

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 25 (1934)
Heft: 23

Artikel: Neue Glühlampen für allgemeine Beleuchtungszwecke
Autor: Fries, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056587>

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>

stromes im Mittel in 1,2 Perioden und mit einer 8 Liter nicht übersteigenden Gasmenge unterbrochen werden können, bringt die Wirksamkeit des Schalters über den ganzen Strombereich deutlich zum Ausdruck. Abschaltung erfolgt denn tatsächlich bis

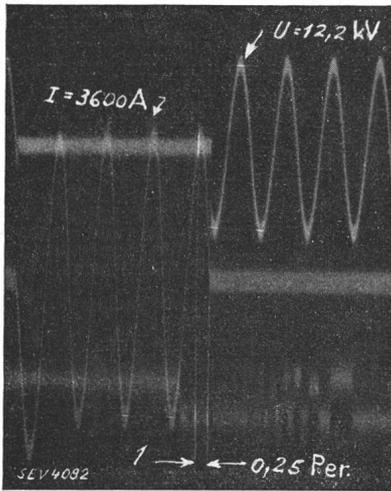


Fig. 9.

Abschaltung von 3600 A bei 12 kV, in Kammer mit kleinen Oelkolben. Höhe $H = 2$ cm, Querschnitt $Q = 1$ cm².

zu den grössten Strömen ohne anderes äusseres Merkmal als der mechanischen Bewegung des Antriebsmechanismus. Damit ist gezeigt, dass die nach der Theorie zu erwartende Verkleinerung der Lichtbogenenergie auch bei hohen Spannungen und Leistungen auftritt.

Im folgenden soll nun die erzielte Verbesserung noch einen Schritt weiter geführt werden. Wird nämlich nach Gleichung (7) die Auswurfszeit durch Verkleinerung des Faktors QH^3 kleiner als eine Halbperiode gewählt, so kann Unterbrechung schon beim ersten Stromnulldurchgang stattfinden. Zu diesem Zwecke wurde eine Kammer mit $H = 2$ cm, $A = 1$ cm² gebaut. Wird V_0 gleich dem aus dem ersten Versuch erhaltenen Werte von 680 cm³ angenommen, so folgt aus (7):

$$\omega t = 0,42$$

Selbst bei Berücksichtigung der Verzögerung durch die Kontaktbewegung und des äusseren Druckes tritt Gasblasung früh in der ersten Halbwelle ein und Unterbrechung findet sicher beim ersten Stromnulldurchgang statt. Ein Versuch an einer einzigen Kammer bei 12 kV ist in Fig. 9 wiedergegeben und bestätigt die erwartete halbperiodige Abschaltung. Mit einer Lichtbogenenergie von 0,4 kWs ergibt sich bei diesem Versuch ein Ver-

$$\text{hältnis } \frac{\text{kWs}}{\text{MVA}} \sim 0,1.$$

Es zeigt sich also, dass ausserordentlich kleine Gasmengen, wenn richtig aufgespeichert, zur Unterbrechung hoher Abschaltleistungen vollkommen genügen. Damit sind zwei Hauptprobleme des Oel-schalterbaues: Halbperiodige Lichtbogendauer und minimale Lichtbogenenergie und Oelverrossung, befriedigend gelöst.

Neue Glühlampen für allgemeine Beleuchtungszwecke.

Von R. Fries, Berlin.

621.326.7

Die Fortschritte der Glühlampentechnik in den letzten zwei Jahrzehnten führten vom reinen Wolframdraht zum Stapel und Spiral-Kristalldraht als Leuchtkörpermaterial. Dadurch wurde ermöglicht, die Doppelwendel auch in Lampen für allgemeine Beleuchtungszwecke zu verwenden und die Wirtschaftlichkeit der Lampe wesentlich zu erhöhen.

