

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

2/69

ner

ELECTRONIQUE

THESE DE FIN D'ETUDES

D. TELECOMMUNICATIONS
المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

CONCEPTION ET REALISATION
PRATIQUE
D'UN AMPLIFICATEUR A DIODE
TUNNEL

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

REALISEE PAR
A. AYACHI

PROPOSEE PAR
Mr. Le Professeur,
A. ZERGUERRAS

PROMOTION 1969

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

THESE DE FIN D'ETUDES

CONCEPTION ET REALISATION
PRATIQUE
D'UN AMPLIFICATEUR A DIODE
TUNNEL

Réalisée par
l'élève-ingénieur
A. AYACHI

Proposée par
Mr. le Professeur
A. ZERGUERRAS

Promotion 1969

S O M M A I R E

I.- INTRODUCTION -

- I-1 Généralités
- I-2 Fonctions de la diode tunnel
- I-3 Comparaison entre la diode tunnel et les transistors

II.- ETUDE THEORIQUE DE LA DIODE TUNNEL -

- 2-1 Généralités
- 2-2 La jonction P_TN en absence de polarisation
- 2-3 La jonction P_TN en polarisation inverse
- 2-4 Jonction P_TN en polarisation directe Pic et vallée de courant
- 2-5 Diode tunnel inverse

III.- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA DIODE TUNNEL -

- 3-1 Circuit équivalent
- 3-2 Fréquence de coupure homique
- 3-3 Fréquence de résonance propre
- 3-4 Résistance négative effective R_d'
- 3-5 Détermination des divers domaines de fonctionnement d'une diode tunnel

IV.- AMPLIFICATEUR A DIODE TUNNEL -

- 4-1 Généralités
- 4-2 Amplificateur série
- 4-3 Circuit équivalent
- 4-4 Etude du gain d'un amplificateur
- 4-5 Analyse graphique de l'amplificateur série

- 4-6 Amplificateur parallèle
- 4-7 Circuit équivalent
- 4-8 Etude du gain
- 4-9 Analyse graphique de l'amplificateur parallèle
- 4-10 Adaptation d'impédance

V.- MONTAGES AMPLIFICATEURS A DIODE TUNNEL -

- 5-1 Généralités
- 5-2 Amplificateurs hautes fréquences
- 5-3 Amplificateur hyperfréquence

VI.- CARACTERISTIQUES PRINCIPALES D'UN AMPLIFICATEUR
A DIODE TUNNEL -

- 6-1 Le Bruit
- 6-2 Facteur de bruit
- 6-3 Distortion
- 6-4 Caractéristique de température
- 6-5 Polarisation

VII.- REALISATION D'UN AMPLIFICATEUR A DIODE TUNNEL -

- 7-1 Calcul des éléments
- 7-2 Mesures

CONCLUSION -

BIBLIOGRAPHIE -

I N T R O D U C T I O N

Dans ce qui suit nous nous proposons de dégager les caractéristiques principales de la diode tunnel.

Ensuite la diode est étudiée dans les montages amplificateurs (série ou parallèle).

Nous avons réalisé le câblage d'un amplificateur HF de tension utilisant une diode tunnel du type AEY 25.

I.- INTRODUCTION

I-1 GENERALITES -

La diode tunnel réalisée pour la première fois par le japonais Léo Esaki en 1958, aussi l'appelle-t-on souvent la diode Esaki. Elle ne difère des diodes classiques que par le dopage de la jonction. Le dopage de cette dernière est mille fois supérieur à celui d'une jonction classique. On désigne par P_n la jonction d'une diode ordinaire et par P_Tn la jonction d'une diode tunnel. Le dopage excessif de la jonction P_Tn est responsable de la présence d'une partie à résistance négative dans la caractéristique (courant-tension) de la diode. Cette résistance négative se prête à de nombreux usages en particulier l'amplification.

I-2 FONCTIONS DE LA DIODE TUNNEL -

La diode tunnel possède plusieurs fonctions.

a) Amplification: La diode tunnel peut être utilisée comme amplificateur de courant, de tension ou de puissance.

b) Oscillation: La diode tunnel peut être utilisée comme oscillateur convertissant le courant continu en courant alternatif.

c) Modulation: La diode tunnel peut être utilisée comme modulateur d'amplitude ou de fréquence.

d) Détection: La diode tunnel peut détecter un signal modulé en amplitude ou en fréquence.

Ces circuits conviennent bien pour les émetteurs miniatures pour des applications particulières.

e) Autres fonctions: La diode tunnel peut être utilisée pour modifier la forme d'un signal (la forme d'un signal est critique dans certains types de radars, de télétype, décompteur et en télévision.

I-3 COMPARAISON ENTRE LA DIODE TUNNEL ET LES TRANSISTORS -

a) Le transistor et la diode tunnel ont des avantages communs sur les tubes à vide.

- I- Pas de délai de chauffage
- 2- Grand rendement en puissance (plus de chauffage)
- 3- Grande résistance aux chocs et aux manipulations brutales.
- 4- Utilisation en très basse tension, ce qui permet des micro-circuits.

5- Plus petit que n'importe quel tube miniaturisé. Ceci permet leur utilisation dans la construction de matériel portable pour l'aviation, les missiles et les satellites.

b) La diode tunnel possède les avantages suivants sur les transistors;

I- Grande vitesse de commutation de l'ordre 10^{-9} seconde. Le transistor est limité dans la vitesse de commutation à cause du temps de transit dû au courant dans la base.

2- La diode tunnel ne subit pas une variation de sa caractéristique (courant-tension) dans un grand écart de température. Cette propriété est due au dopage excessif de la jonction..

3- Résiste beaucoup plus que le transistor aux radiations nucléaires.

4- La diode tunnel ne comporte que 2 connexions au lieu de 3 pour le transistor, le transistor nécessite 3 couches NPN ou PNP, la diode tunnel ne contient que 2 couches PN ce qui réduit sa forme et son prix.

.../...

5- L'amplificateur à diode tunnel peut travailler dans les gammes d'hyperfréquences tout en ayant une grande bande passante, un bon gain et pratiquement pas de bruit de fond. Le transistor ne peut travailler dans les très hautes fréquences à cause de la capacité de la jonction et du temps de transit du courant dans la base.

6- Un fort courant de court circuit de courte durée ne détériore pas la diode tunnel.

7- La caractéristique de la diode ne subit relativement pas de changement dans une atmosphère humide et en présence de gaz, ce qui ne nécessite pas l'encapsulation hermétique nécessaire par les transistors. On peut avoir des diodes tunnel très petites, très légères qui occupent moins de place que les transistors.

c) Les principaux inconvénients de la diode tunnel:

1- Le gain ne peut être obtenu que dans la région de résistance négative de la caractéristique.

2- La diode tunnel ne possède que 2 terminaisons une à l'entrée et l'autre à la sortie.

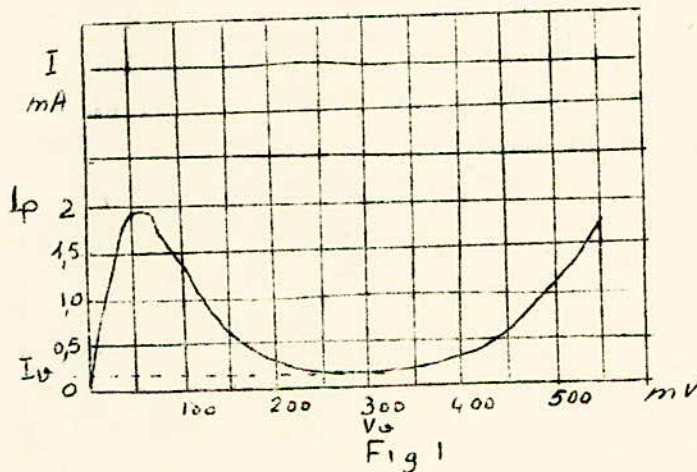
3- La diode tunnel n'opère que dans un faible voltage du mV à 1 volts. Le courant part de 10 uA à 10 A .

.../...

II.- ETUDE THEORIQUE DE LA DIODE TUNNEL

2-I GENERALITES -

Si on dope fortement un semi-conducteur par exemple plus de 1000 atomes d'impuretés pour 10^7 atome de semi-conducteur, la caractéristique courant tension devient alors comme celle de la fig.(I)

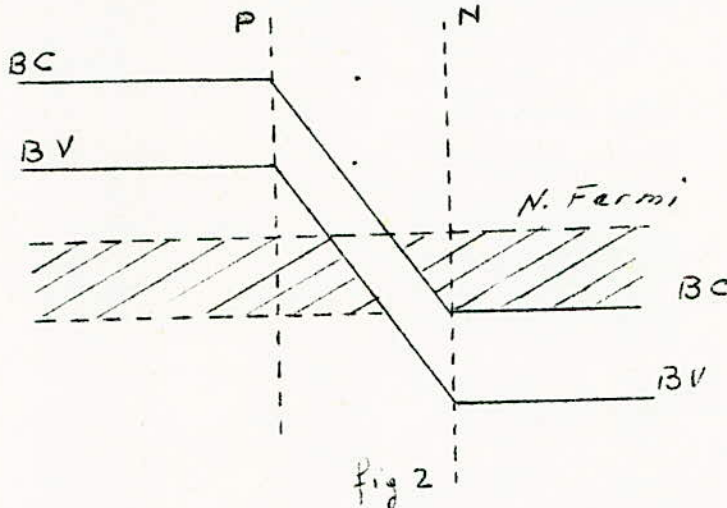


Le courant de pic I_p est obtenu avec une faible tension appliquée, puis le courant décroît jusqu'à une valeur minimum le courant de vallée I_v pour une tension directe toujours croissante ensuite le courant croît avec la tension appliquée.

La jonction de la caractéristique entre I_p et I_v représente une résistance négative, et c'est cela qui permet l'utilisation de la diode tunnel comme oscillateur et comme amplificateur.

2-2 LA JONCTION P-N EN ABSENCE DE POLARISATION -

Lorsque deux cristaux de type P et N riche en impureté sont mis en contact le niveau de fermi doit être le même dans les deux régions, il en résulte le spectre de bandes d'énergie représenté à la fig.(2)



On voit que la limite intérieure de la bande de conduction dans la région N est située plus bas que la limite supérieure de la bande de valence dans la région P.

Il existe donc des électrons dans la bande de conduction du cristal N dont le niveau énergétique coïncide avec celui de certains électrons de la bande de valence du cristal P.

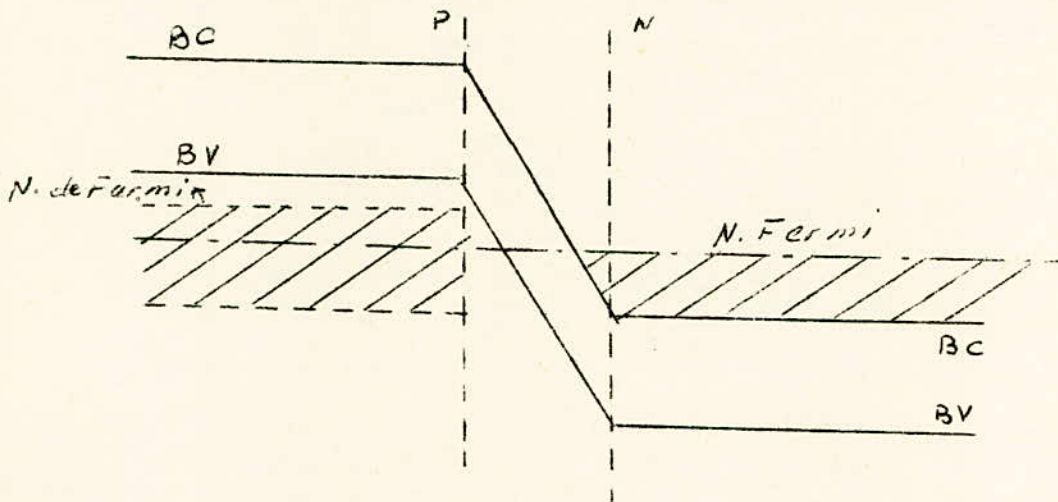
La zone de transition étant mince, et il existe dans la bande de valence du cristal P un niveau libre, un électron occupant le niveau énergétique, correspondant dans la bande de conduction du cristal N peut se mouvoir vers le cristal P. Ce déplacement s'effectue à la vitesse de la lumière. Ce déplacement ayant lieu malgré la présence de la barrière de potentiel à la surface de séparation; on parle dans ce cas de "l'effet Tunnel". Il s'agit d'une interprétation imagée du phénomène selon laquelle il existerait pour certains électrons un tunnel à travers la barrière de potentiel.

