

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
Institut des Sciences et des Techniques Appliquées
Département de Réseaux et Télécommunications



Electronique 04

SUPPORT DE TRAVAUX DIRIGÉS

Destiné aux étudiants de Deuxième année Licence

Présenté par

Imad BENACER

Maitre de Conférences classe 'B'

Département de Réseaux et Télécommunications
ISTA Ain M'lila
Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
benacerimad@gmail.com

L'année universitaire : 2021-2022

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
Institut des Sciences et des Techniques Appliquées
Département de Réseaux et Télécommunications



Electronique 04

SUPPORT DE TRAVAUX DIRIGÉS

Destiné aux étudiants de Deuxième année Licence

Présenté par

Imad BENACER

Maitre de Conférences classe 'B'

Département de Réseaux et Télécommunications
ISTA Ain M'lila
Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
benacerimad@gmail.com

L'année universitaire : 2021-2022

Avant-propos

Ce support des travaux dirigés associés à le cours “Electronique 04” est principalement destiné aux étudiants de deuxième année Licence Professionnelle en Réseaux et Télécommunications.

Le contenu de ce support est rédigé sous forme d’une série des exercices avec des indications de solution pour chaque exercice. Ce support est structuré en quatre séries de TD répartis comme suit : Après un premier TD qui est consacré aux les oscillateurs à : pont de Wien, réseau déphaseur et les oscillateurs LC, Quartz, Résistance négatif, Colpitts et Hartley, nous présentons dans le deuxième TD des Multivibrateurs : astable, bistable et monostable à base d’amplificateur opérationnel, le troisième TD aborde les multivibrateurs à base d’un circuit intégré NE 555. Le dernier TD est dédié à la boucle à verrouillage de phase PLL et leur principe de fonctionnement.

L’objectif de ce support est essentiellement de mettre à la disposition de l’étudiant un document de travail qui lui permet de faciliter la compréhension des notions vues pendant le cours, l’apprentissage ainsi que la révision.

Sommaire

Série TD N° 1 : Oscillateurs

Exercice 01 : Oscillateur à pont de Wien	01
Exercice 02 : Oscillateur à réseau déphaseur	01
Exercice 03 : Oscillateurs LC	02
Exercice 04 : Oscillateur à Quartz	02
Exercice 05 : Oscillateur à Résistance négatif.....	03
Exercice 06 : Oscillateurs Colpitts	04
Exercice 07 : Oscillateurs Hartley	04
Indications	05

Série TD N° 2 : Les multivibrateurs à base d'amplificateur opérationnel

Exercice 01 : Multivibrateurs Astable	09
Exercice 02 : Multivibrateurs Bistable	09
Exercice 03 : Multivibrateurs Monostable	10
Exercice 04 : Oscillateur à relaxation.....	11
Indications	11

Série TD N° 3 : Les multivibrateurs à base d'un circuit intégré NE 555

Exercice 01 : Multivibrateurs Astable	14
Exercice 02 : Multivibrateurs Monostable	14
Exercice 03 : Multivibrateurs Astable-Monostable	15
Exercice 04 : Multivibrateurs bistable.....	16
Indications	16

Série TD N° 4 : La boucle à verrouillage de phase PLL

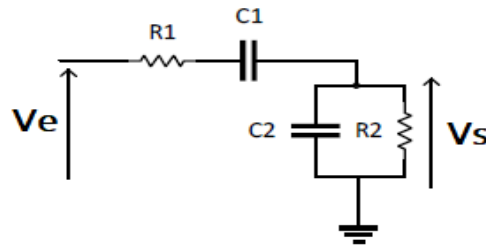
Exercice 01 : Filtres & VCO	19
Exercice 02 : Comparateur de phase numérique	19
Exercice 03 : Comparateur de phase analogique.....	20
Exercice 04 : La boucle PLL complète et principe de fonctionnement.....	21
Indications	22
Bibliographie	26
Annexe : Canevas- Electronique 4	27

TD N°1

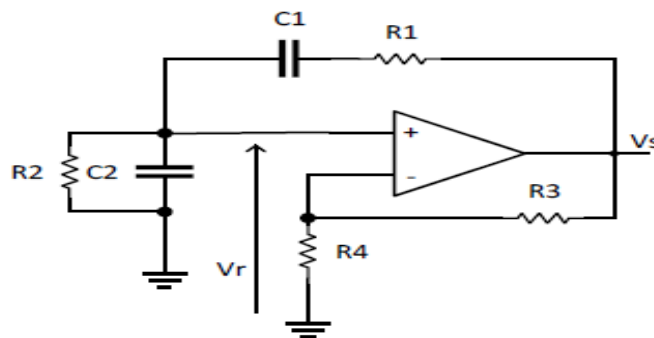
LES OSCILLATEURS

Exercice 1

Le circuit de réaction de l'oscillateur à pont de Wien est présenté dans la figure ci-dessous :



1. Ecrire la fonction de transfert $B(\omega)$.
2. Donner sa fréquence d'oscillation ?
3. Il est possible de réaliser un oscillateur en utilisant un pont de Wien en l'associant avec un amplificateur non inverseur comme représenté dans la figure suivante :

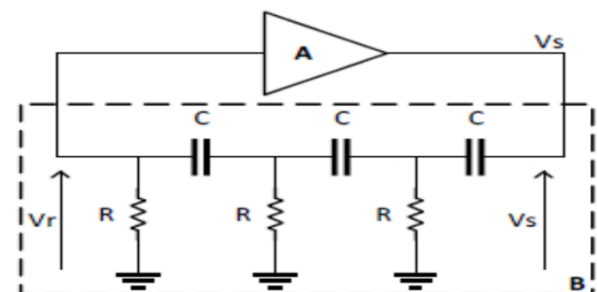


- a- Donner le gain de l'amplificateur.
- b- Pour $R1 = R2$ et $C1 = C2$, calculer le gain $B(\omega)$ du circuit de réaction et la fréquence d'oscillation.
- c- Donner la valeur de résistance $R3$ ou $R4$ pour que la condition d'oscillation est vérifié.

Exercice 2

Soit l'oscillateur à réseau déphaseur (passe haut) ci-contre, pour les trois résistances sont égaux ainsi que les trois condensateurs trouver :

1. La fonction de transfert $B = V_r/V_s$.
2. La fréquence d'oscillation f_0 .
3. Sous quelles conditions y aura-t-il oscillation.
4. Dans le cas d'un oscillateur à réseau déphaseur passe bas :

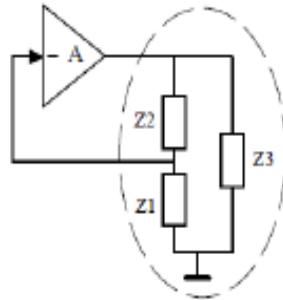


- a- Le gain du réseau déphaseur $B(\omega_0)$.

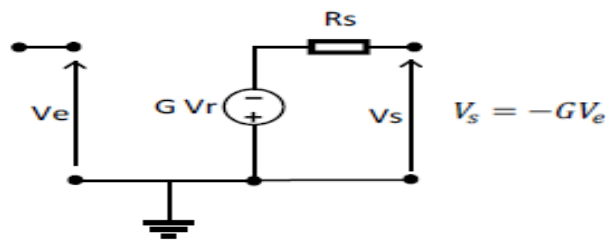
- b. La fréquence d'oscillation.
- c. Le gain de l'amplificateur A.

Exercice 3

Quand on a besoin de fréquences plus élevées on utilise des oscillateurs LC ou oscillateur à circuit accorde. Le principe de fonctionnement de ces oscillateurs est illustré sur la figure suivante :



Pour étudier ce système, on remplace l'amplificateur (considéré idéal) par son circuit équivalent :



1. Donner le gain de la chaîne directe (Amplificateur) A.
2. Donner le gain du réseau de réaction sur la boucle de retour B.
3. Que peut-on dire sur les réactances Z1, Z2 et Z3. ?
4. Suivant le type des réactances, quel type d'oscillateur pouvons-nous obtenir, avec la fréquence d'oscillation pour chaque oscillateur.

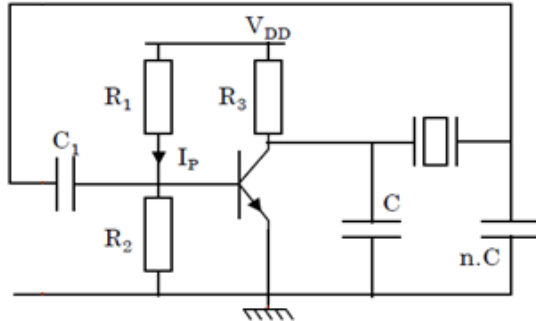
Exercice 4

Un oscillateur à quartz permet d'obtenir des fréquences d'oscillation stable et précise.

