

## Principe et réalisation d'un phasemètre

par Ph. JULIARD  
 LTR Henri Brisson, 18103 Vierzon  
 et J.M. MILLET  
 Lycée Descartes, 37000 Tours

---

### BUT

Cet article expose le principe et la réalisation d'un phasemètre présentant :

un intérêt pratique : il permet des mesures de déphasage plus rapides et plus précises que celles obtenues habituellement avec un oscilloscope ;

un intérêt pédagogique : tel qu'il est conçu les élèves peuvent suivre les étapes de la mise en forme des signaux tout au long de la chaîne de mesure. Ces différentes étapes font appel pour l'essentiel à des montages simples à amplificateur opérationnel et constituent donc une illustration concrète du cours d'électronique des classes de mathématiques supérieures.

### PRINCIPE

L'appareil comporte deux voies :

– voie 1 pour le signal de référence :

$$u_1 = U_1 \sqrt{2} \cos 2 \pi t/T ;$$

– voie 2 pour le signal à mesurer :

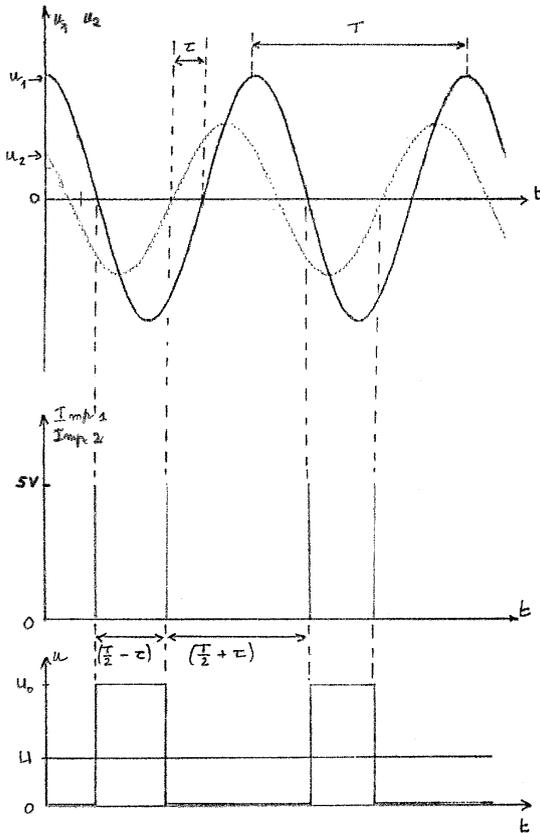
$$\begin{aligned} u_2 &= U_2 \sqrt{2} \cos (2 \pi t/T + \varphi) \\ &= U_2 \sqrt{2} \cos (2\pi/T) (t + \tau). \end{aligned}$$

Le montage permet d'élaborer une tension continue  $U_s$  proportionnelle à  $\varphi$ .

Dans un premier temps les deux signaux sont mis en forme pour obtenir :

– une impulsion positive lorsque  $u_1$  passe par zéro en décroissant (cf figures) ;

– une impulsion positive lorsque  $u_2$  passe par zéro en croissant (cf figures).



Dans un deuxième temps on envoie ces impulsions sur les entrées d'une bascule bistable (bascule R.S.) :

- mise à l'état haut (tension  $U_0$ ) par les impulsions générées à partir de  $u_1$  ;
- remise à l'état bas (tension nulle) par les impulsions générées à partir de  $u_2$ .

On obtient ainsi un signal  $u$  rectangulaire de période  $T$  et dont la valeur moyenne  $U$  contient un terme proportionnel à  $\varphi$  (cf figures) :

$$U = U_0/2 - U_0 \varphi/2 \pi$$

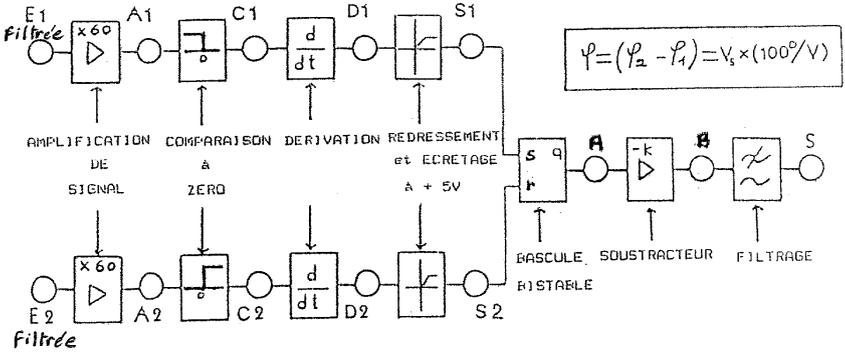
Enfin :

- un soustrateur permet de supprimer le terme  $U_0/2$ ;

– un passe bas avec changement de signe et gain  $k$  réglable donne la tension de sortie  $U_s$  :  $U_s = k U_o \varphi/2 \pi$ .

