

# COMMANDE PAR TRIAC SUR CHARGE INDUCTIVE QUELLE SOLUTION CHOISIR ?

DIVISION SEMICONDUCTEURS DISCRETS



INFORMATION TECHNIQUE N°36

# COMMANDE PAR TRIAC SUR CHARGE INDUCTIVE QUELLE SOLUTION CHOISIR ?

**X. DURBECQ.**

**Laboratoire d'Application.**

**THOMSON-CSF Division Semiconducteurs**

On dispose aujourd'hui de triacs bien adaptés aux exigences de la commutation sur charge inductive.

Néanmoins beaucoup d'utilisateurs rencontrent encore des difficultés pour réaliser des circuits de commande de triacs qui soient simultanément économiques et applicables aux charges inductives.

Cet article a pour but de présenter différentes méthodes de commande avec leurs applications, et d'en analyser les avantages et inconvénients.

Un montage simple, offrant toutes les garanties de fiabilité, est proposé pour les charges industrielles.

## DÉCLENCHEMENT EN SYNCHRONISATION AUX BORNES DU TRIAC

Le circuit de déclenchement en «synchronisation aux bornes du triac» (fig. 1 et 2) amorce le composant, un angle  $\beta$  après que le courant se soit annulé, tel que  $\beta = \omega T_r$ . Le temps  $T_r$  est défini à partir de la constante de temps  $(P + R_t) \cdot C$ .

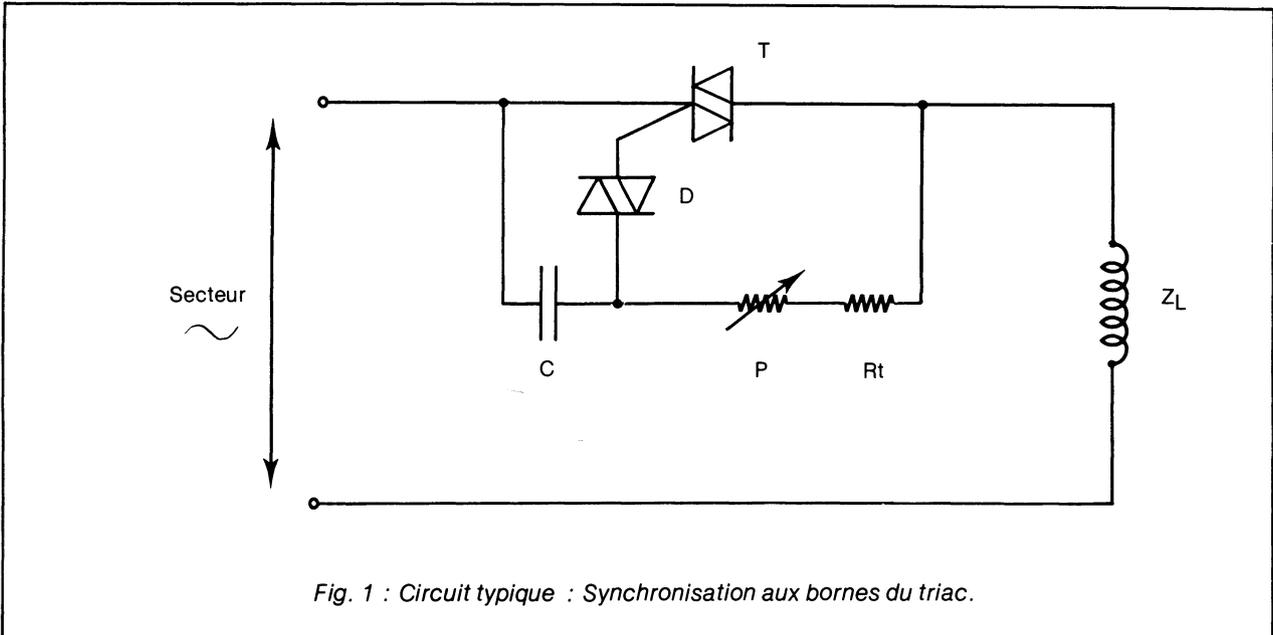


Fig. 1 : Circuit typique : Synchronisation aux bornes du triac.

