

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 24

Artikel: Das Kreisdiagramm des Widerstands-Verstärkers
Autor: Müller, Karl E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059893>

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: 03.04.2026

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

Tabelle I.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
| a_n mm | 17,1 | 16,5 | 15,9 | 15,3 | 14,7 | 14,3 | 13,8 | 13,4 | 13,6 | 12,7 | 12,4 | 12,1 | 11,8 | 11,6 | 11,3 | 11,1 | 11,0 | 10,8 | 10,7 | 10,5 | 10,4 | 10,4 | 10,3 | $\sum a_n = 297,5$ mm |
| ΔT_n °C | 2,96 | 2,90 | 1,86 | 2,80 | 2,75 | 2,69 | 2,62 | 2,56 | 2,48 | 2,40 | 2,33 | 2,22 | 2,15 | 2,04 | 1,92 | 1,80 | 1,66 | 1,52 | 1,32 | 1,12 | 0,76 | 0,42 | 0,10 | $\Delta T_{max} = 123,42$ °C |

$$\Delta T_i = \Delta T_r \frac{h_i}{h_i + \sum_1^n a_i \left(\frac{h_i - \sum_1^n a_i}{h_h - \sum_1^n a_i} - 1 \right)} \quad (6)$$

Die tatsächliche Durchführung der Rechnung lässt sich nur numerisch mit einigem Erfolg bewerkstelligen. Tabelle I zeigt die Werte, die aus

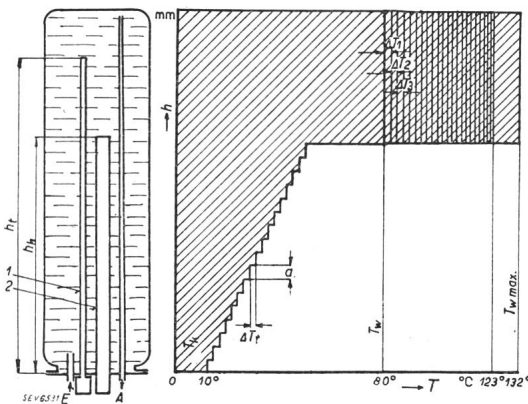


Fig. 3.

Temperaturverlauf bei Annäherungsrechnung und Temperaturschichtung in der Heisswasserzone bei algebraischer Bestimmung.

1 Thermostat. 2 Heizelement. h Höhe über Flansch. T Wassertemperatur.

den früher angenommenen Zahlen sowohl für die einzelnen Schichthöhen, als auch für die dazu gehörenden Temperaturanstiege resultieren (Fig. 3). Es liessen sich auch analog die Temperaturanstiege in den Kaltwasserschichten errechnen; ihre Kenntnis trägt aber zur Ermittlung der maximalen Wassertemperatur nicht bei.

Daraus geht nun eindeutig hervor, dass bei der Annäherungsrechnung bei einer Wasserschichtung bis Heizelementende im ungünstigsten Falle eine Aufschaukelungstemperatur von 132,5° C und bei genauerer Bestimmung immerhin noch eine solche von 123,4° C auftreten kann. Dieses sind Werte, die am Ausfluss ohne Zweifel Dampfbildung verursachen und deshalb Klagen hervorrufen. Diesen Vorkommnissen Aufmerksamkeit zu schenken, dürfte sich im Interesse der Sache auf alle Fälle lohnen, besonders, da die sog. zweite Sicherung entsprechend den dafür ausgearbeiteten Vorschriften leider nicht in der Lage ist, dagegen die geringste Vorbeugung sicherzustellen, indem die Flanschttemperatur hier gerade abgekühlt statt überhitzt wird. Selbst wenn in der Praxis die Betriebsverhältnisse nicht so extrem ungünstig auftreten, wie sie hier der Rechnung zugrunde gelegt wurden, so lässt sich das Bestehen der Möglichkeit, wenn nicht einer Gefahr, so doch einer Unannehmlichkeit nicht bestreiten.

Das Kreisdiagramm des Widerstands-Verstärkers.

Von Karl E. Müller, Zürich.

