

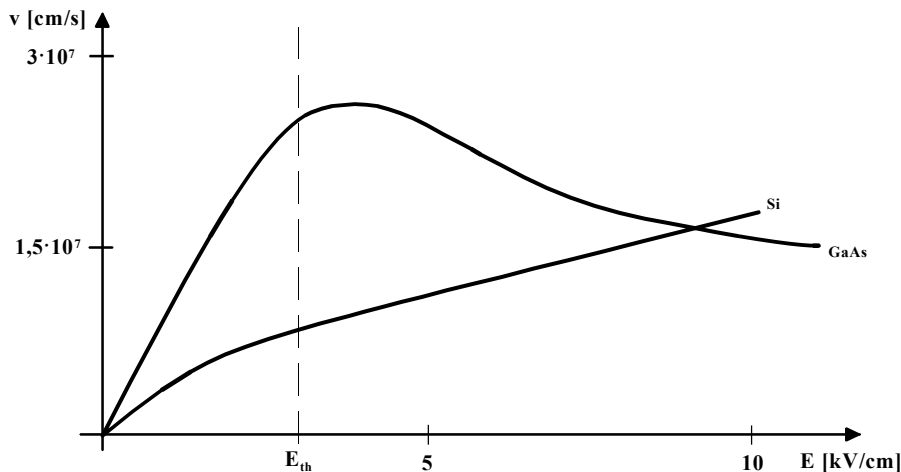
## 1 A. OSCILLATEUR A DIODE GUNN

### 1. Introduction

La diode Gunn (il ne s'agit pas à proprement parler d'une diode, mais bien d'un barreau de semiconducteur à deux accès), apparue dans les années 60-65, permet de construire des oscillateurs hyperfréquences petits, légers et bon marché, et a permis aux hyperfréquences de se répandre dans le publique (radars Doppler).

### 2. Principe de fonctionnement

La diode Gunn [1] fait partie de la famille des "TED" (Transferred Electronic Devices); elle utilise en effet la mobilité différentielle négative des électrons dans le GaAs (Arsenure de Gallium). Cette mobilité différentielle est causée par le transfert d'électrons d'une bande d'énergie à haute mobilité à une bande d'énergie à basse mobilité (voir Fig. 1.1).



**Fig. 1.1: mobilité des porteurs dans le Si et le GaAs**

Dans un barreau de GaAs polarisé dans la région de mobilité différentielle négative (voir Fig. 1.1), des charges de polarité identiques *s'attirent* et s'accumulent exponentiellement.

Toute une série de modes peuvent apparaître dans une diode Gunn; nous ne parlerons ici que du principal, "le transit time mode": un domaine (zone à excès d'électrons) généré à la cathode croît exponentiellement en se déplaçant vers l'anode sous l'effet du champ électrique appliqué au barreau, jusqu'à ce que la tension à ses bornes soit telle que le champ en dehors du domaine tombe au-dessous du seuil  $E_{th}$ ; le domaine "mûr" disparaît quand il est collecté à l'anode, et le champ dans le barreau remonte au-dessus du seuil  $E_{th}$ , un nouveau domaine est généré à la cathode, et ainsi de suite. De courtes impulsions de courant apparaissent ainsi, espacées approximativement par le temps de transit des domaines [TE vol. XIII, pp. 160-161].

Aux bornes de la diode, le courant et la tension sont déphasés de telle sorte que la diode présente une *résistance négative*.

Si on place la diode Gunn dans une cavité résonnante appropriée, on forme un oscillateur délivrant un signal à la fréquence de résonance de la cavité. La Fig. 1.2 montre le principe de l'oscillateur

utilisé dans cette expérience.

