

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	25 (1934)
Heft:	9
Artikel:	Die Wechselstromvormagnetisierung im Stromwandlerbau und ihre anschauliche Wirkungsweise
Autor:	Goldstein, J.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1060148

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: 16.02.2026

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

7. Zusammenfassung und Ausblick.

Die Messungen der Jahre 1932 und 1933 haben auch in dem beobachteten 80 kV-Drehstromnetz als Hauptgefährdung des Betriebes die direkten Blitz-einschläge in die Leitung bzw. in deren Eisen-masten erkennen lassen. Soweit sind durch die erstmals dreiphasig durchgeföhrten KO-Messungen die Ergebnisse der Vorjahre bestätigt worden. Neu dazugekommen ist die Beobachtung induzierter Blitzüberspannungen von mehr als 100 kV_m Wellenhöhe, die in zwei Fällen zu Ueberschlägen in der ungeerdeten 80 kV-Kopfstation führten. Nachdem die Steilheit der letztern Wellen festgestellt ist, wird besprochen, wie rasch solche Wellen sich über die Wicklungen von Transformatoren zwischen den Phasen und bei geerdetem Nullpunkt nach Erde ausgleichen können. Vor- und Nachteile der starren Nullpunktserdung gehen daraus hervor: Die direkte Nullpunktserdung an sehr grossen Transformatoren verhindert die Stauung flacher Wellen und die dadurch entstehenden Ueberschläge. Sie ist aber wertlos bei steilen Wellen, die infolge direkter Blitzeinschläge in die Leitung entstehen, und hat in diesen Fällen den Nachteil, dass auch lediglich einpolige Leitungs-Erdschlüsse zu Kurzschlüssen und Abschaltungen führen. Die Löschspulenerdung vermag infolge ihrer grossen Impedanz auch flache Wellen nicht abzuleiten; sie macht aber einpolige Phasenüberschläge für den Betrieb bedeutungslos. Ableiter als Schutzmittel gegen die Wirkungen von Ueberspannungen sind in gewissen Netzen erwünscht, insbesondere in Kopfstationen und wieder besonders in Netzen mit auf Holzstangen verlegten Leitungen.

Auf den Blitzstörungsvorgang wird kurz verwiesen. Eine noch ungenügend geklärte Frage bleibt die nach der Häufigkeit verschieden hoher *Blitzströme* und nach deren Steilheit. Denn die konstatierte grosse Steilheit der Ueberspannungswellen muss nicht unbedingt dem Blitzstrom selber zugeschrieben werden, sondern kann bei Eisenmastleitungen auch vom Rücküberschlag vom Masteisen auf die Phasen verursacht sein. Die oft viele Mikrosekunden betragende Zeit zwischen Auslösezeitpunkt eines Oszillogrammes und dem Auftreten des steilen Spannungsanstieges auf den Phasen deutet auf diese Möglichkeit hin.

Für die Anzeige stattgefunder Blitzeinschläge und die ungefähre Messung des Blitzstrommaximums I_m bilden die Stahldrahtbündel der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen ein sehr einfaches Messmittel, das die Strommessung ohne Hilfsleitung auszuführen gestattet.

Für die Messung des Blitzstromanstieges dI/dt untersuchen wir zur Zeit ein einfaches Messgerät,

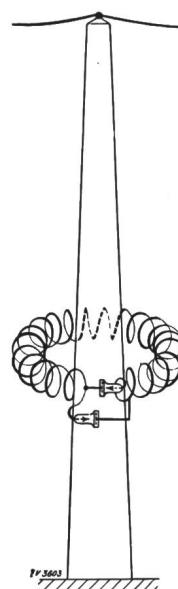


Fig. 33.

