

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 59 (1968)
Heft: 2

Artikel: Vervielfachung der Phase eines Allpasses
Autor: Herzog, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916015>

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: 17.02.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Vervielfachung der Phase eines Allpasses ¹⁾

Von W. Herzog, Mainz

621.372.54.018.1

In der Nachrichtentechnik spielt der Phasenausgleich zur Erzielung einer konstanten Gruppenlaufzeit eine sehr grosse Rolle. Die Anzahl der erforderlichen Allpässe ist dabei sehr hoch. Unter Zugrundelegung einer Schaltung von Wald [1] ²⁾, der Phasenverdreifachung eines Allpasses erzielen konnte, werden Anordnungen angegeben, die eine mehrfache Phasendrehung bei einer wesentlichen Einsparung von Schaltelementen erreichen lassen.

1. Die Schaltung zur Phasenvervielfachung

Fig. 1 zeigt die zur Phasenverdreifachung dienende Schaltung. In derselben ist V_p ein zunächst beliebiger Vierpol, der mit einer Reaktanz X abgeschlossen ist. Der Eingangswiderstand der Anordnung Vierpol mit Abschlussreaktanz X sei mit \underline{S} bezeichnet. Mit dieser Grösse und den eingezeichneten

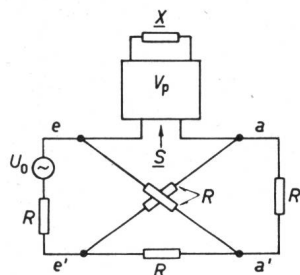


Fig. 1
Schaltung zur Phasenvervielfachung
 V_p beliebiges Vierpol; X Abschlussreaktanz; \underline{S} Eingangswiderstand;
 R Widerstand; e, e', a, a' bestimmte Punkte der Schaltung; U_0

Widerständen R lässt sich das Übertragungsmass \underline{g} zwischen e und e' bzw. a und a' angeben.

Leerlaufwiderstand \underline{W}_{11b} und Kernwiderstand \underline{M}_b des aus \underline{S} und den drei Ohmschen Widerständen R bestehende Vierpols sind:

$$\underline{W}_{11b} = \frac{2R(R + \underline{S})}{3R + \underline{S}} \quad \underline{W}_{11b} - \underline{M}_b = R \frac{R + 3\underline{S}}{3R + \underline{S}} \quad (1)$$

$$\underline{M}_b = \frac{R(R - \underline{S})}{3R + \underline{S}} \quad \underline{W}_{11b} + \underline{M}_b = R$$

Mit der bekannten Formel für das Betriebsübertragungsmass \underline{g} für symmetrische Vierpole:

$$\underline{e}^{\underline{g}} = \frac{(R + \underline{W}_{11} + \underline{M})(R + \underline{W}_{11} - \underline{M})}{2R\underline{M}} \quad (2)$$

folgt aus den Gln. (1):

$$\underline{e}^{\underline{g}} = 4 \frac{R + \underline{S}}{R - \underline{S}} \quad (3)$$

¹⁾ Mitteilung des Institutes für Elektrotechnik der Universität Mainz.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Der Faktor 4 ist unvermeidlich, es sei denn, dass man zusätzlich einen Übertrager einschaltet. Er gibt einen konstanten Dämpfungszuschlag von $1,4 \text{ Np} = 12 \text{ dB}$. In den weiteren Betrachtungen sei dieser Faktor weggelassen und nur die Formel:

$$\underline{e}^{\underline{g}'} = \frac{R + \underline{S}}{R - \underline{S}} \quad (4)$$

betrachtet, wobei \underline{g}' das reduzierte Betriebsübertragungsmass genannt sei. Man kann auch durch wesentlichen Mehrauf-

