

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 32 (1941)
Heft: 8

Artikel: Ein einfaches Verfahren zur Berechnung der Oberwellen in Gleichspannung und Netzstrom von Mutatoren
Autor: Uhlmann, Erich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057623>

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: 13.01.2026

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

ADMINISTRATION:
Zurich, Stauffacherquai 36 + Téléphone 5 17 42
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXII^e Année

N^o 8

Vendredi, 25 Avril 1941

Ein einfaches Verfahren zur Berechnung der Oberwellen in Gleichspannung und Netzstrom von Mutatoren.

Von Erich Uhlmann, Ludvika-Schweden.

621.3.018.3 : 621.314.65

Durch geeignete Zusammenfassung bei der Oberwellenzerlegung lassen sich die Formeln für die Gleichspannungs- und Netzstromoberwellen in einer für die Auswertung bequemen Form darstellen. Dabei ergibt sich auch ein einfaches graphisches Verfahren zu ihrer Auffindung. Aus dem für die Grundwelle des Netzstromes gültigen Diagramm ergibt sich gleichzeitig ihr Leistungsfaktor.

Par un groupement approprié de la décomposition des harmoniques supérieurs, les formules pour les harmoniques supérieurs de la tension continue et du courant du réseau peuvent être mises sous une forme pratique pour le calcul. Il en résulte aussi un procédé graphique simple pour les déterminer. Du diagramme établi pour l'onde fondamentale du courant du réseau on déduit en même temps son facteur de puissance.

In der Literatur aller Länder sind in den letzten Jahren zahlreiche Arbeiten veröffentlicht worden, die sich mit der Berechnung der Oberwellen in Gleichspannung und Netzstrom unter Einbeziehung des Steuer- und Ueberlappungswinkels befassen. Die Ergebnisse erscheinen dabei in einer für die Auswertung recht komplizierten Form, so dass auch schon Näherungsverfahren angegeben wurden¹⁾. Durch eine geeignete Zusammenfassung kann das vollständige Resultat aber auch in einfacherer Form angegeben werden und führt dabei ausserdem zu einem sehr leicht ausführbaren graphischen Verfahren, das hier in Kürze mitgeteilt werden soll.

Auf eine Wiederholung der Fourier-Analyse soll verzichtet und das Ergebnis direkt angegeben wer-

- I_1 die Grundwelle des Netzstroms ohne Ueberlappung
- $I_{xp \pm 1}$ den Effektivwert der $(\kappa p \pm 1)$ -ten Oberwelle im Netzstrom ohne Ueberlappung
- $I_{xp \pm 1}^{(u)}$ den Effektivwert der $(\kappa p \pm 1)$ -ten Oberwelle im Netzstrom mit Ueberlappung und bei Steuerung
- α den Steuerwinkel
- u den Ueberlappungswinkel
- ε_x den relativen induktiven Gleichspannungsabfall bezogen auf G_0
- $\kappa = 1, 2, 3, \dots$

1. Gleichspannungsoberwellen.

Die Zerlegung der Gleichspannungskurve ergibt

$$\frac{G_{xp}}{G_0} = \sqrt{\left(\frac{\cos(\kappa p + 1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(\kappa p + 1)}\right)^2 + \left(\frac{\cos(\kappa p - 1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(\kappa p - 1)}\right)^2} - 2 \frac{\cos(\kappa p + 1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(\kappa p + 1)} \frac{\cos(\kappa p - 1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(\kappa p - 1)} \cos(2\alpha + u).$$

den. Die gleichen Voraussetzungen wie in allen Arbeiten sind zu Grunde gelegt, auch die Oberwellenzerlegung ist wie üblich durchgeführt; lediglich in der meist ohnehin nicht abgedruckten Zwischenrechnung sind die Glieder anders zusammengefasst worden. Im folgenden bezeichnet:

- p die Phasenzahl des Mutators
- G_0 die ideelle Leerlaufgleichspannung
- G_{xp} den Effektivwert der κp -ten Gleichspannungsoberwelle bei Steuerung und mit Ueberlappung

