Électronique Électrotechnique Automatique
Première année
2017

ESPCI PARIS
EDUCATION SCIENCE INNOVATION

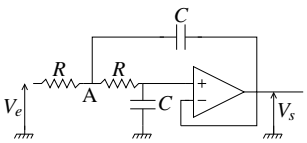
03 Février 2017

Durée : 3h00

Tous documents autorisés, calculatrices autorisées.

1 Filtre actif

On considère le filtre actif suivant réalisé à l'aide d'un AOP idéal :



1. Quelle sont (sans calcul) les gains statique et à fréquence infinie de ce filtre ?
2. Calculez le potentiel au point A en fonction de V_e, V_s et des autres éléments du circuit.
3. Déduisez en la réponse fréquentielle $H(\omega) = \frac{V_s}{V_e}$ en supposant que l'AOP fonctionne en mode linéaire.
4. Tracez l'allure des diagrammes de Bode en phase et en amplitude. Vous préciserez un maximum de valeurs caractéristiques.
5. Donnez une borne inférieure pour l'impédance d'entrée de ce circuit.
6. Quelle est l'impédance de sortie ?

AN : $R = 10\text{k}\Omega$, $C = 1\text{n}F$

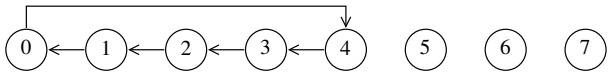
2 Simplifications Booléennes

1. Simplifiez au maximum l'expression logique suivante : $F = \bar{A}B + AC + BC$. Votre réponse doit être justifiée par la méthode de votre choix .
2. L'entrée $E = \{A, B, C, D\}$ est exprimée en hexadécimal. Simplifiez au maximum la sortie S suivante en utilisant un tableau de Karnaugh :

E	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C	0x0D	0x0E	0x0F
S	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0

3 Compteur par 5

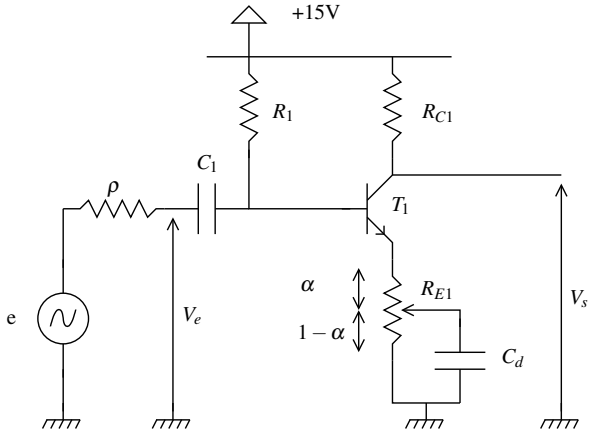
1. Réalisez un décompteur **synchrone** par 5 à l'aide de bascules JK. **On impose de plus J=K.**
   Dans ce problème, la démarche de conception sera évaluée. Il est hors de question de parachuter le résultat sans le justifier.
   Vous donnerez en particulier les tables de vérité et tableaux adhoc.
2. Que se passe t-il lorsque le compteur se trouve dans les états initiaux respectifs 5, 6 et 7 ?
   Présentez votre réponse en complétant le graphe d'état suivant :



3. Ajoutez un mécanisme d'initialisation asynchrone dans l'état 4 à l'aide des entrées, actives à l'état haut, MS (Master Set) et MR (Master Reset) des bascules. Ce mécanisme sera piloté par l'entrée active à l'état bas ST4N (Set To four Neg).

4 Amplificateur de gain variable

On considère le montage amplificateur de la figure ci dessous :



Ce montage utilise un transistor T_1, alimenté sous une tension continue V_{CC} de 15 V. Le transistor possède un gain en courant β de 250 . A l'émetteur de T_1 , on a disposé un potentiomètre qui permet de court-circuiter à la masse la fraction $(1-\alpha)R_{E1}$ de la résistance d'émetteur R_{E1} via le condensateur C_d.

$0 \leq \alpha \leq 1$

$R_{C1} = 1.8$ k Ω

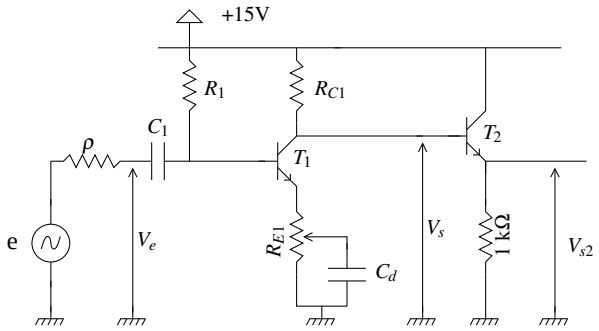
$R_{E1} = 200\ \Omega$

$\rho = 50\,\Omega$

1. Donnez le schéma du montage pour la polarisation.
2. Sachant que le courant de polarisation du collecteur recherché est de 5 mA, donnez
   (a) la tension par rapport à la masse de tous les nœuds.
   (b) la valeur à donner à la résistance de polarisation R_1

3. Dessiner le schéma équivalent petits signaux aux fréquences de travail du montage sachant que toutes les capacités ont alors une impédance faible.
4. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée R_e de cet amplificateur. Tracer R_e en fonction de α. Commentez.
5. Déterminer l'expression du gain à vide en tension $A = \frac{Vs}{Ve}$ et tracer le graphe $|A| = f(\alpha)$.
6. On veut que la valeur maximale du gain soit égale à 40 en utilisant toute l'excursion du potentiomètre. Que faut-il modifiez donnez la solution technique (pratique) ?
7. Déterminez l'impédance de sortie de l'amplificateur.

