

LE BRUIT

DANS LES CIRCUITS DE LIAISON

BAS NIVEAU

par P. MORAT

Le bruit est par définition un signal indésirable. Il est la cause d'erreurs dans les mesures et peut même en masquer complètement la signification. L'évolution vers des mesures toujours plus fines, de l'ordre du microvolt ou même de la fraction de microvolt, oblige l'expérimentateur à connaître un certain nombre de précautions indispensables s'il veut effectuer ses mesures dans les meilleures conditions.

Notion de rapport signal sur bruit

Le rapport du niveau du signal utile au niveau de l'ensemble des signaux parasites est appelé rapport signal sur bruit : S/B. Il arrive, par exemple, que l'on doive mesurer des signaux utiles de l'ordre du microvolt dans un environnement où les signaux parasites peuvent atteindre le volt (un million de fois plus grand) (fig. 1). Dans ces conditions, l'expérimentateur doit améliorer le rapport S/B en choisissant correctement et en disposant de façon adéquate les éléments nécessaires à ses mesures.

Les principaux développements technologiques qui ont permis d'améliorer le rapport signal sur bruit sont principalement :

- les capteurs à résolution infinie ;
- l'apparition des circuits intégrés qui ont permis le développement de nouveaux amplificateurs différentiels présentant un taux de réjection de mode commun très important ;
- les enregistreurs à contre-réaction de position qui permettent une dynamique importante et une grande précision ;
- les techniques utilisées pour réduire les bruits et les sources d'erreurs ;

celles-là permettent désormais des mesures précises de l'ordre du microvolt. C'est ce dernier point que nous allons plus particulièrement développer.

Notion de bande passante

Avant toute mesure, il faut considérer la bande passante du signal, du bruit et de l'appareillage. Il est facile, par exemple, de mesurer de très faibles niveaux de très basse fréquence avec des enregistreurs du type potentiométrique, car leur bande passante ne s'étend guère au-delà de l'Hz, et ils présentent, de ce fait, une réjection importante vis-à-vis des parasites seconds. Mais l'évolution technologique et la nécessité d'affiner les mesures ont amené peu à peu les expérimentateurs à étudier des phénomènes ayant des bandes passantes de plus en plus larges et, par conséquent, à rechercher des dispositifs de mesure et d'enregistrement ayant des bandes passantes au moins égales à celle du signal à étudier.

On doit choisir au mieux les bandes passantes de chacun des éléments afin de limiter au maximum le rapport S/B car il sera toujours délicat de distinguer le signal au milieu d'un bruit ayant la même bande passante et présentant un niveau moyen très supérieur.

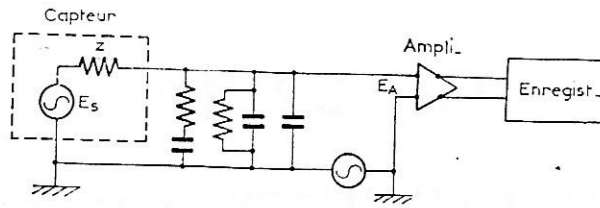
Les techniques de filtrage étant alors inefficaces, on doit faire appel à des techniques et à des traitements mathématiques de signaux. Il est toutefois toujours plus aisé de mettre en œuvre un certain nombre de précautions simples que d'envisager l'utilisation de ces techniques qui ne doivent intervenir qu'au dernier stade de l'amélioration d'un système.



Fig. 1. — Schéma représentant le signal à gauche et le bruit à droite dans le cas d'un rapport de 10^{-2} à 1 (1 mV à 100 mV).

Mais il arrive que l'on ait à mesurer des signaux de l'ordre du microvolt, alors que les signaux parasites ont une amplitude de l'ordre du Volt S/B $\approx 10^{-2}$.

Fig. 2. — Les courants créés par les sources de bruit, traversent l'impédance de source et s'ajoutent en valeurs algébriques au signal délivré par le capteur.



Les principales sources de bruit

- Ce sont habituellement :
- l'induction des sources d'alimentation sur les capteurs ;
 - les transitoires se propageant par les lignes d'alimentation et, en particulier, par le réseau ;
 - les couplages par les circuits masses ;
 - les couplages électrostatiques par rapport aux signaux alternatifs ;
 - une réjection de mode commun inadéquate ;
 - la charge du circuit de mesure ;
 - les compensations en température inefficaces ;
 - les résistances de contact variables ;
 - les effets thermo-électriques.

Relation entre l'impédance de source et le bruit

Il est nécessaire que le capteur possède une impédance de source aussi faible que possible et que, de plus, l'amplificateur qui suit présente par contre une impédance d'entrée élevée par rapport à celle-ci.

On voit, d'après la figure 2, que le courant créé par les sources de bruit circule dans le circuit d'entrée et s'ajoute au signal d'entrée. L'amplitude du signal parasite est directement proportionnelle à l'impédance de source :

$$E_A = E_s + Z \cdot I_t$$

- E_A : signal d'entrée de l'amplificateur.
 E_s : signal de sortie du capteur.
 Z : impédance du capteur.
 I_t : courant créé par les signaux parasites.

