ENIG GCR1

ANNEE UNIVERSITAIRE 2022/2023

Responsable : Mr BENZINA.H

Durée : 2H00

Documents non autorisés.

DS Dispositifs et Systèmes Microondes 1

L'usage de calculatrices standards est autorisé. Les téléphones mobiles ou smartphone sont interdits. Ne pas oublier les unités dans vos calculs sinon ils sont faux ; une réponse parachutée est considérée comme fausse.

EXERCICES

I) Une ligne de transmission sans pertes d'impédance caractéristique Z_c=100Ω est terminée en z=L, par une impédance $\underline{Z}_L$=260-j180(Ω). Trouver :

par le calcul uniquement .

i) en z=L le coefficient de réflexion $\underline{\rho}_L$ (module et angle)

ii)le ROS.

iii)l'admittance $\underline{Y}_L$

II) (1abaque) Une ligne de transmission sans pertes d'impédance caractéristique Z_c=50Ω, fonctionnant à f= 1.15GHz, est terminée par une charge composée par une résistance R=40(Ω) en série avec une capacité de réactance -j60(Ω):

1°) i) en z=L le coefficient de réflexion $\underline{\rho}_L$.

ii)le ROS.

iii)L'impédance d'entrée à une distance 0.65λ de la charge

2°)Adapter cette ligne au moyen d'une ligne quart d'onde ;
expliquer les différentes étapes (différentes solutions possibles, les expressions et les valeurs des longueurs mises en jeux, et l' impédance de la ligne quart d'onde pour chaque solution) les réponses doivent être claires , décrites brièvement et précises.

III) Soit un guide rectangulaire rempli d'air et tel que a=7.20cm et b=4.40cm et f_o=8 GHz.

1°) Quel est le mode fondamental ? quelle est sa fréquence de coupure f_{cd}.

2°Quel est alors constante de propagation de coupure k_c pour ce mode ?

3°)Quelle est la valeur de la longueur d'onde de coupure λ_c pour ce mode ?

4°)a) quelle est la constante de propagation dans l'air libre k_0 .

b)Quelle la constante de propagation guidée β_g. Quelle est la valeur de la longueur d'onde guidée λ_g .

5°)quels sont les 5 premiers modes classés suivant leurs ordre d'apparition, avec la justification par le calcul des fréquences de coupures.

IV) Soit une jonction pn en silicium, abrupte non polarisée à T= 300 K avec des concentrations de dopage de N_A= 1,5.10^{16} cm^{-3} et N_D=1,0.$10^{15}$$cm^{-3}$.

Calculez la largeur w de la zone de charge d'espace totale, la largeur x_n de la zone de charge d'espace du côté n, la largeur x_p de la zone charge d'espace du côté p, le champ électrique extremum et le potentiel de barrière. (choisir l'ordre avec lequel chaque paramètre doit être calculé),. On donne n_i=1,45.$10^{10}$$cm^{-3}$, ε_r=11,7.

Bon travail

H.BENZINA GCR ENIG

DS corrigé DSM1 – (PC±SC) 2022-2023

(1)

I) i) $\underline{\rho}_L = \dfrac{\underline{Z}_L - Z_c}{\underline{Z}_L + Z_c} = 0,5556 - j\,0,2222$ (N1)

$= 0,5984\, e^{j(-0,3801)}$ (I) (II) (II) $\angle \rho = -21,8014°$

ii) $s = \dfrac{1+|\underline{\rho}_L|}{1-|\underline{\rho}_L|} = 3,9791$ (II) (I)

iii) $\underline{Y}_L = \dfrac{1}{\underline{Z}_L} = (2,6 + j\,1,8)\,10^{-3}\ \Omega^{-1}$ (I) (II)

II) $\underline{Z}_L = (40 - j\,60)\ \Omega$; $\underline{z}_A = \dfrac{\underline{Z}_L}{Z_c} = 0,8 - j\,1,2$ (I) (I)

1°) $|\underline{\rho}_L| \simeq 0,56$ (II) $\angle \underline{\rho}_L \simeq -66°$ (II)

ii) TOS : $s \simeq 3,6$ (II)

iii) $d_A = 0,341\lambda$; $d_B = d_A + 0,5\lambda = 0,841\lambda \hookrightarrow 0,491\lambda$ (II)