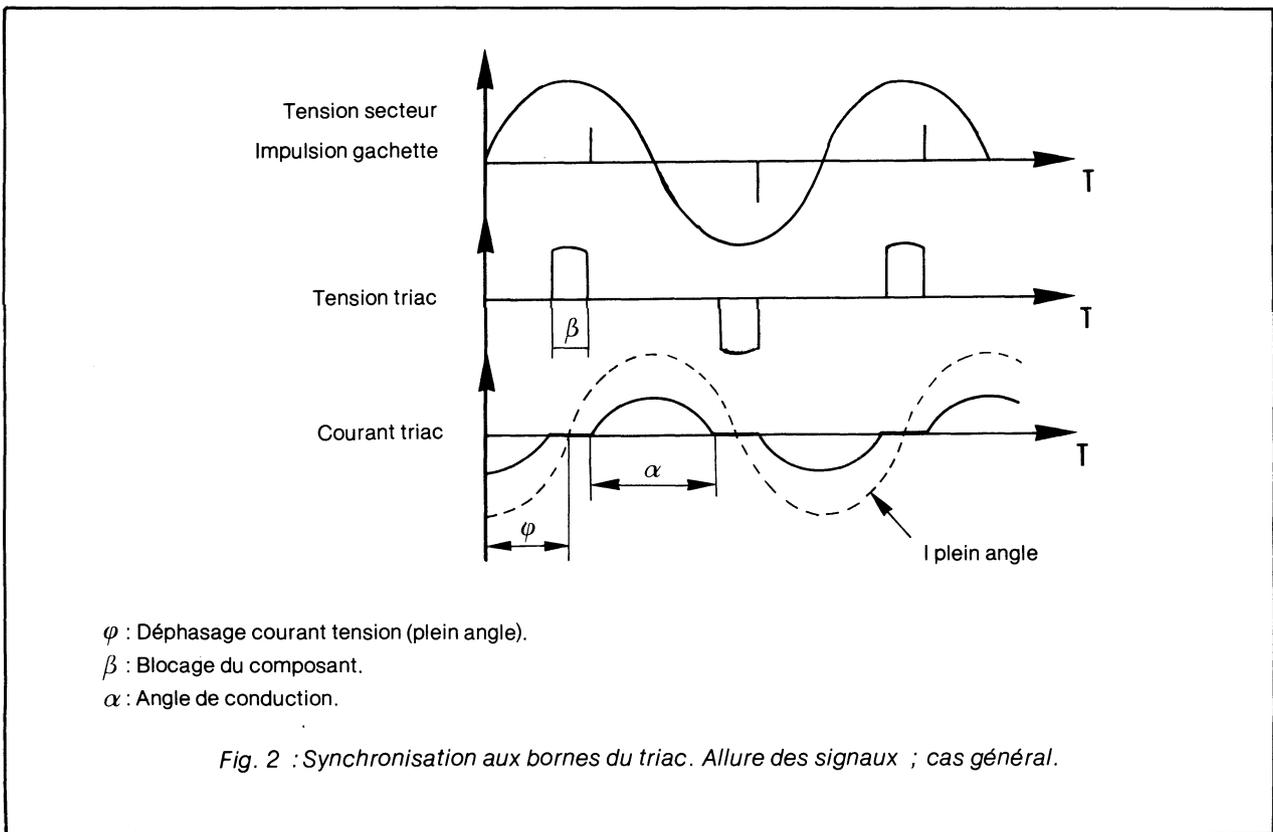


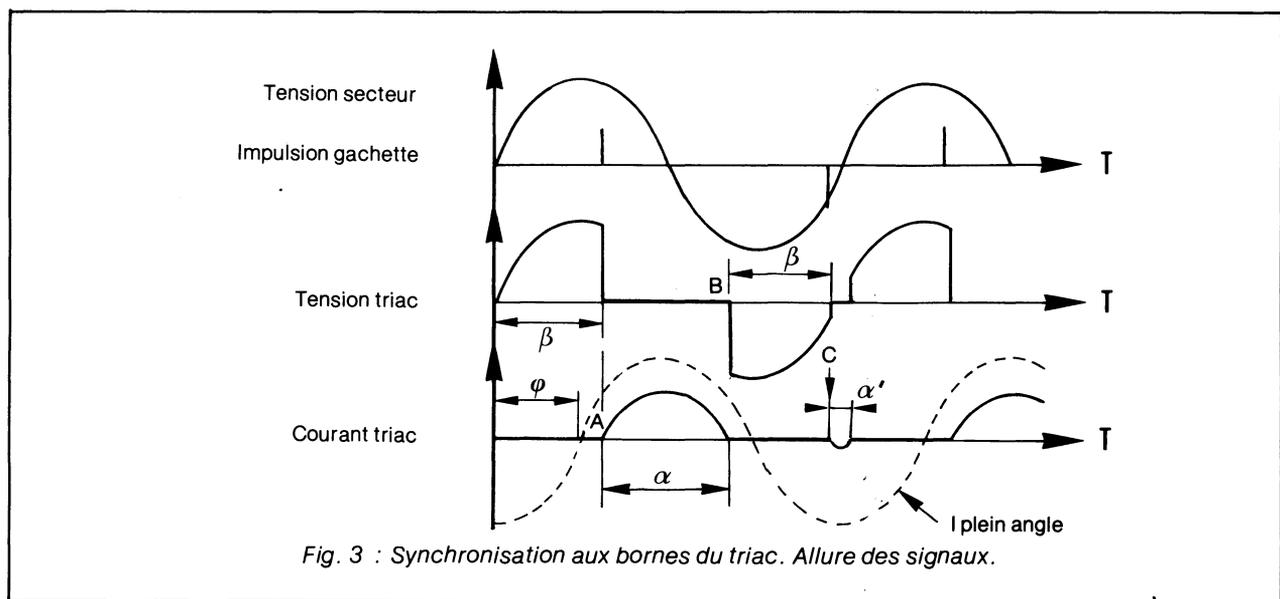
Fig. 2 : Synchronisation aux bornes du triac. Allure des signaux ; cas général.

Ce circuit, le plus simple qui puisse exister, peut présenter dans certains cas d'utilisation un défaut important.

Prenons à titre d'exemple une charge fortement inductive ( $\frac{L \cdot \omega}{R} > 4$ ) ou le triac est amorcé avec un retard  $\beta$  important :  $100^\circ$  à partir du zéro de la tension secteur (fig. 3).

La durée de conduction du triac amorcé au point A, est d'environ  $150^\circ$ . Le triac se bloque au point B à  $100 + 150 = 250^\circ$  du zéro de tension. A ce moment, une tension négative est appliquée au circuit de déclenchement qui va réamorcer le triac au point C après un angle  $\beta$  de  $100^\circ$ , c'est-à-dire à  $350^\circ$  du point d'origine. Le deuxième amorçage du triac va se faire sous une très faible tension, et l'angle  $\alpha'$  sera beaucoup plus petit que  $\alpha$ . La période suivante débute dans des conditions analogues, et le déséquilibre subsiste. Ce type de fonctionnement asymétrique est non seulement inacceptable, mais peut-être dangereux (saturation de la charge par une composante continue).

