

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 37 (1946)
Heft: 18

Artikel: Zur Theorie des Frequenz-Diskriminators
Autor: Güttinger, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057348>

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: 18.01.2025

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

der wirtschaftlichen Auslegung der Leistungsgrösse der Wärmepumpe sowie der zweckmässigen Ausbildung der Fernheizung bedeutende Ersparnisse

gegenüber dem früheren Betrieb erzielt werden konnten. Systematische Betriebserhebungen sind für die nächste Heizperiode vorgesehen; es soll zu gegebener Zeit darüber berichtet werden.

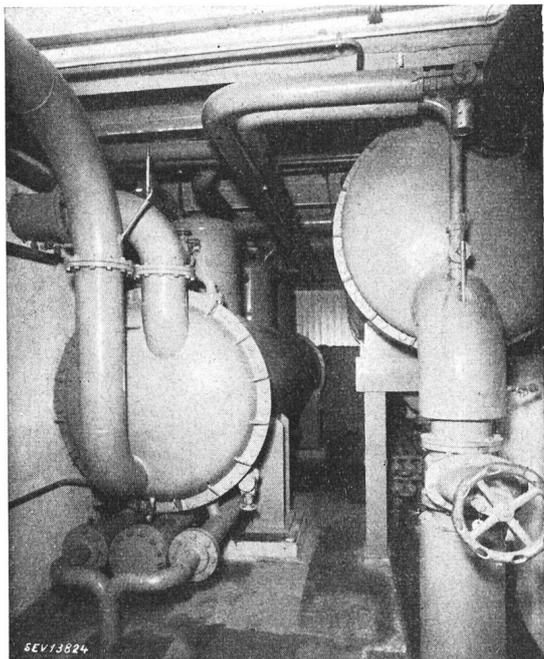


Fig. 14.
Verdampfer (links) und Kondensator (rechts) der Wärmepumpenanlage

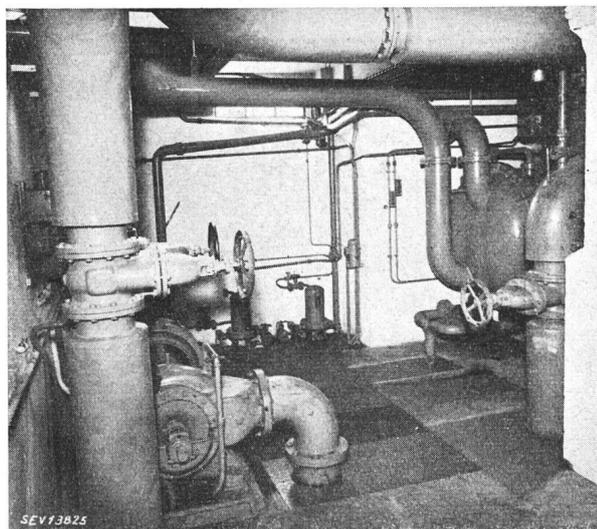


Fig. 15.
Grundwasserpumpe und automatische Regulierventile der Wärmepumpenanlage
Rechts im Hintergrund der Verdampfer (siehe Fig. 14)

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. R. Rugg, Höggerstr. 133, Zürich 10.

Zur Theorie des Frequenz-Diskriminators

Von P. Güttinger, Baden

621.395.619.018.41 : 621.395.62

Ausgehend von Arbeiten anderer Autoren (vgl. Literatur-Verzeichnis am Schluss) wird hier eine allgemeine Theorie des Diskriminators entwickelt. Es werden die Linearitätsbedingungen von einem neuen Gesichtspunkte aus betrachtet. Die Untersuchung bezieht sich vor allem auf den Fall der Demodulation von FM-Schwingungen. Dort bildet bekanntlich die möglichst unverzerrte Umformung der Frequenzmodulation in Amplitudenmodulation das Hauptproblem.

Partant des travaux d'autres auteurs, (cf. liste à la fin de l'exposé) une théorie générale du discriminateur a été développée dans cet article. Les conditions de linéarité ont été envisagées d'un point de vue nouveau. Les recherches se rapportent avant tout à la démodulation d'ondes modulées en fréquence. Dans ce domaine le problème principal est la conversion, avec le moins de distorsion possible, de la modulation de fréquence en modulation d'amplitude.

