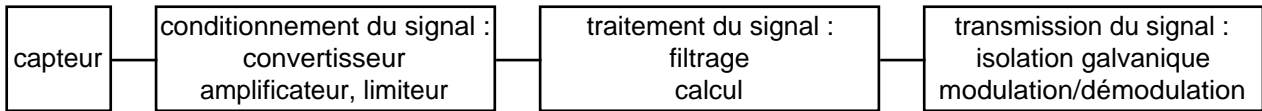


## A26 - Traitement analogique du signal



### Conditionnement du signal

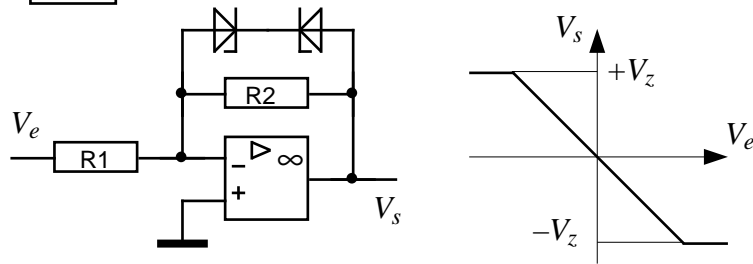
• **Amplificateur** : cf § A21

• **Limiteur (ou écrêteur)** :



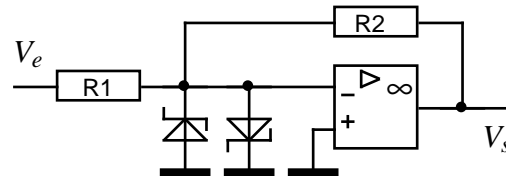
Exemple 1 :

limiteur à diodes Zener



Exemple 2 :

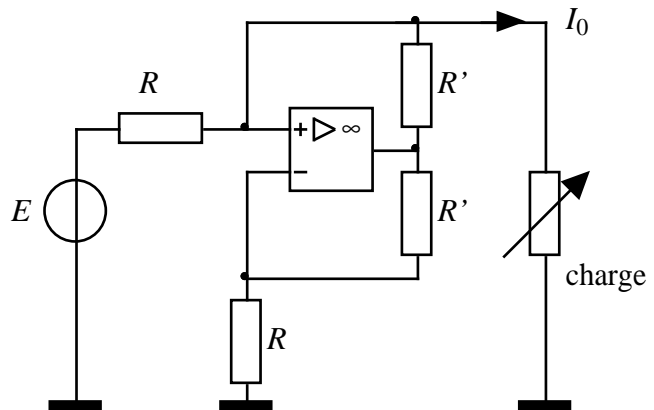
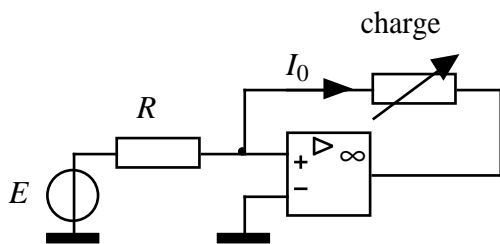
circuit de protection d'entrée analogique à diodes Transil :



• **Convertisseur tension/courant (= générateur de courant)**

- charge "flottante" :  $I_0 = \frac{E}{R}$

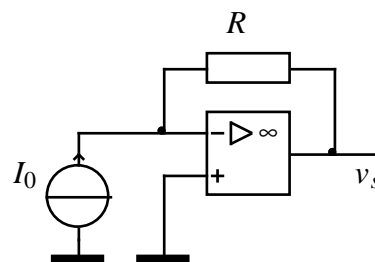
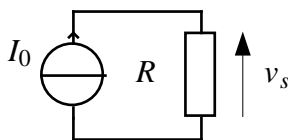
- charge à la masse :  $I_0 = \frac{E}{R}$