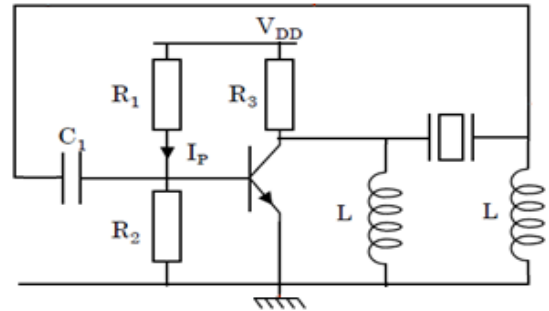
1. Donner le schéma équivalent du quartz.
2. Si en négligeant R_s devant L_s et C_s , montrer que l'expression de l'impédance complexe $Z_Q(j\omega)$ du quartz s'exprime par l'expression :

$$Z_Q(\omega) = \left(\frac{1}{j\omega} \right) \left[\frac{(1 - L_S C_S \omega^2)}{(C_p + C_S) - (L_S C_S C_p \omega^2)} \right]$$

3. Le système possède deux fréquences de résonance, fréquence de résonance série f_s et parallèle f_p , donnez l'expression de f_s et f_p .
4. Calculer f_s et f_p pour $C_s = 0,5 \text{ pF}$, $L_s = 5 \text{ H}$ et $C_p = 15 \text{ pF}$.
5. Soit les montages de la figure ci-dessous :



(a)



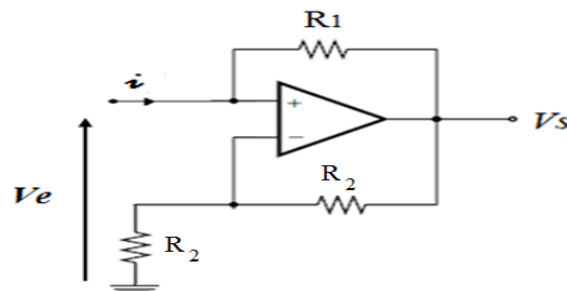
(b)

Donner le type de chaque montage et la condition d'oscillation ?

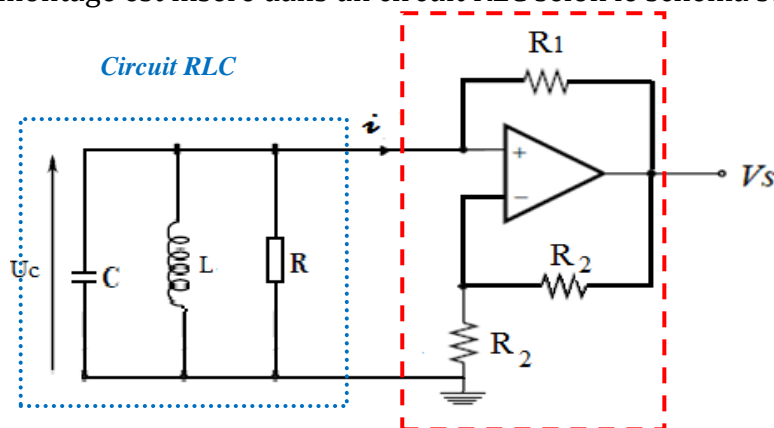
6. Calculer le facteur de qualité Q du quartz pour $R = 1 \text{ K}\Omega$.

Exercice 5

Soit le montage ci-dessous. L'AOP est supposé idéal de gain infini, et fonctionnant en régime linéaire.



1. Donner la relation entre V_e , i et R_1 , puis donner le dipôle équivalent à ce montage ?
2. Le montage est inséré dans un circuit RLC selon le schéma suivant :

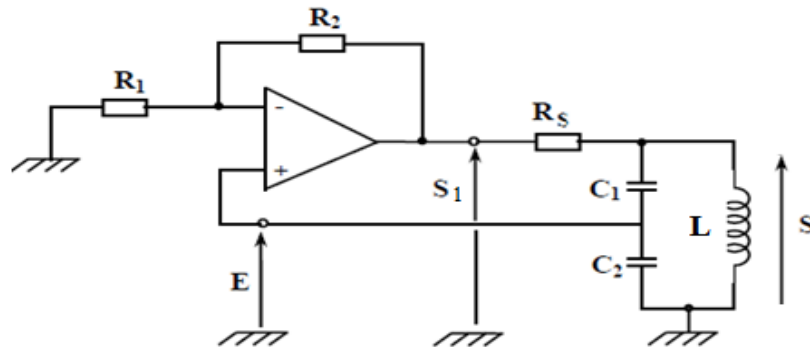


Etablir l'équation différentielle vérifiée par U_c ?

- Déduire la condition sur R pour observer des oscillations sinusoïdales.
- Donner la fréquence d'oscillation et l'évolution du signal $u_c(t)$ selon la condition sur R

Exercice 6

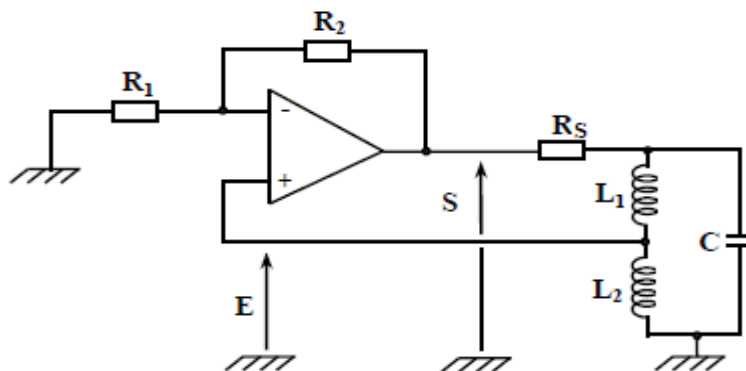
Soit le montage ci-dessous à base d'amplificateur Opérationnel.



- Sur ce schéma, repérer le bloc de la chaîne directe A et la Chaîne de retour B.
- D'après la Chaîne de retour B, Quelle fonction réalise ce montage?
- On considère que l'AO est en régime linéaire. Donnez les expressions de la fonction de transfert de A et B.
- Déduire l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $T=A.B$
- Donner sa fréquence d'oscillation ?

Exercice 7

Soit le montage ci-dessous à base d'amplificateur Opérationnel.



- Sur ce schéma, repérer le bloc de la chaîne directe A et la Chaîne de retour B.
- D'après la Chaîne de retour B, Quelle fonction réalise ce montage ?
- On considère que l'AO est en régime linéaire. Donnez les expressions de la fonction de transfert de A et B.
- Déduire l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $T=A.B$
- Donner sa fréquence d'oscillation ?

Indications**Exercice 1**

$$1. B(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \left[R_1 C_2 \omega - \frac{1}{R_2 C_1 \omega} \right]}$$

$$2. f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$3. a \quad A = \frac{V_s}{V_r} = \frac{R_3 + R_4}{R_4}$$

b. Pour $R_1 = R_2$ et $C_1 = C_2 \rightarrow B(\omega_0) = 1/3$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$$

c. $R_3 = 2 R_4$ ($A = 3$)

Exercice 2

$$1. B = \frac{V_r}{V_s} = \frac{(RC\omega)^3}{(RC\omega)^3 - 5RC\omega + j[1 - 6(RC\omega)^2]}$$

$$2. \omega_0 = \frac{1}{RC\sqrt{6}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot RC\sqrt{6}}$$

$$3. |A| = 29 \quad \text{et} \quad \text{Arg}(A) = \pi$$

$$4. a \quad B(\omega_0) = -\left(\frac{1}{29}\right)$$

$$b. f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi \cdot RC}$$

c. $A = -29$

Exercice 3

$$1. A = \frac{V_s}{V_r} = -G \frac{Z_e}{Z_e + R_s}$$

$$2. B = \frac{V_r}{V_s} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}$$

3. Les réactances Z_1 et Z_2 sont de même signe, donc de même type de réactance (Z_1 et Z_2 sont des inductances ou des capacités)

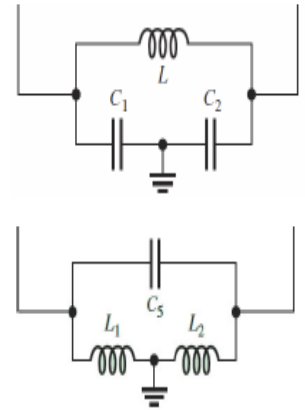
4. Les combinaisons possibles donc :

- Z1 et Z2 sont capacitives et Z3 est inductive, ce qui nous donne un oscillateur de Colpitts

$$f_0 = \frac{1}{2.\pi \sqrt{L \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}}} = \frac{1}{2.\pi \sqrt{L C_{eq}}}$$

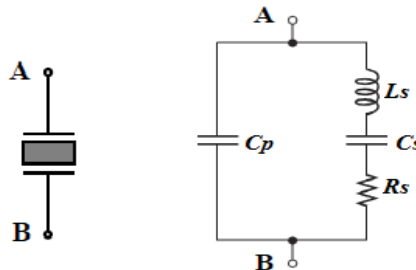
- Z1 et Z2 sont inductives et Z3 est capacitive, ce qui nous donne un oscillateur de Hartley

$$f_0 = \frac{1}{2.\pi \sqrt{C.(L_1 + L_2)}} = \frac{1}{2.\pi \sqrt{C.L_{eq}}}$$



Exercice 4

1.



