Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 6

Artikel: Die morphologische Methode in der Elektrotechnik mit Beispielen aus der Theorie der aktiven Netzwerke (Teil 1)

Autor: Moschytz, G. S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915009

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: 14.07.2025

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

Die morphologische Methode in der Elektrotechnik mit Beispielen aus der Theorie der aktiven Netzwerke (Teil 1)

Von G.S. Moschytz

621.3.011.7

Es wird gezeigt, wie die morphologische Methode auch in der Elektrotechnik vorteilhaft angewendet werden kann. Anhand einiger typischer Aufgaben aus dem Gebiet der modernen Schaltungs- und Netzwerktheorie wird das prinzipielle Vorgehen bei dieser Methode erläutert, und die grundsätzlichen Konzepte und Begriffe werden eingeführt.

L'auteur montre comment la méthode morphologique peut aussi être utilisée avantageusement en électrotechnique. A partir de quelques problèmes typiques du domaine de la théorie des réseaux et des circuits, on explique le principe d'application de cette méthode et on introduit des notions et des concepts de base.

1. Die morphologische Methode

Die «Morphologische Methode zur Forschung, Erfindung und Entdeckung» [1...4][1]) wurde von *F. Zwicky* eingeführt. *Zwicky,* ein höchst erfolgreicher schweizerischer Forscher und Erfinder, hat die morphologische Methode u.a. in den Gebieten der Astronomie, Astrophysik und beim Bau von Düsenantriebswerken angewendet. Dabei kam er zur Überzeugung, dass diese Methode in fast allen Lebenssphären sinnvoll und vorteilhaft angewendet werden kann [5], was von vielen anderen Forschern seither bestätigt und hervorgehoben wird.

Ein wichtiges Hilfsmittel der morphologischen Methode ist der *morphologische Kasten.* Um diesen richtig anzuwenden, sollen die folgenden Schritte durchgegangen werden (Fig. 1b):

Schritt 1: Genaue und geeignete *Formulierung des Problems* mit allen zu berücksichtigenden Einschränkungen und Zusatzbedingungen.

Schritt 2: Charakterisierung der *m Grundelemente* E_i ($i = 1, 2, ... m$) (z.B. der m Komponenten, Parameter), welche zur Lösung des Problemes nötig sind. Diese Grundelemente sind im allgemeinen nicht eindeutig. Für jedes Grundelement E_i existiert unter Umständen eine Wahl von n_i *Elementvarianten* E_{ij}, wobei $j = 1, 2, ... n_i$.

Schritt 3: Herleitung der mehrdimensionalen Matrix, d.h. des *morphologischen Kastens,* welcher *alle* Lösungen des Problems enthält. Jede Lösung entspricht einer anderen Kombination der Elementvarianten. Die Dimension des morphologischen Kastens entspricht der Anzahl Grundelemente, d.h. der Zahl m von Schritt 2.

Schritt 4: Kritische Beurteilung jeder Lösung des morphologischen Kastens im Hinblick auf deren Realisierbarkeit und auf die in Schritt 1 formulierten Forderungen und Ziele. Es sei schon hier darauf hingewiesen, dass es gerade bei diesem Schritt auf die Erfahrung, Originalität und Findigkeit des Ingenieurs (oder Erfinders) ankommt, ob neue und interessante Lösungen des Problems erkannt werden oder nicht. Eine Lösung des morphologischen Kastens, die leichtfertig als undurchführbar abgetan wird, solange man sich zu eng an die althergebrachten und konventionellen Methoden hält, mag durchaus akzeptabel und unter Umständen sogar neu und bahnbrechend wirken, sobald sie von einer unvoreingenommenen und offenen Perspektive aus betrachtet wird.

Schritt 5: Wahl und Realisierung derjenigen Lösungen, welche am besten die Anforderungen von Schritt 1 erfüllen. Ergeben sich mehrere Lösungen, so kann eine optimale Lösung durch sukzessive Elimination erhalten werden.

Man sieht, dass die konventionelle Methode, Probleme zu lösen, gerade nur *eine* Lösung ergibt (Fig. 1a), hingegen die morphologische Methode *alle möglichen Lösungen* (Fig. 1b) aufzeigt. Konventionelles Problemlösen ist ein *sequentieller* Vorgang mit einer Rückkopplungsschleife; die morphologische Methode geht allen Lösungen eines Problems gleichzeitig und gewissermassen *parallel* nach. Bei der morphologischen Methode geht es aber nicht unbedingt darum, alle Lösungen voll zu erforschen und zu verwerten; wichtig ist, dass man *jede mögliche Lösung erfasst* und, je nach den Realisierbarkeitskriterien und den Anforderungen des Problems, eine oder mehrere geeignete Lösungen zu ihrer vollständigen Realisierung führt. Dieser Vorgang soll anhand dreier Beispiele aus der Netzwerktheorie im folgenden erläutert werden.

