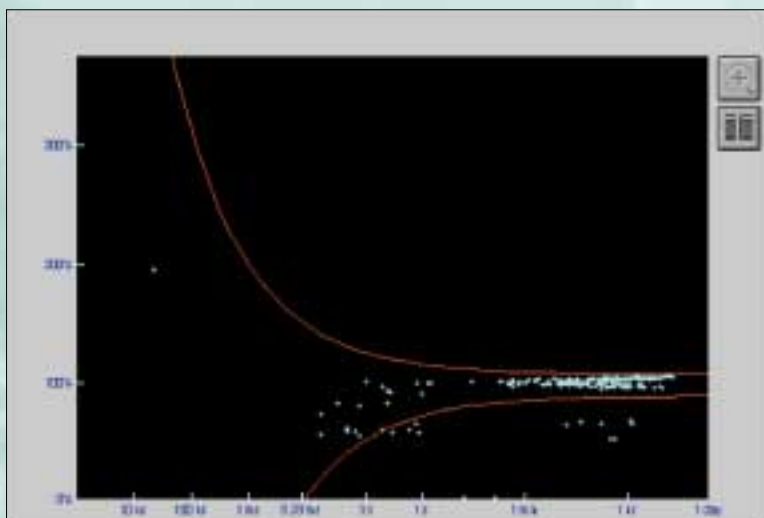


# Guide Power Quality



## *Variations de Tension* *Atténuation* *des Chutes de Tension*

5.3.2



# Variations de Tension

## Atténuation des Chutes de Tension

Derek Maule  
Claude Lyons Ltd  
Juillet 2002

### European Copper Institute

L'European Copper Institute est une joint venture Européenne entre les principaux producteurs de cuivre mondiaux et les fabricants Européens de demi-produits. Créé en 1996, l'ECI assure la promotion du cuivre en Europe avec un réseau de 10 centres de développement basés en Allemagne, au Benelux, en Espagne, en France, en Grèce, en Hongrie, en Italie, en Pologne, au Royaume Uni et en Scandinavie. L'ECI poursuit les efforts initialement engagés par le Copper Products Development Association, créé en 1959, et de l'INCRA (International Copper Research Association) créé en 1961.

### Centre d'Information du Cuivre, Laiton & Alliages et Copper benelux

Ce sont les organisations professionnelles des producteurs et des transformateurs de cuivre chargées de promouvoir les applications du cuivre et de ses alliages sur les marchés français et du Benelux. Financés par les producteurs de cuivre du monde entier et par les sociétés fabricants de demi-produits, le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux mettent en œuvre des programmes de développement sur leurs marchés respectifs en coordination avec les structures professionnelles internationales de ses mandants : International Copper Association au niveau mondial, European Copper Institute au niveau Européen. Ils ont pour vocation de produire et de diffuser l'information technique relative au cuivre et à ses alliages, de faire connaître les meilleures méthodes de mise en œuvre des produits dans chacun de leur domaine d'emploi et d'en promouvoir l'utilisation dans les grands secteurs d'application. Le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux sont les coordinateurs respectivement pour la France et le Benelux du programme européen Leonardo relatif à la formation en matière de «Power Quality».

### Remerciements

Ce projet a été mis en œuvre avec le soutien de la Communauté Européenne et l'International Copper Association Ltd.

### Avertissement

Le contenu de ce projet ne reflète pas nécessairement la position de la Communauté Européenne. De même, il n'implique aucune responsabilité de la part de la Communauté Européenne.

L'European Copper Institute, le Centre d'information du Cuivre et Copper benelux déclinent toutes responsabilités pour toutes conséquences directes ou indirectes ou les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation du contenu ou de l'incapacité à utiliser les informations et les données de ce guide.

Copyright © European Copper Institute, Centre d'Information du Cuivre & Copper benelux

La reproduction complète est autorisée avec mention de la source.



Centre d'Information du Cuivre  
Laiton et Alliages

Centre d'Information du Cuivre  
30, Avenue de Messine  
F-75008 Paris  
France

Tél: 00 33 1 42 25 25 67  
Fax: 00 33 1 49 53 03 82  
Email: [centre@cuivre.org](mailto:centre@cuivre.org)  
Web: [www.cuivre.org](http://www.cuivre.org)

**Copper benelux**  
a division of the European Copper Institute

Copper benelux  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Bruxelles  
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 90  
Fax: 00 32 2 777 70 99  
Email: [mail@copperbenelux.org](mailto:mail@copperbenelux.org)  
Web: [www.copperbenelux.org](http://www.copperbenelux.org)



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Bruxelles  
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Web: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)

# Variations de Tension

## Atténuation des chutes de tension

Lorsque qu'apparaissent des chutes de tension sur le réseau d'alimentation électrique, il subsiste, la plupart du temps, une tension résiduelle importante. De l'énergie est donc encore disponible mais à une tension trop basse pour être utilisable par la charge. Ce module décrit les dispositifs permettant d'atténuer l'effet des chutes de tension de ce type (dips). Aucun mécanisme de stockage d'énergie n'est nécessaire : le principe de ces dispositifs repose sur la restauration de la tension utile à partir de l'énergie encore disponible avec courant accru lors de la chute de tension. Ces dispositifs sont généralement classés dans la catégorie des stabilisateurs automatiques de tension. Un autre module de ce guide décrit les autres types d'appareils qui permettent de résoudre le problème des chutes de tension lorsque la tension résiduelle est nulle.