Anordnung zur Bestimmung der maximalen Blitzstromsteilheit.

das im Prinzip einen offenen Stabstromwandler darstellt, wo bei der Mast oder ein Teil desselben als Stab wirkt, der den Blitzstrom I führt (Fig. 33). In einigen um den Mast gelegten Sekundärwindungen oder unter Umständen einer einzigen Drahtschleife entsteht infolge des Blitzstromes eine induzierte Spannung, die proportional zu dI/dt ist und die von einer klydonographenähnlichen Anordnung Spitze-Platte mit Photischicht festgehalten wird. Durch Parallelschaltung von zwei Elektrodenpaaren Spitze-Platte mit Platte-Spitze können positive und negative Spannungen (Stromanstiege) gleich gut sichtbar gemacht werden.

Um Anhaltspunkte über die vorkommenden Werte des Blitzstromanstiegs dI/dt zu erhalten, wäre es nötig, solche einfache

Messgeräte in grosser Zahl an Masten, Schornsteinen und andern exponierten Punkten auszusetzen. In Verbindung mit einer genügend grossen Anzahl von Blitzstrom-Messungen wird es damit möglich sein, auch die Streitfrage zu entscheiden, ob Erdwiderstandsmessungen bei Niederfrequenz massgebend sind zur Beurteilung des Verhaltens der Erdungen gegenüber Blitzeinschlägen. Die Entscheidung dieser Frage hat nicht nur für den Betrieb von Hochspannungsleitungen, sondern auch für die Beurteilung der Gebäude-Blitzschutzerdungen grosse praktische Bedeutung.

Die Wechselstromvormagnetisierung im Stromwandlerbau und ihre anschauliche Wirkungsweise.

Von J. Goldstein, Zürich.

621.314.224-187

Die sogenannte *Vormagnetisierung* bei Stromwandlern dient dazu, den Arbeitsbereich in ein Gebiet der Eisensättigung zu verlegen, wo die Permeabilität gross und möglichst konstant ist. Dadurch werden Uebersetzungsfehler und Fehlwinkel kleiner. Im folgenden Aufsatz wird die Wirkungsweise dieser Vormagnetisierung dargelegt.

Allgemeines.

Bekanntlich haben vormagnetisierte Stromwandler eine grosse praktische Bedeutung erlangt. Es

Dans les transformateurs d'intensité, la prémanéutrisation sert à faire travailler le transformateur dans une région de la courbe de saturation où la perméabilité est forte et, autant que possible, constante. Cette mesure permet de réduire l'erreur de rapport et de phase. Dans l'article ci-dessous, l'auteur explique comment agit la prémanéutrisation.

handelt sich dabei um eine Vormagnetisierung mit Wechselstrom, sei es, dass die Vormagnetisierung von einer fremden Hilfsquelle, sei es, dass sie vom

Strom, der durch den Stromwandler fliesst, primär oder sekundär, direkt oder indirekt bewerkstelligt wird. Als bekannt vorausgesetzt wird der Zweck der Vormagnetisierung, nämlich die Verschiebung des Arbeitsbereiches in das Gebiet grosser Permeabilität (μ) des Eisens und dadurch die Vermindeung der Stromwandlerfehler: Uebersetzungsfehler und Fehlwinkel, die im wesentlichen proportional mit $1/\mu$ verlaufen. Der Verfasser hat in früheren Veröffentlichungen¹⁾ ausführlich dargelegt, dass bei vormagnetisierten Stromwandlern bei gleicher Leistung bzw. gleicher Messgenauigkeit eine wesentlich höhere Kurzschlussfestigkeit — nahezu die vierfache — zu erreichen ist. Endlich hat die Verwendung der Vormagnetisierung den Einleiterstromwandler gefördert. Diese einfachste und günstigste Stromwandlerausführung ist durch die Anwendung der Vormagnetisierung in vielen Fällen möglich, in welchen sie ohne Vormagnetisierung nur bei Verwendung von hochpermeablen Legierungen in Frage kommt.

Das Ziel dieses Aufsatzes ist, das magnetische Dunkel, welches das Betreten dieses Gebietes manchem Konstrukteur erschwert, durch eine anschauliche Darstellung zu erhellen. Auch für den Nichtspezialisten dürfte eine einfache Darstellung der magnetischen Verhältnisse bei Vormagnetisierung von Interesse sein.