Ein Schaltungselement der Hochfrequenztechnik, welches in neuerer Zeit eine besondere Bedeutung erlangt hat, ist der Diskriminator. Seine Aufgabe besteht darin, feste Frequenzen zu messen und zu kontrollieren (Frequenzregulierung von Sendern) oder die Modulation variabler Frequenzen zu «diskriminieren» (Umwandlung von Frequenz- in Amplitudenmodulation bei Empfängern).

Die einfachste Form des Diskriminators besteht in einer Drosselspule, welche von einem Wechselstrom konstanter Amplitude

$$i = A_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

durchflossen wird (Fig. 1). Da die an L entstehende Spannung

$$u = L \frac{di}{dt} = A_0 L \omega \cos(\omega t + \varphi)$$

der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ proportional ist, kann mit Hilfe eines Amplitudengleichrichters, z. B. mit-

tels einer Diode, die Frequenz direkt gemessen werden.

Indessen wird diese primitive Form des Diskriminators in der Hochfrequenztechnik nur sehr selten verwendet, hauptsächlich darum, weil sein Wir-

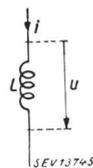


Fig. 1.
Drosselspulen-Diskriminator
 L Induktivität. i HF-Strom.
 u Spannung über L .

kungsgrad ungenügend ist. Die in der Hochfrequenztechnik festzustellenden Frequenzänderungen sind relativ gering, so dass die Amplitudenvariationen von u fast unmessbar klein werden.

Auch ein gewöhnlicher Resonanzkreis (Fig. 2) kann als Diskriminator verwendet werden, wobei der Wirkungsgrad gegenüber der nicht abgestimmten Induktivität viel höher ist. Dieses Verfahren

wird ebenfalls verhältnismässig wenig verwendet, weil der *lineare* Aussteuerungsbereich an der Flanke der Resonanzkurve relativ klein ist.

Die Schaltung, die in der Praxis am meisten Verbreitung gefunden hat, ist der *Phasensprung-Diskriminator*, der in Fig. 3 dargestellt ist. In dieser

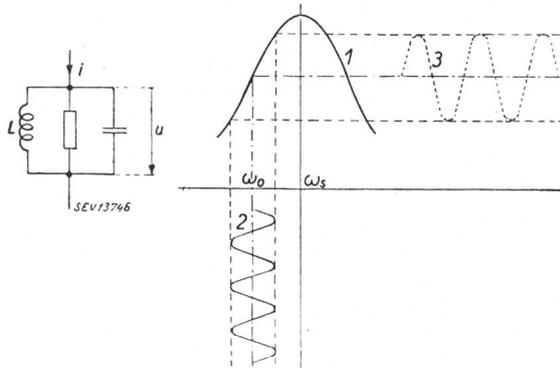


Fig. 2. Resonanzkreis-Diskriminator

ω_0 Trägerfrequenz. ω_s Resonanzfrequenz des Filters. 1 Resonanzkurve. 2 frequenzmodulierter Strom i . 3 amplitudenmodulierte Spannung u .

Schaltung sollen die Kapazitäten C_K und C_S so gross dimensioniert sein, dass sie für die Hochfrequenzströme praktisch einen Kurzschluss bilden. Für die Dioden-Richtströme sind nun die Amplituden der an den Dioden angelegten Hochfrequenzspannungen massgebend. Diese betragen an der einen Diode $\left| u_1 + \frac{1}{2} u_2 \right|$, und an der andern Diode $\left| u_1 - \frac{1}{2} u_2 \right|$. Da der Diskriminator in seinem Schaltungs-Aufbau einem zweikreisigen Bandfilter entspricht, lassen sich die Spannungswerte u_1 und u_2 nach bekannten Formeln berechnen.

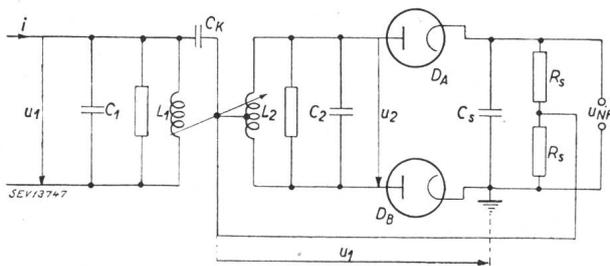


Fig. 3. Phasensprung-Diskriminator

i frequenzmodulierter Strom. u_1 Eingangsspannung des Filters. u_2 Ausgangsspannung des Filters. u_{NF} niederfrequente Ausgangsspannung des Diskriminators. D_A und D_B Dioden. C_1, L_1 Primärkreis. C_2, L_2 Sekundärkreis. C_K Koppelkapazität. C_S Kapazität für HF-Kurzschluss. R_S ohmsche Widerstände.

