

TD2 Canaux de transmission L3

Les lignes de transmission en régime harmonique : Adaptation et ABAQUE DE SMITH
Lignes en régimes transitoires

Exercice 1 : Adaptation à l'aide d'un stub

On considère une ligne sans pertes, de résistance caractéristique $R_c = 100 \Omega$, alimentée par une source sinusoïdale de force électromotrice E_g et de résistance interne réelle R_g . Cette ligne de 85cm est terminée par une impédance Z_t . Seule la valeur de l'admittance de charge Y_t est connue ($Y_t = 100 + 180j$) 10^{-4} . On mesure un $ROS = 3$. La longueur d'onde est de 20 cm.

- 1) En vous aidant de l'abaque de Smith ci-joint, donner la valeur de l'impédance Z_t , en déduire le module du coefficient de réflexion associé.
- 2) Déterminer l'impédance d'entrée de la ligne. La ligne est-elle adaptée en entrée ?
- 3) On souhaite réaliser l'adaptation en sortie, en plaçant à une distance de la charge, un branchement en parallèle d'élément (stub) en court circuit, d'impédance caractéristique $R_c = 100 \Omega$. On souhaite brancher ce stub, le plus près possible de la charge, déterminer la distance d où l'on peut placer ce branchement en parallèle.
- 4) Déterminer la longueur du stub en circuit fermé s pour réaliser l'adaptation de la charge à la résistance caractéristique de la ligne.

Exercice 2 : Adaptation à l'aide d'un stub 2 (à préparer)

On considère une ligne sans pertes, de résistance caractéristique $R_c = 50 \Omega$, alimentée par une source sinusoïdale de force électromotrice E_g et de résistance interne réelle R_g . Cette ligne est terminée par une charge d'impédance $Z_t = (15 - 42,5j) \Omega$, la fréquence est de 1GHz.

- 1) Placer le point représentatif de l'impédance Z_t sur l'abaque de Smith, en déduire le point représentatif de l'admittance Y_t et le module du coefficient de réflexion associé.

On souhaite réaliser l'adaptation en plaçant, à une distance de la charge, des branchements en parallèle d'éléments (stub) en circuit ouvert, d'impédance caractéristique $R_c = 50 \Omega$.

- 2) Déterminer la longueur d'onde de cette ligne ainsi que les distances (d et d') où l'on peut placer ces branchements en parallèle.

- 3) Déterminer les longueurs du stub en circuit ouvert (s et s') pour réaliser l'adaptation de la charge à la résistance caractéristique de la ligne.
- 4) En déduire les valeurs des éléments (inductance ou capacité) réalisés par ces éléments additionnels.

Exercice 2 : Lignes en régime transitoire

On considère une ligne sans pertes de résistance caractéristique R_c terminée par une impédance de charge R_t . La source de tension est numérique binaire de résistance interne R_g . On notera T le temps de propagation source-charge sur la ligne.

Représenter (sur $t = 4T$) les tensions à la source et à la charge de la réponse à un échelon de tension E pour les valeurs d'impédance suivantes :

- 1) $R_g = (1/3)R_c$ $R_t = (1/3)R_c$
- 2) $R_g = (1/3)R_c$ $R_t = 3R_c$

Exercice 3 : Lignes en régime transitoire

On considère une ligne sans pertes de résistance caractéristique R_c . La source de tension est numérique binaire de résistance interne $R_g = R_c$. On notera T le temps de propagation source-charge sur la ligne.

- 1) L'extrémité du circuit est un circuit ouvert, représenter (sur $t < 4T$) la réponse à un échelon de tension E à $t=0$ et la réponse à une impulsion de tension E courte (de durée inférieure à T). Que pouvez-vous en conclure ? En imaginant que l'on répète l'impulsion à $t=4T$ et $t=8T$, qu'observerait-on à l'entrée de la ligne ?
- 2) L'extrémité du circuit est un court circuit, représenter (sur $t < 4T$) la réponse à un échelon de tension E à $t=0$ et la réponse à une impulsion de tension E courte (de durée inférieure à T). Que pouvez-vous en conclure ?
- 3) L'extrémité du circuit est une résistance de charge de valeur $R_t = 3R_c$, représenter (sur $t < 4T$) la réponse à un échelon de tension E à $t=0$ et la réponse à une impulsion de tension E courte (de durée inférieure à T). Que pouvez-vous en conclure ?