$\underline{z}_B = 0,28 - j\,0,05$ (II) $\Rightarrow \underline{Z}(L - 0,5\lambda) = (14 - j\,2,5)\ \Omega$ (II)

2°) 1ère solution $r_{c_1} \simeq 0,28$ (II) $d_1 = d_{c_1} - d_A + n\dfrac{\lambda}{2} = 0,5\lambda - 0,341\lambda + n\dfrac{\lambda}{2}$ (II) (II)

$d_1 = 0,159\lambda + n\dfrac{\lambda}{2}$ (II) ; $\lambda = \dfrac{c}{f} = 26,087\ cm$ (II)

$\dfrac{\lambda}{2} = 13,0435\ cm$ $\quad d_1 = (4,1478 + n\,13,0435)\ cm$ (II)

$Z_{x_1} = \sqrt{R_1 \times Z_c}$ (I) $\quad Z_c\sqrt{r_{c_1}} = 26,48\ \Omega$ (II)

2ème solution

$r_{c_2} \simeq 3,6$ (II) $\quad d_2 = d_{c_2} - d_A + n\dfrac{\lambda}{2} = 0,25\lambda + 0,5\lambda - 0,341\lambda + n\dfrac{\lambda}{2}$ (II)

$d_2 = 0,409\lambda + n\dfrac{\lambda}{2} \rightarrow = 10,67\ cm + n\,13,0435\ cm$ (II) (II)

$Z_{x_2} = Z_c\sqrt{r_{c_2}} = 94,9\ \Omega$ (II)

III) 1°) $k_{c_{10}} = \sqrt{\left(\dfrac{1\pi}{a}\right)^2 + \left(\dfrac{0\pi}{b}\right)^2} = \dfrac{\pi}{a} = 43,633\ rd/m$ (II)

mode fondamental : TE_{01} (II)

$f_{c_{10}} = ?$ $\quad k_{c_{10}} = \dfrac{\omega_{c_{10}}}{c} = \dfrac{2\pi f_{c_{10}}}{c} \Rightarrow f_{c_{10}} = \dfrac{c}{2\pi} k_{c_{10}} = \dfrac{c}{2\pi} \dfrac{\pi}{a} = \dfrac{c}{2a}$

(II)

H BENZINA GCR ENIG

$f_{c_{10}} = \frac{c}{2a} = 2{,}083$ GHz (//)

2°) $k_{c_{10}} = \frac{\pi}{a} = 43{,}633$ rd/m (//)

3°) $\lambda_{c_{10}} = \frac{2\pi}{k_{c_{10}}} = 14{,}40$ cm (//)

4°) a) $k_0 = \frac{2\pi f_0}{c} = 167{,}55$ rd/m (//)

b) $\beta_{g_{10}} = \sqrt{k_0^2 - k_{c_{10}}^2} = 161{,}77$ rd/m (//)

$\lambda_{g_{10}} = \frac{2\pi}{\beta_{g_{10}}} = 3{,}88$ cm (//)

5°) Les 5 premiers modes

n \ m	0	1	2
0	X	43,63 / 2,08 GHz	87,27 / 4,17 GHz
1	71,40 / 3,409 GHz	83,67 / 3,995 GHz	
2	142,8 / 6,82 GHz	149,32 / 7,13 GHz	

	TE_{10}	TE_{01}	TE_{11} TM_{11}	TE_{20}
k_c	43,63	71,40	83,67	87,27
$f_{c_{10}}$ (GHz)	2,08	3,409	3,995	4,17

ordre correct (//)

valeurs correctes (//)

87

IV) $V_b = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} = 0{,}0259 \ln \frac{1{,}5 \cdot 10^{16} \times 1{,}0 \cdot 10^{15}}{(1{,}45 \cdot 10^{10})^2} = 0{,}6473$ V (//)

$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_b}{q}\left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D}\right)} = 9{,}415 \cdot 10^{-5}$ cm (//) $\quad W_{Si}^2 = 8{,}94 \cdot 10^{-9}$ cm^2

$W = x_n + x_p$ (/) $\quad N_A x_p = N_D x_n$ (/) $\Rightarrow x_n = \frac{N_A}{N_D} x_p \Rightarrow W = \left(\frac{N_A}{N_D} + 1\right) x_p$ (//)

$\Rightarrow x_p = \frac{W N_D}{N_A + N_D}$ (//) de même $x_n = \frac{W N_A}{N_A + N_D}$ (//)

