1950903E0*t2180+0.38$
 $\#26834E0*t2182+0.9238795E0*t2184+0.7071068E0*t2186+0.3826834E0*t218$
 $\#8-0.9238795E0*t2190-0.3826834E0*t2192+0.1230861E3*t2194-0.7071068E$
 $\#0*t2196-0.1523732E3*t2198-0.1560723E2*t2200-0.1950903E0*t2202-0.83$
 $\#14696E0*t2204-0.7071068E0*t2207+0.1950903E0*t381$
 $t3073 = -0.5555702E0*t2209+0.1523732E3*t2211+0.1950903E0*t2213+0.7$
 $\#071068E0*t2215+0.8314696E0*t2218+0.8314696E0*t2220+0.1950903E0*t22$
 $\#22+0.1950903E0*t2224-0.8314696E0*t2226-0.8314696E0*t2228-0.7506029$
 $\#E2*t2230+0.8314696E0*t2232-0.5555702E0*t2234+0.8314696E0*t2236+0.1$
 $\#010142E3*t2238-0.5555702E0*t2240+0.8E2*t2275$
 $t3074 = 0.3061467E2*t2277-0.7846282E2*t2279-0.3061467E2*t2281+0.30$
 $\#61467E2*t2283+0.7846282E2*t2285+0.4444562E2*t2287+0.1560723E2*t228$
 $\#9+0.3826834E0*t2295+0.5656854E2*t2297+0.7846282E2*t2299+0.1560723E$
 $\#2*t2301-0.1950903E0*t2242-0.9238795E0*t2307-0.9807853E0*t2244-0.6E$
 $\#-9*t2246+0.1560723E2*t2248+0.9807853E0*t2250$
 $t3076 = -0.3826834E0*t2313+0.9807853E0*t2319-t2324-0.6651757E2*t23$
 $\#28+0.8314696E0*t2333-0.9807853E0*t2339-0.5555702E0*t2344-0.1560723$
 $\#E2*t2346+0.1E1*t2351-0.5656854E2*t2353-0.5656854E2*t2363+0.9238795$
 $\#E0*t2368-0.7846282E2*t2370-0.1950903E0*t2375-0.8314696E0*t2381+0.9$
 $\#807853E0*t2386+0.9238795E0*t2392$
 $t3077 = 0.8314696E0*t2398+0.5555702E0*t2404+0.1584628E3*t1140-0.73$
 $\#91036E2*t2406-0.6651757E2*t2408-0.3061467E2*t2410-0.4444562E2*t241$
 $\#2-0.8314696E0*t2417+0.6651757E2*t2419-0.1950903E0*t2424+0.5555702E$
 $\#0*t2429-0.3826834E0*t2434+0.7071068E0*t2440+0.9807853E0*t2252-0.55$
 $\#55702E0*t2445-0.7071068E0*t2450-0.7071068E0*t2455$
 $t3082 = 0.9238795E0*t2182+0.3826834E0*t2184-0.7071068E0*t2186+0.92$
 $\#38795E0*t2188+0.3826834E0*t2190+0.9238795E0*t2192-0.1212292E2*t219$
 $\#4+0.7071068E0*t2196+0.1500745E2*t2198+0.1537178E1*t2200-0.9807853E$
 $\#0*t2202+0.5555702E0*t2204+0.7071068E0*t2207+0.1980785E1*t381+0.831$
 $\#4696E0*t2209+t797*(t3066+t3067+t3069+t3070+t3073+t3074+t3076+t3077$
 $\#)-0.1500745E2*t2211$
 $t3085 = -0.9807853E0*t2213+0.7071068E0*t2215+0.5555702E0*t2218+0.5$
 $\#555702E0*t2220+0.9807853E0*t2222+0.9807853E0*t2224-0.5555702E0*t22$
 $\#26-0.5555702E0*t2228+0.7392794E1*t2230-0.5555702E0*t2232+0.8314696$
 $\#E0*t2234-0.5555702E0*t2236-0.9949026E1*t2238-0.8314696E0*t2240+0.4$
 $\#8E-7*t2275-0.7391036E2*t2277-0.1560723E2*t2279$
 $t3086 = 0.7391036E2*t2281+0.7391036E2*t2283-0.1560723E2*t2285-0.66$
 $\#51757E2*t2287-0.7846282E2*t2289-0.9238795E0*t2295-0.5656854E2*t229$
 $\#7+0.1560723E2*t2299+0.7846282E2*t2301+0.9807853E0*t2242-0.3826834E$
 $\#0*t2307-0.1950903E0*t2244+0.1E1*t2246-0.1537178E1*t2248+0.1950903E$
 $\#0*t2250+0.9238795E0*t2313-0.1950903E0*t2319$
 $t3088 = -0.6E-9*t2324+0.4444562E2*t2328-0.5555702E0*t2333+0.195090$
 $\#3E0*t2339-0.8314696E0*t2344+0.7846282E2*t2346+0.6E-9*t2351-0.56568$
 $\#54E2*t2353-t2359+80*t2361+0.5656854E2*t2363-0.3826834E0*t2368+0.15$
 $\#60723E2*t2370+0.9807853E0*t2375+0.5555702E0*t2381+0.1950903E0*t238$
 $\#6+0.3826834E0*t2392$
 $t3089 = 0.5555702E0*t2398-0.8314696E0*t2404-0.1560723E2*t1140+0.30$
 $\#61467E2*t2406-0.4444562E2*t2408-0.7391036E2*t2410+0.6651757E2*t241$
 $\#2-0.5555702E0*t2417+0.4444562E2*t2419-0.9807853E0*t2424+0.8314696E$
 $\#0*t2429-0.9238795E0*t2434+0.7071068E0*t2440+0.1950903E0*t2252+0.83$
 $\#14696E0*t2445+0.7071068E0*t2450-0.7071068E0*t2455$
 $t3093 = 0.5555702E0*t2464+0.8314696E0*t2467+0.1980785E1*t381-0.382$
 $\#6834E0*t2469-0.1515365E2*t2471-0.3826834E0*t2474+0.8314696E0*t2477$

$\# + 0.9238795E0 * t^{2480} - 0.1243628E2 * t^{2482} + 0.1921472E1 * t^{2484} + 0.8314696E0$
 $\# * t^{2486} + 0.9807853E2 * t^{2639} - 0.1950903E2 * t^{1140} - 0.9807853E0 * t^{2645} - t^{2489}$
 $\# + 0.9238795E0 * t^{2492} + 0.9238795E0 * t^{2494}$
 $t^{3094} = 0.1515365E2 * t^{2496} - 0.5690575E1 * t^{2498} - 0.1921472E1 * t^{2500} + 0.19$
 $\# 50903E2 * t^{2502} + 0.8314696E0 * t^{2504} + 0.5555702E0 * t^{2507} + 0.7071068E0 * t^{251}$
 $\# 1 + 0.7071068E0 * t^{2513} - 0.8314696E0 * t^{2515} - 0.5555702E0 * t^{2517} - 0.5555702E$
 $\# 0 * t^{2520} - 0.1875931E2 * t^{2522} - 0.9238795E0 * t^{2524} + 0.3826834E0 * t^{2527} - 0.70$
 $\# 71068E0 * t^{2530} + 0.1243628E2 * t^{2532} - 0.3826834E0 * t^{2537}$
 $t^{3096} = -0.9807853E0 * t^{2539} - 0.8314696E0 * t^{2541} + 0.9807853E0 * t^{2544} + 0.9$
 $\# 807853E0 * t^{2546} + 0.1728868E2 * t^{2548} + 0.9240992E1 * t^{2550} + 0.5555702E0 * t^{25$
 $\# 52 - 0.9240992E1 * t^{2556} - 0.9238795E0 * t^{2558} - 0.9807853E0 * t^{2560} - 0.5555702$
 $\# E0 * t^{2565} + 0.1875931E2 * t^{2567} - 0.5555702E0 * t^{2569} + 0.5690575E1 * t^{2571} - 0.7$
 $\# 071068E0 * t^{2573} - 0.7071068E0 * t^{2575} - 0.9807853E0 * t^{2578}$
 $t^{3097} = 0.3826834E0 * t^{2580} - 0.9807853E0 * t^{2582} - 0.8314696E0 * t^{2584} + 0.92$
 $\# 38795E0 * t^{2586} - 0.8314696E0 * t^{2588} - 0.1728868E2 * t^{2590} - 0.7071068E0 * t^{259}$
 $\# 2 - 0.9238795E0 * t^{2594} - 0.9238795E0 * t^{2597} + 0.7071068E0 * t^{2651} + 0.5555702E$
 $\# 2 * t^{2653} - 0.6E - 9 * t^{2659} + 100 * t^{2661} + 0.7071068E0 * t^{2599} + 0.7071068E0 * t^{2601}$
 $\# + 0.3826834E0 * t^{2603} + 0.1950903E0 * t^{2605}$
 $t^{3100} = 0.9807853E0 * t^{2607} + 0.1950903E0 * t^{2609} - 0.3826834E0 * t^{2611} - 0.70$
 $\# 71068E0 * t^{2667} + 0.1950903E0 * t^{2613} - 0.1950903E0 * t^{2615} + 0.1950903E0 * t^{261}$
 $\# 7 + 0.1E1 * t^{2619} + 0.5555702E0 * t^{2621} + 0.1E1 * t^{2623} + 0.5555702E0 * t^{2625} - 0.83$
 $\# 14696E0 * t^{2673} - 0.9238795E0 * t^{2678} - 0.7071068E0 * t^{2684} + 0.5555702E0 * t^{269}$
 $\# 0 + 0.9238795E0 * t^{2696} - 0.9238795E0 * t^{2703}$
 $t^{3101} = -0.1950903E0 * t^{2708} + 0.9238795E2 * t^{2710} + 0.6E - 7 * t^{2712} - 0.831469$
 $\# 6E0 * t^{2717} + 0.1950903E0 * t^{2723} - 0.3826834E2 * t^{2725} + 0.9807853E0 * t^{2627} - 0.$
 $\# 5555702E0 * t^{2731} - t^{2736} + 0.3826834E0 * t^{2741} - 0.1950903E0 * t^{2747} + 0.831469$
 $\# 6E0 * t^{2752} - 0.7071068E2 * t^{2754} + 0.3826834E0 * t^{2760} - 0.3826834E0 * t^{2765} - 0.$
 $\# 9238795E2 * t^{2767} - 0.3826834E0 * t^{2774}$
 $t^{3103} = -0.8314696E0 * t^{2464} - 0.5555702E0 * t^{2467} + 0.1950903E0 * t^{381} + 0.92$
 $\# 38795E0 * t^{2469} + 0.1538576E3 * t^{2471} + 0.9238795E0 * t^{2474} + 0.5555702E0 * t^{247}$
 $\# 7 + 0.3826834E0 * t^{2480} + 0.1262677E3 * t^{2482} - 0.1950903E2 * t^{2484} + 0.5555702E$
 $\# 0 * t^{2486} + 0.1950903E2 * t^{2639} + 0.1980785E3 * t^{1140} - 0.1950903E0 * t^{2645} + 0.6E$
 $\# - 9 * t^{2489} - 0.3826834E0 * t^{2492}$
 $t^{3104} = -0.3826834E0 * t^{2494} - 0.1538576E3 * t^{2496} + 0.5777738E2 * t^{2498} + 0.1$
 $\# 950903E2 * t^{2500} - 0.1980785E3 * t^{2502} - 0.5555702E0 * t^{2504} - 0.8314696E0 * t^{25$
 $\# 07 + 0.7071068E0 * t^{2511} + 0.7071068E0 * t^{2513} - 0.5555702E0 * t^{2515} - 0.8314696$
 $\# E0 * t^{2517} - 0.8314696E0 * t^{2520} + 0.1904665E3 * t^{2522} + 0.3826834E0 * t^{2524} - 0.9$
 $\# 238795E0 * t^{2527} + 0.7071068E0 * t^{2530} - 0.1262677E3 * t^{2532}$
 $t^{3106} = -t^{2535} - 0.9238795E0 * t^{2537} - 0.1950903E0 * t^{2539} + 0.5555702E0 * t^{25$
 $\# 41 - 0.1950903E0 * t^{2544} + 0.1950903E0 * t^{2546} - 0.1755349E3 * t^{2548} - 0.9382537$
 $\# E2 * t^{2550} - 0.8314696E0 * t^{2552} + 0.9382537E2 * t^{2556} + 0.3826834E0 * t^{2558} + 0.1$
 $\# 950903E0 * t^{2560} - t^{2562} + 0.8314696E0 * t^{2565} - 0.1904665E3 * t^{2567} + 0.8314696$
 $\# E0 * t^{2569} - 0.5777738E2 * t^{2571}$
 $t^{3107} = -0.7071068E0 * t^{2573} - 0.7071068E0 * t^{2575} - 0.1950903E0 * t^{2578} - 0.9$
 $\# 238795E0 * t^{2580} + 0.1950903E0 * t^{2582} - 0.5555702E0 * t^{2584} + 0.3826834E0 * t^{25$
 $\# 86 + 0.5555702E0 * t^{2588} + 0.1755349E3 * t^{2590} + 0.7071068E0 * t^{2592} - 0.3826834$
 $\# E0 * t^{2594} - 0.3826834E0 * t^{2597} + 0.7071068E0 * t^{2651} + 0.8314696E2 * t^{2653} - t^{26}$
 $\# 59 - 0.7071068E0 * t^{2599} - 0.7071068E0 * t^{2601}$
 $t^{3110} = 0.9238795E0 * t^{2603} - 0.9807853E0 * t^{2605} - 0.1950903E0 * t^{2607} - 0.98$
 $\# 07853E0 * t^{2609} - 0.9238795E0 * t^{2611} + 0.7071068E0 * t^{2667} + 0.9807853E0 * t^{261}$
 $\# 3 - 0.9807853E0 * t^{2615} + 0.9807853E0 * t^{2617} - 0.6E - 9 * t^{2619} + 0.8314696E0 * t^{26}$
 $\# 21 - 0.6E - 9 * t^{2623} + 0.8314696E0 * t^{2625} - 0.5555702E0 * t^{2673} + 0.3826834E0 * t^{2}$
 $\# 678 - 0.7071068E0 * t^{2684} + 0.8314696E0 * t^{2690}$
 $t^{3111} = -0.3826834E0 * t^{2696} - 0.3826834E0 * t^{2703} + 0.9807853E0 * t^{2708} + 0.3$
 $\# 826834E2 * t^{2710} + 0.1E3 * t^{2712} + 0.5555702E0 * t^{2717} - 0.9807853E0 * t^{2723} - 0.9$
 $\# 238795E2 * t^{2725} + 0.1950903E0 * t^{2627} + 0.8314696E0 * t^{2731} + 0.9238795E0 * t^{27$
 $\# 41 - 0.9807853E0 * t^{2747} - 0.5555702E0 * t^{2752} - 0.7071068E2 * t^{2754} - 0.9238795$
 $\# E0 * t^{2760} - 0.9238795E0 * t^{2765} + 0.3826834E2 * t^{2767}$
 $t^{3113} = 0.9238795E0 * t^{2774} + 0.1E1 * t^{2779} - 0.1950903E0 * t^{2785} + 0.9807853E$
 $\# 0 * t^{2790} + 0.6E - 9 * t^{2629} + 0.1950903E0 * t^{2795} + 0.5555702E0 * t^{2800} - 0.5555702$
 $\# E2 * t^{2802} - 0.9807853E0 * t^{2631} + 0.7071068E2 * t^{2804} + 0.8314696E2 * t^{2806} - 0.5$
 $\# 5555702E2 * t^{2808} + 0.5555702E2 * t^{2810} + 0.9238795E2 * t^{2812} - 0.1E3 * t^{2814} + 0.7$
 $\# 071068E2 * t^{2816} - 0.8314696E2 * t^{2818}$

$t_{3114} = 0.9807853E2 * t_{2821} + 0.9238795E0 * t_{2633} - 0.3826834E2 * t_{2823} - 0.19$
 $\#50903E2 * t_{2825} - 0.9807853E2 * t_{2827} + 0.1950903E2 * t_{2829} - 0.7071068E2 * t_{283}$
 $\#1 - 0.9807853E2 * t_{2833} - 0.8314696E0 * t_{2838} + 0.3826834E0 * t_{2843} - 0.8314696E$
 $\#2 * t_{2845} - 0.9238795E2 * t_{2847} - 0.3826834E2 * t_{2849} + 0.9807853E2 * t_{2851} + 0.92$
 $\#38795E2 * t_{2853} + 0.5555702E2 * t_{2855} - 0.7071068E0 * t_{2860}$
 $t_{3119} = 0.6E-9 * t_{2779} + 0.9807853E0 * t_{2785} + 0.1950903E0 * t_{2790} - t_{2629} - 0.9$
 $\#807853E0 * t_{2795} + t_{797} * (t_{3103} + t_{3104} + t_{3106} + t_{3107} + t_{3110} + t_{3111} + t_{3113} + t_{31$
 $\#14) + 0.8314696E0 * t_{2800} - 0.8314696E2 * t_{2802} - 0.1950903E0 * t_{2631} - 0.707106$
 $\#8E2 * t_{2804} - 0.5555702E2 * t_{2806} + 0.8314696E2 * t_{2808} + 0.8314696E2 * t_{2810} + 0.$
 $\#3826834E2 * t_{2812} - 0.6E-7 * t_{2814} + 0.7071068E2 * t_{2816} + 0.5555702E2 * t_{2818}$
 $t_{3120} = -0.1950903E2 * t_{2821} + 0.3826834E0 * t_{2633} + 0.9238795E2 * t_{2823} + 0.9$
 $\#807853E2 * t_{2825} - 0.1950903E2 * t_{2827} - 0.9807853E2 * t_{2829} + 0.7071068E2 * t_{28}$
 $\#31 + 0.1950903E2 * t_{2833} - 0.5555702E0 * t_{2838} + 0.9238795E0 * t_{2843} - 0.5555702$
 $\#E2 * t_{2845} + 0.3826834E2 * t_{2847} - 0.9238795E2 * t_{2849} + 0.1950903E2 * t_{2851} - 0.3$
 $\#826834E2 * t_{2853} - 0.8314696E2 * t_{2855} + 0.7071068E0 * t_{2860}$
 $t_{3124} = 0.7071068E0 * t_{800} - 0.9238795E0 * t_{811} + 0.7071068E0 * t_{814} + 0.38268$
 $\#34E0 * t_{817} + 0.1E1 * t_{823} - t_{826} - 0.9238795E0 * t_{829} - 0.3826834E0 * t_{840} + 0.9238$
 $\#795E0 * t_{843} - 0.9238795E0 * t_{846} - 0.7071068E0 * t_{46} - 0.3826834E0 * t_{57} - 0.7071$
 $\#068E0 * t_{102} + 0.7071068E0 * t_{147}$
 $t_{3125} = -0.7071068E0 * t_{192} + 0.7071068E0 * t_{237} + 0.5E-9 * t_{282} - t_{327} - 0.3826$
 $\#834E0 * t_{849} + 0.9238795E0 * t_{852} + 0.1E1 * t_{855} + 0.5E-9 * t_{372} + 0.192388E1 * t_{381}$
 $\# + t_{426} - t_{471} - 0.9238795E0 * t_{482} - 0.9238795E0 * t_{493} + 0.3826834E0 * t_{504} - 0.5E$
 $\# - 9 * t_{549}$
 $t_{3127} = 0.7071068E0 * t_{595} + 0.9238795E0 * t_{606} + 0.3826834E0 * t_{651} - 0.5E-9 *$
 $\# t_{696} - 0.9238795E0 * t_{741} - 0.3826834E0 * t_{752} + 0.9238795E0 * t_{763} + 0.3826834E$
 $\#0 * t_{774} - 0.7071068E0 * t_{785} + 0.3826834E0 * t_{796} - 0.3826834E0 * t_{858} - 0.707106$
 $\#8E0 * t_{862} - 0.3826834E0 * t_{934} + 0.7071068E0 * t_{873} - 0.9238795E0 * t_{937}$
 $t_{3128} = 0.7071068E0 * t_{800} - 0.3826834E0 * t_{811} - 0.7071068E0 * t_{814} - 0.92387$
 $\#95E0 * t_{817} - t_{820} - 0.5E-9 * t_{823} + 0.5E-9 * t_{826} + 0.3826834E0 * t_{829} - 0.9238795E$
 $\#0 * t_{840} + 0.3826834E0 * t_{843} + 0.3826834E0 * t_{846} + 0.7071068E0 * t_{46} - 0.9238795$
 $\#E0 * t_{57} - 0.7071068E0 * t_{102}$
 $t_{3129} = 0.7071068E0 * t_{147} + 0.7071068E0 * t_{192} - 0.7071068E0 * t_{237} + 0.1E1 * t$
 $\#282 + 0.9238795E0 * t_{849} - 0.3826834E0 * t_{852} - 0.5E-9 * t_{855} + 0.1E1 * t_{372} + 0.382$
 $\#6834E0 * t_{381} - 0.3826834E0 * t_{482} - 0.3826834E0 * t_{493} - 0.9238795E0 * t_{504} - t_{54}$
 $\#9 + 0.7071068E0 * t_{595} - 0.3826834E0 * t_{606}$
 $t_{3131} = 0.9238795E0 * t_{651} - t_{696} + 0.3826834E0 * t_{741} + 0.9238795E0 * t_{752} + 0.$
 $\#3826834E0 * t_{763} - 0.9238795E0 * t_{774} - 0.7071068E0 * t_{785} + 0.9238795E0 * t_{796} -$
 $\#0.9238795E0 * t_{858} - 0.7071068E0 * t_{862} + 0.9238795E0 * t_{934} + 0.7071068E0 * t_{87}$
 $\#3 - t_{876} + 0.3826834E0 * t_{937}$
 $t_{3132} = 0.3826834E0 * t_{879} + 0.7071068E0 * t_{882} + 0.9238795E0 * t_{893} - 0.92387$
 $\#95E0 * t_{896} - 0.3826834E0 * t_{899} + 0.9238795E0 * t_{902} + t_{905} - 0.7071068E0 * t_{940} +$
 $\#0.5E-9 * t_{908} - 0.3826834E0 * t_{919} - 0.3826834E0 * t_{943} - 0.7071068E0 * t_{922} + 0.7$
 $\#071068E0 * t_{925} - 0.9238795E0 * t_{946} - 0.7071068E0 * t_{928}$
 $t_{3136} = 0.9238795E0 * t_{879} + t_{797} * (t_{3128} + t_{3129} + t_{3131} + t_{3132}) - 0.7071068E$
 $\#0 * t_{882} + 0.3826834E0 * t_{893} + 0.3826834E0 * t_{896} - 0.9238795E0 * t_{899} + 0.382683$
 $\#4E0 * t_{902} + 0.7071068E0 * t_{940} - t_{908} + 0.9238795E0 * t_{919} + 0.9238795E0 * t_{943} + 0$
 $\#.7071068E0 * t_{922} - 0.7071068E0 * t_{925} - 0.3826834E0 * t_{946} - 0.7071068E0 * t_{928}$
 $t_{3139} = 0.3826834E0 * t_{1174} + 0.3826834E0 * t_{381} + 0.5E-9 * t_{952} + 0.9238795E0$
 $\# * t_{955} + 0.9238795E0 * t_{959} - 0.9238795E0 * t_{962} - 0.3261973E2 * t_{965} + 0.3826834$
 $\#E0 * t_{968} - 0.3826834E0 * t_{972} + 0.7653669E1 * t_{974} - 0.7071068E0 * t_{977} + 0.70710$
 $\#68E0 * t_{981} - t_{984} - t_{988}$
 $t_{3140} = 0.7071068E0 * t_{991} + 0.7071068E0 * t_{995} - 0.3826834E0 * t_{1184} - 0.9238$
 $\#795E0 * t_{999} + t_{1002} - t_{1006} - 0.3847759E2 * t_{1008} + 0.3826834E0 * t_{1011} + 0.38268$
 $\#34E0 * t_{1016} - 0.9238795E0 * t_{1019} - 0.9238795E0 * t_{1023} + 0.9238795E0 * t_{1025} - 0$
 $\#.9238795E0 * t_{1028} - 0.5E-9 * t_{1031} - 0.5E-9 * t_{1035}$
 $t_{3142} = -0.7071068E0 * t_{1038} - 0.7071068E0 * t_{1042} - 0.3826834E0 * t_{1044} + 0.7$
 $\#071068E0 * t_{1046} - 0.7071068E0 * t_{1049} + 0.3826834E0 * t_{1052} + 0.3826834E0 * t_{10$
 $\#56 - t_{1058} + t_{1061} + 0.7071068E0 * t_{1063} - 0.7071068E0 * t_{1066} - 0.7653669E1 * t_{10$
 $\#68 - 0.5E-9 * t_{1073} + 0.3826834E0 * t_{1076} - 0.3826834E0 * t_{1079}$
 $t_{3143} = 0.3847759E2 * t_{1081} + 0.3261973E2 * t_{1083} + 0.9238795E0 * t_{1085} + 0.76$
 $\#53669E1 * t_{1087} + 0.9238795E0 * t_{1090} - 0.3261973E2 * t_{1092} + 0.5E-9 * t_{1094} + 0.5$
 $\#E-9 * t_{1097} - 0.7071068E0 * t_{1099} + 0.7071068E0 * t_{1102} - 0.9238795E0 * t_{1105} + 0.$
 $\#9238795E0 * t_{1109} + 0.3826834E0 * t_{1112} + 0.217958E2 * t_{1114} + 0.5E-9 * t_{1116}$

