

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Die Induktivität runder Spulen  
**Autor:** Müller, Karl E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060195>

### **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:** 03.04.2025

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

celles provenant des jeux de paliers, des ressorts de pression, de l'imprécision même du chemin parcouru par le disque et qui peuvent se chiffrer par un écart total de 0,2 ‰ au maximum dans le cas le plus défavorable. L'erreur totale s'élève ainsi à environ 0,4 ‰ de la période d'intégration, ce qui correspond à une erreur de  $\pm 0,02$  Hz.

#### Possibilités de réglage

L'appareillage est prévu pour une fréquence nominale de 50 Hz. Une échelle graduée, gravée sur l'un des disques de réglage fin, permet de régler l'écart moyen de la fréquence à environ  $\pm 0,5$  Hz de la valeur nominale. La graduation de l'échelle permet le réglage à 0,05 Hz près. L'appareil peut être réglé de telle façon que le signe  $\Delta$  apparaît pour des valeurs quelconques de la fréquence située, par exemple, entre 49,9 et 50,1 Hz ou pour n'importe quelle autre valeur de la fréquence située entre 49,5 et 50,5 Hz. Les signes + et - sont imprimés lorsque la valeur moyenne de la fréquence est supérieure ou inférieure à l'une de ces limites de réglage.

#### Limites des fréquences moyennes garantissant un fonctionnement correct de l'appareillage

La limite supérieure des valeurs moyennes de la fréquence est de 53 Hz au maximum. La détermination de la limite inférieure est un peu plus compliquée. Si la tension du moteur synchrone reste approximativement stable, l'appareillage détermine correctement la fréquence jusqu'à une valeur moyenne d'environ 35 Hz, pour autant que, pendant cette période d'intégration, la fréquence ne fut, en aucun

instant, inférieure à 30 Hz. Si la valeur moyenne de la fréquence représente la somme de différentes valeurs instantanées supérieures à 30 Hz, et de valeurs nulles (interruption de tension), l'enregistrement sera correct jusqu'à une valeur moyenne d'environ 7 Hz, à condition toutefois que l'interruption de la tension ne se soit pas produite à  $\pm 0,5$  minute du déclenchement de la période d'intégration.

#### Conclusion

De ce qui précède, il est facile de dégager les avantages offerts aux exploitants des réseaux interconnectés par l'utilisation d'un tel appareillage, à savoir:

#### Comptage

Chacun des «Printo-Maxigraphes» est pourvu d'un compteur d'énergie active normal, admis au poinçonnage officiel, pouvant servir à l'enregistrement de l'énergie échangée. Le dispositif enregistreur, de son côté, fournit des indications précieuses sur la courbe de charge de l'installation.

#### Contrôle des écarts de fréquence

Les écarts de fréquence sont automatiquement enregistrés en regard des puissances moyennes échangées pendant la période d'intégration considérée.

Le contrôle et la surveillance des écarts sont ainsi considérablement simplifiés et facilités et la bande d'enregistrement constitue une pièce comptable offrant toutes garanties de sécurité et d'exactitude, mettant le contrôle des écarts de fréquence à l'abri de toutes possibilités d'erreurs pratiquement évitables avec les procédés actuels assurés par le personnel des dispatchings par liaisons téléphoniques.

## Die Induktivität runder Spulen

Von Karl E. Müller, Zürich

621.318.4.011.3

Diese Mitteilung ist ein Nachtrag zu einer früheren Arbeit<sup>1)</sup>. Dort wurde eine Formel zur einfachen Berechnung der Induktivität runder Spulen mit rechteckigem Wicklungsquerschnitt abgeleitet. Als besonderer Vorteil ergab sich eine Genauigkeit innerhalb 1 % für alle, einschliesslich der nur theoretisch möglichen, Dimensionsverhältnisse. Gleichzeitig konnte nebenbei ein Näherungsausdruck angegeben werden, der zwar weniger genau, dazu von beschränktem Gültigkeitsbereich ist, dagegen weniger Rechenarbeit erfordert und darum für Entwurfsarbeiten nützlich schien. Nun hat sich gerade dieser einfachere Näherungsausdruck in der Praxis eingeführt, und es war darum wünschenswert, das Problem einer *möglichst einfachen* Formel nochmals zu prüfen. Im folgenden soll über das Resultat dieser Untersuchung berichtet werden.

