

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: 69 (1978)

Heft: 10

Artikel: Appareil de mesure des courants de court-circuit sur réseaux à basse tension

Autor: Rageth, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-914890>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

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

Appareil de mesure des courants de court-circuit sur réseaux à basse tension

Par P. Rageth

621.317.31::621.3.064.1;

L'article traite du problème de la mesure directe des courants de court-circuit sur les réseaux à basse tension et dans les installations intérieures. Après des considérations théoriques, il décrit le fonctionnement et la réalisation d'un appareil capable de mesurer avec précision des courants de court-circuit jusqu'à 20000 A.

Der Aufsatz behandelt das Problem der direkten Messung der Kurzschlußströme in Niederspannungsnetzen und Hausinstallationen. Im Anschluss an theoretische Überlegungen werden die Arbeitsweise und die Ausführung eines Gerätes beschrieben, mit dem Kurzschlußströme bis 20000 A genau gemessen werden können.

1. Préambule

Les variations de la tension dues aux à-coups de courant, provoqués par des appareils à charges variables, peuvent être très gênantes pour les consommateurs lumière. Pour éviter ces désagréments, les entreprises d'électricité fixent les puissances maximum de raccordement des moteurs, des postes à souder ou de tous autres appareils à charge fluctuante.

La charge admissible dépend du genre de consommation et de la puissance du réseau de distribution au point de fourniture. Celle-ci peut être définie par la valeur du courant de court-circuit au lieu de raccordement. Cette même intensité définit également le temps de fusion des coupe-circuit de protection.

Les distributeurs d'électricité déterminent le courant de court-circuit par le calcul, avec une précision plus ou moins grande, car certains éléments de calcul ne correspondent pas toujours à la réalité.

Il existe actuellement sur le marché des appareils qui mesurent le courant de court-circuit en chargeant le réseau. Ceux-ci sont cependant d'une utilisation peu pratique, car ils sont lourds et encombrants. Ils se limitent à la mesure de courants qui n'excèdent pas quelques centaines d'ampères et ne tiennent pas compte des angles de phase.

L'article présente un appareil électronique récemment développé, mieux adapté aux besoins de la pratique et capable de déterminer des courants de court-circuit mono-, bi- ou tripolaire jusqu'à 20000 A, limite donnée par la précision. Le courant est déterminé par son module et par sa phase.

2. Détermination du courant de court-circuit à l'aide d'une résistance de charge

Définitions:

- I_c Courant de court-circuit monopolaire
- I Courant de la résistance de charge R
- $\underline{U}_0$ Tension simple du réseau basse tension à vide
- $\underline{U}_1$ Tension simple du réseau en charge (sans R)
- $\underline{U}_2$ Tension simple du réseau en charge (avec R)
- δU Différence de tension entre $\underline{U}_1$ et $\underline{U}_2$
- $\underline{Z}_0$ Impédance du réseau par phase
- $\underline{Z}_1$ Impédance de consommation par phase
- $\underline{Z}$ Impédance globale de remplacement du réseau par phase
- $\operatorname{tg} \psi$ Rapport X/R de l'impédance globale du réseau
- R Résistance de charge de l'appareil de mesure
- φ Angle de phase entre $\underline{U}_1$ et $\underline{U}_2$
- P_c Puissance apparente de court-circuit

Pour déterminer le courant de court-circuit en un point quelconque AB du réseau, on y mesure successivement la tension $\underline{U}_1$ (fig. 1a), puis la tension $\underline{U}_2$ qu'on obtient lorsqu'on

ajoute une charge donnée R (fig. 1b). A l'aide du théorème généralisé de Thévenin, on peut transposer les schémas fig. 1a et fig. 1b en un schéma équivalent fig. 1c où

$$\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_0 \cdot \underline{Z}_1}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_1}$$

$$\text{et } \underline{Z} = \frac{\underline{Z}_0 \cdot \underline{Z}_1}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_1} \quad (1)$$