Lorsque l'impédance du capteur est très faible, elle shunte les courants parasites. De plus, le dispositif peut être amélioré si on dispose d'une mise à la

masse du point central du capteur et d'une liaison équilibrée entre le capteur et l'amplificateur (fig. 3).

Précision du système

L'impédance de la source, augmentée de celle du câble de liaison, a pour effet de réduire l'amplitude du signal délivré aux bornes d'entrée de l'amplificateur. Si l'égalité des impédances assure la meilleure caractéristique de transfert en puissance, il n'en est pas de même si — comme c'est en général le cas pour les mesures à très faible niveau — on s'intéresse à la fidélité de la tension du signal. On doit alors, au contraire, chercher un amplificateur présentant une impédance d'entrée la plus élevée possible par rapport à celle de la source.

Si par exemple, on mesure à l'aide d'un voltmètre présentant une résistance d'entrée infinie 100 mV aux bornes d'une source ayant une impédance de 10 k Ω , on ne mesurera plus que 90 mV lorsque l'on aura connecté celle-ci aux bornes d'un amplificateur présentant une résistance d'entrée de 100 k Ω (fig. 4). On voit donc tout l'intérêt que l'on doit porter au choix judicieux des impédances des transducteurs et à celles des amplificateurs qui leur seront associés. Si on est dans l'impossibilité

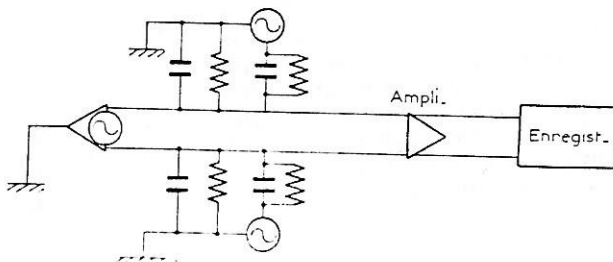
d'améliorer le rapport de $\frac{Z_e}{Z}$, on doit

alors se résoudre à étalonner le dispositif pour tenir compte de l'effet de shunt de l'amplificateur.

Z_e : impédance d'entrée de l'amplificateur.

Z : impédance de source.

Fig. 3. — Ce schéma présente les avantages dus à l'utilisation :
 — d'un point central,
 — d'une ligne équilibrée.



Tension de mode commun

Un signal de mode commun est une tension qui apparaît simultanément aux deux entrées de l'amplificateur par rapport à un point de référence commun. S'il ne constitue pas une information intéressante, il doit être classé comme un parasite et être rejeté sans altérer le signal.

Les tensions de mode commun ne sont pas un problème spécial, c'est le cas habituel de toute mesure à bas ou très bas niveau. Ces tensions sont engendrées par des effets d'origine électromagnétique ou électrostatique dans les capteurs ou les câbles de liaison.

Pour résoudre ce problème, on a développé des amplificateurs différentiels à entrée flottante qui éliminent la tension de mode commun et n'amplifient uniquement que le signal utile (fig. 5). Le facteur de qualité d'un tel amplificateur s'appelle la réjection de mode commun.

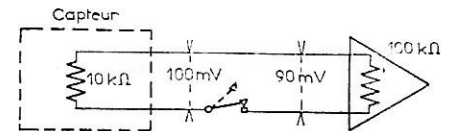


Fig. 4. — Schéma montrant l'importance de l'impédance d'entrée de l'amplificateur par rapport à celle de la source.

- A - B : Tension de mode commun.
 C : Tension de mode commun + signal utile.
 D : Signal utile amplifié.

On doit donc faire en sorte que le signal de mode commun apparaisse simultanément à chacune des entrées de l'amplificateur, de sorte qu'il n'affecte ni la fréquence de réponse, ni la précision du système.

Malheureusement, la réjection du mode commun des meilleurs amplificateurs différentiels n'est jamais parfaite. Une petite partie de la tension de mode commun apparaît sous forme d'une différence de potentiel aux bornes d'entrée de l'amplificateur.

On obtient couramment une réjection de mode commun (*) de l'ordre de 10⁴ pour le continu ou pour la fréquence du réseau. Il faut toutefois se souvenir que cette valeur diminue lorsque le capteur et le câble de liaison sont reliés à l'amplificateur.

* Le taux de réjection de mode commun est égal au rapport de la tension de mode commun à la tension apparaissant aux bornes de l'amplificateur.

La relation suivante montre quelle est la fraction de tension de mode commun convertie en signal parasite par les différents éléments extérieurs du circuit (cf. fig. 6) :

$$E_A = E_S + E_{MC} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

où : E_{MC} est la tension de mode commun.

R_1 et R_2 les résistances de source de chacune des entrées de l'amplificateur.

R_3 et R_4 les résistances de fuite des entrées de l'amplificateur.

Il ressort de la relation précédente que l'on pourrait diminuer la tension de mode commun apparaissant aux bornes de l'amplificateur, si l'on pouvait rendre R_1 et R_2 nuls, ou si R_3 et R_4 pouvaient être rendus égaux ou infiniment grands. En pratique, aucune de ces conditions n'est réalisable, mais on doit s'en approcher.

