

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: 78 (1987)

Heft: 23

Artikel: Evaluation rapide de la stabilité transitoire des réseaux d'énergie électrique

Autor: Garcia, G. / Fantin, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903941>

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: 24.02.2026

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

Evaluation rapide de la stabilité transitoire des réseaux d'énergie électrique

G. Garcia et J. Fantin

Cet article présente l'étude de la sûreté de fonctionnement des réseaux d'énergie électrique par reconnaissance des formes. Après avoir défini le modèle mathématique du réseau, les grandes lignes de la méthode sont exposées. A partir de considérations physiques, on déduit un vecteur forme riche en information. La méthode est appliquée à un réseau composé de six générateurs pour un court-circuit triphasé. Les probabilités d'erreur de discrimination obtenues laissent entrevoir la possibilité d'une évaluation en ligne.

Die Funktionssicherheit von elektrischen Verteilnetzen wird mittels Mustererkennung untersucht. Nachdem das mathematische Modell des Netzes definiert ist, werden die Grundsätze des Verfahrens beschrieben. Ausgehend von physikalischen Betrachtungen wird ein Formvektor mit reichhaltiger Information abgeleitet. Das Verfahren wird auf ein Netz mit sechs Generatoren für einen dreiphasigen Kurzschluss angewandt. Die erhaltenen Fehlerwahrscheinlichkeiten hinsichtlich der Diskrimination lassen die Möglichkeit einer On-line-Auswertung erkennen.

Ce travail a été réalisé avec le support d'Electricité de France (EDF), Direction Etudes et Recherches Clamart.

Adresse des auteurs

G. Garcia et J. Fantin, Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des systèmes, 7, avenue du Colonel-Roche, F-31077 Toulouse Cedex.

1. Introduction

Les méthodes d'étude de la sûreté de fonctionnement des réseaux d'énergie électrique connaissent depuis quelques années un essor considérable, lié au développement des calculateurs numériques. L'intégration numérique est une méthode très précise et c'est pourquoi, elle est encore très utilisée pour les études de stabilité. Son inconvénient majeur est son temps de calcul prohibitif dès que le nombre de machines devient important.

Beaucoup d'efforts ont été faits pour trouver des méthodes qui, tout en restant précises soient plus rapides que l'intégration numérique. En 1966, El Abiad [1] et Gless [2] proposèrent l'application du deuxième théorème de Lyapunov. Cette méthode basée sur la construction d'une fonction scalaire (fonction de Lyapunov) permet d'estimer le temps critique d'élimination de la perturbation, paramètre qui peut être utilisé directement en ligne. L'inconvénient majeur réside dans le fait que, d'une part, il n'existe pas de procédure systématique de construction de la fonction de Lyapunov, d'autre part que les résultats sont très conservatifs. Bien que de nombreux travaux aient été entrepris pour pallier ce problème [3], il n'a été que partiellement résolu et la méthode reste conservatrice.

Une autre méthode a vu le jour autour des années 1970 [4], utilisant les techniques de la reconnaissance des formes. Elle est basée sur l'étude hors ligne du comportement du réseau, pour un grand nombre d'états de charge et pour une perturbation donnée. On calcule alors une fonction de décision utilisée en ligne pour connaître la nature de l'état actuel du réseau. De la même manière que pour la méthode de Lyapunov, on dispose alors d'un moyen utilisable directement en ligne.

Le but de cet article est de présenter l'étude de la sûreté de fonctionnement des réseaux d'énergie électrique par reconnaissance des formes. Nous présentons dans une première partie le modèle mathématique du réseau dit «modèle du centre d'angle». Cette modélisation est adoptée dans beaucoup de travaux concernant l'étude de la stabilité transitoire. La deuxième partie donne les grandes lignes de la méthode. Nous précisons par ailleurs ses avantages et ses inconvénients. Chacune des étapes importantes est reprise avec un peu plus de détails dans le troisième paragraphe.

Enfin nous appliquerons la méthode à un réseau composé de six générateurs et de trente deux lignes avant de conclure.

2. Modèle du réseau

Le modèle du réseau ainsi que les hypothèses pour l'obtenir sont détaillés dans [3]. On a

$$M_i \dot{\omega}_i = P_{mi} - P_{ei} \quad (1)$$

$$\dot{\delta}_i = \omega_i \quad i = 1, \dots, N$$

avec

$$P_{ei} = \sum_{j=1, j \neq i}^N [C_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) + D_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] + E_i^2 C_{ii}$$

$$C_{ij} = E_i E_j B_{ij}, \quad D_{ij} = E_i E_j G_{ij}$$

M_i constante d'inertie
 δ_i angle rotorique
 ω_i vitesse rotorique
 E_i module de la f.e.m. de la machine $n^0 i$
 E_j module de la f.e.m. de la machine $n^0 j$
 B_{ij} susceptance de transfert entre le nœud $n^0 i$ et $n^0 j$

