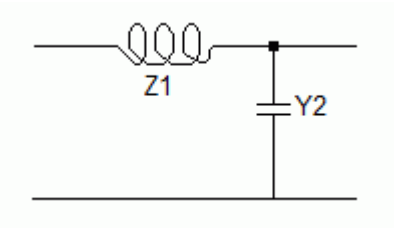
Electronique analogique

Filtres passifs

La fonction de transfert donne le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée, suivant la fréquence.

Soit le filtre suivant :



Vs = Z2.I avec I = Ve / (Z1+Z2) donc T = Vs/Ve = Z2/(Z1+Z2) = 1/(1+Z1Y2)

<u>Application</u> : T = 1/[1+(jwL)(jwC)] = 1/[1+(jw)²LC] avec j² = – 1

A vide, pour LCw² = 1, le courant et la tension de sortie sont infinis !!

Adaptation d'impédance :

Soit un générateur de tension composé :
- d'une source de tension parfaite (E)
- d'une impédance série (Zg = Rg + jXg)

Il est branché sur une charge d'impédance Zch = Rch + jXch

La puissance dans la charge sera maximale pour :
- Rch = Rg
- Xch = – Xg

Zch et Zg sont des impédances conjuguées.

Supposons que Zg et Zch sont des résistances :

- Si Rch > Rg, le filtre ci dessus servira à augmenter la tension

Z = jwL + 1/(Gch + jwC) = jwL + [Gch – jwC]/[Gch² + (Cw)²]

L'adaptation est faite pour Z = Rg :
Gch/[Gch²+(Cw)²] = Rg donc Gch.Gg = [Gch²+(Cw)²] donc (Cw)² = Gch[Gg – Gch]
Lw – Cw/[Gch²+(Cw)²] = 0 donc Lw = Cw/(Gch.Gg) donc Lw = Rg.Rch.Cw

Pour Rch >> Rg :
Cw = √(Gch.Gg)
Lw = √(Rch.Rg)
(On retrouve bien LCw² = 1)

- Si Rch < Rg, placer la capacité avant la self pour augmenter le courant.

De façon générale, on met les condensateurs à la masse pour éviter les harmoniques,
les basses impédances (50Ω) en série avec les selfs (filtres en T),
les hautes impédances en parallèle avec les condensateurs (filtres en Π).

Un transformateur (ou circuit passif) de rapport 1/n, permet de multiplier l'impédance par n².

Gain :

$H = (1+jw\tau 1) / (1+jw\tau 2)$ donne $|H|$ le module de H avec $|H|^2 = [1^2 + (w\tau 1)^2] / [1^2 + (w\tau 2)^2]$
Le gain en décibel exprime le rapport de puissance : $G = 10 \log (Ps/Pe)$
donc $G = 10 \log (|H|^2)$. Comme $\log ab = \log a + \log b$, $G = 20 \log |H|$.

Fréquence de coupure :

C'est une fréquence pour laquelle, la puissance potentielle de la sortie est divisée par 2.
Donc la tension est divisée par $\sqrt{2}$. Le gain est alors de – 3dB.

