



Université Mohammed Premier
Ecole Nationale des Sciences Appliquées - Oujda



Exercices d'Hyperfréquences

Filière Génie Electrique

Pr. Rachid MALEK

1 **ENONCES****1.1** **QUESTIONS DIVERSES****1.2** **EXERCICES SUR LA THEORIE DES LIGNES ET L'ABAQUE DE SMITH**

EXERCICE N°1.2.1

EXERCICE N°1.2.2

EXERCICE N°1.2.3

EXERCICE N°1.2.4 (*N°1 DE LA PCI*)

EXERCICE N°1.2.5

1.3 **ADAPTATION D'IMPEDANCE**

EXERCICE N°1.3.1

EXERCICE N°1.3.2

EXERCICE N°1.3.3

EXERCICE N°1.3.4

EXERCICE N°1.3.5

EXERCICE N°1.3.6 (*OU N°2 DE LA PCI*)**2** **SOLUTIONS****2.1** **REPNSES AUX QUESTIONS****2.2** **EXERCICES SUR LA THEORIE DES LIGNES ET L'ABAQUE DE SMITH**

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.2.1

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.2.2

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.2.3

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.2.4

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.2.5

2.3 **ADAPTATION D'IMPEDANCE**

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.3.1

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.3.2

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.3.3

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.3.4

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.3.5

SOLUTIONS DE L'EXERCICE N°1.3.6

1 Enoncés

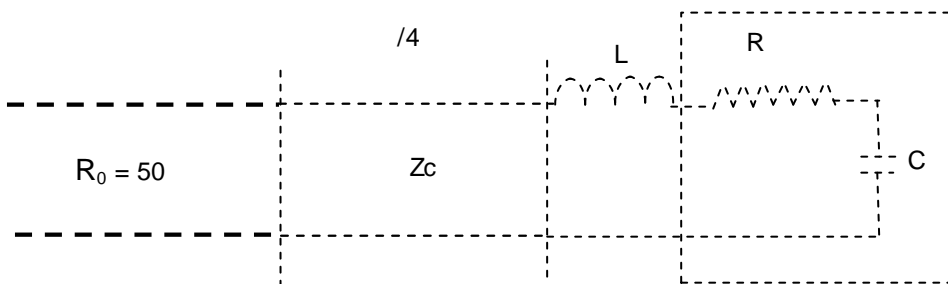
1.1 Questions diverses

Remarque : vous trouverez ci-après quelques questions de base qui vous permettront de vérifier vos connaissances Il s'agit de questions élémentaires qui ne nécessitent aucun calcul particulier à part un peu de calcul mental. Avec une bonne connaissance du cours, les réponses sont à trouver dans les 2 à 3 minutes (voire moins).

Questions n°1 : Une ligne d'impédance caractéristique de 75Ω est fermée sur l'impédance réelle de 150Ω . Quel est le TOS sur la ligne et quelle autre valeur d'impédance réelle trouve-t-on en se déplaçant sur cette ligne.

Questions n°2 : Une ligne d'impédance caractéristique de 60Ω est fermée sur une impédance dont le coefficient de réflexion correspondant est : $r = \frac{1}{3} e^{j\frac{\pi}{2}}$. A quelle distance (en fraction de λ) de cette charge trouvera-t-on une impédance réelle, et quelle est la valeur de cette impédance.

Questions n°3 : Pour adapter à 50Ω une impédance constituée d'une résistance R en série avec une capacité C, on utilise une inductance L en série suivie d'un transformateur quart d'onde (schéma ci-après).



Quelle relation relie L et C pour que l'adaptation soit possible ?

Question n°4 : Un générateur d'impédance interne 100Ω délivre dans la charge de référence $R_0=50 \Omega$ une puissance de $0,5 \text{ W}$. Quelles sont les valeurs de b_g et de ρ_g ; quelle est la puissance maximale que l'on peut tirer de ce générateur et quelle est alors l'impédance de charge correspondante ?

