Électronique :

- Le Classeur -

Version : 0.26 du 2 Mai 2k10

Préface :

Après les cours de français et d'histoire, **amoweb.fr** vous présente les cours d'électronique-physique. Ils sont prévus pour vous permettre de réviser (presque) librement, puisqu'ils sont distribués sous **GNU Free Documentation License**, si elle n'est pas distribuée avec ce fichier vous pouvez la lire sur le site gnu.org (voir l'URL plus haut).
Ce document ne contient aucunes erreurs, c'est une blague ! Mais grâce à vous, cela peut devenir une réalité ! Si vous trouvez des fautes dans mes cours, merci de me les signaler. Ils est conseillé d'imprimer ces cours sur du papier recyclé ou de récupération (anciens cahiers).
D'autres cours et fiches de révisions sont disponibles sur http://cours.amoweb.fr .

Bonne révisions !

Table des Matières

Le Courant Électrique

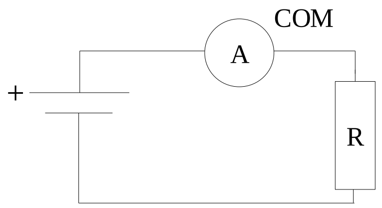
Le courant électrique résulte d'un déplacement d'électrons.

I. L'INTENSITÉ DU COURANT CONTINU :

Le courant électrique (noté *I*) est la quantité de charge électrique qui parcourt un fil en une seconde.

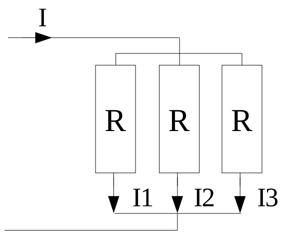
$I = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$ *Q* étant en coulomb et *T* en seconde

Pour mesurer cette grandeur on utilise un ampèremètre DC en série dans le montage:



II. LOI DES NŒUDS :

La somme des intensités de courants entrants dans un nœud est égale à la somme des intensités des courants sortants.



$$I = I1 + I2 + I3$$

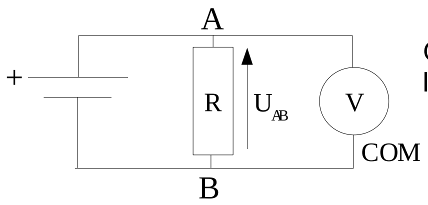
La Tension

I. LE POTENTIEL :

Si on veut représenter le fonctionnement de la tension, le modèle le plus simple est celui de l'eau. Elle coule uniquement du haut vers le bas. C'est-à-dire que l'eau part d'une altitude élevée pour se retrouver à l'altitude la plus basse (souvent le niveau de la mer, voir en dessous).
Le **potentiel** en un point peut être comparé à l'altitude par rapport à la mer (la masse du générateur). Il se mesure en **Volt** (v).

II. LA TENSION :

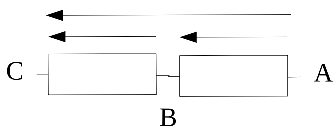
La **tension** (U en volt) ou **potentiel** aux bornes d'un circuit ou d'un composant, est la **différence de potentiels** entre ses bornes.



On note U_{AB} différence de potentiels entre le potentiel en A (V_A) et le potentiel en B (V_B). Cette valeur peut être négative.

$$UAB = VA - VB$$

III. LOI D'ADDITIVITÉ :

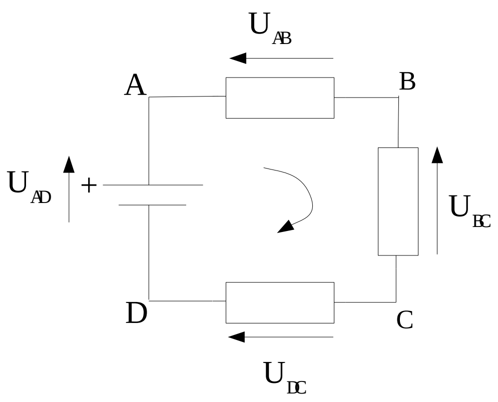


Dans un circuit la tension aux bornes d'un ensemble de dipôles en série est égale à la somme des tensions aux bornes des dipôles qui le compose.

$$UCA = UCB + UBA$$

IV. LOI DES MAILLES :

La somme algébrique des tensions aux bornes des dipôles d'une maille est nulle.



Cette loi permet de trouver une tension dans une maille lorsqu'on connais toutes les autres.
Par exemple ici on veut trouver la tension U_{AB}. On commence par définir un sens de rotation (ici le sens des aiguilles d'une montre). Ensuite on fait la somme en utilisant un signe moins quand la flèche va à l'encontre du sens définit.

$$+UAD - UAB - UBC + UDC = 0$$

Il suffit ensuite de résoudre l'équation pour trouver U_{AB} :

$$-UAB = UAD - UBC + UDC$$

$$UAB = -UAD + UBC - UDC$$

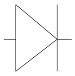
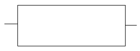
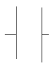
V. CONVENTIONS :

Par convention, les tensions aux bornes des récepteurs doivent être fléchés dans le sens inverse du courant. Et la tensions aux bornes du générateur doit être fléchée dans le même sens que le courant (de la borne **+** vers la borne **-**). Une autre convenions qui doit être respectée dans le schéma industrielles est celle de placer les potentiels haut et les tensions basses en bas (masse, 0v).

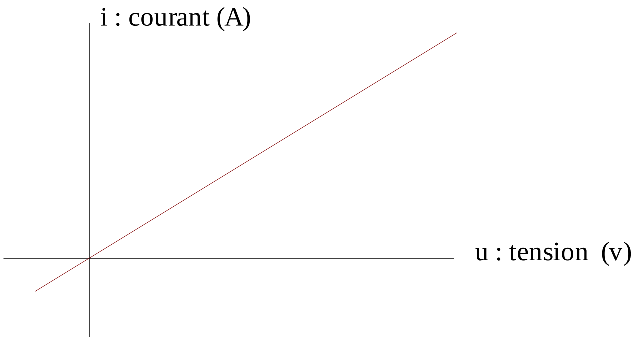
Dipôles Passifs

Un dipôle (composant à deux bornes) est dit passif s'il <u>ne produit pas d'énergie</u>.

<u>Exemples :</u>

Diodes :  Bobines :  Resistors :  Condensateurs : 

La caractéristique courant en fonction de la tension d'un Dipôle Passif passe par l'origine :



Caractéristique d'une Résistance

La caractéristique de cette résistance passe par l'origine (0V : 0A), ce qui prouve qu'il s'agit d'un dipôle passif (quand il n'est pas branché à un générateur, 0v, il ne génère pas de courant).

Cette résistance est aussi un **Dipôle Passif Linéaire** car sa caractéristique *courant=f(tension)* est une droit. Une ampoule et une diode, par exemple, ne sont pas linéaires.

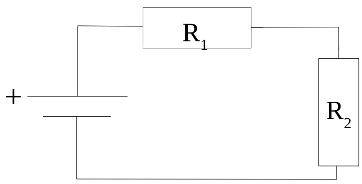
<u>I. LOI D'OHM :</u>

Reprenons la *caractéristique d'une Résistance* (au dessus), nous avons vu qu'il s'agissait d'un **Dipôle Passif Linéaire**, c'est-à-dire que son coefficient directeur est une constante. Pour un conducteur ohmique (résistance), ce coefficient directeur est appelé **valeur de la résistance**, il se mesure en Ohm (**Ω**).
D'où la formule $U=R.I$. La tension (V) est égal à l'intensité (A) multipliée par la valeur de la résistance (Ω). Il existe aussi une unité utilisée en courant alternatif : le siemens qui est l'inverse de la résistance : $G=\frac{1}{R}$.

<u>II. ASSOCIATION DE DIPÔLES PASSIFS LINÉAIRES :</u>

<u>1. En série :</u>

Des dipôles sont en série lorsqu'ils sont traversés par le même courant (il n'y a pas de nœuds).

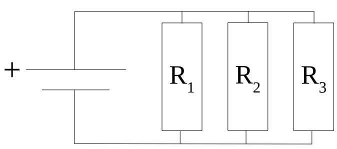


Lorsqu'on associe plusieurs résistances en série, leurs valeurs s'ajoutent. La caractéristiques de ces deux résistances serra une droite passant par l'origine. La résistance équivalente d'une association série est :

$$Req=R1+R2...+Rn$$.