Le déséquilibre est illustré pour un cas particulier, celui du démarrage à partir du zéro secteur. D'autres causes produisent également ce défaut : variation de l'impédance de la charge, régime transitoire, modification du réglage... Ceci est dû au principe même du circuit qui ne prend pas sa référence à partir du zéro secteur. La synchronisation se faisant à partir de la tension aux bornes du triac, qui est fonction du courant dans la charge.



En résumé, ce premier circuit de déclenchement très simple, synchronisé à partir de la tension aux bornes du triac présente :

- 1) Des avantages certains :
  - Simplicité de conception et coût très faible.
  - Branchement par deux fils, sans polarité.
  - Absence d'alimentation séparée.
  - Peu de puissance dissipée dans P et Rt.

2) Un inconvénient sérieux :

De par son principe, ce circuit ne peut être utilisé dans le cas de charges fortement inductives et avec un faible angle de conduction, car il peut conduire à un fonctionnement asymétrique inacceptable.

Ce circuit de déclenchement, très simple, doit être réservé aux applications où l'on recherche un faible coût et présentant les caractéristiques suivantes :

- Charge résistive ou faiblement inductive.
- Peu d'exigences sur la précision de régulation.
- Variation sur charge fortement inductive comprise entre 85 et 100 % de la tension secteur.

## DÉCLENCHEMENT EN SYNCHRONISATION SUR LE SECTEUR

Ce circuit de déclenchement (fig. 4) est synchronisé par la tension du secteur. Les impulsions sont toujours décalées de  $180^\circ$  quelle que soit l'état de la charge.

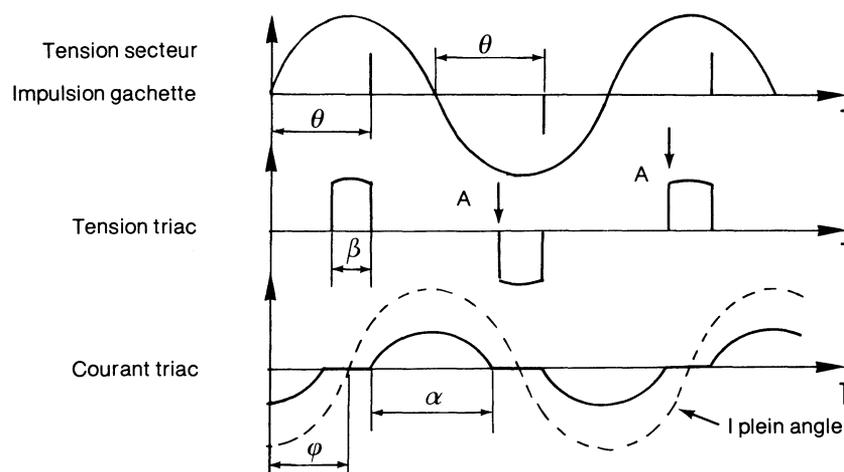
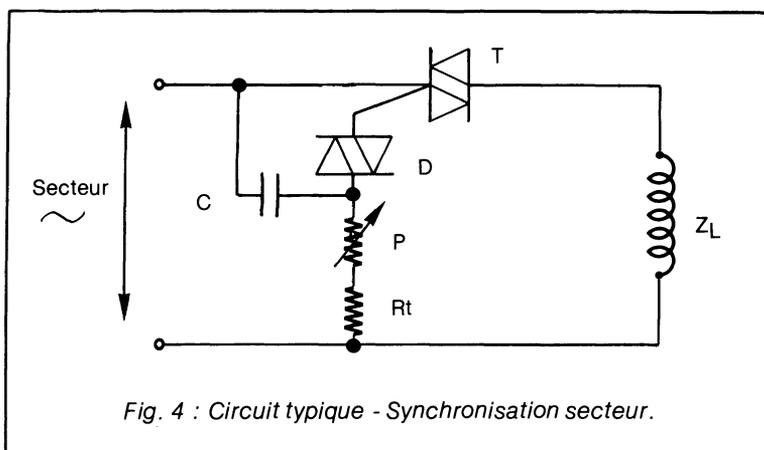


Fig. 5 : Synchronisation sur le secteur : Allure des signaux  $\theta > \varphi$  .

$\varphi$  : Déphasage courant tension plein angle.

$\beta$  : Blocage du composant.

$\alpha$  : Angle de conduction.

$\theta$  : Angle de retard de déclenchement.

L'angle  $\theta$  , caractérisant le retard entre le zéro de la tension secteur et l'impulsion d'allumage, peut être réglé par l'intermédiaire du potentiomètre P de  $0$  à  $180^\circ$ , pour faire varier la tension aux bornes de l'utilisation. Le courant dans une charge inductive (L.R) est déphasé par rapport à la tension d'un angle  $\varphi$  :

( $Tg \varphi = \frac{L \cdot \omega}{R}$  ). Pour les angles de déclenchement  $\theta$  supérieur à  $\varphi$  , le fonctionnement est parfaitement symétrique et continu.

Ce circuit simple peut encore présenter un risque de défaut, dans le cas où l'angle  $\theta$  est plus faible que l'angle  $\varphi$  (fig. 6).

Prenons à titre d'exemple le cas d'une charge fortement inductive, et d'un angle  $\theta = 60^\circ$ . Le triac est amorcé au point A ( $60^\circ$ ).

Il va conduire pendant un angle  $\alpha$  supérieur à  $180^\circ$ , voisin de  $250^\circ$ . Il se bloque au point B : ( $290^\circ$ ). La deuxième impulsion de déclenchement a lieu au point C : ( $60 + 180 = 240^\circ$ ).

Elle est sans action sur le triac qui est encore conducteur, et le triac ne se réamorçe plus dans l'autre sens. Comme dans le cas précédent, le fonctionnement est asymétrique, c'est-à-dire inacceptable.

