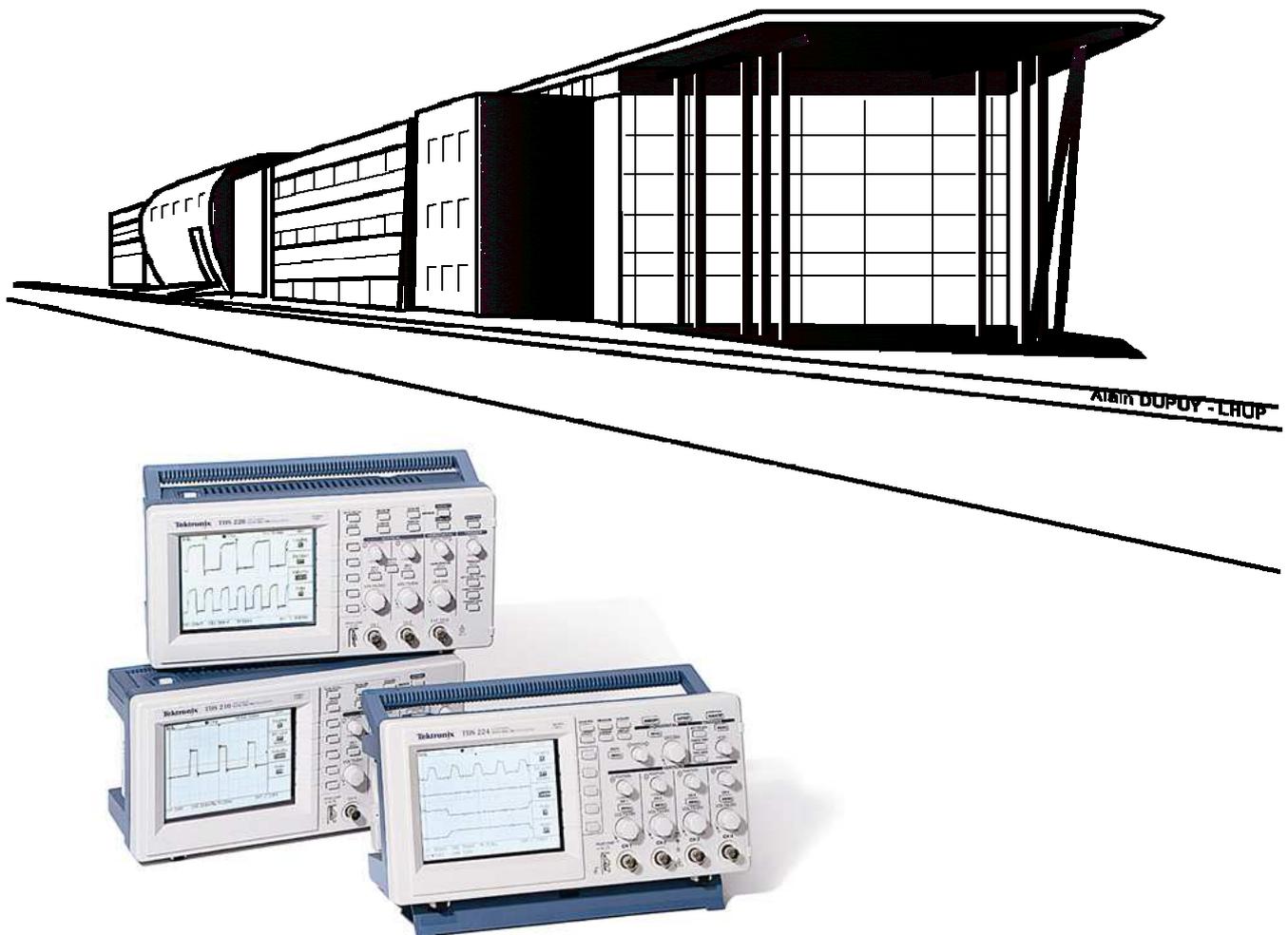




TRAVAUX PRATIQUES D'ELECTRONIQUE

E.S.I.P. 2^e Année

Spécialité A.G.E.



J.D. Gabano : Maître de Conférences

TRAVAUX PRATIQUES D'ELECTRONIQUE

E.S.I.P. 2^e Année

Spécialité A.G.E.

Amplificateur de puissance	1
1°) Amplificateur de tension	1
2°) Association étage push-pull (classe BC) – ampli-op.....	2
3°) Association étage push-pull (classe B) – ampli-op	4
<i>Annexe</i> TL 081.....	6
<i>Annexe</i> Transistors 2N1711, 2N2905	9
Filtrage actif	11
1°) Filtre universel – Conception et structure interne du circuit intégré MAX 274..	11
2°) Cahier des charges n°1 : Filtre passe-bas du 2 ^e ordre.....	12
3°) Cahier des charges n°2 : Filtre passe-bas de Butterworth	12
4°) Utilisation du logiciel FILTER.EXE pour la réalisation du cahier des charges n°2	13
5°) Manipulations : Réalisation pratique du cahier des charges n°2	16
6°) Cahier des charges n°3 : Conception et réalisation pratique d'un filtre de Chebyshev respectant les contraintes du cahier des charges n°2	16
7°) Cahier des charges n°4 : Conception et réalisation pratique d'un filtre sélectif..	16
<i>Annexes</i> filtrage actif	
Méthode pour le relevé d'une courbe de gain	18
Méthode pour le relevé d'une courbe de phase	20
Liste des résistances disponibles	21
Notice MAX 274.....	22
Oscillateurs	29
I - Oscillateur à pont de Wien.....	29
1°) Etude du filtre sélectif utilisé dans l'oscillateur	29
2°) Etude de l'amplificateur utilisé dans l'oscillateur	30
3°) Etude de l'oscillateur.....	30
4°) Changement de la caractéristique non linéaire (de type saturation) de l'amplificateur	31

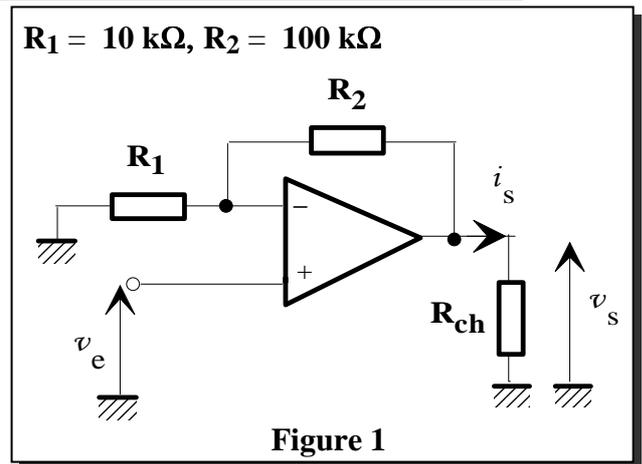
II - Oscillateur triphasé	32
1°) Préparation	33
2°) Manipulations.....	33
III- Oscillateur Pierce à résonateur céramique	33
1°) Utilisation de l'inverseur CMOS en tant qu'amplificateur	33
2°) Oscillateur Pierce	34
Annexe : inverseur CMOS 4011	35
Utilisation du logiciel MATLAB en tant qu'outil d'analyse graphique	36
1°) Utilisation de l'éditeur MATLAB	36
2°) Commandes graphiques de MATLAB.....	37
3°) Analyses graphiques de MATLAB	38

AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE

1°) AMPLIFICATEUR DE TENSION :

Préparation :

- 1.1°) Déterminer la fonction de transfert $A = \frac{v_s}{v_e}$ de l'amplificateur de la **figure 1**.
- 1.2°) On utilise un ampli-op *TL 081*. En consultant la notice de cet ampli-op, préciser la valeur maximale du courant de sortie $|i_s|_{max}$ qu'il est possible de fournir à la charge.



Manipulations :

- 1.3°) Réaliser sur la maquette le câblage correspondant au montage de la **figure 1**. On adoptera $V_{cc} = 15 \text{ V}$ et $V_{cc}^- = -15 \text{ V}$.

1.3.1°) Essai à vide :

On effectuera la **correction d'offset** de sorte à obtenir, **en continu**, $V_s = 0 \text{ V}$ lorsque $V_e = 0 \text{ V}$.

En imposant R_{ch} infinie (amplificateur à vide $i_s = 0$), appliquer un signal v_e sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ de sorte à obtenir un signal de sortie d'amplitude $V_{sm} = 10 \text{ V}$. **Mesurer** les valeurs efficaces $V_{e0 \text{ eff}}$, $V_{s0 \text{ eff}}$.

En déduire une mesure de l'amplification **à vide** $A_{0 \text{ exp}}$. Commenter le résultat.

1.3.2°) Essai en charge :

En conservant le même signal d'entrée v_e que précédemment, faire la mesure des amplifications en charge $A_{1 \text{ exp}}$ et $A_{2 \text{ exp}}$ pour $R_{ch} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{ch} = 1 \text{ k}\Omega$. Relever également dans chaque cas les valeurs efficaces $I_{s1 \text{ eff}}$ et $I_{s2 \text{ eff}}$ ainsi que les amplitudes I_{sm1} et I_{sm2} du courant de sortie i_s . Que peut-on conclure ?