621.396.645.211

Der Autor, Leiter der Fachschule für Radiotechnik in Zürich, untersucht das sogenannte «exakte» Ersatzschema des widerstandsgekoppelten Verstärkers (Fig. 2) bezüglich der Verstärkung $V = U_2/U_1$ und unter Berücksichtigung der Phasenlage der verstärkten Spannung U_2 . Es ergibt sich ein einfacher Zusammenhang zwischen Verstärkung V und Phasenverschiebung θ , nämlich $V = V_{max} \cdot \cos \theta$; daher kann das Verhalten des Verstärkers in einem Kreisdiagramm dargestellt werden. Insbesondere wird gezeigt, wie ein übersichtlicher Frequenzmaßstab gewonnen werden kann. Die zur Berechnung nötigen Formeln werden an einem Beispiel erläutert.

L'auteur examine le schéma équivalent «exact» de l'amplificateur à résistance (fig. 2), pour un rapport d'amplification $V = U_2/U_1$ et en tenant compte de la phase de la tension amplifiée U_2 . Il en déduit une relation simple entre l'amplification V et le déphasage θ , $V = V_{max} \cdot \cos \theta$; par conséquent, le fonctionnement de l'amplificateur peut être représenté par un diagramme circulaire. L'auteur montre, en particulier, comment on peut en déduire une échelle claire de la fréquence. Les formules nécessaires au calcul sont expliquées à l'aide d'un exemple particulier.

Bei mehrstufigen Verstärkern findet die Koppelung der Stufen durch Widerstand R_a und Kapazität C_k die am häufigsten anzutreffende Schaltung (Fig. 1). Das zugehörige Ersatzschema, Fig. 2, zeigt die erste Röhre als Wechselstromgenerator mit der elektromotorischen Kraft: $-g \cdot U_1$ in Reihe mit dem innern Widerstand R_i der Röhre. Die Kapazität C_a umfasst die Anode-Kathode-Kapazität im Innern der Röhre sowie andere Streukapazitäten und eventuelle, absichtlich hinzugefügte Kondensa-

toren. Der Gitterableitwiderstand R_g der nächsten Röhre und deren Eingangsimpedanz Z_e sind im Ersatzschema durch R_g^* und C_g^* repräsentiert. Sind

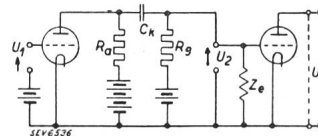


Fig. 1.

Der RC-gekoppelte Verstärker und sein Ersatzschema.

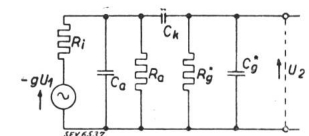


Fig. 2.

g der Verstärkungsfaktor, D der Durchgriff, S die Steilheit der ersten Röhre, so ist bekanntlich: $g = 1/D$ und $D \cdot R_i \cdot S = 1$.

Wendet man das Kirchhoffsche Umlaufgesetz auf die vier Maschen des Ersatzschemas an, so erhält man 4 Gleichungen, welche die Verstärkung dieser Stufe nach Grösse und Phase zu berechnen erlauben. Man erhält in komplexer Schreibweise:

$$V = U_2/U_1 = -j \cdot a \cdot \omega / (\omega^2 - j \cdot b \cdot \omega - c)$$

wo ω die Kreisfrequenz, j die imaginäre Einheit, und a, b, c Abkürzungen für zusammengesetzte Ausdrücke der Konstanten des Ersatzschemas Fig. 2 sind. Nach dieser Formel vermutet man als Ortskurve der Spitze des Vektors V eine bizirkuläre Quartik¹⁾; es zeigt sich jedoch, dass es ein Kreis ist, worauf zuerst Dale Pollack hingewiesen hat²⁾. Durch Einführung einer neuen Variablen: $m = \omega - c/\omega$ kann obiger Ausdruck für V in folgende Form gebracht werden: $V = a/(b + j \cdot m)$, was nun für die Variable m einen Kreis darstellt. Man erhält für $m = 0$ den maximalen Verstärkungsgrad $V_{max} = a/b$, und zwar bei der Kreisfrequenz $\omega_0 = \sqrt{c}$. Die in der Verstärkerstufe auftretende Phasenverschiebung Θ ergibt sich aus der Beziehung: $\text{tg } \Theta = -m/b$ und sie verschwindet bei der Frequenz ω_0 , bei welcher der maximale Verstärkungsgrad auftritt. Die Ausrechnung gibt nun folgende Resultate:

$$V_{max} = \frac{S \cdot C_k \cdot R_i \cdot R_a \cdot R_g^*}{R_g^* (R_i + R_a) (C_k + C_g^*) + R_i \cdot R_a (C_k + C_a)} \quad (1)$$

$$\omega_0^2 = \frac{(R_i + R_a)}{R_i \cdot R_a \cdot R_g^* (C_k \cdot C_a + C_k \cdot C_g^* + C_a \cdot C_g^*)} \quad (2)$$

$$\text{tg } \Theta = \left(\frac{R_i + R_a}{S \cdot C_k \cdot R_i \cdot R_a \cdot R_g^*} \right) \left(\frac{V_{max}}{\omega_0} \right) \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0} \right) \quad (3)$$

Ausserdem besteht noch folgende einfache Beziehung:

$$V = V_{max} \cdot \cos \Theta = V_{max} / \sqrt{1 + \text{tg}^2 \Theta} \quad (4)$$

Man erkennt daraus, dass Verstärkungsgrad V und Phasenverschiebung Θ in sehr einfacher Weise zusammenhängen. Sobald die Phasenverschiebung von 180° abweicht, nimmt der Verstärkungsgrad nach Massgabe von $\cos \Theta$ ab. Diese Formeln gestatten, in kurzer Zeit die Frequenzkurve eines Widerstandsverstärkers zu berechnen. Wünscht man noch die Grenzfrequenzen kennenzulernen, für welche das Verhältnis V/V_{max} einen bestimmten Betrag erreicht, so gewinnt man aus (3) und (4) leicht eine quadratische Gleichung, deren Wurzeln die gesuchten Grenzfrequenzen ω_1 und ω_2 sind:

$$\omega^2 + \omega \cdot \left(\frac{\omega_0^2 \cdot S \cdot C \cdot R_i \cdot R_a \cdot R_g^*}{R_i + R_a} \right) \sqrt{\frac{V_{max}^2 - V^2}{V_{max}^2 \cdot V^2}} - \omega_0^2 = 0 \quad (5)$$

Diese Zusammenhänge lassen sich in schöner Weise in einem allgemein gültigen Kreisdiagramm

darstellen (Fig. 3). Der Vektor für die Verstärkung V beschreibt einen Kreis, dessen horizontaler, grösster Durchmesser der maximalen Verstärkung entspricht. Aus der Länge von V ersieht man den Verstärkungsgrad mittels der linearen horizontalen Skala; gleichzeitig ergibt sich die Phase von U_2 gegen U_1 , also der Winkel Θ . Die Verlängerung von V trifft den ebenfalls linearen Maßstab für $\text{tg } \Theta$, welcher gemäss Formel (4) den Zusammenhang mit der Frequenz ergibt. Aus der Formel ergibt sich sowohl für $\omega = 0$ als auch für $\omega = \infty$ der $\text{tg } \Theta$ zu

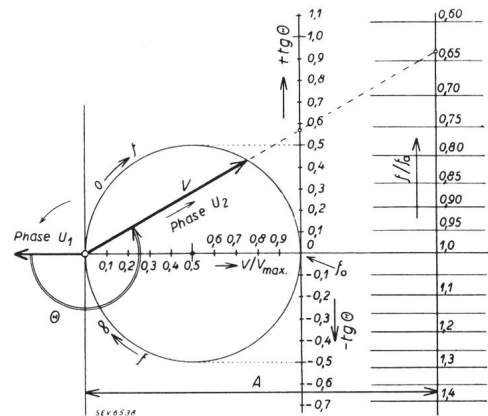


Fig. 3. Das Kreisdiagramm des Widerstandsverstärkers.

$+\infty$ bzw. $-\infty$. Wollte man für einen Einzelfall auf dem Kreise einen Frequenzmaßstab eintragen, so würde dieser für $f = 0$ im Ursprung nach oben zu beginnen, für $f_0 = \omega_0/2\pi$ die Horizontale durchschneiden und über den unteren Halbkreis für $f = \infty$ wieder den Ursprung erreichen.