<u>2. En parallèle :</u>

Des dipôles sont en parallèles lorsqu'ils sont soumis à la même tension.



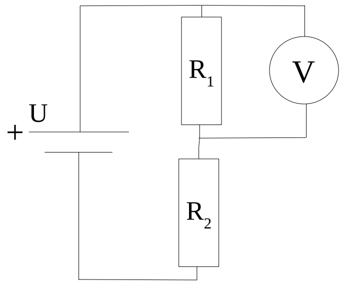
Lorsqu'on associe plusieurs résistances en parallèles, leur conductance s'ajoutent. La caractéristique des ses deux résistance serra aussi une droite passant par l'origine.

Rappelons que la conductance est l'inverse de la résistance : $G = \frac{1}{R}$ d'où la formule :

$$Geq = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + ... + \frac{1}{Rn}$$.

3. Diviseur de tension :

Un diviseur de tension permet de calculer la tension aux bornes d'une résistance en série avec d'autres résistances.

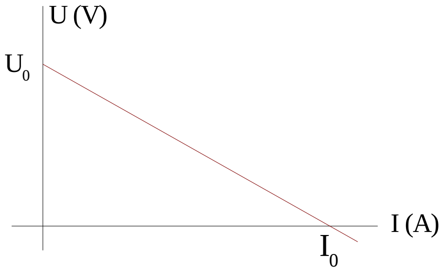


La tension aux bornes d'une résistance étant proportionnelle à sa valeur on a donc la formule :

$$U1 = U \cdot \frac{R1}{(R1 + R2 + ... + Rn)}$$

Dipôles Actifs

Un dipôle actif consomme ou fournit de l'énergie (électrique, mais aussi mécanique, lumineuse, thermique...). On peu donc le considéré comme un convertisseur d'énergie. Sa caractéristique ne passe pas par l'origine.

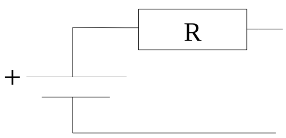


Caractéristique d'un DAL.

Ici il s'agit de la caractéristique tension en fonction du courant d'une pile : c'est un **dipôle actif linéaire**.

I. MODÈLE ÉQUIVALENT DE THÉVENIN :

On peut représenter un **dipôle actif linéaire** (dont la caractéristique est une droite : Une pile, les alimentations non stabilisées) par un **modèle équivalent de Thévenin**. Cela permet de simplifier le schéma (un générateur peut contenir plusieurs résistances et plusieurs alimentations.)



Le modèle équivalent de Thévenin est composé d'une **résistance** et d'un **générateur parfait** (qui ne comporte pas de résistance interne) auquel on peu associer une équation. Équation électrique du modèle équivalent de Thévenin : $U = U0 - R0.I$ *U_0* est la tension à vide du DAL (ordonné à l'origine) et *R_0* la résistance interne (coefficient directeur).

Nous allons vois maintenant comment trouver le **modèle équivalent de Thévenin** d'un **dipôle actif linéaire**.

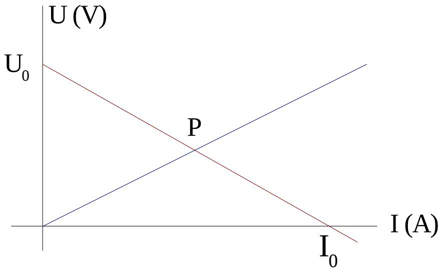
Pour trouver la tension à vide (U_0) on branche un voltmètre (résistance infinie) aux bornes du DAL.
La résistance interne du dipôle (R_0) est la coefficient directeur de la droite pour le trouver il faut mesurer un autre (ou plusieurs) point. Pour cela il faut brancher un **rhéostat** (résistance variable) à ses bornes et mesurer le courant qui y circule et la tension à ses bornes. Voir *Caractéristique d'un DAL* plus haut dans le cours.

Association de Dipôles en Régime Continu

I. ASSOCIATION DE DIPÔLES PASSIFS ET DE DIPÔLES ACTIFS :

1. Méthode graphique :

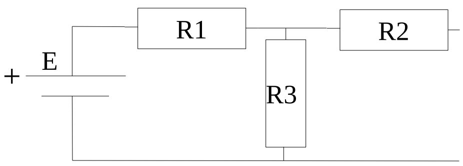
Placez sur le même graphique la caractéristique U(I) du dipôle passif et du dipôle actif.



Ces deux caractéristique se coupe en *P*, le point de fonctionnement. Il suffit de trouver les coordonnées de *P* pour obtenir la tension et le courant de fonctionnement du montage.

2. Par le calcul :

Cette méthode ne fonctionne que si tout les dipôles sont linéaires.

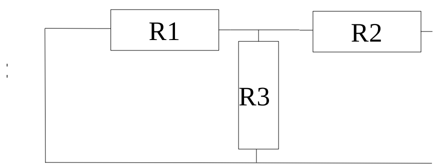


DAL

Calcul de U_0 : U_0 représente la tension à vide vu par les bornes du DAL. La résistance R2 n'était pas traversée par un courant (le DAL est à vide), la tension aux bornes du DAL se résume au diviseur de tension entre le générateur, R1 et R3 :

$$U0 = R3 . \frac{(R3 . E)}{(R1 + R3)}$$

Il faut ensuite calculer R_0 (la résistance interne), c'est la résistance vu entre les bornes du DAL lorsque le générateur de tension E est éteint (remplacé par un fil) :



DAL

On peut ensuite, très simplement, trouver la résistance interne : R1 et R3 étant en parallèle, et toutes deux en série avec R2 :

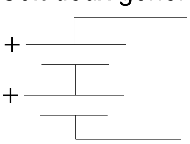
$$R0 = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R3} + R2$$

II. ASSOCIATION DE DIPÔLES ACTIFS LINÉAIRES :

1. Association en série :

On dit que les dipôles actifs sont en série quand la borne négative de l'un est connecté à la borne positive de l'autre.

Soit deux générateur en série :



La résistance interne du modèle équivalent de Thévenin vaut la somme des résistances internes des générateurs, et la tension du générateur parfait est égale à la somme des tensions des générateurs.

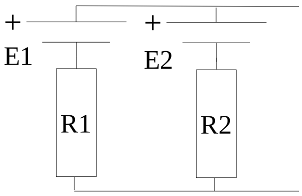
$Ueq = U1 + U2$ et $Req = R1 + R2$

2. Association en parallèle :

On dit que des dipôles sont en parallèles quand leurs bornes de mêmes signes sont reliés entre elles.

Pour calculer le modèle équivalent de Thévenin d'une association parallèle on utilise le **théorème de superposition** : *La tension résultante aux bornes de plusieurs générateurs en parallèles est égale à la somme de la tension aux bornes de chaque générateur lorsque les autres sont remplacés par des fils.*

Calcul de la tension résultante de l'association :



On calcule la tension aux bornes de ce dipôles en additionnant la tension à ses bornes lorsque le générateur E1 est éteint (remplacé par un fil) avec la tension à ses bornes lorsque le générateur E2 est éteint.
Avec un diviseur de tension on calcule la tension lorsque E1 est éteint :

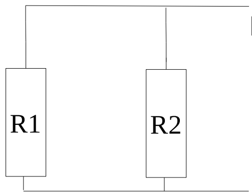
$$E2.\frac{R1}{(R1+R2)}$$

Puis lorsque E2 est éteint : $E1.\frac{R2}{(R1+R2)}$.

Maintenant on superpose les deux tensions : $Eeq=E2.\frac{R1}{(R1+R2)}+E1.\frac{R2}{(R1+R2)}$

Calcul de la résistance équivalent de l'association :

Pour calculer la résistance équivalente, on éteint les deux sources de tensions (remplacées par des fils) :

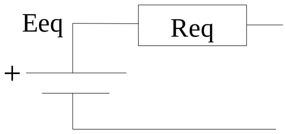


Nous avons donc deux résistances en parallèles. Le calcul est donc simple:

$$\frac{1}{Req}=\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2} \qquad Req=\frac{(R1.R2)}{(R1+R2)}$$

Conclusion :

Cette association de dipôles actifs est équivalent au Modèle Équivalent de Thévenin :



Puissance et Énergie Électrique

I. PUISSANCE ÉLECTRIQUE :

1. Expression de la puissance électrique :

On exprime la puissance échangée entre le récepteur et le générateur par la relation $P = U.I$ (*P* en Watt, *U* en Volt et *I* en Ampère).