De même manière des électrons situés dans la bande de valence du cristal P peuvent se mouvoir vers la bande de conduction du cristal N.

En l'absence de tension extérieures il s'établira un équilibre entre les courants d'électron se dirigeant vers la gauche et vers la droite.

2-3 JONCTION P_TN EN POLARISATION INVERSE -

Supposons qu'on applique à cette jonction P_TN une tension orientée dans le sens bloquant. Il en résulte un déplacement des niveaux énergétiques du cristal P vers le haut par rapport au niveau du cristal N fig.(3)



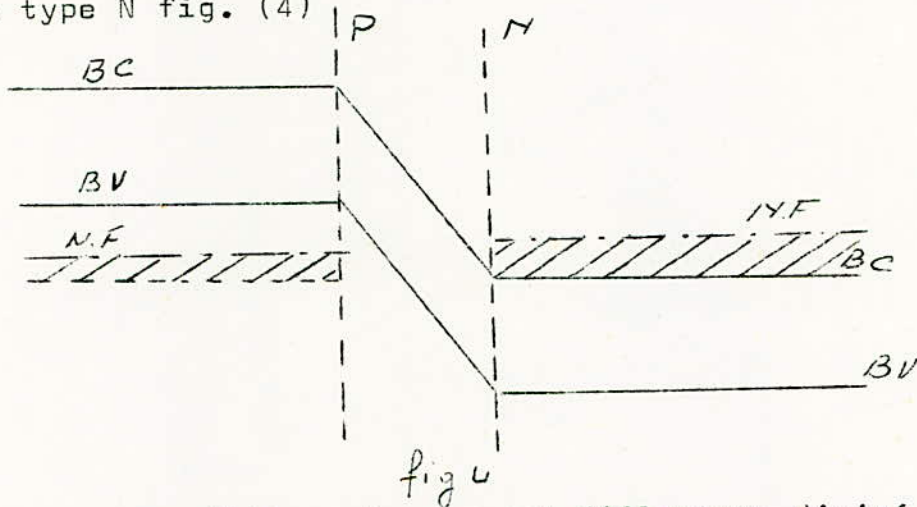
Le courant d'électron se dirigeant de droite à gauche se trouve diminué. En effet les électrons de la bande de conduction du cristal N qui pourrait éventuellement passer par effet tunnel dans le cristal P se trouvent à présent en face des niveaux énergétiques de la bande de valence dont la probabilité d'occupation est accrue par rapport à celle de la jonction en absence de polarisation. Par contre le courant d'électron se dirigeant de gauche à droite va augmenter puisque les électrons de la bande de valence du cristal P se trouvent à présent à des niveaux énergétiques auxquels correspondent dans la bande de conduction du cristal N des niveaux dont la probabilité d'occupation est plus faible.

.../...

En conclusion le courant inverse augmentera progressivement avec la tension inverse à l'encontre de ce qui se produit dans une diode à jonction ordinaire.

2-4 LA JONCTION P-N EN POLARISATION DIRECTE:
PIC ET VALLEE DE COURANT -

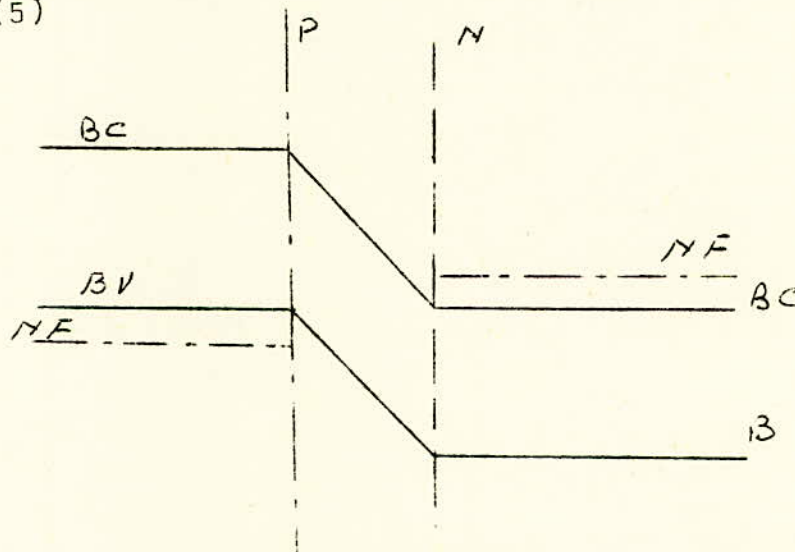
Appliquons à la jonction une petite tension dans le sens direct ou passant, l'effet de cette tension est d'abaisser les niveaux énergétiques de la région du type P par rapport à ceux de la région du type N fig. (4)



Dans ces conditions le courant d'électron dirigé de la droite vers la gauche va augmenter. Il apparaîtra donc un courant direct. En effet les électrons situés dans la bande de conduction du cristal N se trouvent à des niveaux énergétiques auxquels correspond dans le cristal P un plus grand nombre de niveau libre. Par contre les électrons de la bande de valence du cristal P se trouve à des niveaux en face desquels il existe peu de niveaux libres dans le cristal N, les électrons de la bande de valence cristal P ont donc une probabilité inférieure de ce diriger vers la droite. A tension croissante le courant circulant dans la diode tunnel atteindra rapidement une valeur maximum (Pic de courant) pour décroître ensuite.

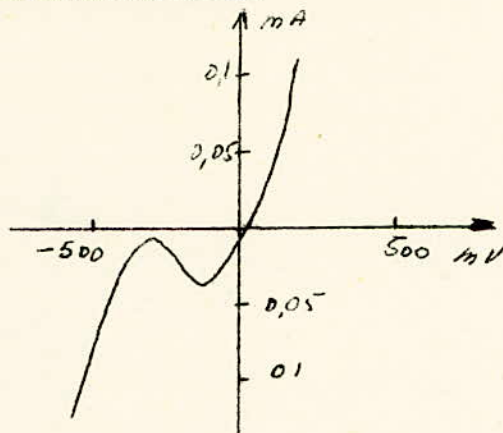
.../...

En effet quand la tension directe continue à augmenter, la bande de conduction du cristal N se trouve de plus en plus vis à vis de la bande interdite du cristal P. Le nombre d'électron du cristal N qui par effet tunnel peuvent se diriger vers la gauche diminue; le courant atteint par suite une valeur minimum (courant de vallée) à l'instant où la limite inférieure de la bande de conduction du cristal N et la limite supérieure de la bande de valence de cristal P ont atteint le même niveau fig. (5)



Si la tension directe augmente encore le courant ne sera plus déterminé que par les porteurs majoritaires qui peuvent traverser la barrière de potentiel. La caractéristique courant-tension a donc à partir de ce point une allure exponentielle semblable à celle d'une diode à couche ordinaire.

.../...

2-5 DIODE TUNNEL INVERSE -

Caractéristiques (courant-tension) de la diode inverse.

La diode inverse est un type de diode tunnel dans lequel d'autres caractéristiques que la conductance négative ont une importance primordiale. La fig.(6) représente les caractéristiques principales de ce composant.

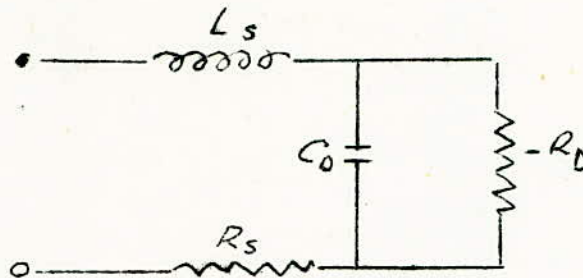
Dans le sens direct la tension est beaucoup moindre que pour les diodes au silicium, de l'ordre de 120 à 170 mV pour I à 25 mA suivant la diode considérée. De plus la stabilité en fonction de la température dans ce sens est exceptionnelle avec une dérive presque imperceptible entre -85 à $+200^{\circ}$ C. Par conséquent cette diode constitue une référence de tension très stable.

Dans le sens inverse certaines diodes inverses présentent une caractéristique mineure de conductance négative, le courant de pic étant souvent au maximum de 15mA de sorte qu'on peut envisager de les utiliser comme commutateurs à coutant très faible d'une manière très semblable aux diodes tunnel. De plus dans le sens inverse elles ont une caractéristique de claquage qui permet de les utiliser comme écrêteurs et limiteur. On les utilise également comme compteurs unidirectionnels entre les étages à diodes tunnel.

.../...

III.- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA DIODE TUNNEL -

3.1 CIRCUIT EQUIVALENT DE LA DIODE TUNNEL -



La fig.(7) représente le circuit équivalent de la diode tunnel pour les hautes fréquences.

- L'inductance L_s et la résistance R_s : éléments parasites introduits par les connexions.

- La capacité C_d représente principalement la capacité de la jonction.

- La résistance R_d représente la résistance négative en alternatif.

3-2 FREQUENCE DE COUPURE OHMIQUE -

La fréquence de coupure ohmique F_r est la fréquence pour laquelle la partie réelle de l'impédance de la diode mesurée entre ses bornes s'annule. La diode ne peut pas amplifier au-dessus de cette fréquence.

Considérons le circuit équivalent de la diode

Son impédance Z peut s'écrire :

$$Z = R_s + j X_L + \frac{(-R_d) (-jX_c)}{-R_d - jX_c}$$

$$Z = R_s + jX_L - \frac{jX_c R_d}{R_d + jX_c}$$

faisons disparaître le terme imaginaire du dénominateur en multipliant par la quantité conjuguée il vient :

$$Z = R_s + jX_L - \frac{jX_c R_d^2 + R_d X_c^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

séparons les parties réelles et imaginaires il vient :

$$Z = R_s - \frac{R_d X_c^2}{R_d^2 + X_c^2} + j X_L - \frac{jX_c R_d^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

annulant la partie réelle nous aurons

$$R_s = \frac{R_d X_c^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

ce qui donne :

$$X_c = R_d \sqrt{\frac{R_s}{R_d - R_s}}$$

Comme $X_c = \frac{I}{2\pi F_r C_d}$ on peut écrire

$$\frac{I}{2\pi F_r C_d} = R_d \sqrt{\frac{R_s}{R_d - R_s}}$$

d'où l'on tire F_r

$$F_r = \frac{I}{2\pi C_d R_d} \sqrt{\frac{R_d - R_s}{R_s}}$$

prendre la valeur absolue positive de R_d

3-3 FREQUENCE DE RESONANCE PROPRE -

La fréquence de résonance propre est la fréquence pour laquelle la partie imaginaire de l'impédance s'annule.