2. Der Entwurf von transistorisierten Gyratoren

Ein Gyrator kann durch die Parallelschaltung zweier idealer spannungsgesteuerter Stromquellen (voltage-controlled current source, VCS) dargestellt werden [6], deren Übertragungsadmittanzen g_i ($i = 1, 2$) umgekehrtes Vorzeichen haben

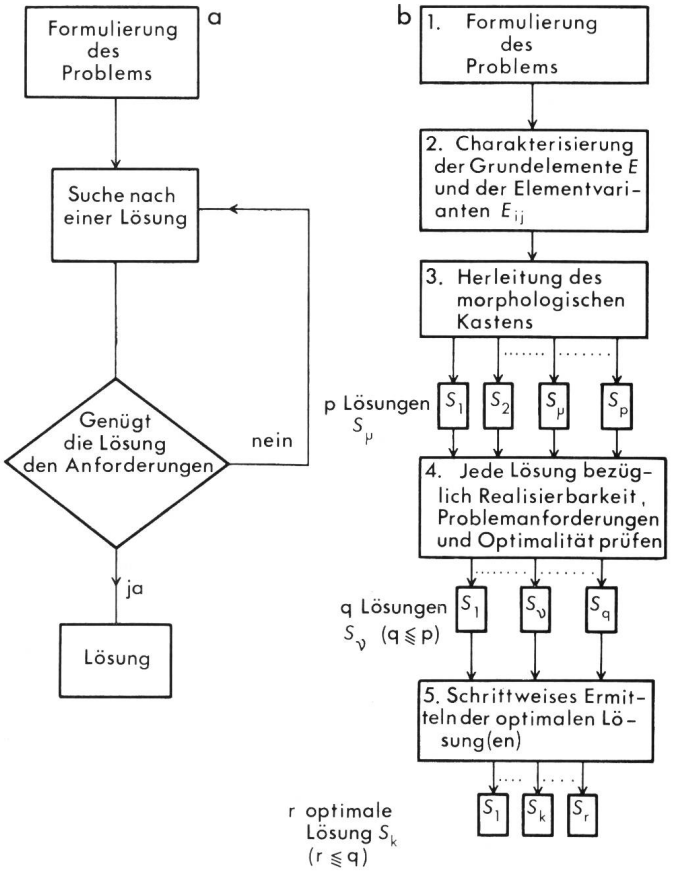


Fig. 1 Konventionelles (a) und morphologisches (b) Problemlösen

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

(Fig. 2). Die entsprechende Kurzschluss-Admittanz-Matrix hat die Form

$$[y] = \begin{bmatrix} 0 & g_1 \\ -g_2 & 0 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Um die morphologische Methode zum Entwurf transistorisierter Gyratoren zu beschreiben, werden die erwähnten fünf Schritte durchlaufen [7].

Schritt 1: Das Problem besteht in der Realisierung eines transistorisierten Vierpols, dessen y-Matrix durch Gl. (1) gegeben ist. Unter Umständen wird noch die zusätzliche Forderung gestellt, die Anzahl Transistoren minimal zu halten.

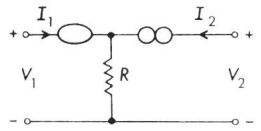
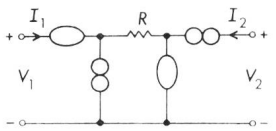
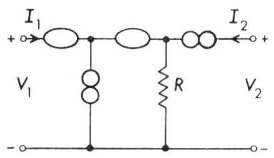
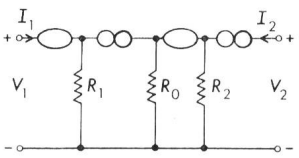
Schritt 2: Man braucht zwei VCS mit umgekehrten Vorzeichen. Diese stellen die *zwei* Grundelemente E_1 und E_2 dar, welche zur Lösung des Problems notwendig sind. Die VCS sollen transistorisiert werden, folglich ist es zweckmässig, von den äquivalenten Nullator-Norator-, d.h. Nullorschaltungen [6; 8] eines VCS auszugehen.

Zur Realisierung eines VCS gibt es bekanntlich mehr als eine äquivalente Nullorschaltung. Ist z.B. g_1 die Übertragungsadmittanz des nicht-invertierenden VCS (Grundelement E_1), so kann E_1 durch n_1 verschiedene Nullorschaltungen realisiert werden. Jede dieser n_1 Nullorschaltungen E_{1i} ($i = 1, 2, \ldots n_1$) ist eine Elementvariante des Grundelementes E_1. Entsprechend ergeben die n_2 äquivalenten Nullorschaltungen des VCS mit invertierender Übertragungsadmittanz g_2 die n_2 Elementvarianten E_{2j} ($j = 1, 2 \ldots n_2$) des Grundelementes E_2.

In Tab. I sind je zwei Elementvarianten der beiden Grundelemente E_1 und E_2 gegeben. Durch morphologisches Vorgehen und mit Hilfe der Regeln für Nullator-Norator-Manipulation [6] lassen sich weitere Elementvarianten herleiten. Die Anzahl brauchbarer Varianten wird durch die in Schritt 1 gestellte Forderung nach minimaler Anzahl Nulloren (beim Gyrator sind es drei) eingeschränkt.

Schritt 3: Mit den zwei Grundelementen E_1 und E_2 entspricht der morphologische Kasten einer zweidimensionalen Matrix (Fig. 3). Mit n_1 und n_2 Elementvarianten erhält man $p = n_1 \cdot n_2$ Lösungen (d.h. transistorisierte Gyratoren). Jede Lösung S_μ besteht aus der Parallelschaltung eines VCS E_{1i} ($i = 1, 2, \ldots n_1$) mit einem VCS E_{2j} ($j = 1, 2, \ldots n_2$).

