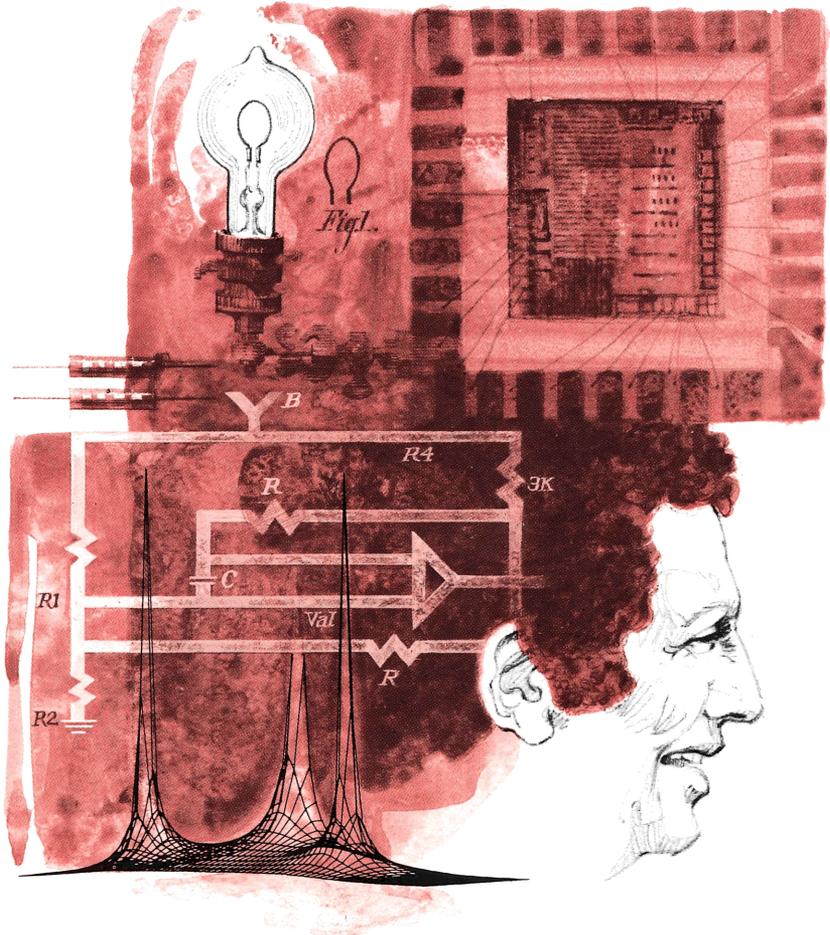


HEWLETT-PACKARD

HP-67/HP-97

Elektronik-Paket



Das hierin enthaltene Programm-Material ist mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. HEWLETT-PACKARD übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieses Programm-Materials oder Teilen davon entsteht.

Einleitung

Die 18 Programme des Elektronik-Paketes I (EEI-pac I) sind den Gebieten Netzwerk-Analyse, Netzwerk-Synthese, Transistor-Theorie und Mikrowellentechnik entnommen.

Das Programmpaket enthält zu jedem dieser Programme eine oder zwei Magnetkarten und ausführliche Beschreibungen im jeweiligen Abschnitt dieses Handbuchs. Dort sind neben allgemeinen Angaben zum Programm auch die verwendeten Formeln und eine Liste mit Bedienungsanweisungen angegeben, die bei der Verwendung der Programme zu beachten sind. Die Handhabung der Programme wird außerdem durch Beispiele erläutert, für die auch die Tasten angegeben sind, die für diese spezielle Rechnung zu drücken sind. In den Speicherlisten finden Sie weitere Kommentare zu der Arbeitsweise des jeweiligen Programms. Wenn Sie die Wirkungsweise der Programme anhand dieser Listen genau verfolgen, können Sie zahlreiche Erfahrungen bezüglich der Programmierung Ihres Rechners sammeln.

Auf der Vorderseite der Magnetkarten sind Symbole aufgedruckt, die als «Kurzanleitung» für die Verwendung des Programms gedacht sind. Wenn Sie sich zum ersten Mal mit einem speziellen Programm befassen, sollten Sie die Tabelle mit den Bedienungsanweisungen zur Hilfe nehmen. Im Anschluß daran werden Ihnen die Abkürzungen auf der Programmkarte genügend Informationen für die Verwendung des Programms bieten. Sie können diesen Symbolen entnehmen, welche Daten einzugeben sind, welche Programmtasten Sie drücken müssen und wie die angezeigten Ergebnisse zu interpretieren sind. Eine Zusammenstellung aller Symbole, die bei der Beschriftung der Magnetkarten verwendet werden, finden Sie im Anhang A.

Wenn Sie bereits einige Programme des mit Ihrem Rechner gelieferten Standard-Paketes verwendet haben, wissen Sie, wie die Programme eingelesen werden und die Bedienungsanweisungen zu befolgen sind. Falls Sie sich aber noch nicht mit der Verwendung vorprogrammierter Magnetkarten befaßt haben, sollten Sie sich einige Minuten Zeit nehmen und die Abschnitte *Einlesen eines Programms* und *Aufbau der Bedienungsanweisungen* im Handbuch zu Ihrem Standard-Paket nachlesen.

Wir hoffen, daß Ihnen das Elektronik-Paket I ein nützliches Hilfsmittel bei Ihren täglichen Berechnungen ist und sehen gerne Ihren Kommentaren, Fragen und Vorschlägen entgegen; sie sind unsere wichtigste Quelle für die Entwicklung neuer benutzerorientierter Programme.

Notizen

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Einige Bemerkungen zur Verwendung der Programme	5
1. Übertragungsfunktion von Kettennetzwerken	
Das Programm berechnet verschiedene Übertragungsfunktionen von Kettennetzwerken, die aus einer beliebigen Anzahl von Standard-Elementen gebildet werden	8
2. Impedanzanpassung mit L-Netzwerken	
Dieses Programm berechnet Netzwerke, die zur Anpassung beliebiger komplexer Impedanzen verwendet werden können ..	14
3. Optimaler Arbeitspunkt eines Klasse A-Transistor-Verstärkers	
Das Programm dient zur Vereinfachung des Entwurfs eines Klasse A-Transistorverstärkers	18
4. Leistungsdaten von Transistor-Verstärkern	
Dieses Programm berechnet zu gegebener Hybrid-Matrix und gegebenen Werten für Quell- und Abschluß-Impedanz verschiedene Kleinsignal-Eigenschaften eines Transistor-Verstärkers	24
5. Umwandlung von Transistor-Grundsaltungen	
Das Programm dient zur Umwandlung der Hybrid-Matrizen für Basis-Schaltung, Emitter-Schaltung und Kollektor-Schaltung	28
6. Umwandlung von Vierpol-Matrizen	
Vierpol s-Parameter (Streu-Matrix) können wahlweise in Y-, Z-, G- oder H-Parameter umgewandelt werden und umgekehrt ...	32
7. Fourier-Reihen	
Zu gegebenen Stützwerten einer periodischen Funktion können mit Hilfe dieses Programms die Fourier-Koeffizienten ermittelt werden	36
8. Entwurf aktiver Filter	
Das Programm berechnet Schaltelement-Werte für Standard-Filterschaltungen	40
9. Entwurf von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern	
Dieses Programm berechnet Schaltelement-Werte für Butterworth- und Tschebyscheff-Filter zwischen gleichen Abschlußwiderständen. Das Übertragungsverhalten kann vom Benutzer gewählt werden	44

10. Bode-Plot von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern	
Das Programm berechnet Dämpfung, Phase und Gruppenlaufzeit von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern n-ten Grades .	48
11. Entwurf von ohmschen Dämpfungsgliedern	
Das Programm berechnet Werte für die Widerstände, die ein Anpassungsglied mit vorgegebener Dämpfung ergeben	56
12. Smith-Diagramm-Umwandlung	
Dieses Programm dient zur Umwandlung zwischen Stehwellenverhältnis, Reflexionskoeffizient und Rücklaufdämpfung; außerdem zwischen Impedanz und Reflexionskoeffizient	60
13. Wellenwiderstand einer Übertragungsleitung	
Das Programm ermöglicht die Berechnung des Wellenwiderstandes für fünf verschiedene Typen von Übertragungsleitungen	64
14. Berechnung von Streifenleitern	
Das Programm berechnet die Phasengeschwindigkeit und den Wellenwiderstand eines verlustlosen Streifenleiters. Außerdem wird der Kupferverlust und der Widerstand pro Längeneinheit berechnet	68
15. Eingangsimpedanz einer verlustbehafteten Übertragungsleitung	
Dieses Programm berechnet die Eingangsimpedanz einer mit Z_L abgeschlossenen verlustbehafteten Übertragungsleitung	72
16. Einseitiger Entwurf: charakteristische Entwurfs-Kennzahl, maximale einseitige Verstärkung, Verstärkungskreise	
Dieses Programm berechnet u , G_u , G_{\min} , G_{\max} , G_0 , G_1 und G_2 aus den s-Parametern (Streu-Matrix) eines Transistors. Außerdem berechnet es r_{oi} und ρ_{oi} zu $g_i \leq G_{\max}$ ($i = 1, 2$)	78
17. Zweiseitiger Entwurf: Stabilitätsfaktor, Maximal-Verstärkung, optimale Anpassung	
Das Programm berechnet die Maximal-Verstärkung sowie die Abschluß- und Quell-Reflexionskoeffizienten, die zu dieser Maximal-Verstärkung führen	84
18. Zweiseitiger Entwurf: Verstärkung und Kreise stabilen Betriebs, Abschluß- und Quell-Diagramme (Smith)	
Dieses Programm berechnet den Mittelpunkt und Radius von Stabilitätskreisen. Zu gegebenem Eingangs- oder Ausgangsabschluß berechnet das Programm den entsprechenden Quell- oder Abschluß-Reflexionskoeffizienten	88
Speicherliste	93
Anhang A	134

Einige Bemerkungen zur Verwendung der Programme

Die vorliegende Programmsammlung ist zusammen mit zwei verschiedenen Hewlett-Packard-Rechnern verwendbar: mit dem *programmierbaren Rechner HP-97 im Attachée-Format mit eingebautem Thermodrucker* und mit dem *programmierbaren Taschenrechner HP-67*. Der wesentliche Unterschied beider Rechner besteht im eingebauten Drucker beim HP-97. Darüber hinaus unterscheiden sich beide Rechnermodelle noch in weiteren weniger wichtigen Details. Dieser Abschnitt befaßt sich mit der Auswirkung dieser Unterschiede auf die Verwendung der Programme dieses Paketes und soll Ihnen dabei helfen, den größten Nutzen aus dem Programm-Material und Ihrem Rechner zu ziehen, sei es nun ein HP-67 oder HP-97.

Die meisten Ergebnisse werden im Rahmen dieser Programmsammlung mit Hilfe eines **PRINT**-Befehls ausgegeben; in der Regel über eine **PRINT: X**-Anweisung und gelegentlich über den Programmschritt **PRINT: STACK**. Beim HP-97 werden diese Rechenresultate vom eingebauten Thermodrucker ausgegeben. Der HP-67 interpretiert diese Druckanweisungen dagegen als Pausebefehle: das Programm hält an und das Ergebnis erscheint für ca. eine Sekunde in der Anzeige. Anschließend setzt der HP-67 die Ausführung des Programms fort. Diese Form der Ausgabe wird allgemein als **PRINT/PAUSE**-Anweisung bezeichnet. Wenn Sie Besitzer eines HP-67 sind, wünschen Sie vielleicht, daß Ihnen zum Aufschreiben der Ergebnisse mehr Zeit verbleibt. Dazu genügt es, wenn Sie während der Programmpause eine beliebige Taste auf dem Tastenfeld Ihres HP-67 drücken. Wenn der soeben ausgeführte Programmschritt eine **PRINT: X**-Anweisung ist (achtmaliges schnelles Blinken des Dezimalpunktes), hält das Programm nach Drücken der Taste an. Wurde dagegen ein **PRINT: STACK**-Befehl ausgeführt (zweimaliges langsames Blinken des Dezimalpunktes), verbleibt die soeben angezeigte Zahl solange in der Anzeige, wie Sie die Taste gedrückt halten; dann wird das nächste Stackregister angezeigt usw. Wenn alle vier Stackregister angezeigt worden sind, hält das Programm an, falls vorher eine Taste gedrückt worden ist. In beiden Fällen können Sie das Programm mit **R/S** zu beliebigem Zeitpunkt wieder starten.

Als Besitzer eines HP-97 sind Sie vielleicht daran interessiert, auch von den eingetasteten Werten (Ausgangsdaten) einen gedruckten Beleg zu erhalten. Dazu ist lediglich der Drucker-Wahlschalter in Stellung **NORM** (normal) zu schieben. Der HP-97 druckt dann sämtliche eingetasteten Zahlen und die gedrückten Programmtasten, so daß Sie eine vollständige Dokumentation des ausgeführten Programms erhalten.

Die meisten Programme dieses Paketes verfügen über eine gesonderte «Ausgabe-Routine». Im Rahmen dieses Unterprogramms wird das Flag 0 auf seinen Zustand geprüft; ist es gesetzt, gibt das Programm die Resultate mittels einer Print/Pause-Anweisung aus. Ist das Flag 0 dagegen gelöscht, hält das Programm mit der Anzeige des entsprechenden Resultates an. Bei diesen Programmen wird das Flag 0 automatisch gesetzt, wenn Sie die Magnetkarte einlesen. Sollten Sie also an der automatischen Ausgabe mittels Print/Pause-Anweisung nicht interessiert sein, ist das «Ausgabe»-Flag 0 vor Verwendung des Programms mit CFØ zu löschen.