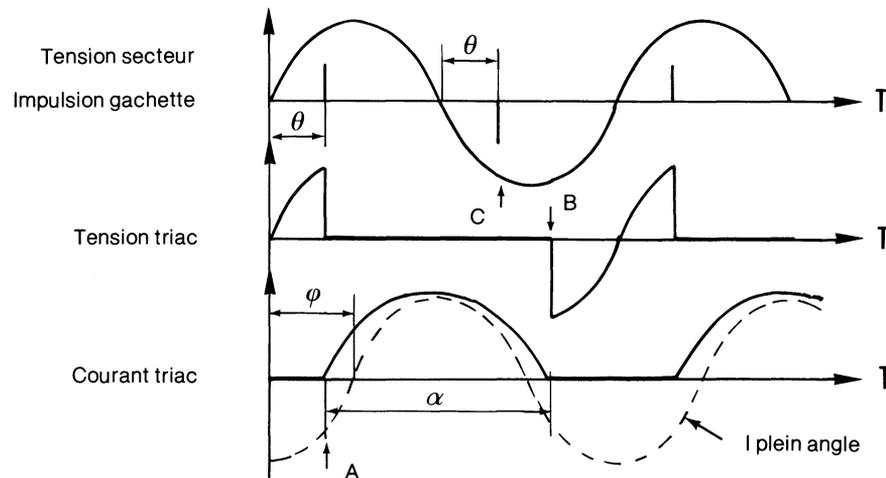


Fig. 6 : Synchronisation sur le secteur - Allure des signaux  $\theta < \varphi$  - Le fonctionnement devient asymétrique.

Pour éviter ce défaut, il faut introduire une «butée» pour avoir toujours  $\theta > \varphi$ . C'est possible pour des charges dont les paramètres L et R restent rigoureusement constants.

L'expérience montre que pour la majorité des charges inductives que l'on utilise dans l'industrie (cde de moteurs, transformateurs...), il n'est pas possible d'introduire cette butée sans limiter considérablement l'excursion de tension, car les valeurs de L et R évoluent beaucoup en fonctionnement.

En résumé, ce circuit simple de déclenchement synchronisé sur le secteur est plus perfectionné que le précédent. Il présente :

1) *Des avantages :*

- Simplicité de conception.
- Commande plus précise que le précédent.
- Circuit ne nécessitant ni alimentation, ni transformateur auxiliaire.

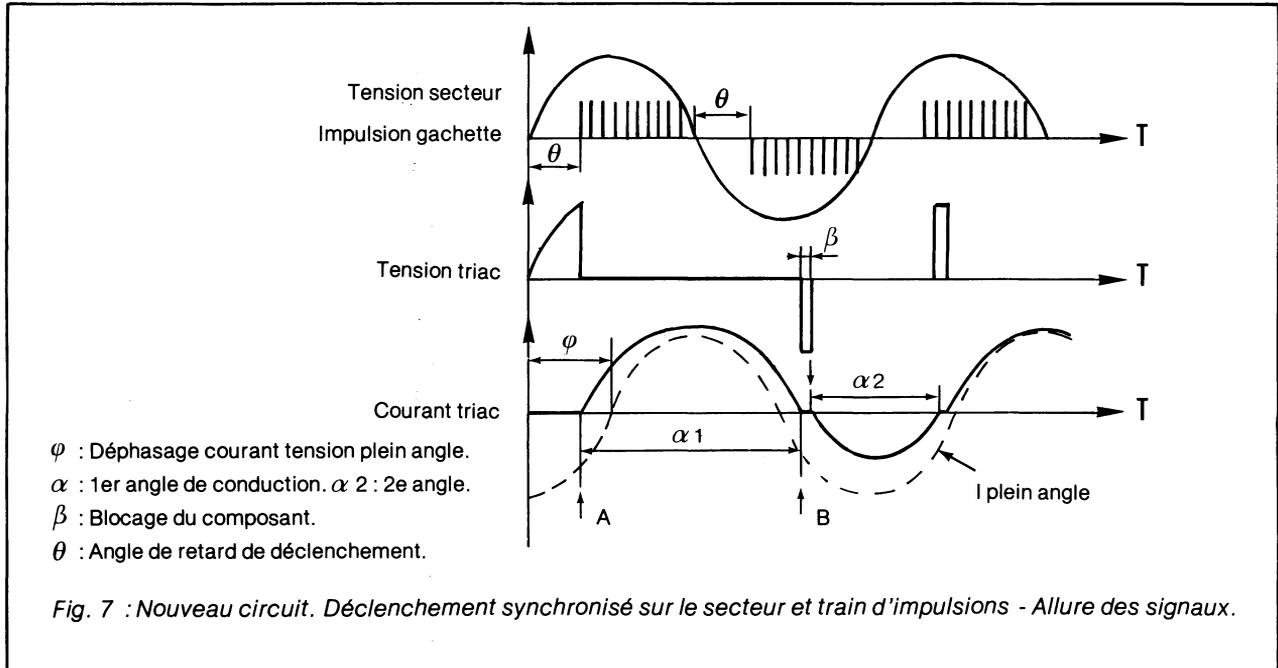
2) *Des inconvénients :*

- Branchement de l'ensemble par trois fils repérés, au lieu de 2 sans polarité.
- Puissance dissipée par les composants passifs P et Rt.
- Le fonctionnement devient totalement asymétrique si l'angle de commande  $\theta$  est plus faible que l'angle  $\varphi$  caractérisant le déphasage de la charge.

