

Rafaa Hamza

(1)

## I P S

## QCM 1

Voir en parallèle avec polycopié cours

① Quels sont les inconvénients du stabilisateur à diode zener vu en cours ? **Page 21 ALIM**

- mauvais rendement
- sensible aux variations du courant de sortie.  
mauvaise stabilité, lorsque la charge varie, le point de fonctionnement de la zener varie aussi.

② A quoi sert le transformateur dans une alim ? **page 7 ALIM**

- isoler galvaniquement le circuit du réseau de distribution
- à transférer de l'énergie sous forme magnétique
- à adapter les niveaux de tension.

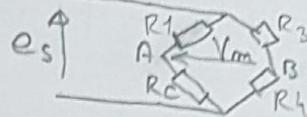
③ Qu'est-ce qu'une perturbation par couplage galvanique ? **page 11 INSTRUM**

- perturbation due à d'autres circuits reliés par la même alimentation.

④ Comment réduire des perturbations par couplage galvanique ? **page 11 et 12 INSTRUM**

- on place des filtres passe bas
- on utilise un point unique de masse

point de wheatstone suivant :



⑤ Calculer potentiel en A : page 26 INSTRU

$$V_A = \frac{R_C}{R_C + R_1} e_s - \frac{R_4}{R_4 + R_3} e_s = e_s \left[ \frac{R_C (R_4 + R_3) - R_4 (R_C + R_1)}{(R_C + R_1)(R_4 + R_3)} \right] = \frac{R_C R_4 + R_C R_3 - R_4 R_C - R_4 R_1}{(R_C + R_1)(R_4 + R_3)}$$

⑥ calculer potentiel en B et déduire la tension de mesure en fonction de la valeur de la résistance du capteur : page 26 INSTRU

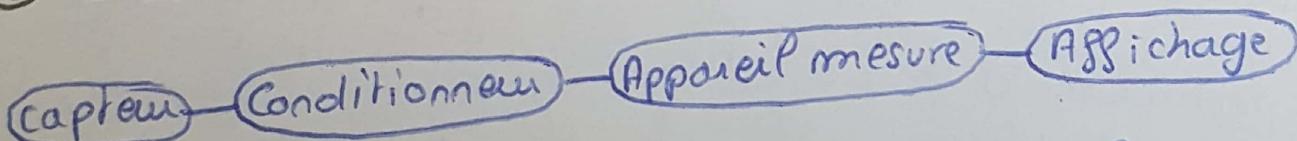
$$V_B = \frac{R_C}{R_C + R_1} e_s$$

$$V_M = V_A - V_B = \frac{R_C R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_C)(R_3 + R_4)} e_s \quad V_B = \frac{R_4}{R_4 + R_3} e_s$$

⑦ Un capteur est fidèle si : page 6 INSTRU

- l'écart type qu'il fournit est faible

⑧ chaîne de mesure suivante : page 21 INSTRU



Pour perdre moins d'infos au moment de la mesure, il faut :  $R_E$  soit grande et  $R_S$  soit faible pour éviter trop de perturbation

⑨ A quoi correspond le facteur de stabilisation d'un régulateur ? page 18 ALIM

$$- K = \frac{\partial V_S}{\partial V_E}$$

- L'aptitude du régulateur à répondre à des variations de la tension d'entrée.

⑩ A quoi sert un oscillateur de relaxation ?

page 37 INSTRU

- conditionner un capteur capacitif

- produire un signal carré de freq réglable

⑪ Pour conditionner un capteur inductif, on utilise:

page 31 INSTRU

- un pont de Maxwell

⑫ Inconvénients du stabilisateur à diode zénor par rapport au régulateur série à AOP ?

page 21 et 20,24 ALIM

- mauvais coef de stabilisat° avai

- rendement mauvais à faible charge

⑬  $U_1$  et  $U_2$  les tensions au primaire et au secondaire d'un transformateur idéal.  $n_1$  et  $n_2$  le nb de spires des enroulements au primaire et au secondaire.  $i_1$  et  $i_2$  les courants au primaire et secondaire. Quelles équat° caractérisent le transfor idéal ?

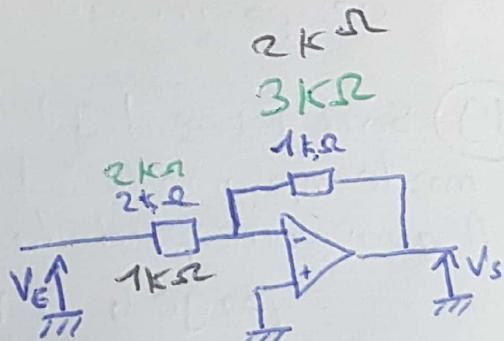
page 8 ALIM

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} ; \frac{i_2}{i_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

⑭ Montage suivant:  $\frac{V_s}{V_e} = ?$

-0,5  
-1/2

page ? -1/2



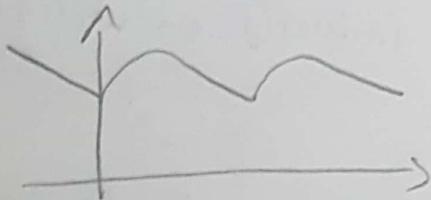
MILLMANN

⑮ Le capteur de la figure suivante permet de mesurer: page 21 INSTRU

- le courant

16 Soit une alim classiq (transformateur, redresseur, et filtre capacif) connectée sur le réseau 230V/50Hz. Le chronogramme suivant correspond à la tension:

page 14 ALIM et 21



- en sortie du pont de Graetz
- aux bornes de la charge
- en sortie du redresseur biphasé

17 Quel est l'intérêt du montage push-pull pour un point de mesure? page 24 INSTRU

- Linéariser la sortie de mesure
- Augmenter la sensibilité de mesure

18 Quel est l'intérêt du montage en pont wheatstone par rapport au montage potentiométrique?

page 28 INSTRU

- Supprimer la composante continue de la mesure
- réduire la sensibilité aux variations de la tension de polarisation

19 Soit  $F(m, t, T)$  la fcc de sortie d'un capteur, avec:  
m: le mesurande; t: le temps; T la température ambiante.  
A quoi correspond la sensibilité de mesure S de ce capteur

page 6 INSTRU  $S = \frac{\partial F}{\partial m}$

20 Soit le filtre RC suivant:

Quelles valeurs donner au produit  $Rc$  pour qu'une perturbation d'une freq de 100kHz soit réduite à 2% de sa valeur? (en  $\Omega \cdot F$ ) page ?

$$\ast 7,956 \cdot 10^{-5}$$

I P S

QCM 1

Voir en parallèle avec polycopié cours

- ① Un capteur est exact si --- page 6 INSTRU  
- les deux : écart type faible et pas err systématiq
- ② Un capteur est juste si --- page 6 INSTRU  
- il est dépourvu d'erreur systématique
- ③ Comment réduire des perturbations par couplage elec?  
page 19 INSTRU  
- En symétrisant les voies qui transmettent l'informa<sup>o</sup>  
sensible  
- On utilise un blindage electrostatique
- ④ Comment réduire des perturbations par couplage magnétique ?  
page 74 INSTRU  
- On place le circuit perpendiculairement au champ magnétique  
- On utilise un blindage ferromagnétique
- ⑤ Qu'est ce qu'une perturbation par couplage magnétique?  
page 14 INSTRU  
- Lorsqu'un circuit inductif crée une perturbation dans son environnement
- ⑥ Qu'est ce qu'une perturbation par couplage électrique?  
page 17 INSTRU  
- perturbation due à la présence d'une piste de cuivre à proximité d'une autre

(27) Pour conditionner un capteur capacitif  
on utilise: page 29 INSTRU

- point de Nernst

(28) A quoi correspond le coefficient de  
stabilisa<sup>o</sup>n aval (ou resistance interne)?  
page 18 ALIM

$$r_s = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$$

- L'aptitude du régulateur à répondre à des  
varia<sup>o</sup>n de la demande en courant de sortie.

(29) A quoi correspond le coefficient de température?  
page 18 ALIM

$$\alpha = \frac{\partial V_s}{\partial T}$$

(30) Conditionner un capteur capacitif? page 29 INSTRU

- point de Nernst

- oscillation de relaxa<sup>o</sup>n

# A apprendre pour QCM 1

## ALIM

### Chapitre 1 : alim électroniq

Le fournit au montage élec l'E nécessaire pour fonctionner en lui permettant de délivrer une puiss utile à sa charge et compenser les pertes.

# type :

- non stabilisée : tension de sortie varie en fonction de la charge
- stabilisée ou régulée : étage en plus pour limiter cet oscillation
  - Le stabilisateur → mom linéarité de ce composant pour stabiliser la sortie (ex: zener)
  - Le régulateur → syst bouclé, asservissement linéaire ou à découpage
- transformateur pour isoler le circuit de réseau de distribution

### chapitre 2 : Transformateur

Le isoler le circuit du réseau  
Le abaisser niveau de tension

# types :

- idéal : le rapport de transformation  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$
- réel :  $k = \frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}$  bobinage dans m sens sinon inversion des signes

- réel : flux de fuite:  $\Psi_1 = \Psi_1 + \Psi_{f1}$  et  $\Psi_2 = \Psi_2 - \Psi_{f2}$ , résistance des enroulements  $\neq 0$ , moyen magnétique mom linéaire

### chapitre 3: Redresseurs et filtres capacitatifs

- Fonctionnement en charge : + RCT, + ondulation mais + C est ↑ et + la durée de conduite de la diode est faible.

## chapitre 4: stabilisateur et régulateur

- fact de stabilisat° amont:  $k = \frac{\partial V_s}{\partial V_E}$

- coef de stabilisat° aval:  $r_s = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$

- coef de t°:  $d = \frac{\partial V_s}{\partial T}$

- utiliser la Zener dans zone stabilisat°:  $i_{Z_m} < i_Z < i_{Z_M}$

ne pas détruire  
la Zener

ne pas être dans le courant

## QCM 2 IPS

possible d'avoir  
question QCM 1

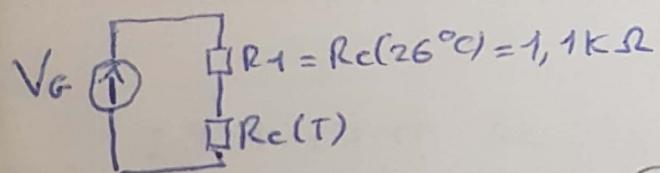
- ① Classer ces 4 technologies de CAN par ordre de temps de conversion (du + rapide au plus lent):  
 → Flash, approximation successive, simple rampe, double rampe. Voir à partir de p-81 !

p82 simple rampe : lent (2<sup>m</sup> cycles pour convertir)p83 double rampe : très lent (2.2<sup>m</sup> cycles pour convertir)

p84 Appr successive : vite (m cycles pour convertir)

p.85 Flash : très rapide ( $\approx 10$  ms temp de propagation)

- ② Rés thermique Pt100 de résistance  $R_c(T) = R_0(1+\alpha T)$   
 où  $T$  représente la  $t^o$  en  $^{\circ}\text{C}$ ,  $R_0 = 1\text{ k}\Omega$  la résistance à  $0^{\circ}\text{C}$   
 et  $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  le coef de  $t^o$ . Montage :



{ étendue de mesure: [-25°C ; 60°C]  
 { Fixer VG pour courant < 5mA.

$$\rightarrow V_G \leq 10\text{ V}$$

? calcul

- ③ Quelle est la capacité d'un condensateur plan?  
 $\epsilon$ : permittivité du milieu entre les armatures  
 $S$ : surface des armatures  
 $d$ : distance entre les armatures

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \text{ voir p 63 et 62}$$

④ Le capteur permet de mesurer :  
des faces de température.

