

Schémathèque de montages à amplificateurs opérationnels

Table des matières

1	Amplificateurs	3
2	Générateurs continus	7
3	Filtres actifs	9
4	Redresseurs et détecteurs	12
5	Dispositifs à seuils	14
6	Générateurs de signaux	15
7	Dispositifs non linéaires	17
8	Montages divers	18

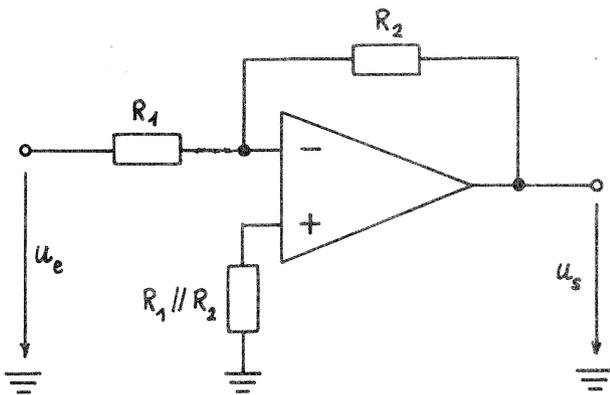
Schémathèque de montages à amplificateurs opérationnels:

Voici un ensemble relativement complet de soixante-trois montages utilisant des amplificateurs opérationnels. Ils sont classés sous les huit rubriques suivantes: amplificateurs, générateurs continus, filtres actifs, redresseurs-détecteurs, dispositifs à seuils, générateurs de signaux, dispositifs non linéaires et montages divers.

Les montages proposés ne sont pas des schémas de principe, mais de véritables schémas d'applications des amplificateurs opérationnels. La réduction du décalage de la sortie dû aux courants de polarisation a été effectuée. Par contre, les réseaux de compensation en fréquence et d'annulation des signaux de décalage en entrée, différents, voire même absent, pour chaque type d'amplificateur opérationnel, ne figurent pas sur les schémas proposés.

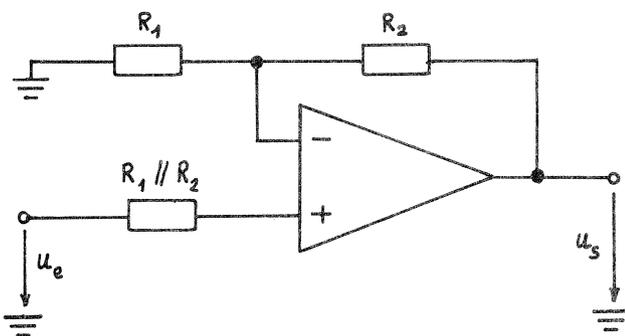
(Réf.: Manuel d'applications Sescosem; rédigé par J. Hufschmid)

1. Amplificateurs:



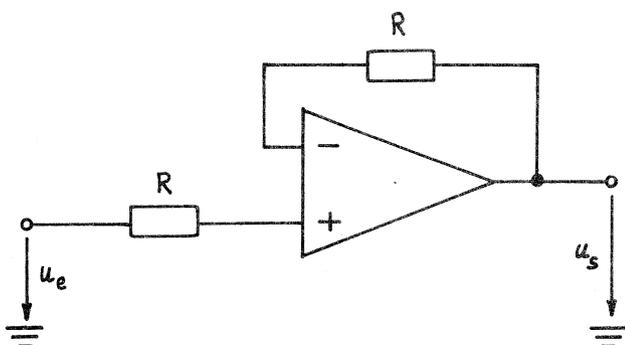
Amplificateur inverseur

Résistance d'entrée $R_i = R_1$
Gain de tension $G_v = -\frac{R_2}{R_1}$



Amplificateur non inverseur

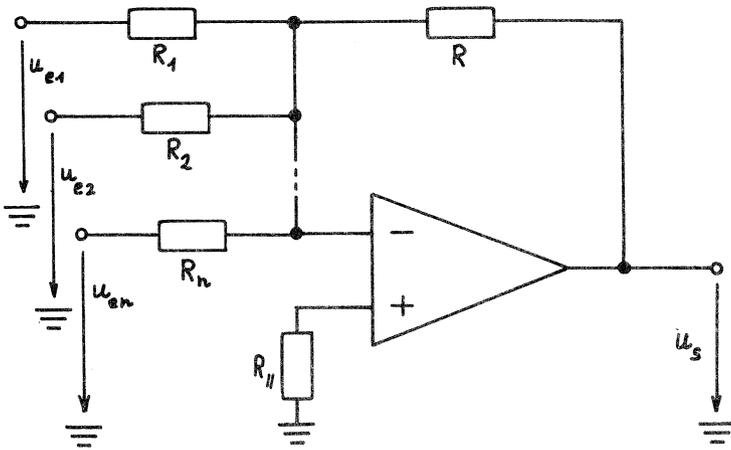
Résistance d'entrée $R_i = R_c$ (résistance du mode commun)
Gain de tension $G_v = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$



Suiveur de tension

Résistance d'entrée $R_i = R_c$
Gain de tension $G_v = 1$

Schématèque de montages à A.O.



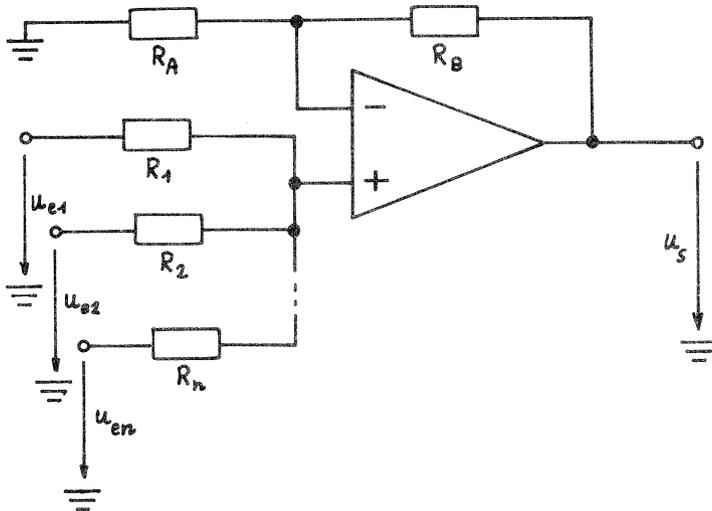
Sommeur inverseur

Résistance d'entrée sur la
branche j: $R_{ij} = R_j$

$$u_s = -R \sum_{j=1}^n \frac{u_{ej}}{R_j}$$

$$R_{//} = R_1 // R_2 // \dots // R_n // R$$

Sommeur non inverseur

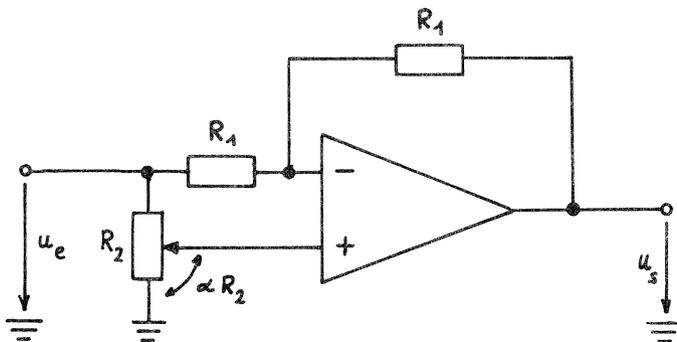


Dans la mesure où:

$$R_A // R_B = R_1 // R_2 // \dots // R_n,$$

$$u_s = R_B \sum_{j=1}^n \frac{u_{ej}}{R_j}$$

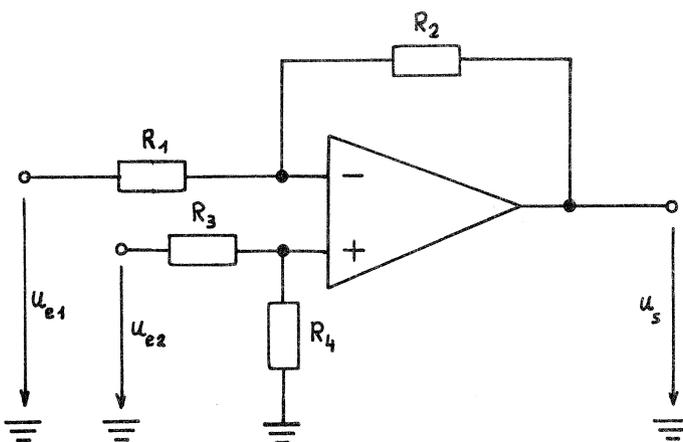
Il est possible d'associer ce montage au précédent pour constituer un additionneur-soustracteur à plusieurs entrées.



Circuit inverseur - non inverseur

Gain de tension $G_v = 2 \cdot \alpha - 1$

Le gain du montage varie entre + 1 et - 1 selon la position du potentiomètre.



Amplificateur différentiel

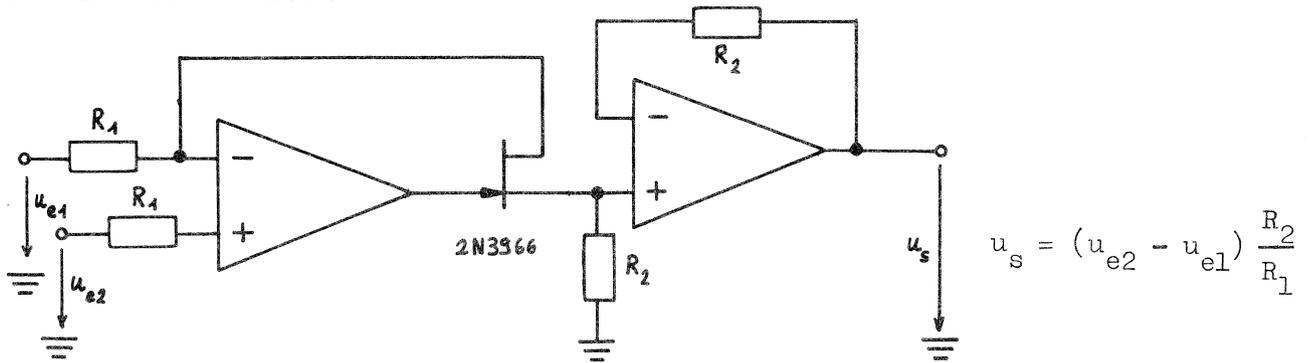
Si $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, le montage fonctionne en amplificateur différentiel:

$$u_s = \frac{R_2}{R_1} (u_{e2} - u_{e1})$$

Le RRMC du montage est fonction de la précision avec laquelle est réalisée la condition: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$