Suivant la convention générateur (cf. *La Tension* : *V. CONVENTIONS*) le générateur fournit une puissance électrique supérieur ou égal à 0. Suivent la convention récepteur, le récepteur reçois une puissance supérieur à égal à 0.

2. Puissance consommé par une résistance :

Avec la convention récepteur : $P = R.I^2$ ou $P = \frac{U^2}{R}$

II. ÉNERGIE ÉLECTRIQUE :

1. Énoncé général de l'énergie électrique :

Pendant une durée Δt un dipôle D consomme en permanence une puissance constante P, il reçoit l'énergie (en Joule) : $W = P.\Delta t$ avec *P* en Watt et *Δt* en seconde.

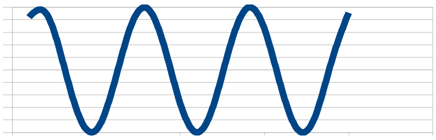
On utilise aussi comme unités d'énergie le wattheure (w.h) : 3600J

Le kilowattheure (kw.h) : 1kw.h = 3600kJ.

Les Grandeurs Périodiques :

I. DÉFINITION :

On utilise un GBF (Générateur Basse Fréquence) ou générateur de fonction pour créer un **signal périodique**, c'est-à-dire un **signal qui se reproduit identiquement à l'infini** :



Le signal (tension en fonction du temps) est visualisé (souvent avec un Oscilloscope) est une **suite de motifs identiques**.

La durée *T* (en seconde) **d'un motif d'un signal est sa période**.

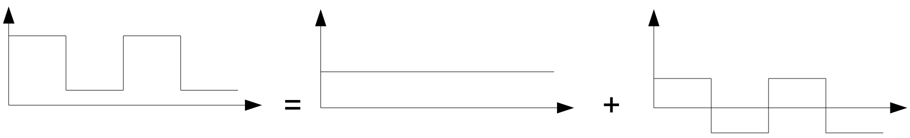
La **fréquence *f* d'un signal est le nombre de période** (cycles) que la fonction décrit **en une seconde** : $f = \frac{1}{T}$ en Hertz (Hz).

L'amplitude sont les valeurs crêtes d'un signal : la plus haute, et la plus basse.

II. VALEUR MOYENNE :

1. Décomposition d'un signal périodique :

Un **signal alternatif** a une valeur moyenne nulle. Tout signal périodiques peut être décomposé en la somme d'une composante continue, égal à sa valeur moyenne ($<u>$), et d'une composante alternative ($U_A(t)$, sa moyenne est nulle) : $u(t) = <u> + U_A(t)$.



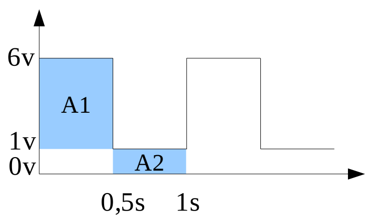
(Signal périodique) = (Composante continue) + (Composante alternative)

2. Valeur moyenne :

On mesure la valeur moyenne d'une tension à l'aide d'un **voltmètre en position DC**.

Calcul : (uniquement pour des tensions rectangulaires)

$$<u> = \frac{aire\ sous\ la\ courbe}{T}$$



On calcul l'aire totale sous la courbe :

$$A1 = 5 \times 0{,}5 \qquad A2 = 1 \times 0{,}5$$

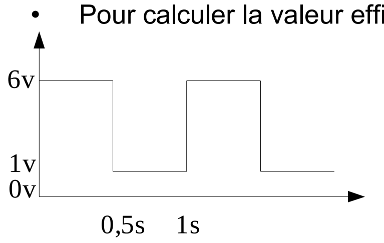
Puis on la divise par le temps total :

$$<u> = \frac{(A1 + A2)}{T} = \frac{3}{1} = 3\text{v}$$

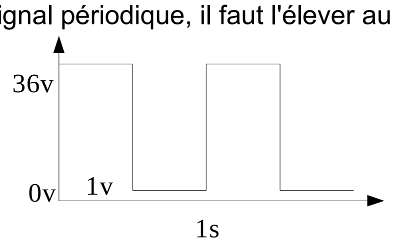
III. VALEUR EFFICACE :

On mesure la valeur efficace d'une grandeur périodique avec une **voltmètre RMS numérique en position AC + DC** (sauf pour les grandeurs sinusoïdales qui peuvent être mesurés avec un simple **voltmètre en position AC**). On appel la valeur efficace valeur **RMS** (**Root Mean Square**), c'est-à-dire la **racine carrée de la valeur moyenne du signal élevé au carrée.**

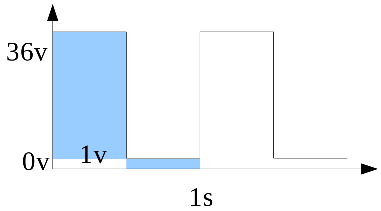
- Pour calculer la valeur efficace d'un signal périodique, il faut l'élever au carrée :



→



- Il faut ensuite calculer la valeur moyenne avec la méthode décrite précédemment :



$$a=(0{,}5.36)+(0{,}5.1)$$

$$<u^2> = \frac{a}{T}=\frac{18{,}5}{1}=18{,}5\,v$$

- Il faut maintenant faire la racine carrée de la moyenne :

$$U=\sqrt{<u^2>}=\sqrt{18{,}5}=4{,}3\,v$$

SIGNAUX SINUSOÏDAUX :

Nous allons étudier maintenant les signaux sinusoïdaux car ils sont les plus utilisées notamment parce que les signaux à la sortie des turbines (dynamo) sont sous cette forme. On peut noter que la fréquence de ces signaux correspondent aux tours par minutes de la turbine qui le génère (50Hz sur les réseaux publics français).

Leur équation est de la forme :
$\hat{U} = \sin(\omega . t + \Phi)$ Û étant la valeur maximale, ω la pulsation (en rad/s) et Φ la phase à t=0 en rad.

Sa période (fréquence) est définit par la pulsation ω, soit : $\omega = 2\pi f$
Sa moyenne est nulle : <u> = 0v, il s'agit donc d'une grandeur alternative.

Nous allons voir maintenant comment faire des calcules (loi des nœud, mailles, loi d'ohm...) avec des signaux sinusoïdaux **de même fréquence**.

I. REPRÉSENTATION COMPLEXE :

La grandeur alternative (tension ou courant) peut être représentée sous une forme complexe dite algébrique : $\underline{U}$ = *[U ; Φ]* *U* (ou une autre lettre MAJUSCULE) représente la **valeur efficace** de la grandeur (soit $U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$) et *Φ* sa phase à l'origine (à t=0).

1. Passage de la forme trigonométrique en forme algébrique :

De la forme : $\underline{U}$ = *[U ; Φ]*
En la forme *: a + jb*
Partie réelle : *a = U. cos(Φ)*
Partie imaginaire : *b = U. sin(Φ)*

La formule est donc : $U.cos(\Phi) + j.U.sin(\Phi)$ (j² = -1, c'est la partie imaginaire équivalence au i en mathématique).

2. Passage de la forme algébrique en forme trigonométrique :

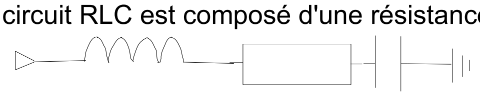
De la forme *: a + jb*
En la forme : $\underline{U}$ = *[U ; Φ]*
Le module : $U = \sqrt{a^2 + b^2}$
L'argument : $\Phi = arc\tan(\frac{b}{a})$

Une fois la grandeur sous cette forme, les formules sont les mêmes qu'en régime courant continu.

II. CIRCUITS EN RÉGIME SINUSOÏDALE :

1. Impédance complexe des dipôles principaux :

Un circuit RLC est composé d'une résistance, d'une bobine et d'une condensateur :



Ce tableau donne l'impédance complexe pour les dipôles élémentaires :
R : résistance en Ohm; *L* : inductance en Henry; C : capacité en Farad; ω : pulsation

Composant	Forme trigonométrique	Forme algébrique
Résistance	$[R;0]$	R

Bobine	$\left[L\omega ; +\frac{\pi}{2}\right]$	$0+jL\omega$
Condensateur	$\left[\frac{1}{C\omega} ; -\frac{\pi}{2}\right]$	$0+\frac{-j}{C\omega}$

On peut ainsi calculer facilement l'impédance d'un circuit avec deux règles simples :

- Les impédances des composants en série s'additionnent
- On fais l'inverse de la somme des impédances (les admittances) des composants en parallèles.