In dieser Notiz wird der Idealfall einer Vormagnetisierung behandelt. Damit werden die Grenzen der Verbesserung durch die Vormagnetisierung klargelegt. Für die praktische Anwendung ist speziell diese Klarstellung sehr wichtig. Gelingt es, durch Eigenvormagnetisierung des Stromwandlers an die erstrebenswerte Grösse der Permeabilität im Idealfall heranzukommen, so kann man mit derartigen praktischen Konstruktionen zufrieden sein. Die weitere Verbesserung ist naturgemäss dann nur durch Anwendung hochpermeabler magnetischer Materialien zu erreichen.

1. Die Versuchs- und Messanordnung.

Für die im Stromwandlerlaboratorium der Transformatorenfabrik der AEG ausgeführten Versuche wurde folgende Schaltung benutzt (Fig. 1): Zwei

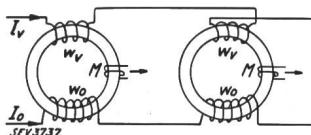


Fig. 1.
Induktionsmessung.
 M zum Flussmeter.

Ringe aus hochlegiertem Transformatorenblech wurden mit je zwei Wicklungen versehen. Die eine Wicklung mit je w_o Windungen führt den eigentlichen Erregerstrom I_o , der dem «Leerlaufstrom» im Stromwandler entspricht. Für diese Erregung sind beide Kerne in Serie geschaltet. Eine zweite Wicklung mit je w_v Windungen führt den Strom der Vormagnetisierung I_v von gleicher Frequenz wie I_o . Für diese Magnetisierung sind beide

¹⁾ ETZ 1932, S. 504; Bull. SEV 1933, S. 103.

Kerne entgegengesetzt geschaltet. Es entspricht dies der im Stromwandlerbau allein zulässigen «Kreuzschaltung» einer dritten Wicklung, die das Stromübersetzungsverhältnis der Hauptwicklungen ungestört lässt. Ferner wurde jeder Kern mit einer Messwicklung (M), die zur oszillographischen Aufnahme des Flusses über ein «Flussmeter»²⁾ diente, versehen. Man wird bei magnetischen Untersuchungen immer mehr vom «Flussmeter» Gebrauch machen müssen. Es ist viel wert, wenn man ohne graphische Integrationsverfahren den tatsächlichen Flussverlauf im Oszillographen erhalten kann. An den gleichen Messwicklungen wurde die Spannung über einen mechanischen Gleichrichter mittels eines empfindlichen Gleichstrom-Zeigerinstruments gemessen³⁾. Man erhält auf diese Weise aus der Instrumentsanzeige durch die Multiplikation mit $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$ den Effektivwert der Wechselspannung. Hieraus lässt sich dann der Scheitelwert der Induktion für jeden der beiden Kerne nach der Gleichung

$$E = 4,44 f w Q B_{max} 10^{-8} \text{ Volt} \quad (1)$$

bestimmen.

Eine Kontrolle der Scheitelwerte der Induktion durch Vergleich mit einem sinusförmigen Fluss bekannter Grösse, der gleichfalls mit dem Oszillographen über das Flussmeter aufgenommen wurde, ergab die Zulässigkeit der Umrechnung der Scheitelwerte der Induktion nach Gl. (1).

Die entsprechenden Feldstärken H_o und H_v wurden aus den Effektivwerten der Stromstärken I_o und I_v durch Umrechnung in AW/cm effektiv ermittelt.

Es ist, wenn der mittlere Durchmesser der Ringe mit d bezeichnet wird,

$$\frac{I_o w_o}{\pi d} = H_o \text{ und } \frac{I_v w_v}{\pi d} = H_v \quad (2)$$

Die Phasen beider Erregungen wurden derart durch Widerstände in den Stromkreisen eingereguliert, dass Gleichphasigkeit erreicht wurde. Es ist dies für die Rechnung bequemer und stellt gleichzeitig den «günstigen Fall» dar. Es ist klar, dass durch eine Phasenverschiebung beider Erregungen eine Einbusse am Flusscheitelwert und folglich auch an der Permeabilität entsteht. Die Phasenverschiebung hat sonst keine weiteren Nachteile. Beide Erregungen haben einen resultierenden Fluss Φ zur Folge, der einem normalen Wechselstrommagnetisierungsvorgang entspricht. Die Kurvenform von B bzw. Φ ist verzerrt und entspricht dem sinusförmigen Magnetisierungsstrom (Fig. 2).

