Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 21

Artikel: Mesures statistiques des perturbations dans les réseaux électriques

Autor: Aguet, M. / Nobs, P. A. / Sauvain, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905034

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mesures statistiques des perturbations dans les réseaux électriques

M. Aguet, P. A. Nobs, H. Sauvain

621.316.1:621.316.91;

Classées selon la fréquence, les perturbations des tensions et des courants dans un réseau électrique sont discutées quant à leurs ordres de grandeurs, leurs effets et les moyens de mesures et de protection. Un appareil de mesures de perturbations à large spectre réunissant les fonctions d'un parc d'appareils individuels est présenté. Cet appareil est, de plus, parfaitement adapté au traitement statistique des perturbations, atout majeur dans l'analyse complète et rapide d'un réseau perturbé.

Die Störspannungen und Störströme im elektrischen Energienetz werden nach der Frequenz unterteilt und deren Grössenordnungen und Auswirkungen sowie die Messmethoden und Schutzeinrichtungen besprochen. Ein breitbandiges Messgerät wird vorgestellt, das auch für die statistische Auswertung der Störungen geeignet ist, was für eine gründliche und schnelle Analyse eines Netzes wesentlich ist.

1. Introduction

On peut, selon une étude de l'Electricité de France, (EDF) [1], recenser les applications de l'énergie électrique selon trois critères de base qui sont:

- les types de produits traités (acier, aluminium, transport, etc.)
- les types d'opérations (entraînements, traction, soudure, alimentation électronique, etc.)
- les principes physiques entrant en jeu (effet joule, induction, arc, etc.).

Si l'on combine ces trois critères, on dénombre environ 100 000 applications de l'électricité dont 10 000 sont considérées comme courantes. Sur ce grand nombre d'applications, on admet que toutes, à divers titres et à divers niveaux, sont sensibles à certains types de perturbations [2] provenant du réseau d'alimentation.

2. Perturbations électriques, leurs origines et les moyens d'y remédier

Les sinusoïdes de tension et de courant d'un réseau peuvent subir des déformations imputables aussi bien aux effets du circuit aval qu'au circuit amont (fig. 1). Ces déformations peuvent entraîner des mauvais fonctionnements voire même des dégâts sur les appareils connectés.

Un calcul de la propagation de ces phénomènes peut être fait en régime stationnaire au moyen du calcul complexe [3], en régime transitoire par la méthode des ondes mobiles [4]. Les perturbations électriques sont de formes et d'amplitudes très diverses. On a pris l'habitude de les classer arbitrairement par familles ayant comme dénominateur commun des formes et des durées semblables, en général liées aux principes physiques qui les régissent. Dans la suite on passe en revue les familles de perturbations en fonction de leur hiérarchie fréquencielle équivalente [5].

2.1 Fluctuations lentes (> 1 s)

Les fluctuations lentes sont définies par des variations de la valeur de crête des sinusoïdes dans des laps de temps supérieurs à la seconde et pouvant atteindre plusieurs heures (fig. 2). Ces variations sont dues principalement à l'enclenchement et au déclenchement d'installations importantes (gros moteurs, redresseurs de puissance, etc.) ou d'ensembles d'installations plus réduites (cuisinières, chauffages électriques, etc.) et ceci sans que le réglage de tension du réseau (excitation des alternateurs, transformateurs à gradin) puisse intervenir pour des raisons de temps, de programme ou de gamme limitée [6].

Les fluctuations lentes peuvent avoir, si elles dépassent par exemple 10%, des effets d'endommagement par excès de tension ou d'arrêt par défaut d'appareils électrodomestiques, électroniques et informatiques. Dans le cas d'une chute de tension notable le courant appelé par des moteurs industriels peut augmenter dans les mêmes proportions et entraîner un échauffement prohibitif.

Une modification de la configuration du réseau, des compensateurs statiques ou tournants, un renforcement de la production au moyen d'une centrale de pointe peuvent remédier à ce problème.

Les fluctuations lentes sont mesurées habituellement au moyen d'un voltmètre enregistreur à bande de papier, directement connecté au réseau pour la mesure de tension resp. par l'intermédiaire d'un shunt ou d'un transformateur pour le courant. Les fluctuations lentes de tensions apportées par les appareils électrodomestiques ne devraient pas dépasser 3% selon la norme ASE-EN 50 006, 1976 [7].

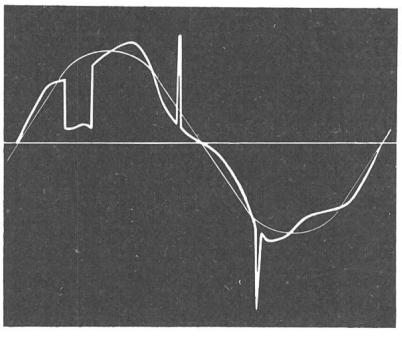


Fig. 1 Déformation d'une sinusoïde de base: microcoupure, surtensions ou surintensités, harmoniques

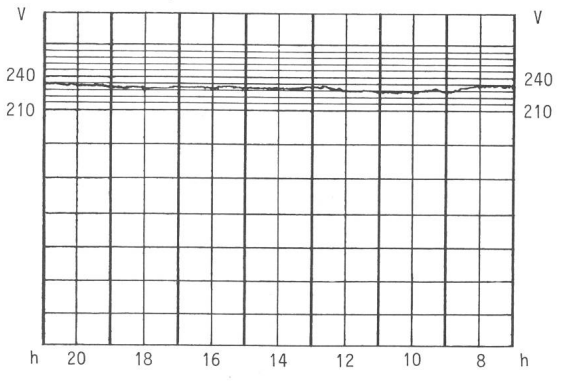


Fig. 2 Fluctuations lentes de tension de réseau pendant la journée

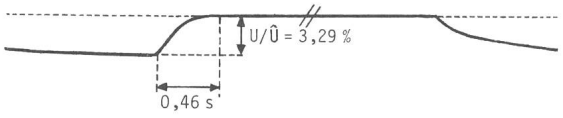


Fig. 3 Effet flicker dû à l'enclenchement d'un générateur de fusion (Tokamak de 10 MVA) sur un réseau 20 kV [8]

2.2 Fluctuations rapides (1 s - 20 ms)

Les fluctuations rapides sont définies par des variations de la valeur de crête des sinusoïdes comprises entre 20 ms et 1 s (fig. 3).

Ces variations existant soit en permanence, soit pendant des intervalles de temps bien définis, sont en général dues à des appareils de constitution dissymétrique (appareils de puissance branchés en monophasé, chauffage, machines à laver, etc.) ou absorbant des courants variant brusquement (soudure, four à induction, laminoir, traction, compresseurs, soufflerie, etc.) [8; 9].

Les fluctuations rapides se manifestent principalement par l'effet de papillottement (flicker). Cet effet est gênant pour l'éclairage lorsque la fréquence du phénomène est située entre 1 et 25 Hz, car il se manifeste par une fatigue oculaire déjà à partir de variations de tension de l'ordre de 0,3%. Ces fluctuations peuvent également entraîner des perturbations du fonctionnement d'appareils électriques, audiovisuels et de relais électromécaniques.

Les fluctuations de tension peuvent être atténuées en recourant à des compensateurs statiques à selfs ou à condensateurs (fig. 4) [9; 10; 11]. On mesure les fluctuations rapides au moyen d'enregistreurs oscillographiques et de flickermètres, ces derniers tenant compte du phénomène physiologique. Pour les appareils électrodomestiques les fluctuations rapides de tensions devraient être en conformité avec la norme ASE-EN 50 006 [7].

