

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 34 (1943)

Heft: 17

Artikel: Die beiden wichtigsten "Tonblenden"-Schaltungen und ihre Berechnung

Autor: Gruyter, Erwin de

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061757>

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: 23.02.2026

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

Die beiden wichtigsten „Tonblenden“-Schaltungen und ihre Berechnung

Von Erwin de Gruyter, Bern *)

621.396.667

Zur Vorbereitung auf einen später erscheinenden Aufsatz über die Berechnung von Verstärkern mit Hilfe des komplexen Verstärkungsfaktors diskutiert der Verfasser die Wirkungsweise zweier «Tonblenden»-Schaltungen, die zur Frequenzbandbeschränkung in Niederfrequenzverstärkern dienen. Die auftretende komplexe Impedanz wird schon im Schaltbild verallgemeinert und dann gleich relativ berechnet, und zwar als Vektor der komplexen Darstellungsebene. Da bei der Tonblende die Phase als Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom nicht interessiert, wird nur der Wert der Impedanz formelmässig abgeleitet und in allgemein gültigen Kurvenscharen dargestellt. — Beim komplexen Verstärkungsfaktor ist dann auch seine Phase wesentlich, da diese die Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung eines Verstärkers bedeutet.

Im Titel des Aufsatzes ist das Wort «Tonblende» in Anführungszeichen gesetzt, da es als Begriff der Optik nicht auf das akustische Analogon, den Lautstärkeregler, angewendet ist, sondern auf ein Filter, das eine Frequenz-Selektion bewirkt. Die falsche Bezeichnung «Tonblende», die sich leider allgemein eingeführt hat, verwendet man in der Niederfrequenztechnik für ein R-C-Filter einfacher Art, und zwar für einen Tiefpass¹⁾.

Dieser Tiefpass dient zur Frequenzband-Beschränkung bei Radioempfängern, um das Durchschlagen frequenzbenachbarter Stationen zu verhüten, oder um den Pegel der Störgeräusche, die hauptsächlich im Diskant liegen, herabzudrücken. Vielfach benutzt man solche «Tonblenden» auch in Grammoverstärkern zur Schwächung des Nadelgeräusches, obwohl man hier besser ein eigentliches Filter anwenden sollte, da das Nadelgeräusch-Spektrum verhältnismässig eng begrenzt ist²⁾.

Berechnungen

1. Parallel-Tonblende

Fig. 1 zeigt das Schaltschema der meist angewandten Parallel-Tonblende zwischen zwei kondensatorgekoppelten Verstärkerstufen. Die Impedanzen sind mit grossen Frakturbuchstaben bezeichnet, um sie als Vektoren der komplexen Darstellungsebene zu charakterisieren.

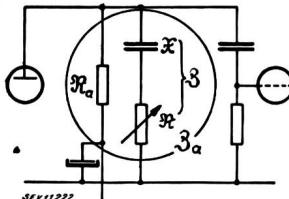


Fig. 1.
Schaltung der Parallel-Tonblende

Um ein allgemein gültiges Bild zu erhalten, bezieht man zweckmässig alle Impedanzen auf den festen Anodenwiderstand der entsprechenden Röhre und erhält so folgende relative³⁾ Impedanzwerte,

*) Eingang des Manuskripts am 6. 7. 1942.

¹⁾ Vgl. den Aufsatz «L-R- und C-R-Glieder sind entartete Schwingkreise» im Bull. SEV 1942, Nr. 1, S. 19.

²⁾ Vgl. Bull. SEV 1938, Nr. 5, S. 100, und Nr. 17, S. 466.

³⁾ Das relative Rechnen und die reziproke Kurvendarstellung wird von früheren Aufsätzen des Verfassers her als bekannt vorausgesetzt. Vgl. Bull. SEV 1939, Nr. 4, S. 99 und 100.

