

Cours d'instrumentation électronique (instrumentation scientifique)

2009, Frank WAGNER

(17 heures de cours – 1 heure d'examen)

Les pages qui suivent sont les transparents montrés en cours. Je rappelle que ces transparents ne reflètent pas forcément le cours en entier et qu'en particulier les questions d'examens peuvent porter sur des sujets qui ne sont pas décrits dans ces transparents.

- 1/6 Introduction et généralités, pages 2-15**
- 2/6 Les alimentations, pages 16-27**
- 3/6 Les générateurs de fonctions, pages 28-42**
- 4/6 Les multimètres, pages 43-52**
- 5/6 Les oscilloscopes, pages 53-66**
- 6/6 La détection synchrone (bases) et les analyseurs de spectres (bases), pages 67-72**

INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE

(ou ELECTRONIQUE ?)

F. Wagner

6 * 3h de cours + 1h d'exam écrit

Introduction

↳ Bref Historique de l'instrumentation

- Science relative à la conception et l'utilisation rationnelle d'instruments

Outils de production

Instruments de mesure

- Science qui a l'âge de l'humanité et qui couvre tous les secteurs de l'activité humaine
- Évolution étroitement liée aux progrès techniques

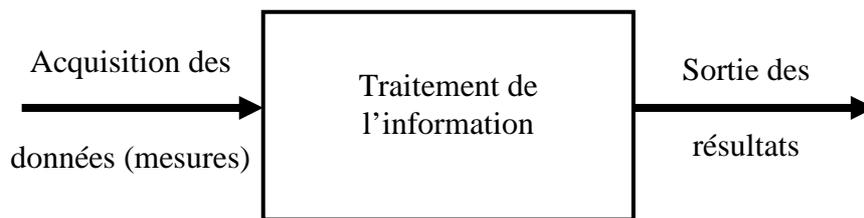
Ex: Silex taillé, roue, télégraphe, moteur à explosion, composants semi-conducteurs

↳ Domaines d'application de l'instrumentation Scientifique

- Médecine
- Chimie
- Biologie
- Mathématiques
- Agronomie
- Physique (optique, électricité, thermodynamique...)



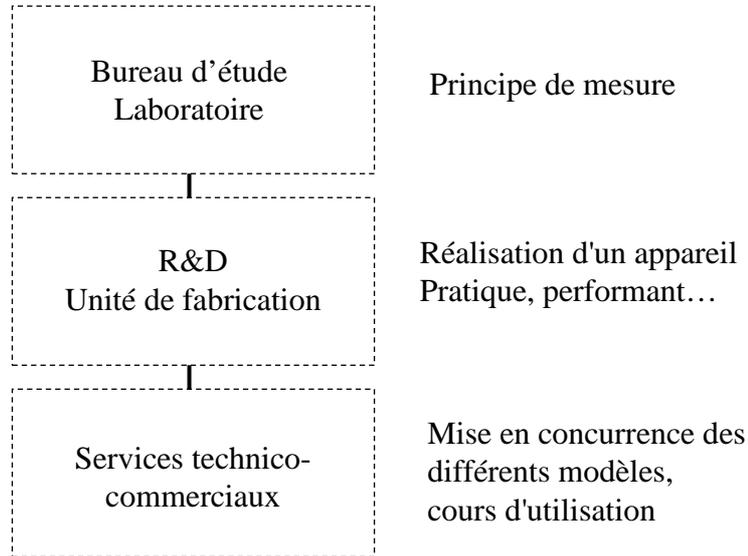
↳ Mesure et traitement de l'information : **La chaîne de mesure**



Chaque fonction est assurée par des appareils particuliers :

- | | |
|---|---|
| <p>Mesure : -Capteur / Sonde</p> | <p>Traitement: -Composant électronique
-Automate
-Micro-ordinateur
-Centre de calcul</p> |
| <p>Résultats : -Afficheur
-Actionneur-contrôleur
-Génération d'un signal
-Alarme</p> | |

↳ **Élaboration d'un instrument scientifique**



Organisation de la métrologie

Autorités de Métrologie légale

SDM

Sous direction de la métrologie

~~DRIRE~~

Direction régionale de
l'industrie de la recherche et de
l'environnement

Laboratoires agréés



Création et conservation
d'étalons



S.A. affiliée groupe Véritas

EMITECH

Laboratoire privé
Compatibilité électromagnétique,
sécurité électrique, radio...



Domaine automobile



Bureau national de
métrologie

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.1 Le courant électrique

Flux de charges (-) ou (+) traversant un conducteur

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Charge électrique	Q	Coulomb	C = A s
Intensité du courant	I	Ampère	A
Densité de courant	J	Ampère/m ²	A/m ²

Porteur de charge élémentaire : électron $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ($= e = q$)

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.2 La tension électrique

*Force qui assure le déplacement des charges
Force électromotrice (f.e.m) ou potentiel*

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Tension	U,V,E	volt	V

Le générateur de tension est un dispositif qui délivre une tension et permet la circulation d'un courant dans un circuit connecté à ses bornes.

Polarité: Le courant a le sens des potentiels décroissants.

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.3 La résistance électrique

Composant conducteur qui vérifie la loi d'Ohm :

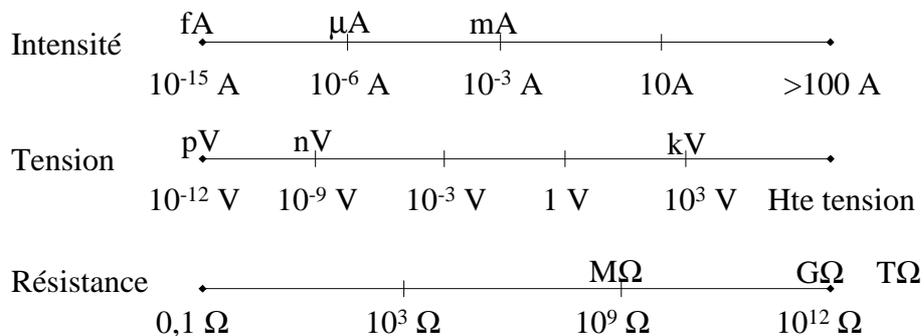
$$U = R I$$

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Résistance	R	Ohm	$\Omega = V / A$
Conductance	$G = 1/R$	Siemens	$S = 1 / \Omega$

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.4 Valeurs couramment utilisées

Les plages de mesures sont trop grandes, il n'existe pas d'appareil universel → faire le bon choix



Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.5 Circuits de mesure

Tension : montage //

Courant : montage série

Régime continu (Direct current - DC)

Intensité constante dans le circuit, et tension délivrée par les générateurs constantes.

2. Puissance électrique en régime continu

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Puissance	P	watt	W

- Pour un générateur : $P = V I$
- Pour une résistance : $P = R I^2$

Ordres de grandeurs : - Four ou chauffage : 1kW à 10kW
- Circuits microélectroniques : nW à qq W

Grandeur	Dénomination	Symbole	Définition
	Dénomination	Symbole	Multiples et sous-multiples ayant une dénomination particulière et valeur en SI, ou unité hors système (h.s.).
Intensité de courant électrique	ampère	A	Intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces deux conducteurs une force de $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.
Force électromotrice et différence de potentiel (ou tension)	Volt	V	Différence de potentiel électrique qui existe entre deux points d'un conducteur parcouru par un courant constant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces deux points est égale à 1 watt.
Résistance électrique	ohm	Ω	Résistance électrique entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de 1 ampère ledit conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.
Intensité de champ électrique	Volt par mètre	V/m	Intensité d'un champ électrique exerçant une force de 1 newton sur un corps chargé d'une quantité d'électricité de 1 coulomb.
Conductance électrique	siemens	S	Conductance électrique d'un conducteur ayant une résistance électrique de 1 ohm.
Quantité d'électricité, charge électrique	coulomb	C	Quantité d'électricité (charge) transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.
	ampère-heure (h.s.)	Ah	Quantité d'électricité (charge) transportée en 3600 secondes par un courant de 1 ampère.
Capacité électrique	farad	F	Capacité d'un condensateur électrique entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel de 1 volt lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité de 1 coulomb.
Inductance électrique	henry	H	Inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.
Flux d'induction magnétique	weber	Wb	Flux d'induction magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produit une force électromotrice de 1 volt si on l'annule en 1 seconde par décroissance uniforme.
Induction magnétique	tesla	T	Induction magnétique uniforme qui, répartie normalement sur une surface de 1 mètre carré, produit à travers cette surface un flux d'induction magnétique total de 1 weber.
Intensité de champ magnétique	ampère par mètre	A/m	Intensité de champ magnétique produite dans le vide le long de la circonférence d'un cercle de 1 mètre de circonférence par un courant électrique d'intensité 1 ampère maintenu dans un conducteur rectiligne de longueur infinie, de section circulaire négligeable, formant l'axe du cercle considéré.
Force magnétomotrice	ampère	A	Force magnétomotrice produite le long d'une courbe fermée quelconque qui entoure une seule fois un conducteur parcouru par un courant électrique de 1 ampère.

Régime alternatif (Alternating current - AC)

Le courant circulant dans le circuit est alternatif, le signal se répète après chaque cycle de période (temporelle) T .

$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t + \Phi) \text{ et } V(t) = V_0 \cdot \sin(\omega t + \Phi)$$

Avec I_0 , V_0 les amplitudes,

ω la pulsation ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) $\omega = 2 \cdot \pi / T = 2 \pi \cdot f$

Φ la phase (radian ou degré)

Représentation complexe :

Régime alternatif (Alternating current - AC)

3.1 Valeur moyenne (average value)

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

Représente le décalage du signal par rapport à l'origine.

3.2 Valeur efficace (Root Mean Square – RMS Value)

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

NB : bien différencier les appareils RMS et TRMS

3.3 Facteur de crête – crest factor

$$F_c = V_m / (2 V_{eff})$$

Transmission hertzienne d'une information

Propagation d'une onde hertzienne $\implies f > 30 \text{ kHz}$

Ondes acoustiques (16Hz à 15kHz) pas de transmission hertzienne possible

\implies Utilisation d'une onde **PORTEUSE**

Radio: 30kHz à 300MHz & TV : 50MHz à 1GHz

L'information est transformée en signal électrique qui module un des paramètres de la porteuse

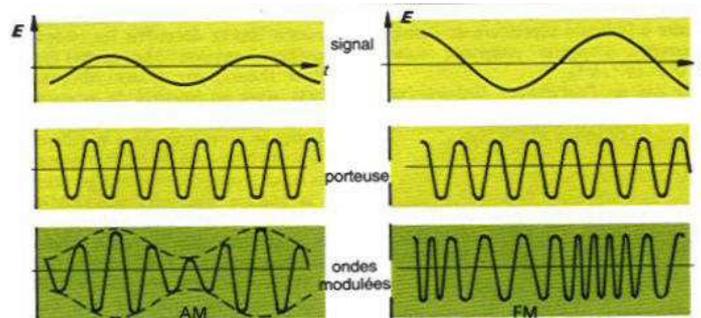
Transmission hertzienne d'une information

Modulation d'amplitude (AM)

Modulation de fréquence (FM)

$$I = (I_0 + I_{S_{\max}} \sin \omega_S t) \sin \omega_0 t$$

$$I = I_0 \sin(\omega_0 t + \beta \sin \omega_S t)$$



Transmission hertzienne d'une information

Radio diffusion sonore

Ondes longues	: 150kHz - 285kHz
Ondes moyennes	: 525kHz - 1605kHz
Ondes courtes	: 6,1MHz - 26MHz
Ondes ultra-courtes	: 87,5MHz - 104MHz

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

8.1 La précision

Propriété d'un appareil à indiquer une valeur comprise dans un domaine spécifié la plus proche de la vraie valeur.

Exemple :

Un multimètre numérique d'une précision de 1% indique 5,01V

$$V=5,01V \quad \Delta V/V=0,01 \quad \Delta V=0,0501V$$

$$\longrightarrow 4,96V < V < 5,06 V$$

On écrit alors : $V = 5,01 \pm 0,05 V$

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

8.2 La résolution

Plus petite variation détectée par l'appareil.

NB: Pour les appareils à affichage numérique la résolution peut être exprimée en nombre de digits (nombre de chiffre) ou en nombre de points d'affichage.