Le présent module donne une description succincte de chaque type de stabilisateur automatique de tension. Les avantages et les inconvénients de chaque modèle sont détaillés afin de permettre le choix le plus approprié possible.

Les principaux types de stabilisateurs automatiques de tension sont les suivants :

- ◆ 1. Electromécanique
- ◆ 2. Transformateur ferro-résonnant ou à tension constante (*constant voltage transformer / CVT*).
- ◆ 3. Régulateur électronique de tension.
- ◆ 4. Inductance saturable (transducteur-réactance).
- ◆ 5. Stabilisateur électronique (*electronic voltage stabiliser / EVS*).

Il est important de remarquer qu'en sélectionnant un stabilisateur automatique de tension la solution choisie doit résoudre un problème particulier sans en créer d'autres. Par exemple, connecter un stabilisateur ferro-résonnant à la sortie d'un générateur secondaire afin de compenser les variations de tension n'est pas forcément une bonne solution. En effet, chaque fluctuation de 1% dans la fréquence de ce générateur produira une variation de tension AC de 1,5%.

Voici la description détaillée de chaque type de stabilisateur automatique de tension :

## Stabilisateur électromécanique

Le principe de fonctionnement de ce type de stabilisateur est de contrôler automatiquement un transformateur variable, contenu dans le stabilisateur, qui compense les fluctuations de la tension d'entrée provenant de l'alimentation. La sortie du transformateur variable alimente l'enroulement primaire d'un convertisseur inverseur de tension (hacheur inductif), dont le circuit secondaire est connecté en série entre l'alimentation et la charge. Le principe consiste à injecter une tension de correction (qui s'additionne ou se soustrait) dans la ligne d'alimentation (figure 1).

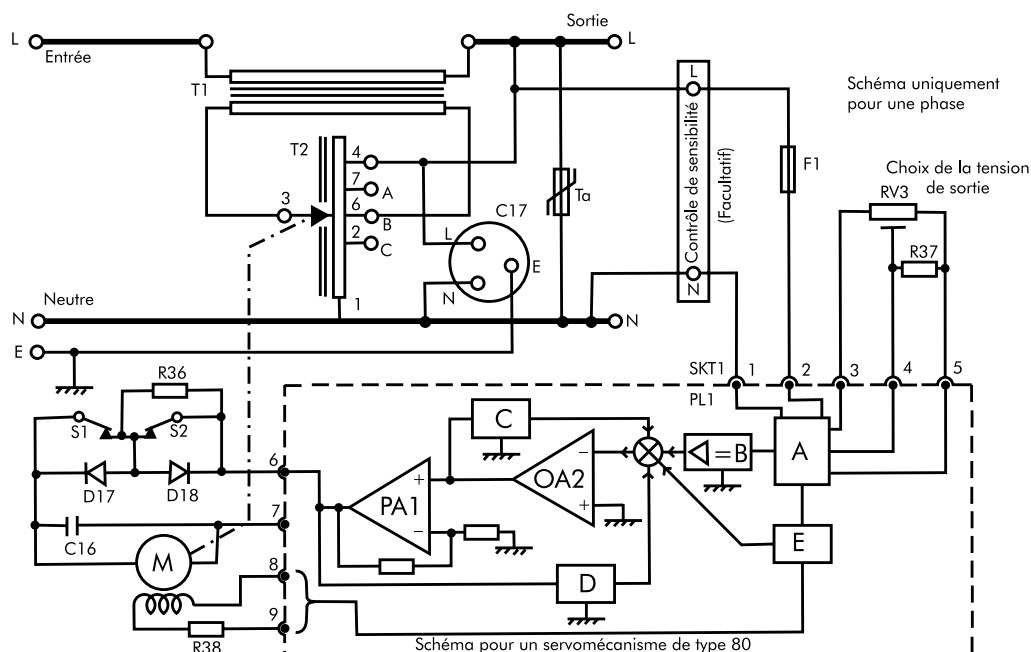


Figure 1 – Schéma base d'un stabilisateur électromécanique de tension

# Atténuation des Chutes de Tension

Un des gros avantages de ce type de stabilisateur est que la puissance contrôlée ne représente qu'une faible proportion de la puissance totale. Par exemple, pour contrôler une charge de 100 kVA pour une plage de tension d'alimentation de  $\pm 10\%$ , le stabilisateur de tension électromécanique n'a besoin que d'une puissance de 10 kVA au maximum. L'analyse de la répartition des puissances nous donne à posteriori une efficacité de 98% à pleine charge. Même à faibles charges (10% du maximum) le rendement est encore supérieur à 95%.