En vue d'un prochain article consacré au calcul des amplificateurs à l'aide du coefficient complexe d'amplification, l'auteur étudie le fonctionnement de deux couplages à écrans sonores, destinés à délimiter la bande de fréquence dans les amplificateurs à basse fréquence. L'impédance complexe est déjà introduite dans le schéma de couplage et calculée, au point de vue relatif, sous forme de vecteur du plan de représentation complexe. Le déphasage entre la tension et le courant n'intéressant pas l'écran sonore, seule la valeur de l'impédance est tirée des formules et représentée par des familles de courbes valables d'une façon générale. — Par contre, pour le coefficient complexe d'amplification, la phase entre en ligne de compte, car elle intéresse le déphasage entre la tension d'entrée et la tension de sortie d'un amplificateur.

die mit kleinen Frakturbuchstaben bezeichnet sein sollen:

$$\mathfrak{R}/\mathfrak{R}_a = r; \quad \mathfrak{X}/\mathfrak{R}_a = x; \quad \mathfrak{Z}/\mathfrak{R}_a = z; \quad \mathfrak{Z}_a/\mathfrak{R}_a = \mathfrak{Z}_a$$

Das relative Ersatzschaltbild Fig. 2 enthält diese Bezeichnungen. Man erkennt auch, dass die Impedanz des Anoden-Siebblocks und die Belastung

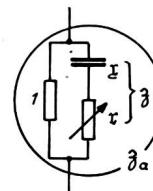


Fig. 2.

Relatives Ersatz-Schaltbild der Parallel-Tonblende

durch die Gitterkombination der folgenden Stufe als vernachlässigbar klein angenommen sind. Nach diesem Schaltbild kann nun direkt die resultierende relative Anodenimpedanz \mathfrak{Z}_a berechnet werden:

$$\frac{1}{\mathfrak{Z}_a} = \frac{1}{1} + \frac{1}{z}$$

$$\frac{1}{\mathfrak{Z}_a} = \frac{1}{1} + \frac{1}{r + x}$$

oder die rechte Seite komplexe:

$$\frac{1}{\mathfrak{Z}_a} = \frac{1}{1} + \frac{1}{r - jx}$$

ergibt, auf gemeinsamen Nenner gebracht und gestürzt

$$\mathfrak{Z}_a = \frac{r - jx}{(1 + r) - jx}$$

$$\mathfrak{Z}_a = \frac{a + jb}{c + jd}$$

Betrag $|\mathfrak{Z}_a| = z_a = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{c^2 + d^2}}$

Phase $\operatorname{tg} \varphi_a = \frac{b c - a d}{a c + b d}$

Der relative Betrag lautet daher

$$z_a = \sqrt{\frac{r^2 + x^2}{(1 + r)^2 + x^2}}$$

$$r = 0; \quad z_{ax} = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$x = 0; \quad z_{ar} = \frac{r}{1+r}$$

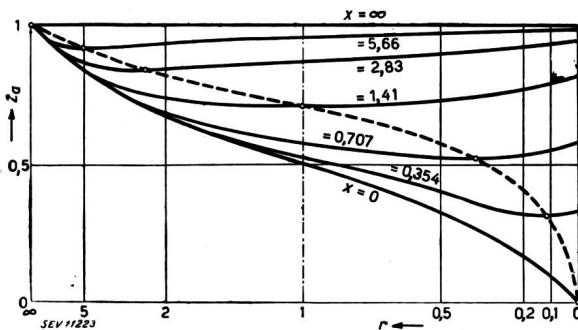


Fig. 3.
Parallel-Tonblende: Regelcharakteristiken $z_a = F(r)$
(Gestrichelte Kurve: Ort der Minima)

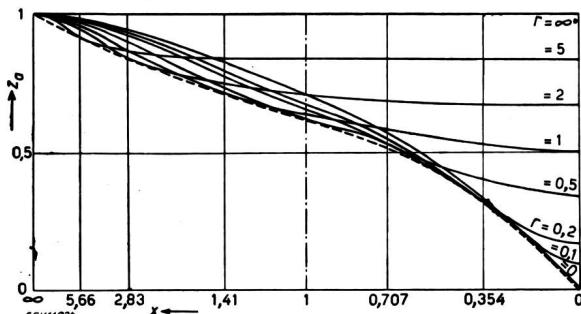


Fig. 4.
Parallel-Tonblende: Frequenzcharakteristiken $z_a = F(x)$
(Gestrichelte Kurve: Umhüllende)