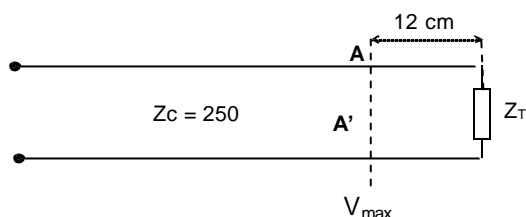
Question n°5 : Quelle est la matrice [S] d'un tronçon de ligne 50Ω de longueur $\lambda/8$?

Questions n°6 : Quelle est la matrice de chaîne réduite d'un tronçon de ligne 50Ω de longueur $\lambda/4$?

1.2 Exercices sur la théorie des lignes et l'abaque de Smith

Exercice n°1.2.1

On considère une ligne de transmission d'impédance caractéristique $Z_c = 250 \Omega$, fermée par une impédance Z_T inconnue.



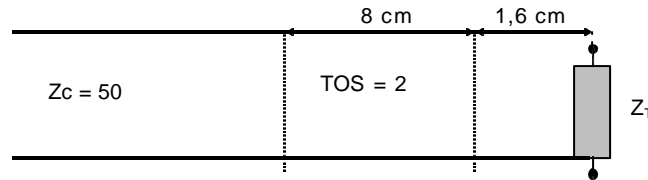
Pour $F = 250 \text{ MHz}$ on trouve sur la ligne un TOS de 5, et un maximum de tension dans le plan AA' situé à 12 cm de la charge Z_T :

- 1°) Quel le module du coefficient de réflexion et la valeur de l'impédance dans le plan AA' ?
- 2°) Quelle est la valeur de Z_T ?

Exercice n°1.2.2

Une ligne 50 est terminée par une charge inconnue Z_T

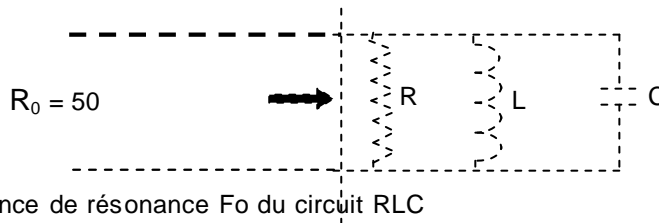
- Le TOS sur la ligne est égal à 2
- Un 1er minimum de tension se trouve à 1,6 cm de la charge
- Un 2ème se trouve à 8 cm du 1er



- 1°) A quelle fréquence travaille-t-on ?
- 2°) Quelle est la valeur de Z_T ?

Exercice n°1.2.3

Soit une ligne sans perte d'impédance caractéristique $R_0 = 50$. On ferme cette ligne sur un dipôle d'impédance Z_l constitué par la mise en parallèle d'une résistance R de 62,5, d'une inductance L de 6,6 nH.

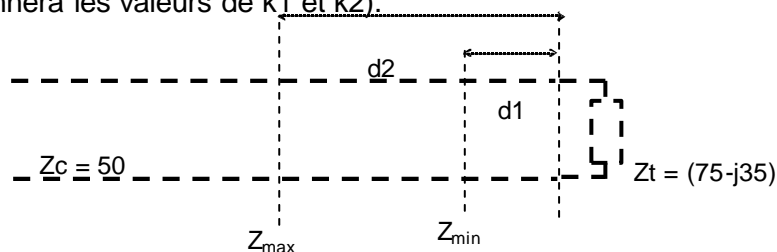


- 1°) Donner la fréquence de résonance F_0 du circuit RLC
- 2°) Pour $F = F_0$, $F = 1$ GHz, et $F = 4$ GHz, donnez le module et la phase du coefficient de réflexion, et placez les points correspondants sur l'abaque de Smith (où l'inverse).
- 3°) Quel est le lieu décrit lorsque la fréquence varie de 0 à l'infini ?

Exercice n°1.2.4 (n°1 de la PC1)

Soit une ligne sans perte d'impédance caractéristique $Z_0 = 50$. On ferme la ligne sur l'impédance $Z_l = (75 - j35)$

- 1°) Calculer le module et la phase du coefficient de réflexion à l'extrémité de la ligne,
- 2°) Calculer les impédances Z_{min} et Z_{max} le long de cette ligne,
- 3°) A quelles distances $d_1 = k_1 \cdot \lambda$ et $d_2 = k_2 \cdot \lambda$ de la charge a-t-on ces impédances Z_{min} et Z_{max} ? (On donnera les valeurs de k_1 et k_2).