Ecrivons Z impédance de la diode.

$$Z = R_s - \frac{R_d X_c^2}{R_d^2 + X_c^2} + jX_L - \frac{jX_c R_d^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

annulons la partie imaginaire il vient :

$$jX_L = \frac{jX_c R_d^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

.../...

divisons les 2 termes par j il vient :

$$X_1 = \frac{X_c R_d^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

comme $X_L = \omega_s L$ et $X_c = \frac{I}{\omega_s C_d}$ l'équation ci-dessus

s'écrit :

$$\omega_s L = \frac{R_d^2 / \omega_s C_d}{R_d^2 + I / \omega_s^2 C_d^2}$$

multiplions le numérateur et dénominateur par

$$(\omega_s C_d)^2$$

$$\omega_s L = \frac{\omega_s C_d R_d^2}{R_d^2 (\omega_s C_d)^2 + 1}$$

$$\omega_s L [R_d^2 (\omega_s C_d)^2 + 1] = \omega_s C_d R_d^2$$

simplifions par ω_s

$$\omega_s^2 C_d^2 L R_d^2 + L = C_d R_d^2$$

$$\omega_s^2 = \frac{C_d R_d^2 - L}{C_d^2 L R_d^2}$$

$$\text{On tire } F_s = \frac{I}{2\pi C_d R_d} \sqrt{\frac{C_d R_d^2 - L}{L}}$$

.../...

3-4 RESISTANCE NEGATIVE EFFECTIVE R'_d -

La résistance négative effective R'_d d'une diode tunnel dépend de l'effet de court-circuitage de la capacité propre de la diode C_d .
La valeur de cette résistance effective négative est donnée par:

$$R'_d = \frac{R_d X_c^2}{R_d^2 + X_c^2}$$

pour les hautes fréquences de travail

$$\text{or } X_c = \frac{I}{2\pi F C_d} \quad \text{d'ou}$$

$$R'_d = \frac{R_d \left(\frac{I}{2\pi F C_d} \right)^2}{R_d^2 + \left(\frac{I}{2\pi F C_d} \right)^2}$$

$$\text{d'ou } R'_d = \frac{R_d}{R_d \cdot 2\pi F C_d^2 + I}$$

Ceci montre que la résistance effective de la diode tunnel diminue lorsque la fréquence croît.

par exemple : si une diode a une résistance négative $R_d = 100$ et une capacité $C_c = 100\text{mmF}$

$$\text{à } 100 \text{ MHz} \quad R'_d = 71,4 \Omega$$

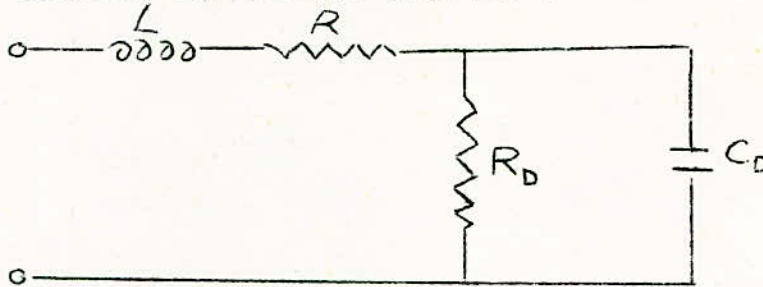
$$\text{et à } 1 \text{ KMHZ} \quad R'_d = 2,47 \Omega$$

On voit donc que la fréquence de travail diminue énormément la résistance négative effective.

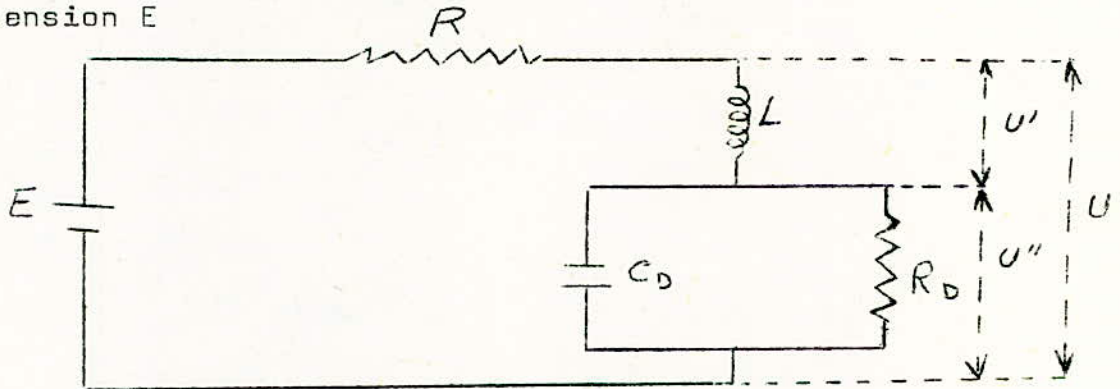
.../...

3-5 DETERMINATION DES DIVERS DOMAINES DE FONCTIONNEMENT D'UNE DIODE TUNNEL -

I°) Généralités : La diode tunnel possède le circuit équivalent suivant :



Considérons ce circuit alimenté par une source de tension E



durant le phénomène transitoire on a les relations suivantes :

$$(1) Ri + u = 0 \text{ or}$$

$$u = u' + u'' \text{ ce qui s'écrit}$$

$$(2) Ri + u' + u'' = 0$$

$$i = i_c + i_R = C_d \frac{du''}{dt} + \frac{u''}{R_d}$$

$$\text{et } u' = L \frac{di}{dt} = LC_d \frac{du''^2}{dt^2} + \frac{L}{R_d} \frac{du''}{dt}$$

En remplaçant dans l'équation (2) il vient :

$$RC_d \frac{du''}{dt} + \frac{R}{R_d} u'' + LC_d \frac{du''^2}{dt^2} + \frac{L}{R_d} \frac{du''}{dt} + u'' = 0$$

$$LC_d \frac{du''^2}{dt^2} + \left(\frac{L + RC_d R_d}{R_d} \right) \frac{du''}{dt} + \left(\frac{R + R_d}{R_d} \right) u'' = 0$$

Cette équation différentielle est de la forme suivante

$$ax'' + bx' + C = 0$$

avec

$$a = LC_d \quad b = \frac{L + RC_d R_d}{R_d} \quad C = \frac{R + R_d}{R_d}$$

la solution générale de cette équation différentielle à la forme suivante :

$$x = Ae^{p_1 t} + Be^{p_2 t} \quad \text{avec}$$

$$p_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad p_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Considérons les diverses zones de fonctionnement possible.

I - Zone stable : Il faut que les 2 racines p_1 et p_2 soient réelles et négatives.

$$b > 0 \quad \text{-----} \rightarrow \quad L \leftarrow R |R_d| C_d$$

$$C > 0 \quad \text{-----} \rightarrow \quad R C |R_d|$$

$$b^2 \geq 4ac \quad \text{-----} \rightarrow \quad \frac{b^2}{4a} \geq C$$

ce qui donne

$$\frac{(L + R R_d C_d)^2}{R_d^2} \geq \frac{4 LC_d (R + R_d)}{R_d}$$

.... /

On en déduit :

$$(L - R_d RC_d - 2 R_d \sqrt{LC_d}) (L - R_d RC_d + R_d \sqrt{LC_d}) \geq 0$$

comme $R_d < 0$

$$L - R_d RC_d - 2 R_d \sqrt{LC_d} > 0$$

Il faut satisfaire la relation suivante :

$$L \geq - |R_d| (RC_d - 2\sqrt{LC_d})$$

Comme R_d négatif on a la conduction

$$R \geq 2 \sqrt{L/C_d} - \frac{L}{|R_d| C_d}$$

Comme $R < |R_d|$ les frontières de stabilité s'exprime ainsi

$$2 \sqrt{\frac{L}{C_d}} - \frac{L}{|R_d| C_d} \leq R < |R_d|$$

2 - Oscillations sinusoïdales amorties : Les deux racines p_1 et p_2 doivent être complexes, conjuguées avec une partie réelles négatives. Les conditions suivantes doivent être satisfaites

$$b > 0 \text{ et } c < 0$$

$$\frac{L}{C_d |R_d|} < R < |R_d|$$

$b^2 < 4$ ac de même que pour le fonctionnement stable

on déduit :

$$RC_d 2 \sqrt{R/C_d} - \frac{L}{C_d |R_d|}$$

.../...

La condition pour l'obtention d'oscillations amorties est donc

$$\frac{L}{C_d |R_d|} < R < 2 \sqrt{L/C_d} - \frac{L}{C_d |R_d|}$$

3 - Oscillations sinusoïdales : Dans ces cas la partie réelle des 2 racines doit être nulle tandis que les parties imaginaires doivent être conjuguées on trouve donc :

$$\begin{aligned} c > 0 & \text{ ----- } R < |R_d| \\ b = 0 & \text{ ----- } L = R / R_d / C_d \end{aligned}$$

Pour que les oscillations sinusoïdales apparaissent la condition suivante doit être remplie :

$$R = \frac{L}{C_d |R_d|} < |R_d|$$

4 - Oscillations de relaxation : Lorsque les 2 racines sont complexes conjuguées avec partie réelle positive, les oscillations de relaxation apparaissent ; il faut donc :

$$b < 0 \text{ -----} \rightarrow R < \frac{L}{C_d |R_d|}$$

$$c > 0 \text{ -----} \rightarrow R < |R_d|$$

d'autre part il faut satisfaire à la relation

$$b^2 < 4ac \text{ ou } R < 2 \sqrt{L/C_d} - \frac{L}{C_d |R_d|}$$

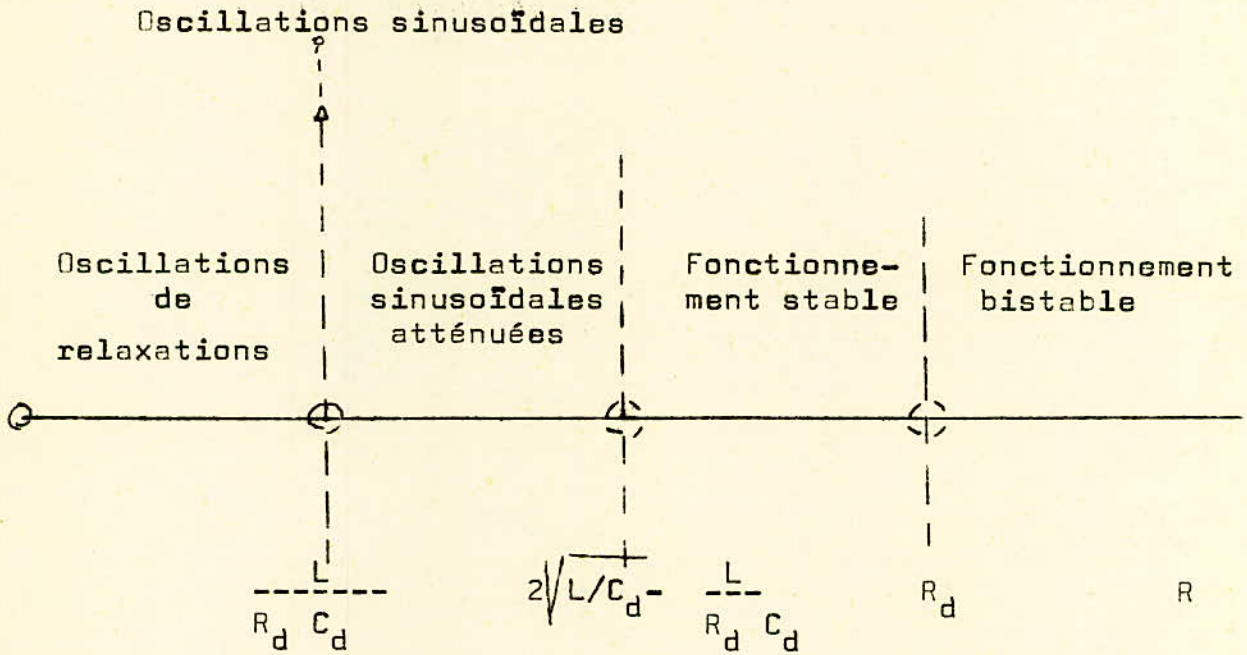
Mais cette condition est remplie si :

$$R < \frac{L}{C_d |R_d|}$$

La condition pour l'obtention des oscillations de relaxation est donc :

$$R < \frac{L}{C_d |R_d|} \quad L > C_d |R_d| R$$

En résumé on obtient la figure suivante :