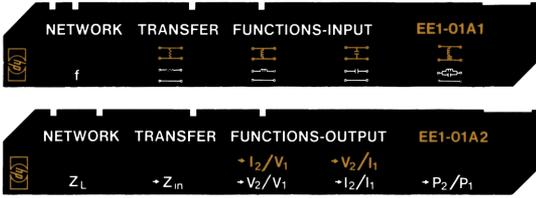
Weitere Unterschiede zwischen beiden Rechnermodellen können im Zusammenhang mit den Tastenfolgen auffallen, die zu den einzelnen Rechenbeispielen in dieser Programmsammlung angegeben sind. Dabei treten bisweilen Operationen auf, die Präfix-Tasten erfordern; das sind **f** beim HP-97 und **f**, **g** und **h** beim HP-67.

So wird zum Beispiel die Operation 10^x beim HP-97 als **f** **10^x** und beim HP-67 als **g** **10^x** ausgeführt. In solchen Fällen sind die entsprechenden Präfix-Tasten nicht mit aufgeführt (es heißt hier also einfach **10^x**). Achten Sie beim Rechnen der Beispiele darauf, daß Sie, falls erforderlich, die entsprechende Präfix-Taste nicht vergessen.

Außerdem sind die Ergebnisse zu den Rechenbeispielen, die durch einen **PRINT x**-Befehl ausgegeben werden, durch ein nachgestelltes Drei-Sterne-Symbol (***) gekennzeichnet.

Notizen

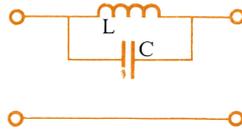
Übertragungsfunktion von Kettennetzwerken



Dieses Programm berechnet die verschiedenen Übertragungsfunktionen von Kettennetzwerken, die aus einer beliebigen Anzahl von Standard-Elementen gebildet werden. Das Netzwerk wird Schritt für Schritt um jeweils ein in Serie oder parallel geschaltetes Element erweitert. Sie können dabei eines der folgenden Elemente wählen:

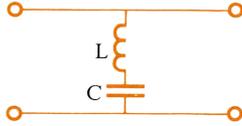
Bezeichnung	Schaltung	Ketten-Matrix*
Serien-Widerstand		$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & R \angle 0 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$
Parallel-Widerstand		$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ \frac{1}{R} \angle 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$
Serien-Induktivität		$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & \omega L \angle 90 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$
Parallel-Induktivität		$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ \frac{1}{\omega L} \angle -90 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$
Serien-Kapazität		$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & \frac{1}{\omega C} \angle -90 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$
Parallel-Kapazität		$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ \omega C \angle 90 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$

Parallelkreis



$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC} \angle 90 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$$

Serienkreis



$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ \frac{\omega C}{1 - \omega^2 LC} \angle 90 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$$

Die Ketten-Matrix ist wie folgt definiert:

Skizze



Matrizengleichung

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_{11} & \mathbf{q}_{12} \\ \mathbf{q}_{21} & \mathbf{q}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

Die Wirkungsweise des Programms basiert auf der Tatsache, daß die Matrix zweier in Kette geschalteter Netzwerke gleich dem Produkt ihrer Einzel-Kettenmatrizen ist.

Während das Netzwerk Schritt für Schritt von rechts nach links aufgebaut wird, bringt das Programm die «Gesamt»-Kettenmatrix mit jedem Element auf den jeweils neuesten Stand. Ist die Beschreibung des Netzwerks abgeschlossen, d.h., sind alle Elemente eingegeben, kann die zweite Programmkarte eingelesen und eine der folgenden Übertragungs-Größen berechnet werden.

Eingangs-Impedanz

$$Z_{\text{in}} = \frac{\mathbf{q}_{11} Z_L + \mathbf{q}_{12}}{\mathbf{q}_{21} Z_L + \mathbf{q}_{22}}$$

Leistungsverstärkung

$$\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \left| \frac{V_2}{V_1} \right|^2 \frac{\text{Re} \{Z_{\text{in}}\}}{\text{Re} \{Z_L\}}$$

Spannungs-Übertragungsmaß

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_L}{\mathbf{q}_{11} Z_L + \mathbf{q}_{12}}$$

Übertragungs-Admittanz

$$\frac{I_2}{V_1} = \frac{-1}{\mathbf{q}_{11} Z_L + \mathbf{q}_{12}}$$

Strom-Übersetzungsverhältnis

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{-1}{\mathbf{q}_{21} Z_L + \mathbf{q}_{22}}$$

Übertragungs-Impedanz

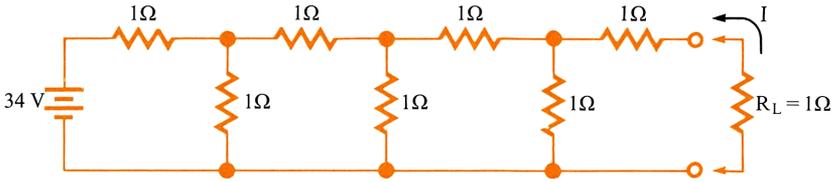
$$\frac{V_2}{I_1} = \frac{Z_L}{\mathbf{q}_{21} Z_L + \mathbf{q}_{22}}$$

* \mathbf{q} ist der kyrillische Buchstabe «Cha».

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Lesen Sie die erste Programmkarte ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie die Frequenz ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	und starten Sie das Programm	f, Hz	A <input type="text"/>	0
3	Bauen Sie das Netzwerk Schritt für Schritt		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	durch Auswahl eines der folgenden		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Elemente auf		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Serien-Widerstand	R	B <input type="text"/>	
	Serien-Induktivität	L	C <input type="text"/>	
	Serien-Kapazität	C	D <input type="text"/>	
	Parallelkreis	L	↑ <input type="text"/>	
		C	E <input type="text"/>	
	Parallel-Widerstand	R	f <input type="text"/> b <input type="text"/>	
	Parallel-Induktivität	L	f <input type="text"/> c <input type="text"/>	
	Parallel-Kapazität	C	f <input type="text"/> d <input type="text"/>	
	Serienkreis	L	↑ <input type="text"/>	
		C	f <input type="text"/> e <input type="text"/>	
4	Lesen Sie die zweite Programmkarte ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
5	Geben Sie die Abschluß-Impedanz ein	$\angle Z_L$	↑ <input type="text"/>	
6	Wählen Sie die gewünschte		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Übertragungs-Größe aus	$ Z_L $	A <input type="text"/>	
	Eingangs-Impedanz		B <input type="text"/>	$\angle Z_{in}$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ Z_{in} $
	Spannungs-Übertragungsmaß		C <input type="text"/>	$\angle V_2/V_1$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ V_2/V_1 $
	Strom-Übersetzungsverhältnis		D <input type="text"/>	$\angle I_2/I_1$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ I_2/I_1 $
	Übertragungs-Admittanz		f <input type="text"/> c <input type="text"/>	$\angle I_2/V_1$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ I_2/V_1 $
	Übertragungs-Impedanz		f <input type="text"/> d <input type="text"/>	$\angle V_2/I_1$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ V_2/I_1 $
	Leistungsverstärkung		E <input type="text"/>	P_2/P_1

Beispiel 1:

Welcher Strom wird durch einen 1Ω Abschlußwiderstand im Ausgang dieses Netzwerks fließen? Wie groß ist die Eingangs-Impedanz?



Drücken Sie **Anzeige/Ausdruck**
 Lesen Sie die erste Programmkarte ein.

A \longrightarrow **0.00000**

Anmerkung:

Da es sich um ein Netzwerk mit rein ohmschen Widerständen handelt, können Sie sich die Eingabe einer Frequenz ersparen; der Vorbereitungsschritt muß allerdings nach wie vor ausgeführt werden.

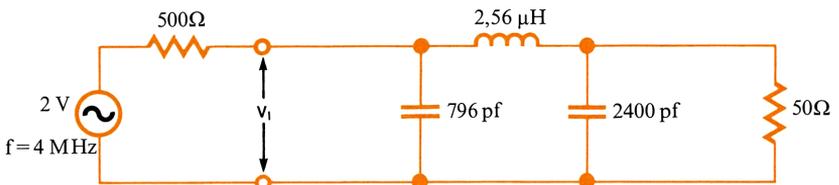
1 **B** 1 **f** **b** 1 **B** 1 **f** **b** 1 **B**
 1 **f** **b** 1 **B** \longrightarrow **0.00000**

Lesen Sie jetzt die zweite Programmkarte ein.

0 **ENTER+** 1 **A** **f** **c** \longrightarrow **0.000 + 00*****
 Winkel der Übertragungs-
 Admittanz
-29.41 - 03***
 Betrag der Übertragungs-
 Admittanz
 34 **x** \longrightarrow **-1.000 + 00**
 Strom im Abschlußwiderstand
B \longrightarrow **0.000 + 00*****
 Winkel der Eingangs-Impedanz
1.619 + 00***
 Betrag der Eingangs-Impedanz

Beispiel 2:

Sie können unter Verwendung dieses Programms Spannungen innerhalb eines Netzwerks berechnen, indem Sie das Problem in zwei Teile aufspalten. Ermitteln Sie die Spannung V_1 im nachfolgend skizzierten Netzwerk.



Lösung:

Berechnen Sie als erstes die Eingangs-Impedanz der rechts von V_1 liegenden Hälfte der Schaltung.

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**

Lesen Sie die erste Programmkarte ein.

4 **EEX** 6 **A** 2400 **EEX** **CHS** 12 **f** **d**

2.56 **EEX** **CHS** 6 **C** 796 **EEX** **CHS**

12 **f** **d** → 0.0000+00

Lesen Sie jetzt die zweite Programmkarte ein.

0 **ENTER** 50 **A** **B** → 984.0-03***

Winkel der Eingangs-Impedanz

497.700***

Betrag der Eingangs-Impedanz

Berechnen Sie jetzt das Spannungs-Übertragungsmaß für die links von V_1 liegende Schaltungshälfte, wobei dieser Teil mit $497,7 \angle 0,984$ (bedeutet $479,7\Omega$, Winkel $0,984$) abgeschlossen ist.

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**

Lesen Sie die erste Programmkarte ein.

4 **EEX** 6 **A** 500 **B** → 0.00000

Lesen Sie die zweite Programmkarte ein.

.984 **ENTER** 497.7 **A** **C** → 493.1-03***

Winkel von V_1

498.9-03***

2 **x** → 997.7-03

Betrag von V_1

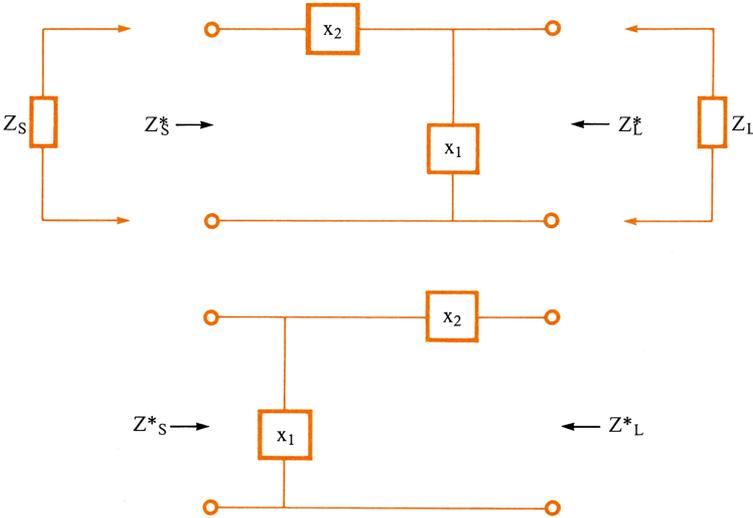
Notizen

Impedanzanpassung mit L-Netzwerken



Ein aus reinen Reaktanzen bestehendes L-Netzwerk kann dazu verwendet werden, eine beliebige (komplexe) Impedanz in eine beliebige andere Impedanz zu transformieren. In der Regel gibt es vier solcher Netzwerke, in einigen Fällen aber auch nur zwei. Die komplexen Werte für Abschluß- und Quell-Impedanz sind in rechtwinkligen Koordinaten einzugeben. Das Programm ermittelt sämtliche Lösungen, wobei eine Fehlermeldung erfolgt, wenn eine bestimmte gegebene Struktur nicht passend ist.

Jedes dieser beiden Netzwerke ist möglich:



Für jedes dieser Netzwerke existieren zwei Sätze von Reaktanzen (X_1, X_2) , mit deren Hilfe Z_L in Z_S transformiert werden kann. Sie sind gegeben durch

$$X_1 = \frac{R_S X_L}{R_S - R_L} \pm \sqrt{\left(\frac{R_S X_L}{R_S - R_L}\right)^2 - \frac{R_S (X_L^2 + R_L^2)}{R_S - R_L}}$$

$$X_2 = \frac{R_S (X_1 + X_L) - R_L (X_1 + X_S)}{R_L}$$

Wenn die Indizes S und L in diesen beiden Gleichungen vertauscht werden, erhält man zwei Sätze von Reaktanzen für das zweite Netzwerk.

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Abschluß-Impedanz		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Imaginärteil (reaktiver Teil)	X_L, Ω	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	X_L, Ω
	Realteil (resistiver Teil)	R_L, Ω	<input type="text"/> A <input type="text"/>	X_L, Ω
	Quell-Impedanz		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Imaginärteil (reaktiver Teil)	X_S, Ω	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	X_S, Ω
	Realteil (resistiver Teil)	R_S, Ω	<input type="text"/> B <input type="text"/>	X_S, Ω
3	Berechnen Sie die Werte für das erste		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Netzwerk		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Quer-Reaktanz		<input type="text"/> C <input type="text"/>	X_1, Ω
	Längs-Reaktanz		<input type="text"/> <input type="text"/>	X_2, Ω
	Quer-Reaktanz		<input type="text"/> f <input type="text"/> c	X_1, Ω
	Längs-Reaktanz		<input type="text"/> <input type="text"/>	X_2, Ω
4	Berechnen Sie die Werte für das		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	zweite Netzwerk		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Quer-Reaktanz		<input type="text"/> D <input type="text"/>	X_1, Ω
	Längs-Reaktanz		<input type="text"/> <input type="text"/>	X_2, Ω
	Quer-Reaktanz		<input type="text"/> f <input type="text"/> d	X_1, Ω
	Längs-Reaktanz		<input type="text"/> <input type="text"/>	X_2, Ω
			<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Anmerkung: Wenn eines der obigen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Netzwerke nicht anwendbar ist, erfolgt		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	eine Fehlermeldung. In diesem Fall ist		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	eine beliebige Taste zu drücken und mit		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	dem nächsten Netzwerk-Typ fortzufahren		<input type="text"/> <input type="text"/>	

Beispiel 1:

Welches L-Reaktanz-Netzwerk kann verwendet werden, um $Z_L = 50 + j50$ an $Z_S = 25 + j50$ anzupassen?