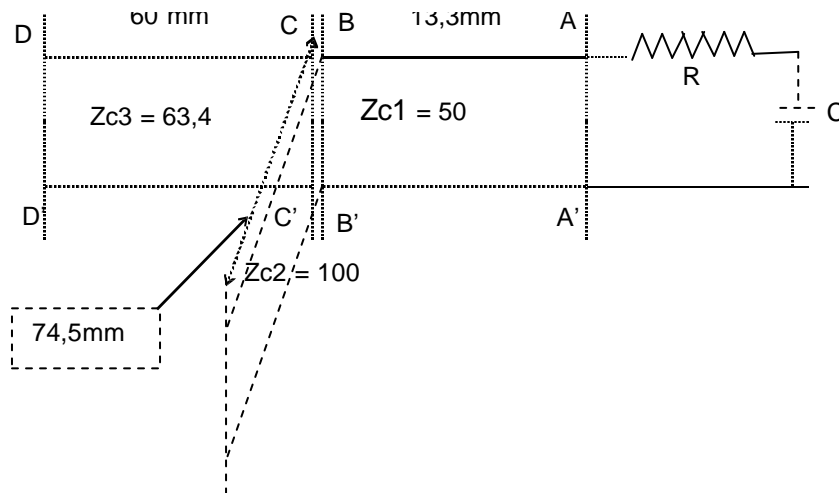


Exercice n°1.2.5

Considérons le dipôle d'impédance Z_T constitué par la mise en série d'une résistance R de 30Ω et d'une capacité C de $3,2 \text{ pF}$.

On place devant ce dipôle, conformément au schéma ci-après :

un tronçon de ligne d'impédance caractéristique $Z_{c1} = 50 \Omega$ et de longueur $d_1 = 13,3 \text{ mm}$,
 puis un stub parallèle en circuit ouvert, d'impédance caractéristique $Z_{c2} = 100 \Omega$ et de longueur $d_2 = 74,5 \text{ mm}$,
 et enfin un tronçon de ligne d'impédance caractéristique $Z_{c3} = 63,4 \Omega$ et de longueur $d_3 = 60 \text{ mm}$,



1°) Pour $F = 1250 \text{ MHz}$, calculer le module et la phase du coefficient de réflexion de Z_T (plan AA'), et placer le point correspondant sur l'abaque de Smith.

2°) On donnera les valeurs des impédances (non normalisées) dans les plans BB' (avant le stub), CC' (après le stub) et DD' et l'on placera les points correspondants sur le même abaque de Smith.

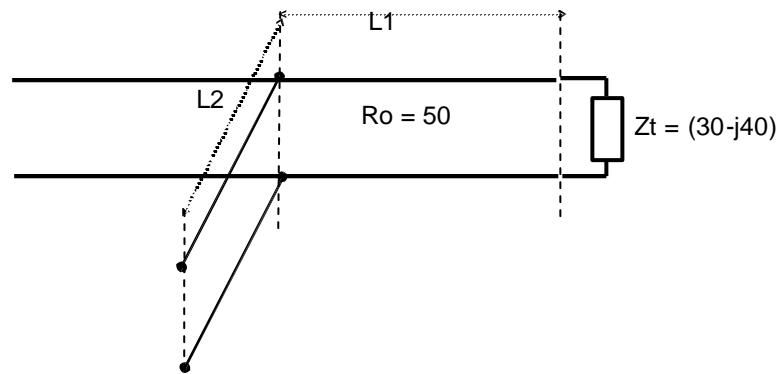
3°) Quel serait le lieu décrit sur l'abaque de Smith par $Z_{DD'}$ lorsque la longueur du stub d_2 varie de 0 à 120 mm .

1.3 Adaptation d'impédance**Exercice n°1.3.1**

Une ligne de transmission d'impédance caractéristique $R_0 = 50 \Omega$ est fermée par l'impédance :
 $Z_t = (30 - j40) \Omega$

1°) Calculer le coefficient de réflexion (amplitude et phase) de la charge, et le TOS correspondant.