TD 2

Ex. 1.1.

$$Y_r = Y_r \times R_c \quad \text{car admittance} \quad Z_r =$$

$$Z_r = 0,23 - 0,43j \Rightarrow 23 - 43j$$

$$\rho \approx 0,67$$

Ex. 1.2. $\frac{l}{\lambda} = 4,25 \rightarrow 0,25$

$$z_e = 1 + 1,8j \Rightarrow Z_e = 100 + 180j \quad (\text{coïncidence})$$

La ligne est adaptée si $Z_r = R_c$.

Ex. 1.3. On place le stub à la charge, car la partie réelle de ~~Z_r~~ R_c .
 $Y_r = (R_c)^{-1}$

Court-circuit: impédance nulle et admittance infinie.

On trouve $1,8j$, on va vers le bord, à $0,17$.

On va vers le générateur, vers $0,25$.

Ex. 1.4.

$$0,25 - 0,17 = 0,08$$

$$\frac{s}{\lambda} = 0,08 \quad s = 1,6 + 10k \quad (\text{en cm})$$

Ex. 2.1. $z_r = 0,3 - 0,85j$ (A) $y_r = 0,4 + j$ (B)

$$\rho = 0,68$$

l.l. $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^3} = 0,3 \text{ m}$

$$C: \gamma = 1 + 1,9j \quad \frac{d}{\lambda} = 0,053 \Rightarrow d = 1,58 \text{ cm} + k 15 \text{ cm}$$

$$C': \gamma = 1 - 1,9j \quad \frac{d'}{\lambda} = 0,184 \Rightarrow d' = 5,52 \text{ cm} + k 15 \text{ cm}$$

2.3 Stub en circuit ouvert $z \rightarrow \infty$
 $\gamma \rightarrow 0$

$$C: \text{Il faut rajouter en } // -1,9j \Rightarrow \frac{s}{\lambda} = 0,327$$

$$\Rightarrow s = 9,8 \text{ cm}$$

$$C': \text{Il faut rajouter en } // +1,9j \Rightarrow \frac{s'}{\lambda} = 0,173$$

$$\Rightarrow s' = 5,2 \text{ cm} \quad 2\pi f$$

$$\underline{2.4.} \quad \gamma = -1,9j = \frac{1}{X}$$

$$\Rightarrow X = \frac{-1}{1,9j} = \frac{j}{1,9} \Rightarrow \begin{cases} jL\omega = \frac{j}{1,9} \\ = 84 \text{ pF} \end{cases}$$

pico Henry

$$\gamma = -1,9j = \frac{1}{X}$$

$$\Rightarrow X = \frac{1}{1,9j} \Rightarrow Z_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{1,9j} \Rightarrow C = 302 \text{ pF}$$

Ex. 3 1) $R_g = \frac{1}{3} R_c \quad R_t = \frac{1}{3} R_c$

$$\Gamma_e = \frac{R_g - R_c}{R_g + R_c} \quad \Gamma_t = \frac{R_t - R_c}{R_t + R_c} = \frac{-1}{2}$$

$$= \frac{-1}{2}$$

charge
charge

$$U_e(t) = \frac{R_c}{R_g + R_c} (1 + \Gamma_t) [e(t - T) + \Gamma_e \Gamma_t e(t - 3T) + \dots]$$

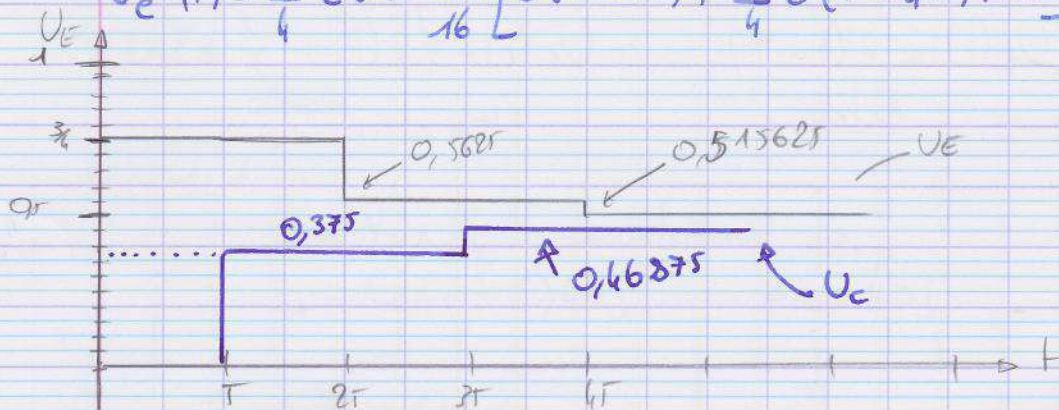
$$= \frac{R_c}{R_g + R_c} e(t) + \frac{R_c}{R_c + R_c} (1 + \Gamma_e) \Gamma_t$$

