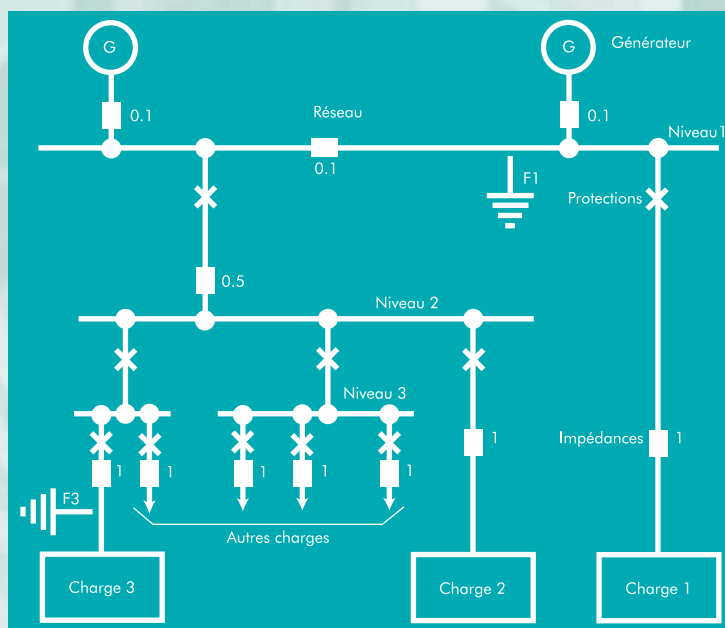
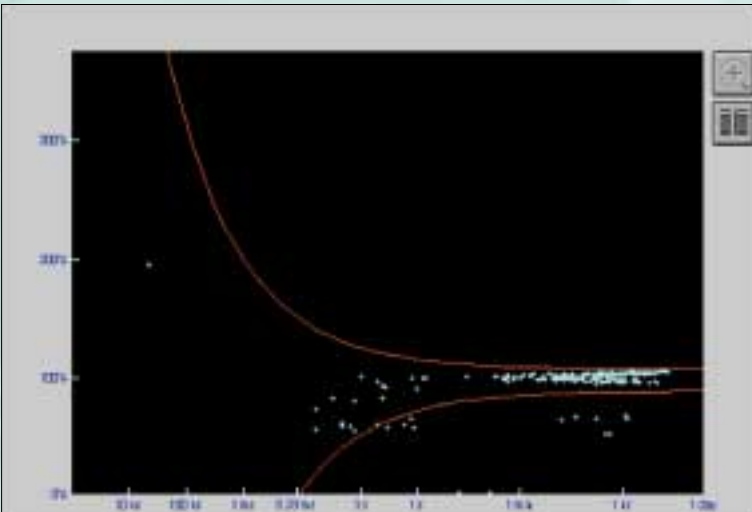


Guide Power Quality



Variations de Tension Introduction

5.1



Variations de Tension

Variations de Tension

Introduction

David Chapman
Copper Development Association
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
Web: 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
Web: 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
Web: www.eurocopper.org

Variations de Tension

Introduction

Une chute de tension (*dips*) est une brève diminution ou bien une disparition complète de la tension. Elle se caractérise par sa durée et par la tension résiduelle, généralement exprimée en pourcentage de la valeur RMS de la tension, au point le plus bas pendant la chute de tension. Lors d'une chute de tension la charge ne reçoit pas toute l'énergie nécessaire à son fonctionnement, ce qui peut bien évidemment avoir de graves conséquences selon le type d'appareil concerné.

Les baisses de tension (*sags*) sont une réduction de la tension d'une durée plus longue et sont la plupart du temps dues à une diminution volontaire de la tension par le fournisseur afin de réduire la puissance aux moments où la demande est maximale. Lorsque la puissance est anormalement faible par rapport à celle requise par la charge on parle également de sags.

Les moteurs, y compris ceux intégrant des variateurs de vitesse, sont particulièrement sensibles aux variations de tension car leurs fonctionnements demandent beaucoup d'énergie qui n'est alors plus disponible, hormis celle provenant de l'inertie du système. Pour des processus comportant plusieurs transmissions, il est possible que les appareils de contrôle des moteurs détectent les variations de tension à des seuils différents et arrêtent le système de façon totalement désordonnée, avec pour résultat une perte de contrôle complète du processus. Les équipements de traitement de données et de contrôle sont également très sensibles aux chutes de tension, elles peuvent entraîner la perte de données et une durée d'indisponibilité prolongée. Les implications financières sont parfois très graves, elles sont décrites au module 2.