$t_{3146} = -0.5E-9*t_{1119}+0.7071068E0*t_{1123}+0.7071068E0*t_{1127}-0.923879$
 $\#5E0*t_{1129}+0.9238795E0*t_{1132}-0.7071068E0*t_{1134}-0.7071068E0*t_{1137}-0.$
 $\#3826834E0*t_{1139}-0.3826834E0*t_{1190}+0.9238795E0*t_{1196}-0.3826834E0*t_{1$
 $\#202-0.9238795E0*t_{1208}+0.3847759E2*t_{1140}-0.3826834E0*t_{1142}+0.382683$
 $\#4E0*t_{1144}$
 $t_{3147} = -0.7653669E1*t_{1146}-0.3826834E0*t_{1149}+0.3261973E2*t_{1151}-0.3$
 $\#826834E0*t_{1153}-0.3826834E0*t_{1156}-0.217958E2*t_{1158}+0.217958E2*t_{1160}$
 $\#-0.217958E2*t_{1162}-0.3847759E2*t_{1164}+0.7071068E0*t_{1212}-0.7071068E0*$
 $\#t_{1216}-0.9238795E0*t_{1222}+0.9238795E0*t_{1228}-0.9238795E0*t_{1234}+0.3826$
 $\#834E0*t_{1246}$
 $t_{3149} = 0.7071068E0*t_{1251}-0.9238795E0*t_{1257}-t_{1263}+0.1E1*t_{1267}+0.70$
 $\#71068E0*t_{1271}+0.3826834E0*t_{1275}+0.7071068E0*t_{1279}-0.7071068E0*t_{128$
 $\#3-t_{1289}-0.3826834E0*t_{1295}+0.9238795E0*t_{1299}-0.7071068E0*t_{1303}-0.70$
 $\#71068E0*t_{1311}+0.1E1*t_{1315}+0.217958E2*t_{2890}$
 $t_{3150} = 0.217958E2*t_{2893}-0.217958E2*t_{2895}-0.3847759E2*t_{2897}-0.3847$
 $\#759E2*t_{2899}-0.3261973E2*t_{2901}+0.3261973E2*t_{2903}-0.7653669E1*t_{2905}+$
 $\#0.7653669E1*t_{2907}-0.3261973E2*t_{2920}-0.217958E2*t_{2922}+0.3847759E2*t$
 $\#2924+0.3847759E2*t_{2926}+0.3261973E2*t_{2928}-0.7653669E1*t_{2930}+0.92387$
 $\#95E0*t_{1319}$
 $t_{3155} = t_{797}*(t_{3139}+t_{3140}+t_{3142}+t_{3143}+t_{3146}+t_{3147}+t_{3149}+t_{3150})-0.9$
 $\#238795E0*t_{1174}-t_{1180}+0.192388E1*t_{381}-t_{952}+0.3826834E0*t_{955}+0.38268$
 $\#34E0*t_{959}-0.3826834E0*t_{962}+0.6488467E1*t_{965}+0.9238795E0*t_{968}-0.923$
 $\#8795E0*t_{972}-0.1522409E1*t_{974}-0.7071068E0*t_{977}+0.7071068E0*t_{981}$
 $t_{3156} = -0.7071068E0*t_{991}-0.7071068E0*t_{995}-0.9238795E0*t_{1184}-0.382$
 $\#6834E0*t_{999}+0.7653669E1*t_{1008}+0.9238795E0*t_{1011}+0.9238795E0*t_{1016}+$
 $\#0.3826834E0*t_{1019}+0.3826834E0*t_{1023}+0.3826834E0*t_{1025}-0.3826834E0*$
 $\#t_{1028}+0.1E1*t_{1031}+0.1E1*t_{1035}-0.7071068E0*t_{1038}-0.7071068E0*t_{1042}$
 $t_{3158} = -0.9238795E0*t_{1044}-0.7071068E0*t_{1046}+0.7071068E0*t_{1049}-0.9$
 $\#238795E0*t_{1052}-0.9238795E0*t_{1056}+0.7071068E0*t_{1063}-0.7071068E0*t_{10$
 $\#66+0.1522409E1*t_{1068}+0.1E1*t_{1073}-0.9238795E0*t_{1076}+0.9238795E0*t_{10$
 $\#79-0.7653669E1*t_{1081}-0.6488467E1*t_{1083}-0.3826834E0*t_{1085}$
 $t_{3159} = -0.1522409E1*t_{1087}-0.3826834E0*t_{1090}+0.6488467E1*t_{1092}-t_{10$
 $\#94-t_{1097}+0.7071068E0*t_{1099}-0.7071068E0*t_{1102}-0.3826834E0*t_{1105}+0.3$
 $\#826834E0*t_{1109}+0.9238795E0*t_{1112}-0.4335455E1*t_{1114}-t_{1116}+0.1E1*t_{11$
 $\#19+0.7071068E0*t_{1123}+0.7071068E0*t_{1127}$
 $t_{3162} = 0.3826834E0*t_{1129}-0.3826834E0*t_{1132}+0.7071068E0*t_{1134}+0.70$
 $\#71068E0*t_{1137}+0.9238795E0*t_{1139}+0.9238795E0*t_{1190}+0.3826834E0*t_{119$
 $\#6+0.9238795E0*t_{1202}+0.3826834E0*t_{1208}-0.7653669E1*t_{1140}+0.9238795E$
 $\#0*t_{1142}-0.9238795E0*t_{1144}+0.1522409E1*t_{1146}+0.9238795E0*t_{1149}$
 $t_{3163} = -0.6488467E1*t_{1151}-0.9238795E0*t_{1153}-0.9238795E0*t_{1156}+0.4$
 $\#335455E1*t_{1158}-0.4335455E1*t_{1160}+0.4335455E1*t_{1162}+0.7653669E1*t_{11$
 $\#64+0.7071068E0*t_{1212}-0.7071068E0*t_{1216}-0.3826834E0*t_{1222}+0.3826834$
 $\#E0*t_{1228}-0.3826834E0*t_{1234}+t_{1240}-0.9238795E0*t_{1246}-0.7071068E0*t_{12$
 $\#51$
 $t_{3165} = 0.3826834E0*t_{1257}-0.5E-9*t_{1263}+0.5E-9*t_{1267}+0.7071068E0*t_{1$
 $\#271+0.9238795E0*t_{1275}-0.7071068E0*t_{1279}+0.7071068E0*t_{1283}-0.5E-9*t$
 $\#1289-0.9238795E0*t_{1295}-0.3826834E0*t_{1299}-0.7071068E0*t_{1303}-t_{1307}+0$
 $\#.7071068E0*t_{1311}+0.5E-9*t_{1315}-0.4335455E1*t_{2890}$
 $t_{3166} = -0.4335455E1*t_{2893}+0.4335455E1*t_{2895}+0.7653669E1*t_{2897}+0.7$
 $\#653669E1*t_{2899}+0.6488467E1*t_{2901}-0.6488467E1*t_{2903}+0.1522409E1*t_{29$
 $\#05-0.1522409E1*t_{2907}+0.6488467E1*t_{2920}+0.4335455E1*t_{2922}-0.7653669$
 $\#E1*t_{2924}-0.7653669E1*t_{2926}-0.6488467E1*t_{2928}+0.1522409E1*t_{2930}-0.3$
 $\#826834E0*t_{1319}$
 $t_{3170} = -0.7071068E0*t_{1327}-0.2595387E2*t_{2943}+0.192388E1*t_{381}-0.306$
 $\#1467E2*t_{2947}-0.1530734E2*t_{1140}-0.5E-9*t_{1333}-0.2595387E2*t_{2951}+0.92$
 $\#38795E0*t_{1339}+0.3826834E0*t_{1345}+0.3826834E0*t_{1351}+0.7071068E0*t_{135$
 $\#5-0.3826834E0*t_{1361}+0.7071068E0*t_{1367}+0.7071068E0*t_{1371}$
 $t_{3171} = 0.5E-9*t_{1375}-0.7071068E0*t_{1381}-0.3826834E0*t_{1387}-0.9238795$
 $\#E0*t_{1393}+0.5E-9*t_{1399}-0.7071068E0*t_{1403}-0.3826834E0*t_{1408}-t_{1412}+0.$
 $\#7071068E0*t_{1418}+0.9238795E0*t_{1422}-0.9238795E0*t_{1426}-0.9238795E0*t_{1$
 $\#432-0.5E-9*t_{1436}-0.3826834E0*t_{1440}+0.7071068E0*t_{1443}$
 $t_{3173} = 0.1530734E2*t_{1446}+0.1847759E1*t_{1448}+0.7653669E0*t_{1451}-0.38$
 $\#26834E0*t_{1454}+0.1414214E1*t_{1456}+0.7071068E0*t_{1459}-0.867091E1*t_{1461}$

$\# + 0.7653669E0 * t1465 - 0.7071068E0 * t1620 - 0.1734182E2 * t2958 - 0.7071068E0$
 $\# * t1468 + 0.1414214E1 * t1470 + 0.7071068E0 * t1475 + 0.1414214E1 * t1477$
 $t3174 = 0.1414214E1 * t1479 + 0.1847759E1 * t1481 - 0.3061467E2 * t2963 + 0.30$
 $\# 44819E1 * t1483 - 0.3044819E1 * t1486 - 0.9238795E0 * t1489 + 0.1297693E2 * t149$
 $\# 1 + 0.1414214E1 * t1493 + 0.1847759E1 * t1497 - 0.7071068E0 * t1500 - 0.1297693E$
 $\# 2 * t1502 + 0.1414214E1 * t1504 + 0.9238795E0 * t1507 + 0.7653669E0 * t1512 + 0.38$
 $\# 26834E0 * t1518$
 $t3177 = 0.3826834E0 * t1520 + 0.2E1 * t1522 - t1525 - 0.7071068E0 * t1528 + 0.2E$
 $\# 1 * t1530 - t1534 + 0.1847759E1 * t1536 - 0.9238795E0 * t1539 + 0.1414214E1 * t154$
 $\# 1 + 0.7653669E0 * t1543 + 0.7071068E0 * t1546 + 0.2E1 * t1548 + 0.1E1 * t1550 + 0.76$
 $\# 53669E0 * t1552$
 $t3178 = -0.7071068E0 * t1327 + 0.1304789E3 * t2943 + 0.3826834E0 * t381 + 0.15$
 $\# 39104E3 * t2947 + 0.7695518E2 * t1140 - t1333 + 0.1304789E3 * t2951 - 0.3826834E$
 $\# 0 * t1339 + 0.9238795E0 * t1345 - 0.9238795E0 * t1351 - 0.7071068E0 * t1355 - 0.92$
 $\# 38795E0 * t1361 + 0.7071068E0 * t1367 + 0.7071068E0 * t1371$
 $t3179 = 0.1E1 * t1375 + 0.7071068E0 * t1381 + 0.9238795E0 * t1387 - 0.3826834E$
 $\# 0 * t1393 + 0.1E1 * t1399 + 0.7071068E0 * t1403 - 0.9238795E0 * t1408 - 0.7071068E$
 $\# 0 * t1418 - 0.3826834E0 * t1422 + 0.3826834E0 * t1426 + 0.3826834E0 * t1432 - t143$
 $\# 6 + 0.9238795E0 * t1440 - 0.7071068E0 * t1443 - 0.7695518E2 * t1446$
 $t3181 = -0.7653669E0 * t1448 - 0.1847759E1 * t1451 + 0.9238795E0 * t1454 + 0.1$
 $\# 414214E1 * t1456 + 0.7071068E0 * t1459 + 0.4359161E2 * t1461 + t1463 + 0.1847759$
 $\# E1 * t1465 - 0.7071068E0 * t1620 + 0.8718322E2 * t2958 + 0.7071068E0 * t1468 - 0.1$
 $\# 414214E1 * t1470 + 2 * t1472 - 0.7071068E0 * t1475 - 0.1414214E1 * t1477$
 $t3182 = 0.1414214E1 * t1479 + 0.7653669E0 * t1481 + 0.1539104E3 * t2963 - 0.15$
 $\# 30734E2 * t1483 + 0.1530734E2 * t1486 - 0.3826834E0 * t1489 - 0.6523945E2 * t149$
 $\# 1 + 0.1414214E1 * t1493 + 2 * t1495 + 0.7653669E0 * t1497 - 0.7071068E0 * t1500 + 0.$
 $\# 6523945E2 * t1502 - 0.1414214E1 * t1504 + 0.3826834E0 * t1507 + 2 * t1510$
 $t3185 = 0.1847759E1 * t1512 - t1515 + 0.9238795E0 * t1518 + 0.9238795E0 * t152$
 $\# 0 - 0.1E - 8 * t1522 + 0.5E - 9 * t1525 - 0.7071068E0 * t1528 - 0.1E - 8 * t1530 + 0.5E - 9 *$
 $\# t1534 + 0.7653669E0 * t1536 - 0.3826834E0 * t1539 + 0.1414214E1 * t1541 + 0.1847$
 $\# 759E1 * t1543 + 0.7071068E0 * t1546 - 0.1E - 8 * t1548$
 $t3186 = -0.5E - 9 * t1550 - 0.1847759E1 * t1552 - 0.7695518E2 * t1554 - t1557 - 0.$
 $\# 7653669E0 * t1559 + 0.3826834E0 * t1561 + 0.7695518E2 * t1563 - 0.4359161E2 * t1$
 $\# 565 - 0.4359161E2 * t1567 + 0.4359161E2 * t1569 + 0.1304789E3 * t2971 - 0.923879$
 $\# 5E0 * t1571 + 0.7653669E0 * t1573 + 0.3826834E0 * t1576 - 0.6523945E2 * t1578$
 $t3188 = -0.1530734E2 * t1580 + 0.3061467E2 * t2977 - 0.9238795E0 * t1582 + 0.1$
 $\# 847759E1 * t1584 + 0.8718322E2 * t2981 + 0.8718322E2 * t2985 - 0.1414214E1 * t15$
 $\# 86 + 0.1539104E3 * t2989 + 0.7071068E0 * t1588 + 0.8718322E2 * t2993 - 0.1E - 8 * t1$
 $\# 590 - 0.5E - 9 * t1592 + 0.3061467E2 * t2997 - 0.9238795E0 * t1594 + 0.6523945E2 * t$
 $\# 1596$
 $t3189 = -0.1847759E1 * t1598 + 0.1530734E2 * t1600 - 0.3826834E0 * t1602 - 0.9$
 $\# 238795E0 * t1604 - 0.3826834E0 * t1606 - 0.7653669E0 * t1608 + 0.3826834E0 * t16$
 $\# 34 + 0.3061467E2 * t3002 + 0.9238795E0 * t1638 + 0.1539104E3 * t3006 - 0.9238795$
 $\# E0 * t1642 - 0.7653669E0 * t1610 + 0.1304789E3 * t3010 + 0.3826834E0 * t1612 - 0.3$
 $\# 826834E0 * t1646$
 $t3194 = 0.1530734E2 * t1554 + 0.1847759E1 * t1559 - 0.9238795E0 * t1561 - 0.15$
 $\# 30734E2 * t1563 + t797 * (t3178 + t3179 + t3181 + t3182 + t3185 + t3186 + t3188 + t318$
 $\# 9) + 0.867091E1 * t1565 + 0.867091E1 * t1567 - 0.867091E1 * t1569 - 0.2595387E2 *$
 $\# t2971 + 0.3826834E0 * t1571 + 0.1847759E1 * t1573 + 0.9238795E0 * t1576 + 0.1297$
 $\# 693E2 * t1578 + 0.3044819E1 * t1580 - 0.6089637E1 * t2977$
 $t3196 = -0.3826834E0 * t1582 + 0.7653669E0 * t1584 - 0.1734182E2 * t2981 - 0.1$
 $\# 734182E2 * t2985 + 0.1414214E1 * t1586 - 0.3061467E2 * t2989 - 0.7071068E0 * t15$
 $\# 88 - 0.1734182E2 * t2993 + 0.2E1 * t1590 + 0.1E1 * t1592 - 0.6089637E1 * t2997 + 0.3$
 $\# 826834E0 * t1594 - 0.1297693E2 * t1596 + 0.7653669E0 * t1598 - 0.3044819E1 * t16$
 $\# 00$
 $t3197 = 0.9238795E0 * t1602 - 0.3826834E0 * t1604 + 0.9238795E0 * t1606 + 0.18$
 $\# 47759E1 * t1608 - t1625 + t1630 + 0.9238795E0 * t1634 - 0.6089637E1 * t3002 + 0.38$
 $\# 26834E0 * t1638 - 0.3061467E2 * t3006 + 0.3826834E0 * t1642 + 0.1847759E1 * t161$
 $\# 0 - 0.2595387E2 * t3010 - 0.9238795E0 * t1612 - 0.9238795E0 * t1646$
 $t3201 = 0.3826834E0 * t1877 + 0.3826834E0 * t1879 + 0.3826834E0 * t1882 - 0.5E$
 $\# - 9 * t1654 + 0.7071068E0 * t1885 - 0.7071068E0 * t1893 - 0.7071068E0 * t1896 - t18$
 $\# 99 - t1901 + 0.7071068E0 * t1903 - 0.3826834E0 * t1906 + 0.9238795E0 * t1910 - t19$
 $\# 13 - 0.3826834E0 * t1659 + 0.2296101E2 * t1915 - t1917$

$t3202 = 0.3826834E0 * t1919 - 0.1300637E2 * t1921 + 0.5543277E2 * t1661 - 0.70$
 $\#71068E0 * t1924 - 0.7071068E0 * t1667 + 0.1E1 * t1927 - 0.3826834E0 * t1673 + 0.70$
 $\#71068E0 * t1929 + 0.9238795E0 * t1931 + 0.1E1 * t1933 - 0.7071068E0 * t1935 + 0.70$
 $\#71068E0 * t1937 + 0.192388E1 * t381 - 0.9238795E0 * t1939 + 0.7071068E0 * t1942 -$
 $\#0.2296101E2 * t1140 - 0.3826834E0 * t1944$
 $t3204 = 0.1E1 * t1947 - 0.3826834E0 * t1949 + 0.3826834E0 * t1679 + 0.3826834E$
 $\#0 * t1685 - t1691 - 0.9238795E0 * t1697 - t1702 + 0.3826834E0 * t1708 + 0.7071068E$
 $\#0 * t1714 - 0.9238795E0 * t1719 + 0.9238795E0 * t1725 - 0.7071068E0 * t1731 + 0.70$
 $\#71068E0 * t1736 - 0.5E-9 * t1742 - 0.9238795E0 * t1748 + 0.3826834E0 * t1754$
 $t3205 = t1760 - 0.7071068E0 * t1766 - 0.9238795E0 * t1771 - 0.3826834E0 * t177$
 $\#6 + 0.7071068E0 * t1781 + 0.9238795E0 * t1786 - 0.3826834E0 * t1791 - 0.3E-7 * t17$
 $\#93 - 0.7071068E0 * t1798 - 0.2296101E2 * t1800 + 0.7071068E0 * t1805 - 0.2296101$
 $\#E2 * t1809 + 0.4242641E2 * t1811 + 0.2296101E2 * t1813 + 60 * t1815 + 0.5E-9 * t1820$
 $\#-0.5543277E2 * t1822$
 $t3208 = 0.2296101E2 * t1824 + 0.4242641E2 * t1826 + 0.2296101E2 * t1828 + 0.5E$
 $\#-9 * t1833 - 0.4242641E2 * t1835 + 0.4242641E2 * t1837 + 0.9238795E0 * t1842 + 0.4$
 $\#567228E1 * t1951 + 0.2296101E2 * t1844 + 0.4242641E2 * t1846 - 0.2296101E2 * t18$
 $\#49 + 0.3E-7 * t1851 - 0.2296101E2 * t1853 - 0.4242641E2 * t1855 + 0.3E-7 * t1857 - 0$
 $\#.5543277E2 * t1859$
 $t3209 = -0.4242641E2 * t1861 - 0.3E-7 * t1863 + 0.5543277E2 * t1865 + 60 * t1867$
 $\#+0.5543277E2 * t1869 - 0.5543277E2 * t1871 - 0.4242641E2 * t1873 - 60 * t1875 + 0.$
 $\#5543277E2 * t2050 - 0.7071068E0 * t1955 - 0.7071068E0 * t1957 - 0.3826834E0 * t1$
 $\#960 - 0.9238795E0 * t1962 + 0.7071068E0 * t1967 + 0.3826834E0 * t1970 + 0.130063$
 $\#7E2 * t1972 + 0.1300637E2 * t1974$
 $t3211 = 0.9238795E0 * t1877 + 0.9238795E0 * t1879 + 0.9238795E0 * t1882 - t165$
 $\#4 - 0.7071068E0 * t1885 - t1888 - t1890 - 0.7071068E0 * t1893 + 0.7071068E0 * t189$
 $\#6 + 0.5E-9 * t1899 + 0.5E-9 * t1901 + 0.7071068E0 * t1903 + 0.9238795E0 * t1906 + t1$
 $\#908 + 0.3826834E0 * t1910 + 0.5E-9 * t1913$
 $t3212 = 0.9238795E0 * t1659 - 0.1154328E3 * t1915 + 0.5E-9 * t1917 + 0.9238795$
 $\#E0 * t1919 + 0.6538741E2 * t1921 - 0.2296101E2 * t1661 + 0.7071068E0 * t1924 - 0.7$
 $\#071068E0 * t1667 - 0.5E-9 * t1927 - 0.9238795E0 * t1673 + 0.7071068E0 * t1929 + 0.$
 $\#3826834E0 * t1931 - 0.5E-9 * t1933 - 0.7071068E0 * t1935 - 0.7071068E0 * t1937 + 0$
 $\#.3826834E0 * t381$
 $t3214 = -0.3826834E0 * t1939 + 0.7071068E0 * t1942 + 0.1154328E3 * t1140 - 0.9$
 $\#238795E0 * t1944 - 0.5E-9 * t1947 + 0.9238795E0 * t1949 - 0.9238795E0 * t1679 + 0.$
 $\#9238795E0 * t1685 - 0.3826834E0 * t1697 - 0.9238795E0 * t1708 + 0.7071068E0 * t1$
 $\#714 + 0.3826834E0 * t1719 - 0.3826834E0 * t1725 + 0.7071068E0 * t1731 - 0.707106$
 $\#8E0 * t1736 - t1742$
 $t3215 = 0.3826834E0 * t1748 + 0.9238795E0 * t1754 + 0.7071068E0 * t1766 - 0.38$
 $\#26834E0 * t1771 + 0.9238795E0 * t1776 - 0.7071068E0 * t1781 + 0.3826834E0 * t178$
 $\#6 - 0.9238795E0 * t1791 - 0.6E2 * t1793 - 0.7071068E0 * t1798 + 0.5543277E2 * t180$
 $\#0 + 0.7071068E0 * t1805 - 0.5543277E2 * t1809 - 0.4242641E2 * t1811 + 0.5543277E$
 $\#2 * t1813 + 0.1E1 * t1820 - 0.2296101E2 * t1822$
 $t3218 = -0.5543277E2 * t1824 + 0.4242641E2 * t1826 - 0.5543277E2 * t1828 + 0.1$
 $\#E1 * t1833 - 0.4242641E2 * t1835 - 0.4242641E2 * t1837 - 0.3826834E0 * t1842 - 0.2$
 $\#296101E2 * t1951 + 0.5543277E2 * t1844 + 0.4242641E2 * t1846 - 0.5543277E2 * t18$
 $\#49 + 0.6E2 * t1851 + 0.5543277E2 * t1853 - 0.4242641E2 * t1855 + 0.6E2 * t1857 + 0.2$
 $\#296101E2 * t1859$
 $t3219 = 0.4242641E2 * t1861 - 0.6E2 * t1863 - 0.2296101E2 * t1865 + 0.2296101E$
 $\#2 * t1869 + 0.2296101E2 * t1871 + 0.4242641E2 * t1873 + t1953 + 0.2296101E2 * t205$
 $\#0 + 0.7071068E0 * t1955 + 0.7071068E0 * t1957 - 0.9238795E0 * t1960 - 0.3826834E$
 $\#0 * t1962 + 0.7071068E0 * t1967 - 0.9238795E0 * t1970 - 0.6538741E2 * t1972 - 0.65$
 $\#38741E2 * t1974 - 0.7071068E0 * t1976$
 $t3221 = -0.7071068E0 * t1978 - 0.3826834E0 * t1980 - 0.1154328E3 * t1982 + 0.9$
 $\#785918E2 * t1984 + 0.2296101E2 * t1986 - 0.9238795E0 * t1988 - 0.3826834E0 * t19$
 $\#90 - 0.9238795E0 * t1992 + 0.9785918E2 * t1994 - 0.5E-9 * t1996 + 0.1154328E3 * t1$
 $\#998 + 0.3826834E0 * t2000 + 0.3826834E0 * t2002 - 0.3826834E0 * t2005 - 0.382683$
 $\#4E0 * t2008 - t2010$
 $t3222 = -t2012 - 0.7071068E0 * t2014 - 0.7071068E0 * t2016 + 0.2296101E2 * t20$
 $\#18 - 0.9785918E2 * t2020 - 0.3826834E0 * t2022 - 0.3826834E0 * t2024 - 0.9238795$
 $\#E0 * t2026 - 0.9238795E0 * t2028 + 0.3826834E0 * t2030 + 0.3826834E0 * t2032 - 0.2$
 $\#296101E2 * t2034 - 0.9785918E2 * t2036 + 0.3826834E0 * t2038 + 0.3826834E0 * t20$
 $\#40 + 0.6538741E2 * t2042 - 0.9238795E0 * t2044$

$t3227 = 0.7071068E0*t1976+0.7071068E0*t1978+0.9238795E0*t1980+0.22$
 $\#96101E2*t1982-0.194654E2*t1984+t797*(t3211+t3212+t3214+t3215+t3218$
 $\#+t3219+t3221+t3222)-0.4567228E1*t1986+0.3826834E0*t1988+0.9238795E$
 $\#0*t1990+0.3826834E0*t1992-0.194654E2*t1994+0.1E1*t1996-0.2296101E2$
 $\#*t1998-0.9238795E0*t2000-0.9238795E0*t2002+0.9238795E0*t2005$
 $t3228 = 0.9238795E0*t2008-0.7071068E0*t2014-0.7071068E0*t2016-0.45$
 $\#67228E1*t2018+0.194654E2*t2020-0.9238795E0*t2022-0.9238795E0*t2024$
 $\#-0.3826834E0*t2026-0.3826834E0*t2028-0.9238795E0*t2030-0.9238795E0$
 $\#*t2032+0.4567228E1*t2034+0.194654E2*t2036+0.9238795E0*t2038+0.9238$
 $\#795E0*t2040-0.1300637E2*t2042+0.3826834E0*t2044$
 $t3232 = -0.3061467E2*t2055-0.9238795E0*t2061+0.7071068E0*t2067+0.5$
 $\#656854E2*t2069-0.7071068E0*t2075-0.3061467E2*t2077+0.5656854E2*t20$
 $\#79-0.4E-7*t2081+0.3061467E2*t2083-0.7071068E0*t2085+0.7071068E0*t2$
 $\#087+0.3826834E0*t2093-0.7071068E0*t2099+0.9238795E0*t2101-0.382683$
 $\#4E0*t2104-0.7071068E0*t2106$
 $t3233 = 0.1E1*t2108+0.7071068E0*t2111+0.9238795E0*t2114-0.7071068E$
 $\#0*t2118+80*t2258+0.5656854E2*t2260-0.5E-9*t2266+0.1E1*t2121+0.9238$
 $\#795E0*t2272-0.3061467E2*t2123+0.1734182E2*t2125-0.1734182E2*t2127+$
 $\#0.2595387E2*t2129-0.3826834E0*t2132+0.7071068E0*t2135+0.7071068E0*$
 $\#t2137+0.7071068E0*t2142$
 $t3235 = -0.9238795E0*t2144-0.9238795E0*t2146-0.1734182E2*t2148-0.3$
 $\#826834E0*t2150-0.7071068E0*t2152-0.9238795E0*t2154+0.3826834E0*t21$
 $\#57+0.6089637E1*t2159+0.2595387E2*t2161+0.1E1*t2164-0.6089637E1*t21$
 $\#66+0.9238795E0*t2169-0.7071068E0*t2173-t2178-0.3826834E0*t2180+0.7$
 $\#071068E0*t2182$
 $t3236 = 0.7071068E0*t2184-t2186+0.7071068E0*t2188-0.7071068E0*t219$
 $\#0-0.7071068E0*t2192-0.6089637E1*t2194-t2196-0.2595387E2*t2198+0.30$
 $\#61467E2*t2200+0.3826834E0*t2202-0.9238795E0*t2204-t2207+0.192388E1$
 $\#*t381-0.9238795E0*t2209-0.2595387E2*t2211-0.3826834E0*t2213+0.1E1*$
 $\#t2215$
 $t3239 = 0.9238795E0*t2218+0.9238795E0*t2220+0.3826834E0*t2222+0.38$
 $\#26834E0*t2224+0.9238795E0*t2226+0.9238795E0*t2228+0.1734182E2*t223$
 $\#0-0.9238795E0*t2232-0.9238795E0*t2234-0.9238795E0*t2236+0.6089637E$
 $\#1*t2238+0.9238795E0*t2240+80*t2275-0.5656854E2*t2277+0.7391036E2*t$
 $\#2279-0.5656854E2*t2281$
 $t3240 = -0.5656854E2*t2283+0.7391036E2*t2285-0.3061467E2*t2287-0.7$
 $\#391036E2*t2289+0.7071068E0*t2295+0.4E-7*t2297+0.7391036E2*t2299-0.$
 $\#7391036E2*t2301-0.3826834E0*t2242-0.7071068E0*t2307+0.3826834E0*t2$
 $\#244+0.3061467E2*t2248+0.3826834E0*t2250+0.7071068E0*t2313-0.923879$
 $\#5E0*t2319-t2324+0.3061467E2*t2328$
 $t3242 = -0.3826834E0*t2333-0.9238795E0*t2339+0.3826834E0*t2344-0.7$
 $\#391036E2*t2346-t2351-0.4E-7*t2353+t2359-80*t2361+0.4E-7*t2363-0.70$
 $\#71068E0*t2368+0.7391036E2*t2370+0.9238795E0*t2375-0.3826834E0*t238$
 $\#1-0.9238795E0*t2386-0.7071068E0*t2392-0.3826834E0*t2398$
 $t3243 = -0.7391036E2*t2055+0.3826834E0*t2061+0.7071068E0*t2067-0.5$
 $\#656854E2*t2069-0.7071068E0*t2075-0.7391036E2*t2077+0.5656854E2*t20$
 $\#79-0.8E2*t2081+0.7391036E2*t2083-0.7071068E0*t2085-0.7071068E0*t20$
 $\#87+t2090+0.9238795E0*t2093-t2096+0.7071068E0*t2099-0.3826834E0*t21$
 $\#01$
 $t3244 = -0.9238795E0*t2104+0.7071068E0*t2106-0.5E-9*t2108-0.707106$
 $\#8E0*t2111-0.3826834E0*t2114-t2116+0.7071068E0*t2118-0.5656854E2*t2$
 $\#260-t2266-0.5E-9*t2121-0.3826834E0*t2272+0.1539104E3*t2123-0.87183$
 $\#22E2*t2125+0.8718322E2*t2127-0.1304789E3*t2129+0.9238795E0*t2132$
 $t3246 = 0.7071068E0*t2135+0.7071068E0*t2137-t2139+0.7071068E0*t214$
 $\#2-0.3826834E0*t2144-0.3826834E0*t2146+0.8718322E2*t2148+0.9238795E$
 $\#0*t2150-0.7071068E0*t2152+0.3826834E0*t2154-0.9238795E0*t2157-0.30$
 $\#61467E2*t2159-0.1304789E3*t2161-0.5E-9*t2164+0.3061467E2*t2166-0.3$
 $\#826834E0*t2169$
 $t3247 = t2171-0.7071068E0*t2173+0.5E-9*t2178-0.9238795E0*t2180-0.7$
 $\#071068E0*t2182+0.7071068E0*t2184+0.5E-9*t2186-0.7071068E0*t2188+0.$
 $\#7071068E0*t2190-0.7071068E0*t2192+0.3061467E2*t2194+0.5E-9*t2196+0$
 $\#.1304789E3*t2198-0.1539104E3*t2200-0.9238795E0*t2202+0.3826834E0*t$
 $\#2204+0.5E-9*t2207$