• **Convertisseur courant/tension**

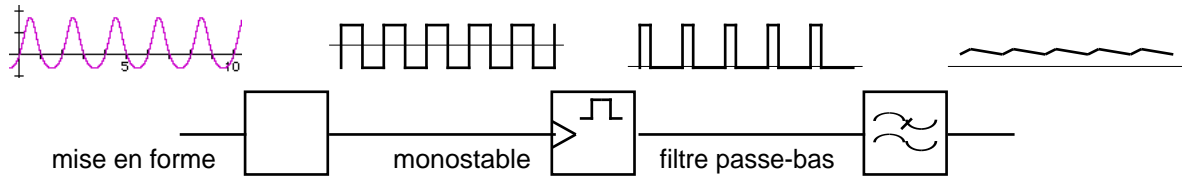
- passif :  $v_s = R.I_0$

- actif :  $v_s = -R.I_0$



• **Convertisseur fréquence-tension** (voir aussi : fréquencemètre-périodemètre, § A16).

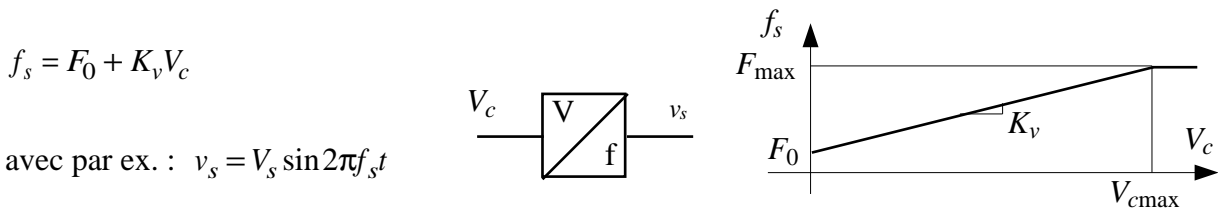
Principe : utiliser un monostable pour fabriquer un signal MLI (signal à rapport cyclique variable), dont on extrait la valeur moyenne par filtrage passe-bas.



⚠ L'inconvénient de ce circuit est son temps de réponse élevé.

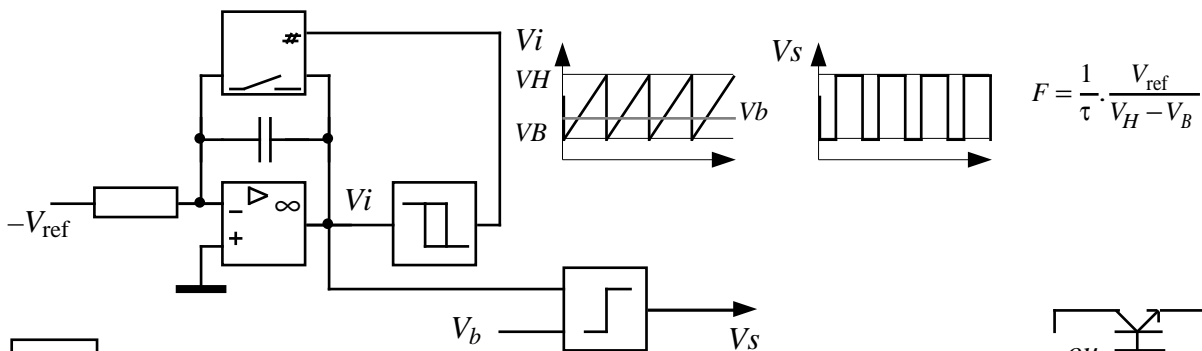
• **Convertisseur tension-fréquence** ou VCO (Voltage Controlled Oscillator)

C'est un oscillateur (de signaux sinusoïdaux ou non) dont la fréquence est proportionnelle à une tension de commande. Réalisé en général par un CI spécialisé.



Exemple de réalisation pour signaux rectangulaires : le générateur de rampe proposé au § A25 est facilement complété par un comparateur pour générer un signal de fréquence variable.