- G_{ij} conductance de transfert entre le nœud $n^0 i$ et $n^0 j$
 N nombre de générateurs du réseau
 P_{mi} puissance mécanique fournie à la machine $n^0 i$
 P_{ei} puissance électrique débitée par la machine $n^0 i$

Ce modèle impose le choix d'une machine de référence par rapport à laquelle les angles rotoriques sont mesurés. En général, la machine ayant la plus grande inertie est choisie. Mais dans un grand nombre de travaux, la machine de référence est une machine virtuelle (indice T) dont les caractéristiques sont les suivantes:

$$\delta_T = 1/M_T \sum_{i=1}^N M_i \delta_i$$

$$\omega_T = 1/M_T \sum_{i=1}^N M_i \omega_i, \quad M_T = \sum_{i=1}^N M_i$$

Son mouvement est régi par:

$$M_T \dot{\omega}_T = P_T, \quad \dot{\delta}_T = \omega_T \quad (2)$$

$$\text{avec } P_T = \sum_{i=1}^N (P_{mi} - P_{ei})$$

Finalement on obtient pour le réseau:

$$M_i \dot{\omega}_{iT} = P_{mi} - P_{ei} - M_i/M_T P_T \quad (3)$$

$$\dot{\delta}_{iT} = \omega_{iT}, \quad i = 1, \dots, N$$

avec

$$\delta_{iT} = \delta_i - \delta_T, \quad \omega_{iT} = \omega_i - \omega_T$$

En fait, les angles rotoriques sont mesurés par rapport à une machine qui représente le mouvement d'ensemble des machines du réseau. Les angles rotoriques évoluent autour de cette référence.

3. Etude de la sûreté de fonctionnement par reconnaissance des formes

Le but principal de l'application de cette technique est de réduire le temps de calcul en ligne tout en maintenant une précision comparable à celle des méthodes classiques. On est en présence de deux classes: la classe des états sûrs (stables) notée C_s , la classe des états non sûrs (instables) notée C_i .

Le problème consiste à reconnaître la classe d'appartenance de l'état de fonctionnement du réseau à tout instant.

Méthode

La première étape est de déterminer un vecteur de grandeurs liées au fonctionnement du réseau, riches en information sur la stabilité transitoire. Ce vecteur x est le paramètre d'entrée du processus de reconnaissance (vecteur forme).

La méthode se décompose alors en deux phases:

- La phase d'apprentissage traitée hors ligne, permettant de calculer les fonctions discriminantes. Cette phase est exécutée une seule fois pour un défaut donné.
- La phase de discrimination traitée en ligne, permettant de classer l'état actuel du réseau dans une des deux classes. Pour cela, on utilise la fonction discriminante calculée dans la phase d'apprentissage.

Phase d'apprentissage

On réalise les étapes suivantes:

- 1) On fixe un état de fonctionnement normal correspondant à une charge donnée.
- 2) On calcule la puissance active générée par les machines en minimisant un coût de production.
- 3) On fait un calcul de répartition pour connaître tous les paramètres du réseau (angles et vitesses rotoriques etc.).
- 4) On applique la perturbation choisie pendant t_E (t_E : temps d'élimination du défaut).
- 5) On intègre numériquement le modèle (1). On obtient ainsi la nature de l'état fixé en 1).

6) A cet état, on fait correspondre sa nature; soit «S», soit «I» et la valeur du vecteur forme x .

7) Le vecteur forme contient en général deux sortes d'information: une information qui permet de différencier les états sûrs et les états non sûrs, utile pour la discrimination (information discriminante); et une information qu'on peut qualifier de redondante.

Pour réduire le temps de calcul en ligne, on élimine les redondances entre les composantes du vecteur forme. On obtient ainsi un vecteur forme de dimension plus faible. Ceci peut être réalisé par projection de l'espace de représentation sur un sous-espace conservant la quasi-totalité de l'information discriminante (analyse discriminante). On a:

$$y = Tx \quad \text{avec dimension de } y < \text{dimension de } x$$

8) La dernière étape est le calcul de la fonction discriminante. On la note « $D(y)$ ».

On connaît le nombre de classes et dispose d'une information a priori pour classer une forme donnée pendant la phase d'apprentissage. Il s'agit donc d'une méthode de reconnaissance avec apprentissage supervisé, le professeur étant l'intégration numérique.

Phase de discrimination

Cette phase permettant l'évaluation en ligne de la sûreté de fonctionnement du réseau vis-à-vis du défaut choisi, est très rapide. Elle passe par les étapes suivantes:

- 1) Calcul de la valeur du vecteur forme x , soit $x = x_0$ pour l'état actuel du réseau.
- 2) A partir de x , on calcule le vecteur y , soit $y = y_0$ avec $y_0 = T(x_0)$ pour l'état actuel du réseau.
- 3) Enfin, on calcule $D(Y)$ pour $y = y_0$

$$\text{si } D(y) > 0 \quad y \rightarrow C_s$$

$$\text{si } D(y) < 0 \quad y \rightarrow C_i$$

Avantages et inconvénients

- **Rapidité:** La phase en ligne ne demande que quelques multiplications pour déterminer la nature de l'état de fonctionnement du réseau.
- **Précision:** On peut utiliser un modèle aussi complet que nécessaire (équations de Park).