$k$  étant réglé pour obtenir 1 mV pour  $0,1^\circ$ ,  $U_s$  est mesurée avec avec un multimètre.

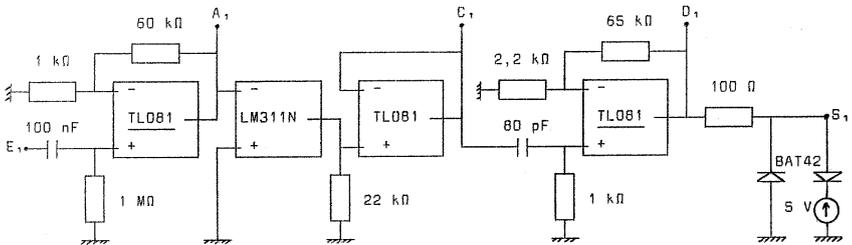
**SCHEMA-BLOC DU PHASEMETRE**



**RÉALISATION**

**1. Élaboration des impulsions**

On a représenté ci-dessous le montage permettant d'obtenir en  $S_1$  les impulsions générées à partir de la tension  $u_1$  appliquée en  $E_1$ .



**Commentaires :**

- le condensateur de 100 nF et la résistance de 1 MΩ constituent un passe haut dont la fréquence de coupure  $f_0 \approx 1,6$  Hz ; on élimine ainsi une éventuelle composante continue ;
- le premier A.O. est monté en amplificateur non inverseur et donne en sortie un signal carré alternatif à flancs raides ;

- LM311N est un comparateur rapide dont la sortie passe à l'état haut chaque fois que  $u_1$  change de signe en décroissant ; la résistance de  $22\text{ k}\Omega$  charge la sortie à collecteur ouvert du comparateur ;
- l'A.O. qui suit est monté en suiveur pour isoler la sortie du comparateur ;
- le condensateur de  $80\text{ pF}$  et la résistance de  $1\text{ k}\Omega$  constituent un passe haut de fréquence de coupure  $f_0 \approx 2\text{ MHz}$  ; utilisé largement en dessous de cette fréquence il fonctionne en dérivateur ; on obtient donc à la sortie des impulsions positives et négatives associées aux changements de signe successifs de  $u_1$  ;
- l'A.O. suivant, monté en amplificateur non inverseur, amplifie ces impulsions ;
- le bloc suivant constitué des deux diodes et de la source  $+5\text{ V}$ , permet d'écrêter les impulsions à  $\approx 0\text{ V}$  et  $\approx 5\text{ V}$  ; les diodes utilisées sont des diodes Schottky donc rapides ; un écrêtage par diode Zener serait moins rapide.

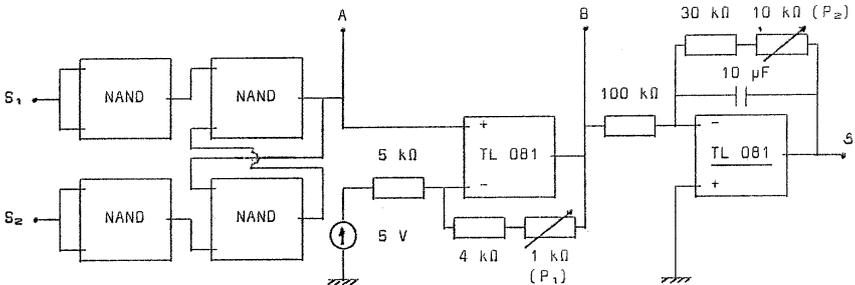
On obtient ainsi en  $S_1$  des impulsions d'environ  $+5\text{ V}$  chaque fois que  $u_1$  passe par zéro en décroissant. Les bornes  $A_1$ ,  $C_1$  et  $D_1$  permettent de suivre l'évolution du signal.

**Remarque :** il faut prévoir pour les A.O. dont le nom est souligné une compensation du décalage.

Le traitement de  $u_2$  s'effectue de manière analogue ; **il faut simplement permuter** les bornes inverseuse et non inverseuse du LM311N, pour que le basculement à l'état haut se fasse sur le front montant de  $u_2$ .

## 2. Élaboration de $U_S$ , image de la phase

On a représenté ci-dessous la suite du montage permettant d'obtenir  $U_S$ .