$$[e(t - 2T) + \Gamma_e \Gamma_t e(t - 4T) + \dots]$$

↖ (or Up)

$$U_c(t) = \frac{3}{8} \left[e^{-(t-T)} + \frac{1}{4} e^{-(t-3T)} + \dots \right]$$

$$U_c(t) = \frac{3}{4} e^{-(t-T)} - \frac{3}{16} \left[e^{-(t-2T)} + \frac{1}{4} e^{-(t-4T)} + \dots \right]$$



e) $R_g = \frac{1}{3} R_c$ $R_+ = 3 R_c$

$$\Gamma_e = \frac{R_g - R_c}{R_g + R_c}$$

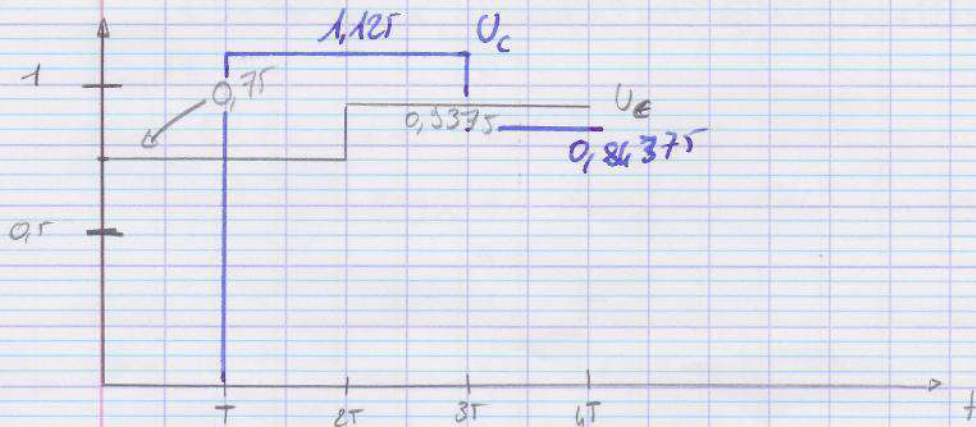
$$= \frac{\frac{2}{3} R_c}{\frac{4}{3} R_c} = -\frac{1}{2}$$

$$\Gamma_+ = \frac{R_+ - R_c}{R_+ + R_c}$$

$$= \frac{2 R_c}{4 R_c} = \frac{1}{2}$$

$$U_c(t) = \frac{9}{8} \left[e^{-(t-T)} - \frac{1}{4} e^{-(t-3T)} + \dots \right]$$

$$U_c(t) = \frac{3}{4} e^{-(t-T)} + \frac{3}{16} \left[e^{-(t-2T)} - \frac{1}{4} e^{-(t-4T)} + \dots \right]$$



