ENIG GCR1

A.U 2023-2024; Durée : 2H00
Responsable : BENZINA.H
Documents non autorisés.

DS DISPOSITIFS ET SYSTEMES MICROONDES 2

N.B :**Chaque étudiant(e) dispose d'une seule abaque qu'il(elle) doit rendre sans y écrire son nom.**
L'usage de la calculatrice standard est autorisé. L'usage de GSM ou tout objet connecté est strictement interdit.

EXERCICES

I) **(Guides d'ondes)**Soit un guide rectangulaire sans pertes rempli d'un diélectrique de permittivité relative égale à 2.2 et telle que a=7.214cm et b=3.404cm. Pour un mode TM_{11} se propageant sous une fréquence de fonctionnement égale à 1.1 fois la fréquence de coupure de ce mode (f_o=1.1 fc_{11}), calculer :

a)La fréquence de coupure.
b)La fréquence de fonctionnement f_o.
c)La constante de propagation β_g.
d)La longueur d'onde de coupure.
e)La longueur d'onde guidée.
f)La vitesse de phase.
g)Quels sont les autres modes propagatifs dans ce guide rectangulaire.
h)donner les expressions des différentes composantes du champs électromagnétique.

II)**(Lignes de transmission)** 1°)Sur une ligne coaxiale à air, sans pertes d'impédance caractéristique Z_c=50Ω et où la distance entre les positions de 2 minimums successifs de tension vaut 4 cm, une impédance $\underline{Z}_L$ = (55-j30)Ω termine la ligne.

Déterminer (par le calcul ou en utilisant l'abaque):
a-le rapport d'ondes stationnaires s.
b- le coefficient de réflexion $\underline{\rho}_L$.
c-l'admittance de la charge $\underline{Y}_L$ (avec la meilleure précision possible).
d-l'impédance ramenée à 13cm de la charge.
2°)Adapter cette ligne au moyen d'une ligne quart d'onde (donner tous les détails nécessaires et les solutions possibles)
3°)Adapter cette ligne au moyen d'un stub court-circuité ayant la même impédance caractéristique que la ligne principale.

III)**(Semiconducteurs)A)** On va appeler le niveau de Fermi intrinsèque E_i et celui du matériau dopé E_F.

1°)Dans le cas extrinsèque à l'équilibre thermique quelle est l'expression de :
a)n en fonction de E_C et E_F.
b)p en fonction de E_V et E_F.
c)ni en fonction de n et p.

2°)Tracer le digramme d'énergie avec E_C, E_V, E_F et E_i, pour :
a) Un semiconducteur de type N.
b) Un semiconducteur de type P.

3°) Trouver les concentrations en électrons et en trous ainsi que la position du niveau de Fermi pour un Silicium à l'équilibre à T=300K :
a) dopé avec du bore dont la concentration est $10^{16}cm^{-3}$.
b) dopé avec du phosphore dont la concentration est $2,1.10^{15}cm^{-3}$.
$n_i=1,45.10^{10}cm^{-3}$.

B) La concentration en électrons dans le silicium est donnée par
$n(x) = 10^{15}e^{-\left(\frac{x}{Ln}\right)}cm^{-3} (x \geq 0)$ où $L_n=10^{-4}$cm.
Le coefficient de diffusion des électrons est Dn=25 cm^2/s. Déterminer la densité de courant de diffusion des électrons en (a) x= 0, (b) x=10^{-4}cm, et (c) $x \to \infty$.

Bon

Bon Travail

FORMULAIRE SEMICONDUCTEURS

Densité des états d'énergie :

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

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	Tl	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:

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

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

Semiconducteur intrinsèque :

$$n = N_C \exp - \frac{(E_C - E_F)}{kT}$$

$$p = N_V \exp - \frac{(E_F - E_V)}{kT}$$

$N_C = \frac{2}{h^3}(2\pi m_n kT)^{3/2}$: densité effective des états dans la BdC

$$p = N_V \exp - \frac{(E_F - E_V)}{kT}$$

Loi action de masse: $np=n_i^2$
$n=p=n_i$

$$E_F = \frac{E_C+E_V}{2} + \frac{kT}{2}\mathrm{Log}\left(\frac{N_V}{N_C}\right) \ ;$$

$$n_i = \sqrt{N_C N_V}\exp - \frac{E_g}{2kT}$$

Semiconducteur extrinsèque :

Cas usuel !

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

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

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

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

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

Conduction dans les semiconducteurs :

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

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

$\vec{v}_{dp} = \mu_p \vec{E}$; $\mu_p = \frac{q\tau_p}{m_p}$: mobilité des trous.

Loi d'Ohm microscopique :

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

Courant de diffusion pour les électrons:

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

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

Cas général pour les trous :

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

Génération- recombinaison des porteurs :

Régime de faible injection
$\Rightarrow \Delta n = \Delta p << N_D$ 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 :

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

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

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

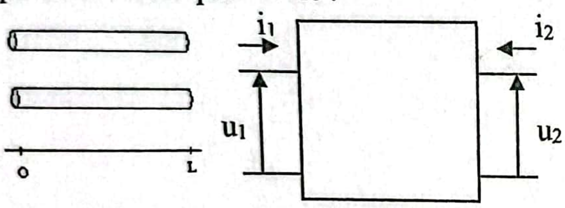
$$\frac{\partial \underline{i}}{\partial z} = -(G' + j\omega C')\underline{u} \; ; \; \frac{\partial^2 \underline{u}}{\partial z^2} = (R' + j\omega L')(G' + j\omega C')\underline{u}$$

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

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

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

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



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

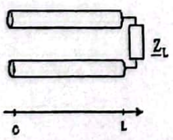
Coefficient de reflection :

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

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

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

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

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

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

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

Adaptation :

par une ligne quart d'onde: $\underline{Z}_x = \sqrt{\underline{Z}_c R}$

GUIDES D'ONDES

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

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 : $\underline{E}_y = \underline{E}_z = 0$ en $x = 0$ et a $\underline{E}_x = \underline{E}_z = 0$ en $y = 0$ et b

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

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

$$\underline{E}_z(x,y,z) = \underline{E}_{zmn} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \exp(-j\beta_g z)$$

m=1,2,3,… n=1,2,3…

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