La phase d'apprentissage pouvant prendre en considération un très grand nombre d'états, la fonction discriminante est d'autant plus précise que ce nombre est grand.

- **Temps de calcul:** La quantité de calculs nécessaire dans la phase d'apprentissage est grande. Le temps de calcul hors ligne est donc important.
- **Choix du vecteur forme:** Le choix du vecteur forme est délicat et il ne faut compter que sur l'expérience de l'ingénieur exploitant pour le déterminer.
- **Calcul des fonctions discriminantes:** Il faut recalculer la fonction discriminante pour chaque défaut.

Les grandes lignes de la méthode ayant été présentées, on va reprendre les étapes les plus importantes de la phase d'apprentissage en indiquant les choix retenus et les considérations ayant conduit à les faire.

4. Vecteur forme, analyse discriminante, fonctions discriminantes

4.1 Vecteur forme

Lorsque l'on néglige les conductances de transfert, le modèle du réseau est conservatif. Pendant la phase de défaut, le système acquiert de l'énergie. A l'élimination du défaut, l'énergie restera constante si aucun autre défaut ne vient affecter le système. Il va y avoir un échange entre énergie cinétique et énergie potentielle. Si le réseau est capable de transformer l'énergie cinétique en énergie potentielle, son comportement sera stable. Sinon, il sera instable. Cette remarque est d'ailleurs à la base des méthodes directes [3].

C'est pourquoi le vecteur forme proposé est constitué d'une part de l'énergie transitoire acquise par chaque machine pendant la phase de défaut, d'autre part d'une variable fortement corrélée à l'énergie critique.

Calcul de l'énergie transitoire pour chaque machine

La fonction énergie pour chaque machine est calculée à partir de l'expression

$$\dot{V}_i = (M_i \dot{\omega}_{iT} - P_{mi} + P_{ei} + M_i/M_T P_T) \dot{\delta}_{iT} \quad (4)$$

En remplaçant P_{ei} par l'expression (1) et en intégrant entre $t = 0$ et $t = t_E$, on obtient $V_i(t_E)$.

Les temps d'élimination de la perturbation sont inférieurs à 500 ms. On peut considérer la puissance électrique fournie par les générateurs constante pendant la phase de défaut. On a alors:

$$\delta_{iT} = \left(\frac{P_{mi} - P_{ei}}{2M_i} - \frac{P_T}{2M_T} \right) t^2 + \delta_{i0} \quad (5)$$

En remplaçant dans (4), on obtient l'expression de l'énergie transitoire individuelle:

$$\begin{aligned} V_i(t_E) = & \frac{1}{2} M_i \omega_{iE}^2 - (P_{mi} - E_i^2 G_{ii}) (\delta_{iE} - \delta_{i0}) \\ & + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N C_{ij} \frac{(\delta_{iE} - \delta_{i0})}{(\delta_{iE} - \delta_{jE}) - (\delta_{i0} - \delta_{j0})} \\ & [\cos(\delta_{i0} - \delta_{j0}) - \cos(\delta_{iE} - \delta_{jE})] \\ & + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N D_{ij} \frac{(\delta_{iE} - \delta_{i0})}{(\delta_{iE} - \delta_{jE}) - (\delta_{i0} - \delta_{j0})} \\ & [\sin(\delta_{iE} - \delta_{jE}) - \sin(\delta_{i0} - \delta_{j0})] \\ & + \frac{M_i}{M_T} (\delta_{iE} - \delta_{i0}) P_T \end{aligned} \quad (6)$$

avec $\delta_{i0} = \delta_{iT}(0)$, $\delta_{iE} = \delta_{iT}(t_E)$

Détermination de l'énergie critique

L'énergie critique est une variable globale qui se calcule en intégrant ΣV_i entre $t = 0$, temps d'apparition du défaut, et $t = t_U$, temps au bout duquel le système atteint le point d'équilibre instable post-défaut. Toutefois, on ne peut pas utiliser les approximations précédentes car t_U dépasse généralement la seconde. Pour pallier cet inconvénient, on calculera une variable fortement corrélée à l'énergie critique et qui s'écrit

$$\begin{aligned} V(t_U) = & \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N E_i E_j B_{ij} + \\ & \sum_{i=1}^N E_i^2 G_{ii} - \sum_{i=1}^N P_{mi} \end{aligned} \quad (7)$$

Critère des aires égales

Pour donner la signification physique de cette variable, il est utile de rappeler brièvement le critère des aires égales. Pour cela, on considère une machine reliée à un réseau infini (fig. 1). L'équation de son mouvement est donnée par

$$M \dot{\omega} = P_m - P_e = P_a \quad (8)$$

La machine restera en synchronisme avec le réseau infini si [3]

$$\int_{\delta_0}^{\delta} P_a du = 0 \quad (9)$$

On peut interpréter ce résultat en considérant un court-circuit triphasé suivi du déclenchement de la ligne de défaut. La figure 2 représente les courbes de puissance électrique. L'aire hachurée représente l'intégrale (9). Le critère des aires égales s'applique de la manière suivante:

si aire $A_1 + A_3 <$ aire $A_2 + A_3$
on a stabilité,
si aire $A_1 + A_3 >$ aire $A_2 + A_3$
on a instabilité.