Diese Formel mit nur wenigen einzeln zu rechnenden Teilen und mit α an nur einer einzigen Stelle ist einfach auszuwerten; sie zeigt aber auch, dass das Ergebnis die dritte Seite in einem Dreieck ist mit den Seiten

$$\overline{OA} = \frac{\cos(\kappa p + 1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(\kappa p + 1)}$$

und

$$\overline{OB} = \frac{\cos(\kappa p - 1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(\kappa p - 1)}$$

Um möglichst viele Fälle aus einem Diagramm entnehmen zu können, schlagen wir um 0 einen

¹⁾ Jungmichel u. Steckmann, Arch. f. Elektrotechn. 1937, S. 191.

Kreis mit \overline{OB} als Radius und tragen von der linken Seite der Horizontalen aus gerechnet erst den Winkel u und weiterhin den Winkel 2α ab

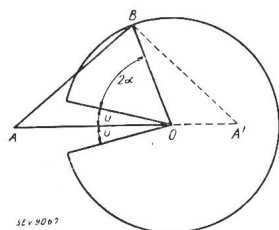


Fig. 1.

Konstruktion für die Gleichspannungsoberwelle.

$$\overline{OA} = \frac{\cos(xp+1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(xp+1)}$$

$$\overline{OB} = \frac{(\cos xp-1)\frac{u}{2}}{\sqrt{2}(xp-1)}$$

$$\frac{G_{xp}}{G_0} = \overline{AB} \text{ resp. } \overline{A'B}$$

2. Oberwellen im Netzstrom bei reinem Gleichstrom²⁾.

Bei Belastung mit reinem Gleichstrom treten die Oberwellen mit den Ordnungszahlen $(xp \pm 1)$ im Netzstrom auf; für diese gilt

$$\frac{I_{xp \pm 1}}{I_1} = \frac{1}{xp \pm 1}$$

Das Ergebnis der Oberwellenzerlegung bei Überlappung und Steuerung lässt sich in der Form darstellen:

$$2\varepsilon_x \frac{I_{xp \pm 1}^{(u)}}{I_{xp \pm 1}} = \sqrt{\left(\frac{\sin(xp \pm 1 + 1)\frac{u}{2}}{xp \pm 1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{\sin(xp \pm 1 - 1)\frac{u}{2}}{xp \pm 1 - 1}\right)^2 - 2 \frac{\sin(xp \pm 1 + 1)\frac{u}{2}}{xp \pm 1 + 1} \frac{\sin(xp \pm 1 - 1)\frac{u}{2}}{xp \pm 1 - 1} \cos(2\alpha + u)}$$

(Fig. 1). Auf der Horizontalen tragen wir ferner \overline{OA} nach links ab, wenn es das gleiche Vorzeichen wie \overline{OB} , und nach rechts, wenn es verschiedenes Vorzeichen hat (in diesem Fall in der Fig. A' genannt). Die Seite \overline{AB} bzw. $\overline{A'B}$ ist dann das

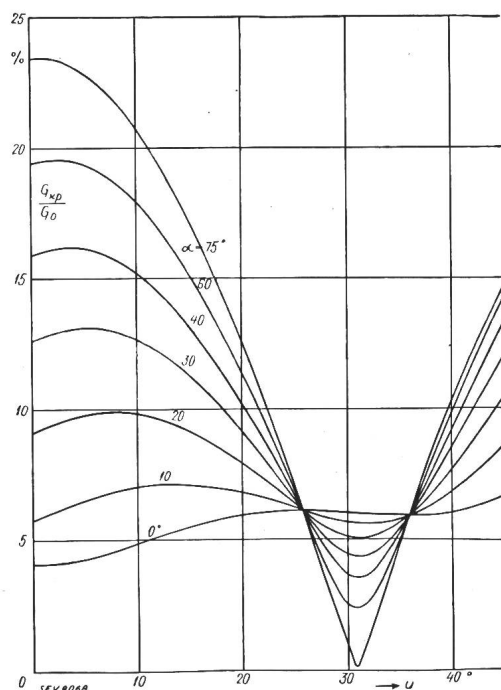


Fig. 2.

