Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 63 (1972)

Heft: 2

Artikel: Problèmes actuels dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique en relation avec le moyens modernes de calcul

Autor: Morf, J.-J. / Germond, A. / Kaloussis, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915653

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

Problèmes actuels dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique en relation avec les moyens modernes de calcul [1])

Par *J.-J. Morf, A. Germond* et *E. Kaloussis,* Lausanne

621.315.1:621.316.1:681.31

Le présent article, présenté à l'Eurocon 71, a pour but de faire le point dans le domaine de l'utilisation des ordinateurs pour le développement et l'exploitation des réseaux électriques.

Der vorliegende Artikel wurde an der Eurocon 71-Tagung vorgetragen. Er hat zum Zweck, die Verwendung von Computern für die Entwicklung und den Betrieb der elektrischen Netze zu erläutern.

1. Introduction

La demande d'énergie électrique croît en moyenne de 5 à 7 % par année pour les pays d'Europe occidentale, ce qui signifie que les besoins en énergie électrique doublent tous les 10 à 14 ans. Pour faire face à cet accroissement de la demande, les réseaux de transport et de distribution d'énergie doivent être complétés et modifiés continuellement, ce qui pose aux entreprises électriques un certain nombre de problèmes nouveaux dont l'importance va de pair avec cet accroissement.

1.1 Problèmes de développement

L'augmentation rapide des investissements demandés pour la construction des nouvelles lignes et installations (transport et distribution), compte tenu de l'augmentation du coût de la construction et des exigences grandissantes de la protection de l'environnement nécessite des études plus nombreuses et plus poussées qu'autrefois.

D'autre part, les nouvelles lignes vont s'insérer dans un réseau complexe d'interconnexions, d'où un nombre important de paramètres à prendre en considération pour le futur fonctionnement optimum (tant du point de vue économique que du point de vue sécurité de l'ensemble) en tenant compte non seulement du réseau en question, mais aussi des réseaux voisins.

Pour ces raisons, avant de décider des futurs développements, les responsables des réseaux doivent disposer d'études statistiques, techniques et économiques poussées, qui font intervenir un très grand nombre d'informations et de paramètres.

Dans ce domaine de planification à long terme et d'études complexes techniques et économiques, les ordinateurs actuels caractérisés par leur capacité de mémoire étendue et leur vitesse de calcul très grande deviennent un outil de travail indispensable.

1.2 Problèmes d'exploitation

Dans le domaine de l'exploitation, les hommes qui doivent «piloter» les réseaux se trouvent devant des difficultés accrues. D'une part la complexité des réseaux croît et le nombre de paramètres qui influencent la conduite «économique» de ces réseaux croît avec l'interconnexion. D'autre part, l'usager, étant de plus en plus tributaire de la permanence de son alimentation en énergie électrique, exige une qualité de service accrue. Ici apparaît l'utilisation de l'ordinateur «on-line» en première étape comme aide à l'opérateur et peut-être plus tard pour le pilotage automatique des réseaux.

Dans ce domaine l'ordinateur peut être employé:

a) pour la collecte, la distribution et la mémorisation continue des données du réseau (courants, tensions, états des disjoncteurs, etc.).

b) pour la visualisation souple de l'état réel du réseau en fournissant seulement les données nécessaires à chaque prise de décision.

c) pour la présentation de renseignements précis et chronologiques après un incident.

d) pour évaluer le «degré de sécurité» du réseau en prévoyant les conséquences de certains incidents ou de certaines manœuvres.

e) pour fournir des renseignements et des indications pour le rétablissement des fournitures d'énergie après un incident.

2. Principe d'utilisation des ordinateurs

2.1 Utilisation des ordinateurs «off-line»

Reprenons plus en détail les principaux problèmes traités par ordinateurs fonctionnant «off-line» [1] [2]).