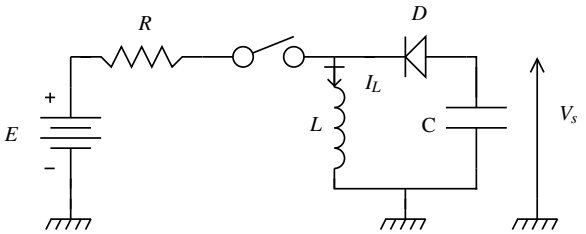
   Le concepteur considère que cette résistance de sortie est trop élevée. Il décide d'ajouter un étage en utilisant un transistor T_2 identique à T_1 comme indiqué dans la figure suivante. La base de T_2 est reliée au collecteur de T_1 . Le courant de base de T_2 est ainsi prélevé sur le courant qui circule dans la résistance R_{C1} .



8. Pourquoi le courant de polarisation de T_1 ne varie t-il pas ? Déduisez en la valeur du courant de polarisation de T_2 .
9. Quel est le type d'amplificateur réalisé par $T2$? Quelles sont les caractéristiques de ce type d'amplificateur ?
10. Expliquez pourquoi, le gain en tension du premier étage est peu affecté par la présence du deuxième.
11. Quel est le gain en tension $A^{'} = \frac{V_{s2}}{v_e}$ du montage complet ?
12. Que vaut la résistance de sortie R_{s2} du montage complet ?

5 Diode de roue libre

On considère le montage suivant où le condensateur est initialement déchargé, la diode est et la bobine sont idéales :



L'interrupteur est initialement fermé et on est en régime stationnaire. Il s'ouvre à $t = t_0$.

1. Quel est le courant dans la bobine à $t < t_0$?

   La diode est une diode de "roue libre". Elle permet d'assurer de façon contrôlée la continuité du courant dans la bobine.

2. Que vaut V_s avant t_0 ?
3. Expliquez pourquoi la diode est bloquée avant t_0 et passante juste après.
4. Donnez le schéma équivalent du circuit après t_0.
5. Comment évoluent de façon qualitative V_s et I_L après t_0 ? Précisez les signes.
6. Le condensateur peut-il se décharger ?
7. Quelle est l'énergie stockée dans le circuit à $t = t_0$ et à $t = \infty$, et où cette énergie est elle stockée dans chacun des ces deux cas ?
8. Déduisez en V_s à $t = \infty$.

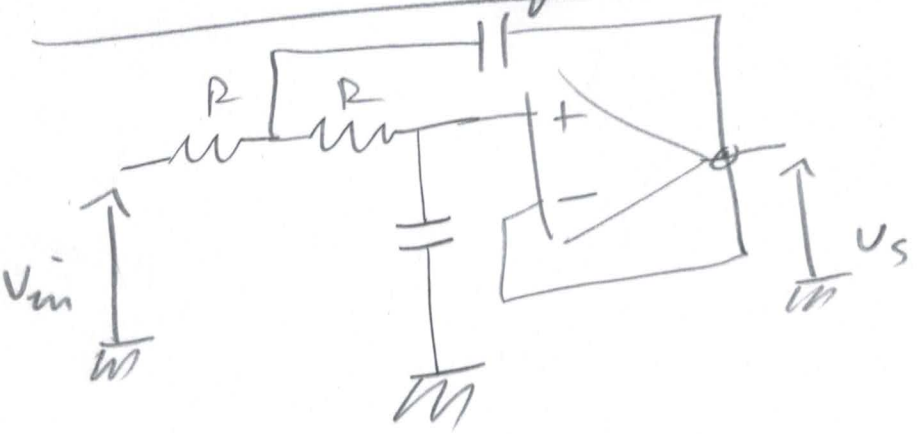
   Questions subsidiaires :

9. Que vaut $V_s^{'}(t = t_0^{-})$
10. Quelle est l'équation différentielle qui régie l'évolution de $V_s(t)$ à $t \geq t_0$?
11. Quel est donc à priori le type de fonction décrivant l'évolution de $V_s(t)$ à $t \geq t_0$?
12. Déterminez $V_s(t)$ à $t > t_0$.

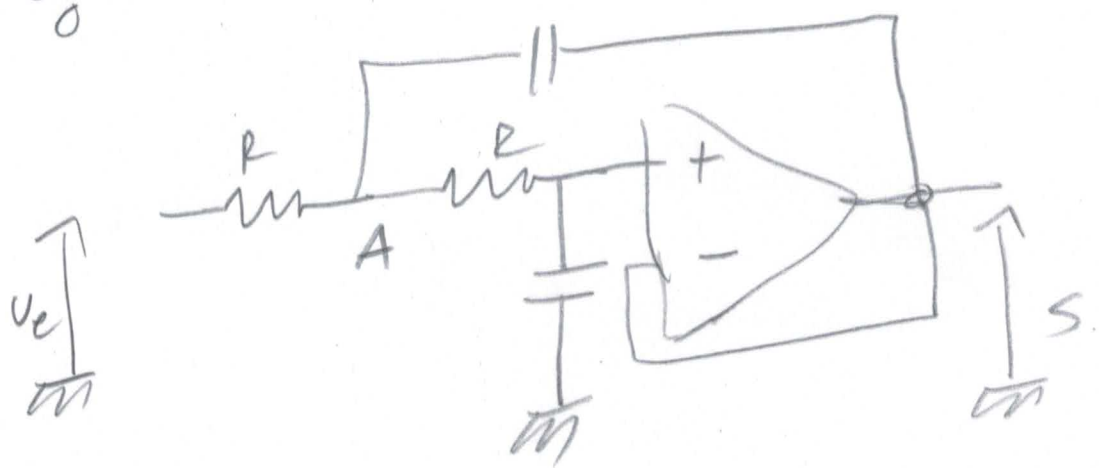
On rappel que $\mathscr{L}\Big(\cos(\omega t)\Big) = \frac{p}{p^2+\omega^2}$, $\mathscr{L}\Big(\sin(\omega t)\Big) = \frac{\omega}{p^2+\omega^2}$ et $\mathscr{L}\Big(V^{''}(t)\Big) = p^2\mathscr{L}(V) - pV(0^-) - V^{'}(0^-)$, ou $\mathscr{L}$ dénote la transformation de Laplace.