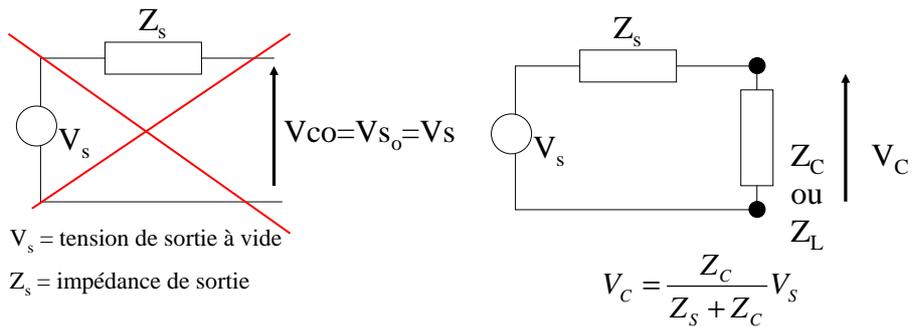
Nombre digits	Affichage	Nombre de points
3 digits	000-999	1000
3 digits 1/2	0000-1999	2000
4 digits	0000-9999	10000
6 digits 1/2	000000-199999	200000

1/2 digit: affichage "0" ou "1"

Mesures de tension

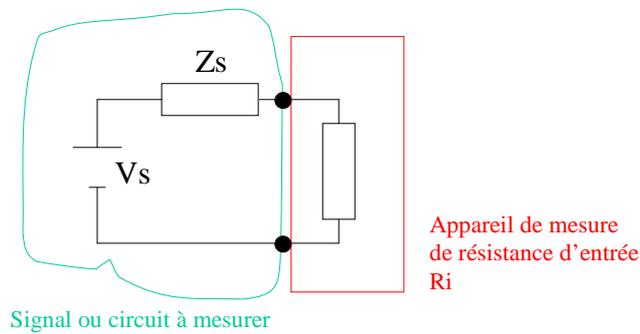
8.3 Influence du courant : modèle de Thèvenin

- ~~Sans charge~~ on mesure la tension du générateur de Thèvenin
Avec



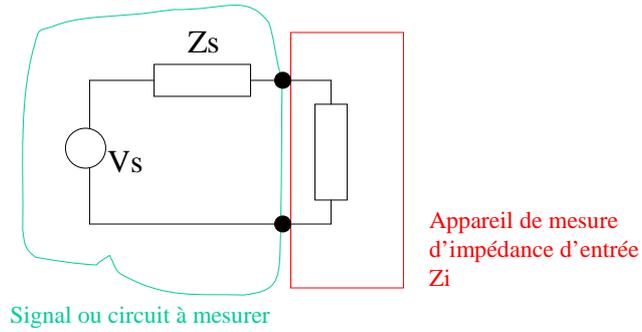
8.5 Configuration de l'entrée d'un instrument de mesure

8.5.1 Mesure d'une grandeur continue :

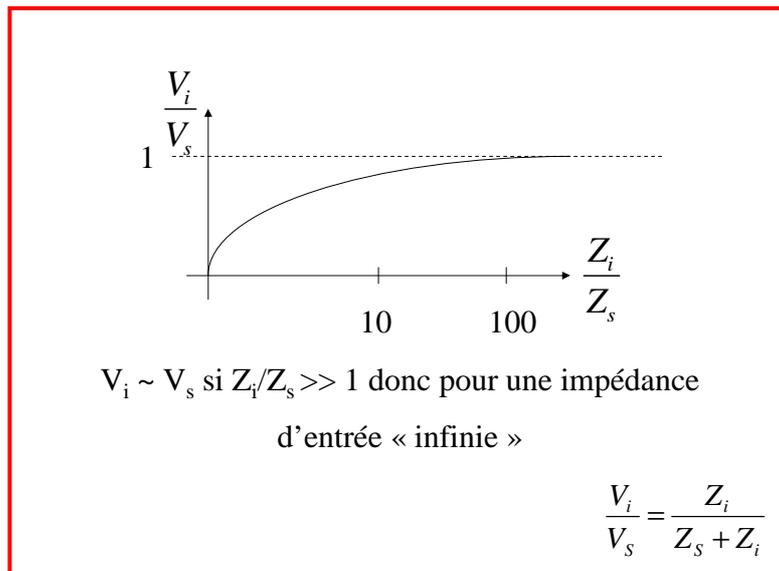


8.5 Configuration de l'entrée d'un instrument de mesure

8.5.2 Mesure d'une grandeur variable :

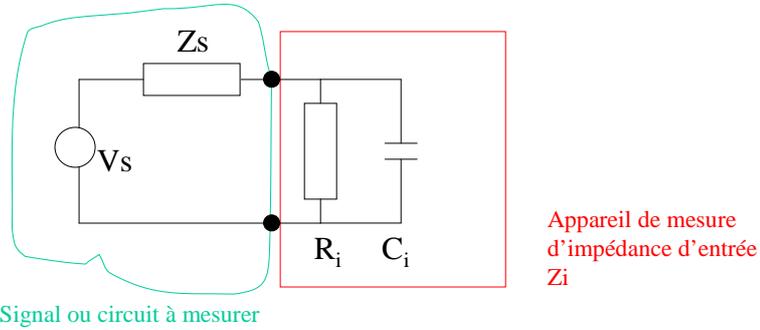


Mesures de tension



8.5 Configuration de l'entrée d'un instrument de mesure

8.5.3 Mesure d'une grandeur variable et impédance d'entrée complexe



$$Z_i = \frac{R_i}{1 + jR_i C_i \omega}$$

8.6 Entrée haute impédance

La haute impédance optimise le transfert de tension.

La valeur typique d'impédance d'entrée d'un appareil est:

$$10 \text{ k}\Omega < Z_i < 1 \text{ M}\Omega$$



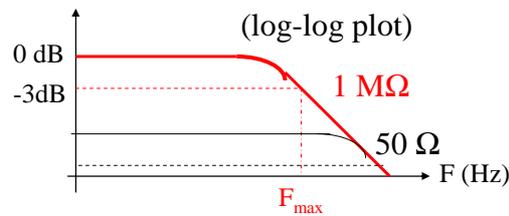
Cas des hautes fréquences:

$$Z_i = \frac{R_i}{1 + jR_i C_i \omega} \implies |Z_i| = \frac{R_i}{\sqrt{1 + R_i^2 C_i^2 \omega^2}}$$

Donc en hautes fréquences $|Z_i| \rightarrow 0$ (filtre passe-bas)

9. Bande passante (Bandwidth)

Tous les appareils présentent une limite en fréquence, au delà de laquelle les mesures effectuées ne sont plus valables.



Ex : * multimètre AC $F_{\max} \sim 300\text{kHz}$
 * millivoltmètre AC $F_{\max} \sim 2\text{MHz}$
 * Oscilloscope $F_{\max} \sim 100\text{MHz}$ } \Rightarrow Faire le bon choix

8.7 Entrée 50 ohms

La plupart des appareils de mesures ou sources de signaux présentent une impédance de 50ohm.

De même l'impédance caractéristique des câbles coaxiaux est souvent de 50 ohm.

(attention ils existent aussi des câbles 75ohm -> réflexions si les deux types de câbles sont utilisées.)

Ex: Transfert optimal de puissance en émission radio

Les Alimentations

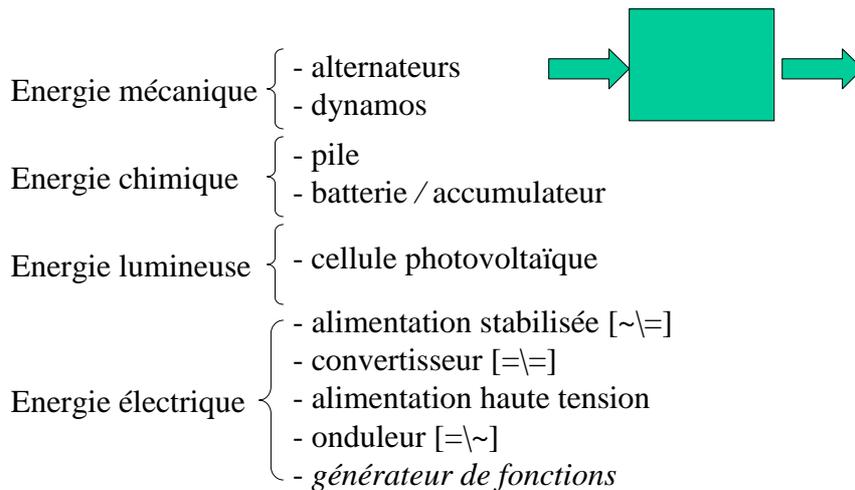
1. Définitions et classifications

Une alimentation est un convertisseur d'énergie.

Une alimentation électrique transforme une énergie mécanique, chimique, électrique... et la restitue sous forme électrique à une « charge » connectée à ses bornes

L'énergie électrique délivrée peut alors se présenter sous la forme d'une tension ou d'un courant constant ou encore variable (sinusoïdale, rectangulaire...)

Classification par famille ou catégorie en fonction de la nature de l'énergie transformée

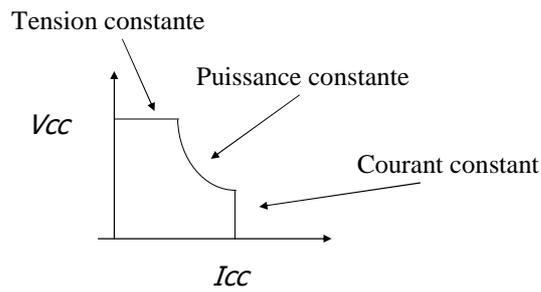


2. Alimentation stabilisée

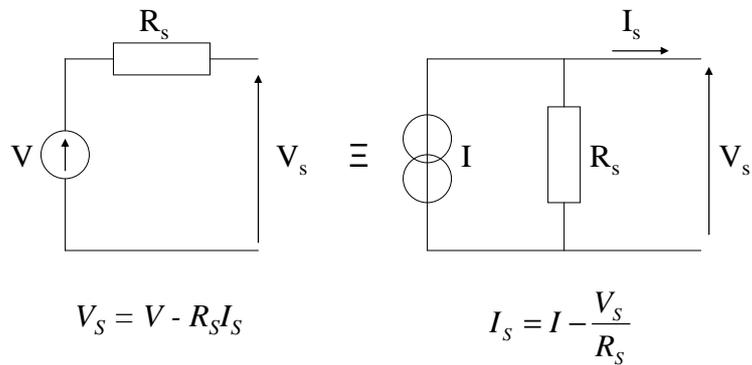
2.1. Son but

Fournir une tension, un courant ou une puissance constante à une charge connectée à ses bornes.

2.2. Caractéristique de sortie



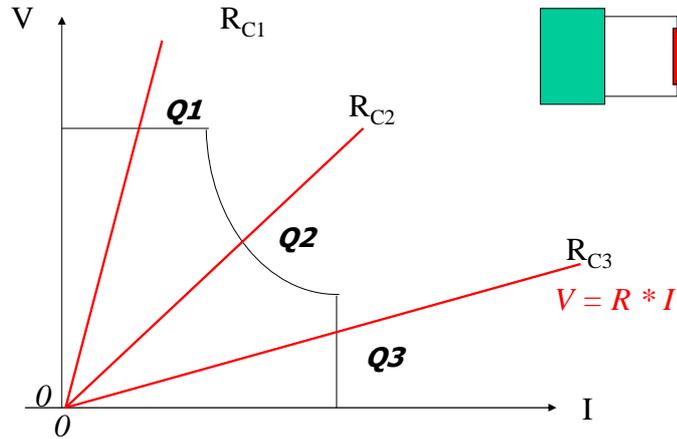
Schémas équivalents d'une alimentation (tension ou courant)



NB : La source de tension doit délivrer une tension aussi indépendante que possible du courant débité : ($V_s = V_0$ qcq soit I)

2.3. Point de fonctionnement Q

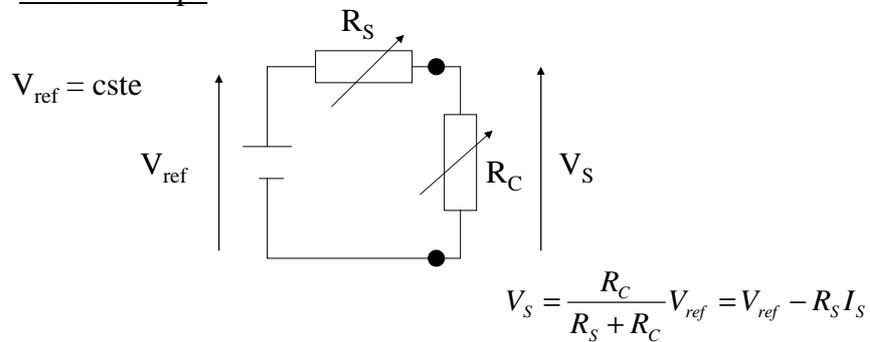
C'est le point d'intersection de la caractéristique de sortie de l'alimentation et de la droite de charge



3. Les modes de régulation

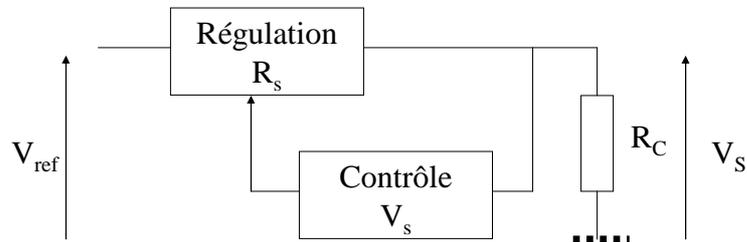
3.1 La régulation série ou linéaire (Linear power supply)

3.1.1. Principe



Si R_C varie pour maintenir V_S constant, R_S doit varier

3.1.2. Schéma fonctionnel



NB: R_S est en fait « *un transistor* » travaillant dans sa zone de fonctionnement linéaire \implies ALIMENTATION LINEAIRE

Voir schéma détaillé

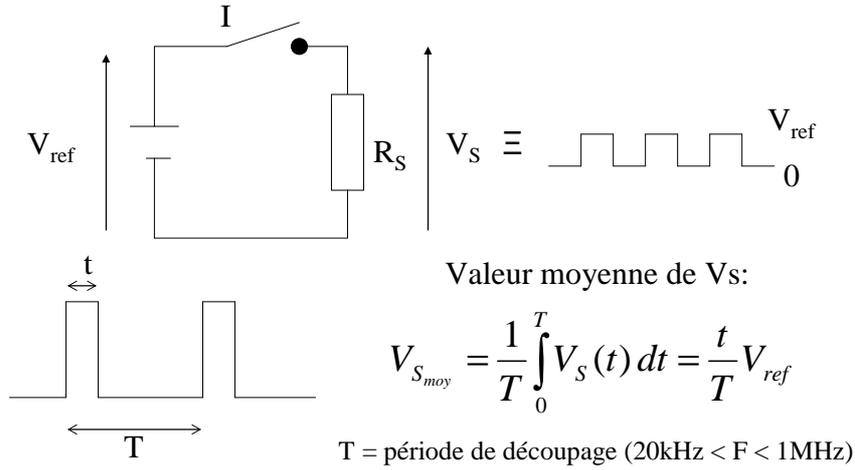
3.1.3. Mise en oeuvre

* Puissance de sortie faible ou moyenne ($P_S < 100W$)
pas de problème de dimensionnement des éléments constitutifs de l'alimentation

* Puissance de sortie élevée ($P_S > 100W$) la taille et le poids des composants deviennent très importants (transformateur, radiateur)

3.2. Les alimentations à découpage (Switched power supply)

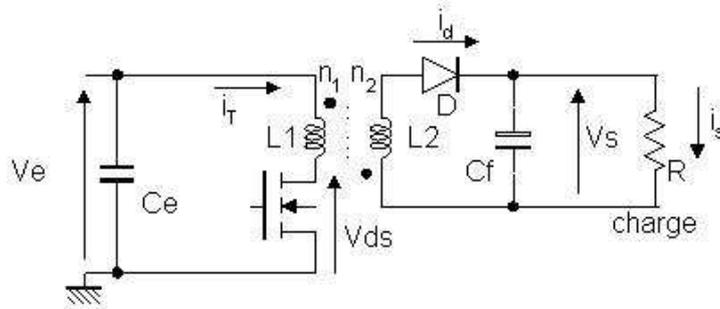
3.2.1. Principe



3.2.2. Schéma fonctionnel

- Deux technologies courantes :
- Convertisseur « Flyback »
 - Convertisseur « Forward »

Découpage « Flyback »



Fonctionnement semblable à celui d'un hacheur .

