

AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Présentation de l'amplificateur :opérationnel idéal

Amplificateur opérationnel réel :

Paramètres

Courbe de réponse aux petits signaux sinusoïdaux ,slew-rate

Schéma du 741

Applications dans le domaine linéaire :

Inverseur

Sommeur inverseur

Non inverseur

Inverseur <-> non inverseur

Amplificateur de différence

Amplificateur différentiel en pont

Amplificateur différentiel haute impédances d'entrées

Source de tension positive

Amplificateur différentiel d'instrumentation

Amplificateur au standard NAB

Amplificateur exponentiel

Amplificateur logarithmique

Amplificateur différentiel de transconductance

Simulateur de self inductance

Filtres du 2° ordre (structure de Rauch)

L'Amplificateur opérationnel utilisé en comparateur

Principe du montage

Comparateur à seuils

Montage monostable

Montage astable

Intégrateur de Miller

PRESENTATION DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL IDEAL

Un amplificateur opérationnel (figure 1) est un amplificateur différentiel de tension à liaisons directes, fonctionnant en mode asymétrique. Il est alimenté habituellement par deux tensions : $+V_{CC} = 15 \text{ V}$ et $-V_{EE} = -15 \text{ V}$.

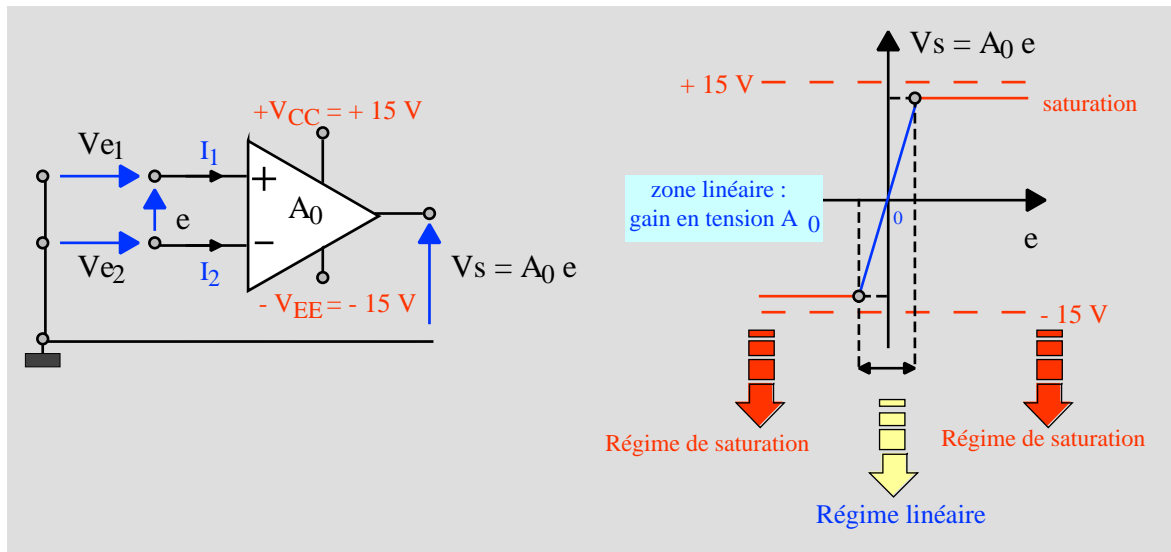


Figure 1

La tension de sortie V_s de l'amplificateur est proportionnelle à la tension d'entrée différentielle : $e = (V_{e1} - V_{e2}) \rightarrow V_s = A_0 e$. On peut réaliser deux types d'amplificateurs en utilisant :

- l'entrée + avec $V_{e2} = 0 \text{ V}$: amplificateur de gain positif : $V_s = +A_0 V_{e1}$
- l'entrée - avec $V_{e1} = 0 \text{ V}$: amplificateur de gain négatif : $V_s = -A_0 V_{e1}$

Employé en régime linéaire par application d'une rétroaction négative, un amplificateur opérationnel idéal est caractérisé par :

- **Un gain en tension A_0 infini indépendant de la fréquence.**
- **Sachant que la tension de sortie V_s ne peut, en aucun cas, être supérieure aux tensions d'alimentations, la tension différentielle d'entrée est considérée comme nulle.**
- **Des courants continus d'entrées, I_1 et I_2 nuls.**
- **Une tension de décalage nulle : une tension e nulle entraîne une tension de sortie V_s nulle.**
- **Une résistance d'entrée différentielle R_e infinie et une résistance de sortie R_s nulle.**

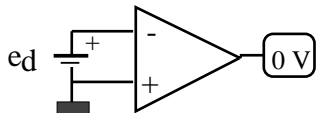
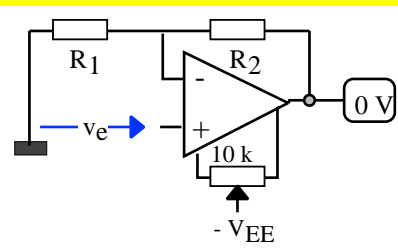
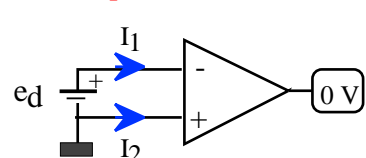
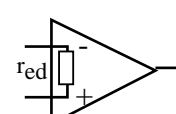
Remarque : le fonctionnement de l'A.O.P en régime de saturation est réservé à son utilisation en "comparateur" qui fait appel à une rétroaction positive. La tension différentielle d'entrée est alors différente de zéro volt.

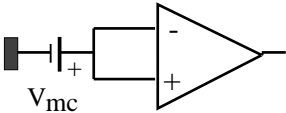
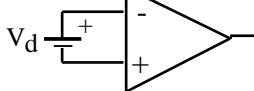
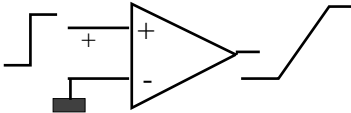
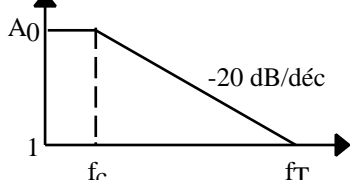
AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL REEL

Pratiquement, toutes les caractéristiques de l'amplificateur opérationnel réel ne peuvent pas être considérées comme assez performantes pour les traiter comme idéales. Le tableau suivant indique les différents paramètres et leur définition pour deux amplificateurs opérationnels de type :

- 741 dont les entrées sont réalisées par des transistors bipolaires.
- LF353 (ou TL081) entrées JFET.

1) PARAMETRES DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Paramètres et définitions	741 entrées bipolaires	LF353 entrées JFET
Consommation avec alimentations $\pm 15\text{ V}$	3.6 à 6.5 mA	3.6 à 6.5 mA
<p>Tension de décalage d'entrée (input offset voltage) : e_d Définition : tension qui doit être appliquée à l'entrée pour annuler la tension de sortie</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">Compensation de la tension d'offset : à effectuer en boucle fermée !</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div>	<p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">1 à 5 mV</p> <p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">5 à 10 mV</p> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Voir documentation constructeur</p>	<p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">5 à 10 mV</p> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Voir documentation constructeur</p>
Influence de la température sur la tension d'offset : $\frac{e_d}{T}$	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
<p>Courants de polarisation d'entrées définis pour une tension de sortie nulle :</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin: 10px 0;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div> <p>Input bias current : $I_p = \frac{I_1 + I_2}{2}$</p> <p>Input offset current : $I_d = I_1 - I_2$</p> </div> </div>	<p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">$I_p = 80$ à 500 nA</p> <p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">$I_d = 20$ à 200 nA Compensation par R_1/R_2</p>	<p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">$I_p = 20$ à 200 pA</p> <p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">$I_d = 25$ à 100 pA Compensation inutile</p>
Dérive en température du courant de décalage I_d	0.5 nA/ $^\circ\text{C}$	
<p>Résistance différentielle d'entrée en régime des petites variations : R_{ed} (input résistance)</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div>	<p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">0.3 à 2 M</p>	<p style="background-color: #ffffcc; padding: 2px;">10^{12}</p>

<p>Valeurs maximales des tensions applicables à l'entrée (input voltage range)</p>  <p>Tension de mode commun</p>  <p>Tension différentielle</p>	± 12 à ±13 V	± 12 à ±15 V
Résistance de sortie R_s	100	100
Tension maximale de sortie : Output voltage swing	± 12 à ±14 V	± 13,5 V
Courant de sortie en court-circuit (les amplificateurs possèdent une protection)	25 mA	25 mA
<p>Slew rate : pente maximale de la tension de sortie. Aux forts signaux sinusoïdaux, limite la fréquence maximale transmissible.</p> 	0.5 à 0.7 V/μs	13 V/μs
<p>Gain en tension aux fréquences très basses : A_0 Fréquence de transition f_T</p> 	$A_0 = 50$ à 200 V/mV $f_T = 0.5$ à 1.5 MHz	$A_0 = 100$ V/mV $f_T = 4$ MHz
Facteur de différentialité (Rapport .Réjection.Mode.Commune).	70 à 90 dB	70 à 110 dB

2) REMARQUES

Il n'est pas envisageable de tenir compte de l'influence de tous les paramètres sur les montages utilisant l'amplificateur opérationnel.

1. On peut considérer comme idéales :

- la résistance d'entrée différentielle R_{ed}
- la résistance de sortie R_s

2. Courants d'entrées.

Pour l'amplificateur de type 741, certaines précautions peuvent être prises pour **minimiser l'influence des courants de polarisation** (figure 2). A savoir : introduction d'une résistance R_3 de valeur égale à R_1/R_2 entre l'entrée + et la masse

(mais dans les calculs, on ne tiendra pas compte de la présence de cette résistance).

Cette résistance est inutile pour les AOP à faibles courants d'entrées comme l'AOP de type LF353.