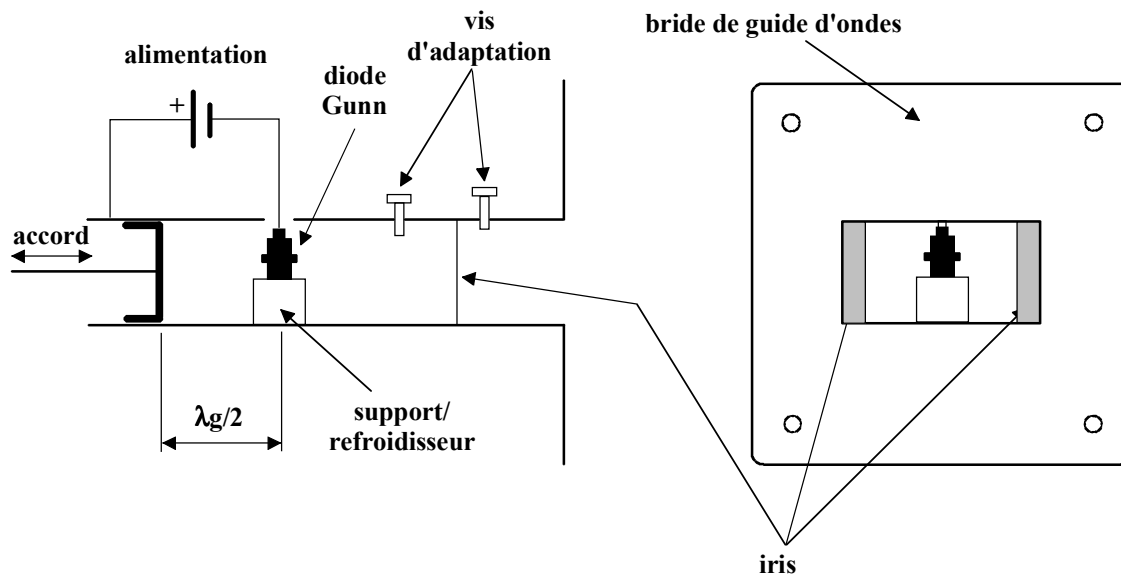


Fig. 1.2: oscillateur à diode Gunn en guide d'ondes

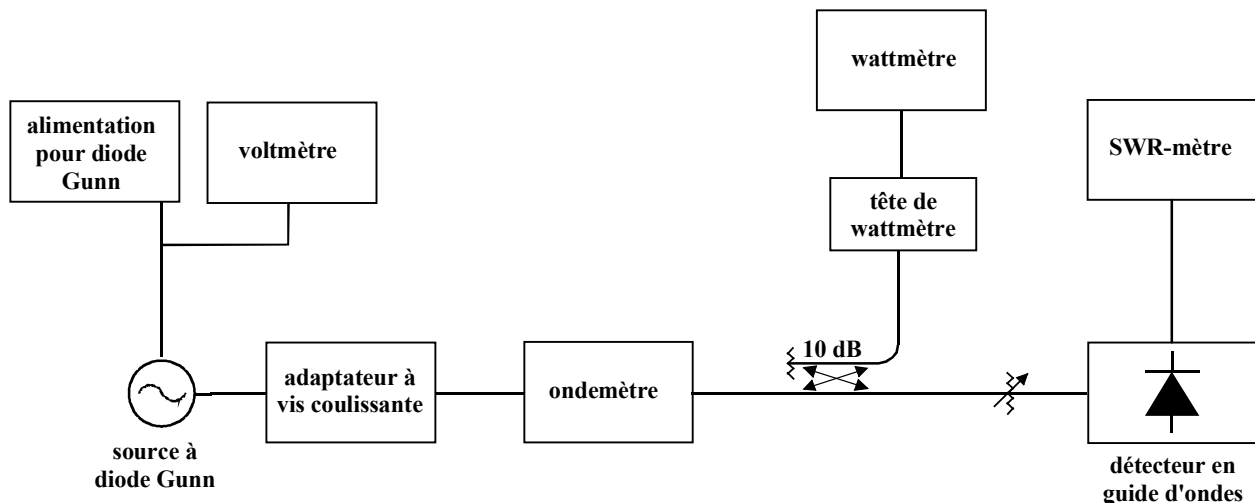
### 3. Appareils utilisés

- Alimentation pour diode Gunn Marconi 6590
- Oscillateur à diode Gunn Sivers Lab PM 7015X avec diode CXY11C
- Multimètre digital Advance DMM2.
- Adaptateur à vis coulissante HP X871A
- Coupleur directif HP X752C
- Wattmètre hyperfréquences HP 432A avec thermistor mount HP X486A
- Isolateur SIVERS LAB.PM 7041X
- Détecteur HP X424A
- Ondemètre HP X532B
- Affaiblisseur variable
- Ligne fendue HP X810B
- Charge adaptée SIVERS 7220X
- SWR-mètre HP 415E

### 4. Essais à effectuer

#### 4.1. Description du montage (Fig. 1.3)

L'oscillateur à diode Gunn à étudier est du modèle Sivers lab PM 7015X avec diode CXY11C. Il est connecté à une alimentation Marconi 6590. L'adaptateur à vis coulissante ("slide screw tuner") permet de modifier la charge vue par l'oscillateur en introduisant une réactance réglable pour la mesure du facteur de glissement. *La vis doit être retirée hors du guide d'onde pour toutes les autres mesures.*



**Fig. 1.3: banc de mesure pour l'étude de l'oscillateur à diode Gunn**

L'ondemètre mesure la fréquence d'oscillation. C'est une cavité connectée en parallèle sur le guide d'ondes, qui absorbe de la puissance à sa fréquence de résonance (indiquée sur le cadran). Cette absorption se manifeste par un "creux" (dip) enregistré par le dispositif de mesure (oscilloscope ou wattmètre).

La puissance est mesurée à l'aide d'un coupleur directionnel de 10 dB qui transmet 10% de la puissance fournie par l'oscillateur à diode Gunn à un thermistor connecté au wattmètre. Le wattmètre mesure directement la puissance incidente. Avant chaque mesure, il est nécessaire de vérifier et éventuellement d'ajuster le zéro de l'appareil sur l'échelle de mesure utilisée (dérive thermique).

#### **4.2. Mesure de la caractéristique courant-tension**

Régler l'accord de l'oscillateur à 9,5 GHz. Mettre l'alimentation à la valeur nominale (7V), enclencher les appareils. En descendant par pas de 0,5 V, mesurer le courant (sur le milliampèremètre de l'alimentation) et la tension exacte sur le multimètre digital.

*Attention: ne jamais dépasser 7 V! (Claquage de la diode Gunn).*

Tracer la caractéristique courant en fonction de la tension.

#### **4.3. Mesure de la puissance de sortie et de la fréquence en fonction de la tension**

Régler précisément l'oscillateur à la fréquence de 9,5 GHz (vérifier à l'ondemètre). Vérifier le zéro du wattmètre. A partir de la tension nominale (7 V), diminuer la tension d'alimentation par pas de 0,5 V, et noter à chaque fois la puissance correspondante, ainsi que la fréquence (*ne pas oublier de désaccorder l'ondemètre lors de la mesure de la puissance!*). Tracer les deux diagrammes: puissance en fonction de la tension d'alimentation, et fréquence en fonction de la tension d'alimentation. Que peut-on en déduire quant à la modulation d'un oscillateur à diode Gunn?

**N.B.:** les mesures des § 4.2 et 4.3 peuvent se faire simultanément ...

#### 4.4. Puissance de sortie en fonction de la fréquence

Pour cet essai, alimenter l'oscillateur à la tension nominale de 7 V. Accorder l'oscillateur à 8,5; 9; 9,5; 10 et 10,5 GHz (contrôle à l'ondemètre), et noter les puissances de sortie correspondantes. Tracer le diagramme puissance de sortie en fonction de la fréquence. Calculer le rendement de la diode Gunn dans chaque cas à l'aide de l'expression suivante :

$$\eta = \frac{P_{\text{sortie HF}}}{U_{\text{alimentation}} \cdot I_{\text{alimentation}}}$$

#### 4.5. Mesure du facteur de glissement

Effectuer cette mesure à 9 GHz. Régler la fréquence de l'oscillateur en conséquence. Pour avoir un rapport d'ondes stationnaires précis, il faut régler la vis du "slide screw tuner" à l'aide d'une mesure à la ligne fendue. Faire le montage de la Fig. 1.4, visser de quelques tours la vis du slide screw tuner, mesurer le ROS (modulation sur "1000 Hz" ! on module le signal de l'oscillateur en onde carrée afin d'avoir, après détection, un signal BF alternatif; la sensibilité et la stabilité de la mesure sont ainsi améliorées), corriger la position de la vis, et ainsi de suite jusqu'à obtenir un ROS de 2. Sans rien dérégler, réintroduire le slide screw tuner et l'oscillateur dans le montage de la Fig. 1.3, et déplacer la vis par pas de 1 mm pour déterminer les fréquences extrêmes (modulation sur "CW"). Déduire de cette mesure le facteur de glissement.