t3250 = 0.3826834E0*t381-0.3826834E0*t2209+0.1304789E3*t2211-0.923
 #8795E0*t2213-0.5E-9*t2215+0.3826834E0*t2218+0.3826834E0*t2220-0.92
 #38795E0*t2222-0.9238795E0*t2224+0.3826834E0*t2226+0.3826834E0*t222
 #8-0.8718322E2*t2230+0.3826834E0*t2232-0.3826834E0*t2234+0.3826834E
 #0*t2236-0.3061467E2*t2238

t3251 = -0.3826834E0*t2240+0.5656854E2*t2277-0.3061467E2*t2279+0.5
 #656854E2*t2281-0.5656854E2*t2283+0.3061467E2*t2285+0.7391036E2*t22
 #87+0.3061467E2*t2289-0.7071068E0*t2295+0.8E2*t2297-0.3061467E2*t22
 #99-0.3061467E2*t2301-0.9238795E0*t2242+0.7071068E0*t2307+0.9238795
 #E0*t2244-t2246-0.1539104E3*t2248

t3253 = 0.9238795E0*t2250-0.7071068E0*t2313-0.3826834E0*t2319+0.73
 #91036E2*t2328-0.9238795E0*t2333-0.3826834E0*t2339+0.9238795E0*t234
 #4+0.3061467E2*t2346-0.8E2*t2353+0.8E2*t2363-0.7071068E0*t2368+0.30
 #61467E2*t2370-0.3826834E0*t2375-0.9238795E0*t2381+0.3826834E0*t238
 #6+0.7071068E0*t2392

t3254 = 0.9238795E0*t2398-0.9238795E0*t2404+0.1539104E3*t1140+0.56
 #56854E2*t2406-0.7391036E2*t2408-0.5656854E2*t2410+0.7391036E2*t241
 #2+0.9238795E0*t2417-0.7391036E2*t2419+0.3826834E0*t2424+0.9238795E
 #0*t2429+0.7071068E0*t2434+0.1E1*t2440+0.9238795E0*t2252-0.9238795E
 #0*t2445-t2450+0.1E1*t2455

t3259 = 0.3826834E0*t2404-0.3061467E2*t1140+0.5656854E2*t2406+0.30
 #61467E2*t2408-0.5656854E2*t2410-0.3061467E2*t2412-0.3826834E0*t241
 #7+0.3061467E2*t2419+0.9238795E0*t2424+t797*(t3243+t3244+t3246+t324
 #7+t3250+t3251+t3253+t3254)+0.3826834E0*t2429+0.7071068E0*t2434+0.5
 #E-9*t2440+0.3826834E0*t2252+0.3826834E0*t2445-0.5E-9*t2450+0.5E-9*
 #t2455

t3263 = -0.9238795E0*t2464-0.3826834E0*t2467+0.3826834E0*t381+0.70
 #71068E0*t2469+0.3826834E2*t2471+0.7071068E0*t2474-0.3826834E0*t247
 #7-0.7071068E0*t2480-0.3826834E2*t2482-0.192388E3*t2484-0.3826834E0
 #*t2486-0.3826834E2*t2639+0.192388E3*t1140+0.3826834E0*t2645-t2489-
 #0.7071068E0*t2492

t3264 = -0.7071068E0*t2494+0.3826834E2*t2496-0.1630986E3*t2498-0.1
 #92388E3*t2500+0.192388E3*t2502-0.3826834E0*t2504+0.3826834E0*t2507
 #-0.5E-9*t2511-0.5E-9*t2513-0.3826834E0*t2515+0.3826834E0*t2517+0.3
 #826834E0*t2520+0.1630986E3*t2522-0.7071068E0*t2524+0.7071068E0*t25
 #27+0.5E-9*t2530

t3266 = -0.3826834E2*t2532+t2535+0.7071068E0*t2537-0.9238795E0*t25
 #39-0.3826834E0*t2541-0.9238795E0*t2544-0.9238795E0*t2546+0.108979E
 #3*t2548-0.108979E3*t2550+0.3826834E0*t2552-0.108979E3*t2556-0.7071
 #068E0*t2558-0.9238795E0*t2560+t2562+0.3826834E0*t2565+0.1630986E3*
 #t2567

t3267 = 0.3826834E0*t2569-0.1630986E3*t2571-0.5E-9*t2573-0.5E-9*t2
 #575-0.9238795E0*t2578+0.7071068E0*t2580-0.9238795E0*t2582-0.382683
 #4E0*t2584-0.7071068E0*t2586-0.3826834E0*t2588+0.108979E3*t2590+0.5
 #E-9*t2592-0.7071068E0*t2594-0.7071068E0*t2597+0.1E1*t2651-0.923879
 #5E2*t2653+0.5E-9*t2599

t3270 = 0.5E-9*t2601+0.7071068E0*t2603+0.9238795E0*t2605-0.9238795
 #E0*t2607+0.9238795E0*t2609+0.7071068E0*t2611-t2667+0.9238795E0*t26
 #13+0.9238795E0*t2615+0.9238795E0*t2617-t2619+0.3826834E0*t2621-t26
 #23+0.3826834E0*t2625+0.9238795E0*t2673-0.7071068E0*t2678

t3271 = 0.1E1*t2684+0.9238795E0*t2690-0.7071068E0*t2696+0.7071068E
 #0*t2703-0.3826834E0*t2708-0.7071068E2*t2710-0.9238795E0*t2717-0.38
 #26834E0*t2723-0.7071068E2*t2725-0.9238795E0*t2627-0.9238795E0*t273
 #1+0.7071068E0*t2741+0.3826834E0*t2747-0.9238795E0*t2752-0.1E3*t275
 #4-0.7071068E0*t2760+0.7071068E0*t2765

t3273 = 0.7071068E2*t2767-0.7071068E0*t2774-0.3826834E0*t2785+0.38
 #26834E0*t2790-t2629-0.3826834E0*t2795+0.9238795E0*t2800-0.9238795E
 #2*t2802+0.9238795E0*t2631+0.1E3*t2804+0.9238795E2*t2806+0.9238795E
 #2*t2808-0.9238795E2*t2810-0.7071068E2*t2812-0.1E3*t2816+0.9238795E
 #2*t2818

t3274 = 0.3826834E2*t2821+0.7071068E0*t2633+0.7071068E2*t2823+0.38
 #26834E2*t2825-0.3826834E2*t2827+0.3826834E2*t2829+0.1E3*t2831+0.38
 #26834E2*t2833+0.9238795E0*t2838+0.7071068E0*t2843-0.9238795E2*t284

$\#5+0.7071068E2*t2847-0.7071068E2*t2849-0.3826834E2*t2851+0.7071068E$
 $\#2*t2853+0.9238795E2*t2855-t2860$
 $t3279 = -0.3826834E0*t2464-0.9238795E0*t2467+0.192388E1*t381+t797*$
 $\#(t3263+t3264+t3266+t3267+t3270+t3271+t3273+t3274)-0.7071068E0*t246$
 $\#9-0.7612047E1*t2471-0.7071068E0*t2474+0.9238795E0*t2477+0.7071068E$
 $\#0*t2480+0.7612047E1*t2482+0.3826834E2*t2484+0.9238795E0*t2486-0.92$
 $\#38795E2*t2639-0.3826834E2*t1140+0.9238795E0*t2645-0.7071068E0*t249$
 $\#2$
 $t3280 = -0.7071068E0*t2494-0.7612047E1*t2496+0.3244233E2*t2498+0.3$
 $\#826834E2*t2500-0.3826834E2*t2502-0.9238795E0*t2504-0.9238795E0*t25$
 $\#07+0.1E1*t2511+0.1E1*t2513+0.9238795E0*t2515+0.9238795E0*t2517+0.9$
 $\#238795E0*t2520-0.3244233E2*t2522-0.7071068E0*t2524-0.7071068E0*t25$
 $\#27-t2530+0.7612047E1*t2532$
 $t3282 = 0.7071068E0*t2537+0.3826834E0*t2539-0.9238795E0*t2541-0.38$
 $\#26834E0*t2544+0.3826834E0*t2546-0.2167728E2*t2548+0.2167728E2*t255$
 $\#0-0.9238795E0*t2552+0.2167728E2*t2556-0.7071068E0*t2558-0.3826834E$
 $\#0*t2560-0.9238795E0*t2565-0.3244233E2*t2567-0.9238795E0*t2569+0.32$
 $\#44233E2*t2571+0.1E1*t2573$
 $t3283 = 0.1E1*t2575+0.3826834E0*t2578-0.7071068E0*t2580-0.3826834E$
 $\#0*t2582+0.9238795E0*t2584+0.7071068E0*t2586-0.9238795E0*t2588-0.21$
 $\#67728E2*t2590-t2592+0.7071068E0*t2594+0.7071068E0*t2597+0.5E-9*t26$
 $\#51+0.3826834E2*t2653-t2659-100*t2661-t2599-t2601$
 $t3286 = 0.7071068E0*t2603-0.3826834E0*t2605-0.3826834E0*t2607-0.38$
 $\#26834E0*t2609+0.7071068E0*t2611-0.5E-9*t2667+0.3826834E0*t2613+0.3$
 $\#826834E0*t2615+0.3826834E0*t2617+0.9238795E0*t2621+0.9238795E0*t26$
 $\#25+0.3826834E0*t2673+0.7071068E0*t2678+0.5E-9*t2684-0.3826834E0*t2$
 $\#690+0.7071068E0*t2696$
 $t3287 = 0.7071068E0*t2703-0.9238795E0*t2708-0.7071068E2*t2710+100*$
 $\#t2712+0.3826834E0*t2717-0.9238795E0*t2723+0.7071068E2*t2725+0.3826$
 $\#834E0*t2627-0.3826834E0*t2731+t2736-0.7071068E0*t2741-0.9238795E0*$
 $\#t2747+0.3826834E0*t2752-0.5E-7*t2754-0.7071068E0*t2760-0.7071068E0$
 $\#*t2765-0.7071068E2*t2767$
 $t3289 = -0.7071068E0*t2774-t2779+0.9238795E0*t2785-0.9238795E0*t27$
 $\#90+0.9238795E0*t2795+0.3826834E0*t2800-0.3826834E2*t2802+0.3826834$
 $\#E0*t2631+0.5E-7*t2804+0.3826834E2*t2806-0.3826834E2*t2808-0.382683$
 $\#4E2*t2810+0.7071068E2*t2812+100*t2814-0.5E-7*t2816+0.3826834E2*t28$
 $\#18$
 $t3290 = 0.9238795E2*t2821+0.7071068E0*t2633-0.7071068E2*t2823-0.92$
 $\#38795E2*t2825+0.9238795E2*t2827-0.9238795E2*t2829+0.5E-7*t2831+0.9$
 $\#238795E2*t2833-0.3826834E0*t2838+0.7071068E0*t2843+0.3826834E2*t28$
 $\#45+0.7071068E2*t2847-0.7071068E2*t2849+0.9238795E2*t2851+0.7071068$
 $\#E2*t2853-0.3826834E2*t2855-0.5E-9*t2860$
 $t3294 = -0.9238795E0*t800-0.1950903E0*t811+0.3826834E0*t814-0.8314$
 $\#696E0*t817-t820+0.7071068E0*t823+0.7071068E0*t826-0.9807853E0*t829$
 $\#+0.8314696E0*t840-0.9807853E0*t843+0.9807853E0*t846+0.9238795E0*t4$
 $\#6+0.9807853E0*t57-0.9238795E0*t102+0.3826834E0*t147$
 $t3295 = -0.3826834E0*t800-0.9807853E0*t811+0.9238795E0*t814-0.5555$
 $\#702E0*t817+0.6E-9*t820-0.7071068E0*t823+0.7071068E0*t826-0.1950903$
 $\#E0*t829-0.5555702E0*t840+0.1950903E0*t843+0.1950903E0*t846+0.38268$
 $\#34E0*t46+0.1950903E0*t57+0.3826834E0*t102+0.9238795E0*t147$
 $t3296 = -0.3826834E0*t192+0.9238795E0*t237-0.7071068E0*t282+0.1E1*$
 $\#t327-0.8314696E0*t849+0.9807853E0*t852+0.7071068E0*t855+0.7071068E$
 $\#0*t372+0.5555702E0*t381-t471+0.8314696E0*t482-0.8314696E0*t493-0.9$
 $\#807853E0*t504+0.7071068E0*t549-0.9238795E0*t595$
 $t3298 = 0.5555702E0*t606+0.9807853E0*t651-0.7071068E0*t696+0.83146$
 $\#96E0*t741-0.1950903E0*t752-0.5555702E0*t763+0.9807853E0*t774-0.382$
 $\#6834E0*t785-0.9807853E0*t796+0.5555702E0*t858+0.9238795E0*t862+0.1$
 $\#950903E0*t934+0.3826834E0*t873-0.6E-9*t876-0.8314696E0*t937$
 $t3299 = -0.1950903E0*t879+0.3826834E0*t882+0.8314696E0*t893+0.5555$
 $\#702E0*t896+0.9807853E0*t899-0.8314696E0*t902-t905-0.9238795E0*t940$
 $\#-0.7071068E0*t908-0.9807853E0*t919-0.5555702E0*t943-0.9238795E0*t9$
 $\#22-0.3826834E0*t925-0.1950903E0*t946-0.9238795E0*t928$
 $t3303 = -0.9238795E0*t192-0.3826834E0*t237+0.7071068E0*t282+0.6E-9$

$\#*t327+t797*(t3295+t3296+t3298+t3299)+0.5555702E0*t849-0.1950903E0*$
 $\#t852-0.7071068E0*t855-0.7071068E0*t372+0.183147E1*t381-t426-0.6E-9$
 $\#*t471-0.5555702E0*t482+0.5555702E0*t493-0.1950903E0*t504$
 $t3305 = 0.7071068E0*t549-0.3826834E0*t595-0.8314696E0*t606-0.19509$
 $\#03E0*t651-0.7071068E0*t696+0.5555702E0*t741+0.9807853E0*t752-0.831$
 $\#4696E0*t763+0.1950903E0*t774+0.9238795E0*t785+0.1950903E0*t796-0.8$
 $\#314696E0*t858-0.3826834E0*t862-0.9807853E0*t934+0.9238795E0*t873$
 $t3306 = 0.1E1*t876-0.5555702E0*t937+0.9807853E0*t879-0.9238795E0*t$
 $\#882+0.5555702E0*t893+0.8314696E0*t896+0.1950903E0*t899-0.5555702E0$
 $\#*t902+0.3826834E0*t940-0.7071068E0*t908+0.1950903E0*t919+0.8314696$
 $\#E0*t943-0.3826834E0*t922+0.9238795E0*t925-0.9807853E0*t946+0.38268$
 $\#34E0*t928$
 $t3309 = -0.5555702E0*t1174+0.6E-9*t1180+0.183147E1*t381+0.7071068E$
 $\#0*t952+0.5555702E0*t955+0.5555702E0*t959+0.5555702E0*t962+0.897572$
 $\#4E1*t965-0.1950903E0*t968+0.1950903E0*t972+0.1024033E2*t974+0.3826$
 $\#834E0*t977-0.3826834E0*t981-0.3826834E0*t991-0.3826834E0*t995$
 $t3310 = 0.5555702E0*t1184+0.5555702E0*t999+0.1E1*t1002-t1006+0.337$
 $\#0608E1*t1008+0.9807853E0*t1011+0.9807853E0*t1016-0.8314696E0*t1019$
 $\#-0.8314696E0*t1023+0.8314696E0*t1025-0.8314696E0*t1028+0.7071068E0$
 $\#*t1031+0.7071068E0*t1035+0.9238795E0*t1038+0.9238795E0*t1042$
 $t3312 = -0.1950903E0*t1044-0.9238795E0*t1046+0.9238795E0*t1049+0.1$
 $\#950903E0*t1052+0.1950903E0*t1056+0.1E1*t1058-t1061+0.3826834E0*t10$
 $\#63-0.3826834E0*t1066+0.547357E1*t1068-0.7071068E0*t1073+0.9807853E$
 $\#0*t1076+0.1950903E0*t1079+0.3370608E1*t1081-0.7366186E1*t1083$
 $t3313 = -0.8314696E0*t1174+0.1E1*t1180+0.5555702E0*t381+0.7071068E$
 $\#0*t952+0.8314696E0*t955+0.8314696E0*t959+0.8314696E0*t962-0.29589E$
 $\#2*t965-0.9807853E0*t968+0.9807853E0*t972-0.3375784E2*t974-0.923879$
 $\#5E0*t977+0.9238795E0*t981+t984+t988$
 $t3314 = -0.9238795E0*t991-0.9238795E0*t995-0.8314696E0*t1184+0.831$
 $\#4696E0*t999-0.6E-9*t1002+0.6E-9*t1006-0.111114E2*t1008-0.1950903E0$
 $\#*t1011-0.1950903E0*t1016-0.5555702E0*t1019-0.5555702E0*t1023-0.555$
 $\#5702E0*t1025+0.5555702E0*t1028-0.7071068E0*t1031-0.7071068E0*t1035$
 $t3316 = 0.3826834E0*t1038+0.3826834E0*t1042-0.9807853E0*t1044+0.38$
 $\#26834E0*t1046-0.3826834E0*t1049-0.9807853E0*t1052-0.9807853E0*t105$
 $\#6-0.6E-9*t1058+0.6E-9*t1061-0.9238795E0*t1063+0.9238795E0*t1066-0.$
 $\#1804394E2*t1068-0.7071068E0*t1073+0.1950903E0*t1076-0.9807853E0*t1$
 $\#079$
 $t3317 = -0.111114E2*t1081+0.2428306E2*t1083-0.5555702E0*t1085-0.18$
 $\#04394E2*t1087-0.5555702E0*t1090+0.2428306E2*t1092-0.7071068E0*t109$
 $\#4-0.7071068E0*t1097+0.3826834E0*t1099-0.3826834E0*t1102-0.5555702E$
 $\#0*t1105+0.5555702E0*t1109+0.9807853E0*t1112+0.3751862E1*t1114-0.70$
 $\#71068E0*t1116$
 $t3320 = 0.7071068E0*t1119+0.3826834E0*t1123+0.3826834E0*t1127+0.83$
 $\#14696E0*t1129-0.8314696E0*t1132-0.9238795E0*t1134-0.9238795E0*t113$
 $\#7-0.9807853E0*t1139-0.5555702E0*t1190+0.9807853E0*t1196+0.5555702E$
 $\#0*t1202-0.9807853E0*t1208+0.3662939E2*t1140-0.1950903E0*t1142-0.19$
 $\#50903E0*t1144$
 $t3321 = -0.3375784E2*t1146+0.1950903E0*t1149-0.29589E2*t1151-0.195$
 $\#0903E0*t1153-0.1950903E0*t1156+0.3751862E1*t1158-0.380933E2*t1160-$
 $\#0.380933E2*t1162+0.3662939E2*t1164-0.9238795E0*t1212+0.3826834E0*t$
 $\#1216+0.1950903E0*t1222-0.9807853E0*t1228-0.1950903E0*t1234+0.83146$
 $\#96E0*t1246$
 $t3323 = 0.3826834E0*t1251+0.9807853E0*t1257-0.7071068E0*t1263+0.70$
 $\#71068E0*t1267+0.9238795E0*t1271-0.5555702E0*t1275-0.3826834E0*t127$
 $\#9+0.9238795E0*t1283+0.7071068E0*t1289+0.8314696E0*t1295+0.1950903E$
 $\#0*t1299-0.3826834E0*t1303-t1307-0.9238795E0*t1311-0.7071068E0*t131$
 $\#5$
 $t3324 = -0.2428306E2*t2890+0.29589E2*t2893-0.2428306E2*t2895+0.180$
 $\#4394E2*t2897+0.3375784E2*t2899-0.3751862E1*t2901-0.3751862E1*t2903$
 $\#+0.111114E2*t2905-0.3662939E2*t2907+0.380933E2*t2920+0.29589E2*t29$
 $\#22+0.3375784E2*t2924+0.1804394E2*t2926+0.380933E2*t2928-0.3662939E$
 $\#2*t2930-0.1950903E0*t1319$
 $t3329 = -0.8314696E0*t1085+0.547357E1*t1087-0.8314696E0*t1090-0.73$

$\#66186E1 * t1092 + 0.7071068E0 * t1094 + 0.7071068E0 * t1097 - 0.9238795E0 * t109$
 $\#9 + t797 * (t3313 + t3314 + t3316 + t3317 + t3320 + t3321 + t3323 + t3324) + 0.9238795$
 $\#E0 * t1102 + 0.8314696E0 * t1105 - 0.8314696E0 * t1109 + 0.1950903E0 * t1112 - 0.1$
 $\#138115E1 * t1114 - 0.7071068E0 * t1116 + 0.7071068E0 * t1119$
 $t3332 = 0.9238795E0 * t1123 + 0.9238795E0 * t1127 - 0.5555702E0 * t1129 + 0.55$
 $\#55702E0 * t1132 - 0.3826834E0 * t1134 - 0.3826834E0 * t1137 + 0.1950903E0 * t113$
 $\#9 + 0.8314696E0 * t1190 - 0.1950903E0 * t1196 - 0.8314696E0 * t1202 - 0.1950903E$
 $\#0 * t1208 - 0.111114E2 * t1140 - 0.9807853E0 * t1142 - 0.9807853E0 * t1144 + 0.102$
 $\#4033E2 * t1146$
 $t3333 = 0.9807853E0 * t1149 + 0.8975724E1 * t1151 + 0.9807853E0 * t1153 + 0.98$
 $\#07853E0 * t1156 - 0.1138115E1 * t1158 + 0.1155548E2 * t1160 + 0.1155548E2 * t116$
 $\#2 - 0.111114E2 * t1164 - 0.3826834E0 * t1212 - 0.9238795E0 * t1216 + 0.9807853E0$
 $\# * t1222 + 0.1950903E0 * t1228 - 0.9807853E0 * t1234 - t1240 + 0.5555702E0 * t1246$
 $t3335 = 0.9238795E0 * t1251 + 0.1950903E0 * t1257 - 0.7071068E0 * t1263 - 0.70$
 $\#71068E0 * t1267 + 0.3826834E0 * t1271 - 0.8314696E0 * t1275 - 0.9238795E0 * t127$
 $\#9 - 0.3826834E0 * t1283 + 0.7071068E0 * t1289 - 0.5555702E0 * t1295 - 0.9807853E$
 $\#0 * t1299 + 0.9238795E0 * t1303 - 0.6E-9 * t1307 + 0.3826834E0 * t1311 + 0.7071068$
 $\#E0 * t1315$
 $t3336 = 0.7366186E1 * t2890 - 0.8975724E1 * t2893 + 0.7366186E1 * t2895 - 0.54$
 $\#7357E1 * t2897 - 0.1024033E2 * t2899 + 0.1138115E1 * t2901 + 0.1138115E1 * t2903$
 $\# - 0.3370608E1 * t2905 + 0.111114E2 * t2907 - 0.1155548E2 * t2920 - 0.8975724E1 *$
 $\# t2922 - 0.1024033E2 * t2924 - 0.547357E1 * t2926 - 0.1155548E2 * t2928 + 0.11111$
 $\#4E2 * t2930 + 0.9807853E0 * t1319$
 $t3340 = 0.9238795E0 * t1327 + 0.462219E2 * t2943 + 0.183147E1 * t381 - 0.21894$
 $\#28E2 * t2947 - 0.2222281E2 * t1140 + 0.7071068E0 * t1333 - 0.462219E2 * t2951 + 0.$
 $\#8314696E0 * t1339 + 0.1950903E0 * t1345 - 0.1950903E0 * t1351 - 0.3826834E0 * t1$
 $\#355 + 0.9807853E0 * t1361 - 0.3826834E0 * t1367 + 0.3826834E0 * t1371 - 0.707106$
 $\#8E0 * t1375$
 $t3341 = -0.9238795E0 * t1381 - 0.9807853E0 * t1387 - 0.5555702E0 * t1393 + 0.7$
 $\#071068E0 * t1399 + 0.9238795E0 * t1403 - 0.9807853E0 * t1408 - 0.6E-9 * t1412 + 0.$
 $\#3826834E0 * t1418 - 0.8314696E0 * t1422 + 0.5555702E0 * t1426 - 0.5555702E0 * t1$
 $\#432 - 0.7071068E0 * t1436 + 0.9807853E0 * t1440 - 0.3826834E0 * t1443 - 0.674121$
 $\#5E1 * t1446$
 $t3343 = -0.3826834E0 * t1327 - 0.1523732E3 * t2943 + 0.5555702E0 * t381 + 0.72$
 $\#17577E2 * t2947 + 0.7325878E2 * t1140 + 0.7071068E0 * t1333 + 0.1523732E3 * t295$
 $\#1 - 0.5555702E0 * t1339 - 0.9807853E0 * t1345 - 0.9807853E0 * t1351 + 0.9238795E$
 $\#0 * t1355 + 0.1950903E0 * t1361 - 0.9238795E0 * t1367 + 0.9238795E0 * t1371 + 0.70$
 $\#71068E0 * t1375$
 $t3344 = -0.3826834E0 * t1381 + 0.1950903E0 * t1387 + 0.8314696E0 * t1393 - 0.7$
 $\#071068E0 * t1399 + 0.3826834E0 * t1403 - 0.1950903E0 * t1408 - t1412 - 0.9238795$
 $\#E0 * t1418 + 0.5555702E0 * t1422 + 0.8314696E0 * t1426 - 0.8314696E0 * t1432 - 0.7$
 $\#071068E0 * t1436 - 0.1950903E0 * t1440 - 0.9238795E0 * t1443 + 0.2222281E2 * t14$
 $\#46$
 $t3346 = -0.1961571E1 * t1448 + 0.1662939E1 * t1451 - 0.8314696E0 * t1454 + 0.7$
 $\#653669E0 * t1456 + 0.3826834E0 * t1459 + 0.7503724E1 * t1461 - t1463 - 0.1662939$
 $\#E1 * t1465 + 0.3826834E0 * t1620 + 0.9713224E2 * t2958 + 0.3826834E0 * t1468 - 0.7$
 $\#653669E0 * t1470 - 2 * t1472 + 0.9238795E0 * t1475 + 0.1847759E1 * t1477$
 $t3347 = 0.1847759E1 * t1479 - 0.1961571E1 * t1481 + 0.1350314E3 * t2963 + 0.67$
 $\#51568E2 * t1483 + 0.3608788E2 * t1486 + 0.9807853E0 * t1489 - 0.5917799E2 * t149$
 $\#1 - 0.1847759E1 * t1493 + 0.12E-8 * t1495 - 0.3901806E0 * t1497 + 0.9238795E0 * t1$
 $\#500 + 0.4856612E2 * t1502 - 0.1847759E1 * t1504 - 0.1950903E0 * t1507 - 0.12E-8 *$
 $\# t1510$
 $t3350 = 0.1662939E1 * t1512 + 0.6E-9 * t1515 - 0.8314696E0 * t1518 + 0.8314696$
 $\#E0 * t1520 - 0.1414214E1 * t1522 + 0.7071068E0 * t1525 - 0.9238795E0 * t1528 + 0.1$
 $\#414214E1 * t1530 - 0.7071068E0 * t1534 + 0.1961571E1 * t1536 - 0.9807853E0 * t15$
 $\#39 - 0.7653669E0 * t1541 - 0.111114E1 * t1543 - 0.3826834E0 * t1546 - 0.1414214E$
 $\#1 * t1548$
 $t3351 = -0.7071068E0 * t1550 - 0.111114E1 * t1552 - 0.2222281E2 * t1554 - 0.6E$
 $\# - 9 * t1557 - 0.3901806E0 * t1559 + 0.1950903E0 * t1561 - 0.7325878E2 * t1563 + 0.7$
 $\#618659E2 * t1565 - 0.7618659E2 * t1567 - 0.7503724E1 * t1569 - 0.1500745E2 * t29$
 $\#71 - 0.5555702E0 * t1571 + 0.3901806E0 * t1573 + 0.1950903E0 * t1576 + 0.5917799$
 $\#E2 * t1578$
 $t3353 = -0.6751568E2 * t1580 + 0.1465176E3 * t2977 - 0.5555702E0 * t1582 + 0.1$