Une action sur le seuil de comparaison  $V_b$  permet en outre de régler le rapport cyclique de  $V_s$  :

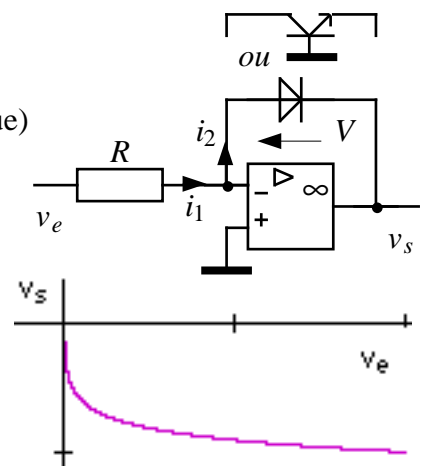


• **Convertisseur logarithmique** (compresseur de dynamique)

On suppose  $v_e > 0$

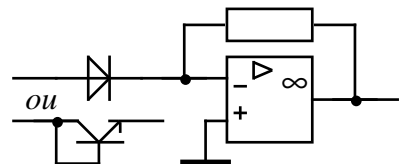
(si  $v_e < 0$ , il faut placer la diode en sens inverse)

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= i_2 \\ i_1 &= \frac{v_e}{R} \\ i_2 &\approx I_s e^{\frac{qV}{kT}} \text{ (cf § C21)} \\ V &= -v_s \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_s = -\frac{k.T}{q} \ln\left(\frac{v_e}{R.I_s}\right)$$



• **Convertisseur exponentiel** (expandeur de dynamique)

Idem, en interchangeant R et D :  $v_s = -R I_s e^{\frac{q v_e}{kT}}$



**Calcul**



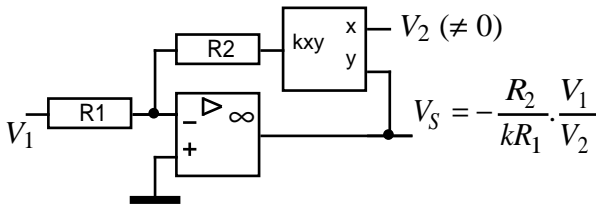
A cause de leur manque de précision, les circuits de calcul analogique sont aujourd'hui avantageusement remplacés par des circuits numériques (mais plus complexes à mettre en oeuvre).

• **Opérateurs élémentaires** : multiplication par une constante (= amplification), addition, soustraction, intégration, dérivation, retard, comparaison TOR : cf § A21 à A24

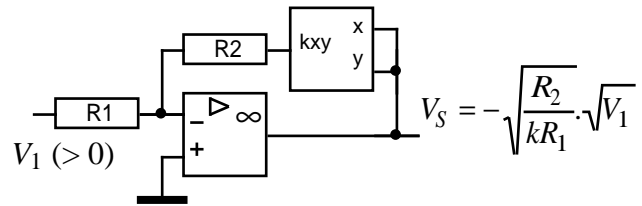
• **Multiplieur analogique**

C'est un circuit tel que :  $V_x$  —  $V_y$  —  $V_s = kV_xV_y$  Exemple : circuit AD 534

Diviseur analogique :



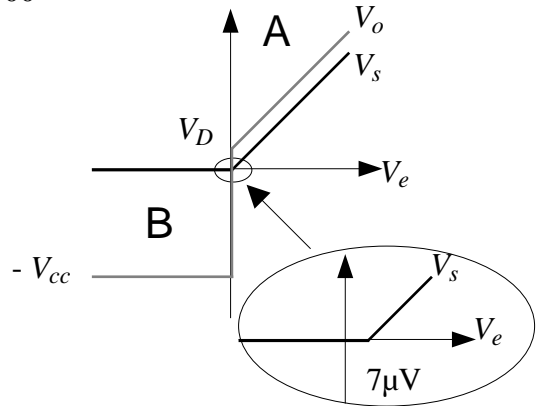
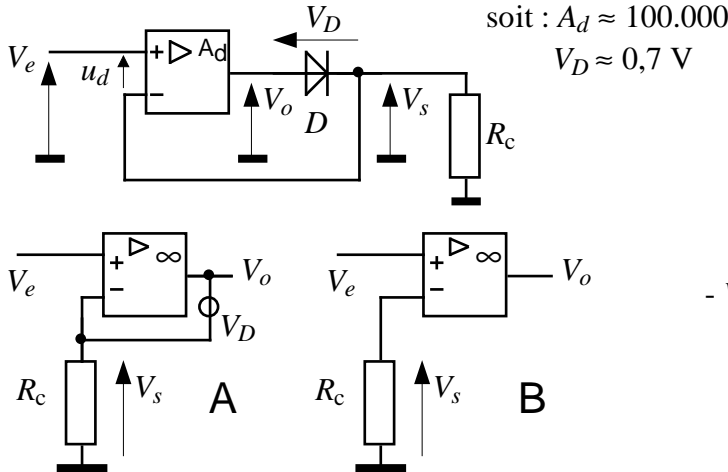
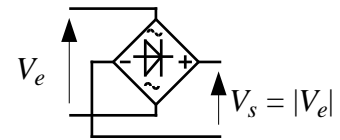
Extracteur de racine carrée :