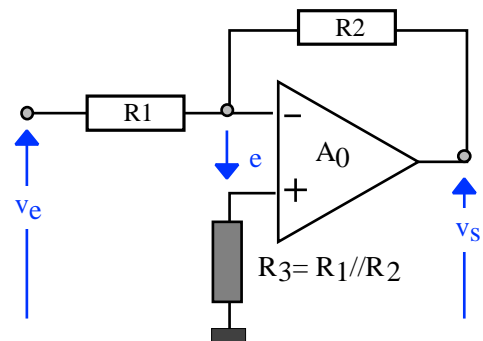


Figure 2

3. Réponse en fréquence aux petits signaux de sortie.

La réponse en fréquence du gain en tension d'un amplificateur opérationnel "auto-compensé" en boucle ouverte est une fonction du premier ordre :

$$A(f) = \frac{v_s}{e} = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

- A_0 : gain en très basse fréquence de l'amplificateur
- f_c : fréquence de coupure à -3dB du module : $|A(f)|$
- f_T fréquence de transition pour laquelle : $|A(f_T)| = 0$ dB avec $f_T = A_0 f_c$

La figure 3 représente la courbe de réponse fréquentielle du module de $A(f)$ exprimé en dB pour les amplificateurs 741 et LF 253.

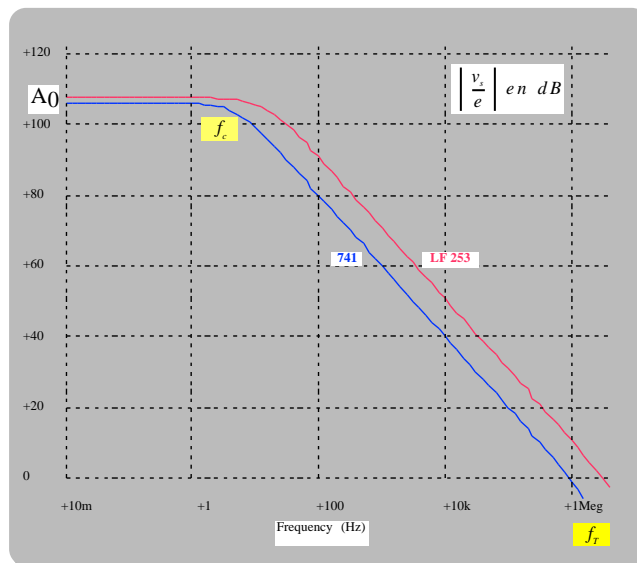


Figure 3

Conséquence : la bande passante d'un amplificateur réalisé à partir de l'amplificateur opérationnel (alors rétro-actionné) est limitée et dépend du gain du montage complet.

4. Slew-rate et réponse en fréquence aux forts signaux de sortie.

En régime des forts signaux en sortie, lorsque v_s crête à crête $> 1V$, le coefficient directeur de la tension de sortie $v_s(t)$ est limité par le slew-rate de l'amplificateur (figure 4).

Ce phénomène se manifeste aussi en régime des fortes amplitudes sinusoïdales en sortie avec comme conséquence, une nouvelle limitation de la bande passante de l'amplificateur qui dépend alors seulement de l'amplitude crête à crête de v_s indépendamment du gain du montage complet.

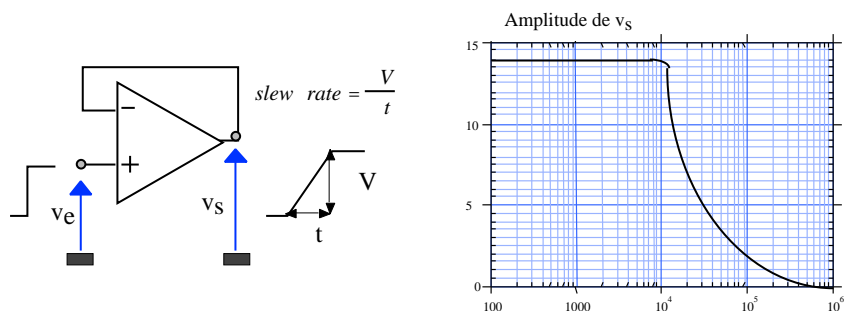
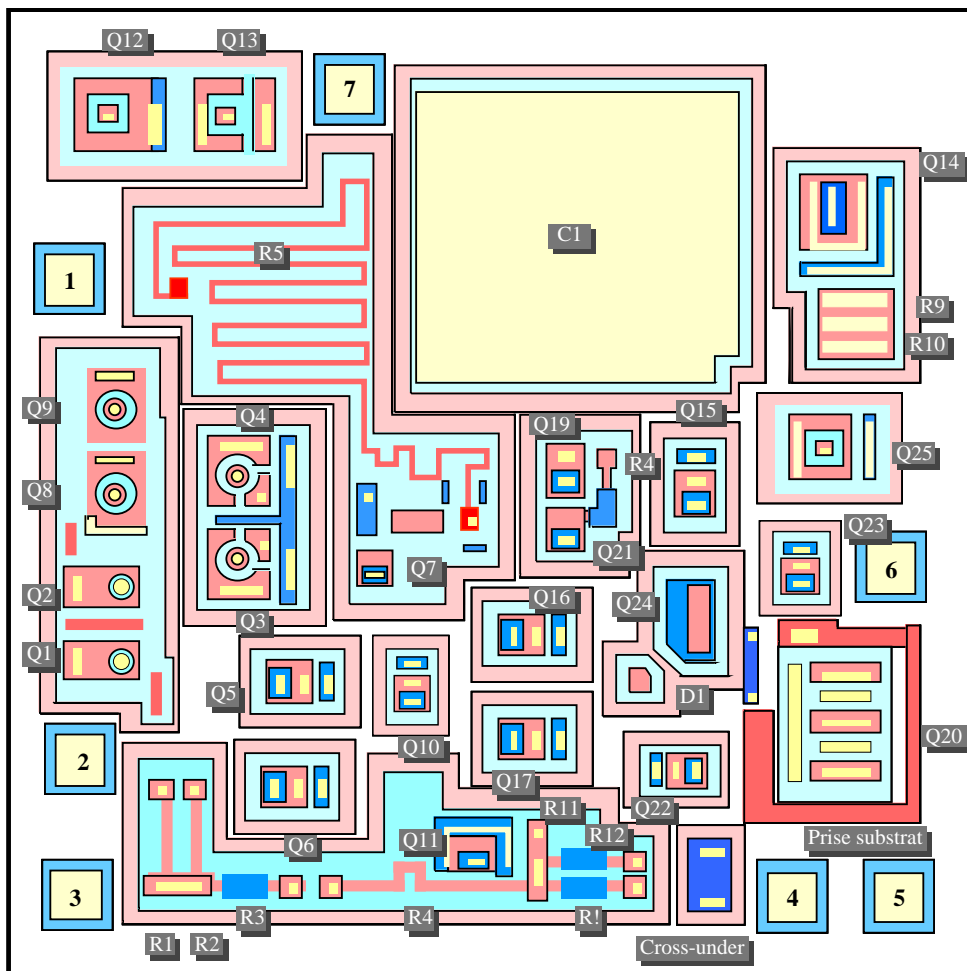
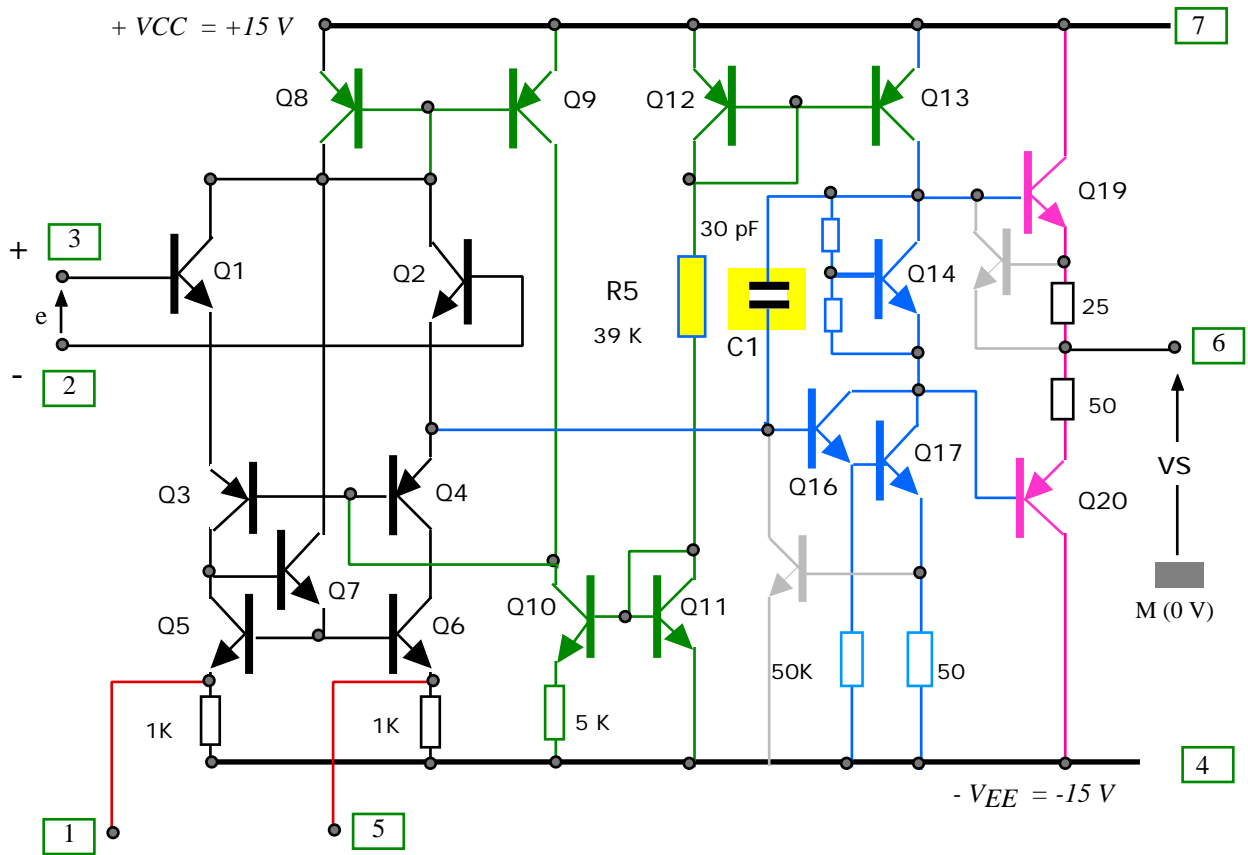


Figure 4

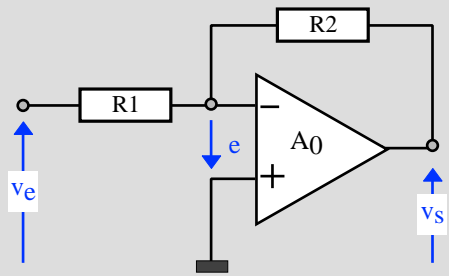
AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL TYPE 741 ET SA PUCE



**APPLICATIONS DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL
DANS LE DOMAINE LINEAIRE**

Les expressions données sont obtenues en considérant l'amplificateur idéal.