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

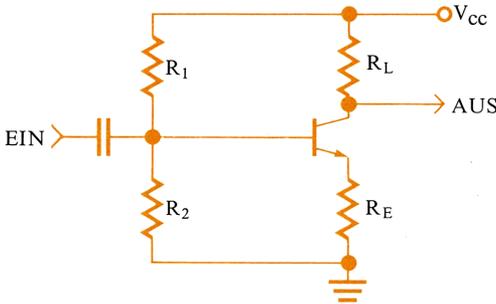
50	ENTER↑	50	A	50	ENTER↑	25	B	
f	c	→						-36.60***
								-6.70***
C	→							136.60***
								-93.30***
f	d	→						-161.24***
								-111.24***
D	→							-38.76***
								11.24***

Notizen

Optimaler Arbeitspunkt eines Klasse A-Transistorverstärkers



Das Programm verwendet eine Methode der Vorspannungs-Optimierung, die von Ward J. Helms in «Designing class A amplifiers to meet specified tolerances» (Electronics/8. August 1975) beschrieben ist. Der Benutzer hat eine Reihe von Größen einzugeben, aus denen das Programm dann nach einem iterativen Verfahren die optimalen Werte für R_1 , R_2 , R_E und R_L berechnet. Außerdem wird die minimale Leistungsverstärkung berechnet.



Verwendete Formeln:

Als erstes sind Werte für die folgenden Parameter zu spezifizieren:

- ΔI_{CQ} = maximale Ruhestromabweichung in Prozent
- T_{Amax} = maximale Umgebungs-Temperatur (maximale Gehäuse-Temperatur für Transistoren auf Kühlblech)
- T_{Amin} = minimale Umgebungs-Temperatur
- T_{Jmax} = maximale zulässige Grenzschicht-Temperatur
- P_D = maximal zulässige Verlustleistung bei 25° C
- I_1 = Kollektorstrom; wird in der Regel so gewählt, daß I_1 und $10 I_1$ den voraussichtlichen Arbeitspunkt einschließen
- ΔV_{BE} = typ. Wert für die Basis-Emitter-Spannungsänderung im Bereich von I_1 bis $10 I_1$ bei 25° C
- ΔV_{BE1min} = minimale Basis-Emitter-Spannung bei I_1 , 25° C
- ΔV_{BE1max} = maximale Basis-Emitter-Spannung bei I_1 , 25° C

Dann wird der Wärmewiderstand des Transistors berechnet:

$$\theta_{JA} = (T_{max} - 25^\circ C) / P_D$$

Anschließend wird der minimale Abschlußwiderstand und Emitterwiderstand berechnet:

$$R_{L1} = \frac{\theta_{JA} V_{CC}^2}{4,4 (T_{Jmax} - T_{Amax})} = R_{LN}$$

$$R_{E1} = 0,1 R_{L1} = R_{En}$$

Als nächstes werden der maximale und minimale Kollektor-Ruhestrom berechnet:

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2 (R_{Ln} + R_{En})}$$

$$I_{Cmax} = I_{CQ} (1 + \Delta I_{CQ})$$

$$I_{Cmin} = I_{CQ} (1 - \Delta I_{CQ})$$

Daraus kann jetzt die Basis-Emitter-Spannung unter «heißen» Betriebsbedingungen (Großsignal) V_{BEX} und im «kalten» Betrieb V_{BEN} berechnet werden.

$$T_{max} = \theta_{JA} I_{CQ} \frac{V_{CC}}{2} + T_{Amax}$$

$$V_{BEX} = V_{BE1min} + \Delta V_{BE} \log \frac{I_{Cmax}}{I_1} - 0,0022 (T_{max} - 25^\circ C)$$

$$T_{min} = \theta_{JA} I_{CQ} \frac{V_{CC}}{2} (1 - (\Delta I_{CQ})^2)$$

$$V_{BEN} = V_{BE1max} + \Delta V_{BE} \log \frac{I_{Cmin}}{I_1} - 0,0022 (T_{min} - 25^\circ C)$$

Jetzt kann der Wert für den Emitterwiderstand besser abgeschätzt werden:

$$R_{E(n+1)} = \frac{-2 (V_{BEX} - V_{BEN})}{I_{Cmax} - I_{Cmin}}$$

Ab hier wird, wenn $V_{BEX} > V_{BEN}$, R_E gleich Null gesetzt, R_L um 10% erhöht und das Verfahren wiederholt. Dieser Zyklus wird fortgesetzt, bis

$$\frac{R_{E(n+1)} - R_{En}}{R_{En}} < 5\%.$$

Wenn zu einem beliebigen Zeitpunkt die Bedingung $T_{max} > T_{Jmax}$ auftritt, wird der Wert R_L um jeweils 10% erhöht.

Wenn der iterative Prozeß abgeschlossen ist, werden T_{max} , I_{Cmax} , T_{min} und I_{Cmin} angezeigt.

Die Werte für

$h_{FE\max}$ = maximale «worst case» Stromverstärkung bei T_{\max} oder T_{\min} und $I_{C\max}$ oder $I_{C\min}$

und $h_{FE\min}$ = minimale «worst case» Stromverstärkung bei I_{\max} oder I_{\min} und $I_{C\max}$ oder $I_{C\min}$

werden aus dem Transistor-Datenblatt entnommen und dann der äquivalente Innenwiderstand (nach Thevenin) R_B sowie die Quell-Spannung V_{BB} für den Vorspannungsteiler des Verstärkers berechnet:

$$R_B = \frac{h_{FE\max} h_{FE\min} [R_{E(n+1)} (I_{C\max} - I_{C\min})] + V_{BEX} - V_{BEN}}{h_{FE\max} I_{C\min} - h_{FE\min} I_{C\max}}$$

$$V_{BB} = V_{BEN} + I_{C\min} \left(\frac{R_B}{h_{FE\min}} + R_{E(n+1)} \right)$$

Jetzt werden die Spannungsteiler-Widerstände R_1 und R_2 berechnet:

$$R_1 = \frac{R_B V_{CC}}{V_{BB}}$$

$$R_2 = \frac{R_B V_{CC}}{(V_{CC} - V_{BB})}$$

Zum Schluß berechnet das Programm die minimale Leistungsverstärkung und die minimale Ausgangsleistung:

$$A_P = \frac{R_B R_L h_{FE\min}}{R_E (R_B + h_{FE} R_E)}$$

$$P_S = (1 - \Delta I_{CQ})^2 \left(\frac{V_{CC}^2 R_L}{8 (R_L + R_E)^2} \right)$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Speichern Sie die gewünschten Werte für		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Versorgungsspannung	V _{CC}	STO 0	
	Maximale Ruhestromabweichung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	in Prozent	ΔI_{CQ}	STO 1	
	Maximale Umgebungstemperatur	T _{Amax} , °C	STO 2	
	Minimale Umgebungstemperatur	T _{Amin} , °C	STO 3	
3	Speichern Sie die folgenden Größen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	(entnehmen Sie die Werte		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	aus dem Transistor-Datenblatt):	T _{Jmax}	STO 4	
		P _D	STO 5	
		I ₁	STO 6	
		ΔV_{BE}	STO 7	
		V _{BE1min}	STO 8	
		V _{BE1max}	STO 9	
4	Berechnen Sie die maximalen und		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	minimalen Temperaturen und Ströme:		A <input type="text"/>	T _{max}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	I _{Cmax}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	T _{min}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	I _{Cmin}
5	Geben Sie den maximalen Wert für h _{FE}		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	ein, dann das minimale h _{FE} und		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	berechnen Sie:	h _{FEmax}	↑ <input type="text"/>	
	Widerstand R ₁	h _{FEmin}	R/S <input type="text"/>	R ₁
	Widerstand R ₂		<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₂
	Abschlußwiderstand		<input type="text"/> <input type="text"/>	R _L
	Emitterwiderstand		<input type="text"/> <input type="text"/>	R _E
	minimale Leistungsverstärkung		<input type="text"/> <input type="text"/>	A _p

Beispiel:

Ein einstufiger Klasse-A-Verstärker soll an einer Versorgungsspannung von 30 V betrieben werden. Der Transistor vom Typ Texas Instruments TIS98 soll bei maximaler Ausgangsleistung und maximaler Leistungsverstärkung im Temperaturbereich von 0° C bis 70° C eingesetzt werden. Die maximale Ruhestromänderung soll ± 20% betragen.

Entnehmen Sie aus dem Transistor-Datenblatt:

$$T_{J\max} = 150^\circ \text{C}$$

$$P_D = 0,36 \text{ W}$$

$$\Delta V_{BE} = 0,10 \text{ v von 3 bis 30 mA}$$

$$V_{BE1\min} = 0,54 \text{ v bei 3 mA bei } 25^\circ \text{C}$$

$$V_{BE1\max} = 0,74 \text{ v bei 3 mA bei } 25^\circ \text{C}$$

$$I_1 = 0,001 \text{ A}$$

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

Speichern Sie als erstes die Daten

30. **STO 0**

.2 **STO 1**

70. **STO 2**

0. **STO 3**

150. **STO 4**

.36 **STO 5**

.001 **STO 6**

.1 **STO 7**

.54 **STO 8**

.74 **STO 9**

Berechnen Sie jetzt die maximalen und minimalen Temperaturen und Ströme.

A → **148.0+00***** T_{\max}
18.0-03*** $I_{C\max}$
74.8+00*** T_{\min}
12.0-03*** $I_{C\min}$

Die folgenden Werte sind aus dem Datenblatt zu bestimmen:

$$h_{FE\max} = 600 \text{ bei } 150^\circ \text{C und } 18 \text{ mA}$$

$$h_{FE\min} = 100 \text{ bei } 80^\circ \text{C und } 12 \text{ mA}$$

Berechnen Sie die Widerstände und die minimale Leistungsverstärkung:

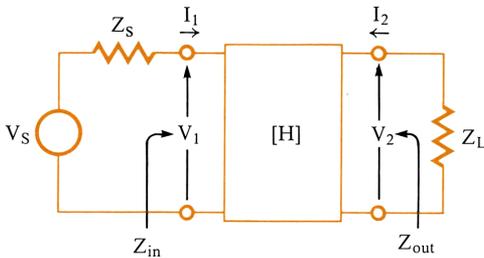
600 **ENTER↑** 100 **R/S** → **45.0+03 T** R_1
4.18+03 Z R_2
888.+00 Y R_L
115.+00 X R_E
22.9+00*** A_p

Notizen

Leistungsdaten von Transistor-Verstärkern

TRANSISTOR	AMPLIFIER	PERFORMANCE	EE1-04A
$\theta_{ij} \cdot h_{ij} \cdot ij$	$\theta_S \cdot R_S$ $\theta_L \cdot R_L$	$\rightarrow A_i$ $\rightarrow A_v$	$\rightarrow Z_{in}$ $\rightarrow Z_{out}$

Dieses Programm berechnet zu gegebener Hybrid-Matrix und gegebenen Werten für die Quell- und Abschluß-Impedanz verschiedene Kleinsignal-Eigenschaften eines Transistor-Verstärkers. Das Programm ermittelt Strom- und Spannungs-Verstärkung sowie Eingangs- und Ausgangs-Impedanz.



Verwendete Formeln:

Definition der Hybrid-Matrix (h-Parameter-Matrix)

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_i & h_r \\ h_f & h_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

Strom-Verstärkung

$$A_v = \frac{v_2}{v_d} = \frac{A_i Z_L}{Z_{in}}$$

Spannungs-Verstärkung

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{-h_f}{1 + h_o Z_L}$$

Spannungs-Verstärkung mit Quellwiderstand

$$A_{vs} = \frac{v_2}{v_S} = \frac{A_i Z_L}{Z_{in} + Z_S}$$

Eingangs-Impedanz

$$Z_{in} = h_i + h_r Z_L A_i$$

Ausgangs-Impedanz

$$Z_{out} = \frac{h_i + Z_S}{h_o h_i + h_o Z_S - h_f h_r}$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie die h-Parameter ein :		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Winkel	θ_{oj}	<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Betrag	h_{ij}	<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Position (Indizierung)	ij	<input type="text"/> <input type="text"/>	
3	Geben Sie die Abschluß-Impedanzen ein :		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Winkel der Quell-Impedanz	θ_S	<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Betrag der Quell-Impedanz	R_S	<input type="text"/> f <input type="text"/> b	
	• Winkel der Ausgangs-Impedanz	θ_L	<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Betrag der Ausgangs-Impedanz	R_L	<input type="text"/> B <input type="text"/>	
4	Berechnen Sie:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Spannungs-Verstärkung		<input type="text"/> C <input type="text"/>	A_V
	• Strom-Verstärkung		<input type="text"/> f <input type="text"/> c	A_I
	• Spannungs-Verstärkung mit Quellwiderstand		<input type="text"/> D <input type="text"/>	A_{V_S}
	• Eingangs-Impedanz		<input type="text"/> f <input type="text"/> e	Z_{in}
	• Ausgangs-Impedanz		<input type="text"/> E <input type="text"/>	Z_{out}

Beispiel:

Welches sind die Kleinsignal-Eigenschaften eines Transistors, wenn er die folgende h-Parameter-Matrix (Hybrid-Matrix) und Quell- bzw. Abschluß-Impedanzen von 1000 bzw. 10000 Ohm besitzt ?

$$[h] = \begin{bmatrix} 1100 & 250_{10^{-6}} \\ 50 & 25_{10^{-6}} \end{bmatrix}$$

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**0 **ENTER↑** 1100 **ENTER↑** 11 **A**0 **ENTER↑** 2.5 **EEX** 4 **CHS** **ENTER↑**12 **A**0 **ENTER↑** 50 **ENTER↑** 21 **A**0 **ENTER↑** 25 **EEX** **CHS** 6 **ENTER↑**22 **A**0 **ENTER↑** 1000 **f** **b**0 **ENTER↑** 10000 **B** **C** → 0.000 + 00*** $\angle A_V$ -400.0 + 00*** $|A_V|$ **f** **c** → 0.000 + 00*** $\angle A_I$ -40.00 + 00*** $|A_I|$

D	→	0.000 + 00***	$\angle A_{vs}$
		-200.0 + 00***	$ A_{vs} $
f e	→	0.000 + 00	$\angle Z_{in}$
		1.000 + 03***	$ Z_{in} $
E	→	0.000 + 00***	$\angle Z_{out}$
		52.50 + 03***	$ Z_{out} $

Notizen

Umwandlung von Transistor-Grundsaltungen



Dieses Programm dient zur Umwandlung der Hybrid-Matrizen für Basis-Schaltung (CB), Emitter-Schaltung (CE) und Kollektor-Schaltung (CC).