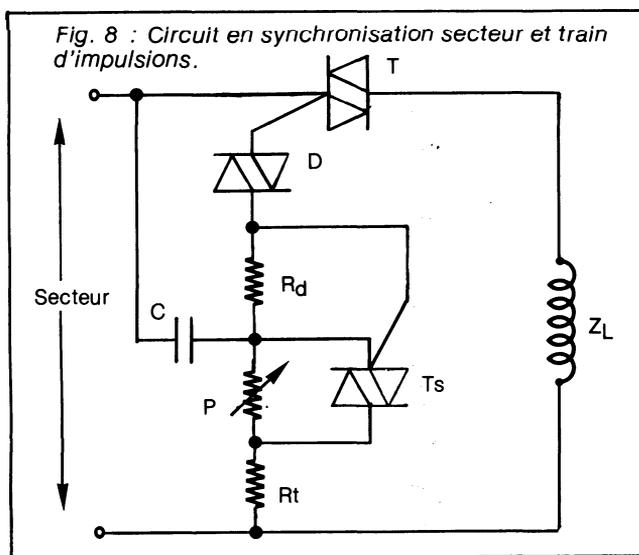
Ce circuit de déclenchement ne peut être utilisé que pour les applications où le déphasage de la charge reste bien constant (inductance à air) ou bien lorsque l'on ne fonctionne qu'avec des valeurs de  $\theta$  bien supérieures à  $\varphi$ , c'est-à-dire à faible tension.

## DÉCLENCHEMENT SYNCHRONISÉ SUR LE SECTEUR ET ADAPTÉ AUX APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Ce nouveau circuit se déduit du précédent par une amélioration du générateur d'amorçage. Le perfectionnement consiste à maintenir le signal de déclenchement pendant chaque alternance, entre les valeurs  $\theta$  et  $180^\circ$ . Ceci se réalise de façon simple en envoyant après l'impulsion initiale un train d'impulsions de façon à maintenir l'ordre de déclenchement. (Fig. 7).



A titre d'exemple, nous supposons que l'angle  $\varphi$  est égal à  $85^\circ$  et  $\theta$  à  $60^\circ$ . A la première impulsion, le triac est amorcé au point A ( $60^\circ$ ). Il conduit pour un angle  $\alpha 1$  supérieur à  $180^\circ$  et voisin de  $240^\circ$ . Il se bloque au point B mais il est immédiatement réamorcé au point B' par la prochaine impulsion répétitive. Pendant les premières alternances, le fonctionnement est légèrement asymétrique puis il se produit un équilibre entre les durées de conceptions. (Courbe en pointillé Fig. 7).



La figure 8 montre la réalisation du circuit. On utilise un petit triac sensible auxiliaire pour produire le train d'impulsions nécessaire au maintien du signal de commande.

Le condensateur C, la résistance talon  $R_t$  et le potentiomètre P définissent l'angle ou constante de temps de retard. Le condensateur se charge depuis 0V. et le diac D déclenche aussitôt que sa tension de retournement est atteinte ( $V_{bo}$ ). L'angle est positionné d'une façon identique pour les deux alternances.

Une première impulsion circule dans la gachette du triac principal T. Une impulsion de tension apparaît aux bornes de  $R_d$  et provoque l'amorçage du triac sensible  $T_s$ . Devenu conducteur, ce triac court-circuite le potentiomètre P. Les autres charges du condensateur s'effectuent avec une nouvelle constante de temps beaucoup plus courte  $R_t \times C$ .

Une succession ou train d'impulsions parvient sur la gachette du triac principal T, permettant l'élimination des défauts expliqués précédemment. Ceci dure jusqu'au moment où la tension secteur passe par O. Alimenté au travers d'une charge résistive le triac Ts se bloque.

Pour l'alternance suivante, la charge du condensateur est à nouveau basée sur la constante de temps donnée par le potentiomètre. Le cycle recommence en inverse.

En résumé, le perfectionnement du circuit de déclenchement synchronisé sur le secteur présente de nombreux avantages.

- Simplicité de conception.
- Excellente précision de la commande.
- Absence d'alimentation séparée, fonctionnement en alternatif.
- Utilisation du circuit pour tous types de charge de différent  $\cos \varphi$ , ou de  $\cos \varphi$  variable.
- Absence de risque de défaut sur toute la plage de réglage.

Ce schéma a été mis au point au laboratoire d'applications de Thomson-CSF et utilisé avec succès pour de nombreux équipements.

## **CONCLUSIONS :**

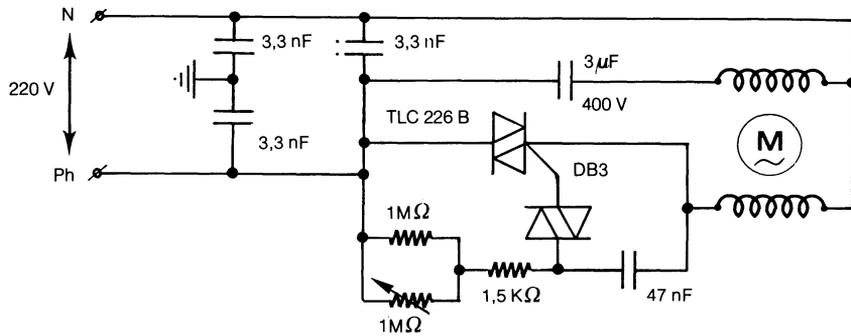
Les conditions difficiles d'un environnement inductif imposent un choix critique du circuit de déclenchement. Les deux premiers principes décrits ne laissent à l'utilisateur qu'une plage de réglage très limitée. L'obtention d'un montage universel peut se faire à partir de deux facteurs décisifs :

- Pour obtenir une parfaite symétrie des premières impulsions de gachette dans les deux alternances, la synchronisation du circuit de déclenchement doit être référencée sur le secteur.
- La variation en angle de phase permet une parfaite symétrie du courant lorsque le triac est actionné par une commande de gachette permanente.