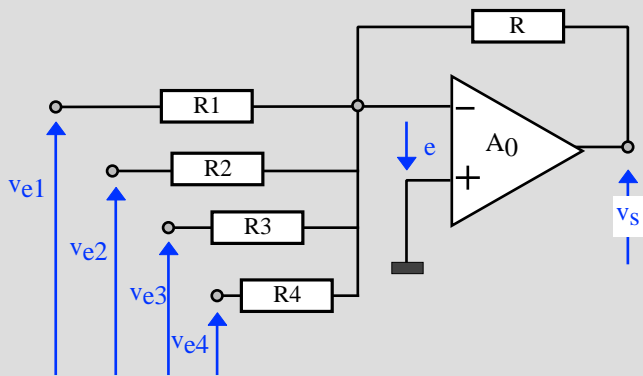
MONTAGE INVERSEUR



$$A = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

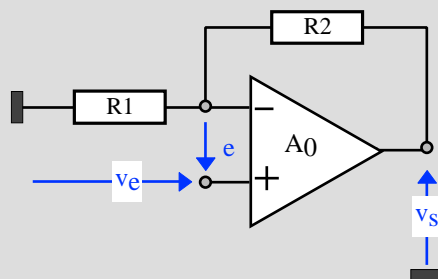
$$R_e = R_1$$

SOMMATEUR INVERSEUR



$$v_s = -R \sum_{n=1}^n \frac{v_{en}}{R_n}$$

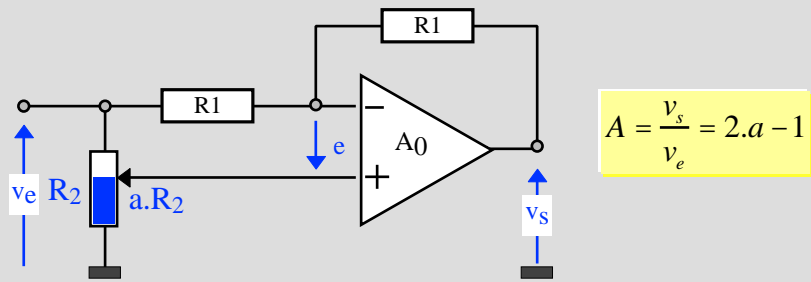
MONTAGE NON INVERSEUR



$$A = \frac{v_s}{v_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

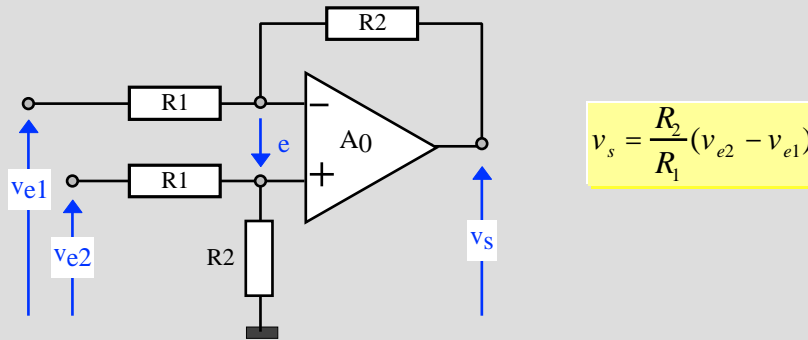
$$R_e =$$

MONTAGE INVERSEUR <-> NON INVERSEUR



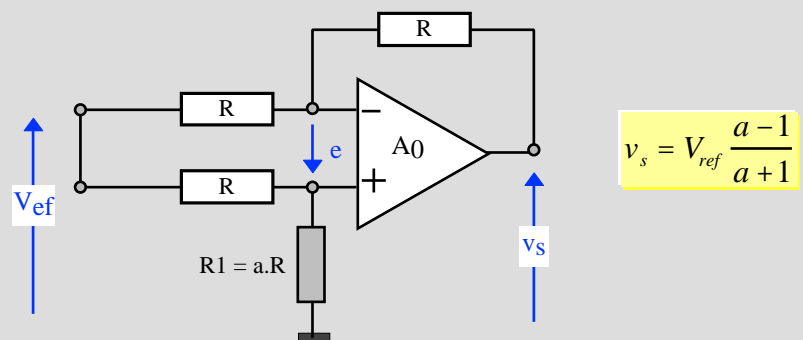
$$A = \frac{v_s}{v_e} = 2.a - 1$$

AMPLIFICATEUR DE DIFFERENCE



$$v_s = \frac{R_2}{R_1}(v_{e2} - v_{e1})$$

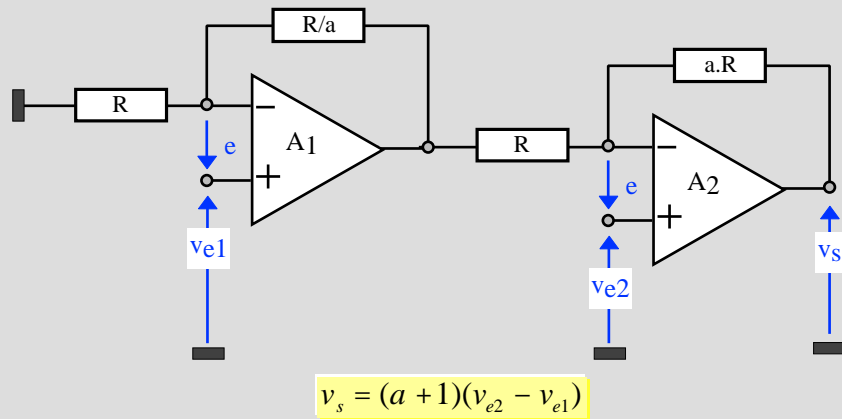
AMPLIFICATEUR DE DIFFERENCE EN PONT



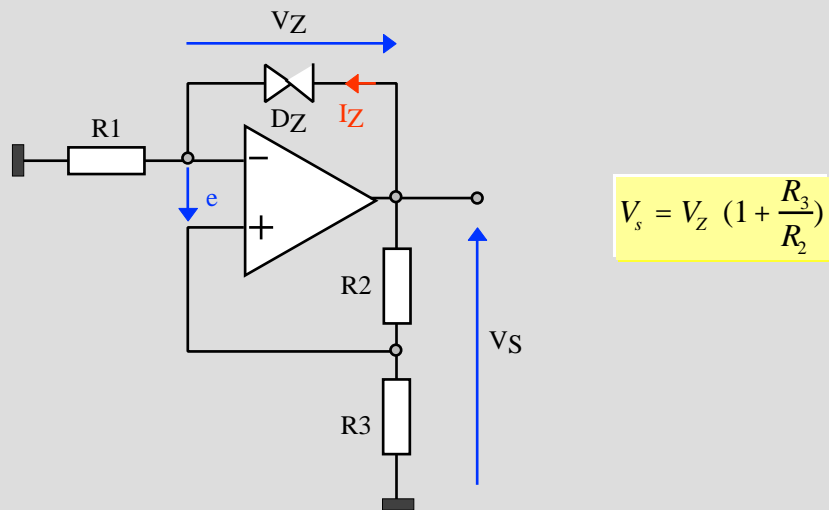
$$v_s = V_{ref} \frac{a - 1}{a + 1}$$

R1 varie sous l'effet d'un paramètre physique
(température, contrainte ..)

