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: 72 (1981)

Heft: 11

Artikel: Quelques aspects de l'interaction entre réseaux électriques et normalisation

Autor: Roth, A. W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905117

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: 09.12.2025

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

Quelques aspects de l'interaction entre réseaux électriques et normalisation

Par A.W. Roth

621.31:006.44;

La production et la distribution de l'énergie électrique sont caractérisées d'une part par des systèmes techniques à grande échelle, d'autre part par une fiabilité très poussée. Compte tenu de ces aspects particuliers, certaines interactions importantes entre la normalisation et les réseaux électriques sont mises en évidence et discutées.

Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie ist einerseits durch grosse technische Systeme gekennzeichnet, anderseits durch hohe Zuverlässigkeit. Unter diesem Gesichtspunkt werden einige wichtige Wechselwirkungen zwischen der Normung und den Elektrizitätsnetzen aufgezeigt und besprochen.

1. Le réseau électrique en tant que système

L'électricité a, au début de notre siècle, mis en évidence la notion de systèmes techniques à grande échelle. L'interconnexion d'installations d'énergie électrique en réseaux d'une part, le télégraphe et le téléphone d'autre part, sont le point de départ des premiers grands systèmes techniques. Les puissances mises en jeu, la rapidité des phénomènes et l'extension géographique atteignirent subitement des ordres de grandeur impensables quelques décennies plus tôt. Le réseau électrique s'est imposé comme archétype des systèmes à réaction instantanée, donc en temps réel, comme le documente l'utilisation répandue du terme anglais «on line». Il n'est donc pas étonnant que le matériel électrique dans les réseaux d'énergie, les générateurs, les transformateurs, les lignes, l'appareillage et les moteurs, ait été considéré très tôt dans le contexte de son système. Cette notion a conduit à un essor de la normalisation suivant de très près le développement de la technique elle-même. De même, on peut constater que l'extension géographique des réseaux au delà des frontières nationales a donné naissance, dès 1920, à l'idée d'une harmonisation des normes nationales et, depuis 1950, à l'utilisation intense de normes internationales.

Le matériel électrique faisant partie du réseaux de la production, du transport et de la distribution, c'est-à-dire le matériel haute tension, doit avoir un degré de fiabilité largement supérieur à un appareil de consommation chez l'usager. Pour le premier, la fiabilité de l'ensemble du système en dépend. Tous les efforts de normalisation sont donc caractérisés par cet aspect de «système». La performance raisonnablement satisfaisante d'un réseau électrique est une condition irrévocablement liée à son existence même. Les intérets des consommateurs d'énergie, des exploitants de réseau et des fabricants de matériel sont identiques sur ce point fondamental. La garantie d'une haute disponibilité de fourniture d'énergie est, dans la situation énergétique présente et par rapport à son prix de revient, primordiale pour le consommateur.

Le caractère de monopole de la fourniture d'énergie électrique limite les possibilités de pression des consommateurs sur le plan économique. Dans l'ensemble, on peut pourtant constater que la compétition entre réseaux et l'internationalisation du marché des composantes a imposé des solutions techniques favorables. La normalisation des réseaux haute tension est soutenue en commun par les exploitants de réseaux et les fabricants de matériel. L'objectif principal, la fiabilité du réseau, est identique, prémisse particulièrement favorable. Aussi bien sous l'aspect «système» que sous l'aspect économique, la necessité de la priorité internationale est reconnue. C'est sur le plan géographique que se dressent les obstacles sérieux aux objectifs de l'organisme faîtier international, la CEI. Dans la technique de l'énergie électrique il ne s'agit pas d'arbitrer une différence entre producteur et consommateur mais entre trois traditions techniques historiquement différentes et attachées respectivement aux zones européenne, britannique et américaine.

Partant de l'objectif de la fiabilité de l'ensemble des systèmes de production et de distribution d'énergie, il est utile de se faire une idée plus précise des buts spécifiques visés. Ceux-ci peuvent être groupés de la façon suivante:

- sécurité de fonctionnement en régime normal et perturbé
- sécurité des personnes, agents opérateurs et utilisateurs
- compatibilité et interchangeabilité des composantes
- économie par réduction du nombre de classes de performances

Si ces objectifs ne sont, en eux-mêmes, pas particuliers au domaine de l'énergie, il convient de se rendre compte de leur interdépendance. En effet, dans un système, le problème de la sécurité des personnes, à titre d'exemple, est étroitement lié à celui de la sécurité de fonctionnement. Chaque perturbation technique entraîne une action du personnel sur un système complexe et puissant en service, donc sous tension, de là une augmentation statistique directe des risques de personnes. Cette caractéristique doit être soulignée: la normalisation dans le domaine de l'énergie exige une intégration des objectifs cités dans des normes combinées. Rien ne serait plus néfaste que de créer des normes séparant la sécurité soit du fonctionnement soit de la compatibilité soit de la définition des classes de performances.

