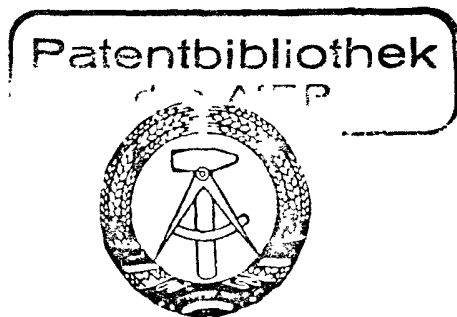




DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK  
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

# PATENT SCHRIFT 132 829

Wirtschaftspatent

Teilweise aufgehoben gemäß § 6 Absatz 1 des Änderungsgesetzes  
zum Patentgesetz

|      |                        |      |          |                       |       |              |
|------|------------------------|------|----------|-----------------------|-------|--------------|
| (11) | 132 829                | (45) | 30.04.80 | Int. Cl. <sup>3</sup> | 3(51) | H 03 H 11/46 |
| (21) | WP H 03 h / 191 845    | (22) | 15.03.76 |                       |       |              |
| (44) | <sup>1)</sup> 01.11.78 |      |          |                       |       |              |

- 
- (71) Technische Hochschule Ilmenau, DD
- (72) Philippow, Eugen, Prof. Dr.sc.techn. Dr.techn.h.c.; Brückner, Peter, Dipl.-Ing., DD
- (73) siehe (72)
- (74) Prof. Dr.sc.techn. Eugen Philippow, 6300 Ilmenau, Wielandstraße 6
- 
- (54) Schaltungsanordnung zur Erzeugung von natürlich nicht existierenden Zweipolen mit beliebigem Verhalten
-

Schaltungsanordnung zur Erzeugung von natürlich nicht existierenden Zweipolen mit beliebigem Verhalten

Anwendungsgebiet der Erfindung

Aufgabenbereiche für den Einsatz der Erfindung finden sich in fast allen Gebieten der Schaltungstechnik. Spezielle Anwendungen ergeben sich in den Bereichen der Verstärkertechnik, Meßtechnik, analoge Rechentechnik, Filtertechnik und Impulstechnik. Die erfindungsgemäßen Zweipole lassen sich in allen bekannten Selektionsschaltungen einsetzen. Darüber hinaus lassen sich die neuen Elemente auf allen Gebieten der Schaltungstechnik einsetzen, wo frequenzabhängige Elemente mit beliebigen Frequenzgängen und frei zu gestaltenden Kennlinien benötigt werden.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur aktiven Nachbildung von Zweipolfunktionen sind eine Reihe von Schaltungen bekannt. Durch die bekannten technischen Lösungen wird jedoch nur ein kleiner Teil der theoretisch darstellbaren Zweipolfunktionen bereitgestellt.

Bekannt sind lineare Transformationsvierpole nach /2//3/. Diese gestatten die Veränderung der Kennlinie eines gegebenen Zweipols durch lineare Transformationsoperationen, wie die Drehung, Streckung oder Stauchung.

Da die Kennlinie der so erzeugten Zweipole in fester linearer Beziehung zur Kennlinie des gegebenen Zweipols steht, ergibt sich eine starke Einschränkung der Kennlinienvielfalt. Auch durch Kettenschaltung mehrerer Transformationseinheiten ist der Mangel prinzipiell nicht zu beseitigen.

Zur Veränderung der Frequenzabhängigkeit gegebener Zweipole sind bereits eine Reihe von Schaltungsanordnungen bekannt /2//3//6//7//21/.

Eine wichtige Gruppe bilden die Gyratorschaltungen. Diese erlauben den elektronischen Ersatz von Induktivitäten, wobei als Energiespeicher eine nur Steuerungsfunktion besitzende Kapazität verwendet wird. Diese Schaltungen wurden unter Verwendung eines zweiten unabhängigen Energiespeichers zum komplexen Gyrtator weiterentwickelt. Dieser gestattet die Darstellung von künstlichen Elementen zweiter Ordnung.