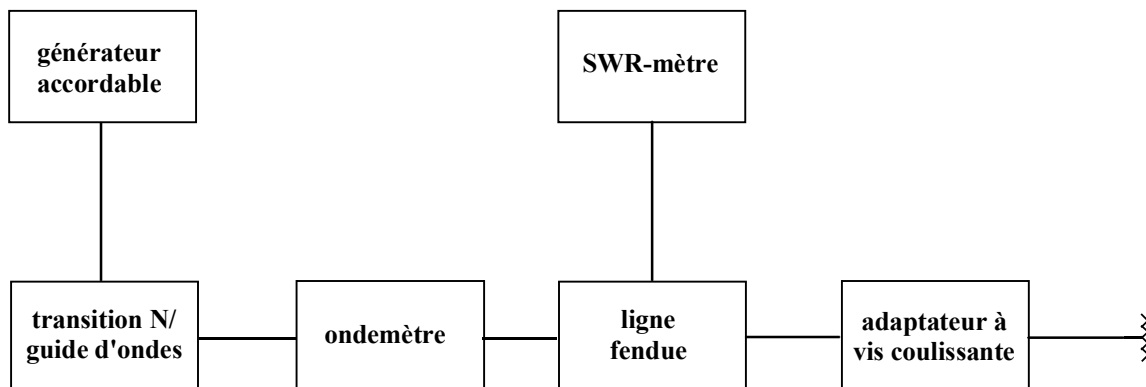


Fig. 1.4: montage pour le réglage du SWR sur l'adaptateur à vis coulissante

### 5. Conclusions sur la diode Gunn

Commenter la diode Gunn sur les points suivants :

- alimentation
- possibilité de modulation
- facilité de mise en œuvre

## 1 B. MESURE A LA LIGNE FENDUE

### 1. Introduction

Le but de cette expérience est de mesurer le coefficient de réflexion de divers obstacles placés dans un guide d'ondes rectangulaire et de déterminer leur susceptance équivalente normalisée  $B/Y_0$  à l'aide de l'abaque de Smith. Cette expérience utilise un générateur à diode Gunn du type de celui étudié dans la première partie de ce labo. Sa cavité accordable est commandée par une came entraînée par le bouton de l'affichage de fréquence. Un isolateur incorporé protège la sortie de cette source.

### 2. Rappel théorique

Une ligne fendue est un dispositif permettant la mesure du rapport d'ondes stationnaires ROS (en anglais VSWR: Voltage Standing Wave Ratio, souvent abrégé en "SWR") dans une ligne de transmission (ici un guide d'ondes). Une sonde capacitive faiblement couplée, mobile le long de la fente, prélève un signal proportionnel au champ électrique transverse et donc à  $U_i$ . En faisant varier la position de la sonde le long du guide d'ondes, on trouve des minima et des maxima de  $U_i$ ; les signaux mesurés sont proportionnels respectivement à :

$$U_{\min} = U_+ - U_- \quad U_{\max} = U_+ + U_-$$

Le rapport d'ondes stationnaires ROS est défini par :

$$\text{ROS} = (\text{V})\text{SWR} = \underline{s} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_+ + U_-}{U_+ - U_-} = \frac{1 + |\underline{\rho}|}{1 - |\underline{\rho}|} \quad (1 \leq s \leq \infty)$$

avec  $\underline{\rho}$  = coefficient de réflexion.

La phase de  $\underline{\rho}$  est obtenue par comparaison entre la position d'un minimum dû à l'obstacle considéré et la position d'un minimum dû à un court-circuit placé dans le même plan que l'obstacle. A partir de  $s$  et la de la phase de  $\underline{\rho}$ , on peut, en répétant les mesures à plusieurs fréquences, tracer l'abaque de Smith pour chacun des obstacles étudiés, et déterminer leur impédance ou admittance respective.

### 3. Appareils utilisés

- Source à diode Gunn Marconi 6058A
- Adaptateur HP X281A
- Isolateur à large bande SIVERS LAB PM 7041X
- Ondemètre HP X532B
- Affaiblisseur de précision HP X 382A
- Ligne fendue HP X 809C munie d'un comparateur de précision (1/100° mm)
- SWR-mètre HP 415E

- 3 iris et un court-circuit de référence
- Charge adaptée FMI 16/4

#### 4. Description du montage de mesure (Fig. 1.5)

Le signal hyperfréquences est fourni par une source à diode Gunn, modulable par un signal carré à environ 1 KHz. La fréquence approximative est affichée directement par un compteur mécanique, et un atténuateur à diode PIN permet d'ajouter le niveau sur une plage supérieure à 15 dB. La puissance maximale est de l'ordre de 50 mW.