2°) On désire adapter cette impédance par un stub parallèle d'impédance caractéristique R_0 en court-circuit. Calculer, en fonction de la longueur d'onde λ , les longueurs L_1 et L_2 correspondantes (2 couples de solutions).

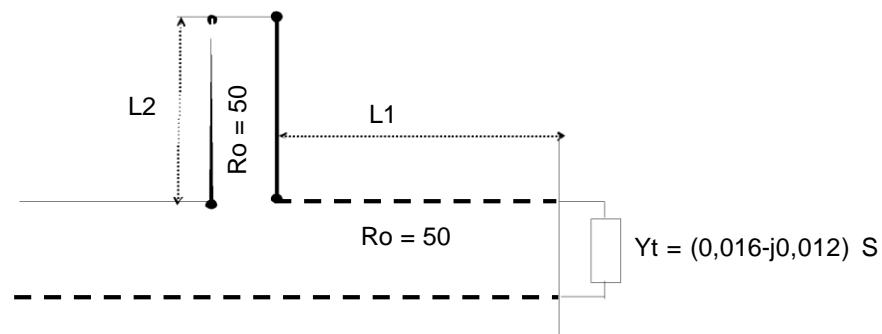


Exercice n°1.3.2

Une ligne de transmission d'impédance caractéristique $R_o = 50$ est fermée par l'admittance : $Y_t = (0,016 - j0,012)$ S

1°) Calculer le coefficient de réflexion (amplitude et phase) de la charge, et le TOS correspondant.

2°) On désire adapter cette admittance par un stub série d'impédance caractéristique R_o en circuit-ouvert. Calculer, en fonction de la longueur d'onde λ , les longueurs L_1 et L_2 correspondantes (2 couples de solutions).

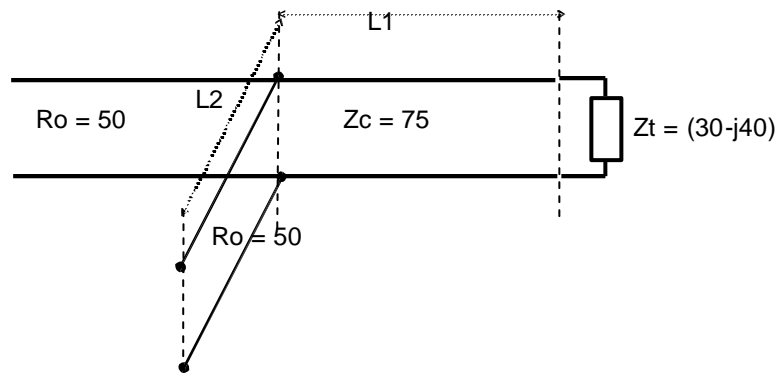


Exercice n°1.3.3

Une ligne de transmission d'impédance caractéristique $R_o = 50$ est fermée par l'impédance : $Z_t = (30 - j40)$

Pour adapter cette impédance à 50 on place devant elle un tronçon de ligne de transmission d'impédance caractéristique $Z_c = 75$ W et de longueur L_1 , suivi d'un stub parallèle en court-circuit, d'impédance caractéristique $R_o = 50$ W. et de longueur L_2 .

Calculer, en fonction de la longueur d'onde λ , les longueurs L_1 et L_2 correspondantes (2 couples de solutions).



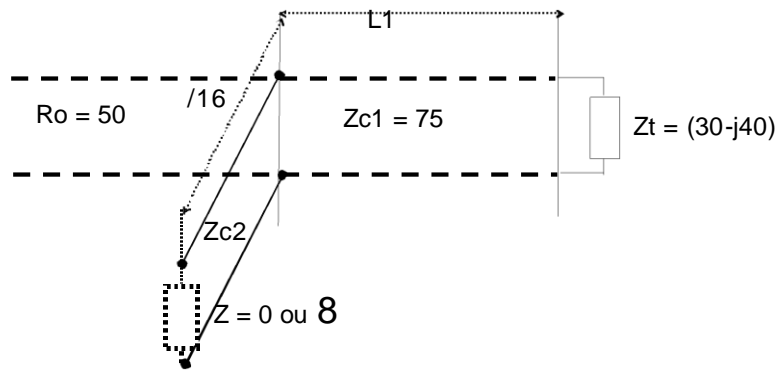
Exercice n°1.3.4

Cet exercice est une variante du précédent :

Une ligne de transmission d'impédance caractéristique $R_0 = 50$ est fermée par l'impédance : $Z_t = (30 - j40)$

Pour adapter cette impédance à 50 on place devant elle un tronçon de ligne de transmission d'impédance caractéristique $Z_{c1} = 75$ W et de longueur L_1 , suivi d'un stub parallèle de longueur L_2 et d'impédance caractéristique Z_{c2} . Ce stub est fermé par un court circuit ou un circuit ouvert.