A.N $x_n = 5{,}91 \cdot 10^{-5}$ cm (//) ; $x_p = 8{,}86 \cdot 10^{-5}$ cm (//)

H BENZINA GCR ENIG

$|E_{min}| = \frac{2V_b}{w} = 1{,}37\,10^{+4}$ V/cm

(1) (11) 20

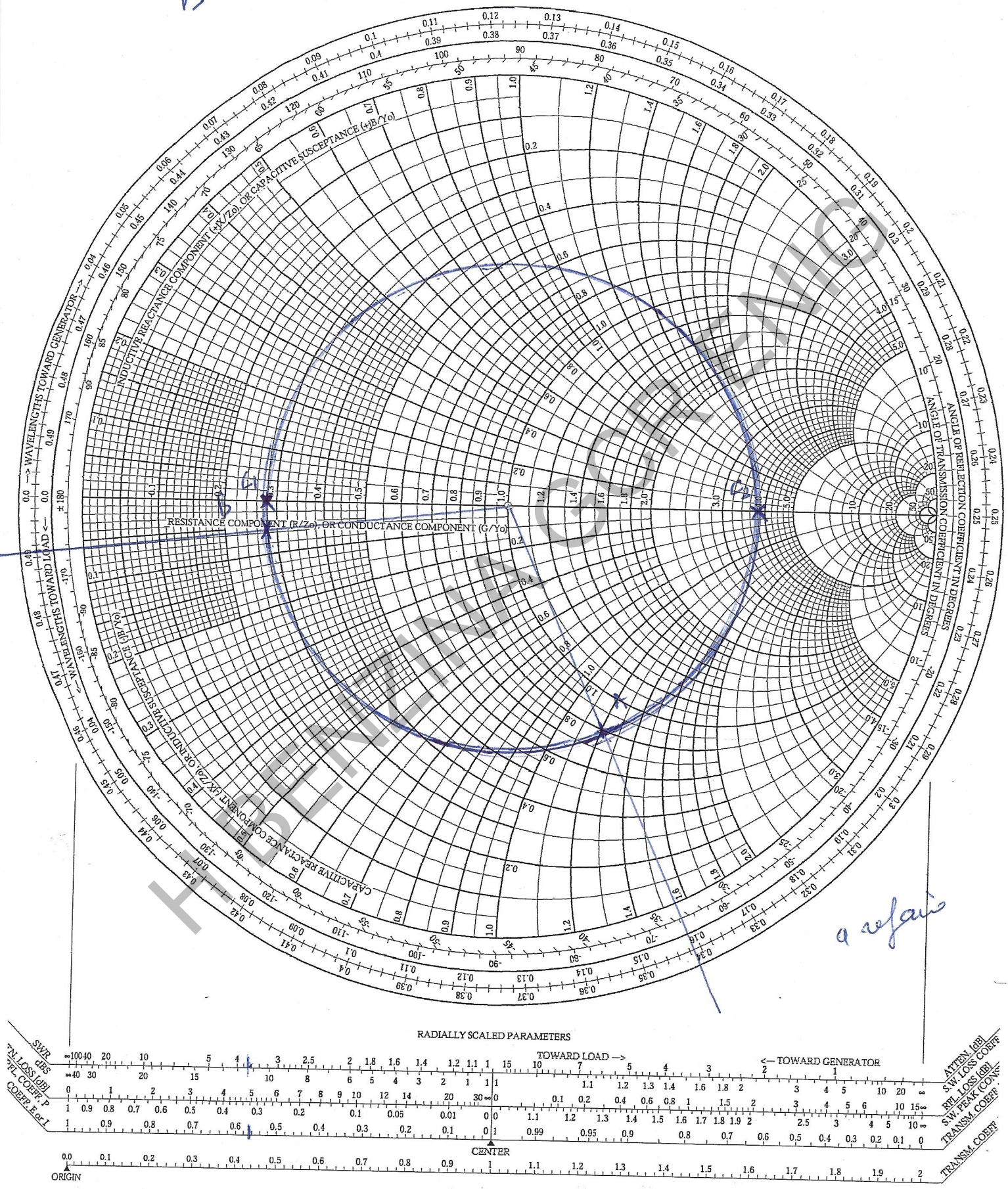
(3)

total 107 pts → 1 pt = 0,2 nota sm 24

→ 0,27 ⟹ nota sm 28,89

H BENZINA GCR ENIG

The Complete Smith Chart



FORMULAIRE SEMICONDUCTEURS

Densité des états d'énergie :

$$\begin{cases} D(E) = 0 & dans\ la B.I \\ D_n(E) = 4\pi\left(\frac{2m_n}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}(E-E_C)^{\frac{1}{2}} & dans\ la\ BdC \\ D_p(E) = 4\pi\left(\frac{2m_p}{h^2}\right)^{3/2}(E_V-E)^{1/2} & dans\ la\ BdV \end{cases}$$