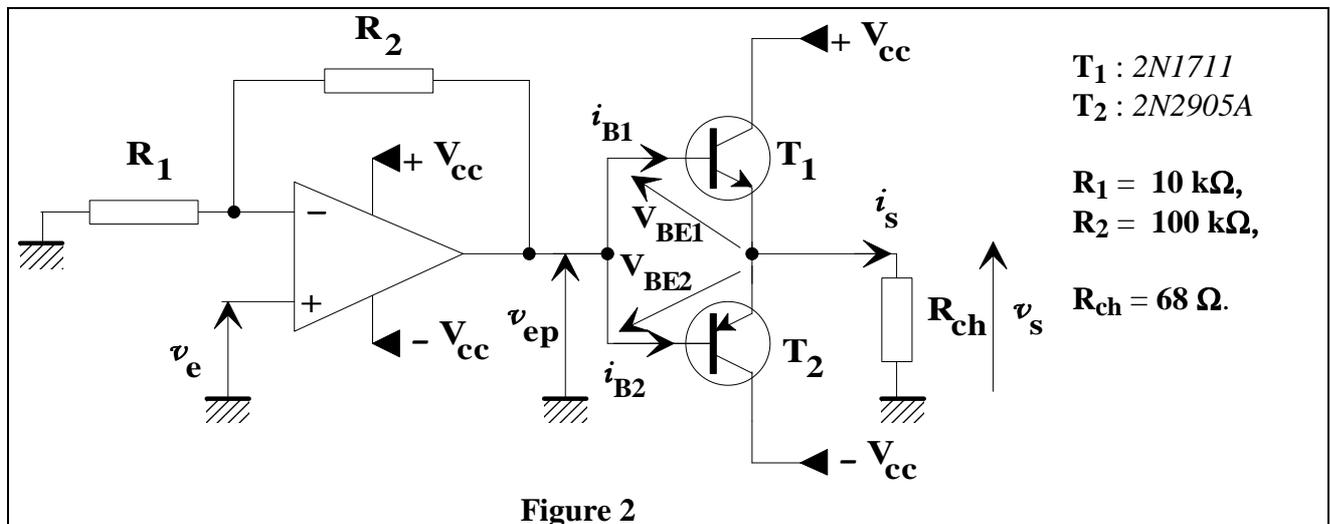
En conservant le même signal d'entrée v_e que précédemment, câbler une résistance de charge $R_{ch} = 68 \Omega$.

Observer le signal de sortie v_s à l'oscilloscope. Relever l'oscillogramme correspondant. Peut-on mesurer une amplification en charge ? Pourquoi ?

Déduire de l'oscillogramme les valeurs extrêmes de l'intensité **en valeur positive** I_{smax+} et **en valeur négative** I_{smax-} que peut fournir l'ampli-op.

2°) ASSOCIATION ETAGE PUSH-PULL (CLASSE BC) – AMPLI-OP :

On considère le montage de la **figure 2**, réalisé à l'aide de l'ampli-op TL 081 et de l'étage push-pull polarisé en classe BC.

**Préparation :**

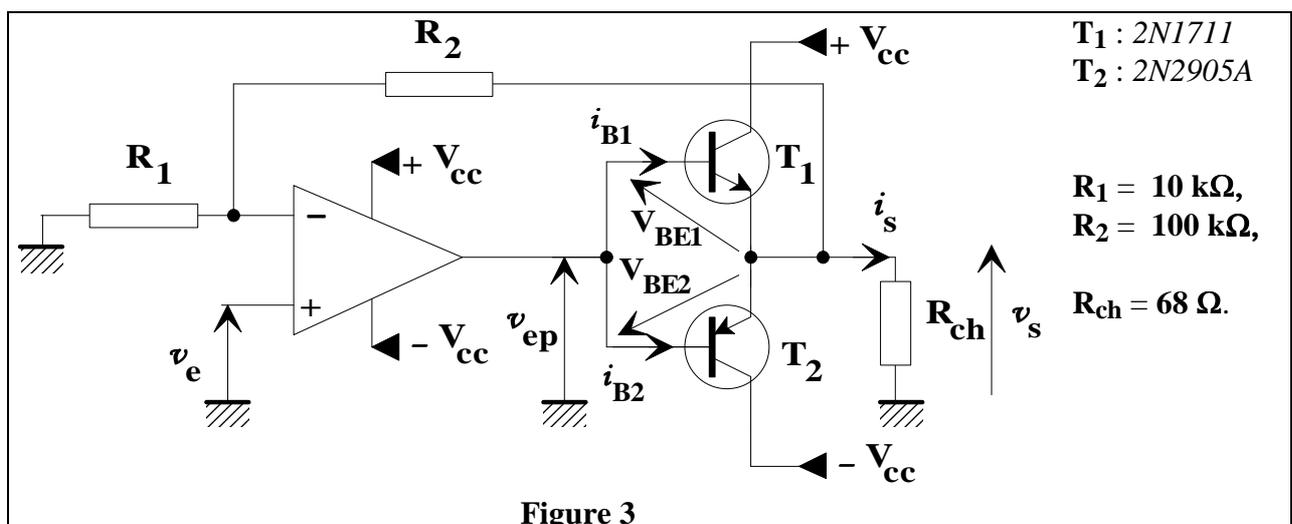
2.1°) Rappeler le fonctionnement de l'étage push-pull, si l'on admet que le signal v_{ep} est sinusoïdal.

Manipulations :

2.2°) Réaliser sur la maquette le câblage correspondant au montage de la **figure 2**.

- ✓ Imposer un signal v_e sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ de sorte à obtenir un signal v_{ep} de sortie d'amplitude $V_{epm} = 1 \text{ V}$. Préciser les valeurs efficaces $V_{e \text{ eff}}$ obtenue.
- ✓ Observer dans ces conditions les signaux v_s et v_{ep} à l'oscilloscope. Que peut-on en conclure ? Expliquer le phénomène observé.

2.3°) **Polarisation en classe BC avec contre-réaction de la sortie de puissance sur l'entrée du préamplificateur de tension :**



Manipulations :

2.4°) Réaliser sur la maquette le câblage correspondant au montage de la **figure 3**.

- ✓ Imposer un signal v_e sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ de sorte à obtenir un signal v_{ep} de sortie d'amplitude $V_{epm} = 1 \text{ V}$.
- ✓ Observer les signaux v_{ep} et v_s à l'oscilloscope. Quelle amélioration a-t-on obtenue par rapport à l'expérimentation du 2.1.2°) ? Quel est l'élément correcteur ?

2.5°) Imposer un signal v_e sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ de sorte à obtenir un signal de sortie v_s en **limite de saturation**. En admettant que l'on puisse négliger la distorsion résiduelle du signal de sortie :

- ✓ Préciser les valeurs efficaces $V_{e \text{ eff}}, V_{s \text{ eff}}$ obtenues.
- ✓ Mesurer alors l'amplification $A_{\text{exp}} = \frac{v_s}{v_e}$
- ✓ En comparant les résultats obtenus au 1.3.2°), conclure quant à l'intérêt de l'étage push-pull.

2.6°) **Performances énergétiques :**

Préparation :

2.6.1°) Exprimer la puissance utile P_s récupérée sur la résistance de charge R_{ch} en fonction de la tension de sortie efficace $V_{s \text{ eff}}$.

2.6.2°) Montrer que la puissance moyenne totale P_f fournie par les 2 alimentations s'exprime par : $P_f = 2 \frac{V_{cc} \sqrt{2} V_{s \text{ eff}}}{\pi R_{ch}}$

On expliquera pour cela la forme des signaux de courant $i_{C1}(t)$ et $i_{C2}(t)$ fournis par les alimentations $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$ lorsque les transistors T_1 et T_2 sont passants.

2.6.3°) Montrer que le rendement s'exprime par : $\eta = \frac{P_s}{P_f} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \frac{\sqrt{2} V_{s \text{ eff}}}{V_{cc}}$

2.6.4°) En admettant que les deux transistors consomment la même puissance P_T , montrer que celle-ci a pour expression :

$$P_T = \frac{V_{cc} \sqrt{2} V_{s \text{ eff}}}{\pi R_{ch}} - \frac{V_{s \text{ eff}}^2}{2 R_{ch}}$$

Montrer que la puissance de chaque transistor est donc maximale et vaut :

$$P_{T\text{max}} = \frac{V_{cc}^2}{\pi^2 R_{ch}} \quad \text{pour } V_{s \text{ eff}}^* = \frac{2V_{cc}}{\sqrt{2} \pi}$$

Manipulations :

2.7°) Mesurer les tensions continues d'alimentations disponibles sur les collecteurs de T_1 et T_2 .

2.8°) A la fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ et pour diverses valeurs de valeurs efficaces du signal de sortie variant entre 0 et $V_{s \text{ eff max}}$ (limite de saturation) tracer sur un même graphe :

- la puissance de sortie P_s ,

- la puissance moyenne fournie par les alimentations P_f ,
- la puissance moyenne dissipée par chaque transistor.

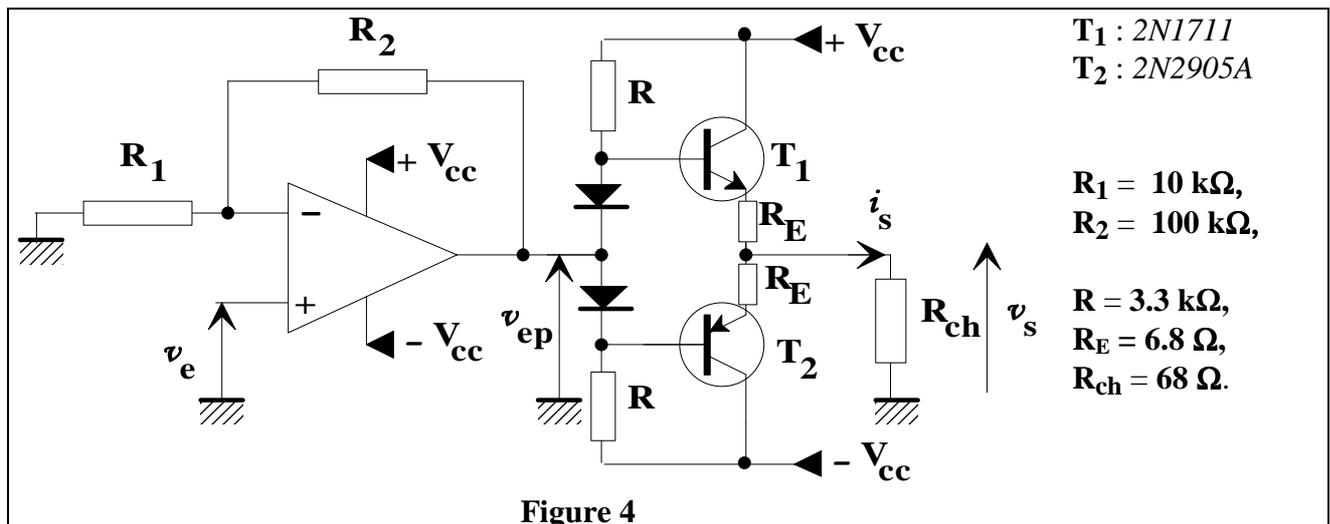
Préciser les méthodes de mesure utilisées.