Als erstes wandelt das Programm die h-Parameter-Matrix in eine y-Parameter-Matrix (Leitwert-Matrix) um; dazu wird die folgende Transformation verwendet:

$$[y] = \frac{1}{h_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -h_{12} \\ h_{21} & h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21} \end{bmatrix}$$

Die y-Matrix wird anschließend in Abhängigkeit von der gewünschten Umwandlung wie folgt in eine y'-Matrix transformiert:

CB→CE oder CE→CB

$$y'_{11} = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$$

$$y'_{12} = -(y_{12} + y_{22})$$

$$y'_{21} = -(y_{21} + y_{22})$$

$$y'_{22} = y_{11}$$

CC→CE oder CE→CC

$$y'_{11} = y_{11}$$

$$y'_{12} = -(y_{11} + y_{12})$$

$$y'_{21} = -(y_{11} + y_{21})$$

$$y'_{22} = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$$

CC→CB

$$y'_{11} = y_{22}$$

$$y'_{12} = -(y_{21} + y_{22})$$

$$y'_{21} = -(y_{12} + y_{22})$$

$$y'_{22} = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$$

CB→CC

$$y'_{11} = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$$

$$y'_{12} = -(y_{11} + y_{21})$$

$$y'_{21} = -(y_{11} + y_{12})$$

$$y'_{22} = y_{11}$$

Schließlich wird die gewünschte Hybrid-Matrix nach der oben verwendeten [h]-[y]-Transformation aus der y'-Matrix abgeleitet.

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie die h-Parameter-Matrix (Hybrid-Matrix) ein (ij=11, 12, 21, 22)		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• Winkel des h-Parameters	θ_{ij} , deg	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	dann Betrag des h-Parameters	h_{ij}	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	dann Position (Indizes) des h-Parameters	ij	<input type="text"/> A <input type="text"/>	
3	Führen Sie die gewünschte Umwandlung aus:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	• CE→CB		<input type="text"/> B <input type="text"/>	
	• CB→CE		<input type="text"/> f <input type="text"/> b	
	• CC→CB		<input type="text"/> C <input type="text"/>	
	• CB→CC		<input type="text"/> f <input type="text"/> c	
	• CC→CE		<input type="text"/> D <input type="text"/>	
	• CE→CC		<input type="text"/> f <input type="text"/> d	
4	Zeigen Sie die umgewandelte Hybrid-Matrix an*		<input type="text"/> E <input type="text"/>	θ_{11}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	h_{11}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	θ_{12}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	h_{12}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	θ_{21}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	h_{21}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	θ_{22}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	h_{22}
	* Mit E können Sie jederzeit die augenblicklich gespeicherte Matrix anzeigen.		<input type="text"/> <input type="text"/>	

Beispiel:

Wandeln Sie die folgende Kollektor-Schaltungs-Hybrid-Matrix in die entsprechende h-Parameter-Matrix für die Basis-Schaltung um.

$$[h_{cc}] = \begin{bmatrix} h_{ic} & h_{rc} \\ h_{fc} & h_{oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1000 \angle 30 & 100 \times 10^{-6} \angle -45 \\ 60 \angle 30 & 30 \times 10^{-6} \angle 0 \end{bmatrix}$$

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

30 **ENTER↑** 1000 **ENTER↑** 11 **A**

45 **CHS** **ENTER↑** 100 **EEX** **CHS**

6 **ENTER↑** 12 **A** 30 **ENTER↑** 60

ENTER↑ 21 **A** 0 **ENTER↑** 30 **EEX**

CHS 6 ENTER↑ 22 A C →	-9.354+00***	θ_{11}
E →	38.31+03***	$h_{11} = h_{ib}$
	-9.349+00***	θ_{12}
	2.299+03***	$h_{12} = h_{rb}$
	-179.8+00***	θ_{21}
	999.6-03***	$h_{21} = h_{fb}$
	-39.35+00***	θ_{22}
	1.149-03***	$h_{22} = h_{ob}$

Notizen

Umwandlung von Vierpol-Matrizen

PARAMETER CONVERSION S=Z,Y,Z,G,H

EEI-06A

$\theta_{ij} \cdot M_{ij} \cdot I_{ij}$	$Y \rightarrow S: Z_0$	$Z \rightarrow S: Z_0$	$G \rightarrow S: Z_0$	$H \rightarrow S: Z_0$
$I_{ij} \cdot \theta_{ij} \cdot M_{ij}$	$S \rightarrow Y: Z_0$	$S \rightarrow Z: Z_0$	$S \rightarrow G: Z_0$	$S \rightarrow H: Z_0$

Vierpol s-Parameter (Streu-Matrix) können mit Hilfe einer einzelnen Matrixgleichung wahlweise in Y-, Z-, G- oder H-Parameter umgewandelt werden. Das gleiche gilt in umgekehrter Richtung. Entsprechend der gewünschten Umwandlung sind gewisse Vorbesetzungen und abschließende Operationen notwendig. Die grundlegende Transformation lautet:

$$T' = (I + T)^{-1} (I - T)$$

$$= \frac{2}{(1 + t_{11})(1 + t_{22}) - t_{12} t_{21}} \begin{bmatrix} 1 + t_{22} & -t_{12} \\ -t_{21} & 1 + t_{11} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Die T-Matrix erhält man durch die folgende Vorbesetzung:

Gewünschte Umwandlung	$S \rightarrow Y$	$S \rightarrow Z$	$S \rightarrow G$
Vorbesetzung	$T = S$	$T = -S$	$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} S$
	$S \rightarrow H$	$Y \rightarrow S$	$Z \rightarrow S$
$T = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} S$	$T = Z_0 Y$	$T = Z/Z_0$	$T = \begin{bmatrix} Z_0 g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22}/Z_0 \end{bmatrix}$
$H \rightarrow S$			
$T = \begin{bmatrix} h_{11}/Z_0 & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} Z_0 \end{bmatrix}$			

Nach Berechnung der T'-Matrix erhält man die gewünschte Matrix wie folgt:

Gewünschte Umwandlung	$S \rightarrow Y$	$S \rightarrow Z$	$G \rightarrow S$
Anschließende Operation	$Y = T'/Z_0$	$Z = Z_0 T'$	$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} T'$

$$\begin{array}{c|c|c}
 \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{S} & \mathbf{Y} \rightarrow \mathbf{S} & \mathbf{Z} \rightarrow \mathbf{S} \\
 \hline
 \mathbf{S} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{T}' & \mathbf{S} = \mathbf{T}' & \mathbf{S} = -\mathbf{T}'
 \end{array}$$

Gewünschte
Umwandlung

$$\begin{array}{c|c}
 \mathbf{S} \rightarrow \mathbf{G} & \mathbf{S} \rightarrow \mathbf{H} \\
 \hline
 \mathbf{G} = \begin{bmatrix} t_{11}'/Z_0 & t_{12}' \\ t_{21}' & t_{22}'Z_0 \end{bmatrix} & \mathbf{H} = \begin{bmatrix} t_{11}'Z_0 & t_{12}' \\ t_{21}' & t_{22}'/Z_0 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Anschließende
Operation

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie S, Y, Z, G oder H ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Winkel des Elementes ij	θ_{ij}	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Betrag des Elementes ij	M_{ij}	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Indizierung (Position) des Elementes ij	ij	<input type="text"/> f <input type="text"/> a	
3	Führen Sie die gewünschte Umwandlung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	aus:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	S→Y	Z_0	<input type="text"/> B <input type="text"/>	
	Y→S	Z_0	<input type="text"/> f <input type="text"/> b	
	S→Z	Z_0	<input type="text"/> C <input type="text"/>	
	Z→S	Z_0	<input type="text"/> f <input type="text"/> c	
	S→G	Z_0	<input type="text"/> D <input type="text"/>	
	G→S	Z_0	<input type="text"/> f <input type="text"/> d	
	S→H	Z_0	<input type="text"/> E <input type="text"/>	
	H→S	Z_0	<input type="text"/> f <input type="text"/> e	
4	Anzeige der neuen Matrix-Elemente:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Geben Sie die Indizes des Elementes ein	ij	<input type="text"/> A <input type="text"/>	
	Winkel des Elementes ij wird angezeigt		<input type="text"/> <input type="text"/>	θ_{ij}
	Betrag des Elementes ij wird angezeigt		<input type="text"/> <input type="text"/>	M_{ij}

Beispiel:

Die Streu-Matrix (s-Parameter) eines 2N3571 Transistors hat folgende Form:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0,62 \angle -44,0 & 0,0115 \angle 75,0 \\ 9,0 \angle 130 & 0,955 \angle -6,0 \end{bmatrix}$$

Berechnen Sie die entsprechende h-Parameter-Matrix. Z_0 sei 50Ω .

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

44 **CHS** **ENTER** .62 **ENTER** 11 **f** **a**

75 **ENTER** .0115 **ENTER** 12 **f** **a**

130 **ENTER** 9 **ENTER** 21 **f** **a**

6 **CHS** **ENTER** .955 **ENTER** 22 **f** **a**

50 **E** 11 **A** \longrightarrow **-53.88***** θ_{11}

119.08*** h_{11}

12 **A** \longrightarrow **39.26***** θ_{12}

0.02*** h_{12}

21 **A** \longrightarrow **94.26***** θ_{21}

-14.19*** h_{21}

22 **A** \longrightarrow **21.17***** θ_{22}

2.271611688-03*** h_{22}

Notizen

Fourier-Reihen



Jede periodische Funktion kann unter Anwendung der folgenden Formeln als Summe von Sinus- und Kosinusfunktionen dargestellt werden.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} \left(a_i \cos \frac{i2\pi t}{T} + b_i \sin \frac{i2\pi t}{T} \right)$$

$$= \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} c_i \sin \left(\frac{i2\pi t}{T} + \theta_i \right)$$

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \frac{i2\pi t}{T} dt, \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_i = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \frac{i2\pi t}{T} dt, \quad i = 1, 2, \dots$$

$$c_i = (a_i^2 + b_i^2)^{1/2}$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{a_i}{b_i} \right)$$

T = Periode der Funktion $f(t)$

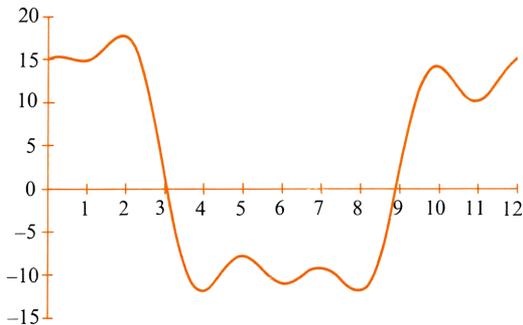
Das Programm berechnet die Fourier-Koeffizienten mit Hilfe diskreter Funktionen der vorgenannten Art, wenn eine ausreichende Anzahl von Stützwerten gegeben ist. Zu N Punkten gleichen Abstands berechnet das Programm bis zu zehn aufeinanderfolgende Koeffizientenpaare. Die Koeffizienten können wahlweise in rechtwinkligen Koordinaten oder in polarer Form angezeigt werden.

Der Wert N sollte zumindest doppelt so groß gewählt werden, wie das höchste erwartete Vielfache der Grundfrequenz, das in der zu analysierenden Funktion auftritt.