2.3 Harmoniques (20 ms - 0,4 ms)

Les harmoniques sont définis comme les composantes sinusoïdales situées entre 50 et 2500 Hz qui correspondent à la déformation de l'onde du réseau (fig. 5).

Les harmoniques dus à la non-linéarité des circuits sont principalement générés soit en tension par les machines synchrones et asynchrones ainsi que les transformateurs de puissance, soit en courant par les transformateurs d'intensité, les arcs électriques (soudure, contacteurs, éclairage fluorescent, etc.), les réactances à noyau de fer (ferrorésonance), les redresseurs (téléviseurs, convertisseurs statiques, régulateurs à contrôle de phase (dimmer) et à découpage (chopper)) [9].

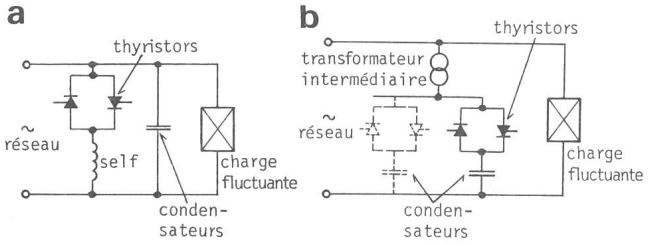


Fig. 4 Schéma de principe du compensateur statique
a à self, b à condensateur

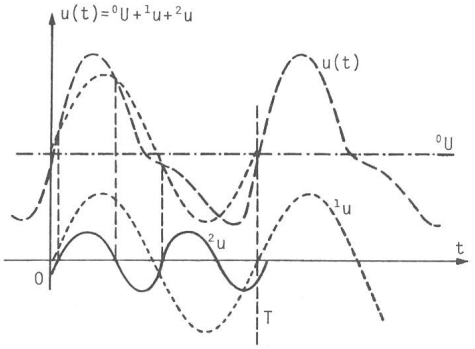


Fig. 5 Exemple de décomposition d'une fonction périodique *u (t)* en série de Fourier

Les harmoniques entraînent des échauffements supplémentaires dans les transformateurs, machines synchrones et asynchrones, câbles et condensateurs (pertes ohmiques et diélectriques). Les ordinateurs subissent des troubles fonctionnels tels que des couples pulsatoires des moteurs d'entraînement de supports magnétiques. La commutation et la synchronisation des appareils d'électronique de puissance peuvent être affectés. Les relais de télécommande à fréquence audible ainsi que les compteurs d'énergie peuvent être perturbés.

La limitation des harmoniques s'effectue par des choix appropriés de couplage de transformateurs ou au moyen de filtres simples et passe bas, de shunt résonnant et résonnant amorti (fig. 6). On mesure les harmoniques, indépendam-

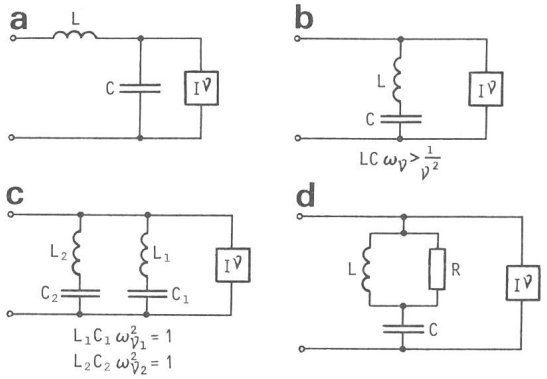


Fig. 6 Filtres pour harmoniques

a *Filtre simple:* La self a pour effet de renvoyer les harmoniques dans la capacité. Celle-ci compense le facteur de puissance. Ce filtre est commode pour les régulateurs à thyristors de petite puissance.

b *Filtre passe-bas:* Pour éviter la résonance lorsqu'on installe une puissante batterie de condensateurs, on dispose en série une inductance de valeur telle que l'accord se situe en dessous de l'harmonique le plus faible prévisible. L'ensemble est selfique pour les harmoniques supérieurs; il les étouffe donc; il est capacitif pour le fondamental.

c *Shunt résonant:* Dans le but d'éliminer un harmonique de rang déterminé, on place en dérivation sur le réseau une self en série avec une capacité: L'ensemble est accordé sur l'harmonique à éliminer. Le shunt constitue un court-circuit pour cet harmonique qui ne se propage plus dans le reste du réseau. Ce filtre produit de l'énergie réactive pour le fondamental. A priori, il faut disposer autant de shunts résonnants qu'il y a d'harmoniques à éliminer; la limite est d'ordre économique. Le shunt résonnant a l'inconvénient de déplacer la fréquence de résonance du réseau en y substituant deux autres fréquences, l'une plus basse, l'autre plus élevée. Il peut arriver que ces fréquences coïncident avec celle d'un autre harmonique; un autre filtre s'avère alors nécessaire.

d *Shunt résonant amorti:* Ce filtre évite l'inconvénient qui a été signalé à la figure c; c'est un filtre moins efficient mais plus économique.

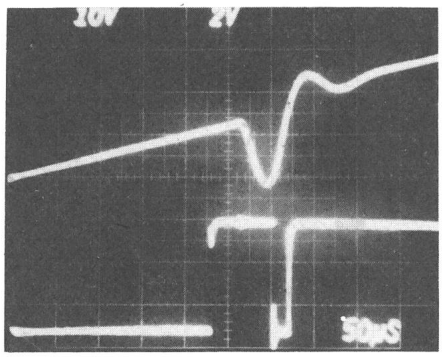


Fig. 7 Erreur de logique due à une microcoupure de tension
Trace supérieure microcoupure 10 V/div – trace inférieure niveau logique perturbé 2 V/div – base de temps 50 µs/div

ment du temps au moyen d'un analyseur de spectre à balayage resp. en fonction du temps au moyen d'un voltmètre sélectif.

Les harmoniques de tension devraient être en conformité avec la proposition de la Commission de l'ASE pour l'étude des perturbations en basse fréquence [12].

2.4 Microcoupures (9,9 ms – 100 µs)

Les microcoupures (fig. 7) sont définies comme des chutes d'alimentation partielles ou totales durant des intervalles de temps inférieurs à la demi-période à 50 Hz, soit de 9,9 ms à 100 µs. Elles sont principalement dues à des changements de gradins de transformateurs ou à la commutation d'installations d'électronique de puissance.

Les microcoupures peuvent entraîner des interruptions de service d'appareils électroniques et d'ordinateurs. C'est en introduisant des batteries de condensateurs, des stabilisateurs de tension à circuit résonnant ou des groupes de secours (groupe tournant à inertie, redresseur-onduleur à batterie-tampon) que l'on parvient à les éviter.