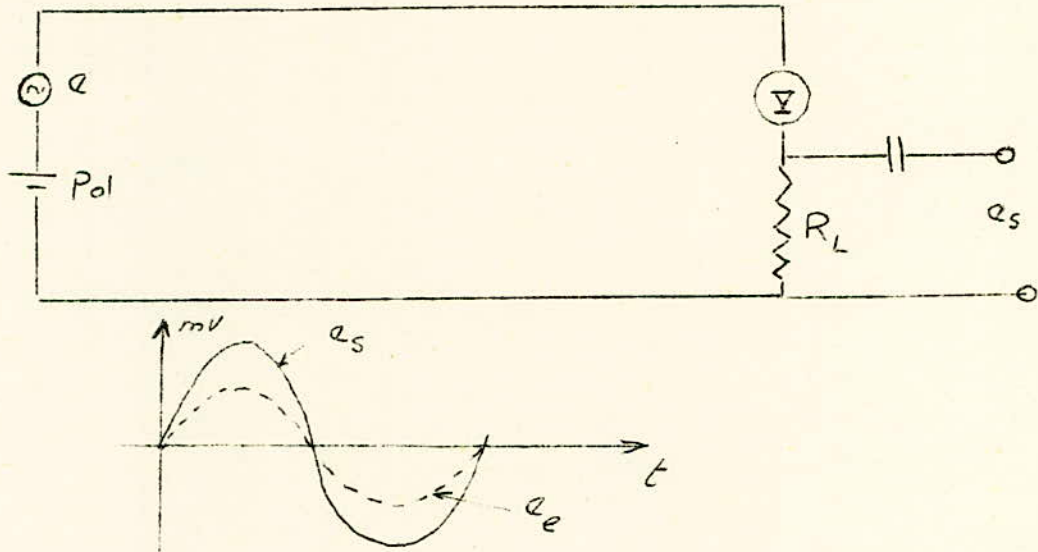
IV.- AMPLIFICATEUR A DIODE TUNNEL -

4-1 GENERALITES -

La diode peut être utilisée comme amplificateur de signaux à faible niveau, mais à des très hautes fréquences, du MHz jusqu'au GHz si on emploie des circulateurs et cavités.

4-2 AMPLIFICATEUR SERIE -

On désigne par amplificateur série, un montage amplificateur où la diode se trouve en série avec la résistance de charge et la source d'alimentation.



Les tensions à l'entrée et à la sortie sont en phase.

4-3 CIRCUIT EQUIVALENT -

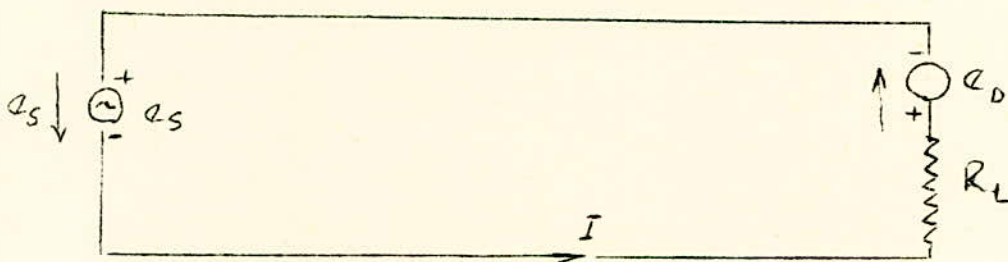
Le circuit équivalent d'un amplificateur ne tient compte que des éléments qui affectent le circuit aux fréquences de travail, c'est à dire : on fait abstraction du circuit de polarisation et on ne tient compte que des éléments qui agissent sur le signal alternatif.

.../...

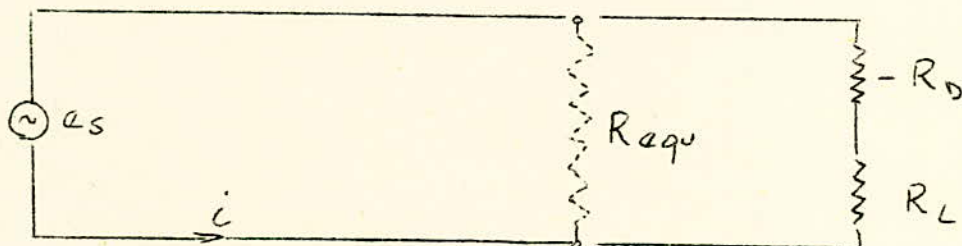
Pour les faibles fréquences une diode tunnel peut être remplacée par

a) Un générateur en phase avec la tension d'entrée et dont la valeur de la fem est égale à la valeur de la résistance négative à cette fréquence multipliée par le courant débité par la source à cette même fréquence.

Cette façon de faire n'est pas souvent utilisée parceque le signal de sortie dépend de la valeur de la tension d'entrée et la valeur e_d qui remplace la diode tunnel n'est pas une caractéristique inhérente de la diode, et en plus on ne peut pas calculer les impédances vues par la source ou la résistance de charge à partir de ce circuit équivalent.



b) Par la valeur de sa résistance négative



La diode tunnel est remplacée par la valeur de sa résistance négative R_d dans ce circuit équivalent la résistance équivalente vue par la source est :

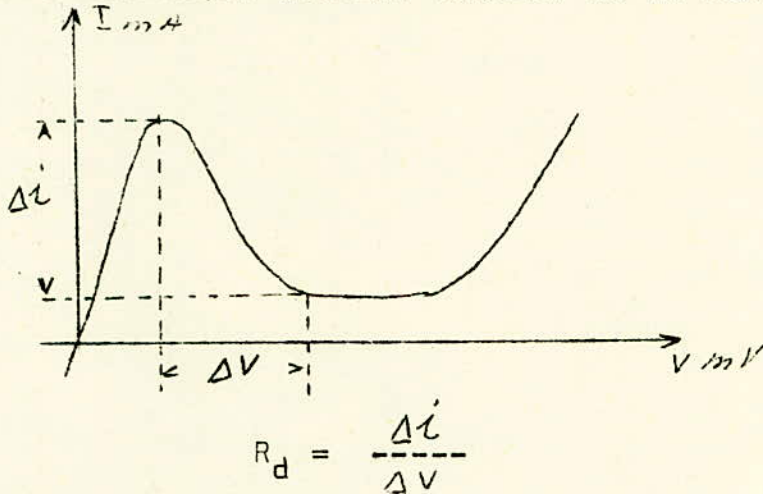
$$R_{equ} = \frac{\text{Tension d'entrée } e_s}{i \text{ courant total}}$$

.../...

La diode tunnel a pour effet la réduction de la résistance de charge

$$R_{eq} = R_L - R_d$$

Le calcul de R_d est obtenu à partir de la caractéristique courant-tension de la diode



C'est une résistance négative puisque le courant décroît avec l'augmentation de la tension.

4-4 ETUDE DU GAIN D'UN AMPLIFICATEUR -

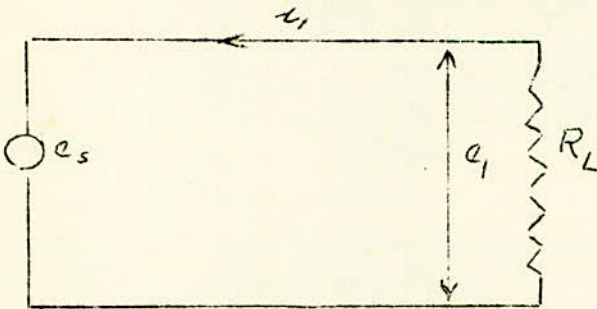


Fig 1

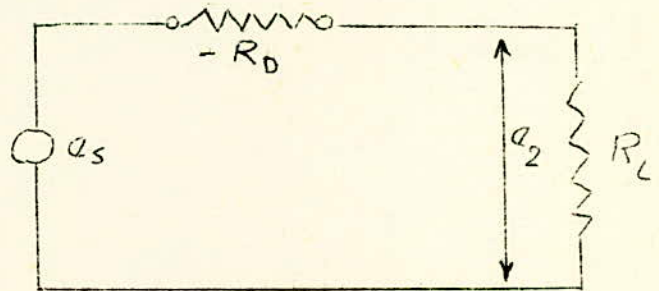


Fig 2

la fig.(1) ci-dessus montre une source de tension e_s débitant dans une résistance R_L

la fig.(2) représente la même source en série avec la diode tunnel ($- R_d$) avec la même résistance de charge R_L

.../...

a) le gain en courant

le gain en courant est défini par le rapport

$$A_i = \frac{i_2}{i_1}$$

pour la fig. (1) on a

$$e_s = i_1 R_L$$

pour la fig. (2) on a

$$e_s = i_2 (R_2 - R_d)$$

comme $e_s = e_s$

$$i_1 R_L = i_2 (R_L - R_d)$$

divisons par $i_1 (R_L - R_d)$ les 2 membres de l'équation ci-dessus il vient :

$$\frac{R_L}{R_L - R_d} = \frac{i_2}{i_1} = A_i$$

donc
$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{R_L}{R_L - R_d}$$

b) Gain en tension

Le gain en tension est défini par le rapport

$$A_v = \frac{e_2}{e_1}$$

$$e_2 = i_2 R_L$$

$$e_1 = i_1 R_L$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{R_L}{R_L - R_d}$$

c) Gain de puissance :

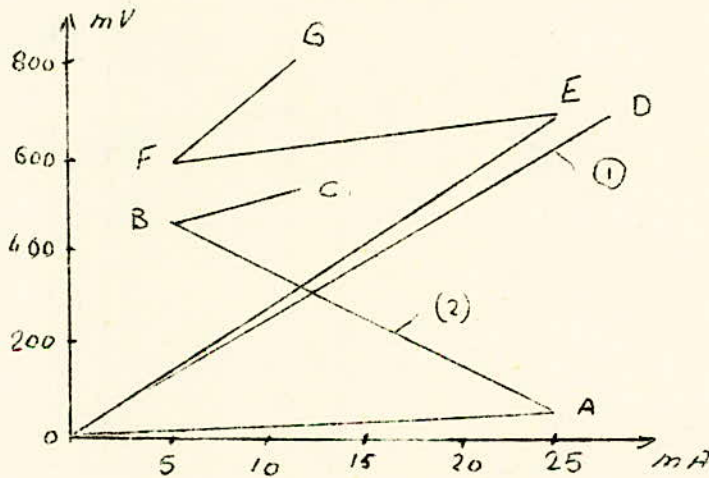
Le gain de puissance est défini par le produit

$A_i \times A_v$

$$G = A_i A_v$$

$$G = \frac{R_L}{R_L - R_d} \times \frac{R_L}{R_L - R_d} = \left(\frac{R_L}{R_L - R_d} \right)^2$$

4-5 ANALYSE GRAPHIQUE DE L'AMPLIFICATEUR SERIE -



On considère la caractéristique courant-tension de la diode tunnel et pour faciliter les additions de voltage on a placé l'axe des volts verticalement. Cette caractéristique est idéalisée par la courbe DA AB BC (la vraie courbe de la diode est fournie par le constructeur).

La droite de charge OD est obtenue par le tracé de 2 de ses points , le point O et un autre point obtenu par la relation $V = Ri$.