L'aire ($A_1 + A_3$) est proportionnelle à l'énergie transitoire acquise pendant la phase de défaut. L'aire ($A_2 + A_3$) est proportionnelle à l'énergie critique qui est l'énergie cinétique maximale que le réseau peut transformer en énergie potentielle dans la configuration post-défaut. Pour l'évaluer, il faut connaître la valeur de l'angle rotorique au point d'équilibre instable post-défaut, valeur dont la détermination demande un temps de calcul important. C'est pourquoi on considère une variable fortement corrélée qui est (fig. 2):

$$V_u = E_1 E_2 B_{12} + E_1^2 G_{11} - P_m$$

Dans le cas multimachine, en tenant compte des interconnexions, on obtient la variable (7). Le vecteur forme est donné par

$$x = \begin{bmatrix} V_i(t_E), i = 1, \dots, N \\ V(t_U) \end{bmatrix} \quad (10)$$

4.2 Analyse discriminante

L'extraction de l'information discriminante contenue dans le vecteur forme est une étape importante de la méthode. Le but est de trouver une transformation linéaire qui transforme le vecteur forme en un vecteur de dimension plus faible et l'on souhaite que ce nouveau vecteur contienne la quasi-totalité de l'information discriminante.

La méthode utilisée est proposée par *Foley et Sammon* [5]. Elle permet d'extraire les caractères discriminants pour un problème à deux classes. Elle permet notamment de trouver les vecteurs discriminants les meilleurs au sens d'un critère introduit par *Anderson et Bahadur* [6] qui revient à regrouper les

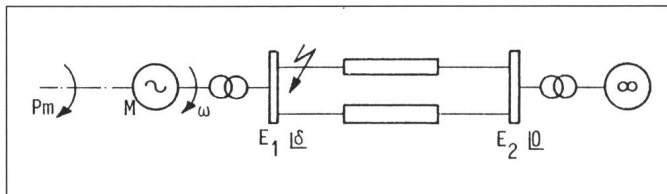
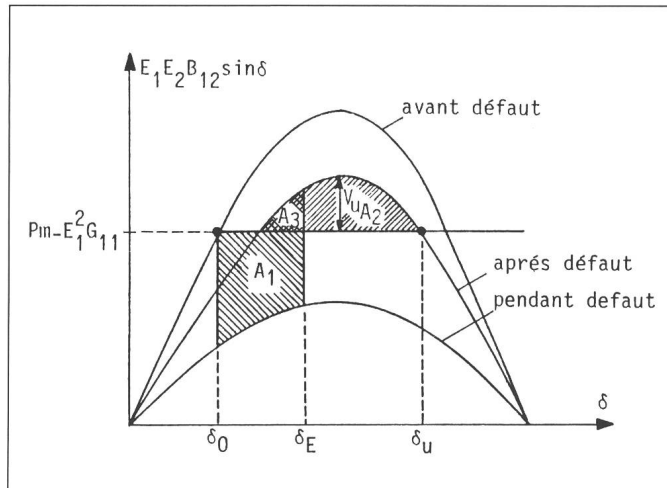


Figure 1
Machine reliée au réseau infini

Figure 2
Critère des aires
égales



classes autour de leurs valeurs moyennes et à les éloigner entre elles dans l'espace réduit. Ce critère s'écrit

$$R(d) = \frac{(d^T \Delta)^2}{d^T E d} \quad (11)$$

avec

$$E = c \Sigma_s + (1 - c) \Sigma_I, \quad 0 \leq c \leq 1$$

$$M_i = 1/N_i \sum x_{ij} \quad i = I, S$$

$$\Delta = M_S - M_I$$

$$\sum_i = \sum_{j=1}^{N_i} (x_{ij} - M_i)(x_{ij} - M_i)^T$$

x_{ij} jème échantillon de la classe C_i
(C_S stable, C_I instable)

N_i nombre d'échantillons de la classe C_i , $i = I, S$

d vecteur de dimension $N + 1$

T symbole de la transposition

L'algorithme pour déterminer les vecteurs discriminants ainsi que les développements théoriques sont donnés dans [5].

4.3 Fonctions discriminantes

Dans le but d'affecter l'état actuel du réseau à une des deux classes, la représentation des états à l'aide d'un vecteur à $(N + 1)$ composantes a été retenu.

