Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 21 (1930)

Heft: 11

Artikel: Ein einfaches Verfahren zur experimenteller Analyse von Wechselstromkurven

Autor: Laible, T. / Bindler, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058263

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: 07.01.2026

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

auf die Spur zu kommen. Es ist auch schon vorgeschlagen worden, durch Fein-Widerstandsmessung, speziell des am meisten beanspruchten Ballens, in aufeinander folgenden Zonen in der Längsrichtung Aufschluss über Fehler im Innern zu erhalten, aber wie würde sich ein axialer Längsriss bei dieser Methode zeigen? Offenbar gar nicht, und doch sind gerade diese die gefährlichsten Fehler in einem Rotor.

Trotz verschiedener in den letzten Jahren vorgekommener Rotorzerstörungen ist die heutige Lage im Bau von grössten schnellaufenden Generatoren doch so, dass bei richtiger Wahl und Behandlung der Materialien diese Generator-Rotoren einen absolut zuverlässigen Sicherheitsgrad aufweisen können, wie er bei gangbaren kleineren Leistungen bisher üblich war und auch im allgemeinen eingehalten worden ist.

Ein einfaches Verfahren zur experimentellen Analyse von Wechselstromkurven.

Von *Th. Laible*, dipl. Ing. und *E. Bindler*, dipl. Ing., Assistenten am Elektrotechnischen Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

621.317.35

Es wird ein Verfahren angegeben, das gestattet, die Amplitude einer Harmonischen beliebiger Ordnungszahl zu bestimmen, ohne dass es nötig wäre, Strom oder Spannung zu oszillographieren, wobei eine Harmonische von nur 1 % der Grundharmonischen noch sicher feststellbar ist.

Das Verfahren besteht darin, dass der zu untersuchenden Spannung eine andere Spannung überlagert wird, deren Frequenz mit derjenigen der gesuchten Harmonischen übereinstimmt. Durch geringe Aenderung der Ueberlagerungsfrequenz wird mit der Harmonischen ähnlicher Frequenz eine Schwebung erzeugt, welche mittels einem den Effektivwert anzeigenden Voltmeter festgestellt werden kann. Aus den Grenzwerten des Ausschlages und dem Effektivwert der überlagerten Spannung lässt sich dann die gesuchte Amplitude berechnen.

Die Autoren geben die Theorie des Verfahrens, Fehlerrechnung, Beispiele und Vergleiche mit anderen Methoden.

Les auteurs indiquent un procédé permettant de déterminer l'amplitude d'un harmonique d'ordre quelconque, sans qu'il soit nécessaire de relever un oscillogramme du courant ou de la tension. Ce procédé, capable de déceler encore avec certitude un harmonique d'amplitude égale à 1 % seulement de celle de l'harmonique fondamental, consiste à superposer à la tension analysée une autre tension, dont la fréquence coïncide avec celle de l'harmonique cherché. En modifiant légèrement la fréquence de la tension superposée on provoque, avec la fréquence voisine de l'harmonique considéré, des battements pouvant être enregistrés par un voltmètre indiquant la valeur efficace. On peut déduire l'amplitude cherchée des valeurs-limite de la déviation du voltmètre et de la valeur efficace de la tension superposée.

Les auteurs donnent la théorie du procédé, le calcul des erreurs, des exemples et comparent d'autres méthodes à la leur.

Ursprung.