2. Les moyens de production d'électricité

Jusqu'aux développements récents dans le domaine des centrales nucléaires, l'emprise de la normalisation sur les éléments de base des centrales productrices d'énergie peut être qualifiée de faible. Les niveaux de puissance des générateurs sont étroitement liés aux conditions de la source d'énergie primaire, hydraulique ou thermique, et également aux besoins de consommation régionale. L'évolution continuelle de la technique a exigé une recherche de l'économie non pas par la standardisation des centrales et de leurs organes principaux mais par l'augmentation des performances absolues et relatives. Malgré cela, il serait faux de sousestimer l'impact de la normalisation dans la production. La technique est, dans une large mesure, conditionnée par les normes concernant les matériaux, les cycles et méthodes d'essais, les auxiliaires de contrôle ainsi que la protection. Les notions nouvelles concernant l'environnement ont, bien entendu, également influencé fortement les travaux de normalisation.

Une situation toute nouvelle dont la portée et les aboutissements ne peuvent encore être entièrement assimilés existe pour les centrales nucléaires. Elle découle du besoin moral ou politique d'éxigences de sécurité des installations nucléaires de plusieurs ordres de grandeur plus strictes que pour toutes autres réalisations techniques. Ceci se traduit par des normes, mais bien davantage encore par des lois et decrets nationaux, par des accords internationaux et aussi par une activité d'agences intergouvernementales. Les procédures nécessaires à l'obtention des licences d'exploitation des centrales exigent un travail d'ingénieur comparable à celui du développement de ces mêmes centrales. La construction «sur mesure» de centrales nucléaires est en passe de devenir inabordable, économiquement et par manque d'ingénieurs qualifiés. L'avenir appartiendra à des centrales de série sur base nationale ou de préférence même multinationale. De très graves problèmes seront posés puisqu'il s'agit de définir les responsabilités relatives d'organismes internationaux divers et d'une multitude de gouvernements. Cette tâche a malheureusement très vite dépassée le cadre des organes de normalisation technique. D'autre part la nécessité vitale de disposer de nouvelles centrales électriques favorisera des solutions pragmatiques. L'expérience favorable de l'industrie électrique avec l'organisation CEI conduit à souhaiter une responsabilité très large de cette dernière dans le processus d'intégration internationale des centrales nucléaires.

3. Les niveaux de tension des transports

Les tensions de service des lignes de transport d'énergie électrique sont le paramètre primordial des puissances transitées et des distances entre centres de production et d'utilisation. Dans l'ensemble, la normalisation s'est attaquée avec succès à la définition de niveaux spécifiques et à leur coordination avec les différentes tensions d'éssais. Certes, ici aussi, les réalisations pionnières de niveaux de tension supérieurs ont précédé les normes et ont, de ce fait, avancé par pas successifs relativement petits. Les niveaux aujourd'hui normalisés se présentent très approximativement comme une gamme européenne comprenant 123, 245 et 420 kV et une gamme angloaméricaine comprenant de préférence 72,5, 170, 362 et 525 kV. Les deux gammes se rejoignent au niveau des 765 kV, pour le moment le maximum exploité normalement. L'utilisation conjointe des étages de tensions nominales CEI voisines par exemple 170 et 245 kV, conduit à des réseaux trop complexes et, de ce fait, économiquement moins viables.

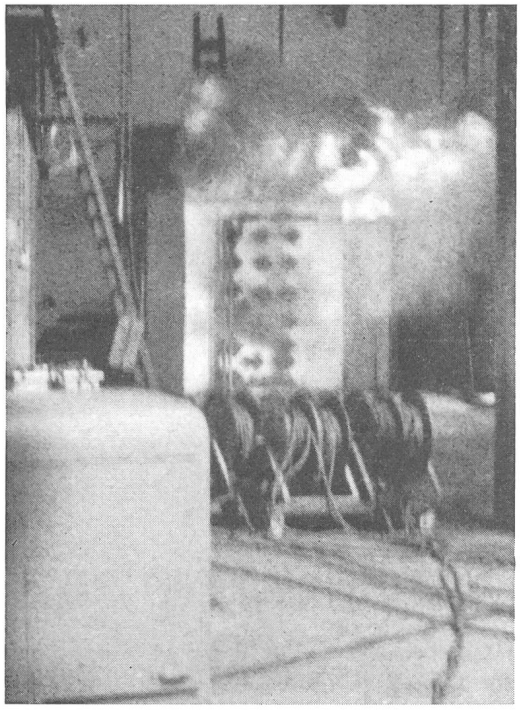

Fig. 1 **Avec l'augmentation des puissances des réseaux, les arcs de défauts (30 kA; 1 s en image) deviennent un risque dont la normalisation devra s'occuper de plus en plus**

Les problèmes actuels des transports d'énergie sont d'une part la définition d'un nouveau niveau dans une zone autour de 1200 kV. Cette tension représente sans doute une sorte d'aboutissement pour les systèmes classiques à courant alternatif isolés dans l'air en raison des caractéristiques défavorables de cet isolant bon marché à des niveaux encore plus élevés. D'autre part, la normalisation devra s'occuper des transports en courant continu et en régime cryogénique.