45 mn

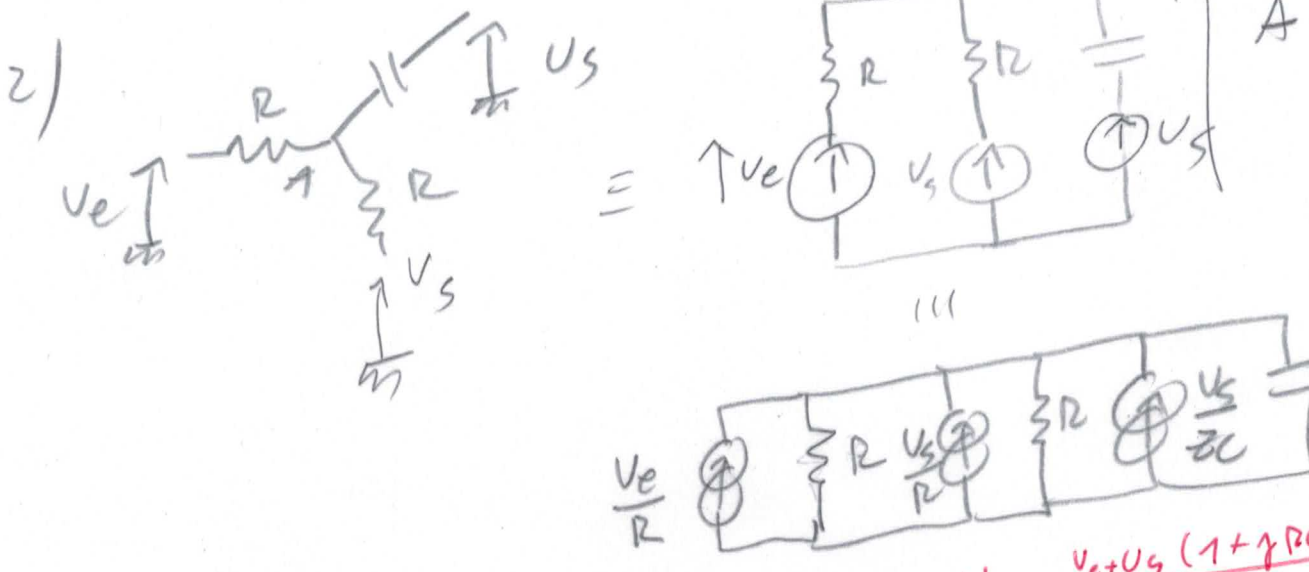
Filtre actif



1) $G_0 = 1$ $\quad G_{co} = 0$



2)



$$A = (R \| R \| Z_c)\left(\frac{V_e}{R} + \frac{V_s}{R} + \frac{V_s}{Z_c}\right)$$

$$V_A = \frac{V_e + V_s(1 + jRC\omega)}{2 + jRC\omega}$$

$$V_S = A \frac{Z_C}{Z_C + R} \Rightarrow A = V_S \frac{Z_C + R}{Z_C}$$

$$V_S \frac{Z_C + R}{Z_C} = (R // R // Z_C)\left(\frac{V_e}{R} + \frac{V_S}{R} + \frac{V_S}{Z_C}\right)$$

$$V_S \frac{Z_C + R}{Z_C} = \frac{R/2\, Z_C}{Z_C + R/2}\left(\frac{V_e}{R} + \frac{V_S}{R} + \frac{V_S}{Z_C}\right)$$

$$V_S\left[\frac{Z_C + R}{Z_C} - \frac{Z_C/2}{Z_C + R/2} - \frac{R/2}{Z_C + R/2}\right] = \frac{R/2\, Z_C}{Z_C + R/2} \frac{V_e}{R}$$

$$\frac{V_S}{V_E} = \frac{Z_C/2 \; \frac{1}{Z_C + R/2}}{\frac{Z_C + R}{Z_C} - \frac{2/2}{Z_C + R/2} - \frac{R/2}{Z_C + R/2}}$$

$$\frac{V_S}{V_E} = \frac{Z_C 1}{2\frac{(Z_C + R/2)}{Z_C^2}(Z_C + R) - 1 - \frac{R}{Z_C}}$$

$$\frac{V_S}{V_E} = \frac{1}{\frac{\frac{2}{jCw}+R}{\frac{1}{(jCw)^2}}\left(\frac{1}{jCw}+R\right) - 1 - jRCw}$$

$$= \frac{1}{(jCw)^2\left(\frac{2}{(jCw)^2} + \frac{2R}{jCw} + \frac{R}{jCw} + R^2\right) - 1 - jRCw}$$

$$= \frac{1}{2 + 2jRCw + jRCw + (jRCw)^2 - 1 - jRCw}$$

$$= \frac{1}{1 + 2jRCw + (jRCw)^2} = \frac{1}{\left(1 + j\frac{w}{w_0}\right)^2}$$

$$\frac{V_S}{V_E} = \frac{1}{1 + j\frac{w}{w_0}2 - \left(\frac{w}{w_0}\right)^2} \qquad w_0 = \frac{1}{RC}$$