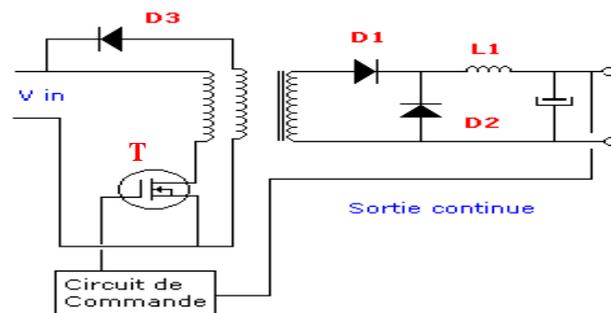
La régulation de tension se fait par action sur le temps de conduction de(s) l'interrupteur(s)

Phase 1 : on accumule de l'énergie dans L1 (transistor passant et diode D bloquée)

Phase 2 : on bloque le transistor, D s'amorce et l'énergie est transférée à la sortie à travers D.

NB: le condensateur Ce sert de découplage pour le câblage de l'entrée et fournit la composante alternative du courant absorbé à l'entrée.
Le condensateur Cf lisse la tension de sortie.

Découpage « Forward »



Phase 1: Quand T conduit, l'énergie est simultanément stockée dans L1 et va vers la charge via D1; D2 est bloquée.

Phase 2: Quand T est bloqué, l'énergie de L1 passe vers la charge via D2.

NB: le troisième enroulement dit de "démagnétisation" a pour fonction de limiter la tension crête sur le drain du transistor.

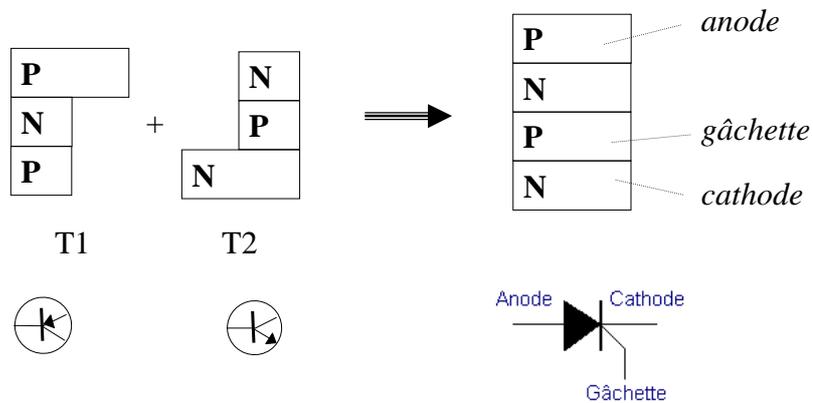
3.3. Les alimentation à thyristors

Avantages	Inconvénients
Applications haute puissance Rendement élevé (70%) Encombrement limité	Moins bonne régulation

Rq: En pratique le découpage est parfois assuré par un thyristor placé côté primaire du transformateur

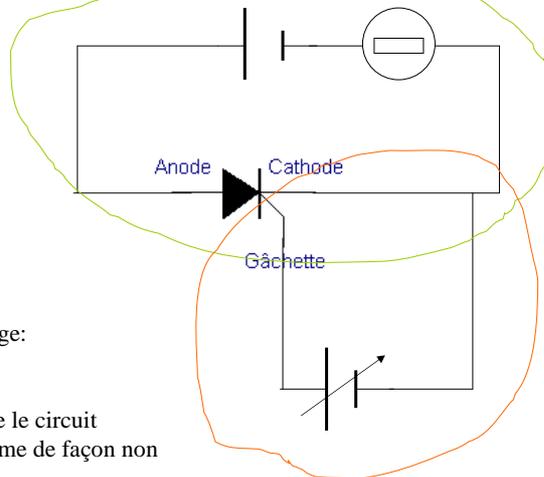
Rappels sur le thyristor

C'est un redresseur unidirectionnel commandé.



Rappels sur le thyristor

Circuit anodique



Conditions d'amorçage:

- 1- anode > cathode
- 2- un courant traverse le circuit de commande (même de façon non permanente)

Circuit de commande

4. Les critères de choix d'une alimentation

4.1. Puissance (W) disponible en sortie ($P_S = U_S I_S$)

- « En général » :
- Faibles puissances ($P < 500W$) : Alimentations linéaires
 - Puissances moyennes et élevées : Alimentations à découpage sauf si le critère de stabilité est prépondérant.

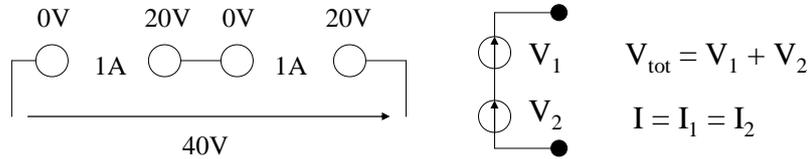
4.2. Sorties

a – Nombre de sorties (1, 2, 3...)

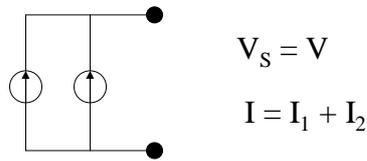
- b – Plage de réglage de la tension :
- (0, Fixe)
 - (Unipolaire 0 – 20V)
 - (Bipolaire –20V - +20V)

c – Association des sorties :

SERIE

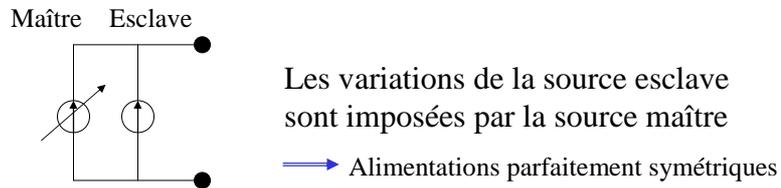


PARALLELE



c – Association des sorties :

Association possible des sorties selon le principe « Maître-Esclave » série ou // (serial tracking - // tracking)



d – Réglage du courant

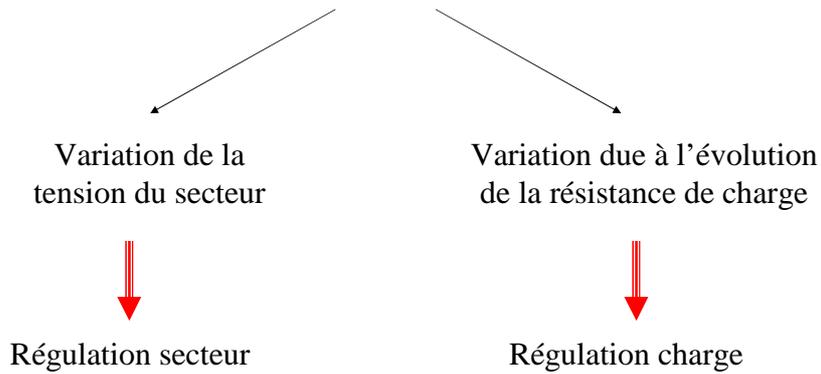
Dépend de la valeur de l'étendue du courant maximal débité par l'alimentation

Ex: $P = 90W$
 $V = 0 - 30V$
 $I = 0 - 3A$

4.3. Stabilité de la tension ou du courant de sortie

C'est un critère déterminant dans le choix d'une alimentation de laboratoire

2 causes possibles de variations de V (ou de I) de sortie



4.4. Temps de réponse (tr)

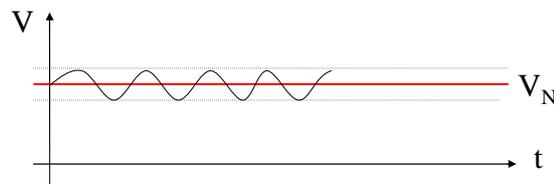
Temps nécessaire pour que la sortie reviennent à sa valeur stabilisée, après une variation brutale de la charge.

Classiquement : $0 < tr < qq\ s$

4.5. P.A.R.D. (Periodic and Random Deviation)

NB: parfois appelé « ripple and noise » ondulation et bruit.

Il caractérise l'ondulation résiduelle de la tension de sortie autour de sa valeur nominale. Le P.A.R.D. est mesuré dans une gamme de fréquence spécifiée (ex: 10Hz – 100MHz)



4.6. Autres critères

- Possibilité de programmation

- | | | |
|---|--------------|---|
| { | - analogique | commandé par une tension |
| | - numérique | connecté à un BUS informatique (RS232, IEEE...) |

- Conformité aux normes (dont compatibilité électromagnétique)

- Dérive dans le temps (Drift)

- Temps de maintien (hold-up time) en cas de microcoupure

- Dérive en température

- Résolution (plus petite valeur de V ou I pouvant être réglée)

- Impédance de sortie

- Rendement (Efficiency)

$$Eff = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in} \cos \Phi} \quad \Phi = \text{déphasage } I, V \text{ d'alimentation}$$

- Dimensions et poids

- MTBF (Mean Time Between Failure)

- Prix

5. Charge électronique

Dispositif qui se comporte comme une résistance commandée par un signal externe (résistance programmable)

—> *Peut absorber un courant de façon contrôlée.*

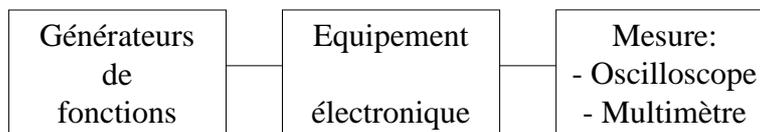
Les charges électroniques actuelles sont généralement pilotables via un ordinateur et sont utilisées pour caractériser les alimentations

Les générateurs de fonctions

1. Avant-propos

C'est avec l'oscilloscope, le multimètre et l'alimentation stabilisée, l'appareil le plus répandu en laboratoire.

BUT: Fournir des signaux électriques variables dans le temps qui vont servir de stimuli pour analyser des équipements ou des circuits...



Les générateurs de fonctions

2. Signaux de sorties

Les formes d'ondes conventionnelles:

- sinusoïdales
- carrées
- triangulaires
- impulsions à rapport cyclique variable
- signaux arbitraires

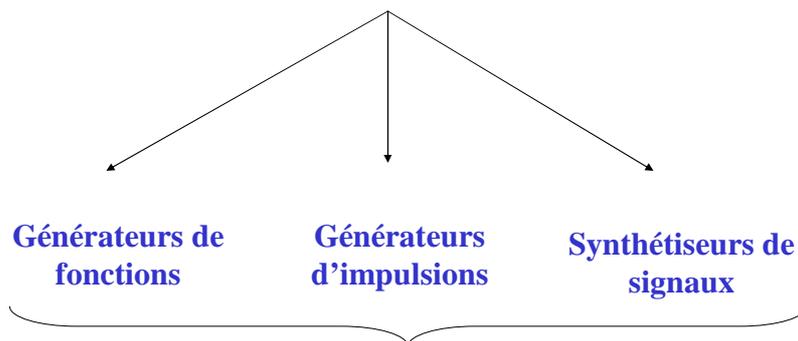
3. Les différentes technologies

Les éléments constitutifs des GS sont conditionnés par les caractéristiques de l'onde générée et par les possibilités de modulations du signal de sortie.

Paramètres caractéristiques d'un signal généré

- Forme du signal
- Domaine de fréquence
- Domaine d'amplitude
- Pureté

On peut distinguer trois grandes familles de GS

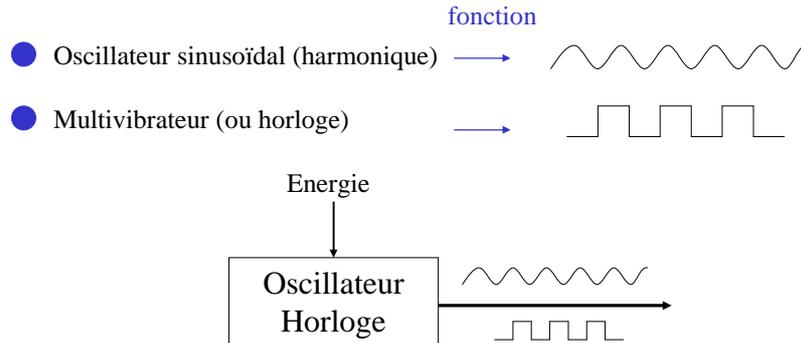


Pour chaque famille deux types de générateurs: analogique et numérique

4. Les générateurs de fonctions conventionnelles

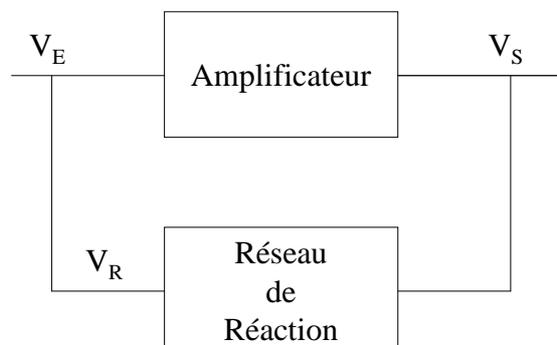
4.1. L'oscillateur

C'est l'élément de base des générateurs de fonctions

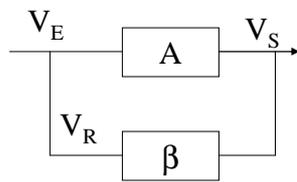


Principe

Le principe de fonctionnement est basé sur les systèmes bouclés



Mise en équation



! Grandeurs complexes

$$\left. \begin{aligned} V_S &= AV_E \\ V_R &= V_E = \beta V_S \end{aligned} \right\} \longrightarrow V_S = A\beta V_S$$

$$V_S \neq 0 \implies A\beta = 1$$

Critère de Barkhausen

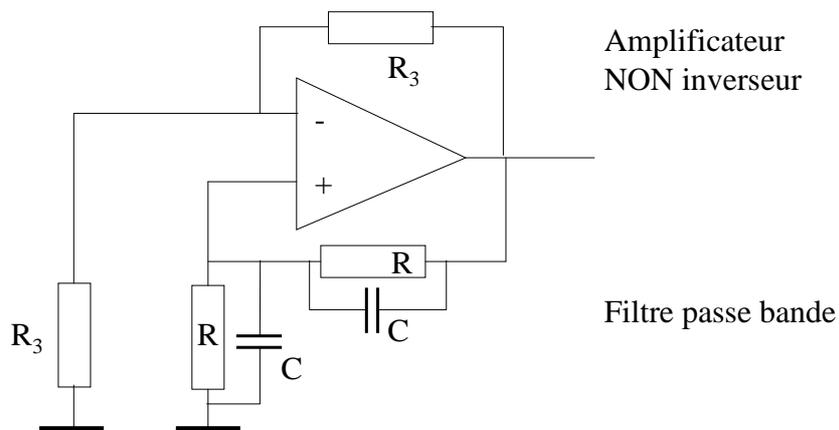
Toutes les fréquences pour lesquelles $A\beta = 1$ oscillent