• **Valeur absolue** (redresseurs sans seuil)

Un redresseur en pont réalise, par définition, la fonction  $V_s = |V_e|$  :

Mais la tension de seuil des diodes ( $\approx 0,7V \times 2$  dans le cas du pont) entraîne une erreur non négligeable, que l'on peut compenser par un montage dont le principe est le suivant :



• **Fonctionnement A** : D conductrice  
 ⇒ l'AOP fonctionne en ampli suiveur.

D'où :

$$V_o = V_D + V_s$$

$$D \text{ en direct} \Rightarrow V_o > V_D > 0 \Rightarrow V_s > 0$$

$$V_s = V_e \Rightarrow V_e > 0$$

• Limite entre ces 2 fonctionnements : D est bloquée tant que :  $V_o < V_D \approx 0,7V \Leftrightarrow$

$$V_e = u_d = \frac{V_o}{A_d} < \frac{0,7}{100.000} \approx 7\mu V \Rightarrow \text{le seuil de conduction est donc abaissé de } 0,7V \text{ à } 7\mu V !$$

• **Fonctionnement B** : D bloquée

⇒ l'AOP (en BO) fonctionne en comparateur non inverseur. D'où :

$$D \text{ bloquée} \Rightarrow V_s = 0$$

$$D \text{ en inverse} \Leftrightarrow V_o < 0 \Rightarrow V_o = -V_{cc}$$

$$\Leftrightarrow V_e < 0$$


• On réalise la fonction valeur absolue avec 2 redresseurs de signes opposés et un sommateur.

**Filtrage**

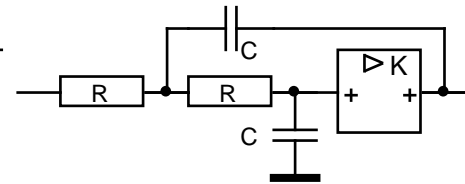
**!** A cause du manque de précision des composants passifs et des défauts des AOP, les filtres analogiques d'ordre supérieur à 2 sont aujourd'hui avantageusement remplacés par des circuits intégrés spécialisés (cf ci-dessous : filtres à capacités commutées) ou des filtres numériques.


• **Filtres actifs à cellules prédéfinies**

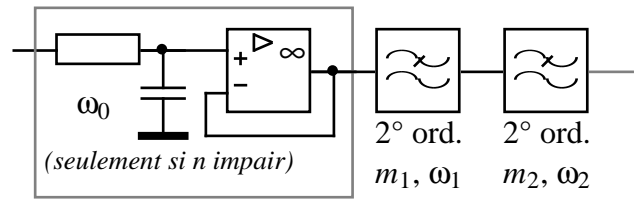
Il existe de très nombreux schémas prédéfinis de filtres actifs. Quelques exemples de cellules "à source contrôlée" (où les amplificateurs de gain  $K$  ont une impédance d'entrée infinie) :

 Passe-bas d'ordre 2 (gain statique  $K$ ) :

$$m = \frac{3 - K}{2}$$


$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$


 Passe-bas d'ordre  $n$  :