Si ce vecteur est bien choisi, on doit retrouver les états appartenant à la même classe dans la même région de l'espace. Chercher une fonction discriminante, revient à chercher une fonction D qui sépare l'espace en deux zones, chacune contenant les états appartenant à la même classe. Il est rare en général de pouvoir trouver une telle fonction. Des états sûrs seront dans la zone des états non sûrs et vice-versa. La fonction D sera alors choisie de telle sorte que leur nombre soit le plus faible possible.

Théorie bayésienne de la décision minimisant la probabilité d'erreur de discrimination

Hypothèses: On connaît les probabilités a priori de chaque classe:

$P(C_S)$ pour la classe des états sûrs

$P(C_I)$ pour la classe des états non sûrs

On connaît les distributions conditionnelles de x , $f(x/C_S)$ et $f(x/C_I)$.

La théorie bayésienne minimisant la probabilité d'erreur affecte x de la manière suivante:

$$\begin{aligned} \text{Si } r(x) = \frac{f(x/C_S)}{f(x/C_I)} &> \frac{P(C_I)}{P(C_S)} \text{ alors } x \rightarrow C_S \\ \text{Si } r(x) = \frac{f(x/C_S)}{f(x/C_I)} &< \frac{P(C_I)}{P(C_S)} \text{ alors } x \rightarrow C_I \end{aligned} \quad (12)$$

Cette règle est donnée dans le cas d'un coût nul de bonne classification, et d'un coût unité de mauvaise classification. $r(x)$ est le rapport de vraisemblance. Dans beaucoup de cas, il est commode de prendre le logarithme népérien de $r(x)$ et la décision devient:

$$\begin{aligned} \text{Si } \ln r(x) &> \ln [P(C_S) / P(C_I)] \text{ alors } x \rightarrow C_S \\ \text{Si } \ln r(x) &< \ln [P(C_S) / P(C_I)] \text{ alors } x \rightarrow C_I \end{aligned} \quad (13)$$

On démontre [7] que cette décision minimise la probabilité d'erreur de discrimination. On peut maintenant construire les deux fonctions discriminantes considérées dans l'étude.

Fonction discriminante quadratique de Bayes

Hypothèses: Les distributions conditionnelles sont des lois normales de moyennes M_S , M_I et de matrices des covariances Σ_S , Σ_I pour la classe C_S et C_I respectivement.

En appliquant (13), on obtient la fonction discriminante de Bayes sous la forme:

$$\begin{aligned} D(y) = & \frac{1}{2} (y - M_S)^T \Sigma_S^{-1} (y - M_S) \\ & - \frac{1}{2} (y - M_I)^T \Sigma_I^{-1} (y - M_I) \\ & + \frac{1}{2} \ln (|\Sigma_S| / |\Sigma_I|) - \ln [P(C_S) / P(C_I)] \end{aligned} \quad (14)$$

avec

$|\Sigma_i|$ déterminant de la matrice de covariance de la classe i

T symbole de la transposition

Dans ces conditions, on a:

si $D(y) > 0$ alors $Y \rightarrow C_S$

si $D(y) < 0$ alors $Y \rightarrow C_I$

Méthode des K voisins les plus proches

L'estimation utilisée dans la relation (13) est donnée par

$$f(y/C_i) = \frac{k_i - 1}{N_i} \frac{1}{A(k_i, N_i, y)} \quad (15)$$

où $A(k_i, N_i, y)$ est le volume contenant les k_i points de C_i ($i = I, S$), les plus proches de y au sens d'une distance d choisie (N_i est l'effectif de la classe C_i). En remplaçant dans (13) et en simplifiant, on obtient:

si $k_I > k_S$ alors $y \rightarrow C_I$

si $k_I < k_S$ alors $y \rightarrow C_S$

5. Application

Nous proposons dans ce paragraphe d'appliquer la méthode au réseau dont la topologie est donnée dans la figure 3. Le défaut simulé est un court-circuit triphasé symétrique. Il est localisé au nœud N12, et est suivi du déclenchement de la ligne L29. Le temps d'élimination de la perturbation est de 0,235 s.

Ensembles d'apprentissage et de test

L'ensemble d'apprentissage est obtenu à partir de la courbe de charge journalière du réseau. La figure 4 montre de quelle manière il a été généré. De plus, pour vérifier l'efficacité des fonctions discriminantes, on a généré un ensemble de test (fig.4). Chacun de ces ensembles est composé de 500 éléments.