Zunächst soll aber aus Gründen der Anschaulichkeit die Wirkungsweise kurz anhand eines Vektordiagrammes erklärt werden (Fig. 4).

Sind sowohl Primär- wie Sekundärkreis (entkoppelt) auf die Frequenz des Stromes i abgestimmt, so sind die Amplituden $OP = A$ und $OQ = B$ der Diodenspannungen gleich. Die resultierende Span-

nung $u_{NF} \approx A - B$ wird dann Null, da die beiden Richtströme, welche durch R_S fliessen, entgegengesetzt gleich sind.

Wenn nun die Frequenz des Primärstromes i nicht mehr mit der Symmetriefrequenz des Bandfilters übereinstimmt, steht u_2 (als Vektor) nicht

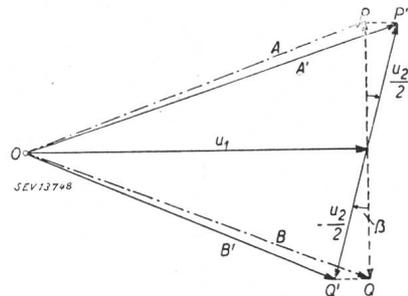


Fig. 4.

Vektorielle Darstellung der Spannungsverhältnisse beim Phasensprung-Diskriminator

A und B Vektoren der Spannungen über den Diodenstrecken D_A und D_B für $\omega = \omega_s$. A' und B' dieselben Vektoren für $\omega \neq \omega_s$. β Abweichung der Vektoren der Sekundärspannungen $+\frac{u_2}{2}$ und $-\frac{u_2}{2}$ von der 90° -Lage bei $\omega \neq \omega_s$, ω Kreisfrequenz der frequenzmodulierten Eingangsspannung. ω_s Resonanzfrequenz des Filters.

mehr senkrecht auf u_1 , sondern erscheint um den Winkel β aus der 90° -Lage verschoben. Wir erhalten dann das Vektorbild $OP'Q'$. Die Spannung u_{NF} , welche der Differenz $OP' - OQ'$ proportional ist, wird nicht mehr Null, sondern um so grösser, je mehr die Eingangsfrequenz von der Diskriminator-Frequenz ω_s abweicht. Den funktionellen Zusammenhang zwischen u_{NF} und $\Delta = \omega - \omega_s$ ersehen wir aus der sog. *Diskriminator-Charakteristik* (Fig. 5).

Die Theorie des Diskriminators ist schon von verschiedenen Autoren in Angriff genommen worden; es sei an die sehr schöne Darstellung von *Sturley*¹⁾

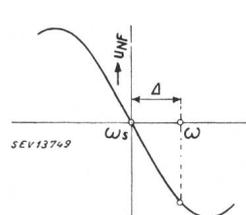


Fig. 5.

Diskriminator-Charakteristik u_{NF} niederfrequente Ausgangsspannung des Diskriminators. ω_s Resonanzfrequenz des Filters. ω Kreisfrequenz der frequenzmodulierten Eingangsspannung. $\Delta = \omega - \omega_s$.

erinnert. Von diesem Verfasser wurde z. B. rechnerisch die Steilheit der $u_{NF}(\omega)$ -Kennlinie untersucht. Ferner wurde auf Grund graphischer Methoden auch die *Linearität* dieser Kennlinie betrachtet.

Ziel der vorliegenden Arbeit soll sein, die Linearitätsverhältnisse auch formelmässig zu erfassen.

Dabei gehen wir von den bekannten Beziehungen (in komplexer Schreibweise) aus:

$$u_1 = i \omega_s L_1 Q_1 \frac{1 + 2j \frac{\Delta Q_2}{\omega_s}}{(1 + \alpha^2) - 4 \frac{\Delta^2}{\omega_s^2} Q_1 Q_2 + 2j \frac{\Delta}{\omega_s} (Q_1 + Q_2)} \quad (1)$$

1) Vgl. Literaturverz. (4)

$$u_2 = -i \omega_S L_1 Q_1 \frac{j \alpha \sqrt{\frac{L_2 Q_2}{L_1 Q_1}}}{(1 + \alpha^2) - 4 \frac{\Delta^2}{\omega_S^2} Q_1 Q_2 + 2j \frac{\Delta}{\omega_S} (Q_1 + Q_2)} \quad (2)$$