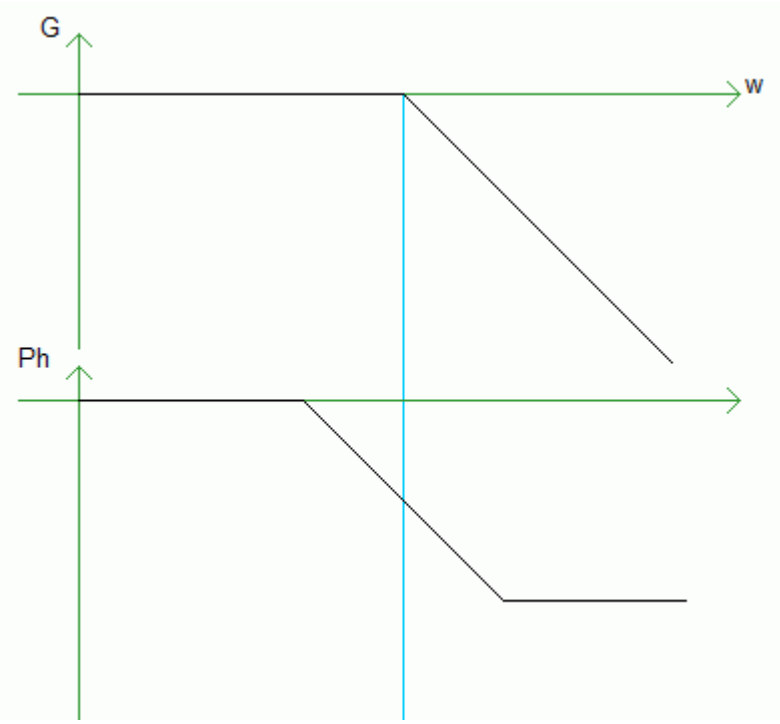
Soit un passe bas du 1er ordre : $H = 1/(1+jwRC)$
A la fréquence de coupure $|1+jwRC| = \sqrt{2}$ donc $1^2 + (RCw)^2 = 2$ donc $RCw = 1$.
Ce qui donne $Fc = 1/(2\pi RC)$. A la fréquence de coupure, le déphasage est de – 45°.

Diagrammes de Bode :

Dans l'exemple précédant, deux cas se présentent :

- $RCw << 1$ ce qui donne $H = 1$
- $RCw >> 1$ ce qui donne $H = 1/(jwRC)$ donc – 20dB par décade et un retard de 90°

Pour tracer le déphasage $Arg(H) = \arctan (w\tau 1) - \arctan (w\tau 2)$, on prend les valeurs $\omega o/10$ et $10\omega o$.
Ce qui donne les diagrammes suivants :



Pour tracer les diagrammes d'un système plus complexe, on le décompose en systèmes simples, et on trace les diagrammes de la fréquence de coupure la plus basse à la plus élevée, puis on additionne les gains ou les phases, au fur et à mesure.

Passe bas du 2ème ordre : $H = Ho/[1+2mj\omega/\omega o+(j\omega/\omega o)^2]$ (optimal pour m=0,7 en sinusoïdal).

Passe haut du 2ème ordre : $H = Ho(j\omega/\omega o)^2/[1+2mj\omega/\omega o+(j\omega/\omega o)^2]$

Passe bande : $H = Ho.2m(j\omega/\omega o)/[1+2mj\omega/\omega o+(j\omega/\omega o)^2]$ ou $H = Ho / [1+jQ(\omega/\omega o - \omega o/\omega)]$ avec $Q=1/(2m)$
Pour $m<<1$, $\omega c = \omega o (1 \pm m)$ donc bande passante $= 2m\omega o$.

Théorèmes de Thévenin et de Norton :

Une batterie (générateur de tension imparfait) peut être modélisée par :
- une source de tension parfaite (E)
- une impédance série (Zg = Rg + jXg)

C'est le modèle de Thévenin. On peut supprimer ce qui est en parallèle avec une source de tension idéale.

La tension de sortie d'un assemblage d'éléments linéaires vaut U = E – Zg.I E étant la tension à vide.

Cette équation peut s'écrire Zg.I = E – U ou I = Yg.E – Yg.U avec Yg = 1/Zg
Elle se schématise par :
- une source de courant parfaite (Io = Yg.E)
- une admittance parallèle Yg

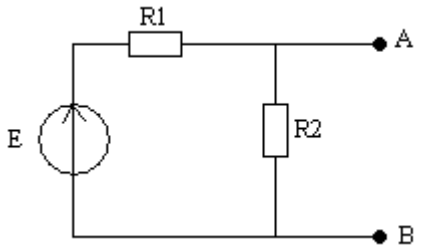
C'est le modèle de Norton. On remplace par un fil ce qui est en série avec une source de courant idéale.
En court-circuit U = 0 donc Icc = Io (car le courant prend le chemin le plus facile).

L'impédance est la même pour Thévenin et Norton :
On peut donc passer aisément de Thévenin à Norton et vice-versa, dans le but de regrouper des dipôles.