⑤ Pourquoi faire du sur échantillonnage :  
- réduire bruit de quantification  
- améliorer efficacité du filtre anti repliement  
Voir p. 79 en plus : facilité utilisation d'un filtre réel pour le filtre anti repliement.

⑥ A quoi est reliée la résolu<sup>o</sup>n d'un potentiomètre linéaire à piste résistive ? page 57  
- Taille des grains de la poudre utilisée

⑦ Des jauge extensométrique permettent de mesurer : <sup>(des déplacements)</sup> des déformations. p 58  
Le capteur résistif.

⑧ Un capteur LVDT permet de mesurer :  
des déplacements linéaires page 60

⑨ Intérêts d'un amplificateur d'instrumentation ?  
- impedances d'entrée élevées page 53  
- voies symétriques  
- gain prisé par une seule résistance

10) Soit un CAN acceptant en entrée des signaux 0V et 10V, la quantification s'effectue sur 8 bits, le temps de conversion est  $T_c = 1\text{ms}$ .

Quel est le pas de quantification de ce CAN?

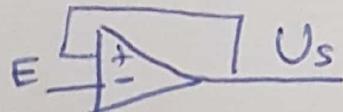
$$39 \text{ mV} \quad \text{page 76} \quad \frac{2V_m}{2^m} = \frac{10}{2^8} = 0,033 = 39 \text{ mV}$$

sortie AOP

11) FT d'un AOP =  $\frac{\overbrace{U_s}^{U_+ - U_-}(p)}{\epsilon} = \frac{A_o}{1 + 2Cp}$

Quels sont les pôles de la FT entre E et Us?

Que dire de la stabilité du système bouclé?



$$A_o = 1 + 2Cp \Rightarrow \boxed{\frac{A_o - 1}{2C} = p}$$

- Le système est instable.

$$- p = (A_o - 1) / 2C$$

12) Quelle association capteur + grandeur physique est fausse? page 69

→ thermocouple : couple

13) Qu'est ce que la fidélité d'un capteur?

→ la faculté de délivrer toujours la même valeur en sortie pour la même valeur d'entrée. page 6

14) Quel capteur permet de mesurer une force?

→ une jauge de contrainte

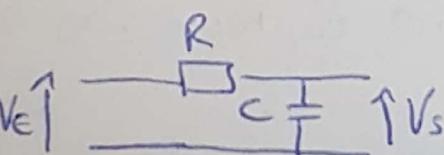
page 66

piezoelectrique

(15) Qu'est ce que la résistivité d'un matériau?  
→ La résistance d'un tronçon de matériau de 1m de longueur et de  $1\text{m}^2$  de sec.  
 $R = \rho \frac{l}{s}$  avec  $l=1$  et  $s=1$  soit Résistance = résistivité

(16) Le LM335 est un capteur électronique de  $t^\circ$  à  $0^\circ\text{C}$ , ce capteur fournit une tension de sortie de 2,73 V. Sachant que sa sensibilité est de  $+10\text{mV}/^\circ\text{C}$ , quelle  $t^\circ$  correspond à une tension de sortie de 3,13 V?  
→  $40^\circ\text{C}$

(17) Une jauge de contrainte a comme caractéristiques  $R_0 = 70\Omega$ ,  $L_0 = 8\text{mm}$  et  $K = 0,3$ . Combien vaut  $R$  si  $L = 10\text{mm}$ ?  
→  $74,5\Omega$

(18) Filtre RC   
quelle valeur donner au produit  $R C$  pour que une perturbation d'une fréq de 100 kHz soit réduite à 2% de sa valeur? (en  $\Omega \cdot \text{F}$ )  
→  $7,956 \cdot 10^{-5}$  Calcul?

→ NZ

en quelle unité : résistivité d'un matériau ?

$$R = \rho \frac{P}{s}$$

$$\Omega \text{ ohm} = \text{ohm/mètre} \frac{\text{mètre}}{\text{mètre}^2}$$

jauge

$$R_0 = 50 \Omega$$

$$L_0 = 8 \text{ mm}$$

$$K = 0,4$$

$$L = 10 \text{ mm}$$

$$\boxed{\frac{dR}{R} = K \frac{dL}{L}}$$

$$\frac{R - R_0}{R} = K \frac{L - L_0}{L}$$

$$R - R_0 = R \left( K \left( \frac{L - L_0}{L} \right) \right)$$
~~R = R~~

$$\frac{R - R_0}{R}$$

$$L(R - R_0) = K(L - L_0)R$$

$$LR - LR_0 = K(L - L_0)R$$

$$LR - K(L - L_0)R = LR_0$$

$$R(L - K(L - L_0)) = LR_0$$

$$R = \frac{LR_0}{L - K(L - L_0)} = 54,3 \Omega$$

$$\begin{array}{l} [0, 100] \\ [-25, 60] \end{array}$$

$$V_G < 14 \text{ V}$$

$$V_D < 10 \text{ V}$$

$$1k\Omega \text{ à } 0^\circ\text{C} \quad 1000$$

$$1,1 k\Omega \quad R_1$$

$$I < 5 \text{ mA}$$

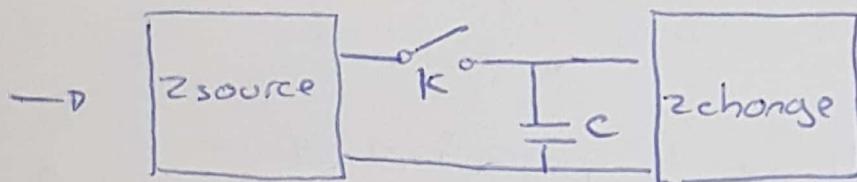
$$V_G \leq (R_{\text{cmint}} + R_1) I$$

$$R_{\text{co}} = R_0 (1 + \alpha T_0)$$

$$1000 (1 + 3,85 \times 10^{-3} \times 125) = 903,75$$

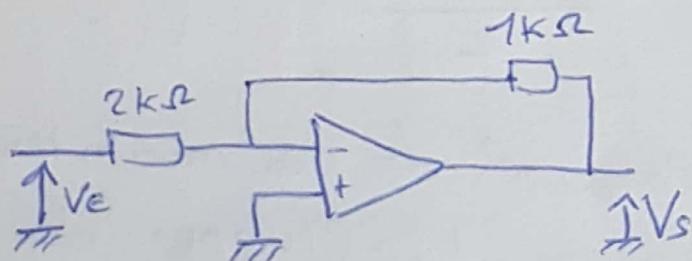
## QCM 2

- 19) • Quel est le principe de fonctionnement d'un échantillonneur bloqué ? page 80



- 20) • Quelle est la plage de températures maximales mesurables avec un thermocouple ?  
 $\rightarrow [-200^\circ\text{C}; 1750^\circ\text{C}]$  page 70

- 21) • Soit  $F_{\max}$  la plus haute freq contenue dans un signal. D'après le Th de Shannon, pour échantillonner sans pertes il faut que la freq d'échantillonnage  $f_e$  vérifie ?  
 $\rightarrow f_e > 2F_{\max}$  page 75 / 76



- 22) • que vaut  $\frac{V_S}{V_E}$

$$-\frac{1}{2} = -0,5$$

Voir QCM 1

(23) Quelle est la résistance d'un fil métallique ? On note  
ρ : la résistivité du matériau  
l : la longueur du fil  
s : surface de la section du fil

$$\rightarrow R = \rho \frac{l}{s} \text{ page 58}$$

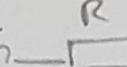
(24) A quoi est reliée la résistance d'un potentiomètre linéaire à piste bobinée ?  
 $\rightarrow$  Le pas de bobinage page 57

(25) Soit  $\mathcal{N}_{1p}$  et  $\mathcal{N}_{2p}$  les tensions parasites superposées aux deux voies d'entrées d'un amplificateur différentiel. Que vaut la tension parasite de mode commun en entrée de l'amplificateur ?

$$\boxed{\mathcal{N}_{mc}} \rightarrow \frac{\mathcal{N}_{1p} + \mathcal{N}_{2p}}{2} \text{ page 50}$$

(26) Lequel de ces montages permet de minimiser l'influence des fils de liaisons lorsque vous déportez un capteur résistif loin de son électronique de conditionnement ?  
 $\rightarrow$  Le montage 4 fils page 28

$\text{Léo} \neq \text{mesures}$  : page 55 à

- courant:
  - shunt 
  - effet Hall circuit ferromagnétique
- déplacement  $\theta$  ou position:
  - potentiomètre à curseur
    - résistif (grain de la poudre)
    - bobiné (pas de bobinage)
  - jauge extensométrique (capteur résistif) pour déformer
  - capteur à induction variable
    - à une seule bobine (l'utilise dans zone 20, sensibilité = 0)
    - transformateur àiel (capteur LVDT)
    - resolver (capt positiō angulaire)
  - capteur à capacité variable
  - capteur de position par mesure de temps de propagation
- vitesse:
  - dynamo tachymétrique
  - alternateur tachymétrique
- Force:
  - capteur piezoelectrique (contrainte)
  - capteur de force à corps d'épreuve.
- Accéléromètre:
  - calculer effort produit par une masse connue
- Température:
  - thermistance métallique et à semi-conducteur et thermocouple
- Pression:
  - corps d'épreuve
- Lumière:
  - cellule photoconductrice ou photorésistance ou photodiode

\* Une perturbation de mode commun peut être annulée en utilisant un amplificateur différentiel !  
page 10.

\* La déformation d'un solide de caractéristiques connues est mesurée par un système de déplacement.  
page 67.