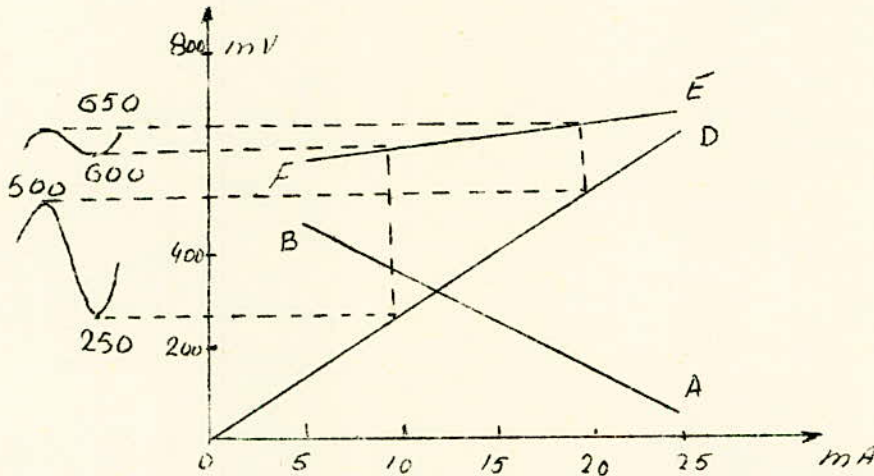
.../...

La tension totale appliquée est la somme des 2 courbes (1) et (2) cette somme est obtenue par addition de OA + OD ce qui donne OE

OD + AB donne EF

OD + BC donne FG

ce qui nous intéresse c'est l'addition de la partie AB + OD à résistance négative. Refaisons la même figure avec FE et AD et OD



Supposons appliquer une tension de 50mV pic à pic cette tension projetée sur la droite FE (somme de OD et BA) en 2 points a et b; projetons ces points a et b en a' b' sur la droite de charge OD, ces 2 points ramenés sur l'axe des volts coupent celui-ci en 500mV et 250mV ce qui donne 250mV en sortie.

Le gain est alors:

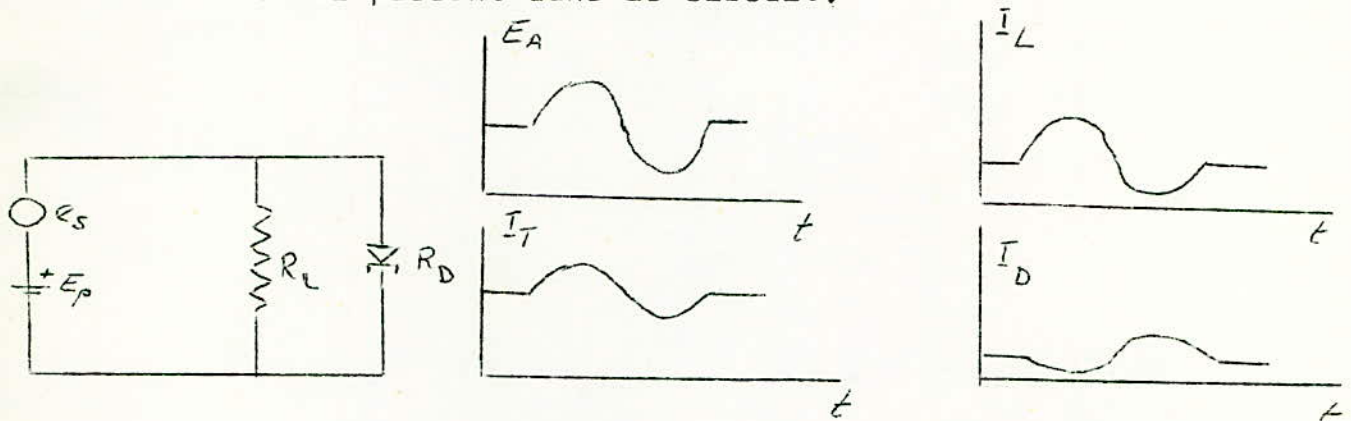
$$\frac{250}{50} = 5$$

Cette valeur concorde avec le calcul.

On peut donc connaissant la caractéristique courant-tension de la diode et la valeur de la résistance de charge trouver graphiquement le gain du montage.

4-6 AMPLIFICATEUR PARALLELE -

On peut obtenir une amplification en plaçant la diode tunnel en parallèle avec la résistance de charge; dans ce cas on considère la valeur du courant total passant dans le circuit.



La fig. montre un amplificateur à diode tunnel parallèle.

Soit E_A la tension appliquée à la diode (polarisation); plus signal à amplifier)

I_L le courant traversant la résistance de charge R_L

I_d courant traversant la diode

I_t le courant total.

Les courants d'entrée et de sortie sont en phase :
courbe (I_t et I_L)

4-7 CIRCUIT EQUIVALENT -

a) Générateur de courant : La diode peut être remplacée dans un montage parallèle par un générateur de courant i_d équivalent à la même fréquence de travail que la source qui peut être aussi remplacée par son générateur de courant (i_s) en phase avec (i_d).

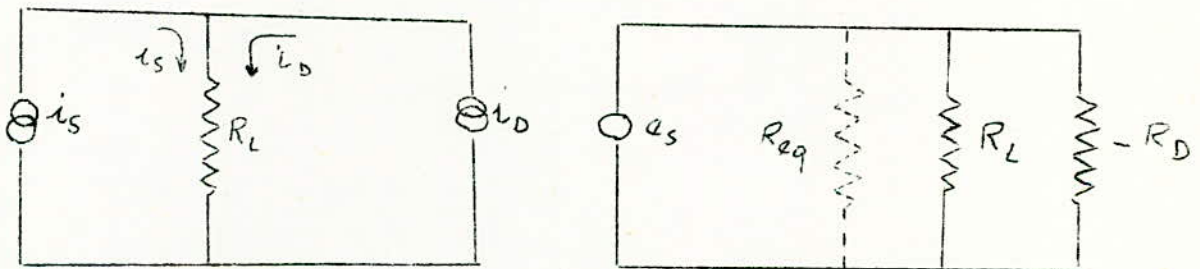
Le courant total traversant R_L est la somme de i_s et i_d . La diode peut être considérée comme un générateur de courant donc comme source d'énergie.

Cette mode de représentation ne peut être utilisée souvent puisque la valeur i_d n'est pas une caractéristique inhérente de la diode, les impédances vues par la source ou la charge ne sont pas facilement calculables.

b) Résistance négative équivalente - On peut remplacer la diode tunnel par sa résistance négative équivalente ($-R_d$).

La résistance équivalente se calcule comme suit :

$$R_{eq} = \frac{\dot{a}_s \text{ (signal de la source)}}{i_s \text{ (courant de la source)}}$$



La résistance équivalente vue par la source peut être plus grande que R_L ; or on sait que lorsqu'on combine 2 résistances parallèles on obtient une résistance plus petite; or ici on obtient une résistance plus grande cela est dû à la présence de la résistance négative.

On peut écrire :

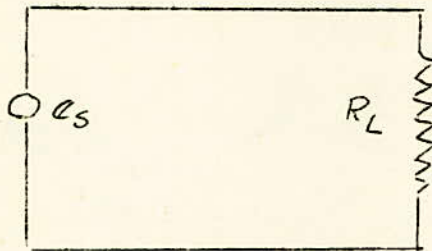
$$G_{equ} = \frac{I}{R_{eq}}$$

$$G_L = \frac{I}{R_L}$$

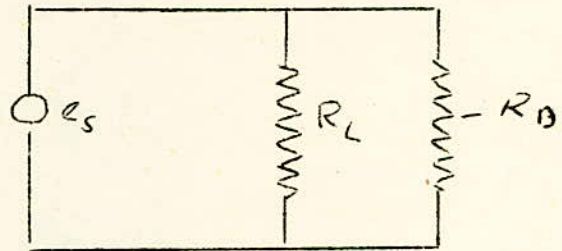
$$G_d = \frac{I}{R_d}$$

$$G_{eq} = G_L + G_d$$

4-8 ETUDE DU GAIN →



A



B

a) Gain en tension : La fig. (A) représente une source e_s avec une charge R_L . La fig. (B) représente cette même source/avec en parallèle la résistance négative $-R_d$, on voit qu'on a toujours la même tension e_s , le gain en tension se ra donc :

$$A_V = \frac{e_s}{e_s} = 1$$

b) Gain en courant : Le gain en courant sera défini par le rapport du courant i_1 fourni par la source sans la diode et le courant i_2 fourni avec la diode en parallèle sur R_L .

On peut écrire :

$$i_1 = \frac{e_s}{R_L}$$

.../...

$$i_2 = \frac{e_s}{\frac{R_L(-R_d)}{R_L - R_d}}$$

$$i_2 = \frac{e_s (R_L - R_d)}{R_L (-R_d)}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{e_s}{R_L} \frac{R_i (-R_d)}{e_s (R_L - R_d)}$$

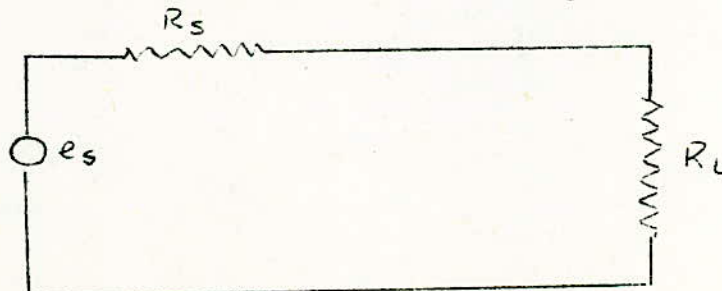
$$A_i = \frac{i_1}{i_2} = \frac{-R_d}{R_L - R_d}$$

$$A_i = \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_d}{R_d - R_L}$$

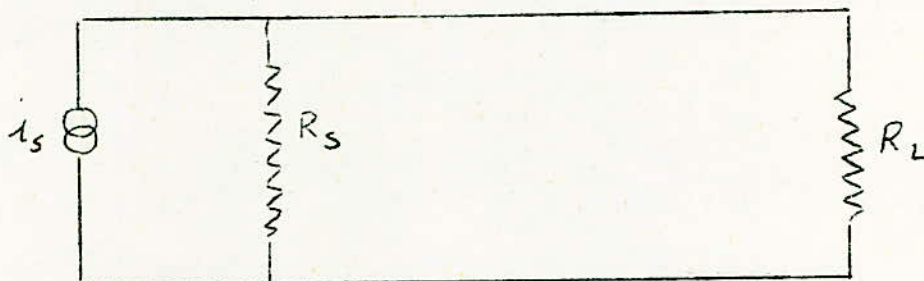
c) Gain en puissance : Le gain en puissance est le produit de $A_V \cdot A_i$ on a alors :

$$G = A_V \cdot A_i = \frac{R_d}{R_d - R_L}$$

d) Etudions les gains lorsqu'on à une source possédant une résistance interne R_s



on peut remplacer e_s et R_r par le générateur de courant équivalent il vient :



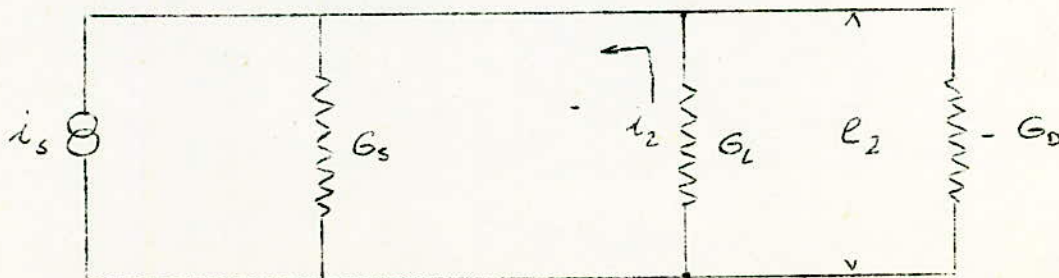
en remplaçant les résistances par les conductances il vient :



on sait que $i_s = \frac{e_s}{R_s}$ - (en court circuit)