Kurvendiskussion der Regelcharakteristiken Fig. 3:

Die Kurvenschar ist so aufgetragen, dass mit zunehmenden Abszissenwerten sich die Regelung verstärkt: Dabei verkleinert sich aber der Regelwiderstandswert. In der relativen Reziprok-Darstellung muss man daher $1/r$ in der positiven Abszissenrichtung auftragen, woraus für die Tangenten-Richtungen der Fig. 3 das der Ableitung entgegengesetzte Vorzeichen folgt.

$$\frac{\partial z_a}{\partial r} = \frac{r(1+r) - x^2}{\sqrt{(r^2+x^2)[(1+r)^2+x^2]^3}}$$

Waagerechte Tangente (Extrema) bei

$$r_*^2 + r_* = x_*^2$$

mit den Lösungen

$$\begin{cases} r_* = \frac{1}{2} (\sqrt{1+4x_*^2} - 1) \\ x_* = r_* \sqrt{1+1/r_*} \end{cases}$$

Die gegenseitige Abhängigkeit der Parameterwerte für minimale Anodenimpedanz zeigt Fig. 4a.

Die besonderen Werte und Tangenten lauten:

$$r_* = 1; \quad x_* = \sqrt{2} = 1/0,71$$

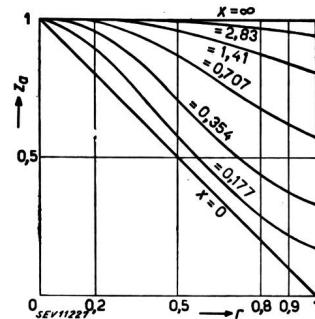
$$x_* = 1; \quad r_* = \frac{1}{2} (\sqrt{5} - 1) = 0,62$$

$$r_* = \begin{cases} 0 \\ 0,62 \end{cases}; \quad \operatorname{tg} \psi = \begin{cases} \infty \\ \frac{1}{2} \sqrt{5} = 1,12 \end{cases}$$

und für die Reziprok-Darstellung:

$$r_* = \begin{cases} 1 \\ \infty \end{cases}; \quad \operatorname{tg} \psi = \begin{cases} \frac{3}{8} \sqrt{2} = 0,53 \\ 1 \end{cases}$$

x_* in $z_a = F(r)$ eingesetzt ergibt den geometrischen Ort der Extrema (gestrichelte Kurve Fig. 3):



Legende zu Fig. 3/7 (4/8):
Die Variable (der Parameter) r enthält den Regelwiderstand, der Parameter (die Variable) x die Kapazität und die Frequenz.

Fig. 7.

Anoden-Abblockung: Regelcharakteristiken $z_a = F(r)$

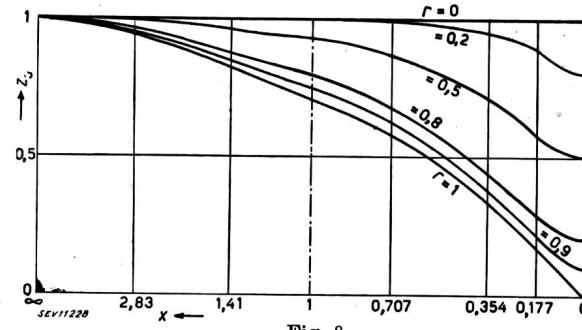


Fig. 8.
Anoden-Abblockung: Frequenzcharakteristiken $z_a = F(x)$

$$z_{aa} = \sqrt{\frac{r_*}{1+r_*}}$$

$$r_* = \begin{cases} 0 \\ 1 \\ \infty \end{cases}; \quad x_* = \begin{cases} 0 \\ \sqrt{2} \\ \infty \end{cases}; \quad z_{aa} = \begin{cases} 0 \\ \frac{1}{2} \sqrt{2} \\ 1 \end{cases}$$