On utilisera le logiciel MATLAB pour établir les graphes à partir des données expérimentales.

- 2.9°) En déduire la valeur expérimentale :
- de la puissance maximale commandée par l'ampli-op,
 - du rendement maximum de l'étage push-pull.
- 2.10°) Augmenter la fréquence à $f = 10 \text{ kHz}$. Commenter l'allure des signaux v_{ep} et v_s . Quel défaut de l'ampli-op induit une distorsion supplémentaire du signal v_s ?

3°) ASSOCIATION ETAGE PUSH-PULL (CLASSE B) – AMPLI-OP :

Afin de réduire la distorsion, sans utiliser la correction par contre-réaction, on polarise l'étage push-pull en classe B selon le schéma de la figure 4.



Préparation :

- 3.1°) Quel est le rôle des diodes (celles-ci étant parcourues par un courant non nuls, elles sont supposées présenter une f.e.m. continue de 0.6 V) ? On supposera l'influence des résistances R_E négligeable.

Remarque : Le rôle des résistances R_E est pourtant essentiel : en effet, il n'est pas possible de polariser les diodes sans injecter de courant dans les bases des transistors. Les résistances R_E permettent donc de limiter les courants continus I_{C10} , I_{C20} qui circulent de l'alimentation $+V_{cc}$ vers l'alimentation $-V_{cc}$ au point de repos ($v_s = 0$).

IL NE FAUT DONC PAS OUBLIER DE CABLER CES RESISTANCES SOUS PEINE DE DETRUIRE LES TRANSISTORS, LES COURANTS I_{C10} , I_{C20} N'ETANT ALORS PLUS LIMITE.

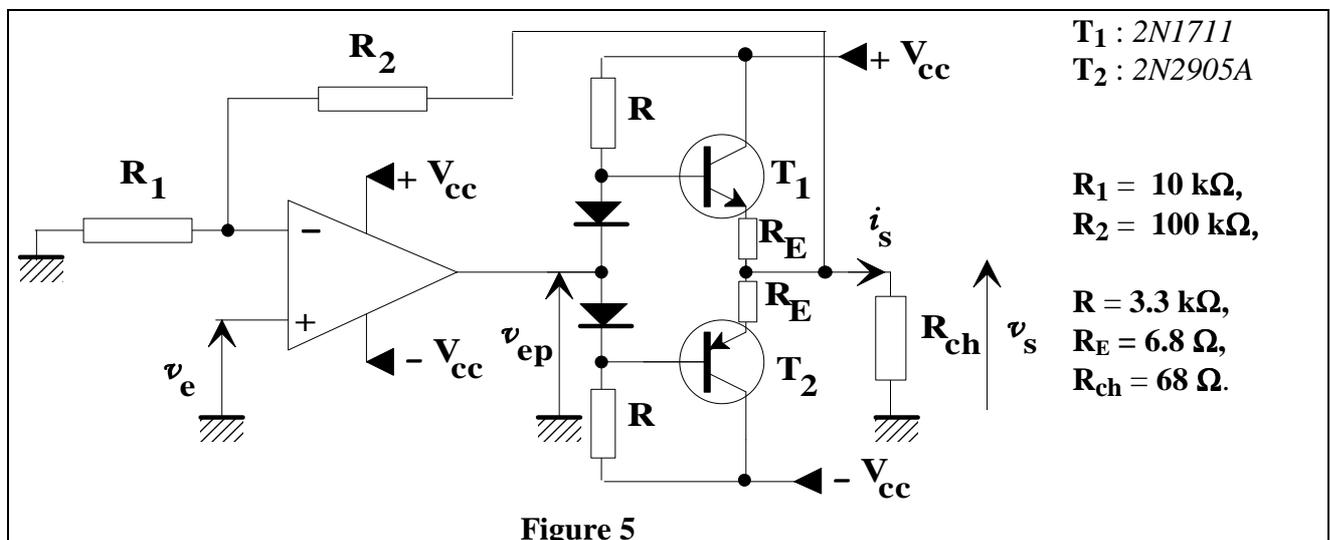
Manipulations :

3.2°) Réaliser sur la maquette le câblage correspondant au montage de la **figure 4**.

- ✓ Imposer un signal v_e sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ de sorte à obtenir un signal v_{ep} de sortie d'amplitude 1 V . Préciser les valeurs efficaces $V_{e \text{ eff}}$ obtenue.
- ✓ Observer dans ces conditions les signaux v_s et v_{ep} à l'oscilloscope. Que peut-on en conclure ? Comparer le résultat obtenu avec celui du 2.2°).

3.4°) **Polarisation en classe B avec contre-réaction de la sortie de puissance sur l'entrée du préamplificateur de tension :**

Afin de limiter encore davantage l'éventuelle distorsion résiduelle, on peut réaliser une contre réaction de la sortie de puissance sur l'entrée du préamplificateur de tension tel qu'indiqué sur la **figure 5**.

**Manipulations :**

3.3°) Réaliser sur la maquette le câblage correspondant au montage de la **figure 5**.

- ✓ Imposer un signal v_e sinusoïdal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ de sorte à obtenir un signal v_{ep} de sortie d'amplitude 1 V . Préciser les valeurs efficaces $V_{e \text{ eff}}$ obtenue.
- ✓ Observer dans ces conditions les signaux v_s et v_{ep} à l'oscilloscope.
- ✓ Augmenter la fréquence à $f = 10 \text{ kHz}$. Conclure sur la performance dynamique de ce montage en comparant les résultats obtenus au 2.9°)

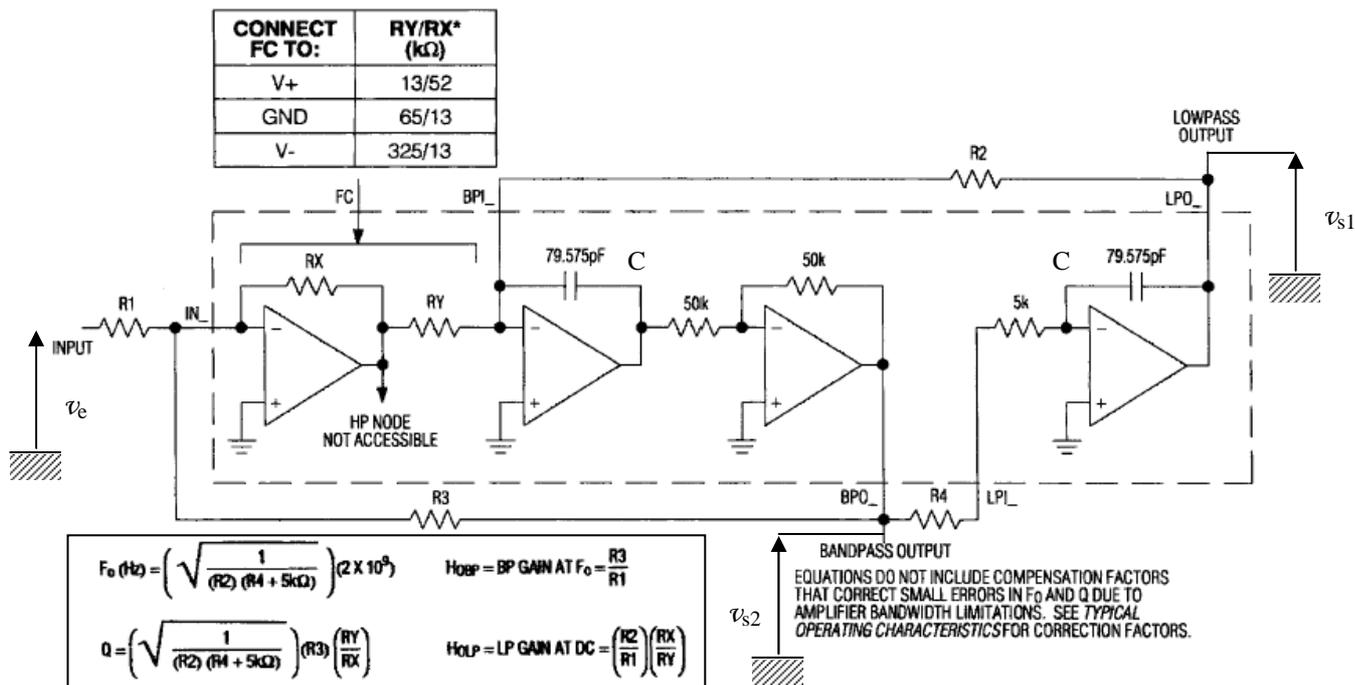
3.4°) Déterminer l'amplitude maximale $V_{s \text{ eff B}}$ du signal de sortie v_s lorsque l'amplificateur est en limite de saturation. En déduire la puissance maximale délivrée par l'amplificateur opérationnel sur la charge.