Äquivalente Nullorschaltungen für spannungsgesteuerte Stromquellen (VCS) Tabelle I

VCS mit nichtinvertierender Übertragungsadmittanz g_1 (Elementvariante E_{1i})	VCS mit invertierender Übertragungsadmittanz g_2 (Elementvariante E_{2j})
E_{11}  $g_1 = \frac{1}{R}$	E_{21}  $g_2 = -\frac{1}{R}$
E_{12}  $g_1 = \frac{1}{R}$	E_{22}  $g_2 = -\frac{R_0}{R_1 R_2}$
$E_{13} \ldots E_{1i} \ldots E_{1n_1}$	$E_{23} \ldots E_{2j} \ldots E_{2n_2}$

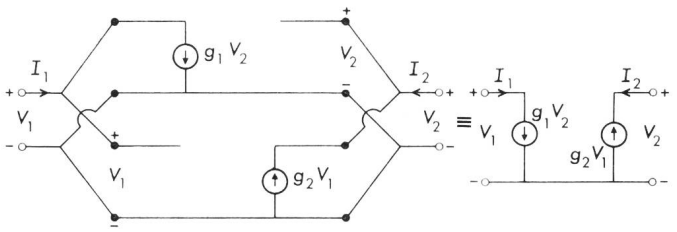


Fig. 2 Gyrator als Parallelschaltung zweier idealer stromgesteuerter Spannungsquellen

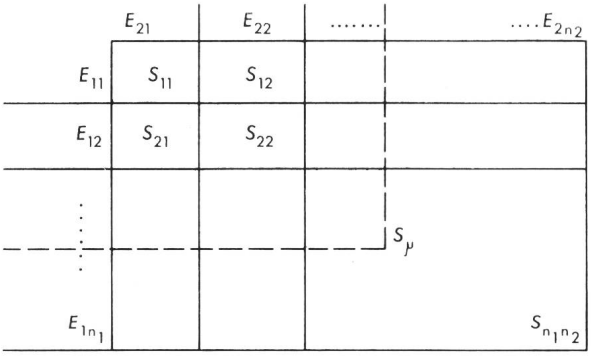


Fig. 3 Zweidimensionaler morphologischer Kasten

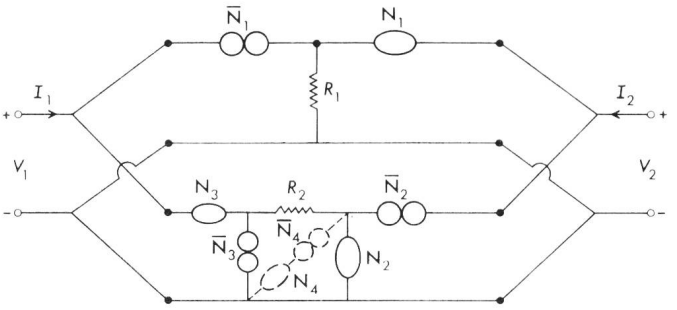


Fig. 4 Lösung S_{11} des morphologischen Kastens (Fig. 3)

Schritt 4: Nun muss jede Lösung S_μ des morphologischen Kastens hinsichtlich ihrer physikalischen Realisierbarkeit und ihrer Eignung als Gyrator unvoreingenommen geprüft werden. Wie erwähnt, sollten in diesem Schritt die Grundkenntnisse, die Erfahrung und die Originalität des Ingenieurs voll zur Geltung kommen.

Man betrachte z.B. die Lösung S_{11} des morphologischen Kastens. Die äquivalente Nullorschaltung des resultierenden Gyrators ist in Fig. 4 gezeigt. Die entsprechende y-Matrix ergibt

$$[y] = \begin{bmatrix} 0 & 1/R_1 \\ -1/R_2 & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Soll die Schaltung transistorisiert werden, so muss die Nullor-Transistor-Äquivalenz der Fig. 5 benützt werden. Dabei müssen die Nullator-Norator-Paare (N_i, $\overline{N}_j$), welche durch einen Transistor ersetzt werden, einen gemeinsamen Knoten aufweisen. Es werden offenbar mindestens drei Transistoren für jede Gyrator-Realisation verlangt. Die entsprechende Paarung kann mittels der in Fig. 6 aufgestellten Matrix vorge-

nommen werden. Auch diese Matrix kann als zweidimensionaler morphologischer Kasten aufgefasst werden, dessen zwei Grundelemente, nämlich ein Nullator und ein Norator, nur dann eine Lösung ergeben, wenn der entstehende Nullor einen gemeinsamen Knoten aufweist. Die Nullator-Norator-Paare ohne gemeinsamen Knoten werden gestrichen (Fig. 6). Ferner können nur diejenigen Nullor-Dreierkombinationen einen Gyrator bilden, die weder einen Nullator noch einen Norator gemeinsam, d.h. weder eine Zeile noch eine Kolonne der Matrix gemeinsam haben.