2 Pôles réels confondus

4) Pôle :

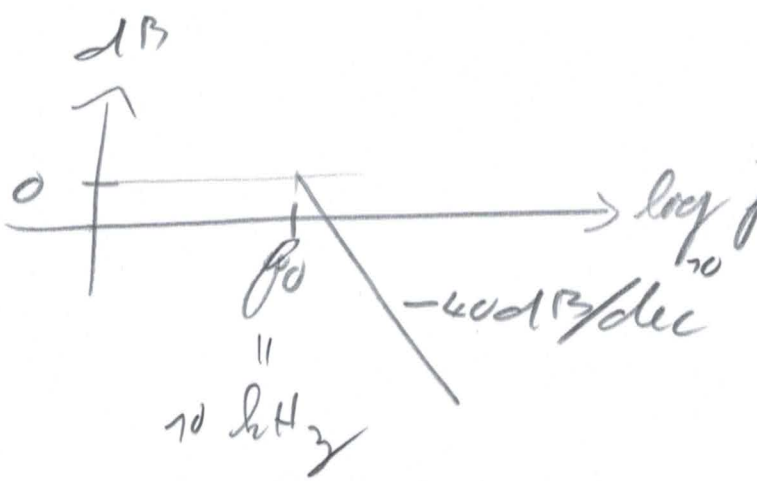
$$H(p) = \frac{1}{\left(1+\frac{p}{\omega_0}\right)^2} \qquad 1+\frac{p}{\omega_0} = 0$$

$p = -\omega_0$ ~~Partie réelle < 0~~

~~stable~~

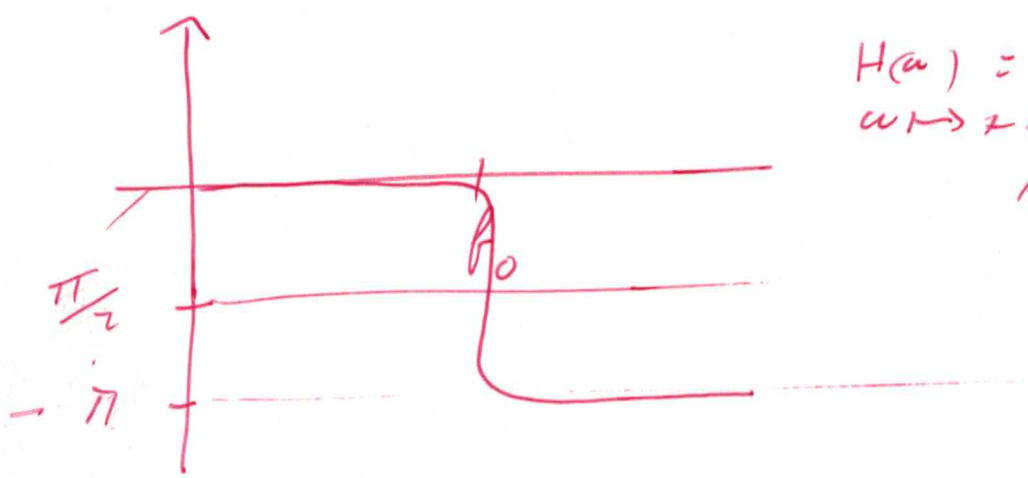
~~l'hypothèse de linéarité est vérifiée (plausible)~~

5)



$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{RC} = 10\,10^3 \text{ rad/s}}$

$\boxed{f_0 = 15 \text{ kHz}}$



$$H(\omega) = \frac{\omega_0^2}{(j\omega)^2} = -\frac{\omega_0^2}{\omega^2}$$

$\omega \mapsto +\infty$

$\mathrm{Arg}(\omega) \mapsto -\pi$

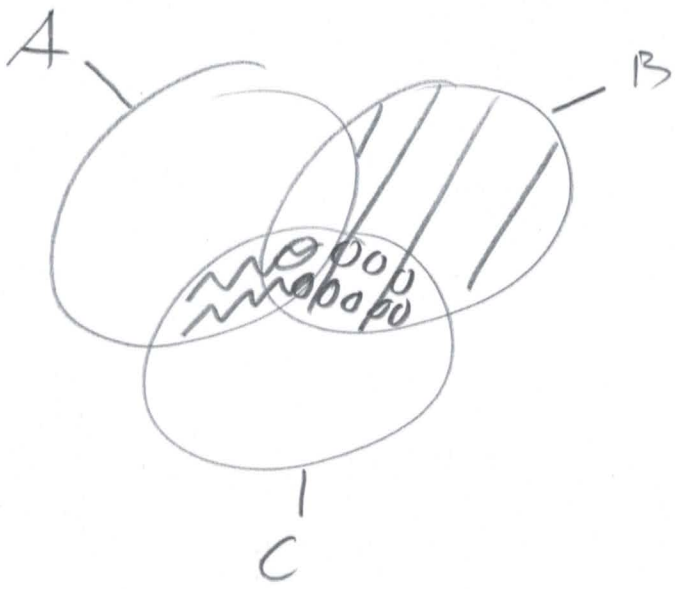
6) Pas de calcul

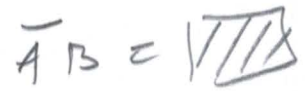
$Z_{en\ min} = R = 10\,k\Omega$

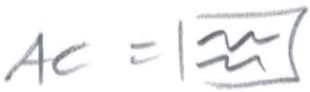
7) AOP idéal $\underline{Z_{out} = 0}$

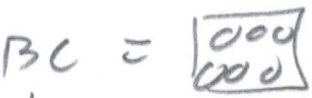
5) Simplification booléennes 20 mn

1. $F = \bar{A}B + AC + BC$



$\bar{A}B =$ 

$AC =$ 

$BC =$ 

↓

On "voit" que BC est déjà compris dans $\bar{A}B + AC$

Donc $F = \bar{A}B + AC$

Méthode avec Karnaugh :

C \ AB	00	01	11	10
0	0+0+0 0	1+ 1	0	0
1	0+0+0 0	1+ 1	1	1

A B C	$\bar{A}B$	AC	BC	F
0 0 0	0	0	0	
0 0 1	0	0	0	
0 1 0	1	0	0	1
0 1 1	1	0		
1 0 0	0	0	0	
1 0 1	0	1	0	
1 1 0	0	0	0	
1 1 1	0	1	1	

$F = \bar{A}B + CA$ idem

Méthode plus longue

2.