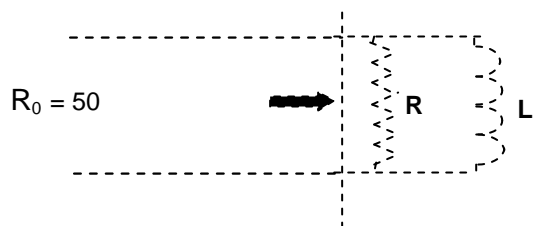
Calculer, la longueur L_1 en fonction de la longueur d'onde λ , ainsi que l'impédance caractéristique Z_{c2} . (il y a deux solutions : une pour avec le stub en court-circuit et l'autre avec le stub en circuit ouvert).



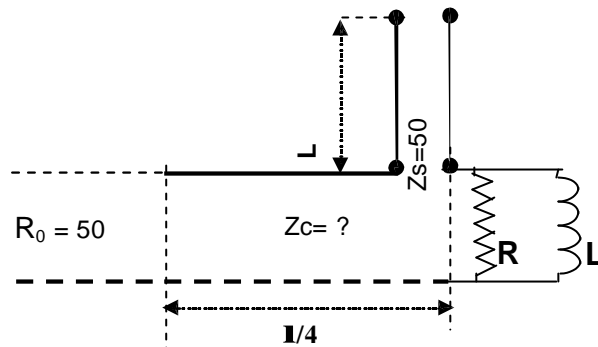
Exercice n°1.3.5

Soit une ligne sans perte d'impédance caractéristique $R_0 = 50$.

On ferme cette ligne sur un dipôle d'impédance Z_t constitué par la mise en parallèle d'une résistance R de 62,5 et d'une inductance L de 6,6 nH.



1. Donner le module et la phase du coefficient de réflexion pour $F = 2 \text{ GHz}$.
2. Pour réaliser l'adaptation de cette impédance à 50Ω , on place un stub en **circuit ouvert**, directement en **série** avec le dipôle, suivi d'un tronçon de ligne quart d'onde, comme indiqué ci-dessus :



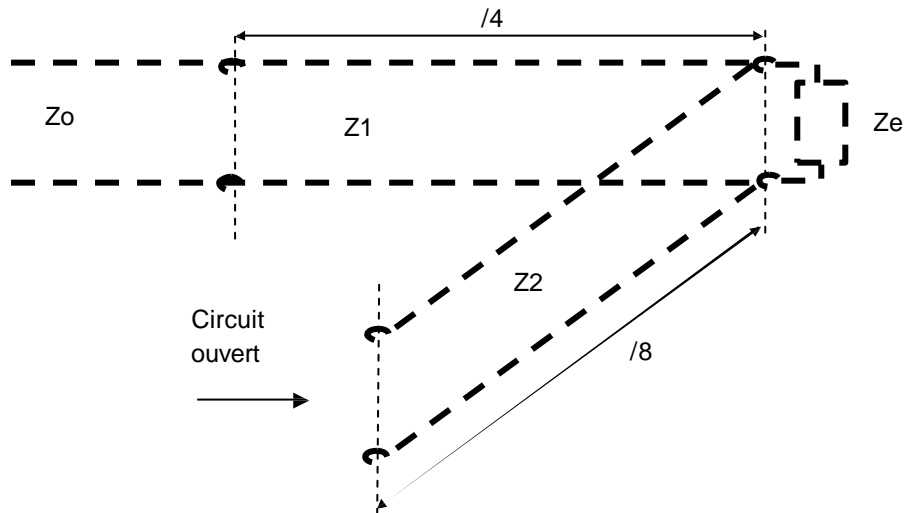
Donner la longueur L du stub et la valeur de l'impédance caractéristique Z_c du quart d'onde correspondant. (1 couple de solutions).