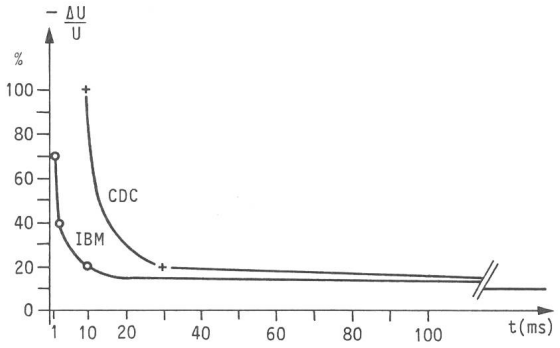


Fig. 8 Graphique des tolérances de chutes de tension dues à une microcoupure en fonction de sa durée
Les tolérances de la tension d'alimentation des ordinateurs sont p.ex. définies comme suit:

Durée (ms)	1	2	10	30	100	1000	∞
IBM – $\Delta U/U$%	70	40	20		15	10	+ 10 – 8
CDC – $\Delta U/U$%			100	20			10

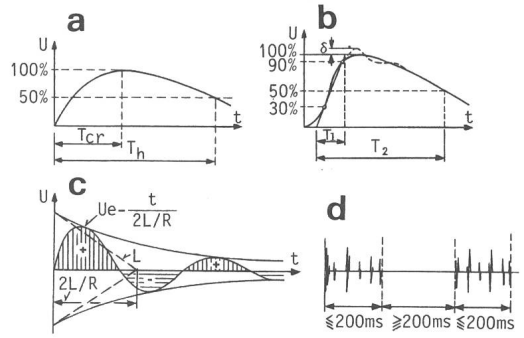


Fig. 9 Différentes formes de surtensions
a Choc de manœuvre conventionnel
durée du front: $T_{cr} = 250 \pm 50$ µs
durée jusqu'à la mi-valeur: $T_h = 2500 \pm 1500$ µs
b Choc de foudre conventionnel
durée du front: $T_1 = 1{,}2 \pm 0{,}36$ µs
durée jusqu'à la mi-valeur: $T_2 = 50 \pm 10$ µs
oscillation: $\delta =$ 5% dans la région voisine de la tension de choc
$\delta =$ 10% dans la région entre 0 et 50% de la valeur de crête
c Onde oscillante amortie
d Claquements

La mesure des microcoupures s'effectue au moyen d'oscilloscopes à écrans rémanents ou de mémoires-tampons digitales. Dans le cas d'ordinateurs, les microcoupures doivent être généralement inférieures aux valeurs indiquées à la figure 8 [13].

2.5 Surtensions (400 µs – 100 ns)

Les surtensions sont définies comme des ondes de choc, des ondes oscillantes amorties, des impulsions ou claquements (fig. 9) [14]. Dans les cas de phénomènes internes au réseau, elles sont principalement dues à des manœuvres d'interrupteurs, contacteurs, thermostats, régulateurs, commutateurs, rotacteurs, sectionneurs, disjoncteurs, fusibles (fig. 10); dans le cas de phénomènes externes, les décharges atmosphériques et plus particulièrement la foudre en sont la

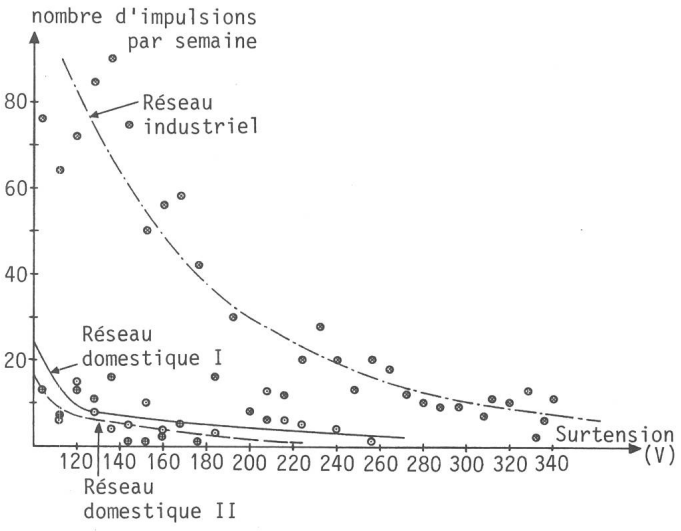


Fig. 10 Fréquences d'apparition de surtensions de manœuvres dans des réseaux domestiques et industriels

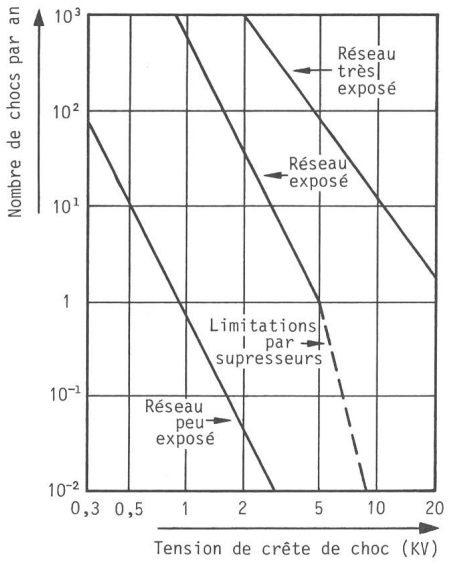


Fig. 11 Fréquences d'apparition de surtensions de foudre dans divers réseaux [15]

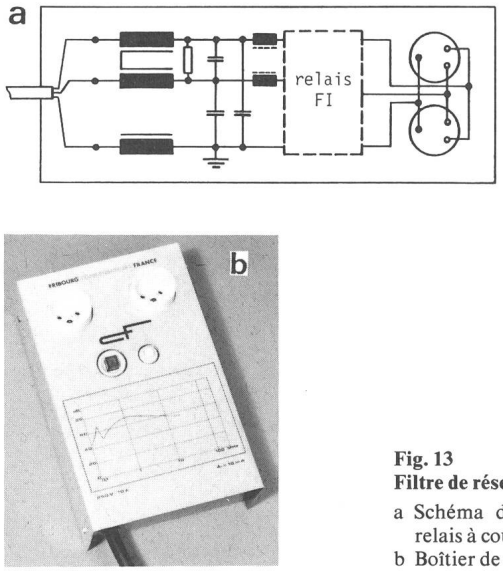


Fig. 13
Filtre de réseau
a Schéma d'un filtre avec un relais à courant de défaut (FI)
b Boîtier de filtre 250 V, 10 A

cause. Les surtensions de foudre peuvent atteindre quelques kV (fig. 11).

Les surtensions peuvent entraîner des fonctionnements éronnés voire même la destruction de composants électroniques et d'isolation. C'est l'énergie contenue dans le phénomène qui est déterminante pour les effets destructeurs (fig. 12). C'est en installant des parafoudres, des suppresseurs (à gaz ou à semiconducteurs), des filtres (fig. 13) et des séparations opto-électroniques que l'on parvient à limiter les effets. Des dispositions constructives (écrans, blindages, etc.) et de schématique (mise à terre, réduction des boucles, manteaux, gaines à pertes, etc.) permettent également d'atténuer l'effet des surtensions.

La mesure des surtensions s'effectue au moyen d'oscilloscopes à écrans rémanents ou de mémoires-tampons digitales. Les recommandations CEI sur les relais resp. les normes ASE correspondantes [17] devraient être appliquées.

2.6 Surtensions à front raide (99 ns – 1 ns)

Les surtensions à front raide correspondent soit à des ondes de choc (fig. 14), dont les temps de montée sont situés entre 1 et 99 ns, soit à des ondes oscillantes amorties (fig. 9c), dont les fréquences sont situées entre 100 MHz et 1 GHz. Elles ont pour origines principales:
- des amorçages d'éclateurs ou de parasurtensions dans les réseaux électriques [18],
- des décharges électriques d'origine électrostatique (fig. 14b),
- des effets électromagnétiques liés à des explosions d'origine nucléaire (NEMP) [19].