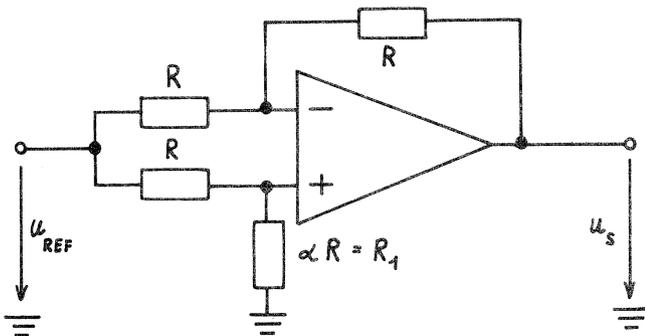
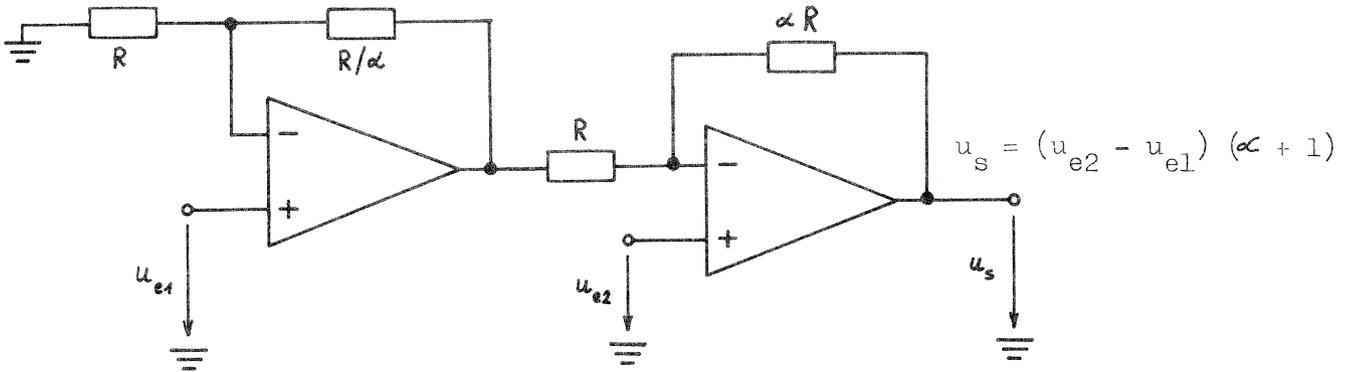
Amplificateur différentiel à RRMC élevé

Ce montage ne nécessite pas de composant à tolérances très étroites pour obtenir un très bon RRMC.



Amplificateur différentiel à hautes impédances d'entrée

Ce circuit combine les propriétés du montage non inverseur et du montage différentiel. Le RRMC est fonction de l'appariement des résistances de contre-réaction.

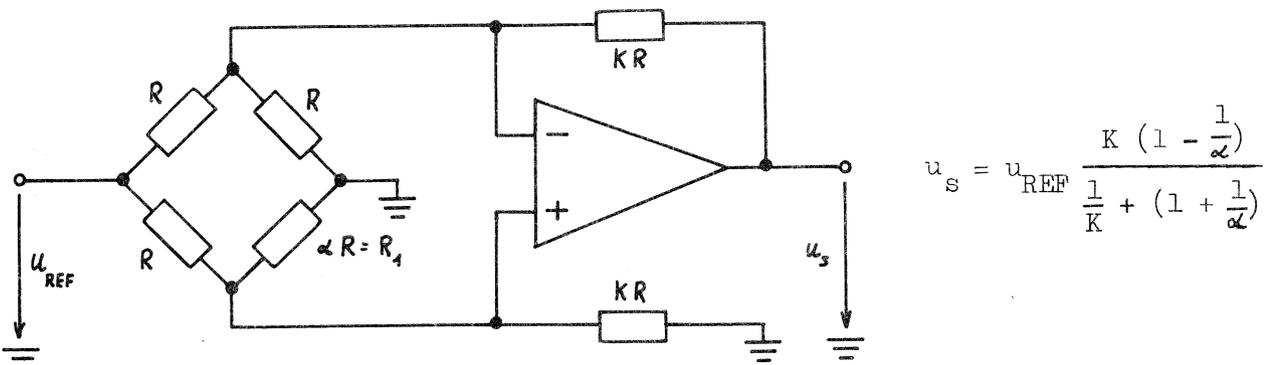


Montage différentiel en pont

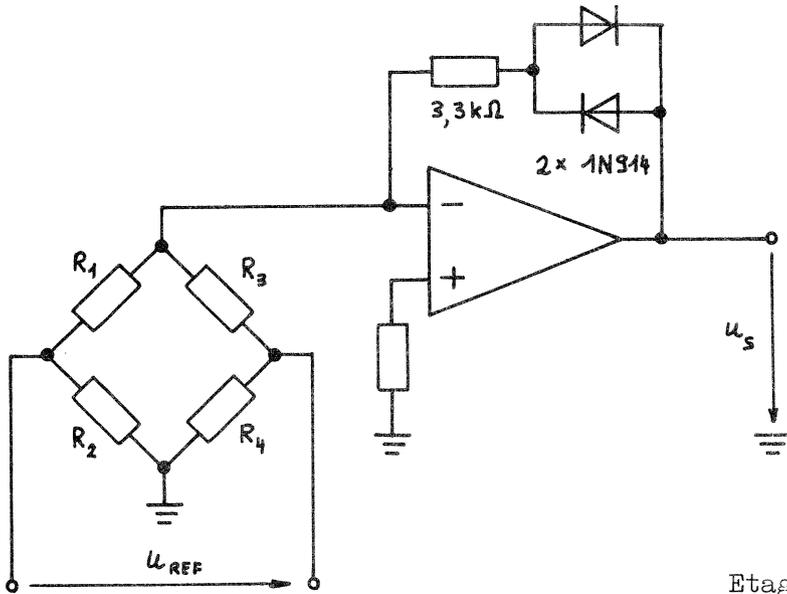
La résistance R_1 varie en fonction d'un paramètre physique extérieur (température, contrainte, ...).

$$u_s = u_{REF} \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} \right)$$

Amplificateur pour pont de jauge



Schématèque de montages à A.O.

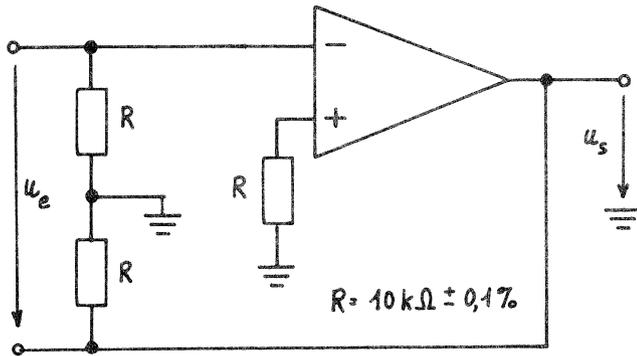


Indicateur d'équilibre de pont

La non linéarité, introduite par les deux diodes en contre-réaction, permet une indication précise de l'équilibre ($u_s = 0$) pour:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Etage d'isolation à très haute impédance d'entrée



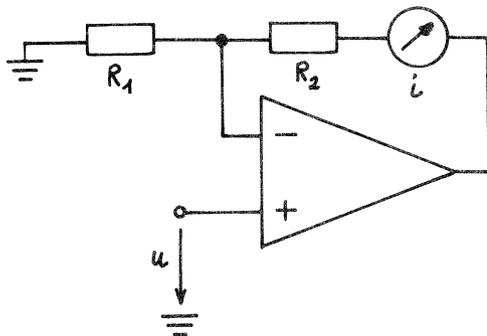
L'impédance d'entrée présentée par le montage est très élevée puisque la limitation due aux impédances du mode commun (Z_c) qui affecte les montages non inverseurs n'intervient pas. Il nécessite cependant une source isolée du zéro volt électrique.

$$u_s = u_e$$

Amplificateur pour galvanomètre

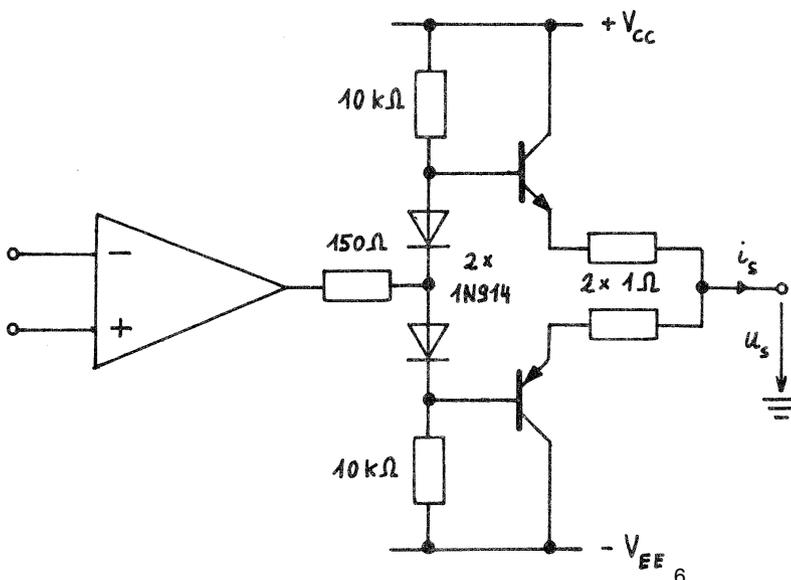
C'est un convertisseur tension-courant à haute impédance d'entrée.

$$i = \frac{u}{R_1}$$

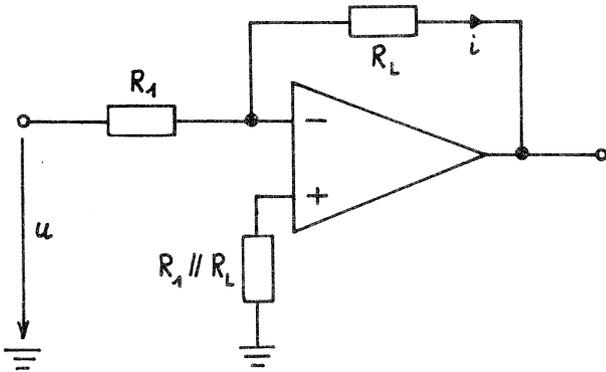


Etage de puissance à symétrie complémentaire

Le courant de sortie peut atteindre facilement 250 mA sans distorsion appréciable en utilisant une paire complémentaire à grand gain. Ce circuit est applicable à n'importe quel montage: l'élément de contre-réaction sera alors connecté en sortie de l'étage de puissance.