Daraus folgt, dass die Lösung S_{11} der Fig. 4 eigentlich *zwei* Lösungen beinhaltet, nämlich die diagonale Dreiergruppe ($N_1\overline{N}_1$, $N_2\overline{N}_2$, $N_3\overline{N}_3$), welche die transistorisierte Gyratorschaltung der Fig. 7a ergibt, und die Gruppe ($N_1\overline{N}_2$, $N_2\overline{N}_3$, $N_3\overline{N}_1$) mit der entsprechenden Schaltung der Fig. 7b. Man erhält eventuell noch mehr Möglichkeiten für die Lösung S_{11}, wenn man zusätzliche Nullator-Norator-Paare in die Schaltung der Fig. 4 sinnvoll einfügt, ohne dass dabei die Grundschaltung ihr Wesen verändert. Dies gilt z.B. für den Nullor $N_4\overline{N}_4$ in Fig. 4, da ja eine Serieschaltung von Nullator und Norator bekanntlich einem offenen Klemmenpaar entspricht [6].

Wie aus dieser Darstellung hervorgeht, erhält man aus jeder Lösung S_μ der Fig. 3 eine neue Lösungsgruppe, die sich ihrerseits wieder morphologisch ermitteln lässt. Viele dieser Lösungen wurden in der Literatur beschrieben [z.B. 6; 9; 10; 11]; sie wurden einzeln auf konventionelle Art nach dem Vorgehen in Fig. 1a ermittelt. Mit der morphologischen Methode können *alle* möglichen Schaltungen erfasst werden. Liegen sie einmal in der rudimentären Form nach Fig. 7 vor, so müssen allerdings noch einige wichtige Schaltungsdetails abgeklärt werden (z.B. Gleichstrom Arbeitspunkt, pnp – npn Transistoren-Kombinationen usw.), bis eine brauchbare Schaltung tatsächlich vorliegt [12; 13; 14].

Um dies zu verdeutlichen, soll die Lösung S_{12} der Fig. 3 betrachtet werden. Sie besteht aus den Elementvarianten E_{11} und E_{22}. Mit Tab. I erhält man die Nullorschaltung der Fig. 8. Die entsprechende y-Matrix hat die Form:

$$[y] = \begin{bmatrix} 0 & \dfrac{1}{R_3} \\ -\left(\dfrac{R_0}{R_1 R_2}\right) & 0 \end{bmatrix}_{\substack{R_1 = R_0 \\ R_2 = R_3}} = \begin{bmatrix} 0 & 1/R_3 \\ -1/R_3 & 0 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Auch hier ergeben sich mehrere transistorisierte Schaltungen, je nachdem welche Nullorkombinationen man durch einen

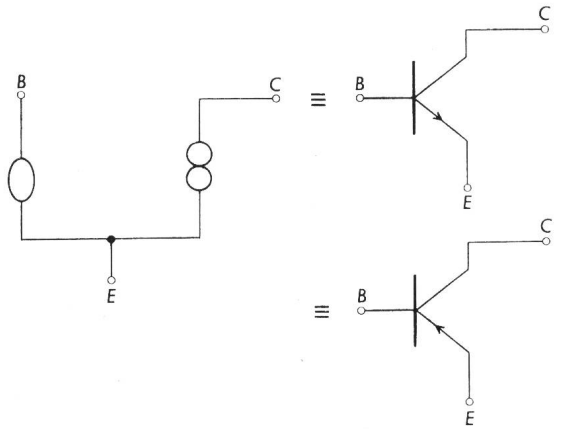
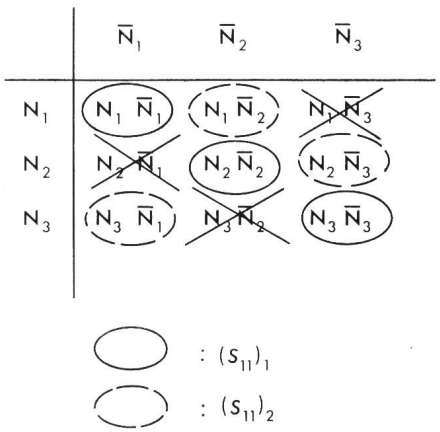


Fig. 5 Nullor-Transistor-Identität

Fig. 6 Nullator-Norator-Paarung für transistorisierte Gyrator-Realisierung



Transistor ersetzt. Man erhält die beiden Schaltungen der Fig. 9. Die Schaltung der Fig. 9a, als $(S_{12})_1$ bezeichnet, lässt sich mit Hilfe von geeigneten Stromquellen, einigen zusätzlichen Darlington-Schaltungen und pegelverschiebenden Schaltungen in die Schaltung der Fig. 10 transformieren. Mit transistorisierten Stromquellen und Dioden zur Spannungsanhebung (Fig. 11) erhält man schliesslich die praktisch realisierbare Schaltung der Fig. 12 [14]. Ob jede Lösung des morphologischen Kastens sich auf diese Weise zu einer realisierbaren Schaltung entwickeln lässt, müsste einzeln abgeklärt werden. Jedenfalls ist bekannt, dass auch die Schaltung der Fig. 7a, Lösung $(S_{11})_1$, mittels zugefügten Stromquellen zu einer brauchbaren Schaltung wird [13].