Für die Untersuchung eines neuen Wechselstromvoltmeters (Drehspuleninstrument mit eingebautem Trockenplattengleichrichter, Pat. Gossen-Westinghouse) in bezug auf Abhängigkeit von der Kurvenform wurde eine stark verzerrte Spannungskurve erzeugt durch Ueberlagerung einer 150-periodigen Spannung über die 50-periodige Netzspannung. Dabei zeigte sich nicht nur am untersuchten, sondern auch an den parallel geschalteten Kontrollvoltmetern (ein Hitzdrahtinstrument, ein eisenloses dynamisches Instrument) starkes Schwanken der Ausschläge. Herr Prof. Dr. K. Kuhlmann verwies uns auf die Möglichkeit, dass diese Schwankungen durch eine Schwebungserscheinung der überlagerten 150-periodigen Spannung mit einer dritten Harmonischen der Netzspannung selbst hervorgerufen würden, was sich auch bestätigte. Die nähere Untersuchung der Erscheinung führte uns auf das im folgenden beschriebene Verfahren zur Anzeige und Messung höherer Harmonischen in einer Wechselspannung.

Einleitung.

Bei der üblichen Methode, eine Wechselstromkurve zu analysieren, wird zuerst ein Oszillogramm aufgenommen und dieses nach einem der bekannten rechnerischen, graphischen oder mechanischen Verfahren ausgewertet.

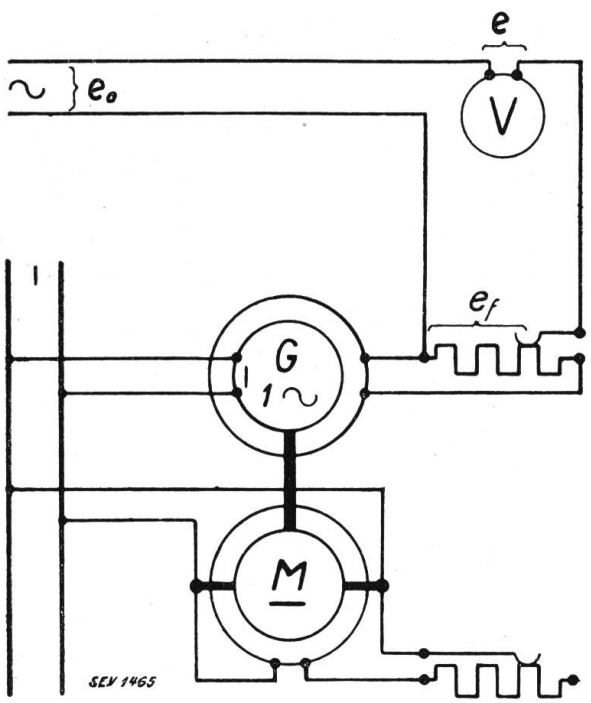

Fig. 1.
Prinzipielles Schaltungsschema.
e_0 zu untersuchende Wechselspannung.
GM Gruppe zur Erzeugung der Ueberlagerungsspannung, bestehend aus Einphasensynchronmaschine hoher Polzahl mit Antriebsgleichstrommotor.

Dieses Verfahren ist aber umständlich, besonders wenn man nicht alle, sondern nur einzelne der höheren Harmonischen bestimmter Ordnungszahl braucht und zu ungenau, wenn die gesuchte höhere Harmonische nur kleine Amplitude im Vergleich zur Grundharmonischen hat. Das von uns entwickelte Verfahren erlaubt, die Amplitude einer Harmonischen beliebiger Ordnungszahl zu bestimmen, ohne dass es nötig wäre, den Strom oder die Spannung erst zu oszillographieren. Ferner ist auch eine Harmonische von nur 1% der Grundharmonischen noch sicher festzustellen.

Das Verfahren besteht darin, dass der zu untersuchenden Spannung eine andere Spannung überlagert wird, die der Frequenz nach mit der gesuchten Harmonischen übereinstimmt. Die resultierende Spannung wird mit einem Voltmeter gemessen, das den Effektivwert anzeigt, also mit einem dynamischen oder einem Hitzdrahtinstrument. Wird nun die Ueberlagerungsfrequenz ganz wenig verändert, so erzeugt sie zusammen mit der Harmonischen ähnlicher Frequenz eine Schwebung. Der Zeiger des Voltmeters schwingt langsam über einen gewissen Bereich der Skala.