Le circuit décrit dans le dernier paragraphe réunit ces deux principes d'une façon extrêmement simple. Il permet une variation complète de puissance sur charge inductive sans problème particulier. Il peut donc devenir la base d'un montage universel pour une commande par découpage de phase sur charge inductive.

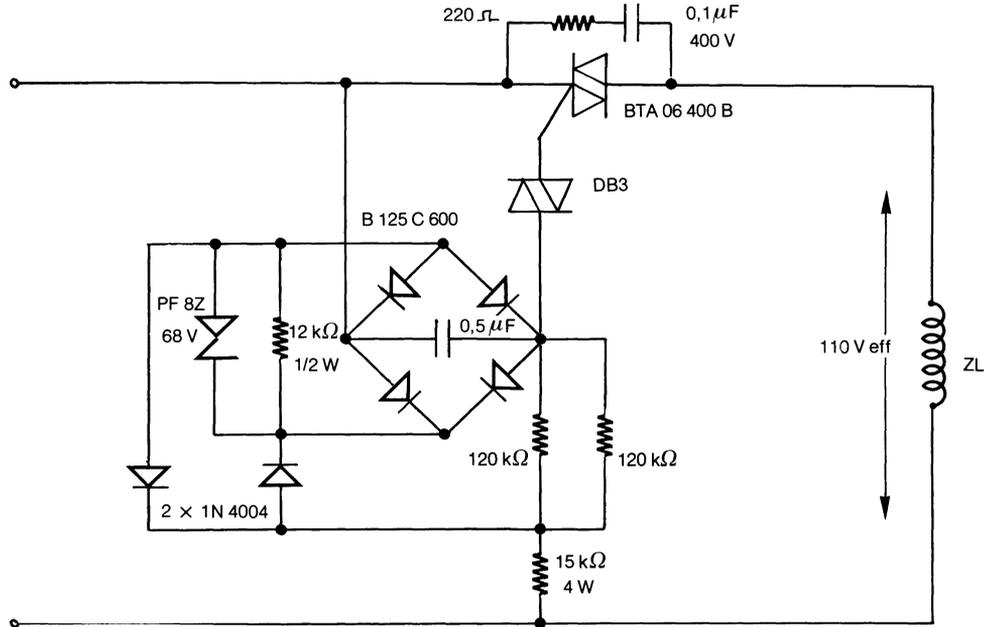
### SYNCHRONISATION AUX BORNES DU TRIAC

Exemple d'application : variateur pour petit moteur asynchrone



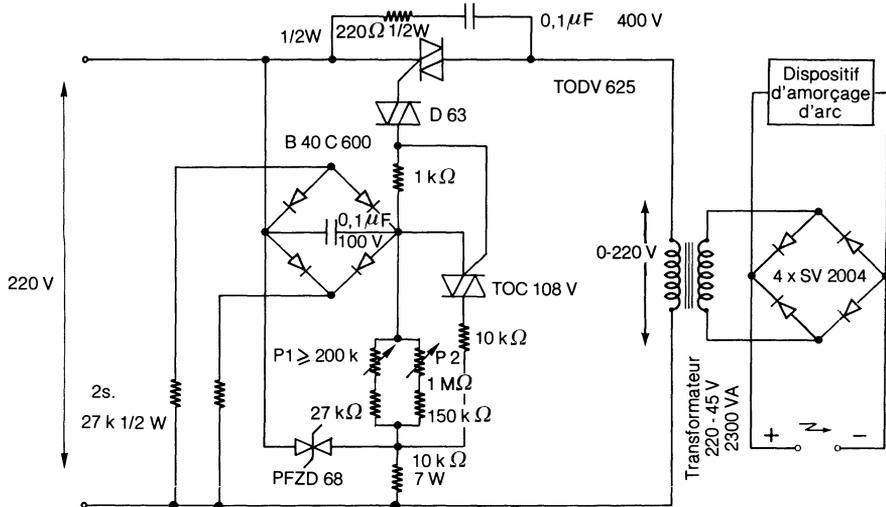
### SYNCHRONISATION SUR LE SECTEUR

Exemple d'application : réducteur de tension 220/110 V

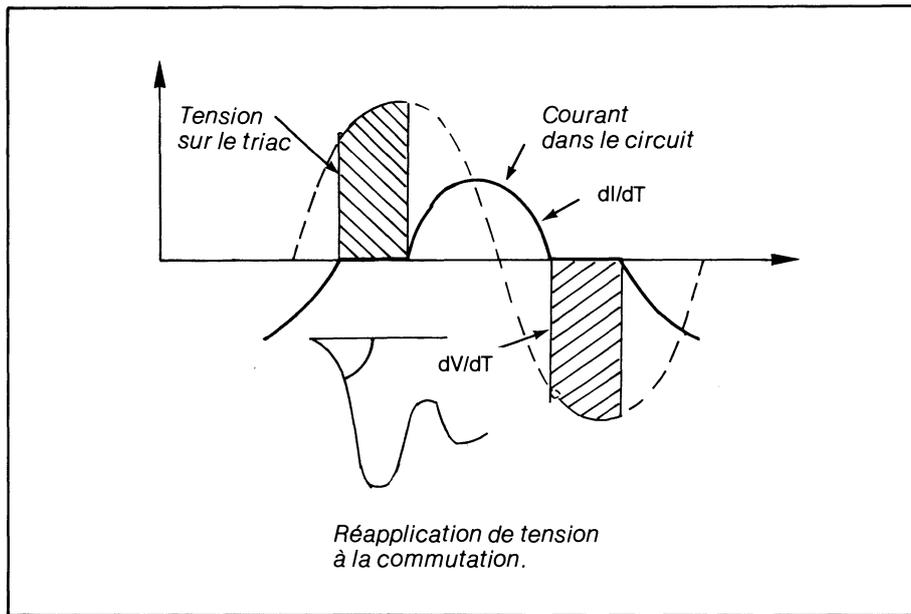


### NOUVEAU CIRCUIT DE DÉCLENCHEMENT

Exemple d'application : Variateur pour transformateur de soudure à l'arc



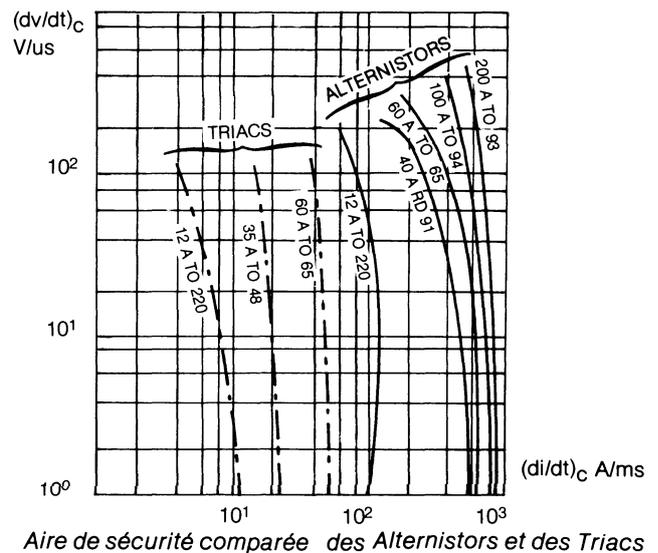
## L'ALTERNISTOR : UN TRIAC BIEN ADAPTÉ AUX CHARGES INDUCTIVES.



Lorsqu'il fonctionne sur une charge inductive, le triac est soumis à une variation de tension rapide, immédiatement après que le courant se soit annulé. Il risque de se réamorcer intempestivement.