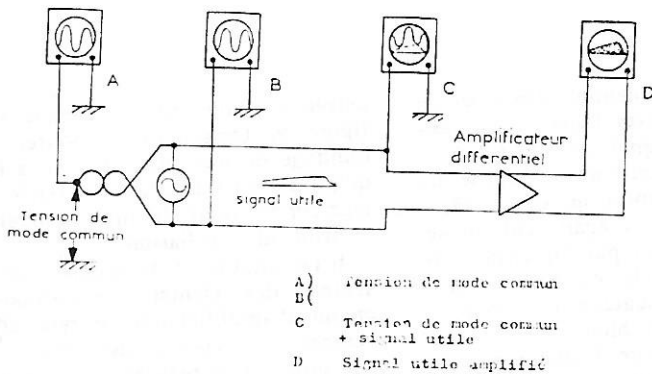


Fig. 5. — Schéma montrant l'effet de la tension de mode commun aux différents points d'une liaison capteur - amplificateur différentiel.

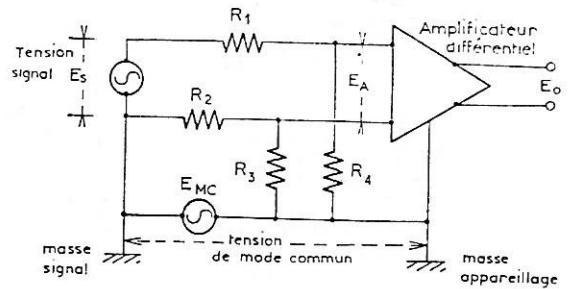
Pour cela, il est recommandé :

- de choisir un capteur ayant une aussi faible impédance que possible;
- d'utiliser une ligne équilibrée pour relier le capteur aux bornes de l'amplificateur;
- de réaliser des connections aussi courtes que possible;
- de choisir, si possible, un capteur présentant un point milieu.

La fidélité reste malgré tout la qualité première d'un capteur car, si celle-ci n'est obtenue qu'à un facteur connu, il est illusoire de vouloir améliorer le rapport signal sur bruit au-delà de cette valeur.

L'expérimentateur devra porter une attention toute particulière à la réalisation de ses capteurs : leur conception devra tendre à réduire les effets perturbateurs des champs électromagnétiques ou électrostatiques.

Fig. 6. — Schéma de principe montrant quelle est la fraction de la tension de mode commun convertie en signal parasite par les différents éléments du circuit.



Masse et écran

La « terre » est généralement définie comme une connection de très faible impédance liée à un dispositif effectivement situé dans le sol. Trouver une « terre » suffisamment stable est certainement l'un des problèmes les plus délicats des problèmes de liaison bas niveau.

Une masse stable et de basse impé-

Un système de masse stable

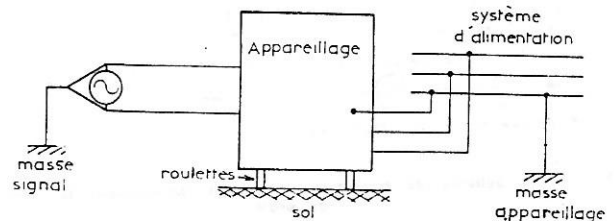
Il est primordial, pour des mesures bas niveau, que l'ensemble des appareillages de mesure soit maintenu à un potentiel fixe et, si possible, nul. La plupart des systèmes de distribution d'énergie et la plupart des appareillages sont actuellement pourvus d'un troisième conducteur qui ne conduit pas le courant, mais qui relie l'ensemble des appareils à une masse commune (cf. fig. 7). Si cette masse n'est pas satisfaisante, on pourra en réaliser une en reliant l'ensemble des masses des différents appareils à une conduite d'eau passant à proximité.

En un seul point, on ne peut avoir une tension, puisqu'une tension, ou une différence de potentiel, n'existent qu'entre deux points. Il en résulte qu'une masse de référence peut être établie en se reliant en un seul point du réseau de masse.

Les signaux peuvent être mesurés par rapport au système de référence si, et seulement si, l'ensemble des entrées est flottant par rapport à cette masse. Dans le cas contraire, et si le signal d'entrée se réfère à une autre masse, soit accidentellement, soit délibérément, la différence de potentiel entre les deux masses va alors soit s'ajouter, soit se soustraire de la vraie valeur du signal d'entrée.

Pour obvier à cet inconvénient et conserver une certaine facilité d'emploi, les systèmes de grande précision d'instrumentation bas niveau sont toujours réalisés avec des amplificateurs à entrées flottantes.

Fig. 7. — Schéma représentant les deux systèmes de masse signal et appareillage.