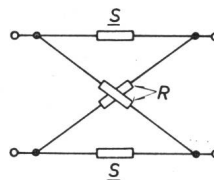


Fig. 2
Schaltung zur Phasenvervielfachung mit doppelter Elementenanzahl
Bezeichnungen siehe Fig. 1

wand den Faktor 4 auf 2 verringern, denn für die Schaltungen Fig. 2 und 3 gilt:

$$\underline{e}^{\underline{g}_2} = 2 \frac{R + \underline{S}}{R - \underline{S}} \quad (5)$$

Der Faktor entfällt für die Anordnung Fig. 4:

$$\underline{e}^{\underline{g}_3} = \frac{R + \underline{S}}{R - \underline{S}} \quad (6)$$

Hierbei ist die vierfache Anzahl von Reaktanzen erforderlich, was keine Ersparnis bedeutet.

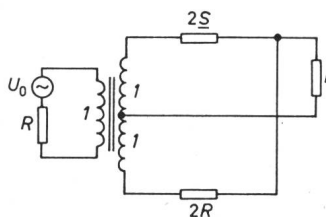


Fig. 3
Differentialbrücke zur Phasenvervielfachung mit einfacher Elementenanzahl

Wenn \underline{S} nicht der Eingangswiderstand eines Vierpols, sondern selbst eine Reaktanz ist, so gilt der Vorteil der Einsparung der Schaltelemente gegenüber der Schaltung Fig. 4 auch in diesem Fall, ebenfalls mit dem Dämpfungsverlust durch den Faktor 4.

In Fig. 1 ist der noch nicht festgelegte Vierpol V_p mit den Leerlaufwiderständen \underline{W}_{11} , \underline{W}_{21} und dem Kern-

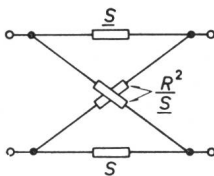


Fig. 4
Normaler Allpass

widerstand \underline{M} mit der unbekannten Reaktanz \underline{X} abgeschlossen.

Für den Eingangswiderstand \underline{S} gilt hierbei:

$$\underline{S} = \underline{W}_{11} - \frac{\underline{M}^2}{\underline{W}_{21} + \underline{X}} \quad (7)$$

und für das reduzierte Betriebsübertragungsmass \underline{g}' nach Gl. (4):

$$e^{\underline{g}'} = \frac{R(\underline{W}_{21} + \underline{X}) + \underline{W}_{11}\underline{X} + |\underline{W}|}{R(\underline{W}_{21} + \underline{X}) - \underline{W}_{11}\underline{X} - |\underline{W}|} \quad (8)$$

$$|\underline{W}| = \underline{W}_{11}\underline{W}_{21} - \underline{M}^2$$

Unter der Annahme, dass die Vierpolgrößen und \underline{X} reine Reaktanzen sind, lässt die Betragbildung der Formel (8) erkennen, dass die Anordnung ein Allpass ist. Zur besseren Übersicht seien die folgenden Vereinfachungen eingeführt:

$$\underline{W}_{21} = \underline{W}_{11} \quad (9)$$

$$|\underline{W}| = R^2$$

Die gleichen Bedingungen machen die Betriebsdämpfung eines allgemeinen Vierpols zu Null [2], dieser Fall liegt jedoch hier nicht vor, da ein Abschluss die Grösse \underline{X} ist, die fünf Widerstände R bilden allerdings einen Abschluss R .

Die Vereinfachungen ändern Formel (8) in:

$$e^{\underline{g}'} = - \frac{(R + \underline{W}_{11})(R + \underline{X})}{(R - \underline{W}_{11})(R - \underline{X})} \quad (10)$$

Setzt man

$$\underline{X} = \underline{W}_{11}$$

schliesst also den Vierpol mit seinem Leerlaufwiderstand ab, so ergibt sich:

$$e^{\underline{g}'} = - \left(\frac{R + \underline{W}_{11}}{R - \underline{W}_{11}} \right)^2 \quad (11)$$

Auch eine Reaktanz

$$\underline{X} = \underline{W}_{11}' \quad (12)$$

wobei \underline{W}_{11}' der Leerlaufwiderstand eines anderen Vierpols sein kann, ist möglich.