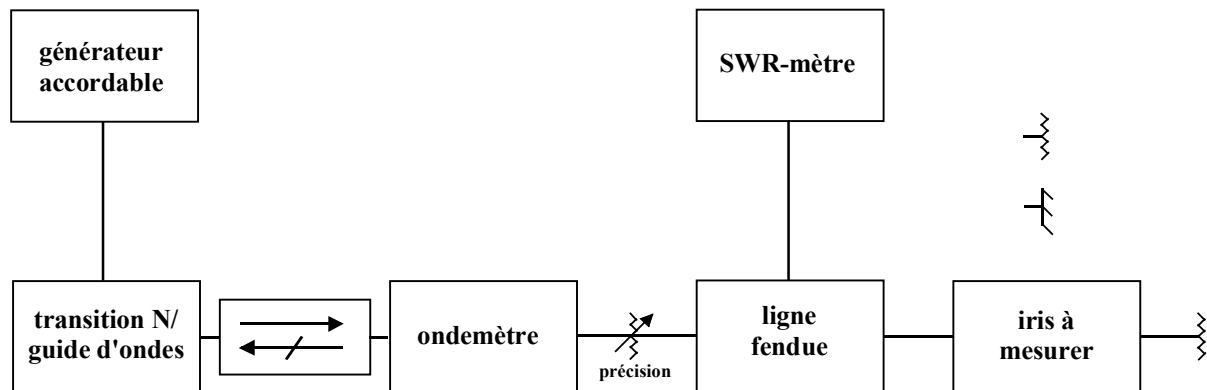


Fig. 1.5: montage pour la mesure à la ligne fendue

Le signal hyperfréquence est amené par un câble coaxial jusqu'à une transition, qui couple le signal au guide d'ondes. Un isolateur à large bande isole la source à diode Gunn des réflexions de la ligne, qui pourraient entraîner une légère modification de la fréquence.

L'ondémètre sert à la mesure précise de la fréquence. Il s'agit d'une cavité faiblement couplée au guide d'ondes, et qui absorbe de la puissance à la résonance (fréquence affichée sur le tambour). Cette absorption se manifeste par un creux ("dip") sur le dispositif de mesure (SWR-mètre).

L'affaiblisseur de précision est utilisé lors de la mesure des ROS importants.

La ligne fendue est munie d'une échelle vernier qui permet une lecture précise du déplacement, et surtout d'un comparateur à course de 50 mm permettant la mesure au  $1/100^e$  mm.

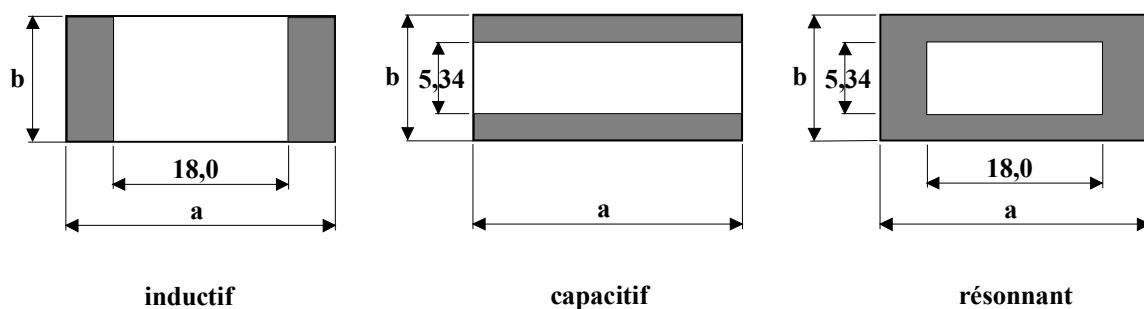


Fig. 1.6: allure des iris à mesurer (vérifier les dimensions exactes au pied à coulisse!)

L'obstacle à mesurer (iris de différents types, voir Fig. 1.6) est placé à la sortie de la ligne fendue,

suivi par une charge adaptée.

Le SWR-mètre, connecté au détecteur de la ligne fendue, comporte un amplificateur accordé sur 1 kHz et un cadran gradué directement en SWR et en dB.

## **5. Mesures**

### **5.1 Opérations**

Enclencher tous les appareils; la source à diode Gunn sur "modulation carrée"; le SWR-mètre sur "40 dB". Régler la profondeur de pénétration de la sonde de la ligne fendue à environ 0,5 mm. Régler la fréquence de modulation sur la source (ou la fréquence sur le SWR-mètre) de façon à avoir la déviation maximale de l'aiguille.

Régler la fréquence de la source à 9,5 GHz, contrôler la fréquence au moyen de l'ondemètre, réajuster si nécessaire.

Vérifier que l'on travaille bien dans la zone quadratique du détecteur: à l'aide du réglage de niveau de la source et du réglage de gain du SWR-mètre, amener l'aiguille sur "0 dB" (déviation maximale). Augmenter l'affaiblissement de 10 dB à l'aide de l'affaiblisseur variable de précision. Le SWR-mètre doit alors indiquer exactement -10 dB.

Placer l'affaiblisseur de précision sur 10 dB, le laisser dans cette position.

### **5.2. Contrôle de la charge adaptée**

Monter la *charge adaptée seule* à la sortie de la ligne fendue. En déplaçant le chariot, chercher le maximum de signal. Amener l'aiguille à "1" sur l'échelle "SWR", (commuter sur "expand", échelle rouge) à l'aide du réglage de gain. Déplacer le chariot jusqu'à un minimum et lire la valeur du SWR. Pour une bonne charge adaptée, cette valeur ne devrait pas dépasser 1,02.

### **5.3. Contrôle du court-circuit et détermination des positions des minima $X_i$**

Monter le court-circuit, et vérifier que le SWR est très élevé ( $\gg 10$ ) (commutateur du SWR-mètre sur "Norm").