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Vorbereitungsschritt		f a	
3	Geben Sie die Anzahl der Stützwerte		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	innerhalb einer Periode ein	N	↑ <input type="text"/>	
	Anzahl der gewünschten Frequenzen	#freqs	A <input type="text"/>	N
	Ordnung des ersten Koeffizienten	J	B <input type="text"/>	J
4	Geben Sie y_k , $k=1, 2, \dots, N$ ein	y_k	C <input type="text"/>	2, ..., 111
5	Wiederholen Sie Zeile 4 bis zur		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Anzeige 0.111		<input type="text"/> <input type="text"/>	
6	Zeigen Sie die Koeffizienten für		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	$J \leq i \leq J + \#freqs$ an:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	in polarer Form		f d	i
			<input type="text"/> <input type="text"/>	θ_i
			<input type="text"/> <input type="text"/>	c_i
	in rechtwinkligen Koordinaten		D <input type="text"/>	i
			<input type="text"/> <input type="text"/>	b_i
			<input type="text"/> <input type="text"/>	a_i
7	Berechnen Sie den Wert der		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Fourier-Reihe an der Stelle t	t	E <input type="text"/>	f(t)

Beispiel:

Berechnen Sie eine Fourier-Reihe der abgebildeten Funktion.



t	f(t)
1	14,758
2	17,732
3	2
4	-12,00
5	-7,758
6	-11
7	-9,026
8	-12,00000000
9	2
10	14,268
11	10,026
12	15

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

f a 12 ENTER 7 A 0 B →	1.000
14.758 C →	2.000
17.732 C →	3.000
2.000 C →	4.000
12.000 CHS C →	5.000
7.758 CHS C →	6.000
11.000 CHS C →	7.000
9.026 CHS C →	8.000
12.000 CHS C →	9.000
2.000 C →	10.000
14.268 C →	11.000
10.026 C →	12.000
15.000 C →	0.111
D →	0.***
	0.000***
	4.000***
	1.***
	1.000***
	15.000***

i
b_i
a_i

Die Funktion hat folgende Form:

$$\begin{aligned}
 f(t) &= 2 + 15 \cos \frac{2\pi t}{12} + \sin \frac{2\pi t}{12} \\
 &+ \sin \frac{4\pi t}{12} \\
 &- 5 \cos \frac{6\pi t}{12} + \sin \frac{6\pi t}{12} \\
 &+ 3 \cos \frac{10\pi t}{12}
 \end{aligned}$$

Notizen

Entwurf aktiver Filter



Das Programm berechnet die Schaltelement-Werte für die angegebenen Standard-Filterschaltungen. Der Benutzer hat die Grenzfrequenz f_0 oder Mittenfrequenz f_0 , die Verstärkung in Bandmitte (A), den Welligkeitsfaktor α und eine Kapazität C vorzugeben. Das Programm gibt daraufhin eine Liste der Schaltelemente aus, mit deren Hilfe sich das gewünschte Filter realisieren läßt.

Verwendete Formeln:

$$\alpha = \frac{1}{Q} = 2\zeta, \text{ wobei } Q \text{ der Güte- und } \zeta \text{ der Dämpfungsfaktor ist.}$$

Tiefpaß

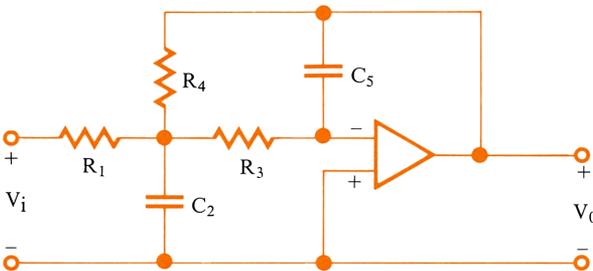
$$C_5 = C$$

$$C_2 = \frac{4}{\alpha} 2(A+1)C$$

$$R_1 = \frac{\alpha}{2A 2\pi f_0 C}$$

$$R_3 = \frac{\alpha}{(A+1) 2\pi f_0 C}$$

$$R_4 = AR_1$$



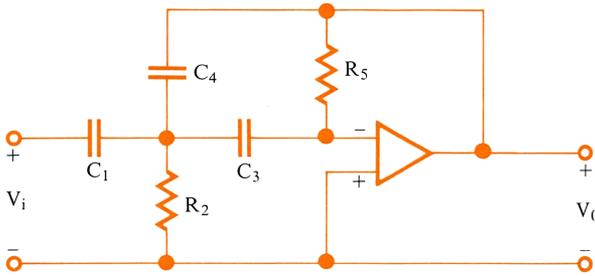
Hochpaß

$$C_1 = C_3 = C$$

$$C_4 = \frac{C}{A}$$

$$R_2 = \frac{\alpha}{2\pi f_0 C \left(2 + \frac{1}{A}\right)}$$

$$R_5 = \frac{2A + 1}{\alpha 2\pi f_0 C}$$



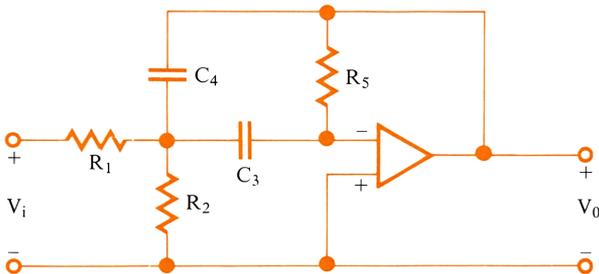
Bandpaß

$$C_3 = C_4 = C$$

$$R_1 = \frac{1}{A 2\pi f_0 C}$$

$$R_2 = \frac{1}{\left(\frac{2}{\alpha^2} - A\right) 2\pi f_0 C \alpha}$$

$$R_5 = \frac{2}{\alpha 2\pi f_0 C}$$



Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie die gewünschten		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Filtereigenschaften ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Grenz- oder Mittenfrequenz	f_0 , Hz	<input type="text"/> f <input type="text"/> a	
	Verstärkung in Bandmitte	A	<input type="text"/> A <input type="text"/>	
	Welligkeitsfaktor (1/Q)	α	<input type="text"/> f <input type="text"/> b	
	Kapazität	C, F	<input type="text"/> B <input type="text"/>	
3	Wählen Sie die entsprechende		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Filterart aus und berechnen Sie die		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Schaltelement-Werte		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Tiefpaß		<input type="text"/> C <input type="text"/>	R ₁ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	C ₂ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₃ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₄ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	C ₅
	Hochpaß		<input type="text"/> D <input type="text"/>	C ₁ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₂ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	C ₃ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	C ₄ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₅
	Bandpaß		<input type="text"/> E <input type="text"/>	R ₁ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₂ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	C ₃ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	C ₄ ,
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R ₅

Beispiel:

Entwerfen Sie einen aktiven Hochpaß mit folgenden Eigenschaften:

$$f_0 = 10 \text{ Hz}$$

$$A = 10$$

$$\alpha = 1$$

$$C = 1 \mu\text{F}$$

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**10 f a 10 A 1 f b 1 EEX CHS B D → 1.000-06*** C₁

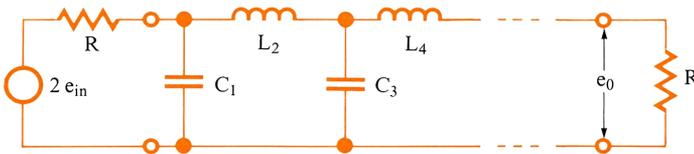
7.579+03***	R ₂
1.000-06***	C ₃
100.0-09***	C ₄
334.2+03***	R ₅

Entwurf von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern



Dieses Programm berechnet Schaltelement-Werte für Butterworth- und Tschebyscheff-Filter zwischen gleichen Abschlußwiderständen. Einzugeben sind der Abschlußwiderstand, das Übertragungsverhalten (z.B. Tiefpaß, Hochpaß usw.), Dämpfung bei einer Frequenz außerhalb des Durchlaßbereichs und für das Tschebyscheff-Filter die zulässige Welligkeit im Durchlaßbereich.

Die Grundform des Filters ist der folgende Tiefpaß-Prototyp,



dessen Elemente sich nach einem der nachfolgenden Formelsätze berechnen:

Butterworth

$$C_i = \frac{1}{\pi f_c R} \sin \frac{(2i-1)}{2n}, \quad i = 1, 3, 5, \dots$$

$$L_i = \frac{R}{\pi f_c} \sin \frac{(2i-1)}{2n}, \quad i = 2, 4, 6, \dots$$

mit

$$n = 1 + \text{INT} \left[\frac{1}{2} \frac{\ln(2 \times 10^{\frac{-\Delta \text{dB}}{10}} - 1)}{\ln(\omega/\omega_0)} \right]$$

Tschebyscheff

$$C_i = \frac{G_i}{2\pi f_c R}, \quad i = 1, 3, 5, \dots, n$$

$$L_i = \frac{R G_i}{2\pi f_c}, \quad i = 2, 4, 6, \dots, n-1$$

oder

$$G_1 = \frac{2 a_i}{\gamma}$$

$$G_i = \frac{4 a_{i-1} a_i}{b_{i-1} G_{i-1}}, \quad i = 2, 3, 4, \dots, n$$

$$\gamma = \sinh \left[\frac{\ln \coth \frac{\varepsilon}{40 \log e}}{2n} \right]$$

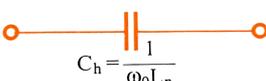
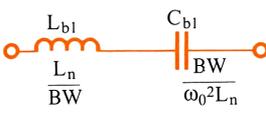
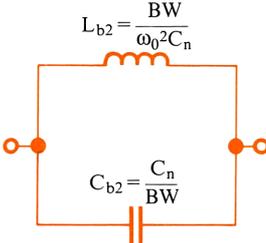
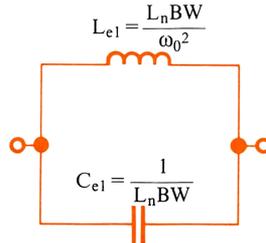
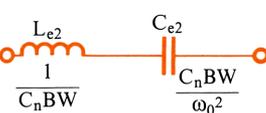
$$a_i = \sin \frac{(2i-1)}{2n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$b_i = \gamma^2 + \sin^2 \frac{i\pi}{n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1$$

$$\varepsilon = (10^{\frac{\Delta dB}{10}} - 1)^{1/2}$$

$$n = 1 + \text{INT} \left[\frac{\text{dB} - 20 \log \varepsilon + 6}{6 + 20 \log (\omega/\omega_0)} \right]$$

Im Anschluß an die Berechnung der Werte für den Tiefpaß werden die Schaltelement-Werte, wenn eine andere Filtercharakteristik gewünscht wird, wie folgt mit Hilfe einer Frequenztransformation abgeändert.

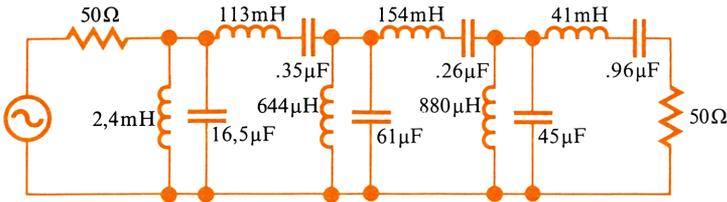
Filtercharakteristik	Schaltelemente	
Tiefpaß		
Hochpaß		
Bandpaß		
Bandsperre		

Als Erleichterung beim Entschlüsseln der Ergebnisse werden Kapazitäten mit negativem Vorzeichen ausgegeben. Im übrigen müssen Sie schon ein wenig mitdenken, um zu entscheiden, ob die L-C's in Reihe oder parallel geschaltet sind.

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Erste Programmkarte einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie den Abschlußwiderstand ein	R, Ω	A <input type="text"/>	R
3	Geben Sie die Frequenz für den gewünschten Filtertyp ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Tiefpaß	f_0 , Hz	B <input type="text"/>	
	Hochpaß	f_0 , Hz	f <input type="text"/> b <input type="text"/>	
	Bandpaß	BW, Hz	↑ <input type="text"/>	
		f_0 , Hz	f <input type="text"/> c <input type="text"/>	
	Bandsperre	BW, Hz	↑ <input type="text"/>	
		f_0 , Hz	C <input type="text"/>	
4	Fahren Sie für Tschebyscheff-Filter mit den Zeilen 5, 7 und 9 fort		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Fahren Sie für Butterworth-Filter mit den Zeilen 6, 7 und 8 fort		<input type="text"/> <input type="text"/>	
5	Geben Sie die Übertragungseigenschaften ein und berechnen Sie n für ein Tschebyscheff-Filter		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Welligkeit (ripple)	Ripple, dB	f <input type="text"/> d <input type="text"/>	ϵ
	Frequenz, bei der die Dämpfung angegeben wird	f_1 , Hz	↑ <input type="text"/>	
	Gewünschte Dämpfung	α , dB	D <input type="text"/>	n
6	Geben Sie die Übertragungseigenschaften ein und berechnen Sie n für ein Butterworth-Filter		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Frequenz, bei der die Dämpfung angegeben wird	f_1 , Hz	↑ <input type="text"/>	
	Gewünschte Dämpfung	α , dB	E <input type="text"/>	n
7	Lesen Sie die zweite Programmkarte ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
8	Berechnen Sie die Schaltelement-Werte für das Butterworth-Filter		A <input type="text"/>	
9	Berechnen Sie die Schaltelement-Werte für das Tschebyscheff-Filter		E <input type="text"/>	

Beispiel:

Entwerfen Sie ein 100 Hz breites Butterworth-Filter mit der Mittenfrequenz 800 Hz und 30 dB Dämpfung bei 900 Hz. R_0 soll $50\ \Omega$ betragen.

**Drücken Sie**

50 **A** 100 **ENTER** 800 **f** **C**

900 **ENTER** 30 **E**

A

Anzeige/Ausdruck

6.000 + 00***

Filter-Ordnung

1.000 + 00***

1. Komponente

-16.48 - 06***

Kapazität

2.402 - 03***

Induktivität

2.000 + 00***

2. Komponente

112.5 - 03***

Induktivität

-351.7 - 09***

Kapazität

3.000 + 00***

3. Komponente

-61.49 - 06***

Kapazität

643.6 - 06***

Induktivität

4.000 + 00***

4. Komponente

153.7 - 03***

Induktivität

-257.5 - 09***

Kapazität

5.000 + 00***

5. Komponente

-45.02 - 06***

Kapazität

879.2 - 06***

Induktivität

6.000 + 00***

6. Komponente

41.19 - 03***

Induktivität

-960.8 - 09***

Kapazität

Bode-Plot von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern



Dieses Programm berechnet Dämpfung, Phase und Gruppenlaufzeit für Bode-Plots von Butterworth- oder Tschebyscheff-Filtern n-ten Grades. Eine Frequenztransformation erlaubt die Berücksichtigung von vier verschiedenen Filtertypen: Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperrfilter. Das Frequenzinkrement ist entweder linear (Δf additiv) oder logarithmisch (Δf multiplikativ).