Pour un circuit RLC en série l'impédance complexe est donc : $R+j\left(Lw-\frac{1}{C\omega}\right)$

et en parallèles : $\frac{1}{R}+j\left(C\omega-\frac{1}{C}\omega\right)$.

L'impédance peut être comparé à la résistance en courant continu et peut être trouvée par la relation : $\underline{U} = \underline{Z}.\underline{I}$

soit $\underline{Z}$ = $\left[\frac{U}{I} ; \varphi u/i\right]$: le module est le quotient de U par I et l'argument est le décalage de la tension par rapport à i en rad/s.

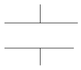
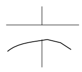
2. Fréquence de résonance :

On parle de fréquence de résonance lorsque l'effet de la bobine et du condensateur s'annule. À cette fréquence le courant et la tension sont *en phase*, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de décalage entre eux.

Fréquence de résonance pour L et C en série : $f0=\frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})}$. Il est très facile de retrouver cette formule avec l'équation $Lw-\frac{1}{C\omega}=0$.

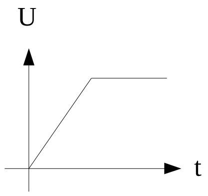
Le Condensateur :

Un condensateur est formé de deux surfaces conductrices, appelées *armatures*, séparées par un *diélectrique* ou *isolant*.

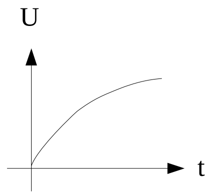
Non polarisé  et polarisé 

I. CHARGE ET DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR :

Condensateur chargé à 100% : courant nul en charge.
Condensateur chargé à 0% : courant nul en décharge.



Charge d'un condensateur à courant constant



Charge d'un condensateur sous tension constante

La quantité d'électricité (charge) reçu par le condensateur proportionnelle à la tension à ses bornes. Le coefficient de proportionnalité s'appelle capacité elle est notée C.

$Q(t)=C.Uc(t)$ avec Q en coulomb, C en Farad et Uc en volt.

Soit la constante de temps $\tau=R.C$ (R étant en série avec le condensateur).
À 5τ, le condensateur est chargé à 99% et à τ il est chargé à 63%.

Équation de la charge : $Uc(t)=E.\exp(-t/\tau)$
Équation de la décharge : $Uc(t)=E.1-\exp(-t/\tau)$
On considère le condensateur comme chargé à $t=5\tau$.

Temps de charge :

$$t1=\tau.\ln\left(\frac{(\lim_{t\to\infty} Uc)-(\lim_{t\to t0} Uc)}{(\lim_{t\to\infty} Uc)-(\lim_{t\to t1} Uc)}\right)=\tau.\ln\left(\frac{Ucmax-Uct0}{Uc\,max-Uct1}\right)$$

Cette formule nous permet de calculer le temps de charge (sous tension contante) entre la tension au moment t0 et celle au moment t1. On peut noter qu'il n'y a jamais de discontinuité dans la tension d'un condensateur c'est-à-dire que le condensateur met un certain temps pour se charger ou se décharger, il passe ainsi par toutes les valeurs de tension entre 0 et sa charge complète. Pour calculer les temps de charge il faut ainsi utiliser les limites :

On prend la tension maximale : $Ucmax=\lim_{t\to\infty} Uc$ c'est à dire la tension quand le transistor a été chargé un temps infini (très grand). $Uct0=\lim_{t\to t0} Uc$ correspond à la tension au moment t0, et $Uct1=\lim_{t\to t1} Uc$ à la tension au moment t1.

II. ASSOCIATION DE CONDENSATEURS :

En parallèle : $Qeq=C1+C2+...+Cn$

En série : $\frac{1}{Ceq}=\frac{1}{C1}+\frac{1}{C2}+...+\frac{1}{Cn}$ (Utilise pour augmenter la tension)

Note : Les formules sont inversées comparées à celles utilisées pour les résistances.

III. LOI D'OHM POUR UN CONDENSATEUR :

$i = C.\frac{(\Delta Uc)}{(\Delta t)}$ et $Uc = \frac{Io}{C}.t + U0$ (Fonctionne uniquement avec un courant constant).

Puissance d'un condensateur : $W = \frac{(C.U^2)}{2}$

LES TRANSISTORS BIPOLAIRES :

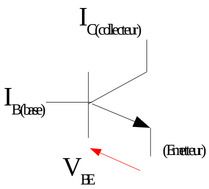


Fig. 1 : NPN

Les transistors bipolaires sont des éléments à trois bornes : La base, le collecteur et l'émetteur. Il se déclinent en deux version, les P**N**P (Émetteur fléché négativement, vers la base) et les N**P**N (Émetteur fléché positivement). Toutes les valeurs sont données en valeurs absolu pour être compatible avec les deux version.

Le fonctionnement est simple, il agit comme un interrupteur commandé en courant. C'est-à-dire que la fermeture entre le collecteur et l'émetteur se fait lorsqu'un courant circule dans la base. On peut assimiler la jonction base émetteur à une diode (le sens de la flèche, variable pour un PNP ou un NPN indique le sens passant de la diode).

Nœud : $I_E = I_C + I_B$;

Nous allons étudier les différents régimes de fonctionnement du transistor bipolaire.

I. RÉGIME DE SATURATION :

Le transistor est saturé lorsque le courant de base est tel que la tension **$|V_{CE}|=|V_{CEsat}|$**=0,2v (0v parfait) et **$|I_C| = |I_{Csat}|$** Le transistor fonctionne alors comme un interrupteur fermé entre le collecteur et l'émetteur.

$I_C=\beta_{min}.I_B$; B : gain en courant du transistor (variable suivant les modèles).

La sursaturation du transistor consiste à envoyer sur I_B un courant largement supérieur à la tension de saturation pour être sûr que le transistor soit saturé. Ce coefficient de sursaturation, nommé k, se situe entre 2 et 10. Avec un coefficient, la formule liant I_B et I_B n'est plus valable et devient $I_C=\frac{\beta_{min}.I_B}{k}$; . Cependant cette technique rend le changement d'état du transistor plus long.

II. RÉGIME LINÉAIRE :

Ici $|I_B| > 0$; et **$|I_C| = |I_{csat}|$**;

$I_C=\beta_{min}.I_B$;

II. RÉGIME BLOQUÉ :

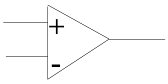
Le transistor est bloqué, il ne laisser circuler aucun courant, la tension à ses bornes est élevée (jusqu'à Vcc).

$I_B = 0$;

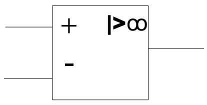
Amplificateur : A.O.P, A.L.I :

Les **Amplificateur Opérationnelles** ou **Amplificateurs Linéaires Intégrés** est très utilisé en électronique analogique pour l'amplification de signaux, le filtrage, les opérations et l'asservissement.

Norme US :



Norme IEEE :



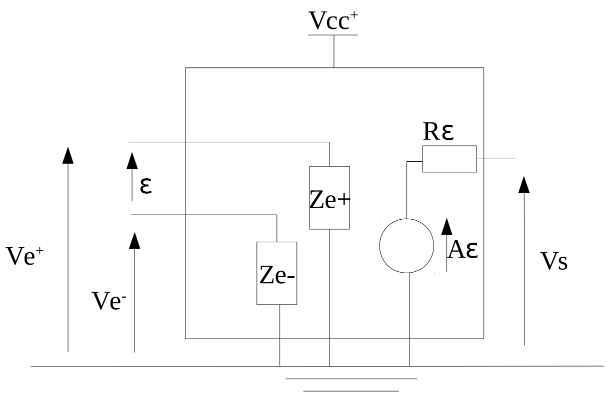
|> (un triangle) est le signe de l'amplification, avec le ∞ cela désigne une amplification théoriquement infinie.