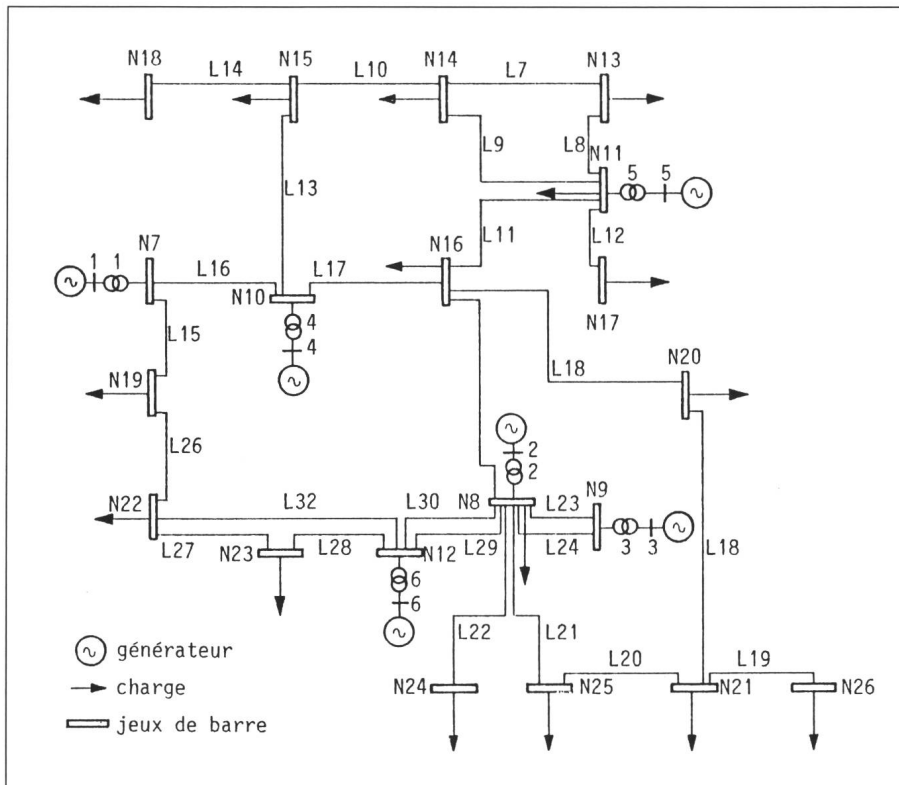
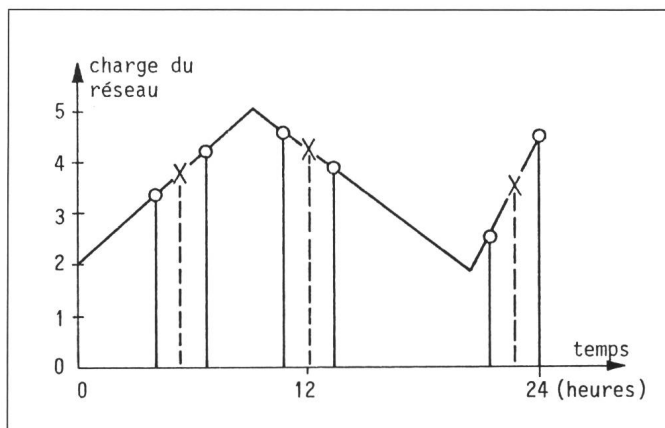


Figure 3 Réseau 6 machines, 32 lignes

Figure 4
Courbe journalière de
charge; ensembles
d'apprentissage et de
test

○ Echantillons de
l'ensemble
d'apprentissage
X Echantillons de
l'ensemble de test



Pour ce réseau, la dimension du vecteur forme est 7. Les tableaux I à IV donnent successivement les résultats obtenus sans réduction du vecteur forme, et ensuite en réduisant sa dimension à 4, 3 resp. 2 à l'aide de la méthode présentée dans le paragraphe 4.2.

Les résultats obtenus sur ce réseau composé de six générateurs montrent que la méthode peut être très précise, puisqu'on arrive à des taux d'erreurs plus petits que 2 % et même à 0,0 % pour les KPPV.

La phase en ligne ne nécessitant qu'un faible nombre d'opérations est très rapide laissant ainsi entrevoir la possibilité d'une évaluation en ligne de la sûreté de fonctionnement. Cependant les inconvénients de la méthode

et en particulier la nécessité du calcul d'une fonction discriminante pour chaque défaut montrent que bien des problèmes restent encore à résoudre.

| Fonctions discriminantes | Points stables mal classés | Points instables mal classés | Probabilité d'erreur (%) |
|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Bayes | 1 | 9 | 2.0 |
| KPPV | K | | |
| | 1 | 2 | 0.6 |
| | 3 | 1 | 0.2 |

Tableau I Probabilité d'erreur de discrimination obtenue sans réduction du vecteur (dimension 7)

KPPV Méthode des K voisins les plus proches

| Fonctions discriminantes | Points stables mal classés | Points instables mal classés | Probabilité d'erreur (%) |
|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Bayes | 7 | 15 | 4.4 |
| KPPV | K | | |
| | 1 | 2 | 0.4 |
| | 3 | 0 | 0.0.. |

Tableau II Probabilité d'erreur après réduction de l'espace de représentation à partir de la méthode des vecteurs discriminants

c=0.5; dimension 4

| Fonctions discriminantes | Points stables mal classés | Points instables mal classés | Probabilité d'erreur (%) |
|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Bayes | 8 | 15 | 4.6 |
| KPPV | K | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| | 3 | 0 | 0.0.. |