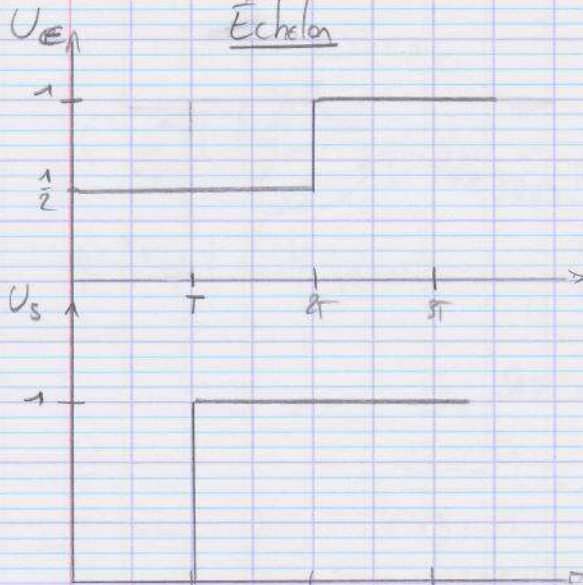
Exercise 4

$$1) R_c = R_g \Rightarrow \Gamma_E = 0$$

$$R_s \rightarrow \infty \Rightarrow \Gamma_s = 1$$

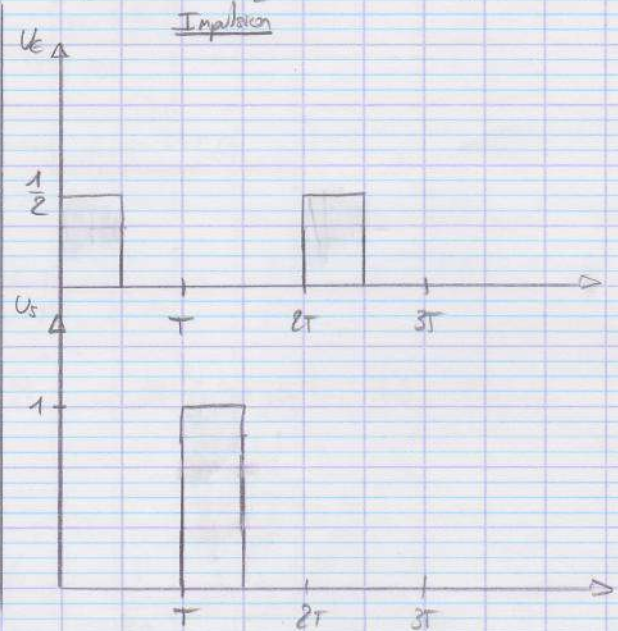
$$U_s(t) = e(t - T)$$

Échelon



$$U_E(t) = \frac{1}{2} e(t) + \frac{1}{2} e(t - 2T)$$

Impulsion

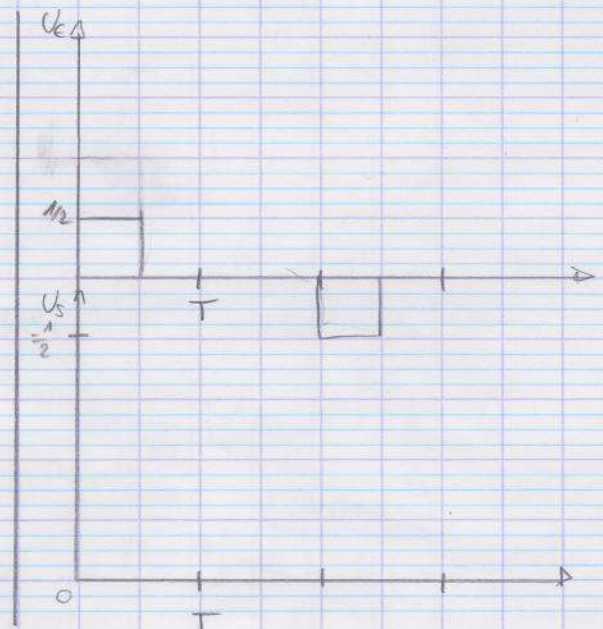
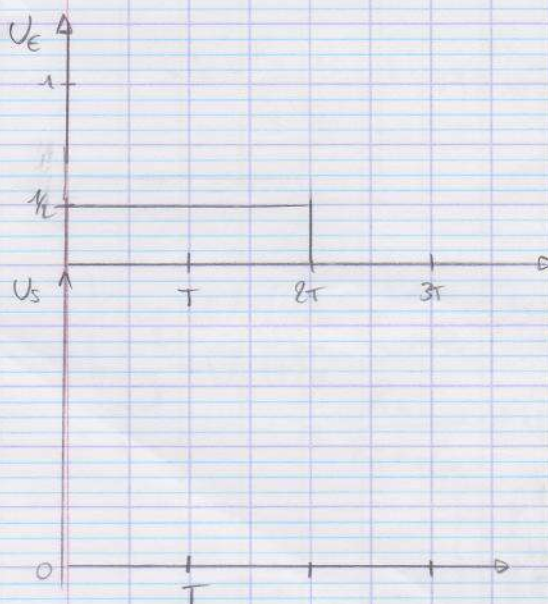


$$2) R_g = R_c \quad \Gamma_E = 0$$

$$R_s = 0 \quad \Gamma_s = -1 = \frac{R_s - R_c}{R_s + R_c}$$

$$U_s(t) = 0$$

$$U_E(t) = \frac{1}{2} e(t) - \frac{1}{2} e(t - 2T)$$



TD 3 suite

3.2.6. suite

$$\frac{P}{P-P'} = 1,0067$$

$$10 \log(1,0067) = 0,03 \text{ dB}$$

Affaiblissement à multiplier par 2 (car deux antennes : émission et réception)
 $\Rightarrow 0,06 \text{ dB}$

~~Calcul de l'affaiblissement~~

(Affaiblissement supplémentaire consécutif)

3.2.5. On a vu que c'était pas adapté, on propose une adaptation partielle.

La réflexion est très faible. La partie réelle $Z_A \approx R_c$, on peut se contenter de compenser la partie imaginaire.