Der sogenannte Mutator /2//3/ erlaubt außer der Transformation Kapazität-Induktivität und umgekehrt nur die Umwandlungen Widerstand-Kapazität und umgekehrt sowie Widerstand-Induktivität und umgekehrt. In den letztgenannten Fällen befindet sich der Energiespeicher innerhalb der Mutatorschaltung.

Bei allen bekannten Schaltungsanordnungen wird auf eine gleichzeitige Kennlinienveränderung verzichtet, und es werden nur Elemente von höchstens zweiter Ordnung dargestellt.

Weiterhin wurde in der Literatur die Kettenschaltung von Grundvierpolen zur Erzielung von mehrfachen Kennlinienveränderungen und zur Kombination von Kennlinienbeeinflussung und Änderung der Frequenzabhängigkeit vorgeschlagen.

Auch dadurch läßt sich noch kein beliebiges Verhalten erzielen. Der Hauptnachteil von Kettenschaltungen besteht darin, daß, bedingt durch die mehrfache Strom-Spannungskonversion von Stufe zu Stufe, die Approximation der zu erzielenden Zweipolfunktion immer schlechter wird. Verbunden damit ist ein hoher Aufwand und ein größerer Leistungsumsatz.

In /1/ wird bereits ein grundsätzlich neuer Lösungsweg in der Theorie vorbereitet. Er besteht darin, alle zur Erzielung eines bestimmten Verhaltens notwendigen Transformationsoperationen in einem einzigen Vierpol zu vereinen.

Es wird jedoch noch keine konkrete technische Lösung angegeben. Außerdem wird die Kennlinienveränderung auf die lineare Transformation beschränkt.

#### Ziel der Erfindung

Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht, natürliche nicht existierende Zweipole mit beliebiger Frequenzabhängigkeit und frei zu gestaltenden Kennlinien zu erzeugen. Dabei kann der Aufwand zur Erzielung eines vorgegebenen Verhaltens minimiert und die Genauigkeit der Darstellung verbessert werden.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Schaltungsanordnungen zur Erzeugung von natürlich nicht existierenden Zweipolen mit beliebiger Frequenzabhängigkeit höherer Ordnung und frei zu gestaltenden Kennlinien zu schaffen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß in bekannter Weise ein natürlicher Zweipol mit einem transformierenden Vierpol verbunden wird. Der Transformationsvierpol besteht aus vier gesteuerten Quellen. Diese sind so verschaltet, daß die erste Quelle mit Eingang und Ausgang an einem ersten Klemmenpaar, die zweite Quelle mit dem Eingang an einem zweiten Klemmenpaar und dem Ausgang an dem ersten Klemmenpaar, die dritte Quelle mit dem Eingang an dem ersten und dem Ausgang an dem zweiten Klemmenpaar und die vierte Quelle mit Eingang und Ausgang an dem zweiten Klemmenpaar angeschlossen sind. Die gesteuerten Quellen bestehen jeweils aus einer Kettenschaltung eines ersten Verstärkers zur Spannungs- oder Strommessung, einer ersten Zeitoperatoreinheit, beispielsweise einer Kette kapazitiv gekoppelter Operationsverstärker, einer nichtlinearen Funktionseinheit, beispielsweise einem Netzwerk aus Dioden und Widerständen, einer zweiten Zeitoperatoreinheit und einem abschließenden Verstärker zur Einprägung von Ausgangsstrom bzw. Ausgangsspannung.

Nicht für jede Aufgabenstellung werden alle vier gesteuerten Quellen in ihrer vollen Funktion benötigt. So ist es z. B. möglich, nur zwei gesteuerte Quellen und zwar die zweite und dritte miteinander zu verschalten.