Comparer la valeur efficace maximale $V_{s \text{ eff B}}$ obtenue au 2.5°) et la valeur efficace maximale $V_{s \text{ eff B}}$. Expliquer la différence observée.

FILTRAGE ACTIF

1°) Filtre universel – Conception et structure interne du circuit intégré MAX 274 :

Le circuit intégré **MAX 274** comporte **4 modules** de filtres analogiques du 2° ordre, permettant la réalisation de filtres du 8° ordre. Le schéma de principe d'un module est fourni dans l'extrait de la notice ci-dessous :



D'un point de vue pratique, on alimentera la maquette de TP à l'aide d'une double alimentation $V_{cc}^+ = +15V$, $V_{cc}^- = -15V$, des régulateurs $+5V$ et $-5V$ assurant l'alimentation du circuit intégré

1.1°) Montrer que la fonction de transfert de la sortie passe-bas (LOWPASS OUTPUT)

$$\text{s'écrit : } H_{LP}(jf) = \frac{v_{s1}}{v_e} = \frac{H_{OLP}}{1 + 2jm \frac{f}{f_0} + \left(j \frac{f}{f_0} \right)^2} \text{ avec } m = \frac{1}{2Q}$$

On notera $R'_4 = R_4 + 5 \text{ k}\Omega$.

1.2°) Montrer que la fonction de transfert de la sortie passe-bande (BANDPASS OUTPUT)

$$\text{s'écrit : } H_{BP}(jf) = \frac{v_{s2}}{v_e} = H_{OBP} \frac{2jm \frac{f}{f_0}}{1 + 2jm \frac{f}{f_0} + \left(j \frac{f}{f_0} \right)^2} \text{ avec } m = \frac{1}{2Q}$$

1.3°) Vérifier les relations données pour les différentes caractéristiques H_{OB} , Q , f_0 , H_{OB} dans l'extrait de la notice.

2°) Cahier des charges n° 1 : Filtre passe-bas du 2^e ordre :

On souhaite synthétiser un filtre du 2^e ordre tel que :

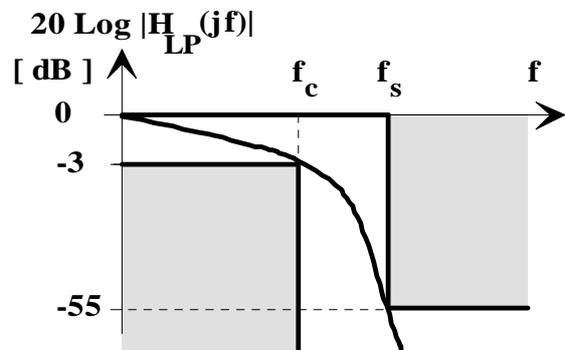
- la fréquence propre (POLE FREQUENCY) $f_0 = 10 \text{ kHz}$,
- le coefficient de qualité $Q = 0.541$,
- L'amplification continue $H_{OLP} = 1$

En suivant les indications (STEPS A à D pp 13-14 de la notice **MAXIM**), calculer les valeurs des composants R_1, R_2, R_3, R_4 , à connecter sur un module du circuit intégré.

On indiquera les éventuelles différentes possibilités en fonction de l'état de la broche n°8 : FC (V_{cc+} , GND, V_{cc-}).

3°) Cahier des charges n°2 : Filtre passe-bas :

On souhaite obtenir un filtre de **Butterworth** de bande passante à -3 dB $f_c = 10 \text{ kHz}$, d'amplification maximale unitaire et tel que l'atténuation soit d'au moins 55 dB à la fréquence $f_s = 50 \text{ kHz}$.



3.1°) Déterminer l'ordre minimal du filtre à réaliser. En déduire le **nombre de modules** du circuit MAX 274 à mettre en œuvre.

3.2°) Quelles fréquence propre f_0 (POLE FREQUENCY) de chaque module faut-il choisir pour la réalisation du filtre ?

3.3°) En s'aidant du tableau ci dessous, déterminer les valeurs numériques des coefficients Q de chaque module nécessaire.

Ordre	Polynôme caractéristique ou fonction de transmission
1	$s + 1$
2	$s^2 + \sqrt{2} s + 1$
3	$(s^2 + 1.0000 s + 1)(s + 1)$
4	$(s^2 + 1.8477 s + 1)(s^2 + 0.7653 s + 1)$
5	$(s^2 + 1.6180 s + 1)(s^2 + 0.6180 s + 1)(s + 1)$

Un calcul manuel de la série de composants (R_1, R_2, R_3, R_4)_{module} associée à chaque module est alors nécessaire comme cela a été effectué au 3.1°).

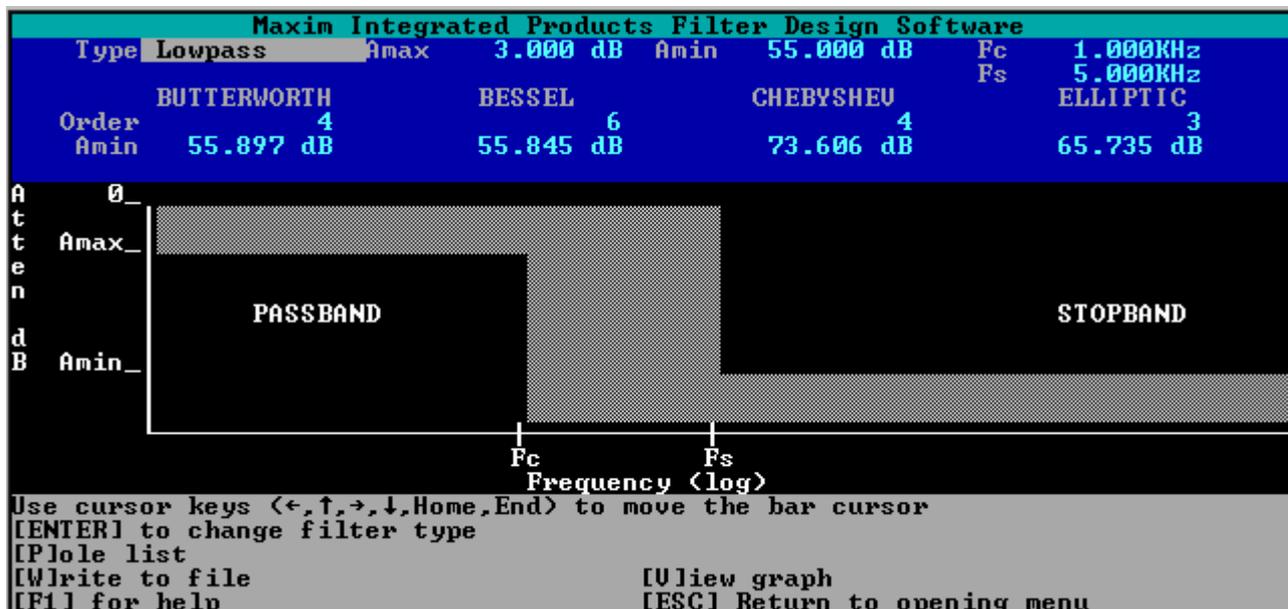
On utilisera dans la suite le logiciel **FILTER.EXE** téléchargeable sur le site du fabricant (<http://www.maxim-ic.com/>) permettant de déterminer les valeurs :

(R_1, R_2, R_3, R_4) _{module} .

4°) Utilisation du logiciel FILTER.EXE pour la réalisation du cahier des charges n°2 :

4.1°) *Choix d'un type de Réponse (Butterworth, Bessel, Chebyshev ou Elliptic) :*

Ouvrir la page : Determine Poles/Qs/Zeros based on filter requirements



- ✓ Sélectionner les valeur de **Amax**, **Amin**, **Fc**, **Fs** correspondant au cahier des charges du 3°). On voit alors apparaître l'ordre minimal en fonction de la structure choisie : (Butterworth, Bessel, Chebyshev ou Elliptic).
- ✓ Afficher la liste des pôles (touche [P]), c'est à dire la fréquence propre et le facteur de qualité *Q* de chaque module.

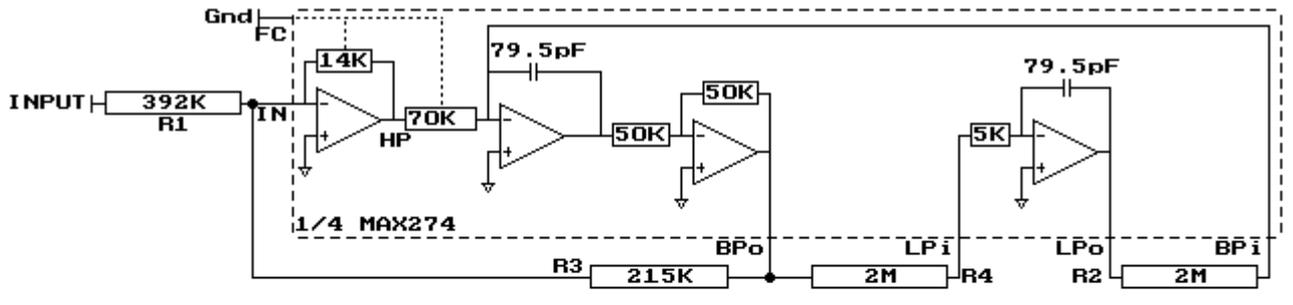
Remarque : Il est possible de visualiser (touche [V]) les différents graphes (courbes de gain, de phase, temps de propagation de groupe) correspondant à chaque type de réponse afin de comparer leurs performances.