β est le Gain du réseau de rétroaction

Séparément pour la partie réelle est complexe le critère $A\beta = 1$ devient: $\text{Re}(A\beta) = 1$ et $\text{Im}(A\beta) = 0$

Réalisation

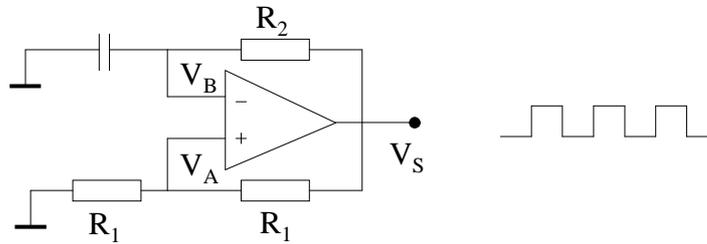
Exemple



Pour simuler le comportement de ce circuit voir par exemple www.linear.com/designtools/software

Un autre type d'oscillateur

(Oscillateur à relaxation)



Saturation à $+U$ et $-U$.

Si $V_A > V_B$: $V_S = +U$, et donc C se charge positivement (V_B monte) pendant que $V_A = +U/2$

On arrive alors à $V_B > V_A$, donc V_S bascule à $-U$, et C se décharge charge d'abord puis se charge négativement pendant que $V_A = -U/2$
Etc.

Critères principaux

- Précision sur la fréquence $\Delta F_0/F_0$: 1%, 0.1% ...
- Dérive de la fréquence: $F_0 \rightarrow F_0 + dF_0$
 dF_0 peut dépendre du temps, de la température...

Amélioration

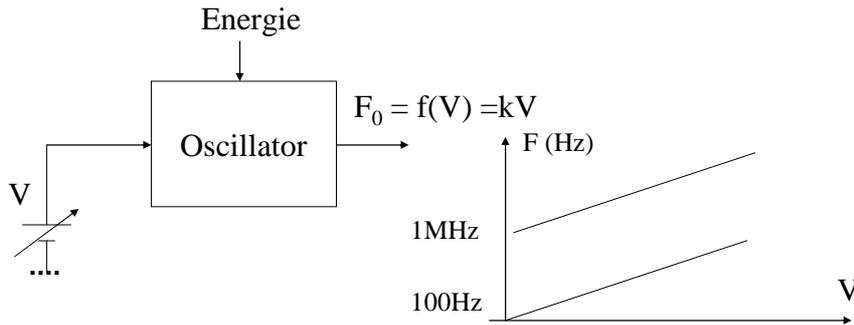
Utilisation d'un quartz pour stabiliser F_0

(Matériau piézoélectrique, vibration mécanique et électrique,
bonne stabilité en température: $f = f_0 * [1 - 0.04 \text{ ppm} * (T-T_0)^2]$)

4.2. L'oscillateur commandé en tension (OCT)

Voltage Controlled Oscillator (VCO)

La fréquence de la tension de sortie est commandée par une tension

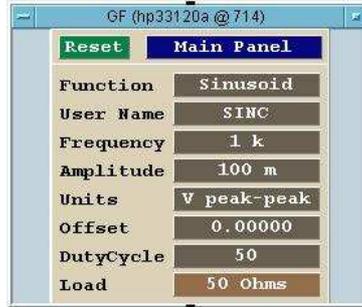


4.3. Critères de choix

- Domaine de fréquence ($F_{\min} \longrightarrow F_{\max}$)
- Précision sur la fréquence affichée (Setting error)
 - ex : 100Hz à 5% $\longrightarrow 100 \pm 5$ Hz
 - 100Hz à 1ppm $\longrightarrow 100 \times 10^{-6} \longrightarrow 100,0000 \pm 0,0001$ Hz
- Amplitude de la tension de sortie
- Possibilité d'adjoindre une tension continue (OFFSET)
- Formes du signal de sortie
- Rapport cyclique variable
- Impédance de sortie (600Ω, 50Ω)
- Sortie TTL
- Possibilité de vobulation (interne ou externe) linéaire ou logarithmique
- Mode burst (rafale ou salve)
- Mode porte (Gating)
- Possibilité de modulation du signal de sortie
- Pilotage par un BUS IEEE 488, RS232...

4.4. Mode de fonctionnement et applications

4.4.1. Fonctionnement en balayage continu manuel



EX: Synoptique de la face avant du GF HP33120A

Application: test manuel de circuits :

- Etude en régime transitoire (ex: charge d'un circuit RC...)
- Etude en régime permanent (ex: mesure d'amplification à F fixée)

4.4. Mode de fonctionnement et applications

4.4.2. Balayage en fréquence par un signal extérieur

- ① Forme des signaux toujours imposée par l'opérateur
- ② Fréquence proportionnelle à une tension continue appliquée sur l'entre appropriée



Application: test automatique de circuits :

ex: étude à l'oscilloscope de la réponse en fréquence d'un filtre avec enregistrement sur un oscilloscope numérique

4.4. Mode de fonctionnement et applications

4.4.3. Mode de fonctionnement « PORTE » ou « GATE »

Train d'impulsions (sinus, carré, triangulaire) en sortie pendant la durée de l'état haut du signal « Porte » appliqué sur l'entrée de commande.

Application: - réaction de circuit en régime impulsionnel
- essais de puissances transitoires sur les amplificateurs

4.4.4. Mode de fonctionnement déclenché

Impulsion unique en sortie après commande par un signal de validation interne ou externe.

Application: impulsion de commande pour circuit logique ou moteur

.....

4.4.4. Mode de fonctionnement par impulsions

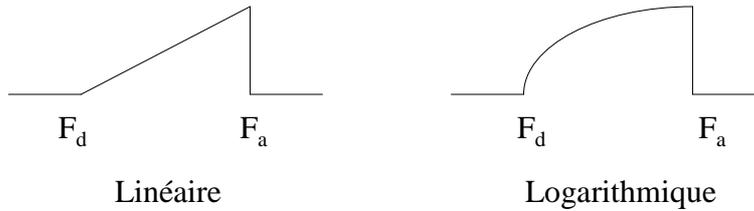
Impulsions répétitives de largeur variable

4.4.5. Balayage continu en fréquence (linéaire ou logarithmique): VOBULATION

Le générateur délivre en sortie un signal (sinus, carré, triangulaire) dont F varie automatiquement dans une plage et avec une vitesse préalablement réglée.

- Réglages:
- Signal de sortie: Forme et Amplitude
 - Plage de F : F début – F d'arrêt
 - Durée du balayage
 - Mode de balayage : Linéaire ou Logarithmique
-

NOTA: Une sortie auxiliaire fourni alors une tension dont l'amplitude est proportionnelle à la fréquence.
 $V(t)=k.f(t)$



Application: Relevé automatique de courbes de réponse sur traceur analogique

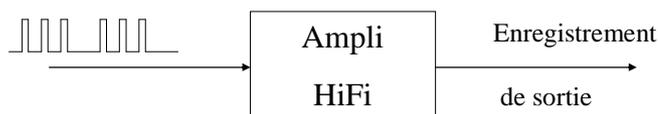
4.4.6. Mode train d'impulsions déclenché unique

Le générateur délivre un train d'impulsions déclenché manuellement ou par un signal extérieur.

4.4.7. Mode train d'impulsions déclenché répétitif (Burst)

Idem mais pour plusieurs rafales.

Application: Test du comportement dynamique d'un amplificateur HiFi



4.4.8. Mode vobulation pendant une ouverture de porte

La fréquence du signal de sortie varie (Lin ou Log) pendant l'ouverture de la « Porte » (Trig/Gate In)

4.4.7. Marqueur de fréquence

Mode utilisé pour les tests de réponse en fréquence. L'opérateur peut observer une ligne intensifiée sur l'écran de l'oscilloscope. Cette surbrillance matérialise la fréquence sélectionnée. Ne fonctionne qu'en mode vobulation.

Application: Mesures de fréquences de coupure.

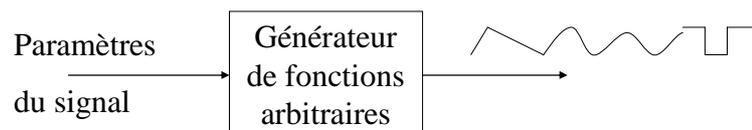
5. Les générateurs de signaux arbitraires

5.1. Principe et schéma synoptique

BUT: Fournir un signal de morphologie totalement arbitraire, c'è d ne répondant pas une fonction mathématique classique.

En pratique le signal de sortie peut être:

- la reproduction d'un signal préalablement enregistré
- un signal créé point par point ou analytiquement par l'opérateur



5.2. Applications

Les \neq équipements à tester sont généralement soumis à des excitations complexes :



les générateurs de fonctions arbitraires en permettent la reproduction



Tests possibles en laboratoire

- Mécanique : - Etude des vibrations (ex: comportement d'un véhicule)
- Médical : - Caractérisation des stimulations cardiaques (battements du cœur enregistrés puis reproduits)

- Génie civil : - Etude des contraintes sismiques sur une structure
- Sciences des matériaux : - Résistance des matériaux (cycle de contraintes répétitifs)
- Electronique de puissance : - Test des alimentations (reproduction de la tension secteur avec ses parasites et ses microcoupures)
- Electronique des capteurs : - Reproduction de signaux effectifs reçus par les capteurs.

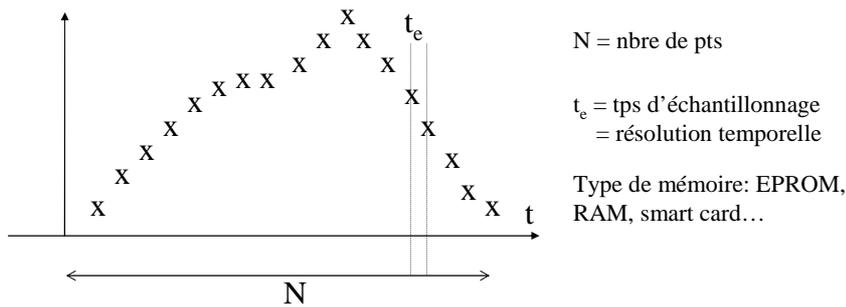
Conclusion : Les « G.S.A. » facilitent le test en laboratoire avec des conditions « réelles quelconques ». (plus de stimuli figés éloignés des signaux effectifs)

5.3. Archivage du signal (Mémoire)

Deux cas possibles:

- le signal est créé de toute pièce de manière numérique
- un signal analogique est enregistré puis numérisé par un convertisseur A/N

Avantage: pour 1 signal périodique on ne conserve en mémoire q'une seule période



5.4. Génération du signal

- Manuelle : point par point, $P(V_i, t_i)$
- Téléchargement : ex à partir d'un oscilloscope à mémoire via un BUS
- Table à digitaliser : on dessine directement la forme du signal
- Analytiquement : on entre l'équation du signal (si connue) à l'aide d'un logiciel.

5.5. Tableau caractéristique d'un « G.S.A. » (récapitulatif)

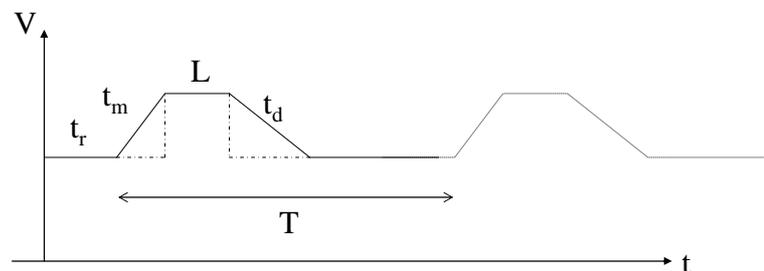
- Sorties:
 - nombre de voies indépendantes
 - réglage du déphasage entre deux voies
- Méthode de création du signal:
 - Manuellement
 - Equation mathématique
 - Formes d'ondes en bibliothèques
 - Téléchargement
 - Logiciel d'édition
 - Temps minimum entre deux points
 - Capacité de mémorisation (octets)

NB: 1.5k€ < PRIX < 80k€

6. Les générateurs d'impulsions

BUT: Générer des impulsions répétitives généralement rectangulaires, dont la plupart des paramètres sont réglables.

6.1. Paramètres caractéristiques d'un train d'impulsions



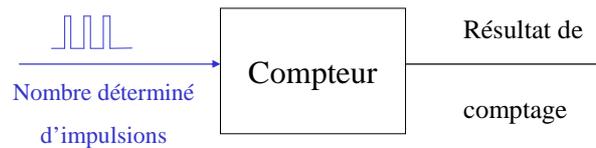
6.2. Applications

- Test paramétrique d'un composant.

Ex: Mesure du temps de commutation d'une diode et extraction de la durée de vie des porteurs minoritaires

- Test de circuits logiques.

- Test de compteur:



- Test dynamique (commutation de portes)

- Impulsions de déclenchement: radar, relais, moteur pas à pas...

7. Les synthétiseurs de signaux

7.1. Principe

Ils génèrent un signal sinusoïdal très pur, c à d pratiquement exempt d'harmoniques.