Zur Bestimmung der Tangentenrichtung bildet man die Ableitung

$$\frac{dz_{aa}}{dr_*} = \frac{1}{2 \sqrt{r_*(1+r_*)^3}}$$

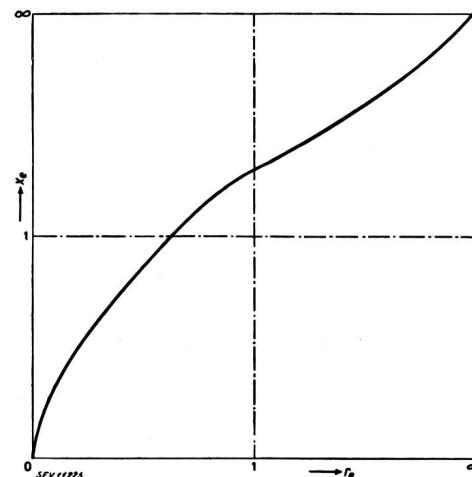


Fig. 4a.
Parallel-Tonblende: Parameterwerte für minimale Anodenimpedanzwerte

Die Ableitung lautet:

$$\frac{\partial z_s}{\partial r} = -r^2 \frac{r^2(1-r) + x^2(3-2r)}{\sqrt{[r^2(1-r)^2 + x^2](r^2 + x^2)^3}}$$

Waagerechte Tangente $\operatorname{tg} \psi = 0$ bei $r = \begin{cases} 0; & x \neq \infty \\ 1; & x = \infty \end{cases}$

$$r = 1; \quad 0 < x < \infty; \quad \operatorname{tg} \psi_1 = -\frac{x}{\sqrt{(1+x^2)^3}}$$

Dieser Wert ist entgegengesetzt gleich wie bei den Regelcharakteristiken der Parallel-Tonblende für $r = 0$, wo die weiteren Einzelheiten nachgelesen werden können.

Kurvendiskussion der Frequenzcharakteristiken Fig. 8:

Als Abszisse ist wieder $1/x$ aufgetragen (vgl. Parallel-Tonblende), die Tangenten in Fig. 8 haben daher das den Ableitungen entgegengesetzte Vorzeichen.

$$\frac{\partial z_s}{\partial x} = \frac{r^4 x}{\sqrt{[r^2(1-r)^2 + x^2](r^2 + x^2)^3}}$$

Waagerechte Tangente $\operatorname{tg} \psi = 0$ bei $x = \begin{cases} 0; & r \neq 1 \\ \infty & (\text{Rez.-Darst.}) \end{cases}$

$$x = 0; \quad \operatorname{tg} \psi_0 = 1 \text{ für } r = 1$$

$$x = 1; \quad \operatorname{tg} \psi_1 = \frac{r^4}{\sqrt{[r^2(1-r)^2 + 1](r^2 + 1)^3}}$$

$$r = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad \operatorname{tg} \psi_1 = \begin{cases} 0 \\ 0,354 \end{cases}$$

$$\text{Extremale Tangentensteilheit: } \frac{d(\operatorname{tg} \psi_1)}{dr} = 0$$

Flachste Tangente bei $r_s = 0$

Die steilste Tangente läge theoretisch bei

$$r_s^6 - r_s^5 - 2r_s^4 + 5r_s^3 - 4r_s^2 = 4$$

welche Gleichung aber nur ein Extremum für positive $r_s > 1$ gibt. Im Regelbereich liegt demnach die steilste Tangente bei

$$r_s' = 1$$

Charakteristiken-Vergleich

1. Allgemeiner Vergleich an den reziproken Darstellungen

Die reziproke Darstellungsweise hat den Vorteil, den Verlauf einer Kurve im ganzen Bereich der freien und abhängigen Variablen von $-\infty$ bis $+\infty$ auf einer endlich begrenzten Darstellungsebene übersichtlich zu zeigen, nachdem vorher schon durch die Relativisierung die Allgemeingültigkeit dieser Kurve erhalten wurde⁴⁾.