$e_s = R_s i_s$ (circuit ouvert)

l'amplificateur présente l'allure suivante :



.../...

i_2 et e_2 représentent le courant et la tension sur G_L

a) Gain en courant:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1}$$

$$\text{or } i_2 = i_s \left(\frac{G_L}{G_L + G_s - G_d} \right)$$

$$i_1 = i_s \left(\frac{G_L}{G_L + G_s} \right)$$

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{G_L + G_s}{G_L + G_s - G_d}$$

posons $G_t = G_L + G_s$

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{G_t}{G_t - G_d}$$

$$G_t = \frac{1}{R_t}$$

$$A_i = \frac{\frac{1}{R_t}}{\frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_d}}$$

$$A_i = \frac{R_d}{R_d - R_t} \quad \text{avec } R_t = \frac{R_s R_i}{R_s + R_i}$$

b) Gain en tension :

$$A_V = \frac{e_2}{e_1}$$

$$e_2 = \frac{i_2}{G_L}$$

$$e_1 = \frac{i_1}{G_L}$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{\frac{i_2}{G_L}}{\frac{i_1}{G_L}} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{R_d}{R_d - R_t}$$

c) Gain en puissance :

$$G = A_i A_V = \left(\frac{R_d}{R_d - R_t} \right)^2$$

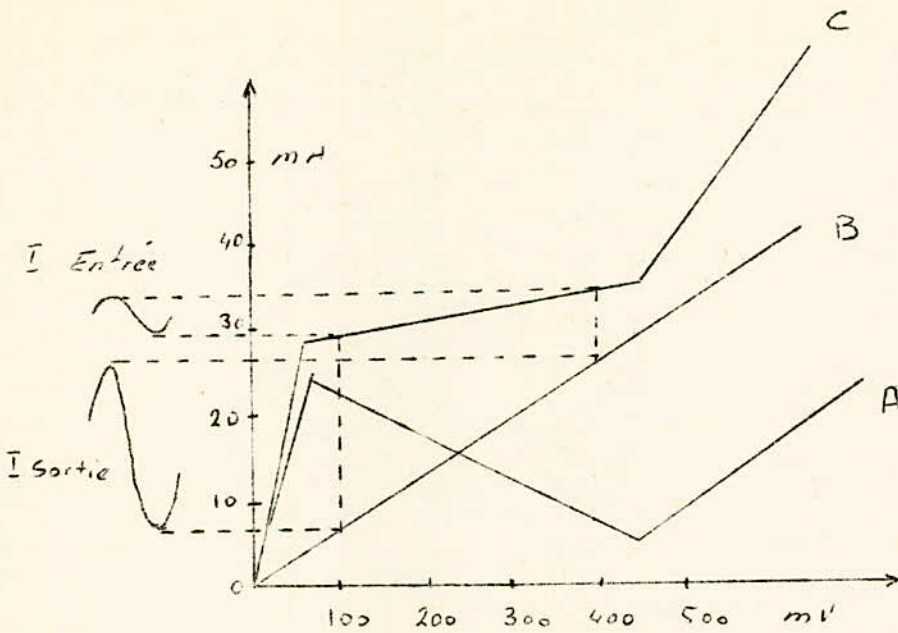
puisque $A_i = A_V$

4-9 ANALYSE GRAPHIQUE DE L'AMPLIFICATEUR PARALLELE -

L'analyse graphique peut être utilisée pour la détermination du gain en courant de l'amplificateur parallèle a diode tunnel.

Pour ce faire on additionne les 2 courbes donnant le courant à travers la charge et la diode.

Le courant d'entrée est ensuite projeté sur la courbe résultante et son effet est ramené sur la droite de charge. .../...



4-10 ADAPTATION D'IMPEDANCE -

La formule du gain de l'amplificateur série ou parallèle nous montre qu'on a un gain maximum si la résistance de charge et la résistance négative de la diode sont presque égales. (Si elles sont égales le gain est infini, il y a oscillation).

Le plus souvent dans les montages il ya une grande désadaptation aussi faut-il prévoir l'adaptation soit par transformateur ou par connexion mixte (séries parallèles).

Ces 2 méthodes ont leurs avantages et leurs inconvénients, pour le transformateur il a l'avantage du point de vue de la puissance, mais par contre il a une mauvaise réponse en fréquence. Le transformateur coûte plus cher et il est plus encombrant que les résistances. Pour la connexion mixte le plus grand inconvénient est la perte en puissance, par contre l'avantage est d'avoir un gain élevé, une bonne bande passante et une économie en pièces et en volume.

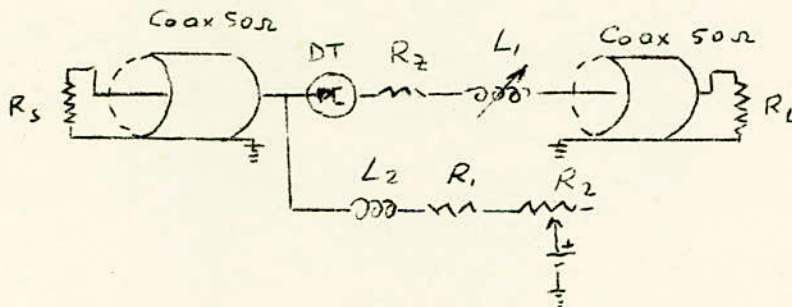
V- MONTAGES AMPLIFICATEURS A DIODE TUNNEL -

5-1 GENERALITES :

La diode tunnel possède une caractéristique à conductance négative très marquée; cette propriété lui confère des applications multiples. Ces applications s'étendent des circuits linéaires par exemple des oscillateurs sinusoïdaux et des amplificateurs aux circuits de commutation et aux circuits logiques.

5-2 AMPLIFICATEURS HAUTES FREQUENCES :

a) Le schéma montre un amplificateur de 100 MHz travaillant entre deux lignes de transmissions de 50

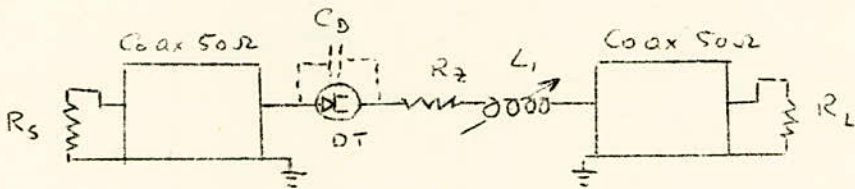


la diode utilisée possède les caractéristiques suivantes:

- 1- Courant de pic $I_p = 1,0\text{mA}$
- 2- Courant de vallée $I_v = 0,15\text{mA}$
- 3- Inductance série $L_s = 5\text{nH}$
- 4- Résistance série $R_s = 2$
- 5- Capacité de la diode $C_d = 5\text{F}$
- 6- Résistance négative $R_d = 143$
- 7- Fréquence de résonance propre $F_s = 985\text{ MHz}$
- 8- Fréquence de coupure homique $F_r = 1,9\text{ GHz}$

La diode doit être polarisée au point d'inflexion soit $I_0 = 0,7 \text{ mA}$ et $V_0 = 125 \text{ mV}$

b) Le circuit de l'amplificateur pour le courant alternatif devient alors :



R_s étant la résistance de générateur

R_z constitue une résistance d'adaptation.

L'inductance L_1 , la capacité de la jonction C_D et l'inductance L_s de la diode et les capacités parasites constituent le circuit résonnant série qui doit nous assurer la sélectivité à 100 MHz

c) Nous savons que la résistance négative de la diode diminue avec la fréquence de travail aussi pour notre diode qui doit travailler à 100 MHz sa résistance retombera de -143Ω à -118Ω à 100 MHz.

Les lignes de transmission nous imposent une résistance totale de 100Ω on doit lui ajouter la résistance de fuite soit 102Ω . Pour obtenir le gain maximum il faut adapter les 102Ω ou -118Ω de la diode il faut donc ajouter une résistance de 16Ω en série avec la diode.

d) Le circuit en courant continu est constitué par une self de choc L_2 qui a une réactance de 10.000Ω à 100MHz et 2 résistances R_1 et R_2 qui permettent

l'ajustement de la tension de polarisation de la diode au point d'inflexion.

e) Ce circuit a donné un gain de 32 db à 100 MHz avec une bande passante de 20 MHz, l'application de ce circuit comme répéteur entre 2 lignes de transmission ce circuit a l'avantage d'être bilatéral; il peut amplifier le signal dans les 2 directions.

5-3 AMPLIFICATEUR HYPERFREQUENCE -

On utilise l'amplificateur à réflexion couplé avec un circulateur.

La diode tunnel est utilisée comme terminaison réfléchissante sur l'un des accès du circulateur, les signaux qui arrivent à travers un autre accès sont réfléchis vers l'accès de la diode et dirigés sur un troisième accès.

A cause des propriétés de non réciprocity du circulateur le parcours des signaux heurtant la diode est unidirectionnel et le dispositif a par conséquent un accès d'entrée et de sortie clairement défini.

Si la diode tunnel est polarisée vers la région de résistance négative elle présentera un coefficient de réflexion supérieur à un de telle sorte que le dispositif deviendra alors un amplificateur unidirectionnel.

Dans le cas de circulateurs idéaux sans pertes parfaitement adaptés le gain en tension est égal au coefficient de réflexion à l'accès de la diode et il est donné par la formule :

$$G_v = \Gamma_v = \frac{Z_d - Z_0}{Z_d + Z_0}$$

Z_d = Impédance de l'extrémité de la diode

Z_0 = Impédance caractéristique du bras du circulateur terminé par la diode.

G_v supérieur à l'unité lorsque $R_e Z_d$ est négatif
 Z_0 réel positif. On peut contrôler le gain en
faisant varier Z_0 .

Si les désadaptations d'entrée et de sortie
sont $\Gamma_{\text{entrée}}$ et Γ_{sortie} les fluctuations du gain sur
la bande ont lieu lorsque :

$$0 < |\Gamma_{\text{entrée}} \Gamma_{\text{sortie}} \Gamma_v| < 1$$

et un fonctionnement instable peut apparaître si :

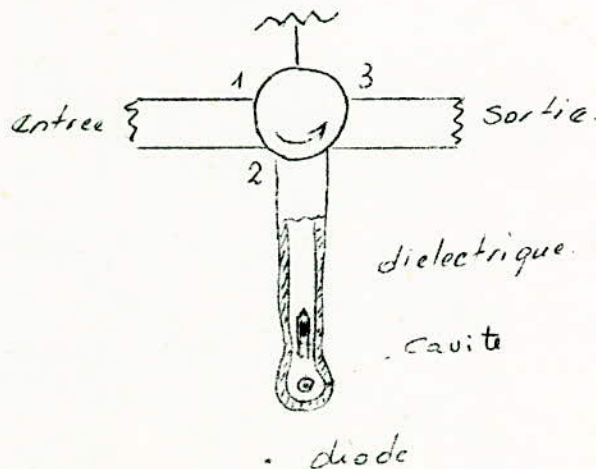
$$|\Gamma_e \Gamma_s \Gamma_v| \geq 1$$

Pour contrôler les effets de cette désadaptation
dans les amplificateurs on prend des circulateurs
à quatre ou cinq accès pour isoler la sortie de
l'entrée.