4.2°) *Réalisation pratique : Choix des résistances :*

Ouvrir la page : Implement filter in hardware (MAX 274/5)



- ✓ Charger les paramètres déterminés dans la page précédente : touche [L].
- ✓ On peut déplacer le curseur pour observer les caractéristiques des 2 modules 1/4 MAX274.
- ✓ Déterminer les valeurs des composants (R_1, R_2, R_3, R_4)*module* (touche [R]) :



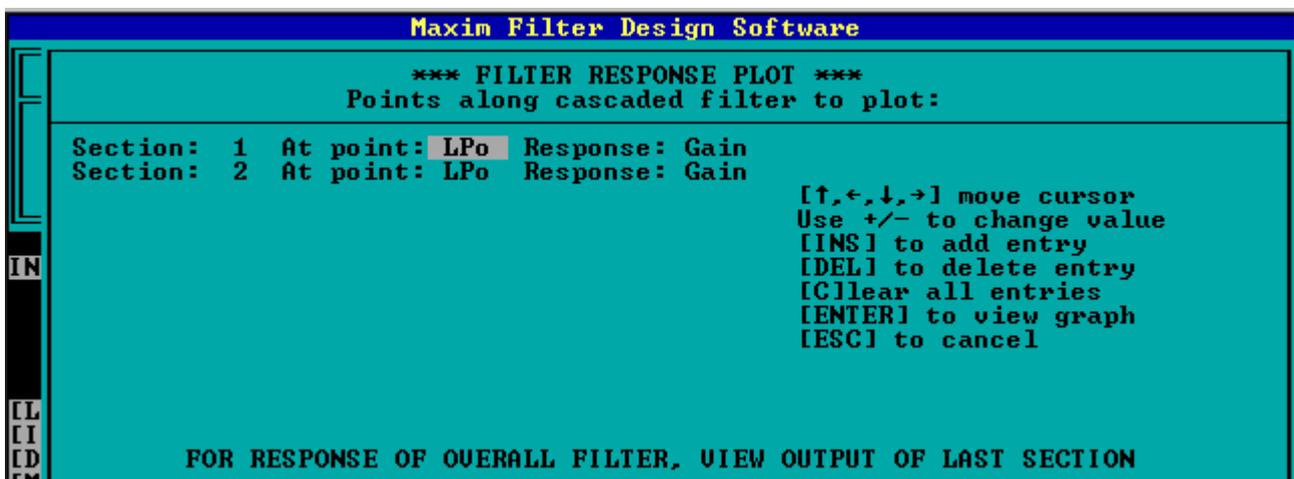
Section 1
 Fo 998.752 Hz Q 536.829m
 Gains: HP -28.943 dB LPo 175.478mdB BPo frequency 0.000 Hz

```
<< Press F1 for Help >>
Choose [D]evice          [M]anually set a resistor value
[F]ic pin connection     Change frequency of Displayed [G]ain
Toggle Series/T-Network:R[2],R[3],R[4]
[ESC] to cancel (changes will be lost) [RETURN] to proceed with design...
```

- ✓ Dans les étapes suivantes, on répondra par l'affirmative aux questions :
 Compensate Fo/Q for finite GBW Errors ?
 Change resistors to use standard values ?
 (On sélectionnera des composants à 1 %)
- ✓ La touche [F] permet de changer l'état de la broche FC : les valeurs des composants (R_1, R_2, R_3, R_4)*module* changent alors !
Remarque : Il faut répéter cette opération pour chaque module utilisé !
- ✓ Comparer les valeurs obtenues pour l'un des modules avec les valeurs calculées manuellement au 2°).
- ✓ Entrer ensuite les valeurs **manuellement** en fonction de la liste des résistances disponibles (voir en annexe).

4.3°) Visualisation des courbes de réponse :

Dans la page Implement filter in hardware (MAX 274/5) , il est possible de visualiser les transferts (touche [V]) :



Il est alors possible de visualiser les différentes sorties LPo(passe-bas) ou BPo (passe-bande) de chaque module :



Remarques : dans la page Implement filter in hardware :

- ✓ La commande [U] permet de tracer le gain en dB ou le module de la fonction de transfert en V/V.
- ✓ Pour visualiser le transfert d'un module, il faut placer ce module en tête à l'aide de la commande [M] :

Data For Highlighted Section

Fo **998.752 Hz** Q **1.276** Output Pin **LPo**

The Following Gains Are In Relation To The CIRCUIT Input:

LPo **350.957mdB** BPo ********* at frequency **0.000 Hz**

(For reference: the internal highpass node for given FC pin settings)

FC=U+ -42.747 dB FC=gnd -28.768 dB FC=U- -14.788 dB

CIRCUIT Output Gain: **350.957mdB** at **0.000 Hz**

INPUT — **MAX274** — OUTPUT

4.4°) Sauvegarde des informations dans un fichiers :

Dans la page Implement filter in hardware (MAX 274/5), taper

[P] : il est possible de sauvegarder un fichier (avec l'extension .txt) qu'il est ensuite possible d'imprimer sous windows avec le calepin (Notepad).

Print To:

Configured printer

File

LPT1:

LPT2:

[↑,↓] move cursor
[ENTER] to select [ESC] to cancel

5°) Manipulations : Réalisation pratique du cahier des charges n°2

Câbler sur la maquette les composants obtenus au 4.4°)

- 5.1°) Relever la courbe de gain de chaque module.
- 5.2°) Relever la courbe de gain et de phase de la fonction de transfert complète.
- 5.3°) Relever la réponse indicielle de la fonction de transfert complète.

Dans la suite, garder les éléments câblés sur la platine.

6°) Cahier des charges n°3 : Conception et réalisation pratique d'un filtre de Chebyshev respectant le cahier des charges n°2

6.1°) Conception :

- 6.1.1°) A l'aide du logiciel, indiquer l'ordre du filtre préconisé par le logiciel.
- 6.1.2°) déterminer les composants qui permettent de réaliser le filtre de Chebyshev permettant de répondre aux spécifications du cahier des charges.
- 6.1.3°) Visualiser la courbe de gain et de phase attendue, compte tenu des composants choisis.

6.2°) Réalisation :

Câbler les éléments sur les modules encore disponibles.

- 6.2.1°) Relever la courbe de gain et de phase du filtre réalisé.
- 6.2.2°) Relever la réponse indicielle de la fonction de transfert complète. Comparer la à celle du filtre de Butterworth réalisé au 5°)

(On observera à l'oscilloscope les 2 sorties des 2 filtres)

Que peut-on conclure des performances du filtre de Butterworth et de Chebyshev ?

7°) Cahier des charges n°4 : Conception et réalisation pratique d'un filtre sélectif

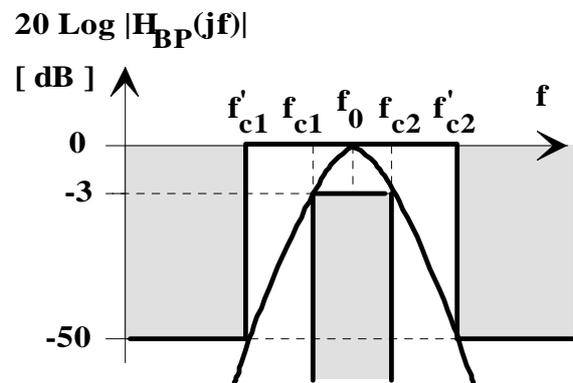
On souhaite obtenir un filtre passe-bande sélectif d'amplification maximale unitaire :

- de fréquence centrale $f_0 = 10 \text{ kHz}$,
- de bande passante à -3 dB
 $f_{c2} - f_{c1} = 600 \text{ Hz}$.

7.1°) Conception :

- 7.1.1°) Calculer les fréquences f_{c1} , f_{c2} , et déterminer le facteur de qualité Q_t du filtre.

- 7.1.2°) On souhaite faire la synthèse à l'aide de **deux** filtres du 2° ordre placés en cascade.
Déterminer le facteur de qualité Q de chaque section (voir p.15 de la notice).



indiquer quelles formes de réponse permettent de réaliser le cahier des charges avec un filtre **d'ordre 4**.

7.1.3°) A l'aide du logiciel FILTER.EXE, déterminer les composants qui permettent de réaliser la réponse répondant au cahier des charge.

7.2°) **Réalisation :**

Câbler les éléments du premier module sur la platines d'essai.

7.2.1°) Déterminer le module de l'amplification maximale H_{OBP1} ainsi que la fréquence centrale expérimentale f_{01} du premier module. Que peut-on conclure ?

Remplacer la valeur de la résistance R_1 par une autre valeur permettant d'obtenir une valeur $|H_{BP1max}|$ proche de 1. Mesurer la nouvelle valeur expérimentale alors obtenue.

7.2.2°) Câbler les éléments du deuxième module (en tenant compte de l'expérience obtenue avec le premier module) en cascade avec le premier module.

Mesurer l'amplification maximale H_{OBP} ainsi que la fréquence centrale expérimentale f_0 .

Déterminer la bande passante à -3 dB. En déduire la valeur expérimentale de Q_t .

7.2.3°) Imposer à l'entrée du filtre un signal carré d'amplitude $V_{em} = 1$ V, de fréquence voisine de $f = 10$ kHz, de composante continue $V_{e0} = 1$ V telle que l'on obtienne en sortie v_s une sinusoïde d'amplitude maximale.

Expliquer la forme du signal de sortie. Mesurer la valeur efficace $V_{s\text{eff}1}$ correspondante.

7.2.4°) Diminuer la fréquence du signal d'entrée. Qu'observe-t-on en sortie ? Expliquer le phénomène. Diminuer la fréquence jusqu'à obtenir une nouvelle sinusoïde de valeur efficace $V_{s\text{eff}3}$ la plus grande possible (de fréquence voisine $f = 10$ kHz)

Comparer la fréquence du signal d'entrée et celle du signal de sortie.