Il est possible de calculer l'impédance $\underline{Z}$ en connaissant la valeur de la résistance ohmique R et en mesurant les tensions $\underline{U}_1$ et $\underline{U}_2$ avant et après application de R :

$$\underline{Z} = R \left(\frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2}{\underline{U}_2} \right) = \frac{R \cdot \delta U}{\underline{U}_2} \text{ avec } \underline{U}_1 > \underline{U}_2 \quad (2)$$

L'impédance $\underline{Z}$ dépend de la charge momentanée du réseau conformément à (1), mais $\underline{Z}_0$ est généralement faible par rapport à $\underline{Z}_1$. Pour obtenir une valeur précise, il faut que le temps qui s'écoule entre les mesures successives de $\underline{U}_1$ et $\underline{U}_2$ soit le plus court possible, afin qu'elles demeurent constantes. Pour le courant de court-circuit on obtient alors

$$\underline{I}_c = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{\underline{U}_1 \cdot \underline{U}_2}{R (\underline{U}_1 - \underline{U}_2)}$$

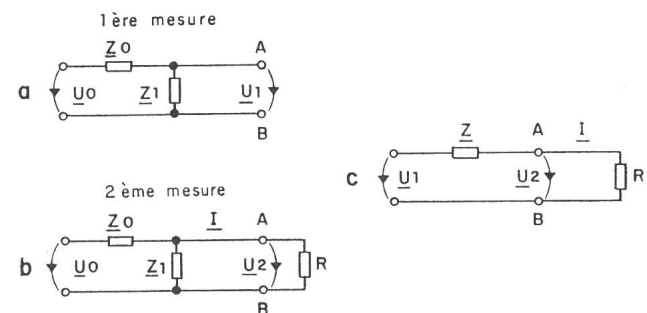


Fig. 1 Transformation équivalente des impédances de réseau $\underline{Z}_0$ et de consommation $\underline{Z}_1$ avec la charge R

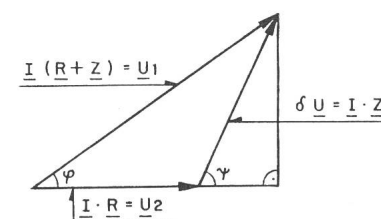


Fig. 2 Représentation graphique des valeurs complexes du réseau avec la charge R

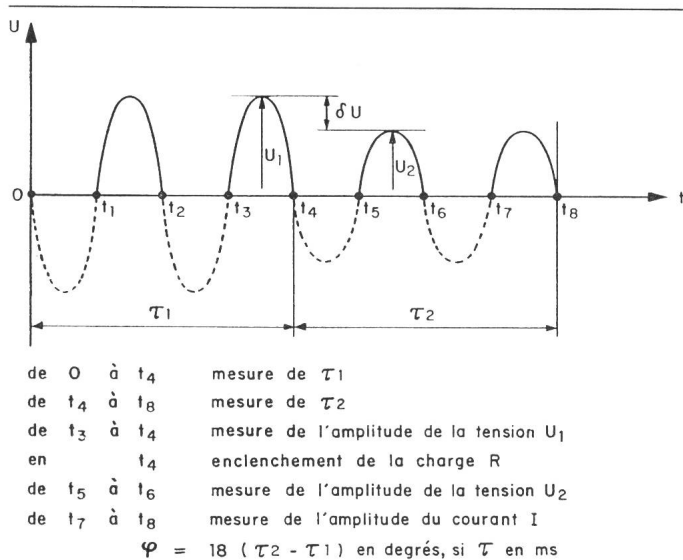


Fig. 3 Programme des mesures de U_1 , U_2 , I et φ

Compte tenu de la fig. 2, la valeur absolue de I_c est de:

$$I_c = \frac{U_1 \cdot U_2}{R \cdot \delta U} \quad \text{où} \quad (3)$$

$$\delta U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2 U_1 \cdot U_2 \cdot \cos \varphi} \quad (4)$$