6. Oberwelle ($xp = 6$) in der Gleichspannung im Verhältnis zur ideellen Leerlaufspannung.

gesuchte Verhältnis der Oberwellen zur Gleichspannung. Durch Variation von α , d. h. durch Fortbewegen auf dem Kreise, erhält man aus dem gleichen Diagramm alle Fälle für konstantes u , einschliesslich der für Gleichstrom-Wechselstrom-Betrieb, wo die Wechselrichtertrittgrenze bei $(-u)$ erreicht wird. In Fig. 2 ist als Beispiel das Ergebnis der Auswertung für $xp = 6$ dargestellt.

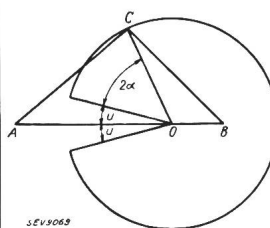
In ähnlicher Weise wie unter 1. errechnen wir nun die Dreieckseiten, wobei aus nur einem Diagramm die beiden Oberwellen mit gleichem x entnommen werden. Wir bestimmen

$$\overline{OA} = \frac{\sin(xp+2)\frac{u}{2}}{xp+2}$$

$$\overline{OB} = \frac{\sin(xp-2)\frac{u}{2}}{xp-2}$$

$$\overline{OC} = \frac{\sin xp \frac{u}{2}}{xp}$$

Mit der Strecke \overline{OC} als Radius schlagen wir wieder einen Kreis um O , tragen die Winkel u und 2α in der gleichen Weise auf wie unter 1. und zeichnen \overline{OA} bzw. \overline{OB} nach links, wenn es vorzeichengleich mit \overline{OC} ist (in der Fig. 3 ist bei-



$$\overline{OA} = \frac{\sin(xp+2)\frac{u}{2}}{xp+2} \quad \frac{I_{xp+1}^{(u)}}{I_{xp+1}} = \frac{\overline{AC}}{2\varepsilon_x}$$

$$\overline{OB} = \frac{\sin(xp-2)\frac{u}{2}}{xp-2} \quad \frac{I_{xp-1}^{(u)}}{I_{xp-1}} = \frac{\overline{BC}}{2\varepsilon_x}$$

$$\overline{OC} = \frac{\sin xp \frac{u}{2}}{xp}$$

Fig. 3.

Konstruktion für die beiden Oberwellen im Netzstrom mit gleichem x .

spielsweise \overline{OA} so eingetragen) und nach rechts, wenn es ein anderes Vorzeichen als \overline{OC} hat (in Fig. 3 ist beispielsweise \overline{OB} so eingetragen). Das Ergebnis wird dann

$$\frac{I_{xp+1}^{(u)}}{I_{xp+1}} = \frac{\overline{AC}}{2\varepsilon_x}$$

$$\frac{I_{xp-1}^{(u)}}{I_{xp-1}} = \frac{\overline{BC}}{2\varepsilon_x}$$

²⁾ Vgl. Fässler, Arch. f. Elektrotechn. 1938, S. 640.

Fig. 4 zeigt als Beispiel die Auswertung für einige Oberwellen bei einem Steuerwinkel $\alpha = 30^\circ$.

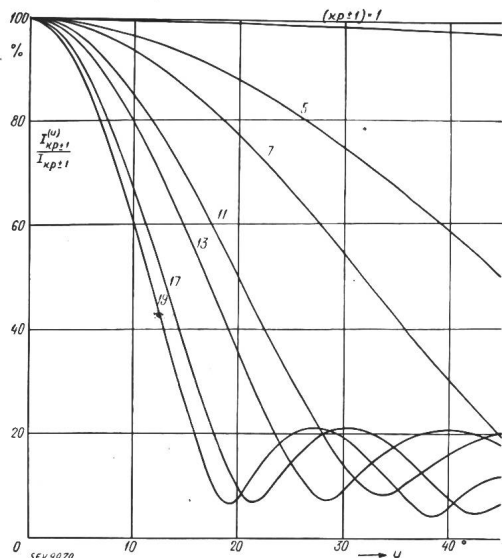
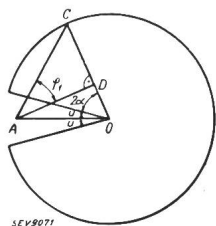


Fig. 4.