Aus den Grenzwerten des Ausschlags und dem Effektivwert der überlagerten Spannung lässt sich dann, wie im folgenden gezeigt werden soll, die gesuchte Amplitude berechnen.

Die Schaltung für das Verfahren ist prinzipiell in Fig. 1 dargestellt.

Theorie.

Die zu untersuchende Spannung habe die Form:

$$e_0 = E_1 \sqrt{2} \sin(\omega t + a_1) + E_2 \sqrt{2} \sin(2\omega t + a_2) + .. = \sum_{\nu=1}^{\infty} E_\nu \sqrt{2} \sin(\nu\omega t + a_\nu). \quad (1)$$

Darin sei die Amplitude $E_n \sqrt{2}$ der n-ten Harmonischen gesucht. Der Effektivwert von e_0 ist bekanntlich:

$$E_0 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + ..} = \sqrt{\sum_{\nu=1}^{\infty} E_\nu^2}. \quad (2)$$

Der Spannung e_0 überlagern wir die Hilfsspannung:

$$e_f = E_f \sqrt{2} \sin(n\omega t + a_f). \quad (3)$$

Die resultierende Spannung $e = e_0 + e_f$ hat nun die n-te Harmonische

$$e_n = E_n \sqrt{2} \sin(n\omega t + a_n) + E_f \sqrt{2} \sin(n\omega t + a_f). \quad (4a)$$

Setzen wir $a_f = a_n + \varphi$ und entwickeln im 2. Glied nach einer bekannten Formel der Trigonometrie:

$$\sin(n\omega t + a_n + \varphi) = \sin(n\omega t + a_n) \cos\varphi + \cos(n\omega t + a_n) \sin\varphi, \quad (5)$$

so können wir die n-te Harmonische schreiben:

$$e_n = (E_n\sqrt{2} + E_f\sqrt{2}\cos\varphi)\sin(n\omega t + a_n) + E_f\sqrt{2}\sin\varphi\cos(n\omega t + a_n) \qquad (4b)$$

Das Quadrat der Amplitude dieser Schwingung ist die Summe der Quadrate der Amplituden des Sinus- und des Cosinusgliedes:

$$(E_n\sqrt{2} + E_f\sqrt{2}\cos\varphi)^2 + (E_f\sqrt{2}\sin\varphi)^2 = 2(E_n^2 + E_f^2 + 2E_nE_f\cos\varphi). \qquad (6)$$

Bei der Berechnung des Effektivwertes E der resultierenden Spannung ist jetzt also statt E_n^2 der Ausdruck $E_n^2 + E_f^2 + 2E_nE_f\cos\varphi$ einzusetzen und man erhält:

$$\left.\begin{aligned} E &= \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \ldots E_{n-1}^2 + (E_n^2 + E_f^2 + 2E_nE_f\cos\varphi) + E_{n+1}^2 + \ldots} \\ &= \sqrt{E_0^2 + E_f^2 + 2E_nE_f\cos\varphi}. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Ist nun die Frequenz der Spannung e_f ganz wenig von $n\omega$ verschieden, so tritt zwischen den beiden Spannungen e_f und $E_n\sqrt{2}\sin(n\omega t + a_n)$ eine Schwebung auf. Die Phase φ von e_f gegenüber $E_n\sqrt{2}\sin(n\omega t + a_n)$ ändert sich langsam und durchläuft der Reihe nach alle Werte von 0 bis 360°. Dabei ändert sich $\cos\varphi$ zwischen $+1$ und -1. Der am Voltmeter beobachtete Effektivwert schwankt zwischen den Grenzen

$$\left.\begin{aligned} E_{max} &= \sqrt{E_0^2 + E_f^2 + 2E_nE_f} \\ \text{und} \quad E_{min} &= \sqrt{E_0^2 + E_f^2 - 2E_nE_f}. \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Quadriert man die beiden Ausdrücke und subtrahiert den zweiten vom ersten, so erhält man $E_{max}^2 - E_{min}^2 = 4E_nE_f$, woraus man den gesuchten Wert findet:

$$E_n = \frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{4E_f}. \qquad (9)$$