La valeur de la résistance R étant modifiée par les résistances de contact, il est préférable de mesurer U_2 et I plutôt que d'introduire une valeur fixe dans le calcul. L'équation (3) devient donc

$$I_c = I \cdot U_1 / \delta U \quad (5)$$

Les expressions (4) et (5) obtenues sans aucune simplification permettent de déterminer le courant de court-circuit I_c en un point quelconque du réseau par la mesure de la tension U_1 sans charge R , de la tension U_2 avec la charge R , de l'intensité I traversant la charge R et de l'angle de phase φ entre U_1 et U_2 .

Du diagramme vectoriel de la fig. 2, on calcule l'angle de phase ψ du courant de court-circuit I_c qui donne

$$\psi = \arcsin \left(\frac{\sin \varphi \cdot I_c}{I} \right) \quad (6)$$

La puissance de court-circuit tripolaire est donnée par

$$P_c = U_0 \cdot I_c \cdot \sqrt{3} \quad (7)$$

3. Méthode de mesure

Les valeurs analogiques de l'amplitude des tensions U_1 , U_2 et du courant I (convertie en une tension) sont traduites en valeurs digitales par l'intermédiaire d'un convertisseur U-F (tension - fréquence), puis mémorisées. La fig. 3 indique la succession des mesures.

Les déphasages sont mesurés avec précision à l'aide d'une base de temps à quartz. Celui qui se produit entre U_1 et U_2 , après application de la charge R , est proportionnel à la différence des temps $\tau_2 - \tau_1$. La valeur de la résistance et le temps qui s'écoule entre l'enclenchement de celle-ci et la mesure de la tension U_2 ont été déterminés de telle sorte que les phéno-

mènes transitoires soient sans influence sur la précision. A la fin d'un cycle de mesure, soit après 80 ms, les valeurs enregistrées sont traitées par un calculateur digital. Les résultats sont indiqués par un affichage lumineux.

4. Description de l'appareil

L'appareil réalisé (fig. 4 et 5) indique les valeurs suivantes:

- les courants de court-circuit mono-, bi- et tripolaire,
- le module Z et la phase ψ de l'impédance du réseau,
- la puissance de court-circuit,
- la tension U_1 du réseau,
- le courant de mesure I pour vérifier la qualité du circuit de raccordement.

Deux plages de mesure ont été prévues, l'une avec $R = 10 \Omega$ pour les installations intérieures et l'autre avec $R = 1 \Omega$ pour les réseaux à basse tension. L'appareil peut être raccordé entre deux phases à 380 V ou entre phase et neutre à 220 V. Les courants de court-circuit mesurés sont donc bipolaires. Le courant de court-circuit tripolaire est déterminé par la calculatrice de l'appareil.

Les tensions U_1 , U_2 et le courant de mesure I sont prélevés par deux circuits de mesure séparés afin d'éliminer l'influence des résistances de contact. La résistance de charge R est incorporée à l'appareil. Elle est constituée par plusieurs éléments qui sont connectés automatiquement entre eux en fonction du mode de raccordement 220 ou 380 V choisi par l'opérateur. Cet automatisme a pour but d'éviter que les résistances de charge soient détruites suite à des erreurs de manipulation répétées. La connection de la résistance de charge au réseau est commandée par l'intermédiaire de triacs.

La puissance qui est nécessaire à l'alimentation de l'appareil est d'environ 20 W. Elle est prélevée du réseau. Une commutation automatique tient compte du mode de raccordement. Des fiches et pinces de raccordement permettent de se brancher sur une prise, un jeu de barres ou une ligne aérienne.