Effectuer le rapport $V_{s\text{eff}3} / V_{s\text{eff}1}$.

Que réalise le filtre ?

7.2.5°) Diminuer à nouveau la fréquence du signal d'entrée jusqu'à obtenir en sortie un signal de sortie $V_{s\text{eff}5}$ la plus grande possible (de fréquence voisine $f = 10$ kHz).

Que peut-on dire du signal de sortie v_s ? Le filtre permet-il de réaliser aussi bien la fonction qu'il offrait au 7.4.2°) ? Pourquoi ?

On rappelle que la décomposition en série de Fourier d'un signal carré $v_e(t)$ d'amplitude V_{em} s'écrit :

$$v_e(t) = \sum_{p=0}^{\infty} (-1)^p \frac{4}{(2p+1)\pi} V_{em} \cos((2p+1)\pi f t)$$

Méthode pour le relevé d'une courbe de gain

1°) Filtre passe-bas :

Les valeurs efficaces $V_{e\text{ eff}}$ du signal d'entrée v_e et $V_{s\text{ eff}}$ du signal de sortie v_s seront mesurées :

- **en volts efficaces**, pour la mesure de l'amplification basse fréquence (gain at DC) H_{OLP} ,
- **en dB** pour le relevé de la courbe de gain.

Il faut pour cela disposer d'un multimètre qui intègre la fonction dB-mètre permettant d'afficher les mesures de tension efficaces $V_{e\text{ eff}}$ et $V_{s\text{ eff}}$ en dB : $V_{e\text{ dB}}$ et $V_{s\text{ dB}}$.

Rappels : $G = 20 \text{ Log} |H_{LP}(jf)| = 20 \text{ Log} \left(\frac{V_{s\text{ eff}}}{V_{e\text{ eff}}} \right)$

$$G = 20 \text{ Log} \left\{ \left(\frac{V_{s\text{ eff}}}{0.775} \right) \left(\frac{0.775}{V_{e\text{ eff}}} \right) \right\} = 20 \text{ Log} \left(\frac{V_{s\text{ eff}}}{0.775} \right) - 20 \text{ Log} \left(\frac{V_{e\text{ eff}}}{0.775} \right)$$

$$G = \underbrace{V_{s\text{ dB}}}_{\substack{\downarrow \\ V_{s\text{ dB}}}} - \underbrace{V_{e\text{ dB}}}_{\substack{\downarrow \\ V_{e\text{ dB}}}}$$

1.1°) Mesure du gain à basse fréquence f_{\min} la plus faible possible ($f_{\min} = 50 \text{ Hz}$) :

- ☞ Pour la fréquence f_{\min} , on règle le niveau du signal d'entrée v_e de sorte à ajuster le niveau **de sortie** $V_{s\text{ dB0}}$ en **dB** à une valeur *facile à mémoriser*.
- ☞ On mesure alors le niveau du signal d'entrée en **dB** : $V_{e\text{ dB}}$.
- ☞ On en déduit la mesure du gain à la fréquence f_{\min} : $G_{OLP} = V_{s\text{ dB0}} - V_{e\text{ dB}}$.
- ☞ On mesure (en **volt**) les valeurs efficaces $V_{s\text{ eff0}}$ et $V_{e\text{ eff}}$ correspondant aux niveaux relevés en **dB**.
- ☞ On en déduit la mesure du module de l'**amplification maximum** $H_{OLP} = \frac{V_{s\text{ eff0}}}{V_{e\text{ eff}}}$.

Exemple : $f_{\min} = 100 \text{ Hz}$.

$$V_{s\text{ dB0}} = 10 \text{ dB}, \quad V_{e\text{ dB}} = 10.1 \text{ dB} \rightarrow G_{OLP} = V_{s\text{ dB0}} - V_{e\text{ dB}} = -0.1 \text{ dB}.$$

$$V_{s\text{ eff0}} = 2.45 \text{ V}, \quad V_{e\text{ eff}} = 2.48 \text{ V} \rightarrow H_{OLP} = \frac{V_{s\text{ eff0}}}{V_{e\text{ eff}}} = 0.988$$

1.2°) Variation du gain avec la fréquence :

En maintenant le niveau du signal d'entrée $V_{e\text{ dB}}$ constant, **on mesure** les fréquences $(f_{\text{mes}})_k$ correspondant à des variations du signal de sortie en **dB** :

$$V_{s\text{ dB}} = V_{s\text{ dB0}} + \Delta_k \quad \Delta_k < 0 \text{ ou } \Delta_k > 0$$

Le gain correspondant est alors $G = V_{s\text{ dB}} - V_{e\text{ dB}} = V_{s\text{ dB0}} + \Delta_k - V_{e\text{ dB}}$

Soit : $G = G_{OLP} + \Delta_k$

- ✓ Ainsi, relever les fréquences correspondants à des variations de **la tension de sortie de Δ_k** (en dB) revient à mesurer les fréquences correspondant à des variations de gain de Δ_k par rapport à **GOLP**.
- ✓ Il est donc très commode de relever la fréquence f_c correspondant à la bande passante à -3 dB : Il suffit de mesurer la fréquence correspondant à un affaiblissement de la tension de sortie : $V_s \text{ dB} = V_s \text{ dB0} - 3$ ($\Delta_k = -3$ dB).
- ✓ Lors d'un relevé de la courbe de gain, on relèvera des tableaux dans lesquels on consignera les différentes fréquences correspondant aux diverses valeurs de .

Les valeurs $V_s \text{ dB}$ et la variation $\Delta_k = V_s \text{ dB} - V_s \text{ dB0}$ sont consignées dans des tableaux permettant de réaliser facilement le tracé du diagramme expérimental. On choisira, dans la mesure du possible les valeurs suivantes pour Δ_k : $-1, -2, -3, -5, -10, -20, -30, -40$ dans le cas d'une décroissance monotone du gain.

Exemple : fréquences croissantes : $V_e \text{ dB} = 10.1$ dB. $V_s \text{ dB0} = 10$ dB.

f_k (kHz)	0.1	3.5	5.21	6.61	15.21	...
$V_s \text{ dB}$ (dB)	10	9	8	-7	-8	...
$\Delta_k = V_s \text{ dB} - V_s \text{ dB0}$	-1	-2	-3	-5	-10	...

La bande passante à -3 dB est, dans cet exemple : $f_c = 5.21$ kHz.

2°) Filtre passe-bande :

La démarche est identique à celle retenue pour relever la courbe de gain d'un filtre passe-bas.

La différence provient du fait que l'on commence par relever la fréquence centrale f_0 , correspondant à la fréquence telle que les signaux v_e et v_s sont **en opposition de phase** ou **en phase**.

2.1°) Mesure du gain à f_0 :

On mesure alors le gain G_{OBP} et le module H_{OBP} de l'amplification à cette fréquence f_0 . On localise facilement cette fréquence en utilisant l'oscilloscope en mode XY (Lissajous). En effet, l'ellipse observée pour l'ensemble des fréquences devient un segment rectiligne à $f = f_0$.

2.2°) Variation du gain avec la fréquence :

On relève alors les fréquences correspondant aux variations du gain Δ_k par rapport à G_{OBP} en mesurant la variation Δ_k (en dB) de la tension de sortie $V_s \text{ dB}$, la tension $V_e \text{ dB}$ étant maintenue **constante**.

Méthode pour le relevé de la phase $\Phi(f)$ à l'oscilloscope

Les 2 voies 1 et 2 de l'oscilloscope TDS210 étant positionnées sur **GND**, régler les traces exactement au milieu de l'écran.

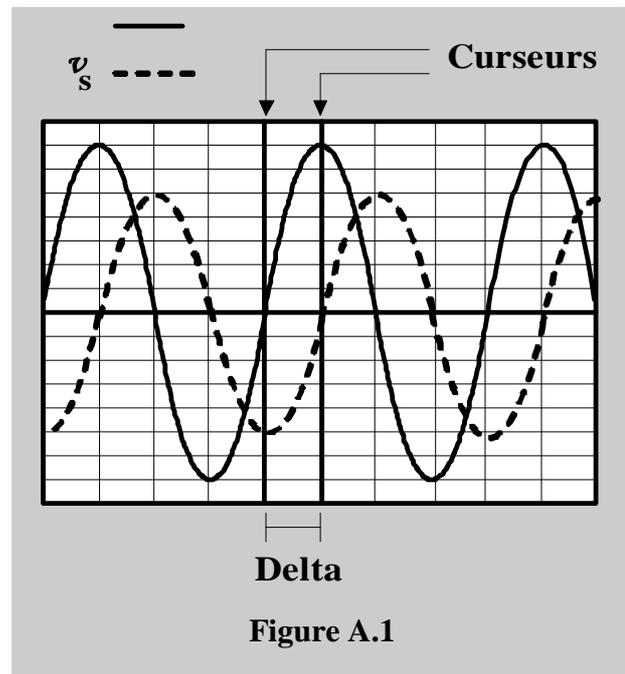
On synchronisera l'oscilloscope préférentiellement sur le signal d'entrée v_e :

A l'aide des curseurs de l'oscilloscope, on effectue la mesure du décalage temporel **Delta**. La mesure du retard de phase est alors fournie par :

$$\varphi = -2\pi f \text{ Delta (radian)}$$

Soit :

$$\varphi = -360 f \text{ Delta (degré)}$$



où **f** est la fréquence mesurée au multimètre (ou à l'oscilloscope).

Utilisation du logiciel MATLAB en tant qu'outil de tracés graphiques

Afin de fournir les résultats de relevés de courbe sous forme graphique, utiliser le logiciel MATLAB pour le tracé des courbes de gain expérimentales.