I. GÉNÉRALITÉS :

1. Brochage :

- **Vcc⁺** et ***Vcc⁻*** sont les broches d'alimentations. Certains amplificateurs n'acceptent qu'une seule tension d'alimentation, il ne peuvent donc pas fournir de tension négative sur la broche Vs.
- **e⁺** est l'entrée non inverseuse et **e⁻** dite inverseuse.
- **Vs** est la tension de sortie comprise entre Vcc⁻ et Vcc⁺.

2. Schéma équivalent :



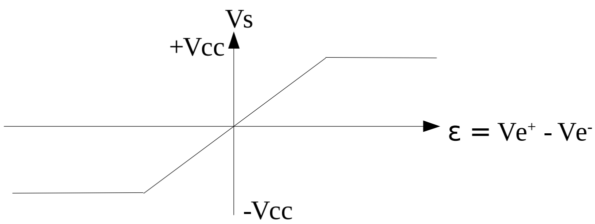
5. Relations fondamentales :

$$\epsilon = Ve^{+} - Ve^{-} = Ud \qquad Vs = A.\epsilon = A.(Ve^{+} - Ve^{-})$$

6. Caractéristiques idéales d'un AOP :

Coefficient d'amplification	$A = +\infty$
Impédance d'entrée	$Ze^{+} = Ze^{-} = +\infty$ $I^{+} = I^{-} = 0A$
Résistance de sortie	$Rs = 0\Omega$
Tension de saturation	Vcc
Bande passante	$+\infty$

7. Caractéristique de transfère :



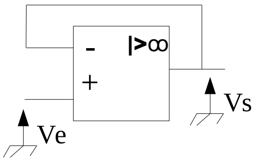
II. MONTAGES :

1. Régime linéaire :

L'AOP est en **régime linéaire** lorsque la borne Ve^- est reliée à la sortie par un composant (fil, résistance, condensateur, bobine...). On dit alors qu'il est **contre-réactionné négativement**.

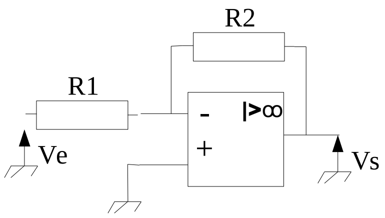
$Ve+=ve-\quad \varepsilon=0$ (pour un APO idéal). La sortie est donc proportionnelle à l'entrée.

a. Suiveur :



$$Ve+=Ve-=Ve$$
$$Ve-=Vs$$
$$\boxed{Vs=Ve}$$

b. Amplificateur-inverseur :

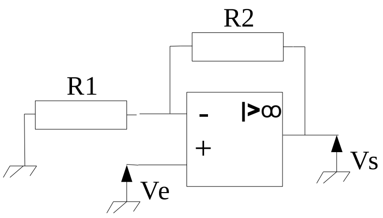


$$Ve+=Ve-=0$$
$$Ve-=\frac{(Ve.R2+Vs.R1)}{(R1+R2)}=0$$
$$\boxed{Vs=\frac{-R2}{R1}-Ve=-A.Ve}$$

A est le coefficient d'amplification définit par R1 et R2.

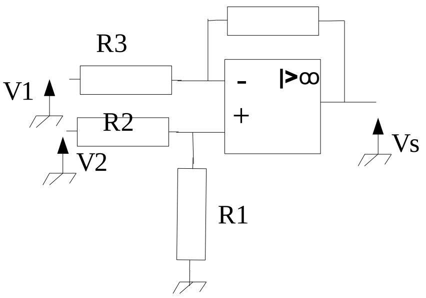
Il y a un déphasage de $\phi\frac{Us}{Ue}=\frac{\pi}{2}$

c. Amplificateur non-inverseur :



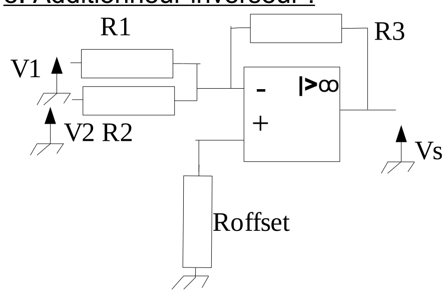
$$\boxed{Vs=\frac{(R1+R2)}{R1}.Ve=A.Ve}$$

d. Soustracteur non-inverseur :



$$Ve+=\frac{R1}{(R1+R2)}.V2$$
$$Ve-=\frac{(Vs.R4+V1.R1)}{(R2+R3)}$$
$$\boxed{\frac{R1}{R4}.(V2-V1)=Vs}$$

e. Additionneur inverseur :



$$\boxed{Vs=-R3(\frac{V1}{R1}+\frac{V2}{R2})=-(V1+V2)}$$

Il y a un déphasage de $\phi\frac{Us}{Ue}=\frac{\pi}{2}$

Technique de calcule : Pour un montage linéaire, la tension sur la broche Ve^+ est égale à la tension Ve^-. Il faut donc calculer l'une des deux, et la mettre en équation avec la seconde. Il faut souvent utiliser des **diviseurs de tensions** ou la loi de **superposition**.

QUADRIPÔLES

Un quadripôle est un dispositif possédant deux bornes d'entrées et deux en sortie. Il est dit **passif** s'il ne contient que des éléments passifs.

I. CARACTÉRISTIQUE EN RÉGIME SINUSOÏDALE :

1. Amplification en puissance :

$$AI = \frac{Puissance\ fournit\ à\, la\, charge}{Puissance\ fournit\ au\, quadripole} = \frac{Uc.Ic.\cos\left(\varepsilon\frac{u}{i}\right)}{Uq.Iq.\cos\left(\varepsilon\frac{u}{i}\right)}$$

On définit alors le gain en puissance : $G = 10\log Ap$ (en décibel)

2. Amplification en tension :

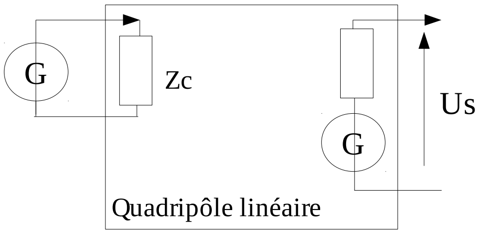
$$Av = \frac{Usmax}{Uemax} = \left[\frac{Us}{Ue}; \Phi\, Us - \Phi\, Ue\right];$$

Av est le module de l'amplification en tension, l'argument est le déphasage de Us par rapport à Ve.
Le gain en tension s'obtient avec : $Gv = 20\log Av$ (en dB)

3. Bande passante :

La bande passante à -3bB d'un quadripôle linéaire est l'intervalle de fréquence Δf pour lequel:
$Gmax - 3\mathrm{dB} \leqslant G \leqslant Gmax$
Ce qui correspond, pour un signal sinusoïdale, à une amplification de tension divisée par $\sqrt{2}$. On appel fréquence de coupure quand $G = Gmax - 3\mathrm{dB}$.

II. LE MODÈLE ÉQUIVALENT D'UN QUADRIPÔLE :



1. Circuit d'entrée :

Le dipôle d'entrée est égal à un **dipôle passif linéaire**. L'impédance complexe en entrée est de <u>*Zc*</u> = <u>*Ue*</u> / <u>*Ie*</u>

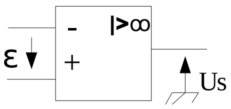
2. Circuit de sortie :

Le dipôle de sortie équivaux à un **dipôle actif linéaire,** il est composé :
D'une source de tension commandée par la tension d'entrée : <u>Es</u> = <u>Av</u> . <u>Us</u>
Une impédance de sortie : <u>Zs</u>
L'équation relative du circuit : <u>Us</u> = <u>Es</u> – <u>Zy</u> . <u>Is</u>

Comparateurs (avec AOP, ALI)

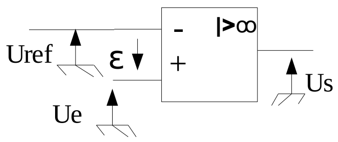
I. LES COMPARATEURS A UN SEUIL :

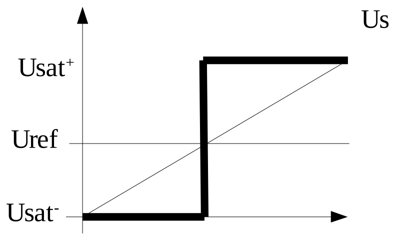
Ces montages n'ont que deux valeurs de sortie : $Usat^+$ et $Usat^-$. Elles dépendent du signe de la tension entre la tension d'entrée et un tension de référence.