$\#11114E1*t1584+0.118356E3*t2981-0.9713224E2*t2985+0.7653669E0*t1586$
 $\#-0.7217577E2*t2989-0.3826834E0*t1588-0.118356E3*t2993+0.1414214E1*$
 $\#t1590+0.7071068E0*t1592-0.1465176E3*t2997+0.5555702E0*t1594-0.4856$
 $\#612E2*t1596$
 $t3354 = 0.111114E1*t1598-0.3608788E2*t1600-0.9807853E0*t1602+0.555$
 $\#5702E0*t1604+0.9807853E0*t1606+0.1961571E1*t1608+0.1E1*t1625-0.555$
 $\#5702E0*t1634-0.4444562E2*t3002+0.9807853E0*t1638-0.1350314E3*t3006$
 $\#+0.9807853E0*t1642+0.3901806E0*t1610+0.1500745E2*t3010-0.1950903E0$
 $\#*t1612-0.8314696E0*t1646$
 $t3359 = t797*(t3343+t3344+t3346+t3347+t3350+t3351+t3353+t3354)+0.3$
 $\#901806E0*t1448-0.111114E1*t1451+0.5555702E0*t1454+0.1847759E1*t145$
 $\#6+0.9238795E0*t1459-0.227623E1*t1461-0.111114E1*t1465-0.9238795E0*$
 $\#t1620-0.2946474E2*t2958-0.9238795E0*t1468+0.1847759E1*t1470+0.3826$
 $\#834E0*t1475+0.7653669E0*t1477-0.7653669E0*t1479$
 $t3360 = -0.3901806E0*t1481-0.4096132E2*t2963-0.2048066E2*t1483-0.1$
 $\#094714E2*t1486+0.1950903E0*t1489+0.1795145E2*t1491+0.7653669E0*t14$
 $\#93-0.2E1*t1495+0.1961571E1*t1497-0.3826834E0*t1500-0.1473237E2*t15$
 $\#02-0.7653669E0*t1504+0.9807853E0*t1507+0.2E1*t1510+0.111114E1*t151$
 $\#2$
 $t3363 = -t1515-0.5555702E0*t1518+0.5555702E0*t1520-0.1414214E1*t15$
 $\#22+0.7071068E0*t1525+0.3826834E0*t1528+0.1414214E1*t1530-0.7071068$
 $\#E0*t1534+0.3901806E0*t1536-0.1950903E0*t1539-0.1847759E1*t1541+0.1$
 $\#662939E1*t1543-0.9238795E0*t1546+0.1414214E1*t1548+0.7071068E0*t15$
 $\#50$
 $t3364 = -0.1662939E1*t1552+0.6741215E1*t1554+0.1E1*t1557-0.1961571$
 $\#E1*t1559+0.9807853E0*t1561+0.2222281E2*t1563-0.2311095E2*t1565+0.2$
 $\#311095E2*t1567+0.227623E1*t1569+0.455246E1*t2971-0.8314696E0*t1571$
 $\#-0.1961571E1*t1573-0.9807853E0*t1576-0.1795145E2*t1578+0.2048066E2$
 $\#*t1580$
 $t3366 = -0.4444562E2*t2977+0.8314696E0*t1582-0.1662939E1*t1584-0.3$
 $\#590289E2*t2981+0.2946474E2*t2985-0.1847759E1*t1586+0.2189428E2*t29$
 $\#89+0.9238795E0*t1588+0.3590289E2*t2993-0.1414214E1*t1590-0.7071068$
 $\#E0*t1592+0.4444562E2*t2997+0.8314696E0*t1594+0.1473237E2*t1596+0.1$
 $\#662939E1*t1598$
 $t3367 = 0.1094714E2*t1600+0.1950903E0*t1602-0.8314696E0*t1604-0.19$
 $\#50903E0*t1606-0.3901806E0*t1608+0.6E-9*t1625-t1630-0.8314696E0*t16$
 $\#34+0.1348243E2*t3002-0.1950903E0*t1638+0.4096132E2*t3006+0.1950903$
 $\#E0*t1642+0.1961571E1*t1610-0.455246E1*t3010-0.9807853E0*t1612+0.55$
 $\#55702E0*t1646$
 $t3371 = 0.5555702E0*t1877-0.5555702E0*t1879-0.5555702E0*t1882+0.70$
 $\#71068E0*t1654+0.3826834E0*t1885-t1888-t1890+0.3826834E0*t1893-0.92$
 $\#38795E0*t1896-0.7071068E0*t1899-0.7071068E0*t1901+0.9238795E0*t190$
 $\#3+0.5555702E0*t1906+0.9807853E0*t1910+0.7071068E0*t1913+0.9807853E$
 $\#0*t1659+0.1011182E2*t1915$
 $t3372 = 0.8314696E0*t1877-0.8314696E0*t1879-0.8314696E0*t1882+0.70$
 $\#71068E0*t1654+0.9238795E0*t1885+0.6E-9*t1888+0.6E-9*t1890-0.923879$
 $\#5E0*t1893+0.3826834E0*t1896-0.7071068E0*t1899-0.7071068E0*t1901+0.$
 $\#3826834E0*t1903-0.8314696E0*t1906-t1908-0.1950903E0*t1910+0.707106$
 $\#8E0*t1913$
 $t3373 = -0.1950903E0*t1659-0.3333421E2*t1915+0.7071068E0*t1917+0.8$
 $\#314696E0*t1919+0.1125559E2*t1921-0.4988818E2*t1661+0.3826834E0*t19$
 $\#24+0.3826834E0*t1667-0.7071068E0*t1927+0.1950903E0*t1673-0.3826834$
 $\#E0*t1929-0.1950903E0*t1931-0.7071068E0*t1933-0.9238795E0*t1935+0.9$
 $\#238795E0*t1937+0.5555702E0*t381-0.9807853E0*t1939$
 $t3375 = -0.3826834E0*t1942+0.1098882E3*t1140+0.5555702E0*t1944+0.7$
 $\#071068E0*t1947-0.8314696E0*t1949+0.9807853E0*t1679-0.9807853E0*t16$
 $\#85+0.1E1*t1691+0.8314696E0*t1697-t1702-0.9807853E0*t1708-0.9238795$
 $\#E0*t1714-0.8314696E0*t1719-0.5555702E0*t1725+0.3826834E0*t1731+0.9$
 $\#238795E0*t1736-0.7071068E0*t1742$
 $t3376 = 0.8314696E0*t1748+0.9807853E0*t1754-0.3826834E0*t1766-0.83$
 $\#14696E0*t1771+0.1950903E0*t1776-0.9238795E0*t1781-0.5555702E0*t178$
 $\#6-0.1950903E0*t1791+0.4242641E2*t1793-0.3826834E0*t1798-0.5884712E$
 $\#2*t1800+0.9238795E0*t1805+0.5884712E2*t1809-0.2296101E2*t1811+0.11$

$\#70542E2*t1813+0.6E2*t1815-0.7071068E0*t1820$
 $t3379 = 0.3333421E2*t1822-0.1170542E2*t1824+0.2296101E2*t1826+0.11$
 $\#70542E2*t1828+0.7071068E0*t1833-0.5543277E2*t1835+0.2296101E2*t183$
 $\#7+0.5555702E0*t1842+0.1012735E3*t1951-0.1170542E2*t1844-0.2296101E$
 $\#2*t1846-0.5884712E2*t1849+0.4242641E2*t1851+0.5884712E2*t1853+0.55$
 $\#43277E2*t1855-0.4242641E2*t1857+0.3333421E2*t1859$
 $t3380 = 0.5543277E2*t1861-0.4242641E2*t1863+0.4988818E2*t1865-0.6E$
 $\#2*t1867+0.4988818E2*t1869-0.3333421E2*t1871-0.5543277E2*t1873-t195$
 $\#3-0.4988818E2*t2050-0.3826834E0*t1955-0.3826834E0*t1957-0.5555702E$
 $\#0*t1960-0.9807853E0*t1962+0.3826834E0*t1967-0.5555702E0*t1970-0.11$
 $\#42799E3*t1972+0.1142799E3*t1974$
 $t3382 = -0.9238795E0*t1976-0.9238795E0*t1978-0.9807853E0*t1980+0.3$
 $\#333421E2*t1982+0.7284918E2*t1984-0.5413183E2*t1986+0.5555702E0*t19$
 $\#88-0.9807853E0*t1990+0.5555702E0*t1992-0.7284918E2*t1994+0.7071068$
 $\#E0*t1996-0.1098882E3*t1998+0.1950903E0*t2000+0.1950903E0*t2002+0.9$
 $\#807853E0*t2005+0.9807853E0*t2008-0.6E-9*t2010$
 $t3383 = -0.6E-9*t2012+0.9238795E0*t2014+0.9238795E0*t2016+0.541318$
 $\#3E2*t2018-0.8876699E2*t2020+0.9807853E0*t2022+0.9807853E0*t2024+0.$
 $\#5555702E0*t2026-0.5555702E0*t2028-0.1950903E0*t2030-0.1950903E0*t2$
 $\#032-0.1012735E3*t2034+0.8876699E2*t2036+0.1950903E0*t2038+0.195090$
 $\#3E0*t2040-0.1125559E2*t2042-0.5555702E0*t2044$
 $t3388 = 0.7071068E0*t1917+0.5555702E0*t1919-0.3414345E1*t1921-0.33$
 $\#33421E2*t1661-0.9238795E0*t1924-0.9238795E0*t1667+0.7071068E0*t192$
 $\#7+0.9807853E0*t1673-0.9238795E0*t1929+0.9807853E0*t1931+0.7071068E$
 $\#0*t1933+0.3826834E0*t1935+0.3826834E0*t1937+0.183147E1*t381-0.1950$
 $\#903E0*t1939+t797*(t3372+t3373+t3375+t3376+t3379+t3380+t3382+t3383)$
 $\#-0.9238795E0*t1942$
 $t3390 = -0.3333421E2*t1140-0.8314696E0*t1944-0.7071068E0*t1947+0.5$
 $\#555702E0*t1949+0.1950903E0*t1679+0.1950903E0*t1685+0.6E-9*t1691-0.$
 $\#5555702E0*t1697-0.6E-9*t1702-0.1950903E0*t1708-0.3826834E0*t1714-0$
 $\#.5555702E0*t1719+0.8314696E0*t1725+0.9238795E0*t1731-0.3826834E0*t$
 $\#1736-0.7071068E0*t1742+0.5555702E0*t1748$
 $t3391 = -0.1950903E0*t1754-t1760-0.9238795E0*t1766+0.5555702E0*t17$
 $\#71-0.9807853E0*t1776+0.3826834E0*t1781-0.8314696E0*t1786-0.9807853$
 $\#E0*t1791-0.4242641E2*t1793+0.9238795E0*t1798-0.1170542E2*t1800+0.3$
 $\#826834E0*t1805-0.1170542E2*t1809-0.5543277E2*t1811+0.5884712E2*t18$
 $\#13+0.36E-7*t1815+0.7071068E0*t1820$
 $t3394 = 0.4988818E2*t1822+0.5884712E2*t1824-0.5543277E2*t1826-0.58$
 $\#84712E2*t1828-0.7071068E0*t1833-0.2296101E2*t1835+0.5543277E2*t183$
 $\#7-0.8314696E0*t1842-0.3072099E2*t1951-0.5884712E2*t1844+0.5543277E$
 $\#2*t1846+0.1170542E2*t1849+0.4242641E2*t1851+0.1170542E2*t1853+0.22$
 $\#96101E2*t1855-0.4242641E2*t1857-0.4988818E2*t1859$
 $t3395 = -0.2296101E2*t1861+0.4242641E2*t1863+0.3333421E2*t1865-0.3$
 $\#6E-7*t1867-0.3333421E2*t1869+0.4988818E2*t1871+0.2296101E2*t1873+6$
 $\#0*t1875+0.3333421E2*t2050+0.9238795E0*t1955+0.9238795E0*t1957+0.83$
 $\#14696E0*t1960-0.1950903E0*t1962+0.9238795E0*t1967-0.8314696E0*t197$
 $\#0+0.3466643E2*t1972-0.3466643E2*t1974$
 $t3397 = -0.3826834E0*t1976-0.3826834E0*t1978+0.1950903E0*t1980-0.1$
 $\#011182E2*t1982-0.2209856E2*t1984+0.1642071E2*t1986+0.8314696E0*t19$
 $\#88+0.1950903E0*t1990+0.8314696E0*t1992+0.2209856E2*t1994-0.7071068$
 $\#E0*t1996+0.3333421E2*t1998+0.9807853E0*t2000+0.9807853E0*t2002-0.1$
 $\#950903E0*t2005-0.1950903E0*t2008+0.1E1*t2010$
 $t3398 = 0.1E1*t2012-0.3826834E0*t2014-0.3826834E0*t2016-0.1642071E$
 $\#2*t2018+0.2692717E2*t2020+0.1950903E0*t2022+0.1950903E0*t2024-0.83$
 $\#14696E0*t2026+0.8314696E0*t2028-0.9807853E0*t2030-0.9807853E0*t203$
 $\#2+0.3072099E2*t2034-0.2692717E2*t2036-0.9807853E0*t2038-0.9807853E$
 $\#0*t2040+0.3414345E1*t2042-0.8314696E0*t2044$
 $t3402 = 0.1560723E2*t2055+0.5555702E0*t2061+0.3826834E0*t2067+0.73$
 $\#91036E2*t2069-0.9238795E0*t2075-0.1560723E2*t2077+0.7391036E2*t207$
 $\#9-0.5656854E2*t2081+0.7846282E2*t2083+0.3826834E0*t2085+0.3826834E$
 $\#0*t2087-0.5555702E0*t2093+0.1E1*t2096-0.9238795E0*t2099+0.1950903E$
 $\#0*t2101+0.8314696E0*t2104-0.9238795E0*t2106$
 $t3403 = -0.7071068E0*t2108+0.3826834E0*t2111-0.1950903E0*t2114-t21$

$\#16+0.9238795E0*t2118+0.48E-7*t2258-0.7391036E2*t2260+0.7071068E0*t$
 $\#2266+0.7071068E0*t2121-0.8314696E0*t2272+0.4444562E2*t2123+0.46221$
 $\#9E2*t2125+0.455246E1*t2127-0.3590289E2*t2129+0.5555702E0*t2132-0.9$
 $\#238795E0*t2135-0.9238795E0*t2137$
 $t3405 = 0.1E1*t2139+0.9238795E0*t2142-0.1950903E0*t2144-0.1950903E$
 $\#0*t2146-0.455246E1*t2148+0.5555702E0*t2150-0.3826834E0*t2152+0.980$
 $\#7853E0*t2154+0.8314696E0*t2157-0.4096132E2*t2159+0.3590289E2*t2161$
 $\#-0.7071068E0*t2164-0.2189428E2*t2166+0.1950903E0*t2169+0.3826834E0$
 $\#*t2173-0.7071068E0*t2178-0.8314696E0*t2180$
 $t3406 = -0.3826834E0*t2182+0.9238795E0*t2184-0.7071068E0*t2186-0.3$
 $\#826834E0*t2188+0.9238795E0*t2190-0.3826834E0*t2192+0.2189428E2*t21$
 $\#94+0.7071068E0*t2196+0.2946474E2*t2198-0.1348243E2*t2200+0.8314696$
 $\#E0*t2202+0.9807853E0*t2204+0.7071068E0*t2207+0.183147E1*t381+0.195$
 $\#0903E0*t2209-0.2946474E2*t2211+0.8314696E0*t2213$
 $t3409 = 0.7071068E0*t2215+0.9807853E0*t2218+0.9807853E0*t2220-0.83$
 $\#14696E0*t2222-0.8314696E0*t2224-0.9807853E0*t2226-0.9807853E0*t222$
 $\#8-0.462219E2*t2230-0.9807853E0*t2232+0.1950903E0*t2234-0.9807853E0$
 $\#*t2236+0.4096132E2*t2238-0.1950903E0*t2240-0.48E-7*t2275-0.3061467$
 $\#E2*t2277+0.4444562E2*t2279+0.3061467E2*t2281$
 $t3410 = 0.3061467E2*t2283+0.4444562E2*t2285+0.1560723E2*t2287-0.66$
 $\#51757E2*t2289-0.3826834E0*t2295+0.5656854E2*t2297-0.4444562E2*t229$
 $\#9+0.6651757E2*t2301-0.8314696E0*t2242+0.9238795E0*t2307-0.5555702E$
 $\#0*t2244-t2246+0.1348243E2*t2248+0.5555702E0*t2250+0.3826834E0*t231$
 $\#3+0.5555702E0*t2319+0.6E-9*t2324$
 $t3412 = -0.7846282E2*t2328+0.9807853E0*t2333-0.5555702E0*t2339+0.1$
 $\#950903E0*t2344+0.6651757E2*t2346-0.6E-9*t2351+0.5656854E2*t2353-t2$
 $\#359+80*t2361-0.5656854E2*t2363+0.9238795E0*t2368-0.4444562E2*t2370$
 $\#+0.8314696E0*t2375-0.9807853E0*t2381-0.5555702E0*t2386-0.9238795E0$
 $\#*t2392-0.9807853E0*t2398$
 $t3413 = -0.7846282E2*t2055+0.8314696E0*t2061+0.9238795E0*t2067+0.3$
 $\#061467E2*t2069+0.3826834E0*t2075+0.7846282E2*t2077-0.3061467E2*t20$
 $\#79+0.5656854E2*t2081+0.1560723E2*t2083-0.9238795E0*t2085+0.9238795$
 $\#E0*t2087-t2090-0.8314696E0*t2093-0.6E-9*t2096+0.3826834E0*t2099-0.$
 $\#9807853E0*t2101$
 $t3414 = -0.5555702E0*t2104+0.3826834E0*t2106+0.7071068E0*t2108+0.9$
 $\#238795E0*t2111+0.9807853E0*t2114+0.6E-9*t2116-0.3826834E0*t2118+0.$
 $\#8E2*t2258-0.3061467E2*t2260+0.7071068E0*t2266-0.7071068E0*t2121+0.$
 $\#5555702E0*t2272-0.1465176E3*t2123-0.1523732E3*t2125-0.1500745E2*t2$
 $\#127+0.118356E3*t2129-0.8314696E0*t2132$
 $t3416 = -0.3826834E0*t2135-0.3826834E0*t2137-0.6E-9*t2139+0.382683$
 $\#4E0*t2142-0.9807853E0*t2144-0.9807853E0*t2146+0.1500745E2*t2148-0.$
 $\#8314696E0*t2150+0.9238795E0*t2152+0.1950903E0*t2154+0.5555702E0*t2$
 $\#157+0.1350314E3*t2159-0.118356E3*t2161+0.7071068E0*t2164+0.7217577$
 $\#E2*t2166-0.9807853E0*t2169-t2171$
 $t3417 = -0.9238795E0*t2173-0.7071068E0*t2178+0.5555702E0*t2180-0.9$
 $\#238795E0*t2182+0.3826834E0*t2184-0.7071068E0*t2186-0.9238795E0*t21$
 $\#88-0.3826834E0*t2190+0.9238795E0*t2192-0.7217577E2*t2194+0.7071068$
 $\#E0*t2196-0.9713224E2*t2198+0.4444562E2*t2200+0.5555702E0*t2202+0.1$
 $\#950903E0*t2204+0.7071068E0*t2207+0.5555702E0*t381$
 $t3420 = 0.9807853E0*t2209+0.9713224E2*t2211-0.5555702E0*t2213-0.70$
 $\#71068E0*t2215-0.1950903E0*t2218-0.1950903E0*t2220-0.5555702E0*t222$
 $\#2-0.5555702E0*t2224+0.1950903E0*t2226+0.1950903E0*t2228+0.1523732E$
 $\#3*t2230-0.1950903E0*t2232+0.9807853E0*t2234-0.1950903E0*t2236-0.13$
 $\#50314E3*t2238+0.9807853E0*t2240-0.8E2*t2275$
 $t3421 = 0.7391036E2*t2277+0.6651757E2*t2279-0.7391036E2*t2281+0.73$
 $\#91036E2*t2283-0.6651757E2*t2285+0.7846282E2*t2287+0.4444562E2*t228$
 $\#9+0.9238795E0*t2295+0.5656854E2*t2297-0.6651757E2*t2299+0.4444562E$
 $\#2*t2301+0.5555702E0*t2242+0.3826834E0*t2307-0.8314696E0*t2244+0.6E$
 $\#-9*t2246-0.4444562E2*t2248+0.8314696E0*t2250$
 $t3423 = -0.9238795E0*t2313-0.8314696E0*t2319+0.1E1*t2324-0.1560723$
 $\#E2*t2328+0.1950903E0*t2333+0.8314696E0*t2339-0.9807853E0*t2344-0.4$
 $\#4444562E2*t2346-t2351-0.5656854E2*t2353-0.5656854E2*t2363-0.3826834$
 $\#E0*t2368+0.6651757E2*t2370-0.5555702E0*t2375-0.1950903E0*t2381-0.8$

$\#314696E0 * t2386 - 0.3826834E0 * t2392$
 $t3424 = 0.1950903E0 * t2398 + 0.9807853E0 * t2404 + 0.1465176E3 * t1140 + 0.30$
 $\#61467E2 * t2406 - 0.1560723E2 * t2408 - 0.7391036E2 * t2410 - 0.7846282E2 * t241$
 $\#2 - 0.1950903E0 * t2417 + 0.1560723E2 * t2419 - 0.5555702E0 * t2424 + 0.9807853E$
 $\#0 * t2429 - 0.9238795E0 * t2434 + 0.7071068E0 * t2440 + 0.8314696E0 * t2252 - 0.98$
 $\#07853E0 * t2445 - 0.7071068E0 * t2450 - 0.7071068E0 * t2455$
 $t3429 = 0.1950903E0 * t2404 - 0.4444562E2 * t1140 - 0.7391036E2 * t2406 + 0.78$
 $\#46282E2 * t2408 - 0.3061467E2 * t2410 - 0.1560723E2 * t2412 + 0.9807853E0 * t241$
 $\#7 - 0.7846282E2 * t2419 - 0.8314696E0 * t2424 - 0.1950903E0 * t2429 - 0.3826834E$
 $\#0 * t2434 - 0.7071068E0 * t2440 + 0.5555702E0 * t2252 - 0.1950903E0 * t2445 + t797$
 $\# * (t3413 + t3414 + t3416 + t3417 + t3420 + t3421 + t3423 + t3424) - 0.7071068E0 * t24$
 $\#50 + 0.7071068E0 * t2455$
 $t3433 = -0.9807853E0 * t2464 + 0.1950903E0 * t2467 + 0.183147E1 * t381 - 0.923$
 $\#8795E0 * t2469 + 0.2736785E2 * t2471 - 0.9238795E0 * t2474 + 0.1950903E0 * t2477$
 $\# - 0.3826834E0 * t2480 + 0.5120165E2 * t2482 - 0.1685304E2 * t2484 + 0.1950903E0$
 $\# * t2486 + 0.8314696E2 * t2639 - 0.5555702E2 * t1140 - 0.8314696E0 * t2645 + 0.1E1$
 $\# * t2489 - 0.3826834E0 * t2492 - 0.3826834E0 * t2494$
 $t3434 = -0.2736785E2 * t2496 + 0.4487862E2 * t2498 + 0.1685304E2 * t2500 + 0.5$
 $\#555702E2 * t2502 + 0.1950903E0 * t2504 + 0.9807853E0 * t2507 + 0.7071068E0 * t25$
 $\#11 + 0.7071068E0 * t2513 - 0.1950903E0 * t2515 - 0.9807853E0 * t2517 - 0.9807853$
 $\#E0 * t2520 - 0.3683093E2 * t2522 + 0.3826834E0 * t2524 + 0.9238795E0 * t2527 - 0.7$
 $\#071068E0 * t2530 - 0.5120165E2 * t2532 - 0.9238795E0 * t2537$
 $t3436 = 0.8314696E0 * t2539 - 0.1950903E0 * t2541 - 0.8314696E0 * t2544 - 0.83$
 $\#14696E0 * t2546 + 0.5690575E1 * t2548 - 0.5777738E2 * t2550 + 0.9807853E0 * t255$
 $\#2 + 0.5777738E2 * t2556 + 0.3826834E0 * t2558 + 0.8314696E0 * t2560 - 0.9807853E$
 $\#0 * t2565 + 0.3683093E2 * t2567 - 0.9807853E0 * t2569 - 0.4487862E2 * t2571 - 0.70$
 $\#71068E0 * t2573 - 0.7071068E0 * t2575 + 0.8314696E0 * t2578$
 $t3437 = 0.9238795E0 * t2580 + 0.8314696E0 * t2582 - 0.1950903E0 * t2584 - 0.38$
 $\#26834E0 * t2586 - 0.1950903E0 * t2588 - 0.5690575E1 * t2590 - 0.7071068E0 * t259$
 $\#2 + 0.3826834E0 * t2594 + 0.3826834E0 * t2597 - 0.7071068E0 * t2651 - 0.9807853E$
 $\#2 * t2653 + 0.6E-9 * t2659 + 100 * t2661 + 0.7071068E0 * t2599 + 0.7071068E0 * t2601$
 $\# + 0.9238795E0 * t2603 + 0.5555702E0 * t2605$
 $t3440 = -0.8314696E0 * t2607 + 0.5555702E0 * t2609 - 0.9238795E0 * t2611 + 0.7$
 $\#071068E0 * t2667 + 0.5555702E0 * t2613 - 0.5555702E0 * t2615 + 0.5555702E0 * t26$
 $\#17 - t2619 + 0.9807853E0 * t2621 - t2623 + 0.9807853E0 * t2625 + 0.1950903E0 * t26$
 $\#73 - 0.3826834E0 * t2678 + 0.7071068E0 * t2684 - 0.9807853E0 * t2690 + 0.3826834$
 $\#E0 * t2696 - 0.3826834E0 * t2703$
 $t3441 = 0.5555702E0 * t2708 + 0.3826834E2 * t2710 - 0.6E-7 * t2712 + 0.1950903$
 $\#E0 * t2717 - 0.5555702E0 * t2723 + 0.9238795E2 * t2725 - 0.8314696E0 * t2627 + 0.9$
 $\#807853E0 * t2731 - t2736 - 0.9238795E0 * t2741 + 0.5555702E0 * t2747 - 0.1950903$
 $\#E0 * t2752 + 0.7071068E2 * t2754 - 0.9238795E0 * t2760 + 0.9238795E0 * t2765 - 0.3$
 $\#826834E2 * t2767 + 0.9238795E0 * t2774$
 $t3443 = -0.6E-9 * t2779 + 0.8314696E0 * t2785 - 0.5555702E0 * t2790 + 0.1E1 * t2$
 $\#629 - 0.8314696E0 * t2795 - 0.1950903E0 * t2800 + 0.1950903E2 * t2802 - 0.555570$
 $\#2E0 * t2631 + 0.7071068E2 * t2804 + 0.9807853E2 * t2806 - 0.1950903E2 * t2808 - 0.$
 $\#1950903E2 * t2810 - 0.9238795E2 * t2812 + 0.6E-7 * t2814 - 0.7071068E2 * t2816 - 0$
 $\#.9807853E2 * t2818 + 0.5555702E2 * t2821$
 $t3444 = -0.1950903E0 * t2464 + 0.9807853E0 * t2467 + 0.5555702E0 * t381 + 0.38$
 $\#26834E0 * t2469 - 0.9021971E2 * t2471 + 0.3826834E0 * t2474 - 0.9807853E0 * t247$
 $\#7 - 0.9238795E0 * t2480 - 0.1687892E3 * t2482 + 0.5555702E2 * t2484 - 0.9807853E$
 $\#0 * t2486 + 0.5555702E2 * t2639 + 0.183147E3 * t1140 - 0.5555702E0 * t2645 - 0.6E-$
 $\#9 * t2489 + 0.9238795E0 * t2492$
 $t3445 = 0.9238795E0 * t2494 + 0.9021971E2 * t2496 - 0.147945E3 * t2498 - 0.555$
 $\#5702E2 * t2500 - 0.183147E3 * t2502 + 0.9807853E0 * t2504 + 0.1950903E0 * t2507 -$
 $\#0.7071068E0 * t2511 - 0.7071068E0 * t2513 + 0.9807853E0 * t2515 + 0.1950903E0 *$
 $\#t2517 + 0.1950903E0 * t2520 + 0.1214153E3 * t2522 - 0.9238795E0 * t2524 - 0.3826$
 $\#834E0 * t2527 - 0.7071068E0 * t2530 + 0.1687892E3 * t2532$
 $t3447 = -t2535 - 0.3826834E0 * t2537 + 0.5555702E0 * t2539 - 0.9807853E0 * t25$
 $\#41 + 0.5555702E0 * t2544 - 0.5555702E0 * t2546 - 0.1875931E2 * t2548 + 0.1904665$
 $\#E3 * t2550 + 0.1950903E0 * t2552 - 0.1904665E3 * t2556 - 0.9238795E0 * t2558 - 0.5$
 $\#555702E0 * t2560 - t2562 - 0.1950903E0 * t2565 - 0.1214153E3 * t2567 - 0.1950903$
 $\#E0 * t2569 + 0.147945E3 * t2571$
 $t3448 = 0.7071068E0 * t2573 + 0.7071068E0 * t2575 + 0.5555702E0 * t2578 - 0.38$