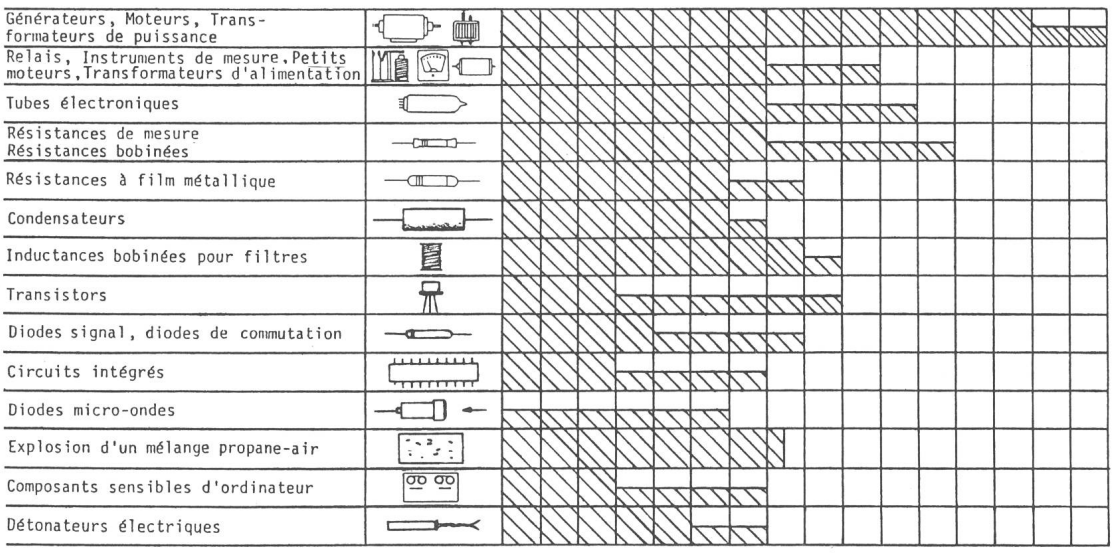


Fig. 12 Sensibilités d'appareils électriques et de composants électroniques aux décharges impulsionnelles
Zone blanche: destruction de l'élément
Zone demi-hachurée: fourchette d'incertitude
Zone hachurée: domaine d'immunité de l'élément

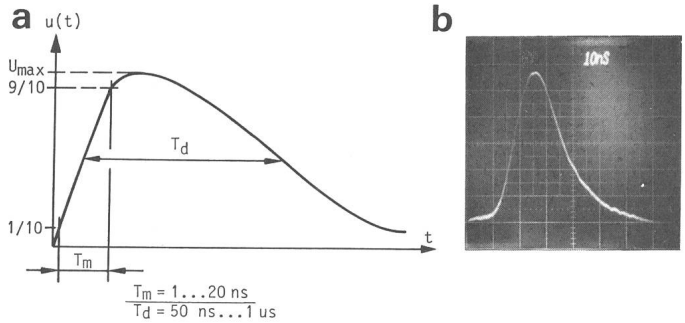


Fig. 14 Impulsion à front raide

a Choc du type NEMP (Nuclear Electro-Magnetic-Pulse)
b Décharge électrique d'origine électrostatique
U_{charge} = 10 kV; I_{max} = 17 A; 10 ns/div.

Ces surtensions peuvent entraîner de mauvais fonctionnements voire même la destruction de composants électroniques et d'isolation (fig. 12). Les moyens de protection sont les mêmes que ceux cités au paragraphe précédent, de grandes précautions étant à prendre afin de réduire le temps de retard à l'amorçage des protections et l'inductivité des circuits. Le recours à une cage blindée permet dans certains cas de résoudre les problèmes posés par les surtensions à front raide (fig. 15).

La mesure des surtensions à front raide s'effectue au moyen d'oscilloscopes à écran rémanent ou de digitaliseurs à mémoire électronique ou optoélectronique. Un groupe de travail de la CEI (CE 65/GT 4) a fixé un essai de protection contre les décharges d'origine statique sous une tension de charge de 15 kV, une capacité équivalente de 150 pF, une résistance de décharge de 150 Ω à faible inductivité, et une énergie calculée d'environ 17 mJ [20]. La protection contre les NEMP est régie par les normes militaires des différents pays [21].

2.7 Champs électromagnétiques rayonnés

Les réseaux électriques et les appareils reliés doivent également satisfaire à l'Ordonnance sur la protection contre les perturbations électromagnétiques dans la bande de fréquence de 0,01 à 1000 MHz [14].

3. Synthétiseur de mesures de perturbations

Afin d'éviter le transport sur les sites de mesure d'une série d'appareils, chaque appareil mesurant un type de perturbations, il a été retenu un système, appelé STAR (fig. 16 et

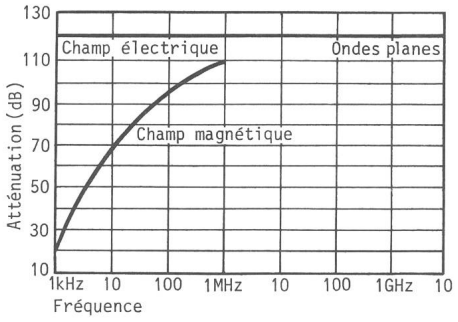


Fig. 15 Courbes d'atténuation d'une cage blindée aux champs électriques, magnétiques et en onde plane

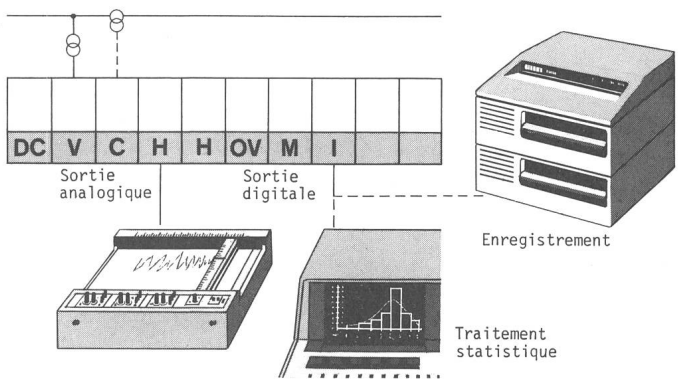


Fig. 16 Schéma bloc du synthétiseur de mesures de perturbations STAR

DC Alimentation stabilisée
V Amplificateur de tension
C Amplificateur de courant
H Harmoniques
OV Surtensions
M Microcoupures
I Interface digital; mémoire

17), à modules enfichables dans un tiroir 19″, dont la plage de mesure correspond aux paragraphes 2.1 à 2.5. Cette solution compacte a de plus l'avantage d'éviter des boucles de terre entre différents appareils; les champs magnétiques présents dans une sous-station peuvent en effet induire des tensions parasites. Enfin l'interface d'entrée compatible au réseau 380/220 V (ou moyenne tension via un transformateur de mesure MT/BT) permet d'éviter un second interface et de raccourcir les longueurs de câbles de mesure entre le point de mesure et l'appareil, ce qui est primordial dans la mesure des surtensions.