Pour mesurer (ou calculer) Zg, on éteint tous les générateurs indépendants :
E = 0 pour toutes les sources de tension indépendantes (On remplace E par un fil).
Io = 0 pour toutes les sources de courant indépendantes (On les efface).

<u>Exemple :</u>

E = 1000V, R1 = 1M et R2 = 1K



Vth = E.R2 / [R1+R2] ≈ 1V

E = 0 ⇒ Gth = G1+G2 = 1/R1 + 1/R2 = (R2+R1) / (R1R2) ⇒ Rth = R1R2 / (R1+R2) ≈ 1K

Ce qui donne bien dans les deux cas, un courant de court-circuit de 1mA !

<u>Sources liées :</u>

Ex : E = kU. Ne jamais éteindre une source liée.
On peut injecter U dans le générateur passivé et calculer I : Zth = U/I !!

On peut également calculer le courant de court-circuit d'un Thévenin, ou la tension à vide d'un Norton.
Avec l'exemple ci-dessus : Vab = 0 ⇒ Icc = E / R1 ⇒ Rth = Vth / Icc = R1R2 / (R1+R2)

Théorème de Millman :

Soient N générateurs de thévenin connectés en parallèle.
La somme des courants, en court-circuit vaut Y1.E1 + Y2E2 + Y3E3 …
La somme des admittances vaut Y1 + Y2 + Y3 …
Donc la tension de sortie vaut V = ∑YiEi / ∑Yi

On peut aussi dire : Ii = Yi(Ei – V) et ∑ Ii = 0 donc ∑ Yi (Ei – V) = 0 donc V.∑ Yi = ∑ YiEi

L'amplificateur opérationnel :

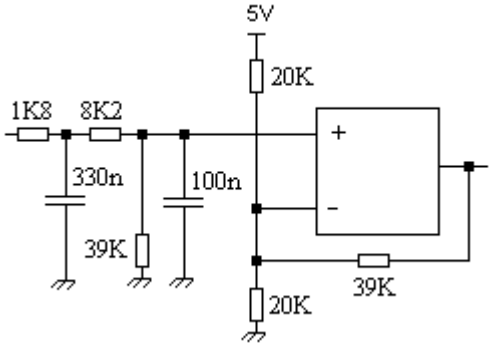
I+ = I- = 0 et Vs = K[(V+) – (V-)] avec K infini donc ΔV = 0 en régime linéaire.

Pour travailler en linéaire, il faut une contre réaction sur l'entrée –
(ou une contre réaction plus rapide sur l'entrée -, s'il existe aussi une réaction sur l'entrée +).
Si la tension de sortie est trop grande, elle va ainsi diminuer, jusqu'à V- = V+

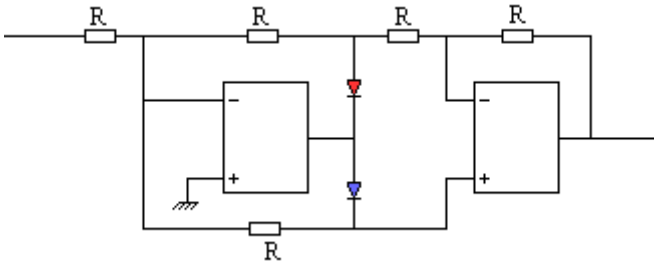
Seuls les aop « rail to rail » acceptent (et/ou peuvent fournir) n'importe quelle tension entre les alims.
L'étage d'entrée se compose d'un amplificateur différentiel et d'un miroir de courant.
La sortie est caractérisée par un dV/dt maxi (slew rate), qui limite l'amplitude et/ou la fréquence.