Beim Vergleich der Regelcharakteristiken Fig. 3 und 7 fällt sofort auf, dass bei der üblichen Parallel-Tonblende der Dämpfungsverlauf durchaus nicht einsinnig mit der Regelung erfolgt, wohl aber bei der Anoden-Abblockung, die eine Kurvenschar zeigt, die mehr der allgemeinen Vorstellung einer «Tonblende» entspricht.

Mit festem Kondensator bedeutet eine einzelne Kurve den Regelgang für eine bestimmte Frequenz

⁴⁾ Dieser allgemeine Vorteil der Reziprok-Darstellungsweise wird noch speziell erweitert, wenn die Kurvengleichung reziprok sich verhaltende Elemente einschliesst, wie z. B. die mit der Frequenz reziprok sich verhaltenden Spulen- und Kondensator-Reaktanzen des Schwingkreises. Vgl. Fussnote 3.

(Kurvenabstand = 1 Oktave). Bei der Parallel-Tonblende nimmt nun die Impedanz mit steigendem Regelgrad nicht ständig ab — bzw. die Dämpfung zu —, sondern alle Regelkurven haben ein Minimum, das mit der Frequenz im ganzen Regelbereich wandert.

Beide Scharen der Frequenzcharakteristiken Fig. 4 und 8 verlaufen einsinnig: Mit steigender Frequenz fällt die Impedanz. Bei der Parallel-Tonblende erscheint der Ort der Minima aus den Regelcharakteristiken als Umhüllende der Frequenzcharakteristiken.

Als in die Augen fallender Unterschied zeigt die Parallel-Tonblende eine wesentliche Änderung des Frequenzgangs mit zunehmendem Regelgrad. Während bei der Anoden-Abblockung von Anfang an die hohen Töne stärker gedämpft werden, tritt bei der Parallel-Tonblende zunächst eine Senkung fast des gesamten Niveaus ein, und erst bei starkerem Regelgrad ($r < 1$) werden die hohen Töne mehr berücksichtigt.

In den bisher besprochenen Diagrammen ist der Impedanzwert linear aufgetragen. Bei Widerstands-Verstärkerstufen ist nun in erster Annäherung die Verstärkung proportional der Anodenimpedanz. Für Tonverstärker ist die Lautstärke-Empfindung des Ohres massgebend. Die physiologischen Empfindungen der Lebewesen sind im grossen und ganzen proportional dem Logarithmus der Reiz-Intensität (Weber-Fechnersches Gesetz). Dadurch erhält der Empfindungsbereich einen sehr grossen Umfang mit günstiger Charakteristik. Es können relativ kleine Energien gut wahrgenommen werden, ohne dass bei grossen Energien eine Organ-Schädigung oder gar Zerstörung eintritt. Der Energiebereich des menschlichen Ohres von der Hörbis zur Schmerzgrenze beträgt bei einer mittleren Frequenz von 1 kHz z. B. $1 : 10^{13}$ (eins zu zehn Billionen!).

Der folgende Abschnitt berücksichtigt nun bei der graphischen Darstellung die Physiologie des menschlichen Ohres.

2. Spezieller Vergleich an den physiologischen Darstellungen

Das Ohr hat nicht nur für die Lautstärke eine logarithmische Empfindung — weswegen die Lautstärkeregler logarithmische Kennlinien haben, damit die Lautstärke ungefähr proportional dem Drehwinkel wird —, sondern auch für die Tonhöhe.

Die folgenden Kurvendarstellungen haben daher für Regelung, Frequenz und Impedanz logarithmische Maßstäbe⁵⁾.