Les chutes de tension ont deux causes principales : d'une part le démarrage de charges importantes soit sur le site lui-même, soit par un utilisateur du même circuit et d'autre part elles peuvent être liées à la gestion ou à des problèmes sur d'autres ramifications du réseau.

Chutes de tension (*dips*) causées par des charges importantes

Lors de la mise en route de charges importantes, le courant de démarrage peut représenter plusieurs fois le courant de fonctionnement. Comme l'alimentation et le câblage de l'installation sont dimensionnés pour un courant de fonctionnement normal, le courant de démarrage provoque une chute de tension dans le réseau d'alimentation et dans l'installation. L'ampleur de l'effet dépend de la stabilité du réseau, de l'impédance au point de couplage commun et de l'impédance du câblage de l'installation. Les chutes de tension provoquées par les courants de démarrage se caractérisent par le fait qu'elles sont moins grandes mais beaucoup plus longues (généralement d'une à plusieurs dizaines de secondes) que celles causées par des défauts sur le réseau (moins d'une seconde).

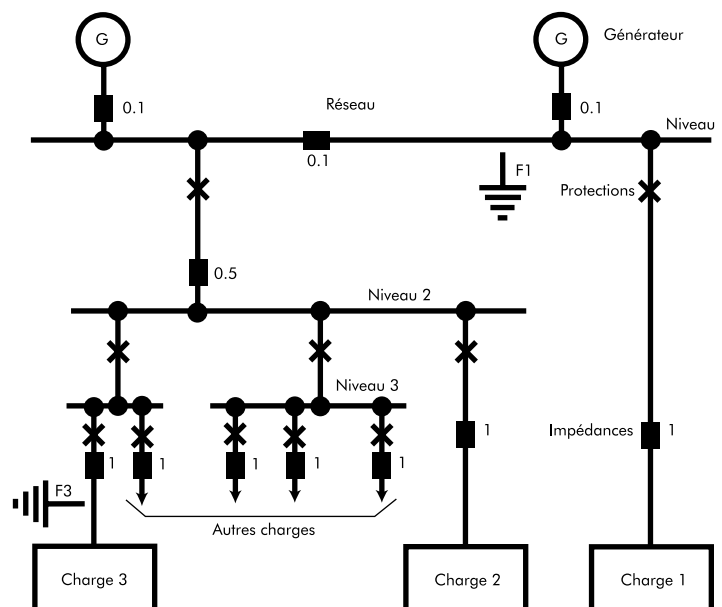


Figure 1 – Source des chutes de tension

Introduction

Il est aisé de résoudre les problèmes causés sur le site par une résistance trop élevée dans le câblage. Les charges importantes devraient être câblées directement à la source de la tension appropriée (soit le point de couplage commun, soit le circuit secondaire du transformateur dans le cas où le problème est causé par l'impédance au point de couplage commun par exemple). Si l'alimentation est trop faible il faut alors prendre d'autres mesures. Pour autant qu'elle soit applicable à l'équipement concerné, une solution consiste à placer un démarreur possédant un variateur de vitesse. Le courant de démarrage est alors limité à une valeur plus basse mais pendant un peu plus longtemps. Une autre solution consiste à négocier avec le fournisseur une connexion à plus faible impédance mais cette option peut être très chère, elle dépend de la topologie du réseau dans la région considérée. S'il est impossible de contrôler la cause de la chute de tension, il faudra prévoir un équipement spécifique pour la compenser. Les appareils appropriés vont des stabilisateurs de tension électromécaniques traditionnels aux régulateurs et stabilisateurs électroniques. Les appareils de ce type sont décrits au module 5.3.

Chutes de tension dues à des défauts du réseau

Les réseaux d'alimentation sont en général très complexes. L'ampleur d'une chute de tension à un endroit donné, suite à un défaut dans une autre partie du réseau, dépend de la topologie du réseau, de l'impédance de la source du défaut, de l'impédance des charges et des générateurs à leur point de couplage commun. La figure 1 montre un exemple de ce type.