Meistens sind diese Realisierbarkeitsabklärungen nicht trivial und fordern vom Entwicklungsingenieur sowohl Erfah-

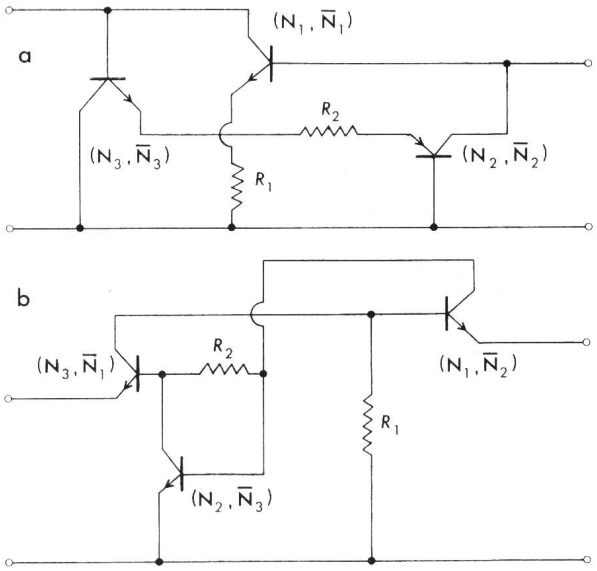


Fig. 7 Sekundäre Lösungen ($N_1\overline{N}_1$, $N_2\overline{N}_2$, $N_3\overline{N}_3$) (a) und ($N_1\overline{N}_2$, $N_2\overline{N}_3$, $N_3\overline{N}_1$) (b), welche sich aus der Lösung S_{11} ergeben

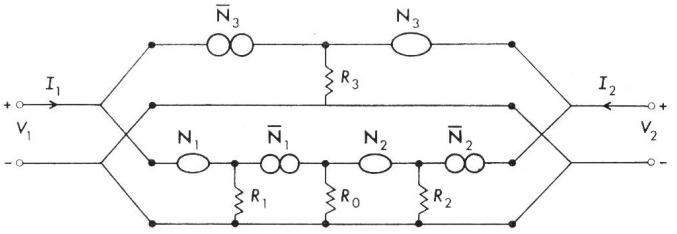


Fig. 8 Lösung S_{12} des morphologischen Kastens von Fig. 3

rung wie auch Fantasie, aber vor allem gut fundierte Grundkenntnisse. *Die morphologische Methode ist keine Abkürzung zur Erfindung, sondern ein wichtiges Hilfsmittel dazu.*

3. Der Entwurf von 2-Verstärker-GIC

Es ist wesentlich, in Schritt 1 eine für die morphologische Methode geeignete Formulierung des Problems zu finden. Geht es z.B. um den Entwurf von Allgemeinen Impedanz-Konvertern (general impedance converters, GIC), so könnte auch hier gefordert werden, dass ein Vierpol mit der Admittanzmatrix nach Gl. (1) gefunden wird, wobei nun aber g_1 und g_2 eine entsprechende Frequenzabhängigkeit aufweisen. Diese Formulierung ist jedoch zu allgemein und deshalb unzweckmässig für die morphologische Methode.

Um diese Methode erfolgreich anzuwenden, ist es oft vorteilhaft, wenigstens *eine* (auch unzureichende) Lösung des Problems zu kennen und anhand derselben eine geeignete Problemstellung zu formulieren. So ist z.B. bekannt [15; 16; 17], dass sich theoretisch ein GIC immer mit zwei Operationsverstärkern realisieren lässt, wobei seine Eingangsimpedanz die Form hat:

$$Z_{\mathrm{EIN}} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot Z_{\mathrm{L}} \tag{4}$$

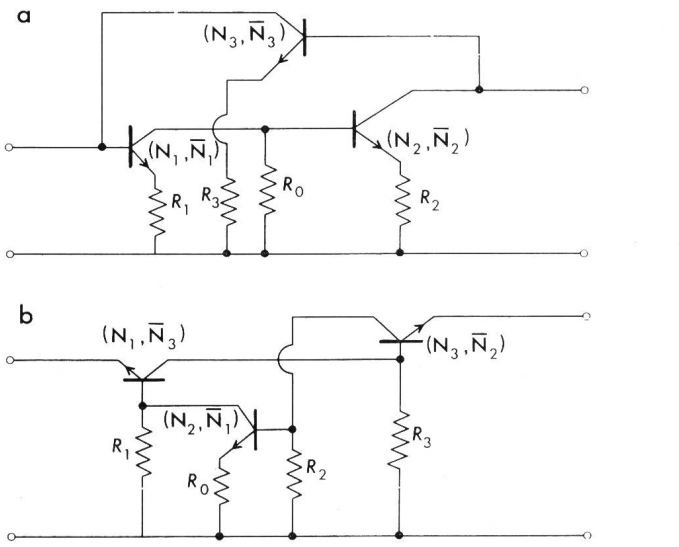


Fig. 9 Sekundäre Lösungen $(S_{12})_1$ (a) und $(S_{12})_2$ (b)

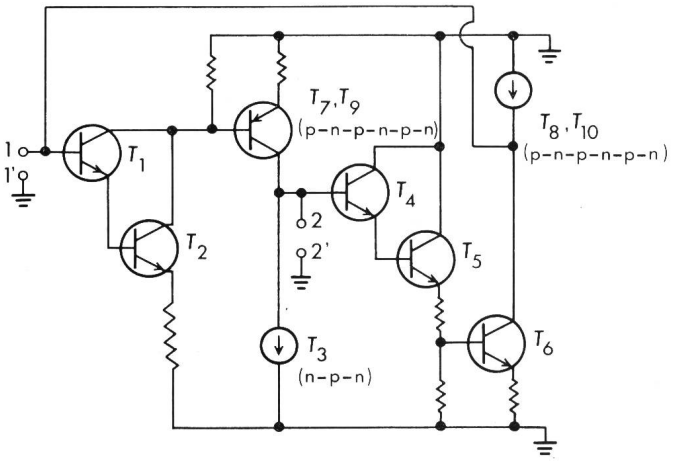


Fig. 10 Weiterentwicklung des zur Lösung $(S_{12})_1$ gehörenden transistorisierten Gyrators