On peut utiliser ce signal sinusoïdal ou réaliser des fonctions plus complexes à partir de ce dernier par modulation ou encore obtenir des formes d'ondes classiques (carré, triangulaire) : Générateur de fonction synthétisée.

7.2. Paramètres définissant la pureté d'un signal sinusoïdal

Single SideBand noise (SSB-noise) (angl.)

Bruit dans une bande de largeur 1Hz par rapport à la fréquence porteuse.
C'est un bruit continu et décroissant en fct de la distance à la porteuse (en Hz)

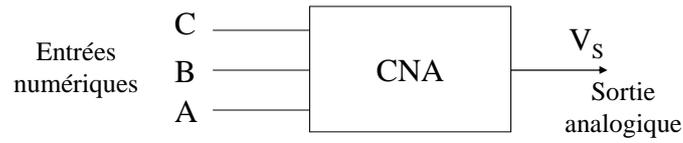
Subharmoniques et "spurious" (angl.)

Ce sont les restes (non filtrés) des fréquences qui servaient à la création de la fréquence porteuse. C'est un bruit en pics.

ANNEXE: Les générateurs de signaux arbitraires



* Générateurs numérique d'un signal analogique



Sortie = k x Entrée numérique

La résolution dépend alors du nombre de bits de codage

Exemple sur 3 bits :

C	B	A	V sortie
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	3
0	1	1	4
1	0	0	5
1	1	0	6
1	1	1	7

LES MULTIMÈTRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,...)

Plan

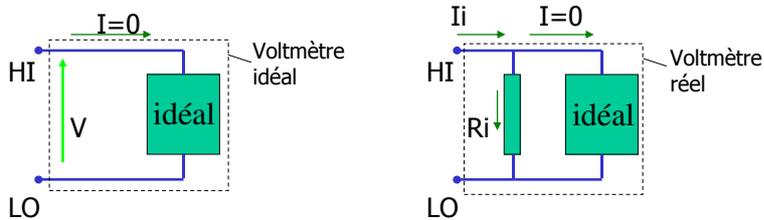
- 1 – caractéristiques communes
- 2 – Les multimètres analogiques
- 3 – Les multimètres numériques
- 4 – l'ohmmètre

LES MULTIMÈTRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,...)



Caractéristiques communes

Voltmètre idéal et voltmètre réel



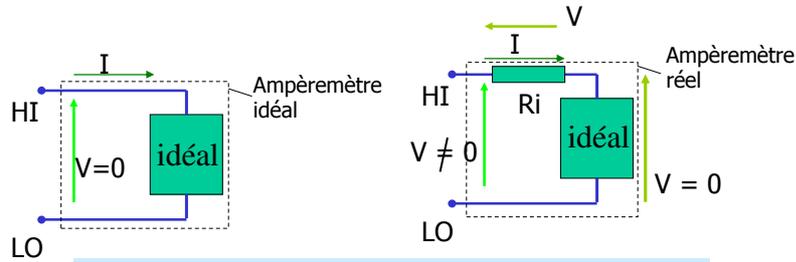
Ordre de grandeur de la résistance d'entrée Ri

$$100 \text{ k}\Omega \leq R_i \leq 10 \text{ G}\Omega$$



LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,..)

Ampèremètre idéal et ampèremètre réel



Ordre de grandeur de la résistance d'entrée R_i

La fiche technique indique la chute de tension dans R_i pour un calibre donné:

calibre 10 mA, chute de tension $V = 30 \text{ mV}$

$$R_i = 0,03 / 0,01 = 3 \text{ ohms}$$

LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,..)

2 - LES MULTIMETRES ANALOGIQUES

2.1. Introduction

D'habitude ils sont basés sur un afficheur magnétoélectrique

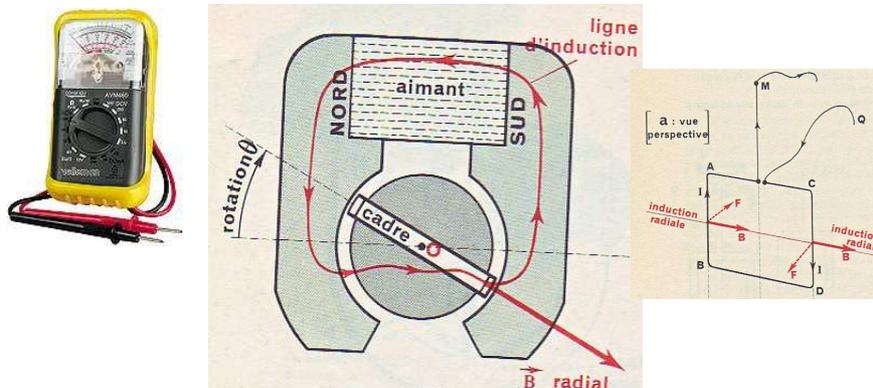


Applications :

- Mesures de I, V en DC ou AC
- Mesures de résistance
- Test de continuité
- Test de diodes
- Test de transistor
- Mesures L, C , fréquence...

LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,...)

2.1. Afficheur magnétoélectrique (galvanomètre)



L'aiguille, fixée sur le cadre, se déplace si le courant dans la bobine sur le cadre mobile est suffisamment grand.

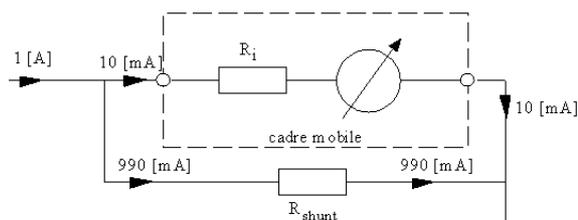
Remarque: Le galvanomètre a d'autres applications, comme par exemple les *scanners* qui dévient la lumière à l'aide d'un petit miroir mobile.

LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,...)

Mesures de courant

Une résistance calibrée, appelée résistance de 'shunt', est mise en parallèle avec le galvanomètre. Le galvanomètre mesure le courant qui le traverse et, en connaissant le rapport des résistances R_i / R_{shunt} , on conclut sur le courant à l'entrée.

En changeant de calibre on change en fait la résistance de shunt.



2.2. Caractéristiques principales.

a) Résistance d'entrée

Elle est généralement donnée en ohm par volt (ex: 20'000 Ω/V). Elle est donc dépendante du calibre.

ex: si $R_i = 20 \text{ k}\Omega/V$ pour le calibre 10V $\rightarrow R_i = 200 \text{ k}\Omega$
le calibre 100V $\rightarrow R_i = 2 \text{ M}\Omega$

b) Classe (précision)

Elle indique la « précision » de la mesure en fonction du calibre d'après la relation: ou EMT est l'Ecart Maximal Toléré autour de la mesure X

$$\text{EMT} = \frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}$$

Ex: pour un appareil de classe 1.5, l'EMT sur le calibre 10V est
EMT=0.15V

Exemples de caractéristiques constructeur

Chauvin ARNOUX

CA 5001 8cal 100mV-1000VDC 1,5%
5Cal 10V-1000VAC 2,5%
20kohms/V 10%
BP 10Hz-100kHz
5Cal 5uA-15ADC 2,5%
4Cal 5mA-5A 2,5%
10kohms-1Mohms
test sonore

Questions ?

Peut on mesurer un signal sinusoïdal de période = 1 μ S ?
Peut on mesurer la valeur efficace d'un signal périodique carré?

3 - LES MULTIMETRES NUMERIQUES



3.1. Introduction

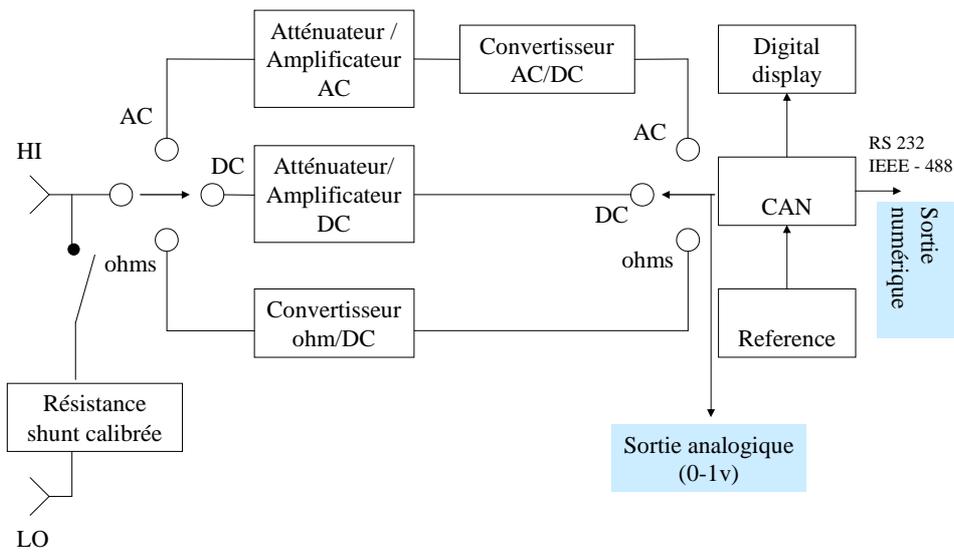
Ils convertissent le signal analogique à mesurer en grandeur numérique et restituent le résultat après traitement.

Les DMMs* assurent typiquement 5 fonctions de base:

- tensions continues DC volts
- tensions alternatives AC volts
- courants continus DC amps
- courants alternatifs AC amps
- résistances ohm

* DMM = Digital Multi Meter

Schéma fonctionnel



3.2 La conversion analogique-numérique dans les DMMs.

- Approximations successives

Avec un 'successive approximation register', faire de la dichotomie du MSB au LSB, à chaque étape un CNA et un comparateur fixent la valeur du bit.

-Méthode à simple rampe

Générer une rampe de voltage pour comparaison avec l'entrée en utilisant un compteur un CNA et un comparateur.

- Méthode à double rampe

1. Charger un condensateur pendant p.ex. 100ms (50 et 60Hz)
2. Décharger à courant constant, mesurer temps de décharge à l'aide d'un compteur.

-Méthode flash

Un comparateur par VALEUR de sortie: très rapide (GHz), couteux (Donc 255 comparateurs pour un CAN de 8bits)

3.3 . Performances d'un multimètre numérique

3.3.1 Nombre de points (Affichage)

C'est le plus grand nombre qui peut être affiché par l'appareil de mesure, l'unité et la position de la virgule n'étant pas pris en compte.

Exemple: 10000 points → étendue 0000 - 9999

3.3.2 Nombre de chiffres ou digits (Affichage)

C'est le nombre maximal de chiffres affichables.

Exemples:

3 digits $\frac{1}{2}$ → étendue 0 000 – 1 999 → (2 000 points)

6 digits $\frac{1}{2}$ → étendue 0 000 000 – 1 999 999 → (2 000 000 points)

LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,..)

3.3.3 Résolution

C'est la plus petite variation de la grandeur à mesurer qui puisse être détectée par l'instrument. Elle s'exprime soit en nombre de digits, soit en %.

Exemple: cas d'un appareil 3 digits 1/2, si la plus petite variation représente 1 digit alors la résolution est 1/1999=0.05%

3.3.4 Sensibilité

C'est la plus petite variation de la grandeur à mesurer qui est détectable mais exprimée en valeur absolue (c'est-à-dire avec l'unité de la grandeur à mesurer)

Exemple : appareil 4 digits 1/2 de plus faible calibre 200mV, sa sensibilité sera de 10µV

Résolution de 1 digit \implies 19999 200mV \implies $1 \rightarrow \frac{200 \cdot 10^{-3}}{19999} \approx 10^{-5} V = 10 \mu V$

LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,..)

Exemples de caractéristiques constructeur

Agilent 34401A Multimeter



Measure up to 1000 volts with 6 1/2 digits resolution
3Hz to 300kHz ac bandwidth

Accuracy Specifications: \pm (% of reading + % of range)[1]

Exemple: on trouve dans le tableau à la ligne

Mesure DC / calibre **10.00000 V** **0.0020 + 0.0005**

On mesure une tension de 8,12345 volt, quelle est l'incertitude?

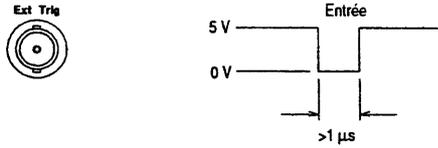
$EMT = 0,0020 \times 8,12345 / 100 + 0,0005 \times 10 / 100$

$EMT = 0,00021 \text{ volt}$

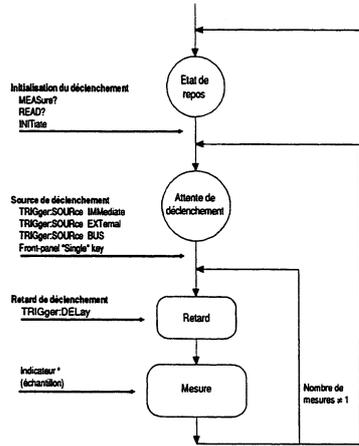
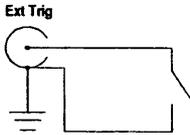
Spécifications d'un pulse de déclenchement

Borne de déclenchement externe

Vous pouvez déclencher le multimètre en appliquant une impulsion négative (vraie) sur la borne *Ext Trig* (external trigger : déclenchement externe) du panneau arrière. Pour utiliser cette borne depuis l'interface distante, vous devez sélectionner la source de déclenchement externe (TRIGger : SOURce EXTErnal).



Pour générer un déclenchement externe sur l'entrée *Ext Trig*, vous pouvez utiliser un simple commutateur, comme montré ci-dessous.

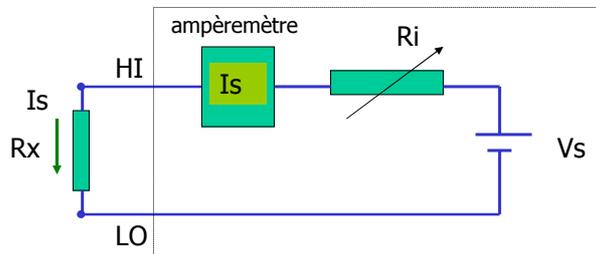


LES MULTIMETRES (VOLTMETRE, AMPEREMETRE, OHMMETRE,..)