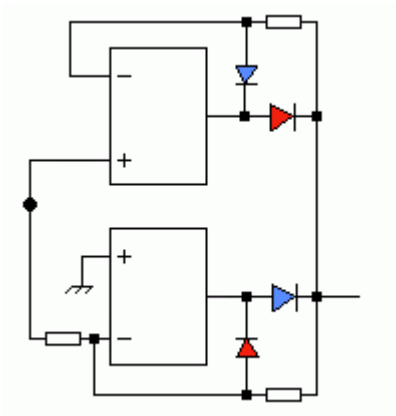
Montage avec masse virtuelle

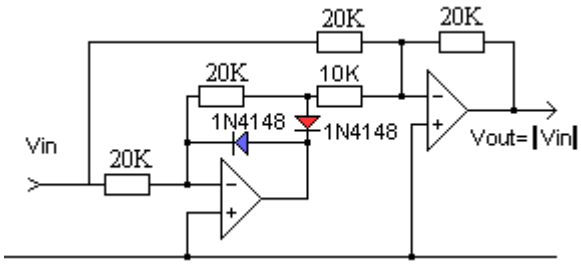
Vs = 4 (Ve – 2,5), pour convertir un signal PWM 0/5V 10KHz en un signal de –10 à +10V en 4ms :



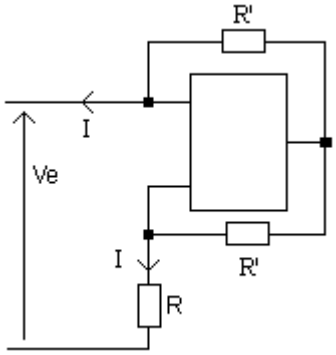
Redresseurs sans seuil :





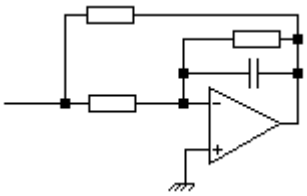


Résistance négative :



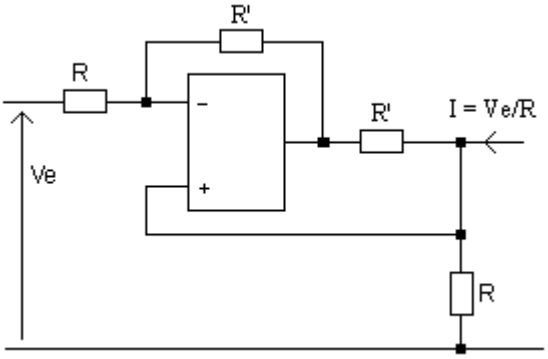
Le schéma parle de lui même. E+ en haut si source de tension. E- en haut si source de courant.

Gyrateur :

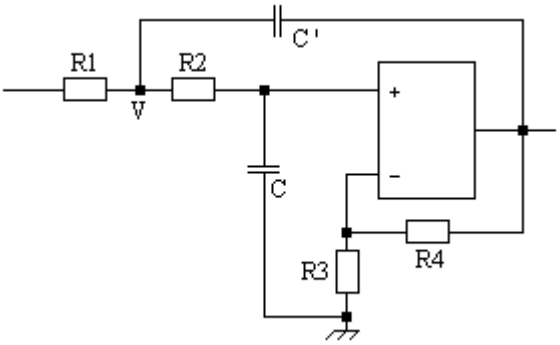


Ce montage est équivalent à une inductance imparfaite.
La résistance en parallèle avec la capacité évite le plafonnement de la sortie si le système n'est pas bouclé.

Source de courant :



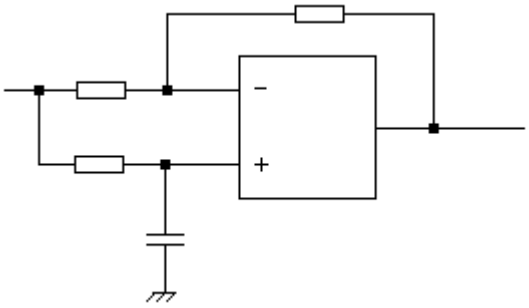
Sallen-Key :



- Millman : G1Ve + G2(V+) + jwC'Vs = V(G1+G2+jwC')
- Remplacer V par (V+)(1+jwR2C)
- Mettre V+ en facteur
- Remplacer V+ par Vs.R3/(R3+R4)
- Mettre Vs en facteur

T = (1+R4/R3) / {1+jw[(R1+R2)C – (R1R4/R3)C']+(jw)²R1R2CC'}

Déphaseur :

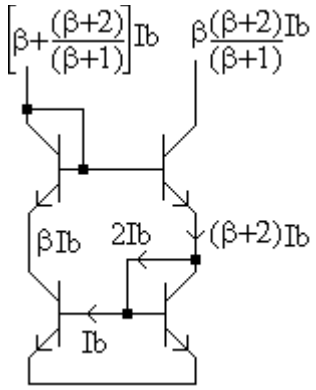


T = (1-jwRC) / (1+jwRC) donc gain unité et retard de 2 arctan (RCw).