Die Pole eines Butterworth-Filters n-ten Grades sind durch den folgenden Ausdruck gegeben:

$$\sigma_k + j\omega_k = -\sin \frac{2k-1}{3} \frac{\pi}{2} - j \cos \frac{2k-1}{3} \frac{\pi}{2} \quad (k = 1, \dots, n)$$

Von den Polen des Butterworth-Filters werden die des Tschebyscheff-Filters wie folgt abgeleitet:

$$\text{Es sei } \beta_k = \frac{1}{n} \sinh^{-1} \frac{1}{\varepsilon}$$

Dann sind die neuen Pole gegeben durch $\sinh \beta_k \sigma_k + j \cosh \beta_k \omega_k$.

Dämpfung, Phase und Gruppenlaufzeit eines Filters sind durch die nachfolgenden Beziehungen gegeben.

Die Netzwerk-Übertragungsfunktion lautet

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= \frac{K}{(j\omega - s_1)(j\omega - s_2) \dots (j\omega - s_n)} \\ &= \frac{K}{(M_1 \angle \theta_1)(M_2 \angle \theta_2) \dots (M_n \angle \theta_n)} \\ &= \frac{K}{M(\omega) \angle \theta(\omega)} \end{aligned}$$

wobei K eine Konstante ist, die so gewählt wird, daß

$$|H(j0)| = 1$$

Für den Betrag der Übertragungsfunktion gilt

$$|H(j\omega)| = \frac{K}{\prod_{i=1}^n \sqrt{\sigma_i^2 + (\omega - \omega_i)^2}}$$

und die Phase ist

$$\arg [H(j\omega)] = -\theta(\omega) = -\sum_{i=1}^n \tan^{-1} \frac{\omega - \omega_i}{-\sigma_i}$$

Die Gruppenlaufzeit beträgt

$$t_g = \frac{d}{d\omega} \{\theta(\omega)\} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{\sigma_i^2 + (\omega - \omega_i)^2}$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Wählen Sie ein Filter aus		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Butterworth		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	# Pole	n	A <input type="text"/>	
	Tschebyscheff		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	# Pole	n	↑ <input type="text"/>	
	Welligkeit im Durchlaß in dB	dB	f <input type="text"/> a <input type="text"/>	
3	Wählen Sie die Übertragungseigenschaften		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Tiefpaß – Grenzfrequenz	f ₀	B <input type="text"/>	
	Hochpaß – Grenzfrequenz	f ₀	f <input type="text"/> b <input type="text"/>	
	Bandpaß – Bandbreite	BW	↑ <input type="text"/>	
	Mittenfrequenz	f ₀	f <input type="text"/> c <input type="text"/>	
	Bandsperr – Bandbreite	BW	↑ <input type="text"/>	
	Mittenfrequenz	f ₀	C <input type="text"/>	
4	Wählen Sie lineares oder logarithmisches		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Frequenz-Inkrement		f <input type="text"/> d <input type="text"/>	0 – lin 1 – log
5	Geben Sie den interessierenden		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Bandbereich an		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	untere Frequenz	f ₁ , Hz	↑ <input type="text"/>	
	obere Frequenz	f ₂ , Hz	↑ <input type="text"/>	
	Frequenz-Inkrement	Δf, Hz oder ratio	D <input type="text"/>	
6	Starten Sie die Berechnung		E <input type="text"/>	f
	Betrag der Übertragungsfunktion		<input type="text"/> <input type="text"/>	20 log H(jω) , dB
	Winkel der Übertragungsfunktion		<input type="text"/> <input type="text"/>	arg [H(jω)]
	Gruppenlaufzeit		<input type="text"/> <input type="text"/>	t _g
7	Der Schritt in Zeile 6 wird für das		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	angegebene Band automatisch wiederholt		<input type="text"/> <input type="text"/>	

Beispiel 1:

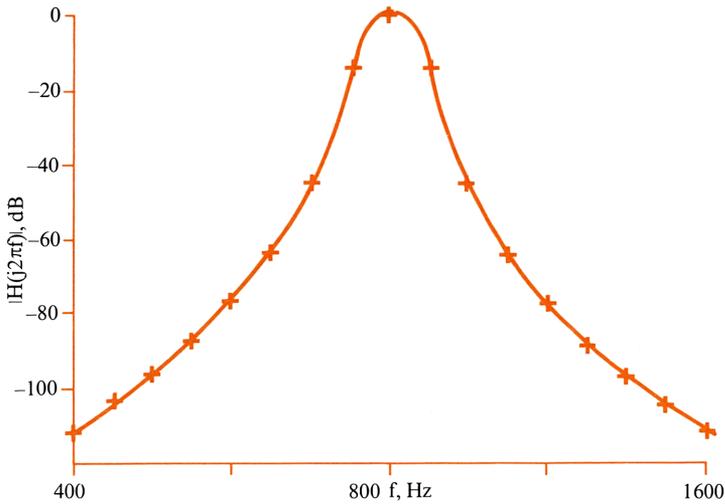
Tragen Sie das Verhalten eines Butterworth-Bandpaß-Filters 6. Grades mit $BW=100$ und $f_0=800$ graphisch auf. Erstellen Sie ein logarithmisches Diagramm und verwenden Sie als Schrittweite (Inkrement) $2^{1/8}$ von 400 Hz bis 1600 Hz.

Drücken Sie

6 **A** 100 **ENTER** 800 **f** **C** **f** **d**
 400 **ENTER** 1600 **ENTER** 2
√x **√x** **√x** **D** **E** →

Anzeige/Ausdruck

400.000 T	Frequenz
-129.501 Z	$ H(j2\pi f) $
161.536 Y	$\angle H(j2\pi f)$
0.027 X	Gruppenlaufzeit,
436.203 T	sek.
-121.591 Z	
158.504 Y	
0.036 X	
475.683 T	
-112.727 Z	
154.506 Y	
0.051 X	
518.736 T	
-102.519 Z	
148.966 Y	
0.076 X	
565.685 T	
-90.309 Z	
140.715 Y	
0.122 X	
616.884 T	
-74.863 Z	
126.993 Y	
0.223 X	
672.717 T	
-53.407 Z	
99.228 Y	
0.524 X	
733.603 T	
-17.172 Z	
6.544 Y	
2.683 X	



800.000 T
 0.000 Z
 -9.682986738-06 Y
 3.864 X

872.406 T
 -17.172 Z
 -6.544 Y
 2.683 X

951.366 T
 -53.407 Z
 -99.228 Y
 0.524 X

1037.472 T
 -74.863 Z
 -126.993 Y
 0.223 X

1131.371 T
 -90.309 Z
 -140.715 Y
 0.122 X

Beispiel 2:

Tragen Sie das Verhalten einer Tschebyscheff-Bandsperre von 5 Hz Bandbreite (BW) bei einer Mittenfrequenz von 60 Hz und einer Welligkeit von 3 dB zeichnerisch auf.

Drücken Sie

7 **ENTER** 3 **f** **a** 5 **ENTER** 60 **C**50 **ENTER** 61 **ENTER** 5 **D** **E** →

Anzeige/Ausdruck

50.000 T
 -2.997 Z
 -84.017 Y
 4.506 X

Frequenz
 Betrag $\{H(s)\}$, dB
 Phase $\{H(s)\}$,
 Gruppenlaufzeit,
 sek.

50.500 T
 -2.964 Z
 -87.457 Y
 4.559 X

51.000 T
 -2.880 Z
 -91.347 Y
 4.675 X

51.500 T
 -2.730 Z
 -95.842 Y
 4.881 X

52.000 T
 -2.491 Z
 -101.177 Y
 5.216 X

52.500 T
 -2.140 Z
 -107.732 Y
 5.742 X

53.000 T
 -1.651 Z
 -116.126 Y
 6.550 X

53.500 T
 -1.027 Z
 -127.379 Y
 7.737 X

54.000 T
 -0.364 Z
 -143.029 Y
 9.239 X

54.500 T
0.000 Z
-164.525 Y
10.286 X

55.000 T
-0.478 Z
169.348 Y
9.368 X

55.500 T
-1.799 Z
143.391 Y
6.957 X

56.000 T
-2.932 Z
119.424 Y
5.448 X

56.500 T
-2.136 Z
88.980 Y
7.335 X

57.000 T
-0.479 Z
8.481 Y
13.596 X

57.500 T
-0.066 Z
-122.266 Y
37.279 X

58.000 T
-34.346 Z
127.620 Y
1.179 X

58.500 T
-59.784 Z
113.071 Y
0.338 X

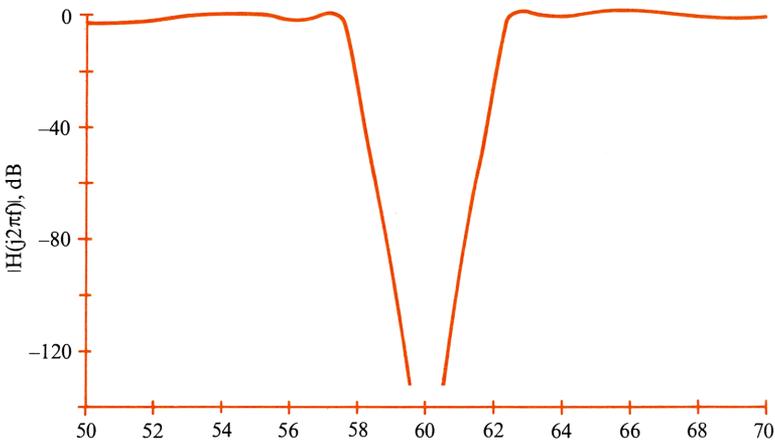
59.000 T
 -88.662 Z
 103.950 Y
 0.111 X

59.500 T
 -133.081 Z
 96.633 Y
 0.024 X

60.000 T
 -1048.077 Z
 -90.000 Y
 1.985653756-15 X

60.500 T
 -133.598 Z
 -96.577 Y
 0.024 X

Beachten Sie die Symmetrie; die Kurve lässt sich um 60 Hz spiegeln

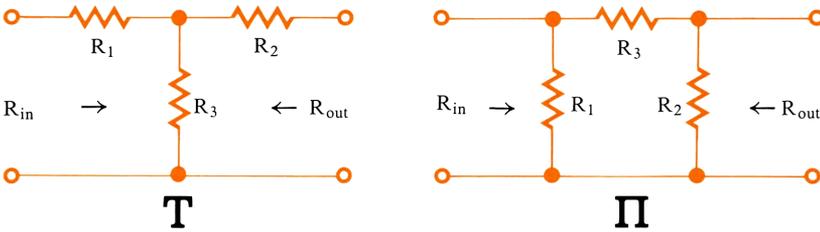


Notizen

Entwurf von ohmschen Dämpfungsgliedern



Zur Anpassung zweier reeller Impedanzen R_{in} und R_{out} kann sowohl ein T- als auch ein π (Pi)-Dämpfungsglied verwendet werden. Das Programm berechnet einmal die minimale Dämpfung und zum anderen Werte für die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 , die ein Anpassungsglied mit vorgegebener Dämpfung ergeben.



Für die minimale Dämpfung (Min Loss) in dB gilt:

$$\text{Min Loss} = 10 \log \left(\sqrt{\frac{R_{in}}{R_{out}}} + \sqrt{\frac{R_{in}}{R_{out}} - 1} \right)^2$$

wobei $R_{in} \geq R_{out}$

Wenn N die gewünschte Dämpfung des Abschwächers als Verhältnis bezeichnet (Dämpfung in dB = $10 \log N$), dann gilt für das T-Glied:

$$R_3 = \frac{2\sqrt{N R_{in} R_{out}}}{N - 1}$$

$$R_1 = R_{in} \left(\frac{N + 1}{N - 1} \right) - R_3$$

$$R_2 = R_{out} \left(\frac{N + 1}{N - 1} \right) - R_3$$

... und für das π -Glied:

$$R_3 = \frac{1}{2} (N - 1) \left(\frac{R_{in} R_{out}}{N} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{in}} \left(\frac{N + 1}{N - 1} \right) - \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{out}} \left(\frac{N + 1}{N - 1} \right) - \frac{1}{R_3}$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie die Impedanzwerte ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Eingang	R_{in}, Ω	A <input type="text"/>	
	Ausgang	R_{out}, Ω	B <input type="text"/>	
3	Berechnen Sie die minimale Dämpfung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	(min. loss)		C <input type="text"/>	min. loss dB
4	Berechnen Sie die Widerstandswerte ...		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	... für das T-Glied	Dämpf. dB	D <input type="text"/>	Dämpfung
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R_1
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R_2
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R_3
	... für das π -Glied	Dämpf. dB	E <input type="text"/>	Dämpfung
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R_1
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R_2
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R_3

Anmerkung:

Wenn Sie für die gewünschte Dämpfung einen Wert vorgeben, der kleiner als die minimale Dämpfung ist, reagiert das Programm darauf mit einer Fehlermeldung.

Beispiel 1:

Berechnen Sie die Schaltelement-Werte für ein T- und ein π -Glied, die 75Ω an 50Ω mit 6 dB Dämpfung anpassen sollen.

Drücken Sie	Anzeige/Ausdruck	
75 A 50 B C →	5.719+00***	min. Dämpfung
D →	6.000+00 T	gewünschte Dämpfung
	43.34+00 Z	R ₁
	1.572+00 Y	R ₂
	81.97+00 X	R ₃
E →	6.000+00 T	gewünschte Dämpfung
	2.386+03 Z	R ₁
	86.52+00 Y	R ₂
	45.75+00 X	R ₃

Beispiel 2:

Welche Widerstände werden für ein T-Glied und welche für ein π-Glied benötigt, die jeweils bei 10 dB Dämpfung 50Ω an 50Ω anpassen sollen?

