

# UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL A TRES FAIBLE DERIVE

## QUELQUES MOTS D'EXPLICATION SUR LE FONCTIONNEMENT D'UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Un amplificateur opérationnel réalise l'amplification linéaire de signaux dont les fréquences se situent entre zéro et plusieurs centaines de KHz, il est en outre caractérisé par un gain extrêmement élevé en boucle ouverte. Normalement, l'amplificateur est utilisé avec un circuit de contre-réaction négative telle que le gain global du circuit dépende davantage des valeurs des composants de réaction que du gain de l'amplificateur.

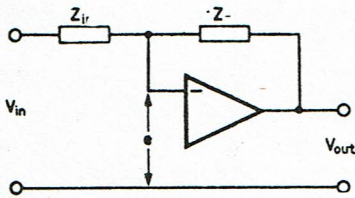


Fig. 1. Circuit classique d'un amplificateur opérationnel.

La figure 1 montre le circuit d'un amplificateur opérationnel classique avec son impédance d'entrée ( $Z_{in}$ ) et son impédance de réaction ( $Z_f$ ).

Le signal à amplifier ( $V_{in}$ ) est appliqué par l'intermédiaire de  $Z_{in}$ , à l'entrée négative de l'amplificateur opérationnel.

Comme le signal de sortie ( $V_{out}$ ) a une valeur finie, par exemple 10 V, et comme le gain en tension de l'amplificateur opérationnel proprement dit (gain en boucle ouverte) est très élevé, par exemple  $10^6$ , on peut dire que  $e$  est très proche de zéro (en effet,  $10 \text{ V}/10^6 = 10 \mu\text{V}$ ). Dès lors, le courant qui traverse  $Z_{in}$  est égal à  $V_{in}/Z_{in}$  et le courant traversant  $Z_f$  est égal à  $V_{out}/Z_f$ .

Si l'on suppose qu'aucun courant n'aboutit à la borne d'entrée de l'amplificateur opérationnel, la somme des deux courants est égale à zéro, c'est-à-dire :

$$I_{in} + I_f = 0$$

soit

$$\frac{V_{out}}{Z_f} + \frac{V_{in}}{Z_{in}} = 0 \quad (1)$$

Le gain en boucle ouverte ( $A_{e1}$ ) du circuit étant  $V_{out}/V_{in}$ , on peut écrire d'après l'équation (1) :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{Z_f}{Z_{in}} = A_{e1}$$

## LIMITES DES AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS A COUPLAGE DIRECT

Comme tous les circuits électroniques destinés à traiter des tensions continues ou des signaux d'entrée à réaction lente, l'amplificateur opérationnel développe des variations de signal de sortie (tensions de dérive) qui sont indépendantes de l'amplitude du signal d'entrée, où elles apparaissent sous forme de variations de tension d'offset.

Les variations à court terme sont dues à la sensibilité des composants à la température, tandis que les variations à long terme proviennent du vieillissement des composants. En général, la « valeur » d'un amplificateur opérationnel est déterminée par la valeur de la dérive d'offset d'entrée. Dans un amplificateur opérationnel différentiel à couplage direct, bien conçu et construit avec les meilleurs éléments possibles, on peut obtenir une valeur de la dérive d'offset de l'ordre de  $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Pour atteindre des valeurs encore plus faibles, il faudrait adopter un circuit de configuration totalement différent, comme par exemple la stabilisation par modulateur.

## STABILISATION PAR MODULATEUR

Dans les amplificateurs opérationnels à modulateur, les hautes fréquences du signal d'entrée sont amplifiées par l'une des voies d'un amplificateur différentiel à large bande, tandis que les basses fréquences du signal d'entrée sont modulées et amplifiées 1.000 fois environ par un amplificateur à courant alternatif, puis démodulées avant d'être appliquées à la seconde entrée de l'amplificateur à large

L'amplificateur opérationnel stabilisé CSA 70 (« Chopper-stabilized operational amplifier ») présente une tension offset et une dérive cinquante fois plus faibles que celles d'un amplificateur différentiel classique pour faibles signaux D.C. ou moyenne fréquence. Il est particulièrement adapté aux applications professionnelles dans le domaine de l'instrumentation, du contrôle et des ordinateurs.

bande. De cette manière la dérive de l'amplificateur à large bande est divisée par le gain de l'amplificateur à modulateur (= 1.000).

De ce fait on réduit considérablement la valeur de la dérive.