#26834E0*t2580-0.5555702E0*t2582+0.9807853E0*t2584-0.9238795E0*t258
 #6-0.9807853E0*t2588+0.1875931E2*t2590-0.7071068E0*t2592+0.9238795E
 #0*t2594+0.9238795E0*t2597+0.7071068E0*t2651+0.1950903E2*t2653+0.1E
 #1*t2659+0.7071068E0*t2599+0.7071068E0*t2601
 t3451 = 0.3826834E0*t2603-0.8314696E0*t2605+0.5555702E0*t2607-0.83
 #14696E0*t2609-0.3826834E0*t2611+0.7071068E0*t2667+0.8314696E0*t261
 #3-0.8314696E0*t2615+0.8314696E0*t2617+0.6E-9*t2619-0.1950903E0*t26
 #21+0.6E-9*t2623-0.1950903E0*t2625-0.9807853E0*t2673+0.9238795E0*t2
 #678-0.7071068E0*t2684+0.1950903E0*t2690
 t3452 = -0.9238795E0*t2696-0.9238795E0*t2703-0.8314696E0*t2708+0.9
 #238795E2*t2710-0.1E3*t2712+0.9807853E0*t2717+0.8314696E0*t2723+0.3
 #826834E2*t2725-0.5555702E0*t2627+0.1950903E0*t2731-0.3826834E0*t27
 #41+0.8314696E0*t2747-0.9807853E0*t2752-0.7071068E2*t2754+0.3826834
 #E0*t2760+0.3826834E0*t2765+0.9238795E2*t2767
 t3454 = -0.3826834E0*t2774-t2779-0.5555702E0*t2785-0.8314696E0*t27
 #90-0.6E-9*t2629+0.5555702E0*t2795+0.9807853E0*t2800-0.9807853E2*t2
 #802-0.8314696E0*t2631+0.7071068E2*t2804+0.1950903E2*t2806-0.980785
 #3E2*t2808+0.9807853E2*t2810-0.3826834E2*t2812+0.1E3*t2814+0.707106
 #8E2*t2816-0.1950903E2*t2818
 t3455 = -0.8314696E2*t2821+0.3826834E0*t2633-0.9238795E2*t2823-0.5
 #555702E2*t2825+0.8314696E2*t2827+0.5555702E2*t2829-0.7071068E2*t28
 #31+0.8314696E2*t2833-0.1950903E0*t2838+0.9238795E0*t2843-0.1950903
 #E2*t2845+0.3826834E2*t2847-0.9238795E2*t2849-0.8314696E2*t2851-0.3
 #826834E2*t2853+0.9807853E2*t2855-0.7071068E0*t2860
 t3460 = 0.9238795E0*t2633+0.3826834E2*t2823+0.8314696E2*t2825+0.55
 #55702E2*t2827-0.8314696E2*t2829-0.7071068E2*t2831-0.5555702E2*t283
 #3+0.9807853E0*t2838+0.3826834E0*t2843+0.9807853E2*t2845-0.9238795E
 #2*t2847-0.3826834E2*t2849-0.5555702E2*t2851+0.9238795E2*t2853+0.19
 #50903E2*t2855+t797*(t3444+t3445+t3447+t3448+t3451+t3452+t3454+t345
 #5)-0.7071068E0*t2860
 t3464 = 0.1E1*t800+0.7071068E0*t811-t814-0.7071068E0*t817-0.707106
 #8E0*t829+0.7071068E0*t840+0.7071068E0*t843-0.7071068E0*t846-0.7071
 #068E0*t57-t282+t327
 t3465 = -0.7071068E0*t849-0.7071068E0*t852-t372+0.1707107E1*t381+t
 #426+t471+0.7071068E0*t482+0.7071068E0*t493-0.7071068E0*t504-t549+0
 #.7071068E0*t606-0.7071068E0*t651
 t3467 = -t696+0.7071068E0*t741-0.7071068E0*t752+0.7071068E0*t763-0
 #.7071068E0*t774-0.7071068E0*t796+0.7071068E0*t858+0.1E1*t862-0.707
 #1068E0*t934+0.1E1*t873+0.7071068E0*t937+0.7071068E0*t879
 t3468 = -0.7071068E0*t811+0.7071068E0*t817+t820-t823-t826-0.707106
 #8E0*t829+0.7071068E0*t840-0.7071068E0*t843-0.7071068E0*t846-t46+0.
 #7071068E0*t57
 t3469 = 0.1E1*t102+0.1E1*t147-t192-t237+0.7071068E0*t849-0.7071068
 #E0*t852-t855+0.7071068E0*t381+0.7071068E0*t482+0.7071068E0*t493-0.
 #7071068E0*t504+0.1E1*t595
 t3471 = -0.7071068E0*t606+0.7071068E0*t651-0.7071068E0*t741-0.7071
 #068E0*t752+0.7071068E0*t763-0.7071068E0*t774+0.1E1*t785+0.7071068E
 #0*t796+0.7071068E0*t858-0.7071068E0*t934+t876
 t3472 = -0.7071068E0*t937-0.7071068E0*t879+0.7071068E0*t893+0.7071
 #068E0*t896-0.7071068E0*t899+0.7071068E0*t902+t905-t940-t908-0.7071
 #068E0*t919-0.7071068E0*t943+0.7071068E0*t946
 t3476 = -t882+0.7071068E0*t893-0.7071068E0*t896+0.7071068E0*t899+0
 #.7071068E0*t902-0.7071068E0*t919+0.7071068E0*t943-t922-t925-0.7071
 #068E0*t946+0.1E1*t928+t797*(t3468+t3469+t3471+t3472)
 t3479 = 0.7071068E0*t1174+t1180+0.1707107E1*t381+0.7071068E0*t955+
 #0.7071068E0*t959-0.7071068E0*t962-0.5857864E1*t965-0.7071068E0*t96
 #8+0.7071068E0*t972-0.1414214E2*t974+0.1E1*t977-t981
 t3480 = 0.1E1*t991+0.1E1*t995+0.7071068E0*t1184-0.7071068E0*t999-0
 #.1414214E2*t1008+0.7071068E0*t1011+0.7071068E0*t1016-0.7071068E0*t
 #1019-0.7071068E0*t1023-0.7071068E0*t1025+0.7071068E0*t1028-t1038-t
 #1042
 t3482 = 0.7071068E0*t1044-t1046+0.1E1*t1049+0.7071068E0*t1052+0.70
 #71068E0*t1056-t1063+0.1E1*t1066-0.1414214E2*t1068-0.7071068E0*t107

$\#6-0.7071068E0*t1079+0.1414214E2*t1081-0.5857864E1*t1083$
 $t3483 = 0.7071068E0*t1085+0.1414214E2*t1087+0.7071068E0*t1090+0.58$
 $\#57864E1*t1092+0.1E1*t1099-t1102+0.7071068E0*t1105-0.7071068E0*t110$
 $\#9-0.7071068E0*t1112+0.5857864E1*t1114+0.1E1*t1123+0.1E1*t1127+0.70$
 $\#71068E0*t1129$
 $t3486 = -0.7071068E0*t1132-t1134-t1137-0.7071068E0*t1139+0.7071068$
 $\#E0*t1190-0.7071068E0*t1196+0.7071068E0*t1202-0.7071068E0*t1208-0.1$
 $\#414214E2*t1140+0.7071068E0*t1142-0.7071068E0*t1144+0.1414214E2*t11$
 $\#46$
 $t3487 = 0.7071068E0*t1149+0.5857864E1*t1151-0.7071068E0*t1153-0.70$
 $\#71068E0*t1156-0.5857864E1*t1158-0.5857864E1*t1160+0.5857864E1*t116$
 $\#2+0.1414214E2*t1164-0.7071068E0*t1222-0.7071068E0*t1228-0.7071068E$
 $\#0*t1234+t1240+0.7071068E0*t1246$
 $t3489 = -0.7071068E0*t1174+0.7071068E0*t381-t952+0.7071068E0*t955+$
 $\#0.7071068E0*t959-0.7071068E0*t962+0.1414214E2*t965+0.7071068E0*t96$
 $\#8-0.7071068E0*t972+0.3414214E2*t974-t984-t988$
 $t3490 = 0.7071068E0*t1184-0.7071068E0*t999-t1002+t1006+0.3414214E2$
 $\#*t1008-0.7071068E0*t1011-0.7071068E0*t1016+0.7071068E0*t1019+0.707$
 $\#1068E0*t1023-0.7071068E0*t1025+0.7071068E0*t1028-t1031$
 $t3492 = -t1035-0.7071068E0*t1044+0.7071068E0*t1052+0.7071068E0*t10$
 $\#56+t1058-t1061+0.3414214E2*t1068+t1073-0.7071068E0*t1076-0.7071068$
 $\#E0*t1079-0.3414214E2*t1081+0.1414214E2*t1083$
 $t3493 = -0.7071068E0*t1085-0.3414214E2*t1087-0.7071068E0*t1090-0.1$
 $\#414214E2*t1092+t1094+t1097+0.7071068E0*t1105-0.7071068E0*t1109+0.7$
 $\#071068E0*t1112-0.1414214E2*t1114-t1116+t1119-0.7071068E0*t1129$
 $t3496 = 0.7071068E0*t1132-0.7071068E0*t1139-0.7071068E0*t1190+0.70$
 $\#71068E0*t1196-0.7071068E0*t1202-0.7071068E0*t1208+0.3414214E2*t114$
 $\#0+0.7071068E0*t1142-0.7071068E0*t1144-0.3414214E2*t1146+0.7071068E$
 $\#0*t1149-0.1414214E2*t1151$
 $t3497 = 0.7071068E0*t1153+0.7071068E0*t1156+0.1414214E2*t1158+0.14$
 $\#14214E2*t1160-0.1414214E2*t1162-0.3414214E2*t1164+0.1E1*t1212+0.1E$
 $\#1*t1216+0.7071068E0*t1222+0.7071068E0*t1228+0.7071068E0*t1234-0.70$
 $\#71068E0*t1246-t1251$
 $t3499 = -0.7071068E0*t1257+0.1E1*t1271+0.7071068E0*t1275-t1279-t12$
 $\#83+0.7071068E0*t1295-0.7071068E0*t1299+0.1E1*t1303-t1311-0.3414214$
 $\#E2*t2890+0.3414214E2*t2893+0.3414214E2*t2895$
 $t3500 = 0.1414214E2*t2897-0.1414214E2*t2899+0.3414214E2*t2901-0.34$
 $\#14214E2*t2903-0.1414214E2*t2905-0.1414214E2*t2907-0.3414214E2*t292$
 $\#0-0.3414214E2*t2922+0.1414214E2*t2924-0.1414214E2*t2926+0.3414214E$
 $\#2*t2928+0.1414214E2*t2930-0.7071068E0*t1319$
 $t3505 = -0.7071068E0*t1257-t1263-t1267+0.7071068E0*t1275-t1289+t79$
 $\#7*(t3489+t3490+t3492+t3493+t3496+t3497+t3499+t3500)+0.7071068E0*t1$
 $\#295-0.7071068E0*t1299+t1307-t1315+0.1414214E2*t2890-0.1414214E2*t2$
 $\#893-0.1414214E2*t2895$
 $t3506 = -0.5857864E1*t2897+0.5857864E1*t2899-0.1414214E2*t2901+0.1$
 $\#414214E2*t2903+0.5857864E1*t2905+0.5857864E1*t2907+0.1414214E2*t29$
 $\#20+0.1414214E2*t2922-0.5857864E1*t2924+0.5857864E1*t2926-0.1414214$
 $\#E2*t2928-0.5857864E1*t2930-0.7071068E0*t1319$
 $t3510 = -0.5656854E2*t2943+0.1707107E1*t381+0.2343146E2*t2947-0.28$
 $\#28427E2*t1140-t1333-0.5656854E2*t2951+0.7071068E0*t1339-0.7071068E$
 $\#0*t1345-0.7071068E0*t1351-0.7071068E0*t1361-t1375-0.7071068E0*t138$
 $\#7$
 $t3511 = 0.7071068E0*t1393-t1399-0.7071068E0*t1408+t1412+0.7071068E$
 $\#0*t1422+0.7071068E0*t1426+0.7071068E0*t1432-t1436-0.7071068E0*t144$
 $\#0-t1443-0.2828427E2*t1446-0.1414214E1*t1448+0.1414214E1*t1451$
 $t3513 = -0.7071068E0*t1454+0.2E1*t1456+0.1E1*t1459+0.1171573E2*t14$
 $\#61+0.1414214E1*t1465+0.5656854E2*t2958-t1468+0.2E1*t1470-t1475-0.2$
 $\#E1*t1477-0.2E1*t1479-0.1414214E1*t1481$
 $t3514 = -0.2343146E2*t2963+0.2828427E2*t1483+0.2828427E2*t1486+0.7$
 $\#071068E0*t1489-0.1171573E2*t1491-0.2E1*t1493+0.1414214E1*t1497+0.1$
 $\#E1*t1500-0.1171573E2*t1502-0.2E1*t1504+0.7071068E0*t1507+0.1414214$
 $\#E1*t1512+0.7071068E0*t1518$
 $t3517 = 0.7071068E0*t1520+0.1E1*t1528-0.1414214E1*t1536+0.7071068E$

$\#0 * t^{1539} + 0.2E1 * t^{1541} - 0.1414214E1 * t^{1543} + 0.1E1 * t^{1546} - 0.1414214E1 * t^{155}$
 $\#2 - 0.2828427E2 * t^{1554} + 0.1414214E1 * t^{1559} - 0.7071068E0 * t^{1561} - 0.2828427E$
 $\#2 * t^{1563}$
 $t^{3518} = 0.1171573E2 * t^{1565} + 0.1171573E2 * t^{1567} + 0.1171573E2 * t^{1569} + 0.56$
 $\#56854E2 * t^{2971} - 0.7071068E0 * t^{1571} + 0.1414214E1 * t^{1573} + 0.7071068E0 * t^{157}$
 $\#6 - 0.1171573E2 * t^{1578} + 0.2828427E2 * t^{1580} + 0.2343146E2 * t^{2977} + 0.7071068E$
 $\#0 * t^{1582} - 0.1414214E1 * t^{1584} - 0.5656854E2 * t^{2981}$
 $t^{3520} = 0.5656854E2 * t^{2985} + 0.2E1 * t^{1586} + 0.2343146E2 * t^{2989} - t^{1588} - 0.56$
 $\#56854E2 * t^{2993} + 0.2343146E2 * t^{2997} - 0.7071068E0 * t^{1594} - 0.1171573E2 * t^{159}$
 $\#6 - 0.1414214E1 * t^{1598} + 0.2828427E2 * t^{1600} - 0.7071068E0 * t^{1602} + 0.7071068E$
 $\#0 * t^{1604} - 0.7071068E0 * t^{1606}$
 $t^{3521} = 0.1E1 * t^{1327} + 0.1365685E3 * t^{2943} + 0.7071068E0 * t^{381} - 0.5656854E2$
 $\# * t^{2947} + 0.6828427E2 * t^{1140} + 0.1365685E3 * t^{2951} - 0.7071068E0 * t^{1339} + 0.707$
 $\#1068E0 * t^{1345} - 0.7071068E0 * t^{1351} - t^{1355} + 0.7071068E0 * t^{1361} + 0.1E1 * t^{1367}$
 $t^{3522} = 0.1E1 * t^{1371} - t^{1381} - 0.7071068E0 * t^{1387} + 0.7071068E0 * t^{1393} - t^{140}$
 $\#3 + 0.7071068E0 * t^{1408} - t^{1418} - 0.7071068E0 * t^{1422} - 0.7071068E0 * t^{1426} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{1432} - 0.7071068E0 * t^{1440} + 0.6828427E2 * t^{1446}$
 $t^{3524} = -0.1414214E1 * t^{1448} - 0.1414214E1 * t^{1451} + 0.7071068E0 * t^{1454} - 0.2$
 $\#828427E2 * t^{1461} + t^{1463} + 0.1414214E1 * t^{1465} + 0.1E1 * t^{1620} - 0.1365685E3 * t^{29}$
 $\#58 + 2 * t^{1472} + 0.1414214E1 * t^{1481} + 0.5656854E2 * t^{2963} - 0.6828427E2 * t^{1483}$
 $t^{3525} = -0.6828427E2 * t^{1486} - 0.7071068E0 * t^{1489} + 0.2828427E2 * t^{1491} - 2 * t$
 $\#1495 - 0.1414214E1 * t^{1497} + 0.2828427E2 * t^{1502} - 0.7071068E0 * t^{1507} - 2 * t^{1510}$
 $\# + 0.1414214E1 * t^{1512} + t^{1515} + 0.7071068E0 * t^{1518} + 0.7071068E0 * t^{1520} + 2 * t^{15}$
 $\#22$
 $t^{3528} = -t^{1525} + 2 * t^{1530} - t^{1534} + 0.1414214E1 * t^{1536} - 0.7071068E0 * t^{1539} - 0$
 $\#.1414214E1 * t^{1543} - 2 * t^{1548} - t^{1550} + 0.1414214E1 * t^{1552} + 0.6828427E2 * t^{1554}$
 $\# + t^{1557} + 0.1414214E1 * t^{1559}$
 $t^{3529} = -0.7071068E0 * t^{1561} + 0.6828427E2 * t^{1563} - 0.2828427E2 * t^{1565} - 0.2$
 $\#828427E2 * t^{1567} - 0.2828427E2 * t^{1569} - 0.1365685E3 * t^{2971} + 0.7071068E0 * t^{15}$
 $\#71 - 0.1414214E1 * t^{1573} - 0.7071068E0 * t^{1576} + 0.2828427E2 * t^{1578} - 0.6828427$
 $\#E2 * t^{1580} - 0.5656854E2 * t^{2977} + 0.7071068E0 * t^{1582}$
 $t^{3531} = -0.1414214E1 * t^{1584} + 0.1365685E3 * t^{2981} - 0.1365685E3 * t^{2985} - 0.5$
 $\#656854E2 * t^{2989} + 0.1365685E3 * t^{2993} - 2 * t^{1590} - t^{1592} - 0.5656854E2 * t^{2997} + 0$
 $\#.7071068E0 * t^{1594} + 0.2828427E2 * t^{1596} + 0.1414214E1 * t^{1598} - 0.6828427E2 * t$
 $\#1600$
 $t^{3532} = -0.7071068E0 * t^{1602} + 0.7071068E0 * t^{1604} - 0.7071068E0 * t^{1606} - 0.1$
 $\#414214E1 * t^{1608} + 0.7071068E0 * t^{1634} + 0.5656854E2 * t^{3002} + 0.7071068E0 * t^{16}$
 $\#38 + 0.5656854E2 * t^{3006} - 0.7071068E0 * t^{1642} + 0.1414214E1 * t^{1610} - 0.1365685$
 $\#E3 * t^{3010} - 0.7071068E0 * t^{1612} + 0.7071068E0 * t^{1646}$
 $t^{3537} = -0.1414214E1 * t^{1608} + t^{1625} + t^{1630} + 0.7071068E0 * t^{1634} - 0.2343146$
 $\#E2 * t^{3002} - 0.7071068E0 * t^{1638} - 0.2343146E2 * t^{3006} - 0.7071068E0 * t^{1642} + 0.1$
 $\#414214E1 * t^{1610} + 0.5656854E2 * t^{3010} - 0.7071068E0 * t^{1612} + t^{797} * (t^{3521} + t^{35}$
 $\#22 + t^{3524} + t^{3525} + t^{3528} + t^{3529} + t^{3531} + t^{3532}) + 0.7071068E0 * t^{1646}$
 $t^{3541} = 0.7071068E0 * t^{1877} + 0.7071068E0 * t^{1879} + 0.7071068E0 * t^{1882} - t^{165}$
 $\#4 - t^{1885} + 0.1E1 * t^{1893} - t^{1896} + 0.1E1 * t^{1903} - 0.7071068E0 * t^{1906} + 0.7071068E$
 $\#0 * t^{1910} - 0.7071068E0 * t^{1659} - 0.4242641E2 * t^{1915} + 0.7071068E0 * t^{1919}$
 $t^{3542} = 0.7071068E0 * t^{1877} + 0.7071068E0 * t^{1879} + 0.7071068E0 * t^{1882} + t^{188}$
 $\#8 + t^{1890} - t^{1899} - t^{1901} + 0.7071068E0 * t^{1906} + t^{1908} - 0.7071068E0 * t^{1910} - t^{191}$
 $\#3 - 0.7071068E0 * t^{1659} + 0.1024264E3 * t^{1915}$
 $t^{3543} = -t^{1917} + 0.7071068E0 * t^{1919} - 0.4242641E2 * t^{1921} + 0.4242641E2 * t^{16}$
 $\#61 + 0.1E1 * t^{1667} - t^{1927} + 0.7071068E0 * t^{1673} - 0.7071068E0 * t^{1931} - t^{1933} + 0.7$
 $\#071068E0 * t^{381} - 0.7071068E0 * t^{1939} + 0.1024264E3 * t^{1140} + 0.7071068E0 * t^{194}$
 $\#4$
 $t^{3545} = -t^{1947} + 0.7071068E0 * t^{1949} - 0.7071068E0 * t^{1679} + 0.7071068E0 * t^{16}$
 $\#85 + 0.7071068E0 * t^{1697} - 0.7071068E0 * t^{1708} + 0.1E1 * t^{1714} - 0.7071068E0 * t^{17}$
 $\#19 - 0.7071068E0 * t^{1725} - t^{1731} - t^{1736} - 0.7071068E0 * t^{1748} + 0.7071068E0 * t^{17}$
 $\#54$
 $t^{3546} = -t^{1766} + 0.7071068E0 * t^{1771} - 0.7071068E0 * t^{1776} - t^{1781} + 0.7071068$
 $\#E0 * t^{1786} + 0.7071068E0 * t^{1791} + 0.1E1 * t^{1798} + 0.4242641E2 * t^{1800} + 0.1E1 * t^{18}$
 $\#05 - 0.4242641E2 * t^{1809} + 0.6E2 * t^{1811} - 0.4242641E2 * t^{1813} - 0.4242641E2 * t^{18}$
 $\#22 + 0.4242641E2 * t^{1824}$
 $t^{3549} = -0.6E2 * t^{1826} + 0.4242641E2 * t^{1828} - 0.6E2 * t^{1835} + 0.6E2 * t^{1837} - 0.7$
 $\#071068E0 * t^{1842} - 0.1024264E3 * t^{1951} - 0.4242641E2 * t^{1844} - 0.6E2 * t^{1846} - 0.4$