Un défaut à la position F3 n'entraîne pas de chute de tension pour la charge 3, une chute de tension de 64% pour la charge 2 et de 98% pour la charge 1. Un défaut en F1 affectera les utilisateurs, avec une chute de tension de 0% pour la charge 1 et de 50% pour toutes les autres charges. Remarquons qu'un défaut au niveau 1 affecte beaucoup plus de consommateurs et de façon plus importante qu'un défaut au niveau 3. Il est probable que les charges connectées au niveau 3 subiront beaucoup plus de chutes de tension qu'une charge connectée au niveau 1. Elles sont en effet touchées à la fois par les défauts du niveau 1 et du niveau 2. Les charges au niveau 2 et 1 sont graduellement moins sensibles aux défauts de niveau 3. D'une manière générale, plus la charge est proche de la source, moins il y aura de chutes de tension et moins elles seront importantes.

La durée d'une chute de tension dépend du temps nécessaire aux circuits de protection pour détecter et isoler le défaut. Ce laps de temps est généralement de l'ordre de quelques centaines de millisecondes. Lorsque les défauts sont passagers, par exemple lorsqu'une branche d'arbre tombe sur une ligne, ils peuvent être éliminés très rapidement. Si le circuit devait être déconnecté en permanence par un appareillage de protection, tous les consommateurs branchés sur le circuit connaîtraient une coupure de courant jusqu'à ce que la ligne puisse être vérifiée et reconnectée. Il existe des dispositifs qui peuvent s'enclencher automatiquement pour rétablir la situation, mais ils provoquent également une augmentation du nombre de chutes de tension. Un tel dispositif tente de reconnecter le circuit peu après (moins d'une seconde) que le système de protection ait fonctionné :

- Si le défaut a été éliminé, l'enclenchement réussit et le courant est rétabli. Certaines charges sur ce circuit subissent une chute de tension de 100% entre la déconnexion et l'enclenchement automatique tandis que d'autres charges subissent une chute de tension amoindrie et plus courte, entre le moment où le défaut se présente et le moment où il est isolé, ainsi qu'il est expliqué plus haut.
- Si le défaut n'est pas éliminé quand la reconnection est effectuée automatiquement, le dispositif protecteur fonctionne de nouveau. Le processus peut alors se répéter en fonction d'un programme pour tel ou tel dispositif d'enclenchement automatique. Chaque fois que le dispositif d'enclenchement automatique reconnecte la ligne défectueuse, il y a une nouvelle chute de tension, si bien que les consommateurs peuvent subir les préjudices liés à des chutes de tension en série.

Les performances des sociétés de distribution d'électricité sur les marchés déréglementés (uniquement dans certains pays comme au Royaume-Uni par exemple) sont partiellement évaluées d'après la moyenne des "minutes perdues par le consommateur", en tenant compte des interruptions excédant en général une minute. Pour réduire ces statistiques au minimum, des dispositifs d'enclenchement automatique ont été utilisés à grande échelle, avec augmentation de la probabilité des chutes de tension en série.