Exemple de script MATLAB permettant le tracé de relevés expérimentaux :

```
% saisie des fréquences
fmes = [ 0.1 2.57 3.5 5.21 6.61 9.05 11.4 15 21.7 30.4 41.3 56.4]*1e2 ;
% saisie des gains
Gmes = 0.4 + [0 -0.5 -1 -2 -3 -5 -7 -10 -15 -20 -25 -30] ;
semilogx(fmes1,Gmes1,'b-x') ;
grid ;
axis([1e1 1e4 -40 5]) ;
xlabel ('f [ Hz ]') ;
ylabel ('Gain [ dB ]') ;
```

Valeur (en kΩ)	Quantité
21 kΩ = 10 kΩ + 11 kΩ	1
39 kΩ = 10 kΩ + 11 kΩ	1
40.2 kΩ = 39 kΩ + 1.2 kΩ	1
43 kΩ	1
52.3 kΩ = 51 kΩ + 1.3 kΩ	1
88.8 kΩ = 82 kΩ + 6.8 kΩ	1
95.3 kΩ = 91 kΩ + 4.3 kΩ	1
195 kΩ = 180 kΩ + 15 kΩ	2
196 kΩ = 180 kΩ + 16 kΩ	2
200 kΩ	4
204.7 kΩ = 200 kΩ + 4.7 kΩ	1
210 kΩ = 200 kΩ + 10 kΩ	2
233 kΩ = 200 kΩ + 33 kΩ	1
390 kΩ	2
452 kΩ = 430 kΩ + 22 kΩ	1
560 kΩ = 430 kΩ + 22 kΩ	2

OSCILLATEURS

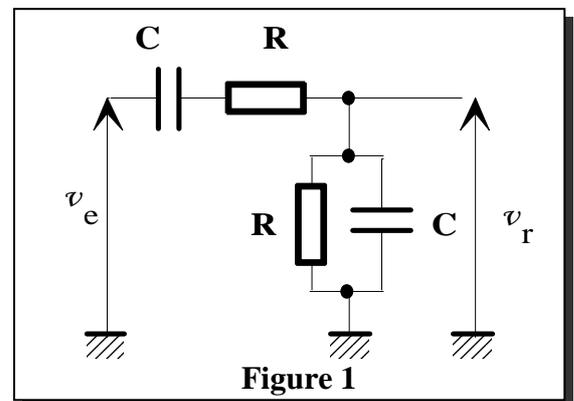
I – OSCILLATEUR A PONT DE WIEN :

1°) Etude du filtre sélectif utilisé dans l'oscillateur :

Préparation :

Déterminer la fonction de transfert $B(j\omega) = \frac{v_r}{v_e}$ du filtre de la **figure 1** et montrer qu'elle s'écrit :

$$B(j\omega) = \frac{1}{3} \frac{j \frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{1}{Q} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}$$



Déterminer la valeur de la fréquence de résonance f_{0th} pour $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 2.2 \text{ nF}$.

Manipulations :

- ✓ Déterminer la valeur expérimentale f_{0exp} de la fréquence de résonance pour laquelle v_r est en phase avec v_e . (Utiliser l'oscilloscope en mode Lissajous).
- ✓ En déduire la valeur expérimentale $|B(jf_0)|_{max}$ en indiquant la méthode expérimentale.
- ✓ Relever la courbe de gain et de phase du filtre de Wien.
- ✓ En déduire les fréquences f_{c1exp} et f_{c2exp} définissant la bande passante à -3 dB . (Utiliser le multimètre en mode dB-mètre). Déduire de ces mesures le facteur de qualité expérimental $Q_{exp} = \frac{f_{0exp}}{f_{c2exp} - f_{c1exp}}$ du circuit résonant indiquant la méthode expérimentale.

2°) Etude de l'amplificateur utilisé dans l'oscillateur :

Préparation :

Déterminer les valeurs minimales et maximales de l'amplification $A_v = \frac{v_s}{v_e}$

Manipulations :

- ✓ Imposer un signal v_e triangulaire à basse fréquence (f de l'ordre de **100 Hz**) d'amplitude $V_{em} = 8 \text{ V}$ et observer la caractéristique $v_s = f(v_e)$ à l'oscilloscope en mode XY.

$$R_1 = 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 5.6 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega \text{ ajustable.}$$

$$V_{cc} = 15 \text{ V.}$$

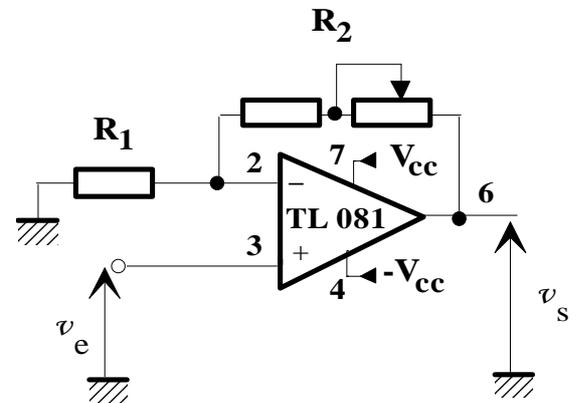


Figure 2

- ✓ En déduire les caractéristiques V_{sat}^+ , V_{sat}^- de saturation ainsi que les valeurs expérimentales minimale et maximale de l'amplification.
- ✓ Relever les valeurs expérimentales minimale et maximale de l'amplification à la fréquence de résonance f_{0exp} du filtre de la **figure 1**. Que peut-on dire du déphasage entre v_s et v_e ?

3°) Etude de l'oscillateur :

Manipulations :

- ✓ En branchant un GBF délivrant un signal sinusoïdal v_e , rechercher la fréquence expérimentale pour laquelle les signaux v_e et v_r sont en phase.
- ✓ Ajuster le potentiomètre R_2 pour assurer l'égalité des amplitudes des signaux v_e et v_r .
- ✓ Débrancher le GBF et fermer le circuit pour avoir $v_e = v_r$. Observer les signaux v_e et v_s .
- ✓ Que se passe-t-il lorsqu'on diminue l'amplification de l'amplificateur (en diminuant la valeur de R_2) ? Donner la raison du phénomène observé.

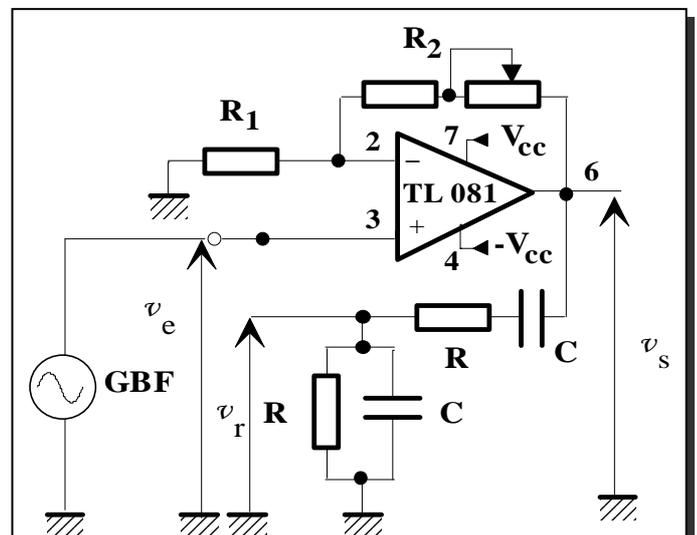


Figure 3

- ✓ Déterminer la valeur minimale A_{vmin} de l'amplification permettant d'obtenir l'amorçage des oscillations. Mesurer alors la fréquence f_0 du signal de sortie. Que peut-on dire de la forme du signal de sortie et d'entrée ?

- ✓ Que se passe-t-il lorsqu'on augmente l'amplification de l'amplificateur en augmentant la valeur de R_2 ? Préciser en particulier la variation relative $\Delta f_0/f_0$ de la fréquence f_0 lorsque l'on augmente la valeur de R_2 jusqu'à sa valeur maximale. Que peut-on dire des signaux v_s et v_e ?

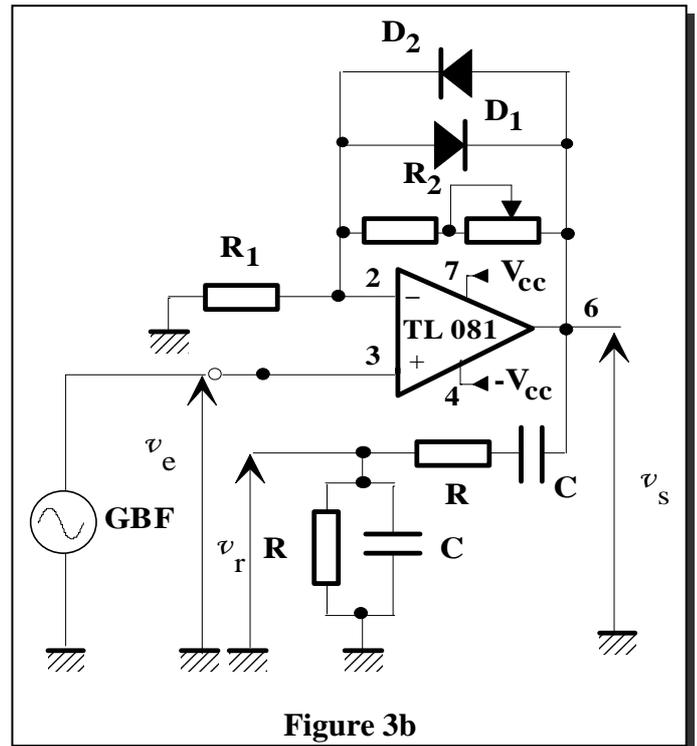
4°) Changement de la caractéristique non-linéaire (de type saturation) de l'amplificateur :

4.1°) Caractérisation de l'amplificateur :

On câble en parallèle sur R_2 deux diodes signal (1N4148) en tête-bêche (voir figure 3b) .