Le paramètre  $(dV/dT)_C$  caractérise la résistance du triac au réamorçage intempestif. Pour améliorer la fiabilité des circuits qui fonctionnent sur charge inductive, Thomson C.S.F. a mis au point un nouveau composant, L'ALTERNISTOR, qui fonctionne comme un triac, mais a des performances en commutation environ dix fois supérieures. (Cf. note d'application TI 33).

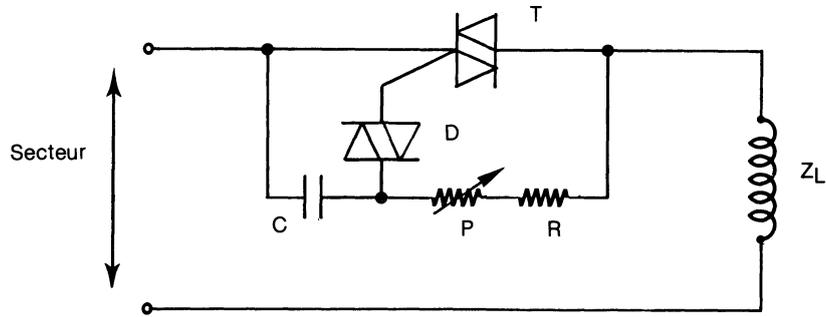
Les caractéristiques de L'ALTERNISTOR sont définies par une aire de sécurité qui donne à l'utilisateur le domaine où il ne risque pas de réamorçage.



# ANNEXE

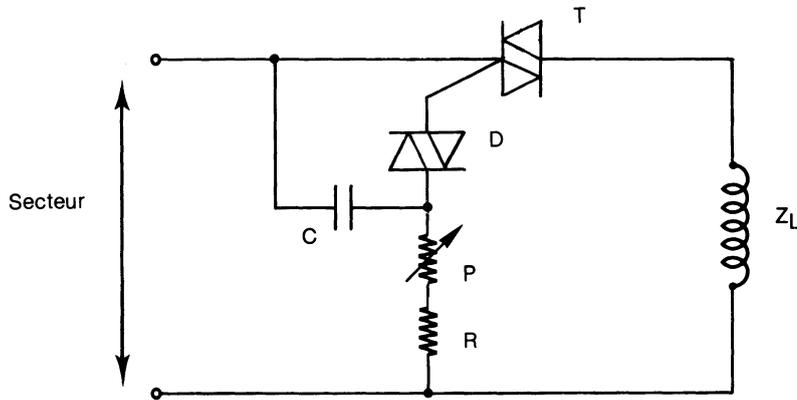
## COMMANDE PAR TRIAC SUR CHARGE INDUCTIVE RÉSUMÉ DES SOLUTIONS

### A DÉCLENCHEMENT SYNCHRONE AUX BORNES DU TRIAC



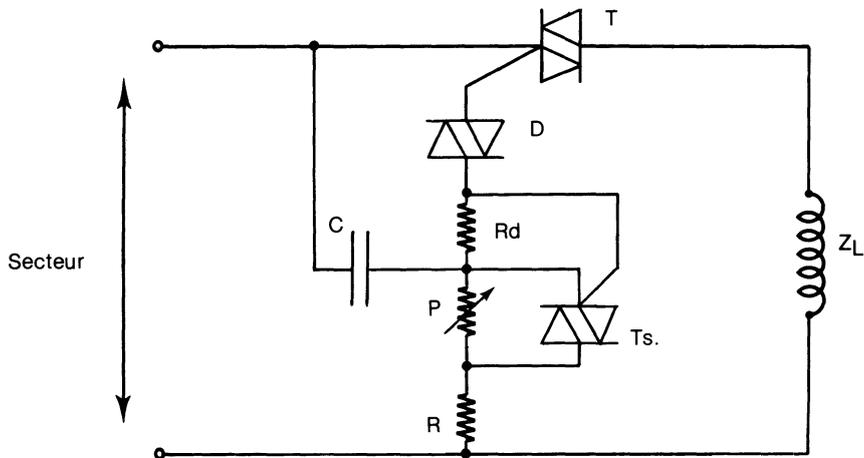
*Synchronisation aux bornes du triac, basée sur le passage à zéro du courant.*