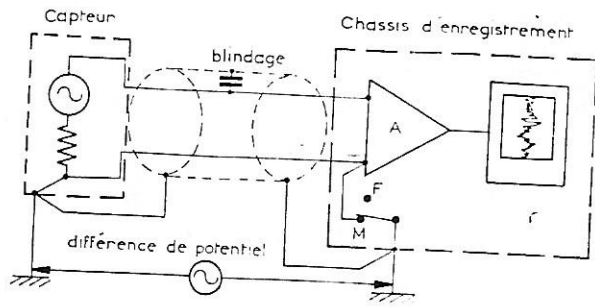


Fig. 8. — Mauvais schéma de branchement : la différence de potentiel entre la masse signal et la masse appareillage va créer un courant qui circulera dans le blindage et se transmettra à la partie signal par la capacité répartie.

Masse signal

Quand il n'est pas pratique de relier le capteur à la masse de référence, il est alors indispensable de réaliser une seconde masse de faible impédance ; elle est en général appelée masse signal.

Il est très important que ce circuit présente la plus faible impédance possible, afin de diminuer la différence de potentiel existant entre les deux points de masse. Plus cette différence de potentiel sera réduite, plus la tension de mode commun que l'amplificateur devra éliminer sera également réduite.

La masse signal est généralement isolée des autres dispositifs de masse et il n'est pas souhaitable de relier la masse signal au système de masse, sauf s'il est possible de le réaliser avec un conducteur de cuivre, de forte section.

Pour assurer la stabilité nécessaire à la masse signal, il est très important de se rappeler que le circuit ne doit être relié à la terre qu'en un seul point.

Boucle de masse

Une boucle de masse est réalisée en connectant plus d'un point d'un même circuit signal à plus d'un point masse :

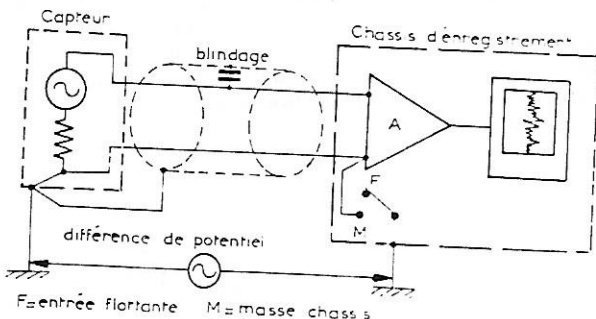


Fig. 9. — Schéma de branchement correct introduisant le minimum de bruit.

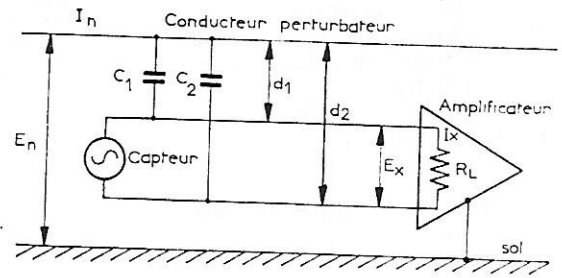


Fig. 10. — Schémas montrant l'intérêt d'utiliser une paire torsadée.

la différence de potentiel crée alors un courant en série avec l'une des connexions du circuit signal (dans la figure 8, la connexion inférieure) et cause un bruit qui se superpose au signal. Dans le schéma 8, il y a également un second circuit masse, par l'intermédiaire du blindage, entre la masse signal et la masse de l'amplificateur. Les courants alternatifs dans le blindage sont couplés, par la capacité linéique parasite du câble, à la paire signal lorsque ce courant circule à travers l'impédance de source vers la masse et crée une seconde source de signal parasite. Chacune de ces « boucles de masse » est capable d'engendrer un bruit qui peut être cent fois plus grand que le signal bas niveau.

La façon correcte de relier le capteur à un amplificateur présentant une

entrée flottante est représentée sur la figure 9. Désormais, la source et le blindage ne sont plus reliés à la masse qu'au niveau du capteur. C'est le montage correct pour éliminer au maximum le bruit dû à la liaison.

Il est important de vérifier que l'ensemble des éléments constituant la chaîne d'amplification est relié effectivement à la masse et que celle-ci n'est pas simplement réalisée par le montage des racks dans une même baie.

Câble de liaison

L'intérêt d'utiliser des conducteurs torsadés ressort des schémas de la figure 10. En effet, soit une paire signal et une ligne d'alimentation alternative de tension E_n parcourue par un courant I_n . Celle-ci produit un champ magnétique qui coupe les deux conducteurs du circuit signal et induit une tension dans le circuit signal. Cette tension induite est proportionnelle à l'amplitude et à la fréquence de I_n et à la surface délimitée par le circuit signal, mais inversement proportionnelle à la distance séparant le circuit d'alimentation du circuit de mesure. De plus, les capacités parasites entre chacun des conducteurs du câble signal et la ligne d'alimentation sont différentes, d'où la création d'un courant I_x dans le circuit de mesure, courant qui développe une tension E_x aux bornes de la résistance d'entrée R_L de l'amplificateur.