4. La systématisation de la technique de distribution

Lorsqu'il s'agit de produire ou de transporter l'énergie, les blocs de puissance se situent vers 1000 MVA; les équipements correspondants profitent de la normalisation en ce qui concerne les frais de développement. Dans la distribution, il s'agit de subdiviser ces puissances en unités de 100 MVA, puis de 10 MVA pour en arriver jusqu'à 1 kVA chez le consommateur final. D'une part, les données de ce problème de distribution sont très complexes et permettraient un choix presque infini de niveaux de tension. D'autre part, c'est dans le domaine des équipements de distribution tels que transformateurs, disjoncteurs et câbles qu'une normalisation permet des économies importantes non seulement dans le développement mais aussi dans la fabrication grâce à la série. Si l'on se demande à quel point les normes ont réussi à jouer ce rôle économique de première importance, la réponse n'est pas entièrement satisfaisante. Du côté positif on peut constater que les normes CEI, dans ce domaine, sont particulièrement complètes et modernes. Du côté négatif, on est forcé de constater que leur acceptation au niveau des normes nationales n'est pas suffisante. Beaucoup de pays ont accepté en principe les normes CEI, mais utilisent des normes nationales soit anciennes et donc fondamentalement différentes soit adaptées seulement partiellement. Dans ce dernier cas, ce sont souvent les tensions et cycles d'essais, donc des éléments décisifs pour le dimensionnement des appareils et circuits, qui ne correspondent pas aux valeurs CEI. Il faut reconnaître que, du fait du caractère «système» de la distribution et des larges sommes investies, un changement du niveau d'isolement, par exemple, entraîne, dans une première phase, des complications non négligeables. C'est seulement après plusieurs années que les bénéfices apparaissent. Les forces qui s'opposent dans ces cas à l'acceptation des normes CEI seront aussi bien du côté des exploitants que des fabricants de matériel: les premiers parce que les frais de leur individualisme sont portés par le consommateur impuissant, les derniers raisonnant à court terme parce qu'ils bénéficient d'un marché moins concurrentiel.

La distribution est un des domaines ou les efforts de normalisation doivent maintenant viser d'une manière décisive l'acceptation généralisée dans tous les pays. Dans les pays en voie de développement, la réduction des charges d'infrastructure qui en découle est particulièrement souhaitable.

5. Le fonctionnement du réseau perturbé

Les aspects particuliers de la fiabilité des systèmes ont déjà été évoqués. Du fait de la mise en série d'un grand nombre de composantes la fiabilité individuelle doit être très poussée. D'autre part le système offre également la possibilité de redondance par branches parallèles qui permet, à l'opposé, une fiabilité de système plus grande que celle de la composante. Les réseaux électriques font très largement usage de cette technique. La normalisation s'est, à partir de 1920 environ, attaquée aux perturbations et à leur élimination en suivant pas à pas les recherches dans ce domaine. Des études approfondies et précises des phénomènes de défaut ont pu être entreprises à partir de 1950 avec l'avènement d'une instrumentation adéquate de mesure et d'enregistrement des phénomènes transitoires dans le domaine de la microseconde. Successivement, les sollicitations résultant de court-circuits aux bornes d'un jeux de barres, sur une ligne, aux bornes de transformateurs et en opposition de phase ont été analysées. De même, les manœuvres sur lignes ou câbles à vide, sur transformateurs à vide et sur inductance shunt sont aujourd'hui connues. Le contact étroit entre les spécialistes de ces questions grâce à des organismes internationaux comme la CIGRE[1]) a permis aux commissions spécialisées de la CEI de mettre en place toute une série de normes. Elles sont, par exemple, l'unique moyen reconnu de prouver en performance réelle la sécurité des disjoncteurs. En ce qui concerne les problèmes des perturbations atmosphériques, des surtensions et des court-circuits qui doivent être maîtrisés par les disjoncteurs et parafoudres, l'avance technique des normes CEI est certaine et constitue un atout dans le processus de généralisation internationale déjà mentionné. Il est important de maintenir le contact avec la recherche dans le domaine des régimes perturbés; en effet, l'évolution des technologies des disjoncteurs vers le vide et vers l'hexafluorure de souffre et des parafoudres vers l'oxyde de zinc, présente des aspects nouveaux. Le confinement des effets mécaniques et thermiques des fautes sur les circuits à forte intensité pose des problèmes de sécurité et sera un sujet d'actualité croissante.