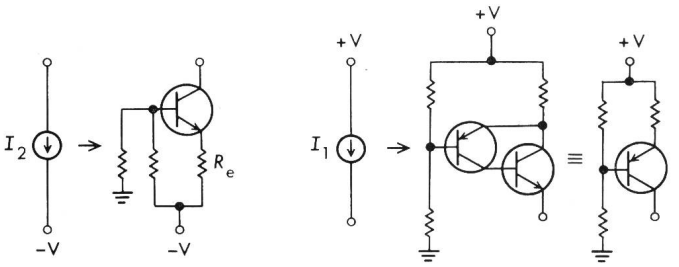


Fig. 11 Transistor-Realisierung von Stromquellen

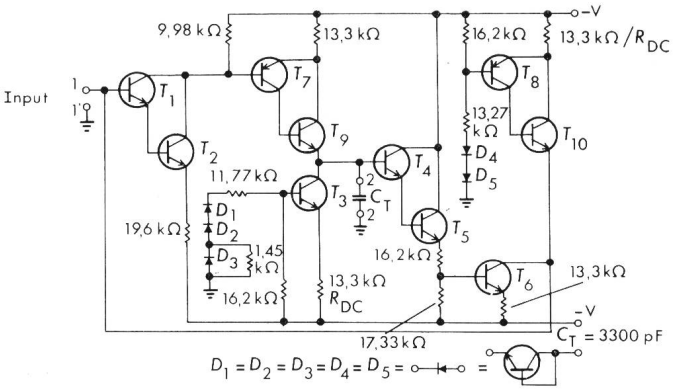


Fig. 12 Vollständige Gyratorschaltung, entsprechend der Lösung $(S_{12})_1$

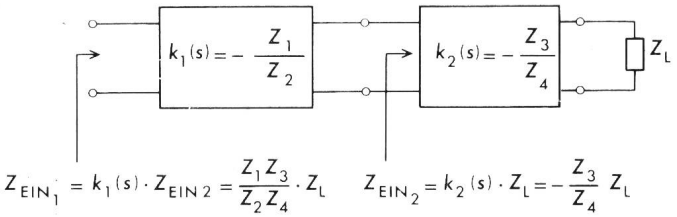


Fig. 13 Kaskade zweier mit einer Last Z_L abgeschlossener NIC

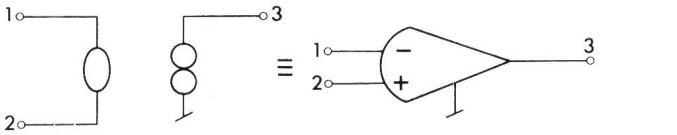


Fig. 14 Nullor-Operationsverstärker-Identität

Je nachdem, welche der fünf Impedanzen aus Widerständen und welche aus Kondensatoren bestehen, erhält man einen anderen GIC. Die «geeignete» Problemstellung in *Schritt 1* wird also derart formuliert, dass man alle möglichen Vierpole finden soll, deren Eingangsimpedanz die Form (4) hat und deren Operationsverstärkerzahl minimal, d.h. höchstens zwei, ist.

Schritt 2: Mit einem Nullor, zwei Impedanzen Z_1 und Z_2 und einer Last Z_L lässt sich ein NIC (negative impedance converter) realisieren, dessen Eingangsimpedanz gleich $-(Z_1/Z_2)\,Z_L$ ist [6]. Zwei solcher NIC, nämlich ein stromintervertierender CNIC und ein spannungsinvertierender VNIC, sind in Tab. II angegeben. Kaskadiert man zwei mit einer Last Z_L abgeschlossene NIC, wie in Fig. 13 angedeutet, so erhält man die durch (4) gegebene Eingangsimpedanz. Damit

NIC-Realisierung mit einem Nullor Tabelle II

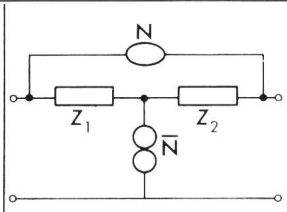
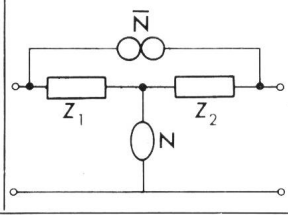
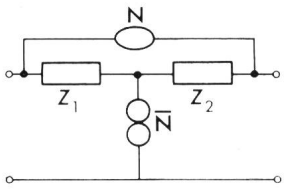
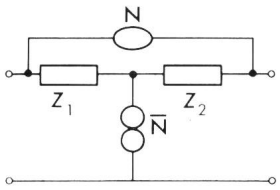
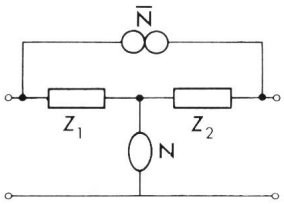
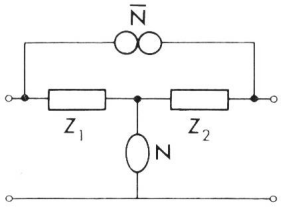
Typ	[ABCD]	Nullorschaltung	Z_{EIN}
CNIC	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\frac{Z_2}{Z_1} \end{bmatrix}$		$-\frac{Z_1}{Z_2} \cdot Z_L$
VNIC	$\begin{bmatrix} -\frac{Z_1}{Z_2} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$		$-\frac{Z_1}{Z_2} \cdot Z_L$

