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

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 $V\text{p}$ ein zunächst beliebiger Vierpol, der mit einer Reaktanz $\underline{X}$ abgeschlossen ist. Der Eingangswiderstand der Anordnung Vierpol mit Abschlussreaktanz $\underline{X}$ sei mit $\underline{S}$ bezeichnet. Mit dieser Grösse und den eingezeichneten

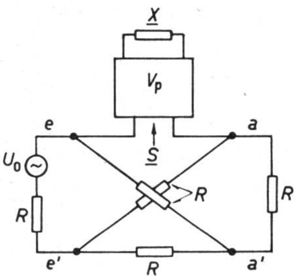

Fig. 1
Schaltung zur Phasenvervielfachung
V_p beliebiges Vierpol; $\underline{X}$ Abschlussreaktanz; $\underline{S}$ Eingangswiderstand; R Widerstand; *e, e', a, a'* bestimmte Punkte der Schaltung; U_0

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

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

$$\underline{W}_\text{11b} = \frac{2\,R\,(R+\underline{S})}{3\,R+\underline{S}} \qquad \underline{W}_\text{11b} - \underline{M}_\text{b} = R\,\frac{R+3\,\underline{S}}{3\,R+\underline{S}}$$

$$\underline{M}_\text{b} = \frac{R\,(R-\underline{S})}{3\,R+\underline{S}} \qquad \underline{W}_\text{11b} + \underline{M}_\text{b} = R \tag{1}$$

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

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

folgt aus den Gln. (1):

$$e^{\underline{g}} = 4\,\frac{R+\underline{S}}{R-\underline{S}} \tag{3}$$

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

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

betrachtet, wobei $\underline{g}'$ das reduzierte Betriebsübertragungsmass genannt sei. Man kann auch durch wesentlichen Mehraufwand den Faktor 4 auf 2 verringern, denn für die Schaltungen Fig. 2 und 3 gilt:

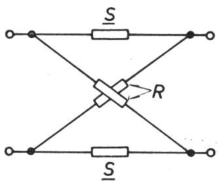

Fig. 2
Schaltung zur Phasenvervielfachung mit doppelter Elementenanzahl
Bezeichnungen siehe Fig. 1

$$e^{\underline{g}_2} = 2\,\frac{R+\underline{S}}{R-\underline{S}} \tag{5}$$

Der Faktor entfällt für die Anordnung Fig. 4:

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

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

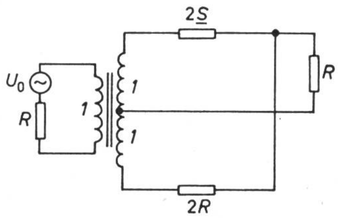

Fig. 3
Differentialbrücke zur Phasenvervielfachung mit einfacher Elementenanzahl

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.

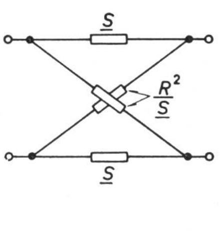

Fig. 4
Normaler Allpass

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

[1] Mitteilung des Institutes für Elektrotechnik der Universität Mainz.
[2] Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

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

Für den Eingangswiderstand $\underline{S}$ gilt hierbei:

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

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

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

$$|\underline{W}| = \underline{W}_{11}\underline{W}_{21} - \underline{M}^2 \tag{8}$$

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:

$$\underline{W}_{21} = \underline{W}_{11}$$

$$|\underline{W}| = R^2 \tag{9}$$

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:

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

Setzt man

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

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

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

Auch eine Reaktanz

$$\underline{X} = \underline{W}_{11}' \tag{12}$$

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:

$$\underline{X} = \underline{W}_{11}' - \frac{\underline{M}'^2}{\underline{W}_{11}' + \underline{W}_{11}''} = \frac{\underline{W}_{11}'\,\underline{W}_{11}'' + R^2}{\underline{W}_{11}' + \underline{W}_{11}''} \tag{13}$$

und in Gl. (10) eingesetzt:

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

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:

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

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:

$$|\underline{W}| = \underline{X}_1\underline{X}_2 = R^2 \tag{16}$$

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

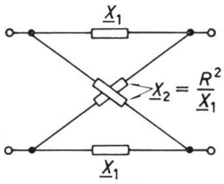

Fig. 5
Brückenallpass mit widerstandsreziproken Zweigen

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

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

$$\underline{M} = \frac{1}{2}\left(\frac{R^2}{\underline{X}_1} - \underline{X}_1\right) = \frac{R^2 - \underline{X}_1^2}{2\,\underline{X}_1} \tag{17}$$