Nimmt man als Abschluss \underline{X} einen symmetrischen Vierpol mit dem Leerlaufwiderstand \underline{W}_{11}' , der Bedingung $|\underline{W}'| = R^2$ und schliesst ihn mit dem Abschluss \underline{W}_{11}'' ab, so gilt:

$$\underline{X} = \underline{W}_{11}' - \frac{\underline{M}'^2}{\underline{W}_{11}' + \underline{W}_{11}''} = \frac{\underline{W}_{11}'\underline{W}_{11}'' + R^2}{\underline{W}_{11}' + \underline{W}_{11}''} \quad (13)$$

und in Gl. (10) eingesetzt:

$$e^{\underline{g}''} = + \frac{R + \underline{W}_{11}}{R - \underline{W}_{11}} \cdot \frac{R + \underline{W}_{11}'}{R - \underline{W}_{11}'} \cdot \frac{R + \underline{W}_{11}''}{R - \underline{W}_{11}''} \quad (14)$$

Die Anordnung lässt sich um eine beliebige Anzahl von symmetrischen Vierpolen mit der Bedingung, dass die Determinante ihrer Kerngrößen gleich R^2 ist, erweitern. Wählt man die Vierpole gleich und nimmt als Abschluss den Leerlaufwiderstand eines der Vierpole, so lässt sich aus Gl. (14) für n Vierpole ableiten:

$$e^{\underline{g}^{(n)}} = (-1)^n \cdot \left(\frac{R + \underline{W}_{11}}{R - \underline{W}_{11}} \right)^{n+1} \quad (15)$$

2. Brücken als Allpässe

Wählt man eine Brücke als Allpass, so liefert Gl. (9) für die Brückenzweige \underline{X}_1 und \underline{X}_2 die Bedingung:

$$|\underline{W}| = \underline{X}_1 \underline{X}_2 = R^2 \quad (16)$$

so dass die in Fig. 5 gezeigte Brückenschaltung zu nehmen ist.

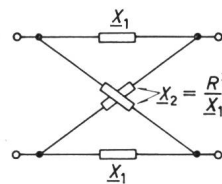


Fig. 5
Brückenallpass mit widerstandsreziproken Zweigen

Leerlaufwiderstand \underline{W}_{11} und Kernwiderstand \underline{M} der in Fig. 5 gezeigten Brücke sind:

$$\underline{W}_{11} = \frac{1}{2} \left(\frac{R^2}{\underline{X}_1} + \underline{X}_1 \right) = \frac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2 \underline{X}_1} \quad (17)$$

$$\underline{M} = \frac{1}{2} \left(\frac{R^2}{\underline{X}_1} - \underline{X}_1 \right) = \frac{R^2 - \underline{X}_1^2}{2 \underline{X}_1}$$

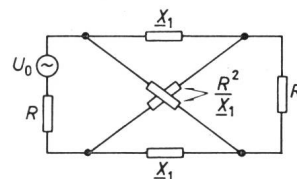


Fig. 6
Brückenallpass Fig. 5 zwischen Abschlusswiderständen R

Für das Betriebsübertragungsmass dieser Brücke zwischen den Abschlusswiderständen R (Fig. 6) folgt aus den Gln. (2) und (17):

$$e^{\underline{g}} = \frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1} \quad (18)$$

In der Anordnung von Fig. 1, bei der in Fig. 7 der Vierpol durch die Brücke Fig. 5 ersetzt sei und als Abschlusswiderstand \underline{W}_{11} nach Gl. (17) benutzt wird, gilt Gl. (11):

$$e^{\underline{g}'} = - \left(\frac{R + \frac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2 \underline{X}_1}}{R - \frac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2 \underline{X}_1}} \right)^2 = - \left(\frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1} \right)^4 = - e^{4\underline{g}} = e^{i\pi} \cdot e^{4\underline{g}} \quad (19)$$

Abgesehen von dem negativen Vorzeichen, das eine Phasenverschiebung mit sich bringt, hat die Anordnung in Fig. 7 die vierfache Phase gegenüber dem direkt benutzten gleichen Vierpol in Fig. 6. Der zusätzliche Aufwand ist hierbei der Abschlusswiderstand \underline{W}_{11} und die Widerstände R .