En général des circulateurs à quatre accès
qui présentent un parcours d'isolement supplémen-
taire suffisent pour assurer une stabilité inconditio-
nelle à des amplificateurs avec des gains allant jusqu'à
15 db.

Le circulateur a donc un double but.

Il permet un passage unidirectionnel des
signaux et il élimine les restrictions de charge
qu'imposent les considérations de stabilité.



Si on représente la diode tunnel comme une résistance négative avec sa capacité de jonction parallèle accordée par une inductance également parallèle le gain en tension à la résonance est:

$$G_V = \sqrt{V} = \frac{-R_d - R_0}{-R_d + R_0} = \frac{R_d + R_0}{R_d - R_0}$$

R_0 = impédance caractéristique de la ligne.

La largeur de bande s'écrit :

$$B = \frac{F_0}{Q} = \frac{F_0}{R\omega_0 C} = \frac{1}{2\pi RC}$$

avec $R = \frac{R_d R_0}{R_d - R_0}$

pour un grand gain lorsque R_d très peu différent de R_0 :

$$G_V B = \frac{2 R_0}{R_d - R_0} \cdot \frac{R_d - R_0}{2\pi R_d R_0 C} = \frac{1}{\pi R_d C}$$

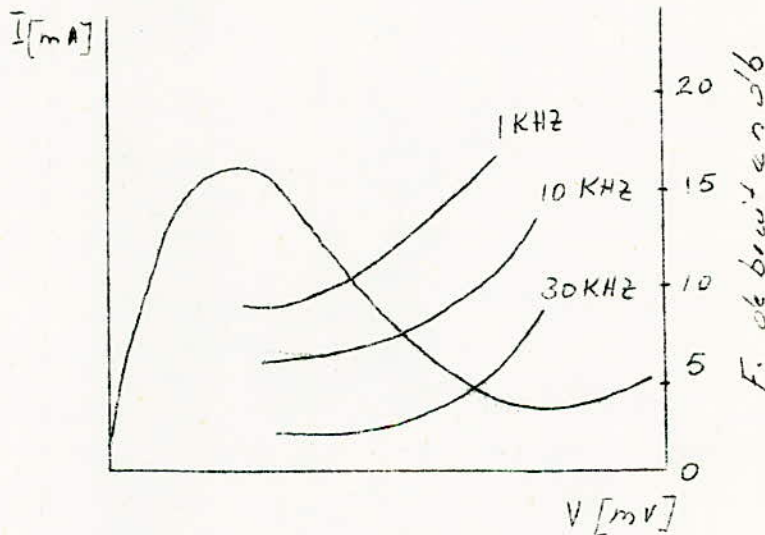
Cette expression donne le produit de la largeur de bande par le gain dans le cas le plus simple, c'est à dire grand gain réponse à accord unique négligeant la résistance et l'inductance en série.

Elle est cependant assez précise pour la gamme de gains et de largeurs de bandes utilisés par exemple gain allant de 8 à 12db. Un amplificateur typique centré à 7000 MHz peut avoir un gain de 12 db et une largeur de bande de 700 MHz .

VI.- CARACTERISTIQUES PRINCIPALES D'UN AMPLIFICATEUR A DIODE TUNNEL -

6-I LE BRUIT -

a) Bruit de grenaille : Il se manifeste pendant le déroulement de l'effet tunnel. Le bruit de grenaille peut être considéré comme résultant de l'impact des porteurs (électrons ou trous) contre la barrière de potentiel. Il semble que le bruit de grenaille est dû aux porteurs qui sont repoussés par la barrière de potentiel.



le bruit varie avec la fréquence. On voit que le bruit augmente au point correspondant au vallée de courant I_V de la diode tunnel? C'est au vallée de courant qu'il y a le maximum de déviation de porteurs par la barrière de potentiel.

b) Bruit thermique : Dans un conducteur ou une résistance les électrons libres sont en continuel mouvements, dont la vitesse dépend de la température.

.../...

Dans le circuit équivalent de la diode il y a une résistance parasite R_s ; Cette résistance est la source d'un bruit thermique.

6-2 FACTEUR DE BRUIT -

L'équation du facteur de bruit dans les amplificateurs à diode tunnel s'écrit :

$$\text{facteur de bruit} = 1 + \left[\frac{20 I_0 R_d}{1-K} + \frac{T_d}{T_0} \frac{K}{I-K} \right] \left[1 - \frac{I}{G} \right]$$

$$\text{ou } K = \frac{R_s}{R_d} \sqrt{1 - (R_d C_d)^2} \approx \frac{R_s}{R_d} + \left(\frac{F}{F_c} \right)^2$$

I_0 = courant d'utilisation (continue)

R_d = résistance négative de la diode

R_s = résistance de perte

C_d = Capacité de la jonction

F/F_c = rapport de la fréquence de fonctionnement à la fréquence de coupure.

T_d/T_0 = rapport de la température de la diode par rapport à 290°C

Si K tend vers zéro et lorsque la température de la diode et le gain de l'amplificateur diminuent le facteur de bruit s'améliore.

Dans le cas limite où K atteint zéro le facteur de bruit dans la gamme d'utilisation est donné approximativement par :

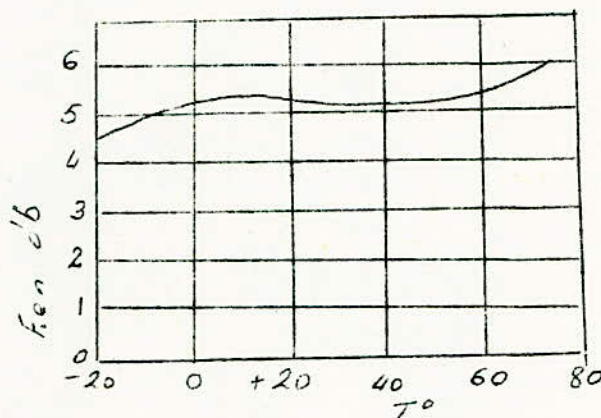
$$F_{\text{minimum}} \text{ en db} = 10 \log (1 + 20 I_0 R_d)$$

Dans cette expression $20 I_0 R_d$ est la constante de bruit de grenaille elle est approximativement égale à 1,3 pour le germanium ;

0,8 pour l'antimoniure de gallium
2,0 pour l'arseniure de gallium

Le terme fonction de la température dans l'équation du bruit indique que celui-ci est influencé par la température. Ce terme provoque une chute de bruit aux basses températures et une augmentation aux températures élevées.

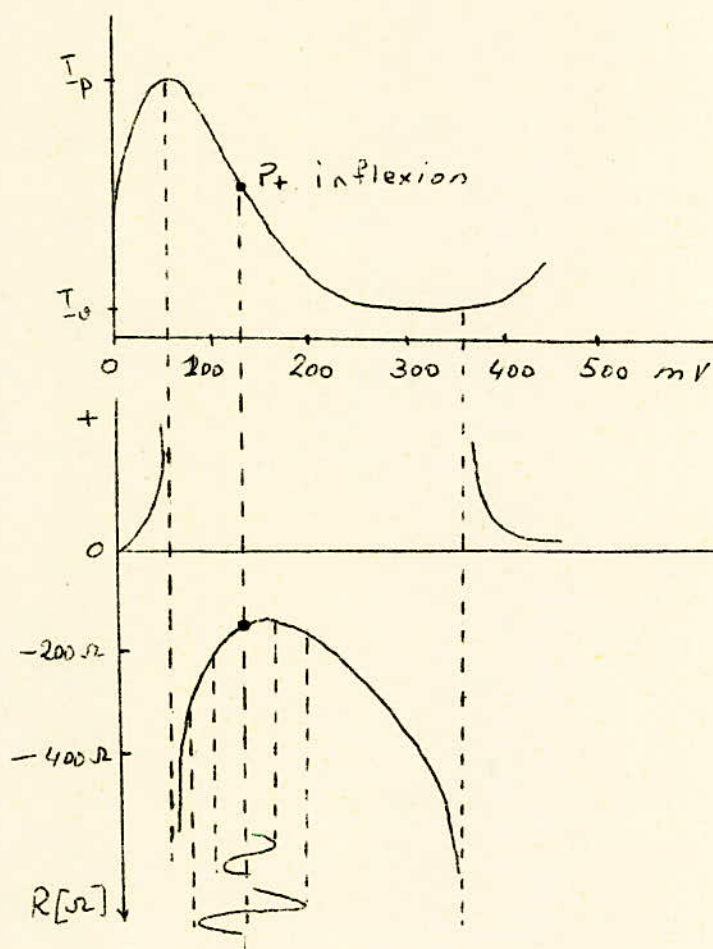
la Fig. montre la variation de facteur de bruit en fonction de la température.



On voit que le facteur de bruit est pratiquement constant dans la plus grande partie de la gamme de température où on opère habituellement.

.../...

6-3 DISTORSION -



La fig. montre la caractéristique courant-tension de la diode tunnel et la variation de la résistance en continu.

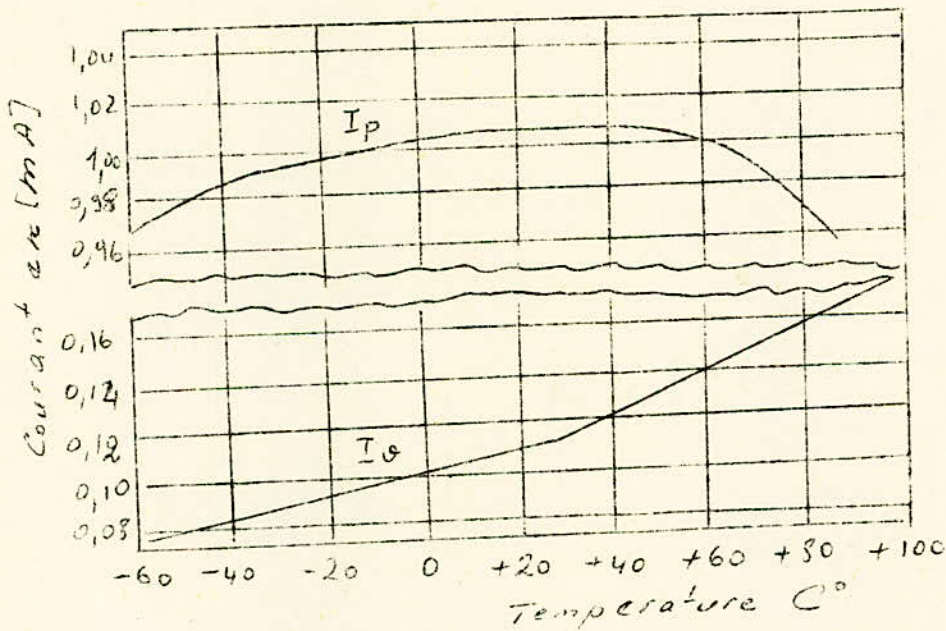
- 1- La résistance part de zéro pour atteindre une grande valeur positive.
- 2- de même que pour I
- 3- La courbe atteint un minimum au point d'inflexion pour décroître ensuite jusqu'à l'infini.

Pour un faible signal on voit que la distorsion est minimum puisqu'il n'y a pas une grande variation de la résistance négative.

Par contre pour un grand signal il y a une grande variation de la résistance négative, il y a donc apparition d'une grande distorsion puisque la résistance négative varie beaucoup autour de sa valeur au point d'inflexion.