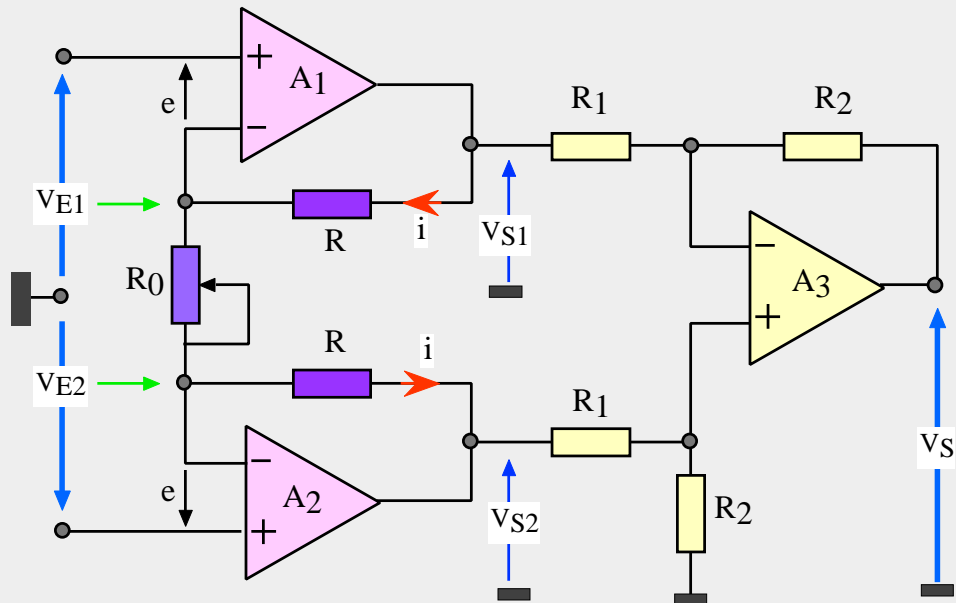
AMPLIFICATEUR DIFFERENCIEL HAUTES IMPEDANCES D'ENTRÉES



SOURCE DE TENSION POSITIVE ($V_Z < V_S$)

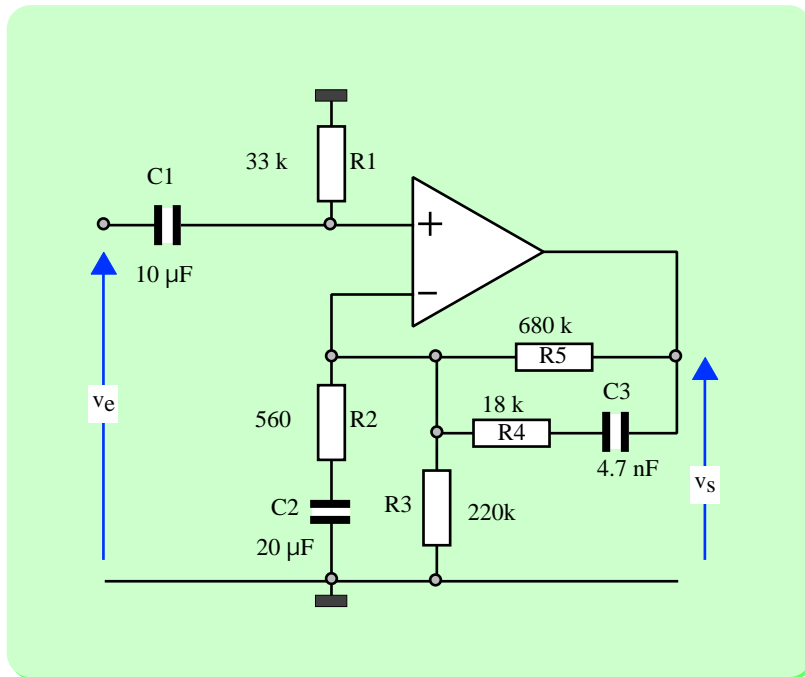


AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL D'INSTRUMENTATION

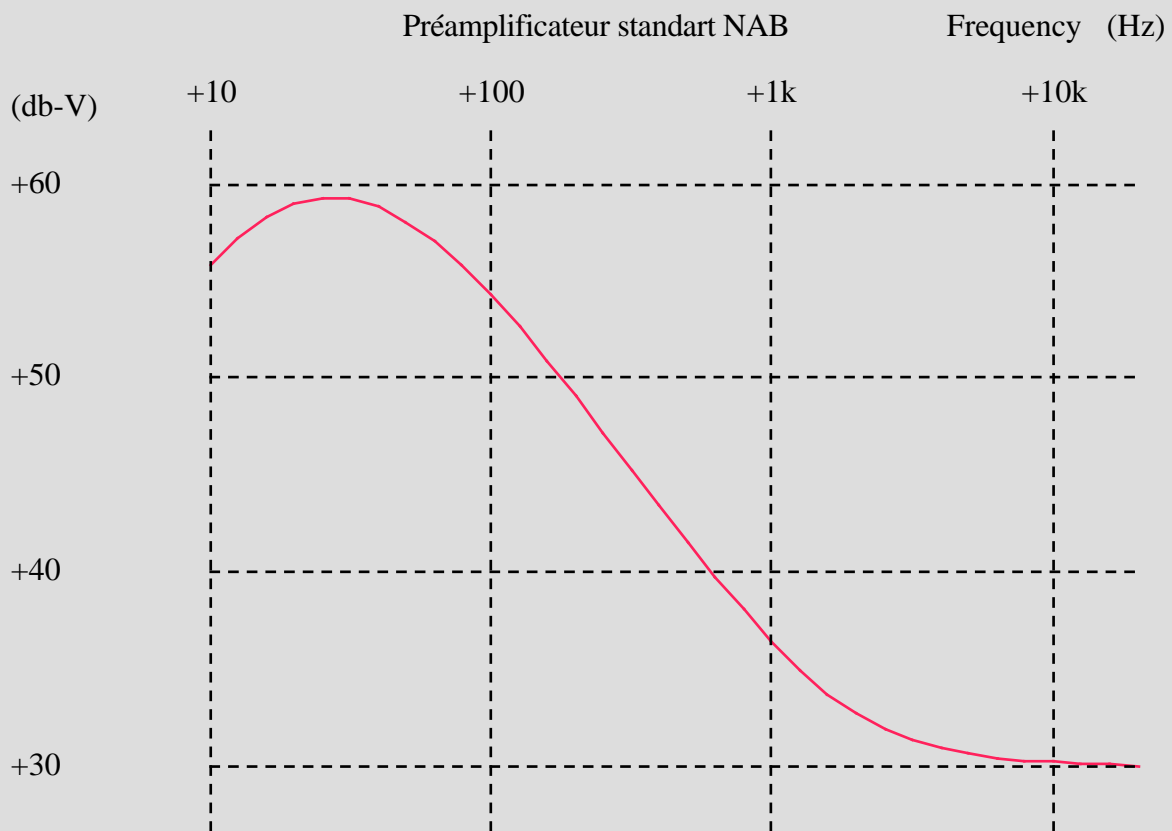


$$V_s = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{2R}{R_0} \right) (V_{E2} - V_{E1})$$

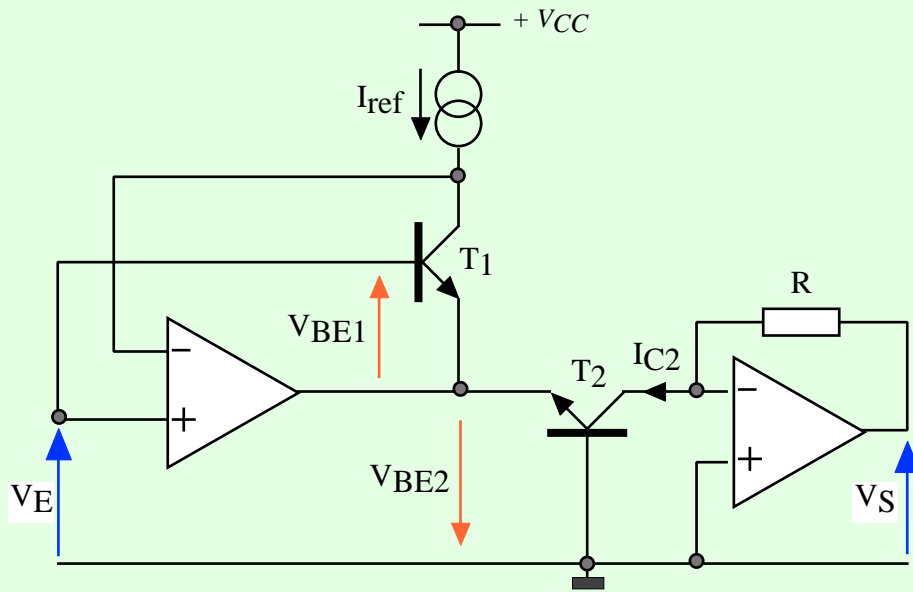
AMPLIFICATEUR LECTURE DE BANDE MAGNETIQUE STANDARD NAB



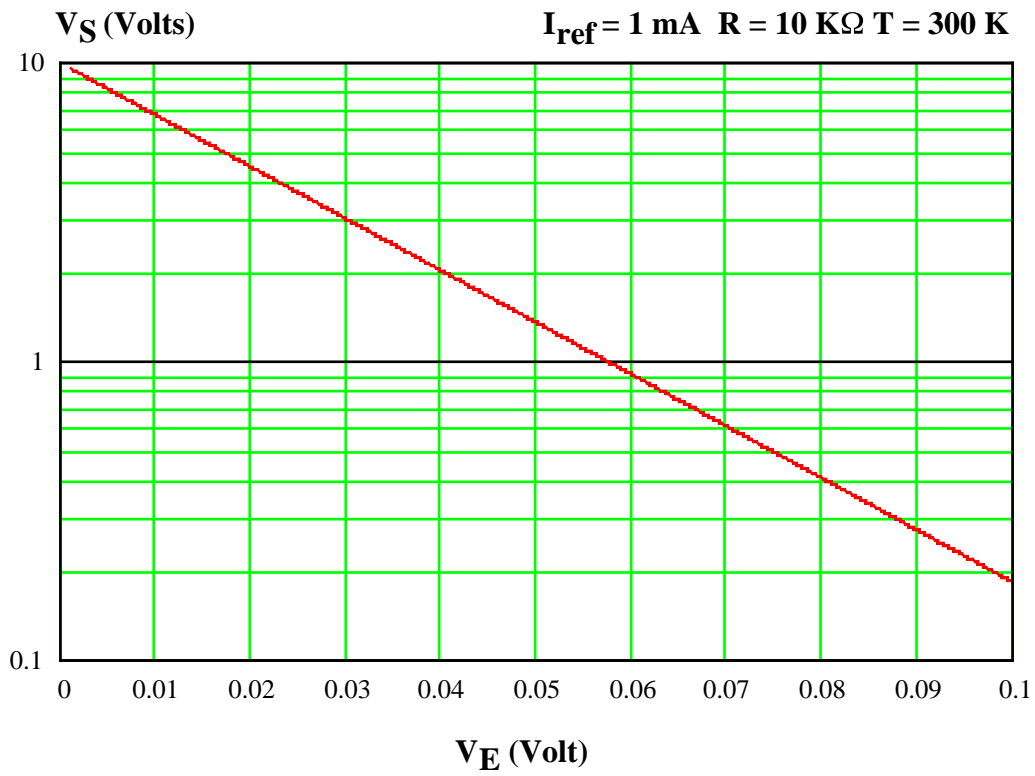
Courbe de réponse du module du gain en tension