$\#242641E2*t1849+0.4242641E2*t1853-0.6E2*t1855+0.4242641E2*t1859+0.6E2*t1861$
 $t3550 = 0.4242641E2*t1865-0.4242641E2*t1869+0.4242641E2*t1871+0.6E2*t1873+t1953-0.4242641E2*t2050+0.7071068E0*t1960-0.7071068E0*t1962+0.7071068E0*t1970-0.4242641E2*t1972-0.4242641E2*t1974-0.7071068E0*t1980+0.1024264E3*t1982+0.4242641E2*t1984$
 $t3552 = -0.1024264E3*t1986+0.7071068E0*t1988-0.7071068E0*t1990+0.7071068E0*t1992+0.4242641E2*t1994-t1996+0.1024264E3*t1998-0.7071068E0*t2000-0.7071068E0*t2002-0.7071068E0*t2005-0.7071068E0*t2008+t2010+t2012$
 $t3553 = -0.1024264E3*t2018+0.4242641E2*t2020-0.7071068E0*t2022-0.7071068E0*t2024+0.7071068E0*t2026+0.7071068E0*t2028-0.7071068E0*t2030-0.7071068E0*t2032-0.1024264E3*t2034+0.4242641E2*t2036-0.7071068E0*t2038-0.7071068E0*t2040-0.4242641E2*t2042+0.7071068E0*t2044$
 $t3558 = 0.1757359E2*t1921-0.4242641E2*t1661+t797*(t3542+t3543+t3545+t3546+t3549+t3550+t3552+t3553)-t1924-0.7071068E0*t1673+0.1E1*t1929+0.7071068E0*t1931+0.1E1*t1935-t1937+0.1707107E1*t381+0.7071068E0*t1939+0.1E1*t1942-0.4242641E2*t1140+0.7071068E0*t1944$
 $t3560 = -0.7071068E0*t1949-0.7071068E0*t1679-0.7071068E0*t1685+t1691+0.7071068E0*t1697+t1702-0.7071068E0*t1708+0.7071068E0*t1719+0.7071068E0*t1725-t1742+0.7071068E0*t1748-0.7071068E0*t1754+t1760$
 $t3561 = 0.7071068E0*t1771-0.7071068E0*t1776+0.7071068E0*t1786-0.7071068E0*t1791+60*t1793+0.4242641E2*t1800+0.4242641E2*t1809+0.4242641E2*t1813-60*t1815-t1820-0.4242641E2*t1822+0.4242641E2*t1824+0.4242641E2*t1828-t1833$
 $t3564 = 0.7071068E0*t1842+0.4242641E2*t1951+0.4242641E2*t1844+0.4242641E2*t1849+60*t1851+0.4242641E2*t1853+60*t1857-0.4242641E2*t1859+60*t1863-0.4242641E2*t1865-60*t1867-0.4242641E2*t1869-0.4242641E2*t1871$
 $t3565 = -60*t1875-0.4242641E2*t2050-t1955-t1957+0.7071068E0*t1960+0.7071068E0*t1962+0.1E1*t1967-0.7071068E0*t1970+0.1757359E2*t1972+0.1757359E2*t1974-t1976-t1978-0.7071068E0*t1980-0.4242641E2*t1982$
 $t3567 = -0.1757359E2*t1984+0.4242641E2*t1986-0.7071068E0*t1988-0.7071068E0*t1990-0.7071068E0*t1992-0.1757359E2*t1994-0.4242641E2*t1998-0.7071068E0*t2000-0.7071068E0*t2002-0.7071068E0*t2005-0.7071068E0*t2008+0.1E1*t2014+0.1E1*t2016$
 $t3568 = 0.4242641E2*t2018-0.1757359E2*t2020+0.7071068E0*t2022+0.7071068E0*t2024+0.7071068E0*t2026+0.7071068E0*t2028-0.7071068E0*t2030-0.7071068E0*t2032+0.4242641E2*t2034-0.1757359E2*t2036+0.7071068E0*t2038+0.7071068E0*t2040+0.1757359E2*t2042-0.7071068E0*t2044$
 $t3572 = 0.5656854E2*t2055+0.7071068E0*t2061+0.5656854E2*t2077+80*t2081+0.5656854E2*t2083+0.1E1*t2085-t2087+0.7071068E0*t2093-t2099-0.7071068E0*t2101+0.7071068E0*t2104-t2106-t2111$
 $t3573 = -0.5656854E2*t2055-0.7071068E0*t2061+0.1E1*t2067+0.8E2*t2069+0.1E1*t2075-0.5656854E2*t2077-0.8E2*t2079-0.5656854E2*t2083+t2090+0.7071068E0*t2093+t2096-0.7071068E0*t2101+0.7071068E0*t2104$
 $t3574 = -t2108-0.7071068E0*t2114+t2116+0.8E2*t2260-t2121-0.7071068E0*t2272+0.1365685E3*t2123-0.5656854E2*t2125-0.5656854E2*t2127+0.5656854E2*t2129+0.7071068E0*t2132+t2139-0.7071068E0*t2144$
 $t3576 = -0.7071068E0*t2146-0.5656854E2*t2148+0.7071068E0*t2150-0.7071068E0*t2154+0.7071068E0*t2157-0.1365685E3*t2159+0.5656854E2*t2161-t2164-0.1365685E3*t2166-0.7071068E0*t2169+t2171-t2178+0.7071068E0*t2180$
 $t3577 = -t2186-0.1365685E3*t2194-t2196+0.5656854E2*t2198+0.1365685E3*t2200+0.7071068E0*t2202-0.7071068E0*t2204-t2207+0.7071068E0*t2211-0.7071068E0*t2209+0.5656854E2*t2211+0.7071068E0*t2213-t2215-0.7071068E0*t2218$
 $t3580 = -0.7071068E0*t2220+0.7071068E0*t2222+0.7071068E0*t2224-0.7071068E0*t2226-0.7071068E0*t2228-0.5656854E2*t2230-0.7071068E0*t2232-0.7071068E0*t2234-0.7071068E0*t2236-0.1365685E3*t2238-0.7071068E0*t2240+0.8E2*t2277+0.5656854E2*t2279$
 $t3581 = 0.8E2*t2281-0.8E2*t2283-0.5656854E2*t2285+0.5656854E2*t2287+0.5656854E2*t2289-t2295+0.5656854E2*t2299-0.5656854E2*t2301+0.7071068E0*t2303$

$\#71068E0 * t^{2242} - t^{2307} + 0.7071068E0 * t^{2244} + t^{2246} + 0.1365685E3 * t^{2248} + 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2250}$
 $t^{3583} = -t^{2313} + 0.7071068E0 * t^{2319} - 0.5656854E2 * t^{2328} + 0.7071068E0 * t^{23}$
 $\#33 + 0.7071068E0 * t^{2339} + 0.7071068E0 * t^{2344} + 0.5656854E2 * t^{2346} + 0.1E1 * t^{23}$
 $\#68 - 0.5656854E2 * t^{2370} - 0.7071068E0 * t^{2375} + 0.7071068E0 * t^{2381} - 0.7071068$
 $\#E0 * t^{2386} - t^{2392}$
 $t^{3584} = -0.7071068E0 * t^{2398} - 0.7071068E0 * t^{2404} + 0.1365685E3 * t^{1140} - 0.8$
 $\#E2 * t^{2406} + 0.5656854E2 * t^{2408} - 0.8E2 * t^{2410} + 0.5656854E2 * t^{2412} - 0.7071068$
 $\#E0 * t^{2417} + 0.5656854E2 * t^{2419} + 0.7071068E0 * t^{2424} + 0.7071068E0 * t^{2429} + 0.1$
 $\#E1 * t^{2434} + 0.7071068E0 * t^{2252} - 0.7071068E0 * t^{2445}$
 $t^{3589} = -0.7071068E0 * t^{2114} - t^{2118} - 80 * t^{2258} - t^{2266} + 0.7071068E0 * t^{2272} -$
 $\#0.5656854E2 * t^{2123} + 0.2343146E2 * t^{2125} + 0.2343146E2 * t^{2127} - 0.2343146E2 * t^{2129} -$
 $0.7071068E0 * t^{2132} + 0.1E1 * t^{2135} + 0.1E1 * t^{2137} + t^{797} * (t^{3573} + t^{3574} +$
 $t^{3576} + t^{3577} + t^{3580} + t^{3581} + t^{3583} + t^{3584}) + 0.1E1 * t^{2142}$
 $t^{3591} = 0.7071068E0 * t^{2144} + 0.7071068E0 * t^{2146} + 0.2343146E2 * t^{2148} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2150} + 0.1E1 * t^{2152} - 0.7071068E0 * t^{2154} - 0.7071068E0 * t^{2157} + 0.56$
 $\#56854E2 * t^{2159} - 0.2343146E2 * t^{2161} + 0.5656854E2 * t^{2166} - 0.7071068E0 * t^{216}$
 $\#9 + 0.1E1 * t^{2173} + 0.7071068E0 * t^{2180}$
 $t^{3592} = -t^{2182} + 0.1E1 * t^{2184} - t^{2188} - t^{2190} + 0.1E1 * t^{2192} + 0.5656854E2 * t^{21}$
 $\#94 - 0.2343146E2 * t^{2198} - 0.5656854E2 * t^{2200} - 0.7071068E0 * t^{2202} - 0.7071068$
 $\#E0 * t^{2204} + 0.1707107E1 * t^{381} + 0.7071068E0 * t^{2209} - 0.2343146E2 * t^{2211} + 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2213}$
 $t^{3595} = 0.7071068E0 * t^{2218} + 0.7071068E0 * t^{2220} - 0.7071068E0 * t^{2222} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2224} + 0.7071068E0 * t^{2226} + 0.7071068E0 * t^{2228} + 0.2343146E2 * t^{223}$
 $\#0 - 0.7071068E0 * t^{2232} + 0.7071068E0 * t^{2234} - 0.7071068E0 * t^{2236} + 0.5656854E$
 $\#2 * t^{2238} - 0.7071068E0 * t^{2240} - 80 * t^{2275}$
 $t^{3596} = -0.5656854E2 * t^{2279} - 0.5656854E2 * t^{2285} + 0.5656854E2 * t^{2287} - 0.5$
 $\#656854E2 * t^{2289} + 80 * t^{2297} - 0.5656854E2 * t^{2299} - 0.5656854E2 * t^{2301} + 0.7071$
 $\#068E0 * t^{2242} + 0.7071068E0 * t^{2244} - 0.5656854E2 * t^{2248} + 0.7071068E0 * t^{2250} +$
 $\#0.7071068E0 * t^{2319} + t^{2324} + 0.5656854E2 * t^{2328}$
 $t^{3598} = -0.7071068E0 * t^{2333} + 0.7071068E0 * t^{2339} - 0.7071068E0 * t^{2344} - 0.5$
 $\#656854E2 * t^{2346} + t^{2351} + 80 * t^{2353} + t^{2359} - 80 * t^{2361} + 80 * t^{2363} - 0.5656854E2 * t^{2370} +$
 $0.7071068E0 * t^{2375} - 0.7071068E0 * t^{2381} + 0.7071068E0 * t^{2386}$
 $t^{3599} = -0.7071068E0 * t^{2398} - 0.7071068E0 * t^{2404} - 0.5656854E2 * t^{1140} + 0.5$
 $\#656854E2 * t^{2408} + 0.5656854E2 * t^{2412} - 0.7071068E0 * t^{2417} + 0.5656854E2 * t^{24}$
 $\#19 + 0.7071068E0 * t^{2424} - 0.7071068E0 * t^{2429} - t^{2440} + 0.7071068E0 * t^{2252} - 0.7$
 $\#071068E0 * t^{2445} - t^{2450} - t^{2455}$
 $t^{3603} = -0.7071068E0 * t^{2464} + 0.7071068E0 * t^{2467} + 0.1707107E1 * t^{381} - t^{246}$
 $\#9 + 0.7071068E2 * t^{2471} - t^{2474} - 0.7071068E0 * t^{2477} - t^{2480} + 0.7071068E2 * t^{248}$
 $\#2 - 0.7071068E2 * t^{2484} - 0.7071068E0 * t^{2486} - 0.7071068E2 * t^{2639} - 0.7071068E$
 $\#2 * t^{1140}$
 $t^{3604} = 0.7071068E0 * t^{2645} + 0.1E1 * t^{2492} + 0.1E1 * t^{2494} + 0.7071068E2 * t^{249}$
 $\#6 - 0.2928932E2 * t^{2498} - 0.7071068E2 * t^{2500} - 0.7071068E2 * t^{2502} + 0.7071068E$
 $\#0 * t^{2504} - 0.7071068E0 * t^{2507} - 0.7071068E0 * t^{2515} + 0.7071068E0 * t^{2517} + 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2520} - 0.2928932E2 * t^{2522} + 0.1E1 * t^{2524}$
 $t^{3606} = -t^{2527} + 0.7071068E2 * t^{2532} + 0.1E1 * t^{2537} - 0.7071068E0 * t^{2539} + 0.7$
 $\#071068E0 * t^{2541} + 0.7071068E0 * t^{2544} - 0.7071068E0 * t^{2546} + 0.2928932E2 * t^{25}$
 $\#48 + 0.2928932E2 * t^{2550} - 0.7071068E0 * t^{2552} + 0.2928932E2 * t^{2556} + 0.1E1 * t^{25}$
 $\#58 + 0.7071068E0 * t^{2560}$
 $t^{3607} = -0.7071068E0 * t^{2565} - 0.2928932E2 * t^{2567} - 0.7071068E0 * t^{2569} - 0.2$
 $\#928932E2 * t^{2571} - 0.7071068E0 * t^{2578} - t^{2580} + 0.7071068E0 * t^{2582} - 0.7071068$
 $\#E0 * t^{2584} - t^{2586} + 0.7071068E0 * t^{2588} + 0.2928932E2 * t^{2590} - t^{2594} - t^{2597} - t^{26}$
 $\#51$
 $t^{3610} = 0.7071068E0 * t^{2464} - 0.7071068E0 * t^{2467} + 0.7071068E0 * t^{381} - 0.170$
 $\#7107E3 * t^{2471} - 0.7071068E0 * t^{2477} - 0.1707107E3 * t^{2482} + 0.1707107E3 * t^{2484}$
 $\# - 0.7071068E0 * t^{2486} - 0.7071068E2 * t^{2639} + 0.1707107E3 * t^{1140} + 0.7071068E0$
 $\# * t^{2645} + t^{2489} - 0.1707107E3 * t^{2496}$
 $t^{3611} = 0.7071068E2 * t^{2498} + 0.1707107E3 * t^{2500} + 0.1707107E3 * t^{2502} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2504} - 0.7071068E0 * t^{2507} - t^{2511} - t^{2513} - 0.7071068E0 * t^{2515} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2517} - 0.7071068E0 * t^{2520} + 0.7071068E2 * t^{2522} - t^{2530} - 0.1707107E$
 $\#3 * t^{2532}$
 $t^{3613} = t^{2535} + 0.7071068E0 * t^{2539} - 0.7071068E0 * t^{2541} + 0.7071068E0 * t^{254}$
 $\#4 + 0.7071068E0 * t^{2546} - 0.7071068E2 * t^{2548} - 0.7071068E2 * t^{2550} - 0.7071068E$

$\#0 \times t^{2552} - 0.7071068E2 \times t^{2556} + 0.7071068E0 \times t^{2560} + t^{2562} - 0.7071068E0 \times t^{2566}$
 $\#5 + 0.7071068E2 \times t^{2567}$
 $t^{3614} = -0.7071068E0 \times t^{2569} + 0.7071068E2 \times t^{2571} - t^{2573} - t^{2575} + 0.7071068E0 \times t^{2578} + 0.7071068E0 \times t^{2582} - 0.7071068E0 \times t^{2584} - 0.7071068E0 \times t^{2588} - 0.7071068E2 \times t^{2590} - t^{2592} + 0.7071068E2 \times t^{2653} - t^{2599} - t^{2601} + 0.7071068E0 \times t^{2605}$
 $t^{3617} = 0.7071068E0 \times t^{2607} + 0.7071068E0 \times t^{2609} + 0.7071068E0 \times t^{2613} + 0.7071068E0 \times t^{2615} + 0.7071068E0 \times t^{2617} + t^{2619} - 0.7071068E0 \times t^{2621} + t^{2623} - 0.7071068E0 \times t^{2625} + 0.7071068E0 \times t^{2673} - t^{2678} - 0.7071068E0 \times t^{2690} - t^{2696}$
 $t^{3618} = 0.1E1 \times t^{2703} + 0.7071068E0 \times t^{2708} - 0.1E3 \times t^{2710} - 0.7071068E0 \times t^{2717} + 0.7071068E0 \times t^{2723} + 0.1E3 \times t^{2725} + 0.7071068E0 \times t^{2627} + 0.7071068E0 \times t^{2731} - t^{2741} - 0.7071068E0 \times t^{2747} - 0.7071068E0 \times t^{2752} + 0.1E1 \times t^{2760} - t^{2765} + 0.1E3 \times t^{2767}$
 $t^{3620} = 0.1E1 \times t^{2774} - 0.7071068E0 \times t^{2785} - 0.7071068E0 \times t^{2790} + t^{2629} - 0.7071068E0 \times t^{2795} + 0.7071068E0 \times t^{2800} - 0.7071068E2 \times t^{2802} + 0.7071068E0 \times t^{2631} - 0.7071068E2 \times t^{2806} + 0.7071068E2 \times t^{2808} - 0.7071068E2 \times t^{2810} + 0.1E3 \times t^{2811} - 0.7071068E2 \times t^{2818}$
 $t^{3621} = -0.7071068E2 \times t^{2821} + 0.1E3 \times t^{2823} + 0.7071068E2 \times t^{2825} + 0.7071068E2 \times t^{2827} + 0.7071068E2 \times t^{2829} - 0.7071068E2 \times t^{2833} - 0.7071068E0 \times t^{2838} + 0.1E1 \times t^{2843} + 0.7071068E2 \times t^{2845} - 0.1E3 \times t^{2847} - 0.1E3 \times t^{2849} + 0.7071068E2 \times t^{2851} - 0.1E3 \times t^{2853} + 0.7071068E2 \times t^{2855}$
 $t^{3626} = 0.7071068E2 \times t^{2653} + t^{2659} - 100 \times t^{2661} + 0.1E1 \times t^{2603} - 0.7071068E0 \times t^{2605} + 0.7071068E0 \times t^{2607} - 0.7071068E0 \times t^{2609} + 0.1E1 \times t^{2611} - t^{2667} + t^{797} \times (t^{3610} + t^{3611} + t^{3613} + t^{3614} + t^{3617} + t^{3618} + t^{3620} + t^{3621}) + 0.7071068E0 \times t^{2613} + 0.7071068E0 \times t^{2615} + 0.7071068E0 \times t^{2617}$
 $t^{3627} = 0.7071068E0 \times t^{2621} + 0.7071068E0 \times t^{2625} - 0.7071068E0 \times t^{2673} - t^{2684} - 0.7071068E0 \times t^{2690} + 0.7071068E0 \times t^{2708} - 100 \times t^{2712} - 0.7071068E0 \times t^{2717} + 0.7071068E0 \times t^{2723} - 0.7071068E0 \times t^{2627} - 0.7071068E0 \times t^{2731} + t^{2736} + 0.7071068E0 \times t^{2747} - 0.7071068E0 \times t^{2752}$
 $t^{3629} = 100 \times t^{2754} + t^{2779} + 0.7071068E0 \times t^{2785} + 0.7071068E0 \times t^{2790} + 0.7071068E0 \times t^{2795} - 0.7071068E0 \times t^{2800} + 0.7071068E2 \times t^{2802} + 0.7071068E0 \times t^{2631} + 100 \times t^{2804} + 0.7071068E2 \times t^{2806} + 0.7071068E2 \times t^{2808} + 0.7071068E2 \times t^{2810} - 100 \times t^{2814}$
 $t^{3630} = 100 \times t^{2816} + 0.7071068E2 \times t^{2818} - 0.7071068E2 \times t^{2821} + 0.1E1 \times t^{2633} - 0.7071068E2 \times t^{2825} - 0.7071068E2 \times t^{2827} - 0.7071068E2 \times t^{2829} + 100 \times t^{2831} - 0.7071068E2 \times t^{2833} - 0.7071068E0 \times t^{2838} + 0.7071068E2 \times t^{2845} - 0.7071068E2 \times t^{2851} + 0.7071068E2 \times t^{2855} - t^{2860}$
 $t^{3634} = -0.9238795E0 \times t^{800} + 0.9807853E0 \times t^{811} + 0.3826834E0 \times t^{814} + 0.5555702E0 \times t^{817} + 0.1E1 \times t^{820} - 0.7071068E0 \times t^{823} - 0.7071068E0 \times t^{826} - 0.1950903E0 \times t^{829} - 0.5555702E0 \times t^{840} - 0.1950903E0 \times t^{843} + 0.1950903E0 \times t^{846} - 0.9238795E0 \times t^{46} - 0.1950903E0 \times t^{57} + 0.9238795E0 \times t^{102} - 0.3826834E0 \times t^{147}$
 $t^{3635} = 0.9238795E0 \times t^{192} + 0.3826834E0 \times t^{237} + 0.7071068E0 \times t^{282} - 0.6E-9 \times t^{327} + 0.8314696E0 \times t^{849} + 0.9807853E0 \times t^{852} + 0.7071068E0 \times t^{855} - 0.7071068E0 \times t^{372} + 0.155557E1 \times t^{381} - t^{426} + 0.6E-9 \times t^{471} + 0.8314696E0 \times t^{482} - 0.8314696E0 \times t^{493} - 0.9807853E0 \times t^{504} + 0.7071068E0 \times t^{549}$
 $t^{3637} = 0.3826834E0 \times t^{595} - 0.5555702E0 \times t^{606} - 0.9807853E0 \times t^{651} - 0.7071068E0 \times t^{696} - 0.8314696E0 \times t^{741} - 0.1950903E0 \times t^{752} - 0.5555702E0 \times t^{763} + 0.9807853E0 \times t^{774} - 0.9238795E0 \times t^{785} + 0.9807853E0 \times t^{796} + 0.5555702E0 \times t^{858} - 0.3826834E0 \times t^{862} + 0.1950903E0 \times t^{934} + 0.9238795E0 \times t^{873} - t^{876}$
 $t^{3638} = 0.3826834E0 \times t^{800} + 0.1950903E0 \times t^{811} - 0.9238795E0 \times t^{814} + 0.8314696E0 \times t^{817} - 0.6E-9 \times t^{820} - 0.7071068E0 \times t^{823} + 0.7071068E0 \times t^{826} - 0.9807853E0 \times t^{829} + 0.8314696E0 \times t^{840} + 0.9807853E0 \times t^{843} + 0.9807853E0 \times t^{846} + 0.3826834E0 \times t^{46} - 0.9807853E0 \times t^{57} + 0.3826834E0 \times t^{102} + 0.9238795E0 \times t^{147}$
 $t^{3639} = -0.3826834E0 \times t^{192} + 0.9238795E0 \times t^{237} + 0.7071068E0 \times t^{282} - t^{327} - 0.5555702E0 \times t^{849} - 0.1950903E0 \times t^{852} + 0.7071068E0 \times t^{855} - 0.7071068E0 \times t^{372} + 0.8314696E0 \times t^{381} + 0.1E1 \times t^{471} - 0.5555702E0 \times t^{482} + 0.5555702E0 \times t^{493} - 0.1950903E0 \times t^{504} - 0.7071068E0 \times t^{549} - 0.9238795E0 \times t^{595}$
 $t^{3641} = 0.8314696E0 \times t^{606} + 0.1950903E0 \times t^{651} + 0.7071068E0 \times t^{696} - 0.5555702E0 \times t^{741} + 0.9807853E0 \times t^{752} - 0.8314696E0 \times t^{763} + 0.1950903E0 \times t^{774} - 0.3826834E0 \times t^{785} - 0.1950903E0 \times t^{796} - 0.8314696E0 \times t^{858} - 0.9238795E0 \times t^{862} - 0.9807853E0 \times t^{934} - 0.3826834E0 \times t^{873} + 0.6E-9 \times t^{876} + 0.5555702E0 \times t^{937}$
 $t^{3642} = -0.9807853E0 \times t^{879} - 0.3826834E0 \times t^{882} + 0.5555702E0 \times t^{893} - 0.8314696E0 \times t^{896} - 0.1950903E0 \times t^{899} - 0.5555702E0 \times t^{902} - t^{905} - 0.9238795E0 \times t^{940}$

$$\begin{aligned}
& \#-0.7071068E0*t908+0.1950903E0*t919-0.8314696E0*t943+0.9238795E0*t9 \\
& \#22+0.3826834E0*t925+0.9807853E0*t946+0.9238795E0*t928 \\
& \quad t3646 = 0.8314696E0*t937+0.1950903E0*t879-0.9238795E0*t882+0.83146 \\
& \#96E0*t893-0.5555702E0*t896-0.9807853E0*t899+t797*(t3638+t3639+t364 \\
& \#1+t3642)-0.8314696E0*t902-0.3826834E0*t940+0.7071068E0*t908-0.9807 \\
& \#853E0*t919+0.5555702E0*t943-0.3826834E0*t922+0.9238795E0*t925+0.19 \\
& \#50903E0*t946+0.3826834E0*t928 \\
& \quad t3649 = 0.8314696E0*t1174-0.6E-9*t1180+0.155557E1*t381-0.7071068E0 \\
& \#*t952+0.8314696E0*t955+0.8314696E0*t959+0.8314696E0*t962-0.1876507 \\
& \#E2*t965+0.9807853E0*t968-0.9807853E0*t972+0.547357E1*t974+0.382683 \\
& \#4E0*t977-0.3826834E0*t981-0.3826834E0*t991-0.3826834E0*t995 \\
& \quad t3650 = -0.8314696E0*t1184+0.8314696E0*t999-t1002+0.1E1*t1006-0.88 \\
& \#88595E1*t1008+0.1950903E0*t1011+0.1950903E0*t1016+0.5555702E0*t101 \\
& \#9+0.5555702E0*t1023-0.5555702E0*t1025+0.5555702E0*t1028-0.7071068E \\
& \#0*t1031-0.7071068E0*t1035+0.9238795E0*t1038+0.9238795E0*t1042 \\
& \quad t3652 = 0.9807853E0*t1044-0.9238795E0*t1046+0.9238795E0*t1049-0.98 \\
& \#07853E0*t1052-0.9807853E0*t1056-t1058+0.1E1*t1061+0.3826834E0*t106 \\
& \#3-0.3826834E0*t1066+0.1804394E2*t1068+0.7071068E0*t1073+0.1950903E \\
& \#0*t1076-0.9807853E0*t1079-0.8888595E1*t1081-0.1848198E1*t1083 \\
& \quad t3653 = 0.5555702E0*t1085+0.1804394E2*t1087+0.5555702E0*t1090-0.18 \\
& \#48198E1*t1092-0.7071068E0*t1094-0.7071068E0*t1097-0.9238795E0*t109 \\
& \#9+0.9238795E0*t1102-0.5555702E0*t1105+0.5555702E0*t1109-0.9807853E \\
& \#0*t1112+0.1457578E2*t1114+0.7071068E0*t1116-0.7071068E0*t1119+0.92 \\
& \#38795E0*t1123 \\
& \quad t3656 = 0.9238795E0*t1127-0.8314696E0*t1129+0.8314696E0*t1132-0.38 \\
& \#26834E0*t1134-0.3826834E0*t1137-0.9807853E0*t1139+0.5555702E0*t119 \\
& \#0-0.9807853E0*t1196-0.5555702E0*t1202-0.9807853E0*t1208-0.1662939E \\
& \#2*t1140-0.1950903E0*t1142-0.1950903E0*t1144+0.547357E1*t1146+0.195 \\
& \#0903E0*t1149 \\
& \quad t3657 = -0.1876507E2*t1151+0.1950903E0*t1153+0.1950903E0*t1156+0.1 \\
& \#457578E2*t1158-0.1196204E2*t1160-0.1196204E2*t1162-0.1662939E2*t11 \\
& \#64+0.3826834E0*t1212+0.9238795E0*t1216-0.1950903E0*t1222+0.9807853 \\
& \#E0*t1228+0.1950903E0*t1234-t1240-0.8314696E0*t1246-0.9238795E0*t12 \\
& \#51 \\
& \quad t3659 = 0.9807853E0*t1257-0.7071068E0*t1263-0.7071068E0*t1267-0.38 \\
& \#26834E0*t1271-0.5555702E0*t1275+0.9238795E0*t1279+0.3826834E0*t128 \\
& \#3+0.7071068E0*t1289+0.8314696E0*t1295+0.1950903E0*t1299-0.9238795E \\
& \#0*t1303+0.6E-9*t1307-0.3826834E0*t1311+0.7071068E0*t1315-0.1848198 \\
& \#E1*t2890 \\
& \quad t3660 = 0.5555702E0*t1174-t1180+0.8314696E0*t381+0.7071068E0*t952+ \\
& \#0.5555702E0*t955+0.5555702E0*t959+0.5555702E0*t962+0.3510698E2*t96 \\
& \#5+0.1950903E0*t968-0.1950903E0*t972-0.1024033E2*t974+0.9238795E0*t \\
& \#977-0.9238795E0*t981+t984+t988 \\
& \quad t3661 = 0.9238795E0*t991+0.9238795E0*t995+0.5555702E0*t1184+0.5555 \\
& \#702E0*t999+0.6E-9*t1002-0.6E-9*t1006+0.1662939E2*t1008-0.9807853E0 \\
& \#*t1011-0.9807853E0*t1016+0.8314696E0*t1019+0.8314696E0*t1023+0.831 \\
& \#4696E0*t1025-0.8314696E0*t1028-0.7071068E0*t1031-0.7071068E0*t1035 \\
& \quad t3663 = -0.3826834E0*t1038-0.3826834E0*t1042+0.1950903E0*t1044-0.3 \\
& \#826834E0*t1046+0.3826834E0*t1049+0.1950903E0*t1052+0.1950903E0*t10 \\
& \#56+0.6E-9*t1058-0.6E-9*t1061+0.9238795E0*t1063-0.9238795E0*t1066-0 \\
& \#.3375784E2*t1068-0.7071068E0*t1073+0.9807853E0*t1076+0.1950903E0*t \\
& \#1079 \\
& \quad t3664 = 0.1662939E2*t1081+0.3457736E1*t1083+0.8314696E0*t1085-0.33 \\
& \#75784E2*t1087+0.8314696E0*t1090+0.3457736E1*t1092-0.7071068E0*t109 \\
& \#4-0.7071068E0*t1097-0.3826834E0*t1099+0.3826834E0*t1102+0.8314696E \\
& \#0*t1105-0.8314696E0*t1109-0.1950903E0*t1112-0.2726937E2*t1114-0.70 \\
& \#71068E0*t1116 \\
& \quad t3667 = 0.7071068E0*t1119-0.3826834E0*t1123-0.3826834E0*t1127+0.55 \\
& \#55702E0*t1129-0.5555702E0*t1132+0.9238795E0*t1134+0.9238795E0*t113 \\
& \#7+0.1950903E0*t1139-0.8314696E0*t1190+0.1950903E0*t1196+0.8314696E \\
& \#0*t1202-0.1950903E0*t1208+0.311114E2*t1140-0.9807853E0*t1142-0.980 \\
& \#7853E0*t1144 \\
& \quad t3668 = -0.1024033E2*t1146+0.9807853E0*t1149+0.3510698E2*t1151-0.9
\end{aligned}$$