*Note: Pour des  $SWR > 1,5$ , la précision de la mesure directe diminue fortement. On peut alors utiliser la méthode suivante: placer l'affaiblisseur sur une valeur  $A$  ( $A=45$  dB par exemple), chercher un maximum avec la position du chariot, amener l'aiguille du SWR-mètre à 0 dB, chercher la position d'un minimum, et ramener l'aiguille à 0 dB en diminuant l'affaiblissement à l'aide de l'affaiblisseur de précision.*

*Soit  $a$  la valeur finale de l'affaiblisseur; on a alors:*

$$ROS = SWR = 10^{(A-a)/20}$$

*La précision est celle de l'affaiblisseur.*

#### **5.4 Mesure de l'iris inductif**

Avec le court-circuit en place, contrôler encore une fois la fréquence (9,5 GHz) à l'ondemètre, sans oublier de le désaccorder après la mesure. Déplacer le chariot de la ligne fendue pour trouver un minimum de déviation de l'aiguille du SWR-mètre, augmenter la sensibilité du SWR-mètre, affiner la recherche de position du minimum, et ainsi de suite jusqu'à trouver très précisément ce minimum (une variation de quelques centièmes de mm de la position de la ligne fendue fait remonter très rapidement le signal!). Pour cette position  $x_0$ , ajuster le comparateur à l'aide de la butée à une valeur aisément mémorisable (par exemple 0,00 ou 10,00 mm). Ne plus réajuster la butée du comparateur pour toute la durée de la mesure à 9.5 GHz !

Diminuer la sensibilité du SWR-mètre, puis chercher un nouveau minimum vers la gauche en procédant comme ci-dessus. Noter la valeur précise (au 1/100<sup>e</sup>) de cette position. La distance entre les positions de 2 minima successifs donne la demi-longueur d'onde dans le guide  $\lambda_g/2$ .

Placer l'iris inductif suivi de la charge adaptée à la sortie de la ligne fendue, et mesurer la position du minimum  $x_1$  et le rapport d'ondes stationnaire  $SWR_1$

#### **5.5 Mesure de l'iris capacitif**

Procéder comme ci-dessus avec l'iris capacitif (mesure de  $SWR_2$  et  $x_2$ )

#### **5.6 Mesure de l'iris résonnant**

Procéder comme au paragraphe 5.4 avec l'iris résonnant (mesure de  $SWR_3$  et  $x_3$ ).

Calculer la fréquence de résonance de l'iris, pour laquelle l'impédance caractéristique de la section réduite est égale à l'impédance du guide d'ondes, c'est-à-dire:

$$\frac{a}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2} = \frac{a'}{b'} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a'}\right)^2}$$

avec ici:  $a' \cong 18,0 \text{ mm}$

$b' \cong 5,34 \text{ mm}$  (dimensions à vérifier, voir Fig. 1.6)

#### **5.7 Autres fréquences**

Refaire les mesures 5.2 à 5.6 pour les fréquences de 9 et 10 GHz. Il est bien évident que pour chaque fréquence, la position des minima en présence du court-circuit sera différente, il faudra donc réajuster la position de la butée du comparateur.

### **6. Tracé sur l'abaque de Smith**

#### **6.1 Calcul de la phase du coefficient de réflexion**

La phase du coefficient de réflexion  $\Phi_r$  (en fraction de  $\lambda_g$ ) se calcule par la formule:



$$\Phi_i = \frac{(x_i - x_0)}{\lambda_g} \pm 0,5 n$$

$i = 1, 2, 3$  (iris inductif, capacitif, résonnant respectivement).

On choisit  $n$  (entier) de manière à avoir:

$$-0,25 < \Phi_i < 0,25 \quad (\text{valeur principale})$$

Ici, une valeur *positive* de  $\Phi_i$  correspond à un mouvement *vers la charge* (susceptance *capacitive*).

Une valeur *négative* de  $\Phi_i$  correspond à un mouvement *vers le générateur* (susceptance *inductive*).

La phase  $\Phi_i$  et le rapport d'ondes stationnaires  $SWR_i$  correspondent à un point représentatif dans l'abaque de Smith des *impédances*. Comme les obstacles minces considérés ici introduisent des *susceptances en parallèle*, il est plus logique d'utiliser l'abaque de Smith des *admittances*, obtenue par une transformation de symétrie centrale, qui équivaut à une rotation de 0,25.

On définit alors une nouvelle phase  $\Phi_i'$ , qui vaut:

$$\Phi_i' = \Phi_i + 0,25 \quad \text{d'où: } 0 < \Phi_i' < 0,5$$

## **6.2 Tracé des admittances sur l'abaque de Smith**

A l'aide des  $SWR_i$  et des  $\Phi_i'$ , tracer sur l'abaque de Smith les admittances en fonction de la fréquence pour les divers obstacles.

Vérifier que l'on a bien des susceptances  $B_i/Y_0$  en parallèle avec la ligne de transmission. En indiquer les valeurs.

## **7. Calcul des susceptances**

A l'aide des courbes annexées, calculer les susceptances normalisées  $B_1/Y_0$  et  $B_2/Y_0$  des iris inductif et capacitif utilisés, dont les dimensions sont données à la fig. 1.6.