Es ist auch möglich, daß nur eine einzige gesteuerte Quelle eine nichtlineare Funktionseinheit enthält. Zur Darstellung der Zeitoperatoren werden Kettenschaltungen aus Differenzierern und Integrierern verwendet. Werden Polynome gefordert, so können Spannungen von Teilen einer Kette abgegriffen und am Ausgang bewertet summiert werden. Ebenso können mehrere dieser Ketten parallel arbeiten.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigt:

Fig. 1: Prinzipielle Schaltungsanordnung

Fig. 2: Prinzipieller Signalfluß des Transformationsvierpols

Fig. 3: Prinzipieller Aufbau einer gesteuerten Quelle

Fig. 4: Transformationsvierpol in D-Struktur

Fig. 5: Schaltungsanordnung zur Erzeugung eines steuerbaren Zweipols höherer Ordnung

Nach Fig. 1 bis 3 wird ein natürlicher Zweipol in bekannter Weise mit einem Klemmenpaar des Transformationsvierpols verbunden. Der Transformationsvierpol wird so berechnet und dimensioniert, daß sich seine zwei verbleibenden Klemmen wie ein darzustellender natürlich nicht existierender Zweipol verhalten. Ist der natürliche Zweipol am zweiten Klemmenpaar durch eine elektrische oder nichtelektrische Größe steuerbar, so wird auch der künstliche Zweipol durch diese Größe beeinflusst, wobei die Abhängigkeit sowohl durch den natürlichen Zweipol als auch durch den Transformationsvierpol bestimmt wird (Fig. 1). Ein bestimmter Transformationsvierpol ist zunächst durch eine Kettenmatrix beschreibbar. Zu einer Matrix lassen sich dann eine große Anzahl von Schaltungskonfigurationen finden z. B. Z, Y, H, D, Pi, T-Ersatzschaltungen oder deren Mischformen. Allen gemeinsam ist der Signalfluß.

Charakteristisch ist, daß mindestens zwei gesteuerte Quellen  $Q_2, Q_3$  mit Eingang und Ausgang an verschiedenen Klemmenpaaren liegen (1, 2). Die beiden übrigen gesteuerten Quellen  $Q_1, Q_4$  sind nicht in jedem Fall notwendig und können bei einer Vielzahl von Aufgabenstellungen entfallen bzw. technisch einfach gehalten werden (Fig. 2). Jede dieser gesteuerten Quellen  $Q_1$  bis  $Q_4$  wird nach dem gleichen Schema aufgebaut. Die Eingangsspannung bzw. der Eingangsstrom wird möglichst verlustarm mittels eines Verstärkers  $V_1$  gemessen. Die Ausgangsspannung dieses Verstärkers wird in der ersten Zeitoperatoreinheit  $P_1$  weiterverarbeitet, die den Exponenten des Zeitoperators der unabhängigen Variablen des jeweiligen Matrixelementes bestimmt. Es folgt die nichtlineare Funktionseinheit  $N$ , welche die Aussteuerungsabhängigkeit festlegt. Anschließend gelangt das Signal zur zweiten Zeitoperatoreinheit  $P_2$ , die den Exponenten des Zeitoperators der abhängigen Variablen des jeweiligen Matrixelementes bestimmt. Der abschließende Verstärker  $V_2$  dient zur Einprägung des Ausgangsstromes oder der Ausgangsspannung. Bei konstanten Matrixelementen entfällt die nichtlineare Funktionseinheit und die beiden Zeitoperatorexponenten lassen sich zusammenfassen, so daß in der zugehörigen gesteuerten Quelle neben Verstärker  $V_1$  und  $V_2$  nur noch ein Zeitoperatorblock verwendet wird (Fig. 3). Als konkretes Beispiel soll die Darstellung einer beliebigen Zweipolfunktion (1) ausgehend von einem natürlichen Zweipol (2) dienen. Für den Transformationsvierpol wird die D-Struktur (Fig. 4) mit der zugehörigen Transformationsmatrix (3) benutzt.