#807853E0*t1153-0.9807853E0*t1156-0.2726937E2*t1158+0.223794E2*t116
 #0+0.223794E2*t1162+0.311114E2*t1164-0.9238795E0*t1212+0.3826834E0*
 #t1216-0.9807853E0*t1222-0.1950903E0*t1228+0.9807853E0*t1234-0.5555
 #702E0*t1246
 t3670 = 0.3826834E0*t1251+0.1950903E0*t1257+0.7071068E0*t1263-0.70
 #71068E0*t1267+0.9238795E0*t1271-0.8314696E0*t1275-0.3826834E0*t127
 #9+0.9238795E0*t1283-0.7071068E0*t1289-0.5555702E0*t1295-0.9807853E
 #0*t1299-0.3826834E0*t1303+0.1E1*t1307-0.9238795E0*t1311+0.7071068E
 #0*t1315
 t3671 = 0.3457736E1*t2890+0.3510698E2*t2893+0.3457736E1*t2895-0.33
 #75784E2*t2897-0.1024033E2*t2899-0.2726937E2*t2901-0.2726937E2*t290
 #3+0.1662939E2*t2905+0.311114E2*t2907+0.223794E2*t2920+0.3510698E2*
 #t2922-0.1024033E2*t2924-0.3375784E2*t2926+0.223794E2*t2928+0.31111
 #4E2*t2930+0.9807853E0*t1319
 t3676 = -0.1876507E2*t2893-0.1848198E1*t2895+0.1804394E2*t2897+0.5
 #47357E1*t2899+0.1457578E2*t2901+0.1457578E2*t2903-0.8888595E1*t290
 #5-0.1662939E2*t2907-0.1196204E2*t2920-0.1876507E2*t2922+0.547357E1
 #*t2924+0.1804394E2*t2926-0.1196204E2*t2928-0.1662939E2*t2930-0.195
 #0903E0*t1319+t797*(t3660+t3661+t3663+t3664+t3667+t3668+t3670+t3671
 #)
 t3680 = -0.9238795E0*t1327+0.4784815E2*t2943+0.155557E1*t381+0.721
 #7577E2*t2947-0.3325878E2*t1140+0.7071068E0*t1333-0.4784815E2*t2951
 #+0.5555702E0*t1339+0.9807853E0*t1345-0.9807853E0*t1351+0.3826834E0
 #*t1355-0.1950903E0*t1361+0.3826834E0*t1367-0.3826834E0*t1371-0.707
 #1068E0*t1375
 t3681 = 0.9238795E0*t1381+0.1950903E0*t1387+0.8314696E0*t1393+0.70
 #71068E0*t1399-0.9238795E0*t1403+0.1950903E0*t1408+0.6E-9*t1412-0.3
 #826834E0*t1418-0.5555702E0*t1422-0.8314696E0*t1426+0.8314696E0*t14
 #32-0.7071068E0*t1436-0.1950903E0*t1440-0.3826834E0*t1443+0.1777719
 #E2*t1446
 t3683 = -0.1961571E1*t1448-0.1662939E1*t1451+0.8314696E0*t1454+0.1
 #847759E1*t1456+0.9238795E0*t1459+0.2915157E2*t1461-0.1662939E1*t14
 #65+0.9238795E0*t1620+0.7392794E1*t2958-0.9238795E0*t1468+0.1847759
 #E1*t1470+0.3826834E0*t1475+0.7653669E0*t1477-0.7653669E0*t1479+0.1
 #961571E1*t1481
 t3684 = 0.2189428E2*t2963-0.1094714E2*t1483-0.3608788E2*t1486-0.98
 #07853E0*t1489-0.3753015E2*t1491+0.7653669E0*t1493+0.2E1*t1495+0.39
 #01806E0*t1497-0.3826834E0*t1500-0.3696397E1*t1502-0.7653669E0*t150
 #4+0.1950903E0*t1507-0.2E1*t1510+0.1662939E1*t1512+0.1E1*t1515
 t3687 = -0.3826834E0*t1327-0.8951759E2*t2943+0.8314696E0*t381-0.13
 #50314E3*t2947+0.6222281E2*t1140-0.7071068E0*t1333+0.8951759E2*t295
 #1-0.8314696E0*t1339-0.1950903E0*t1345-0.1950903E0*t1351+0.9238795E
 #0*t1355-0.9807853E0*t1361-0.9238795E0*t1367+0.9238795E0*t1371-0.70
 #71068E0*t1375
 t3688 = -0.3826834E0*t1381-0.9807853E0*t1387-0.5555702E0*t1393+0.7
 #071068E0*t1399+0.3826834E0*t1403+0.9807853E0*t1408+0.1E1*t1412-0.9
 #238795E0*t1418+0.8314696E0*t1422-0.5555702E0*t1426+0.5555702E0*t14
 #32+0.7071068E0*t1436+0.9807853E0*t1440+0.9238795E0*t1443-0.3325878
 #E2*t1446
 t3690 = 0.3901806E0*t1448+0.111114E1*t1451-0.5555702E0*t1454-0.765
 #3669E0*t1456-0.3826834E0*t1459-0.5453875E2*t1461-t1463-0.111114E1*
 #t1465+0.3826834E0*t1620-0.1383094E2*t2958-0.3826834E0*t1468+0.7653
 #669E0*t1470-2*t1472-0.9238795E0*t1475-0.1847759E1*t1477
 t3691 = -0.1847759E1*t1479+0.3901806E0*t1481-0.4096132E2*t2963+0.2
 #048066E2*t1483+0.6751568E2*t1486-0.1950903E0*t1489+0.7021397E2*t14
 #91+0.1847759E1*t1493-0.12E-8*t1495-0.1961571E1*t1497-0.9238795E0*t
 #1500+0.6915472E1*t1502+0.1847759E1*t1504-0.9807853E0*t1507+0.12E-8
 #*t1510
 t3694 = 0.111114E1*t1512-0.6E-9*t1515-0.5555702E0*t1518+0.5555702E
 #0*t1520-0.1414214E1*t1522+0.7071068E0*t1525+0.9238795E0*t1528+0.14
 #14214E1*t1530-0.7071068E0*t1534-0.3901806E0*t1536+0.1950903E0*t153
 #9+0.7653669E0*t1541+0.1662939E1*t1543+0.3826834E0*t1546-0.1414214E
 #1*t1548

$t3695 = -0.7071068E0*t1550+0.1662939E1*t1552+0.3325878E2*t1554+0.6$
 $\#E-9*t1557-0.1961571E1*t1559+0.9807853E0*t1561-0.6222281E2*t1563-0.$
 $\#4475879E2*t1565+0.4475879E2*t1567+0.5453875E2*t1569-0.1090775E3*t2$
 $\#971+0.8314696E0*t1571+0.1961571E1*t1573+0.9807853E0*t1576-0.702139$
 $\#7E2*t1578$
 $t3697 = -0.2048066E2*t1580-0.1244456E3*t2977+0.8314696E0*t1582-0.1$
 $\#662939E1*t1584+0.1404279E3*t2981+0.1383094E2*t2985-0.7653669E0*t15$
 $\#86+0.1350314E3*t2989+0.3826834E0*t1588-0.1404279E3*t2993+0.1414214$
 $\#E1*t1590+0.7071068E0*t1592+0.1244456E3*t2997-0.8314696E0*t1594-0.6$
 $\#915472E1*t1596$
 $t3698 = -0.1662939E1*t1598-0.6751568E2*t1600+0.1950903E0*t1602-0.8$
 $\#314696E0*t1604-0.1950903E0*t1606-0.3901806E0*t1608-t1625-0.8314696$
 $\#E0*t1634-0.6651757E2*t3002+0.1950903E0*t1638+0.4096132E2*t3006+0.1$
 $\#950903E0*t1642+0.1961571E1*t1610+0.1090775E3*t3010-0.9807853E0*t16$
 $\#12+0.5555702E0*t1646$
 $t3703 = -0.8314696E0*t1518+0.8314696E0*t1520+0.1414214E1*t1522-0.7$
 $\#071068E0*t1525+0.3826834E0*t1528-0.1414214E1*t1530+t797*(t3687+t36$
 $\#88+t3690+t3691+t3694+t3695+t3697+t3698)+0.7071068E0*t1534-0.196157$
 $\#1E1*t1536+0.9807853E0*t1539-0.1847759E1*t1541-0.111114E1*t1543-0.9$
 $\#238795E0*t1546-0.1414214E1*t1548-0.7071068E0*t1550$
 $t3704 = 0.111114E1*t1552-0.1777719E2*t1554-t1557-0.3901806E0*t1559$
 $\#+0.1950903E0*t1561+0.3325878E2*t1563+0.2392407E2*t1565-0.2392407E2$
 $\#*t1567-0.2915157E2*t1569+0.5830314E2*t2971+0.5555702E0*t1571-0.390$
 $\#1806E0*t1573-0.1950903E0*t1576+0.3753015E2*t1578+0.1094714E2*t1580$
 $t3706 = 0.6651757E2*t2977-0.5555702E0*t1582+0.111114E1*t1584-0.750$
 $\#6029E2*t2981-0.7392794E1*t2985-0.1847759E1*t1586-0.7217577E2*t2989$
 $\#+0.9238795E0*t1588+0.7506029E2*t2993+0.1414214E1*t1590+0.7071068E0$
 $\#*t1592-0.6651757E2*t2997-0.5555702E0*t1594+0.3696397E1*t1596-0.111$
 $\#114E1*t1598$
 $t3707 = 0.3608788E2*t1600-0.9807853E0*t1602+0.5555702E0*t1604+0.98$
 $\#07853E0*t1606+0.1961571E1*t1608-0.6E-9*t1625-t1630-0.5555702E0*t16$
 $\#34+0.3555438E2*t3002-0.9807853E0*t1638-0.2189428E2*t3006+0.9807853$
 $\#E0*t1642+0.3901806E0*t1610-0.5830314E2*t3010-0.1950903E0*t1612-0.8$
 $\#314696E0*t1646$
 $t3711 = 0.8314696E0*t1877-0.8314696E0*t1879-0.8314696E0*t1882+0.70$
 $\#71068E0*t1654+0.3826834E0*t1885+0.1E1*t1888+0.1E1*t1890+0.3826834E$
 $\#0*t1893-0.9238795E0*t1896+0.7071068E0*t1899+0.7071068E0*t1901+0.92$
 $\#38795E0*t1903+0.8314696E0*t1906+0.1950903E0*t1910-0.7071068E0*t191$
 $\#3-0.1950903E0*t1659-0.2666579E2*t1915$
 $t3712 = -0.7071068E0*t1917+0.8314696E0*t1919+0.4372735E2*t1921+0.4$
 $\#988818E2*t1661-0.9238795E0*t1924+0.9238795E0*t1667-0.7071068E0*t19$
 $\#27-0.1950903E0*t1673-0.9238795E0*t1929+0.1950903E0*t1931-0.7071068$
 $\#E0*t1933+0.3826834E0*t1935+0.3826834E0*t1937+0.155557E1*t381+0.980$
 $\#7853E0*t1939-0.9238795E0*t1942-0.4988818E2*t1140$
 $t3714 = 0.5555702E0*t1944+0.7071068E0*t1947+0.8314696E0*t1949+0.98$
 $\#07853E0*t1679+0.9807853E0*t1685-0.6E-9*t1691+0.8314696E0*t1697+0.6$
 $\#E-9*t1702-0.9807853E0*t1708+0.3826834E0*t1714+0.8314696E0*t1719+0.$
 $\#5555702E0*t1725-0.9238795E0*t1731+0.3826834E0*t1736-0.7071068E0*t1$
 $\#742-0.8314696E0*t1748-0.9807853E0*t1754$
 $t3715 = 0.5555702E0*t1877-0.5555702E0*t1879-0.5555702E0*t1882-0.70$
 $\#71068E0*t1654-0.9238795E0*t1885-0.6E-9*t1888-0.6E-9*t1890+0.923879$
 $\#5E0*t1893-0.3826834E0*t1896-0.7071068E0*t1899-0.7071068E0*t1901-0.$
 $\#3826834E0*t1903-0.5555702E0*t1906-t1908-0.9807853E0*t1910+0.707106$
 $\#8E0*t1913$
 $t3716 = 0.9807853E0*t1659+0.4988818E2*t1915+0.7071068E0*t1917+0.55$
 $\#55702E0*t1919-0.8180812E2*t1921+0.3333421E2*t1661-0.3826834E0*t192$
 $\#4+0.3826834E0*t1667-0.7071068E0*t1927-0.9807853E0*t1673+0.3826834E$
 $\#0*t1929-0.9807853E0*t1931-0.7071068E0*t1933+0.9238795E0*t1935-0.92$
 $\#38795E0*t1937+0.8314696E0*t381+0.1950903E0*t1939$
 $t3718 = 0.3826834E0*t1942+0.9333421E2*t1140-0.8314696E0*t1944+0.70$
 $\#71068E0*t1947-0.5555702E0*t1949+0.1950903E0*t1679-0.1950903E0*t168$
 $\#5-t1691-0.5555702E0*t1697+0.1E1*t1702-0.1950903E0*t1708-0.9238795E$
 $\#0*t1714+0.5555702E0*t1719-0.8314696E0*t1725+0.3826834E0*t1731+0.92$

$\#38795E0 * t^{1736} + 0.7071068E0 * t^{1742}$
 $t^{3719} = -0.5555702E0 * t^{1748} + 0.1950903E0 * t^{1754} - 0.3826834E0 * t^{1766} + 0.5$
 $\#555702E0 * t^{1771} - 0.9807853E0 * t^{1776} - 0.9238795E0 * t^{1781} - 0.8314696E0 * t^{17}$
 $\#86 + 0.9807853E0 * t^{1791} - 0.4242641E2 * t^{1793} - 0.3826834E0 * t^{1798} - 0.1170542$
 $\#E2 * t^{1800} + 0.9238795E0 * t^{1805} + 0.1170542E2 * t^{1809} - 0.2296101E2 * t^{1811} - 0.5$
 $\#884712E2 * t^{1813} - 0.6E2 * t^{1815} + 0.7071068E0 * t^{1820}$
 $t^{3722} = 0.4988818E2 * t^{1822} + 0.5884712E2 * t^{1824} + 0.2296101E2 * t^{1826} - 0.58$
 $\#84712E2 * t^{1828} - 0.7071068E0 * t^{1833} - 0.5543277E2 * t^{1835} + 0.2296101E2 * t^{183}$
 $\#7 + 0.8314696E0 * t^{1842} + 0.3072099E2 * t^{1951} + 0.5884712E2 * t^{1844} - 0.2296101E$
 $\#2 * t^{1846} - 0.1170542E2 * t^{1849} - 0.4242641E2 * t^{1851} + 0.1170542E2 * t^{1853} + 0.55$
 $\#43277E2 * t^{1855} + 0.4242641E2 * t^{1857} + 0.4988818E2 * t^{1859}$
 $t^{3723} = 0.5543277E2 * t^{1861} + 0.4242641E2 * t^{1863} - 0.3333421E2 * t^{1865} + 0.6E$
 $\#2 * t^{1867} - 0.3333421E2 * t^{1869} - 0.4988818E2 * t^{1871} - 0.5543277E2 * t^{1873} - t^{195}$
 $\#3 + 0.3333421E2 * t^{2050} + 0.3826834E0 * t^{1955} + 0.3826834E0 * t^{1957} + 0.8314696E$
 $\#0 * t^{1960} + 0.1950903E0 * t^{1962} - 0.3826834E0 * t^{1967} + 0.8314696E0 * t^{1970} + 0.67$
 $\#13819E2 * t^{1972} - 0.6713819E2 * t^{1974}$
 $t^{3725} = 0.9238795E0 * t^{1976} + 0.9238795E0 * t^{1978} + 0.1950903E0 * t^{1980} - 0.49$
 $\#88818E2 * t^{1982} + 0.1037321E2 * t^{1984} - 0.1012735E3 * t^{1986} - 0.8314696E0 * t^{198}$
 $\#8 + 0.1950903E0 * t^{1990} - 0.8314696E0 * t^{1992} - 0.1037321E2 * t^{1994} + 0.7071068E$
 $\#0 * t^{1996} - 0.9333421E2 * t^{1998} + 0.9807853E0 * t^{2000} + 0.9807853E0 * t^{2002} - 0.19$
 $\#50903E0 * t^{2005} - 0.1950903E0 * t^{2008} + 0.6E - 9 * t^{2010}$
 $t^{3726} = 0.6E - 9 * t^{2012} - 0.9238795E0 * t^{2014} - 0.9238795E0 * t^{2016} + 0.1012735$
 $\#E3 * t^{2018} + 0.1053209E3 * t^{2020} - 0.1950903E0 * t^{2022} - 0.1950903E0 * t^{2024} - 0.8$
 $\#314696E0 * t^{2026} + 0.8314696E0 * t^{2028} - 0.9807853E0 * t^{2030} - 0.9807853E0 * t^{20}$
 $\#32 - 0.3072099E2 * t^{2034} - 0.1053209E3 * t^{2036} + 0.9807853E0 * t^{2038} + 0.9807853$
 $\#E0 * t^{2040} + 0.8180812E2 * t^{2042} + 0.8314696E0 * t^{2044}$
 $t^{3731} = -t^{1760} + 0.9238795E0 * t^{1766} - 0.8314696E0 * t^{1771} + 0.1950903E0 * t^{17}$
 $\#76 - 0.3826834E0 * t^{1781} - 0.5555702E0 * t^{1786} + 0.1950903E0 * t^{1791} + t^{797} * (t^{37}$
 $\#15 + t^{3716} + t^{3718} + t^{3719} + t^{3722} + t^{3723} + t^{3725} + t^{3726}) - 0.4242641E2 * t^{1793} - 0.$
 $\#9238795E0 * t^{1798} - 0.5884712E2 * t^{1800} - 0.3826834E0 * t^{1805} - 0.5884712E2 * t^{1}$
 $\#809 + 0.5543277E2 * t^{1811} - 0.1170542E2 * t^{1813} - 0.36E - 7 * t^{1815} + 0.7071068E0 *$
 $\#t^{1820}$
 $t^{3734} = 0.3333421E2 * t^{1822} - 0.1170542E2 * t^{1824} + 0.5543277E2 * t^{1826} + 0.11$
 $\#70542E2 * t^{1828} - 0.7071068E0 * t^{1833} + 0.2296101E2 * t^{1835} - 0.5543277E2 * t^{183}$
 $\#7 - 0.5555702E0 * t^{1842} - 0.1642071E2 * t^{1951} + 0.1170542E2 * t^{1844} - 0.5543277E$
 $\#2 * t^{1846} + 0.5884712E2 * t^{1849} + 0.4242641E2 * t^{1851} + 0.5884712E2 * t^{1853} - 0.22$
 $\#96101E2 * t^{1855} - 0.4242641E2 * t^{1857} - 0.3333421E2 * t^{1859}$
 $t^{3735} = 0.2296101E2 * t^{1861} + 0.4242641E2 * t^{1863} - 0.4988818E2 * t^{1865} + 0.36$
 $\#E - 7 * t^{1867} + 0.4988818E2 * t^{1869} + 0.3333421E2 * t^{1871} - 0.2296101E2 * t^{1873} + 60$
 $\# * t^{1875} - 0.4988818E2 * t^{2050} + 0.9238795E0 * t^{1955} + 0.9238795E0 * t^{1957} - 0.555$
 $\#5702E0 * t^{1960} + 0.9807853E0 * t^{1962} + 0.9238795E0 * t^{1967} + 0.5555702E0 * t^{1970}$
 $\# - 0.3588611E2 * t^{1972} + 0.3588611E2 * t^{1974}$
 $t^{3737} = -0.3826834E0 * t^{1976} - 0.3826834E0 * t^{1978} - 0.9807853E0 * t^{1980} + 0.2$
 $\#666579E2 * t^{1982} - 0.5544595E1 * t^{1984} + 0.5413183E2 * t^{1986} - 0.5555702E0 * t^{19}$
 $\#88 - 0.9807853E0 * t^{1990} - 0.5555702E0 * t^{1992} + 0.5544595E1 * t^{1994} + 0.7071068$
 $\#E0 * t^{1996} + 0.4988818E2 * t^{1998} + 0.1950903E0 * t^{2000} + 0.1950903E0 * t^{2002} + 0.9$
 $\#807853E0 * t^{2005} + 0.9807853E0 * t^{2008} - t^{2010}$
 $t^{3738} = -t^{2012} - 0.3826834E0 * t^{2014} - 0.3826834E0 * t^{2016} - 0.5413183E2 * t^{20}$
 $\#18 - 0.5629522E2 * t^{2020} - 0.9807853E0 * t^{2022} - 0.9807853E0 * t^{2024} + 0.5555702$
 $\#E0 * t^{2026} - 0.5555702E0 * t^{2028} - 0.1950903E0 * t^{2030} - 0.1950903E0 * t^{2032} + 0.1$
 $\#642071E2 * t^{2034} + 0.5629522E2 * t^{2036} - 0.1950903E0 * t^{2038} - 0.1950903E0 * t^{20}$
 $\#40 - 0.4372735E2 * t^{2042} + 0.5555702E0 * t^{2044}$
 $t^{3742} = 0.7846282E2 * t^{2055} - 0.8314696E0 * t^{2061} - 0.3826834E0 * t^{2067} - 0.73$
 $\#91036E2 * t^{2069} + 0.9238795E0 * t^{2075} - 0.7846282E2 * t^{2077} - 0.7391036E2 * t^{207}$
 $\#9 - 0.5656854E2 * t^{2081} - 0.1560723E2 * t^{2083} + 0.3826834E0 * t^{2085} + 0.3826834E$
 $\#0 * t^{2087} - 0.8314696E0 * t^{2093} - t^{2096} - 0.9238795E0 * t^{2099} - 0.9807853E0 * t^{210}$
 $\#1 - 0.5555702E0 * t^{2104} - 0.9238795E0 * t^{2106}$
 $t^{3743} = 0.7071068E0 * t^{2108} + 0.3826834E0 * t^{2111} + 0.9807853E0 * t^{2114} + 0.1E$
 $\#1 * t^{2116} + 0.9238795E0 * t^{2118} - 0.48E - 7 * t^{2258} + 0.7391036E2 * t^{2260} + 0.707106$
 $\#8E0 * t^{2266} - 0.7071068E0 * t^{2121} - 0.5555702E0 * t^{2272} + 0.6651757E2 * t^{2123} - 0.$
 $\#4784815E2 * t^{2125} - 0.5830314E2 * t^{2127} + 0.7506029E2 * t^{2129} + 0.8314696E0 * t^{2}$
 $\#132 - 0.9238795E0 * t^{2135} - 0.9238795E0 * t^{2137}$
 $t^{3745} = -t^{2139} + 0.9238795E0 * t^{2142} + 0.9807853E0 * t^{2144} + 0.9807853E0 * t^{21}$