Introduction

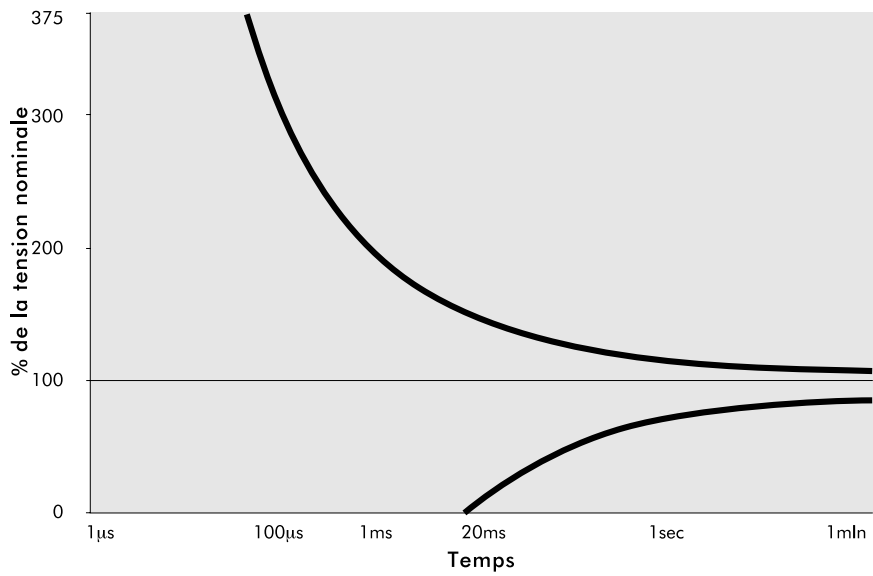


Figure 2 - Courbe CBEMA

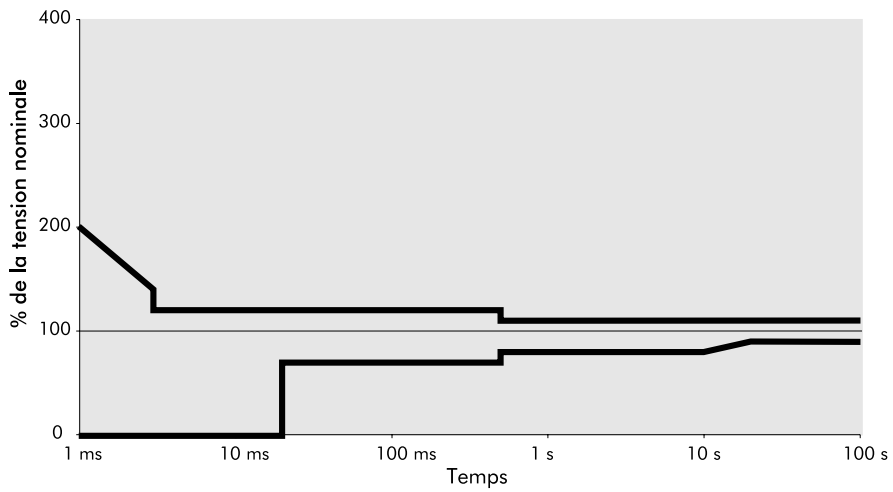


Figure 3 - Courbe ITIC

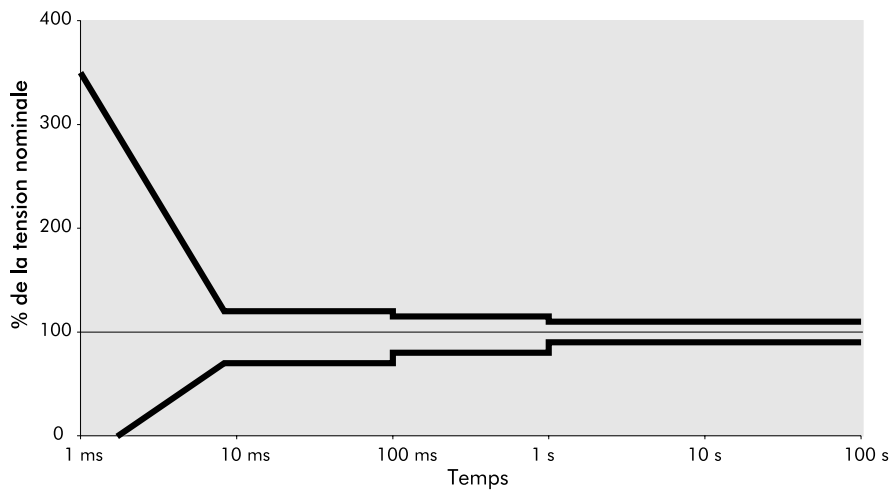


Figure 4 - Courbe ANSI

Introduction

Sensibilité des appareils

Les ordinateurs sont à présents des composants essentiels pour toutes les activités, qu'il s'agisse de postes de travail, de serveurs de réseaux ou de pilotes industriels. Ils sont indispensables dans toutes les opérations de traitement de données et de nombreuses fonctions de communication, comme les systèmes de messagerie électronique et de boîte vocale. C'est l'introduction de ces équipements informatique qui a été en fait à l'origine de la plupart des problèmes de *Power Quality*. Ainsi, les premières installations utilisant ces appareils ont été affectées de défaillances apparemment aléatoires ce qui a exigé un effort de maintenance considérable. La création de la courbe de la *Computer and Business Equipment Manufacturers Association* (courbe CBEMA, figure 2) est la conséquence directe de cet "apprentissage". Cette courbe a été modifiée depuis et elle est à présent connue sous l'appellation de courbe de l'*Information Technology Industry Council* (courbe ITIC, figure 3), une version en a été standardisée par l'*American National Standards Institute* (courbe ANSI, référence IEEE 446, figure 4).