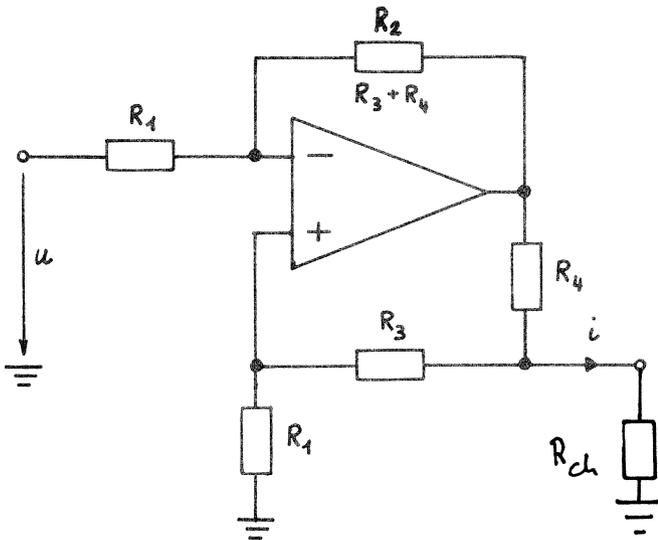


2. Générateurs continus:



Générateur de courant bipolaire à charge flottante:

$$i = - \frac{u}{R_1}$$



Générateur de courant bipolaire à charge à la masse:

Sous la condition $R_2 = R_3 + R_4$

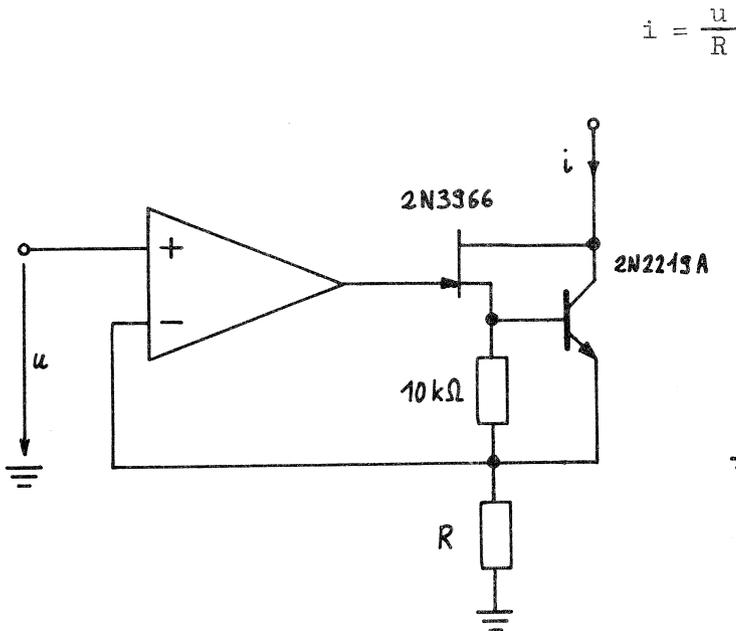
$$i = \frac{-R_2}{R_1 \cdot R_4} u$$

Afin de permettre l'utilisation d'impédances de charge de valeurs élevées, on prendra $R_4 \ll R_3$.

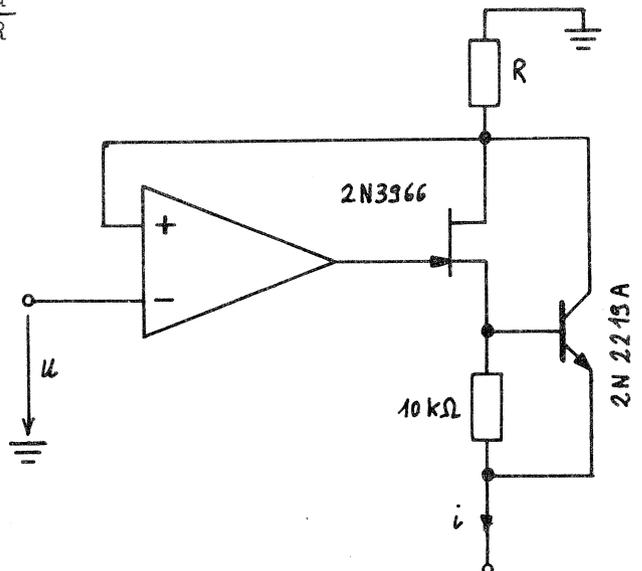
Générateur de courant unipolaire:

a) Charge à $+V_{CC}$ (u positif)

b) Charge à $-V_{EE}$ (u négatif)



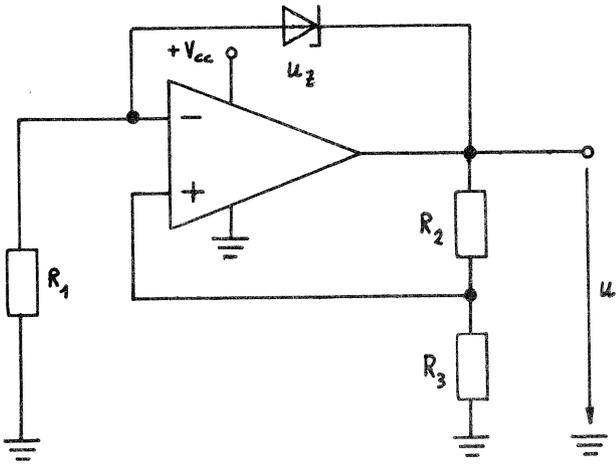
$$i = \frac{u}{R}$$



Sources de tension positive

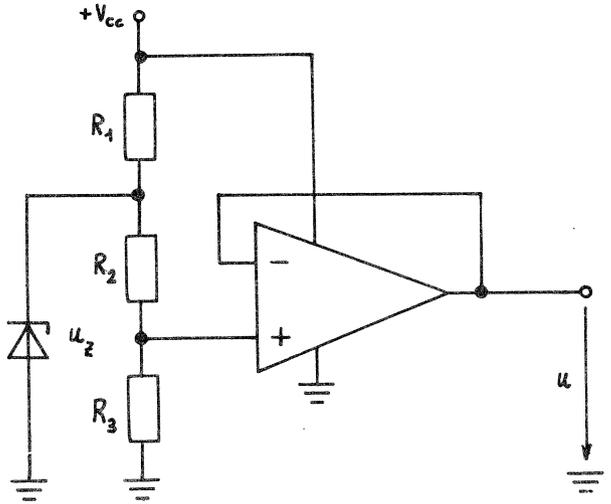
a) $u > u_Z$

$$u = u_Z \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$



b) $u < u_Z$

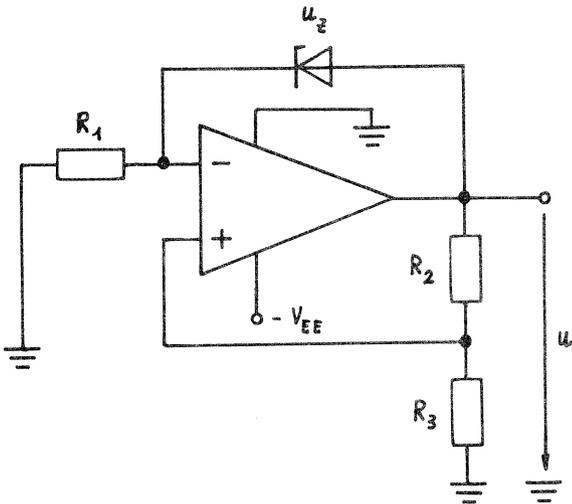
$$u = u_Z \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$



Sources de tension négative

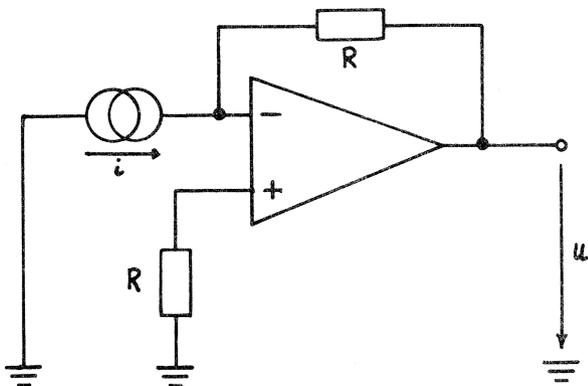
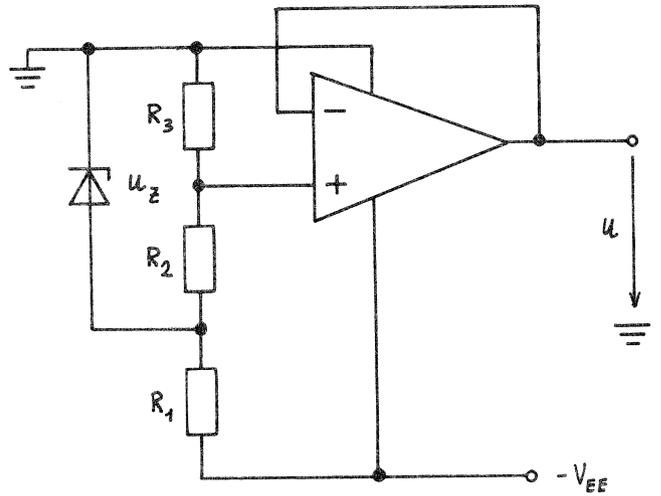
a) $|u| > |u_Z|$

$$u = -|u_Z| \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$



b) $|u| < |u_Z|$

$$u = -|u_Z| \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$



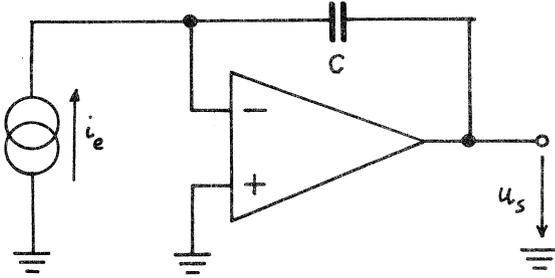
Convertisseur courant-tension

L'impédance d'entre du montage est extrêmement réduite.

$$u = -R \cdot i$$

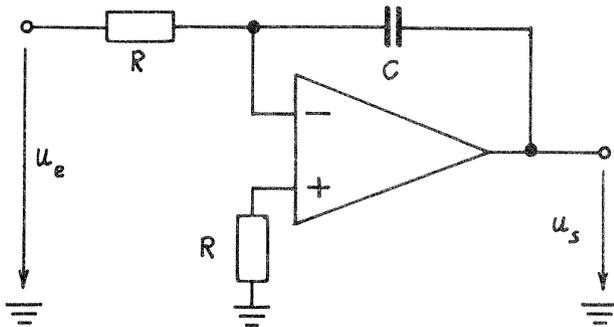
3. Filtres actifs:

Seuls les filtres les plus simples sont décrits ici. Un article spécialement consacré aux filtres actifs sera publié ultérieurement.



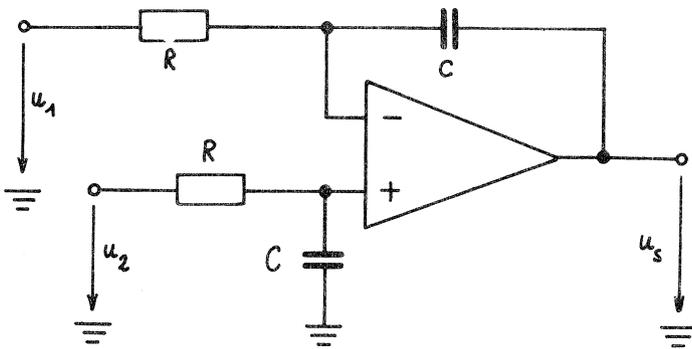
Intégration d'un courant:

$$u_s = -\frac{1}{C} \int_0^t i_e dt + u_s(0)$$



Intégration d'une tension:

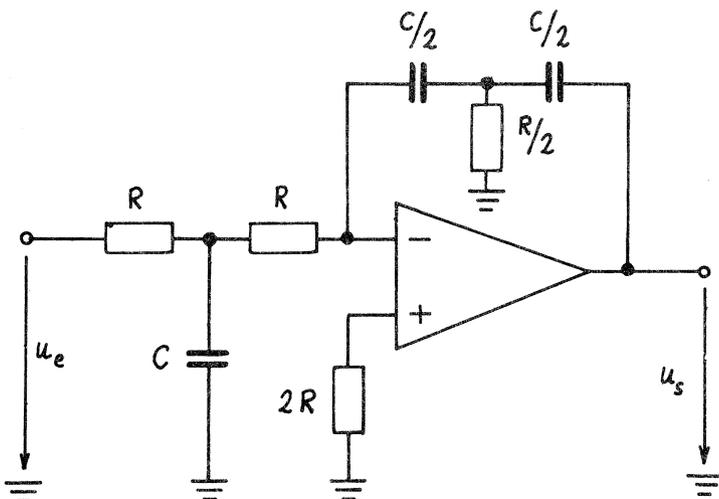
$$u_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_e dt + u_s(0)$$



Intégrateur de différence:

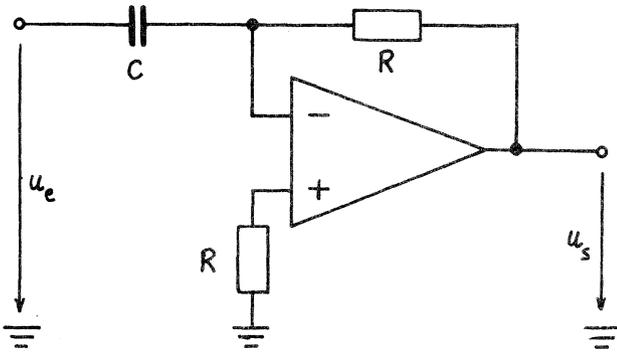
$$u_s = \frac{1}{RC} \int_0^t (u_2 - u_1) dt + u_s(0)$$

Si $u_1 = 0$, le montage fonctionne en intégrateur non inverseur.