Tableau III Probabilité d'erreur pour la dimension 3

| Fonctions discriminantes | Points stables mal classés | Points instables mal classés | Probabilité d'erreur (%) |
|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Bayes | 5 | 8 | 2.6 |
| KPPV | K | | |
| | 1 | 3 | 3 |
| | 3 | 3 | 5 |

Tableau IV Probabilité d'erreur pour la dimension 2

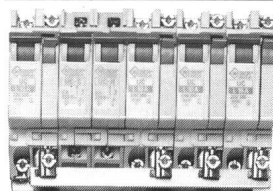
Bibliographie

- [1] A.H. El-Abiad and K. Nagappan Transient stability regions of multimachine power systems. IEEE Trans. PAS 85(1966)2, p. 169...179.
- [2] G.E. Gless: Direct method of Liapunov applied to transient power system stability. IEEE Trans. PAS 85(1966)2, p. 159...168.
- [3] T. Athay, R. Podmore and S. Virmani: A practical method for the direct analysis of transient stability. IEEE Trans. PAS 98(1979)2, p. 573...584.
- [4] C.K. Pang, A.J. Koivo and H. El-Abiad: Application of pattern recognition to steady-state security evaluation in power system. IEEE Trans. SMC 3(1973)6, p. 622...631.
- [5] D.H. Foley and J.W. Sammon: An optimal set of discriminant vectors. IEEE Trans. C 24(1975)3, p. 281...289.
- [6] T.W. Anderson and R.R. Bahadur: Classification into two multivariate normal distributions with different covariance matrices. Annals of Mathematical Statistics 33(1962)2, p. 420...431.
- [7] K. Fukunaga: Introduction to statistical pattern recognition. New York/London, Academic Press, 1972.

Er montiert Weber. Man sieht es.

Sie sind sofort zu erkennen, die Anwender von Weber-Produkten: Fröhlicher, weniger gestresst und meistens schon längst zuhause, wenn andere noch gegen den Termin ankämpfen. Denn wir bei Weber investieren in unsere Produkte nicht nur typisch schweizerische Präzision zugunsten der Sicherheit. Sondern legen auch besonderen Wert auf rationelle Anwendungsmöglichkeiten. Zugunsten von Ihnen.

Uniclic von Weber.



Erledigt das Auswechseln von Leitungsschutz-Schaltern dicschnell. Mit dem Lösen von nur einer einzigen Schraube. Neutralleitertrenner, Hilfsschalter, Signalschalter, Arbeitsstromauslöser sind einzeln erhältlich und lassen sich auch nachträglich am Einsatzort einbauen. Uniclic ermöglicht Anschluss von Drähten bis 10 mm² bei montierter Sammelschiene.

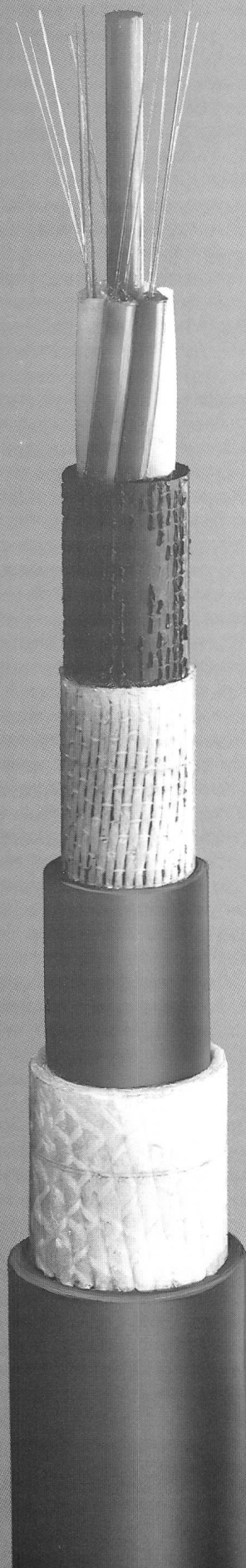
WEBER
Swiss-Made
für die ganze Welt.

Weber AG
Elektrotechnische Apparate
und Systeme
CH-6020 Emmenbrücke
Telefon 041 50 55 44

Am Anfang war... ein Problem



Jetzt gibt es überall eine Lösung dank Glasfaserkabeln



Die klassischen Fernmeldeleitungen können durch elektromagnetische Felder (Blitzeinschläge, Kurzschlüsse auf Parallelleitern, usw.) gestört werden.

Mit dem Einsatz von Glasfaserkabeln eliminieren Sie alle diese Unannehmlichkeiten.

Die Glasfaser zeichnet sich aus, durch :

- Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen
- Kleine Dämpfung → längere Übertragungsdistanzen
- Kein Nebensprechen
- Ausgezeichnete Isolations-eigenschaften
- Elektrisch getrennte Verbindung



Glasfaserkabel, Kombinierte Glasfaserkabel mit Energie- und/oder Fernmeldekabel, Freileitungen mit integrierten Lichtwellenleitern,...