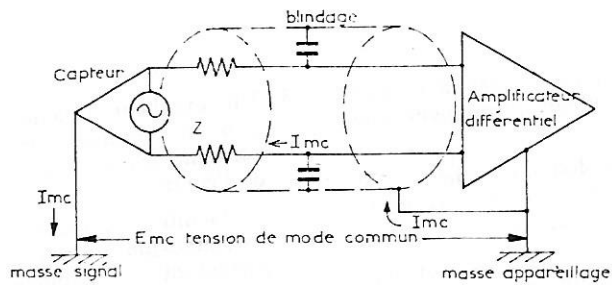


Fig. 11. — Dans ce premier schéma le blindage est mis à la masse au niveau de l'amplificateur et la capacité linéique du câble est en parallèle sur l'impédance de l'amplificateur par rapport à la masse, ce qui a pour effet de réduire le taux de réjection de mode commun de l'amplificateur.

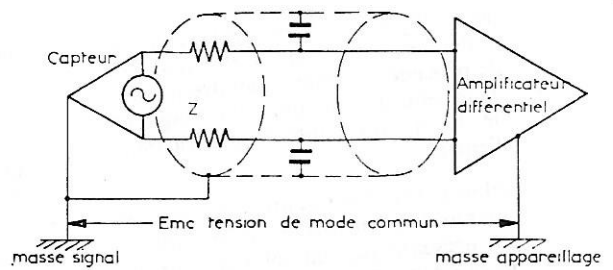


Fig. 12. — Dans le second cas, le taux de réjection de mode commun de l'amplificateur n'est pas diminué.

Les câbles torsadés ramènent ces capacités à des valeurs quasi identiques et l'aire du circuit de mesure est réduite à zéro ; ainsi le blindage du circuit de mesure peut parfois ne plus être indispensable.

Si la bande passante est limitée à 5 Hz, l'impédance de source inférieure à 5 ohms, la précision du système que de 2 ou 3 %, et que l'on n'effectue pas de mesures au niveau du microvolt, une paire torsadée suffit. Toutefois, si on cherche à mesurer des signaux dont la fréquence est proche de celle du réseau d'alimentation 50 Hz, et si les niveaux sont faibles, il est alors nécessaire d'utiliser un câble blindé. Le blindage peut, par exemple, être réalisé de feuilles métalliques enroulées et pour diminuer la capacité linéique parasite de 0,3 pF à 0,01 pF par mètre, on peut lui adjoindre un troisième conducteur torsadé avec la paire, mais non isolé afin d'être en contact avec le blindage.

Inconvénient de mettre le blindage à la masse à l'entrée de l'amplificateur

Si on relie le blindage à la masse à l'entrée de l'amplificateur, la capacité linéique du câble est mise en parallèle sur l'impédance de fuite des entrées par rapport à la masse de l'amplificateur (cf. fig. 11).

Supposons que nous ayons un bon amplificateur différentiel présentant un taux de réjection de mode commun de 10^3 à 50 Hz avec un déséquilibre de 1 000 ohms, supposons encore que le capteur présente un déséquilibre de 1 000 ohms et qu'il se trouve à cent mètres de l'amplificateur, supposons enfin que le câble signal a une capacité linéique de 120 pF par mètre, ce qui fait au total 12 000 pF par rapport à la masse. La tension de mode commun entre la masse signal et la masse appa-

reillage crée un courant I_{mc} à 50 Hz tive de masse. Cette dernière est constituée par les 12 000 pF du câble en série avec les 1 000 ohms de déséquilibre de la source.

Cette capacité réduit l'impédance par rapport à la masse à l'entrée de l'amplificateur à environ 200 k Ω ; le taux de réjection de mode commun à l'entrée de l'amplificateur a donc été réduit de 10^3 à 200, d'où il résulte un accroissement correspondant du bruit.

Si, comme dans le cas envisagé sur les figures 11 et 12, les amplificateurs ont des entrées flottantes, la mise à la masse du blindage au niveau du capteur évite que la capacité du câble par rapport à la masse ne détériore le taux de réjection de mode commun à l'entrée de l'amplificateur comme il le fait dans le montage de la figure 11.

La mise à la masse du blindage au niveau du capteur stabilise non seulement le blindage par rapport au signal, mais présente également les avantages suivants :

1. la tension de mode commun sera dans ces conditions limitée à la différence de potentiel entre les deux systèmes de masse ;
2. évite que la capacité du câble signal ne shunte l'impédance par rapport à la masse de l'amplificateur ;

3. retire tout courant de mode commun dans le blindage avant qu'il ne puisse traverser l'impédance de source du signal ;
4. préserve le taux de réjection de mode commun de l'amplificateur.

Un blindage n'est efficace que s'il est maintenu à un potentiel fixe par rapport au circuit qu'il doit protéger. Si le capteur ne possède pas de point central qui serait le mieux à même d'établir une ligne équilibrée par rapport à la masse, on doit alors relier la masse au blindage et au point froid.

Utilisation des gardes

Les amplificateurs ayant des entrées flottantes sont généralement équipés d'un blindage interne flottant qui entoure entièrement le circuit d'entrée. On appelle ce blindage interne : garde.

Le principe de la garde nécessite que celle-ci soit au potentiel de mode commun apparaissant aux deux entrées différentielles. En d'autres termes, la garde doit toujours être stabilisée par rapport à la paire d'entrée.