\* pression statiq :  $P = \frac{dF}{dS}$

\* page 80

- > impédance sortie = 0 => capacité se charge instantanément lorsque interrupteur se ferme = phase échantillonnage  $V_s(t) = V(t)$
- > impédance entrée de charge => quand interrupteur s'ouvre,  $V_s$  reste constant = phase de blocage.

(27)  $N_{ip}$  et  $N_{zp}$  les tensions parasites superposées aux deux voies d'entrée d'un amplif t.cie. ?  
Que vaut la tension parasite facile d'entrée - - -

$$\rightarrow N_{pz} - N_{pi}$$

(28) plage de  $T^\circ$  mesurable avec l'héronisance à semi conducteur ?  
 $\rightarrow [-100^\circ\text{C}, 300^\circ\text{C}]$

A Savoir :

jauge de contrainte : force

acceleromètre : accélération

CTN : Température -> et (thermocouple)

jauge extensométrique : déformation

capt LVDT : déplacement linéaires

retroact p 46

thermocouple p 69

\* faire les 3 onglets puis mettre aide, quitter, menu  
bonne ...

shunt p 55 : pour les courants continu

échappement Hall (circuit fermé statiq)

\* relire qcm IPS + trouvez les questions des autres réponses.

Meure précision! corps d'épreuve :  $p = dF/dS$  (p tension statiq)

Meure  $T^\circ$  : Thermistance métallique p 68 : plage [-100°C, 300°C]

questions manquantes

rep manquante

pk faire du ... ? (échantillonnage) supprimer perturbations mode commun

A quoi est reliée la résolu de potentiomètre à piste bobinée?

pas de bobinage

A quoi est reliée la résolu d'un potentiomètre à piste - - - - -

- Pgr potentiomètre

- course électrique

p 57

- résistance max du potentiomètre

intérêt amplification instrum: ?

pas sûr, à vérifier :

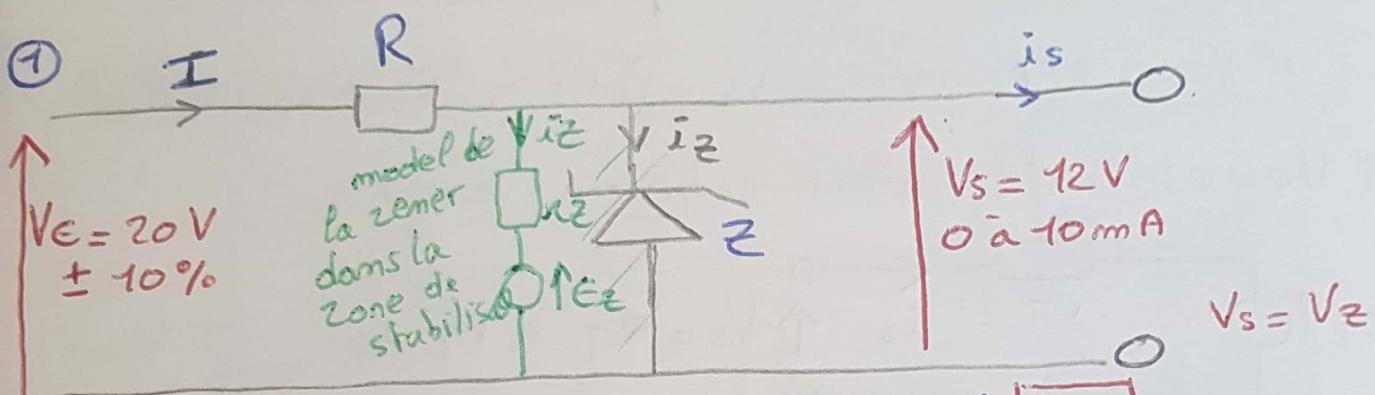
→ rejeter perturbations du mode différentiel, et isoler galvanique la ch acquisition et le procédé.

$\Delta V_1$  et  $\Delta V_2$  p les tensions paroît ...  
que vont la tension quelle ?

$$\Delta V_{\text{d}} = \Delta V_2 - \Delta V_1$$

2, ~~3~~, ~~4~~, ~~5~~, ~~6~~, 17, 18

Rafaa TD 1 ALIMS S7 ①



on choisit une diode de tension seuil

$$R \leq \frac{V_{emim} - V_z}{i_{zmax} + i_{zmin}} = \frac{18 - 12}{(10+2) \cdot 10^3} = 500 \Omega \quad V_z = 12 \text{ V}$$

on choisit  $R = 470 \Omega$

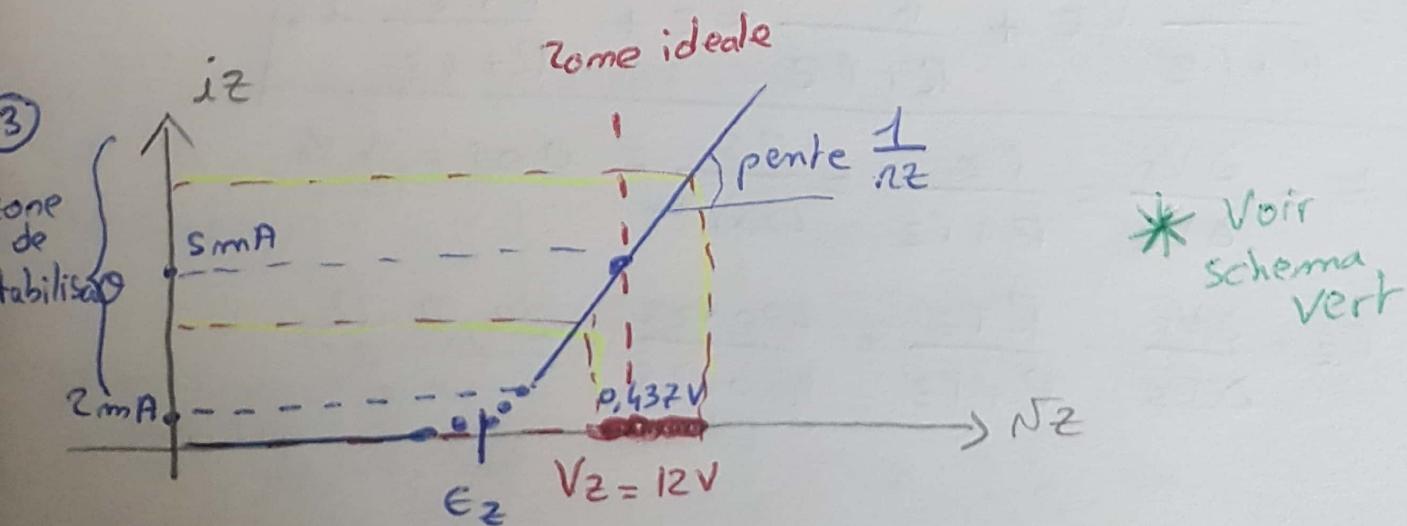
pour avoir le cas le plus défavorable

$$P_z = V_z \cdot \frac{V_{emax} - V_z}{R} = 12 \cdot \frac{22 - 12}{470} = 0,26 \text{ W}$$

$$P_R = \frac{(V_{emax} - V_z)^2}{R} = \frac{(22 - 12)^2}{470} = 0,21 \text{ W}$$

$$P_R = \frac{U_R^2}{R} \text{ loi ohm}$$

②  $500 \text{ mW} > P_z = 0,26 \text{ W}$  donc BZT79C12 convient



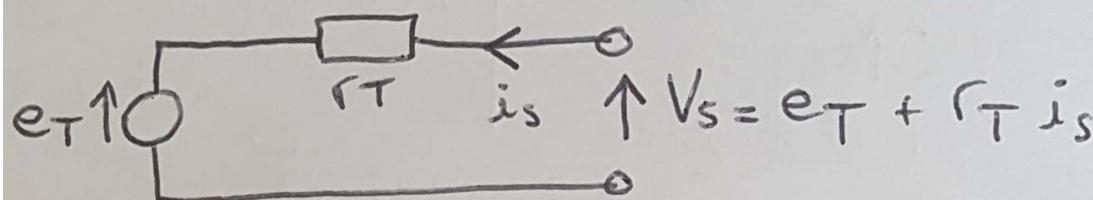
③ il faut recalculer

$$K = \frac{\partial V_s}{\partial E} \text{ et } r_z = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$$

il faut exprimer :  $V_s = fct(V_E, I_s, E_Z, r_z, R, \dots)$  ?

|  $K$ : stabilisat amont  
|  $r_z$ : stabilisat aval

Théorème : Voir schéma moir



La résistance interne  $r_T$  est = à la résistance  
vire des bornes de sortie quand  $V_E$  et  $E_T$  sont  
court circuitées.  $\rightarrow$  calculer  $r_T$

La fem ( $e_T$ ) est égale à la tension à vide  
(utilisons ici le TH de superposition)  $\rightarrow$  calculer  $e_T$

$$\bullet r_T = R \parallel r_z = \frac{R r_z}{R + r_z}$$

$$\bullet e_T = \frac{r_z}{R + r_z} V_E + \frac{R}{R + r_z} E_Z$$

$$V_s = \frac{r_z}{R + r_z} V_E + \frac{R}{R + r_z} E_Z + \frac{R r_z}{R + r_z} i_s$$

$$\rightarrow K = \frac{\partial V_s}{\partial V_E} = \frac{r_z}{R + r_z} = \frac{25}{470 + 25} = 0,05 = 5\%$$

c'est pas mal!

$$\rightarrow r_z = \frac{\partial V_s}{\partial I_s} = \frac{R r_z}{R + r_z} = \frac{470 \times 25}{470 + 25} = 23,7 \Omega$$

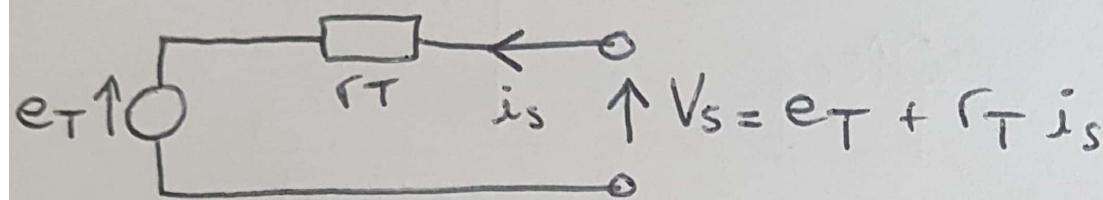
on ne voit pas trop ce que ça veut dire

③ ip faut recalculer  
 $K = \frac{\partial V_s}{\partial E}$  et  $r_s = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$   
 ip faut exprimer :  $V_s = fct(V_E, I_s, E_Z, r_Z, R, \dots)$  ?