Oberwellen im Netzstrom bei $\alpha = 30^\circ$ im Verhältnis zu ihren Werten bei Vernachlässigung der Überlappung.



$$\begin{aligned} \overline{AO} &= \frac{1}{2} \sin u & \frac{I_1^{(u)}}{I_1} &= \frac{\overline{AC}}{2 \varepsilon_x} \\ \overline{CO} &= \frac{1}{2} u & \cos \varphi_1 &= \frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} \end{aligned}$$

Fig. 5.

Konstruktion für die Grundwelle im Netzstrom und für ihren Leistungsfaktor.

Bemerkt sei noch, dass das Verfahren auch für die Grundwelle ($\alpha = 0$) gilt, wobei aus obigen An-

gaben folgt, dass $\overline{OA} = \frac{1}{2} \sin u$ und $\overline{OC} = \frac{u}{2}$ wird.

In Fig. 5 ist die Konstruktion für die Grundwelle durchgeführt, um zu zeigen, dass man demselben Diagramm auch den Grundwellenleistungsfaktor entnehmen kann. Man braucht nämlich nur von A aus eine Senkrechte auf \overline{OC} zu ziehen, die im Punkt D endet; dann ist der Leistungsfaktor der Grundwelle

$$\cos \varphi_1 = \frac{\overline{AD}}{\overline{AC}}$$

Es kann dies leicht bewiesen werden; es ist nämlich $\tan \varphi_1$, in der Form darstellbar³⁾

$$\tan \varphi_1 = \frac{\frac{u}{2} - \frac{1}{2} \sin u \cos (2\alpha + u)}{\frac{1}{2} \sin u \sin (2\alpha + u)}$$

Man kann sich nun leicht überzeugen, dass in Fig. 5

$$\overline{AD} = \frac{1}{2} \sin u \sin (2\alpha + u)$$

$$\overline{OD} = \frac{1}{2} \sin u \cos (2\alpha + u)$$

$$\overline{CD} = \frac{u}{2} - \frac{1}{2} \sin u \cos (2\alpha + u)$$

und folglich $\angle DAC = \varphi_1$ wird.

Die Konstruktion enthält natürlich nicht den Einfluss des Magnetisierungsstroms, dem in üblicher Weise Rechnung zu tragen ist.

³⁾ Vgl. Müller-Lübeck und Uhlmann, Arch. f. Elektrotechn. 1933, H. 5.

Anwendung des elektrischen Antriebes in Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und Haushalt.

Bericht

über die Diskussionsversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) vom 10. Juni 1939 in der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich.

(Fortsetzung von Seite 109.)

Der Antrieb durch Mehrstufenmotoren und deren Steuerung.

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 10. Juni 1939 in Zürich, von W. Niedermann, Aarau.

Der Mehrstufenmotor gestattet auf derart einfache Weise verschiedene Geschwindigkeiten einzustellen, dass seine Bedeutung immer mehr zunimmt. Beim Einzelantrieb ersetzt er mit Vorteil die Stufenriemenscheibe des Transmissionsantriebes, woraus das grosse Anwendungsgebiet ohne weiteres ersichtlich ist. — Im folgenden werden die Eigenschaften des Motors sowie seine Steuerung gezeigt und zum Schluss einige Anwendungsbeispiele besprochen.

Der Motor.

Man unterscheidet Mehrstufenmotoren mit getrennten Wicklungen und solche mit einer Wicklung, die polumschaltbar ist.

Le moteur à plusieurs vitesses prend toujours plus d'importance. Dans les commandes individuelles, il remplace avantageusement la poulie à étages des commandes par transmission. Son champ d'application est donc très étendu. — Ce rapport mentionne les caractéristiques de ce moteur et de son réglage. Il se termine par quelques exemples pratiques.

Der Motor mit getrennten Wicklungen besitzt für jede Geschwindigkeitsstufe eine eigene Statorwicklung. Dabei lassen sich die Leistungen der einzelnen Stufen genau den Erfordernissen anpassen. Mit der