Die neuen Lampen sollen nicht mehr nach Watt, sondern nach Lumen (bzw. Dekalumen) gestaffelt auf den Markt kommen. Ueber die Zweckmässigkeit dieser Massnahme kann man in guten Treuen zweierlei Meinung sein. Wir möchten aber einem Befürworter dieser neuen Bezeichnungsweise Gelegenheit geben, seine Gründe vorzubringen. (Red.)

Les progrès réalisés au cours des deux dernières décades dans la fabrication des lampes à incandescence ont conduit du filament de tungstène simple au filament à monocristal et finalement à cristal en hélice. Ce dernier progrès a rendu possible d'utiliser le filament à double hélice pour les lampes destinées à l'éclairage général et d'améliorer sensiblement l'économie des lampes à incandescence.

La nouvelle série normale de lampes de ce dernier type sera échelonnée non plus par watts, mais par lumens (ou décalumens). On peut certes être d'avis différents sur l'utilité de cette nouvelle désignation. Nous tenons cependant à donner à un partisan du nouveau système l'occasion d'en exposer les raisons. (Réd.)

Eine der ersten Erkenntnisse — lange bevor man überhaupt brauchbare Glühlampen herstellen konnte — war die, dass die Oekonomie der elektrischen Glühlampe (Lichtausbeute) nur auf dem Wege über eine höhere Leuchtdrahttemperatur zu erreichen ist. Fast ebenso frühzeitig war bekannt, dass die Verdampfung des Leuchtkörpermaterials im Vakuum der Steigerung der Glühtemperatur bereits lange vor Erreichen des Schmelzpunktes eine natürliche Grenze setzt. Man wusste auch, dass durch die Verwendung sogenannter indifferenten Gase diese Verdampfung verzögert werden kann. Man hatte aber keine Mittel bei der Hand, den durch das Füllgas hervorgerufenen Wärmeverlust (Fortführung der Wärme, Konvektion) und die

dadurch bedingte starke Abkühlung des Drahtes zu verhindern. Solange diese Probleme ungelöst blieben, war an eine Verbesserung der Oekonomie der Glühlampe durch Einführung der Gasfüllung nicht zu denken.

Bereits im Jahre 1897 — zu einer Zeit also, als an elektrischen Lichtquellen nur die Kohlenbogen- und die Kohlenfadenlampen einigermassen brauchbar entwickelt waren — wurde ein Patent¹⁾ genommen, in dem der Erfinder in richtiger Erkenntnis der Bedeutung des Wärmeverlustes versucht, diesen zu verkleinern. Es heisst in der Patentschrift:

«Um diesen Wärmeverlust durch Wärmeleitung zu verhindern, muss die Glasbirne mit einer zweiten Hülle um-

¹⁾ DRP 98 248.

geben und der Zwischenraum zwischen beiden Glasbirnen so gut als möglich luftleer gemacht werden.»

Die Erkenntnis war richtig, der Erfinder nahm aber den Wärmeübergang vom Leuchtkörper zum Füllgas als etwas Gegebenes hin und versuchte nur, den Wärmeübergang vom Füllgas zur umgebenden Luft am Glaskolben der Lampe zu verkleinern und beschritt so einen falschen Weg.

Es mussten erst rund siebzehn Jahre vergehen, bis man zu der Erkenntnis kam, dass die Gasfüllung nur in Verbindung mit einer Verkleinerung der wärmeabgebenden Oberfläche des Leuchtkörpers selbst bestimmte Aussichten auf Verbesserung der Glühlampe eröffnet. Diese Erfindung ist niedergelegt in der deutschen Patentschrift Nr. 290 932, worin es u. a. heisst:

«Zur Verminderung dieser schädlichen Erscheinung (gemeint ist hier die Verdampfung des Leuchtdrahtes: der Verfasser) wurde bereits vorgeschlagen, in die Lampen indifferente, Wärme schlecht leitende Gase einzuführen, um durch den Gasdruck die Verdampfung des Leuchtkörpermaterials zu verringern. Diese Versuche sind beinahe so alt wie die Glühlampe selbst, denn sie gehen bis auf die amerikanische Patentschrift 274 295 von Edison zurück.»