| K : stabilisat amont

|  $r_s$  : stabilisat aval

Théorème : Voir schéma moir



La résistance interne  $r_T$  est = à la résistance ~~vide~~ des bornes de sortie quand  $V_E$  et  $E_T$  sont court circuitées. → calculer  $r_T$

La fem ( $e_T$ ) est égale à la tension à vide (utilisons ici le TH de superposition) → calculer  $e_T$

$$r_T = R \parallel r_Z = \frac{R r_Z}{R + r_Z}$$

$$e_T = \frac{r_Z}{R + r_Z} V_E + \frac{R}{R + r_Z} E_Z$$

$$V_s = \frac{r_Z}{R + r_Z} V_E + \frac{R}{R + r_Z} E_Z + \frac{R r_Z}{R + r_Z} i_s$$

$$\rightarrow K = \frac{\partial V_s}{\partial V_E} = \frac{r_Z}{R + r_Z} = \frac{2S}{470 + 2S} = 0,05 = 5\%$$

c'est pas mal!

$$\rightarrow r_s = \frac{\partial V_s}{\partial I_s} = \frac{R r_Z}{R + r_Z} = \frac{470 \times 2S}{470 + 2S} = 23,7 \Omega$$

on ne voit pas trop ce que ça veut dire

④ Voir schéma rouge

Ecart de tension du à la source :

$$\Delta V_{S1} = K \Delta V_E = 0,05 \times \pm 2V = \pm 0,1V$$

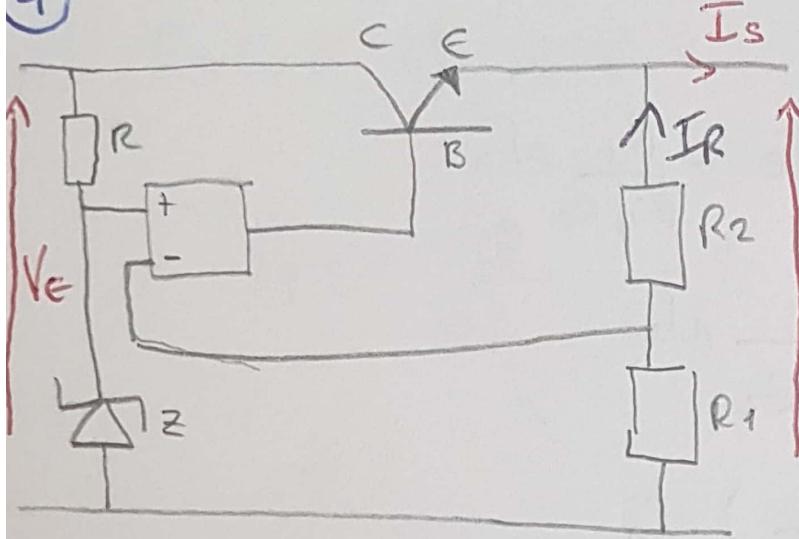
$V_S$  varie sur un intervalle  $\pm 0,1V$  en sortie

Ecart de tension du à la variation de charge :

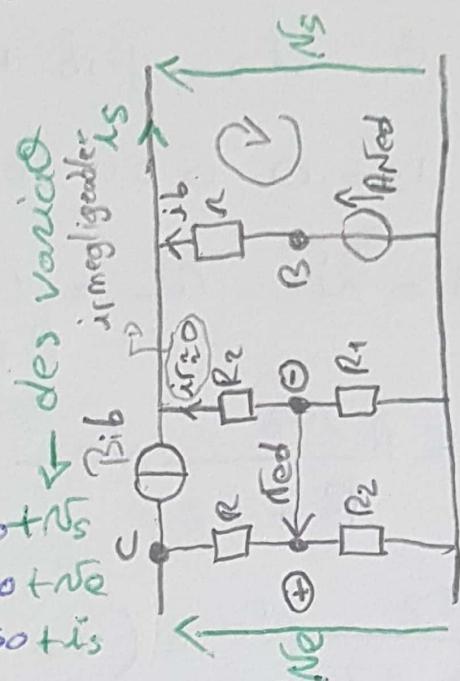
$$\Delta V_{S2} = r_Z \Delta I_S = 23,7 \times \underbrace{0,01}_{10mA} = 0,257V$$

Exercice 2

①



⊖ entrée - de l'AOP  
⊕ entrée + de l'AOP



② calculer  $k = \frac{\partial V_s}{\partial V_e}$  le facteur de stabilisation amont et  $r = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$  le coefficient de stabilisation aval :

$K = \frac{\partial V_s}{\partial V_e}$  le calcul de  $K$  se fait pour  $I_s$  constant donc pour  $i_s = 0$

$$K = \left. \frac{N_s}{N_e} \right|_{i_s=0} *$$

$R_s = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$  ne dépend que des valeurs de  $I_s$  donc pour  $N_e = 0$

$$R_s = \left. \frac{N_s}{-i_s} \right|_{N_e=0}$$

convention de signe



Rappel : exiger

$$\frac{V_e}{V_s} \leq \frac{V_{e_{min}} - V_z}{i_{s_{max}} + i_{z_{min}}} \quad R \leq \frac{V_{e_{min}} - V_z}{i_{s_{max}} + i_{z_{min}}} \quad R_s = \frac{R \cdot r_z}{R + r_z}$$

\*

$$N_S = A N_{ed} - R_{ib} i_b$$

$$\text{en } \in \quad i_s = \beta i_b + \frac{i_R}{R} + \cancel{\frac{i_o}{R}} = (\beta + 1) i_b$$

or  $i_s = 0$  d'où  $i_b = 0$

$$N_{ed} = N_+ - N_- = \frac{R_2}{R + R_2} N_e - \frac{R_1}{R_1 + R_2} N_o$$

$$N_S = A \frac{R_2}{R + R_2} N_e - A \frac{R_1}{R_1 + R_2} N_o$$

$$A \frac{R_2}{R + R_2} N_e = \left( 1 + A \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) N_o$$

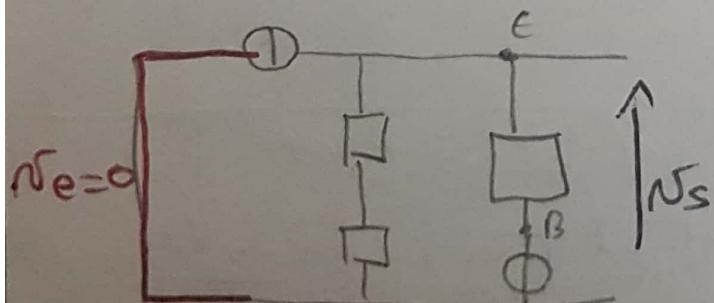
$$K = \frac{N_S}{N_e} = \frac{A \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{1 + A \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

comme  $A$  est très grand

$$A \frac{R_1}{R_1 + R_2} \gg 1$$

$$K = \frac{R_2}{R + R_2} \quad \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

schéma devient alors :



$$*\quad i_s = \beta i_b + \frac{i_{R^0}}{\beta+1} i_b \\ = r \cdot i_b = \frac{i_s}{\beta+1}$$

$$N_s = A N_{ed} - \frac{R i_s}{\beta+1}$$

$$N_{ed} = 0 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} N_s$$

$$N_s + \frac{R i_s}{\beta+1} = -A \frac{R_1}{R_1 + R_2} N_s$$

$$N_s \left( 1 + \frac{A R_1}{R_1 + R_2} \right) = - \frac{R i_s}{\beta+1}$$

$$R_s = \frac{N_s}{-i_s} = \frac{r}{(\beta+1)(1 + A \frac{R_1}{R_1 + R_2})}$$

A très grand aménage

$$\left. \begin{array}{l} \beta \gg 1 \\ A \frac{R_1}{R_1 + R_2} \gg 1 \end{array} \right\} \text{d'où } R_s = \frac{r}{\beta A \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$R_s$  est donc très faible, la sortie de régulation sera à AOP est très proche du générateur idéal de tension

## Exercice 3

① Rela $\phi$  et  $V_1$ ?

$$V_1 = m \frac{d\phi}{dt}$$

② Rela $\phi$  entre  $V_1$  et  $B$ ?

$$\text{Par def } \phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$\phi = \vec{B} \iint_S d\vec{s} = BS \quad V_1 = m_1 S \frac{d\vec{B}}{dt}$$

③ si  $V_1$  est sinusoïdale alors  $B$  aussi / on note sinusoïde

$$B = B_{MAX} \cos \omega t$$

$$N_1(t) = -m_1 S B_{MAX} \omega \sin \omega t$$

$$V_{1MAX} = m_1 S B_{MAX} \omega$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$V_{1\text{MAX}} = 2\pi f m_1 S B_{\text{MAX}}$$

en valeur efficace

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{1\text{MAX}}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \pi f B_{\text{MAX}} S m_1$$

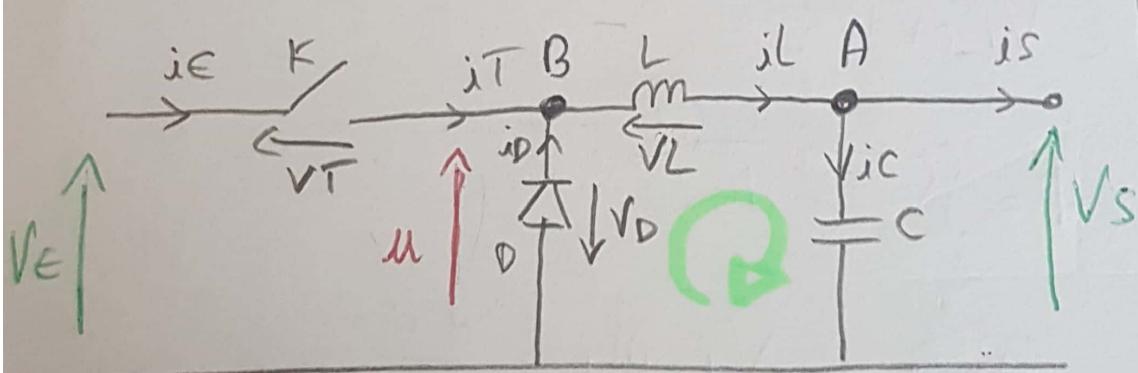
Pour  $V_{\text{eff}}$  donnée,  $B_{\text{MAX}}$  donné