GLASFASER =
Das ideale Informations-Übertragungsmittel

COSSONAY = Ihr Spezialist für Glasfaserverbindungen



SOCIÉTÉ ANONYME DES
CABLERIES & TRÉFILERIES
DE COSSONAY

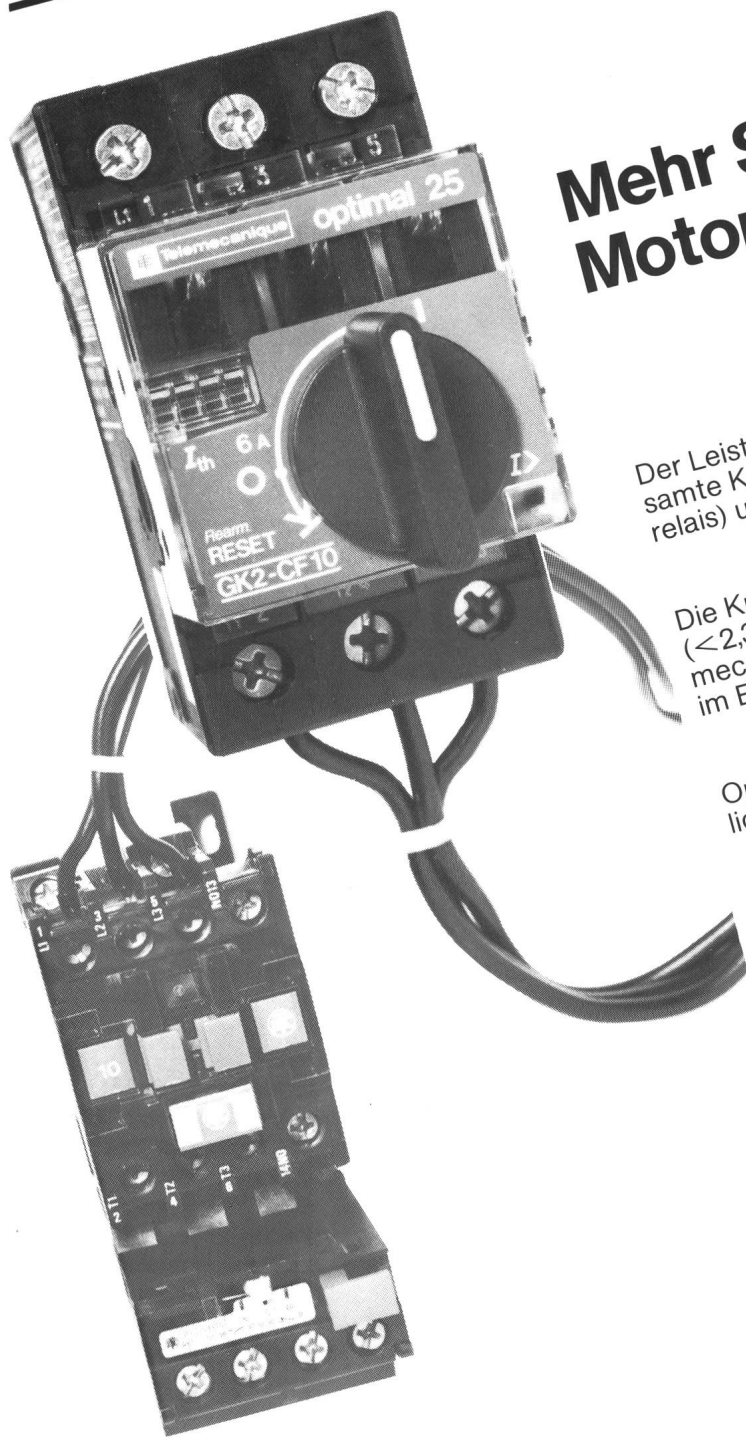
1305 Cossonay-Gare – Tel. 021/87 17 21
Fax 021/87 30 35 – Telex 459 600

**Von Anfang an
und überall dabei**

NEU

Optimal 25

Mehr Sicherheit für Motorabgänge



Der Leistungsschalter **Optimal 25** schaltet und schützt die gesamte Kombination des Motorabganges (Schütz + Überstromrelais) und Motor (bis 11 kW, 380 V~) gegen Kurzschluss.

Die Kurzschluss-Abschaltung des **Optimal 25** ist superflink ($< 2,3$ ms). Sie basiert auf einer neuen innovativen Telemecanique-Technik: **Löschung des Lichtbogens** (bereits im Entstehen) **durch rotierende Isolierkammer**.

Optimaler Personenschutz durch «Sichtbarkeit» sämtlicher Betriebszustände.

Der **Optimal 25** kann, ergänzt mit Hilfsschaltblöcken, sämtliche Betriebszustände einer zentralen Leitstelle oder SPS melden.

IEC-Normenkonform.

Verlangen Sie Dokumentation und Beratung

 **Telemecanique**

Telemecanique AG, Sägestrasse 75, 3098 Köniz, Telefon 031 53 82 82, Telex 911 802