Comme cela est indiqué sur la figure 13, le moyen le plus efficace de réaliser la stabilisation est de :

1. connecter la garde d'entrée et de s'assurer que le blindage est isolé

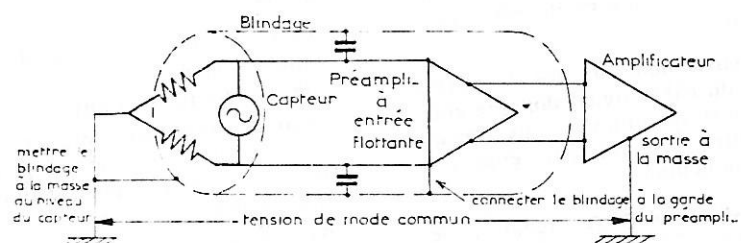


Fig. 13. — Schéma montrant l'utilisation de la garde d'un préamplificateur à entrée flottante. Cette configuration permet d'étendre l'avantage du blindage jusqu'à la sortie du premier étage.

de la masse de l'appareillage et de toutes ses extensions. Cette manière de procéder permet d'étendre le blindage interne sur toute la longueur de la liaison capteur-amplificateur d'entrée ;

2. relier (*) le point central du capteur au blindage du câble. Si le capteur ne présente pas un tel point, relier le blindage du câble au point froid de la paire signal, ou le blindage du capteur. Ce processus permet de stabiliser la garde et le blindage du câble par rapport au capteur ;
3. relier le blindage du câble et sa connection au point central du capteur au point de masse du capteur qui doit se trouver le plus près possible du capteur. Veiller à ce que la paire signal, ou le blindage, n'ait aucun autre point de contact avec la masse, ceci afin de limiter la tension de mode commun maximum à la différence de potentiel entre la masse appareillage ;
4. pour stabiliser le système d'acquisition et d'enregistrement par rapport à la masse appareillage, mettre le châssis de l'amplificateur, les bâtis, le point froid de la sortie de l'amplificateur et le blindage du câble de sortie à la masse appareillage.

Précautions utiles dans les systèmes de liaison

1. Ne jamais utiliser un blindage comme conducteur pour un signal et ne jamais faire d'épissure sur un câble bas niveau.
2. Le blindage d'un câble signal doit toujours être à un potentiel fixé par rapport au circuit à protéger.
3. Pour obtenir une très faible induction électromagnétique par rapport au champ extérieur, on cherchera à réduire au maximum les interconnexions : le câble signal doit être une paire de conducteurs torsadés et tous les circuits de retour doivent être limités au même câble signal.
4. La partie non torsadée de l'extrémité du câble signal doit présenter une surface minimale aux signaux parasites pouvant être engendrés par induction.
5. Connecter la paire signal à des contacts adjacents sur les connec-

* Le point central du capteur ne doit pas être utilisé si la garde de l'amplificateur différentiel est connectée de façon permanente à l'une des bornes d'entrée signal.

teurs de façon à réduire la surface exposée au même phénomène que ci-dessus.

6. Le blindage doit être relié sur le connecteur à l'un des contacts adjacents au précédent.
7. Utiliser si possible les contacts libres supplémentaires autour de la paire signal en les court-circuitant aux deux extrémités avec le blindage.
8. Séparer les circuits bas niveau des circuits générateurs de bruit en les disposant à angle droit et à la plus grande distance possible.
9. Les conducteurs blindés non utilisés dans les câbles signaux bas niveau doivent être mis à la masse à une seule extrémité et à l'extrémité opposée de celle où le blindage est mis à la masse.
10. La ligne doit être, si possible, équilibrée pour diminuer la tension de mode commun.
11. Un blindage parfait entre le circuit de mesure et la terre.
12. Une très faible résistance de l'écran par l'utilisation d'un conducteur non isolé supplémentaire.

13. Un excellent isolement extérieur afin de diminuer les possibilités accidentelles de mise à la masse de l'écran.
14. La facilité et la rapidité de réaliser les connexions en utilisant un câble présentant un conducteur en contact avec le blindage.

Précautions à prendre pour la réalisation des circuits de masse

1. Tout système bas niveau doit posséder une masse stable et une bonne masse signal.
2. Toute boucle de masse intentionnelle ou accidentelle, soit dans le circuit signal, soit dans le blindage, détruit les précautions prises dans les circuits bas niveau.
3. Un circuit signal doit être mis à la masse en un seul point.
4. Le blindage d'un câble signal ne doit être relié qu'à une seule masse.
5. Réaliser la mise à la masse au niveau du capteur pour le circuit signal et son blindage lorsque l'on a un dispositif à entrée flottante sur l'amplificateur d'entrée.

Principales sources de bruits ou d'erreurs dans les circuits bas niveau

ORIGINES ET REMÈDES

BRUIT INDUIT PAR LES SOURCES D'ALIMENTATION

Origines

- 50 ou 400 Hz des sources d'alimentation (100 pA) ;
- 100 Hz des tubes fluorescents (3 V) ;
- bruit de fréquence élevé provenant des arcs électriques et des parasites transmis par les lignes d'alimentation (1 mV) ;
- harmonique 3 de la fréquence du réseau provenant des transformateurs saturés (0,5 V) ;
- on peut inclure également dans ce paragraphe les émissions radioélectriques (1 mV).