En pointant la durée d'un événement en fonction de la tension par rapport à la tension d'alimentation nominale, ces courbes définissent dans quelles limites l'équipement devrait continuer à fonctionner sans interruption ou perte de données. En ce qui concerne les chutes de tension, c'est la limite inférieure qui est intéressante. Dans un système parfait une seule courbe représenterait les performances du réseau d'alimentation à laquelle tous les équipements devraient être conformes.

Caractéristiques de sensibilité de l'équipement

Les alimentations des matériels électroniques, comme celles utilisées pour les ordinateurs personnels et les automates programmables (*programmable logic controllers* ou PLC) utilisent un condensateur de filtrage afin de lisser les crêtes de l'onde redressée. Ils devraient donc résister aux chutes de tension de faible durée. Plus la taille du condensateur est importante et plus la différence entre la tension emmagasinée dans le condensateur et le minimum requis pour le fonctionnement des convertisseurs est grande, meilleur sera le comportement ou la résilience. Les concepteurs essaieront toujours de réduire la taille du condensateur au minimum pour réduire le volume, le poids et le coût tout en veillant à ce que la puissance emmagasinée soit suffisante pour répondre à une tension minimale et une charge maximale. Pour pouvoir résister aux chutes de tension, il faut un condensateur beaucoup plus important. En fait, au moins deux fois plus important afin de permettre à l'équipement de supporter un cycle d'alimentation et 100 fois s'il devait le faire pendant une seconde. Une autre stratégie consiste à maintenir la tension d'entrée la plus basse possible afin de maximiser le temps de stockage du système. C'est l'approche adoptée par défaut dans les équipements destinés à fonctionner sur une large gamme de tensions. Le temps de stockage sera beaucoup plus grand avec une alimentation 230 V qu'avec une alimentation 110 V. Il est techniquement simple de réaliser une alimentation qui résiste aux chutes de tension mais cependant ce n'est pas un problème que les utilisateurs prennent en compte. Néanmoins, les frais nécessaires pour protéger un ordinateur ou un PLC des chutes de tension d'une seconde sont très réduits par rapport aux frais occasionnés pour l'amélioration des ressources du réseau pour éviter ces chutes de tension. Les variateurs de vitesse peuvent également être endommagés par des chutes de tension, ils sont généralement équipés de détecteurs qui se déclenchent entre 15% et 30% sous la tension nominale.

Les moteurs à induction ont une inertie qui leur permet de supporter la charge pendant une brève chute de tension en récupérant de l'énergie à mesure qu'ils ralentissent. Mais cette énergie doit être récupérée au fur et à mesure que le moteur accélère de nouveau et, si la vitesse a diminué très fortement il prélèvera quasiment l'équivalent du courant de démarrage. Comme tous les moteurs redémarrent simultanément, cela peut être la source d'autres problèmes.

Les relais et les contacteurs sont également sensibles aux chutes de tension et ils constituent souvent le maillon faible du système. Un dispositif peut se déclencher pendant une chute de tension (*dips*) même lorsque la tension résiduelle est supérieure à la tension minimale de maintien en régime permanent. La stabilité ou résilience d'un contacteur à une chute de tension dépend non seulement de la tension résiduelle et de la durée, mais aussi du point où la chute de tension survient, l'effet étant moindre à la crête.

Les lampes à vapeur de sodium ont une tension d'amorçage beaucoup plus élevée lorsqu'elles sont chaudes que lorsqu'elles sont froides. Ainsi, il est tout à fait possible qu'une lampe chaude ne se rallume pas après une chute de tension. Dans le cas des lampes neuves une chute de tension de 45% provoque l'arrêt de la lampe mais quand la lampe arrive en fin de vie il suffit d'une baisse de tension de seulement 2%.