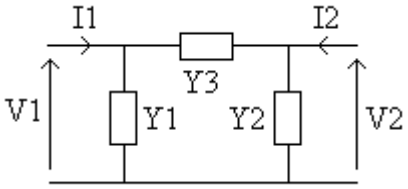
Impédances des condensateurs

C \ F	10	100	1K	10K	100K	1M	10M	100M	1G
10m	1,6	0,16							
1000µ	16	1,6	0,16						
100µ	160	16	1,6	0,16					
10µ	1600	160	16	1,6	0,16				
1µ	16K	1600	160	16	1,6	0,16			
100n	160K	16K	1600	160	16	1,6	0,16		
10n		160K	16K	1600	160	16	1,6	0,16	
1n			160K	16K	1600	160	16	1,6	0,16
100p				160K	16K	1600	160	16	1,6
10p					160K	16K	1600	160	16
1p						160K	16K	1600	160

Miroir de courant :



Quadripôles

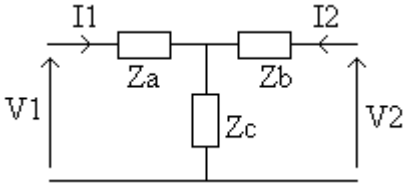


I1 = Y1.V1 + Y3(V1 – V2)
I2 = Y2.V2 + Y3(V2 – V1)

Donc :

I1 = (Y1+Y3)V1 – Y3.V2
I2 = –Y3.V1 + (Y2+Y3)V2

Ces quatre paramètres définissent la matrice admittance. Il existe aussi la matrice impédance. Exemple :



V1 = Za.I1 + Zc(I1+I2)
V2 = Zb.I2 + Zc(I1+I2)

Donc :

V1 = (Za+Zc)I1 + Zc.I2
V2 = Zc.I1 + (Zb+Zc)I2

Modulation

Mélangeurs :

Ils servent à soustraire 2 fréquences. Par multiplication et filtrage : 2cos a . cos b = cos (a-b) + cos (a+b).

Il existe le MC1496 :
- entrée petit signal à gain imprécis et quasi insensible au courant de polarisation Io
- entrée petit signal (gain proportionnel à Io) ou grand signal (gain fixé par résistance externe).

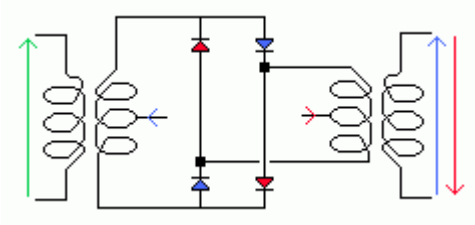
Dans le cas d'un récepteur radio, çà permet d'avoir une fréquence constante
(FI = 10,7MHz ou 455 kHz), plus faible que la fréquence de réception (PO ou FM),
permettant d'avoir une bande passante très étroite et constante, pour avoir le maximum de stations.

F = Fo ± FI, donc une des 2 fréquences (fréquence image) est à éliminer avant le mélangeur.

Il existe néanmoins des mélangeurs sans fréquence image (ex MAX2420) :
sin ωt . sin ωot donne cos (ω-ωo)t qui donne sin |ω-ωo|t en retardant de 90°
sin ωt . cos ωot donne sin (ω-ωo)t
Il ne reste plus qu'à ajouter ou soustraire pour obtenir uniquement la fréquence souhaitée.

Il existe d'autres mélangeurs (non linéaires), comme le Mos double grille...