$$p^{\alpha_1} i_1 = f_1 (p^{\beta_1} u_1) \quad (1)$$

$$p^{\alpha_2} i_2 = f_2 (p^{\beta_2} u_2) \quad (2)$$

$$D_T = \begin{pmatrix} p^{-\alpha_1} d_{11}(p^{\beta_1}()) & p^{-\alpha_1} d_{12}(p^{\alpha_2}()) \\ p^{-\beta_2} d_{21}(p^{\beta_1}()) & p^{-\beta_2} d_{22}(p^{\alpha_2}()) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Diese Matrix enthält vier aussteuerungsabhängige Koeffizienten. Es gibt eine ganze Reihe von Methoden, diese Koeffizientenfunktionen aus den vorgegebenen Kennlinien ( $f_1, f_2$ ) zu bestimmen. Eine Möglichkeit besteht in der Rückführung auf lineare Berechnungsmethoden durch stückweise Linearisierung aller Funktionen ( $f_1, f_2, d_{11}, d_{12}, d_{21}, d_{22}$ ). Eine weitere wichtige Methode besteht in der Einschränkung des Freiheitsgrades durch geeignete Festlegungen von Koeffizientenfunktionen. Da diese Festlegungen den Verlauf der verbleibenden Funktionen mitbestimmen, ist auf eine zweckmäßige Wahl zu achten. Für eine konkrete Ausführung werden folgende Festlegungen getroffen:

$$d_{11} = d_{22} = 0 \quad (4) \quad \alpha_2 = \beta_2 = 0 \quad (6)$$

$$d_{21} = D_{21} = \text{const.} \quad (5) \quad \beta_1 = -3 \quad (7)$$

$$\alpha_1 = 1 \quad (8)$$

Mit (4) - (8) läßt sich aus (3) das Gleichungssystem (9)(10) ableiten.

$$i_1 = p^{-1} d_{12} (i_2) \quad (9)$$

$$u_2 = D_{21} p^{-3} u_1 \quad (10)$$

Die zugehörige Schaltung zeigt Fig. 5. Entsprechend Gleichung (10) wird die Klemmenspannung  $u_1$  zunächst mit dem Verstärker  $V_{11}$  gemessen. Die anschließende Zeitoperatoreinheit, bestehend aus 3 Integratoren  $I_{11}, I_{12}, I_{13}$ , bewirkt eine dreimalige Integration ( $p^{-3}$ ). Die Ausgangsspannung der Zeitoperatoreinheit wird als Klemmenspannung  $u_2$  dem natürlichen Zweipol, einem Feldeffekttransistor  $T_2$ , eingeprägt. Ein zusätzlicher Verstärker  $V_{12}$  ist hier nicht erforderlich, da der Ausgang vom Integrator  $I_{13}$  genügend niederohmig ist. Der Verstärkungsfaktor  $D_{21}$  wird durch die Dimensionierung der Integratoren festgelegt. Der Strom ( $i_2$ ) durch den Feldeffekttransistor  $T_2$  wird mittels Verstärker  $V_{21}$  gemessen. Dem Verstärker  $V_{21}$  folgt die nichtlineare Funktionseinheit  $N$ , die entsprechend der nichtlinearen Funktion  $d_{12} (i_2)$  zu dimen-

sionieren ist. Deren Ausgangssignal wird mit Hilfe des Integrators  $I_{21}$  entsprechend ( $p^{-1}$ ) in Gleichung (9) nochmals integriert und gelangt an den abschließenden Verstärker der gesteuerten Quelle, der mit den Operationsverstärkern  $V_{221}$  und  $V_{222}$  aufgebaut ist. Diese gesteuerte Quelle prägt den Zweistrom ( $i_1$ ) ein. Es ist erkennbar, daß mit dieser Schaltungsanordnung einer reduzierten D-Struktur jede beliebige Zweipolfunktion darstellbar ist, wobei die Nichtlinearität ( $f_1$ ) durch die Kennlinie des natürlichen Zweipols ( $f_2$ ) und durch die nichtlineare Koeffizientenfunktion ( $d_{12}$ ) bestimmt wird. Der erzeugte Zweipol ist in diesem Fall durch die Steuerungsspannung  $u_{st}$  veränderbar.