Si on  $\uparrow f$  on peut diminuer  $S$

$\rightarrow$  les dimensions du transformateur sont plus petites

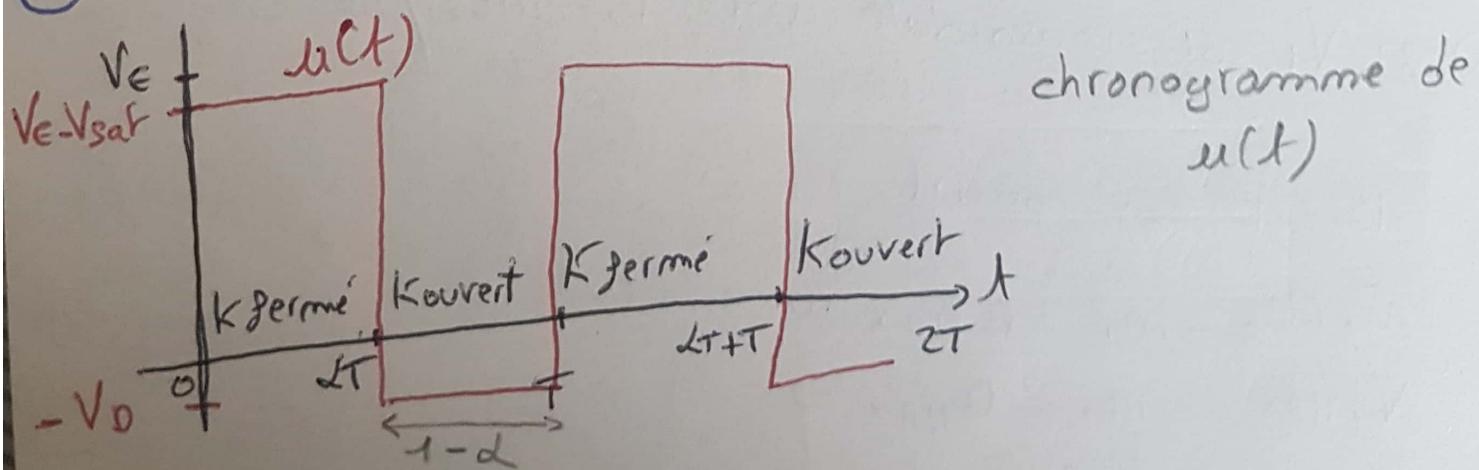
$\rightarrow$  gain de place, de poids et de coûт.

#### Exercice 4 Buck



Rappels:  
cas ideal:  
 $V_S = \omega V_E$   
 $\eta = 100\%$

①



- si K passant  $V_T = V_{Sat}$

- si D passant  $V_D = 0V$

$\langle u \rangle$

②

Rappel:  $\langle x \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T x(\tau) d\tau$   
\* via chronogramme

$$\text{soit } \langle u \rangle = \frac{1}{T} [ \alpha T (V_E - V_{Sat}) + (1-\alpha) T (-V_D) ]$$

$$\langle u \rangle = \alpha (V_E - V_{Sat}) - (1-\alpha) V_D$$

\* Via loi des mailles

↓ maille sur schéma

$$u = V_L + V_S$$

$$\langle u \rangle = \langle V_L + V_S \rangle$$

$$\langle u \rangle = \langle V_L \rangle + \langle V_S \rangle \quad \text{Valeur moy de } V_S = V_S$$

$$\langle u \rangle = \langle V_L \rangle + \frac{V_S}{T} \quad \boxed{\beta = 0 \quad \langle u \rangle = V_S}$$

$$\langle V_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(\tau) d\tau = \frac{1}{T} \int_0^T L \frac{di_L}{d\tau} d\tau$$

$$\langle V_L \rangle = \frac{L}{T} \int_{i(0)}^{i(T)} i d i_L = \frac{L}{T} [i L]_0^T = \frac{L}{T} (i_L(t) - i_L(0)) \\ = 0 \text{ en } \underline{\text{régime permanent}}$$

comme  $\langle u \rangle = V_S$

$$V_S = \alpha (V_E - V_{Sat}) - (1-\alpha) V_D$$

$$0 = -V_S + \alpha V_E - \alpha V_{Sat} - V_D + \alpha V_D$$

$$\alpha (V_E + V_D - V_{Sat}) = V_S + V_D$$

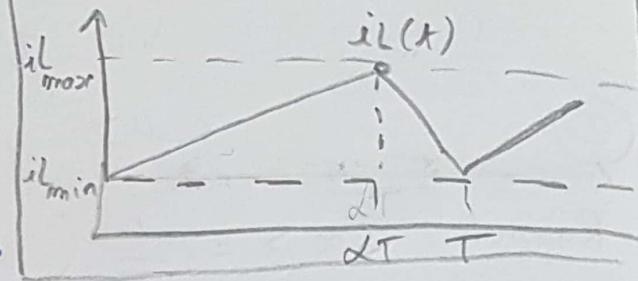
$$\boxed{\alpha = \frac{V_S + V_D}{V_E + V_D - V_{Sat}}}$$

③ fait  $\Delta = \dots$  précédent

④ calcul du rendement

$$\eta = \frac{\langle V_s i_{ss} \rangle}{\langle V_e i_e \rangle} = \frac{V_s \langle i_{ss} \rangle}{V_e \langle i_e \rangle}$$

### RAPPEL COURS



il faut trouver une relation entre  $\langle i_e \rangle$  et  $\langle i_{ss} \rangle$

\* Loi des noeuds en A:

$$i_L = i_{ss} + i_C$$

$$\langle i_L \rangle = \langle i_{ss} + i_C \rangle$$

$$\langle i_L \rangle = \langle i_{ss} \rangle + \langle i_C \rangle$$

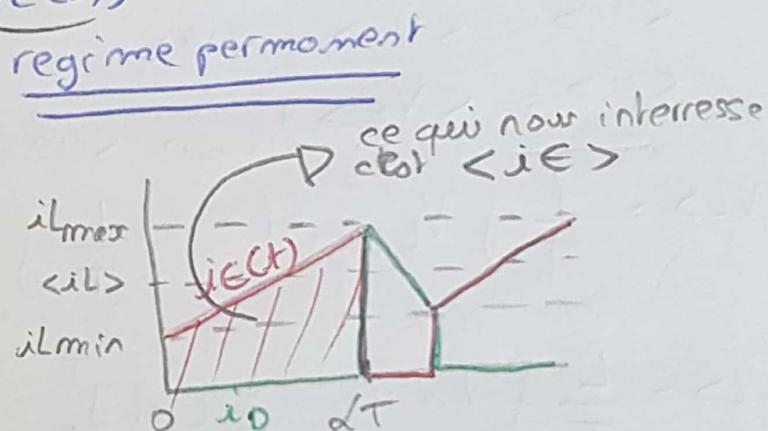
$$\langle i_C \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T i_C(\tau) d\tau = \frac{1}{T} \int_0^T C \frac{dU_c}{dt} d\tau$$

$$= \frac{C}{T} [U_c(T)]_0^T = \frac{C}{T} (\underbrace{U_c(T) - U_c(0)}_{=0 \text{ en régime permanent}})$$

$$\langle i_L \rangle = \langle i_{ss} \rangle$$

\* Loi des noeuds en B:

$$i_L = i_D + i_e$$



$$\langle i_e \rangle = \frac{1}{T} [\langle i_L \rangle \Delta T + (1-\lambda) T \times 0]$$

$$\langle i_e \rangle = \lambda \langle i_L \rangle \text{ or } \langle i_L \rangle = \langle i_{ss} \rangle$$

d'où  $\langle i_e \rangle = \lambda \langle i_{ss} \rangle$

$$R = \frac{V_s \langle i_{ss} \rangle}{V_e \lambda \langle i_{ss} \rangle} \text{ soit}$$

$$R = \frac{V_s}{V_e} \cdot \frac{V_e + V_o - V_{sat}}{V_s + V_o}$$

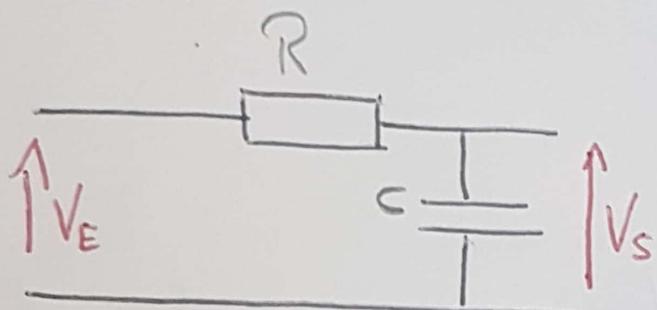
$$\text{AN: } \eta = \frac{12}{24} \cdot \frac{24+1-1}{12+1} = 92\% \quad \text{et} \quad \frac{12}{24} = 50\%$$

IIPmam

TD 1 Instrum

Exercice 1 Filtre RC

① Fonc $\omega$  transfert  $\frac{V_s}{V_E}$  puis tracer diag de Bode.



$$\frac{V_s}{V_E}(j\omega)$$

$$V_s = V_E \times \frac{Z_C}{Z_R + Z_C}$$

impédances :

$$Z_R = R$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

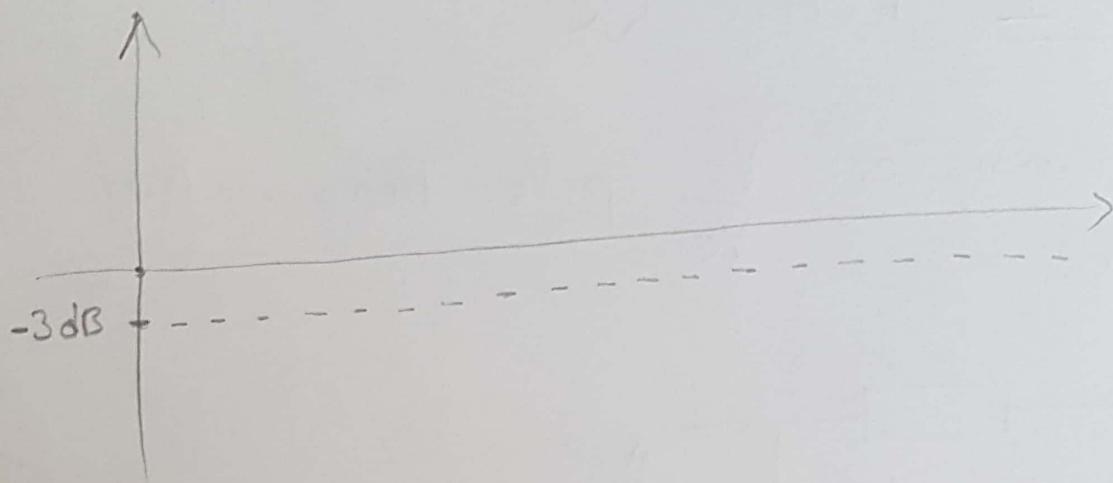
$$V_s = V_E \times \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{\frac{V_E}{j\omega C}}{\frac{RC(j\omega) + 1}{j\omega C}} = \frac{V_E}{RC(j\omega) + 1}$$

$$V_s = V_E \times \frac{1}{RC(j\omega) + 1} \Leftrightarrow \frac{V_s}{V_E} = \frac{1}{RC(j\omega) + 1}$$