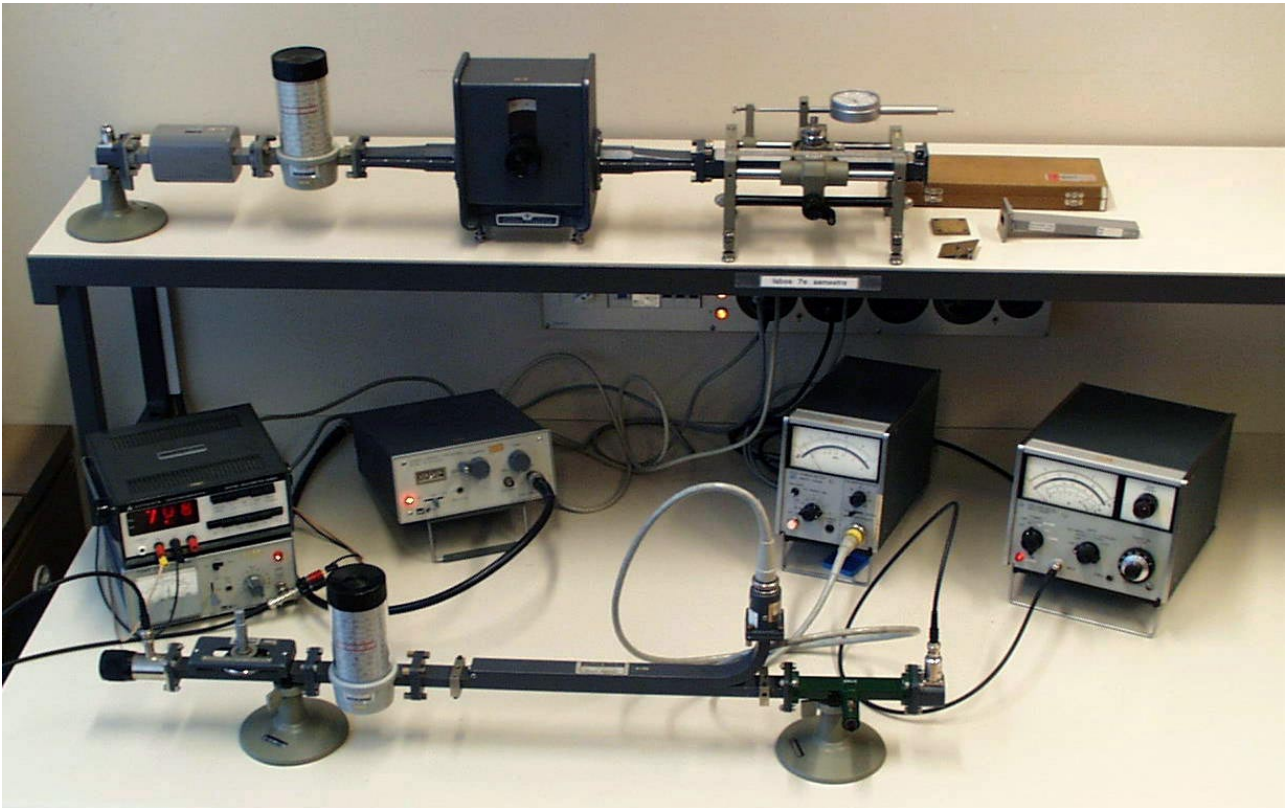
Comparer avec les valeurs obtenues expérimentalement (abaque de Smith). Comparer les valeurs mesurées de  $B_3$  avec la somme  $B_1 + B_2$ . Peut-on dire que l'iris résonnant correspond à la mise en parallèle des iris inductif et capacitif ?

**Pages suivantes:**

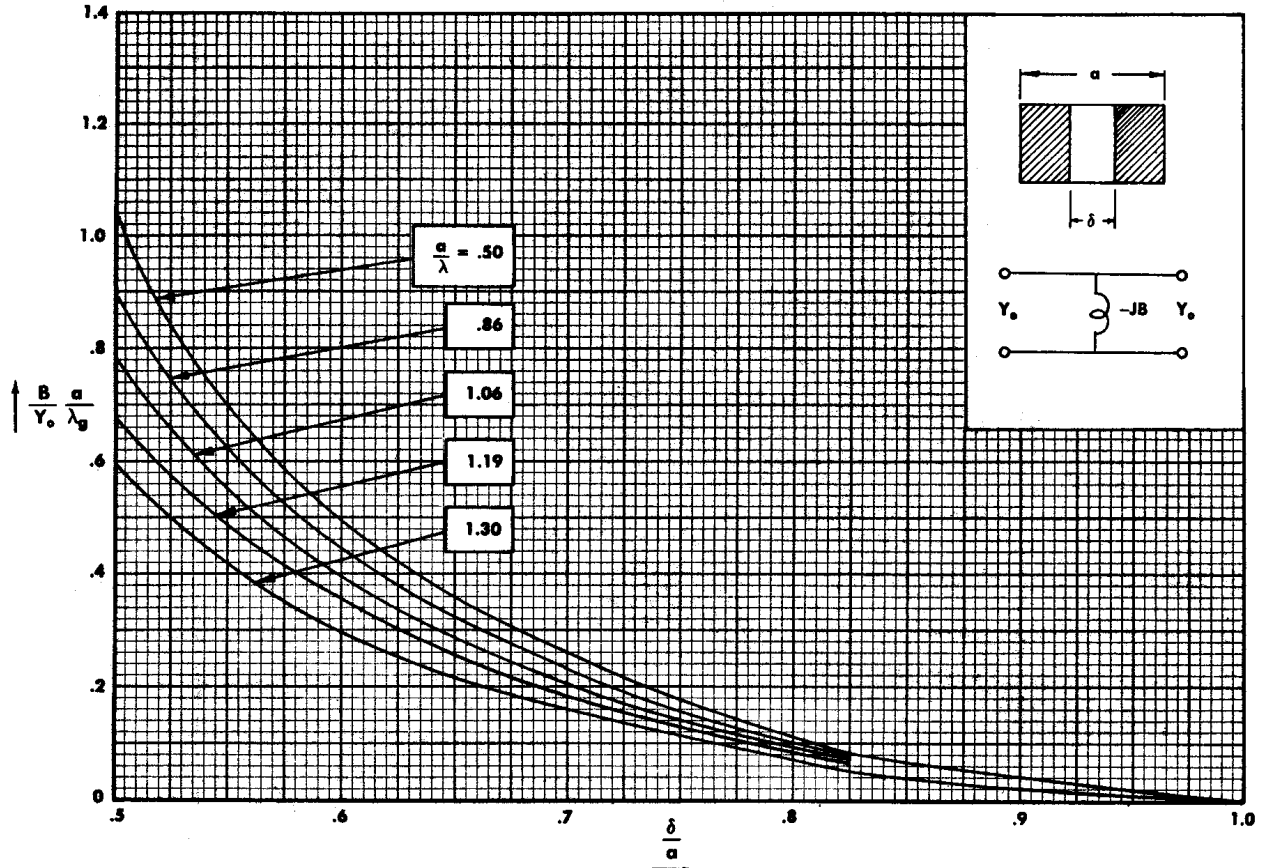
- **Abaques des susceptances d'iris symétriques en guides d'ondes**
- **Abaques de Smith normale et expansée**