Tabelle der Elementvarianten für die Realisierung von GIC aus zwei Nulloren Tabelle III

Ein-Nullor NIC (Elementvariante E_{1i})	Ein-Nullor NIC (Elementvariante E_{2j})
	
E_{11}: CNIC	E_{21}: CNIC
	
E_{12}: VNIC	E_{22}: VNIC
...E_{1i}...E_{1n_1} n_1 Elementvarianten E_1	...E_{2j}...E_{2n_2} n_2 Elementvarianten E_2

stehen die zwei zur Lösung des Problems nötigen Grundelemente fest: Es sind zwei NIC (m = 2), wobei es egal ist, aus welcher Kombination von spannungs- und strominvertierenden NIC die Kaskade besteht. Die in Tab. II durch Nulloren dargestellten NIC-Schaltungen lassen sich direkt durch Operationsverstärker realisieren, da ein Nullor (*ohne* gemeinsamen Knoten zwischen Nullator und Norator) sich durch einen Operationsverstärker direkt ersetzen lässt (Fig. 14). Damit lässt sich die in Tab. III gegebene Zusammenstellung der Elementvarianten für die Realisierung von GIC aufstellen.

Schritt 3: Der der Tab. III entsprechende morphologische Kasten ist zweidimensional; es gilt also wieder Fig. 3. Wie man sogleich sieht, ist auch hier die Dimension des morphologischen Kastens eigentlich höher als zwei, weil jede Lösung S_μ mehrere sekundäre Lösungen $(S_\mu)_i$ enthält. Es ist aber immer zweckmässig, wenn möglich schrittweise vorzugehen, indem ein mehrdimensionaler morphologischer Kasten in eine entsprechende Anzahl zweidimensionaler Kasten aufgeteilt wird.

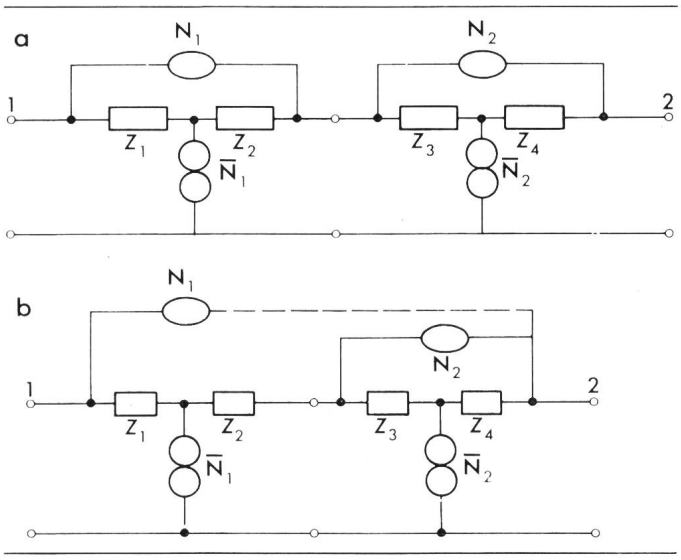


Fig. 15 Lösung S_{11} des morphologischen Kastens (a), und eine gleichwertige Variante (b)

Fig. 16 Morphologischer Kasten für die sekundären Lösungen $(S_{11})_i$

	$\bar{N}_1$	$\bar{N}_2$
N_1	$N_1\bar{N}_1$	$N_1\bar{N}_2$
N_2	$N_2\bar{N}_1$	N_2N_2

: $(S_{11})_1$, $(S_{11})_3$

: $(S_{11})_2$, $(S_{11})_4$

Man betrachte z. B. die sekundären Lösungen $(S_{11})_i$ der Lösung S_{11} (Fig. 15a). Jede Nullorkombination $(N_i\bar{N}_j)$ lässt sich durch einen Operationsverstärker ersetzen, wobei kein Nullator oder Norator gleichzeitig in mehr als einem Nullor vorkommen darf. Man erhält also den sekundären morphologischen Kasten der Fig. 16 und die darin angegebenen zwei