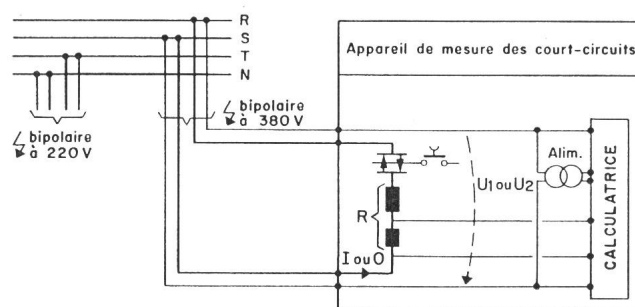


Fig. 4 Principe de l'appareil de mesure avec son mode de branchement



Fig. 5
Vue de l'appareil
de mesure

5. Précision de la mesure

5.1 Influence des éléments internes de l'appareil

La précision de la mesure proprement dite dépend du facteur de linéarité du convertisseur U-F et de la fréquence utilisée pour la mesure du temps:

$$\begin{aligned}\Delta U_{\max} &= 0,13\% \cdot U_1 = 0,1063 \text{ V} \\ \Delta I_{\max} &= 0,13\% \cdot I = 0,1063 \text{ A} \\ \Delta \varphi_{\max} &= 0,018^\circ \text{ resp. } 3,142 \cdot 10^{-4} \text{ rad, soit} \\ &10000 \text{ impulsions pour } 180^\circ \text{ resp. } \pi\end{aligned}\quad (8)$$

Les grandeurs calculées I_c , P_c , Z et ψ se laissent toutes exprimer en fonction des valeurs mesurées U_1 , U_2 , I et φ . Il est donc possible de déterminer l'influence des erreurs de mesures extrêmes, en plus ou en moins, sur les résultats théoriques.

On se fera une très bonne idée de la précision des résultats en exprimant l'erreur relative maximale ε_m (%) de chaque valeur calculée par rapport aux mêmes variables de référence I_c , ψ et R , soit:

$$\varepsilon_m = \frac{\text{Ecart de la valeur calculée}}{\text{Valeur théorique}} = f(I_c, \psi, R) \quad (9)$$

On obtient finalement les courbes des fig. 6a, 6b, 6c et 6d.

Il faut relever que plus on s'approche d'un transformateur de distribution, plus l'impédance globale Z devient inductive. L'angle de déphasage ψ croît avec l'augmentation du courant de court-circuit, ce qui est favorable à la précision de la mesure. En pratique, les erreurs de mesure sur I_c , P_c , Z et ψ devraient être inférieures à 10% pour des courants de court-circuit de l'ordre de 20000 A.