Exercice n°1.3.6 (ou n°2 de la PC1)

On cherche à adapter à une ligne d'impédance caractéristique $Z_0 = 50 \Omega$ un transistor dont l'impédance d'entrée est $Z_e = (6.9 + j13) \Omega$ à la fréquence d'utilisation. A cette fréquence (1GHz) la longueur d'onde guidée sur une ligne microruban, réalisée sur alumine, est $\lambda = 100 \text{ mm}$.

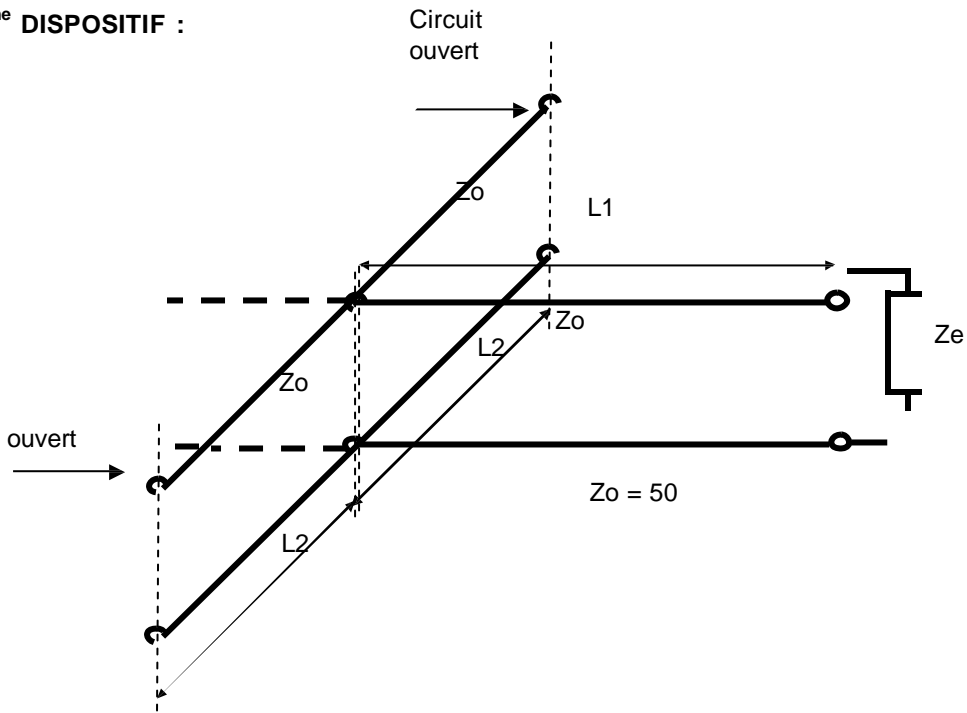
Pour réaliser cette adaptation on envisage les trois dispositifs suivants :

1^{er} DISPOSITIF



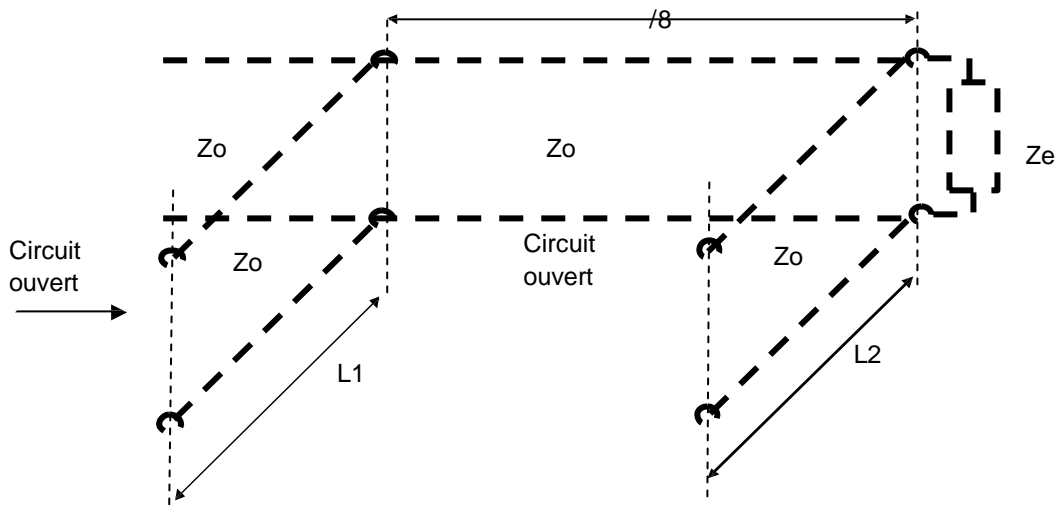
Calculer les impédances caractéristiques Z_1 et Z_2 des lignes de longueurs respectives $l/8$ et $l/8$ pour que le système soit adapté.