4 - L'OHMMETRE

Principe

Source V mesure I



$$I_s = \frac{V_s}{R_i + R_x}$$



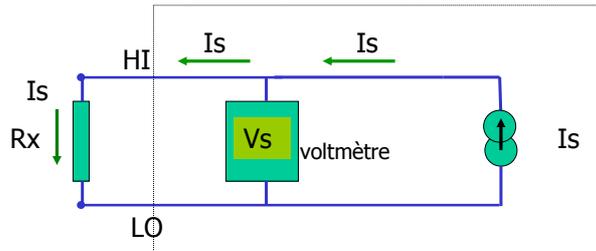
$$R_x = \frac{V_s - R_i I_s}{I_s}$$

Relation non linéaire

4 - L'OHMMETRE

Source I mesure V

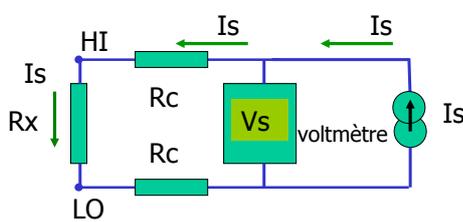
Montage 2 fils



$$V_s = R_x \cdot I_s \quad \longrightarrow \quad R_x = \frac{V_s}{I_s}$$

Mesure de résistance de faible valeur

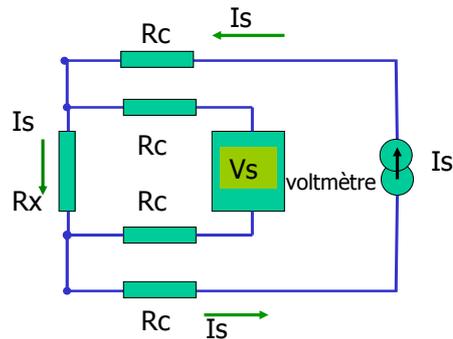
Montage 2 fils



$$V_s = (R_x + 2 \cdot R_c) \cdot I_s$$

$$\longrightarrow R_x = \frac{V_s - 2R_c \cdot I_s}{I_s}$$

Montage 4 fils

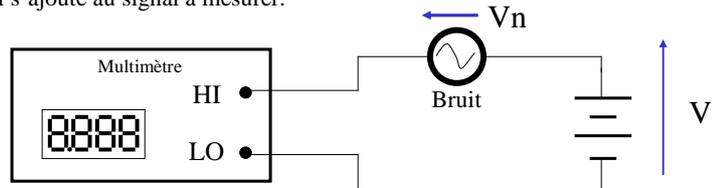


$$V_s = R_x \cdot I_s \quad \longrightarrow \quad R_x = \frac{V_s}{I_s}$$

4. Le bruit dans les mesures à faibles niveaux

4.1 NMRR (Normal Mode Rejection Ratio)

Il détermine l'aptitude de l'appareil à rejeter ou atténuer le bruit prenant naissance entre les entrées LO et HI. Ce bruit est un signal parasite qui s'ajoute au signal à mesurer.

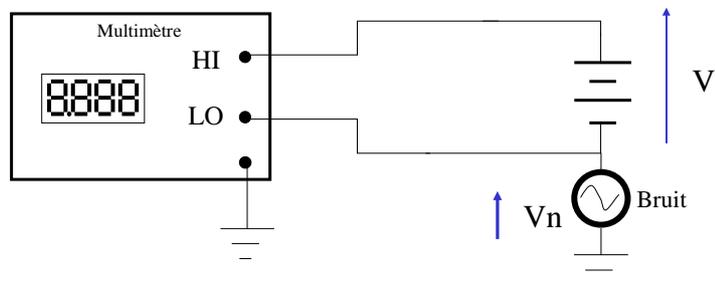


$$NMRR = 20 \log \left[\frac{\text{peak normal mode noise}}{\text{peak measurement deviation}} \right]$$

NB: Le NMRR est donné pour une fréquence spécifique ou une gamme de fréquence (typiquement 50-60Hz) et est généralement exprimé en dB.

4.2 CMRR (Common Mode Rejection Ratio)

Il détermine l'aptitude de l'appareil à rejeter ou atténuer le bruit prenant naissance entre les entrées LO et HI et le châssis (masse). Ce bruit est un signal parasite qui s'ajoute au signal à mesurer. (Le CMRR est directement lié aux mesures différentielles)

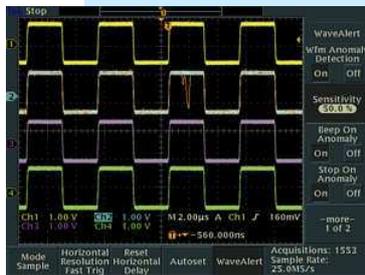


NB: Le CMRR est donné pour une fréquence spécifique ou une gamme de fréquence (typiquement 50-60Hz)

LES OSCILLOSCOPES

Plan

- 1 - LE CONCEPT
- 2 - LE PRINCIPE
- 3 - LA BASE DE TEMPS
- 4 - LE DECLENCHEMENT
- 5 - LA DÉVIATION VERTICALE
- 6 - ENTREE AXE Z



LES OSCILLOSCOPES

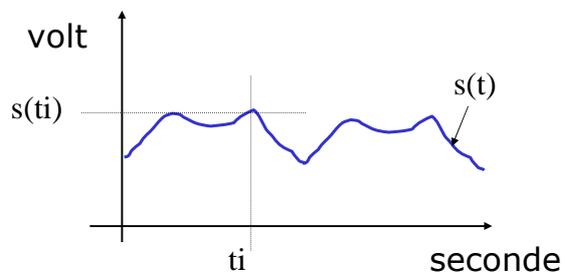
1 - LE CONCEPT

Cet instrument assure la fonction principale :

- Représentation temporelle d'un signal électrique $s(t)$

Extension des possibilités :

- Mesures des paramètres associés (fréquences, temps ,Veff,.....)



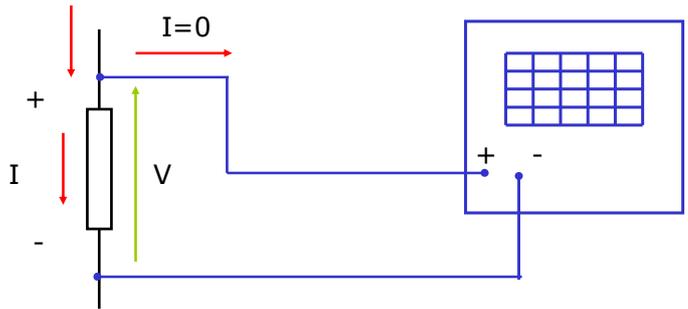
On voit ce que l'on mesure

LES OSCILLOSCOPES

1 - LE CONCEPT

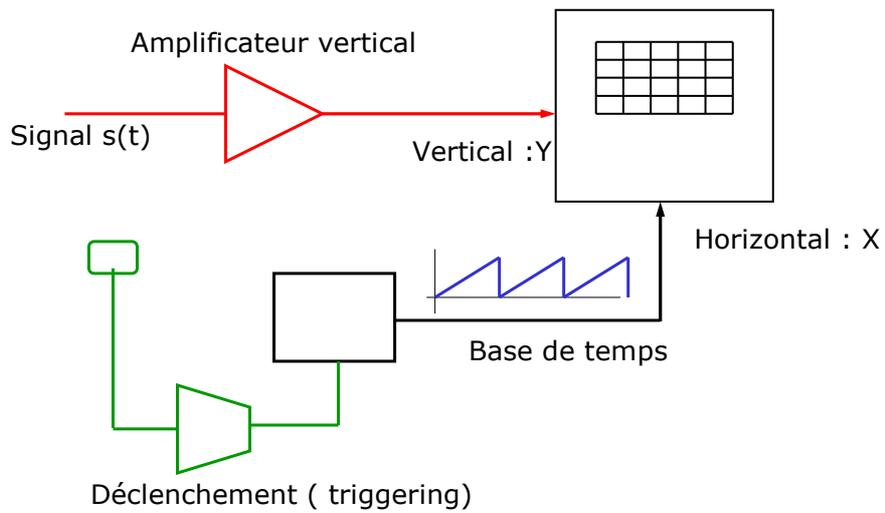
Prises de mesure

La prise de mesure est analogue à celle de la mesure d'une tension



LES OSCILLOSCOPES

2 - LE PRINCIPE



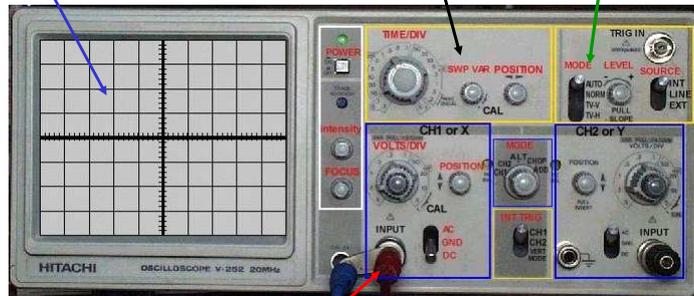
LES OSCILLOSCOPES

2 – LE PRINCIPE

Ecran cathodique

Base de temps

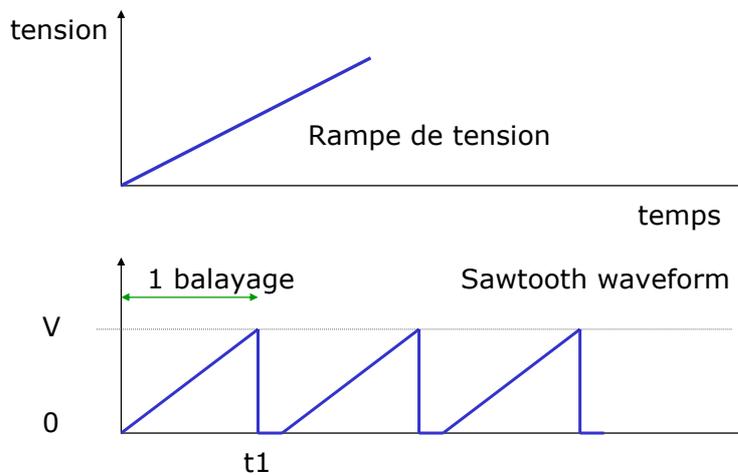
Déclenchement (triggering)



LES OSCILLOSCOPES

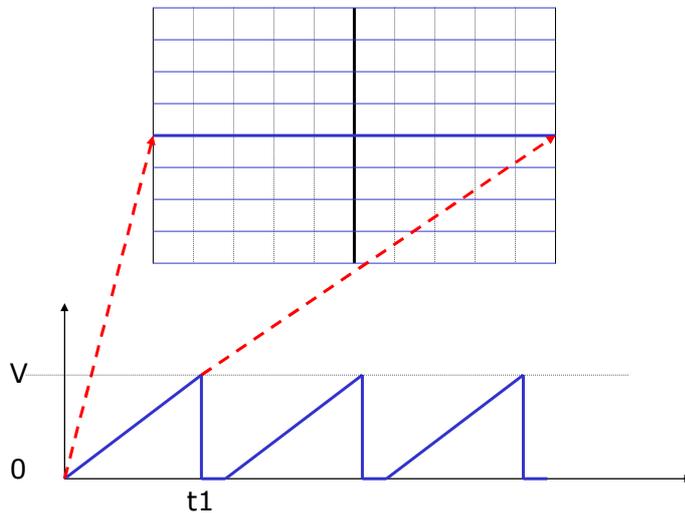
3 – LA BASE DE TEMPS

Balayage horizontal : X



LES OSCILLOSCOPES

3 – LA BASE DE TEMPS



LES OSCILLOSCOPES

3 – LA BASE DE TEMPS

contrôle du balayage

Balayage automatique

Dans ce mode le balayage horizontal est toujours activé quelque soit l'état du déclenchement

Balayage normal

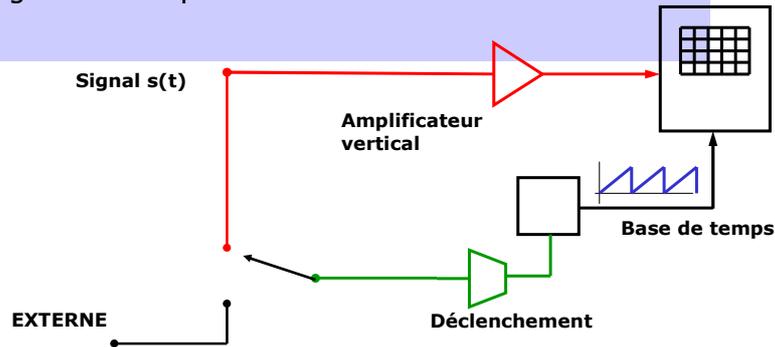
Dans ce mode le balayage horizontal est activé si la condition de déclenchement est validée

LES OSCILLOSCOPES

4 – LE DECLENCHEMENT (TRIGERRING)

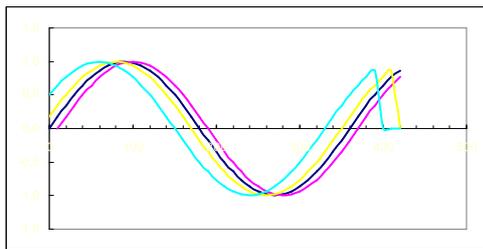
Ce terme regroupe deux concepts:

- a - démarrage du signal dent de scie de la BDT
- b - synchronisation avec le signal à observer ou avec un signal externe pour assurer la visualisation stable

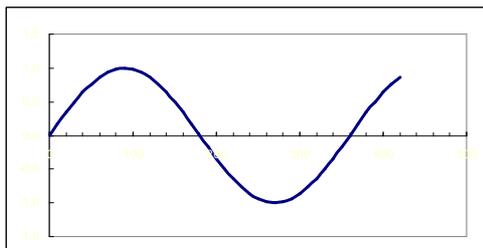


LES OSCILLOSCOPES

4 – LE DECLENCHEMENT (TRIGERRING)