Bode  $\Rightarrow$   $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

## Bode :

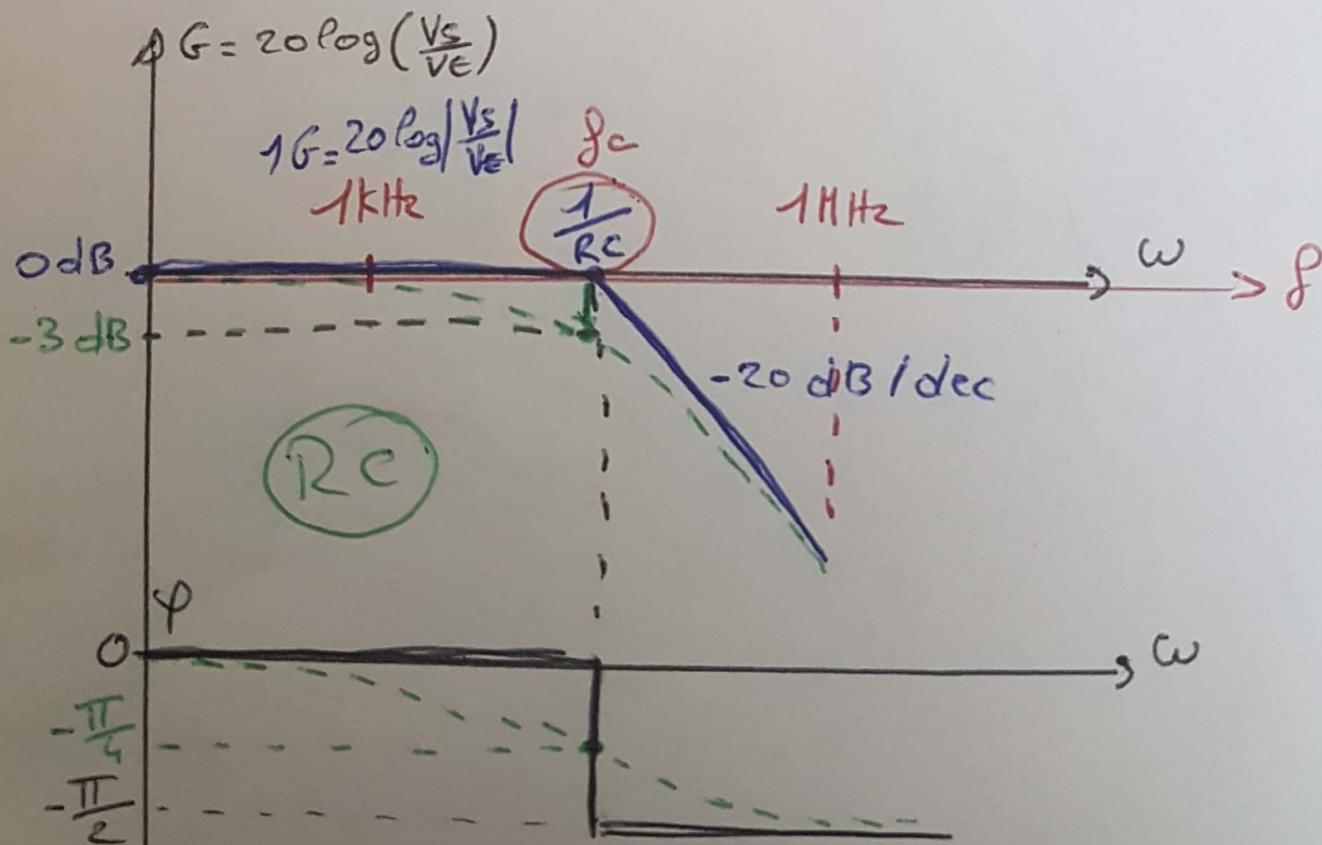
\* en gain :  $20 \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right)$  en fonction de  $\log(\omega)$



## Corrigé :

$$\textcircled{1} \quad V_s = \frac{Z_c}{Z_c + Z_R} V_e = \frac{\frac{1}{jC\omega}}{\frac{1}{jC\omega} + R} \times V_e$$

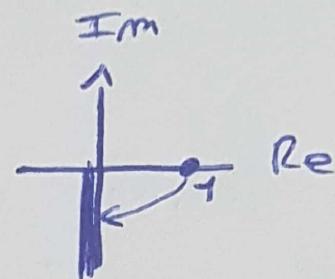
$$\frac{V_s}{V_e}(j\omega) = \frac{1}{1 + jR_C\omega} \quad \frac{V_s}{V_e}(p) = \frac{1}{1 + R_C p}$$



$$\text{pour } \omega \rightarrow 0 \quad V_s \rightarrow V_e \quad \frac{V_s}{V_e} \rightarrow 1 \quad 20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| \rightarrow 0$$

$$\text{pour } \omega \rightarrow \infty \quad V_s \rightarrow 0 \quad 20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| \rightarrow -\infty$$

$$\frac{1}{j\omega} \cdot \frac{j}{j^2\omega} = -\frac{j}{\omega} \text{ imaginaire}$$



Faire en sorte que le gain soit 0,01 (1%)  
L0 [perturbation à 1%]

$$\left| \frac{V_s}{V_e} \right|_{(1 \text{ MHz})} = 0,01$$

$$\left| \frac{V_s}{V_e} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{f}{f_c} \right)^2}}$$

$$\text{avec } \omega_c = \frac{1}{RC} \quad f_c = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{10^6}{f_c} \right)^2}} = 0,01 \quad (\Rightarrow) \sqrt{1 + \left( \frac{10^6}{f_c} \right)^2} = 100$$

$$(\Rightarrow) \left( \frac{10^6}{f_c} \right)^2 = 9999 \quad \left| \begin{array}{l} f_c = \frac{10^6}{\sqrt{9999}} = 10000,5 \text{ Hz} \\ \text{on doit choisir } f_c = 10 \text{ kHz} \end{array} \right.$$

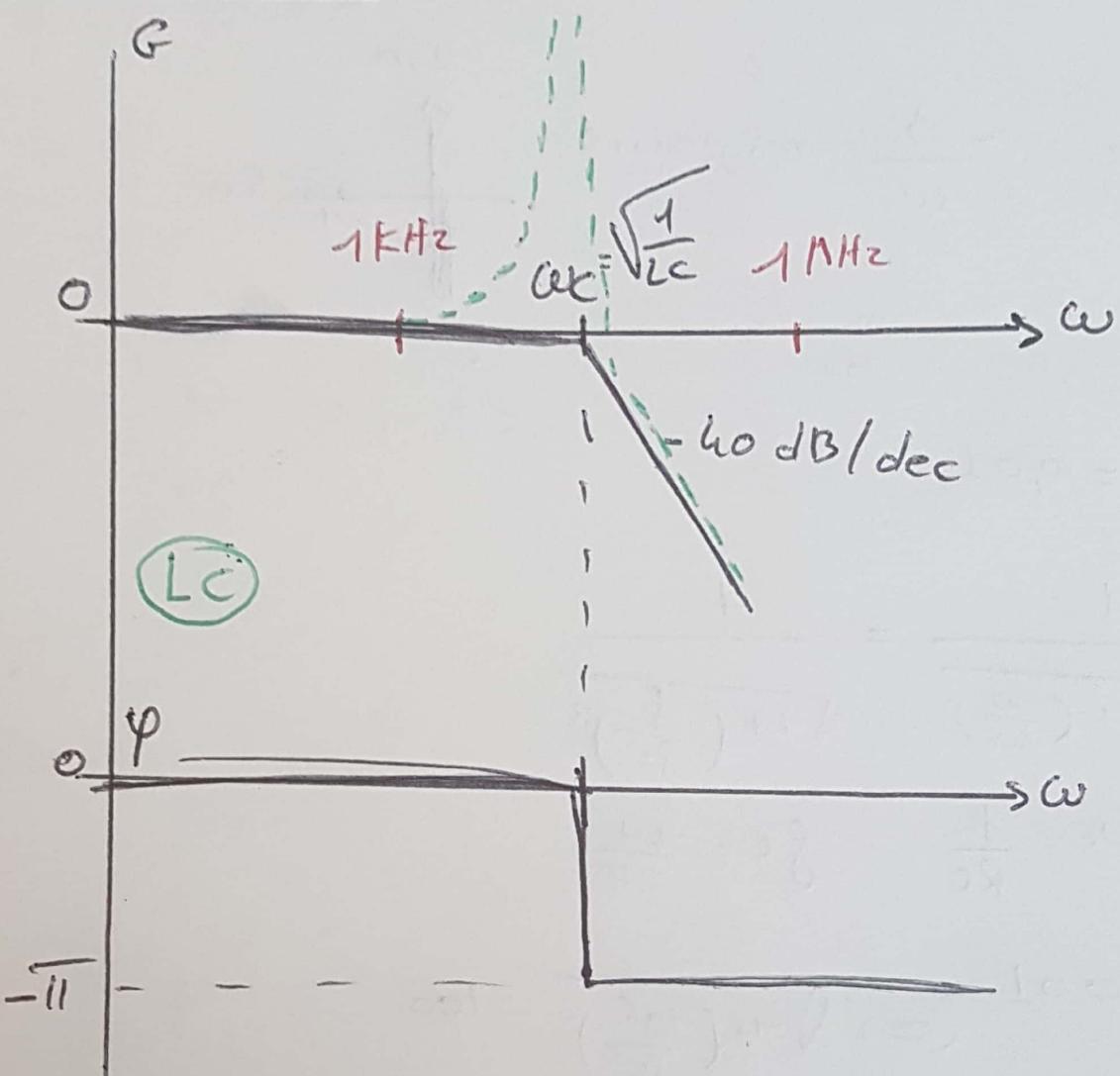
$$RC = \frac{1}{2\pi f_c} \quad R = \frac{1}{2\pi f_c C} = 33,86 \Omega$$

$$\cdot \left| \frac{V_s}{V_e} \right|_{\text{kHz}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{10^3}{10^4} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1,01}}$$