2^{ème} DISPOSITIF :



Calculer les longueurs L1 et L2. On se servira de l'abaque de Smith, et l'on donnera deux couples de solutions.

3^{ème} DISPOSITIF :



1°) Calculer les longueurs L1 et L2 des 2 stubs espacés d' $\lambda/8$ de longueur d'onde, (comme pour le dispositif n°2 on se servira de l'abaque de Smith, et l'on donnera deux couples de solutions).

2 Solutions

2.1 Réponses aux questions

Questions n°1 : $TOS = 2 ; Z = 75/2 = 37,5$

Questions n°2 : $/8 ; Z = 120$

Questions n°3 : $LC^2 = 1$

Question n°4 : $b_g = 1 W^{1/2} ; g = 1/3 \quad P_A = 9/16 W ;$ la charge correspondante est de 100

Questions n°5 : $S_{11} \quad S_{22} \quad 0 \quad S_{12} \quad S_{21} \quad e^{j\frac{p}{4}}$

Questions n°6 : $A = D = 0 \quad B = C = 1$

2.2 Exercices sur la théorie des lignes et l'abaque de Smith

Solutions de l'exercice n°1.2.1

1°) $= 2/3 \quad Z_{AA'} = 1250$

2°) $Z_T = (134,5 + j307)$

Solutions de l'exercice n°1.2.2

1°) $F = 1850 \text{ MHz}$

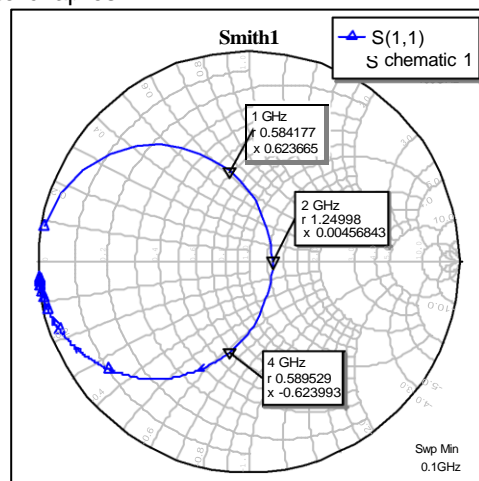
2°) $Z_T = (33.7 - j24.1)$

Solutions de l'exercice n°1.2.3

1°) $F_0 = 2 \text{ GHz}$

2°) Pour $F = 1 \text{ GHz}$: module de $= 0,111$ phase de $= 0^\circ$
 Pour $F = 2 \text{ GHz}$: module de $= 0,44$ phase de $= 102^\circ$
 Pour $F = 4 \text{ GHz}$: module de $= 0,44$ phase de $= -102^\circ$

3°) le lieu est le cercle représenté ci-après :