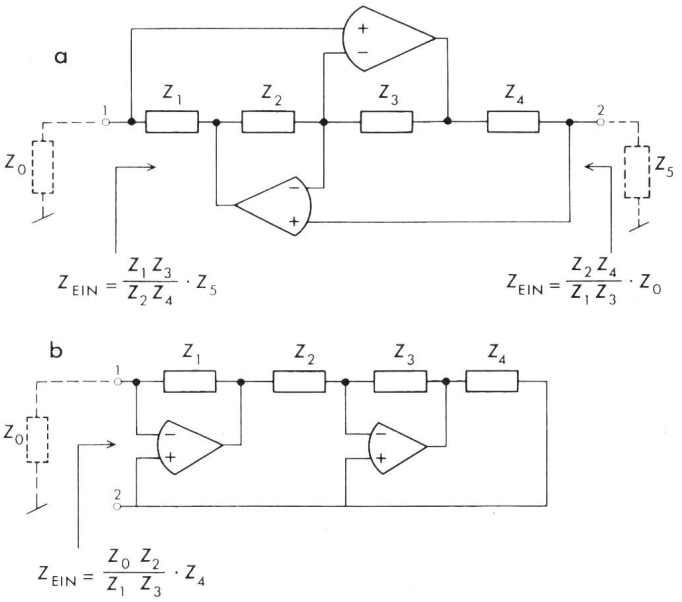


Fig. 17 2-Verstärker-GIC, entsprechend der sekundären Lösungen $(S_{11})_2$ (a) und $(S_{11})_4$ (b)

Lösungen $(S_{11})_1$ und $(S_{11})_2$. Weitere sekundäre Lösungen von S_{11} ergeben sich, wenn man erkennt, dass die Anordnung der Fig. 15a dank der Eigenschaften der Nulloren derjenigen der Fig. 15b gleichwertig ist. Auch hier erhält man, entsprechend dem sekundären morphologischen Kasten der Fig. 16, zwei weitere Lösungen, $(S_{11})_3$ und $(S_{11})_4$. Die der Fig. 15b entsprechende symmetrische Anordnung bringt keine neuen Lösungen.

Schritt 4: Die Beurteilung der Realisierungsmöglichkeit jeder Lösung $(S_\mu)_i$ des morphologischen Kastens muss individuell vorgenommen werden. Dabei erhält man sämtliche bereits bekannten, aus zwei Operationsverstärkern bestehenden GIC-Schaltungen sowie möglicherweise noch einige neue und eventuell bessere Schaltungen dazu. Über einzelne Lösungen wurde bereits in der Literatur berichtet. So entsprechen z.B. die Lösungen $(S_{11})_2$ und $(S_{11})_4$, welche in Fig. 17 gezeigt sind, den in [16] bzw. [15] beschriebenen GIC-Schaltungen.

Ein drittes Beispiel folgt im 2. Teil des Aufsatzes in Bull. SEV/VSE 8/1977.

Literatur

[1] *F. Zwicky:* Morphologische Forschung. Helv. Physica Acta 23(1950)–, S. 223...238.

[2] *F. Zwicky:* Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. München, Verlag Droemer Knaur, 1966.

[3] *F. Zwicky:* Morphologisches Denken und Vorgehen. In: W. Tumm: Die neuen Methoden der Entscheidungsfindung. München, Moderne Industrie, 1972.

[4] *H. Holliger:* Morphologie als Wissenschaft und als Beruf, erläutert am Fall der Entscheidungsvorbereitung. Techn. Rdsch. 65(1973)52, S. 1...5.

[5] *F. Zwicky:* Jeder ein Genie. Bern, Herbert Lang, 1971.

[6] *G.S. Moschytz:* Linear integrated networks, Fundamentals. New York, Van Nostrand Reinhold, 1974.

[7] *G.S. Moschytz:* The morphological approach to network and circuit design. Trans. IEEE CAS 23(1976)4, p. 239...242.

[8] *S.K. Mitra:* Nullator-norator equivalent circuits of linear active elements and their applications. Proceedings of the first Asilomar Conference on Circuits and Systems, Monterey/California, November 1967; p. 267...276.

[9] *S.K. Mitra:* Equivalent circuits of gyrators. Electronics Letters 3(1967)7, p. 333...334

[10] *J.M. Sipress* and *F.J. Witt:* US Patents 3001 157, Sept. 19, 1961 and 3120 645, Februar 4, 1964.

[11] *W. New* and *R. Newcomb:* An integrable time-variable gyrator. Proc. IEEE 53(1965)12, p. 2161...2162.

[12] *B.A. Shenoi:* Practical realization of a gyrator circuit and RC-gyrator filter. Trans. IEEE CT-12(1965)3, p. 374...380.

[13] *W.H. Holmes, S. Grützmann* and *W.E. Heinlein:* High performance direct coupled gyrators. Electronics Letters 3(1967)2, p. 45...46.

[14] *J.J. Golembeski* and *T.N. Rao:* Principles and design of gyrator filters. Proceedings of the 20th Electronic Components Conference, Washington, 1970; p. 294...300.

[15] *R.H.S. Riordan:* Simulated inductors using differential amplifiers. Electronics Letters 3(1967)2, p. 50...51.

[16] *A. Antoniou:* Realization of gyrators using operational amplifiers, and their use in RC-active-network synthesis. Proc. IEE 116(1969)11, p. 1838...1850.

[17] *L.T. Bruton:* Nonideal performance of two-amplifier positive-impedance converters. Trans. IEEE CT 17(1970)4, p. 541...549.

[18] *G.S. Moschytz:* Linear integrated networks, Design. New York, Van Nostrand Reinhold, 1975.

[19] *G.S. Moschytz* and *P. Horn:* The design of very-low-frequency (VLF) hybrid-integrated networks using the morphological method. Proceedings of the European Conference on Circuit Theory and Design, Genova/Italy, 1976; p. 515...522.

Adresse des Autors

Prof. Dr. *G.S. Moschytz*, Vorsteher des Institutes für Fernmeldetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.