Les perturbations telles que les fluctuations de tension ou les harmoniques peuvent apparaître de façon aléatoire ou à des heures particulières. L'analyse du réseau se fait donc d'une part, de façon instantanée pour la mesure des transitoires (par exemple le démarrage d'un moteur à courant continu alimenté par un convertisseur statique) et d'autre part sur une longue durée. La méthode de mesure retient le premier critère en utilisant le principe du voltmètre sélectif à fréquence sélectionnable et synchrone, avec sortie directe sur un enregistreur graphique (fig. 18). Pour répondre au

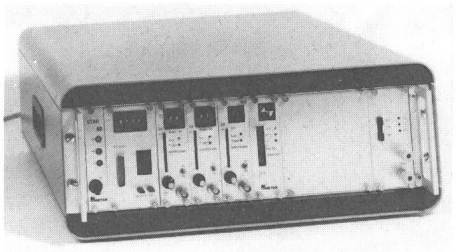


Fig. 17 Le synthétiseur de mesures de perturbations STAR

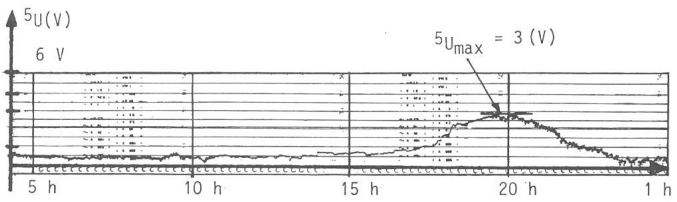


Fig. 18 Harmonique de tension de rang 5 (phase-neutre) enregistré durant une journée

A noter l'influence marquée des téléviseurs vers 20 h

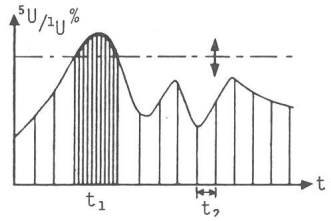


Fig. 19 Echantillon de l'harmonique de tension de rang 5 et seuil de niveau admissible réglable
Flèche: seuil réglable
Période d'échantillonnage p.ex. $t_1 = 0{,}1$ s, $t_2 = 1{,}0$ s

deuxième critère, elle applique le principe de l'échantillonnage dont la période peut être variable (0,1 s à 1 h) en fonction de l'importance de la perturbation (par exemple, pour un harmonique, le dépassement d'une limite proposée et qui a été mise en référence dans l'appareil (fig. 19)).

Les microcoupures sont mesurées en durée entre 100 µs et 10 ms, valeurs correspondant aux seuils d'immunité de différents ordinateurs [13]. Les coupures de plus longue durée sont mesurées en valeur efficace. Les microcoupures de commutations (1 à 10 µs), répétitives, ne sont pas mesurées. Les surtensions sont mesurées en durée et amplitude entre 1 et 100 µs. Une mesure pour des durées plus courtes ou plus élevées nécessite une mémoire-tampon et surtout un atténuateur d'entrée à large bande. Le principe de l'échantillonnage et des détecteurs à niveaux réglables de perturbations permet une économie dans l'utilisation des mémoires disponibles.

Les résultats obtenus sur enregistreur graphique ou mieux sur bande ou disque magnétique peuvent être traîtés soit directement en sous-station, soit ultérieurement. La première solution, plus sophistiquée et plus coûteuse, permet un contrôle immédiat de la qualité de la mesure et offre la possibilité de remise au départ du support magnétique après une durée de mesure choisie (par exemple un jour) et après traitement par un calculateur.

4. Traitement statistique des mesures de perturbations

La liste chronologique des perturbations est la façon la plus simple de définir ce qui s'est passé dans un réseau. Cette liste ne permet cependant pas de préciser facilement la qualité d'une tension de réseau. De plus, sa comparaison avec une limite fixée, par exemple une recommandation, nécessite des hypothèses de travail communes à tous les distributeurs d'énergie électrique. L'utilisation de paramètres statistiques donne, elle, une possibilité plus large de déterminer la qualité d'un réseau [22].

Les paramètres statistiques retenus sont présentés dans le tableau I [23]. On compare habituellement la distribution statistique des résultats obtenus à la loi normale. On remarquera toutefois le plus souvent que les perturbations dans les réseaux ne sont pas distribuées selon la loi normale, si ce n'est peut-être pour les fluctuations de tension. Une distribution sera normale si la dissymétrie (g_1) et l'aplatissement (g_2) sont nuls ($g_1 = g_2 = 0$). La distribution normale étant symétrique, les valeurs médianes et moyennes coïncident.

Paramètres statistiques principaux Tableau I

Valeur moyenne	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$	$m_1 = \bar{x}$
Déviation standard	$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n * \bar{x}^2}{(n-1)}}$	$m_2 = \frac{1}{n} \sum x_i^2 - \bar{x}^2$
Dissymétrie	$g_1 = m_3 / m_2^{3/2}$	$m_3 = \frac{1}{n} \sum x_i^3 - \frac{3}{n} \bar{x} \sum x_i^2 + 2\bar{x}^3$
Aplatissement	$g_2 = m_4 / m_2^2 - 3$	$m_4 = \frac{1}{n} \sum x_i^4 - \frac{4}{n} \bar{x} \sum x_i^3 + \frac{6}{n} \bar{x}^2 \sum x_i^2 - 3\bar{x}^4$
Valeur médiane	surface inférieure = surface supérieure	

La relation entre les paramètres statistiques obtenus après une mesure et le type de phénomène perturbateur nécessite une certaine attention. Dans le cas de la mesure d'un harmonique de rang 5, on obtiendra une distribution normale si l'on enregistre cet harmonique dans un réseau urbain avec transports urbains pendant quelques heures seulement. Les téléviseurs, les appareils électrodomestiques ou les usines à horaire diurne entraînent immédiatement une dissymétrie et un aplatissement non nuls.

Si le traitement statistique est directement applicable à la définition d'une qualité ou à la comparaison avec une valeur de référence, il est cependant moins évident de l'utiliser pour séparer différents perturbateurs. Son grand avantage demeure dans le fait qu'il relie les notions de niveaux mesurés, niveaux de référence, et de qualité par une probabilité de dépassement ou non dépassement ou une probabilité de défaillance ou non défaillance [23].

5. Exemples de résultats traités statistiquement

Des mesures échantillonnées de la tension fondamentale (50 Hz) et d'une tension harmonique (250 Hz) ont été effectuées dans un réseau urbain pour des durées de 1,2 et 7 jours. La période d'échantillonnage était choisie chaque fois inférieure à la constante de temps d'évolution de l'harmonique dans le réseau (par exemple 10 min vis-à-vis de l'enclenchement des téléviseurs dont l'influence globale varie de demi-heure en demi-heure, voire d'heure en heure).

Deux distributions des fluctuations de la tension fondamentale (50 Hz) en valeurs absolues sont présentées dans la figure 20. On remarque qu'elles ne sont pas normales et que la dissymétrie est positive dans le premier cas et négative dans le deuxième cas (tableau II). Dans le premier cas la tendance des fluctuations est donc vers le bas, dans le deuxième elle est vers le haut, ce qui peut se voir aussi à l'aide du rapport médiane-valeur moyenne, inférieur à 1 pour le premier, supérieur à 1 pour le deuxième. Même en faisant abstraction de la valeur absolue obtenue de chaque moyenne (216,8 resp. 222,8 V), on pourrait décider d'une élévation

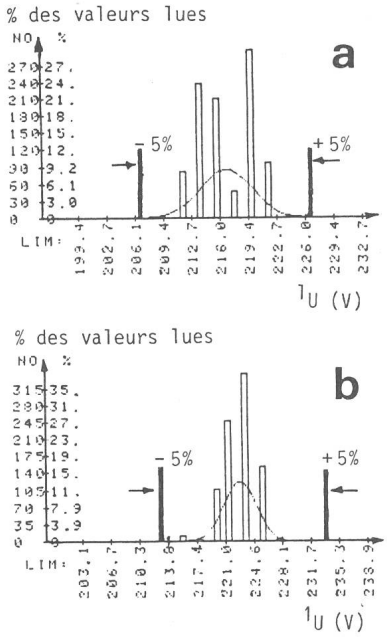


Fig. 20 **Distribution statistique de la tension 50 Hz enregistrée pendant 1 jour (a), respectivement 7 jours (b)**

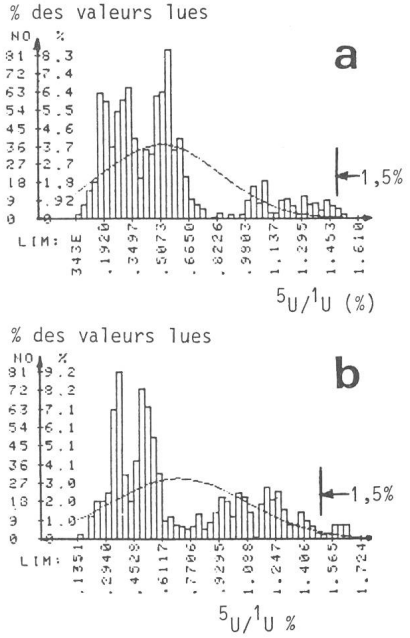


Fig. 21 **Distribution statistique de la tension harmonique de rang 5 enregistrée pendant 1 jour (a), respectivement 7 jours (b)**

des gradins des transformateurs concernés. Une telle décision dépend naturellement des résultats obtenus pour de plus longues durées et de la configuration du réseau.