Les amplificateurs opérationnels à modulateur sont généralement disponibles avec des tensions d'offset comprises entre  $10 \mu\text{V}$  et  $100 \mu\text{V}$  et avec des dérives en température de  $0,1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,  $0,3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  et  $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . La tension d'offset maximale du CSA 70 est de  $10 \mu\text{V}$  et sa dérive maximale est de  $0,1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

Ces valeurs combinées avec la stabilité à long terme (dérive dans le temps =  $1 \mu\text{V}$  par mois) et l'absence de réglage périodique de la tension d'offset garantissent les performances exceptionnelles du CSA 70.

La figure 2 donne le schéma synoptique du CSA 70. Les composantes du signal (courant continu et basse fréquence) aux bornes d'entrée de l'amplificateur sont modulées, amplifiées avec un facteur 1.000 par un amplificateur en courant alternatif sans dérive. Elles sont ensuite démodulées et appliquées à l'entrée positive d'un amplificateur à large bande. La composante haute fréquence du signal est appliquée par l'intermédiaire d'un condensateur à l'entrée négative.

Du fait que les deux entrées sont couplées directement à l'amplificateur à large bande, d'une part le courant de polarisation est isolé des bornes d'entrée principales, d'autre part la tension d'offset de l'amplificateur à large bande est extrêmement faible par rapport au signal d'entrée amplifié 1.000 fois. Pour cette raison, les variations de la tension d'offset éventuelles n'auront qu'un effet négligeable sur le signal de sortie.

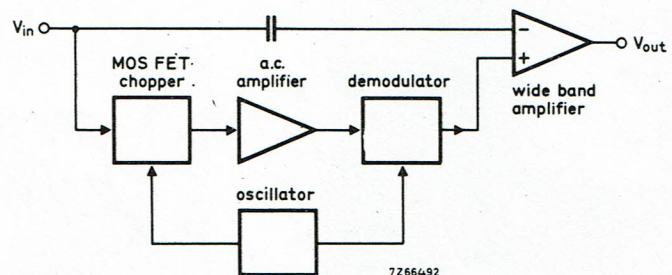
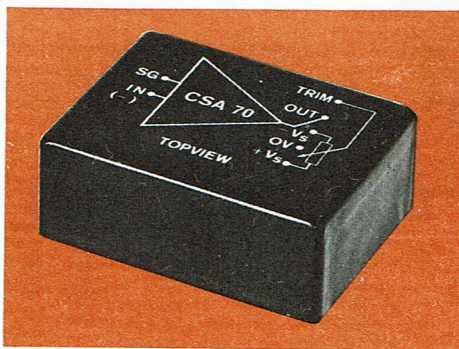


Fig. 2. Schéma synoptique du CSA 70.





## AVANTAGES DES AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS A MODULATEUR

Malgré leur coût généralement plus élevé et leur encombrement plus important, les amplificateurs opérationnels à modulateur présentent des avantages certains par rapport aux amplificateurs non stabilisés.

Ces avantages sont :

- Haut niveau de stabilité du courant et de la tension lors de l'amplification de signaux faibles.
- Insensibilité aux effets de chauffage et aux transitions de température.
- Précision et stabilité à long terme.
- Absence de réglages périodiques.
- Dans certains cas, absence de réglage initial.

Les deux derniers postes méritent quelques explications. Il s'agit d'applications dans lesquelles un amplificateur non stabilisé meilleur marché pourrait être utilisé, mais la préférence est donnée aux types à modulateur plus coûteux, pour les raisons suivantes : les très faibles valeurs du courant d'entrée et de la tension d'offset initiale de l'amplificateur opérationnel à modulateur rendent inutile le calage initial sur zéro. Il en résulte une réduction de l'encombrement ainsi que des frais de composants, de temps de production et de conception. L'amplificateur peut être remplacé sans nécessiter de réglages individuels et les procédures de maintenance s'en trouvent singulièrement simplifiées.

En outre, étant donné que les amplificateurs opérationnels à modulateur comportent un dispositif de compensation automatique de la dérive, tout réglage périodique devient inutile, ce qui peut être particulièrement intéressant dans des systèmes complexes ou dans des systèmes où les amplificateurs ne sont pas facilement accessibles.

## PERFORMANCES DU CSA 70

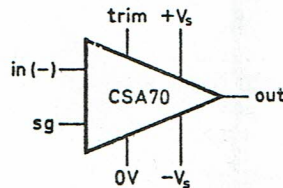


Fig. 3. Raccordement de l'amplificateur opérationnel CSA 70.