$$\left| \frac{V_s}{V_e} \right|_{\text{kHz}} = 0,995$$

Le signal utile est atténué d'environ 0,5%

## exercice 2



$$V_s = V_e \times \frac{Z_C}{Z_C + Z_L}$$

$$\boxed{\frac{V_s(\omega)}{V_e} = \frac{1}{1 - LC\omega^2}}$$

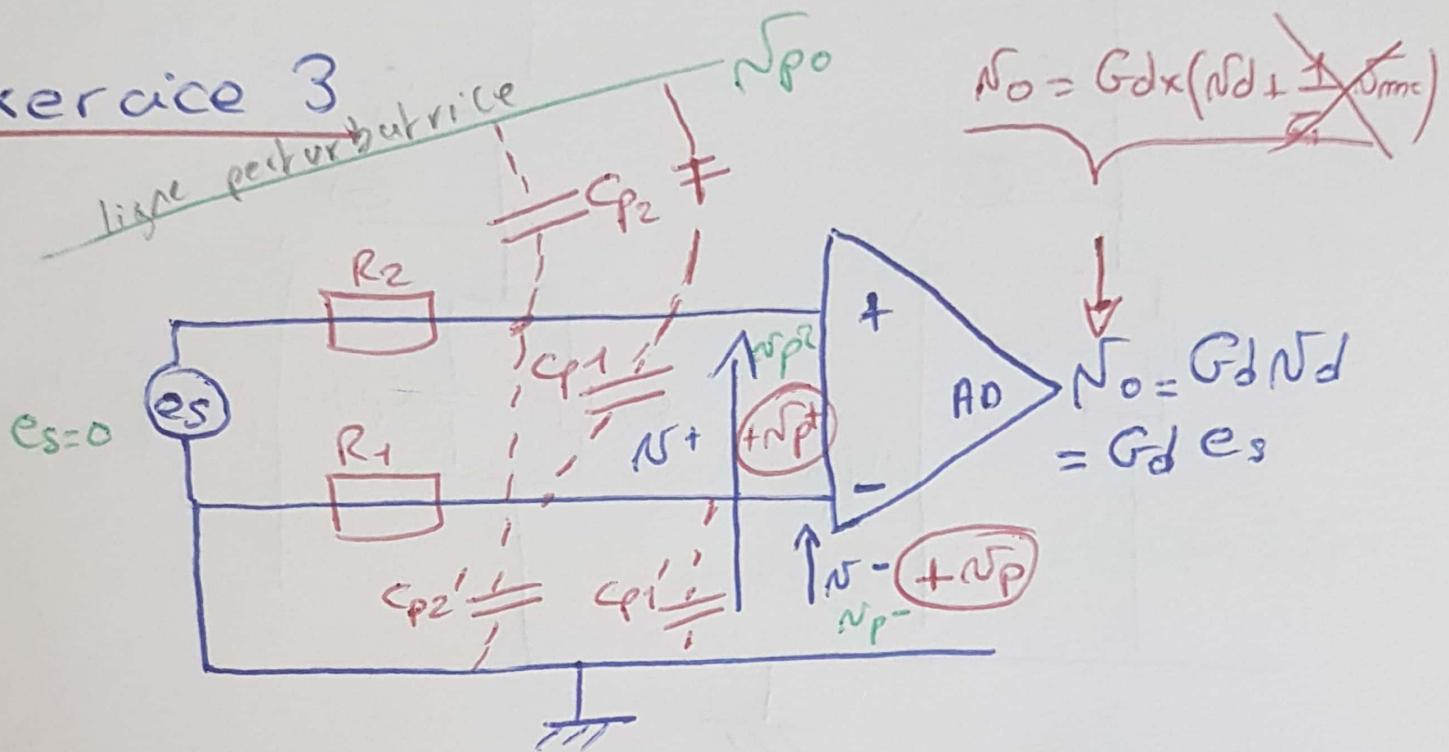
$$\omega \rightarrow 0 \quad V_s \rightarrow V_e \quad \frac{V_s}{V_e} = 1 \quad 20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| \rightarrow 0$$

$$\omega \rightarrow \infty \quad V_s \rightarrow 0 \quad 20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| \rightarrow -\infty$$

⚠ si il y a un parasite autoor de  $f_c$ , il est amplifié !!!

## TD 1 INSTRUM

### Exercice 3



TH de superpositio :

$$N^+ = N^+ \quad | \quad e_s = 0, N_p^0 \neq 0 \quad | \quad + N^+$$

↑  
potentiel  
dans le  
cas general

↑  
ceci est la  
perturba

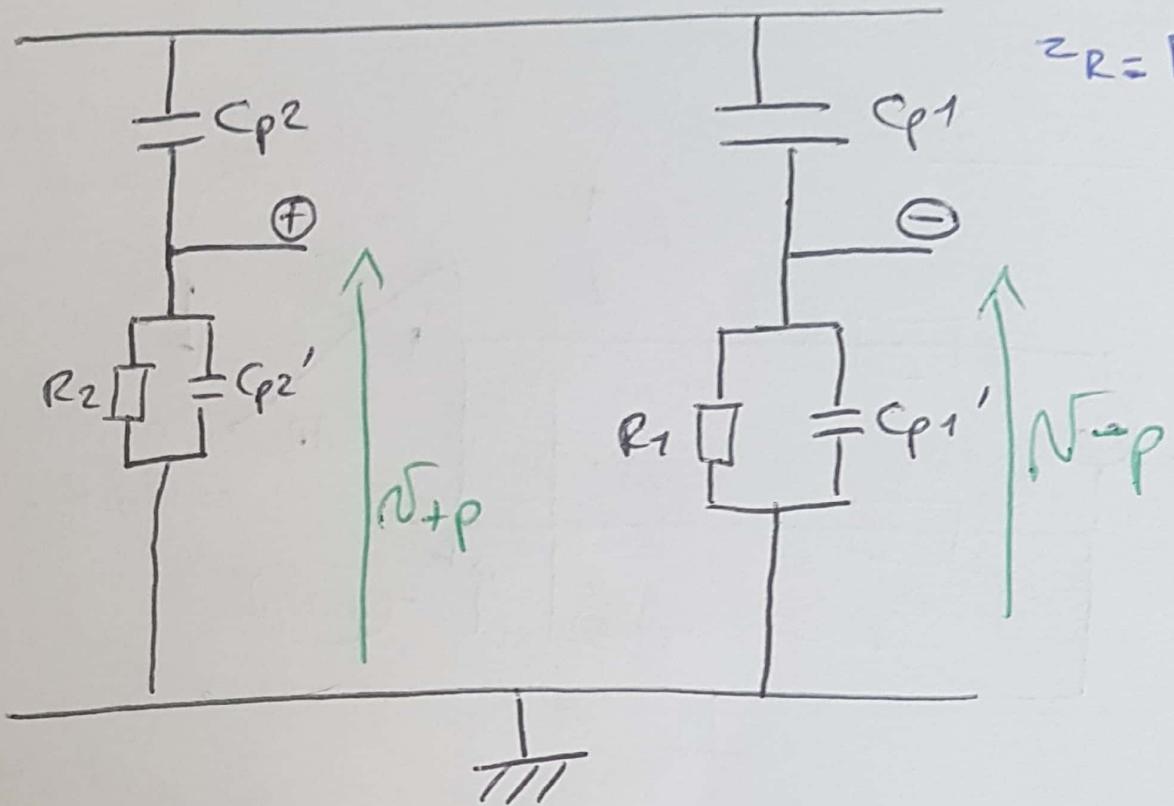
$$e_s \neq 0, N_p^0 = 0 \quad | \quad \text{cas sans perturba}$$

$$N_{+P} = N^+ \quad | \quad e_s = 0$$

$$N_{-P} = N^- \quad | \quad e_s = 0$$

⇒

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$



$$\sqrt{\rho_p} = \frac{Z_{R2} // Z_{Cp2'}}{(Z_{R2} // Z_{Cp2'}) + Z_{Cp2}} \quad \sqrt{\rho_0} = ?$$

$$\sqrt{\rho_p} = \frac{Z_{R1} // Z_{Cp1'}}{(Z_{R1} // Z_{Cp1'}) + Z_{Cp1}} \quad \sqrt{\rho_0} = ?$$

$$*(Z_{R2} // Z_{Cp2'})^{-1} = \frac{1}{R_2^2} + j\omega_p C_{p2}'$$

$$\sqrt{\rho_p} = \frac{\frac{R_2}{1+j\omega_p R_2 C_{p2}'}}{\frac{1}{j\omega_p C_{p2}} + \frac{R_2}{1+j\omega_p R_2 C_{p2}'}} V_{p0}$$

$$\boxed{\sqrt{\rho_p} = j\omega_p \frac{R_2 C_{p2}}{1+j\omega_p R_2 (C_{p2} + C_{p2}')} V_{p0}}$$

de même :

$$\mathcal{N}_{-P} = j\omega_p \frac{R_1 C_{p1}}{1 + j\omega_p R_1 (C_{p1} + C'_{p1})} V_{po}$$

②

Tension parasite de mode commun :

$$\mathcal{N}_{mc/p} = \frac{1}{2} (\mathcal{N}_+ + \mathcal{N}_{-P}) = ? = j\pi F_p (R_1 C_{p1} + R_2 C_{p2}) V_{po}$$

Tension parasite différentielle :

$$\mathcal{N}_{dp} = (\mathcal{N}_+ - \mathcal{N}_{-P}) = ? = j2\pi F_p (R_2 C_{p2} - R_1 C_{p1}) V_{po}$$

② Si  $F_p \ll F_{c1}$  et  $F_{c2}$

simplifier les expressions

• Si  $F_p \ll F_{c1}$  alors  $F_p \ll \frac{1}{2\pi R_1 (C_{p1} + C'_{p1})}$

$$\omega_p \ll \frac{1}{R_1 (C_{p1} + C'_{p1})}$$

$$R_1 (C_{p1} + C'_{p1}) \omega_p \ll 1$$

de même

$$R_2 (C_{p2} + C'_{p2}) \omega_p \ll 1$$

d'où  $\begin{cases} \mathcal{N}_+ \approx j\omega_p R_2 C_{p2} V_{po} = j2\pi F_p R_2 C_{p2} V_{po} \\ \mathcal{N}_{-P} \approx j\omega_p R_1 C_{p1} V_{po} = j2\pi F_p R_1 C_{p1} V_{po} \end{cases}$

③ La tension parasite de mc sera annulée par l'AD.