2.1.1 Calcul de répartition des puissances («load-flow»)

Dans un réseau fonctionnant en régime permanent, on impose en chaque nœud la puissance active et réactive ou la puissance active et l'amplitude de la tension (sauf en un nœud bilan où la tension est imposée en amplitude et en phase): on calcule les puissances et les tensions complexes inconnues, ainsi que les puissances transitant dans les lignes et dans les transformateurs. Pour fixer les ordres de grandeurs on peut citer un programme de load-flow pour 400 nœuds et 1000 lignes avec sortie optionnelle sur plotter, développé à la chaire d'installations électriques de l'EPFL.

La méthode de Newton-Raphson, actuellement considérée comme une des meilleures pour résoudre ce problème, consiste à linéariser l'expression des accroissements des puissances actives et réactives en fonction des accroissements des tensions et des phases pour obtenir une solution approchée après quelques itérations.

On est ainsi amené à résoudre plusieurs fois un système linéaire qui peut comporter plusieurs centaines d'inconnues suivant l'étendue du réseau. Aussi l'utilisation d'un ordinateur est-elle indispensable pour résoudre ce problème étant donné la grande capacité de mémoire et la vitesse exigées. Des études menées par Tinney et ses collaborateurs [2] ont porté sur des

[1]) Conférence, donnée à l'Eurocon 71, 18-22 octobre 1971, à Lausanne.

[2]) Voir bibliographie à la fin de l'article.

méthodes optimum de résolution de ce genre de système linéaire par l'élimination ordonnée des inconnues.

Pour répondre aux exigences des exploitants, la méthode de calcul peut tenir compte d'autres éléments, par exemple de la variation possible du rapport de transformation de certains transformateurs à gradins, des limites de variation de tension en certains nœuds et d'échanges de puissance imposés entre certaines zones.

2.1.2 Calcul de courts-circuits

Ces calculs permettent de choisir correctement les disjoncteurs et les protections sélectives.

Dans le cas le plus général, on impose successivement en chaque nœud des courts-circuits symétriques et dissymétriques et l'on calcule les courants et les tensions qui en résultent dans tout le réseau. Si le réseau est symétrique (mais pas nécessairement le défaut) les calculs sont simplifiés par l'emploi des composantes symétriques. La plus grande partie du travail consiste à élaborer la matrice des impédances aux nœuds. Dans ces calculs, on suppose que les machines tournantes peuvent être représentées par une tension synchrone constante derrière une réactance (transitoire ou subtransitoire suivant le but de l'étude).

2.1.3 Calcul de stabilité dynamique

Il s'agit de calculer le comportement dynamique d'un réseau à la suite d'un incident, notamment de déterminer si les machines tournantes restent au synchronisme. Jusqu'à présent, ce problème a été résolu en intégrant par une méthode approchée un modèle constitué d'équations différentielles (en plus ou moins grand nombre suivant les simplifications admises pour représenter les machines tournantes et leurs régulateurs) associées aux équations algébriques représentant le réseau. Remarquons en passant qu'un «load-flow» est nécessaire pour déterminer les conditions initiales de ce problème. Le temps de calcul est cependant important si l'on veut considérer un grand nombre de machines. Des études récentes cherchent à utiliser la méthode de Liapounov pour résoudre ce problème, ce qui évite de longs calculs d'intégration numérique [3].

2.1.4 Problèmes d'optimisation

Il s'agit de minimiser une «fonction de coût», dépendant de variables soumises à des contraintes représentées par des relations d'égalité ou d'inégalité, linéaires ou non linéaires. Des méthodes itératives permettent de résoudre ces problèmes sur ordinateur. Le choix des hypothèses conduisant à la définition de la fonction de coût et aux contraintes est déterminant pour l'utilisation pratique.

Citons encore parmi d'autres applications, le calcul de la propagation des surtensions le long des lignes, les problèmes de prédiction des charges, le calcul des programmes d'échanges d'énergie entre sociétés, les problèmes administratifs tels que la facturation et enfin l'exploitation de données recueillies lors d'incidents pour des études de fiabilité [4].

Les applications énumérées ci-dessus ont pour but d'aider l'homme à concevoir l'extension ou l'amélioration des réseaux existants par une meilleure connaissance de tous les facteurs pouvant entrer en considération. Certains de ces facteurs pourront être contradictoires, comme par exemple la minimisation des pertes et la réduction des puissances de court-circuit. Ces applications «off-line» sont destinées à la planification à long et moyen terme.