La tension de sortie du stabilisateur électromécanique est contrôlée par un servomécanisme. Si la tension de sortie dévie de la valeur fixée en raison d'un changement dans la tension d'alimentation ou du courant de charge, le servomécanisme commandera un moteur qui modifiera la configuration du transformateur (variable) en fonction de l'analyse. Un survoltage ou un sous-voltage est alors appliqué à l'alimentation d'entrée jusqu'à la restauration de la valeur correcte de la tension de sortie. Cette méthode ne produit pas d'harmoniques et n'entraîne donc pas de distorsion dans l'alimentation. La figure 2 nous donne le rapport de correction entre le voltage d'entrée et de sortie.

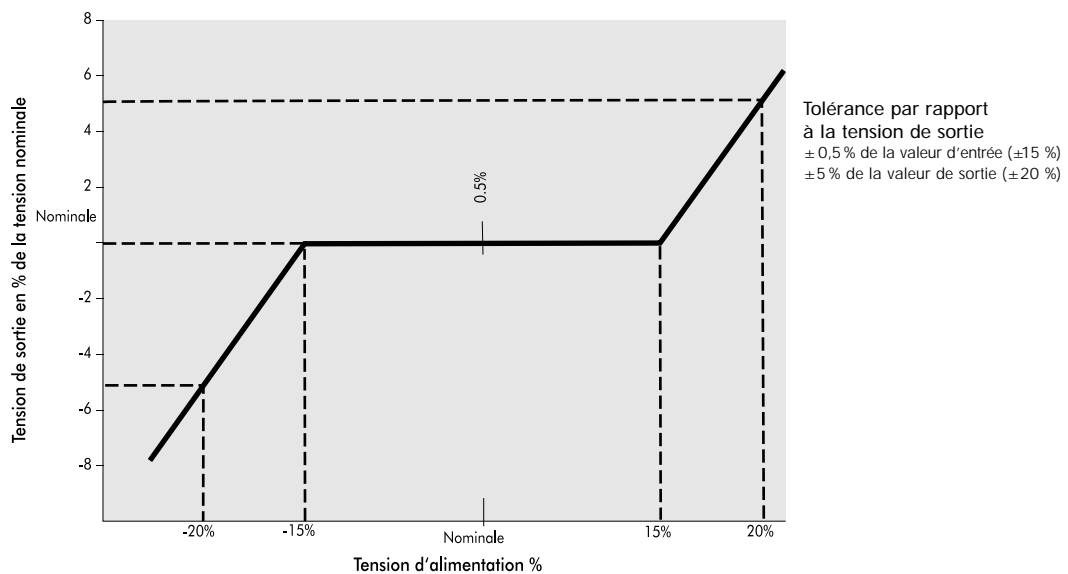


Figure 2 – Valeurs d'entrée et sortie pour un stabilisateur à  $\pm 15\%$

L'action du système asservi est très rapide, la décélération est très bien maîtrisée et le contrôle est parfait (figures 3, 4 et 5). La détection basée sur la tension de sortie compense automatiquement tout changement dans le courant de charge. Grâce à des dispositifs de détection à distance permettant de détecter la tension en un point externe au système, il est possible de faire une correction pour des chutes de tension dans les câbles même lorsque la charge est à une certaine distance du stabilisateur.

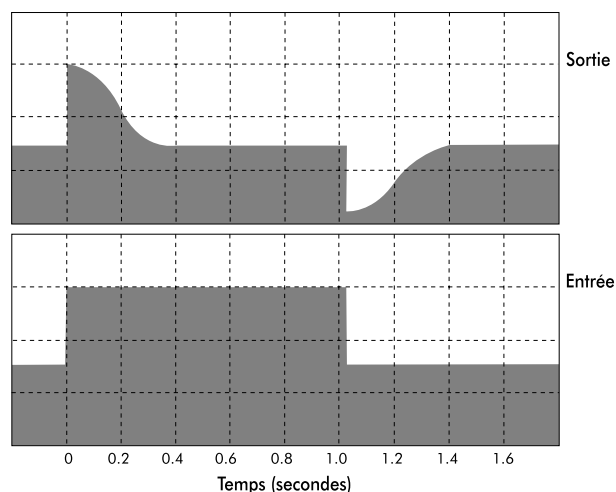


Figure 3 – Temps de correction typique d'un stabilisateur de tension électromécanique pour un écart de 40 volts