- in (—) : entrée négative.
- sg : entrée positive.
- OUT : sortie.
- + Vs : tension d'alimentation positive.
- Vs : tension d'alimentation négative.
- trim : alignement.

- Tension offset : max 10  $\mu$ V
- Dérive en température : max 0,1  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C
- Tension de bruit : (0,01 Hz à 1 Hz) : 0,7  $\mu$ V pp
- Taux de réjection de la tension d'alimentation : max 0,1  $\mu$ V/%
- Courant d'entrée : max 70 pA
- Alimentation :
  - Tension, valeurs nominales :  $\pm 15$  V  $\pm 3$  %
  - Tension, valeurs limites :  $\pm 12$  V à  $\pm 18$  V
  - Courant : + 6 mA + I charge  
— (5 mA + I charge).
- Gain en boucle ouverte (RL = 2 K $\Omega$ ) 10<sup>7</sup> mini.
- Réponse en fréquence :
  - Fréquence minimale pour gain 1 (petits signaux) : 0,5 MHz
  - Fréquence minimale à pleine puissance : 5 KHz

## LES DOMAINES D'UTILISATION DU CSA 70

Le CSA 70 est spécifiquement adapté aux domaines de l'instrumentation du contrôle et de l'informatique.

### INSTRUMENTATION :

- Enregistreurs.
- Appareils de mesure courant continu.
- Voltmètres numériques.
- Analyseurs.
- Equipements de mesure des composants électroniques.
- Amplificateurs biomédicaux.
- Unités de référence de tension standard.
- Générateurs à balayage prolongé.

### CONTROLE :

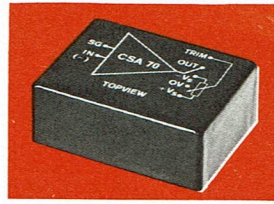
- Amplificateurs à transducteur pour la mesure des températures.
- Jauges de contrainte, PH mètres, etc.
- Simulateurs de processus.
- Unités d'échantillonnage et de maintien.
- Amplificateurs logarithmiques.
- Convertisseurs courant-tension.
- Amplificateurs de charge.
- Appareils de contrôle proportionnels, intégrateurs et différentiels.
- Enregistreurs de données.

### INFORMATIQUE :

- Ordinateurs analogiques (pour les opérations mathématiques).
- Périphériques d'ordinateurs.



# UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL A TRES FAIBLE DERIVE



## QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATION AMPLIFICATEUR A THERMOCOUPLE

La haute stabilité en tension du CSA 70 lors du traitement de signaux à faible niveau de tension est pleinement exploitée par le circuit amplificateur à thermocouple représenté à la figure 4.

Ce circuit permet de mesurer l'amplitude de signaux d'entrée de l'ordre du microvolt à partir d'une source à basse fréquence.

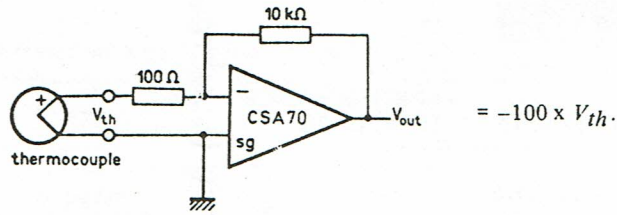


Fig. 4. Amplificateur à thermocouple.

## AMPLIFICATEUR A PHOTO-DIODE OU CELLULE PHOTO-ELECTRIQUE

Le circuit illustré à la figure 5 permet de tirer parti de la haute stabilité en courant du CSA 70 utilisé pour convertir des signaux d'entrée à faible courant, en tension de sortie. L'amplificateur présente un avantage majeur en ce sens que la tension aux bornes d'entrée est toujours nulle. Ce circuit peut être étendu pour mesurer l'énergie lumineuse totale (produite par exemple par des flashes) en intégrant le signal de sortie au moyen d'un second CSA 70 comme indiqué à la partie droite de la figure 5. On permet l'intégration par la fermeture de l'interrupteur S1 et l'ouverture de l'interrupteur S2.