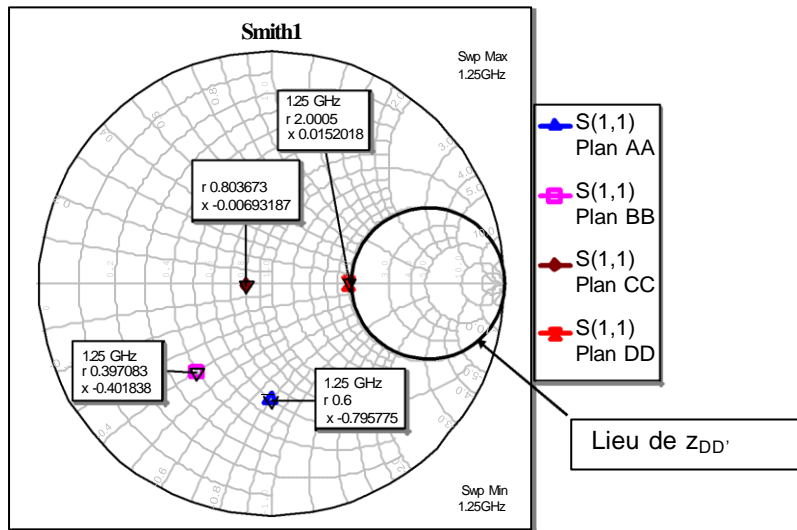


Solutions de l'exercice n°1.2.4

- 1°) $|r| = 0.331$ et $Arg r = 38.8$
- 2°) $Z_{min} = \frac{Z_c}{TOS} = 25$ et $Z_{max} = Z_c TOS = 100$
- 3°) pour Z_{min} $d1 = 0.196 \lambda$, et pour Z_{max} $d2 = 0.446 \lambda$

Solutions de l'exercice n°1.2.5

- 1°) Pour $F = 1250$ MHz on a dans le plan AA' : module de $\Gamma = 0,5$ et phase $(\theta) = -90^\circ$ et $Z_{AA'} = (30-j40)$
- 2°) $Z_{BB'} = (20-j20)$ - $Z_{CC'} = 40$ et $Z_{DD'} = 100$
L'abaque de Smith est donné ci-après :
- 3°) Lorsque $d2$ varie de 0 à 120 mm le point représentatif de $Z_{DD'}$ décrit le cercle correspondant à l'impédance réduite $r = 2$



2.3 Adaptation d'impédance

Solutions de l'exercice n°1.3.1

- 1°) $r = \frac{j}{2} \frac{1}{2} e^{j\frac{\pi}{2}}$ soit amplitude 1/2 et phase -90° TOS = 3
- 2°) 1^{ère} solution : $L1 = 0,027$ et $L2 = 0,152$
2^{ème} solution : $L1 = 0,208$ et $L2 = 0,387$

Solutions de l'exercice n°1.3.2

- 1°) $r = \frac{j}{3} \frac{1}{3} e^{j\frac{\pi}{2}}$ soit amplitude 1/3 et phase $+90^\circ$ TOS = 2
- 2°) 1^{ère} solution : $L1 = 0,042$ et $L2 = 0,114$
2^{ème} solution : $L1 = 0,223$ et $L2 = 0,348$

Solutions de l'exercice n°1.3.3

- 1^{ère} solution : $L1 = 0,030$ et $L2 = 0,127$
- 2^{ème} solution : $L1 = 0,143$ et $L2 = 0,374$

Solutions de l'exercice n°1.3.4

- 1^{ère} solution : $L1 = 0,030$ avec un stub en court-circuit d'impédance $Zc2 = 123$
 2^{ème} solution : $L1 = 0,143$ avec un stub en circuit ouvert d'impédance $Zc2 = 21$

Solutions de l'exercice n°1.3.5

- 1°) module de $\Gamma = 1/3$ et phase de $\Gamma = 90^\circ$ - Le TOS correspondant est égal à 2
 2°) La longueur du stub est : $L = 24,6$ mm.
 L'impédance caractéristique du quart d'onde est $Zc = 44,7$

Solutions de l'exercice n°1.3.6

- 1^{er} DISPOSITIF : $Z2 = 16,67$ $Z1 = 39,7$
- 2^{ème} DISPOSITIF : 1^{ère} solution : $L1/ \lambda = 1,4$ mm et $L2/ \lambda = 14$ mm
 2^{ème} solution : $L1/ \lambda = 40,4$ mm et $L2/ \lambda = 36$ mm
- 3^{ème} DISPOSITIF : 1^{ère} solution : $L2/ \lambda = 22$ mm et $L1/ \lambda = 16$ mm
 2^{ème} solution : $L2/ \lambda = 20$ mm et $L1/ \lambda = 7,4$ mm

—