### 1. Vereinfachte, allgemein gültige Näherungsformel

Bereits in der früheren Arbeit konnte neben der auf 1 % genauen Formel (18) noch eine ein-

fachere Lösung in Formeln (15, 16) angegeben werden. Man kann aber noch weiter vereinfachen, wenn von Formel (18) ausgehend, ein Näherungswert des Faktors  $k$  in den Nenner gesetzt, dabei als Faktor mit der Länge  $l$  verbunden wird, um eine graduelle Abnahme seines Einflusses bei kurzen Spulen zu erreichen. Trachtet man weiter nach möglichst einfachen Zahlenkoeffizienten, so erhält man schliesslich die folgende Formel. Eine runde Spule ohne Eisen, mit rechteckigem Wicklungsquerschnitt, vom *mittleren* Durchmesser  $D$ , der Länge  $l$ , der Dicke  $c$ , der Windungszahl  $N$ , hat eine Selbstinduktion  $L$ , alles in cm, angenähert:

$$L = \frac{14,4 D^2 N^2 \log \left( 23 + \frac{2,4 D}{l + c} \right)}{D + 1,9 c + l \left( 2 + \frac{c}{D} \right)} \quad (23)$$

Aus der Tabelle I erkennt man, dass die Fehler entsprechend den praktischen Bedürfnissen verteilt wurden; die innere Einrahmung der Tabelle bezeichnet das Gebiet der am häufigsten vorkom-

<sup>1)</sup> K. E. Müller, Die Induktivität runder Spulen, Bulletin SEV 1943, Nr. 12, S. 335.

%-Fehler der Formel (23)

Tabelle I

$\frac{D}{l}$	$\frac{c}{D} =$							
	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
$\infty$	-0,5	+0,8	+2,3	+3,3	+3,5	+2,6	+1,6	+0,1
100	-1,0	+1,0	+2,2	+3,2	+3,3	+2,5	+1,5	+0,0
20	-0,7	+1,0	+1,8	+2,7	+2,8	+1,9	+1,1	-0,4
10	+0,0	+1,0	+1,6	+2,1	+2,2	+1,5	+0,1	+0,9
5	+0,6	+0,8	+0,8	+1,1	+1,9	+0,5	-0,5	-2,0
2	+0,2	-0,3	-0,5	-0,3	-0,1	-1,1	-2,2	-3,9
1	-0,7	-1,0	-1,0	-0,5	-0,3	-1,5	-2,9	-4,9
0,5	-1,2	-0,9	-0,5	-0,5	+0,7	-0,8	-2,4	-4,8
0,2	-1,2	-0,2	+0,8	+2,5	+2,9	+1,1	-0,7	-3,4
0,1	-1,0	+0,3	+1,5	+3,6	+4,3	+2,5	+0,6	-2,1
0	-0,6	+1,0	+2,6	+5,3	+6,0	+4,1	+2,7	-0,6

menden Dimensionen, wo der Fehler ca. 1 % erreicht. Dann folgt ein zweiter Rahmen, innerhalb welchem die Fehler für die selteneren Dimensionsverhältnisse bis auf 3 % steigen. Das äussere Gebiet ist praktisch bedeutungslos und die Maximalfehler von 5 % bzw. 6 % treten erst an den theoretischen Grenzen auf. Die Dezimalwerte der angegebenen Fehler sind um eine Einheit unsicher. — Eine weitere Vereinfachung scheint für eine allgemein gültige Formel nicht mehr möglich zu sein, und der Fortschritt gegenüber der alten Formel von Brooks und Turner ist überraschend; obgleich 10 Rechenoperationen wegfallen, sind die Fehler viel kleiner (vergl. S. 341, l. c.). Bei dieser Gelegenheit ist zu erwähnen, dass der Ausdruck für  $k$  nach Formel (11) der früheren Arbeit schon von K. Faye-Hansen, Trondheim, ebenfalls zur Aufstellung von Näherungsformeln abgeleitet wurde<sup>2)</sup>, wie er freundlicherweise selbst mitteilte.

**2. Näherungsausdruck beschränkter Gültigkeit**

Der im Aufbau der neuen Formel (23) verwirklichte Gedanke lässt sich analog auf den früheren Näherungsausdruck (19) anwenden, wodurch die Maximalfehler halbiert werden. Das

<sup>2)</sup> K. Faye-Hansen, Die Berechnung von eisenlosen Drosselpulen. ETZ 1930, S. 427.