Die Bedeutung der neu auftretenden Grössen ist:

Q_1 Gütefaktor des Primärkreises (entkoppelt)
 Q_2 Gütefaktor des Sekundärkreises (entkoppelt)

$\alpha = M \cdot \sqrt{\frac{Q_1 Q_2}{L_1 L_2}}$ Kopplungsmass
 ($\alpha = 1$ kritische Kopplung)

M Gegenseitige Induktivität von L_1 und L_2

$i = \sqrt{-1}$ (imaginäre Einheit)

Sind Primär- und Sekundärkreis auf die gleiche Frequenz ω_S abgestimmt (in ungekoppeltem Zustand), so berechnet sich die letzten Endes interessierende Grösse u_{NF} zu:

$$u_{NF} = K L_1 Q_1 \left\{ \left| u_1 - \frac{u_2}{2} \right| - \left| u_1 + \frac{u_2}{2} \right| \right\} \quad (3)$$

wo K eine Konstante bedeutet.

Setzt man die Werte von u_1 und u_2 gemäss den Gl. (1) und (2) ein und werden für die weitere Rechnung noch folgende Abkürzungen eingeführt:

$$a_1 = \frac{\alpha \frac{Q_2}{Q_1} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}}{1 + \frac{\alpha^2}{4} \cdot \frac{L_2 Q_2}{L_1 Q_1}} \quad (4)$$

$$a_2 = \frac{\frac{Q_2}{Q_1}}{1 + \frac{\alpha^2}{4} \cdot \frac{L_2 Q_2}{L_1 Q_1}} \quad (5)$$

$$b_1 = - \frac{2 \alpha^2 - \frac{Q_1}{Q_2} - \frac{Q_2}{Q_1}}{(1 + \alpha^2)^2} \quad (6)$$

$$b_2 = \frac{1}{(1 + \alpha^2)^2} \quad (7)$$

$$x = \frac{2 \Delta \sqrt{Q_1 Q_2}}{\omega_S} \quad (8)$$

so geht Gl. (3) in die neue Form über:

$$u_{NF} = K L_1 \sqrt{Q_1 Q_2} \sqrt{\frac{b_2}{a_2}} \left\{ \sqrt{\frac{1 + a_1 x + a_2 x^2}{1 + b_1 x^2 + b_2 x^4}} - \sqrt{\frac{1 - a_1 x + a_2 x^2}{1 + b_1 x^2 + b_2 x^4}} \right\} \quad (9)$$

Unter der (stillschweigend gemachten) Voraussetzung, dass der Diskriminator absolut symmetrisch sei, lässt sich u_{NF} in eine Potenzreihe

$$u_{NF} = x \left(\frac{d u_{NF}}{d x} \right)_{x=0} + \frac{x^3}{3!} \left(\frac{d^3 u_{NF}}{d x^3} \right)_{x=0} + \frac{x^5}{5!} \left(\frac{d^5 u_{NF}}{d x^5} \right)_{x=0} + \dots \quad (10)$$

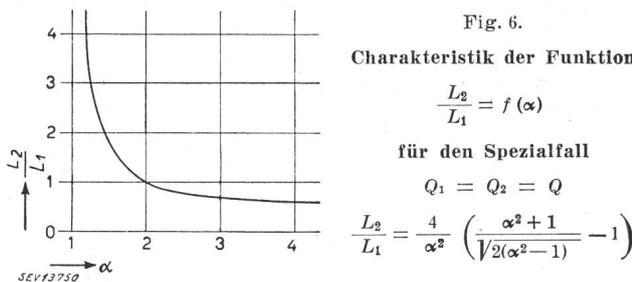
entwickeln, welche nur ungerade Potenzen von x enthält. Erwünscht ist eine möglichst gute Linearität. Diese wird erreicht, wenn die höheren Ableitungen von u_{NF} möglichst klein sind. Durch geeignete Wahl der 3 zur Verfügung stehenden Parameter α , $\frac{Q_2}{Q_1}$ und $\frac{L_2}{L_1}$ ist es möglich, die Gleichung

$$\left(\frac{d^3 u_{NF}}{d x^3} \right)_{x=0} = 0 \quad (11)$$

zu erfüllen. Die etwas umständliche Rechnung sei hier nicht ausgeführt, sondern lediglich das Resultat angegeben, welches zur Bedingung führt:

$$1 + \frac{\alpha^2}{4} \cdot \frac{L_2 Q_2}{L_1 Q_1} = \frac{(1 + \alpha^2) \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}}}{\sqrt{2 \alpha^2 - \left(\frac{Q_1}{Q_2} + \frac{Q_2}{Q_1} \right)}} \quad (12)$$

Für einen Spezialfall ($Q_1 = Q_2 = Q$) ist der Verlauf des Induktivitätsverhältnisses $\frac{L_2}{L_1}$ als Funktion von α in Fig. 6 aufgetragen.