Si $\varepsilon < 0$: $Us = Usat^+$
sinon $Us = Usat^-$

Le comparateur ne fonctionne correctement qu'avec des tensions d'entrées comprises entre $Usat^+$ et $Usat^-$. Les valeurs de saturations dépendent de l'alimentation de l'amplificateur.





Ici le montage n'est pas inverseur car la tension d'entrée Ue est prise sur la broche non inverseuse de l'AOP.

II. COMPARATEURS A DEUX SEUILS :

Ces montages ne peuvent prendre que deux valeurs de sortie, cependant ils comparent la tension à deux seuils distincts. Ces montages sont **contre réactionnés positivement** (la broche de sortie est reliée par un composant ou un fil à la broche d'entrée positive). Les comparateurs a un seuils fournissent des résultats imprévisibles à cause des parasites quand la tension d'entrée est trop proche du seuil (fig. 2). Avec les comparateurs a deux seuils le problème ne se pose plus car les deux seuils sont éloignés et actif que dans un sens (fig. 1).

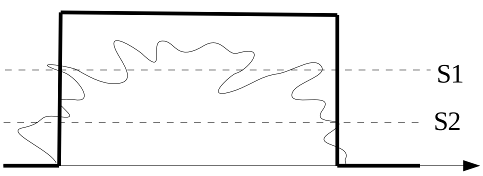


fig. 1

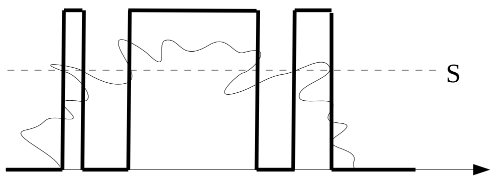
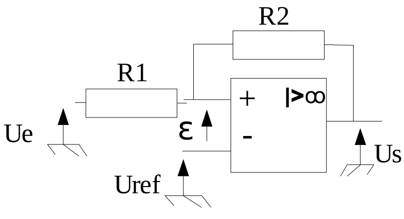
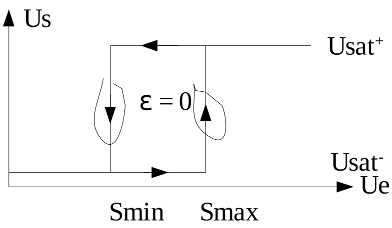


fig. 2

Détermination du seuil des seuils de basculement :





Au moment du basculement ε passe par la valeur 0 donc Ve+ = Ve-.

→ Maintenant vous devez calculer la tension aux entrée inverseuses et non-inverseuses de l'AOP. Ici on utilise le théorème de superposition.

$$Ve+ = Ve- \rightarrow Uref = \frac{Ue.R2 + Us.R1}{R1 + R2} \rightarrow Uref.(R1+R2) = Ue.R2 + Us.R1$$

$$\rightarrow Ue = \frac{Uref.(R1+R2) - Us.R1}{R2}$$

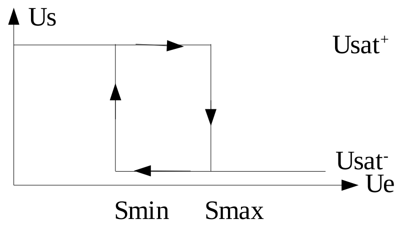
→ Or on sait que qu'à cet instant Ue est égal au seuil de basculement (quand *ε = 0,* au moment du basculement).
→ Il faut maintenant calculer les seuils pour les deux cas, quand Us = Usat $^-$ et quand *Us = Usat* $^+$.
On a, juste avant le premier basculement : Us = Usat $^-$

$$S1=\frac{Uref.(R1+R2)-Usat^{-}\cdot R1}{R2}$$

On a, juste avant le basculement : Us = Usat $^+$

$$S2=\frac{Uref.(R1+R2)-Usat^{+}\cdot R1}{R2}$$

Il faut ensuite placer les seuils dans l'ordre sur la caractéristique. Pour les comparateur inverseurs (tension à comparer sur l'entrée inverseuse, et tension haute quand la tension à comparer est basse) le principe est le même. Si la tension Uref est nulle, les deux seuils sont symétriques.



Formules complémentaires :

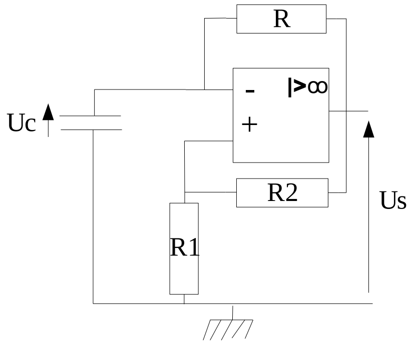
Largeur de cycle : $\Delta=U1-U2=\frac{R1}{R2}.(Usat^{+}-Usat^{-})$

Milieu du cycle : $Uc=\frac{UA+U2}{2}=\frac{R1+R2}{R2}.Uref-(Usat^{-}+Usat^{+})$

Les Astables :

Les astables sont des montages autonomes, ils n'ont pas besoin de signal de commande, ils savent produire des signaux périodiques. On peut parler d'horloge lorsque le signal produit est rectangulaire et varie entre deux niveaux instables fixes de sortie.

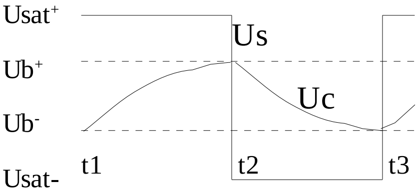
I. Montage à amplificateur opérationnel :



Il est composé d'un comparateur à hystérésis (deux seuils) commandé par un circuit RC.

On calcule ses seuils de basculement comme pour un comparateur à deux seuils (voir chapitre ***Comparateurs*** *p21*):

$$UB^{+}=\frac{R}{R1+R2}.Usat^{+} \quad \text{et} \quad UB^{-}=\frac{R}{R1+R2}.Usat^{-}$$



On se rend compte à partir de cette caractéristique que la période du signal Us est définit par la durée de charge et de décharge du condensateur (tension Uc). Entre t1 et t2 le condensateur se charge, à travers R, vers Us=Usat$^+$, mais à t2 il atteint le seuil haut ce qui fait changer Us, il se charge alors vers la tension Us=Usat$^-$ jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur Ub$^-$... (voir chapitre ***Condensateurs*** *p15*).

Calcul de la période :

On utilise le temps de charge du condensateur pour calculer la période.

$$t=\tau.\ln\left(\frac{Ucmax-Uct1}{Uc\,max-Uct2}\right)$$

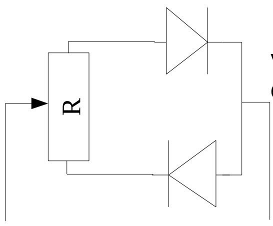
Cette formule nous permet de calculer le temps que met le condensateur pour se charger d'une valeur précise à une autre.

Nous allons calculer le temps entre t1 et t2. Ici $\tau=R.C$. Au début de ce temps la tension aux bornes du condensateur est de Ub$^-$, à la fin, elle vaut Ub$^+$:

$$t=R.C.\ln\left(\frac{Usat^{+}-Ub^{+}}{Usat^{+}-Ub^{-}}\right)$$

Ici les seuils sont symétriques (Usat$^+$ = -Usat$^-$) donc le rapport cyclique (temps à l'état haut sur la période) est de 50%. On peut donc se passer de calculer le temps de décente qui est le même, et trouver le résultat en multipliant par 2.