Weglassen des Logarithmus bedingt, dass die kurzen Spulen, falls sie gleichzeitig dünn sind, ausgeschlossen werden müssen; so lautet die Näherung:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Bedingung: } 5(l + c) \geq D \\ L = \frac{10 D^2 N^2}{0,45 D + c + l \left( 1 + 0,55 \frac{c}{D} \right)} \end{array} \right\} \quad (24)$$

%-Fehler der Formel (24)

Tabelle II

$\frac{D}{l}$	$\frac{c}{D} =$							
	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
$\infty$	$-\infty$	-9,2	-2,3	+1,6	+2,3	+1,5	+0,5	-1,0
100	-36	-8,1	-1,5	+1,6	+2,2	+1,4	+0,4	-1,1
20	-18	-5,1	-1,1	+1,3	+1,8	+0,3	+0,0	-1,6
10	-9,3	-2,9	-0,6	+1,0	+1,3	+0,4	-0,6	-2,1
5	-2,4	-0,7	-0,1	+0,4	-0,4	-0,5	-1,5	-3,1
2	+1,4	+0,6	+0,0	-0,4	-0,7	-2,0	-3,3	-5,1
1	+1,5	+0,5	+0,0	-0,3	-0,8	-2,4	-4,0	-6,2
0,5	+1,0	+0,9	+0,7	+0,8	+0,4	-1,7	-3,5	-6,0
0,2	+1,1	+1,4	+2,0	+2,8	+2,5	+0,2	-1,8	-4,7
0,1	+1,1	+2,0	+2,7	+4,0	+4,1	+0,8	-0,6	-3,5
0	+1,3	+2,5	+3,7	+5,5	+5,8	+3,5	+1,2	-1,9

In der Fehlertabelle II ist der durch die Bedingung ausgeschlossene Bereich links oben eingerahmt; die dort angegebenen Fehler sind nur informationshalber aufgeführt. Wie man sieht, ist die Genauigkeit fast ebenso gut wie für Formel (23) und die gestellte Bedingung wird in der Praxis fast immer erfüllt sein.

Schliesslich ist zu beachten, dass bei Spulen von nur wenigen, mit Abstand gewickelten Windungen die Korrekturformel (20) anzuwenden und vorher der Grundwert der Selbstinduktion, wie früher angegeben, mit fiktiven Spulenmassen zu berechnen ist; nachzutragen bleibt die Vorschrift, bei einlagigen Spulen die fiktive Dicke gleich dem Windungsabstand zu nehmen, so dass der fiktive Wicklungsquerschnitt sinngemäss aus einer Reihe von Quadraten besteht, in deren Zentren je eine Windung ist.

**Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence**

**Equipement téléphonique utilisé par les studios pour les transmissions radiophoniques extérieures**

[Nach F. Dupuis, Techn. Mitt. Schweiz. TT-Verw., Bd. 22 (1944), Nr. 2, S. 66]

621.396.65

Au début de la radiodiffusion, un nombre important de manifestations d'ordre spirituel, artistique et musical ou se rapportant à l'actualité et au sport, demeuraient étrangères aux auditeurs du fait qu'elles se déroulaient en dehors des studios. Pour combler cette lacune, l'on fut amené à effectuer des transmissions dites «extérieures» aux studios. Différentes mesures durent être prises pour obvier au manque de moyens techniques et pour réaliser ces transmissions dans les meilleures conditions possibles. C'est ainsi que le réseau radiophonique fut toujours plus développé; il atteint au-

jourd'hui 20 000 km de circuits musicaux s'étendant dans toutes les directions, y compris les circuits de télédiffusion. En outre, les studios ont été dotés d'équipements modernes pour transmissions extérieures ainsi que de voitures de reportage.

Mais, plus les endroits d'où avaient lieu ces transmissions s'éloignaient des studios, plus il devenait difficile d'exploiter les liaisons téléphoniques. Les difficultés principales provenaient de la tension et de l'intensité du courant d'appel trop faibles et de la sensibilité insuffisante des organes de réception d'appels.

On a commencé par améliorer l'installation téléphonique BL des studios utilisée pour les transmissions extérieures. Pour ce faire, on a intercalé, dans l'équipement, des boîtes de fin de ligne, à l'entrée desquelles on fait aboutir les circuits téléphoniques. Cette boîte (fig. 1), créée par la division des essais et recherches de l'administration des télé-