Intégrateur double:

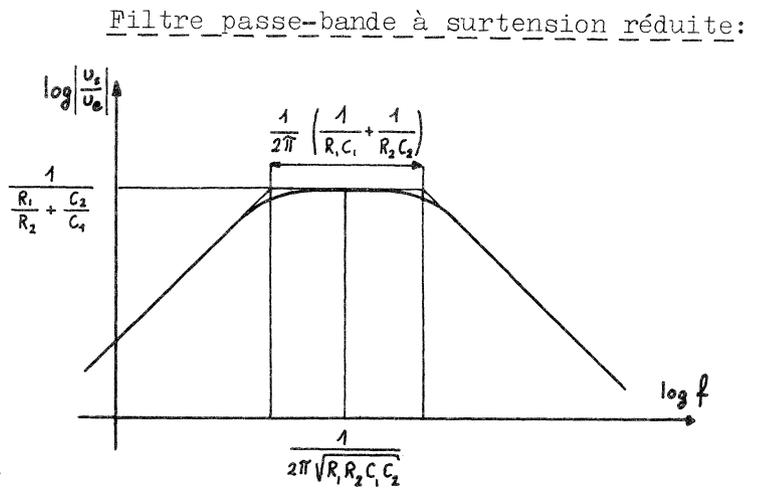
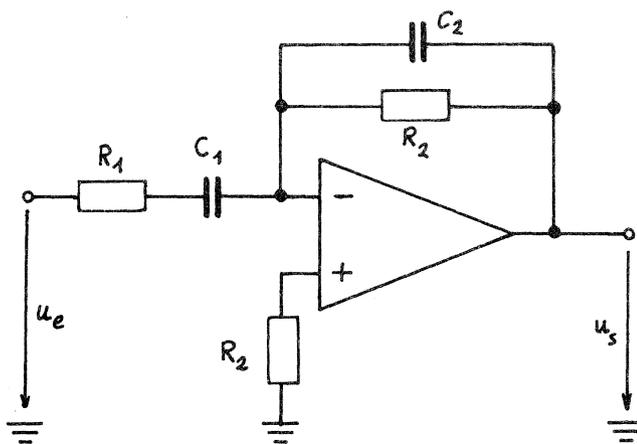
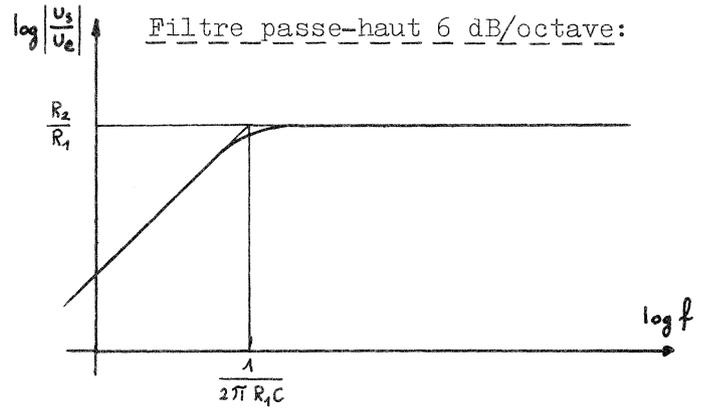
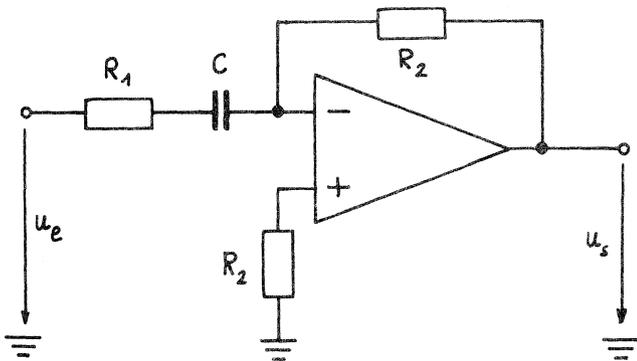
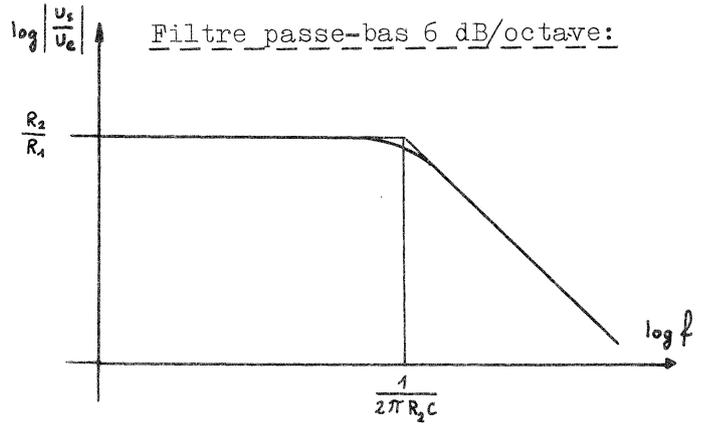
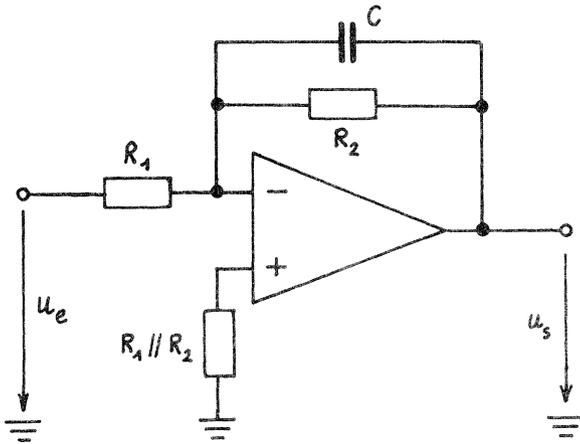
$$u_s = -\frac{4}{R^2 C^2} \iint_0^t u_e(t) dt dt$$



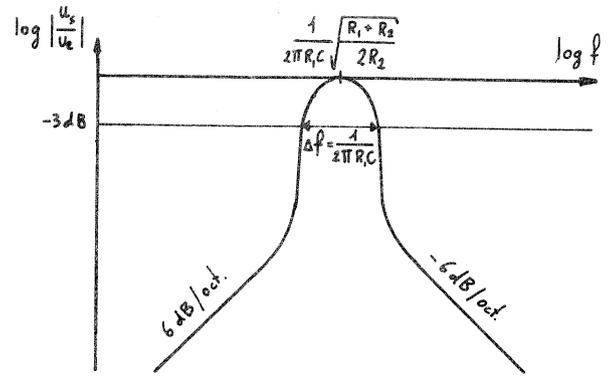
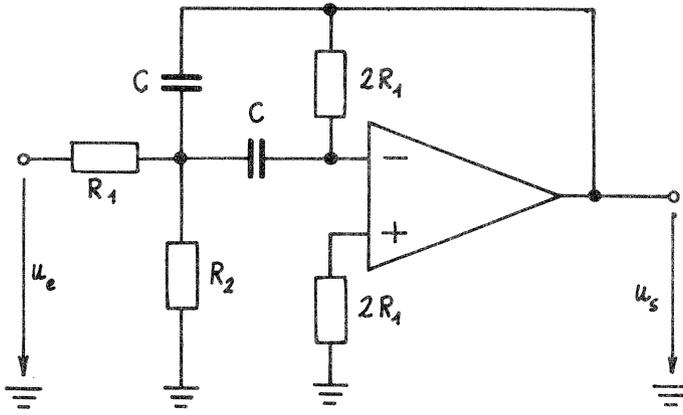
Dérivateur:

La source de tension produisant u_e doit posséder une résistance interne nulle.

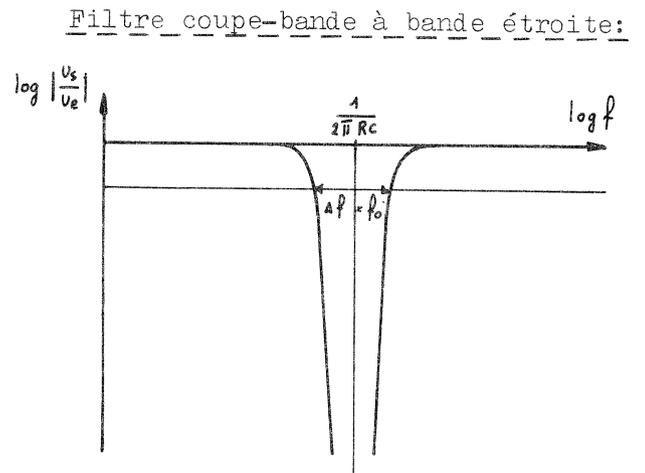
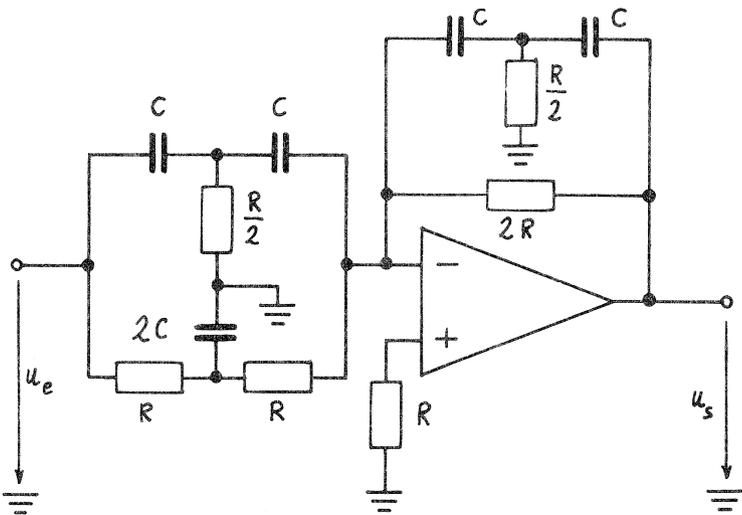
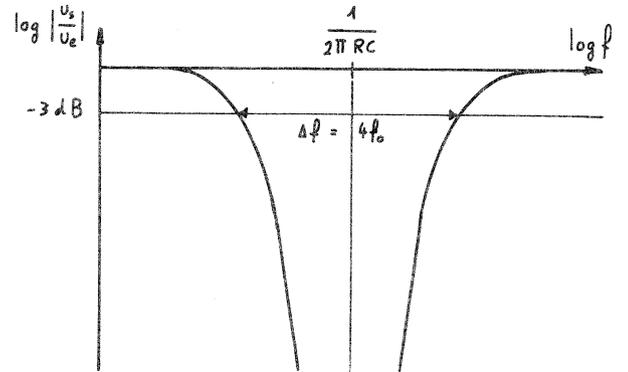
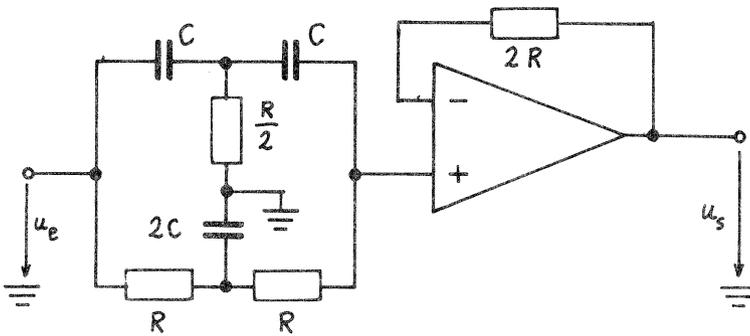
$$u_s = - \frac{du_e}{dt} RC$$