2.2 Utilisation de l'ordinateur «on-line»

Dans la surveillance et la commande de réseaux de transport et de distribution, l'homme responsable du réseau reçoit un nombre de plus en plus grand d'informations. Pour lui permettre d'exercer une surveillance efficace et de prendre, au besoin, des décisions rapides, il est nécessaire de trier ces informations et de lui fournir seulement celles qui lui sont indispensables. On utilise alors l'ordinateur «on-line».

Dans les centres de contrôle, la tendance actuelle consiste à recueillir toutes les informations provenant du réseau dans la mémoire d'un calculateur de processus. Ces informations sont: des renseignements sur l'état du réseau, tels que les positions des sectionneurs et des disjoncteurs, certaines mesures de puissances actives et réactives et certaines valeurs efficaces de tensions. Ces données sont recueillies à diverses cadences comprises entre une et mille fois par heure. Elles peuvent être transmises par câble, par HF sur les lignes ou enfin par faisceau hertzien. Un interface est nécessaire à l'entrée du calculateur.

Seules quelques grandeurs considérées comme les plus importantes sont présentées à l'opérateur. Celui-ci a la possibilité de faire apparaître sur demande d'autres grandeurs. Cette information peut être affichée numériquement ou présentée sur des écrans cathodiques [6] ou des télétypes. La mémoire du calculateur et son horloge interne permettent de restituer dans l'ordre chronologique les informations parvenues avant un incident. Cette étape est réalisée dans plusieurs centres de contrôle [5] par exemple à Londres. Elle est en cours de réalisation dans d'autres centres.

Une étape ultérieure est l'aide à l'opérateur dans le choix d'une configuration du réseau présentant la plus grande sécurité. A partir de l'état du réseau à un instant donné on peut imaginer de simuler un certain nombre d'incidents pouvant survenir et pour chacun de ces incidents, les conséquences des diverses mesures que l'opérateur pourrait être amené à prendre, de façon à lui suggérer une politique à suivre. Pour que cette simulation soit efficace, il faudra avoir à disposition des programmes de «load-flow» très rapides et il faudra pouvoir estimer l'état réel du réseau à partir des informations recueillies, entachées d'erreurs.

L'estimation d'état consiste à déterminer l'état le plus probable d'un système à partir du modèle mathématique du système et des mesures à disposition, qui sont toujours entachées d'erreurs et éventuellement surabondantes. Par exemple on peut calculer par un «load-flow» les tensions à partir des puissances actives et réactives, comparer ces tensions calculées aux valeurs mesurées et transmises. En cas de désaccord, il faut déterminer quelle valeur doit être considérée comme la plus probable. Des algorithmes d'estimation d'état ont été développés récemment et utilisés dans les techniques spatiales. Des applications au domaine des réseaux de transport et de distribution sont en cours actuellement [7; 8] et ont été expérimentées sur un modèle de 400 nœuds [9].

Lorsque ce problème sera résolu pratiquement, on pourra progresser dans le contrôle digital direct fréquence-puissance et dans le dispatching économique «on-line».

Pour terminer ce tour d'horizon des problèmes actuels, nous citerons l'emploi possible de calculateurs «on-line» en boucle fermée pour remplacer les fonctions attribuées aux

relais différentiels ou aux relais de protection sélective [10]. Dans ce cas, il est nécessaire de mesurer un certain nombre de variables toutes les millisecondes environ, ce qui crée des difficultés.

Les tâches examinées ci-dessus pourront être déléguées à plusieurs ordinateurs. Il faudra alors examiner la coordination et la hiérarchie de ce «réseau interconnecté» d'ordinateurs.

3. Conclusions

Nous avons examiné différentes applications possibles des ordinateurs dans le domaine du transport et de la distribution de l'énergie électrique. Ces applications soulèvent des problèmes importants et complexes qu'il convient d'évoquer pour conclure.