In dem Patentspruch selbst wird ausgeführt:

«Dass der Verlust durch Wärmeleitung und Konvektion durch die Grösse oder Form des Leiterquerschnittes (z. B. flaches Band) oder durch enge Anordnung des Leiters (z. B. in Schraubenlinienform) auf weniger als etwa 40 % des gesamten Wattverbrauches herabgesetzt ist.»

Hierauf fussend wurde in den folgenden Jahren der zu einer Schraubenlinie aufgewickelte Leucht draht (Wendel) allgemein für gasgefüllte Lampen eingeführt. Hiermit wurden aber die Drahtfachleute vor ganz neue Aufgaben gestellt, galt es doch, ein Drahtmaterial zu entwickeln, das den ganz

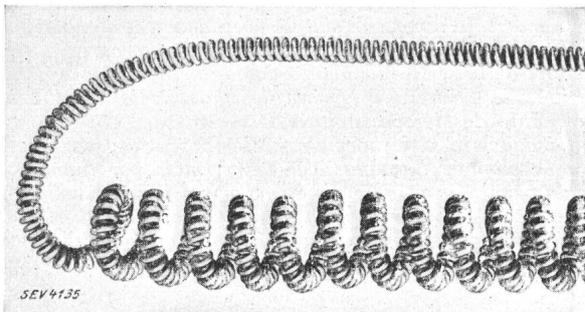


Fig. 1.
Einfach und doppelt gewendelter Leucht draht (stark vergrössert).

andere gearteten Beanspruchungen, sowohl bei der Herstellung als auch während des Betriebes, gewachsen war. Dies galt in noch höherem Masse, als man in folgerichtigem Weitergehen auf dem eingeschlagenen Weg dazu übergang, durch nochmaliges Wendeln des bereits einmal gewendelten Leucht körpers eine weitere Verkleinerung der wärmeabgebenden Oberfläche vorzunehmen.

Der Gedanke, den Leuchtkörper zu einer Doppelwendel zu formen, ist keineswegs neu, und es werden schon seit vielen Jahren bestimmte Sonder-

lampen (z. B. Autosucherlampen) mit Doppelwendeln ausgerüstet. Allerdings handelt es sich hierbei stets um verhältnismässig kurze und dicke Drähte, die schon aus diesem Grunde genügend stabil waren. Die Ueberführung der Doppelwendel auf die Lampen für allgemeine Beleuchtungszwecke war erst möglich, als die Entwicklung des Drahtmaterials, die schon durch die ständig wachsenden Ansprüche bei den Einfachwendellampen vorwärts

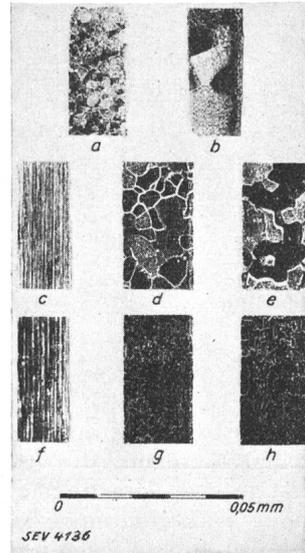


Fig. 2.
Aenderung der Kristallstruktur bei gespritztem Wolframfaden und gezogenem Wolframdraht (Rekristallisation).
a gespritzter Faden, ungebrannt
b gespritzter Faden, gebrannt.
c gezogener Draht, ungebrannt.
d gezogener Draht, 50 h gebrannt.
e gezogener Draht, 750 h gebrannt.
f gezogener Draht, mit ThO₂, ungebrannt.
g gezogener Draht, mit ThO₂, 50 h gebrannt.
h gezogener Draht, mit ThO₂, 750 h gebrannt.

getrieben wurde, einen genügend hohen Stand erreicht hatte. Während man früher Drahtmaterialien verwendete, die vor dem Brennen der Lampe ein homogenes Gefüge (die sogenannte Ziehstruktur) zeigten, das sich erst bei fortschreitender Brenndauer zu einem unerwünschten und unregelmässigen Kristallgefüge umwandelte, befindet sich der Leucht draht in einer modernen Lampe bereits in einer Art von kristallinischem Endzustand.