Führt man den Mittelwert der Ablesungen $E_m = \dfrac{E_{max} + E_{min}}{2}$ (10)

und die Grösse der Schwankungen $\Delta E = E_{max} - E_{min}$ (11)

ein, so lässt sich E_n noch auf eine für die praktische Berechnung bequemere Form bringen:

$$\underline{E_n = \frac{E_m\,\Delta E}{2E_f}}. \qquad (12)$$

Fehlerabschätzung.

Die Ueberlagerungsspannung wurde bisher als rein sinusförmig angenommen. Der Fall, wo sie selbst höhere Harmonische enthält, bedarf noch einer näheren Prüfung, um die Grösse der dadurch möglicherweise verursachten Fehler festzustellen.

Die Ueberlagerungsspannung habe eine $\varkappa$-te höhere Harmonische:

$$e_f = E_{f1}\sqrt{2}\sin(n\omega t + a_{f1}) + E_{f\varkappa}\sqrt{2}\sin(\varkappa n\omega t + a_{f\varkappa}). \qquad (13)$$

Diese setzt sich mit der $\varkappa n$-ten Harmonischen der Spannung e_0 zusammen. Daher ist jetzt bei der Berechnung des Effektivwertes E auch $E_{\varkappa n}^2$ durch

$$E_{\varkappa n}^2 + E_{f\varkappa}^2 + 2E_{\varkappa n}E_{f\varkappa}\cos\varphi_\varkappa$$

zu ersetzen.

Es wird jetzt also:

$$E^2 = E_0^2 + E_{f1}^2 + E_{f\varkappa}^2 + 2E_nE_{f1}\cos\varphi_1 + 2E_{\varkappa n}E_{f\varkappa}\cos\varphi_\varkappa, \qquad (14a)$$

worin $\varphi_1 = a_{f1} - a_n;\ \varphi_\varkappa = a_{f\varkappa} - a_{\varkappa n}.$

Setzt man $\dfrac{E_{\varkappa n}}{E_n} = p_\varkappa$ und $\dfrac{E_{f\varkappa}}{E_{f1}} = q_\varkappa$ und beachtet, dass $E_{f1}^2 + E_{f\varkappa}^2 = E_f^2$ den Effektivwert der Spannung e_f gibt, so wird:

$$E^2 = E_0^2 + E_f^2 + 2\,E_n\,E_{f1}\,(\cos\varphi_1 + p_\varkappa\,q_\varkappa\,\cos\varphi_\varkappa). \tag{14b}$$

Die Klammer habe ihren Maximalwert für $\varphi_1 = \varphi_1'$; $\varphi_\varkappa = \varphi_\varkappa'$ und entsprechend ihren Minimalwert für $\varphi_1 = \varphi_1 + \pi$; $\varphi_\varkappa = \varphi_\varkappa' + \varkappa\,\pi$, also:

$$\left.\begin{aligned} E_{max}^2 &= E_0^2 + E_p^2 + 2\,E_n\,E_{f1}\,(\cos\varphi_1' + p_\varkappa\,q_\varkappa\,\cos\varphi_\varkappa') \\ E_{min}^2 &= E_0^2 + E_f^2 + 2\,E_n\,E_{f1}\,(-\cos\varphi_1' + (-1)^\varkappa\,p_\varkappa\,q_\varkappa\,\cos\varphi_\varkappa') \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{4\,E_{f1}} &= E_n\left(\cos\varphi_1' + \frac{1-(-1)^\varkappa}{2}\,p_\varkappa\,q_\varkappa\,\cos\varphi_\varkappa'\right) \\ &= \begin{cases} E_n\,(\cos\varphi_1' + p_\varkappa\,q_\varkappa\,\cos\varphi_\varkappa') & \text{für } \varkappa \text{ ungerade} \\ E_n\,\cos\varphi_1' & \text{für } \varkappa \text{ gerade} \end{cases} \end{aligned}\right\} \tag{16}$$