# Atténuation des Chutes de Tension

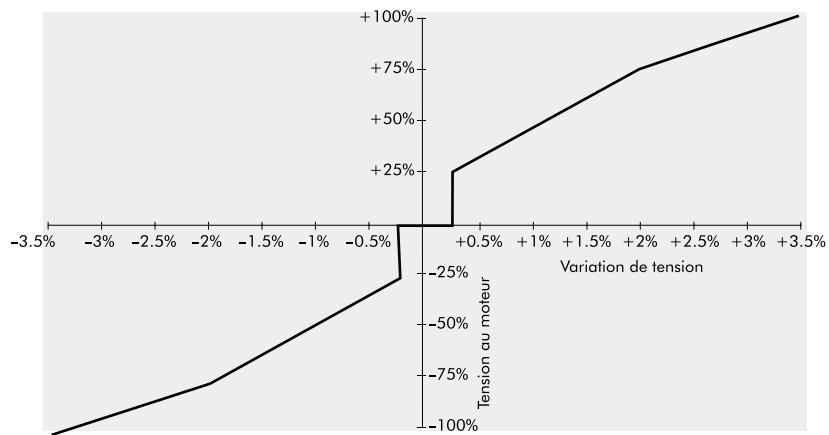


Figure 4 – Courbe de sensibilité d'un servomécanisme type 80 en fonction de la tension appliquée au moteur et de la variation de tension

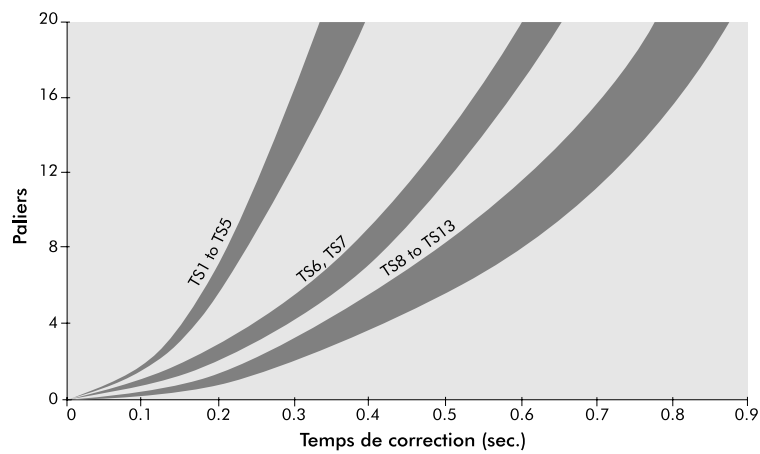


Figure 5 – Temps de correction en fonction des paliers Servomécanisme type 80

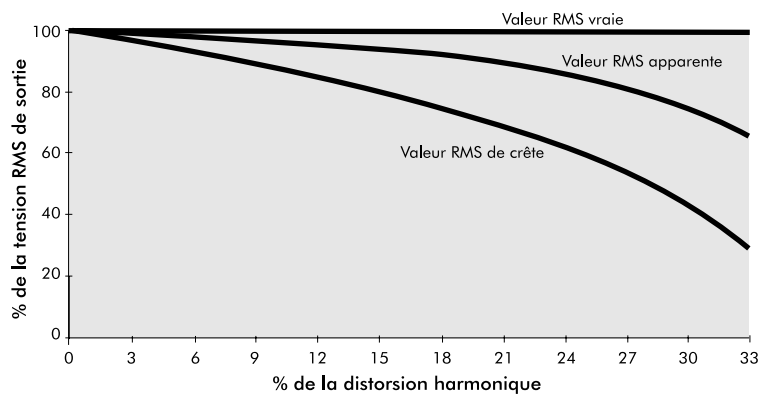


Figure 6 – Tension de sortie RMS vraie en fonction de la distorsion harmonique totale Servomécanisme type 80

# Atténuation des Chutes de Tension

Les principaux avantages d'un stabilisateur de tension électromécanique sont les suivants :

- ◆ La conception en est simple
- ◆ La tension de sortie n'est pas influencée par la puissance de la charge
- ◆ La tension de sortie compense automatiquement les variations dues à la charge
- ◆ L'impédance de sortie est très basse
- ◆ La précision de la stabilisation est élevée, généralement  $\pm 0,5\%$
- ◆ L'appareil est totalement insensible à la fréquence d'alimentation
- ◆ Il est relativement bon marché et petit
- ◆ Le contrôle est continu
- ◆ La sortie n'est pas sensible à la distorsion de l'alimentation (RMS vraie – voir Figure 6)
- ◆ Les champs magnétiques externes sont très faibles (pas de courants magnétiques à saturation).

Les principaux inconvénients d'un stabilisateur de tension électromécanique sont :

- ◆ Certaines parties du stabilisateur sont mobiles
- ◆ Le temps de réponse classique est généralement de 15 cycles (300 ms) pour une variation de 40 volts. Dans ce domaine, les régulateurs électroniques ou les transformateurs ferro-résonnant (CVT) sont plus rapides.

## Transformateur ferro-résonnant (CVT)

Le circuit de base d'un CVT, illustré à la figure 7, est constitué d'un transformateur composé d'un unique enroulement primaire et de trois enroulements secondaires avec un seul condensateur-shunt.

L'enroulement neutre (N) et l'enroulement secondaire (S) sont séparés de l'enroulement primaire par des shunts magnétiques. La réductance magnétique de ces shunts est très élevée en comparaison de la réductance magnétique de la partie centrale du noyau du transformateur. L'inductance de fuite (générée par ces shunts) associée au condensateur (CR) forme un circuit résonant.