Manipulations :

- ✓ Imposer un signal v_e triangulaire à basse fréquence (f de l'ordre de **100 Hz**) d'amplitude $V_{em} = 1 \text{ V}$ et observer la caractéristique $v_s = f(v_e)$ à l'oscilloscope en mode *XY* pour les valeurs maximales et minimales de R_2 .
- ✓ Comment se traduit la non-linéarité introduite par les diodes ?



4.2°) Mise en oscillation :

- ✓ Débrancher le GBF et fermer le circuit pour avoir $v_e = v_r$. Observer les signaux v_e et v_s .

Ajuster le potentiomètre R_2 pour obtenir des oscillations.

- ✓ Que se passe-t-il lorsqu'on augmente l'amplification de l'amplificateur (en augmentant la valeur de R_2) ? Que peut-on dire du signal de sortie v_s ?

Donner le domaine d'amplitude V_{sm} du signal de sortie v_s qu'il est possible d'obtenir avec un faible taux de distorsion. Mesurer dans ce cas l'amplification

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} \text{ et la comparer avec la valeur expérimentale la valeur expérimentale}$$

$$|B(jf_0)|_{\max} \text{ obtenue au I.1°)}$$

II- OSCILLATEUR TRIPHASE :

On considère le montage de la **figure 4**.

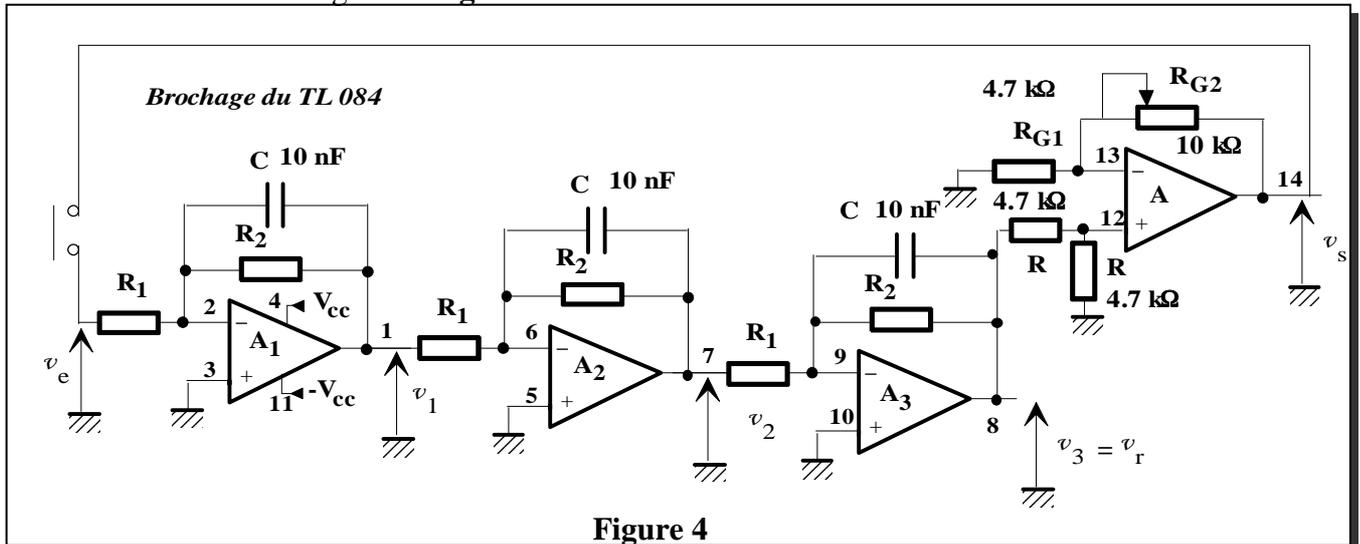


Figure 4

1°) Préparation :

1.1°) On considère l'étage amplificateur construit autour de l'ampli-op A, de fonction de

$$\text{transfert } A = \frac{v_s}{v_3}.$$

Donner les valeurs minimale A_{\min} et maximale A_{\max} de A lorsque R_{G2} varie entre 0 et 10 k Ω . Que peut-on dire de la phase de cet étage amplificateur ?

1.2°) Déterminer les paramètres K et f_c de la fonction de transfert élémentaire

$$T(jf) = \frac{v_1}{v_e} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_3}{v_2} = \frac{K}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

1.3°) On définit la fonction de transfert du réseau de réaction $B(jf) = \frac{v_3}{v_e} = T^3(jf)$.

Rappeler les conditions d'oscillation et d'entretien de l'oscillateur obtenu lorsque l'on impose $v_s = v_e$.

Montrer que la fréquence d'oscillation s'exprime par $f_0 = \sqrt{3} f_c$ (Utiliser l'équation sur les arguments de la condition de Barkhausen). Donner sa valeur numérique si l'on impose $R_2 = 24 \text{ k}\Omega$.

Si l'on suppose $A = 1$, en déduire la valeur de R_1 nécessaire à l'entretien des oscillations (Utiliser l'équation sur les modules de la condition de Barkhausen).

Quelle est alors la valeur $T(jf_0)$?

Si l'on choisit v_2 comme référence de phase, que peut-on dire du déphasage de v_1 et v_3 par rapport à v_2 ?

En supposant que $R_1 = R_2 / 2$, quelle est la condition sur A pour amorcer les oscillations.

2°) Manipulations :

- 2.1°) Câbler le montage de la **figure 4** en boucle ouverte (ne pas connecter v_s à v_e). Imposer un signal sinusoïdal à l'aide d'un GBF en faisant varier la fréquence tel que les signaux v_s et v_e soient en phase. Relever la valeur de cette fréquence. Ajuster la résistance R_{G2} tel que les signaux v_s et v_e aient même amplitude.
- 2.2°) En retirant le GBF, fermer la boucle et observer les signaux v_1 , v_2 et v_3 . Mesurer la fréquence des oscillations.
- 2.3°) Observer la manière dont varie les amplitudes lorsque l'on fait varier R_{G2} . Est-il possible de supprimer les oscillations ? Expliquer alors la raison.

III- OSCILLATEUR PIERCE A RESONATEUR MECANIQUE :

On utilise dans cette partie un résonateur CSB 400 P dont la fréquence de résonance série est proche de **400 kHz**.

1°) Utilisation de l'inverseur CMOS en tant qu'amplificateur :**1.1°) Caractérisation de la porte :**

On adopte $V_{DD} = 15 \text{ V}$.

Manipulations :

Imposer un signal d'entrée v_e triangulaire d'amplitude **6 V** et de composante continue **7.5 V** à l'entrée d'une porte du circuit 4011 (voir **figure 6**).

Relever (en mode XY) à l'oscilloscope les signaux v_e et v_s .

Expliquer comment on peut utiliser cette porte comme amplificateur en la polarisant

correctement. Quelle est la phase d'un tel amplificateur ?

1.2°) Polarisation de la porte :

On polarise la porte inverseuse à l'aide d'une résistance $R_p = 330 \text{ k}\Omega$.

Manipulations :

Après avoir câbler le montage de la **figure 6**, mesurer les tensions de polarisation d'entrée et de sortie V_{e0} et V_{s0} .

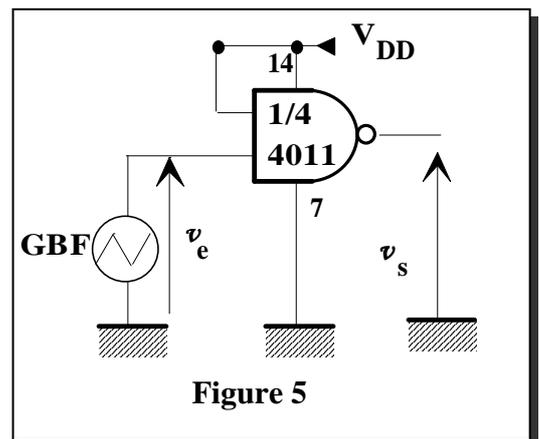


Figure 5

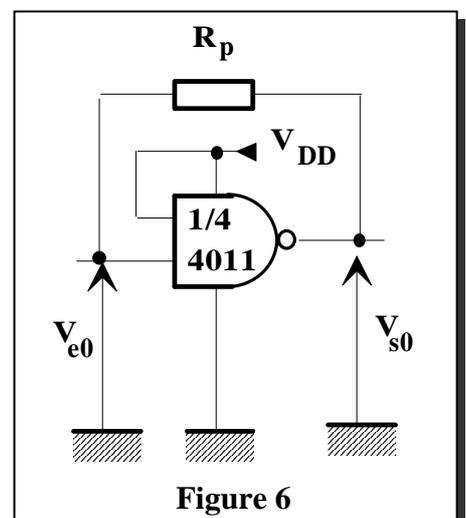


Figure 6

2°) Oscillateur Pierce

Préparation :

- ✓ Rappeler les conditions d'oscillation du montage. On utilisera $R_Q = 2.2 \text{ k}\Omega$.
- ✓ Quelle relation doivent vérifier les capacités des condensateurs C_1 et C_2 pour amorcer les oscillations ?

Manipulations :

- ✓ Choisir $C_1 = 1 \text{ nF}$, $C_2 = 4.7 \text{ nF}$
- ✓ En câblant le montage de la **figure 7**, observer les signaux v_s et v_e et mesurer la fréquence d'oscillation.
- ✓ Que devient l'amplitude du signal d'entrée v_e lorsqu'on utilise $C_2 = 10 \text{ nF}$?