$$2. \quad Z_Q(w) = \left(\frac{1}{jC_p w} \right) // \left(jL_s w + \frac{1}{jC_s w} \right)$$

$$Z_Q(w) = \frac{\left(\frac{1}{jC_p w} \right) \left(jL_s w + \frac{1}{jC_s w} \right)}{jL_s w + \frac{1}{jC_s w} + \frac{1}{jC_p w}} = \frac{1 - L_s C_s w^2}{(jC_p w)(jC_s w) \left(jL_s w + \frac{1}{jC_s w} + \frac{1}{jC_p w} \right)}$$

$$Z_Q(w) = \left(\frac{1}{jw} \right) \left[\frac{(1 - L_s C_s w^2)}{(C_p + C_s) - (L_s C_s C_p w^2)} \right]$$

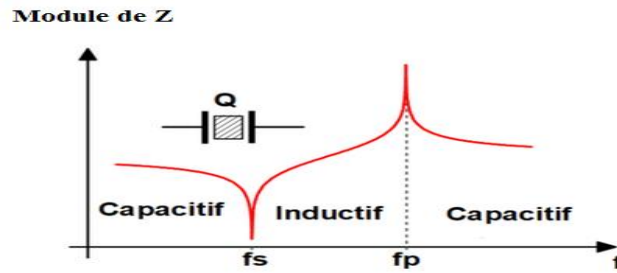
$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_s}} \quad \text{et} \quad f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_{eq}}} \quad 3.$$

$$C_{eq} = \frac{C_s C_p}{C_s + C_p}$$

$$4. \quad f_s = 100.709 \text{ KHz} \quad f_p = 102,466 \text{ KHz}$$

5. (a) Oscillateur Colpitts à quartz, le circuit (a) oscille lorsque le quartz a un comportement inductif.

(b) Oscillateur Hartley à quartz, le circuit (b) oscille lorsque le quartz a un comportement capacitif.



$$Q_s = \frac{2\pi \cdot f_s \cdot L}{R} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 100.709 \cdot 10^3 \cdot 5}{1000} = 3162,2626 \quad 6.$$

$$Q_s = \frac{2\pi \cdot f_p \cdot L}{R} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 102,466 \cdot 10^3 \cdot 5}{1000} = 3217,4324$$

Exercice 5

$$1. \quad V_- = \frac{V_e - R_1 \cdot I}{2}$$

or $V_+ = V_e = V_-$

$$V_e = \frac{V_e - R_1 \cdot I}{2} \Rightarrow V_e = -R_1 \cdot I$$

Ce montage montré qu'il est équivalent à une résistance négative

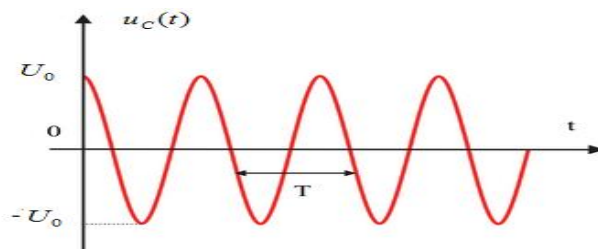
$$2. \quad LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + C(R + R_n) \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

3. Si $R = -R_n$, la solution générale des équations différentielle pour les deux cas prennent les formes suivantes :

$$i_L(t) = I_0 \sin(w_0 t + \varphi)$$

$$u_C(t) = U_0 \sin(w_0 t + \varphi)$$

4.



$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Exercice 6

2. Oscillateur Colpitts à base d'amplificateur Opérationnel

$$3. \quad A(j\omega) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \left[\frac{1}{1 + R(j\omega C_{eq} + \frac{1}{Lj\omega})} \right] \quad C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$B(j\omega) = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2}\right) = \frac{C_{eq}}{C_2}$$

$$4. \quad T = A(j\omega).B(j\omega) = \frac{C_{eq}}{C_2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \left[\frac{1}{1 + R(j\omega C_{eq} + \frac{1}{Lj\omega})} \right]$$

$$5. \quad A.B=1 \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{C_2}{C_1} \quad f_0 = \frac{1}{2.\pi \sqrt{L \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}}} = \frac{1}{2.\pi \sqrt{LC_{eq}}}$$

Exercice 7

2. Oscillateur Hartley à base d'amplificateur Opérationnel

$$3. \quad A(j\omega) = \left[\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + R(j\omega C + \frac{1}{L_{eq}j\omega})} \right] \quad L_{eq} = L_1 + L_2$$

$$B(j\omega) = \left(\frac{L_2}{L_1 + L_2}\right) = \frac{L_2}{L_{eq}}$$

$$4. \quad T = A(j\omega).B(j\omega) = \frac{L_2}{L_{eq}} \left[\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + R(j\omega C + \frac{1}{L_{eq}j\omega})} \right]$$

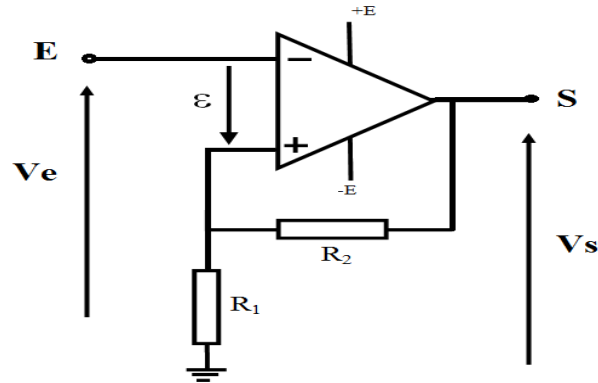
$$5. \quad A.B=1 \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{L_1}{L_2} \quad f_0 = \frac{1}{2.\pi \sqrt{C.(L_1 + L_2)}} = \frac{1}{2.\pi \sqrt{C.L_{eq}}}$$

TD N°2

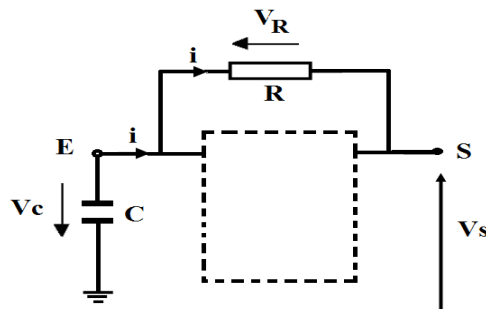
Les multivibrateurs à base d'amplificateur opérationnel

Exercice 1

Le circuit de la figure ci-dessous est constitué d'un amplificateur supposé parfait alimenté par une tension symétrique $V_{cc} = \pm E = \pm 12V$. On prendra $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$ et $V_{sat} = 11V$.



1. Donner l'expression de la tension V_+ en fonction de V_s .
2. Tracer la caractéristique de transfert $V_s=f(V_e)$ de ce circuit.
3. On associe au circuit précédent un condensateur C et une résistance R comme l'indique la figure ci-dessous



On suppose initialement que le condensateur C est déchargé, et $V_s = +V_{sat}$. Comment évolue V_c ? Donner l'expression de la tension V_c en fonction de V_{sat} .

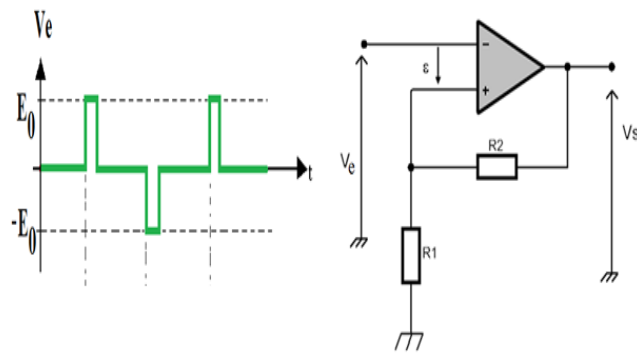
4. Tracer les formes d'ondes de tensions V_s et V_c .
5. La période T à pour expression $T = 2RC \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$

Calculer la fréquence d'oscillation pour $R = 4,7 k\Omega$ et $C = 1\mu F$.

Exercice 2

Soit le montage électrique présenté ci-dessous.