Améliorations :

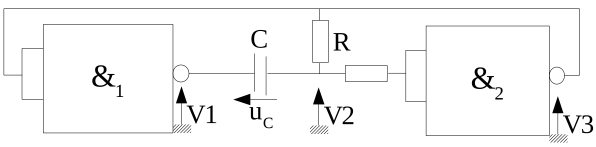


Pour pouvoir change le rapport cyclique on peut ajouter une résistance variable aiguillée par des diodes. Cette méthode est avantageuse car elle change le rapport cyclique sans changer la période :

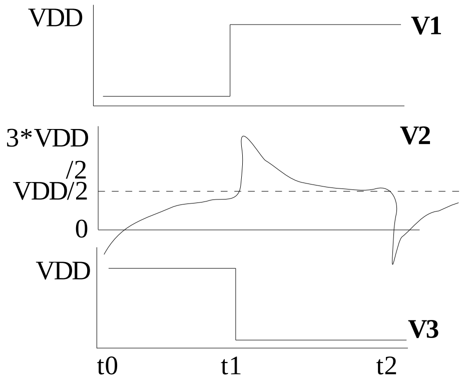
Rapport cyclique : $\alpha=\frac{\tau}{(\tau'+\tau)}=\frac{R}{(R+R')}$

On peut modifier la tension de sortie grâce à deux diodes Zener en tête bêche − méthode que nous ne verront pas ici.

II. Montage à portes logiques :

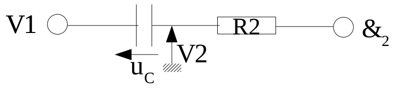


Ce montage astable fonctionne avec deux portes logiques NAND, le condensateur se charge à travers la résistance R.



A t0 : la porte NAND1 est à l'état bas, la porte NAND2 est donc à l'état haut. Le condensateurs se charge, à travers la résistance R, entre la sortie de la porte NAND1 (la masse) et la sortie de la NAND2. L'entrée de NAND2, n'appelant pas de courant, est négligeable.

A t1 : la tension V1 dépasse VDD/2 (le seuil de la porte NAND). La NAND 2 bascule alors à l'état bas et la NAND 1 à l'état haut. On a donc :



V1 est à VCC et la sortie de la NAND2 à la masse. Comme Uc ne peut pas varier brusquement il est encore à VDD/2. La tension VDD est donc égale à V2 = V1 + Uc = VDD + VDD/2 = 3VDD/2.

À t2 : Le condensateur se charge négativement de 3VDD/2 vers 0 jusqu'à ce que V1 dépasse -VDD/2, moment où la porte NAND2 bascule à l'état haut et la NAND1 à l'état bas, on retrouve le même schéma qu'au temps t1 : V2 = V1 + Uc = 0 + Uc = - VDD/2.

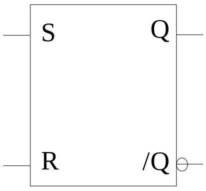
LES BASCULES :

Les bascules sont des circuits logiques séquentiels. Ces bascules permettent de conserver le signal de sortie même après la suppression du signal d'entrée, c'est donc des portes logiques qui agissent dans le temps. On différencie deux types de bascules, les **synchrones**, dont les changement d'état de sortie sont cadencés par une horloge et les **asynchrones** dont les sortie changent d'état à tout instant.

I. COMPRENDRE LES PORTES LOGIQUES :

Dans toutes les portes logiques la sortie /Q est le conjugué de Q. Un rond sur un port indique sortie inversée.
Un triangle (>) sur une entrée indique cette entrée est active sur une front montant (symbolisé par ↑ dans la table de vérité). Si cette entrée est aussi pourvus d'un rond, cela indique qu'elle est active sur un front descendant (↓ dans la table).

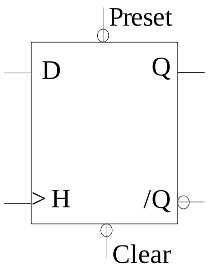
II. LES BASCULES RS OU FLIP-FLOP :



R	S	Q	/Q
0	0	Qn^{-1}	$/Qn^{-1}$
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Indéterminé	

Le R signifie reset, il met la sortie Q à 0. Le S, set la met à 1. Un niveau bas sur les deux entrées conserve l'état de sortie. Un 1 sur les deux entrées produit des niveaux indéterminés. Il existe aussi des bascules RST avec une entrée d'activation T en plus qui permet, au niveau bas de de conserver les niveaux de sorties (Qn^{-1}).

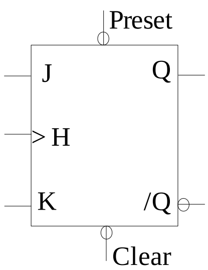
III. LES BASCULES D (EDGE TRIGGERED) :



D	H	Q	/Q
X	0	Qn^{-1}	$/Qn^{-1}$
X	1	Qn^{-1}	$/Qn^{-1}$
0	↑	0	1
1	↑	1	0

Le D signifie data et le H horloge, il s'agit alors d'un composant synchrones. Le > (et l'absence de rond) devant l'entrée horloge nous indique qu'elle est active sur le front montant. Nous voyons dans le tableau qu'à chaque front montant la porte recopie le niveau de l'entrée D dans la sortie le reste du temps il conserve la valeur.

IV. LES BASCULES JK :



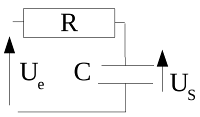
H	J	K	Q	/Q
↑	0	0	Qn^{-1}	$/Qn^{-1}$
↑	0	1	0	1
↑	1	0	1	0
↑	1	1	inverser	

Inverse les sorties Q et /Q au front d'horloge lorsque J et K sont à un. Si J et K sont à 0 on conserve les niveaux. Si seul J est à 1 on met Q à 1 en revanche si seul K est à 1 on génère un niveau bas sur Q (toujours au front d'horloge).

LES FILTRES ANALOGIQUES :

I. FILTRE PASSIFS :

1. Filtre passe bas :



Un filtre passe bas permet de ne laisser passer que les basses fréquences et d'atténuer voir couper les hautes fréquences.
Pour savoir si un montage est passe haut ou passe bas, il faut raisonner avec la fréquence aux extrêmes. Une résistance ne varie pas en fonction de la fréquence, cependant l'impédance d'un condensateur varie.

Impédance d'un condensateur : $Zc=0+\frac{-j}{C\omega}$

Pour une fréquence nulle (ω=0 donc Cω=0), Zc tend vers l'infini donc le condensateur équivaux à un interrupteur ouvert. En haute fréquence l'impédance est nulle, le condensateur agit alors comme un fil (ne condensateur n'a pas le temps de se charger), la tension à ses bornes est nulle.

Transmittance (ou fonction de transfère):

Calculer la transmittance : $Us=\frac{\underline{Zc}.\underline{Ue}}{\underline{Zr}+\underline{Zc}}\rightarrow tr=\frac{Us}{Ue}=\frac{\underline{Zc}}{\underline{Zr}+\underline{Zc}}=\frac{1}{\frac{\underline{Zr}}{\underline{Zc}}+1}=\frac{1}{1+jRC\omega}$

Identifier avec la forme normalisée : $Tr=\frac{T_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}$

T_0 amplification maximale, ici 1;
ω_0 pulsation de coupure.

Module :

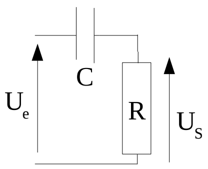
$$\|\underline{tr}\|=\frac{1}{\sqrt{1^2+(RC\omega)^2}}=\frac{1}{\sqrt{1^2+(\frac{\omega}{\omega_0})^2}}=\frac{1}{\sqrt{1^2+(\frac{f}{f_0})^2}}$$

Argument :
Numérateur : 1 ; Dénominateur : 1+jRCω

$$art\ \underline{T}=arg\ 1-arg\,(1+jRC\omega)=atan(\frac{b}{a})=-\arctan(RC\frac{\omega}{1})\rightarrow-\arctan(\frac{f}{f_0})=\varphi_{\frac{Us}{Ue}}$$

Transmittance à la fréquence de coupure ($f = f_0$) : $\|\underline{Tr}\|=\frac{1}{\sqrt{1^2+(\frac{f}{f_0})^2}}=\frac{1}{\sqrt{1^2+1^2}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$

2. Filtre passe haut :



Il supprime les basses fréquences. Le fonctionnement est exactement le même que la passe bas, d'ailleurs la fréquence de coupure est la même. Cette fois on prend la tension aux bornes de la résistance ce qui modifie la transmittance.

$$\underline{Tr}=\frac{1}{\frac{\underline{Zc}}{\underline{Zr}}+1}=\frac{1}{1+ZcYr}=\frac{1}{1-\frac{1}{RC\omega}}$$

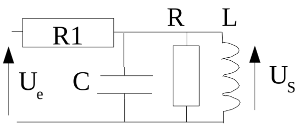
Identification : $\underline{T}=\frac{T0}{1-j\frac{\omega 0}{\omega}}\rightarrow\frac{\omega 0}{\omega}=\frac{1}{RC\omega}\rightarrow\frac{1}{RC}$

On en déduit la fréquence de coupure : $fc=\frac{\omega 0}{2\pi}=\frac{1}{2\pi RC}$

Module de la transmittance : $T = \dfrac{1}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\omega 0}{\omega}\right)^2}}$

Argument : $arg(1) - arg\left(1 - j\dfrac{\omega 0}{\omega}\right) = 0 - \arctan\left(\dfrac{-\omega 0}{\omega}\right) = \arctan\left(\dfrac{\omega 0}{\omega}\right) = arg\left(\dfrac{Us}{Ue}\right) = \Phi\dfrac{Us}{Ue}$

3. Passe bande :



Pour une fréquence tendant vers l'infini le condensateur agit comme un interrupteur ouvert et la bobine comme un fil. La sortie étant aux bornes de la bobine (donc d'un fil) donc : Us = 0.
Pour une fréquence tendant vers 0 Hz, le condensateur agit comme un fil et la bobine comme un interrupteur ouvert. Us est aux bornes du condensateur (donc d'un fil), donc Us = 0.