Wie man leicht einsieht, muss der Maximalwert der Klammer stets zwischen $1 + p_\varkappa\,q_\varkappa$ und $1 - p_\varkappa\,q_\varkappa$ liegen. Für ungerades $\varkappa$ haben wir also:

$$\frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{4\,E_{f1}}\,\frac{1}{1+p_\varkappa q_\varkappa} \leqq E_n \leqq \frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{4\,E_{f1}}\,\frac{1}{1-p_\varkappa\,q_\varkappa}. \tag{17}$$

Wenn nur eine der beiden Grössen $p_\varkappa$ oder $q_\varkappa$ klein ist, das heisst in einer der beiden Kurven e_0 oder e_f die betreffende Harmonische nur schwach ausgeprägt ist, so ist $p_\varkappa\,q_\varkappa \ll 1$ und der mögliche Fehler also gering. Weniger leicht lässt sich der Einfluss einer Harmonischen gerader Ordnungszahl zeigen. Der Wert von $\cos\varphi_1'$, der die Klammer zu einem Maximum macht, kann irgendwo zwischen 0 und 1 liegen. Solange aber $p_\varkappa\,q_\varkappa$ nicht zu gross ist $\left(p_\varkappa\,q_\varkappa < \frac{1}{\varkappa}\right)$, lässt sich zeigen, dass der kleinstmögliche Wert von $\cos\varphi_1'$, der $(\cos\varphi_1' + p_\varkappa\,q_\varkappa\,\cos\varphi_\varkappa')$ zu einem Maximum macht $(\cos\varphi_1')\,\min = \sqrt{1-\varkappa^2\,p_\varkappa^2\,q_\varkappa^2}$ ist. Unter dieser Voraussetzung lässt sich also beim Vorhandensein einer höheren Harmonischen gerader Ordnung als Fehlergrenze angeben:

$$\frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{4\,E_{f1}} \leqq E_n \leqq \frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{4\,E_{f1}}\,\frac{1}{\sqrt{1-\varkappa^2\,p_\varkappa^2\,q_\varkappa^2}}. \tag{18}$$

Bemerkungen zur praktischen Ausführung.

Zur praktischen Ausführung der Messung ist zu sagen, dass sich die Ueberlagerungsfrequenz nur äusserst wenig von derjenigen der gesuchten Harmonischen unterscheiden darf, da nur bei ganz langsamen Schwebungen (Dauer einer Schwebung 1 bis mehrere Sekunden) die Grenzwerte des Ausschlages E_{max} und E_{min} sicher ablesbar sind. Ist die Schwebungsfrequenz zu gross, so sind wegen der Massenträgkeit des Systems des Instrumentes die Zeigerausschläge grösser als der Schwebung entspricht. Ferner ist darauf zu achten, dass das verwendete Voltmeter in der Nähe der in Frage kommenden Schwebungsfrequenzen keine mechanische Eigenfrequenz besitzt. Damit eine richtige Schwebung erzielt werden kann, muss die Drehzahl des Antriebsmotors für den Generator zur Erzeugung der Ueberlagerungsspannung sehr fein regulierbar sein. Die Differenz der Ausschläge ΔE wird um so genauer ablesbar, je grösser sie ist. Sie lässt sich nach Formel (12) bei gegebenen Verhältnissen vergrössern durch Erhöhung der Ueberlagerungsspannung E_f.

Aufnahme von Stromkurven.