Erfindungsanspruch

1. Schaltungsanordnung zur Erzeugung von natürlich nicht existierenden Zweipolen mit beliebigem Verhalten, bestehend aus einer Kettenschaltung eines natürlichen Zweipols mit einem transformierenden Vierpol, der aus der Zusammenschaltung von vier gesteuerten Quellen besteht, die so erfolgt, daß die erste Quelle ( $Q_1$ ) mit Eingang und Ausgang an einem ersten Klemmenpaar (1), die zweite Quelle ( $Q_2$ ) mit dem Eingang an einem zweiten Klemmenpaar (2) und dem Ausgang an dem ersten Klemmenpaar (1), die dritte Quelle ( $Q_3$ ) mit dem Eingang an dem ersten Klemmenpaar (1) und dem Ausgang an dem zweiten Klemmenpaar (2) und die vierte Quelle ( $Q_4$ ) mit Eingang und Ausgang an dem zweiten Klemmenpaar (2) angeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die gesteuerten Quellen ( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ) aus einer Kettenschaltung eines ersten Verstärkers ( $V_1$ ), einer ersten Zeitoperatoreinheit ( $P_1$ ), einer nichtlinearen Funktionseinheit (N), einer zweiten Zeitoperatoreinheit ( $P_2$ ) und eines abschließenden zweiten Verstärkers ( $V_2$ ) zur Einprägung von Ausgangsspannung bzw. Ausgangsstrom besteht.
2. Schaltungsanordnung nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß nur zwei gesteuerte Quellen ( $Q_2, Q_3$ ) miteinander verschaltet sind.
3. Schaltungsanordnung nach Punkt 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß nur eine Quelle eine nichtlineare Funktionseinheit (N) enthält.
4. Schaltungsanordnung nach Punkt 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Darstellung der Zeitoperatoreinheiten ( $P_1, P_2$ ) Differenzierer bzw. Integrierer in Kette geschaltet sind.

In Betracht gezogene Druckschriften:

1. Philippow, E.      Der mutierende Transformationsvierpol und  
Schindler, A.      Möglichkeiten seiner Realisierung  
                         XX. Internationales Wissenschaftliches  
                         Kolloquium, TH Ilmenau, Okt. 75, H.2,  
                         S. 47-50 (Vortragsreihe „Theoretische  
                         Elektrotechnik’')
2. Haykin, S. S.      Synthesis of RC active filter networks  
                         McGraw-Hill, London 1969
3. Chua, L. O.      Introduction to Nonlinear Network Theory  
                         McGraw-Hill, Bock Domp., New York 1969
6. Mitra, S.K.      Aktive Inductor-Less Filters  
                         IEEE Press, New York 1971
7. Hilburn, I.L.      Manual of Active Filter Design  
   Johnson, D.E.      McGraw-Hill, New York 1973
21. Panzer, K.      Spulenloses frequenzabhängiges Netzwerk  
                         Siemens AG, Berlin-München 1975; ABA 22 21 651