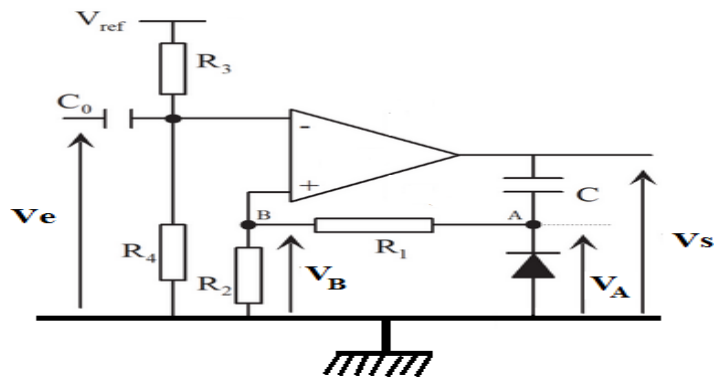
Si on applique une tension V_e à l'entrée inverseuse de l'amplificateur comme illustrer dans la figure, sachant que $E_0 > \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$



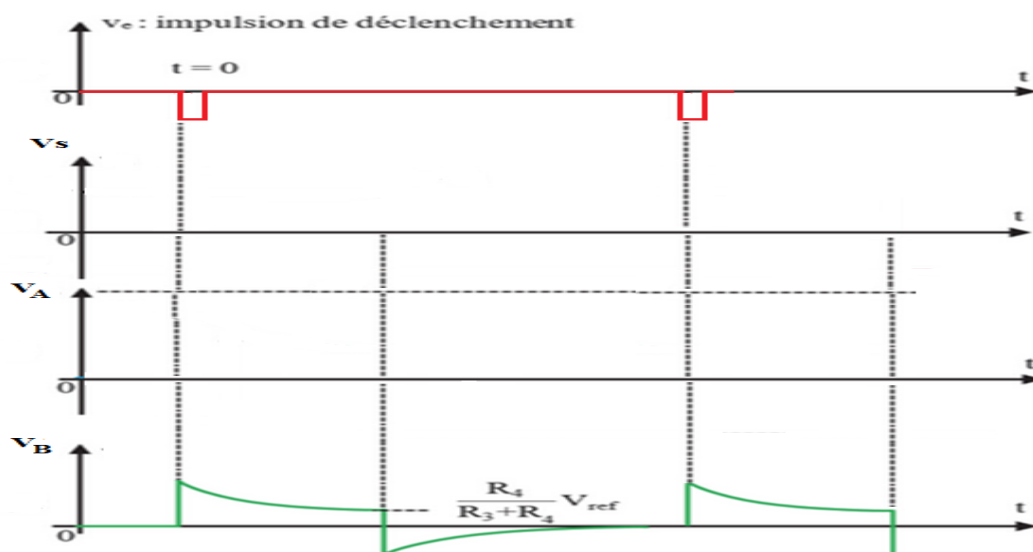
1. Tracer l'allure du signal V_s de ce circuit ?
2. D'après le chronogramme, quelle fonction réalise ce montage?

Exercice 3

Soit le montage ci-dessous d'un monostable à base d'amplificateur Opérationnel. La diode D est considérée idéale (la tension de seuil=0.6V avec résistance inverse infinie).

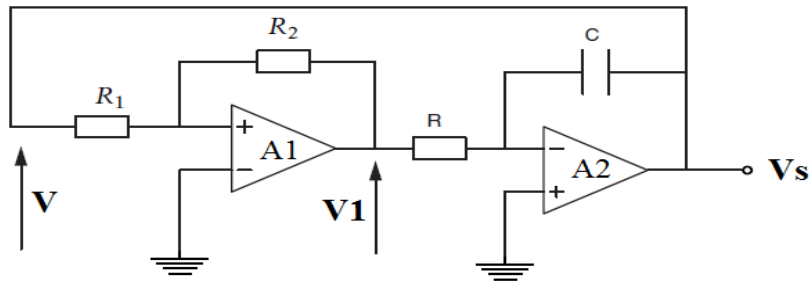


- 1- Donner l'expression des tensions V_A , V_B et V_s pour $V_e=0$
- 2- Donner l'expression de la durée d'état stable
- 3- Compléter l'évolution du chronogramme suivant



Exercice 4

On s'intéresse au montage électrique présenté ci-dessous :



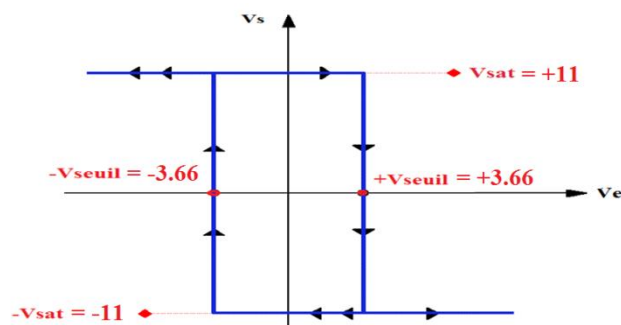
1. Identifier le rôle de chaque amplificateur opérationnel, puis donner la fonction de transfert pour chaque amplificateur A1 et A2.
2. Tracer l'allure des signaux V_s et V_1 de ce circuit.
3. Calculer le période T des signaux carrés et triangulaire pour : $R_1 = R = 10\text{k}\Omega$, $R_2 = 20\text{k}\Omega$ et $C = 100\text{nF}$.
4. Déduire la fréquence d'oscillation.

Indications

Exercice 1

$$1. \quad V_+ = V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

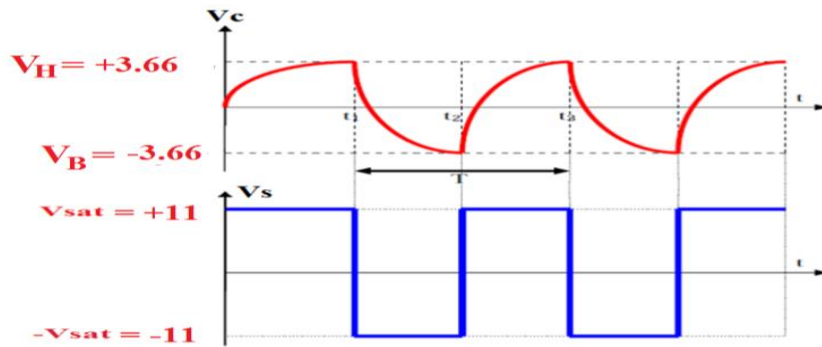
2.



3. $V_s = +V_{sat}$ et C déchargé, donc un courant i initialement égal à V_s/R charge C . V_c évolue donc comme la charge d'un condensateur à travers une résistance et tend vers la tension V_{sat} .

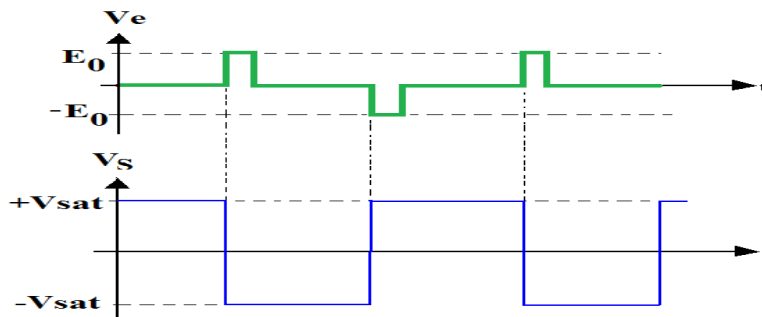
$$V_c(t) = V_{sat} \left(1 - e^{-\frac{t}{Rc}}\right)$$

4.

5. $T = 6.5 \text{ ms}$ $f = 1/T = 153.60 \text{ Hz}$

Exercice 2

1.



2. Montage bistable

Exercice 3

1. Pour $V_e = 0$:

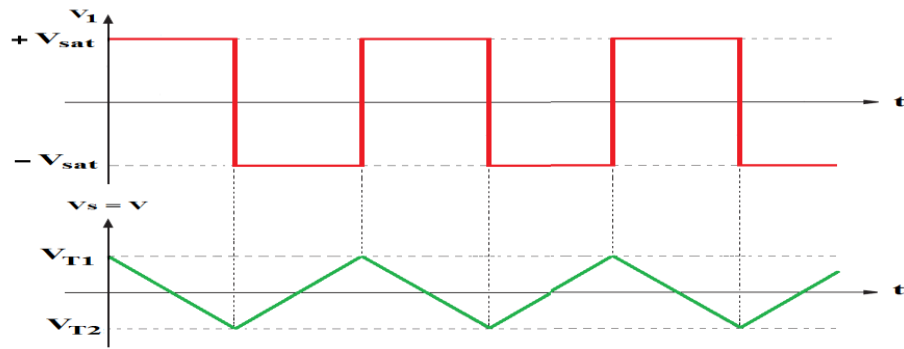
$$V_A = 0, V_B = 0, V_S = -V_{\text{Sat}}$$

$$2. T = (R_1 + R_2)CLn\left[\frac{2R_2(R_3 + R_4)}{R_4(R_1 + R_2)}\right]$$

Exercice 4

1. Le premier amplificateur A_1 monté en bascule de Schmitt produit une tension rectangulaire et le second A_2 , monté en intégrateur génère une tension triangulaire, comme l'intégrateur est inverseur, on utilisera dans ce cas un comparateur non inverseur.