Fréquences de coupures :

$$FCB = \frac{f0}{2Q_0}(-1 + sqrd\,1 + 4Q_0{}^2) \qquad FCH = \frac{f0}{2Q0}(1 + sqrd\ 1 + 4Q0^2)$$

Bande passante :

$$BP = FCH - FCB = \frac{F0}{Q0}$$ Q0 : facteur de qualité et ω0 : pulsation d'accord

Filtre sélectif :

C'est une filtre passe bande (il a la même forme normalisé) qui sélectionne une petite bande passante par rapport à f0 :

BP << f0 et Q0 >> 1

f0 est alors la fréquence centrale de la bande passante : $FCH = f0 + \dfrac{BP}{2}$ $\quad FCB = f0 - \dfrac{BP}{2}$

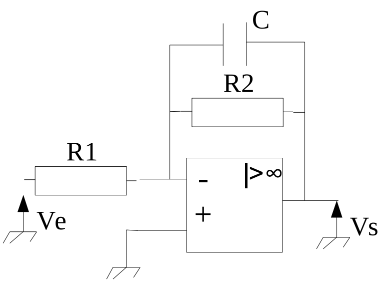
II. FILTRES ACTIFS :

Il est constitué d'un filtre associé à un amplificateur opérationnel.

Transmittance :

La méthode est la même que pour un amplificateur :

- La sortie est reliée à l'entrée inverseuse : on est en régime linéaire : $\varepsilon = 0$ donc $Ve^+ = Ve^-$
- On détermine Ve^- puis Ve^+
- Avec $Ve^+ = Ve^-$ on détermine Us en fonction de Ue
- On en déduit la transmittance : $\underline{T} = \dfrac{Us}{Ue}$



$$Ve- = \frac{US.\underline{R1} + Ue.\underline{Z2}}{\underline{R1} + \underline{Z2}}$$

$$Ve+ = 0;$$

$$Ve+ = V- \rightarrow Us = \frac{-\underline{Z2}}{\underline{R1}}.Ue$$

$$\frac{\underline{Us}}{\underline{Ue}} = \frac{-\underline{Z2}}{\underline{R1}}$$

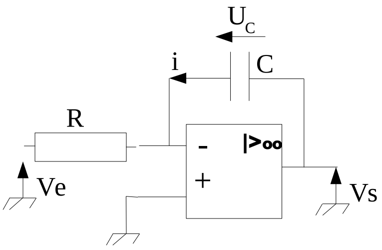
$$\underline{T} = \frac{-1}{\dfrac{\underline{R1}}{\underline{R2}}} = \frac{-1}{R1.Y2} = \frac{-1}{R1(\dfrac{1}{R2} + jCw)} = \frac{-1}{\dfrac{\underline{R1}}{\underline{R2}} + jR1.C\omega} \cdot \frac{\dfrac{\underline{R2}}{\underline{R1}}}{\dfrac{\underline{R2}}{\underline{R1}}} = \frac{\dfrac{-\underline{R2}}{\underline{R1}}}{1 + j\,\underline{R2}.C\omega}$$

On identifie à la forme normalisée correspondante :
Forme normalisées :

Passe bas : $\underline{T}=\dfrac{T0}{1+j\dfrac{\omega}{\omega 0}}$ Passe haut : $\underline{T}=\dfrac{T0}{1-j\dfrac{\omega 0}{\omega}}$

Passe bande : $\underline{T0}=\dfrac{T0}{1+jQ0(\dfrac{\omega}{\omega 0}-\dfrac{\omega 0}{\omega})}$

L'INTÉGRATEUR :



Ce montage sert à dérivé un signal d'entrée. Ce montage est un montage idéal, en réalité il faut ajouter une résistance très grande en parallèle avec le condensateur.

L'AOP est en régime linéaire : $Ve^+ = Ve^-$ donc le courant i s'exprime : $Ve = R.i \rightarrow i = \frac{-Ve}{R}$ i se calcule aussi avec la charge du condensateur : $i = C.\frac{dUc}{dt}$ avec $Vs = -U_C$

donc on en déduit la tension d'entrée : $Ve = RC.\frac{d(-Vs)}{dt}$

et, réciproquement, la fonction de transfère : $Us = \int \frac{-Vs}{RC}.dt$

EN RÉGIME SINUSOÏDALE :

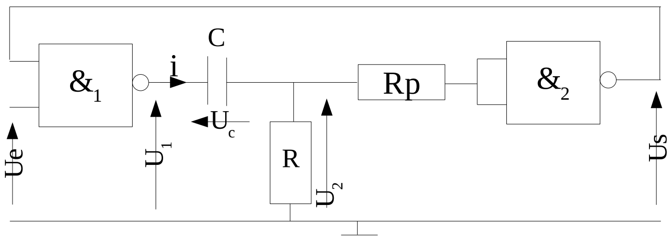
La méthode est la même que pour n'importe quel montage à base d'AOp : Régime linéaire : $Ve^+ = Ve^-$: $\frac{\underline{Us}.\underline{Zr} + \underline{Zc}.\underline{Ue}}{\underline{Zr} + \underline{Zc}} = 0 \rightarrow \underline{Us}.\underline{Zr} + \underline{Zc}.\underline{Ue} = 0 \rightarrow \underline{Us}.\underline{Zr} = -\underline{Zc}.\underline{Ue}$

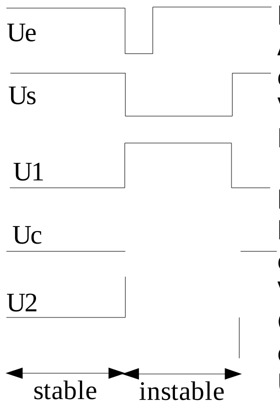
Transmittance : $T = \frac{-\underline{Zc}}{\underline{Zr}} = \frac{-1}{\underline{Zr}.\underline{Yc}} = \frac{-1}{jRC\omega} \rightarrow |\underline{T}| = \frac{1}{RC\omega}$

Les Monostables :

Un montage monostable ne peut envoyer en sortie que des état bas ou haut. Lors de son déclenchement, par un niveau bas ou haut sur son entrée, une impulsion de durée constante est généré. Dans le cas où un monostable est redéclenchable, l'impulsion est recommencé pour sa durée totale à chaque déclanchement (même si l'ancienne impulsion n'était pas terminée).

I. MONTAGE À PORTES LOGIQUES :





État stable :

A l'état stable le condensateur est soit totalement chargé soit totalement déchargé, le courant qui le traverse est nul on a alors : U2 = 0; donc Us = VDD;

Dans ce montage Ue est au niveau haut. On a donc U1 = 0; Uc = U1 – U2 = 0;

État instable :

Le passage à l'état instable se fait lorsque Ue passe au niveau bas. Dans ce cas U1 passe au niveau haut et Uc commence à se charger positivement vers VDD à travers R.

Comme Rp est très grande, la tension U2 aux bornes de R est l'image du courant dans i. Donc Vs = 0;

U2 = U1 – UC = VCC – UC : Lorsque U2 < VSS/2 Us passe au niveau haut.

Ce monostable n'est pas redéclenchable car la tension sur Ue n'a aucune influence tant que Us=0;