$\#46+0.5830314E2*t2148+0.8314696E0*t2150-0.3826834E0*t2152+0.1950903E0*t2154-0.5555702E0*t2157-0.2189428E2*t2159-0.7506029E2*t2161+0.7\#071068E0*t2164-0.7217577E2*t2166-0.9807853E0*t2169+0.3826834E0*t2173+0.7071068E0*t2178+0.5555702E0*t2180$
 $t3746 = -0.3826834E0*t2182+0.9238795E0*t2184+0.7071068E0*t2186-0.3\#826834E0*t2188+0.9238795E0*t2190-0.3826834E0*t2192+0.7217577E2*t2194-0.7071068E0*t2196+0.7392794E1*t2198+0.3555438E2*t2200-0.5555702E0*t2202+0.1950903E0*t2204-0.7071068E0*t2207+0.155557E1*t381-0.980\#7853E0*t2209-0.7392794E1*t2211-0.5555702E0*t2213$
 $t3749 = -0.7071068E0*t2215+0.1950903E0*t2218+0.1950903E0*t2220+0.5\#555702E0*t2222+0.5555702E0*t2224-0.1950903E0*t2226-0.1950903E0*t2228+0.4784815E2*t2230-0.1950903E0*t2232-0.9807853E0*t2234-0.1950903E0*t2236+0.2189428E2*t2238+0.9807853E0*t2240+0.48E-7*t2275+0.30614\#67E2*t2277-0.6651757E2*t2279-0.3061467E2*t2281$
 $t3750 = -0.3061467E2*t2283-0.6651757E2*t2285+0.7846282E2*t2287-0.4\#444562E2*t2289+0.3826834E0*t2295+0.5656854E2*t2297+0.6651757E2*t2299+0.4444562E2*t2301+0.5555702E0*t2242-0.9238795E0*t2307-0.8314696E0*t2244+0.1E1*t2246-0.3555438E2*t2248+0.8314696E0*t2250-0.3826834E0*t2313-0.8314696E0*t2319-0.6E-9*t2324$
 $t3752 = 0.1560723E2*t2328-0.1950903E0*t2333+0.8314696E0*t2339+0.98\#07853E0*t2344+0.4444562E2*t2346+0.6E-9*t2351+0.5656854E2*t2353-t2359+80*t2361-0.5656854E2*t2363-0.9238795E0*t2368+0.6651757E2*t2370+\#0.5555702E0*t2375+0.1950903E0*t2381+0.8314696E0*t2386+0.9238795E0*t2392+0.1950903E0*t2398$
 $t3753 = -0.1560723E2*t2055-0.5555702E0*t2061+0.9238795E0*t2067+0.3\#061467E2*t2069+0.3826834E0*t2075+0.1560723E2*t2077-0.3061467E2*t2079-0.5656854E2*t2081-0.7846282E2*t2083+0.9238795E0*t2085-0.9238795E0*t2087-t2090-0.5555702E0*t2093+0.6E-9*t2096-0.3826834E0*t2099+0.\#1950903E0*t2101$
 $t3754 = 0.8314696E0*t2104-0.3826834E0*t2106+0.7071068E0*t2108-0.92\#38795E0*t2111-0.1950903E0*t2114-0.6E-9*t2116+0.3826834E0*t2118-0.8E2*t2258-0.3061467E2*t2260-0.7071068E0*t2266-0.7071068E0*t2121+0.8\#314696E0*t2272-0.1244456E3*t2123+0.8951759E2*t2125+0.1090775E3*t2127-0.1404279E3*t2129-0.5555702E0*t2132$
 $t3756 = 0.3826834E0*t2135+0.3826834E0*t2137+0.6E-9*t2139-0.3826834E0*t2142+0.1950903E0*t2144+0.1950903E0*t2146-0.1090775E3*t2148-0.5\#555702E0*t2150-0.9238795E0*t2152+0.9807853E0*t2154-0.8314696E0*t2157+0.4096132E2*t2159+0.1404279E3*t2161+0.7071068E0*t2164+0.1350314E3*t2166+0.1950903E0*t2169-t2171$
 $t3757 = 0.9238795E0*t2173-0.7071068E0*t2178-0.8314696E0*t2180+0.92\#38795E0*t2182-0.3826834E0*t2184-0.7071068E0*t2186+0.9238795E0*t2188+0.3826834E0*t2190-0.9238795E0*t2192-0.1350314E3*t2194+0.7071068E0*t2196-0.1383094E2*t2198-0.6651757E2*t2200-0.8314696E0*t2202+0.98\#07853E0*t2204+0.7071068E0*t2207+0.8314696E0*t381$
 $t3760 = -0.1950903E0*t2209+0.1383094E2*t2211+0.8314696E0*t2213-0.7\#071068E0*t2215-0.9807853E0*t2218-0.9807853E0*t2220+0.8314696E0*t2222+0.8314696E0*t2224+0.9807853E0*t2226+0.9807853E0*t2228-0.8951759E2*t2230-0.9807853E0*t2232-0.1950903E0*t2234-0.9807853E0*t2236-0.4\#096132E2*t2238-0.1950903E0*t2240+0.8E2*t2275$
 $t3761 = 0.7391036E2*t2277-0.4444562E2*t2279-0.7391036E2*t2281+0.73\#91036E2*t2283+0.4444562E2*t2285+0.1560723E2*t2287+0.6651757E2*t2289+0.9238795E0*t2295-0.5656854E2*t2297+0.4444562E2*t2299+0.6651757E2*t2301-0.8314696E0*t2242+0.3826834E0*t2307-0.5555702E0*t2244-0.6E\#-9*t2246+0.6651757E2*t2248+0.5555702E0*t2250$
 $t3763 = -0.9238795E0*t2313+0.5555702E0*t2319-t2324+0.7846282E2*t2328-0.9807853E0*t2333-0.5555702E0*t2339-0.1950903E0*t2344-0.6651757E2*t2346+0.1E1*t2351+0.5656854E2*t2353+0.5656854E2*t2363-0.3826834E0*t2368-0.4444562E2*t2370-0.8314696E0*t2375+0.9807853E0*t2381+0.5\#555702E0*t2386-0.3826834E0*t2392$
 $t3764 = -0.9807853E0*t2398+0.1950903E0*t2404+0.1244456E3*t1140+0.3\#061467E2*t2406+0.7846282E2*t2408-0.7391036E2*t2410-0.1560723E2*t2412+0.9807853E0*t2417-0.7846282E2*t2419-0.8314696E0*t2424+0.1950903E0*t2429-0.9238795E0*t2434-0.7071068E0*t2440+0.5555702E0*t2252-0.1$

$\#950903E0 * t^{2445} + 0.7071068E0 * t^{2450} + 0.7071068E0 * t^{2455}$
 $t^{3769} = 0.9807853E0 * t^{2404} - 0.6651757E2 * t^{1140} + 0.7391036E2 * t^{2406} - 0.15$
 $\#60723E2 * t^{2408} + 0.3061467E2 * t^{2410} - 0.7846282E2 * t^{2412} - 0.1950903E0 * t^{241$
 $\#7 + 0.1560723E2 * t^{2419} - 0.5555702E0 * t^{2424} - 0.9807853E0 * t^{2429} + 0.3826834E$
 $\#0 * t^{2434} - 0.7071068E0 * t^{2440} + 0.8314696E0 * t^{2252} - 0.9807853E0 * t^{2445} - 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2450} + 0.7071068E0 * t^{2455} + t^{797} * (t^{3753} + t^{3754} + t^{3756} + t^{3757} + t^{376$
 $\#0 + t^{3761} + t^{3763} + t^{3764})$
 $t^{3773} = 0.1950903E0 * t^{2464} - 0.9807853E0 * t^{2467} + 0.155557E1 * t^{381} - 0.9238$
 $\#795E0 * t^{2469} + 0.9021971E2 * t^{2471} - 0.9238795E0 * t^{2474} - 0.9807853E0 * t^{2477} -$
 $\#0.3826834E0 * t^{2480} + 0.2736785E2 * t^{2482} + 0.4444298E2 * t^{2484} - 0.9807853E0 *$
 $\#t^{2486} + 0.5555702E2 * t^{2639} - 0.8314696E2 * t^{1140} - 0.5555702E0 * t^{2645} - t^{2489} -$
 $\#0.3826834E0 * t^{2492} - 0.3826834E0 * t^{2494}$
 $t^{3774} = -0.9021971E2 * t^{2496} - 0.9382537E2 * t^{2498} - 0.4444298E2 * t^{2500} + 0.8$
 $\#314696E2 * t^{2502} - 0.9807853E0 * t^{2504} + 0.1950903E0 * t^{2507} - 0.7071068E0 * t^{25$
 $\#11 - 0.7071068E0 * t^{2513} + 0.9807853E0 * t^{2515} - 0.1950903E0 * t^{2517} - 0.1950903$
 $\#E0 * t^{2520} - 0.9240992E1 * t^{2522} + 0.3826834E0 * t^{2524} + 0.9238795E0 * t^{2527} + 0.7$
 $\#071068E0 * t^{2530} - 0.2736785E2 * t^{2532} - 0.9238795E0 * t^{2537}$
 $t^{3776} = -0.5555702E0 * t^{2539} + 0.9807853E0 * t^{2541} + 0.5555702E0 * t^{2544} + 0.5$
 $\#555702E0 * t^{2546} - 0.7287892E2 * t^{2548} + 0.5981018E2 * t^{2550} + 0.1950903E0 * t^{25$
 $\#52 - 0.5981018E2 * t^{2556} + 0.3826834E0 * t^{2558} - 0.5555702E0 * t^{2560} - 0.1950903$
 $\#E0 * t^{2565} + 0.9240992E1 * t^{2567} - 0.1950903E0 * t^{2569} + 0.9382537E2 * t^{2571} + 0.7$
 $\#071068E0 * t^{2573} + 0.7071068E0 * t^{2575} - 0.5555702E0 * t^{2578}$
 $t^{3777} = 0.9238795E0 * t^{2580} - 0.5555702E0 * t^{2582} + 0.9807853E0 * t^{2584} - 0.38$
 $\#26834E0 * t^{2586} + 0.9807853E0 * t^{2588} + 0.7287892E2 * t^{2590} + 0.7071068E0 * t^{259$
 $\#2 + 0.3826834E0 * t^{2594} + 0.3826834E0 * t^{2597} - 0.7071068E0 * t^{2651} + 0.1950903E$
 $\#2 * t^{2653} - 0.6E-9 * t^{2659} + 100 * t^{2661} - 0.7071068E0 * t^{2599} - 0.7071068E0 * t^{2601}$
 $\# + 0.9238795E0 * t^{2603} + 0.8314696E0 * t^{2605}$
 $t^{3780} = 0.5555702E0 * t^{2607} + 0.8314696E0 * t^{2609} - 0.9238795E0 * t^{2611} + 0.70$
 $\#71068E0 * t^{2667} + 0.8314696E0 * t^{2613} - 0.8314696E0 * t^{2615} + 0.8314696E0 * t^{261$
 $\#7 + 0.1E1 * t^{2619} + 0.1950903E0 * t^{2621} + 0.1E1 * t^{2623} + 0.1950903E0 * t^{2625} + 0.98$
 $\#07853E0 * t^{2673} + 0.3826834E0 * t^{2678} + 0.7071068E0 * t^{2684} + 0.1950903E0 * t^{269$
 $\#0 - 0.3826834E0 * t^{2696} + 0.3826834E0 * t^{2703}$
 $t^{3781} = -0.8314696E0 * t^{2708} - 0.3826834E2 * t^{2710} + 0.6E-7 * t^{2712} + 0.980785$
 $\#3E0 * t^{2717} + 0.8314696E0 * t^{2723} - 0.9238795E2 * t^{2725} + 0.5555702E0 * t^{2627} - 0.$
 $\#1950903E0 * t^{2731} - t^{2736} + 0.9238795E0 * t^{2741} - 0.8314696E0 * t^{2747} - 0.980785$
 $\#3E0 * t^{2752} + 0.7071068E2 * t^{2754} + 0.9238795E0 * t^{2760} - 0.9238795E0 * t^{2765} + 0.$
 $\#3826834E2 * t^{2767} - 0.9238795E0 * t^{2774}$
 $t^{3783} = 0.6E-9 * t^{2779} + 0.5555702E0 * t^{2785} + 0.8314696E0 * t^{2790} - t^{2629} - 0.5$
 $\#555702E0 * t^{2795} - 0.9807853E0 * t^{2800} + 0.9807853E2 * t^{2802} - 0.8314696E0 * t^{26$
 $\#31 + 0.7071068E2 * t^{2804} - 0.1950903E2 * t^{2806} - 0.9807853E2 * t^{2808} - 0.9807853$
 $\#E2 * t^{2810} + 0.9238795E2 * t^{2812} - 0.6E-7 * t^{2814} - 0.7071068E2 * t^{2816} + 0.195090$
 $\#3E2 * t^{2818} - 0.8314696E2 * t^{2821}$
 $t^{3784} = 0.9807853E0 * t^{2464} - 0.1950903E0 * t^{2467} + 0.8314696E0 * t^{381} - 0.382$
 $\#6834E0 * t^{2469} - 0.1687892E3 * t^{2471} - 0.3826834E0 * t^{2474} + 0.1950903E0 * t^{2477}$
 $\# + 0.9238795E0 * t^{2480} - 0.5120165E2 * t^{2482} - 0.8314696E2 * t^{2484} + 0.1950903E0$
 $\# * t^{2486} + 0.8314696E2 * t^{2639} + 0.155557E3 * t^{1140} - 0.8314696E0 * t^{2645} + 0.6E-9$
 $\# * t^{2489} - 0.9238795E0 * t^{2492}$
 $t^{3785} = -0.9238795E0 * t^{2494} + 0.1687892E3 * t^{2496} + 0.1755349E3 * t^{2498} + 0.8$
 $\#314696E2 * t^{2500} - 0.155557E3 * t^{2502} - 0.1950903E0 * t^{2504} + 0.9807853E0 * t^{250$
 $\#7 - 0.7071068E0 * t^{2511} - 0.7071068E0 * t^{2513} - 0.1950903E0 * t^{2515} + 0.9807853E$
 $\#0 * t^{2517} + 0.9807853E0 * t^{2520} + 0.1728868E2 * t^{2522} + 0.9238795E0 * t^{2524} + 0.38$
 $\#26834E0 * t^{2527} - 0.7071068E0 * t^{2530} + 0.5120165E2 * t^{2532}$
 $t^{3787} = -t^{2535} + 0.3826834E0 * t^{2537} - 0.8314696E0 * t^{2539} + 0.1950903E0 * t^{25$
 $\#41 - 0.8314696E0 * t^{2544} + 0.8314696E0 * t^{2546} + 0.1363469E3 * t^{2548} - 0.111897E$
 $\#3 * t^{2550} + 0.9807853E0 * t^{2552} + 0.111897E3 * t^{2556} + 0.9238795E0 * t^{2558} + 0.831$
 $\#4696E0 * t^{2560} - t^{2562} - 0.9807853E0 * t^{2565} - 0.1728868E2 * t^{2567} - 0.9807853E0$
 $\# * t^{2569} - 0.1755349E3 * t^{2571}$
 $t^{3788} = 0.7071068E0 * t^{2573} + 0.7071068E0 * t^{2575} - 0.8314696E0 * t^{2578} + 0.38$
 $\#26834E0 * t^{2580} + 0.8314696E0 * t^{2582} - 0.1950903E0 * t^{2584} + 0.9238795E0 * t^{258$
 $\#6 + 0.1950903E0 * t^{2588} - 0.1363469E3 * t^{2590} - 0.7071068E0 * t^{2592} - 0.9238795E$
 $\#0 * t^{2594} - 0.9238795E0 * t^{2597} - 0.7071068E0 * t^{2651} - 0.9807853E2 * t^{2653} - t^{265$
 $\#9 + 0.7071068E0 * t^{2599} + 0.7071068E0 * t^{2601}$
 $t^{3791} = -0.3826834E0 * t^{2603} - 0.5555702E0 * t^{2605} - 0.8314696E0 * t^{2607} - 0.5$

#555702E0*t2609+0.3826834E0*t2611-0.7071068E0*t2667+0.5555702E0*t26
 #13-0.5555702E0*t2615+0.5555702E0*t2617-0.6E-9*t2619-0.9807853E0*t2
 #621-0.6E-9*t2623-0.9807853E0*t2625-0.1950903E0*t2673+0.9238795E0*t
 #2678+0.7071068E0*t2684-0.9807853E0*t2690
 t3792 = -0.9238795E0*t2696-0.9238795E0*t2703+0.5555702E0*t2708+0.9
 #238795E2*t2710+0.1E3*t2712+0.1950903E0*t2717-0.5555702E0*t2723+0.3
 #826834E2*t2725+0.8314696E0*t2627-0.9807853E0*t2731-0.3826834E0*t27
 #41-0.5555702E0*t2747-0.1950903E0*t2752+0.7071068E2*t2754+0.3826834
 #E0*t2760+0.3826834E0*t2765+0.9238795E2*t2767
 t3794 = -0.3826834E0*t2774+0.1E1*t2779-0.8314696E0*t2785+0.5555702
 #E0*t2790+0.6E-9*t2629+0.8314696E0*t2795+0.1950903E0*t2800-0.195090
 #3E2*t2802-0.5555702E0*t2631-0.7071068E2*t2804-0.9807853E2*t2806-0.
 #1950903E2*t2808+0.1950903E2*t2810-0.3826834E2*t2812-0.1E3*t2814-0.
 #7071068E2*t2816+0.9807853E2*t2818
 t3795 = 0.5555702E2*t2821-0.3826834E0*t2633-0.9238795E2*t2823-0.83
 #14696E2*t2825-0.5555702E2*t2827+0.8314696E2*t2829+0.7071068E2*t283
 #1-0.5555702E2*t2833+0.9807853E0*t2838+0.9238795E0*t2843+0.9807853E
 #2*t2845+0.3826834E2*t2847-0.9238795E2*t2849+0.5555702E2*t2851-0.38
 #26834E2*t2853+0.1950903E2*t2855+0.7071068E0*t2860
 t3800 = 0.9238795E0*t2633-0.3826834E2*t2823+0.5555702E2*t2825-0.83
 #14696E2*t2827-0.5555702E2*t2829-0.7071068E2*t2831+0.8314696E2*t283
 #3-0.1950903E0*t2838-0.3826834E0*t2843-0.1950903E2*t2845+0.9238795E
 #2*t2847+0.3826834E2*t2849+0.8314696E2*t2851-0.9238795E2*t2853+0.98
 #07853E2*t2855+t797*(t3784+t3785+t3787+t3788+t3791+t3792+t3794+t379
 #5)-0.7071068E0*t2860

id(1) = t550+t947+t1247+t1320
 id(2) = t1404+t1647+t1726+t1806+t1847+t2051
 id(3) = t2273+t2325+t2387+t2456+t2697+t2768+t2819+t2861
 id(4) = t2864+t2865+t2867+t2876+t3124+t3125+t3127+t3136
 #+t3294+t3303+t3305
 id(5) = t3306+t3464+t3465+t3467+t3476+t3634+t3635+t3637
 #+t3646+t3684+t3687+t3690+t3712

did(1) = t2879+t2880+t2882+t2883+t2886+t2887+t2891+t2936
 #+t3016+t3017+t3019+t3020+t3023+t3024+t3026+t3027
 #+t3031+t3032+t3050+t3051+t3054+t3055+t3057+t3058
 #+t3062+t3063+t3065+t3082+t3085+t3086+t3088+t3089
 did(2) = t3093+t3094+t3096+t3097+t3100+t3101+t3119+t3120
 #+t3155+t3156+t3158+t3159+t3162+t3163+t3165+t3166
 #+t3170+t3171+t3173+t3174+t3177+t3194+t3196+t3197
 #+t3201+t3202+t3204+t3205+t3208+t3209+t3227+t3228
 did(3) = t3232+t3233+t3235+t3236+t3239+t3240+t3242+t3259
 #+t3279+t3280+t3282+t3283+t3286+t3287+t3289+t3290
 #+t3309+t3310+t3312+t3329+t3332+t3333+t3335+t3336
 #+t3340+t3341+t3359+t3360+t3363+t3364+t3366+t3367
 #+t3371+t3388+t3390+t3391+t3394+t3395+t3397+t3398
 did(4) = t3402+t3403+t3405+t3406+t3409+t3410+t3412+t3429
 #+t3433+t3434+t3436+t3437+t3440+t3441+t3443+t3460
 #+t3479+t3480+t3482+t3483+t3486+t3487+t3505+t3506
 #+t3510+t3511+t3513+t3514+t3517+t3518+t3520+t3537
 #+t3541+t3558+t3560+t3561+t3564+t3565+t3567+t3568
 #+t3572+t3589+t3591+t3592+t3595+t3596+t3598+t3599
 did(5) = t3603+t3604+t3606+t3607+t3626+t3627+t3629+t3630
 #+t3649+t3650+t3652+t3653+t3656+t3657+t3659+t3676
 #+t3680+t3681+t3683+t3684+t3703+t3704+t3706+t3707
 #+t3711+t3712+t3714+t3731+t3734+t3735+t3737+t3738
 #+t3742+t3743+t3745+t3746+t3749+t3750+t3752+t3769
 #+t3773+t3774+t3776+t3777+t3780+t3781+t3783+t3800

ANNEXE II

MATRICE DE REPARTITION

A) DÉFINITIONS

Considérons un réseau à un accès consistant en une charge Z_L branchée aux bornes d'une source interne d'impédance caractéristique Z_o (Fig. A2-1).

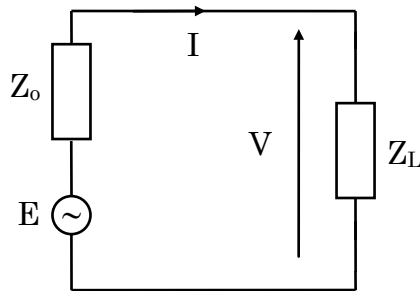


Fig. A2-1 : Réseau à un accès.

Le courant et la tension complexes ont pour expressions [1] - [7] :

$$I = \frac{E}{Z_o + Z_L} \quad V = \frac{EZ_L}{Z_o + Z_L} \quad (\text{A2-1})$$

A l'adaptation, l'impédance de la charge étant égale au conjugué de l'impédance interne du générateur, le courant et la tension correspondants sont équivalents aux grandeurs incidentes :

$$I_i = \frac{E}{Z_o + Z_o^*} \quad V_i = \frac{EZ_o^*}{Z_o + Z_o^*} \quad (\text{A2-2})$$

Par analogie, on définit les grandeurs réfléchies comme suit :

$$I_r = I_i - I \quad V_r = V - V_i \quad (\text{A2-3})$$

ou en les exprimant uniquement en fonction des grandeurs incidentes :

$$I_r = \frac{Z_L - Z_o^*}{Z_L + Z_o^*} \cdot I_i \quad V_r = \frac{Z_o Z_L - Z_o^*}{Z_o^* Z_L + Z_o} \cdot V_i \quad (\text{A2-4})$$

Ces expressions permettent de définir des coefficients de réflexion Γ_I en courant et Γ_V en tension :

$$\Gamma_I = \frac{I_r}{I_i} = \frac{Z_L - Z_o^*}{Z_L + Z_o^*} \quad \Gamma_V = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_o Z_L - Z_o^*}{Z_o^* Z_L + Z_o} \quad (\text{A2-5})$$

Si l'impédance Z_o est réelle et égale à R_o , alors :

$$\Gamma = \Gamma_I = \Gamma_V = \frac{Z_L - R_o}{Z_L + R_o} = \frac{z_L - 1}{z_L + 1} \quad (\text{A2-6})$$

où z_L est l'impédance réduite de Z_L . Des équations (A2-2) et (A2-3) on déduit :

$$V_r = Z_o I_r \quad V_i = Z_o^* I_i \quad (\text{A2-7})$$

Ces notions peuvent être généralisées à un réseau à N accès :

$$[\mathbf{V}_r] = [\mathbf{Z}_o] [\mathbf{I}_r] \quad [\mathbf{V}_i] = [\mathbf{Z}_o^*] [\mathbf{I}_i] \quad (\text{A2-8})$$

On peut ainsi définir un vecteur $[\mathbf{a}]$ d'ondes entrantes ou "ondes incidentes" comme suit [2] :

$$[\mathbf{a}] = \left(\frac{[\mathbf{Z}_o] + [\mathbf{Z}_o^*]}{2} \right)^{\frac{1}{2}} [\mathbf{I}_i] \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{R_{o1}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \sqrt{R_{oN}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{i1} \\ \vdots \\ I_{in} \end{bmatrix} \quad (\text{A2-9})$$

De même on définit un vecteur $[b]$ d'ondes sortantes ou "ondes réfléchies" tel que :

$$[b] = \left(\frac{[Z_o] + [Z_o^*]}{2} \right)^{\frac{1}{2}} [I_r] \quad (\text{A2-10})$$

La matrice de répartition $[S]$ du réseau satisfait alors à la relation :

$$[b] = [S] [a] \quad (\text{A2-11})$$

B) PROPRIÉTÉS

Après avoir défini la matrice $[S]$, rappelons quelques-unes de ses propriétés. Pour cela, considérons un réseau à deux accès chargé respectivement par Z_1 et Z_2 (fig. A2-2). Les ondes incidentes et réfléchies au niveau des portes d'impédances caractéristiques Z_{o1} et Z_{o2} sont égales selon l'équation (A2-11) à :

$$b_1 = S_{11} a_1 + S_{12} a_2 \quad b_2 = S_{21} a_1 + S_{22} a_2 \quad (\text{A2-12})$$

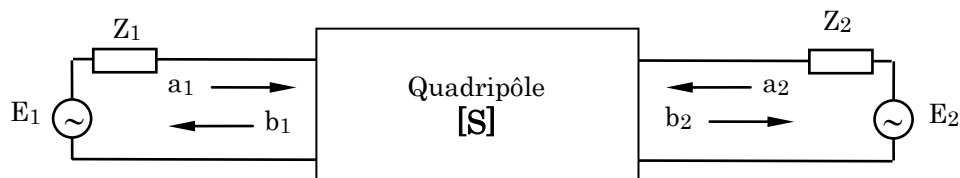


fig. A2-2 : Schématisation des ondes incidentes et réfléchies dans un quadripôle.

C) SIGNIFICATION PHYSIQUE

Selon la relation (A2-12), chaque terme est défini comme suit :

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

Ainsi :

- S_{11} : coefficient de réflexion à l'entrée avec la sortie adaptée ($Z_2 = Z_{o2}$).
- S_{22} : coefficient de réflexion à la sortie avec l'entrée adaptée ($Z_1 = Z_{o1}$).
- S_{21} : coefficient de transmission direct de l'entrée vers la sortie avec sortie adaptée. Sa signification énergétique est très importante car le module au carré de S_{21} représente le gain en puissance du quadripôle lorsque la sortie est adaptée :

$$|S_{21}|^2 = \frac{P_{L2}}{P_{S1}} = \frac{\frac{1}{2}|b_2|^2}{\frac{1}{2}|a_1|^2} \Bigg|_{a_2=0} \quad (\text{A2-13})$$

- S_{12} : coefficient de transmission inverse de la sortie vers l'entrée avec entrée adaptée.

D) PASSAGE ENTRE MATRICES $[S]$, $[Z]$ ET $[Y]$

Les relations entre la matrice de dispersion $[S]$ et la matrice impédance $[Z]$ ou admittance $[Y]$ du réseau sont données usuellement par [4] - [8] :

$$[\mathbf{S}] = \sqrt{[\mathbf{Y}_o]} \{ [\mathbf{Z}] - [\mathbf{Z}_o] \} \{ [\mathbf{Z}] + [\mathbf{Z}_o] \}^{-1} \sqrt{[\mathbf{Z}_o]}$$

$$[\mathbf{S}] = \sqrt{[\mathbf{Z}_o]} \{ [\mathbf{Y}_o] - [\mathbf{Y}] \} \{ [\mathbf{Y}_o] + [\mathbf{Y}] \}^{-1} \sqrt{[\mathbf{Y}_o]}$$

$$[\mathbf{Z}] = \sqrt{[\mathbf{Z}_o]} \{ [\mathfrak{I}] + [\mathbf{S}] \} \{ [\mathfrak{I}] - [\mathbf{S}] \}^{-1} \sqrt{[\mathbf{Z}_o]}$$

$$[\mathbf{Y}] = \sqrt{[\mathbf{Y}_o]} \{ [\mathfrak{I}] - [\mathbf{S}] \} \{ [\mathfrak{I}] + [\mathbf{S}] \}^{-1} \sqrt{[\mathbf{Y}_o]}$$

où les matrices $[\mathbf{Z}_o]$ et $[\mathbf{Y}_o]$ sont des matrices diagonales dont les éléments sont les impédances caractéristiques Z_{ok} des différentes portes du réseau et où $[\mathfrak{I}]$ est la matrice identité.

E) RELATIONS SIMPLIFIÉES

Dans le cas où tous les éléments des matrices $[Z_o]$ et $[Y_o]$ sont égaux et purement réels, alors les relations se simplifient en relations entre la matrice $[S]$ et les matrices réduites impédance $[z]$ et admittance $[y]$:

$$[S] = \{ [z] - [\mathfrak{Z}] \} \{ [z] + [\mathfrak{Z}] \}^{-1}$$

$$[S] = \{ [\mathfrak{Z}] - [y] \} \{ [\mathfrak{Z}] + [y] \}^{-1}$$

$$[z] = \{ [\mathfrak{Z}] + [S] \} \{ [\mathfrak{Z}] - [S] \}^{-1}$$

$$[y] = \{ [\mathfrak{Z}] - [S] \} \{ [\mathfrak{Z}] + [S] \}^{-1}$$

BIBLIOGRAPHIE DE L'ANNEXE I

- [1] CARLIN H.J., "The scattering matrix in network theory," *IRE Trans. Circuit Theory*, vol 3, 88-97, June 1956.
- [2] KUROKAWA K., "Power waves and the scattering matrix," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 13, 194-202, Mar. 1965.
- [3] HEWLETT-PACKARD, *S-Parameters, circuit analysis and design*, Application note N° 95, 1968.
- [4] GUPTA K.C., GARG R., CHADHA R., *Computer aided design of microwave circuits*, Dedham MA : Artech House, 1981.
- [5] HA T.T., *Solid-state microwave amplifier design*, New-York: Wiley, 1981.
- [6] RIVIER E., SARDOS R., *La matrice S: du numérique à l'optique*, Paris: Masson, 1982.
- [7] GENTILI C., *Amplificateurs et oscillateurs micro-ondes*, Paris: Masson, 1984.
- [8] FRICKEY D.A., "Conversions between S, Z, Y, h, ABCD, and T parameters which are valid for complex source and load impedances," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol 42, 205-211, Feb. 1994