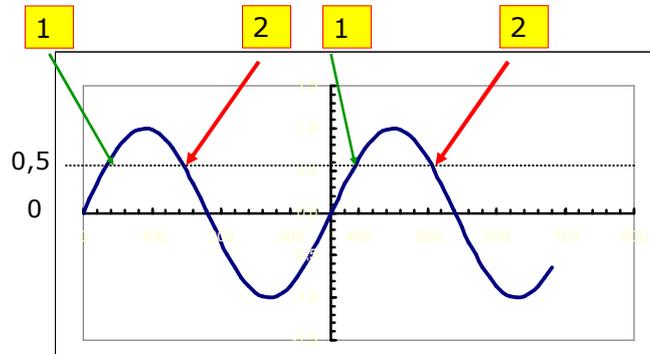
a - le balayage horizontal fonctionne mais pas la synchronisation



B - le balayage horizontal fonctionne et la synchronisation également

LES OSCILLOSCOPES

4 – LE DECLENCHEMENT (TRIGERRING)



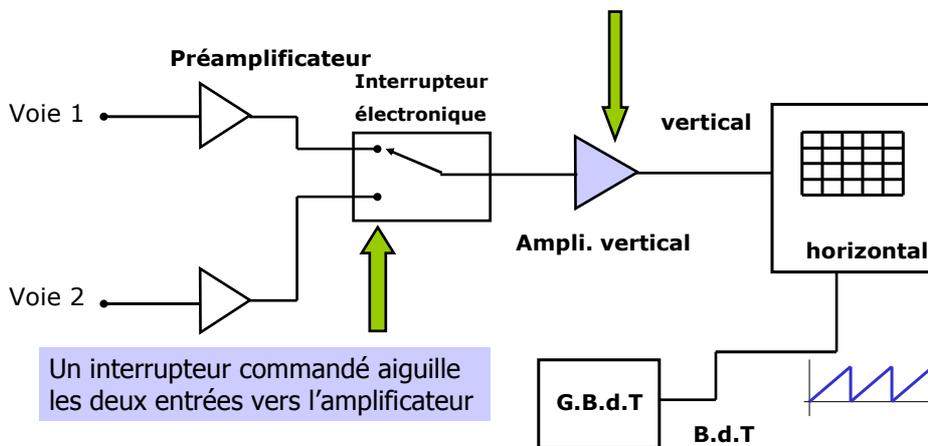
Déclenchement 1 : Pente positive et niveau de tension = 0,5 V

Déclenchement 2 : Pente négative et niveau de tension = 0,5 V

LES OSCILLOSCOPES

5 – LA DEVIATION VERTICALE

Un amplificateur vertical unique assure la déviation verticale du faisceau d'électron.



Un interrupteur commandé aiguille les deux entrées vers l'amplificateur

LES OSCILLOSCOPES

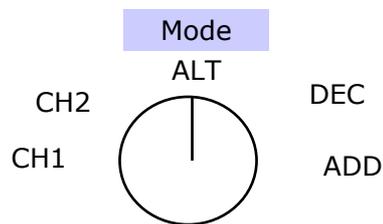
5 – LA DEVIATION VERTICALE modes de visualisation : alterné ou découpé

Mode alterné : durant le premier balayage c'est le signal de la voie 1 qui est dirigé sur l'ampli vertical puis c'est le signal de la voie 2 qui est affiché (balayage par balayage)

-> bonne visualisation à haute fréquence

Mode découpé (chopped) : Pendant un seul balayage l'affichage change rapidement entre voie 1 et voie 2.

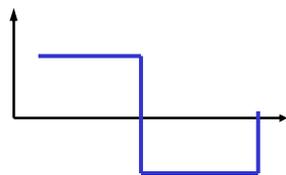
-> bonne visualisation à basse fréquence



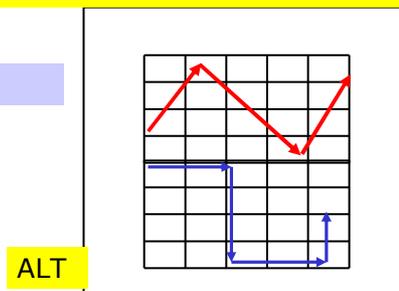
Autres modes
 CH1 : visualisation voie 1
 CH2 : visualisation voie 2
 ADD : visualisation voie 1 + voie 2

LES OSCILLOSCOPES

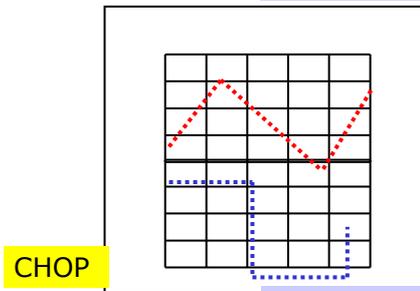
5 – LA DEVIATION VERTICALE modes alterné ou découpé



Influence de la durée de vie du phosphore !



Signaux HF



Signaux BF

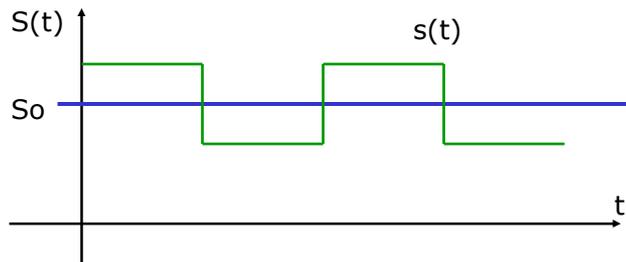
LES OSCILLOSCOPES

5 – LA DEVIATION VERTICALE

couplage AC ou DC

Soit le signal $S(t) = S_0 + s(t)$ ← Composante variable

↑
Composante continue

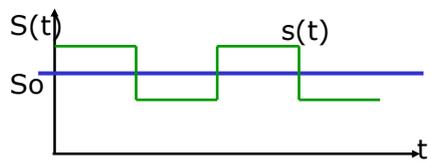


LES OSCILLOSCOPES

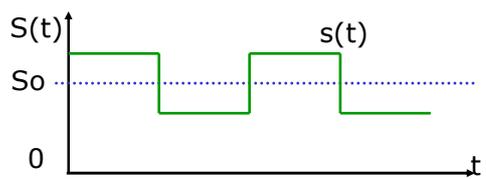
5 – LA DEVIATION VERTICALE

couplages

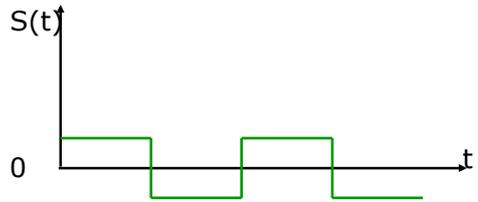
$$S(t) = S_0 + s(t)$$



couplage DC



couplage AC



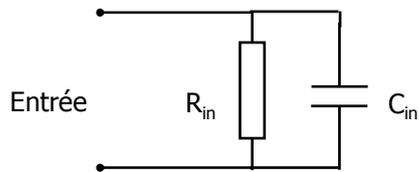
En couplage AC on soustrait la partie continue.
-> meilleure visibilité de la partie fluctuante

LES OSCILLOSCOPES

5 – LA DEVIATION VERTICALE

impédance d'entrée

configurations



$$5 \text{ pF} < C_{in} < 30 \text{ pF}$$

Haute impédance

$$R_{in} = 1 \text{ à } 10 \text{ M}\Omega$$

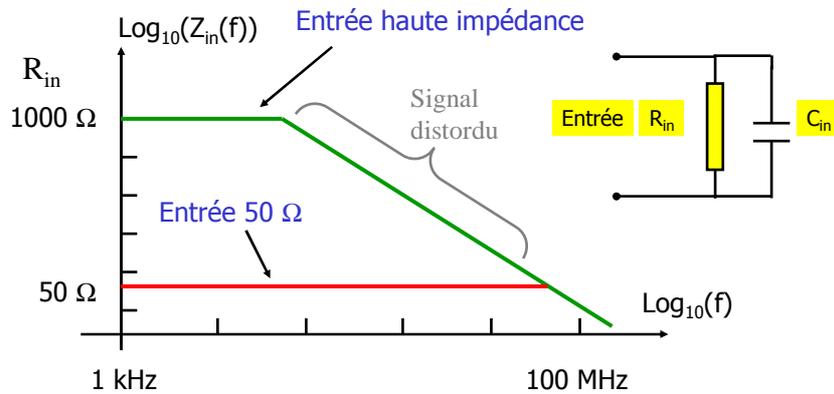
Entrée 50 ohms

$$R_{in} = 50 \Omega$$

LES OSCILLOSCOPES

5 – LA DEVIATION VERTICALE

Evolution de l'impédance d'entrée avec la fréquence



L'entrée 50 Ω présente une impédance constante dans le plus grand domaine de fréquence (C_{in} devient négligeable / 50 Ω)

LES OSCILLOSCOPES

SPECIFICATIONS USUELLES

Oscilloscope analogique

Bande Passante (-3dB) : 100 MHz

Temps de montée : 3,5 ns (voir aussi taux d'échantillonnage en numérique)

Impédance d'entrée : $1M\Omega$ en parallèle avec $C = 22\text{ pF}$

Calibres verticaux : 5 mV par division à 5 V par division, $\pm 3\%$

Base de temps : 2 nsec par division à 0,5 sec par division, $\pm 3\%$

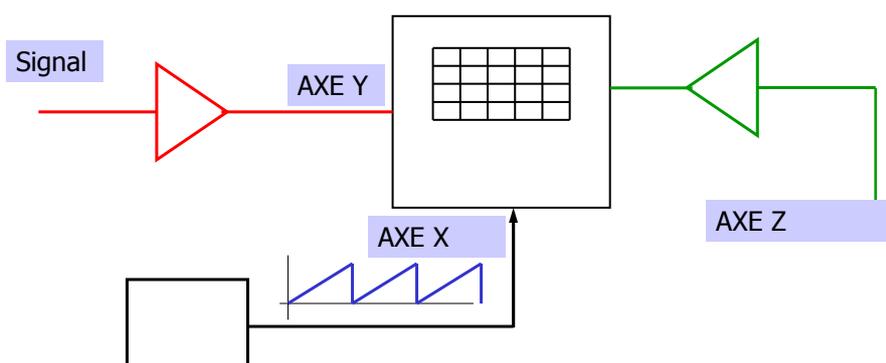
Tension max mesurable : $5\text{ V} \times 8 = 40\text{ V}$

Durée maximale de visualisation : $0.5\text{ sec} \times 10 = 5\text{ sec}$

LES OSCILLOSCOPES

6 – ENTREE AXE Z

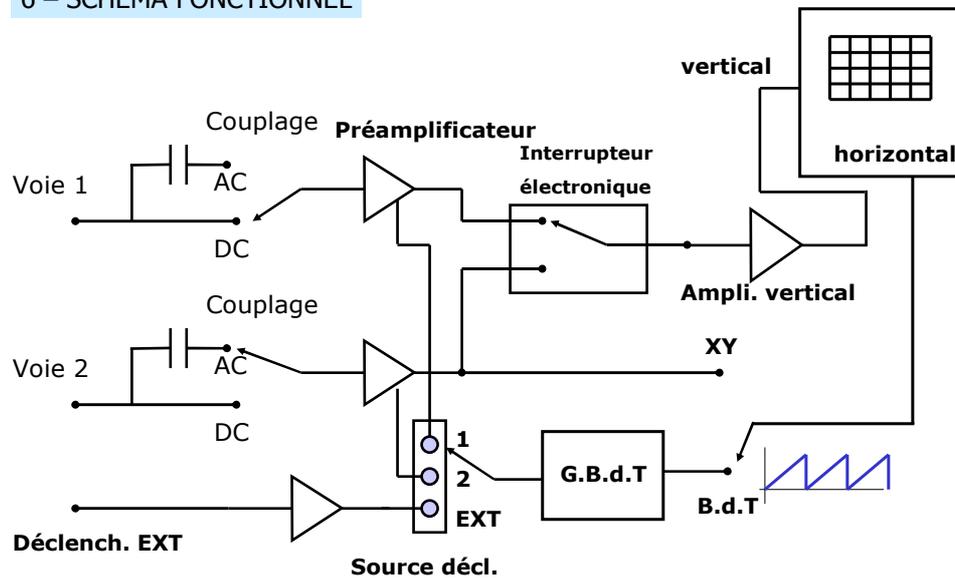
Modulation de l'intensité du faisceau



Une tension continue positive appliquée sur l'entrée Z diminue la brillance du faisceau électronique, à contrario, une tension continue négative appliquée sur l'entrée Z augmente la brillance du faisceau électronique

LES OSCILLOSCOPES

6 – SCHEMA FONCTIONNEL



LES OSCILLOSCOPES NUMERIQUES

1 – Noms

digital storage oscilloscope, or DSO for short

Marques connus: LeCroy, Tektronix

2 – Les différences principales avec les oscilloscopes analogiques

Un CAN rapide sonde le signal et remplit la mémoire.

Le contenu de la mémoire peut être représenté sur l'écran, sauvegardé, ou analysé autrement (FFT, filtres, moyenne, V_{eff} ...)

LES OSCILLOSCOPES NUMERIQUES

2 – Les différences principales avec les oscilloscopes analogiques

Le temps entre deux déclenchements peut être beaucoup plus long que le temps affiché sur l'écran

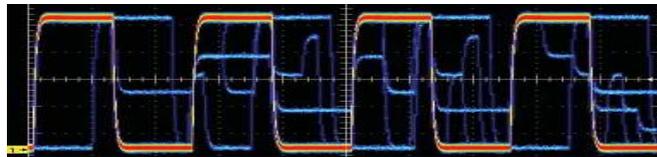
-> On ne voit pas les événements rares

Pour identifier des événements rares:

(Analog) Persistence - (post processing)

Digital Phosphor Oscilloscope - (real-time processing)

Cette information est affichée en code couleur ou en variation de l'intensité.



→ Advanced triggering

LES OSCILLOSCOPES NUMERIQUES

3 – Les caractéristiques critiques

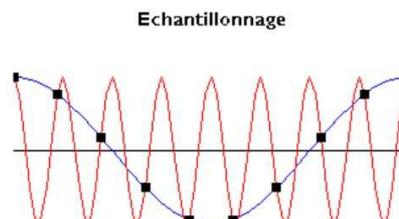
La bande passante, unité Hz

La bande passante donne la limite supérieure des fréquences visibles pour l'appareil (atténuation de $< 3\text{dB}$ ou $< 70.7\%$).