Fig. 6a
Erreur relative maximum
 $\Delta I_c / I_c = f(I_c, \psi, R)$

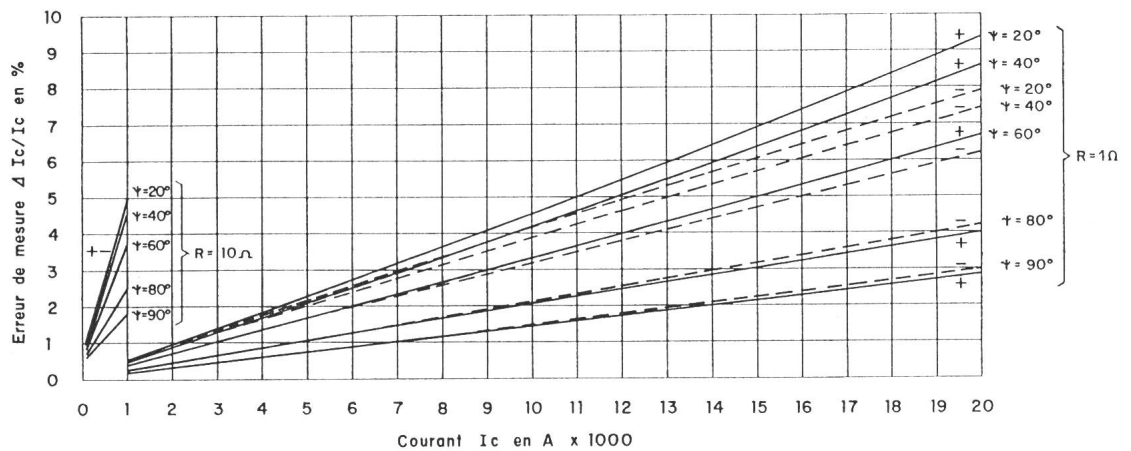


Fig. 6b
Erreur relative maximum
 $\Delta P_c / P_c = f(I_c, \psi, R)$

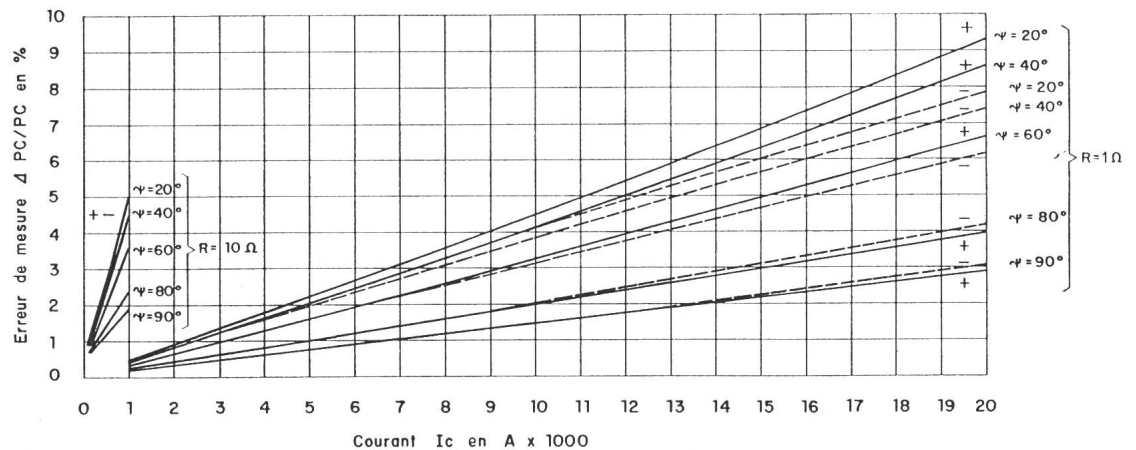


Fig. 6c
Erreur relative maximum
 $\Delta Z / Z = f(I_c, \psi, R)$

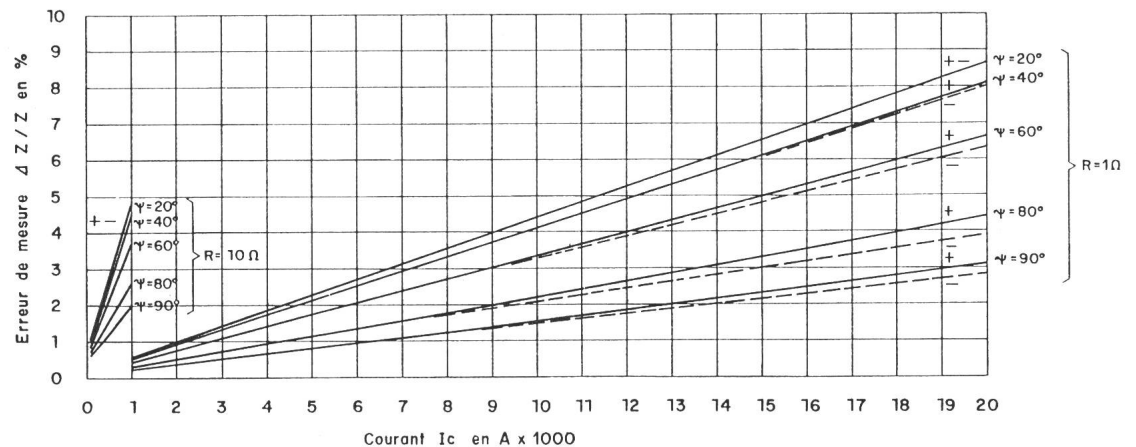
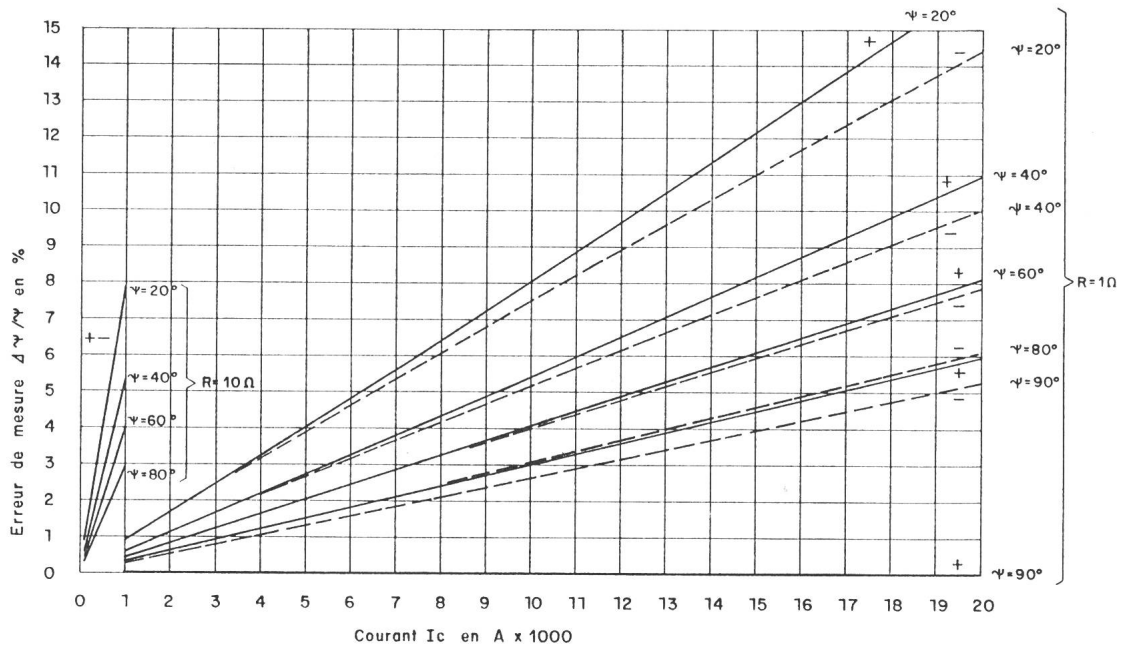


Fig. 6d
Erreur relative maximum
 $\Delta\psi/\psi = f(I_c, \psi, R)$



La résistance de charge $R = 10 \Omega$ est prévue lorsque des mesures sont effectuées sur des installations intérieures; le faible courant de charge évite de faire fondre les fusibles de basse intensité nominale. Dès que les courants dépassent 800 A, on commutera sur la plage de $R = 1 \Omega$.

5.2 Influence des variations de charge ou de tension au cours de la mesure

A priori, il semble qu'une variation de l'impédance globale Z ou de la tension U_0 soit gênante lorsqu'elle se produit au cours d'un cycle de mesure entre t_4 et t_6 ou entre t_6 et t_8 (fig. 3).

Comme on le verra par la suite, des variations importantes ne sont pas fréquentes, à cause du temps de mesure limité à 80 ms. Dans un réseau normalement constitué, les chutes de tension en bout de lignes n'excèdent généralement pas 5 %. Le rapport entre l'impédance de réseau Z_0 et l'impédance de consommation Z_1 est donc faible, soit $Z_0/Z_1 \approx 0,05$. Si on tient compte de cette condition dans l'équation (1) et que, par mesure de simplification, l'angle de déphasage entre les vecteurs $\underline{Z}_0$ et $\underline{Z}_1$ est négligé, on obtient $Z \approx 0,048 Z_1$ d'où

$$\Delta Z/Z \approx 0,048 \Delta Z_1/Z_1 \quad (10)$$

Une variation de la charge Z_1 de 10 % n'influence l'impédance globale Z que de 0,48 %. On admettra donc dans ce qui suit que Z est pratiquement invariant.