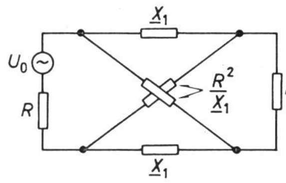

Fig. 6
Brückenallpass Fig. 5 zwischen Abschlusswiderständen *R*

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

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

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):

$$e^{\underline{g}'} = -\left(\frac{R + \dfrac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2\,\underline{X}_1}}{R - \dfrac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2\,\underline{X}_1}}\right)^2 = -\left(\frac{R + \underline{X}_1}{R - \underline{X}_1}\right)^4 =$$

$$= -e^{4\underline{g}} = e^{j\pi} \cdot e^{4\underline{g}} \tag{19}$$

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):

$$\underline{X} = \underline{X}_1 \tag{20}$$

so ergibt sich mit Gl. (17):

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

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

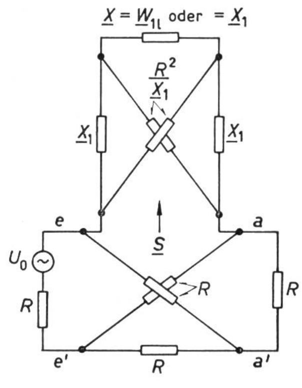

Fig. 7
Fig. 1 mit Brückenallpass Fig. 5 und Leerlaufwiderstand als Abschluss
W_{11} Leerlaufwiderstand

Wählt man:

$$\underline{X} = \frac{R^2}{\underline{X}_1} \tag{22}$$

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

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

Das Vorzeichen kann man durch Vertauschen von Brückenzweigen auswählen.

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

$$\underline{X} = \frac{R^2 + \underline{X}_1^2}{2\,\underline{X}_1} = \underline{S} \tag{24}$$

aus Gl. (4):

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

erzielen, und schliesslich mit:

$$\underline{X} = \underline{X}_1 = \underline{S} \tag{26}$$

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

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 Grunddämpfungserhöhung.

Am günstigsten sind die Phasendrehungen mit dem Abschluss:

$$\underline{X} = \underline{W}_{11} \tag{28}$$

da hierbei der Drehungsfaktor um eins grösser ist als bei dem Abschluss mit einem Brückenzweig, wobei sich die Elementenanzahl nur um die eines Brückenzweiges erhöht. Z. B. ergibt eine Brücke mit Abschluss durch einen Brückenzweig, also mit insgesamt fünf Zweigen, eine Drehung der Phase um den Faktor drei, während der Abschluss mit dem Leerlaufwiderstand sechs Zweige erfordert und den Faktor vier bringt. Mit wachsender Anzahl von Vierpolen wird dieser Unterschied 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 Brückenzweige mit ihren Verlusten widerstandsreziprok kompensiert. Bei nicht zu grossen Frequenzbereichen lässt sich eine ausreichende Kompensation durchführen, bei der nur die Grunddämpfung angehoben wird.

Erforderlichenfalls sind die Brücken durch Widerstandsglieder aneinander anzupassen [5].

Literatur

[1] *M. Wald:* Eine Kunstschaltung zur Verdreifachung des Winkelmasses eines Kreuzgliedes und ihre Anwendung zum Phasenausgleich 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 Verlustausgleichsglied. Frequenz 17(1963)2, S. 48...52.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. phil., Dr.-Ing. *W. Herzog*, Direktor des Institutes für Elektrotechnik 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 Frequenzschwankungen und den dadurch bewirkten Wirk- und Blindleistungsschwankungen 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 Schwankungsfrequenzen zu prüfen. Die Herleitung der genauen Formeln erfolgt in einem Anhang.

L'exposé relate le calcul des fonctions de transmission relatives aux variations de tension et de fréquence, ainsi que des variations de la puissance active et de la puissance réactive résultantes. 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 beeinflussen. Ursprünglich interessierte man sich hauptsächlich dafür, wie weit sich durch eine Spannungs- und Frequenzsenkung 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 Regelungsvorgänge zu interessieren. Man stellte fest, dass die Wirkleistung sowohl mit der Spannung als auch mit der Frequenz zunimmt. Dieses Verhalten übernimmt also einen (kleinen)

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.