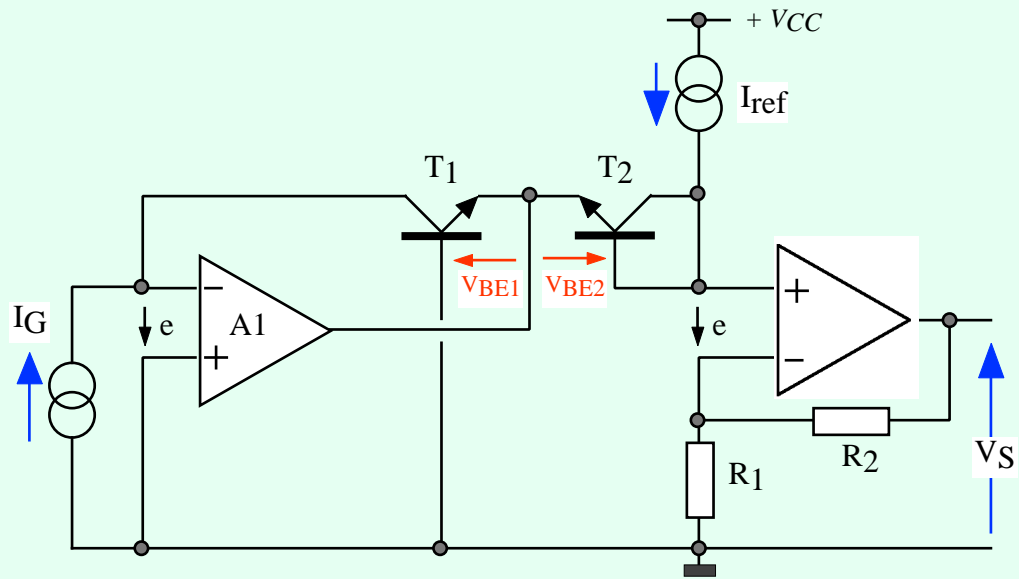
AMPLIFICATEUR EXPONENTIEL



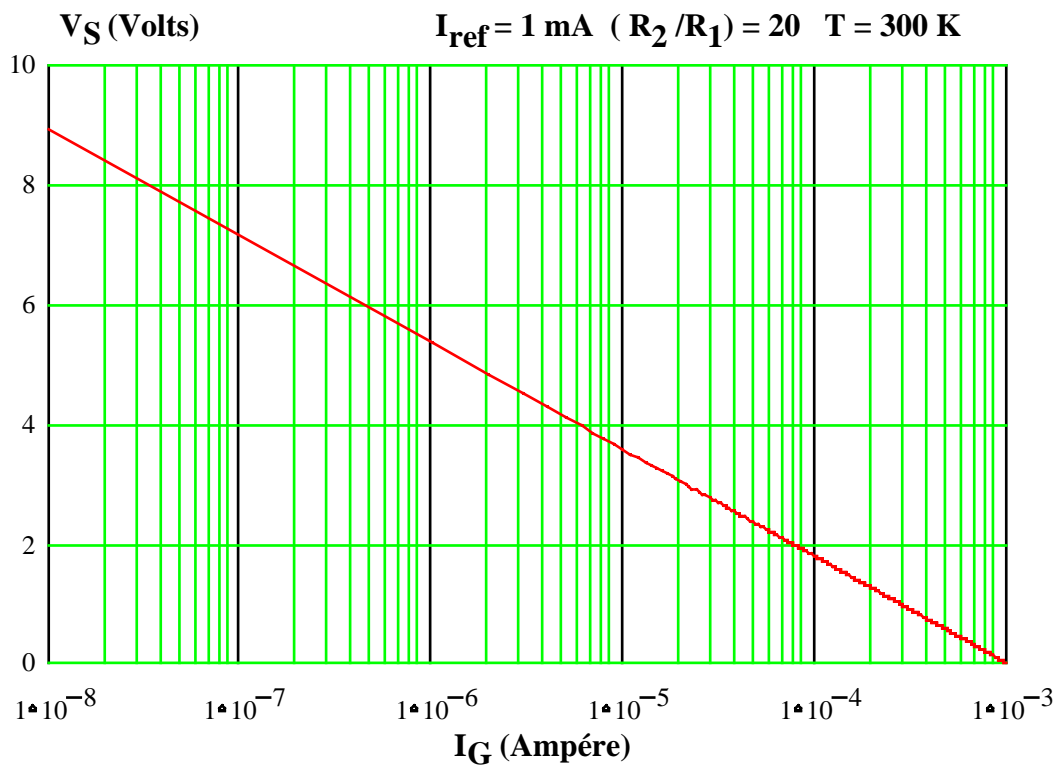
$$V_S = R I_{ref} \exp\left(-\frac{V_E}{U_T}\right)$$



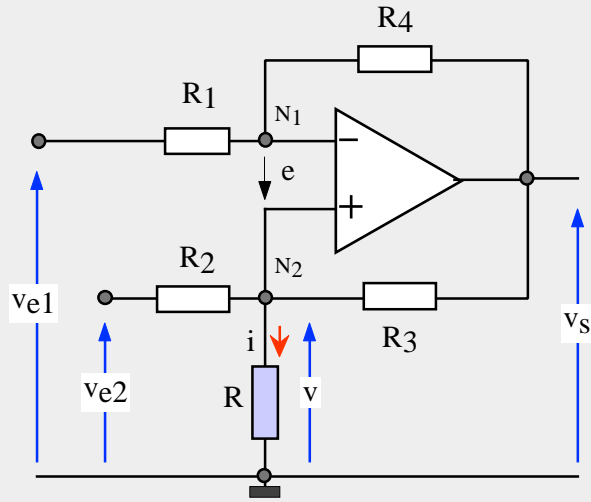
AMPLIFICATEUR LOGARITHMIQUE



$$V_S = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_T \ln \left(\frac{I_{ref}}{I_G}\right)$$

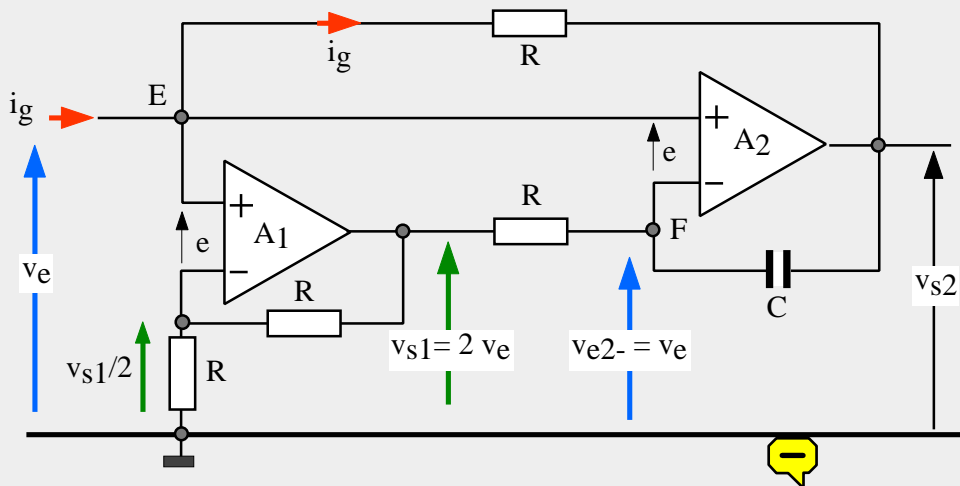


AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL DE TRANSCONDUCTANCE



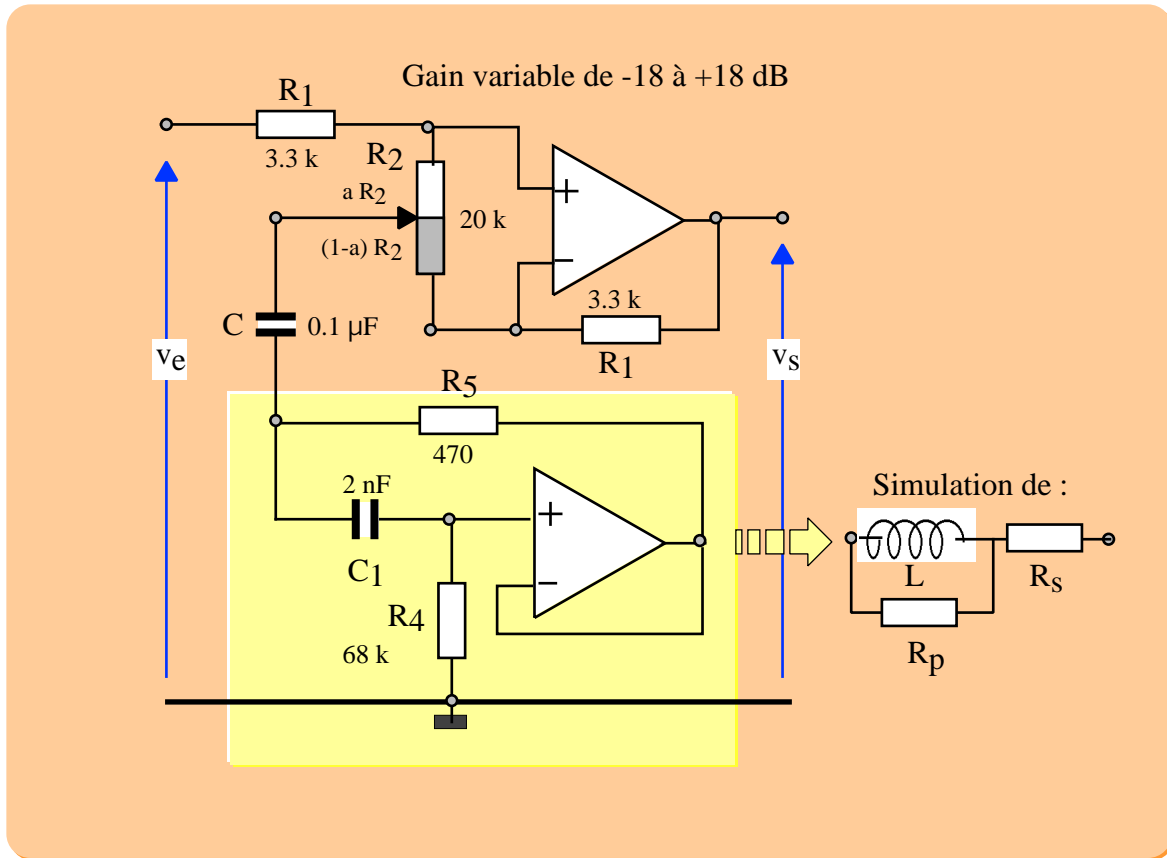
Condition à satisfaire : $G_1 G_3 = G_2 G_4 \Rightarrow i = (v_{e2} - v_{e1}) / R_2$