Les deux distributions de la tension harmonique de rang 5 (250 Hz), en valeurs relatives, sont présentées à la figure 21 [24]. On remarquera qu'elles ne sont pas normales, que la dissymétrie est positive dans les deux cas et que l'aplatissement est positif (distribution pointue) dans le premier cas et négatif (distribution plate) dans le deuxième cas (tableau II). La dissymétrie positive est due aux téléviseurs qui génèrent un harmonique de rang 5 très élevé mais pendant un temps réduit. La différence des aplatissements a, de même, pour principale cause les téléviseurs. En effet, dans le deuxième cas, il y avait des jours fériés en plus du week-end durant les 7 jours, ce qui rallongeait les durées des programmes offerts à la télévision. Plus directement utile, on remarquera que dans les deux cas, le réseau est considéré comme bon vis-à-vis de la proposition suisse limitant les harmoniques dans les réseaux [12]. En effet, la probabilité de dépassement de la valeur 5% est pratiquement nulle. Avec une limite fixée arbitrairement à 1,5%, par exemple, on aurait une probabilité de dépassement d'environ 0,1% dans le premier cas et de 4% dans le deuxième cas. Dans ce type de comparaison le calculateur donnera de préférence la fonction primitive $F(^{\nu}U\%)$ plutôt que la fonction de distribution $f(^{\nu}U\%)$. En langage géométrique, on cumule les probabilités lues dans la figure 21.

L'ensemble des paramètres statistiques obtenus lors des 3 enregistrements, 1,2 et 7 jours, est résumé dans le tableau II. On rappelle dans ce tableau les caractéristiques de la distribution normale, distribution dite à 2 paramètres ($\bar{x}$ et S_x, $g_1 = g_2 = 0$).

Résultats statistiques sur un lot de mesures effectuées

Tableau II

Durée d'enregistrement	Valeurs minimale et maximale	Valeur moyenne	Déviation standard	Dissymétrie	Coefficient de Kurtosis	Aplatissement	Valeur médiane	Valeur méd./moy.
-	x Min/x Max	$\bar{x}$	S_x	g_1	m_4/m_2^2	g_2	M	$M/\bar{x}$
^1U	V	V	V	-	-	-	V	-
Jours 1	209,9/221,6	216,8	3,06	0,02	1,69	- 1,31	215,8	0,99
2	211,9/221,6	217,1	2,12	0,7	2	- 1	215,8	0,99
7	213,8/227,5	222,8	2,04	- 0,65	3,65	0,65	223,6	1,003
Pour une distribution normale	-	$\neq 0$	$\neq 0$	0	3	0	$\neq 0$	1
^5U	%	%	%	-	-	-	%	-
Jours 1	0,10/1,53	0,52	0,33	1,33	4,14	1,14	0,46	0,88
2	0,22/1,70	0,68	0,40	0,8	2,11	- 0,89	0,46	0,68
7	0,14/1,64	0,71	0,38	0,75	2,3	- 0,7	0,53	0,75
Pour une distribution normale	-	$\neq 0$	$\neq 0$	0	3	0	$\neq 0$	1

6. Conclusion

L'emploi des paramètres statistiques comme images reflétant les longues listes de perturbations permet une lecture rapide des résultats, une utilisation de critères communs (les moments statistiques par exemple), pour définir une qualité de tension [25].

Dans le cas des fluctuations de la tension fondamentale, les écarts standards tolérables sont à fixer par les distributeurs d'énergie électrique. On remarquera à ce propos que les taux de réclamations des consommateurs correspondent à l'écart standard [25]. Les autres paramètres tels que la dissymétrie et l'aplatissement ont un caractère plutôt informatif en relation avec la distribution normale. Dans le cas des harmoniques, on utilisera les paramètres statistiques vis-à-vis des limites proposées. La fonction de distribution cumulée sera la plus utile [26; 27].

On constate qu'il est possible actuellement, grâce à un appareillage adapté, d'établir et de connaître les statistiques de perturbations dans les réseaux électriques. Sur cette base, des analyses de sensibilité d'appareils peuvent être faites au moyen de simulations [5; 15]. Les recommandations nationales et internationales dans ce domaine ne sont qu'à leur début et on peut prévoir une expansion importante dans l'avenir.

Bibliographie

[1] Visite au «Département Applications de l'Electricité» Les Renardières. CIGRE, Session 1980, Paris, 27 août...4 septembre, Bulletin n° 2.

[2] *M. Aguet* e.a.: Perturbations électromagnétiques dans les réseaux électriques de distribution. Bull. ASE/UCS 69(1978)24, p. 1310...1314.

[3] *G. Moussa:* Méthode d'analyse des perturbations dues aux redresseurs dans un réseau de distribution. Bull. ASE/UCS 65(1974)13, p. 949...956.

[4] *H. Dommel:* Berechnung elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge im elektrischen Netz mit Digitalrechnern. Bull. SEV 60(1969)12, S. 538...548.

[5] *J. Wilhelm* u. a.: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Kontakt und Studium Band 41. Grafenau/Württ., Expert-Verlag, und Berlin, VDE-Verlag, 1981.

[6] *M. Aguet* et *J.J. Morf:* Energie électrique. Traité d'électricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, volume XII. St-Saphorin, Editions Georgi, 1981.

[7] Limitation des perturbations apportées aux réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et analogues comportant des dispositifs électroniques. Publication de l'ASE-EN 50.006, 1976.

[8] *Y. Roquefort:* Mesure des perturbations induites sur le réseau EDF par l'alimentation pulsée de l'accélérateur de 400 GeV du CERN. RGE 88(1979)4, p. 279...290.

[9] *M. Chanas:* Perturbations de tension affectant le fonctionnement des réseaux: fluctuations brusques, flicker, déséquilibres et harmoniques. RGE 87(1978)12, P. 925...943.

[10] *P. Charles:* Principe et dimensionnement des dispositifs de compensation statique rapide. RGE 88(1979)1, p. 49...57.

[11] *C.G. Pouzols:* La sélectivité des protections dans les réseaux d'alimentation des ordinateurs. RGE 88(1979)6, p. 471...477.

[12] *G. Goldberg:* Niveau admissible des tensions harmoniques dans les réseaux à basse et moyenne tension. Bull. ASE/UCS 73(1982)5, p. 197...202.

[13] *J. Lemmenmeier:* Schwingpaketsteuerung. In: Aktuelle Probleme der niederfrequenten Beeinflussung in elektrischen Netzen. Zürich, SEV, 1978.