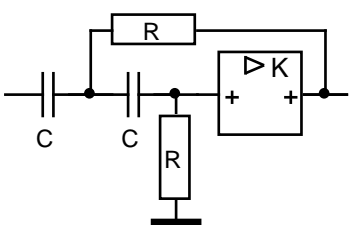



(seulement si  $n$  impair)

2° ord.  $m_1, \omega_1$     2° ord.  $m_2, \omega_2$

 Passe-haut d'ordre 2 (gain  $K$ ) :

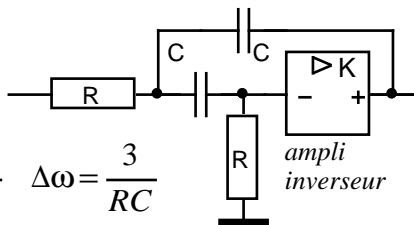
$$m = \frac{3 - K}{2}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$



 Passe-bande (gain  $K/3$ ) :

$$m = \frac{3}{2\sqrt{1 + K}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC\sqrt{1 + K}}$$

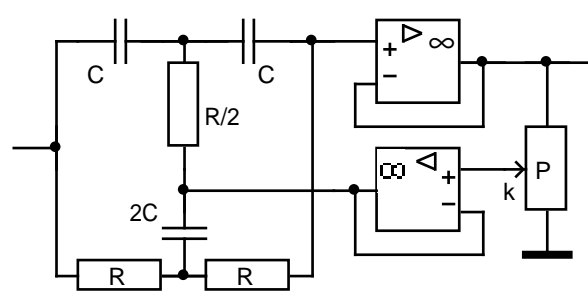
$$\Delta\omega = \frac{3}{RC}$$


ampli inverseur

 Réjecteur à gain statique unité :

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

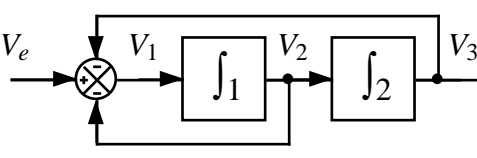
$$m = 2(1 - k)$$

$$\Delta\omega = 4(1 - k)\omega_0$$


• **Filtre actif d'ordre 2 à variables d'état** : filtre universel incluant 2 intégrateurs et un sommateur :

$$V_1 = V_e - V_2 - V_3$$

$$V_2 = \frac{1}{\tau_1 p} V_1$$

$$V_3 = \frac{1}{\tau_2 p} V_2$$


$$m = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\tau_1 \tau_2}}$$

Passe-bas : sortie en  $V_3$  :

$$\frac{V_3}{V_e} = \frac{1}{1 + \tau_2 p + \tau_1 \tau_2 p^2}$$

Passe-bande : sortie en  $V_2$  :

$$\frac{V_2}{V_e} = \frac{\tau_2 p}{1 + \tau_2 p + \tau_1 \tau_2 p^2}$$

Passe-haut : sortie en  $V_1$  :

$$\frac{V_1}{V_e} = \frac{\tau_1 \tau_2 p^2}{1 + \tau_2 p + \tau_1 \tau_2 p^2}$$

• **Filtres à capacités commutées**. Exemple : CI MF10.

Ce sont des filtres intégrés programmables permettant d'obtenir des gabarits de formes variées avec une bonne précision.

### Isolation galvanique

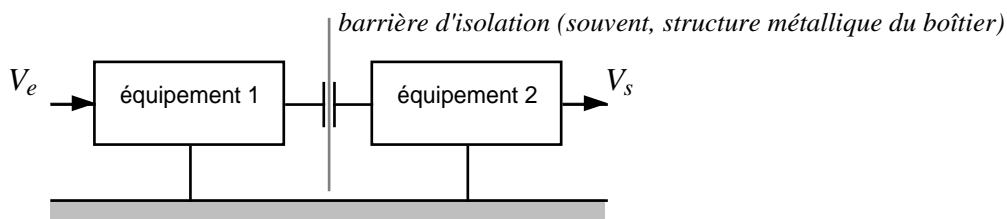
Principe : transmettre des signaux (analogiques ou numériques) de mesure, de commande, de données, etc, entre deux équipements isolés.