Die oben behandelte Methode bedarf nur einer geringen Modifikation, wenn statt einer Spannungskurve eine Stromkurve zu analysieren ist. Der zu untersuchende Strom wird durch einen rein Ohmschen Widerstand geschickt und der an

diesem auftretende Spannungsabfall nach der obigen Methode untersucht. Der Widerstand muss natürlich zur Vermeidung von Fehlern in hohem Masse frequenzunabhängig sein. Besonders hiezu geeignet ist daher der von Prof. Dr. K. Kuhlmann für genaue Messungen angegebene Röhrenshunt.

Anwendungsbeispiel:

Wir wollen als Beispiel für die Brauchbarkeit des Verfahrens für die Spannungskurve einer kleinen Synchronmaschine mit ausgeprägten Polen (3,6 kVA, 1500 U/m, Type 5b der Maschinenfabrik Oerlikon) die Resultate der Analyse nach verschiedenen Methoden zusammenstellen.

Fig. 2 zeigt das Oszillogramm der betreffenden Kurve, aufgenommen mit dem Blondelschen Schleifenoszillographen von Siemens & Halske. Dieselbe Kurve wurde ferner mit Hilfe der Joubertschen Scheibe punktweise aufgenommen (Intervall 10° elektrisch). Ihre rechnerische Auswertung nach der Methode von Bessel und Runge ergab bei einem Effektivwert von 86,0 V als Amplituden:

Tabelle I.

	Amplitude in V	Amplitude in % der Grundharm.	Mech. Analyse %
1. Harmonische	121,1	100,0	100,0
3. Harmonische	10,3	8,5	7,8
5. Harmonische	2,5	2,1	ca. 2,0

Alle höheren Harmonischen sind unter 1% der Grundharmonischen und liegen unter der Genauigkeitsgrenze der Messanordnung (1 bis 2%). Die letzte Kolonne zeigt die Resultate der Untersuchung derselben Kurve mit dem mechanischen Analysator von Henrici-Coradi. Dieselbe Kurve wurde dann nach dem obenentwickelten Verfahren direkt untersucht. Zur Prüfung der Zuverlässigkeit des Verfahrens wurde der Wert der Ueberlagerungsspannung in weiten Grenzen variiert.

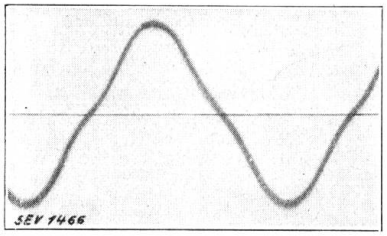

Fig. 2.
Oszillogramm der Spannung einer kleinen Synchronmaschine.

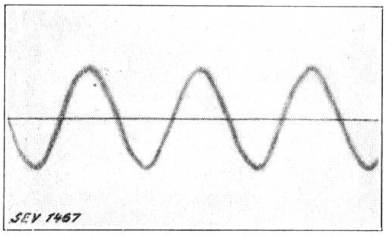

Fig. 3.
Oszillogramm der Ueberlagerungsspannung.

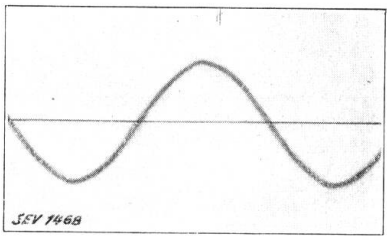

Fig. 4.
Oszillogramm der Netzspannung des E. W. der Stadt Zürich.

Für die Erzeugung der Ueberlagerungsspannung von 150 und 250 Per/s diente eine 12-polige Synchronmaschine für 3 kVA und maximal 3000 U/m der Electric Construction Co. Ltd., Wolverhampton, angetrieben durch einen kleinen Gleichstrommotor derselben Firma. Die Spannungskurve der Maschine gemäss Fig. 3 enthält zwar höhere Harmonische, jedoch ist deren Grösse nicht derart, dass erhebliche Fehler verursacht würden.