Einen direkten Frequenzmaßstab erhält man, wenn im Abstand A vom Ursprung vertikal die Grösse $(f_0/f - f/f_0)$ aufgetragen wird, wobei die Bezifferung mit f/f_0 erfolgt. Dieser Maßstab kann in der angedeuteten Weise als horizontale Lineatur gegeben sein, so dass es genügt, für einen bestimmten Einzelfall im Abstand A einen vertikalen Strich zu ziehen. Diesen Abstand erhält man aus (3) zu:

$$A = \left(\frac{\omega_0}{V_{max}} \right) \left(\frac{S \cdot C_k \cdot R_i \cdot R_a \cdot R_g^*}{R_i + R_a} \right) \quad (6)$$

Als Beispiel sei ein Verstärker gewählt, der die tiefen Frequenzen bevorzugen soll und darum künstlich vergrösserte Werte von C_a und C_g^* aufweist. Es sind die Konstanten folgendermassen gewählt:

$$\begin{aligned} C_a &= 2 \cdot 10^{-9} \text{ F}; & R_a &= 0,3 \cdot 10^6 \text{ Ohm}; \\ C_k &= 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}; & R_g^* &= 0,2 \cdot 10^6 \text{ Ohm}; \\ C_g^* &= 2 \cdot 10^{-9} \text{ F}; \end{aligned}$$

Röhrendaten:

$$\begin{aligned} R_i &= 0,5 \cdot 10^6 \text{ Ohm}; \\ S &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}. \end{aligned}$$

Die Ausrechnung der Formeln (1), (2), (3) ergibt nun einen maximalen Verstärkungsgrad $V_{max} = 161,3$, und zwar bei der Kreisfrequenz $\omega_0 = 778,5$ entsprechend der Frequenz $f_0 = \omega_0/2\pi = 124 \text{ Hz}$. Ferner ist $\text{tg } \Theta = 0,276 (\omega_0/\omega - \omega/\omega_0)$. Man kann

¹⁾ Seletzky, Amplification Loci of Resistance-Capacitance coupled Amplifiers, Electr. Engng., Bd. 55 (1936) 12, S. 1364.
²⁾ Pollack, Diskussionsbeiträge, Electr. Engng., Bd. 56 (1937) 7, S. 877.

auch direkt mit den Frequenzen rechnen, wofür man setzt: $\text{tg } \Theta = 0,276 (f_0/f - f/f_0)$. Mit den so gefundenen Werten von $\text{tg } \Theta$ geht man auf die vertikale Skala des Kreisdiagramms ein und erhält die zugehörige Verstärkung V ; oder man zeichnet im Abstand $A = 1/0,276 = 3,62$ Einheiten des Kreisdurchmessers den vertikalen Strich, um den Maßstab f/f_0 direkt im Diagramm zu erhalten. Für die Berechnung der in Fig. 4 dargestellten Frequenzkurven wurden mit Hilfe von Formel (4) und dem Rechenschieber einige Punkte ausgewertet. Welche Me-

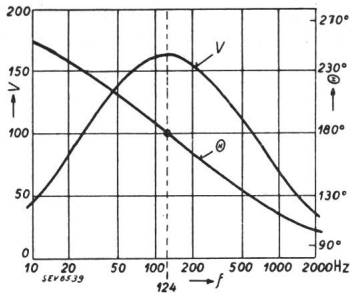


Fig. 4.
Frequenzkurve des
Beispiels.

thode man im einzelnen Fall auch anwende, die graphische Darstellung bleibt zur Veranschaulichung der Zusammenhänge immer wertvoll.

Bezüglich der Eingangsimpedanz Z_e der zweiten Röhre sei daran erinnert, dass sie nicht nur aus dem

(meist vernachlässigbaren) Isolationswiderstand des Gitters und der Gitter-Kathodenkapazität C_{gk} der Röhre besteht, sondern infolge der Anodenrückwirkung leider sogar frequenzabhängig von den Zuständen in der nächsten Verstärkerstufe abhängt. Setzt man $U_3/U_2 = V^*$ mit der Phasenverschiebung Θ^* und bezeichnet C_{ga} die Gitter-Anoden-Kapazität der zweiten Röhre, so ist bekanntlich:

$$\left. \begin{aligned} C_g^* &= C_{gk} + C_{ga} (1 + V^* \cdot \cos \Theta^*) \\ R_g^* &= R_g - 1/(\omega \cdot C_{ga} \cdot V^* \cdot \sin \Theta^*) \end{aligned} \right\} (7)$$