Buts : supprimer les défauts de CEM (cf §A15), assurer la sécurité électrique (cf §C12), transmettre des données entre équipements sans référence de potentiel commune ou portés à des potentiels différents, éliminer les tensions de mode commun (cf §A21).

Caractéristiques : tension d'isolation (typiquement qq kV), linéarité, débit, consommation,...

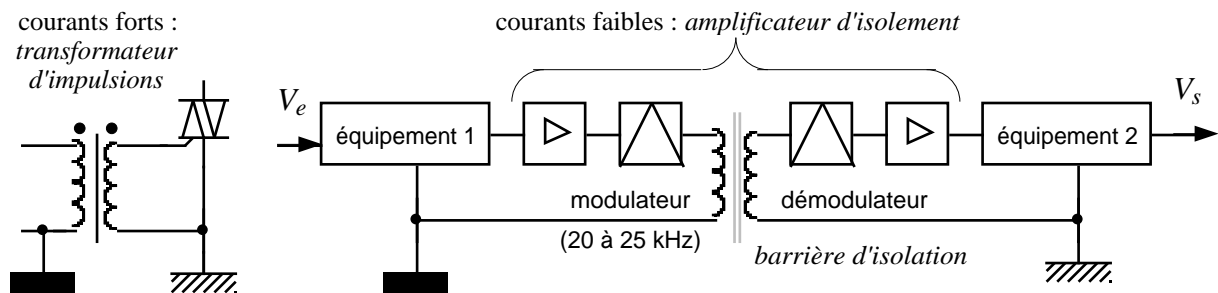
• **Isolation Capacitive** (pour signaux analogiques)

Mise en œuvre simple, mais... ⚠ les signaux transitoires de mode commun ne sont pas éliminés car ce mode d'isolation, par couplage capacitif, est en contradiction avec les principes de CEM !

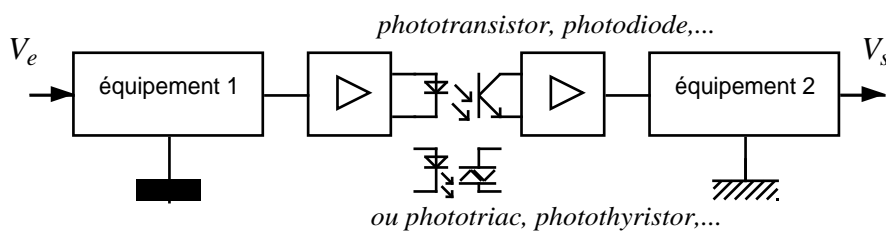


• **Isolation Inductive** (pour signaux analogiques essentiellement)

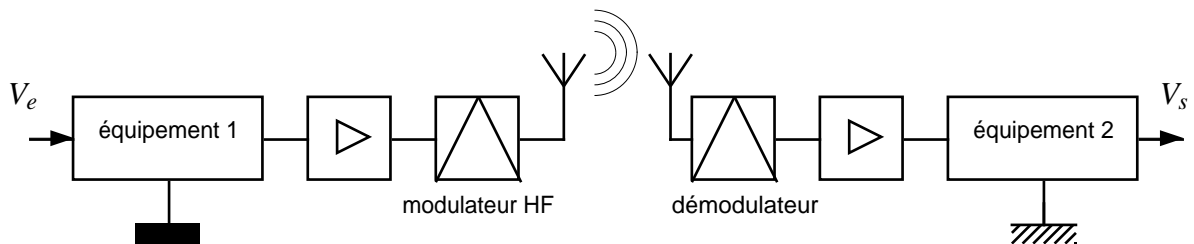
Transformateur d'isolement ou amplificateur d'isolement intégrant un transformateur :



• **Isolation Optique** (pour signaux analogiques ou numériques)



• **Isolation Radiofréquence** (pour signaux analogiques ou numériques)



### Modulation / démodulation

Cf §B34