Le taux d'échantillonnage, unité S/s (samples/second)

Il faut absolument $>2x$ la bande passante en taux d'échantillonnage pour pouvoir exploiter la bande passante (Théorème de Shannon-Nyquist)

Le taux d'échantillonnage varie avec le nombre de canaux utilisés!



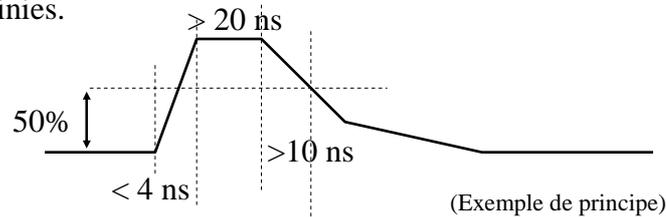
Seulement les deux caractéristiques ensemble permettent de dire si un DSO peut accomplir la tâche prévue!

LES OSCILLOSCOPES NUMERIQUES

4 – Déclenchement avancé

Puisqu'un DSO enregistre d'abord le signal, il peut décider si le signal dans la mémoire doit ou pas être affiché sur l'écran.

1. Identifier les événements à examiner en détail en utilisant 'analogue persistance' ou 'DPX'
2. Programmer le déclenchement avancé pour montrer seulement les événements qui répondent aux caractéristiques définies.



LES OSCILLOSCOPES NUMERIQUES

5 – Zoom, pre-trigger etc

Puisque le signal est en mémoire on peut aussi décider de regarder plus en détail, de ne pas effacer les points juste avant l'événement déclenchant...

Un autre grand avantage est l'exportation des données sous forme de fichier. (Disquette, LAN, IEEE, USB, ?)

Les sondes

Les sondes permettent d'augmenter l'impédance de l'oscilloscope. Le circuit est donc moins influencé par la mesure. En revanche le voltage de mesure est réduit (si la sonde est passive).

La détection synchrone : application

(Anglais: lock-in amplifier)

La cigale chante

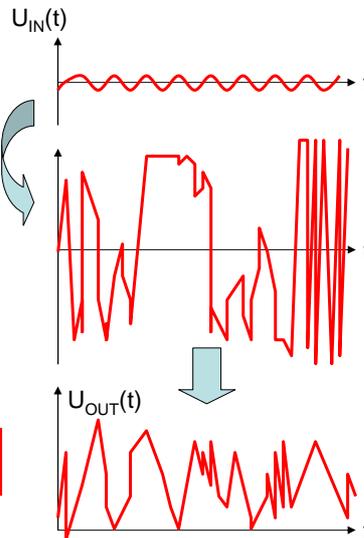


Mais il y a du bruit...



... beaucoup de bruit.

Quelle est l'amplitude du chant de la cigale ?

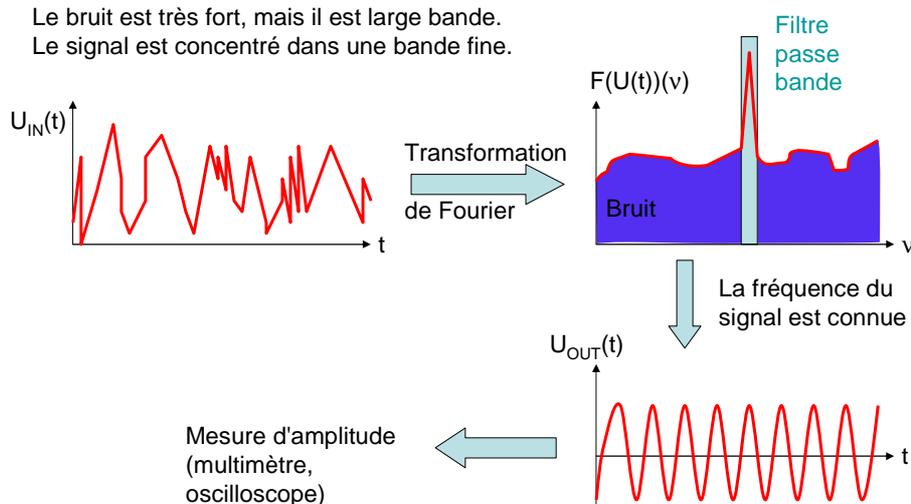


Comment extraire le signal intéressant d'une mesure bruité ?

L'idée : étape #1

Faire comme notre oreille

Le bruit est très fort, mais il est large bande.
Le signal est concentré dans une bande fine.



L'idée : étape #2

Le bruit est généré par beaucoup d'événements aléatoires

- ➔ Le bruit se distingue du signal également par la distribution aléatoire de sa **phase**.
- ➔ **Profiter de la relation de phase constante du signal.**

La mesure qui rejette un maximum de bruit prend en compte seulement la composante de $U_{IN}(t)$ qui a à la fois **la bonne fréquence ET la bonne phase** (réglable).

(La condition de la bonne phase inclut la condition de la bonne fréquence)

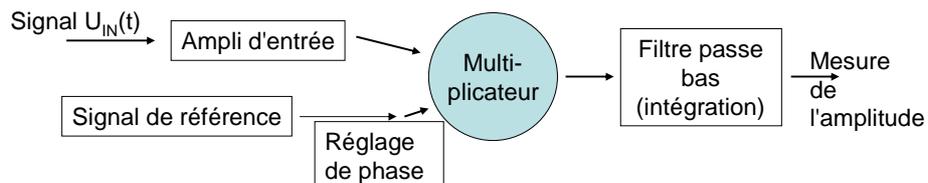
Principe de fonctionnement des détections synchrones (lock-in amplifiers)

Le principe 1.) $\sin(a) * \sin(b) = 1/2 * (\cos(a-b) - \cos(a+b))$ a, b complexes

(Une manière de faire) 2.) $\int_0^{t_1} C \gg \int_0^{t_1} C \cos(\frac{2\pi}{T} t) dt$ Si $t_1 \gg T$

En multipliant le signal à mesurer ($\sin(a)$) avec une référence ($\sin(b)$), et en intégrant le signal résultant sur "longtemps", on mesure principalement la partie de $\sin(a)$ qui à la même fréquence (et la même phase) que $\sin(b)$.

Schéma de principe:



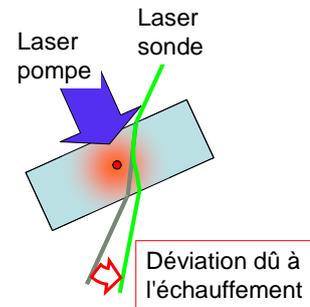
Application: mesures photothermiques

Le but de la mesure

Mesurer une absorption optique faible (niveau ppm)

Le principe de mesure

1. Un laser pompe est absorbé par une impureté
2. L'impureté chauffe, et par cela chauffe le matériau hôte
3. Le matériau hôte se dilate et change donc son indice de réfraction
4. Le faisceau sonde, qui rase la zone chauffée, est dévié grâce au gradient de l'indice de réfraction.

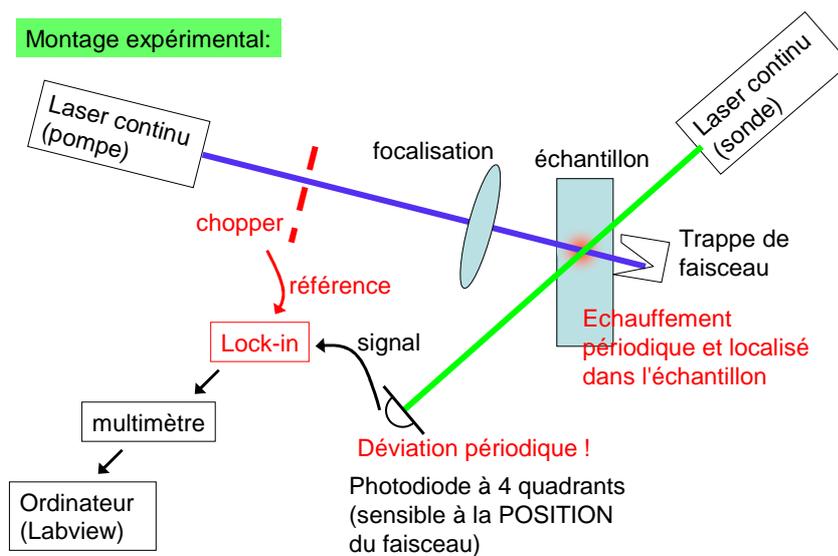


Sources de bruit

- Fluctuations du laser sonde
- courants d'air
- vibrations de la table, du bâtiment...
- bruit du capteur

Application: mesures photothermiques

Montage expérimental:



Performances typiques



Rejection du bruit: (dynamic reserve) > 60 dB
 Rapport toléré entre, l'amplitude du signal le plus fort qu'on ne veut pas mesurer, et le "full scale", avant que la précision de mesure ne soit réduite.
 60 dB: $V_{\text{eff}}(\text{bruit}) \leq 1000 * V_{\text{eff}}(\text{signal})$
 (plus si assez éloigné de la fréquence à mesurer)

Signal Input

Input Impedance	50 Ω or 1 M Ω 30 pF.
Damage Threshold	± 5 V (DC+AC)
Bandwidth	25 kHz to 200 MHz.
Full Scale Sensitivity	100 nV to 1V rms
Gain Accuracy	< 50 MHz ± 0.25 dB < 200 MHz ± 0.50 dB
Gain Stability	0.2%/ $^{\circ}\text{C}$
Coherent Pickup from reference channel	
f < 10 MHz	< 100 nV (typical)
f < 50 MHz	< 2.5 μV (typical)
f < 200 MHz	< 25 μV (typical)



La bande de détection d'une détection synchrone

La largeur de la bande de détection dépend du temps d'intégration. Si ν_s est la fréquence du signal (chopper), la bande de détection associé au temps d'intégration T_i est:

$$[\nu_s - 1/(2*T_i) , \nu_s + 1/(2*T_i)]$$

Un bruit dont l'amplitude est mille fois supérieure à celle du signal et dont la fréquence est en dehors de la bande de détection n'empêche pas la mesure du signal avec la précision indiquée.

Une idée des prix: 3'000 – 9'000 \$

Les analyseurs de spectres

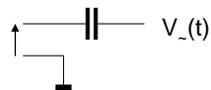
But: Caractériser le spectre d'un signal radiofréquence

Les différents types d'analyseurs de spectres:

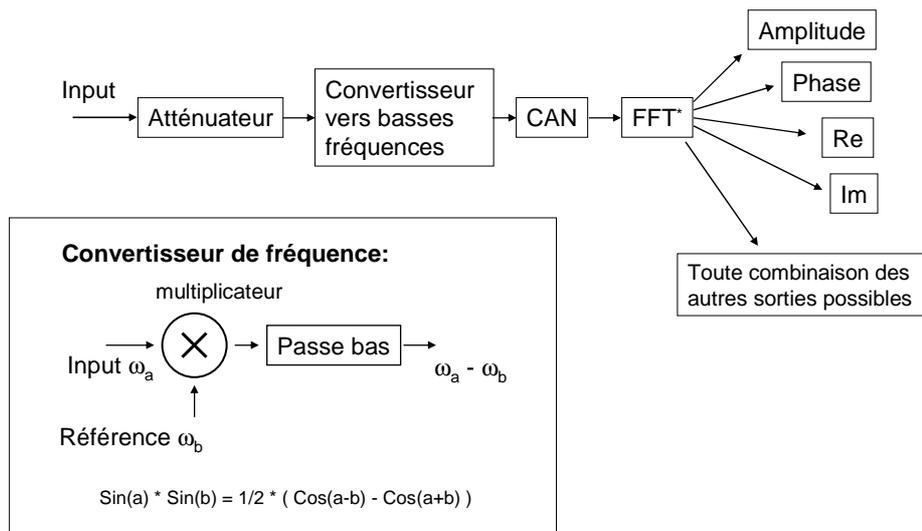
- 1. Analyseurs de Fourier
 - 2. Analyseurs vectoriels
 - 3. Analyseurs de balayage
- } Deux noms pour la même approche

Première étape (commune à tous les types)

On s'intéresse uniquement à la partie variable des signaux. L'entrée est donc câblée en AC.

$$V_{in} = V_{moy} + V_{\sim}(t)$$


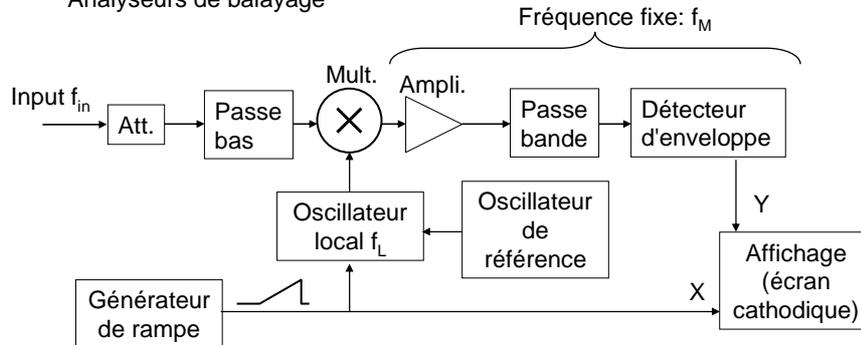
Analyseurs de spectres type 1 et 2



* FFT = Fast Fourier Transform

Analyseurs de spectres type 3

Analyseurs de balayage



L'oscillateur balaye (en fonction de la tension de rampe) des fréquences de $f_{L, \min} = f_M + f_{in, \min}$ à $f_{L, \max} = f_M + f_{in, \max}$

Souvent les instruments on plusieurs étapes de conversion (vers le bas)

C'est un montage de type *super hétérodyne*, comme il est aussi utilisé en radio AM.

Comparaison analyseurs de spectres

**Analyseurs de Fourier
et
Analyseurs vectoriels**

Fonctionne avec des impulsions

Limité à < 6 GHz

Très cher si haute fréquence

Caractérisation complète du signal

Analyseurs à balayage

Nécessite un signal stable pendant un balayage

Disponible en version microonde jusqu'à 26 GHz

Pour les appareils purement analogiques seulement sortie en amplitude ou puissance

La limite pour la résolution en fréquence est toujours donnée par le temps d'acquisition $\Delta f = 1/T_{acq}$