Auch die Brückenzweige selbst lassen sich als Abschlusswiderstand des Vierpols benutzen. Setzt man in Gl. (10):

$$\underline{X} = \underline{X}_1 \quad (20)$$

so ergibt sich mit Gl. (17):

$$e^{\underline{g}'} = \left(\frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1} \right)^3 = e^{3\underline{g}} \quad (21)$$

Diese Formel wurde von Wald [1] aus einer Reflektionsbetrachtung abgeleitet.

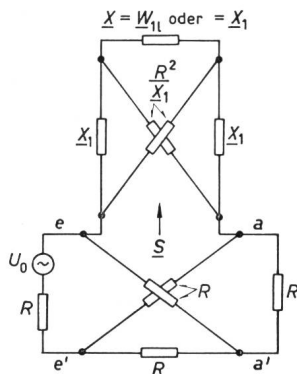


Fig. 7
Fig. 1 mit Brückenallpass Fig. 5 und Leerlaufwiderstand als Abschluss \underline{W}_{11} Leerlaufwiderstand

Wählt man:

$$\underline{X} = \frac{R^2}{\underline{X}_1} \quad (22)$$

so erhält man aus den Gln. (10) und (17):

$$e^{\underline{g}'} = - \left(\frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1} \right)^3 \quad (23)$$

Das Vorzeichen kann man durch Vertauschen von Brücken-
zweigen auswählen.

Benutzt man gar keinen Vierpol, sondern allein den Ab-
schlusswiderstand \underline{X} , so kann man [s. Gl. (17)] mit:

$$\underline{X} = \frac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2 \underline{X}_1} = \underline{S} \quad (24)$$

aus Gl. (4):

$$e^{\underline{g}'} = - \left(\frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1} \right)^2 \quad (25)$$

erzielen, und schliesslich mit:

$$\underline{X} = \underline{X}_1 = \underline{S} \quad (26)$$

$$e^{\underline{g}'} = \frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1} \quad (27)$$

Bei einem Brückenallpass lässt sich je nach Aufwand jede
gewünschte Phasenvervielfachung erzielen. Alle Vervielfachungen haben gegenüber der Schaltung in Fig. 6 den Vorteil
der Elementeneinsparung und den Nachteil der Grunddämpfungs-
erhöhung.

Am günstigsten sind die Phasendrehungen mit dem
Abschluss:

$$\underline{X} = \underline{W}_{11} \quad (28)$$

da hierbei der Drehungsfaktor um eins grösser ist als bei dem
Abschluss mit einem Brücken-zweig, wobei sich die Elementen-

anzahl nur um die eines Brücken-zweiges erhöht. Z. B. ergibt
eine Brücke mit Abschluss durch einen Brücken-zweig, also
mit insgesamt fünf Zweigen, eine Drehung der Phase um den
Faktor drei, während der Abschluss mit dem Leerlaufwider-
stand sechs Zweige erfordert und den Faktor vier bringt.
Mit wachsender Anzahl von Vierpolen wird dieser Unter-
schied immer geringer. Da der Wellenwiderstand der Brücken
konstant ist [Gl. (9)], lässt sich die Kette von Brücken in eine
oder mehrere Brücken mit höherer Elementenanzahl in den
Zweigen zusammenfassen [3].