On explique que l'on compte placer un composant ou un stub en parallèle.

Il faut calculer le nouvel affaiblissement en supposant qu'on ait annulé la partie imaginaire.

$$\Gamma = \frac{-1}{76} \quad |\Gamma| = \frac{1}{76}$$

(dipôle d'impédance $-12j$)

$$|\Gamma|^2 = \frac{1}{5676}$$

$$\text{Donc } \frac{P}{P-P'} = \frac{5676}{5675} \approx 1,00018$$

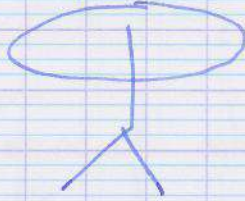
3.2.6. Nouvel affaiblissement : $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ dB}$

On laisse comme cela.

§ 3.3. Radiodiffusion publique

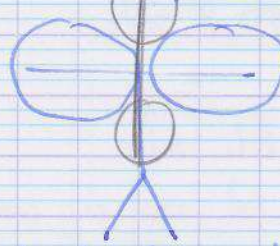
1) Émission omnidirectionnelle par la diffusion

Antenne à polarisation verticale



OK, omnidirec.

Antenne à polarisation horizontale



Nécessité de mettre 2 antennes perpendiculaires pour une diffusion omnidirectionnelle

2) $10 \text{ mV}_{\text{eff}} / 75 \Omega$ $P_E = 150 \text{ kW}$

$$\hookrightarrow P_R = \frac{U^2}{R} = ?$$

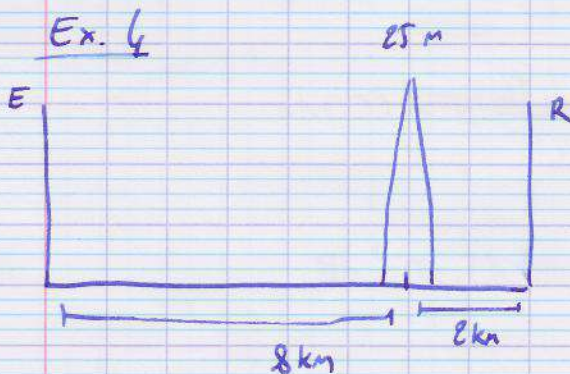
$$P_R = \frac{P_E G_E G_R}{A_0} \quad \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

TD 3 Ex 3

c) $P_R = \frac{U^2}{R} = 1,33 \mu\text{W}$
 $P_E = 150 \text{ kW}$

$$P_R = \frac{P_E G_E G_R}{A_0} \quad A_0 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

$$\Rightarrow d = 131,5 \text{ km}$$



1) (p25 → p27 poly.)

Hauteur minimale des 2 mats d'antenne

$$h_{\text{min}} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

$$= 15 \text{ m}$$

2) Affaiblissement total

→ Affaiblissement sans obstacle (p 18)

$$A_0 = 32,5 + 20 \log d_{(km)} + 20 \log f_{(MHz)} \\ = 118,5 \text{ dB}$$

→ Il existe un obstacle, donc il faut corriger A_0 par un affaiblissement supplémentaire de diffraction A_n (p 32 → 33)

p 26 → $F_{eff} = \sqrt{\frac{2d_1 d_2}{d}} = 15,5 \text{ m}$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$\frac{h}{r} = \frac{6}{15,5} = 0,39 \Rightarrow A_n = 11 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow A_{tot} = A_0 + A_n = 129,5 \text{ dB}$$

3) $P_{R_{dB}} = P_E + G_E + G_R - A$

$$G_E = G_R = G$$

$$2G = P_R - P_E + A \Rightarrow G = 15 \text{ dB}$$

Antennes à réflexion parabolique (p 53)

$$g = \frac{4\pi S}{\lambda^2} \quad \swarrow \quad \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

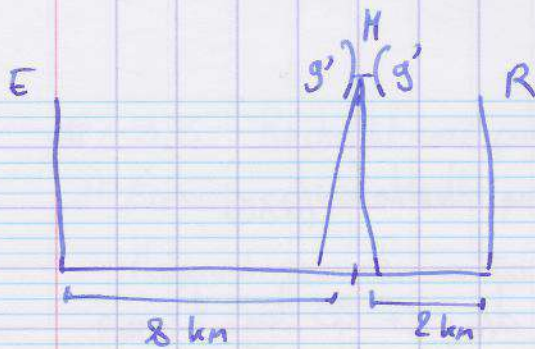
$$G = 10 \log g$$

$$g = 10^{15/10} = 31,6$$

$$D = \frac{2}{\pi} \sqrt{g}$$

$$D = 27 \text{ cm}$$

4)



Les nouvelles antennes ont un gain g' , mais les transmissions EM et MR sont en espace libre.