Pour estimer l'influence d'une variation de l'angle ψ_1 de l'impédance de charge Z_1 sur l'angle ψ de l'impédance globale Z , on utilisera la même équation (1). Compte tenu de

$$\underline{Z}_0 = Z_0 \cdot e^{j\psi_0}; \underline{Z}_1 = Z_1 \cdot e^{j\psi_1}; \underline{Z} = Z \cdot e^{j\psi}$$

et du fait que $Z_0 \ll Z_1$ et que $Z \approx Z_0$, on obtient

$$Z \cdot e^{j\psi} \approx Z_0 \cdot e^{j\psi_0} \quad (11)$$

Cette équation démontre que l'angle ψ , dans les cas pratiques, n'est pas influencé par les variations de l'angle de l'impédance de charge ψ_1 .

Examinons maintenant l'influence d'une variation de la charge Z_1 sur l'écart de tension $\delta U = U_1 - U_2$. Si l'on néglige également les angles de déphasages, on peut écrire

$$\delta U \approx U_0 \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + Z_1}$$

$$\text{d'où } \Delta \delta U / \delta U \approx - \Delta Z_1 / (Z_0 + Z_1) = -0,952 \cdot \Delta Z_1 / Z_1 \quad (12)$$

Une variation de la charge de 5 % influence donc l'écart relatif de tension de 4,76 %.

Variation de la charge entre t_6 et t_8

Une variation de charge de 5 % entre t_6 et t_8 aura une influence de 4,76 % sur la chute de tension relative. La mesure de I sera donc erronée de 0,24 % et la valeur I_c sera faussée du même pourcentage d'erreur. Selon l'équation (5):

$$\Delta I_c = \frac{U_1}{\delta U} \cdot \Delta I = \frac{U_1}{\delta U} \cdot \frac{\Delta U_2}{R} \quad (13)$$

Variation de la charge entre t_4 et t_6

La variation de charge entre t_4 et t_6 influencera les valeurs mesurées de δU et de I . A l'aide de l'équation (5) on obtient

$$\Delta I_c = \frac{U_1}{\delta U} \cdot \Delta I - \frac{I \cdot U_1}{(\delta U)^2} \cdot \Delta \delta U \quad (14)$$

Quelques valeurs numériques sont indiquées au tableau I.

En conclusion, on constate que dans des réseaux de conception normale le module Z et la phase ψ de l'impédance globale $\underline{Z}$ sont pratiquement des invariants. Seul l'écart de tension δU est sensible à une variation de charge.

Les variations de tensions dues au changement de position des insérateurs à gradins des transformateurs ou au réglage de l'excitation des alternateurs dans les usines de production, ont en principe le même effet que les variations de charge lorsqu'elles se produisent à l'intérieur du cycle de mesure. Ces phénomènes sont cependant très lents par rapport à la durée d'une mesure.

Le pourcentage d'erreurs qui fausse le résultat I_c est pratiquement identique au pourcentage de variations de la tension U_0 ou de la charge Z_1 . Il reste à démontrer que des perturbations en cours de mesure sont peu fréquentes.

Plage de mesure R	Courant de court-circuit I_c	ψ	Variation de la charge Z_1	ΔI_c	Erreur de mesure sur I_c	Remarques
Ω	A	degré	%	A	%	
1	20 000	85	10	1926	9,63	Réseau dense
1	20 000	85	5	963	4,81	
1	20 000	85	1	193	0,96	
1	1 000	25	10	113	11,30	Réseau étendu
1	1 000	25	5	56,7	5,67	
1	1 000	25	1	11,3	1,13	
10	800	20	10	78,3	9,79	Installations intérieures
10	800	20	5	39,1	4,89	
10	800	20	1	7,8	0,98	

Dans un réseau normal, tel qu'il a été défini, le rapport entre le courant de court-circuit I_c et le courant de charge maximum I_m est

$$\frac{I_c}{I_m} = \frac{U_0}{5} \cdot \frac{105}{U_0} = 21 \quad (15)$$

La charge maximale (en kW) du réseau, exprimée en fonction de I_c (en A), est de

$$P_m = 380 \sqrt{3} I_m \cdot 10^{-3} = 0,034 I_c \quad (16)$$

Au moment de la pointe de charge, le gradient d'accroissement maximum de celle-ci est de l'ordre de 33 % de la puissance maximale du réseau pendant un quart d'heure. Pour une puissance de consommation moyenne de 2 kW par abonné, le nombre d'abonnés n_A participant à cette même variation de charge pendant le quart d'heure, sera de:

$$n_A = 0,33 P_m / 2 = 5,17 \cdot 10^{-3} \cdot I_c \quad (17)$$

Si l'on admet qu'en moyenne l'enclenchement des n_A abonnés est uniformément réparti sur le quart d'heure, on aura un enclenchement toutes les x ms, soit

$$x = \frac{174 \cdot 10^6}{I_c} \quad (18)$$

La durée d'une mesure étant de 80 ms, la probabilité d'erreur est donc d'environ:

$$p = 8 \cdot 10^3 / x = 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot I_c \% \quad (19)$$

Les probabilités pour que des incidents se produisent en cours de mesure ont été calculées et reportées sur le tableau II.

Les résultats, qui sont des ordres de grandeurs, prouvent que les erreurs de mesures sont peu fréquentes. L'expérience confirme cette règle et démontre d'autre part que des variations extrêmes sont immédiatement détectées, car elles s'écartent fortement de la plage de dispersion des autres mesures nor-

males. En pratique, on évitera de mesurer en période de fortes fluctuations des réseaux. Des valeurs très précises seront obtenues en prenant la moyenne de 10 mesures successives.

6. Conclusions

Il a été démontré dans ce qui précède qu'une mesure valable du courant de court-circuit doit tenir compte des angles de phases. Pour ce faire, l'emploi d'une calculatrice devient indispensable. En l'intégrant directement à l'appareil, il est possible d'indiquer à partir des mêmes grandeurs de mesure, en plus du courant de court-circuit I_c , l'impédance de réseau Z , en module et en phase, et la puissance de court-circuit P_c .

L'appareil développé se présente sous la forme d'une valise facilement transportable contenant tout l'appareillage électronique nécessaire à la mesure de courant de court-circuit mono-, bi- ou tripolaire jusqu'à 20000 A, en plus des grandeurs caractéristiques du réseau, soit les impédances en phase et en module, les puissances de court-circuit mono-, bi- et tripolaire ainsi que la tension simple ou composée.

Les valeurs obtenues permettent de dimensionner au point de raccordement la puissance admissible des moteurs, suivant leur type, et de choisir la valeur nominale des dispositifs de protection. En outre, il est possible d'obtenir la tension de défaut en un point quelconque du réseau. L'efficacité des mises à terre d'un réseau aérien à basse tension peut être facilement contrôlée par une mesure effectuée en bout de ligne.

La précision des mesures correspond aux besoins pratiques des distributeurs d'électricité. Les nombreux essais qui ont été effectués ont donné des résultats concluants.

Tableau II

Courant de court-circuit I_c en A	Puissance de charge max. P_m en kW	Nombre d'abonnés participants à la pointe de $1/4$ h n_A	Probabilité pour que la mesure de I_c soit perturbée %
20 000	680	101,4	0,92
10 000	340	50,7	0,46
5 000	170	25,9	0,23
1 000	34	5,2	0,05

Adresse de l'auteur

Paul Rageth, ingénieur EPFZ, Sous-directeur, Electricité Neuchâteloise S.A.,
2035 Corcelles.