2. l'allure des signaux V_s et V_1



$$3. T = 4RC \frac{R_1}{R_2} = 4 * 10 * 10^3 * 100 * 10^{-9} * \frac{10}{20} = 2 * 10^{-3} = 2ms$$

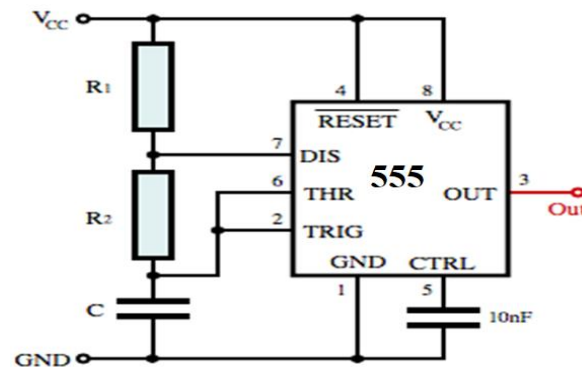
$$4. F = 1/T = 500Hz$$

TD N°3

Les multivibrateurs à base d'un circuit intégré NE 555

Exercice 1

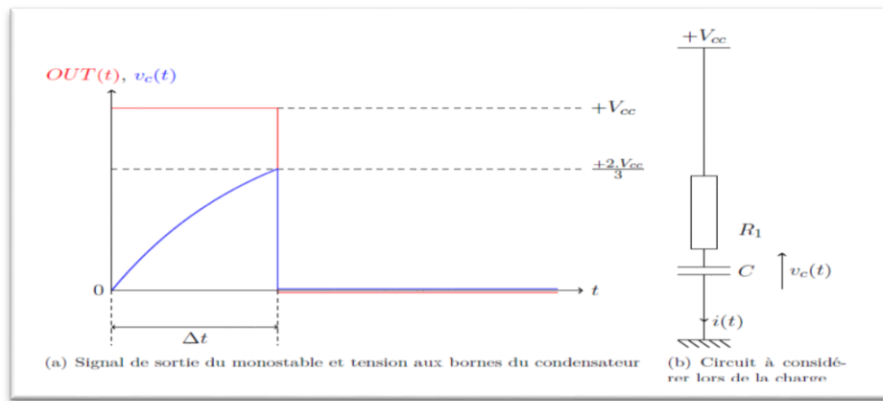
On considère le circuit d'un astable de la figure à base d'un circuit intégré 555.



- 1°) Indiquer les chemins de charge et de décharge du condensateur C.
- 2°) Représenter les évolutions des signaux V_c et V_{out}
- 3°) Pour le cas de charge du condensateur :
 - a) A partir d'une loi des mailles, déterminer l'équation différentielle de la tension $V_c(t)$ lors de la charge.
 - b) En déduire la durée t_h passée à l'état haut par la tension de sortie.
- 4°) Pour le cas de décharge du condensateur :
 - a) A partir d'une loi des mailles, déterminer l'équation différentielle de la tension $V_c(t)$ lors de la décharge.
 - b) En déduire la durée t_b passés à l'état bas par la tension de sortie.
- 5°) Calculer la durée de l'état haut et la durée de l'état bas du signal de sortie V_s (OUT) sachant que $R_1 = R_2 = 150 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$.
- 6°) En déduire la période « T », la fréquence « f » et le rapport cyclique « α ».
- 7°) Modifier le schéma structurel afin d'obtenir un rapport cyclique $\alpha = 1/2$

Exercice 2

Un monostable est réalisé avec un circuit NE555. Les allures de la tension de sortie et de la tension aux bornes du condensateur de ce circuit sont représentées dans la figure suivante :

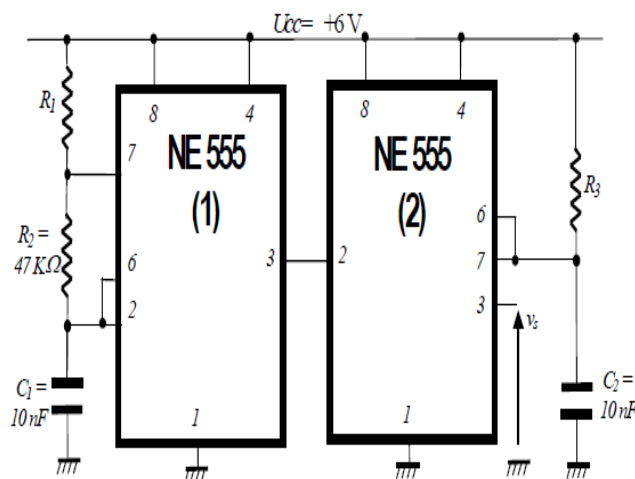


Le circuit électrique lors de la charge (de $t = 0$ à $t = \Delta t$) est représenté aussi.

- 1°) Donner le brochage du montage via le circuit intégré 555.
- 2°) Exprimer la durée de temporisation Δt .
- 3°) Pour : $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 5 \mu\text{F}$, calculer la durée Δt .

Exercice 3

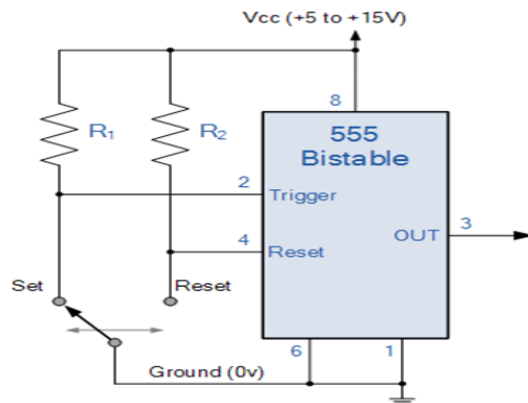
Soit le montage de la figure ci-dessous.



- 1°) Quelle est la fonction réalisée par chacun des NE 555 ?
- 2°) Calculez la résistance R_1 pour que la tension sur la borne 3 du NE555(1) soit un créneau de fréquence 1 kHz et de durée (à l'état haut) de 0,5 ms.
- 3°) Calculer le rapport cyclique α du NE555(1)
- 4°) Calculez la résistance R_3 pour que la tension sur la borne 3 du NE555(2) soit un créneau de fréquence 10 kHz.

Exercice 4

On utilise un CI de type NE555 monté en Bistable.

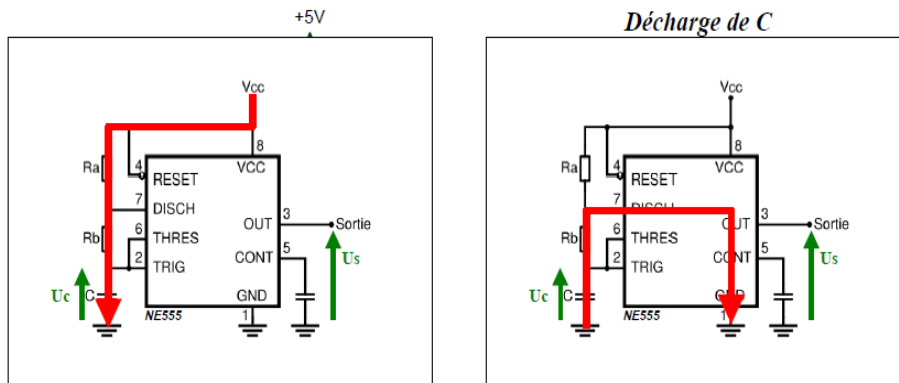


- 1°) Expliquer le fonctionnement en se basant sur la structure interne du NE555 ?
- 2°) Représenter l'évolution du signal V_{out} sur la borne 3 du NE555 suivant les changements des signaux des bornes 2 et 4 (Trigger et reset)

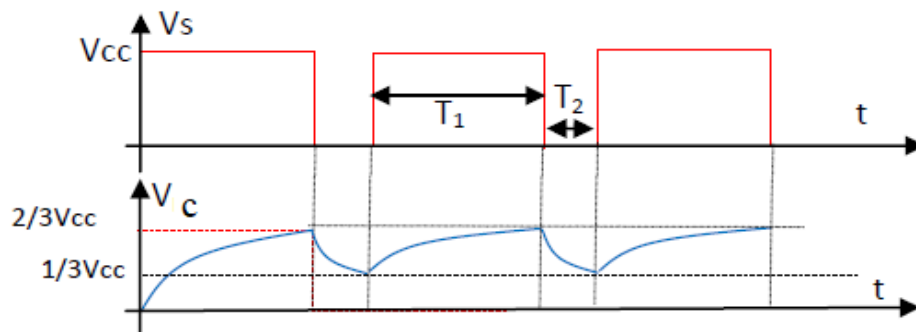
Indications

Exercice 1

1.



2.