Die während des Brennens der Lampe früher erfolgende allmähliche Kristallausbildung (die sogenannte Rekristallisation) führte einmal zum so-

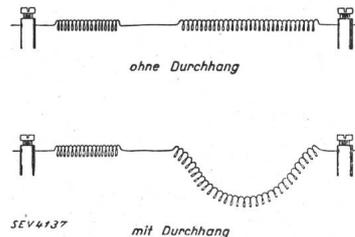


Fig. 3.
Einfluss der Wärmeableitung bei Lang- und Wendeldraht (schematische Darstellung).

genannten Durchhang, zum anderen aber infolge der ungenügend gegeneinander verzahnten Kristalle zum Brüchigwerden des Leucht körpers. Der Durchhang aber vergrössert, wie leicht einzusehen ist, durch Auseinanderzerren der Wendelwindungen die wärmeableitende Oberfläche und vernichtet so in erheblichem Masse die durch das Wendeln gewonnenen Vorteile. Ausserdem führt er noch andere schwerwiegende Nachteile (Verdrillung, Kurzschlussgefahr usw.) im Gefolge. Man hat damals versucht, die als schädlich erkannte Reki-

stallisation und ihre Folgen dadurch zu vermeiden oder wenigstens zu verringern, dass man durch metallische Zusätze zum Wolfram (z. B. Thoroxyd) die Rekristallisation verlangsamt. Dies gelang auch bis zu einem gewissen Grade; doch zeigten die mit solchen Drahtmaterialien hergestellten Lampen immer noch einen erheblichen Durchhang, was bei gasgefüllten Lampen naturgemäss zu einem starken Nachlassen der Lichtleistung führte und die Herstellung von Doppelwendeln für diese normalen Lampen überhaupt unmöglich machte.

Ein anderer Weg zur Erzielung eines formbeständigen Leuchtdrahtes ging darauf aus, den aus einem gespritzten Faden bestehenden Leuchtkörper in einen einzigen Kristall umzuwandeln, so dass er sich bereits im Endzustand befindet und beim Brennen nicht mehr verändert. Es ist aber praktisch nicht immer möglich, einen unbegrenzt langen Kristall herzustellen. Der erzeugte Faden weist vielmehr öfters in gewissen Abständen Stossstellen auf, die von den aneinandergrenzenden Kristallstücken herrühren. Diese sich meist quer und fast rechtwinklig zur Drahtachse erstreckenden Stoßstellen bilden aber leicht Veranlassung zu einem Bruch des Fadens. Ausserdem zeigt dieser sogenannte Einkristalldraht (bzw. Faden) im gewendelten Zustand recht unangenehme Erscheinungen, die darauf beruhen, dass der verbogene Kristall bei Glühtemperatur versucht, sich wieder zu strecken, was dann zu einem Verdrillen der Wendeln und zu einem schnellen Tod der betreffenden Lampe führte. Fortgesetzte Bemühungen der Drahtfachleute, die ihren Niederschlag in einer grossen Zahl wichtiger Patente gefunden haben — besonders erwähnt sei hier nur der sogenannte Stapelkristalldraht — führten schliesslich zum sogenannten Spiralkristalldraht. Kennzeichnend hierfür ist, dass der Leuchtdraht seine endgültige

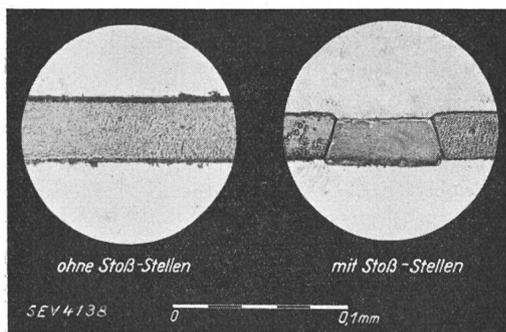


Fig. 4.
Wolfram-Einkristalldraht.