[14] Ordonnance sur la protection contre les perturbations électromagnétiques. Bern, Office central des imprimés et du matériel, 1979.

[15] *K. Feser* und *M. Lutz:* Prüfung von Bauteilen, Baugruppen, Geräten und Systemen auf elektromagnetische Verträglichkeit. Markt und Technik 5(1980)15.

[16] *J. Gut:* NEMP-Störimpulse bei Nuklearexplosionen. STZ 76(1979)5, S. 278...281.

[17a] Relais de mesure à une seule grandeur d'alimentation d'entrée à temps dépendant spécifié. Publication de la CEI 255-4, 1976/Publication de l'ASE 3313, 1977.

[17b] Relais électriques. Cinquième partie: Essais d'isolement des relais électriques. Publication de la CEI 255-5, 1977/Publication de l'ASE 3326, 1978.

[17c] Relais électriques. Sixième partie: Relais de mesure à plusieurs grandeurs d'alimentation d'entrée. Publication de la CEI 255-6, 1978/Publication de l'ASE 3438.6, 1980.

[17d] Relais électriques. Dixième partie: Application du système d'assurance de la qualité des composants électroniques de la CEI aux relais de tout-ou-rien. Publication de la CEI 255-10, 1979.

[18] *J. Wiesinger:* Absinken der elektrischen Festigkeit von Funkenstrecken bei steilen Stossspannungen. Bull. SEV 58(1967)3, S. 113...118.

[19a] *M. Aguet:* Nuclear Electro-Magnetic Pulse. Bull. ASE/UCS 71(1980)17, S. 905.

[19b] *T. Ruedy, J. Bertuchoz* und *B. Wamister:* Entstehung und Wirkung des NEMP. Bull. SEV/VSE 71(1980)17, S. 906...910.

[19c] *M. Aguet* e.a.: Comportement des lignes et des câbles de transmission soumis au rayonnement électromagnétique provenant d'une explosion nucléaire (NEMP). Bull. ASE/UCS 71(1980)17, p. 911...918.

[19d] *F. Fornerod* et *C.C. Lin:* Recherche d'optimisation de construction pour les armures de câbles protégés contre les perturbation NEMP. Bull. ASE/UCS 71(1980)17, p. 919...923.

[20] *H.A. Kunz:* Charge électrostatique et simulation du processus de décharge. Luterbach, Schaffner Elektronik AG, 1982.

[21] *L.W. Ricketts, J.E. Bridges* and *J. Miletta:* EMP radiation and protective techniques. New York, John Wiley, 1976.

[22] Harmoniques, paramètres caractéristiques, méthodes d'étude, estimation de valeurs existantes en réseau. Document présenté par le Groupe de Travail 36-05 au Comité d'Etudes 36. Electra -(1981)77, p. 35...54.

[23] *V.E. McGee:* Principes de statistiques, approches traditionnelles et bayésienne. Paris, Librairie Vuibert, 1975.

[24] General statistics PAC Notice 00085-900-53. Palo Alto/California, Hewlett Packard, 1979.

[25] *M. Fromentin:* Aspects d'un réseau de distribution. Conception et fonctionnement. Cours de perfectionnement technique UCS. Zürich, Union des Centrales Suisses d'Electricité, 1977.

[26] *M. Sauvain, M. Aguet* et *A. Geneux:* Characterization of interference caused by household apparatus. Electromagnetic compatibility 1981. 4th symposium and technical exhibition on electromagnetic compatibility, Zürich, march 10...12, 1981; paper 79 N3, p. 437...442.

[27a] *P. Meynaud:* Pollution de la tension. RGE 89(1980)7, p. 95...111.

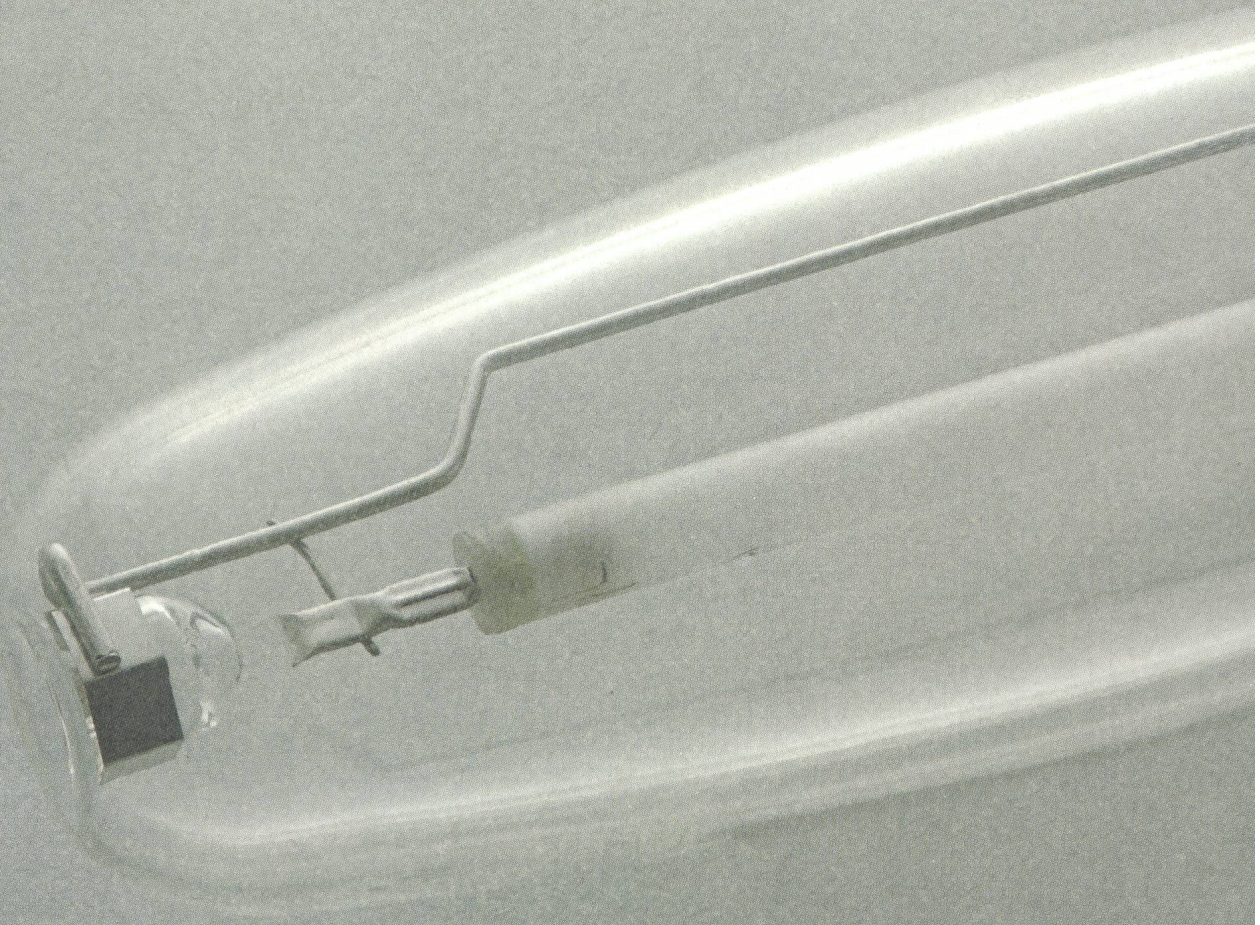
[27b] *G. Bonnard:* Origine et nature des perturbations dans les réseaux industriels et de distribution. RGE 91(1982)1, p. 12...20.