Ist durch geeignete Wahl der Schaltelemente Gl. (12) erfüllt, so kann man auf eine recht gute Linearität rechnen. Für $Q_2 = Q_1 = Q$ und $\alpha = 1,5$ resp. $\alpha = 2$ ist der Verlauf von u_{NF} in Abhängigkeit von x aus Fig. 7 ersichtlich.

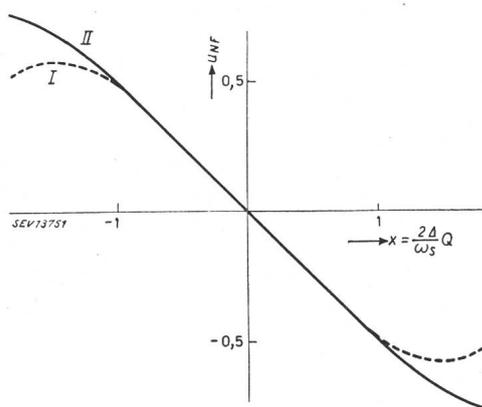


Fig. 7.
 Diskriminator-Kennlinien $u_{NF} = f(x)$ für den Fall $Q_1 = Q_2 = Q$

Kennlinie I: $\alpha = 1,5$ $\frac{L_2}{L_1} = 1,88$
 Kennlinie II: $\alpha = 2$ $\frac{L_2}{L_1} = 1,04$

Interessant ist, dass die Möglichkeit besteht, auch noch die folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\left(\frac{d^5 u_{NF}}{dx^5}\right)_{x=0} = 0 \tag{13}$$

Sollen Gl. (11) und (13) gleichzeitig gelten, so muss ausserdem noch

$$1 - \frac{\alpha^2}{4} \cdot \frac{L_2 Q_2}{L_1 Q_1} = \frac{(1 + \alpha^2)^2}{\left[2\alpha^2 - \left(\frac{Q_1}{Q_2} + \frac{Q_2}{Q_1}\right)\right]^2} \tag{14}$$

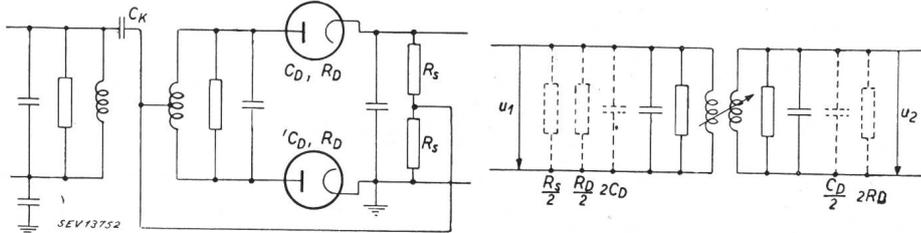


Fig. 8.
Prinzip- und Ersatzschaltung eines Phasensprung-Diskriminators
 C_D Diodenkapazität, R_D Diodendämpfung, R_S ohmsche Widerstände, C_K Koppelungskapazität, u_1 Eingangsspannung, u_2 Ausgangsspannung.

sein. Es zeigt sich nun, dass es reelle Lösungen von Gl. (12) und Gl. (14) gibt, wenn $|\alpha| > 2,3$ ist.

So wird z. B. für

$$\begin{aligned} \alpha = 2,5 & \quad \frac{Q_2}{Q_1} = 0,49 \text{ und } \frac{L_2}{L_1} = 0,79 \\ \alpha = 3 & \quad \frac{Q_2}{Q_1} = 0,36 \text{ und } \frac{L_2}{L_1} = 0,69 \end{aligned}$$

Bei Einhaltung dieser Werte erhält man tatsächlich eine sehr gute Diskriminator-Charakteristik. Da aber der Sekundärkreis 2—3mal stärker gedämpft werden müsste, ist die Erfüllung von Gl. (14) prak-

tisch wenig interessant, es sei denn, man könne den Primärkreis sehr hochohmig dimensionieren.