Il y a deux trajets $\Rightarrow$ il faut appliquer 2 fois l'équation des télécommunications.

$$P_R(M) = P_E + G' + G - A_0(EM) \quad \text{trajet EM}$$

$$P_R(R) = P_E(M) + G' + G - A_0(MR) \quad \text{trajet MR}$$

$$P_E(M) = P_R(M) \quad \text{car relais passif} \Rightarrow \text{pas d'amplification}$$

$$P_R = P_E + 2G + 2G' - A_0(EM) - A_0(MR)$$

$$A_0(EM) = 32,5 + 20 \log 8 + 20 \log 2000 = 116,5 \text{ dB}$$

$$A_0(MR) = 32,5 + 20 \log 2 + 20 \log 2000 = 104,5 \text{ dB}$$

$$G = 15 \text{ dB}$$

$$P_E = 10 \text{ W}$$

$$P_R = 1 \text{ mW}$$

$$2G' = P_R - P_E - 2G + A_0(EM) + A_0(MR)$$

$$\approx 81 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow G' = 40,5 \text{ dB} \Rightarrow g' = 10^{40,5/10} = 31600$$

$$\Rightarrow n' = \frac{2}{\pi} \sqrt{g'} = 8,5 \text{ m} !!$$

$\rightarrow$ solution qui n'a pas d'intérêt

T2

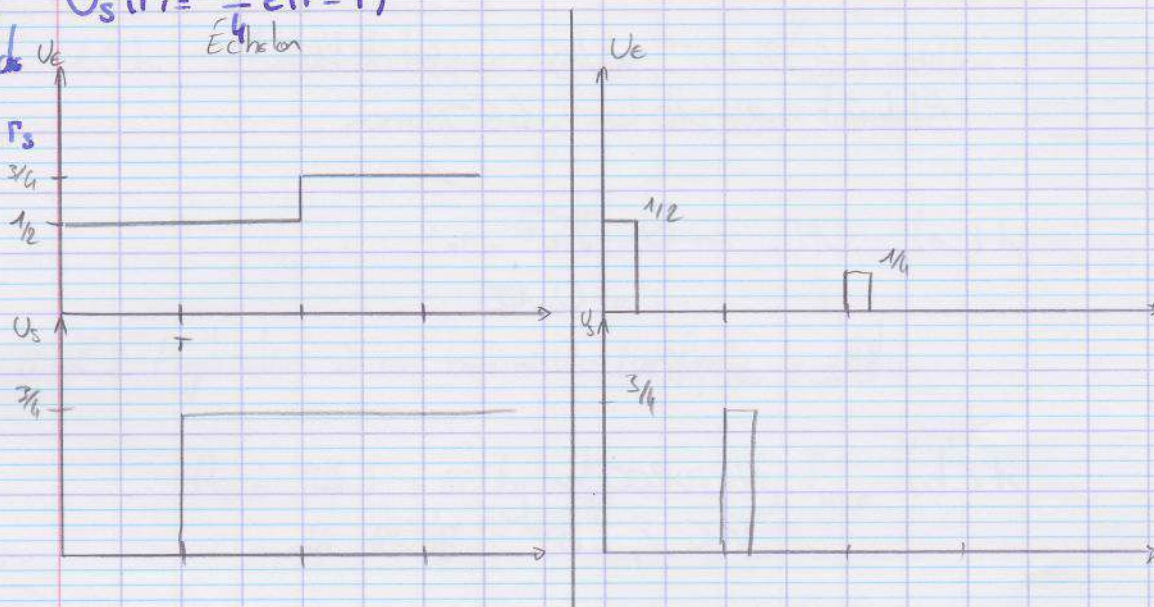
Ex. 4

3) $R_g = R_c$ $\Gamma_e = 0$
 $R_s = 3R_c$ $\Gamma_s = \frac{1}{2}$

$U_e(t) = \frac{1}{2}e(t) + \frac{1}{4}e(t-2T)$

$U_s(t) = \frac{3}{4}e(t-T)$
 Echelon

(~~calculer~~)
 Utiliser la
 formule de
 U_c
 avec $\Gamma_t = \Gamma_s$



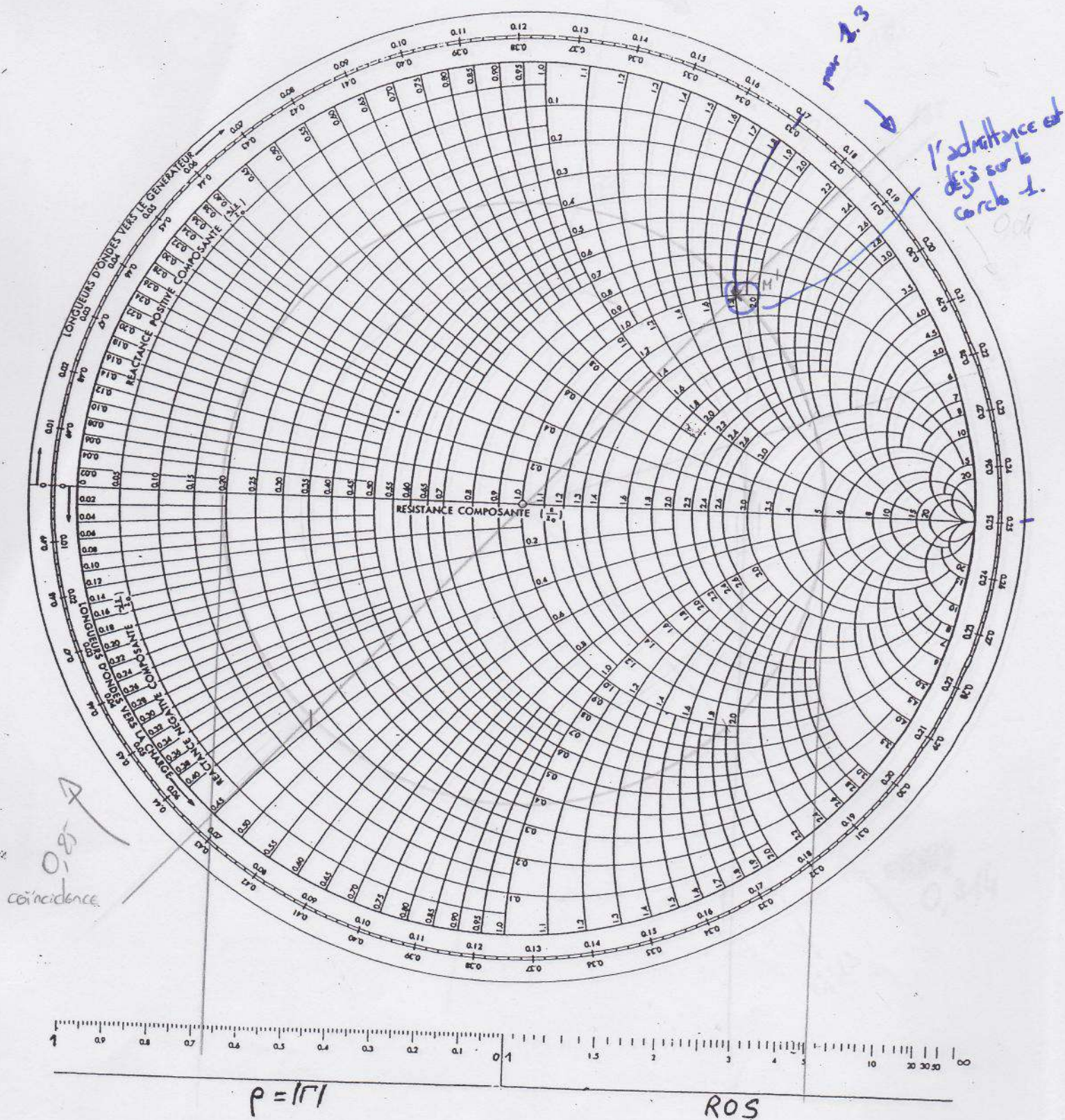
TD 3

Ex. 1

1.1. a) on: $\sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$
 $\theta_{\text{max}} = 14^\circ$