3. a $V_c(t) = V_0 + (V_{cc} - V_0)(1 - e^{-\frac{t}{Rc}})$

b. $T_h = 0.693 * (R_1 + R_2) * C_1$

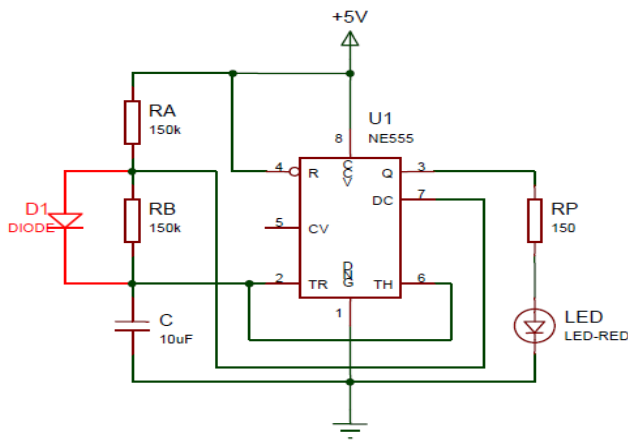
4. a $V_c(t) = V_{cc}(1 - e^{-\frac{t}{Rc}})$

b. $T_b = 0.693 * R_2 * C_1$

5. $T_h = 2.08 \text{ s}$ $T_b = 1.04 \text{ s}$

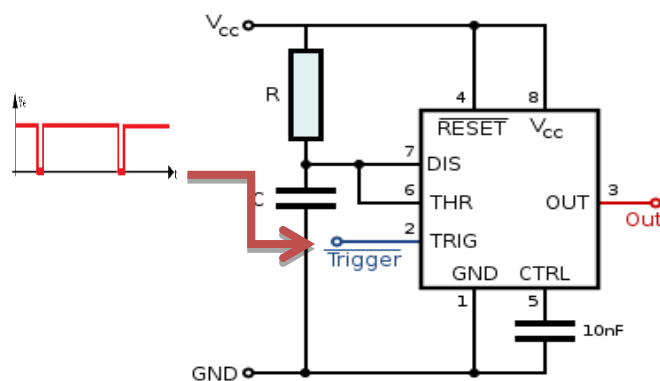
6. $T = 3.12 \text{ s}$, $f = 0.32 \text{ Hz}$, $\alpha = 0.66 = 2/3$

7.



Exercice 2

1.



2. $T = 1,1 R.C$

3. $\Delta t = 0,055s$

Exercice 3

1. NE555(1) : Astable NE555(2) : Monostable

2. $T=1/f = 1/1000=1 \text{ ms}$

$$T = T_h + T_b \rightarrow T_b = T - T_h = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ ms}$$

$$T = 0,693(2R_2 + R_1)C_1 \rightarrow R_1 = 0,34858 / 6,93 \times 10^{-6} = 50,3 \text{ K}\Omega$$

3. $\alpha = T_h / (T_h + T_b) = 0,5 / (0,5 + 0,5) = 0,5 = 50 \%$

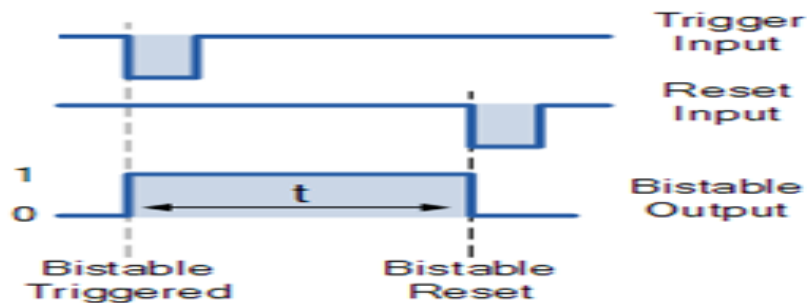
4. $T = 1/f = 1/10^4 = 10^{-4} \text{ s}$

$$T = 1,1 R_3 C_2 \rightarrow R_3 = T / 1,1 \times C_2 = 10^{-4} / 1,1 \times 10^{-9} = 9 \text{ K}\Omega$$

Exercice 4

1. *Lorsque la broche de déclenchement émet une impulsion basse, la sortie devient haute (Vcc). La sortie restera élevée même si la broche de déclenchement est à nouveau élevée. Lorsque la broche de réinitialisation est basse, la sortie devient basse. Encore une fois, la sortie restera dans cet état même si la broche de réinitialisation redevient haute.*

2.

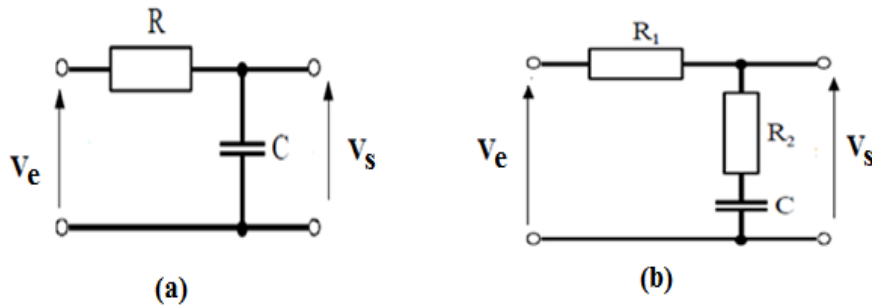


TD N°4

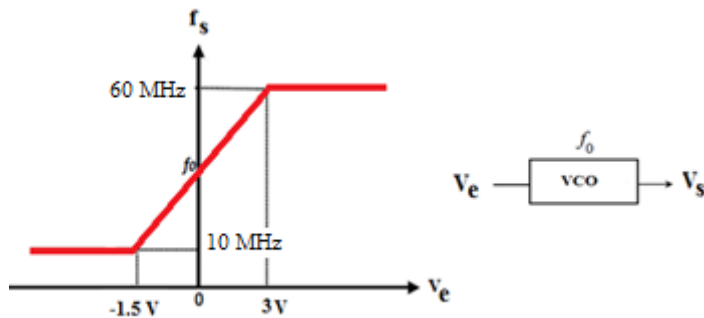
La boucle à verrouillage de phase PLL

Exercice 1

Soit les deux filtres de la figure suivant



- 1°) Donner la fonction de transfert correspondante pour chaque filtre (a et b).
- 2°) Quelle est la différence entre les deux filtres pour une application dans une PLL.
- 3°) Soit la caractéristique fréquence/tension d'un VCO

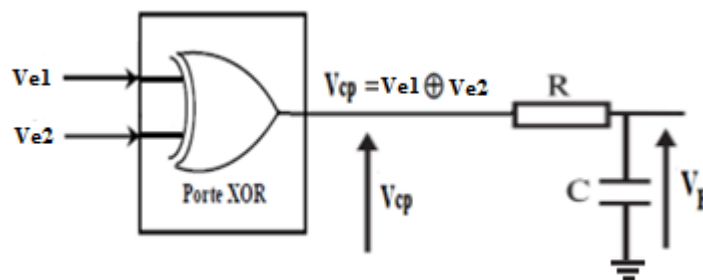


Donner la relation fréquence-tension du VCO

- 4°) Calculer la fréquence centrale f_0 du VCO
- 5°) Calculer la sensibilité K du VCO

Exercice 2

Le comparateur de phase numérique est constitué d'une porte OU exclusif. Le OU exclusif joue dans le domaine numérique, un rôle similaire à celui du multiplieur dans le domaine analogique, le circuit de la figure ci-dessous utilise ce comparateur associée à un filtre RC passe bas.

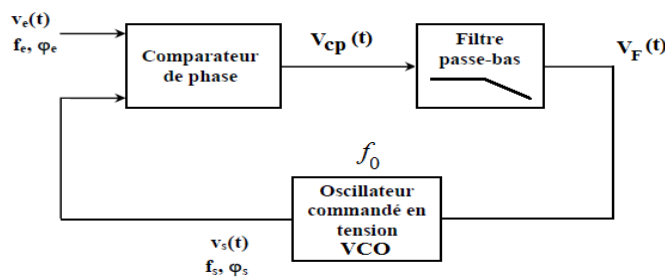


OU exclusif ne fonctionne qu'avec des signaux de type carrés, que nous supposons compris entre 0 et V_{DD} . Les deux entrées à un rapport cyclique $\alpha = 1/2$, l'entrée V_{e2} en retard de temps (déphasage $\Delta\varphi$) t_r par rapport à l'entrée V_{e1} .