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

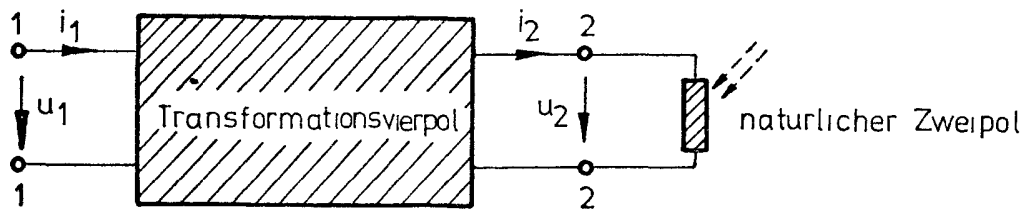


Fig. 1

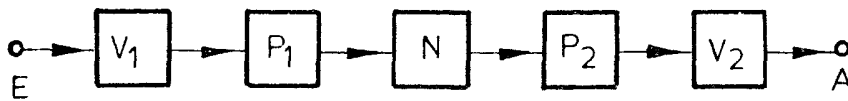


Fig. 3

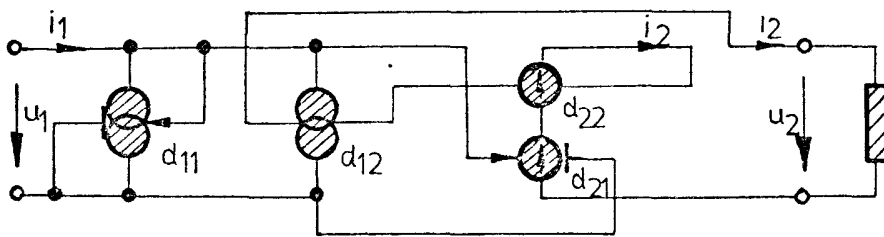


Fig. 4

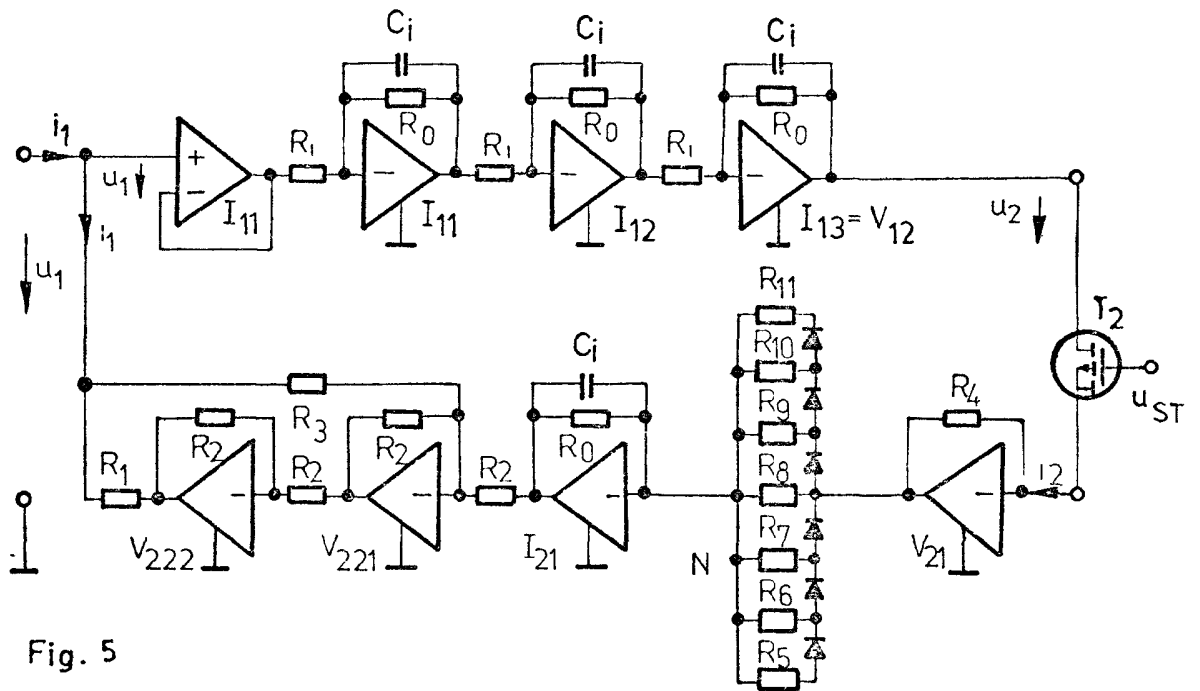


Fig. 5

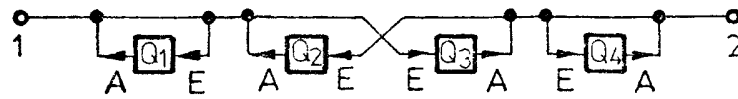


Fig. 2