Diese Beeinflussung der Konstanten im Ersatzschema ist besonders für Trioden und bei höheren Frequenzen sehr merkbar, dagegen bei Penthoden wegen des kleinen C_{ga} weniger wichtig. Streng genommen müsste man auch die Anodenrückwirkung auf U_1 in Betracht ziehen. Nach einem Vorschlage von Rotkin³⁾ könnte dies dadurch geschehen, dass im Ersatzschema statt $-g \cdot U_1$ für die elektromotorische Kraft nun: $-U_1(g - j \cdot R_i \cdot \omega \cdot C_{ga})$ gesetzt wird. Alle diese Einflüsse haben zur Folge, dass die Verstärkung der hohen Frequenzen etwas kleiner ist, als nach den angegebenen Formeln zu erwarten wäre.

³⁾ Rotkin, Diskussionsbeiträge, idem.

Recherches d'isolateurs défectueux sur les lignes à haute tension montées sur supports en bois.

Par Louis Martenet, Neuchâtel.

612.315.62.0014

L'auteur décrit un dispositif simple qui permet de déceler les défauts d'isolateurs à haute tension posés sur poteaux de bois, sans interruption de service. Le dispositif se compose d'une petite lampe au néon logée dans un boîtier formant chambre noire que l'on branche entre le poteau et la terre. Lorsqu'un isolateur est défectueux, un courant s'écoule à la terre par le poteau. Une partie de ce courant traverse la lampe qui s'illumine.

Es wird ein einfacher Apparat beschrieben, mit dem Hochspannungsisolatoren auf Holzmasten auf ihre Isolationsfähigkeit geprüft werden können, ohne dass die Leitung ausgeschaltet werden muss. Der Apparat besteht aus einer kleinen Neonlampe, die sich in einem als Dunkelraum ausgebildeten Kästchen befindet. Sie wird zwischen Mast und Erde angeschlossen. Ist ein Isolator defekt, so fließt durch den Mast ein Strom, wovon ein Teil durch die Lampe, so dass diese aufleuchtet.

Etant dans l'obligation de passer, sur tout un réseau de distribution, de la tension 8000 volts à la tension 16 000 volts, il a été fait l'essai de conserver les mêmes isolateurs posés sur les poteaux existants.

Il fallait, d'autre part, éviter des perturbations, au cas d'isolateurs défectueux, pouvant résister à la tension de 8000 volts, mais pas à celle de 16 000 volts, cela au moment du passage au nouveau régime.

Une visite de tous les isolateurs du réseau aurait nécessité beaucoup de temps et des arrêts longs et fréquents dans la distribution.

L'auteur de ces lignes s'est servi, pour ces recherches d'isolateurs défectueux en pleine exploitation, d'une petite lampe au néon, enfermée dans une chambre noire pouvant se placer devant les yeux du visiteur, comme une jumelle de théâtre.

Un des pôles de la lampe est fixé, au moyen d'un câble isolé, à une sorte de piolet qui est piqué dans le poteau par le visiteur (voir fig. 1), l'autre pôle de la lampe est relié à un piquet métallique légèrement enfoncé dans le sol.

Si un ou plusieurs isolateurs sont défectueux (fendus) la lampe s'illumine; par contre, si les isolateurs sont en bon état la lampe reste obscure.

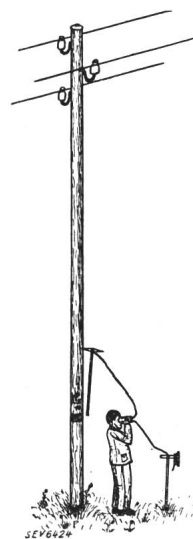


Fig. 1.

Cette méthode a permis, sur des centaines de poteaux visités, d'en découvrir une dizaine dont les isolateurs étaient défectueux.

La même méthode, avec le même outillage, essayée sur une courte ligne (5 poteaux) à 60 000 volts, a révélé le fonctionnement de la lampe à chaque poteau dont les isolateurs étaient en excellent état; ce fait est dû aux légères pertes contournant les isolateurs.

Il est probable qu'en cas de défauts sur les isolateurs d'une telle ligne, la lampe fonctionnerait avec une intensité beaucoup plus forte.

Cette méthode pourra rendre service pour la recherche d'isolateurs défectueux.