Als Voltmeter wurde ein eisenloses elektrodynamisches Präzisionsvoltmeter von Siemens & Halske benutzt. Für die Aufnahme der Grundharmonischen diente als Hilfsspannung die auf 250 V heruntertransformierte Spannung des Netzes der Stadt Zürich. Ihr Oszillogramm zeigt Fig. 4.

Bestimmung der Grundharmonischen:

Tabelle II.

E_0 eff V	E_f eff V	E_{min} eff V	E_{max} eff V	E_1 eff V	E_1 max V	E_1 max auf $E_0 = 86{,}0$ V reduziert V
86,6	19,5	66,4	105,6	86,5	122,3	121,4
86,0	24,7	59,8	109,7	85,6	121,0	121,0
87,2	30,3	53,6	116,8	88,8	125,7	124,0

Genauer ergibt sich die Grundharmonische aus der Ueberlegung, dass

$$E_0^2 = E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \ldots = E_1^2 (1 + (0{,}08)^2 + (0{,}02)^2 + ..) = 1{,}0076\, E_1^2.$$

$$E_0 = 1{,}0038\, E_1.$$

Also $E_{1\,\mathrm{eff}} = \dfrac{86{,}0}{1{,}0038} = 85{,}7$ V; $\underline{E_{1\,max} = 121{,}1 \text{ V.}}$

Bestimmung der dritten Harmonischen:

Tabelle III.

E_0 eff V	E_f eff V	E_{min} eff V	E_{max} eff V	E_3 eff V	E_3 max auf $E_0 = 86{,}0$ V reduziert V	$\frac{E_3}{E_1}$ 100 %
87,9	20,0	87,9	91,2	7,39	10,20	8,43
87,9	30,1	89,7	94,2	6,88	9,49	7,84
88,1	39,9	92,9	98,5	6,72	9,28	7,66
88,6	50,0	96,5	103,6	7,10	9,77	8,06
87,9	60,1	102,1	110,1	7,06	9,76	8,05
88,3	70,2	108,0	116,7	6,98	9,59	7,92
88,5	81,7	115,6	125,2	7,08	9,72	8,02
				Mittel:	9,69	8,00

Bestimmung der fünften Harmonischen:

Tabelle IV.

E_0 eff V	E_f eff V	E_{min} eff V	E_{max} eff V	E_5 eff V	E_5 max auf $E_0 = 86{,}0$ V reduziert V	$\frac{E_5}{E_1}$ 100 %
87,0	40,0	93,4	95,0	1,88	2,63	2,17
87,7	49,8	97,9	100,0	2,08	2,88	2,38
85,0	59,4	100,6	102,8	1,88	2,69	2,23
87,5	60,3	103,8	106,0	1,91	2,65	2,20
87,0	70,0	110,0	112,6	2,07	2,89	2,39
87,1	77,4	114,8	117,2	1,80	2,52	2,07
				Mittel:	2,71	2,24

Auch die siebente Harmonische war noch deutlich wahrnehmbar. Bei $E_0 = 86{,}0$ V und $E_f = 71{,}2$ V betrug der Ausschlag im Mittel 111,5 V und schwankte total um ca. 0,5 V.

Daher

$$\underline{E_{7\,\mathrm{eff}}} = \frac{0{,}5 \cdot 111{,}5}{2 \cdot 71{,}2} = \underline{0{,}39 \text{ V.}}$$

$$\underline{E_{7\,max}} = 0{,}39\,\sqrt{2} = \underline{0{,}55 \text{ V.}}$$

$$\underline{\frac{E_7}{E} 100} = \frac{0{,}55}{121{,}1}\, 100 = \underline{0{,}46\ \%.}$$

Zusammenstellung der Resultate der direkten Analyse: Tabelle V.