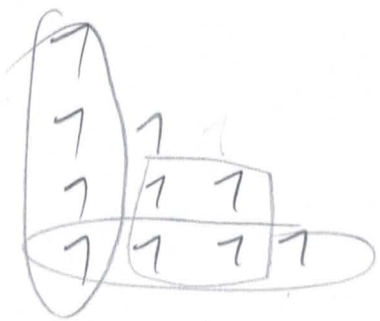
0010 1010 1111 1110

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	1	0	0	1
11	1	1	0	1
10	1	1	1	1

AB CD

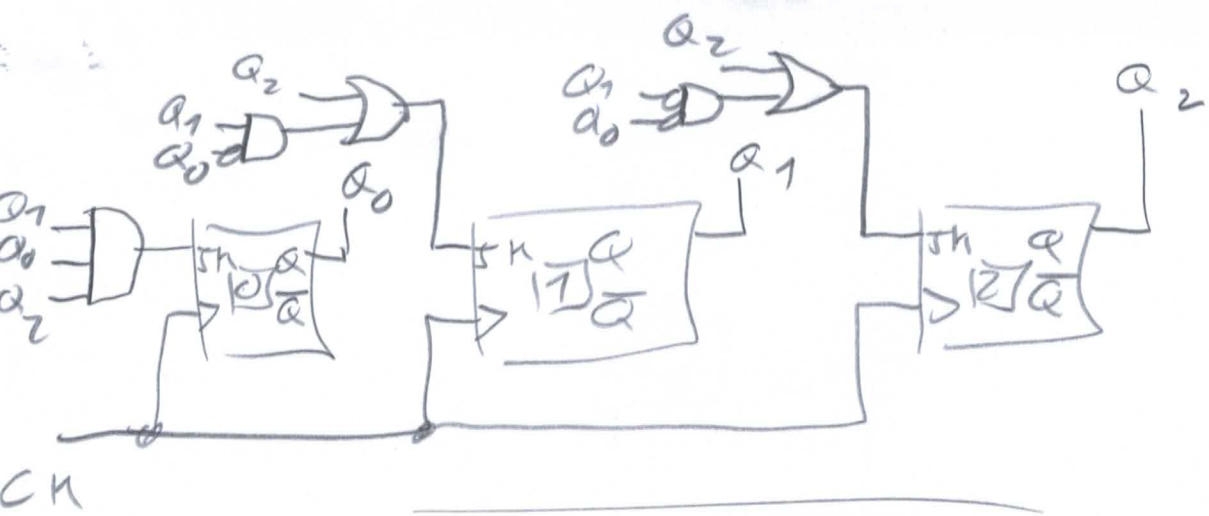
Fort Faible

111



$E = \bar{C}\bar{D} + A\bar{B} + \bar{C}A + \bar{D}B$

La plus simple



---

2 1 0

1 0 1 ⇒ $J K_0 = 1$, $J K_1 = 1$, $J K_2 = 0$

$Q_2 Q_1 Q_0$

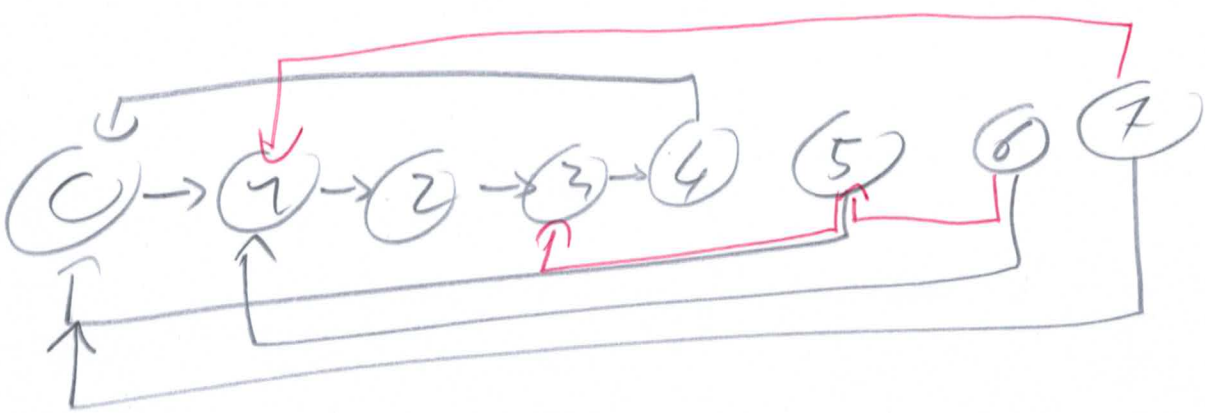
(5) → (2)

1 1 0 ⇒ $J K_0 = 1$, $J K_1 = 0$, $J K_2 = 1$

(6) → (5)

1 1 1 ⇒ $J K_0 = 1$, $J K_1 = 1$, $J K_2 = 0$

(7) → (4)