2. Messergebnisse und ihre praktische Bedeutung.

Die Schaltung bedingt die Ausbildung zweier entgegengesetzter gerichteter Flüsse Φ_1 und Φ_2 in

²⁾ Stein, Ein neues Flussmeter, E. u. M. 1929, Heft 50.

³⁾ Neumann und Pfaffenberger, Eisenverlustmessungen an kleinen Proben, Arch. Elektrotechn., Bd. 27, 1933, H. 4.

den beiden Kernen. In diesem Sinne ist die Bezeichnung «Gegenmagnetisierung» gerechtfertigt. Das Oszillogramm Fig. 3 zeigt die über das Flussmeter in beiden Kernen aufgenommenen Flüsse und den Strom I_v in der Hilfswicklung. Die Flüsse sind um 180° gegeneinander verschoben und der Grösse nach voneinander verschieden. Wie aus dem Oszillogramm Fig. 2 ersichtlich ist, sind die Ströme

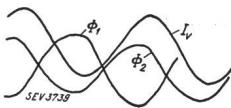


Fig. 2.

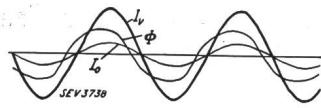


Fig. 3.

Oszillogramme.

I_v Vormagnetisierungsstrom. ϕ_1 Fluss im Kern I.
 I_o Erregerstrom. ϕ_2 Fluss im Kern II.
 ϕ Fluss.

I_o und I_v gleichphasig. Man kann daher die Feldstärken H_o und H_v algebraisch zusammensetzen. Infolge der Gegenmagnetisierung gilt

$$\text{für Kern I } H_I = H_v + H_o \quad (3)$$

$$\text{für Kern II } H_{II} = -H_v + H_o = -(H_v - H_o)$$

Die Wechselstrompermeabilität μ ergibt sich infolgedessen aus den Beziehungen

$$\mu_I = \frac{B_I}{H_I} \quad \mu_{II} = \frac{B_{II}}{H_{II}} \quad (4)$$

Ein richtiger Vergleich ergibt sich indessen, wenn man die obigen Werte mit den üblichen in der Physik gebräuchlichen Werten der Gleichstrompermeabilität in Einklang bringt. Unter Berücksichtigung der Beziehungen

$$H_{AW/cm} = \frac{4\pi}{10} H_{Oersted} \quad \text{und} \quad H_{max} = \sqrt{2} H_{eff}$$

$$\text{wird} \quad \mu_I = \frac{1}{1,76} \frac{B_I}{H_I} \quad \mu_{II} = \frac{1}{1,76} \frac{B_{II}}{H_{II}} \quad (5)$$

Dieser Uebergang auf die statische Magnetisierungskurve vernachlässigt die Hysterese- und Wirbelstromverluste. Die Orientierung auf die statische Magnetisierungskurve ist aber zweckmäßig, da man sonst irreführende und viel zu hohe Werte für die Permeabilität erhält. Die Eigenvormagnetisierung ist aber eine reine Wechselstrommagnetisierung und es genügt, $I_v = 0$ zu setzen, um den Vergleich mit der gewöhnlichen Kurve $B = f(H)$, wie sie durch eine Wechselstrommagnetisierung ermittelt wird, zu erhalten. Die Gleichungen (5) entsprechen dem tatsächlichen Zustand beider Kerne. Die Gegenmagnetisierung bedingt eine Verschiedenheit der Permeabilitäten μ_I und μ_{II} . Führt man einen Mittelwert beider Werte

$$\frac{\mu_I + \mu_{II}}{2} = \mu_m$$

ein, so kann man diesen Wert einem Ersatzkern eines Einkernstromwandlers gewissermassen zuordnen.