Lorsque la tension d'entrée augmente, le flux dans la partie centrale du noyau du transformateur augmente également jusqu'à ce que l'inductance de l'enroulement secondaire soit égale la réactance du condensateur.

A ce moment, la tension de sortie est élevée à cause de la résonance du circuit bien que la tension d'entrée soit assez basse (Figure 8). L'enroulement neutre permet alors de réduire la distorsion de sortie (d'environ 20%) jusqu'à moins de 3%.

L'ensemble du circuit secondaire est en résonance avec la troisième harmonique ce qui annule la plupart des harmoniques générées par la saturation du noyau et produit une onde sinusoïdale relativement pure.

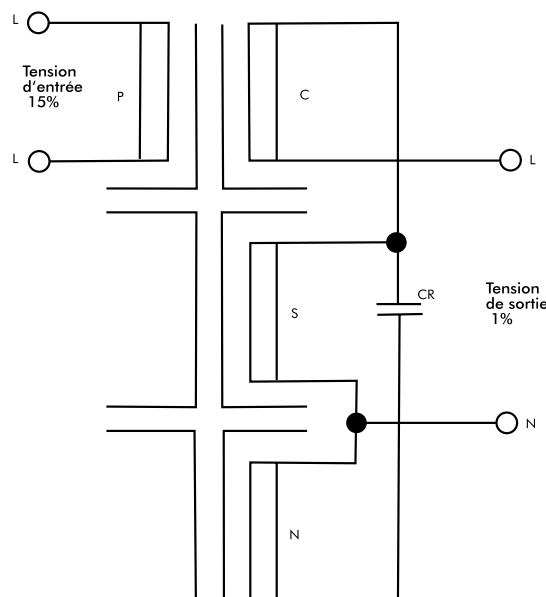


Figure 7 – Circuit de base d'un CVT

# Atténuation des Chutes de Tension

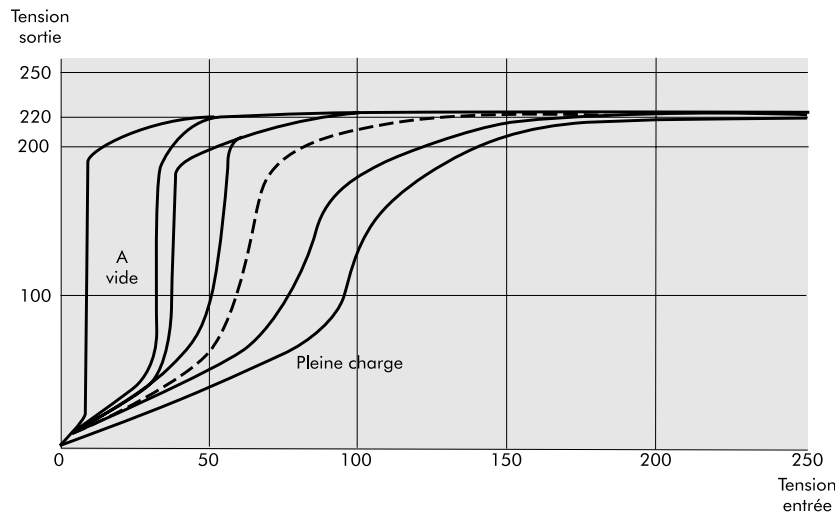


Figure 8 – Caractéristiques d'entrée et de sortie d'un CVT

La stabilité de la sortie est déterminée par le flux dans le noyau du transformateur et la tension générée par l'enroulement compensatoire (C). Cela implique que la tension de sortie est fonction des charges alimentées par le transformateur.

Les principaux avantages d'un CVT sont les suivants :

- ♦ La capacité, à faibles charges, d'avoir une gamme de tensions d'entrée exceptionnellement large. A 25% de charge, la sortie est maintenue à  $\pm 5\%$ , même lorsque la tension d'entrée est à seulement 35% de la tension nominale (figure 8).
- ♦ Le courant de sortie du CVT sera automatiquement limité dans une situation de surcharge.

Les principaux inconvénients d'un CVT sont :

- ♦ La fonction de limitation automatique du courant de sortie (voir ci-dessus) peut empêcher les charges requérant un appel de courant au démarrage, de fonctionner correctement si la charge du CVT n'est pas réduite ou s'il n'est pas spécifiquement conçu pour cette application. C'est le cas par exemple des moteurs ou des alimentations commandées par un interrupteur.
- ♦ Le transformateur se base sur la résonance et par conséquent, la tension de sortie varie de 1,5% pour chaque changement de 1% dans la fréquence d'entrée.
- ♦ Le CVT ne possède qu'une faible précision de stabilisation, en général  $\pm 3\%$ .
- ♦ La conception du noyau du transformateur est basé sur la saturation pour fournir une tension de sortie constante. Cela produit des champs magnétiques élevés autour du transformateur. Ces derniers peuvent causer des problèmes aux équipements sensibles placés près du CVT.
- ♦ La taille et le poids, pour un nombre de kVA donné, peuvent être de loin supérieurs à ceux d'un stabilisateur de tension électromécanique utilisé pour le même usage.