## Références

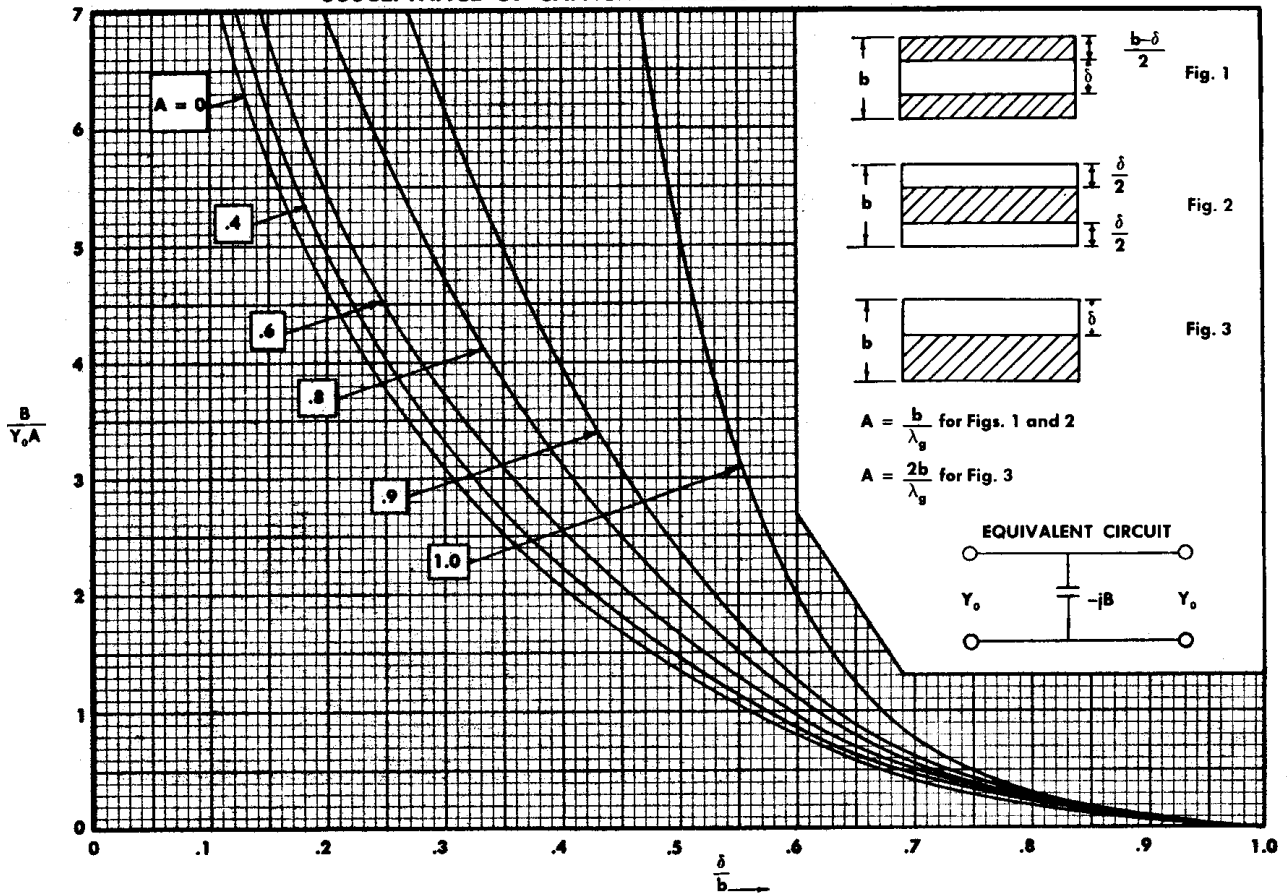
[1] F. Gardiol, Hyperfréquences, vol. XIII du Traité d'Electricité de l'EPFL, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1981, ISBN 2-604-00015-46, § 4.6 (pp. 159-164).