Bei der Aufnahme einer Versuchsreihe wurde I_v konstant gehalten und I_o von $0,02 AW_o/cm$ bis $0,12 AW_o/cm$ variiert. Diese Werte entsprechen den praktischen Grenzen des normalen Leerlaufstromes eines Stromwandlers. Jedem I_v -Wert entsprechen für die beiden Kerne zwei Magnetisierungskurven bzw. Permeabilitätskurven. Bei geringem I_v -Wert kommt immer mehr die Leerlaufmagnetisierung zum Vorschein. Aus diesem Grunde bleibt der Kern II bei einer Vormagnetisierung von $0,2 AW/cm$ im unteren Gebiet der Magnetisierungskurve.

Durch die Mittelwertsbildung erhält man die der betreffenden Vormagnetisierung I_v zugeordnete Permeabilitätskurve. Tabelle I enthält die bei verschiedenen Vormagnetisierungen H_v ermittelten Werte:

Tabelle I.

H_0 AW/cm	H_I AW/cm	H_{II} AW/cm	B_I Gauss	B_{II} Gauss	μ_I	μ_{II}	μ_m
$H_v = 0,5 AW/cm$							
0,024	0,524	0,476	6950	6800	7510	8100	7805
0,048	0,548	0,452	7120	6420	7380	8060	7720
0,072	0,572	0,428	7340	6120	7300	8120	7710
0,096	0,596	0,404	7560	5750	7200	8080	7640
0,120	0,620	0,380	7720	5360	7060	8000	7575
$H_v = 0,2 AW/cm$							
0,024	0,224	0,176	2175	1150	5510	3700	4605
0,048	0,248	0,152	2655	860	6070	3210	4640
0,072	0,272	0,128	3200	618	6700	2750	4725
0,096	0,296	0,104	3770	438	7250	2400	4825
0,120	0,320	0,080	4200	272	7460	1930	4665
$H_v = 0,8 AW/cm$							
0,024	0,824	0,776	8840	8460	6100	6200	6150
0,048	0,848	0,752	8910	8610	5970	6500	6235
0,072	0,872	0,728	9060	8460	5910	6610	6260
0,096	0,896	0,704	9140	8380	5780	6760	6270
0,120	0,920	0,680	9210	8180	5680	6840	6260

Im Kern I erhält man mit zunehmender Feldstärke H_o eine Zunahme von H_I und B_I , im Kern dagegen eine Abnahme von H_{II} und B_{II} . Ferner erkennt man die ausgleichende Wirkung des Zweikernsystems, indem man auch bei stark verschiedenen Permeabilitäten in den einzelnen Kernen einen Mittelwert μ_m erhält, der nur geringen Schwankungen unterworfen ist. Fig. 4 zeigt den Verlauf der

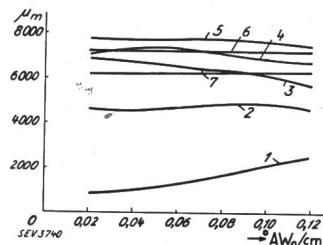


Fig. 4.
Permeabilitätskurven bei Vormagnetisierung (H_v).
1 $H_v = 0$
2 " = 0,2 AW/cm
3 " = 0,3 "
4 " = 0,4 "
5 " = 0,5 "
6 " = 0,6 "
7 " = 0,8 "

Permeabilitätskurven μ_m bei verschiedener Vormagnetisierung. Die höchsten Werte für μ_m werden bei einer Vormagnetisierung von $0,5 AW/cm$ erreicht, bei höherer bzw. tieferer Vormagnetisierung nehmen die Werte von μ_m ab. Interessant ist der

Vergleich mit der Kurve für $I_v = 0$. Diese Kurve ist ohne Vormagnetisierung aufgenommen. Der grosse Vorteil, den man im Stromwandlerbau durch die Vormagnetisierung erzielen kann, leuchtet durch diesen Vergleich ein.