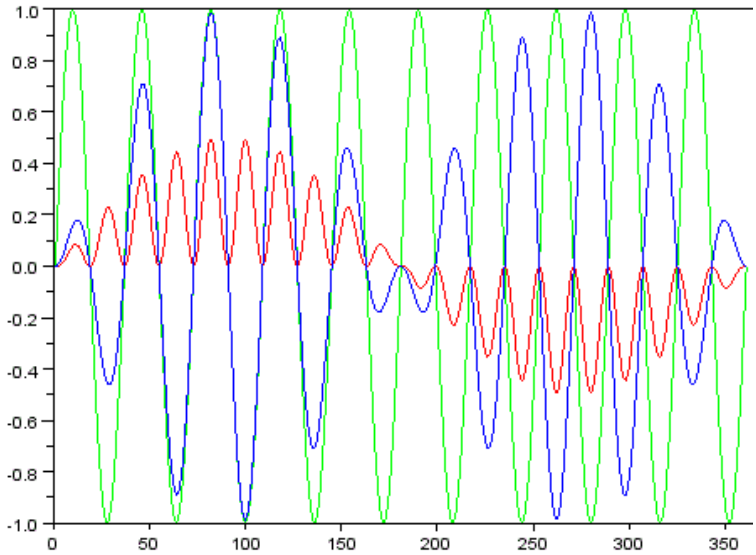
Modulateur en anneau



Un courant de polarisation, permet de récupérer la tension d'entrée, ou son opposée. (ex transfo : 78615/2C).
Le sens instantané de la tension de sortie, obéit donc à la règle des signes, comme pour une multiplication.
Un simple filtrage permet de récupérer un signal propre...

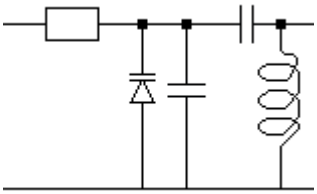
Transmission AM sans porteuse

Il existe la modulation AM sans porteuse (multiplication 4 cadrans), avec la démodulation cohérente.
La porteuse peut alors être reconstituée par mise au carré, filtrage+PLL (fréquence double) et une bascule T.

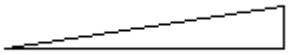


Transmission FM

On fait varier la fréquence d'un signal MF, au rythme du signal BF, grâce à une diode varicap,

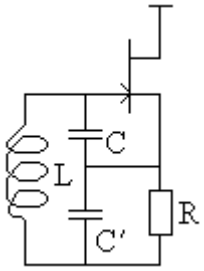


ou grâce au modulateur d'Armstrong : on intègre le signal puis on fait varier la phase de la porteuse, en additionnant un faible signal en quadrature (l'amplitude sera donc considérée comme constante):



A la réception, on peut démoduler par une boucle à verrouillage de phase ou un discriminateur à quadrature : Un filtre RLC déphase le signal de 90°. A la fréquence centrale, on a 90° pile et la valeur moyenne de sin x cos est nulle. Si la fréquence augmente un peu, on a 89 ou 91°, donc on aura une valeur moyenne...

Oscillateurs sinusoïdaux :



Ampli (ici à Mosfet à appauvrissement ou J-fet) + Filtre (ex pont de Wien en BF).

Il s'agit de compenser les pertes par un apport de puissance :
U et I en sens contraire, comme lors de la charge d'une batterie !

Au niveau calculatoire, en boucle ouverte la sortie doit être en phase avec l'entrée, avec un gain légèrement supérieur à 1. A ce moment là, si on ferme la boucle çà oscille !!

L'exemple ci dessus (Clapp) donne :

G.Vs = g.Vgs
C.Vgs = C'.Ve
G.Vs = g.Ve.C'/C
Vs = Ve $\Rightarrow$ G.C = g.C'

Il s'agit du seuil de fonctionnement pour des composants parfaits. En fait il faut prévoir une petite marge... On peut s'aider d'un schéma équivalent dynamique en boucle ouverte (on ignore les composantes continues). La condition des 180° n'est pas négociable. Testé en 3V avec un LND150, R=1K et C'=1,4C.

CEM

Alim découplée. Effet réducteur : Le courant doit circuler dans la masse pour compenser le flux magnétique. Donc masse ininterrompue reliée en amont et en aval, le plus proche possible des conducteurs critiques. Masse = retour d'alim et référence des signaux. Impédance plus faible pour le retour. Séparer alim et signaux.