Extrait du tableau périodique :

Période	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
						He
1	B	C	N	O	F	Ne
2	Al	Si	P	S	Cl	Ar
3	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
4	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
5	Ti	Pb	Bi	Po	At	Rn
6						
7						

Constantes :

Masse de l'électron libre : $m_0=9,11.10^{-31}$kg ;
Constante de planck : $h=6,625.10^{-34}$J.s
Constante de Boltzman : $k=1,38.10^{-23}$ J/K
Charge de lélectron : $q=1,6.10^{-19}$C.
Permittivité du vide : $\varepsilon_0=8,854.10^{-12}$ F/m

Fonction de distribution de Fermi-Dirac:

$$F_n(E)=\frac{1}{1+\exp\left[\frac{E-E_F}{kT}\right]}\ ;\ kT=0,0259\,eV\ à\ 300K$$

$$\int_0^\infty x^{1/2}e^{-x}dx=\frac{\sqrt{\pi}}{2}\ ;$$

Semiconducteur intrinsèque :

$$E_F=\frac{E_C+E_V}{2}+\frac{kT}{2}Log(\frac{N_V}{N_C})\ ;\ n_i=\sqrt{N_C N_V}\exp-\frac{E_g}{2kT}$$

Semiconducteur extrintrinsèque :

Cas usuel !

Type N : $n_n \approx N_D$; $p_n \approx {n_i}^2/N_D$

Type P : $p_p \approx N_A$; $n_p \approx {n_i}^2/N_A$

Loi d'action de masse : $np={n_i}^2$

Conduction dans les semiconducteurs :

$$\langle E_{cn}\rangle=\frac{3}{2}kT\ ;\ l_n=\tau_n v^*_{thn}\ ;\ l_p=\tau_p v^*_{thp}$$

$$\vec{v}_{dn}=-\mu_n\vec{E}\ ;\ \mu_n=\frac{q\tau_n}{m_n}\ ;$$

$$\vec{v}_{dp}=\mu_p\vec{E}\ ;\ \mu_p=\frac{q\tau_p}{m_p}\ ;$$

Loi d'Ohm microscopique :

$$\vec{J}_c=q(n\mu_n+p\mu_p)\vec{E}\ ;$$

Courant de diffusion pour les électrons:

$$\vec{J}_n(x)=qD_n\,\vec{grad}(n)$$

Loi d'Einstein : $\frac{D_n}{\mu_n}=\frac{D_p}{\mu_p}=\frac{kT}{q}$

Cas général pour les trous :

$$\vec{J}_p(x)=\mu_p\left(qp\vec{E}-kT\,\vec{grad}(p)\right)$$

Génération- recombinaison des porteurs :

Régime de faible injection

$\Rightarrow \Delta n=\Delta p \ll N_D$ pour un sc de type N

pour un sc de type N (cas de recombinaison directe), on a :

$$\frac{dp_n}{dt}=G-R=G_L+G_{th}-R=G_L-U;\ U=R-G_{th}$$

U : taux net de recombinaison

En régime stationnaire et de faible injection : $G_L=U=\frac{p_n-p_{n0}}{\tau_p}$

Equation de continuité :

$$\frac{\partial n_p}{\partial t}=\mu_n\frac{\partial n_p}{\partial x}E+\mu_n n_p\frac{\partial E}{\partial x}+D_n\frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2}+G_n-\frac{n_p-n_{p0}}{\tau_n}$$

JONCTION PN

Equation de Poisson:

$$E=-\frac{d\psi}{dx}\ ;\ div\,\vec{E}=\frac{\rho}{\varepsilon}$$

$$p=n_i\exp[(E_i-E_F)/kT]$$

$$n=n_i\exp[(E_F-E_i)/kT]\ ;$$

$$\frac{dE_F}{dx}=0\ ;\ V_b=\frac{kT}{q}Ln\frac{N_A N_D}{n_i^2}\ ;$$

Hypothèses : Dans la RCE on a : n« et p« ;
Dans les régions neutres, on a E=0 ;