Introduction

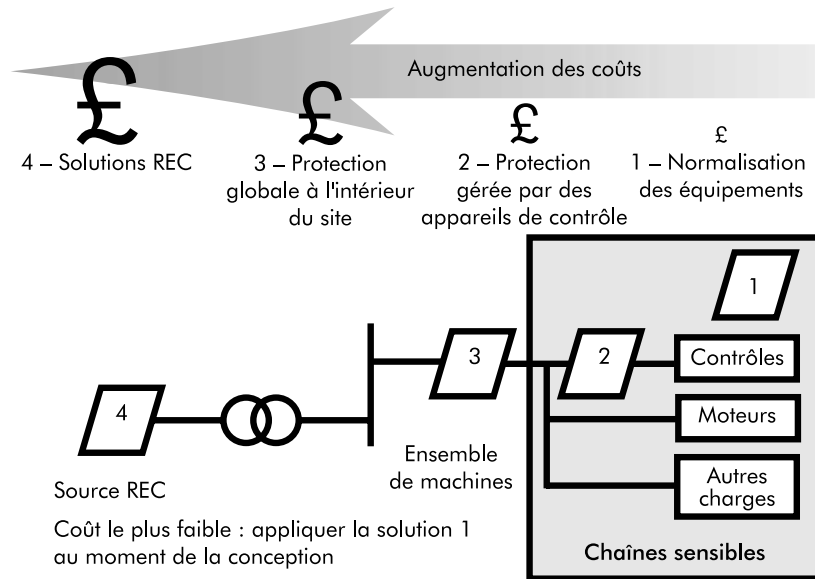


Figure 5 - Coût de l'amélioration à la résistance aux chutes de tension

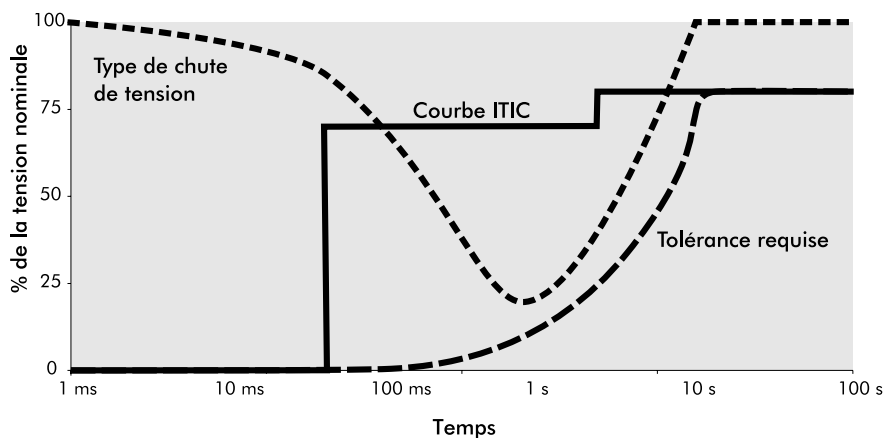


Figure 6 - Caractéristiques des chutes de tension au niveau de l'alimentation et courbe ITIC

La plupart des appareillages et des installations comportent un ou plusieurs des éléments cités, sensibles aux chutes de tension. Comme le suggère la figure 5, concevoir des appareils résistants aux chutes de tension est moins cher et plus fiable que d'essayer d'augmenter la fiabilité d'un processus, de toute une usine ou de tout le système de distribution. En effet, le coût de la sécurisation augmente rapidement à mesure que le lieu où s'applique le remède se déplace des appareils, à l'usine, à l'infrastructure.

Caractéristiques des chutes de tension dans l'alimentation

Comme il a déjà été expliqué ci-dessus, la probabilité qu'il y ait des chutes de tension ainsi que leurs amplitudes dépendent de la topologie du réseau. Bien qu'il y ait eu quelques études, limitées à des régions relativement restreintes de certains pays, on peut affirmer qu'il n'existe pas de statistiques sur les chutes de tension pour telle ou telle zone géographique. Il est donc difficile de sélectionner un site particulier pour la fiabilité de son réseau de distribution électrique. Bien sûr, un site proche d'une station génératrice et alimenté par un câble souterrain sera préférable à une zone distante approvisionnée par un long câble

Introduction

aérien très exposé, mais jusqu'à quel point ? Il est facile d'estimer par exemple la qualité des moyens de communication et ce facteur est souvent cité comme critère de choix pour sélectionner un site d'exploitation particulier, mais il est plus difficile d'évaluer la qualité de l'infrastructure électrique.