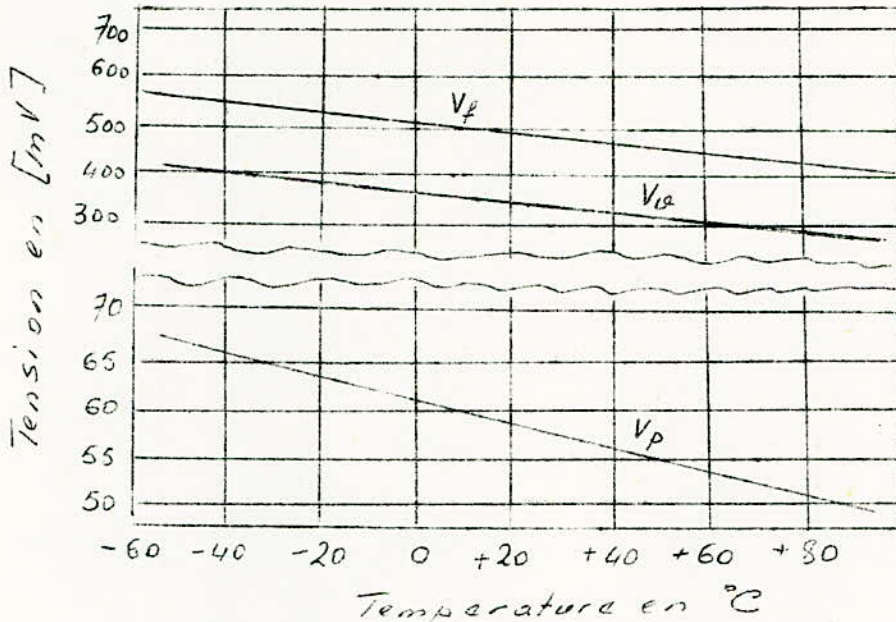
6-4 CARACTERISTIQUES DE TEMPERATURE -

a) Effet de la température sur le courant.



Le courant de pic diminue avec la température tandis que le courant de vallée augmente.

b) Effet de la température sur la tension :



La fig. montre les variations de la tension de pic, la tension de vallée, de la tension directe.

Dans tous les cas la tension diminue avec la température.

c) Effet de la température sur l'amplification: l'amplificateur est polarisé au point d'inflexion, comme ce point varie avec la température il y a apparition de distorsion notable si il y a un grand écart de température.

Nous savons que le maximum de gain est obtenu s'il y a adaptation entre la résistance négative et la charge, mais la température fait varier la résistance négative de 0,5 % par degré C, d'où variation du gain.

6-5 POLARISATION -

L'amplificateur doit être polarisé au point d'inflexion. Le gain dépend de la résistance négative de la diode; or une variation de la tension de polarisation provoque une grande variation de la résistance négative d'où variation du gain.

Pour avoir un gain stable il faut donc utiliser des sources de polarisation stabilisées.

VII.- REALISATION D'UN AMPLIFICATEUR A DIODE TUNNEL -

7-I CALCUL DES ELEMENTS -

On se propose de calculer les éléments d'un amplificateur à diode tunnel série en HF centré sur 100 MHz.

Nous disposons d'une diode tunnel au germanium du Type AEY 25 initialement prévue pour la commutation ultra rapide.

Nous allons toutefois essayer de la faire fonctionner en amplificateur pour illustrer ce que nous avons exposé ci-dessus.

Les caractéristiques de la diode type AEY 25 sont données par le constructeur ceux sont :

- Courant de pic $I_p = 4,7\text{mA}$
- Rapport $I_p/I_v = 6$
- Tension de pic $V_p = 75\text{mV}$
- Tension de vallée $V_v = 330\text{mV}$
- Capacité totale $C_t = 15\text{pF}$
- Résistance de fuite $r_s = 2,5\Omega$

D'après les données on calcule la résistance négative de la diode par la relation

$$R_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad \text{ce qui nous donne}$$

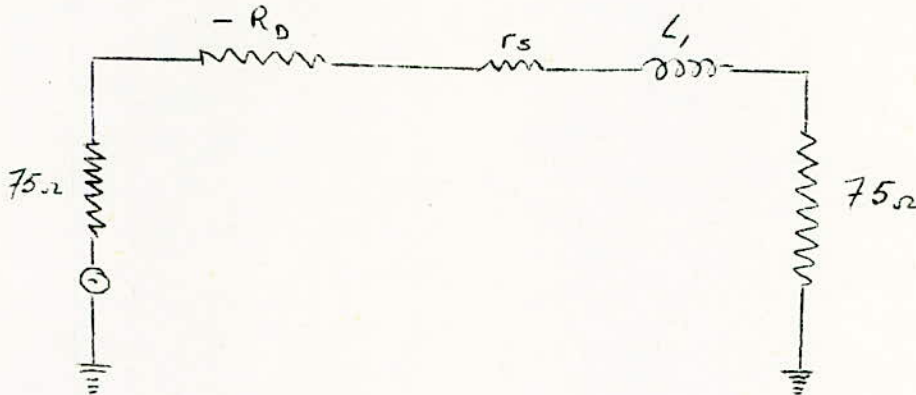
$$R_d = \frac{255}{3,92} = - 65 \Omega$$

à la fréquence de 100MHz R_d devient R_d' tel que :

$$R_d' = \frac{R_d}{(2\pi f C_d R_d)^2 + 1} = 47 \Omega$$

Le générateur nous impose une résistance interne de 75Ω , et pour faciliter donnons-nous une résistance de charge de 75Ω

Le circuit actif de l'amplificateur prend la forme suivante :



Il existe donc une forte désadaptation puisque nous avons une résistance totale de

$$75\Omega + 75\Omega + 2,5\Omega = 152,5\Omega$$

et notre diode n'a que -47Ω à 100MHZ

Nous savons que pour avoir un gain maximum il faut qu'il y est adaptation entre R_D et la résistance totale du circuit actif. Pour réaliser l'adaptation calculons la résistance R_a (résistance d'adaptation) qu'il faudrait mettre en parallèle sur la diode pour ramener sa résistance négative à $-152,5\Omega$ ou pour plus de précaution calculons l'adaptation pour -150Ω

$$\frac{-R_d R_a}{R_a - R_d} = -150 \Omega$$

$$-150 R_a + 150 R_d = -R_d R_a$$

ce qui permet d'avoir :

$$R_a = 67,5 \Omega$$

la valeur normalisée étant 68Ω

mais avec cette valeur nous aurons un

$$R_d = -152 \Omega \text{ ce qui est très près de } 152,5 \Omega$$

pour plus de sureté et pour éviter les oscillations

réduisons encore R_d en mettant $R_a = 62 \Omega$

avec cette valeur nous aurons un R_d égale à

$$\frac{-62.47}{62-47} = -147 \Omega$$

- Calculons l'inductance L qui doit nous assurer la résonance on a :

$$LC\omega^2 = 1$$

avec : C = 20 pF

$$F = 100 \text{ MHz}$$

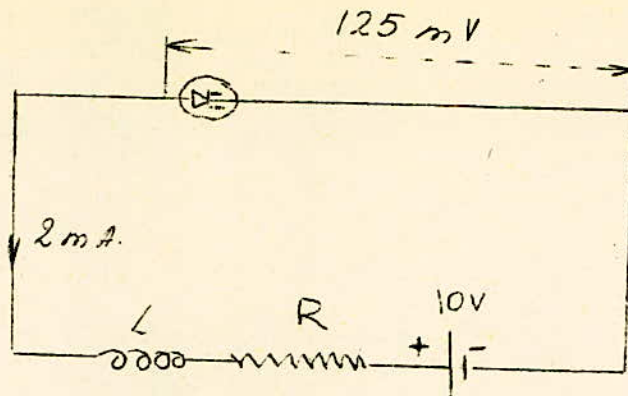
on trouve alors L = 125 nH

- CALCUL DE LA POLARISATION -

Le point d'inflexion se trouve à :

$$I_o = 2\text{mA} \quad V_o = 125\text{mV}$$

prenons une tension V = 10V

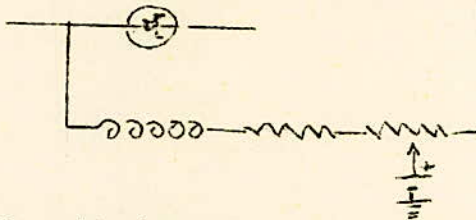


$$10V = R \times 2 \cdot 10^{-3} + 125 \cdot 10^{-3}$$

$$R = \frac{10 - 0,125}{2 \cdot 10^{-3}} = 4950 \Omega$$

$$R = 4,95 \text{ K}\Omega$$

prenons $R_1 = 4,7 \text{ K}\Omega$ le reste sera fourni par un potentiomètre ajustable de $1 \text{ K}\Omega$



Le circuit de polarisation comprendra donc :

- 2 résistances : $R_1 = 4,7 \text{ K}$
 $R_2 = 1 \text{ K}$ ajustable
- self de choc : $L_2 = 15 \mu\text{H}$
- Tension de polarisation : $V = 10 \text{ V}$

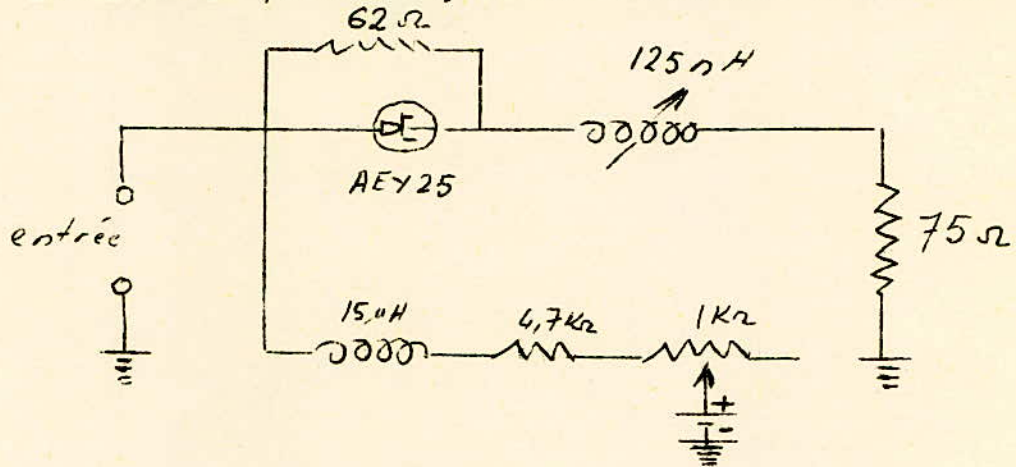
Le circuit actif comprendra :

- Self d'accord $L_1 = 125 \text{ nH}$
- Résistance d'adaptation $R_a = 62 \Omega$
- Daux résistances $R_s = 75 \Omega$
 $R_1 = 75 \Omega$

Diode tunnel AEY 25

CABLAGE -

Le montage sera fait sur une plaquette à circuit imprimé pour éviter les capacités et les inductances parasites, selon lesschémas suivants:



7-2 MESURES -

Le gain est donné par :

$$G_V = \frac{R_L}{R_L - R_d} = \frac{152,5}{152,5 - 147} = 27,8$$

C O N C L U S I O N

La diode tunnel possède des caractéristiques qui permettent son utilisation dans de nombreuses applications de l'électronique.

L'amplificateur à diode tunnel peut travailler dans les gammes hyperfréquences tout en ayant un bon gain et une large bande passante et un faible bruit de fond.

Sa durée de vie est très grande, en théorie limitée au temps de diffusion de la jonction (plusieurs millions d'heures pour le germanium).

Les dimensions, la fiabilité (si on exclue le claquage) font que l'amplificateur à diode tunnel est utilisé, et très apprécié dans les applications particulières (armées, satellites).

B I B L I O G R A P H I E

- 1- PIETERMAAT (F.) - Technique du transistor
- 2- GENTILE Sylvestre (P.) - Basic Theory And application of Tunnel Diodes.
- 3- CHASEK (NE). - Onde électrique n° 478, Janvier 1967
- 4- SHEA (R.F.) - Application des transistors