Remèdes

- s'assurer que le capteur est correctement blindé et délivre un signal exempt de bruit d'origine industrielle ;
- n'utiliser que des câbles signal de bonne qualité dans lesquels la paire est torsadée de façon régulière ;
- séparer les circuits bas niveau des circuits générateurs de bruit en les disposant à angle droit et à la plus grande distance possible ;
- réaliser des connexions bas niveau aussi courtes que possible ;
- la partie non torsadée de l'extrémité du câble signal doit présenter une surface minimale aux signaux parasites pouvant être engendrés par induction ;

- ne jamais utiliser le blindage comme signal ;
- ne jamais utiliser de masse commune à deux ou plusieurs circuits bas niveau ;
- ne jamais faire d'épissure sur un câble bas niveau.

VARIATIONS ET TRANSITOIRES TRANSMIS PAR LES SOURCES D'ALIMENTATION

Origines

Les sources d'alimentation transmettent d'importantes fluctuations de tension ainsi que des variations transitoires.

Remèdes

- utiliser un filtre d'entrée sur la source d'alimentation, ou incorporer un isolement en utilisant un transformateur muni d'un écran de Faraday ;
- quand les transitoires ou les bruits sont créés en un endroit connu, il est plus simple de les éliminer à leur source ;
- porter attention au taux de régulation du dispositif d'alimentation lors de l'établissement du projet.

COUPLAGE PAR LES CIRCUITS DE MASSE

Origines

Si on met un circuit signal à la masse en plus d'un point là où les boucles ainsi créées peuvent engendrer un niveau tel de 50 Hz que ce parasite peut complètement masquer le signal.

Remèdes

- ne pas réaliser plus d'une mise à la masse du circuit signal, ou des appareillages connectés ;
- utiliser des amplificateurs différentiels avec des entrées flottantes pour tous les circuits bas niveau ;
- ne mettre à la masse le circuit signal et son blindage qu'au niveau du capteur ;
- s'assurer que ni le circuit signal, ni son blindage, ne sont en contact délibéré ou accidentel avec un autre point masse ;
- les éléments de rack et de baie doivent être reliés à une masse commune et ne doivent pas être reliés à d'autres masses dans le montage.

COUPLAGE ELECTROSTATIQUE

Origines

La capacité linéique entre les conducteurs de la paire signal et entre celle-ci et la terre fournit une boucle à basse impédance qui permet le passage de perturbations provenant des sources alternatives extérieures.

Remèdes

- utiliser pour les circuits bas niveau des câbles blindés, de préférence par une feuille enroulée avec un conducteur non isolé de faible résistance ;
- le blindage du câble doit être fixé à un potentiel du même ordre que le circuit à protéger ;
- le blindage doit être relié aux contacts adjacents aux contacts signal ;
- utiliser les contacts supplémentaires entourant les contacts signaux en les court-circuitant aux deux extrémités et en les reliant au blindage ;
- les conducteurs blindés non utilisés dans un circuit bas niveau doivent être mis à la masse en un seul point et à l'extrémité opposée à celle où le blindage est lui-même mis à la masse.

Taux de Rejection DE MODE COMMUN

Origines

Les origines ou les tensions de mode commun sont des phénomènes qui apparaissent en phase aux deux entrées des amplificateurs. Ils doivent être éliminés sans altérer le signal utile.

Remèdes

- utiliser des amplificateurs différentiels de qualité possédant des entrées flottantes et une garde, une sortie flottante et un taux de réjection de mode commun $\geq 10^6$;
- choisir si possible des capteurs présentant une faible impédance et un point milieu ;
- utiliser une ligne équilibrée, du capteur à l'amplificateur, et s'assurer que tous les circuits sont dans le même câble signal ;
- s'assurer que l'on utilise correctement la garde de l'amplificateur ;
- mettre le circuit signal et son blindage à la masse au niveau du capteur ;
- réaliser une masse de faible résistance (en plus de la masse du signal)

située à proximité du dispositif de traitement du signal.

CHARGE DU CIRCUIT SIGNAL

Origines

Quant un capteur, ou toute autre source, est relié en parallèle avec un amplificateur ou tout autre appareillage dont l'impédance d'entrée est assez basse, la tension signal est atténuée par la charge (effet de shunt imposé à la source).

Remèdes

- choisir des capteurs présentant des impédances faibles et des amplificateurs présentant des impédances d'entrée élevées ;
- si l'impédance de l'amplificateur n'est pas 1 000 fois plus grande que celle du capteur, le capteur doit alors être étalonné étant relié à l'amplificateur en appliquant une tension connue à l'entrée signal.

COMPENSATION DE TEMPERATURE

Origines

Des compensations de température inefficaces dans les capteurs, les câbles et les amplificateurs ou les appareillages de mesure engendrent :

- des variations dans la sensibilité du système ;
- des pertes de la stabilité de la ligne de référence.

Cette cause d'erreur est particulièrement importante dans les dispositifs de jauge de contrainte, les capteurs de température à résistance et les capteurs montés en pont.