MONTAGE SIMULATEUR DE SELF

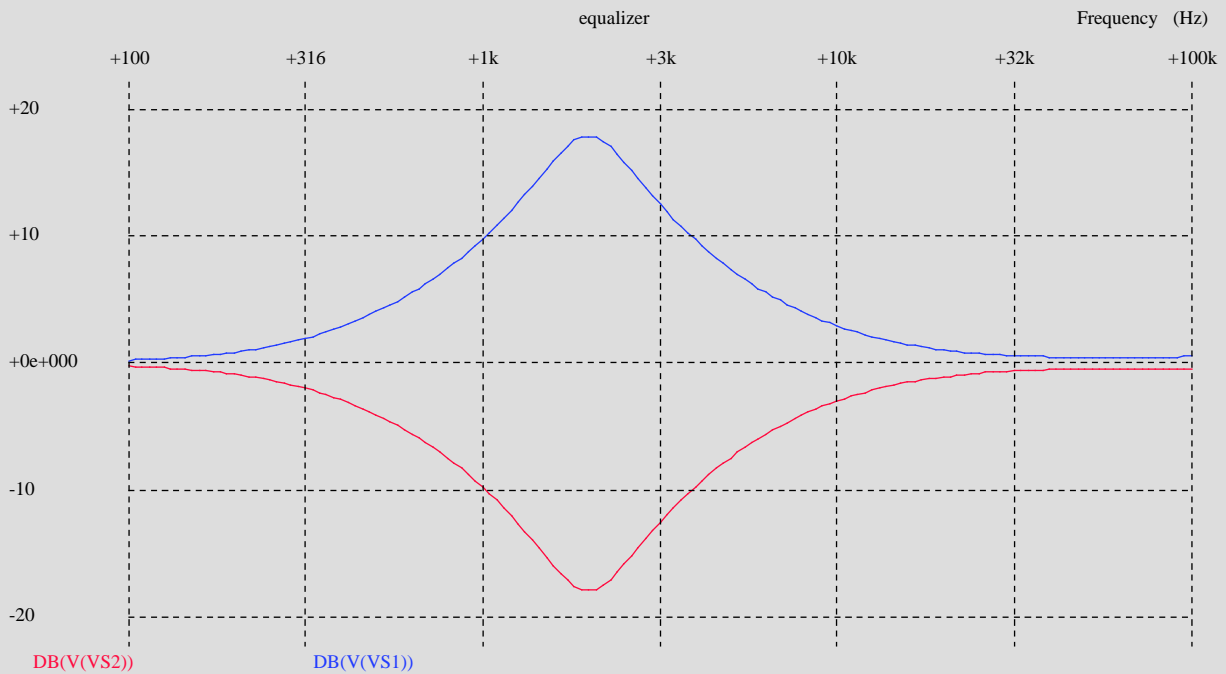


impédance d'entrée du montage : $Z = j \omega R^2 C$

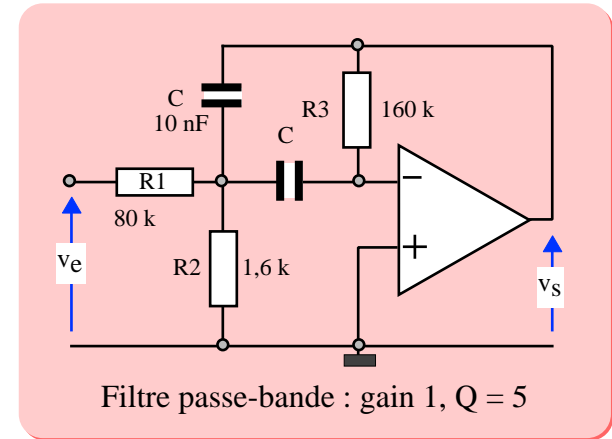
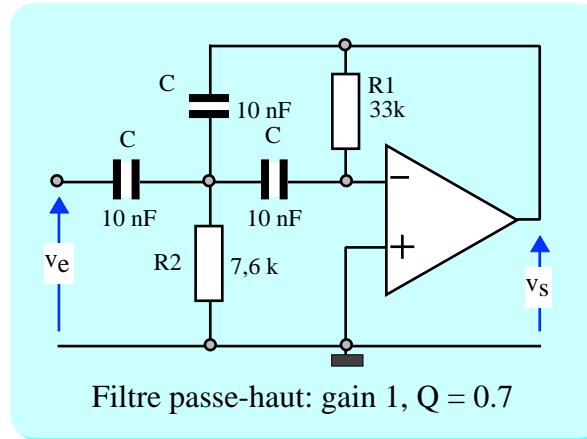
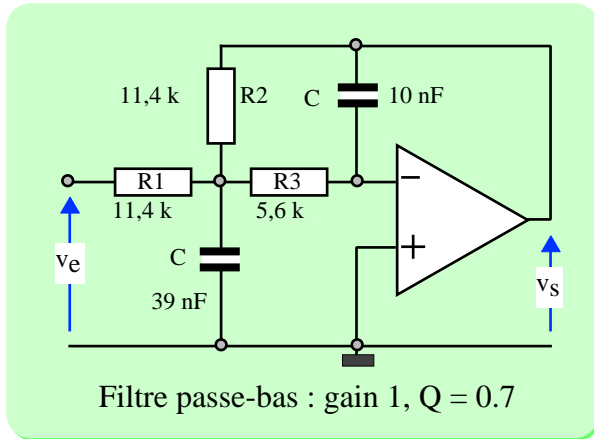
CELLULE "EQUALIZER" 2kHz



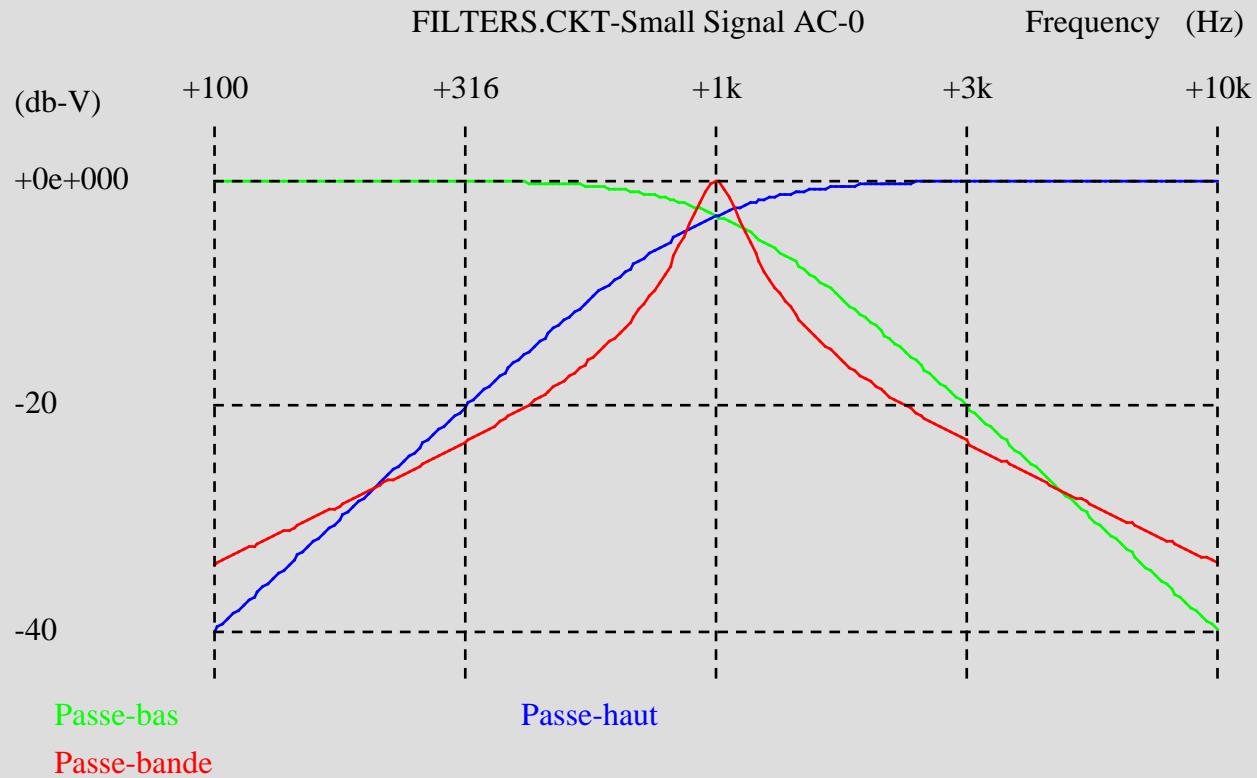
Evolution du gain en tension pour les positions extrêmes de R2