Kristallstruktur erst dann erhält, wenn er bereits in die Form gebracht worden ist, die er in der Lampe einnimmt. Hierdurch wird ein Gefüge *unverbogener* Kristalle erzielt (im Gegensatz zum gewendelten Einkristalldraht). Die fertige Wendel ist dann in ihrer Kristallstruktur so beschaffen, als hätte man sie auf der Drehbank aus einem massiven Einkristall oder Kristallstücken herausgeschnitten.

Dadurch, dass also keine Verschiebung der Kristallelemente oder Verlagerung der Gitterlinien eintritt, erhält die fertige Wendel eine ausserordentlich hohe mechanische Festigkeit und neigt auch nicht zu Verzerrungen.

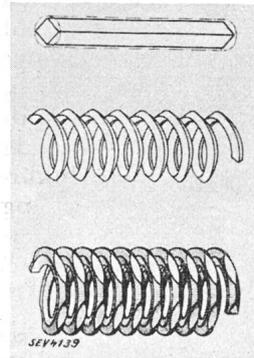


Fig. 5.
Doppelwendel aus
Spiralkristalldraht.

Auf dieser Erfindung fusend, konnte man nun auch aus relativ dünnen Drähten Doppelwendeln herstellen, bei denen ebenfalls die Kristalle oder Kristallstücke gegenüber ihrer ursprünglichen Form keine Verbiegung aufwiesen. Der so erzeugte Doppelwendel-Leuchtkörper hat eine sehr weitgehende Formbeständigkeit, so dass ein nennenswerter Durchhang selbst nach längerer Brenndauer nicht mehr eintritt.

In Ausnutzung dieser Erkenntnisse hat man eine Typenreihe entwickelt, die bei einer höheren Betriebstemperatur gegenüber den bisherigen Lampen mit Einfachwendel und bei gleicher Lebensdauer bis zu 20 % mehr Lichtausbeute ergeben.

Gleichzeitig ist man dazu übergegangen, die neue Lampenreihe nicht mehr nach Watt, sondern nach Dekalumen zu staffeln. Dabei ging man von der Ueberlegung aus, dass es erwünscht ist, wenn Lampen gleicher Grösse unabhängig von der Nennspannung und unabhängig vom Gang ihrer technischen Entwicklung stets die gleiche Lichtleistung haben. Für die Projektierung von Beleuchtungsanlagen ergibt sich daraus der Vorteil, dass mit gleichbleibender runder Lumenzahl gerechnet werden kann und dass der Lichtstrom, den eine Beleuchtungsanlage erzeugt, nicht ändert, wenn die Lampen verbessert werden; eine Verbesserung der Lampen wirkt sich also nicht mehr wie bisher in einer Aenderung der lichttechnischen Daten einer Beleuchtungsanlage aus, sondern in einer Aenderung des Energiekonsums. Der Lichtstrom einer Lampe war bisher auch von der Nennspannung abhängig, was jetzt nicht mehr der Fall ist. Ferner hat der Käufer bei den neuen Lampen die Möglichkeit, die Lampen hinsichtlich ihrer Lichtausbeute (Wirkungsgrades) zu beurteilen, da darauf nicht nur der Lichtstrom (Dekalumen), sondern auch die Leistungsaufnahme (Watt) angegeben ist.

Die neue Reihe ist in Dekalumen (= 10 internationale Lumen) folgendermassen gestaffelt:

40 65 100 125 150 DLm

Diese Zahlen, die etwa eine logarithmische Stufenfolge ergeben, entspringen dem Wunsch, etwa in der Grössenordnung der bisher üblichen Lichtströme der mit Watt gestaffelten Lampen zu bleiben, welche den praktischen Bedürfnissen nach den bisherigen Erfahrungen durchaus entspricht. Hinter der Dekalumenangabe befindet sich noch die Wattzahl, dass der Käufer jederzeit — ohne

erst eine Liste nachsehen zu müssen — den Anschlusswert seiner Beleuchtungs-Anlage ohne weiteres ermitteln kann.