Cas d'une jonction abrupte :

Jonction non polarisée :

$$\rho(x)=\begin{cases}-qN_A\ pour\ -x_p\le x<0\\ qN_D\ pour\ 0<x\le x_n\\ 0\qquad ailleurs\end{cases}$$

Neutralité électrique :
$x_nN_D=x_pN_A$
Champ électrique :
$E(x)=-\frac{qN_D}{\varepsilon}(x_n-x)$ pour $0\le x\le x_n$
Relation entre V_b et E_{min} :
$V_b=(|E_{min}|.W)/2$
Largeur de la zone de déplétion :
$W=\left[\frac{2\varepsilon V_b}{q}\left(\frac{N_A+N_D}{N_AN_D}\right)\right]^{1/2}$

Jonction polarisée :
On remplace V_b par V_b-V
$V=V_F$ dans le cas de polarisation directe.
$V=-V_R$ dans le cas de polarisation inverse.

H BENZINA GCR ENIG

LES LIGNES DE TRANSMISSION

$$\frac{\partial \underline{U}}{\partial z} = -R'\underline{I} - L'\frac{\partial \underline{I}}{\partial t} \; ; \; \frac{\partial \underline{I}}{\partial z} = -G'\underline{U} - C'\frac{\partial \underline{U}}{\partial t}$$

Equations des télégraphistes

$$\frac{\partial^2 \underline{U}}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \underline{U}}{\partial t^2} L'C' - \frac{\partial \underline{U}}{\partial t}[R'C' + L'G'] - R'G'\underline{U} = 0$$

Régime sinusoïdal

$$\underline{U}(z,t) = \underline{u}(z)e^{j\omega t} \; ; \frac{\partial \underline{u}}{\partial z} = -(R' + j\omega L')\underline{i} \; ;$$

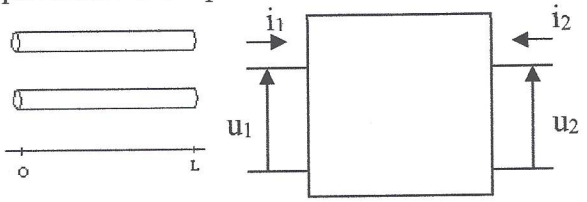
$$\frac{\partial \underline{i}}{\partial z} = -(G' + j\omega C')\underline{u} \; ; \frac{\partial^2 \underline{u}}{\partial z^2} = (R' + j\omega L')(G' + j\omega C')\underline{u}$$

$$\underline{\gamma} = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} = \alpha + j\beta$$

$$\underline{u}(z) = \underline{u}_+ e^{-\underline{\gamma} z} + \underline{u}_- e^{+\underline{\gamma} z} \; ; \underline{i}(z) = \underline{Y}_c(\underline{u}_+ e^{-\underline{\gamma} z} - \underline{u}_- e^{+\underline{\gamma} z})$$

$$\underline{Z}_c = \frac{\underline{u}_+}{\underline{i}_+} = -\frac{\underline{u}_-}{\underline{i}_-} = \sqrt{\frac{(R' + j\omega L')}{(G' + j\omega C')}}$$

Une ligne de transmission de longueur L est équivalente à un quadripôle :



$$\begin{pmatrix} \underline{u}_2 \\ \underline{i}_2 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \cosh(\underline{\gamma} L) & -\underline{Z}_c \sinh(\underline{\gamma} L) \\ -\underline{Y}_c \sinh(\underline{\gamma} L) & \cosh(\underline{\gamma} L) \end{pmatrix}}_{\text{matrice de chaine}} \begin{pmatrix} \underline{u}_1 \\ \underline{i}_1 \end{pmatrix}$$

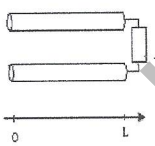
Coefficient de reflection :

$$\underline{\rho}(z) = \frac{\underline{u}_-}{\underline{u}_+} e^{2\underline{\gamma} z} \; ; \underline{u}(z) = \underline{u}_+ e^{-\underline{\gamma} z}[1 + \underline{\rho}(z)] \; ;$$

$$\underline{i}(z) = \underline{Y}_c \underline{u}_+ e^{-\underline{\gamma} z}[1 - \underline{\rho}(z)]$$

$$\underline{Z}(z) = \underline{Z}_c \frac{1 + \underline{\rho}(z)}{1 - \underline{\rho}(z)} \; ; \underline{\rho}(z) = \frac{\underline{Z}(z) - \underline{Z}_c}{\underline{Z}(z) + \underline{Z}_c}$$