## Régulateurs électroniques de tension

Les régulateurs électroniques fonctionnent en sélectionnant des alimentations séparées sur l'entrée ou la sortie d'un autotransformateur (figure 9). Cette sélection peut être faite par des relais ou un module à semi-conducteur tel qu'un thyristor. Si l'on utilise des relais, ils fonctionneront seulement au moment d'un changement d'alimentation. Toutefois, si l'on utilise un thyristor, celui-ci fonctionnera 50 fois par seconde, c'est-à-dire qu'il s'enclenchera à chaque cycle de l'alimentation 50Hz. Dans cette application, les relais se sont avérés les plus fiables.

Les fluctuations de la tension d'entrée sont surveillées par un détecteur électronique qui sélectionne automatiquement l'alimentation appropriée sur le transformateur à l'aide d'un relais afin de maintenir la tension de sortie exigée. L'instant correspondant au changement d'alimentation est choisi électroniquement pour se faire très près du passage à zéro de la tension, ce qui garantit que toutes les interférences FR et les phénomènes transitoires dus à la commutation seront réduits au minimum. La tension de sortie change par à coups (Figure 10). Par conséquent, les régulateurs électroniques de tension ne devraient pas être utilisés pour l'éclairage par exemple ou d'autres charges ne pouvant accepter des changements brusques des tensions d'entrée.

# Atténuation des Chutes de Tension

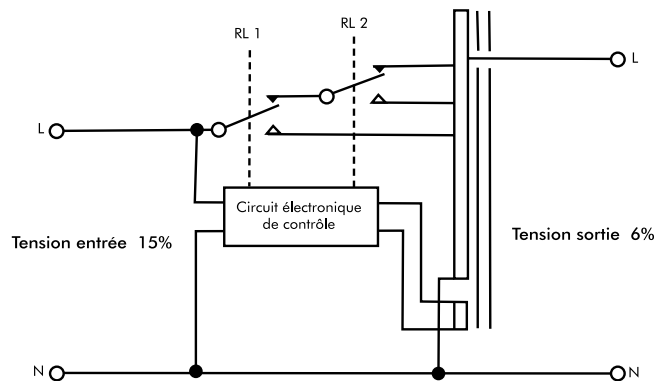


Figure 9 – Circuit de base d'un régulateur électronique de tension

Les principaux avantages d'un régulateur électronique sont les suivants :

- ◆ Une très grande efficacité
- ◆ Il n'est pas sensible aux changements de fréquence
- ◆ Il est petit et léger
- ◆ Il est indépendant du facteur de puissance
- ◆ Il n'est pas sensible aux changements de charge
- ◆ Sa réponse est rapide, généralement 1 – 1,5 cycles (20 – 30 ms)
- ◆ Il est relativement bon marché

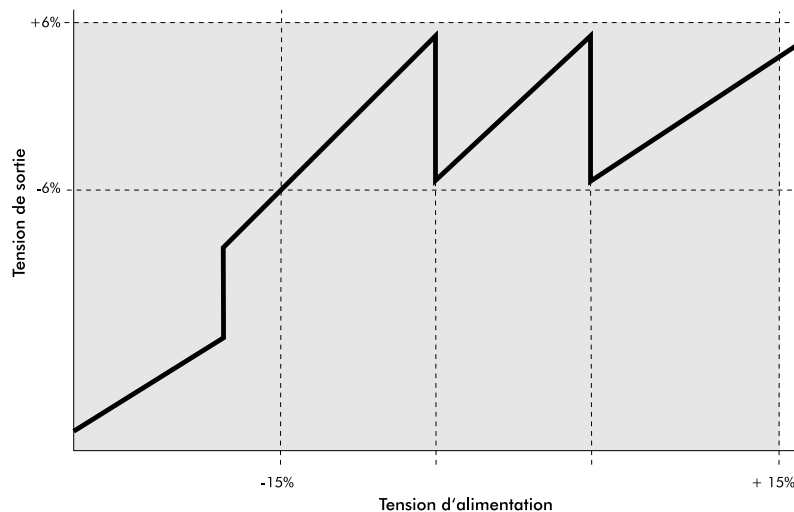


Figure 10 – Caractéristiques d'entrée et de sortie d'un régulateur électronique

Les principaux inconvénients d'un régulateur électronique sont :

- ◆ La régulation de la tension se fait graduellement, par pas
- ◆ La tolérance de la tension de sortie n'atteint généralement pas moins de  $\pm 3\%$
- ◆ La fiabilité peut être limitée lorsque des dispositifs utilisant des semi-conducteurs sont utilisés pour la commutation du courant sur les appareils.

## Inductance saturable (transducteur-réactance ou amplificateur magnétique)

Un stabilisateur à inductance saturable fonctionne en générant un contact mobile contrôlé par un champ magnétique produit par un ensemble à double transducteur (T1-T2, figure 11). Un circuit électronique de contrôle détecte la tension de sortie et ajuste les enroulements de T1 et T2 pour corriger les variations. La saturation des transducteurs produit une distorsion qui doit être éliminée à l'aide de filtres pour assurer la génération d'une onde sinusoïdale pure.