Bei der praktischen Verwirklichung der hier geschilderten Verhältnisse treten beim Stromwandler

mit Eigenvormagnetisierung Schwierigkeiten auf, die durch besondere Vorkehrungen behoben werden müssen. Durch eine gesteuerte Vormagnetisierung ist man schon heute in der Lage, wenn nicht erschöpfend, so doch in erheblichem Masse die durch den idealisierten Fall geschilderten Verhältnisse zu verwirklichen.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Die Anodenrückwirkung bei verschiedenen Röhrenschaltungen¹⁾.

621.385.1: 631.396.223: 621.396.396.6

1. Allgemeine Theorie.

Für sehr viele Zwecke ist es erwünscht, im Gitterkreis einer Röhrenstufe einen möglichst geringen Verlustwiderstand zu haben. Besonders wenn sich im Gitterkreis ein elektrischer Schwingungskreis befindet, ist eine geringe Dämpfung von grossem Vorteil. Eine zusätzliche Kapazität ist für viele Zwecke schädlich.

Der Verlustwiderstand zwischen Gitter und Kathode wird durch folgende drei Teilwiderstände verursacht:

1. Isolationswiderstand;
2. Verlustwiderstand der Gitterströme;
3. Rückwirkungswiderstand der Gitter-Anoden-Kapazität.

Während die Größen der ersten beiden Widerstände durch gute Isolierung und Anwendung genügend hoher negativer Gittervorspannungen leicht zu beherrschen sind, ist die Grösse des letzten Widerstandes von komplizierterer Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. Zur Einsicht in diese Abhängigkeiten sollen daher die folgenden Ausführungen eine Uebersicht über die Vorgänge bei der Anodenrückwirkung vermitteln.

Das allgemein gültige Schaltschema, das der Betrachtung zugrunde zu legen ist, wird durch Fig. 1 wiedergegeben. Die Heiz- und Anodenbatterien sind darin, der Uebersichtlichkeit halber, weggelassen, da sie auf die Wechselstromvorgänge, die hier allein interessieren, keinen Einfluss haben. R_a stellt den äusseren Widerstand im Anodenkreis dar, während C_{gk} und C_{ga} die zur Analyseierung extra herausgezeichneten Röhrenkapazitäten zwischen Gitter und Kathode bzw. Gitter und Anode darstellen. C_{ga} verursacht die schädliche Anodenrückwirkung. Die Bezeichnungen der verschiedenen Ströme und Spannungen mit ihren positiven Richtungen sind unmittelbar dem Schema zu entnehmen.

Fig. 1.
Schalschema.

Heiz- und Anodenbatterien sind darin, der Uebersichtlichkeit halber, weggelassen, da sie auf die Wechselstromvorgänge, die hier allein interessieren, keinen Einfluss haben. R_a stellt den äusseren Widerstand im Anodenkreis dar, während C_{gk} und C_{ga} die zur Analyseierung extra herausgezeichneten Röhrenkapazitäten zwischen Gitter und Kathode bzw. Gitter und Anode darstellen. C_{ga} verursacht die schädliche Anodenrückwirkung. Die Bezeichnungen der verschiedenen Ströme und Spannungen mit ihren positiven Richtungen sind unmittelbar dem Schema zu entnehmen.

Zur mathematischen Erfassung der gesamten Vorgänge stehen folgende Ansatzgleichungen zur Verfügung:

$$\begin{aligned} \mathfrak{J}_l &= \mathfrak{J}_{ga} + \mathfrak{J}_a & \mathfrak{E}_g &= -\frac{\mathfrak{J}_{gk}}{j\omega C_{gk}} & (\text{minus, wegen den} \\ \mathfrak{J}_g &= \mathfrak{J}_{gk} + \mathfrak{J}_{ga} & \text{zugrunde gelegten} & & \text{positiven Stromrichtungen}) \\ \mathfrak{E}_g &= \mathfrak{E}_g + \mathfrak{E}_{st} & \mathfrak{J}_l &= -S \mathfrak{E}_{st} & \\ \mathfrak{E}_a &= \mathfrak{J}_a R_a & \mathfrak{E}_{st} &= \mathfrak{E}_g + D \mathfrak{E}_a & (\text{Steuerspannung}) \\ \mathfrak{E}_{ga} &= \frac{\mathfrak{J}_{ga}}{j\omega C_{ga}} & & & \end{aligned}$$