4 = 1 00

$M_{R_0=1}\, M_{S_0} = \overline{ST/4N}$

$M_{R_1=\overline{ST/4N}}\, M_{S_1} = 1$

$M_{R_2=\overline{ST/4N}}\, M_{S_2} = 1$

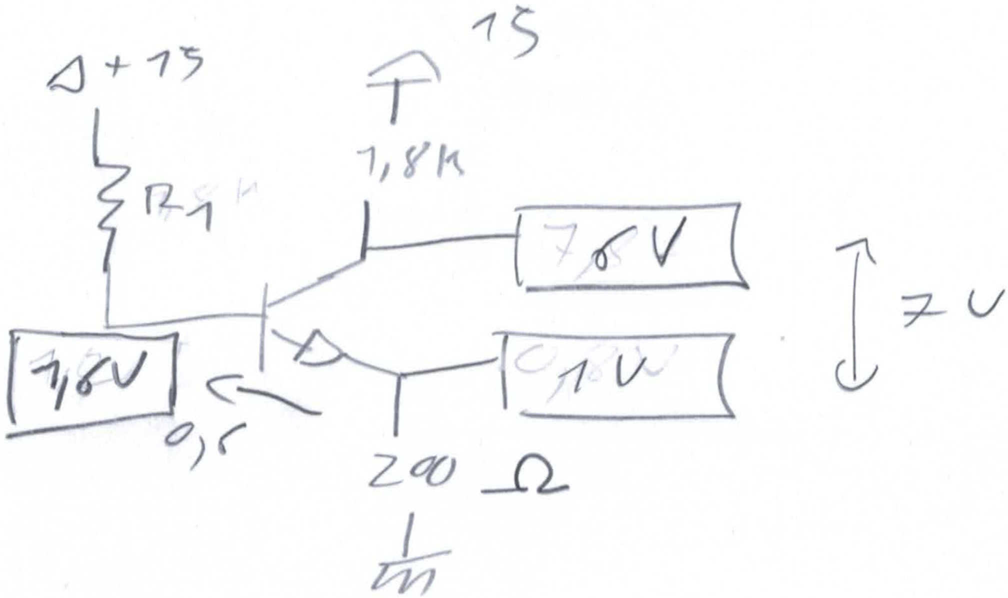
58

(I)

1 heure

Amplificateur de gain variable

1. Schéma polar



2.

$200 \times \frac{251}{250} \cdot 5\,10^{-3} = 1\,V$

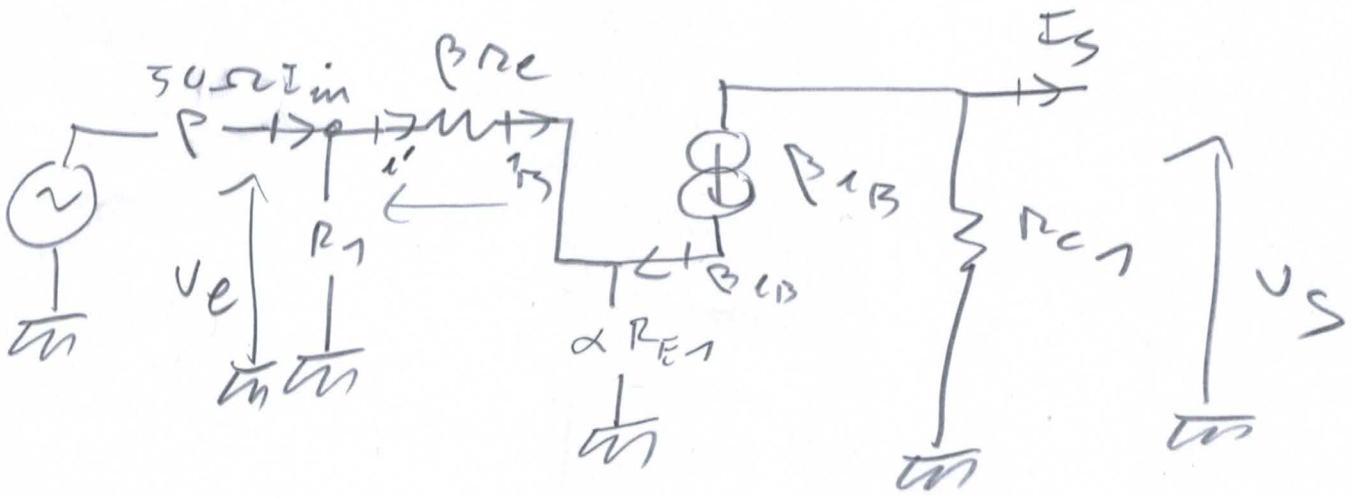
$15 - 1{,}8\,10^{3} \times 5\,10^{-3} = 6\,V$

$\frac{U_{cc} - U_B}{R_1} = \frac{I_{c0}}{\beta}$ $\qquad R_1 = \frac{U_{cc} - U_B}{I_{c0}} \cdot \beta$