Zum Schluss soll noch ein Punkt erwähnt werden, und zwar der Einfluss der Diodenkapazitäten und der Diodendämpfung. Die Formeln (1) und (2) gelten eigentlich nur, wenn die Impedanz der Dioden unendlich gross ist. Man kann aber zeigen, dass die hier abgeleitete Theorie streng gilt, wenn man zur Bestimmung von u_1 und u_2 das Ersatzschema nach Fig. 8 wählt.

Literatur

1. Foster, D. E., und Seeley, S. W.: Automatic tuning simplified circuits and design practice. Proc. Inst. Radio Engrs. Bd. 25(1937), Nr. 3, S. 289 ff.
2. Roder, H.: Theory of the discrimination circuit for automatic frequency control. Proc. Inst. Radio Engrs. Bd. 26(1938), Nr. 5, S. 590 ff.
3. Crosby, M. G.: A method of measuring frequency deviation. RCA-Rev. Bd. 4(1940), Nr. 4, S. 473...477.
4. Sturley, K. R.: The phase discriminator and its use as frequency-amplitude converter for frequency-modulated reception. Wirel. Engr. Bd. 21(1944), Nr. 245, S. 72...78 (s. Referat auf S. 540...544).
5. Arguimbau, L. B.: Discriminator linearity. Electronics Bd. 18(1945), Nr. 3, S. 142 ff.

Adresse des Autors:

Dr. P. Güttinger, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden.

Die Hochspannungs-Fluoreszenzröhre als Lichtquelle

Von W. Gruber, Neuhausen

621.327.4: 535.57

Nach einer kurzen Darlegung des Unterschiedes zwischen Hochspannungs- und Niederspannungs-Fluoreszenzröhren wird über Entwicklungsgeschichte, Aufbau und Qualitätsmerkmale der Hochspannungs-Fluoreszenzröhre berichtet, sowie der elektrische Betrieb und die Lichtstromregulierung beschrieben. Eine Röhren-Anschlussabelle gibt interessante Aufschlüsse über den Zusammenhang zwischen Röhrenlänge und Zündspannung. Zum Schluss weist der Autor darauf hin, dass bei Befolgung der Hausinstallationsvorschriften des SEV jede Gewähr für Betriebssicherheit und Gefährlosigkeit der Hochspannungs-Fluoreszenzröhren geboten ist, und macht einige Angaben über deren Anwendung.

Après un court aperçu des différences existant entre les tubes fluorescents à haute et à basse tension, l'auteur expose l'historique, la construction et les caractéristiques permettant de reconnaître la qualité des tubes fluorescents à haute tension. Il décrit également leur fonctionnement et le réglage du flux lumineux. Un tableau, se rapportant au branchement des tubes, donne d'intéressantes indications quant au rapport entre leur longueur et la tension d'allumage. Pour terminer, l'auteur mentionne qu'en respectant les Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures, toute garantie est donnée pour le bon fonctionnement des installations et éviter tout danger. L'article se termine par quelques indications sur l'emploi des tubes fluorescents à haute tension.

Allgemeines

Die überragende Bedeutung der Fluoreszenzröhre als Beleuchtungsmittel ist heute in Fachkreisen unbestritten. Schon während des Krieges wurden die neuen, leistungsfähigen Fabrikationsbetriebe des Auslandes fast ausschliesslich mit Fluoreszenzröhren beleuchtet. Dadurch konnten nicht nur die günstigsten Sehbedingungen für die Nacharbeit, sondern auch bedeutende Einsparungen an elektrischer Energie erzielt werden. Auch in der Schweiz werden Beleuchtungsanlagen mit Fluoreszenzröhren

in immer grösserer Zahl und von erheblichem Umfang erstellt.

Fluoreszenzröhren werden in zwei grundsätzlich verschiedenen Ausführungen hergestellt. Diese unterscheiden sich im konstruktiven Aufbau der Röhren und auch im elektrischen Betriebsgerät.

Hochspannungs-Fluoreszenzröhren werden von Fall zu Fall nach Mass (gerade oder beliebig gebogen, und unter Verwendung der sogenannten kalten Elektroden) fabriziert. Das Betriebsgerät ist ein Hochspannungs-Streifeldtransformator von 1000 bis