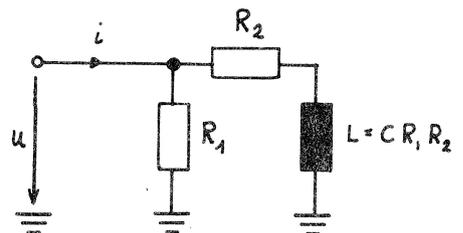
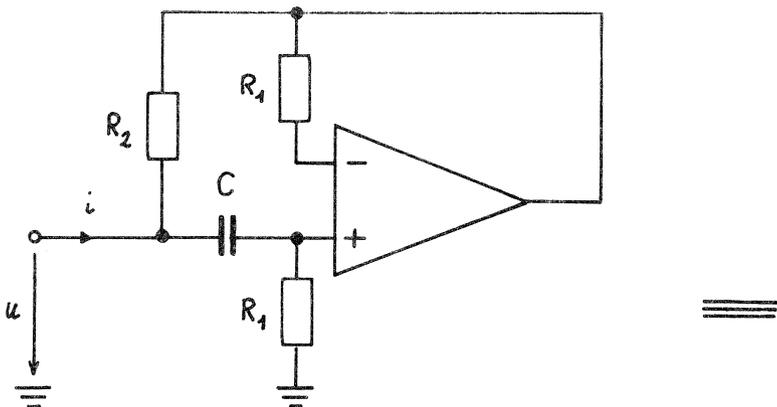
Filtre passe-bande à surtension élevée:



Filtre coupe-bande à large bande:

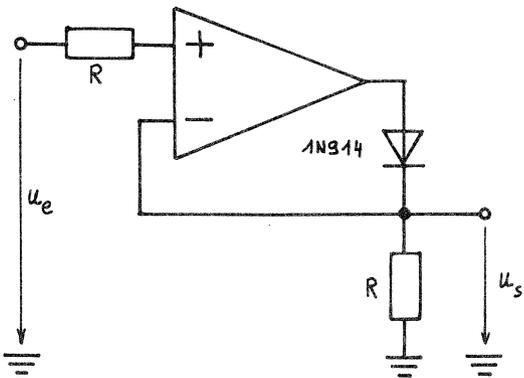


Inductance active:

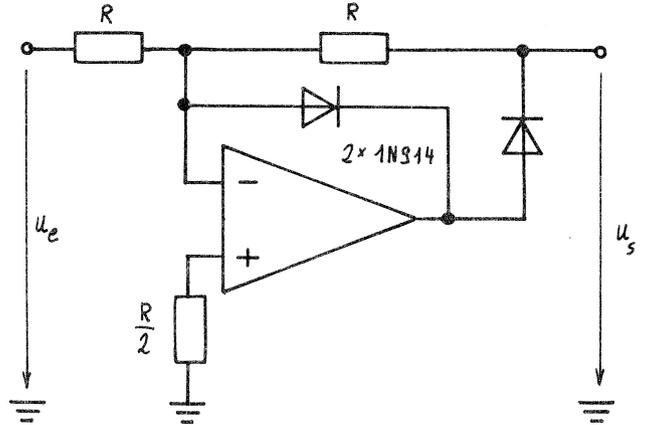


4. Redresseurs et détecteurs:

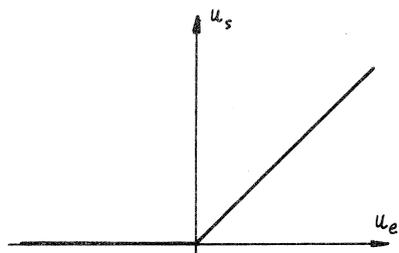
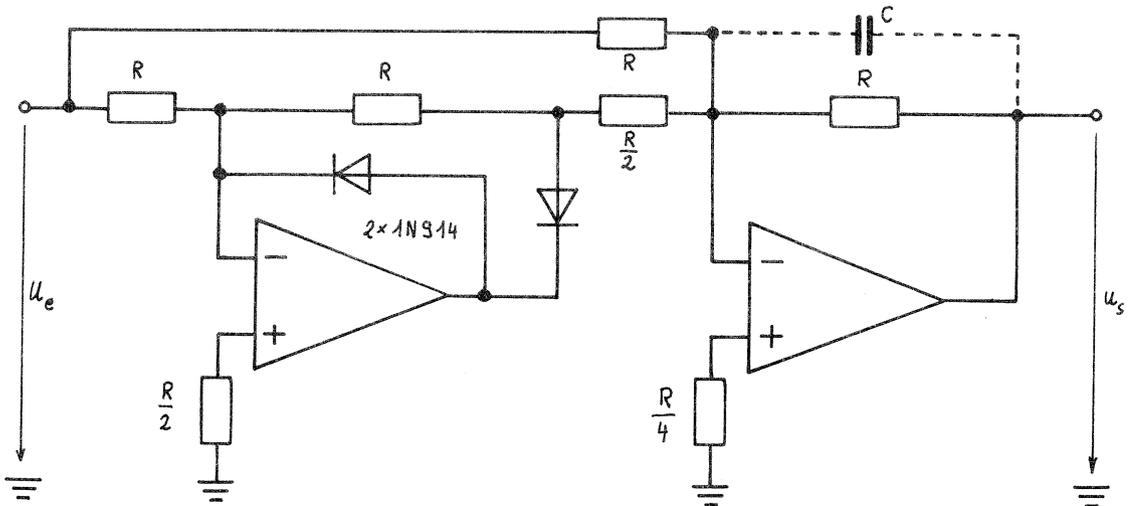
a) Diode sans seuil:



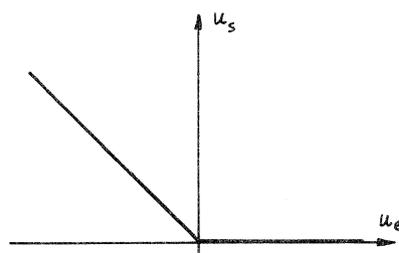
b) Redresseur à une alternance:



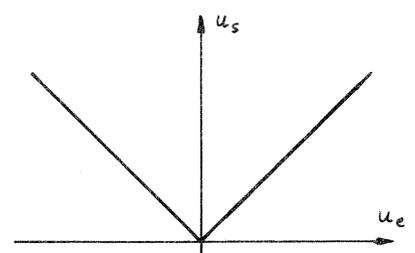
c) Redresseur à deux alternances:



Montage a)



Montage b)

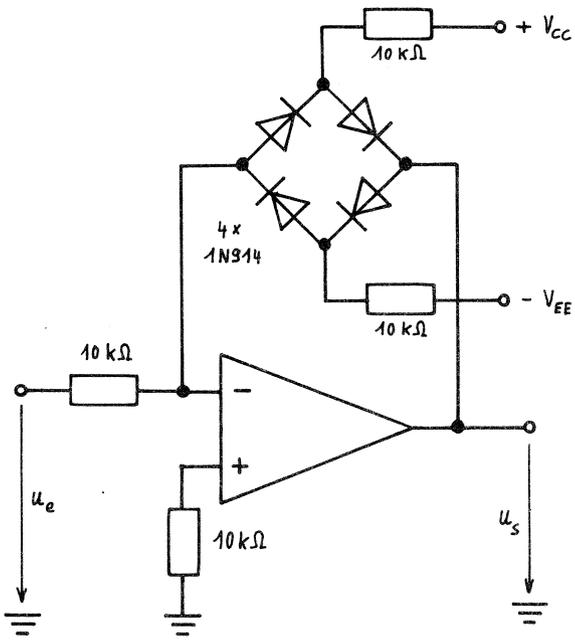


Montage c)

Usuellement, on choisit $R = 10$ kilohms.

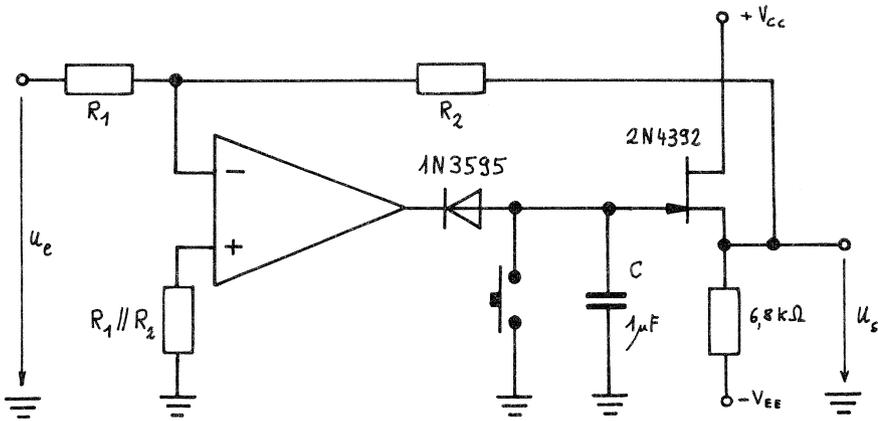
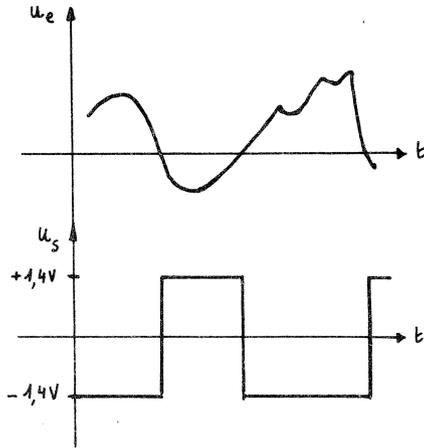
Le condensateur C est utilisé pour filtrer le signal de sortie (conversion linéaire d'alternatif en continu). Dans ce cas:

$$u_s = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} u_e \text{ efficace}, \quad R \cdot C \gg T$$



Détecteur de zéro:

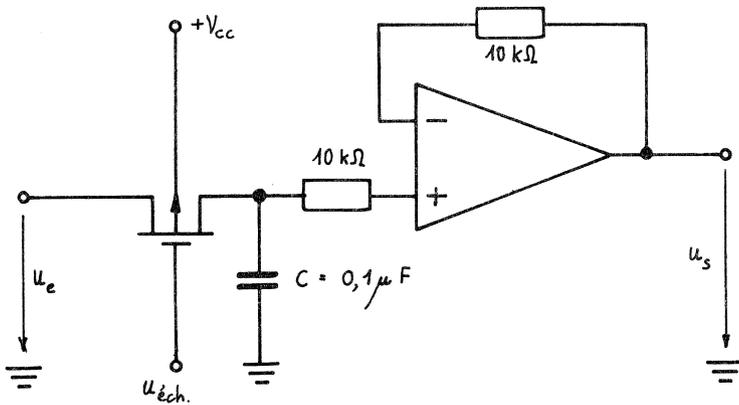
Le gain varie en fonction du signal d'entrée. Il est maximum pour u_e voisin de zéro.