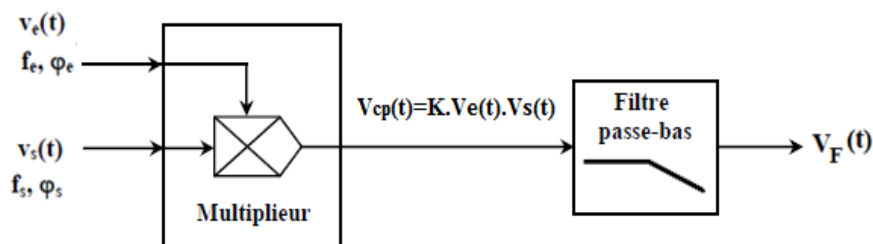
- 1°) Donner l'expression de la tension V_F à la sortie du filtre en fonction de t_r
- 2°) Déduire la valeur de V_F pour $t_r = T/2$ (c.à.d. les deux entrées sont en opposition de phase)
- 3°) Designer les chronogrammes des signaux V_{e1} , V_{e2} , V_{cp} et V_F si l'entrée V_{e2} en retard de $T/4$ par rapport à l'entrée V_{e1}
- 4°) Déduire le déphasage $\Delta\varphi$ entre V_{e1} et V_{e2}
- 5°) Donner l'expression de déphasage $\Delta\varphi$ en fonction de V_F , puis tracer cette caractéristique pour $V_{DD} = 12V$

Exercice 3

La Figure ci-dessous représente la structure de base d'une PLL de base.



Le comparateur ou détecteur de phase donne en temps réel l'écart (ou l'erreur) de phase entre deux signaux. Nous sommes intéressés à l'étude d'un comparateur de phase analogique ou bien un multiplieur.



Les signaux d'entrées du comparateur de phase analogique sont données par :

- a) $V_e(t) = U_e \cdot \cos(\omega_e t + \varphi_e)$ $V_s(t) = U_s \cdot \cos(\omega_e t + \varphi_s)$
- b) $V_e(t) = U_e \cdot \cos(\omega_e t + \varphi_e)$ $V_s(t) = U_s \cdot \sin(\omega_e t + \varphi_s)$

Les fréquences des signaux V_e et V_s sont égaux et leurs phases sont assez proches.

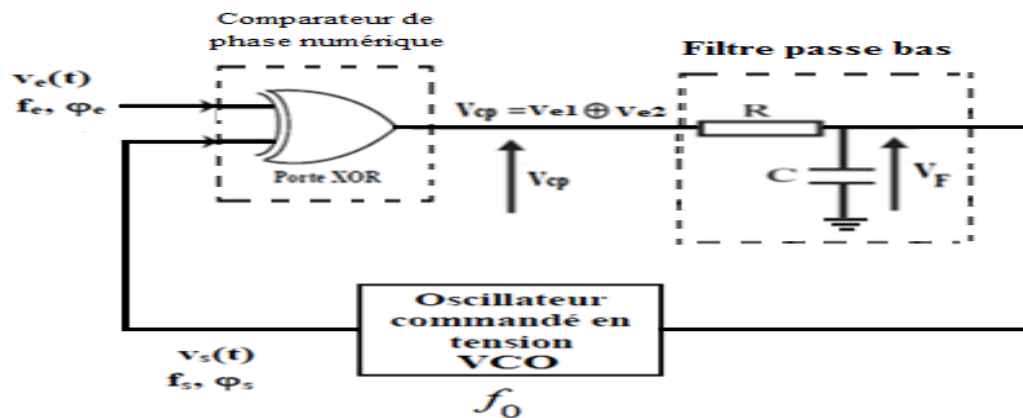
Pour les deux cas :

1°) Donner l'expression du signal V_{cp} à la sortie du multiplieur

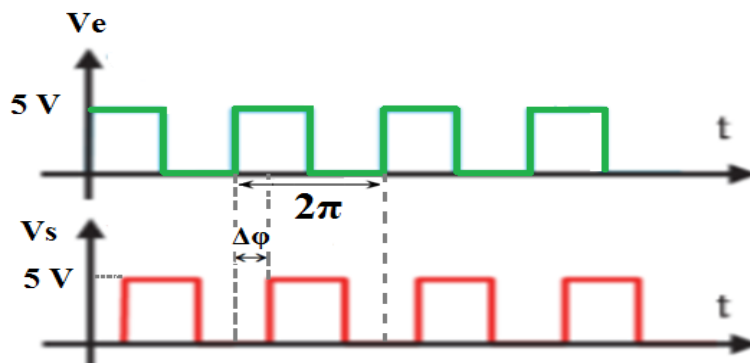
2°) Donner l'expression du signal V_F à la sortie du filtre

Exercice 4

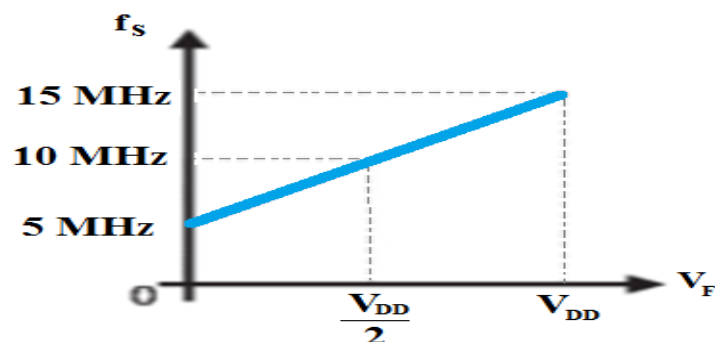
La Figure ci-dessous représente la structure de base d'une PLL que l'on se propose d'étudier.



Les signaux d'entrées du comparateur de phase sont des signaux carrés de période 2π et d'amplitude $V_{DD} = 5V$ données par :



La caractéristique de transfert du VCO est donnée par la figure suivante :



- 1°) Donner la fonction de transfert correspondante au filtre RC, puis calculer la fréquence de coupure à -3 dB et leur présentation en diagramme de Bode pour : $R = 10 \text{ K}\Omega$ et $C = 1 \mu\text{F}$.
- 2°) Designer les chronogrammes des signaux V_e , V_s , V_{cp} et V_F si le déphasage $\Delta\varphi$ entre les entrées V_e et V_s prend les valeurs suivantes : $\Delta\varphi = 0$, $\Delta\varphi = \pi/8$, $\Delta\varphi = \pi/4$, $\Delta\varphi = \pi/2$
- 3°) Donner l'expression de signal de sortie du filtre V_F en fonction de V_{DD} et l'écart de temps Δt (Δt le temps de retard ou avance de V_s par rapport à V_e).
- 4°) Donner l'expression de V_F en fonction de déphasage $\Delta\varphi$
- 5°) Calculer V_F pour : $\Delta\varphi = 0$, $\Delta\varphi = \pi/8$, $\Delta\varphi = \pi/4$, $\Delta\varphi = \pi/2$, que remarquer vous ?
- 6°) D'après la caractéristique de transfert du VCO, donner la relation entre f_s et V_F
- 7°) Calculer f_s pour : $\Delta\varphi = 0$, $\Delta\varphi = \pi/8$, $\Delta\varphi = \pi/4$, $\Delta\varphi = \pi/2$, que remarquer vous ?
- 8°) Tracer l'allure de $V_F = f(\Delta\varphi)$

Indications

Exercice 1

1. La fonction de transfert correspondante au filtre (a) est

$$F(j\omega) = \frac{V_F(j\omega)}{V_{cp}(j\omega)} = \frac{1}{1 + \tau \cdot j\omega} \quad \text{avec} \quad \tau = R.C$$

La fonction de transfert correspondante au filtre (b) est

$$F(j\omega) = \frac{V_F(j\omega)}{V_{cp}(j\omega)} = \frac{1 + \tau_2 j\omega}{1 + (\tau_1 + \tau_2) j\omega}$$

$$\text{avec} \quad \tau_1 = R_1.C \quad \tau_2 = R_2.C$$

$$3. \quad f_s(t) = f_0 + \frac{\partial f}{\partial V} \cdot V_F(t)$$

$$f_s(t) = f_0 + K \cdot V_F(t)$$

K : pente qui caractérise le VCO (la sensibilité de l'oscillateur exprimée en Hz/V).

$$4. \quad f_0 = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} = \frac{60 + 10}{2} = 35 \text{ MHz}$$

$$5. \quad K = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} = \frac{(60 - 10) * 10^6}{3 - 1.5} = \frac{50 * 10^6}{1.5} = 33.33 * 10^6$$

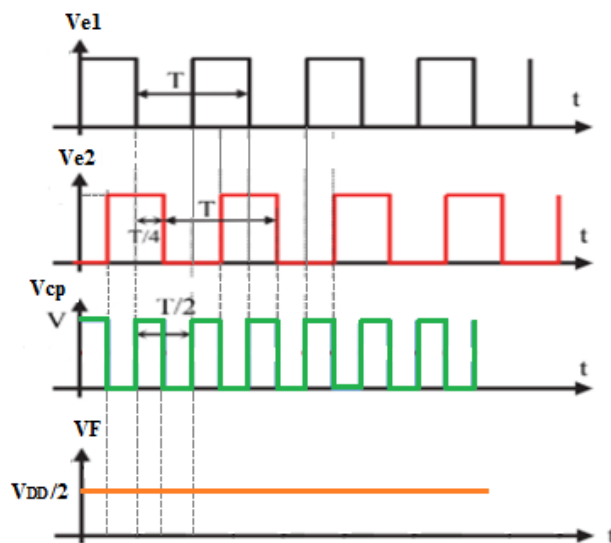
$$K = 33.33 * 10^6 \text{ Hz/V ou rad/V.s}$$