Harmonische	Amplitude bei $E_0 = 86{,}0$ V V	% der Grundharmonischen %	Rechnerische Analyse %	Mechanische Analyse %
1.	121,1	100	100	100
3.	9,69	8,00	8,5	7,8
5.	2,71	2,24	2,1	ca. 2
7.	0,55	0,46	–	–

Zum Vergleich sind in den beiden letzten Kolonnen die Resultate aus Tabelle I nochmals angeführt.

Vergleich der verschiedenen angewendeten Methoden.

Die Aufnahme eines Oszillogramms mit dem Schleifenoszillographen geht zwar ziemlich rasch, wenn die ganze Apparatur passend zusammengestellt ist. Eine beträchtliche Verzögerung tritt jedoch ein durch das notwendige Entwickeln und Kopieren der Aufnahme. Zudem bedingt das kleine Format der erhaltenen Kurve nur eine sehr beschränkte Genauigkeit der Analyse. Für mechanische Analyse lässt sich eine Vergrösserung auf photographischem Wege oder durch Umzeichnen nicht vermeiden.

Die Kurvenaufnahme mit der Joubertschen Scheibe, die bei entsprechender Sorgfalt gute Kurven für die Analyse liefert, ist dafür ziemlich zeitraubend. Auch ist zum Zeitaufwand für die Aufnahme stets noch derjenige für die Ausführung der Analyse selbst zu rechnen.

Zieht man dies alles in Betracht, so findet man, dass die hier angegebene Methode weitaus am raschesten die Resultate liefert. Wenn eine geeignete Gruppe zur Erzeugung der Ueberlagerungsspannung zur Verfügung steht, ist es leicht möglich in ca. 10 Minuten das Vorhandensein und die ungefähre Grösse der gewünschten Harmonischen festzustellen. Wie aus der Fehlerabschätzung und den erhaltenen Resultaten ersichtlich ist, sind die Anforderungen an die Reinheit der Kurvenform der Ueberlagerungsspannung nicht hoch. Bei etwas mehr Zeitaufwand ist es möglich, durch mehrere Wiederholungen der Messungen und Mittelbildung eine Genauigkeit zu erzielen, wie sie bei keiner andern Methode erreicht wird. Wie am angeführten Beispiel zu erkennen ist, lassen sich ferner auch sehr kleine höhere Harmonische noch sicher feststellen.

Damit dürfte der praktische Wert dieser Methode genügend dargelegt sein.

Einheitstarif für Sekundärstrom-Abgabe.

Von *Fr. Setz*, Arbon.

621.317.8

In Ergänzung zu seinem Aufsatz über Sekundärstromtarife im Bulletin 1928, S. 362, weist der Autor darauf hin, dass sich der von ihm befürwortete Grundgebührentarif mit Strombegrenzer sehr wohl auch in solchen Fällen eignet, wo Stromverbraucher, die nur hie und da eingeschaltet werden, wie z. B. elektrische Oefen, vorhanden sind, sofern parallel zum Strombegrenzer noch ein Sperrschalter installiert wird, der ausserhalb der Spitzenzeiten den Strombegrenzer kurz schliesst. Anhand einiger praktischer Beispiele wird die Wirkung dieses Tarifes im Vergleich mit andern, üblicheren Tarifen, gezeigt.

Pour compléter son article sur la tarification dans les réseaux secondaires, paru dans le Bulletin 1928, page 362, l'auteur fait remarquer que le tarif à taxe initiale avec limiteur de courant, qu'il préconise, s'adapte parfaitement aussi aux appareils à fonctionnement intermittent, comme les fourneaux électriques p. ex., à condition d'installer parallèlement au limiteur un interrupteur de blocage qui court-circuite le premier en dehors des heures de pointes. Il montre ensuite, à l'aide de quelques exemples pratiques, l'effet de ce tarif qu'il compare à d'autres tarifs plus usuels.

Sowohl der Fachmann wie der Laie empfinden die Vielgestaltigkeit der Sekundärstrom-Tarife als Uebelstand. Der Fachmann weil er weiss, dass die Forderung