Die acht Gleichungen enthalten acht Unbekannte (\mathfrak{E}_g und ω der zugeführten Wechselspannung sind bekannte Größen). Die Berechnung eines beliebigen gewünschten Resultates ist nun lediglich eine mathematische Angelegenheit.

¹⁾ F. Below, Die Anodenrückwirkung bei verschiedenen Röhrenschaltungen und ihre Verminderung, Z. Hochfrequenztechn., Bd. 37 (1931), S. 65.

Für den fraglichen Gitterwiderstand oder einfacher für den Gitterleitwert errechnet sich folgender Ausdruck:

$$\frac{1}{R_g} = -\frac{\mathfrak{J}_g}{\mathfrak{E}_g} = j\omega C_{gk} + \frac{\frac{1}{R_l} + \frac{1}{DR} + \frac{1}{R_a}}{1 + \frac{1}{j\omega C_{ga}} \left(\frac{1}{R_l} + \frac{1}{R_a} \right)} \quad (1)$$

Dieser Ausdruck ist komplex und lässt sich im allgemeinen in eine scheinbare Gitterkapazität C_s und einen scheinbaren Gitterableitwiderstand R_s aufspalten. Mathematisch heisst dies

$$\frac{1}{R_g} = j\omega C_s + \frac{1}{R_s}$$

Der Gitterleitwert bleibt um so kleiner, je kleiner R_s und C_{ga} gehalten werden können. Für $R_s = 0$ wird

$$\frac{1}{R_g} = j\omega (C_s + C_{ga}) \quad (2)$$

was ohne weiteres klar ist, da in diesem Fall C_{gk} und C_{ga} parallel geschaltet sind. R_s kann nicht beliebig klein gemacht werden, da sonst auch die Verstärkung zurückgeht. Hingegen hat die Verkleinerung von C_{ga} keine weiteren Nachteile zur Folge. Das einfachste Mittel, um C_{ga} bis auf einen unbedeutenden Rest zu verkleinern, ist die Anbringung eines Schirmgitters in der Röhre zwischen Steuergitter und Anode.

2. Die drei Grundfälle.

Von Interesse ist die Grösse des Gitterleitwertes, wenn R_s die folgenden drei Werte annimmt:

1. $R_s = \text{kapazitiv};$
2. $R_s = \text{rein ohmisch} = R_s;$
3. $R_s = \text{induktiv}.$

Zur Erzeugung des ersten Falles kann eine Kapazität C_s zum Widerstand R_s parallel geschaltet werden. Es ist dann

$$\frac{1}{R_g} = j\omega C_s + \frac{1}{R_s}$$

Eine beliebige induktive Komponente entsteht am einfachsten bei Serieschaltung einer Induktivität L_s zum Widerstand R_s . R_s nimmt für den dritten Fall somit folgende Form an:

$$R_s = j\omega L_s + R_s$$

Werden diese Werte in Gl. 1 eingesetzt und wird jeweilen die Trennung zwischen Imaginärteil und Realteil vorgenommen, so entstehen ziemlich komplizierte und unübersichtliche Ausdrücke für die Grössen C_s und R_s . Praktisch ist vielfach R_s klein gegen R_l und R_s wiederum sehr klein gegen $\frac{1}{\omega C_{ga}}$.

Ueberschlagsweise darf dann $\frac{1}{R_l}$ gegen $\frac{1}{R_s}$ und besonders ωC_{ga} gegen $\frac{1}{R_s}$ vernachlässigt werden. Unter Anwendung dieser Vernachlässigungen vereinfachen sich die Ausdrücke zu folgenden Resultaten.