3. Verluste bei Allpässen

Zur Kompensation der Verluste bei Allpässen sei auf die
Arbeit von *Starr* [4], verwiesen, der die Brücken-zweige mit
ihren Verlusten widerstandsreziprok kompensiert. Bei nicht zu
grossen Frequenzbereichen lässt sich eine ausreichende Kom-
pensation durchführen, bei der nur die Grunddämpfung
angehoben wird.

Erforderlichenfalls sind die Brücken durch Widerstands-
glieder aneinander anzupassen [5].

Literatur

- [1] *M. Wald*: Eine Kunstschaltung zur Verdreifachung des Winkel-
masses eines Kreuzgliedes und ihre Anwendung zum Phasenaus-
gleich in Pupinleitungen. Elektr. Nachr.-Techn. 19(1942)10,
S. 196...199.
- [2] *W. Herzog*: Zum allgemeinen Filter. Frequenz 19(1965)1, S. 25...30
und Nr. 2, S. 48...55.
- [3] *W. Herzog*: Siebschaltungen mit Schwingkristallen. Braunschweig,
Vieweg, 2. Auflage, 1962.
- [4] *A. T. Starr*: Dissipation in Phase-Compensating Networks. Proc.
IRE 23(1935)9, S. 1102...1115.
- [5] *W. Herzog*: Zur Kettenschaltung von Filtern ohne und mit Verlust-
ausgleichsglied. Frequenz 17(1963)2, S. 48...52.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. phil., Dr.-Ing. *W. Herzog*, Direktor des Institutes für Elektro-
technik der Universität Mainz, Joh. Joachim Becher-Weg 14, D-6500 Mainz.

Abhängigkeit der Wirk- und Blindleistungsaufnahme passiver Netze von Spannungs- und Frequenzschwankungen

Von *Th. Laible*, Zürich

621.316.1.016.2

In der Arbeit wird die Berechnung der Übertragungsfunktionen
gezeigt, die den Zusammenhang zwischen Spannungs- und Fre-
quenzschwankungen und den dadurch bewirkten Wirk- und Blind-
leistungsschwankungen geben. Mit Hilfe eines Programms für eine
digitale Rechenmaschine werden einige Beispiele berechnet. Die
Ergebnisse ermöglichen es, einige einfache Näherungsformeln für
den praktisch besonders wichtigen Fall tiefer Schwankungsfre-
quenzen zu prüfen. Die Herleitung der genauen Formeln erfolgt
in einem Anhang.

L'exposé relate le calcul des fonctions de transmission rela-
tives aux variations de tension et de fréquence, ainsi que des
variations de la puissance active et de la puissance réactive résul-
tantes. Quelques exemples sont calculés à l'aide d'un programme
conçu pour un ordinateur. Les résultats permettent de contrôler
quelques formules d'approximation simples, appropriées au cas
particulièrement important dans la pratique courante de basses
fréquences de variations. Le développement des formules précises
est exposé à l'appendice.

1. Einleitung

Beim Betrieb eines elektrischen Netzes stellt sich manchmal
die Frage, wie kleine Abweichungen der Spannung und der
Frequenz die aufgenommene Wirk- und Blindleistung beein-
flussen. Ursprünglich interessierte man sich hauptsächlich
dafür, wie weit sich durch eine Spannungs- und Frequenz-
senkung ein überlastetes Kraftwerk entlasten lasse. Über die
Abnahme der Wirkleistung infolge einer kleinen bleibenden

Spannungs- und Frequenzabsenkung liegen daher zahlreiche
Messungen vor [1]¹⁾. Mit dem Ausbau des Verbundbetriebs
verlor diese Fragestellung an Bedeutung. Dafür begann man
sich für die Einwirkung dieser Zusammenhänge auf die Rege-
lungsvorgänge zu interessieren. Man stellte fest, dass die Wirk-
leistung sowohl mit der Spannung als auch mit der Frequenz
zunimmt. Dieses Verhalten übernimmt also einen (kleinen)

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.