3.1 Rentabilité des installations

Il faut être conscient qu'il existe peu de problèmes dont la solution est impérative et pour lesquels le prix n'est pas un facteur déterminant. Dans la plupart des cas l'installation d'un ordinateur est un investissement qui doit être rentabilisé. Cette étude de la rentabilité de l'investissement est complexe et difficile: si pour certaines utilisations de l'ordinateur nous pouvons chiffrer les gains espérés (par exemple gains espérés en francs par diminution des pertes en réglant la circulation du réactif) pour d'autres utilisations cette estimation est très ardue (par exemple estimation des gains futurs en francs obtenus par l'amélioration de la sécurité de service).

Quelques études ont été faites pour déterminer le coût des défaillances éventuelles du système de production [11]. Il est apparu notamment qu'un optimum existe au-delà duquel il coûterait trop d'augmenter la sécurité par rapport au gain qu'en retireraient les consommateurs.

Des études similaires sont en cours pour déterminer le coût des défaillances du système de transport d'énergie. Mais actuellement nous sommes encore loin de la solution satisfaisante des problèmes de rentabilité de l'investissement. Par exemple il est toujours difficile de chiffrer les conséquences économiques d'une baisse ou d'une hausse exagérée de la tension ou de la fréquence.

3.2 Le coût de l'information

Pour un réseau de transport et de distribution d'énergie entièrement conduit par des ordinateurs, le coût de la collecte de tous les types d'informations nécessaires (dont certaines doivent être connues chaque ms) est très grand. Des études pour chiffrer exactement ces coûts et des travaux pour les abaisser contribueront au développement des applications des ordinateurs.

3.3 La validité de l'information

Vu que l'ensemble des données reçues est nécessairement entaché d'erreurs et dans certains cas redondant, on devra développer des méthodes pour éliminer les informations fausses et pour les remplacer par des données compatibles; ceci en un temps suffisamment court pour que l'ordinateur puisse encore informer, voire agir en temps utile.

La tendance actuelle en ce qui concerne l'utilisation de l'ordinateur dans la conduite des réseaux consiste à donner à l'ordinateur la tâche d'élaborer les données et de proposer des solutions qu'il présente au responsable du réseau. L'homme reste maître des décisions qu'il doit prendre.

Bibliographie

[1] *G. W. Stagg* and *A. H. El-Abiad:* Computer methods in power system analysis. McGraw Hill book company, New York.

[2] *W. F. Tinney* and *C. E. Hart:* Power flow solution by Newton's method. IEEE transactions, vol. PAS-86, no 11, november 1967.

[3] *G. A. Lüders:* Transient stability of multimachine power systems via the direct method of Liapounov. IEEE transactions, vol. PAS-90, no 1, january/february 1971.

[4] *A. Anderloni* et *A. Bossi:* Appareil automatique pour l'étude statistique des perturbations sur les réseaux de distribution à moyenne tension. A. I. M. Liège — CIRED — mai 1971, rapport no 31.

[5] *H. E. Pulsford* and *P. F. Cunning:* Power-system control — the CEGB's plans. Electronics and power, july 1967.

[6] *C. M. Cundall:* Cathode-ray-tube display systems. Electronics and power, march 1968.

[7] *F. C. Schweppe, J. Wildes, D. B. Rom:* Power system static-state estimation. Parts I, II, III. IEEE transactions, vol PAS-89, no 1, january 1970.

[8] *R. E. Larson, W. F. Tinney* and *J. Peschon:* State estimation in power systems. Part I: theory and feasibility. IEEE transactions, vol. PAS-89, no 3, march 1970.

[9] *R. E. Larson, W. F. Tinney, L. P. Hadju* and *D. S. Piercy:* Part II: implementation and applications. IEEE transactions, vol. PAS-89, no 3, march 1970.

[10] *A. Kolar:* Verwendung von Computern anstelle von Schutzeinrichtungen. Bulletin ASE 61(1970) no 10.

[11] 14e congrès de l'union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique (UNIPEDE). Rapport du groupe de travail sur la qualité du service à la production, par M. Boiteux. Bulletins ASE 60, (1969) nos 15, 18 et 20.

Adresse des auteurs:
J.-J. Morf, A. Germond, E. Kaloussis, Département d'Electricité EPFL, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.