Remèdes

- porter une attention particulière à la stabilité en température lors du choix des capteurs et des appareillages ;
- utiliser toujours un câble compensé à 3 ou 4 conducteurs pour chaque montage en pont ;
- s'assurer que tous les capteurs, et tout particulièrement les jauges de contrainte, sont disposés de façon telle que les effets de température se compensent ;
- ne pas négliger la compensation de la jonction de référence quand on utilise des entrées de thermocouple.

RESISTANCE DE CONTACT VARIABLE

Origines

Certains capteurs faible impédance, et tout particulièrement les systèmes en pont, sont fréquemment sujets à des variations de résistance de contact.

Les instruments de mesure sont incapables de distinguer entre une variation provenant du capteur et une variation provenant des connexions extérieures.

Les circuits imprimés et leurs contacts (0,01 à 10 pA $\sqrt{\text{Hz}}$ en dessous de 10 Hz).

On peut inclure dans ce paragraphe les bruits induits par la vibration des éléments (10 pA de 10 à 100 Hz) et surtout par la vibration des câbles de liaison (100 pA).

Remèdes

- les erreurs provenant des résistances de courant peuvent être diminuées en soudant ou en utilisant des connecteurs du type à compression;
- les prises « bananes » doivent être proscrites, mais une connection vissable sur des conducteurs en cuivre étamé peut être acceptable sur les connexions bas niveau ;
- les circuits imprimés doivent être très correctement nettoyés, éventuellement isolés par un vernis teflon ou silicone, et protégés par une garde ;
- éviter les couplages mécaniques et la proximité de circuits de puissance près des entrées ;
- utiliser des câbles faible bruit, spécialement préparés et lubrifiés.

LES DERIVES THERMOELECTRIQUES

Origines

C'est une source d'erreur dans les circuits effectuant des mesures de l'ordre du microvolt. Elle est créée par la jonction de deux métaux différents et elle varie avec les variations de température.

Remèdes

- les dérives thermoélectriques peuvent être théoriquement éliminées en réalisant des connexions de métal sur même métal, tel que cuivre-cuivre, et en utilisant des soudures spéciales ;
- une autre possibilité est de réaliser des connexions identiques sur chacun des câbles et de les monter de façon qu'eux soient à la même température.

Nouvelles de l'industrie

HEWLETT-PACKARD INSTALLERA UNE USINE DE PRODUCTION A GRENOBLE

La compagnie Hewlett-Packard a annoncé son intention de construire une usine à Grenoble, projet soumis à l'approbation du ministère des Finances français.

La compagnie compte acheter à la ville de Grenoble un terrain d'une superficie de 18 hectares et y développer graduellement une importante unité de production et de recherche. Le premier bâtiment couvrira probablement 6 000 m² et emploiera 300 personnes.

William R. Hewlett, président de la société, a déclaré qu'aucun calendrier n'est établi mais qu'il espère que la première unité sera construite dans les deux prochaines années.

« Nos plans à long terme visent un complexe industriel de quelque 54 000 m² employant jusqu'à 3 000 personnes. Ceci sera réalisé progressivement, en procédant par rajouts successifs qui ne seront faits que selon les besoins. »

Hewlett-Packard, important constructeur d'instrumentation électronique,

médicale, analytique et informatique possède actuellement deux usines en Europe, l'une à Böblingen en Allemagne Fédérale, l'autre à South Queensferry en Ecosse. La compagnie possède également 14 usines aux Etats-Unis, une au Japon et une à Singapour.

La décision d'acquérir une troisième usine de fabrication est dictée par la progression continue et substantielle des marchés européens.

Monsieur Hewlett a ajouté :

« Les ventes européennes ont plus que doublé au cours des trois dernières années et se montent maintenant à plus de 100 millions de dollars par an. La France, dotée d'une large structure technologique et industrielle a contribué d'une manière très importante à cette progression. »

Grenoble est l'un des sites les plus attirants qui nous offre de nombreux avantages, comme cadre de recherche et de production. Elle dispose d'une université prestigieuse, particulièrement bien notée pour la formation d'ingénieurs et de scientifiques. La ville n'est, de plus, pas éloignée de Genève où la

société possède ses quartiers généraux européens.

Lorsque cette nouvelle usine sera à 100 %, elle produira une large gamme de matériels principalement destinés aux clients du marché commun.

INDICATEURS NUMERIQUES DE TABLEAU EURODIGIT

En vue de compléter sa gamme d'appareils de mesure, la Compagnie des Compteurs présente une série d'indicateurs numériques de tableaux dont nous citerons ci-après les caractéristiques essentielles :

Dimensions : face avant 72 x 144 ; profondeur 150 mm.

Précision : en continu 0,1 à 0,2 % selon calibre ± 1 digit ; en alternatif 0,5 % ± 1 digit.

Capacité de lecture : 1 500 points et 20 % de dépassement.

Température de fonctionnement : - 50 °.

Ces appareils existent en voltmètre, ampèremètre, ohmmètre, etc.

Compagnie des Compteurs, 12, place des Etats-Unis, Montrouge (92).