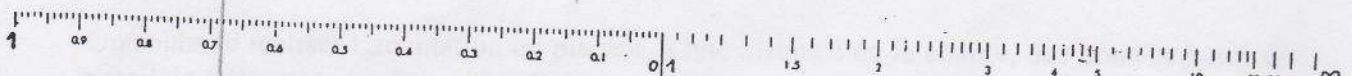
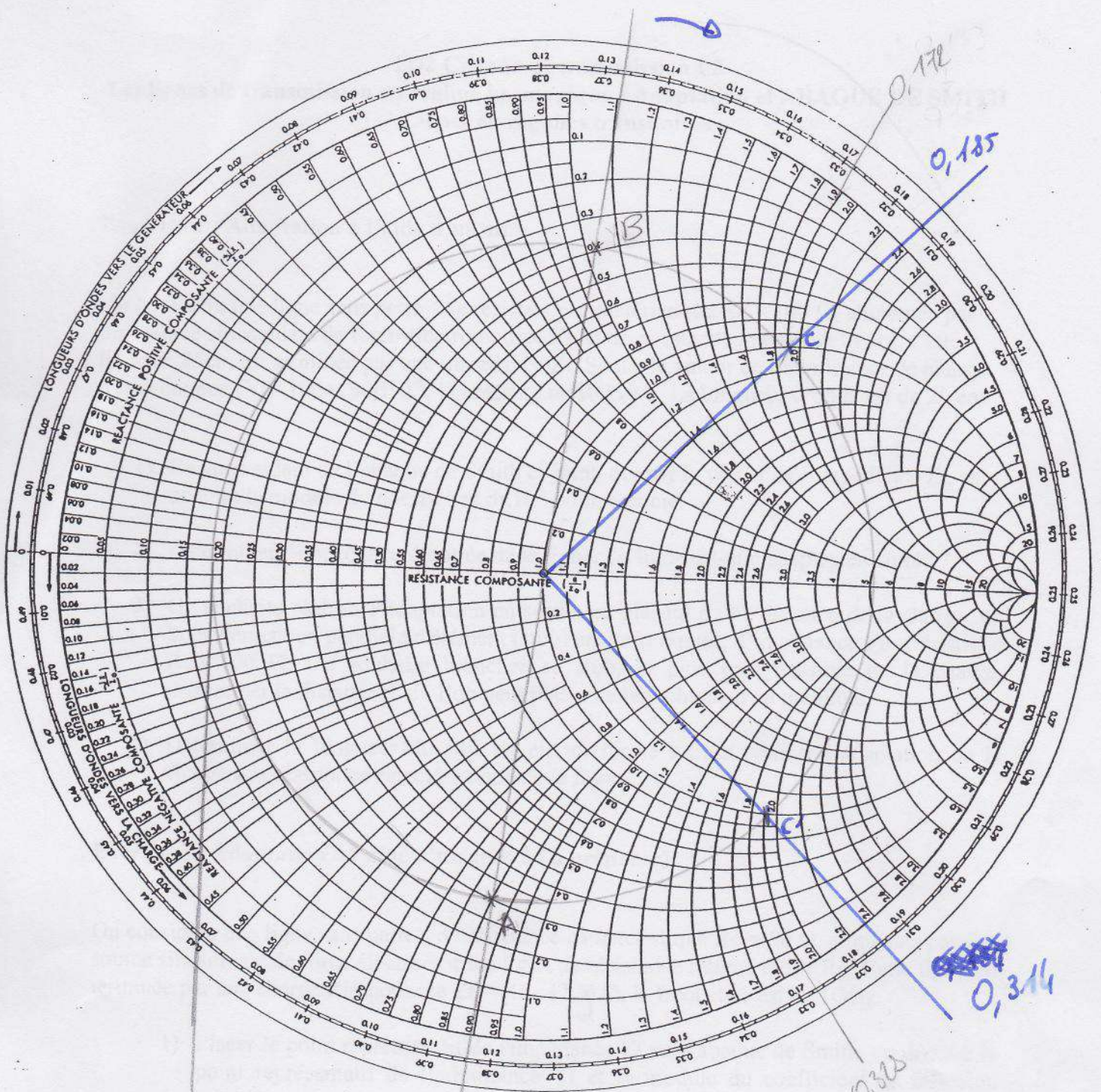
1.1. b) $f_1 = \frac{2\pi a}{\lambda_1} \cdot \text{ON} = \frac{2\pi \times 25 \cdot 10^{-6}}{850 \cdot 10^{-9}} \times \sin \theta = 66,8$ (sans unité)

$f_e = \frac{2\pi a}{\lambda_e} \cdot \text{ON} = 29,3$ (sans unité)



ABAQUE DE SMITH

9.133 on va vers le générateur



$p = |\Gamma|$

ROS

ABaque DE SMITH