Exercice 2

$$1. \quad V_F = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} V_{cp}(t) dt = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{t_r} V_{cp}(t) dt = \frac{2}{T} V_{DD} (t_r - 0) = \frac{2 \cdot V_{DD}}{T} t_r$$

$$2. \quad V_F = \frac{2 \cdot V_{DD}}{T} t_r = \frac{2 \cdot V_{DD}}{T} \cdot \frac{T}{2} = V_{DD}$$

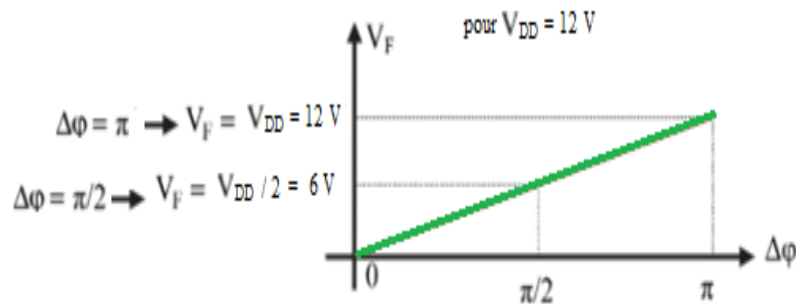
3.



4. $\Delta\varphi = \pi/2$

5. $\Delta\varphi = \pi \frac{V_F}{V_{DD}}$

6.



Exercice 3

Premier cas

$$V_{cp}(t) = \frac{K}{2} U_e \cdot U_s \cdot \cos(2\omega_e t + \varphi_e + \varphi_s) + \frac{K}{2} U_e \cdot U_s \cdot \cos(\varphi_e - \varphi_s)$$

$$V_F(t) = \frac{K}{2} U_e \cdot U_s \cdot \cos(\varphi_e - \varphi_s)$$

$$V_F(t) = K_F \cdot \cos(\varphi_e - \varphi_s) = K_F \cdot \cos(\Delta\varphi)$$

Deuxième cas

$$V_{cp}(t) = \frac{K}{2} U_e \cdot U_s \cdot \sin(2\omega_e t + \varphi_e + \varphi_s) + \frac{K}{2} U_e \cdot U_s \cdot \sin(\varphi_e - \varphi_s)$$

$$V_F(t) = \frac{K}{2} U_e \cdot U_s \cdot \sin(\varphi_e - \varphi_s)$$

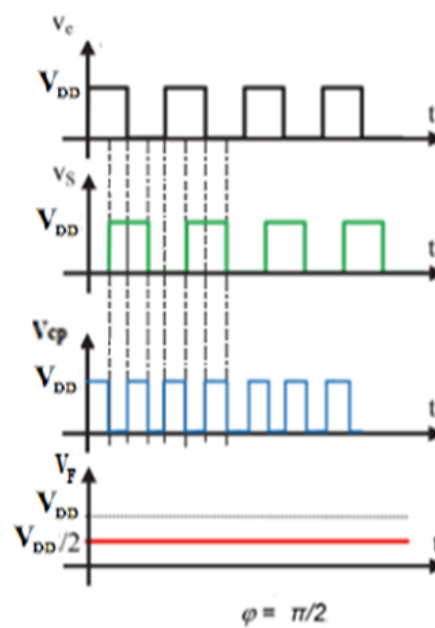
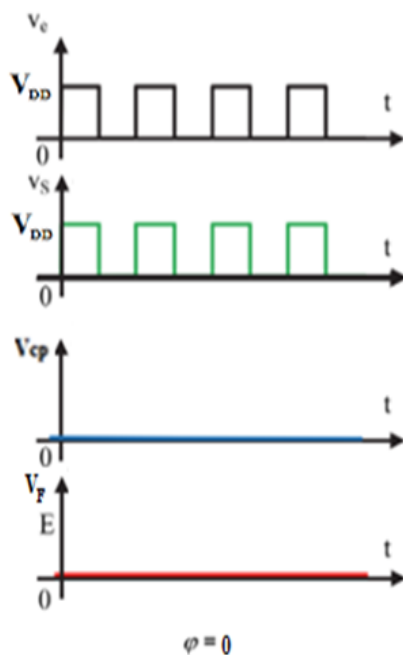
$$V_F(t) = K_F \cdot \sin(\varphi_e - \varphi_s) = K_F \cdot \sin(\Delta\varphi)$$

Exercice 4

$$1. H(j\omega) = \frac{V_F}{V_{cp}} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

$$f_c = 16 \text{ Hz}$$

2.



$$3. \quad V_F = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_{cp} \cdot dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_{DD} \cdot dt = \frac{2\Delta t}{T} V_{DD}$$

$$4. \quad V_F = V_{DD} \frac{\Delta\varphi}{\pi}$$

5. -pour $\Delta\varphi = 0$, $V_F=0$

-pour $\Delta\varphi = \pi/8$, $V_F=V_{DD}/8$

-pour $\Delta\varphi = \pi/4$, $V_F=V_{DD}/4$

-pour $\Delta\varphi = \pi/2$, $V_F=V_{DD}/2$

6. $f_s = a.V_F + b$

$$f_s = 5 \cdot \left(\frac{2V_F}{V_{DD}} + 1 \right) \dots \dots \dots (\text{MHZ})$$

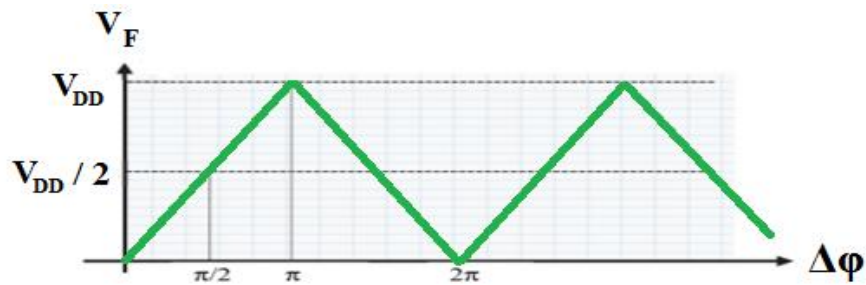
7. -pour $\Delta\varphi = 0$, $V_F=0$, $f_s = 5 \text{ MHz}$

-pour $\Delta\varphi = \pi/8$, $V_F=V_{DD}/8$, $f_s = 6.25 \text{ MHz}$

-pour $\Delta\varphi = \pi/4$, $V_F=V_{DD}/4$, $f_s = 7.5 \text{ MHz}$

-pour $\Delta\varphi = \pi/2$, $V_F=V_{DD}/2$, $f_s = 10 \text{ MHz}$

8.



Bibliographie

- [1] Brahim HARAOUBIA, “Électronique non linéaire 1: Dipôles non linéaires, oscillateurs harmoniques et circuit en commutation.” *ISTE édition*, 2018.
- [2] François de DIEULEVEULT, “Oscillateurs BF et RF: Optimisation par simulation.” *Edition Dunod*, 2018.
- [3] Guy CHATEIGNER, “Manuel du génie électrique.” *Edition Dunod*, 2006.
- [4] Moez HAJJI, “Cours électronique analogique.” *ISSET de Nabeul*, 2014.
- [5] Taher Neffati, “Introduction à l’électronique analogique.” *Edition Dunod*, 2008.
- [6] Pascal MASSON, “Des oscillateurs à la radio.”, *Ecole Polytechnique Universitaire de Nice Sophia-Antipolis*, Edition 2013.
- [7] S. Labandji, “Cours de communications analogiques, chapitre 1 : Les oscillateurs sinusoïdaux.” *USTHB*, 2021.
- [8] François de Dieuleveult, “Olivier Romain ; Electronique appliquée aux hautes fréquences, Principes et applications.” *2^{ème} édition ; Dunod*, 2008.

Annexe : Canevas-Electronique 4

Semestre: 4
Unité d'enseignement: UEF2
Matière : Electronique 4
VHS: 39h (Cours, TD, TP)
Crédits: 4
Coefficient: 3

Objectifs – Compétences minimales:

Etre capable de :

- reconnaître les structures fondamentales dans les systèmes bouclés appliqués aux télécommunications,
- les mettre en œuvre pour la synchronisation, la démodulation et la synthèse de fréquence.

Pré Requis: Module Electronique 2

Contenu:

- Modèle de boucle
- Stabilité, précision
- Génération de signaux et oscillateurs sinusoïdaux
- Conversion Tension Fréquence
- Boucle à Verrouillage de Phase (PLL)

Prolongements possibles:

- PLL Numérique

Indications de mise en œuvre:

- Régénération de porteuse
- Synthétiseur de fréquence
- Pont de Wien, Colpitts, Quartz