### B DÉCLENCHEMENT SYNCHRONISÉ SUR LE SECTEUR



*Synchronisation basée sur le passage à zéro du secteur.*

### C NOUVEAU CIRCUIT DE DÉCLENCHEMENT



*Synchronisation référencée sur le zéro secteur, et génération d'un train d'impulsions à partir de ce point.*

## DÉCLENCHEMENT SYNCHRONISÉ AUX BORNES DU TRIAC

### SCHÉMA DE PRINCIPE (Voir page 10-A)

#### CHARGE RÉSISTIVE

Courant et tension sont en phase : Bonne référence de synchronisation. Aucun défaut sur toute la plage de réglage.

#### CHARGE INDUCTIVE :

Le courant est déphasé de  $\pi/2$  arrière. Deux cas apparaissent :

— Angle de conduction important ; faible angle de retard.

Le temps séparant deux conductions est très faible. Les courants en positifs et négatifs sont pratiquement équivalents. Peu de dissymétrie. Certaines applications fonctionnent dans ce cas.

Ex : Variateur de puissance pour moteurs alternatifs.

— Faible angle de conduction ; angle de retard important.

Le passage du courant dans un sens est tributaire de la commande, donc de la durée, du courant dans le sens précédent.

L'amorçage du triac peut intervenir en fin d'alternance secteur. Dans ce cas, aucun courant ne traverse le circuit et le montage agit comme un redresseur.

#### AVANTAGES DU MONTAGE :

— Branchement par deux fils, sans polarité.

— Peu de puissance dissipée par les composants passifs.

— Excellent variateur de puissance pour des charges résistives ou très faiblement inductives.

— Avec des charges fortement inductives, le montage ne peut donner satisfaction que dans la limite d'une faible diminution de l'angle de conduction.

#### INCONVÉNIENTS :

— Avec charge inductive, importante dissymétrie de courant pour une variation vers les angles de conduction les plus faibles. Pour cette application, ce montage est totalement inutilisable.

## DÉCLENCHEMENT SYNCHRONISÉ SUR LE SECTEUR

### SCHÉMA DE PRINCIPE (Voir page 10-B)

#### CHARGE RÉSISTIVE

Aucun défaut sur toute la plage de réglage.

#### CHARGE INDUCTIVE :

Deux cas de fonctionnement :

— Angle de retard  $\theta > \varphi$  déphasage.

La bonne référence des impulsions de déclenchement permet une conduction équilibrée pour toute la variation, jusqu'au déphasage.

Quelques applications utilisent ce principe :

Ex : Abaisseur de tension alternative 220 V. 110 V. eff.

— Angle de retard  $\theta < \varphi$

L'amorçage a lieu avant le déphasage. Le triac va conduire pour un angle  $\alpha > 180^\circ$ . Il se bloque après l'impulsion gachette de l'alternance suivante. Le courant ne circule pas dans ce sens.

Le montage intervient comme un redresseur.

### **AVANTAGES DU MONTAGE :**

- Précision des impulsions de déclenchement.
- Bon fonctionnement sur charge résistive mais montage trop complexe.
- Fonctionnement excellent pour des variateurs limitant fortement l'angle de conduction sur charge inductive.

### **INCONVÉNIENTS :**

- Branchement par trois fils. Nécessité d'avoir accès aux bornes secteur.
- Alimentation permanente et puissance dissipée par les composants passifs.
- Impossibilité d'effectuer un réglage inférieur ou proche du déphasage sans risque de conduction unique. Ce montage n'est pas utilisable pour des charges inductives où l'on recherche une variation proche des angles de conduction les plus élevés.

## **NOUVEAU CIRCUIT DE DÉCLENCHEMENT**

### **SCHEMA DE PRINCIPE** (Voir page 10-C)

#### **CHARGE RÉSISTIVE**

Absence de défaut sur toute la plage de réglage.

#### **CHARGE INDUCTIVE :**

Fonctionnement en deux parties.

- Angle de retard  $\theta > \varphi$

Conduction équilibrée due à la parfaite synchronisation des impulsions de déclenchement.

- Angle de retard  $\theta < \varphi$

Pour un courant supérieur à  $180^\circ$ , le triac se bloque après la 1ère impulsion de l'alternance suivante. Il se réamorçait aussitôt par la prochaine impulsion répétitive. Les deux courants se modifient entre eux jusqu'à l'équilibre.

#### **INCONVÉNIENTS DU MONTAGE :**

- Branchement par trois fils. Accès aux bornes secteur.
- Alimentation permanente d'où puissance dissipée dans les composants passifs.

#### **AVANTAGES :**

- Bonne précision des impulsions de déclenchement.
- Fonctionnement correct sur charge résistive.
- Absence complète de défaut pour les charges inductives.

La variation de puissance intervient sur toute la plage.  
Les courants positifs et négatifs restent parfaitement égaux.



**THOMSON-CSF**

DIVISION SEMICONDUCTEURS DISCRETS  
50, RUE JEAN-PIERRE TIMBAUD  
BP 5 / F-92403 COURBEVOIE CEDEX / FRANCE  
TÉL. : (1) 788.50.01 / TÉLEX : 610 560 F