Adresse des auteurs

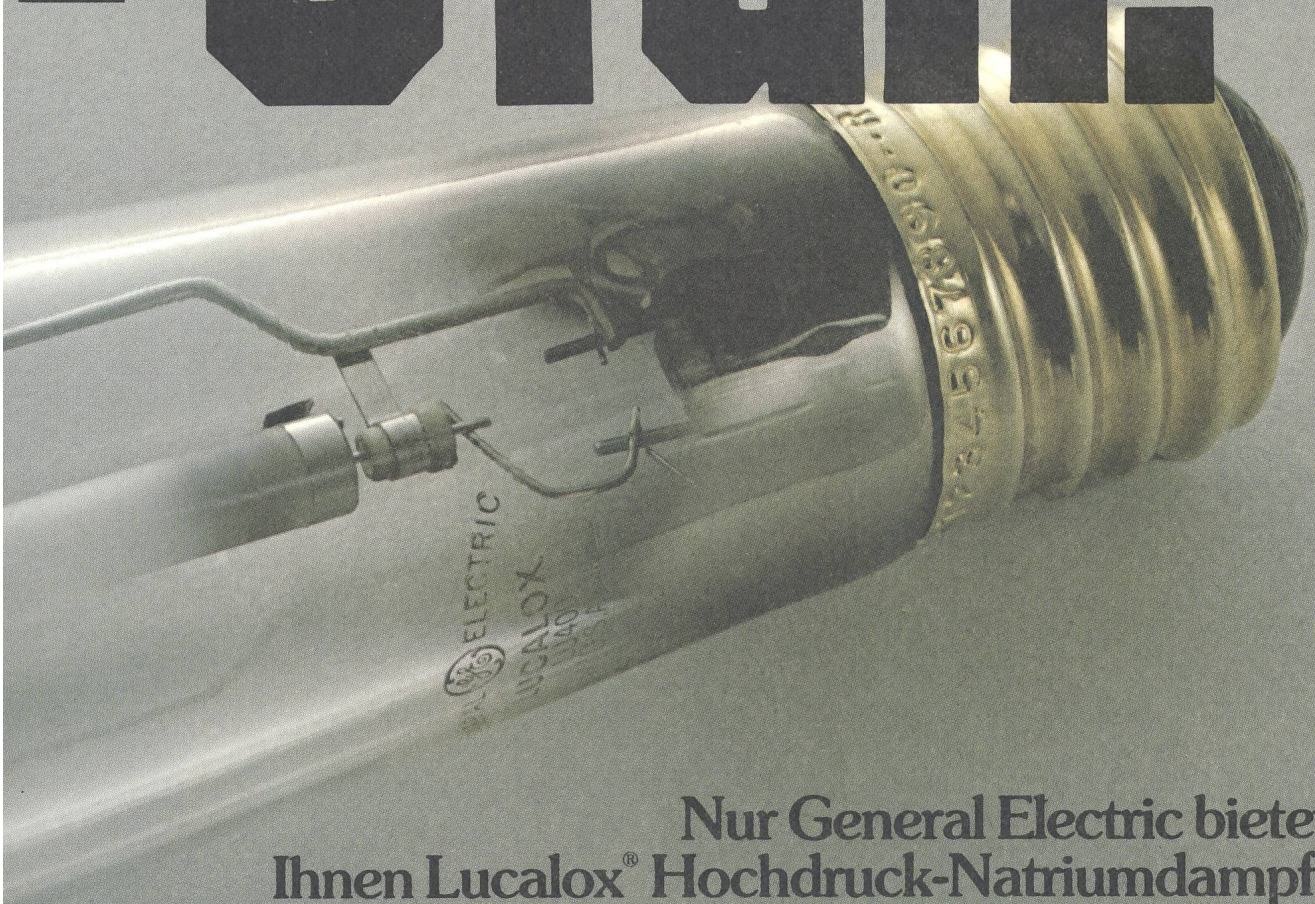
Michel Aguet, ing. dipl. EPFL-SIA, chargé de cours EPFL (responsable développement technique, Condensateurs Fribourg Holding SA), 16, ch. de Bellerive, 1007 Lausanne.
Paul Albert Nobs, ing. dipl. EPFL, Métar SA, route du Cousimbert, 1700 Fribourg.
Hubert Sauvain, ing. dipl. EPFL, chef du groupe EMC Fribourg, Condensateurs Fribourg Holding SA, 7-13, route de la Fonderie, 1700 Fribourg.

+plus oerlikon Batterie
bürgt für Sicherheit
Sicherheit mit +plus oerlikon, den leistungsstarken und wartungsarmen Rohrtaschenplatten-Batterien.
Unsere moderne Ladetechnik garantiert optimale Betriebsbedingungen.
Accumulatoren-Fabrik Oerlikon
8050 Zürich, Telefon 01 311 84 84, Telex 55102
1001 Lausanne, Téléphone 021 26 26 62
Plus AG
4147 Aesch BL, Telefon 061 72 36 36, Telex 62082
+plus oerlikon
Wir planen und fabrizieren technisch ausgereifte Systeme

24.000



+Stdn.



Nur General Electric bietet Ihnen Lucalox® Hochdruck-Natriumdampf-Lampen mit kostensparenden, langen Lebensdauern.

General Electric weiß, daß die Lampen-Lebensdauer wichtig für Sie ist. Deshalb geben wir jeder Lucalox Lampe eine lange Lebensdauer mit auf den Weg.

Lucalox Lampen haben eine mittlere Lebensdauer von 24.000+ Stunden. So brauchen Sie weniger oft auszuwechseln und reduzieren Ihre Auswechselkosten. Der Betrieb von energiesparenden Lucalox-Lampen senkt Ihre gesamten Beleuchtungskosten zusätzlich.

Fordern Sie jetzt kostenlos die Broschüre "Die 24.000+ Stunden der Lucalox" an.

GENERAL ELECTRIC
U.S.A.

GENERAL ELECTRIC - SWITZERLAND
PRODUKTEGRUPPE LICHT
RUE DU SIMPLON 6
1207 GENÈVE

Ja, senden Sie die Broschüre "Die 24.000+ Stunden der Lucalox" an:

Firma _____

Straße _____

Ort _____

Name _____

Hochstimmung bei unseren Grosshändlern. Sie führen das qualitativ hochstehende Programm von BBC, das auch Ihre Ansprüche befriedigt. Kurze Lieferfristen, technische Beratung, ausführliche Dokumentation, umfassendes Sortiment sind die wichtigsten Pluspunkte.

Niederspannung bei unseren Produkten. Das vollständige Geräteprogramm für die elektrische Gebäudeinstallation finden Sie bei unseren Grosshandels-Stützpunkten in der ganzen Schweiz. Zukunftssichere, verarbeitungsfreundliche Produkte garantieren den Schutz von Menschen und Anlagen: Automaten, FI-Schutzschalter, Kleinverteiler, Einbaugeräte, Motorschutzschalter, Kleinschütze. Die Verarbeitungsfreundlichkeit liegt bei der bequemen Montage, den vielseitigen Anschlussmöglichkeiten, dem modularen Baukastensystem mit 68 mm Einbautiefe.

BBC BROWN BOVERI normelec

Wenn Sie in Hochstimmung sind und sich ausführlich über Niederspannungsgeräte informieren möchten, verlangen Sie den Installateurkatalog oder ausführliche technische Unterlagen bei Ihrem Grosshändler oder direkt bei BBC Normelec, Telefon 01/743 41 11.

BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.
BBC Normelec
Riedstrasse 6
8953 Dietikon
Telefon 01/743 41 11