$\frac{15 - 1{,}6}{R_1} = \frac{5\,10^{-3}}{250} = \frac{1}{50\,10^{3}}$

$R_1 = 50\,10^{3} \cdot 13{,}4\ k\Omega$

$R_1 = 670\ k\Omega$



$$R_E = \frac{V_e}{I_{in}}\Big|_{I_S=0} \qquad \boxed{R_E = R_1 \parallel R'}$$

$$R' = \frac{V_e}{i'}$$

$$V_e = \beta r_e i' + \alpha R_{E1}(\beta+1) i''$$

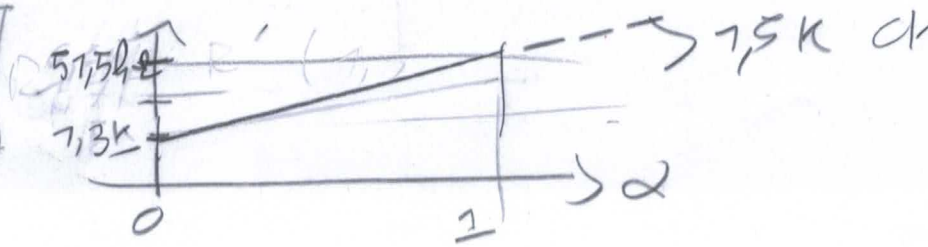
$$\boxed{R' = \beta r_e + \alpha R_{E1}(\beta+1)}$$

$$R' \simeq \beta r_e + \alpha R_{E1}$$

$$r_e = \frac{26}{5} = 5{,}2\,\Omega \qquad \boxed{\beta r_e = 1{,}3\,k\Omega}$$

$$\boxed{R' = 1{,}3\,k\Omega + \alpha \cdot 50k\Omega}$$

$$\boxed{R_E \simeq R'}$$



40 min

(1)

Compteur par 5 $0 \rightarrow 4 \Leftrightarrow$ 3 bascules

000 100

	Q_2	Q_1	Q_0	JK_0	JK_1	JK_2
0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	1	1	1
3	0	1	1	1	0	0
2	0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	0

Table

JK	Q_n
00	Q_{n-1}
01	0
10	1
11	$\overline{Q_{n-1}}$

$Q_{n-1} \rightarrow Q_n$	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	X
$0 \rightarrow 1$	1	X
$1 \rightarrow 1$	X	0
$1 \rightarrow 0$	X	1

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	1	1	1
1	1	X	X	X

$JK_0 = Q_1 + Q_0 + Q_2$

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	1	X	X	X

$JK_1 = Q_2 + Q_1\overline{Q_0}$

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	1	X	X	X

$JK_2 = \cancel{Q_2} + \overline{Q_1}\overline{Q_0}$

↑ Parallèle

5)

$$A = \frac{V_s}{V_E}\Big|_{I_{ent}=0}$$

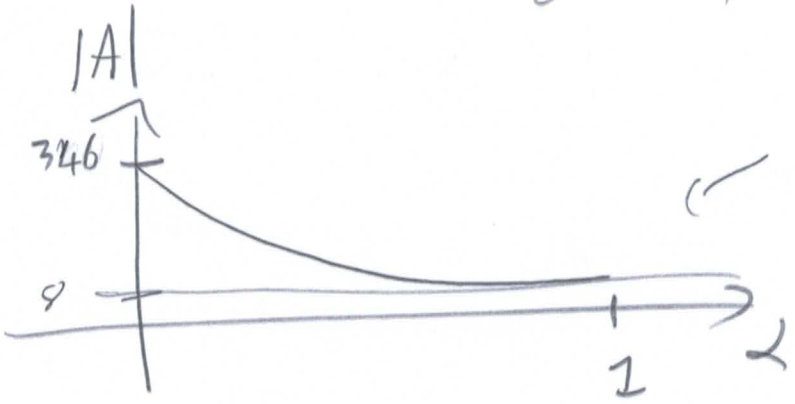
$$V_s = -\beta R_{E1}$$

$$V_e \simeq \beta r_e + \alpha R_{E1}(\beta+1)$$

$$\boxed{A = -\frac{R_{E1}}{r_e + \alpha R_{E1}}}$$

$\alpha = 0 \quad |A(0)| = \frac{R_{C1}}{r_e} = \frac{1{,}8}{5{,}2} 10^3 = 300$

$|A(1)| = \frac{R_{C1}}{r_e + \alpha R_{E1}} = \frac{1800}{5{,}2 + 200} = 8{,}73$



↙ Allure OK

$$\frac{d|A|}{d\alpha} = -\frac{R_{C1} R_{E1} \beta_{E1}}{(r_e + \alpha R_{E1})^2}$$

↗ $-\frac{1800 \times 200}{36}$ fort

$-\frac{1800 \times 200}{(206)^2}$ faible

(6)

(4)

Solution pratique => R_{E1} mini

$$40 = \frac{RC1}{re + R_{E1\,mini}}$$

$$re + R_{min} = \frac{RC1}{40}$$

$$R_{min} = \frac{RC1}{40} - re$$

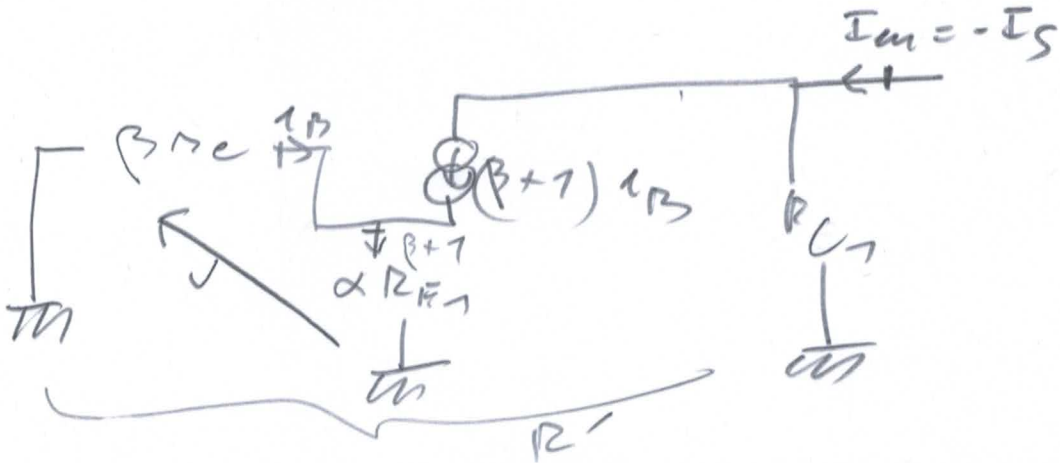
$$R_{mini} = \frac{1800}{40} - 6 \simeq 40\,\Omega$$