FILTRES 2°ORDRE A CONTRE-REACTION MULTIPLE : STRUCTURE DE RAUCH



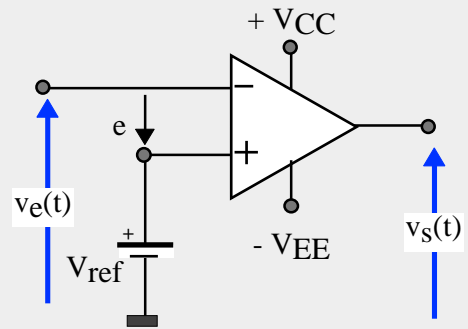
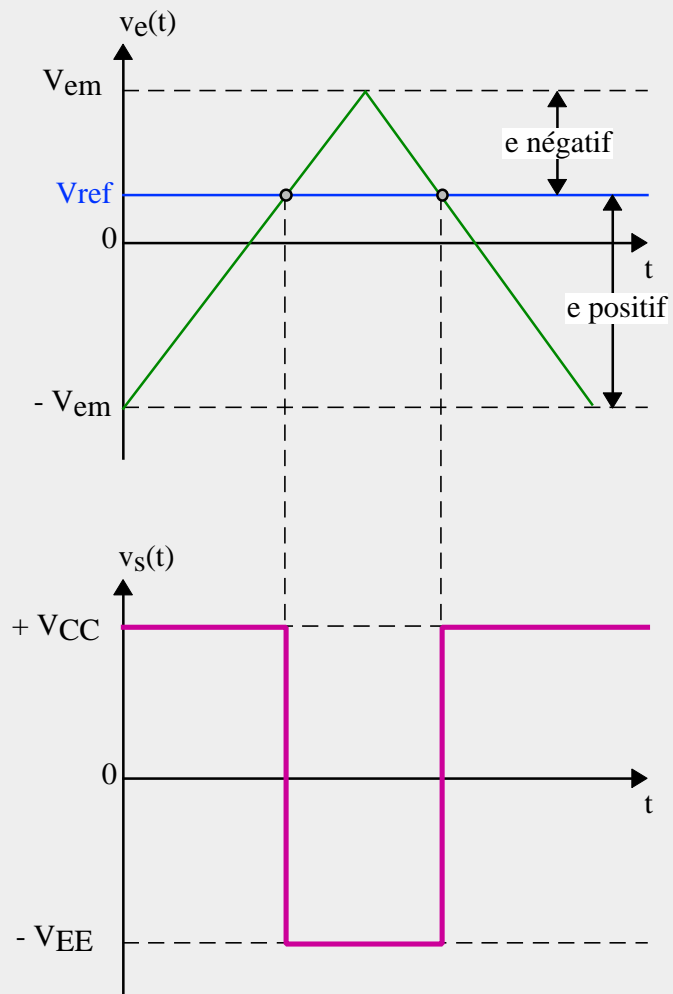
Courbe de réponse du module de la fonction de transfert : $f_0 = 1$ kHz



**APPLICATIONS DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL
UTILISE EN COMPAREUR**

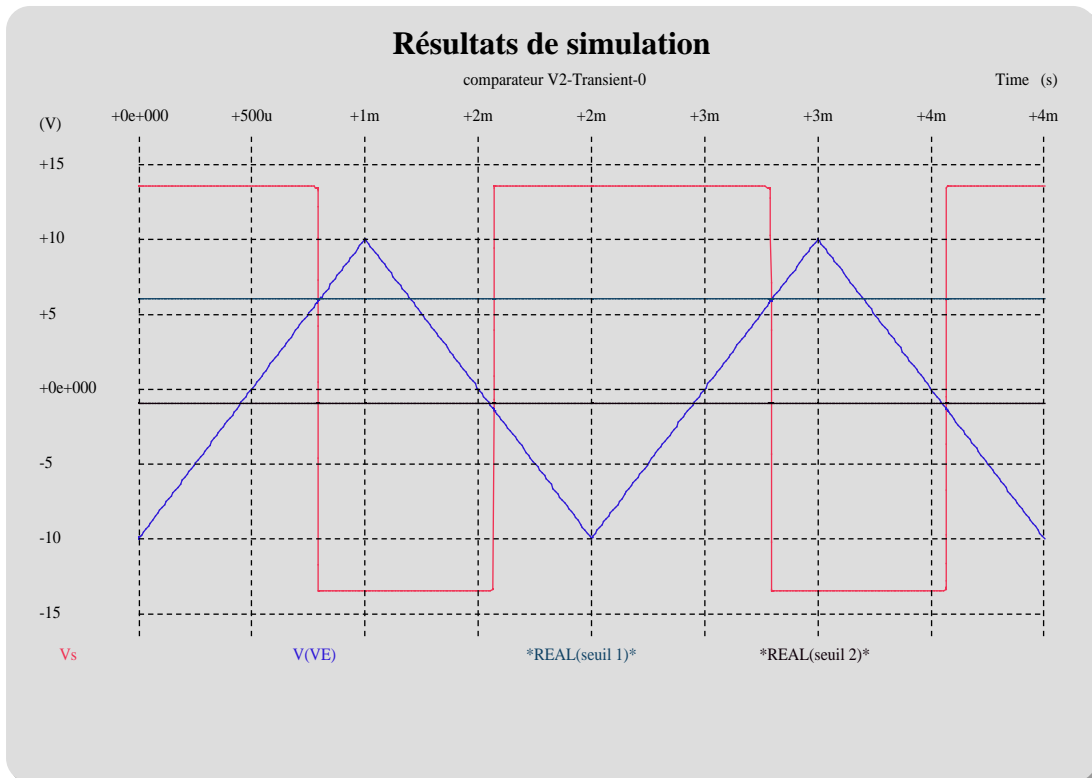
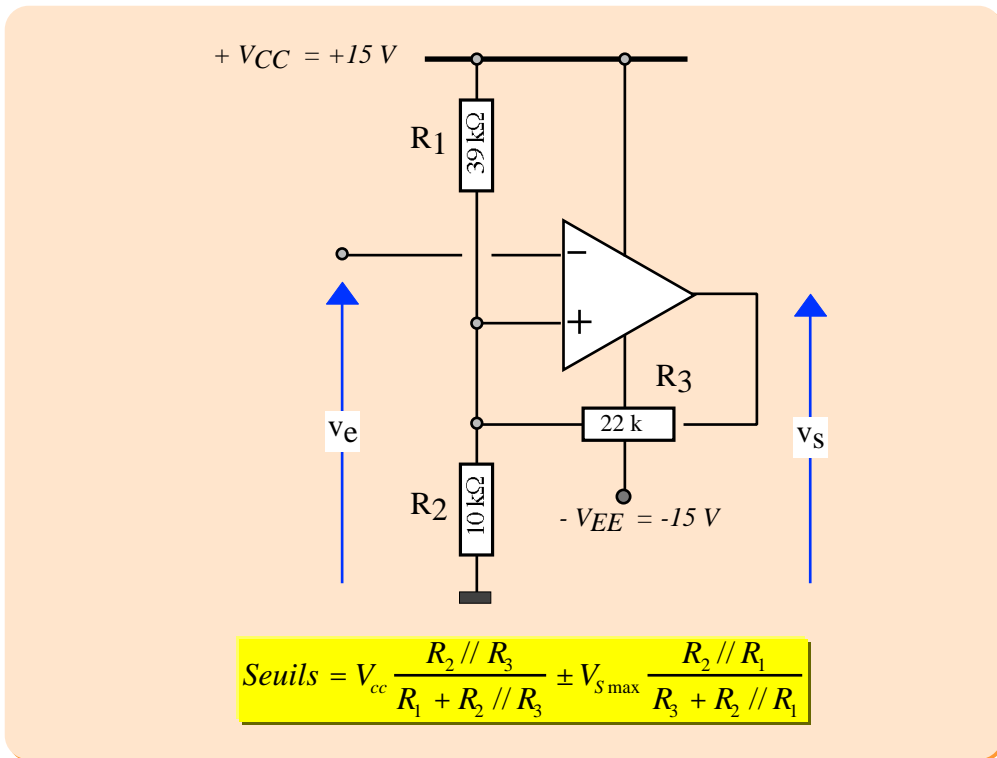
Les expressions données sont obtenues en considérant l'amplificateur idéal.