[1]) Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques.

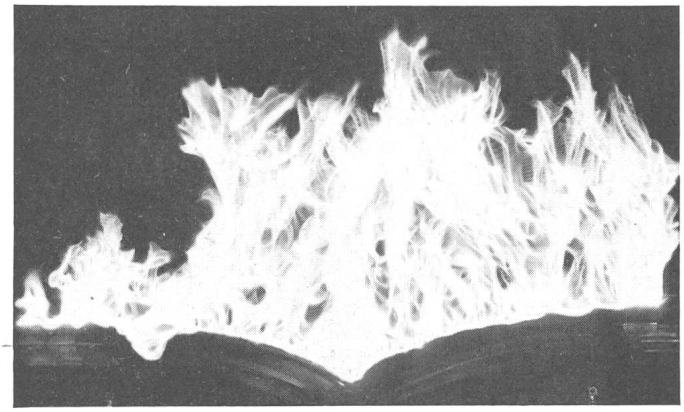

Fig. 2 Les prescriptions pour le fonctionnement normal des appareils sont de plus en plus complétées par des exigences de sécurité en fonctionnement anormal
(en image l'arc engendré par la coupure d'un transformateur sur les deux bras rotatifs d'un sectionneur, durée 500 ms)

6. La digitalisation des mesures

Le tour d'horizon des aspects importants de la normalisation dans le domaine des réseaux d'énergie électrique pourrait englober encore de nombreux problèmes intéressants. Celui de la digitalisation va être évoqué en lieu et place parce qu'il occupera les spécialistes dans une perspective plus lointaine. Le domaine de la mesure, de la protection et du contrôle des réseaux formait, jusqu'en 1950, une branche technique spécialisée sur base electro-mécanique et analogue. Les progrès de l'électronique ont, ici aussi, inauguré une ère d'interdisciplinarité en plein essor. L'ingénieur de réseau aussi bien que le spécialiste chez le fabricant se voient faire usage de techniques et donc aussi de normes crées à des fins souvent très différentes. Les éxigences d'optimisation dans l'utilisation de l'énergie permettent économiquement des solutions sophistiquées. Suivant la tendance technologique dans beaucoup de domaines, la digitalisation, timidement amorcée par l'affichage numérique des courants et tensions, s'étendra en direction des capteurs. Finalement on verra sans doute une digitalisation directe, ou presque directe, de ces grandeurs. La définition de cette digitalisation, pour le comptage d'une part, pour la protection d'autre part, nous préoccupera. La solution précisée sous forme de normes sera-t-elle apportée par les informaticiens ou par les spécialistes de la mesure et de la protection des réseaux?

7. Le transfert de technologie

Au premier abord, il paraît surprenant d'inclure le sujet de transfert de technologie dans des considérations sur la normalisation. Le contact avec la pratique de l'implantation de réseau et d'équipement dans des pays en voie de développement permet de se rendre compte que les normes internationales remplissent très souvent un rôle d'enseignement technologique. Contrairement aux pays industrialisés où un savoir-faire important est disponible du fait de la tradition des réseaux et des constructeurs locaux de matériel, les pays s'engageant dans l'industrialisation se voient confrontés à des recommandations diversifiées jusqu'à la contradiction. La création d'un réseau électrique étant un point de départ indispensable de l'industrialisation, les normes CEI permettent à ces pays de s'orienter à un repère objectif. Les travaux de ces dernières années ont conduit, et ceci particulièrement pour les domaines «transmission et distribution», à des normes englobant les caractéristiques des réseaux et du matériel d'une manière très complète. Une fois fixés les choix initiaux concernant les niveaux de puissance et de tension, les normes définissent, dans une large mesure, les spécifications indispensables et constituent, de ce fait, un véhicule de transfert technologique de grande valeur.

Il est évident que les intérêts techniques et économiques des pays en voie de développement sont mieux sauvegardés par l'utilisation de normes internationales que par le recours à des normes nationales étrangères, comme ce fut historiquement le cas. Le travail de normalisation doit être fait en conscience de cette responsabilité nouvelle. Dans l'avenir, il sera encore plus important d'incorporer, sans délai les notions techniques nouvelles dans les normes, tout en évitant le perfectionisme.

Adresse de l'auteur
Dr.h.c. *Adrian W. Roth,* Wasserfluhweg 7, 5000 Aarau.