Pour contre il faut faire en sorte que la tension parasite différentielle soit la plus faible possible :

$$R_2 C_{p2} = R_1 C_{p1}$$

- en équilibrant les voies  $R_1 = R_2$

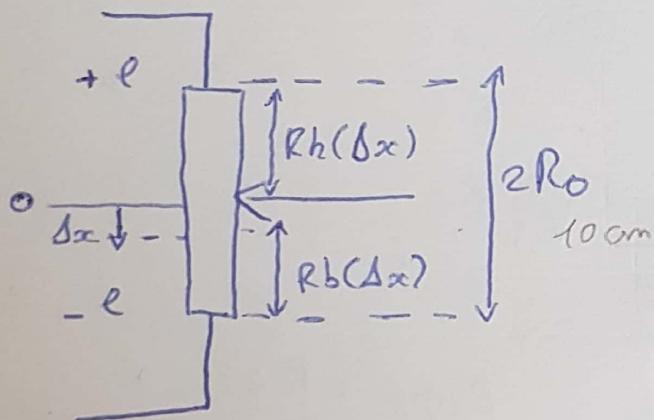
- en symétrisant par rapport au circuit perturbateur

=> IMPORTANCE DU ROUTAGE

Suite sur feuille simple!

## suite TP INSTRUM

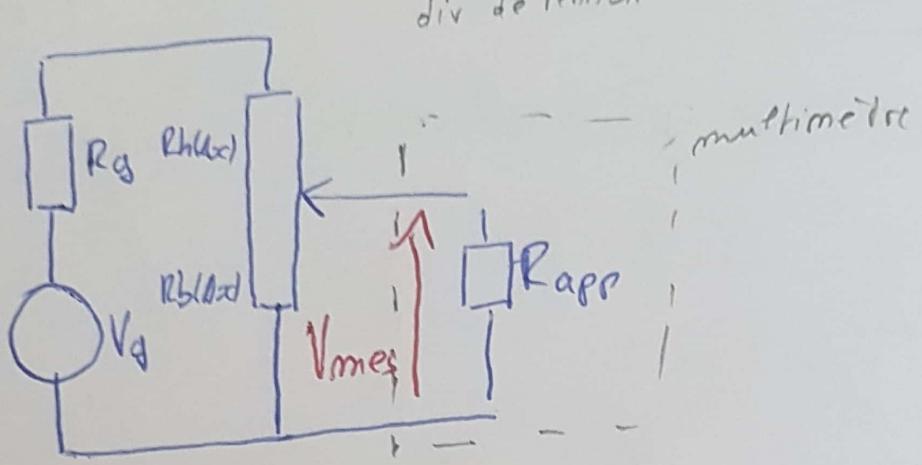
Exercice IV:  
capteur



$$\textcircled{1} \quad R_b(\Delta x) = ? = R_0 + \frac{R_0}{e} \Delta x = R_0 \left(1 + \frac{\Delta x}{e}\right)$$

$$R_h(\Delta x) = ? = R_0 - \frac{R_0}{e} \Delta x = R_0 \left(1 - \frac{\Delta x}{e}\right)$$

suite =D



$$\textcircled{2} \quad V_{\text{mes}} = ?$$

$$V_{\text{mes}} = \frac{R_b // R_{\text{app}}}{R_b // R_{\text{app}} + R_h + R_g} V_g$$

$$(R_b // R_{\text{app}})^{-1} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_{\text{app}}} = \frac{R_{\text{app}} + R_b}{R_{\text{app}} R_b}$$

$$V_{\text{mes}} = \frac{\frac{R_b R_{\text{app}}}{R_b + R_{\text{app}}}}{\frac{R_b R_{\text{app}}}{R_b + R_{\text{app}}} + R_h + R_g} V_g$$

$$V_{\text{mes}} = \frac{R_b R_{\text{app}}}{R_b R_{\text{app}} + (R_b + R_{\text{app}})(R_g + R_h)} V_g$$

$$\textcircled{3} \quad \text{Pour } R_{\text{app}} \gg R_0 \text{ ou } R_{\text{app}} \gg R_b$$

$$\text{d'où } R_b + R_{\text{app}} \approx R_{\text{app}}$$

$$V_{\text{mes}} \approx \frac{R_b R_{\text{app}}}{R_b R_{\text{app}} + R_{\text{app}}(R_g + R_h)} V_g$$

$$V_{\text{mes}} = \frac{R_b}{\underbrace{R_b + R_h + R_g}_{2R_0}} V_g$$

$$V_{mes} = \frac{R_b}{2R_o + R_g} V_g$$

$$V_{mes} = \frac{R_o \left(1 + \frac{\Delta x}{e}\right)}{2R_o + R_g} V_g$$

④  $S_{mes} = \frac{\partial V_{mes}}{\partial \Delta x} = \frac{R_o}{R_g + 2R_o} \frac{V_g}{e}$

⑤  $S_{mes}$  est max pour  $R_g = 0$

$$V_{mes} = \left(1 + \frac{\Delta x}{e}\right) \frac{V_g}{2} \text{ et } S_{mes} = \frac{V_g}{2e}$$

sensibilité réduite

$$S_r = \frac{S_{mes}}{V_g} = \frac{1}{2e} = 0,1 \frac{V \cdot cm^{-1}}{tension de sortie} \sqrt{-1}$$

tension qui alimente

⑥  $f_{max} = ?$

$$x = x_0 + a \sin \omega t$$

$$\text{d'où la vitesse } v = \dot{x} = a \omega \cos \omega t$$

$$N_{max} = \omega a$$

$$\text{d'où } \omega_{max} = \frac{N_{max}}{a} \quad \text{A.N. :}$$

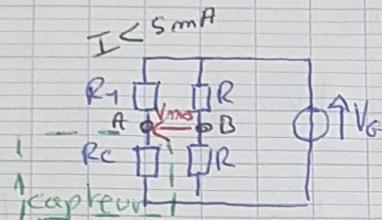
$$f_{max} = \frac{N_{max}}{2\pi a}$$

$$f_{max} = \frac{0,2}{2\pi \times 0,01} = \boxed{3,18 \text{ Hz}}$$

# TD INSTRUM

(1)

## II) Effet de la résistance des fils de liaison



$$R_c = R_o (1 + \alpha T)$$

$$R_o = 100 \Omega$$

$$\alpha = 3,85 \times 10^{-3}$$

on souhaite

$$EM = [0^\circ\text{C}, 100^\circ\text{C}]$$

$$T_0 = 50^\circ\text{C}$$

$$\textcircled{1} \quad V_{mes} = \left( \frac{R_c}{R_c + R_1} - \frac{1}{2} \right) V_g = \frac{R_c - R_1}{R_c + R_1} \frac{V_g}{2}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= R_c(T_0) = R_{c0} = R_o(1 + \alpha T_0) \\ &= 100(1 + 3,85 \cdot 10^{-3} \times 50) \\ &= \boxed{119,25 \Omega} = R_{c0} \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \quad \text{Loi ohm} \quad V_g = (R_1 + R_c) I \\ V_g \leq (R_1 + R_{c\min}) I$$

$$R_{c\min} = R_c(0^\circ\text{C}) = R_o = 100 \Omega$$

$$V_g \leq (119,25 + 100) \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

$$\boxed{V_g < 1,1 \text{ V}}$$

$$V_g \leq (R_{c0} + R_{c\min}) \times I$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{\Delta R_c}{R_{c0}}$$

$$S_{\text{mes}} = ?$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_c(T) = R_{c0} + \Delta R_c \\ V_{\text{mes}}(T) = V_{\text{mes},0} + \Delta V_{\text{mes}} \end{array} \right.$$

$$\Delta R_{\text{mes}} = \frac{\Delta R_c}{2R_{c0} + \Delta R_c} \quad \frac{V_g}{2} \quad D \leq \frac{1}{1+x} \approx 1 - x + \frac{1}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3 - \dots$$

$$\Delta R_{\text{mes}} = \frac{\Delta R_c}{4R_{c0}} \quad \frac{V_g}{1 + \frac{\Delta R_c}{2R_{c0}}}$$

au 1er ordre

$$V_{\text{mes}} \approx \frac{\Delta R_c}{4R_{c0}} \quad V_g \left( 1 - \frac{\Delta R_c}{2R_{c0}} \right)$$

$$V_{\text{mes}} \approx \frac{\Delta R_c}{4R_{c0}} \quad \frac{V_g}{4R_{c0}}$$

$$\begin{aligned} \Delta R_c &= R_c - R_{c0} = R_0(1 + \alpha T) - R_0(1 + \alpha T_0) \\ &= \alpha R_0(T - T_0) = \alpha R_0 \Delta T \text{ avec } \Delta T = T - T_0 \end{aligned}$$

$$V_{\text{mes}} \approx \frac{R_0 \alpha V_g}{4R_{c0}} \quad \Delta T$$

sensibilité de mesure

$$S_{\text{mes}} = \frac{R_0 \alpha V_g}{4R_{c0}} \approx 0,8 \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Suite ex IV INSTRUM

④ En tenant compte de  $2r$ ,  $V_{mes}$  devient :

$$V_{mes, 2r} = ? \frac{2r + DR_c}{2R_{co} + 2r + DR_c} \frac{V_g}{2}$$

d'où l'erreure en tension

$$\begin{aligned} SV_{2r} &= V_{mes, 2r} - V_{mes} \\ &= \left( \frac{2r + DR_c}{2R_{co} + 2r + DR_c} - \frac{DR_c}{2R_{co} + DR_c} \right) \frac{V_g}{2} \end{aligned}$$

$$SV_{2r} = \frac{4r R_{co}}{(2R_{co} + DR_c)^2 \left( 1 + \frac{2r}{2R_{co} + DR_c} \right)} \frac{V_g}{2}$$

$SV_{2r}$  et  $SV_{1r}$  est nulle pour  $(2R_{co} + DR_c)^2$  est minimal C-a et pour  $T = 0^\circ\text{C}$

$$SV_{1r, max} = \frac{4r R_{co}}{(R_{co} + R_o)^2} \frac{1}{1 + \frac{2r}{R_{co} + R_o}} \frac{V_g}{2}$$

on souhaite  $ST \leq 0,2^\circ\text{C}$

or  $SV_{1r, max} \approx S_{mes} ST$

d'où

$$R_{max} = \frac{(R_{co} + R_o)^2 S_{mes} ST}{2(R_o V_g - R_{co} + R_o) S_{mes} ST}$$

$$AN: R_{max} = 32,5 \Omega$$

$$R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow l = \frac{\pi d^2 f}{4\rho}$$

$$l_{max} = \pi \frac{(0,5 \times 10^{-3})^2 \cdot 32,5 \cdot 10^{-3}}{4 \times 9,72 \times 10^{-8}} = 0,371 \text{ m}$$

$$f \leq 37 \text{ cm}$$