Bien que le système à inductance saturable n'ait pas de parties mobiles, son temps de correction peut être lent, équivalent à 20 cycles (400 ms), en raison de l'inductance des transducteurs. C'est beaucoup plus lent qu'un stabilisateur électromécanique de même capacité.

# Atténuation des Chutes de Tension

Les principaux avantages d'un système à inductance saturable sont les suivants :

- ◆ Pas de parties mobiles
- ◆ Contrôle continu

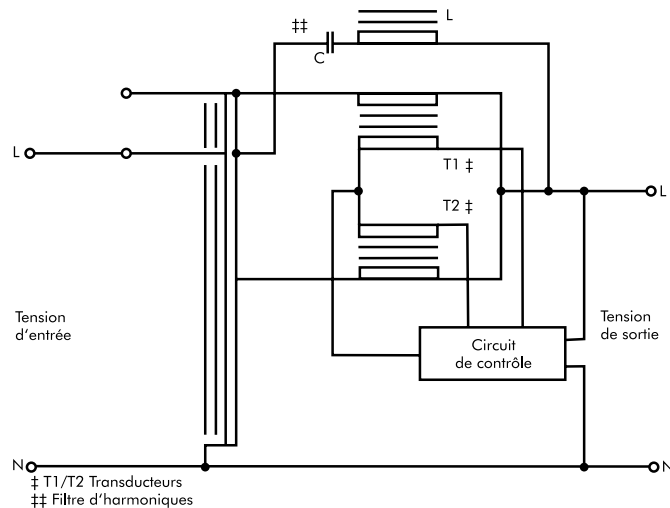


Figure 11 – Circuit de principe d'un régulateur de tension à inductance saturable

Les principaux inconvénients d'un système à inductance saturable sont :

- ◆ Il est encombrant et lourd
- ◆ Le temps de réponse est moins bon que celui d'un stabilisateur de tension électromécanique de capacité similaire
- ◆ Il peut générer des champs magnétiques importants
- ◆ La gamme de tensions dépend du facteur de puissance
- ◆ L'impédance interne élevée peut affecter certains courant de charge de grande intensité
- ◆ La distorsion de l'onde de sortie dépend de la fréquence d'alimentation
- ◆ La précision de la sortie dépend de la fréquence d'alimentation et du facteur de puissance

## Stabilisateur électronique (EVS)

Le stabilisateur électronique est un appareil très rapide, très tolérant, sans parties mobiles. Le composant principal d'un stabilisateur électronique de tension est un contrôleur électronique de puissance. En fonction du modèle, le contrôleur de puissance fournit une tension dans le circuit primaire d'un convertisseur inverseur de tension en phase ou en déphasage avec la tension. Le circuit secondaire du convertisseur inverseur est connecté entre l'alimentation d'entrée et la charge. Le contrôleur de puissance peut donc ajouter ou soustraire de l'énergie à l'alimentation ou bien contrôler la charge directement via un autotransformateur.

La fonction de contrôle est assurée par deux commutateurs bidirectionnels à base IGBT (*insulated gate bipolar transistors*/transistors bipolaires à grille isolée) qui sont utilisés pour hacher la tension d'entrée à une fréquence de 20 kHz avec une durée d'impulsion qui dépend de la tension requise. Le contrôleur de puissance compare la tension de sortie du stabilisateur à 50 Hz à une tension stable de référence et la différence est utilisée pour contrôler les deux commutateurs bidirectionnels. Après modulation (*pwm* : *pulse width modulation*/modulation de la largeur d'impulsion) l'onde haute fréquence est ensuite filtrée. Puis elle alimente :

- ◆ le primaire du convertisseur inverseur : la tension du secondaire ajoute ou soustrait la valeur appropriée pour obtenir une tension de sortie stable
- ◆ directement la charge via un autotransformateur

Un circuit de dérivation intégré, servant à orienter les courants dans les composants IGBT pendant la surcharge ou le court-circuit, protège les IGBT et permet aux courants nuisibles d'être éliminés par l'intermédiaire d'un fusible.

# Atténuation des Chutes de Tension

Les principaux avantages d'un stabilisateur électronique de tension sont les suivants :

- ◆ Une stabilisation très précise
- ◆ Une réponse très rapide, généralement 0,5 cycle (10 ms)
- ◆ De grandes fluctuations de la tension d'entrée sans changement d'alimentation
- ◆ Une insensibilité aux fluctuations de la fréquence d'entrée
- ◆ Petit et léger

Le principal inconvénient d'un stabilisateur électronique de tension est :

- ◆ Il est plus cher qu'un stabilisateur électromécanique de dimension similaire

Un comparatif des différentes techniques de stabilisation de tension est donné dans le tableau 1. Le stabilisateur électronique de tension est l'appareil le plus efficace pour réguler la tension d'entrée alimentant un équipement électronique sensible. Le stabilisateur de tension électromécanique est devenu à l'heure actuelle un matériel classique qui a fait ses preuves dans l'industrie. Les valeurs maximums de vitesse et de capacité d'un stabilisateur électromécanique sont fixées par les limites mécaniques des parties mobiles des transformateurs utilisés pour la régulation.