(7) Rout = 1,8 K grand

FAUX

(7)

$$R_s = \frac{V_s}{-I_s}\Big|_{V_c=0}$$



Rauf $R_{C1} // R'$

$$V = 0 = \beta r_e i_B + \alpha R_{E1} (\beta+1) i_B$$

$$\Rightarrow i_B = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{R_s = R_{C1}}$$

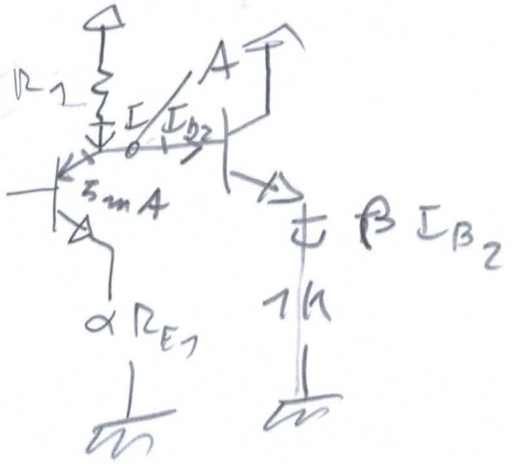
8) Avec I_{C_1} courant de collecteur 1

$$E = R_1 \frac{I_{C_1}}{\beta} + 0{,}6 + \alpha R_{E_1} I_{C_1}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{C_1} = \frac{E - 0{,}6}{\frac{R_1}{\beta} + \alpha R_{E_1}}}$$

I indépendant de ce qui est branché sur le collecteur

D'où $I_{C_1} = 5\,mA$



$$I_{C_1} + I_{B_2} = I$$

$$A = R_{E_2} I_{C_2} + 0{,}6 = E - R_{E_1} I$$

$$R_{E_2} I_{C_2} + 0{,}6 = E - R_{C_1}\left(I_{C_1} + \frac{I_{C_2}}{\beta}\right)$$

$$I_{C_2}\left(R_{E_2} + \frac{R_{C_1}}{\beta}\right) = E - 0{,}6 - R_{C_1} I_{C_1}$$

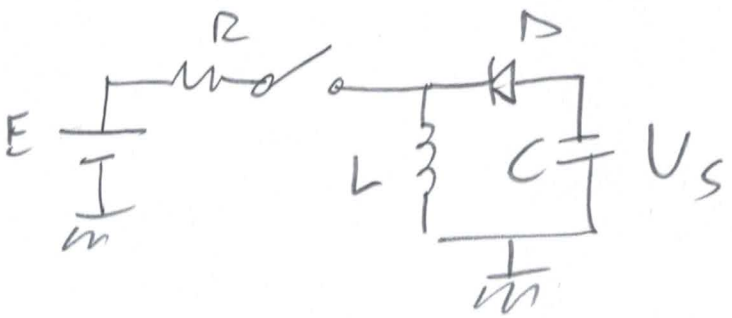
$$I_{C_2} = \frac{E - 0,6 - R_{C_1} I_{C_1}}{R_{E_2} + \frac{R_{C_1}}{\beta}}$$

$$I_{C_2} = \frac{15 - 0,6 - 7,8\,10^{3}\,5\,10^{-3}}{1000 + \frac{1800}{250}}$$

$$I_{C_2} = \frac{5,4}{1000 + 7,2} = \frac{6}{1000}$$

$$I_{C_2} = 5,3\ mA$$

3/ Diode de roue libre [30 mn]



1) $I_L = \frac{E}{R}$

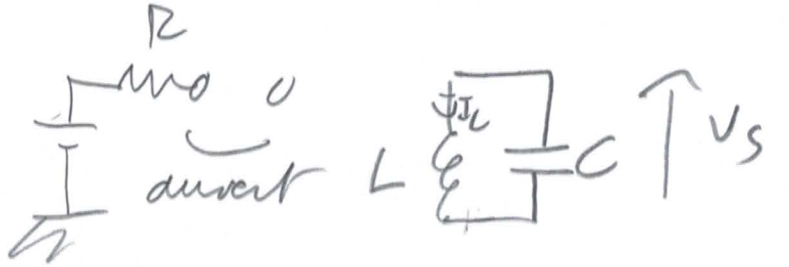
2) $t < t_0$ ——— $V_S = 0$

3) La capa est déchargé $V_S = 0$

V_L très légèrement > 0 (résistance de la bobine) $\Rightarrow$ diode bloquée

3bis) A près t_0, le courant doit pouvoir s'écouler (continuité du courant)

la diode est passante

4) 

$t > t_0$

5) Le courant "quitte la batterie" et charge C par la Borne du bas :

$I_L \searrow$ $\frac{E}{R} \searrow 0$

$V_S \searrow$ $0 \searrow$ Tension négative

$(|V_S| \nearrow)$

6) Le condensateur va se charger à $-Q$ et ne pourra se décharger dans R à cause de la diode

7) à t=0 l'énergie est dans la batterie

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

à t=∞ Δt a été transféré dans la capa

$$E = \frac{1}{2} C U^2$$

8) $C U^2 = L I^2$ $U^2 = \frac{L I^2}{C}$ $\boxed{V_\infty = \sqrt{\frac{L}{C}} \left(\frac{E}{R}\right)}$