MONTAGE COMPAREUR DE TENSIONS

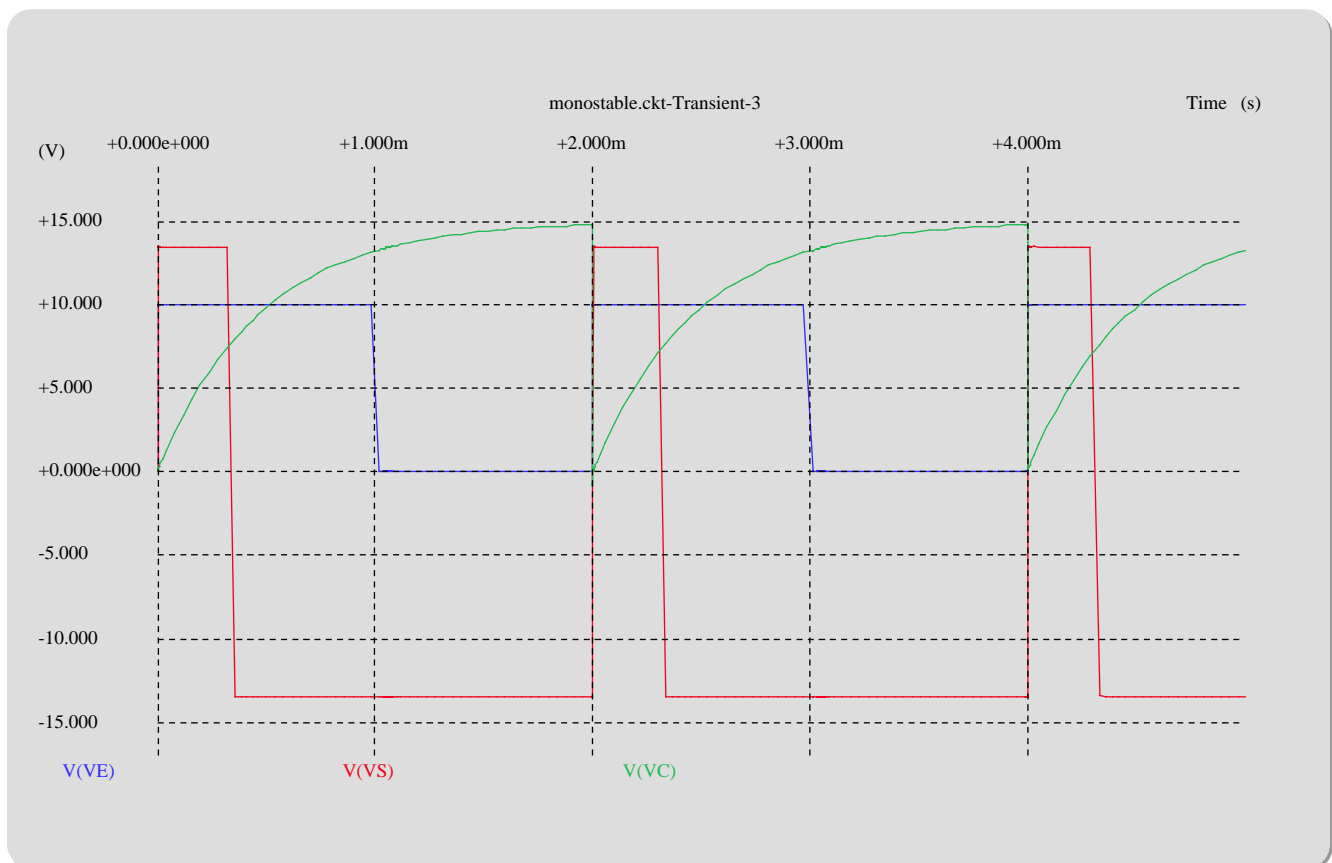
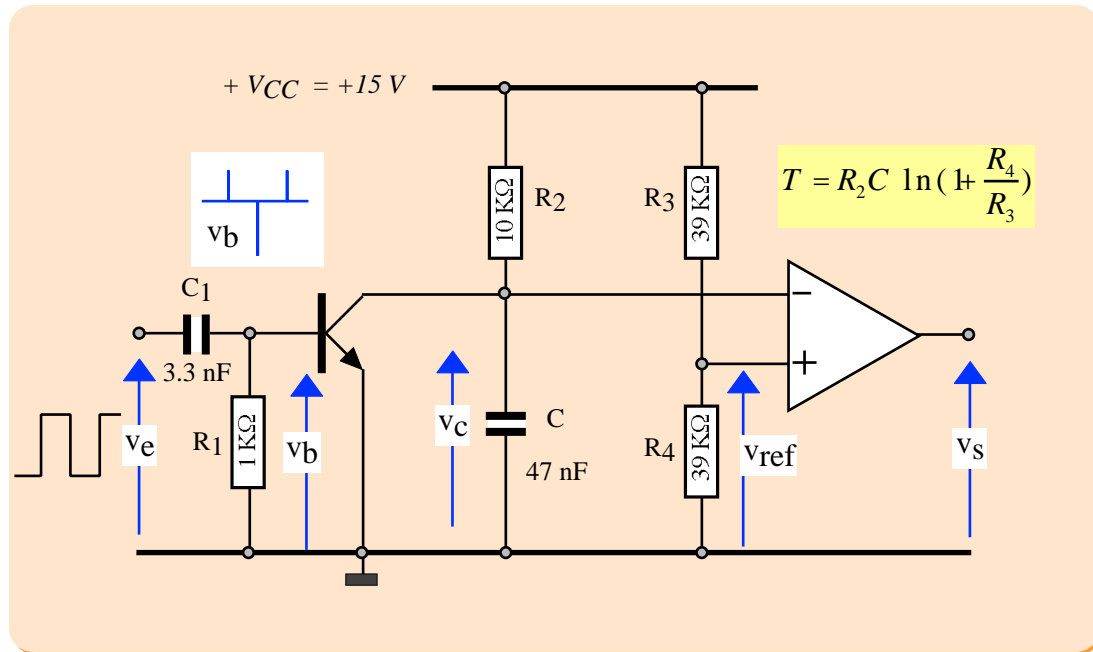


$$e = V_{ref} - v_e(t)$$

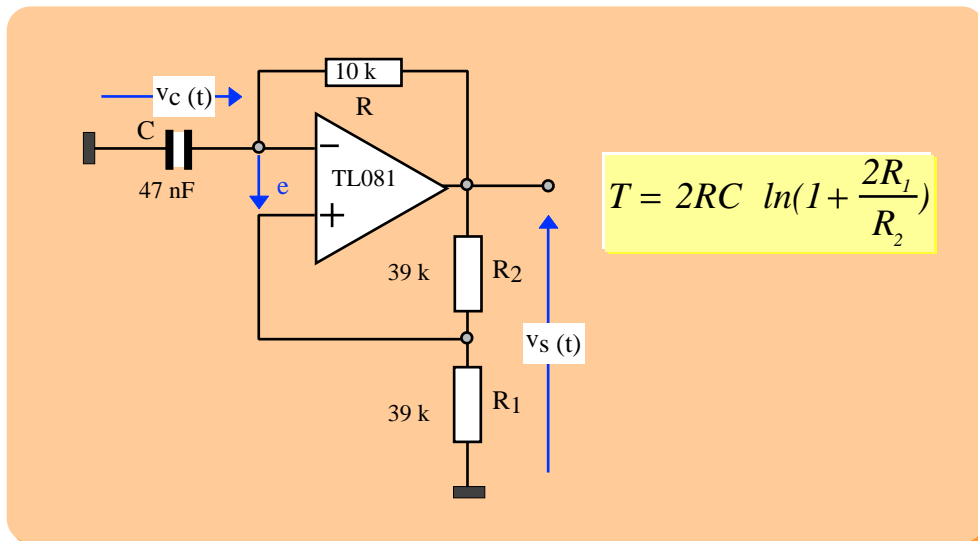
COMPARATEUR A SEUILS



MULTIVIBRATEUR MONOSTABLE



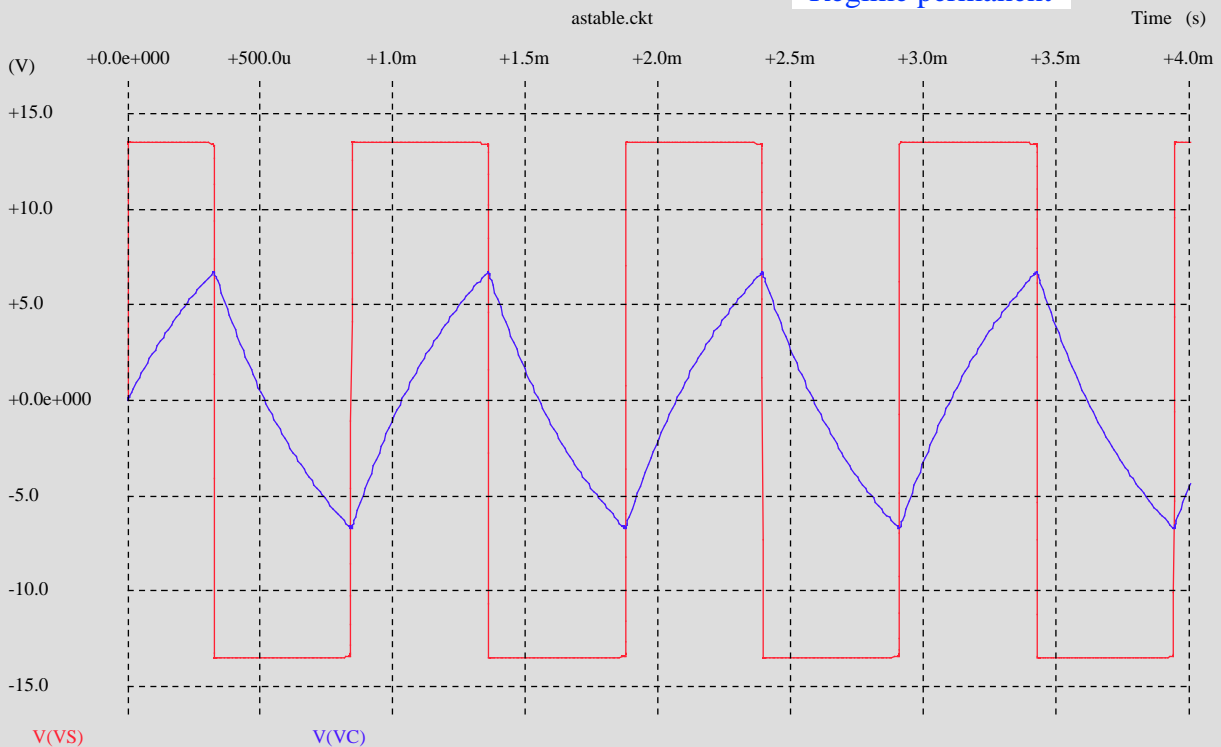
MULTIVIBRATEUR ASTABLE



RESULTATS DE LA SIMULATION

Régime transitoire

Régime permanent



INTEGRATEUR DE MILLER