**SUSCEPTANCE OF TWO SYMMETRICAL IRISES IN WAVEGUIDE**

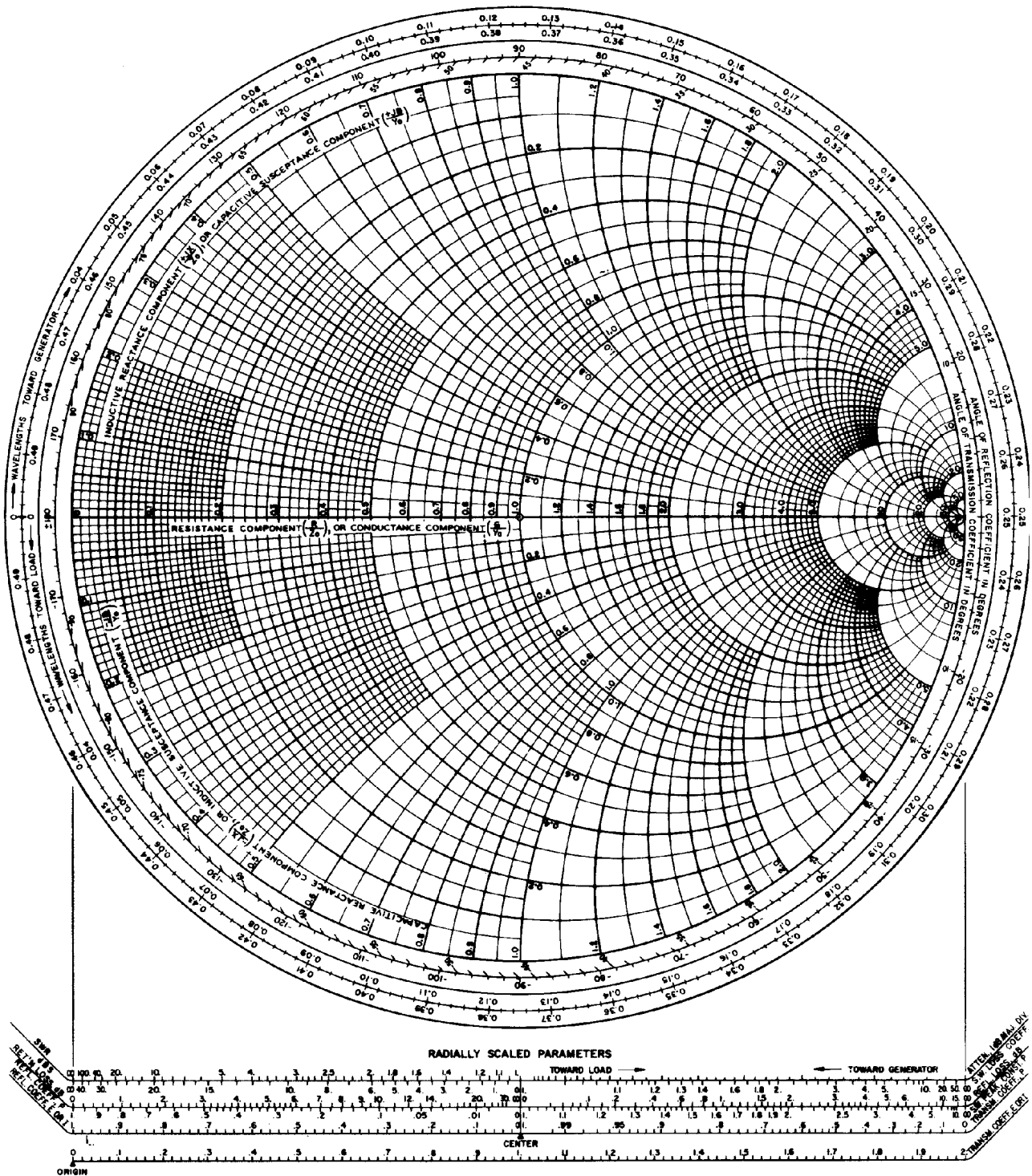


**SUSCEPTANCE OF CAPACITIVE IRISES IN WAVEGUIDE**

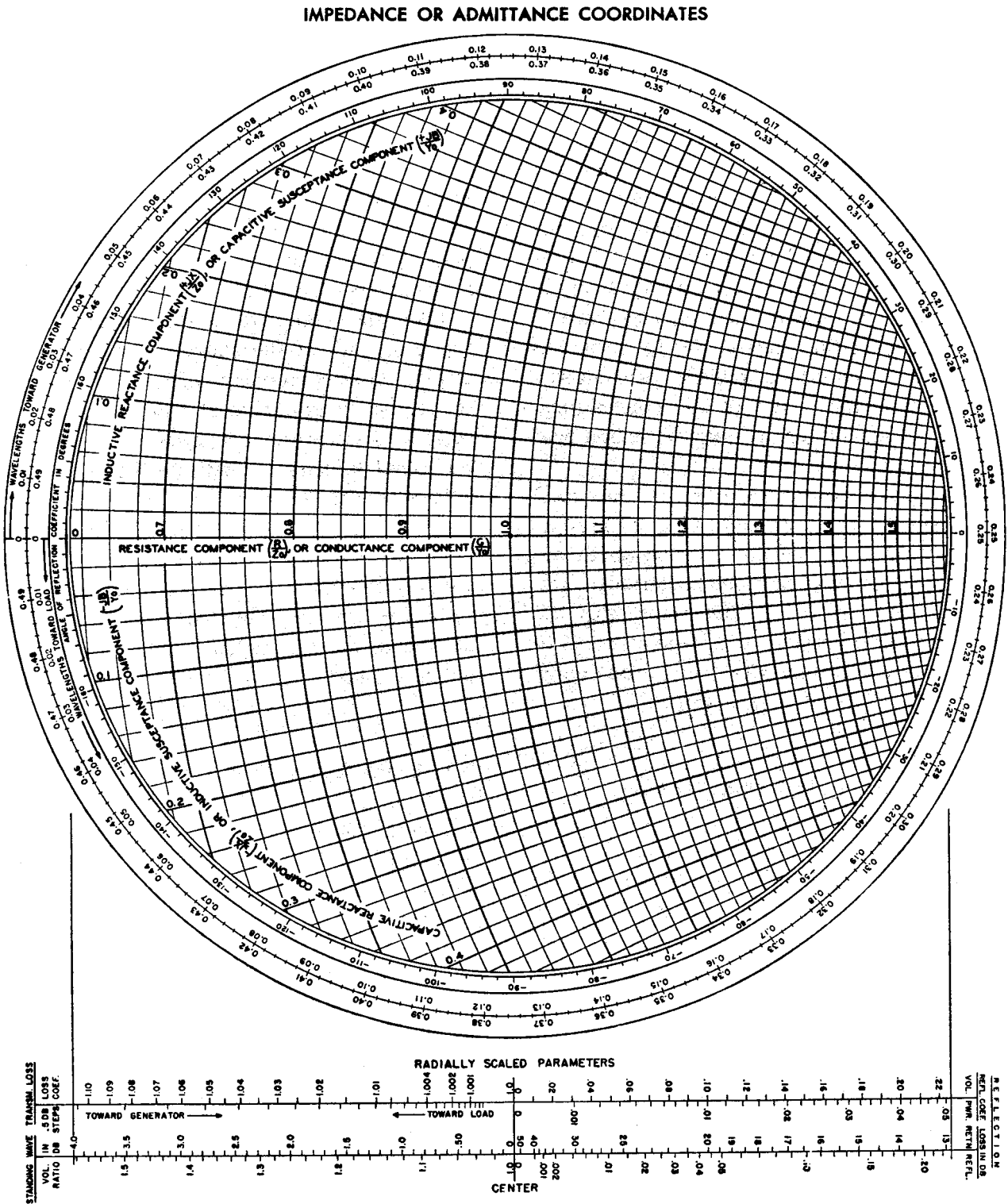


NAME	TITLE	DWG. NO. A
SMITH CHART FORM 82-BSPR (9-66)	KAY ELECTRIC COMPANY, PINE BROOK, N.J. © 1966. PRINTED IN U.S.A.	DATE

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES



Abaque de Smith standard



Abaque de Smith expansé