LIGNE TERMINEE PAR UNE CHERGE



$$\underline{\rho}(z) = \underline{\rho}_L e^{2\underline{\gamma}(z-L)}$$

Cas d'une ligne adaptée :

$$\underline{Z}_L = \underline{Z}_c \Rightarrow \underline{\rho}_L = 0; \underline{u}_- = 0; \underline{\rho}(z) = 0;$$

$$\underline{Z}(z) = \underline{Z}_c$$

Cas d'une ligne terminée par un court-circuit(cc)

$$\underline{Z}_L = 0; \underline{u}_L = 0; \underline{\rho}_L = -1; \underline{\rho}(z) = -e^{2\underline{\gamma}(z-L)};$$

$$\underline{Z}(z) = -\underline{Z}_c \tanh[\underline{\gamma}(z - L)]$$

Cas d'une ligne terminée par un circuit ouvert(co)

$$\underline{Z}_L = \infty; \underline{i}_L = 0; \underline{\rho}_L = +1; \underline{\rho}(z) = +e^{2\underline{\gamma}(z-L)};$$

$$\underline{Z}(z) = -\underline{Z}_c \coth[\underline{\gamma}(z - L)]$$

LIGNES DE TRANSMISSION SANS PERTES

$$Z_c = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \; ; R'=G'=0 \; ; \; \underline{\gamma} = j\beta \; ;$$

$$|\underline{u}(z)| = |\underline{u}_+||1 + \underline{\rho}(0)e^{2j\beta z}|$$

Le taux d'ondes stationnaires (TOS)

$$s = \frac{u_{max}}{u_{min}} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \Rightarrow |\rho| = \frac{s - 1}{s + 1}$$

ABAQUE DE SMITH

C'est la transformation : $\underline{z}(z) = \frac{\underline{Z}(z)}{\underline{Z}_c} = r + jx \rightarrow \underline{\rho}(z) = a + jb$

	$\underline{z}(z)$	$\underline{\rho}(z)$	Commentaire
C.A	1	0	Point O
C.C	0	-1	Point O'
C.O	∞	+1	Point O''
Resistance pure	r	$1 - \frac{2}{1+r}$	Portion de l'axe $\in[-1,1]$
Réactance pure	jx	$\frac{jx-1}{jx+1}$	Cercle unité

GUIDES D'ONDES

$\Delta \underline{\psi} = \underline{k}^2 \underline{\psi}$ avec $\underline{k}^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)$ et $\underline{\psi} = \begin{pmatrix} \vec{\underline{E}} \\ \vec{\underline{H}} \end{pmatrix}$

Pas de pertes $\Rightarrow \underline{k}^2 = -k_0^2 = -\omega^2\mu\varepsilon$

GUIDE RECTANGULAIRE :

Résolution : $\underline{\psi}(x,y,z) = \underline{X}(x)\underline{Y}(y)\underline{Z}(z)$

$$\Rightarrow \beta_g^2 = k_0^2 - k_c^2; avec\, k_c^2 = k_x^2 + k_y^2$$

$$\underline{X}(x) = \underline{A}\sin(k_x x) + \underline{B}\cos(k_x x)$$

$$\underline{Y}(y) = \underline{C}\sin(k_y y) + \underline{D}\cos(k_y y)$$

$$\underline{Z}(z) = \underline{F}.\exp(-j\beta_g z)$$

conditions aux limites : $\underline{E}_y = \underline{E}_z = 0 \, enx = 0 \, eta$

$$\underline{E}_x = \underline{E}_z = 0 \; en \; y = 0 \, etb$$

$$k_{cmn} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} = \omega_c\sqrt{\mu\varepsilon}$$

modes $TM_{mn} \Rightarrow \underline{H}_z = 0$

$\underline{E}_z(x,y,z) = \underline{E}_{mnz}\sin(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\exp(-j\beta_g z)$ m=1,2,3,…

n=1,2,3…

modes $TE_{mn} \Rightarrow \underline{\mathbf{E}}_z = 0$

H BENZINA CCR ENG