Les études menées montrent que la durée des chutes de tension dans l'alimentation est un peu plus longue que celle suggérée par les courbes de tolérance décrites ci-dessus. La figure 6 montre la durée et l'ampleur probables des chutes de tension sur un réseau d'alimentation typique. La courbe ITIC est également reportée afin de permettre la comparaison.

Comme le montre la courbe de "tolérance requise" de ce diagramme, les équipements informatiques devraient être environ 100 fois plus performant que le niveau requis par la courbe ITIC.

Les solutions

Comme l'illustre la figure 5, le coût d'une amélioration est bien moindre si la mesure corrective est prise dès la conception de l'équipement. Cela exige cependant une connaissance de la nature et de la probabilité des défauts. C'est souvent ces éléments qui manquent mais c'est toutefois l'approche la plus économique.

Certains fabricants de matériels reconnaissent le problème mais la concurrence veut que les fabricants réagissent uniquement aux demandes des clients. Ces clients n'exigeront pas d'amélioration des performances tant qu'ils ne comprendront pas les problèmes et qu'ils ne prendront pas conscience que les fabricants sont à même d'apporter une solution. Le marché des variateurs de vitesse reste cependant une exception pour laquelle les fabricants font la promotion de produits dont la capacité à contrôler les chutes de tension est élevée.

L'approche traditionnelle consiste à prévoir des équipements additionnels pour compenser les manques pendant les chutes de tension. Les types d'équipements disponibles sont décrits dans les modules suivants de ce guide. Dans le cas de charges de faible consommation, comme l'équipement informatique, les alimentations sans interruption (ASI ou UPS) sont utilisées pour protéger à la fois contre les chutes de tension et les coupures brèves. L'énergie étant généralement stockée dans une batterie rechargeable, elles ne conviennent pas pour une longue durée. La puissance est assurée le temps nécessaire à l'arrêt correct des appareils : les données seront donc sauvegardées, mais cependant le temps de redémarrage reste considérable. Parfois, les UPS peuvent être utilisées pour fournir du courant pendant le démarrage d'un générateur rotatif.

Pour les chutes de tension de petite ampleur pour lesquelles le voltage résiduel reste élevé, il existe des régulateurs automatiques de tension avec des dispositifs électromécaniques et électromagnétiques. Comme ils n'ont pas besoin de stocker d'énergie, ces dispositifs peuvent être utilisés pour des événements de longue durée incluant les surtensions et sous-tensions. Les régulateurs automatiques de tension sont décrits au module 5.3.1 de ce guide.

S'il existe dans l'installation des charges lourdes ou bien dans le cas de fortes chutes de tension, on peut utiliser un régulateur de charge universel (*Dynamic Voltage Restorer / DVR*). Ce dispositif est connecté en série à la charge et compense les manques de l'alimentation : si la tension tombe à 70%, le DVR génère les 30% manquants. Les DVR sont normalement conçus pour supporter la charge pendant une courte période mais ils ne peuvent cependant pas être utilisés pour corriger une sous-tension ou une surtension à long terme.

Conclusion

Améliorer les performances d'une alimentation électrique afin d'éliminer complètement les chutes et les baisses de tension est très coûteux et probablement impossible. Dans certains cas particuliers, en fonction des besoins, il est possible de recourir à deux alimentations, provenant de points suffisamment éloignés du réseau pour être considérées comme indépendantes.

Pour la plupart des activités industrielles, des équipements d'atténuation des défauts de tension seront suffisants. Le choix est vaste et se fera en fonction du type de charges utilisées.

La solution la moins chère consiste à choisir spécifiquement un équipement en fonction du comportement qu'il doit avoir face aux chutes de tension, mais cette option est actuellement en développement.

Notes

Notes

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 Bonnheshof 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



David Chapman

 **Copper Development Association**

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

Tel: 00 44 1727 731200
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Web: www.cda.org.uk
www.brass.org



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
Web: 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
Web: 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
Web: www.eurocopper.org