**Commentaires :**

- les quatre NAND constituent la bascule bistable à la sortie de laquelle on obtient  $u_A$  ; on a utilisé les NAND contenus dans un 74HC00 celui-ci devant être alimenté en + 5 V ;
- l'A.O. suivant est monté en soustracteur pour obtenir un signal alternatif ; le potentiomètre  $P_1$  de 1 k $\Omega$  en permet le réglage ;
- l'A.O. suivant est monté en passe bas inverseur de fréquence de coupure  $F_0 \approx 0,4$  Hz ; on récupère ainsi la composante continue (valeur moyenne) de  $u_B$  ; le potentiomètre  $P_2$  de 10 k $\Omega$  permet le réglage du gain ;
- les bornes A et B permettent de suivre l'évolution du signal.

**Remarques :**

- les A.O. et les comparateurs sont alimentés en (- 15 V, + 15 V) en utilisant les alimentations que l'on trouve dans les laboratoires ;
- pour le + 5 V nous avons utilisé un régulateur L7805CV alimenté en + 15 V et avons placé en parallèle sur sa sortie un condensateur de capacité 470 nF ;
- ayant eu des problèmes d'interaction avec les cartes d'acquisition nous avons rajouté un suiveur après la sortie S (prévoir la compensation de décalage pour ce dernier).

**UTILISATION****1. Réglages préliminaires**

- les entrées étant à la masse, effectuer les compensations du décalage là où nécessaire ;
- alimenter les deux entrées par le même signal sinusoïdal de fréquence  $\approx 1$  kHz ; agir sur  $P_1$  pour obtenir  $U_s = 0$  V (on peut arriver à  $U_s < 1$  mV) ;
- entrer sur les voies 1 et 2 deux signaux sinusoïdaux de fréquence  $\approx 1$  kHz et de déphasage connu (par exemple  $70^\circ$ ) ; agir sur  $P_2$  pour obtenir la valeur correcte de  $U_s$  (700 mV dans ce cas) ; vérifier que si l'on permute les deux voies  $U_s$  change simplement de signe. Ces réglages sont effectués une fois pour toutes.

## 2. Performances

Le prototype que nous avons testé a fonctionné de façon satisfaisante entre  $\approx 20$  Hz et  $\approx 10$  kHz ; il permet la mesure de déphasages compris entre  $\approx -170^\circ$  et  $\approx +170^\circ$  avec une précision de l'ordre du degré, pour des signaux dont la valeur efficace est supérieure à 0,5 V.

Pour pouvoir travailler avec des signaux d'entrée d'amplitude plus faible (valeur efficace supérieure à 50 mV), nous avons remplacé, sur chaque voie, la résistance de 1 k $\Omega$  branchée entre la masse et l'entrée inverseuse du premier A.O. par une résistance de 100  $\Omega$ . On obtient ainsi un gain de 600 au lieu du gain de 60 et le phasemètre fonctionne correctement jusqu'à  $\approx 8$  kHz. Pour compenser les décalages il devient alors nécessaire d'utiliser des potentiomètres multitours.

On pourra bien entendu obtenir le même résultat en utilisant deux étages d'amplification de gains plus faibles montés en cascade.

Nous avons entrepris la fabrication d'une dizaine de ces appareils destinés aux séances de travaux pratiques.

## 3. Utilisations possibles

On peut l'utiliser chaque fois qu'une mesure de déphasage est nécessaire :

- détermination de l'argument d'une impédance;
- mesures de l'argument de la fonction de transfert d'un montage à différentes fréquences ; cette étude peut éventuellement être automatisée en utilisant un système d'acquisition et un générateur basse fréquence doté d'une modulation.

Remarque : nous utilisons également un détecteur de crête à deux voies pour relever les valeurs efficaces des tensions à l'entrée et à la sortie d'un montage. Nous disposons ainsi d'un système complet pour effectuer rapidement les mesures nécessaires au tracé du diagramme de Bode d'un montage donné.

#### **4. Références**

##### ***Phasemètre :***

– R. BEAUVILLAIN, J. LATY : Mesures électriques et électroniques (p. 95-96) Hachette Technique.

– J. NIARD, Y. RENOUX, N. BASTIDE, R. MÉRAT : Electronique Terminale F2 (p. 187-188) Nathan Technique.

##### ***Détecteur de crête :***

– F. DATTÉE, S. DELLA MAESTRA : Ampli. Op. (p. 171) Vuibert.

#### **CONCLUSION**

Nous voulons remercier nos techniciennes de laboratoire pour l'aide qu'elles nous ont fourni à l'occasion de la mise au point des différents prototypes.

Cet appareil étant certainement perfectible nous remercions par avance les collègues qui voudront bien nous faire part de leurs remarques.