Tabelle I.

Lampen nach Dekalumen gestaffelt				Lampen nach Watt gestaffelt			
DLm	Volt	Watt	Lm/W	Watt	Volt	Lumen	Lm/W
40	220	39	10,3	40	220	340	8,5
65	220	58	11,2	60	220	590	9,85
100	220	79	12,7	75	220	800	10,7
125	220	97	12,9	100	220	1180	11,8
150	220	111	13,5				

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Energiesparende Modulation.

Von H. Wehrlin, Berlin.

521.396.61

Nachdem die hochspannungs- und hochfrequenztechnische Seite im Großsenderbau gelöst erscheint, ist eine gewisse Feinarbeit auf diesem Gebiet zu bemerken. Im folgenden sollen kurz die zur Zeit bekannten Methoden der Energiesparnis behandelt werden.

In den Ann. PTT 1934, Nr. 2, gab Loeb eine Klassifizierung der bekannten energiesparenden, bzw. wirkungsgradverbessernden Methoden. In Fig. 1 ist schematisiert eine Senderstufe dargestellt.

I. Die unmodulierte Hochfrequenzstufe.

R sei der dem Nutzwiderstand äquivalente Wirkwiderstand des Schwingkreises, I_a der Anodengleichstrom, J_a der HF-Wechselstrom und U_a die Anodengleichspannung. Zunächst sei von der Art der Gittererregung abgesehen und nur die Leistungsverhältnisse im Anodenkreis betrachtet. Der Anodenstrom kann folgendermassen dargestellt werden:

$$J_a = f(t) = I_a + J_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + J_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots$$

wenn J_1 die HF-Amplitude der Grundschwingung, J_2, J_3 die HF-Amplitude der höheren Harmonischen im Hauptzweig des Schwingkreises darstellen. Die Dämpfungsverluste des Schwingungskreises seien vernachlässigt.

Sind $P_a = U_a \cdot I_a$ die zugeführte Gleichstromleistung, $P = \frac{J_1^2}{2} R$ die Hochfrequenzleistung der Grundschwingung, so ergibt sich der Wirkungsgrad der Stufe zu

$$\eta = \frac{R J_1}{U_a} \left(\frac{J_1}{2 I_a} \right)$$

Hierin ist der erste Term proportional der HF-Amplitude, der zweite Term proportional der Stromaussteuerung. Für eine konstante Stromaussteuerung ist also der Wirkungsgrad proportional der HF-Amplitude. Der maximal erreichbare Wirkungsgrad entspricht also der maximalen HF-Amplitude, und diese ist theoretisch durch den Wert begrenzt, der die Spannung zwischen Anode und Heizung auf Null bringt.

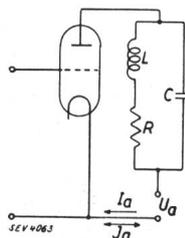


Fig. 1. Schematisierte Senderstufe.

$$J_{1 \max} = \frac{U_a}{R}$$

In Praxis kann man jedoch nicht so weit gehen, da Gitteremission, Röhrenüberschläge (rocky point) schon vorher eine Grenze setzen. In erster Näherung kann man sagen, dass der maximal erreichbare Wirkungsgrad gleich der Stromaussteuerung ist.

$$\eta_{\max} = \frac{J_1}{2 I_a}$$

Die neuen Lampen tragen etwa die in Tabelle I angegebenen Daten, die je nach Fabrikat etwas variieren, und ersetzen die in der rechten Tabellenhälfte angegebenen Typen der bisherigen Einheitsreihe.