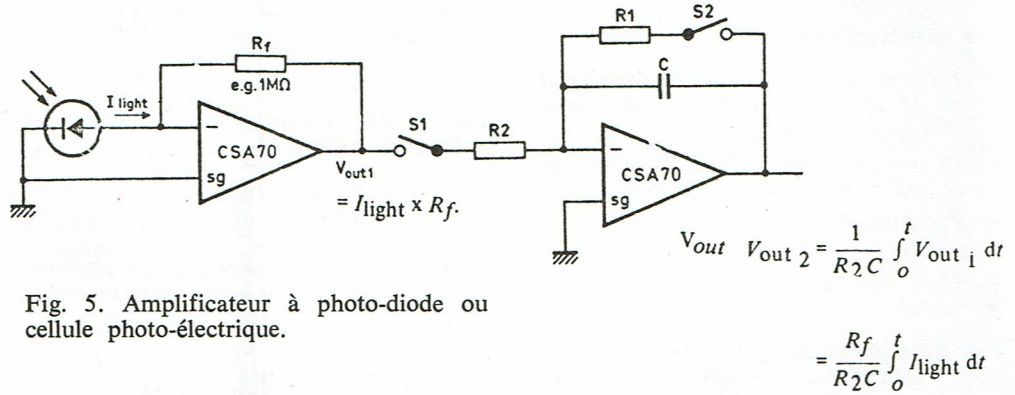


Fig. 5. Amplificateur à photo-diode ou cellule photo-électrique.

## AMPLIFICATEUR A PONT POUR LA MESURE DES TEMPERATURES

Grâce à son insensibilité aux effets de chauffage et aux températures de transition, le CSA 70 est particulièrement adapté aux mesures de température au moyen de résistances CTN ( $R_2 \pm \Delta R_2$ ).

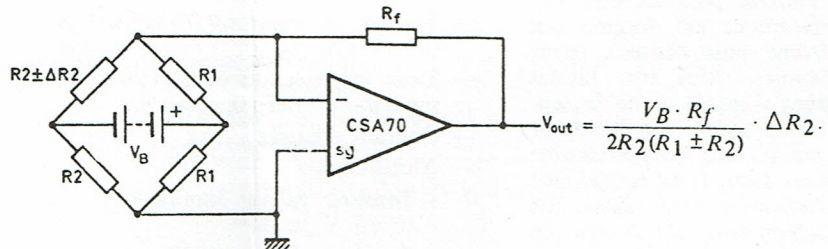


Fig. 6. Amplificateur à pont pour mesures de température.

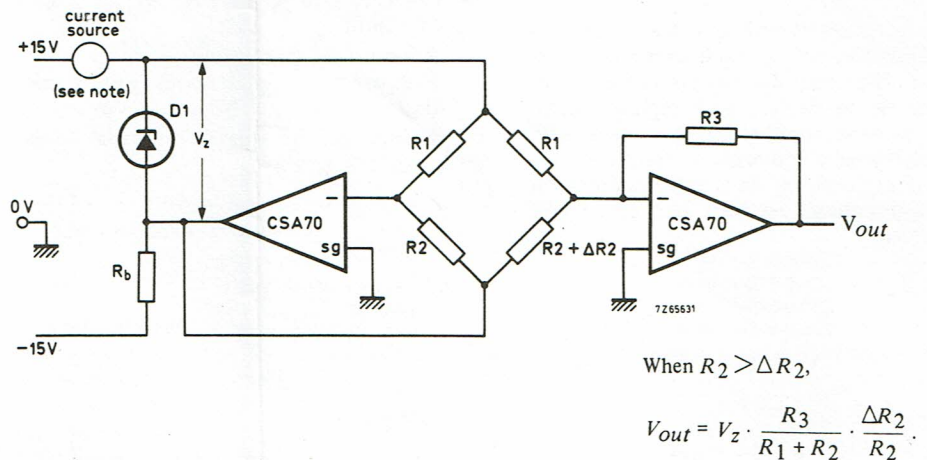
## AMPLIFICATEUR A PONT STABILISE POUR LA MESURE DES CONTRAINTES

Le circuit est donné à la figure 7, on y utilise une jauge de contrainte ayant un coefficient positif ( $R_2 + \Delta R_2$ ). Une caractéristique importante de ce circuit est constituée par le fait que la variation des caractéristiques des composants, y compris celles de la diode régulatrice de tension, n'exerce aucune influence sur le point zéro du pont.

Valeurs typiques  $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \Omega$ ,  $R_3 = 10 \text{ K}\Omega$ .

La valeur de  $R_1$  et la tension de la diode Zener dépendent du type de diode pour D1.

Nota : La source de courant peut être une résistance ou un transistor monté en émetteur commun.



When  $R_2 > \Delta R_2$ ,

$$V_{out} = V_z \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

Fig. 7. Amplificateur à pont pour la mesure des contraintes.