Fig. 9 und 10 zeigen die Frequenzcharakteristiken von Parallel-Tonblende bzw. Anoden-Abblockung. Man erkennt beim Vergleich deutlich, dass für das Ohr der wesentliche Unterschied darin liegt, dass

⁵⁾ Der logarithmische Maßstab ist übrigens auch reziprok, denn die Hauptbedingung dafür lautet, dass die zu 1 symmetrisch liegenden Werte sich reziprok verhalten müssen. Bei der logarithmischen Darstellung liegen jedoch beide Grenzwerte 0 und ∞ im Unendlichen.

die Frequenz, bei der nahezu volle Regelung erreicht wird, bei der Parallel-Tonblende viel stärker vom Regelgrad abhängt als bei der Anoden-Abblockung. Daraus ergibt sich der Hinweis für die Anwendung.

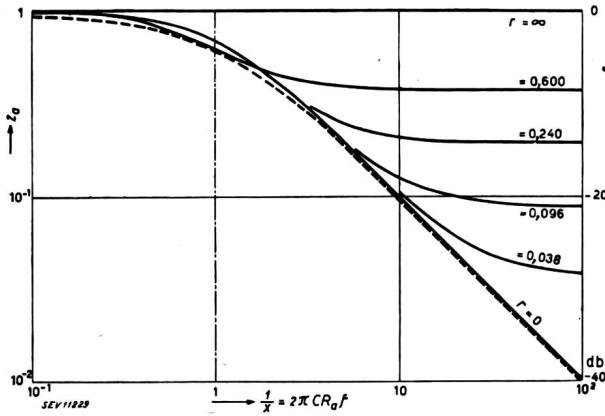


Fig. 9.
Parallel-Tonblende: Frequenzcharakteristiken $z_a = F(x)$ in physiologischer Darstellung
(Gestrichelte Kurve: Umhüllende)

Der Unterschied, der zu Beginn der Regelung zwischen den beiden Schaltungen besteht, verringert sich dann mit zunehmendem Regelgrad: Am Schluss der Regelung sind beide Schaltungen identisch.

Die Grösse des Kondensators und des Anodenwiderstandes bestimmen die Lage des Tonfrequenzbandes auf der Abszisse der Diagramme. Mit Hilfe der Kapazität lässt sich also dessen Lage frei wählen.

Schlussbetrachtung

Dieser Aufsatz soll an zwei einfachen Beispielen gezeigt haben, wie man erstens mit Hilfe der Rela-

tivisierung ein Problem allgemein formulieren kann (Aehnlichkeits-Physik), zweitens mittels der Reziprok-Darstellung einen Ueberblick über den Verlauf der Vorgänge erhalten kann, und schliesslich drittens für eine bestimmte Anwendung die gege-

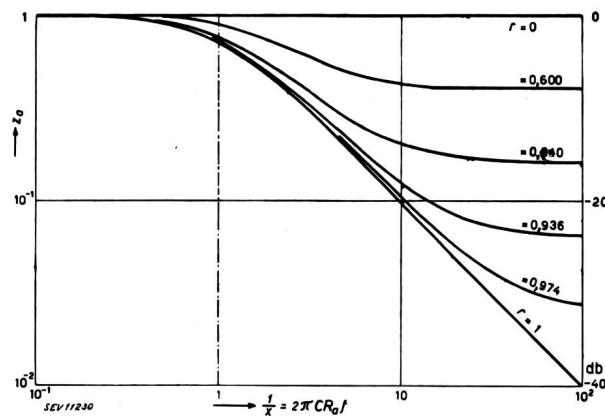


Fig. 10.
Anoden-Abblockung: Frequenzcharakteristiken $z_a = F(x)$ in physiologischer Darstellung

bene Darstellungsweise benutzen muss, damit man sich von der Wirkung eine Vorstellung machen kann.