La rentabilité des différentes solutions disponibles pour compenser les chutes de tension dépend principalement de deux facteurs :

- ◆ La sensibilité de la charge aux variations de tension
- ◆ Eviter de créer de nouvelles perturbations dans l'installation

Bien qu'un stabilisateur électronique de tension soit plus cher par kVA qu'un modèle électromécanique ou qu'un régulateur électronique, la mise au point et la disponibilité dans l'avenir d'IGBT de plus forte puissance ainsi que leur inévitable réduction de prix sont de bon augure pour l'avenir du stabilisateur électronique de tension (EVS). Il va certainement s'affirmer comme une méthode rentable, plus rapide et plus efficace, pour rectifier la tension d'entrée d'équipements électroniques sensibles.

Tableau 1 - Comparaison des différentes techniques de stabilisation de la tension

Technique	Entrée	contrôle	Vitesse de réponse	stabilisation	Régulation de la charge	Taille par kVA	Coût par kVA	Total	(%)
Stabilisateur électromécanique	10	10	6	10	10	9	9	64	91
Transformateur ferro-résonnant (CVT)	8	8 (B)	9 (B)	5	8 (D)	3	7	48	69
Régulateur électronique	8 (A)	6 (A)	10	5 (A)	6 (C)	10	10	55	79
Inductance saturable	8	10	5	8	8 (D)	4 (E)	6	49	70
Stabilisateur électronique (EVS)	10	10	10	10	10	10	8	68	97

Remarques :

1 = mauvais  
10 = excellent

(A) Dépend du nombre d'alimentations. (B) Dépend de la charge. (C) Dépend de la distorsion de l'onde et du nombre de prises. (D) Dépend du facteur de puissance et de la charge (résistive, capacitive, inductive). Risque de résonance. (E) La distorsion de l'onde de sortie dépend de la fréquence.

# Partenaires

## Copper benelux

168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 90  
Fax: 00 32 2 777 70 99  
Email: mail@copperbenelux.org  
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

## Copper Development Association

Verulam Industrial Estate  
224 London Road  
St Albans AL1 1AQ  
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205  
Fax: 00 44 1727 731216  
Email: copperdev@compuserve.com  
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

## Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonneshof 5  
D-40474 Duesseldorf  
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323  
Fax: 00 49 211 4796 310  
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de  
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

## ECD Services

Via Cardinal Maffi 21  
I-27100 Pavia  
Italy

Tel: 00 39 0382 538934  
Fax: 00 39 0382 308028  
Email: info@ecd.it  
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

## European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: eci@eurocopper.org  
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

## Hevrox

Schoebroekstraat 62  
B-3583 Beringen  
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420  
Fax: 00 32 11 454 423  
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendriks

## HTW

Goebenstrasse 40  
D-66117 Saarbruecken  
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279  
Fax: 00 49 681 5867 302  
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

## Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4  
I-20142 Milano  
Italy

Tel: 00 39 02 89301330  
Fax: 00 39 02 89301513  
Email: ist-rame@wirednet.it  
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

## KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10  
B-3001 Leuven-Heverlee  
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20  
Fax: 00 32 16 32 19 85  
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

## Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2  
PL-50-136 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502  
Fax: 00 48 71 78 12 504  
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz

## TU Bergamo

Viale G Marconi 5  
I-24044 Dalmine (BG)  
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07  
Fax: 00 39 035 56 27 79  
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

## TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27  
PL-50-370 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192  
Fax: 00 48 71 32 03 596  
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



*Derek Maule*



Claude Lyons Ltd  
Brook Road  
Waltham Cross  
Herts EN8 7LR  
United Kingdom

Tel: 00 44 1992 768888  
Fax: 00 44 1992 788000  
Email: [pqm@claudelyons.co.uk](mailto:pqm@claudelyons.co.uk)  
Web: [www.claudelyons.co.uk](http://www.claudelyons.co.uk)



Centre d'Information du Cuivre  
Laiton et Alliage

Centre d'Information du Cuivre  
30, Avenue de Messine  
F-75008 Paris  
France

Tél: 00 33 1 42 25 25 67  
Fax: 00 33 1 49 53 03 82  
Email: [centre@cuivre.org](mailto:centre@cuivre.org)  
Web: [www.cuivre.org](http://www.cuivre.org)

**Copper benelux**

a member of the European Copper Institute

Copper benelux  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Bruxelles  
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 90  
Fax: 00 32 2 777 70 99  
Email: [mail@copperbenelux.org](mailto:mail@copperbenelux.org)  
Web: [www.copperbenelux.org](http://www.copperbenelux.org)

**EUROPEAN  
COPPER  
INSTITUTE**

European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Bruxelles  
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Web: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)