Détecteur de valeur de crête:

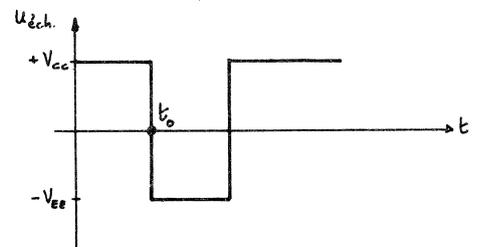
$$u_s = -\frac{R_2}{R_1} \hat{u}_e$$

u_e positif



Echantillonneur-bloqueur:

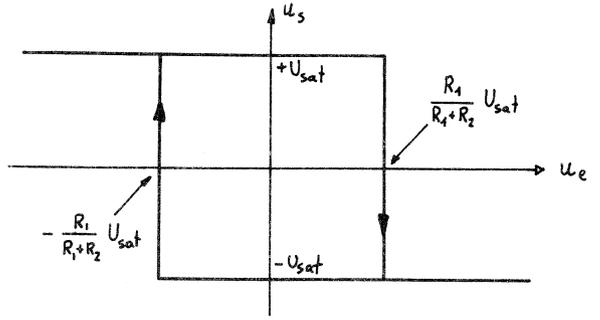
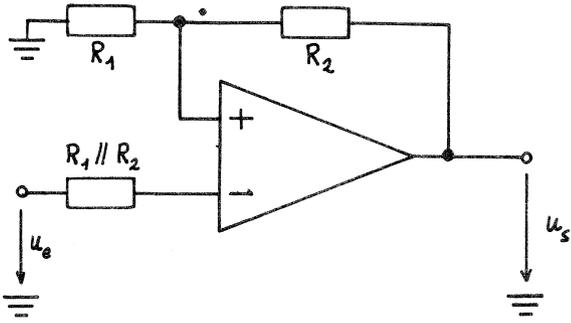
$$u_s = u_e(t_0)$$



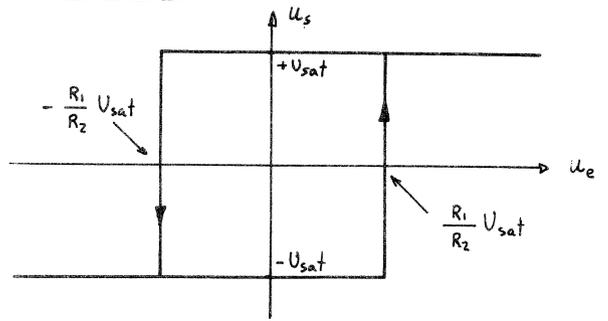
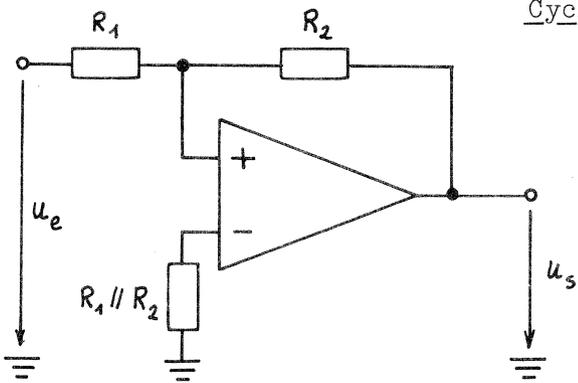
Les condensateurs C doivent être de très bonne qualité (polycarbonate, mylar métallisé) et présenter de faibles fuites.

5. Dispositifs à seuils:

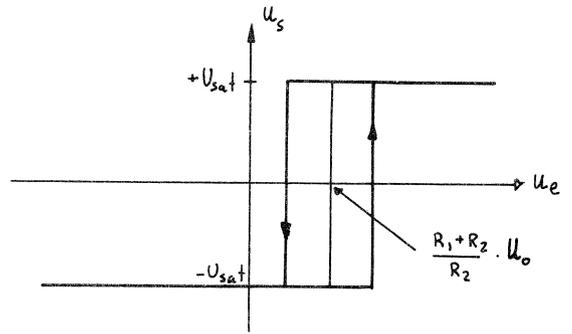
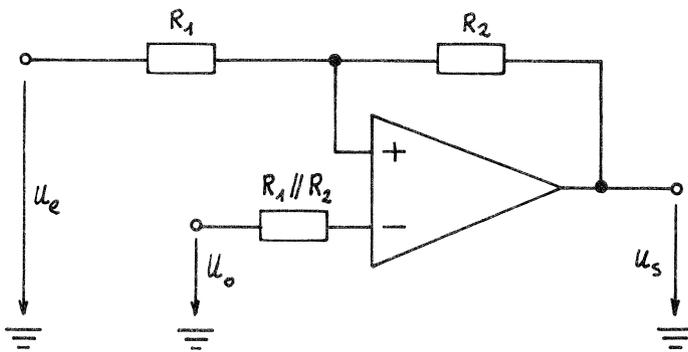
Cycle d'hystérèse en Z:



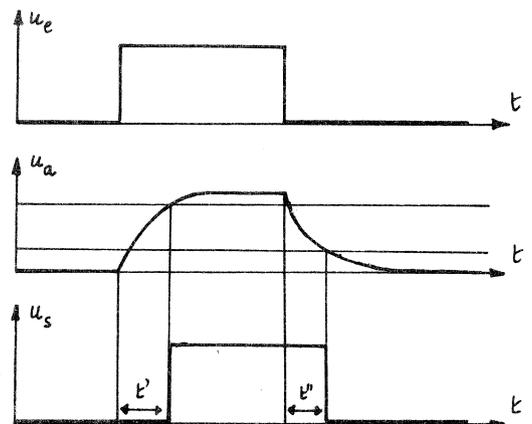
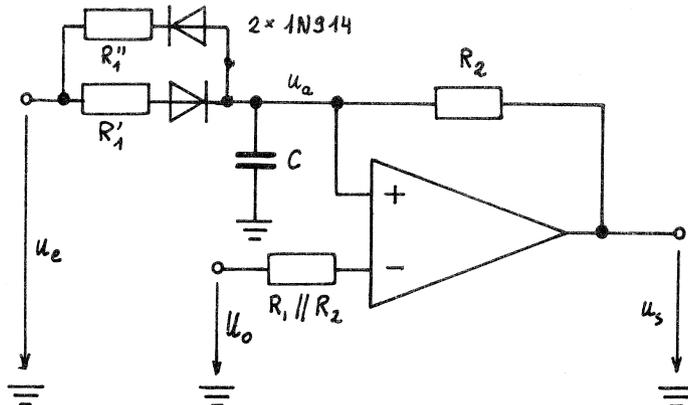
Cycle d'hystérèse en S:



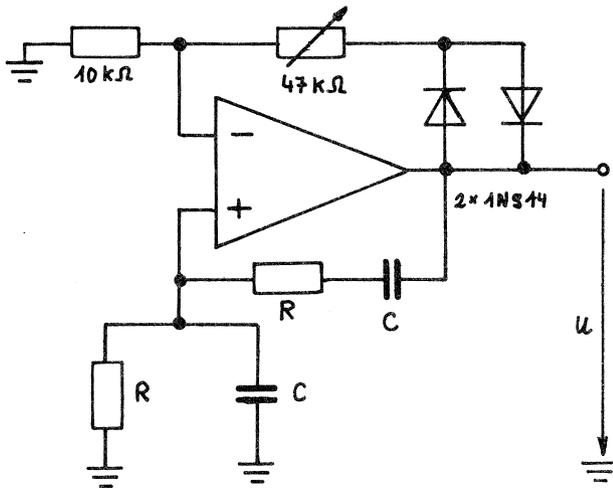
Cycle d'hystérèse en S à seuils décalés:



Retardateur d'impulsions:



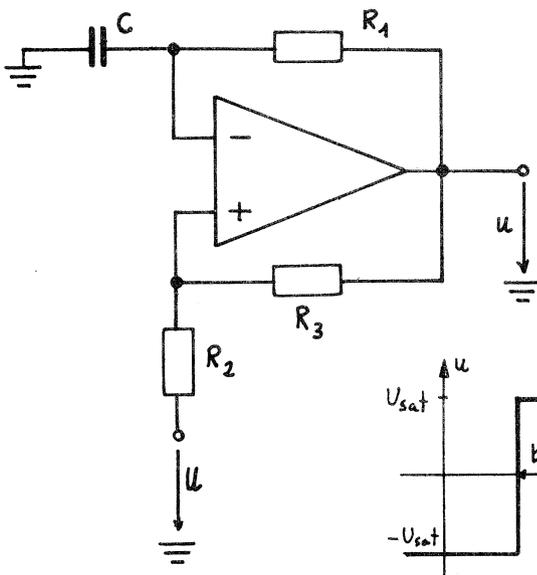
6. Générateurs de signaux:



Oscillateur à pont de Wien:

La résistance variable ajuste le niveau de sortie. Le réseau non linéaire à deux diodes assure une valeur suffisante du gain pour entretenir une oscillation à faible taux de distorsion.