Im besonderen erläutert der Aufsatz die unterschiedliche Wirkungsweise zweier Tonblenden-Schaltungen, die trotz der Einfachheit der betreffenden Schaltungen durchaus nicht auf der Hand liegt. Es ist daher für den Ingenieur angezeigt, sich zuerst gründlich in die einfachsten Schaltungsanordnungen einzuleben, damit er Aussicht hat, kompliziertere Probleme innert nützlicher Frist lösen zu können.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Praktische Erfahrungen aus der Kupferaktion in Deutschland

338.987 : 669 3(43)

Im 42. Band, Heft 9, vom 5. Juni 1943, der Elektrizitätswirtschaft, wird in einer Mitteilung der Wirtschaftsgruppe Elektrizitätsversorgung von H. Almers über praktische Erfahrungen aus der Kupferaktion in Deutschland berichtet, welche auch für die schweizerischen Elektrizitätswerke heute von Interesse sein dürften.

Zur Orientierung sei bemerkt, dass es sich bei der Kupferaktion um die Herunternahme von Freileitungskupfer für anderweitigen Einsatz handelt. Der Verfasser streift einleitend die einschlägigen VDE-Vorschriften für den Bau von Starkstromfreileitungen (VDE 0210) und die für die Durchführung der Kupferaktion nötig gewordenen «kriegsbedingten Abweichungen von den VDE-Vorschriften» (VDE 0022). Diese beziehen sich auf den Bau von Starkstromfreileitungen und die Nullung in Freileitungsnetzen. Noch nicht abgeklärt ist die Frage der Behelfsbünde (Wickel- und Spleissbünde), denen infolge der Lieferschwierigkeiten bei Klemmen und Verbindern eine wesentliche Bedeutung zukommt. Zuerst wird auf die Auswechslung von Mittelspannungsleitungen eingegangen, bei deren Stich- und Ausläuferleitungen die Verhältnisse häufig besonders günstig liegen. Nach Untersuchungen von Perlick kann beim Austausch gegen Eisenleitungen unter Inanspruchnahme der kriegsbedingten Abweichungen bei Holzmastenleitungen der 4,5fache und bei Eisenmastenleitungen der 2fache Querschnitt noch ausgelegt werden, ohne dass

nennenswerte Schwierigkeiten entstehen. Bei Holzmastenleitungen bedingt dies allerdings häufig eine Verstärkung der Aspann- und Winkelmaste. Praktische Erfahrungen haben bestätigt, dass an Stelle von 16- und 25-mm²-Kupferleitungen Eisenleitungen mit einem Querschnitt von 70 und 95 mm² ausreichen, soweit noch Reserven in den Kupferleitungen vorhanden sind. Es werden ferner die Kurzschlussverhältnisse und die Auswirkung der Auswechslung auf den Schutz durch Relais sowie das Vorgehen bei Kreuzungen von Mittelspannungsleitungen bis 30 kV einer näheren Betrachtung unterzogen. Anschliessend wird über Hilfseinrichtungen zum Abnehmen und Wiederauflegen von Leitungen berichtet.

Der Einbau von Eisenleitungen in Ortsnetzen wird in einem besondern Kapitel behandelt. Hier scheinen in vielen Fällen gewisse Schwierigkeiten aufzutreten, wenn noch erträgliche Betriebsverhältnisse gewährleistet werden sollen. Man wird von Fall zu Fall überlegen müssen, ob nicht zusätzliche Massnahmen angewendet werden können; als solche werden vor allem der Einbau von zusätzlichen, behelfsmässig gebauten Transformatorenstationen erwähnt, wodurch eine grössere Leistungsfähigkeit der Netze und eine bessere Einhaltung der Nullungsbedingungen erzielt werden kann. Es wird eine einfache Faustregel erwähnt, nach welcher man beim Einbau einer zusätzlichen Station mit 1/8 des bisher verlegten Kupferquerschnitts auskommen kann; dadurch würde sich ein Eisenquerschnitt ergeben, der nur wenig grösser zu sein braucht, als er bisher in Kupfer vorhanden gewesen ist. Ferner wird über den Umbau eines ganzen, normal verzweig-