Unter Berücksichtigung der Typenverteilung in der Schweiz ergeben auch die neuen Wattzahlen einen Gesamt-Energieverbrauch, der dem augenblicklichen praktisch gleichkommt. Für die niedrigen Spannungen bis 160 Volt ist er etwas geringer, für die hohen, ab 200 Volt, die in der Schweiz mit fast der Hälfte aller Spannungen vertreten sind, etwas höher als bisher.

Die Stromaussteuerung ist bei kurzen rechteckigen Stößen gleich 1, bei Halbsinusform gleich 0,78.

II. Die modulierte Hochfrequenzstufe.

Die Antennenleistung muss sich im Rhythmus der Modulationsfrequenz ändern.

$$P_A = \frac{J_1^2 \cdot R}{2} = \frac{J_1 \cdot U}{2}$$

Es sind nun a priori drei Möglichkeiten gegeben, eine Modulation zu erreichen:

a) R bleibt konstant, J_1 wird geändert. Dies entspricht der normalen Amplitudenmodulation, nach der alle klassischen Systeme arbeiten.

b) R und J_1 werden derart geändert, dass $R \cdot J_1 = U =$ konstant ist, und zwar so, dass dauernd mit der bezüglich des Wirkungsgrades optimalsten Spannung gearbeitet wird.

c) U wird geändert und R bleibt konstant.

a) J_1 schwankt periodisch um einen der Trägerwelle entsprechenden Mittelwert J_0 . Ist der Modulationsgrad M , so ist die maximale Amplitude

$$J_{\max} = (1 + M) J_0$$

Folglich ist

$$\eta = \frac{\eta_{\max}}{(1 + M)}$$

Lässt man also R konstant, so ist η auf einen relativ kleinen Wert beschränkt. Die Systeme mit konstantem R schliessen ausser den klassischen Systemen auch solche mit verbessertem Wirkungsgrad ein. Das Prinzip dieser Systeme besteht in einer Verbesserung des Formfaktors, indem $\frac{J_1}{2 I_0}$ möglichst gleich 1 gemacht wird. Die Hauptschwierigkeit dieser Systeme besteht darin, dass nicht lineare Verzerrungen entstehen. Diese Schwierigkeit wird durch Klirrfaktorkompensationseinrichtungen überwunden. Theoretisch ist bei einer Aussteuerung von 100 % ein maximaler Wirkungsgrad von 50 % zu erreichen. Als Beispiel ist in Fig. 2 das System der Soc. Indép. de T. s. F. (SIF) schematisch dargestellt. Die Schwierigkeit der nichtlinearen Verzerrungen wird hierbei durch gegenentzerrnde Einrichtungen (Klirrfaktorkompensation) überwunden. Das Prinzip dieser Kompensation ist folgendes: Die Leistung einer HF-Zwischenstufe bzw. ihre Belastung ist abhängig von der an die nächste Stufe zu

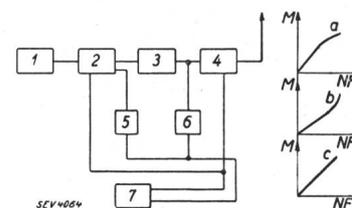


Fig. 2. Modulation System SIF, Prinzip-Schema d. Senders.

- 1 Steuerstufe
- 2 HF-Verstärker I
- 3 HF-Verstärker II
- 4 HF-Verstärker III
- 5 Kompensation I
- 6 Kompensation II
- 7 Modulationsverstärker

sationseinrichtungen überwunden. Theoretisch ist bei einer Aussteuerung von 100 % ein maximaler Wirkungsgrad von 50 % zu erreichen. Als Beispiel ist in Fig. 2 das System der Soc. Indép. de T. s. F. (SIF) schematisch dargestellt. Die Schwierigkeit der nichtlinearen Verzerrungen wird hierbei durch gegenentzerrnde Einrichtungen (Klirrfaktorkompensation) überwunden. Das Prinzip dieser Kompensation ist folgendes: Die Leistung einer HF-Zwischenstufe bzw. ihre Belastung ist abhängig von der an die nächste Stufe zu