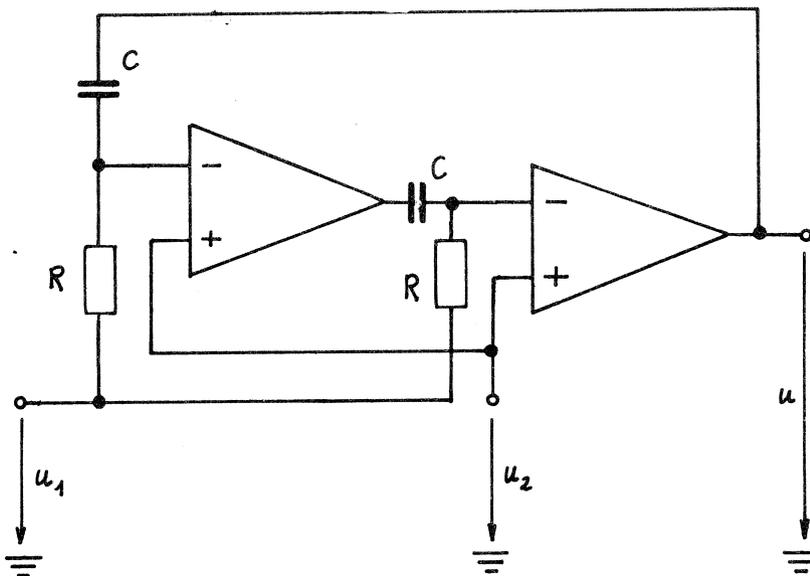
$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$



Multivibrateur astable:

$$t_1 = R_1 C \ln \left[\frac{1 + 2 \frac{R_2}{R_3} - \frac{U}{U_{sat}}}{1 - \frac{U}{U_{sat}}} \right]$$

$$t_2 = R_1 C \ln \left[\frac{1 + 2 \frac{R_2}{R_3} + \frac{U}{U_{sat}}}{1 + \frac{U}{U_{sat}}} \right]$$



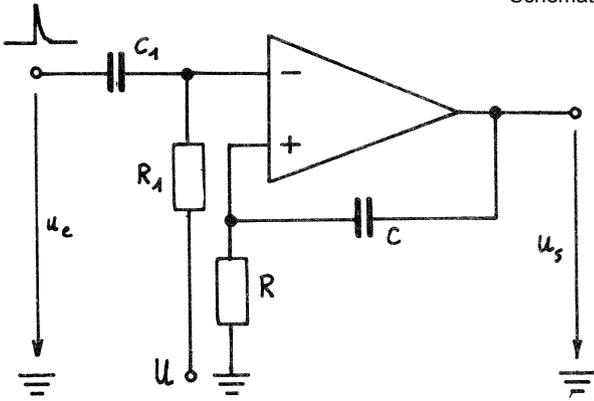
V.C.O.:

Le rapport cyclique du signal de sortie reste égal à $\frac{1}{2}$ quelles que soient les valeurs des tensions de modulation.

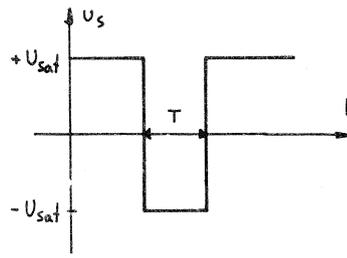
La dynamique peut s'étendre sur plus de 60 dB.

$$T = 2 R C \ln \left(2 \frac{U_{sat}}{u_1 - u_2} - 1 \right)$$

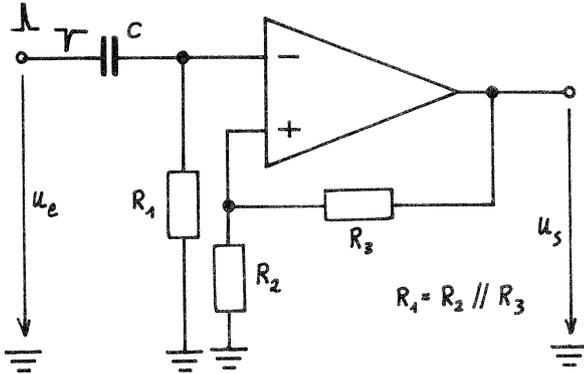
Schématèque de montages à A.O.



Montage monostable:



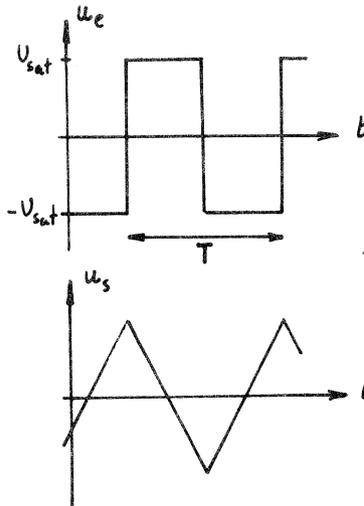
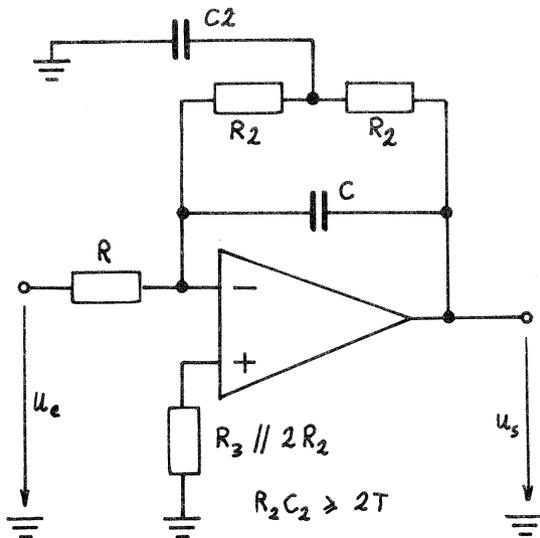
$$T = R C \ln \frac{2 U_{sat}}{U}$$



Montage bistable:

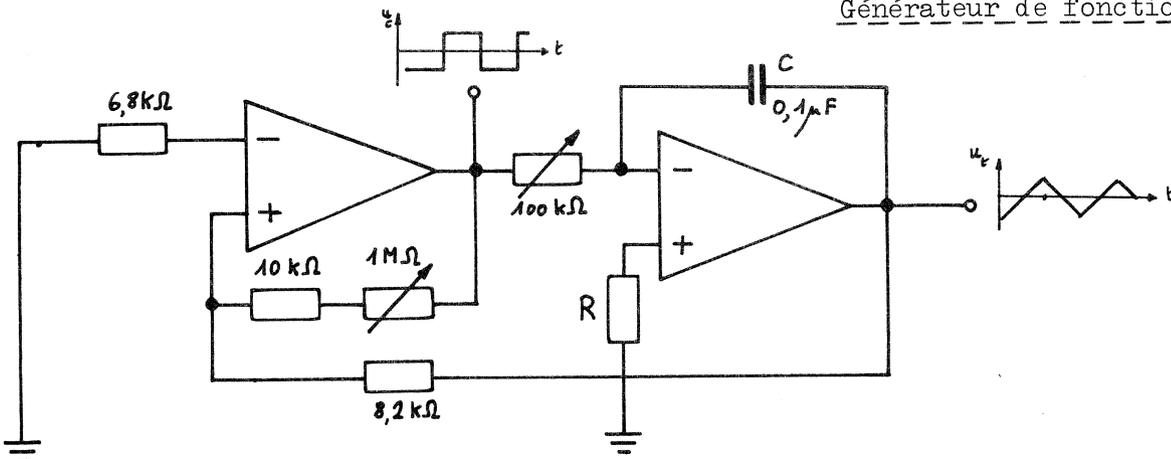
Dans tous les montages où les amplificateurs opérationnels fonctionnent en régime saturé (astable, monostable, bistable, ...), on devra veiller à ne jamais dépasser la tension différentielle d'entrée maximale.

Générateur de dents de scie:



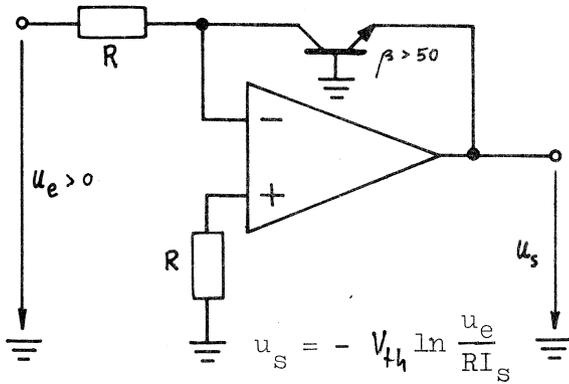
$$u_s \text{ p-p} = U_{sat} \frac{T}{2RC}$$

Générateur de fonctions:

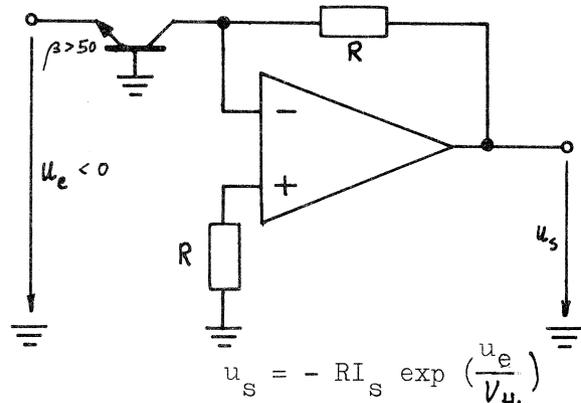


7. Dispositifs non linéaires:

Convertisseur logarithmique:

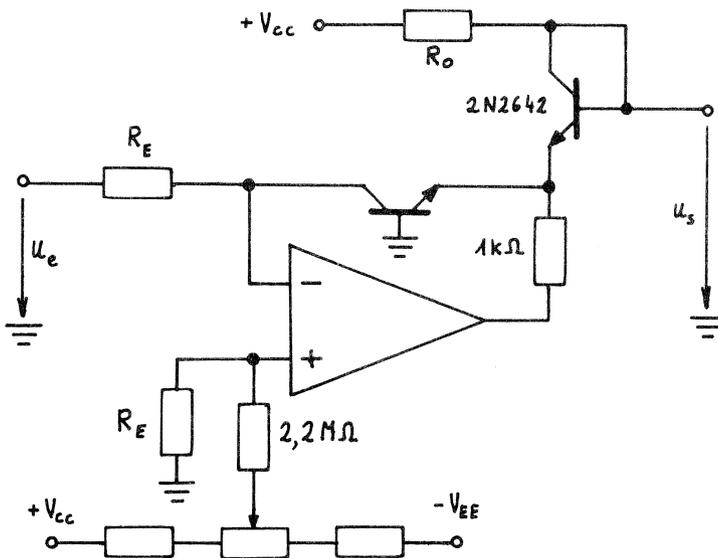


Convertisseur exponentiel:



$$V_{th} \approx \frac{kT}{q} \approx 30 \text{ mV à } T = 300^\circ \text{K}$$

Convertisseur logarithmique compensé:

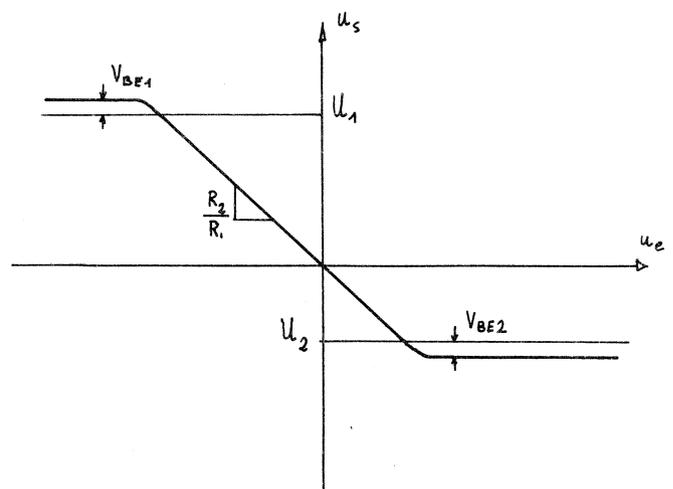
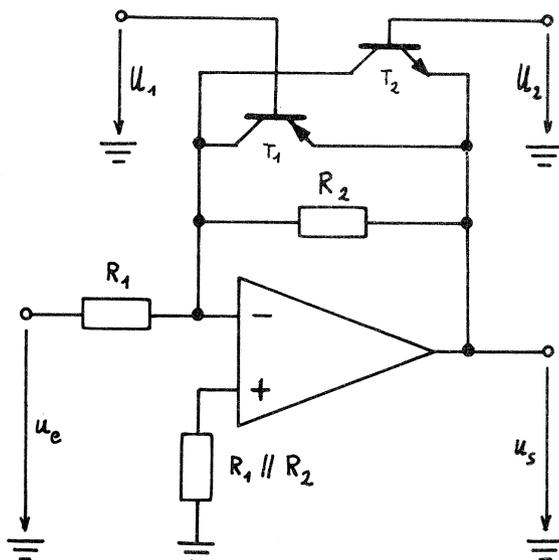


$$u_s = -V_{th} \ln \frac{R_O}{R_E + V_{CC}} \frac{u_e}{R_E}$$

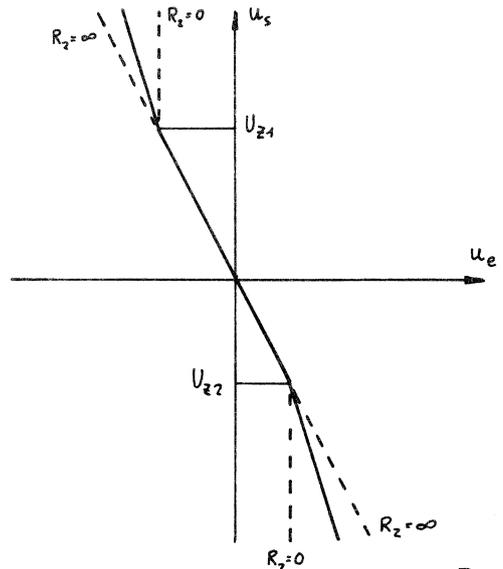
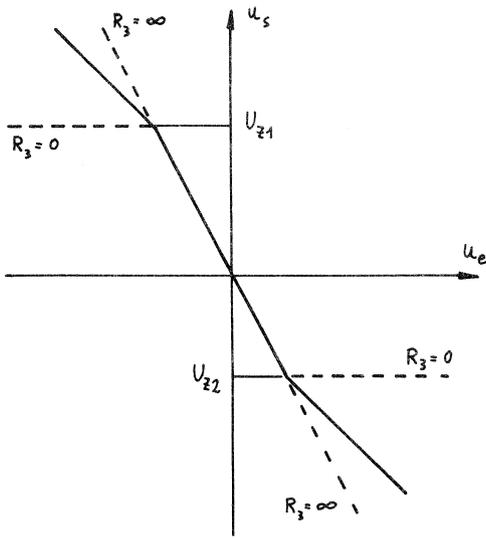
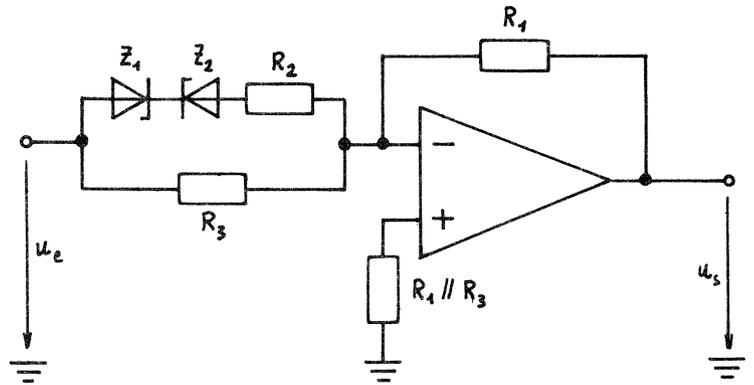
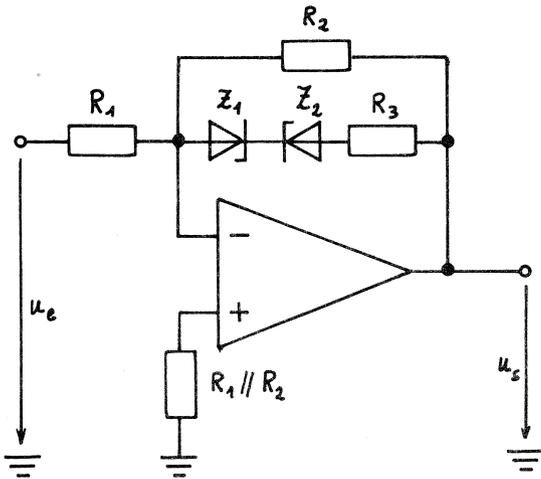
Le montage peut fonctionner sur une centaine de dB à température T constante avec une précision de l'ordre de 0,5 dB.

Le potentiomètre ajuste la caractéristique logarithmique dans les faibles valeurs de u_e .

Limiteur à seuil variable:



Générateurs de fonction à diodes zéner:



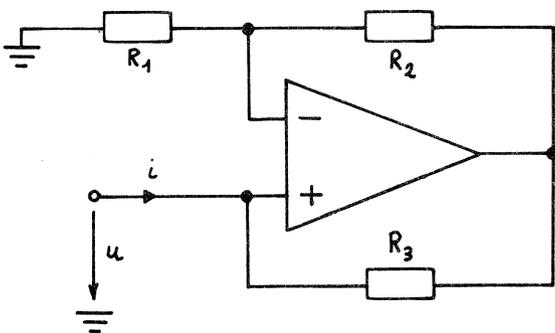
$$U_{Z1} > u_e > U_{Z2} \longrightarrow u_s = -u_e \frac{R_2}{R_1}$$

$$u_e > U_{Z1} \text{ ou } u_e < U_{Z2} \longrightarrow u_s = -u_e \frac{R_2 // R_3}{R_1}$$

$$U_{Z1} > u_e > U_{Z2} \longrightarrow u_s = -u_e \frac{R_1}{R_3}$$

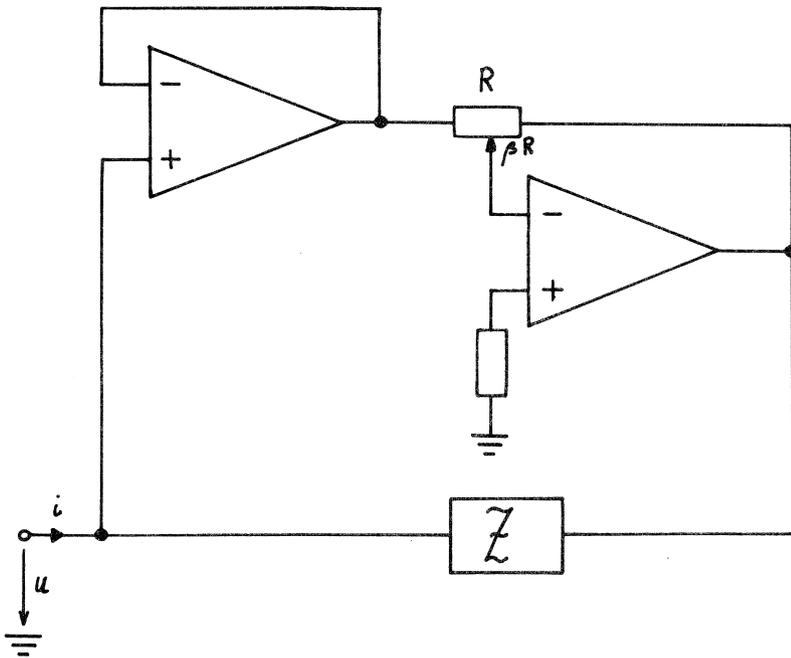
$$u_e > U_{Z1} \text{ ou } u_e < U_{Z2} \longrightarrow u_s = -u_e \frac{R_1}{R_2 // R_3}$$

8. Montages divers:



Convertisseur d'impédance négative:

$$Z = \frac{u}{i} = -R_3 \frac{R_1}{R_2}$$



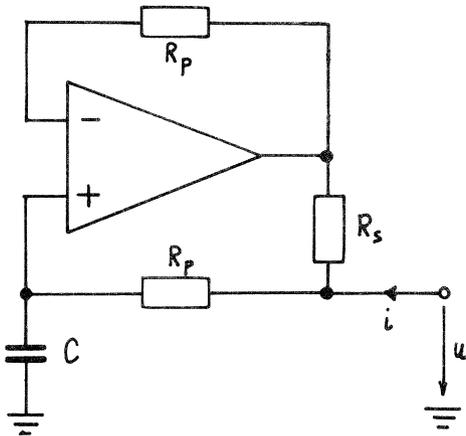
Diviseur d'impédance:

$$\frac{u}{i} = Z (1 - \beta)$$

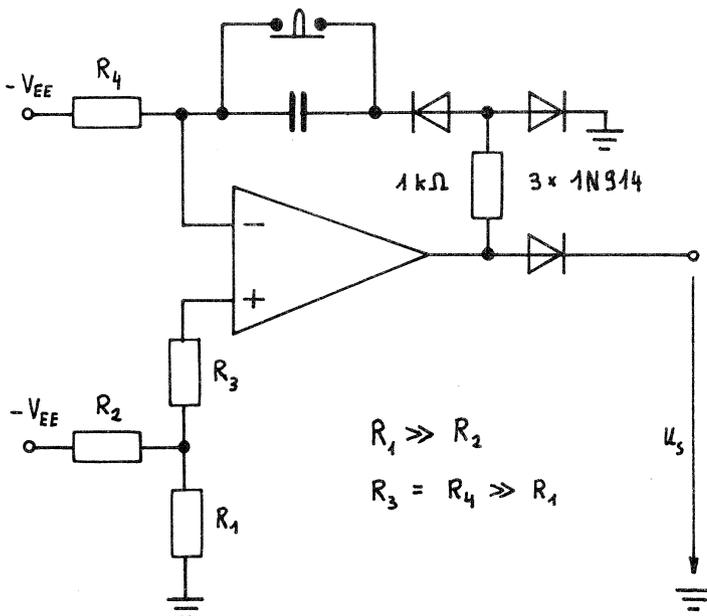
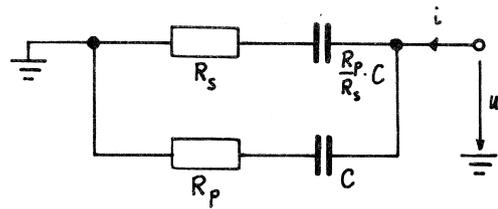
Multiplicateur de capacité:

Lorsque $R_p \gg R_s$, le réseau est équivalent à une capacité $C' = C \cdot R_p / R_s$.

Ce montage permet d'obtenir des capacités C' jusqu'à $100\ 000\ \mu\text{F} = 0,1\ \text{F}$.



\equiv



$$R_1 \gg R_2$$

$$R_3 = R_4 \gg R_1$$

Temporisateur de longue durée:

