Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 6

Artikel: Solidité thermique spécifique des conducteurs
Autor: Dassetto, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057787

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: 27.12.2025

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

fréquence d'oscillation. Il sera donc généralement préférable d'adopter le premier type de limitation par coupure du courant, ou tout autre méthode ne présentant pas l'inconvénient mentionné.

D. Conclusions

Notre but était d'aborder quelques problèmes de réaction et contre-réaction dans les montages à transistors, après avoir rappelé les propriétés générales de ces éléments.

La technique classique des circuits à tubes électroniques a certainement largement contribué au rapide essor de circuits adaptés aux transistors. Toutefois de nombreux problèmes propres aux transistors doivent être traités en tenant compte du comportement souvent fort complexe de ces éléments.

Les quelques données expérimentales exposées plus haut ont été établies au Laboratoire d'Electronique de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne au cours de travaux pour lesquels la Fondation Hasler nous a accordé son appui.

Adresse de l'auteur:
R. Dessoulavy, Professeur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, 33, avenue de Cour, Lausanne.

Solidité thermique spécifique des conducteurs

Par *G. Dassetto*, Zurich

621.315.53.019.33

Par une nouvelle notion — la résistance spécifique d'un conducteur au choc thermique dû aux courants de court-circuit — on démontre la supériorité des conducteurs en aluminium et surtout en Aldrey par rapport à ceux en cuivre électriquement équivalents.

Auf Grund eines neuen Begriffes — der spezifischen thermischen Festigkeit eines Leiters bei Kurzschluss — wird die Überlegenheit von Aluminium- und besonders von Aldrey-Leitern gegenüber widerstandsgleichen Kupferleitern gezeigt.

Tout conducteur électrique doit résister non seulement aux efforts électrodynamiques provoqués par les courts-circuits, mais encore ses dimensions (section) doivent être telles, qu'il puisse être parcouru par un courant de court-circuit i_k pendant un temps τ sans qu'une certaine température ϑ_l soit dépassée.

A ce propos, une nouvelle notion — la «solidité thermique specifique» d'un conducteur, autrement dit sa «résistance spécifique au choc thermique» — s'est fait jour ces derniers temps dans la littérature technique [1][1]).

Si l'on suppose, à titre de simplification, que tout le courant de court-circuit se transforme en chaleur, on peut écrire:

$$\underbrace{i_k^2 \frac{\varrho\, l}{A} \Delta t}_{\mathrm{I}} = \underbrace{A\, l\, \delta\, c\, \Delta\vartheta}_{\mathrm{II}} \cdot \underbrace{4{,}1868 \cdot 10^{-3}}_{\mathrm{III}}\ [\mathrm{Ws}] \qquad (1)$$

où

- i_k valeur moyenne du courant effectif de court-circuit [A]
- ϱ résistivité [$\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$]
- l longueur du conducteur [m]
- A section du conducteur [mm^2]
- Δt temps [s]
- δ densité du matériel conducteur [$\mathrm{kg/m}^3$]
- c chaleur spécifique du matériel conducteur [kcal/kg °C]
- $\Delta\vartheta$ augmentation de la température dans le temps Δt [°C]

et

- I énergie électrique [Ws]
- II énergie transformée en chaleur [kcal]
- III facteur de transformation de [kcal] en [Ws] et de [mm^2] en [m^2].

En séparant les termes relatifs aux sollicitations du conducteur (courant et temps) de ceux concernant sa solidité (constantes du matériel), on obtient une nouvelle équation qui est la base du nouveau principe, soit:

$$\underbrace{i_k^2\, \Delta t}_{\mathrm{IV}} = \underbrace{A^2 \frac{\delta\, c}{\varrho} \Delta\vartheta \cdot 4{,}1868 \cdot 10^{-3}}_{\mathrm{V}}\ [\mathrm{A^2s}] \qquad (2)$$

où IV sollicitation thermique du conducteur [$\mathrm{A^2s}$]
V solidité thermique spécifique du conducteur [$\mathrm{A^2s/mm^4}$]

Si l'on admet que δ et c soient indépendants de la température, donc des constantes, et que

$$\varrho = \varrho_0\, [1 + \alpha\, (\vartheta - \vartheta_0)]$$

où α coefficient de résistance [$°\mathrm{C}^{-1}$]
ϱ_0 résistivité à la température ϑ_0 [$\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$],

on peut écrire:

$$\int_0^{\tau} i_k^2\, \mathrm{d}t = 4{,}1868 \cdot 10^{-3} \cdot A^2 \frac{\delta\, c}{\varrho_0} \int_{\vartheta_n}^{\vartheta_l} \frac{\mathrm{d}\vartheta}{1 + \alpha\, (\vartheta - \vartheta_0)}\ [\mathrm{A^2s}] \qquad (3)$$

où ϑ_l température limite admissible en cas de court-circuit [°C]
ϑ_n température maximale admise en service continu par les normes [°C]

Il en résulte finalement que:

$$i_k^2\, \tau = 4{,}1868 \cdot 10^{-3} \cdot A^2 \frac{\delta\, c}{\varrho_0\, \alpha} \ln \left[\frac{1 + \alpha\, (\vartheta_l - \vartheta_0)}{1 + \alpha\, (\vartheta_n - \vartheta_0)}\right] =$$

$$= 9{,}64 \cdot 10^{-3} \cdot A^2 \frac{\delta\, c}{\varrho_0\, \alpha} \lg \left[\frac{1 + \alpha\, (\vartheta_l - \vartheta_0)}{1 + \alpha\, (\vartheta_n - \vartheta_0)}\right] = A^2\, k_{th}\ [\mathrm{A^2s}] \qquad (4)$$

où $$k_{th} = 9{,}64 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\delta\, c}{\varrho_0\, \alpha} \lg \left[\frac{1 + \alpha\, (\vartheta_l - \vartheta_0)}{1 + \alpha\, (\vartheta_n - \vartheta_0)}\right]$$

On obtient donc:

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

$$k_{th} = \frac{i_k^2 \tau}{A^2} = \sigma^2 \tau \quad [A^2s/mm^4] \qquad (5)$$

où σ densité de courant [A/mm²]

La «solidité thermique spécifique» k_{th}, définie par l'équation (5), est donc une constante du matériel conducteur, référée toutefois à un temps τ bien défini, auquel correspond une certaine valeur de ϑ_l.

La condition de sécurité thermique d'un conducteur est remplie lorsque

$$i_k^2 \tau \leqq A^2 k_{th} \qquad (6)$$

Autrement dit, il est nécessaire que:

$$A \geqq \sqrt{\frac{i_k^2 \tau}{k_{th}}} \qquad (7)$$

Par l'équation (7) on peut donc calculer la section nécessaire au point de vue du «choc thermique» en cas de court-circuit.

Des recherches récentes [2; 3] ont permis d'établir les limites des valeurs admissibles de ϑ_l en fonction de la durée du court-circuit. Les courbes ainsi obtenues permettent d'en préciser les valeurs, suivant tableau I:

Température limite ϑ_l de différents matériaux conducteurs en fonction de la durée de court-circuit τ

Tableau I

Matériel conducteur	Température limite pour une durée de court-circuit de		
	1 s [°C]	3 s [°C]	5 s [°C]
Cuivre	170	165	160
Aluminium	200	190	180
Aldrey	250	220	200

D'autre part, les Normes Suisses prescrivent, en service continu, les températures maximales admissibles suivant tableau II:

Normes suisses pour les températures maximales admissibles ϑ_n en service continu

Tableau II

Matériel conducteur	ϑ_n pour	
	Cordes [°C]	Barres de connexion [°C]
Cuivre	70	65
Aluminium	80	65
Aldrey	80	65

En appliquant l'équation (5) pour des fils et des profilés, on obtient les valeurs de k_{th} contenues dans le tableau III:

Solidité thermique spécifique k_{th} en fonction de la durée de court-circuit τ

Tableau III

Matériel conducteur	k_{th} des fils pour τ de			k_{th} des barres de connexion pour τ de		
	1 s	3 s	5 s	1 s	3 s	5 s
Cuivre	0,0140	0,0134	0,0128	0,0148	0,0142	0,0137
Aluminium	0,0072	0,0066	0,0062	0,0081	0,0076	0,0071
Aldrey	0,0085	0,0073	0,0064	—	—	—

Dans le cas des cordes, étant donné que δ est majoré par rapport à celui des fils pour tenir compte de l'effet de cordage et du nombre des couches, les valeurs de k_{th} résulteront légèrement supérieures à celles indiquées dans le tableau précédent. Pour les cordes bimétalliques, telles que l'aluminium-acier et l'Aldrey-acier, les k_{th} seront plus élevés que ceux des cordes monométalliques électriquement équivalentes à cause de l'influence de l'âme en acier sur la valeur finale de δ.

Par l'équation (7) on peut établir, sur la base des valeurs de k_{th} ainsi calculées et des valeurs à choisir de i_k (τ est étroitement lié à k_{th}), des diagrammes qui permettent la lecture immédiate de la section minimum nécessaire au point de vue du «choc thermique».

Pour $i_k = 1$ A et $\tau = 1$, 3 et 5 s, on obtient donc par l'équation (7) les sections unitaires suivant tableau IV:

Sections unitaires A pour le courant de court-circuit $i_k = 1$ A et différentes durées de court-circuit τ

Tableau IV

Matériel conducteur	A des fils pour τ de			A des barres de connexion pour τ de		
	1 s [mm²]	3 s]mm²]	5 s [mm²]	1 s [mm²]	3 s] [mm²	5 s [mm²]
Cuivre	8,14	14,96	19,78	8,21	14,52	19,17
Aluminium	11,79	21,25	28,51	10,09	19,84	26,54
Aldrey	10,82	20,29	27,96	—	—	—

En comparant les sections unitaires de l'aluminium et de l'Aldrey avec celles du cuivre, on obtient les rapports indiqués dans le tableau V:

Rapports entre les sections unitaires A en aluminium et en cuivre, resp. en Aldrey et en cuivre

Tableau V

Comparaison	Rapport des sections unitaires A des fils pour τ de			des barres de connexion pour τ de		
	1 s	3 s	5 s	1 s	3 s	5 s
Al/Cu	1,40	1,42	1,44	1,36	1,37	1,38
Ad/Cu	1,28	1,36	1,41	—	—	—

Tous ces rapports sont inférieurs à ceux obtenus par la comparaison des résistivités:

Rapports des résistivités

Al/Cu	1,58
Ad/Cu	1,78

De ce qui précède il découle qu'au point de vue du «choc thermique»:

1. les sections en aluminium et en Aldrey peuvent être inférieures à celles électriquement équivalentes en cuivre;

2. toutes les sections électriquement équivalentes en aluminium et en Aldrey satisfont donc la condition posée par l'équation (7);

3. les sections électriquement équivalentes en aluminium et en Aldrey offrent, par rapport à celles en cuivre, une sécurité au «choc thermique» suivant tableau VI:

Sécurité «au choc thermique» des sections électriquement équivalentes en aluminium et en Aldrey, par rapport à celles en cuivre

Tableau VI

Matériel conducteur	Sécurité «au choc thermique» des fils pour τ de			des barres de connexion pour τ de		
	1 s	3 s	5 s	1 s	3 s	5 s
Aluminium	1,13	1,11	1,10	1,17	1,16	1,14
Aldrey	1,39	1,31	1,26	—	—	—

4. les sections électriquement équivalentes en Aldrey offrent, par rapport à celles en aluminium, une sécurité supérieure égale aux valeurs du tableau VII:

Sécurité supérieure des sections électriquement équivalentes en Aldrey par rapport à celles en aluminium

Tableau VII

Matériel conducteur	Sécurité supérieure par rapport à l'aluminium pour τ de		
	1 s	3 s	5 s
Aldrey	1,23	1,18	1,15

Bibliographie

[1] *Schmitz, H.:* Thermische Beanspruchung und Festigkeit elektrischer Leiter für Schaltanlagen. ETZ-A t. 79(1958), n° 16, p. 567...571.

[2] *Dassetto, G.:* Continuità d'esercizio delle linee aeree elettriche. Bericht 302. Réunion de l'«Associazione Elettrotecnica Italiana (AEI)», Bari 1958.

[3] *Dassetto, G.:* Einfluss von Wärme auf die Festigkeitseigenschaften von Freileitungsseilen. Aluminium t. 34(1958), n° 12, p. 716...718.

Adresse de l'auteur:

G. Dassetto, ingénieur diplômé EPF, S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Feldeggstrasse 4, case postale Zurich 34.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Einfluss der Anwendung der Digital-Rechenmaschine auf die Berechnung von elektrischen Maschinen

681.14-523.8 : 621

[Nach *P. A. Abetti, W. J. Cuthbertson* und *S. B. Williams:* Philosophy of Applying Digital Computers to the Design of Electric Apparatus. Trans. AIEE, Part I, Bd. 77(1958), Nr. 37, S. 367...379]

In letzter Zeit wird verschiedenerseits die Rechenmaschine zur Berechnung von Transformatoren immer öfters hinzugezogen. Welche Berechnungswege in der Zukunft eingeschlagen werden, ist noch nicht genau vorauszusagen, da erstens den Wünschen entsprechend neue Rechenmaschinen-Modelle fortlaufend ausgearbeitet werden und zweitens diese Technik seit 1952 untersucht und geübt wird, also als sehr jung anzusprechen ist. Die besagten Wünsche betreffen die Einfachheit der Bedienung, ein weitgehendes automatisches Entschlussvermögen und nicht zu allerletzt die Verbilligung der grossen Rechenanlagen. Diese Verbilligung würde die Berechnungsmethoden und überhaupt die Konstruktion der behandelten Maschinen ändern, indem ein grösserer Kreis der Fabrikanten sich solche Anlagen leisten könnte, und sich dadurch die Erfahrungen vermehren würden.

Als technische Auswirkung würde nicht zuletzt eine Vereinheitlichung der Qualität herbeigeführt, da die Entscheidungen über den Aufbau der Produkte auf maschinelle Art gefällt werden, somit Unzulänglichkeiten eines Berechnungs-Ingenieurs wegfallen. Anderseits kommen Einfälle der begabtesten Konstrukteure nicht mehr zur Geltung, die in speziellen Fällen besondere Lösungen zur Hand hätten, die aber durch das Programm einer Rechenmaschine nicht zum Ausdruck kommen. Die Wirtschaftlichkeit der maschinellen Berechnung beruht auf verschiedenen Faktoren: die Arbeitsgeschwindigkeit bedingt ein Preisverhältnis von $1 : 10^4$, vergleicht man die Unkosten während der Betriebszeit mit den Ingenieur-Löhnen, vorausgesetzt, dass pro Sekunde bis $4 \cdot 10^4$ Additionen ausgeführt werden. Allerdings ist die Arbeitszeit allein nicht ausschlaggebend, weil das Einrichten und Programmieren erheblich viel Zeit braucht. Zur Bestimmung der optimalen Verhältnisse beim Konstruieren einer Maschine oder eines Apparates wäre der Aufwand an Berechner-Monaten so hoch, dass meistens auf solche Untersuchungen verzichtet wird, was hingegen bei der Rechenmaschine sehr leicht durchführbar ist, zumal das Programm nur einmal eingestellt wird.

Ziel der Berechnung

Die Berechnungen haben nebst dem Hauptzweck der richtigen Dimensionierung einer Maschine, bevor sie der Konstruktion und der Fabrikation übergeben wird, weitere Anwendungen, wie die Berechnung für eine Offerte, um dem Kunden bei seiner Projektierung zu helfen; die Offertberechnung bleibt sehr oberflächlich und begnügt sich oft mit Angaben von Grössenordnungen. Ferner werden durch Berechnungen ganze Typenreihen aufgestellt, bei Berücksichtigung der gewünschten Eigenschaften und angemessener Kosten, wodurch die Apparate- oder Maschinen-Reihe konkurrenzfähig wird. Ebenfalls durch Berechnung lassen sich die Rückwirkungen voraussehen, bei Änderungen von Material, von Behandlungen, von Werkzeugen, vom Aufbau der betreffenden Maschine oder von ihren Nenndaten. Diese Anwendungsgebiete der Konstruktions-Berechnung lassen sich sehr unterschiedlich behandeln. Die Offertberechnung sowie die Konstruktion nach genau bestimmten Nenndaten treten am häufigsten auf und verlangen einen grossen Anteil an Routine-Arbeit sowie Konstruktions-Erfahrungen, um eine Vielfalt an Parametern mit optimalen Werten zu versehen. Anderseits bietet die Ausarbeitung einer Typenreihe oder die Untersuchung der Auswirkungen irgendeiner Änderung auf bestehende Konstruktionen unendlich viele Lösungen, so dass nach einigen Annäherungen eine Lösung herausgegriffen wird, die als nächste von einem mutmasslichen Optimum angenommen wird.

Maschinelle Berechnung

Aus zwei Gründen wird die Digital- und nicht die Analog-Rechenmaschine verwendet: erstens befinden sich unter den Parametern viele unstetige Funktionen, die von Analog-Rechenmaschinen nicht behandelt werden können, zweitens hat vor allem bei den Digital-Rechenmaschinen eine sehr starke Entwicklung und Verbesserung stattgefunden. Eine erste, unvollkommene Anwendungsmethode, vor allem mit kleineren Geräten lässt dem Berechnungsingenieur die Freiheit, vor jedem Berechnungsgang einen oder mehrere Parameter einzustellen. Nach jeder maschinellen Berechnung muss der Mensch über die Verwendbarkeit der Resultate entscheiden, und davon ausgehend, nach erfolgter Änderung einiger Parameter, die Berechnung durch die Maschine neu ausführen lassen. Ist der betreffende Techniker nicht erfahren genug, so können leicht die Anfangsparameter im falschen Sinne verändert werden, und somit die Lösung vom Optimum entfernt werden. Einen anderen Nachteil findet man in den unterschiedlichen Arbeitszeiten zwischen Mensch und Rechenmaschine, so dass ein unverhältnismässig grosser Zeitaufwand in Vorbereitungen und Programmieren der Rechenmaschine verloren geht.

Deshalb wird eine Berechnungsart vorgezogen, die den Menschen vom ersten Programmieren bis zur optimalen Endlösung ausschaltet. Die Rechenmaschine registriert nun nicht mehr die Lösung nach jeder Berechnung, um sie dem Ausgang zuzuführen, sondern vergleicht sie selber mit den hinzugegebenen Sollwerten, ändert programmgemäss im richtigen, d. h. konvergierenden Sinne sämtliche Parameter und beginnt die Berechnung von vorne, so lange, bis die Lösungen innerhalb vorgeschriebener Toleranzen liegen. Ein Eingreifen in die maschinellen Entschlüsse wird höchstens für eine Variable eingeräumt, z. B. die Wicklungsart beim Transformator, obwohl auch hier ein Rechenprogramm aufgestellt werden kann. Ist dann aber der erste Entschluss falsch, so wird das Rechengerät nach einigen Berechnungsgängen blockiert, weil keine Lösung möglich ist.

Eine sehr grosse Hilfe bedeutet die Rechenmaschine bei Neukonstruktionen. Ausgehend von besonders vielen veränderlichen Bedingungen müssen hier eine Reihe optimaler Lösungen gefunden werden. Bei menschlicher Berechnung kann wohl irgendein Optimum erreicht werden, es fehlt aber die Übersicht über alle Bedingungen und Möglichkeiten; Nomogramme und Diagramme vermitteln den Zusammenhang zwischen höchstens 3 Variablen, so dass es fraglich ist, ob das höchste Optimum erreicht ist, oder nur eine der vielen Lösungen, die einen Parameter auf Kosten der übrigen berücksichtigt. Die maschinelle Berechnung lässt diese Zweifel nicht auf-