Drücken Sie	Anzeige/Ausdruck	
50 A 50 B C →	0.000+00***	
10 D →	10.00+00 T	gewünschte Dämpfung
	25.97+00 Z	R ₁
	25.97+00 Y	R ₂
	35.14+00 X	R ₃
10 E →	10.00+00 T	gewünschte Dämpfung
	96.25+00 Z	R ₁
	96.25+00 Y	R ₂
	71.15+00 X	R ₃

Notizen

Smith-Diagramm-Umwandlung



In einem Smith-Nomogramm kann der Abstand eines Punktes vom Mittelpunkt durch verschiedene Parameter angegeben werden. Bei diesem Programm dienen die ersten drei Tasten zur Umwandlung zwischen den dazu am häufigsten verwendeten Größen: Stehwellenverhältnis (SWR), Reflexionskoeffizient und Rücklaufdämpfung. Die beiden verbleibenden Tasten ermöglichen die Umwandlung zwischen Impedanz und Reflexionskoeffizient.

Die Parameter

σ = Spannungs-Stehwellenverhältnis

SWR = Stehwellenverhältnis in dB

ρ = Reflexionskoeffizient

R.L. = Rücklaufdämpfung

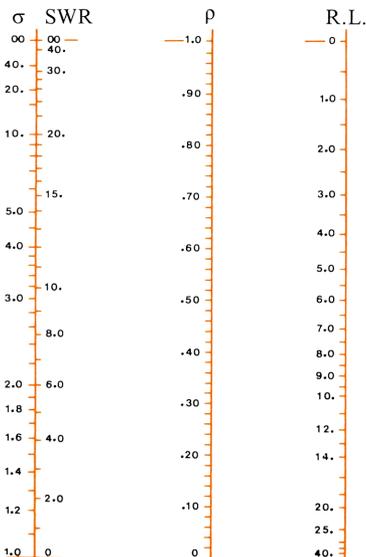
M.L. = Fehlabschluß-Verlust

hängen wie folgt zusammen:

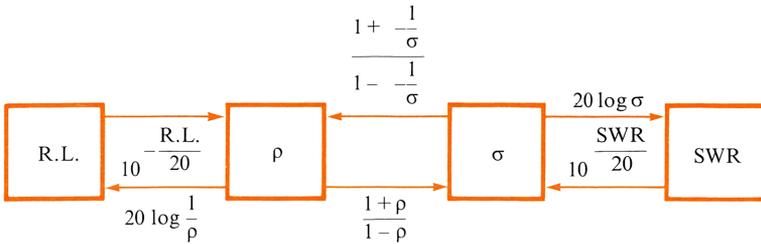
$$\text{SWR} = 20 \log \sigma$$

$$\text{R.L.} = 20 \log \frac{1}{\rho}$$

$$\sigma = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$



Die folgende Skizze macht die Zusammenhänge vielleicht etwas deutlicher:



In einem System mit der charakteristischen Impedanz (Wellenwiderstand) Z_0 gilt für den Zusammenhang zwischen Impedanz und Reflexionskoeffizient:

$$\vec{\Gamma} = \rho \angle \Phi = \frac{\frac{Z}{Z_0} - 1}{\frac{Z}{Z_0} + 1}$$

$$Z = Z \angle \theta = Z_0 \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

wobei

$\vec{\Gamma}$ = komplexer Reflexionskoeffizient

$\rho = |\vec{\Gamma}|$

$\Phi = \angle \vec{\Gamma}$

Z = Impedanz

$Z = |Z|$

$\theta = \angle Z$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Wandeln Sie wie gewünscht zwischen σ , SWR, ρ und R.L. um:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	$\sigma \rightarrow \text{SWR}$	σ	<input type="text"/> f <input type="text"/> a	SWR
	$\text{SWR} \rightarrow \sigma$	SWR	<input type="text"/> A <input type="text"/>	σ
	$\sigma \rightarrow \rho$	σ	<input type="text"/> f <input type="text"/> b	ρ
	$\rho \rightarrow \sigma$	ρ	<input type="text"/> B <input type="text"/>	σ
	$\rho \rightarrow \text{R.L.}$	ρ	<input type="text"/> f <input type="text"/> c	R.L.
	$\text{R.L.} \rightarrow \rho$	R.L.	<input type="text"/> C <input type="text"/>	ρ
3	Speichern Sie die charakteristischen Impedanz (Wellenwiderstand)	Z_0	<input type="text"/> f <input type="text"/> d	
4	Wandeln Sie wie gewünscht zwischen Z und Γ um:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	$Z \rightarrow \Gamma$	θ	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
		Z	<input type="text"/> D <input type="text"/> E	Φ, ρ
	$\Gamma \rightarrow Z$	Φ	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
		ρ	<input type="text"/> E <input type="text"/> D	θ, Z

Beispiel 1:

Wandeln Sie 6 dB SWR (Stehwellenverhältnis) in σ um.

Drücken Sie **6** **A** \longrightarrow **2** Anzeige/Ausdruck σ

Beispiel 2:

Wandeln Sie 7 dB Rücklaufdämpfung in SWR um.

Drücken Sie **7** **C** **B** **f** **a** \longrightarrow **8.35** Anzeige/Ausdruck SWR

Beispiel 3:

Ein 50Ω -System wird mit einer Impedanz von $62\angle 37^\circ$ abgeschlossen.
Wie groß ist der Reflexionskoeffizient?

Drücken Sie **50** **f** **a** **37** **ENTER** **62** **D** **E** \longrightarrow **70.19***** Φ
0.35*** ρ

Beispiel 4:

In einem 72Ω -System messen Sie einen Reflexionskoeffizienten von $0,5\angle 7^\circ$. Wie groß ist die Impedanz?

Drücken Sie

72 **f** **a** 7 **ENTER** ↑ .5 **E** **D** →

Anzeige/Ausdruck

9.23*** θ

212.50*** Z

Wellenwiderstand einer Übertragungsleitung



Mit Hilfe dieses Programms können Sie den Wellenwiderstand (charakteristische Impedanz) für fünf verschiedene Typen von Übertragungsleitungen berechnen.

Art der Übertragungsleitung

Gleichung für Z_0

Zweidrahtleitung
(Flachbandleitung)

$$Z_0 = \frac{120}{\sqrt{\epsilon}} \ln \left(\frac{2D}{d} \right)$$

Einzeldraht nahe Erde

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \left(\frac{4h}{d} \right)$$

Zweidrahtleitung
nahe Erde

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \log \left\{ \frac{2D}{d} \left[1 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right]^{-1/2} \right\}$$

abgestimmte Zweidraht-
leitung nahe Erde
(erdsymmetrisch)

$$Z_0 = \frac{69}{\sqrt{\epsilon}} \log \left\{ \frac{4h}{d} \left[1 + \left(\frac{2h}{D} \right)^2 \right]^{+1/2} \right\}$$

Koaxialleitung

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{D}{d}$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Berechnen Sie die Impedanz einer Zweidrahtleitung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Geben Sie ein:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Abstand der Leiter	D	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Durchmesser der Leiter	d	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Dielektrizitätskonstante	ϵ_r	<input type="text"/> A <input type="text"/>	Z_0, Ω
3	Berechnen Sie die Impedanz eines Einzeldrahtes nahe Erde		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Geben Sie ein:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Abstand Leiter–Erde (Höhe)	h	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Durchmesser des Leiters	d	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Dielektrizitätskonstante	ϵ_r	<input type="text"/> B <input type="text"/>	Z_0, Ω
4	Berechnen Sie die Impedanz einer symmetrischen Zweidrahtleitung nahe Erde		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Geben Sie ein:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Abstand der Leiter	D	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Abstand Leiter–Erde (Höhe)	h	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Durchmesser der Leiter	d	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Dielektrizitätskonstante	ϵ_r	<input type="text"/> C <input type="text"/>	Z_0, Ω
5	Berechnen Sie die Impedanz einer Zweidrahtleitung nahe Erde		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Geben Sie ein:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Abstand der Leiter	D	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Abstand Leiter–Erde (Höhe)	h	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Durchmesser der Leiter	d	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Dielektrizitätskonstante	ϵ_r	<input type="text"/> D <input type="text"/>	Z_0, Ω
6	Berechnen Sie die Impedanz einer Koaxialleitung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Geben Sie ein:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Innendurchmesser des äußeren Leiters	D	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Außendurchmesser des inneren Leiters	d	<input type="text"/> E <input type="text"/>	Z_0, Ω

Beispiel 1:

Berechnen Sie Z_0 für ein RG-218/U Koaxialkabel. ($D = .68$ Zoll, $d = .195$ Zoll, $\epsilon_r = 2,3$ [Polyäthylen]).

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**

.68 **ENTER** .195 **ENTER** 2.3 **E** → **49.42*****

Beispiel 2:

Berechnen Sie Z_0 für eine offene 2-Draht-Leitung mit $D = 6$ Zoll, $d = .0808$ Zoll und $\epsilon_r = 1$ (Luft).

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**

6 **ENTER** .0808 **ENTER** 1 **A** → **600.08*****

Beispiel 3:

Berechnen Sie Z_0 für eine Freileitung, die aus einem einzelnen 0,1285 Zoll dicken Draht besteht, der in 6 Zoll Abstand zu einer geerdeten Fläche gespannt ist.

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**

.1285 **ENTER** 6 **ENTER** 1 **B** → **313.44*****

Notizen

Berechnung von Streifenleitern



Zu gegebenen Werten für die Breite w des Streifenleiters, die Dicke h des Dielektrikums und die Dielektrizitätskonstante ϵ_r berechnet das Programm die Phasengeschwindigkeit v_r und den Wellenwiderstand Z_c eines verlustlosen Leiters.

Dazu werden die folgenden Formeln verwendet, die für

$0 \leq \frac{w}{h} \leq 10$ auf $\pm 0,25\%$ genau sind:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{w} \right)^{-1/2}$$

$$v_r = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}$$

$$Z_0 = \begin{cases} 60 \ln \left(8 \frac{h}{w} + \frac{w}{4h} \right), & \frac{w}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\frac{w}{h} + 2.42 - 0.44 \frac{h}{w} + \left(1 - \frac{h}{w} \right)^6}, & \frac{w}{h} > 1 \end{cases}$$

$$Z_c = v_r Z_0$$

Dabei bedeutet:

ϵ_r = Dielektrizitätskonstante (relative Permittivität)

ϵ_{eff} = effektive Dielektrizitätskonstante

h = Dicke des Dielektrikums; gleiche Einheit wie w

w = Breite des Streifenleiters; gleiche Einheit wie h

v_r = Phasengeschwindigkeit der verlustlosen Leitung

Z_0 = Wellenwiderstand eines entsprechenden Leiters in Luft, Ω

Z_c = Wellenwiderstand des verlustlosen Streifenleiters, Ω

Anschließend kann das Programm zu gegebener Dicke des Leiters den normierten Leitungsverlust A berechnen.

$$A = \begin{cases} \frac{20}{\ln 10} \frac{h}{w} \frac{dB}{Z_0 \Omega}, \text{ gleichmäßige Stromverteilung} \\ \frac{10}{\pi \ln 10} \frac{\left(8 \frac{h}{w} - \frac{w}{4h}\right) \left(1 + \frac{h}{w} + \frac{h}{w} \frac{\partial w}{\partial t}\right)}{Z_0 e^{Z_0/60}} \frac{dB}{\Omega}, \frac{w}{h} \leq 1 \\ \frac{Z_0}{720\pi^2 \ln 10} \left[1 + 0.44 \frac{h^2}{w^2} + \frac{6h^2}{w^2} \left(1 - \frac{h}{w}\right)^5\right] \\ \quad \times \left[1 + \frac{w}{h} + \frac{\partial w}{\partial t}\right] \frac{dB}{\Omega}, \frac{w}{h} > 1 \end{cases}$$

$$\text{wobei } \frac{\partial w}{\partial t} = \begin{cases} \frac{1}{\pi} \ln \frac{4\pi w}{t}, \frac{w}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \\ \frac{1}{\pi} \ln \frac{2h}{t}, \frac{w}{h} > \frac{1}{2\pi} \end{cases}$$

Am Schluß können der spezifische Widerstand ρ des Leitermaterials und die Frequenz f eingegeben werden; das Programm berechnet daraufhin den Kupferverlust α_c , den Widerstand pro Einheitslänge R und den unbelasteten Gütefaktor Q_0 nach folgenden Formeln:

$$\alpha_0 = \frac{R_S A}{h}$$

$$R_S = \sqrt{\pi f \mu_0 \rho}$$

$$R = 2R_S/w$$

$$\mu_0 = \frac{\alpha_0}{\sqrt{r}}$$

$$Q_0 = \frac{20\pi}{\ln 10} \frac{f}{c v_r \alpha_c}$$

$$c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

Literatur:

M. V. Schneider, «Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits», *Bell System Technical Journal*, 48, Nr. 5 (Mai-Juni 1969).

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie ein:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Breite des Streifenleiters	w, cm	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Dicke des Dielektrikums	h, cm	<input type="text"/> A <input type="text"/>	w/h
3	Geben Sie die Dielektrizitätskonstante ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	und berechnen Sie Phasengeschwindigkeit		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	und Wellenwiderstand eines verlustlosen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Leiters	ϵ_r	<input type="text"/> B <input type="text"/>	V_r
			<input type="text"/> <input type="text"/>	Z_c
4	Wenn eine gleichmäßige Stromverteilung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	gewünscht wird, ist Schritt 5 zu		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	überspringen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
5	Geben Sie die Dicke des Leiters ein	t	<input type="text"/> C <input type="text"/>	
6	Geben Sie den Widerstand des		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Leitermaterials ein	ρ	<input type="text"/> D <input type="text"/>	
7	Geben Sie die Frequenz ein und		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	berechnen Sie den Kupferverlust, den		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Widerstand pro Einheitslänge und den		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	unbelasteten Gütefaktor	f	<input type="text"/> E <input type="text"/>	α_c
			<input type="text"/> <input type="text"/>	R
			<input type="text"/> <input type="text"/>	Q_0

Beispiel 1:

Berechnen Sie die Eigenschaften eines 50 mil (1 mil = 1/1000 Zoll) Streifenleiters auf einem 50 mil Aluminiumsubstrat ($\epsilon_r = 9,5$) bei 2 GHz. Die Dicke des Streifenleiters soll 1 mil betragen, der spezifische Widerstand des Leitermaterials 3×10^{-6} .

Drücken Sie.05 **ENTER+** 2.54 **X** **ENTER+** **A**9.5 **B** →**Anzeige/Ausdruck****391.3-03***** V_r **49.54+00***** Z_c .001 **ENTER+** 2.54 **X** **C** 3 **EEX** **CHS**6 **D** 2 **EEX** 9 **E** →**11.01-03***** α **125.6-03***** R**422.3+00***** Q_0

Beispiel 2:

Wiederholen Sie das vorhergehende Beispiel unter der Annahme, daß eine gleichmäßige Stromverteilung vorliegt.

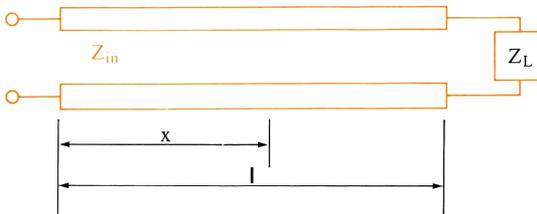
Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**.05 **ENTER** 2.54 **x** **ENTER** **A**

9.5 B →	391.3-03***	V_r
	49.54+00***	Z_c
3 EEX CHS 6 D 2 EEX 9 E →	21.25-03***	α
	242.4-03***	R
	218.8+00***	Q_0

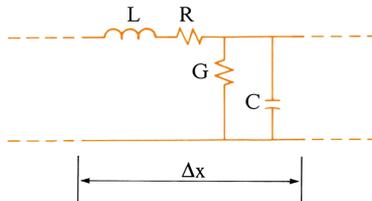
Eingangsimpedanz einer verlustbehafteten Übertragungsleitung



Dieses Programm berechnet die Eingangsimpedanz einer verlustbehafteten Übertragungsleitung, die mit Z_L abgeschlossen ist. Das Programm liefert eine exakte Lösung, wenn die Parameter $R_0 (=L/C)$, R und G gegeben sind. Sind dagegen R_0 , der Kupferverlust und der Verlust im Dielektrikum gegeben, ergibt sich das Resultat als Näherungslösung.



Ersatzschaltung



Das Ersatzschaltbild der Übertragungsleitung besteht aus den Elementen L , C , R und G . Die folgenden Gleichungen können daraus abgeleitet werden:

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$r = \frac{R}{L} = \frac{vR}{R_0}$$

$$g = \frac{G}{C} = v R_0 G$$

$$\omega = 2\pi f$$

wobei:

L = Induktivität pro Längeneinheit

C = Kapazität pro Längeneinheit

R = Widerstand pro Längeneinheit

G = Leitwert pro Längeneinheit

$v = 3 \times 10^8 v_r$

v_r = Phasengeschwindigkeit

f = Frequenz in Hz

Dann gilt:

$$Z_{\text{in}} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L e^{-2\gamma l}}{1 - \Gamma_L e^{-2\gamma l}}$$

wobei

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

l = Leitungslänge

Z_L = Abschluß-Impedanz

Z_0 = charakteristische Impedanz (Wellenwiderstand) der Leitung

γ = Fortpflanzungskonstante

Z_0 und γ werden in Abhängigkeit von der Lösungsart unterschiedlich berechnet.

Die genaue Lösung lautet:

$$Z_0 = \text{Re}\{Z_0\} + j \text{Im}\{Z_0\}$$

$$\text{Re}\{Z_0\} = \frac{R_0}{\sqrt{2(g^2 + \omega^2)}} \left[rg + \omega^2 + \sqrt{(r^2 + \omega^2)(g^2 + \omega^2)} \right]^{1/2}$$

$$\text{Im}\{Z_0\} = \frac{\pm R_0}{\sqrt{2(g^2 + \omega^2)}} \left[-(rg + \omega^2) + \sqrt{(r^2 + \omega^2)(g^2 + \omega^2)} \right]^{1/2}$$

wobei das positive Vorzeichen für $g > r$ und das negative Vorzeichen für $g < r$ gilt

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

und

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2} v} \left[rg - \omega^2 + \sqrt{(r^2 + \omega^2)(g^2 + \omega^2)} \right]^{1/2}$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2} v} \left[\omega^2 - rg + \sqrt{(r^2 + \omega^2)(g^2 + \omega^2)} \right]^{1/2}$$

Für die Näherungslösung gilt:

$$\operatorname{Re}\{Z_0\} = R_0 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_C - \alpha_D}{\beta_0} \right) \left(\frac{3\alpha_D + \alpha_C}{\beta_0} \right) \right]$$

$$\operatorname{Im}\{Z_0\} = R_0 \left[\frac{\alpha_D - \alpha_C}{\beta_0} \right]$$

$$\alpha = \alpha_C + \alpha_D$$

$$\beta = \beta_0 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_C - \alpha_D}{\beta_0} \right)^2 \right]$$

wobei

$$\alpha_C = \text{Kupferverlust, Neper/Längeneinheit} = \frac{1}{2} \frac{R}{R_0}$$

$$\alpha_D = \text{Verlust im Dielektrikum, Neper/Längeneinheit} = \frac{1}{2} \text{ GR}$$

$$\beta_0 = \frac{\omega}{v}$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Eingabedaten (falls R und G gegeben sind)		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Frequenz	f, Hz	<input type="text"/> f <input type="text"/> a	
	Phasengeschwindigkeit	v_r	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Wellenwiderstand der verlustlosen Leitung	R_0, Ω	<input type="text"/> A <input type="text"/>	
	Länge der Leitung	l, cm	<input type="text"/> B <input type="text"/>	
	Leitungswiderstand/Längeneinheit	R, Ω/cm	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Leitwert/Längeneinheit des Substrates	G, S/cm	<input type="text"/> C <input type="text"/>	
	Winkel der Abschluß-Impedanz	$\angle Z_L, \text{deg}$	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Betrag der Abschluß-Impedanz	$ Z_L , \Omega$	<input type="text"/> E <input type="text"/>	θ_{in}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	Z_{in}
3	Eingabedaten (falls α_C und α_D gegeben sind)		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Frequenz	f, Hz	<input type="text"/> f <input type="text"/> a	
	Phasengeschwindigkeit	v_r	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Wellenwiderstand der verlustlosen Leitung	R_0, Ω	<input type="text"/> A <input type="text"/>	
	Länge der Leitung	l, cm	<input type="text"/> B <input type="text"/>	
	Kupferverlust/Längeneinheit	$\alpha_C, \Omega/\text{cm}$	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Verlust im Dielektrikum/Längeneinheit	$\alpha_D, \Omega/\text{cm}$	<input type="text"/> D <input type="text"/>	
	Winkel der Abschluß-Impedanz	$\angle Z_L, \text{deg}$	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Betrag der Abschluß-Impedanz	$ Z_L , \Omega$	<input type="text"/> E <input type="text"/>	θ_{in}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	Z_{in}

Beispiel 1:

Eine Übertragungsleitung hat die folgenden Eigenschaften:

$$R = 1,2664 \Omega/\text{cm}$$

$$G = 0,000\,041\,87 \text{ S/cm}$$

$$R_0 = 55 \Omega$$

$$v_r = 0,85$$

Wie groß ist die Eingangs-Impedanz von 3,5 cm dieser Leitung bei 2 GHz, wenn für die Abschluß-Impedanz $Z_L = 75 \angle 30^\circ$ gilt?

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

2 **EE**X 9 **f** **a** .85 **ENTER**↑ 55 **A**

3.5 **B** .00004187 **ENTER**↑ 1.2664 **C**

30 **CHS** **ENTER**↑ 75 **E** \longrightarrow **28.48 + 00***** $\angle Z_{in}$
48.01 + 00*** $|Z_{in}|$

Beispiel 2:

Ein 4 cm langer Streifenleiter aus Gold ($\rho = 2,3 \mu\Omega\text{-cm}$) von 50 mil Breite ist auf einem 50 mil Aluminium-Substrat ($\epsilon_r = 9,5$) aufgebracht. Wie groß ist die Eingangs-Impedanz der Leitung bei 124 GHz, wenn eine gleichmäßige Stromverteilung angenommen wird und die Leitung mit 75Ω abgeschlossen ist ($70,66\angle -12,22$)?

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**

Lesen Sie das Programm EEI-14 ein.

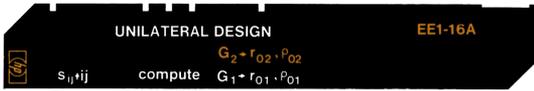
.05	ENTER	2.54	x	ENTER	+	9.5	B	391.3-03***	v_r	
								49.54+00***	Z_c	
2.3	EEX	CHS	6	D	124	EEX	6	E	\rightarrow 4.632-03***	α
								52.84-03***	R	
								62.23+00***	Q_0	

Lesen Sie jetzt das Programm EEI-15 ein.

124	EEX	6	f	a	4	B	4.632	EEX		
CHS	3	ENTER	0	D	0	ENTER	75	E	$-12.06+00***$	$\angle Z_L$
									70.06+00***	$ Z_L $

Notizen

Einseitiger Entwurf: charakteristische Entwurfs-Kennzahl, maximale einseitige Verstärkung, Verstärkungskreise



Dieses Programm berechnet u , G_u , G_{\min} , G_{\max} , G_0 , G_1 und G_2 aus den s -Parametern (Streu-Matrix) eines Transistors. Außerdem berechnet es r_{oi} und ρ_{oi} zu $g_i \leq G_{i\max}$ ($i = 1, 2$).

Beim Entwurf eines Transistorverstärkers mit Hilfe der Streu-Matrix führt die häufig zulässige Annahme, daß der Rückübertragungs-Parameter s_{12} vernachlässigt werden kann, zu vereinfachten Gleichungen. Ein Transistor, für den s_{12} vernachlässigt werden kann, wird «einseitiges Bauteil» genannt. Die charakteristische Kennzahl u kann zur Bestimmung herangezogen werden, inwieweit die Annahme einseitiger Verhältnisse vernünftig ist.

$$u = \frac{|s_{11} s_{12} s_{21} s_{22}|}{|(1 - |s_{11}|^2)(1 - |s_{22}|^2)|}$$

Der einseitige Entwurf ist um so mehr angebracht, als u nahe bei Null liegt.

Die maximale einseitige Übertrager-Leistungsverstärkung ist gegeben durch:

$$G_u = \frac{\text{Ausgangsleistung}}{\text{Quell-Leistung}}$$

$$G_u = \frac{|s_{21}|^2}{|(1 - |s_{11}|^2)(1 - |s_{22}|^2)|}$$

Der Wert u läßt sich dazu verwenden, die Grenze der tatsächlichen Übertrager-Leistungsverstärkung festzulegen:

$$G_{\min} = G_u \frac{1}{(1 + u)^2}$$

$$G_{\max} = G_u \frac{1}{(1 - u)^2}$$

Wenn die Eingangs- und Ausgangs-Impedanz konjugiert angepaßt ist (Leistungsanpassung), beträgt die Leistungsverstärkung

$$G_u = G_0 \cdot G_1 \cdot G_2$$

wobei

$$G_u = \text{Übertrager-Leistungsverstärkung} = \frac{\text{Ausgangsleistung}}{\text{Quell-Leistung}}$$

$G_0 = |s_{21}|^2 =$ Leistungsverstärkung für Eingangs- und Ausgangs-Impedanz Z_0

$G_{1\max} = \frac{1}{1 - |s_{11}|^2} =$ Verstärkungsbeitrag durch Änderung der Quell-Impedanz von Z_0 in s_{11}

$G_{2\max} = \frac{1}{1 - |s_{22}|^2} =$ Verstärkungsbeitrag durch Änderung der Abschluß-Impedanz von Z_0 in s_{22}

$s_{ij} =$ zu s_{ji} konjugiert komplexer Wert

Für andere Quell- und Abschluß-Impedanzen als s_{11} und s_{22} sind G_1 und G_2 kleiner als die oben angegebenen maximalen Werte. In einem Smith-Diagramm bilden die Ortspunkte für solche Quell- und Abschluß-Impedanzwerte, die zu G_1 bzw. G_2 (kleiner $G_{1\max}$ bzw. $G_{2\max}$) führen, Kreise. Der Mittelpunkt eines Kreises mit konstanter Verstärkung liegt in der Richtung von s_{ii} ($i = 1, 2$) im Abstand

$$r_{0i} = \frac{G_i s_{ii}}{1 + G_i |s_{ii}|^2}$$

vom Ursprung.

Der Radius des Kreises beträgt

$$\rho_{0i} = \frac{\sqrt{1 - G_i (1 - |s_{ii}|^2)}}{1 + G_i |s_{ii}|^2}$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie den Betrag der s-Parameter ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	(i=1, 2; j=1, 2)		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Betrag	S _{ij}	↑ <input type="text"/>	
	Indizes	ij	A <input type="text"/>	
3	Berechnung		B <input type="text"/>	u
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G _u
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G _{min}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G _{max}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G _o
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G _{1 max}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G _{2 max}
4	Geben Sie die gewünschte Verstärkung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	(≤G _{1 max}) ein und berechnen Sie die		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Lage* des Mittelpunktes des Verstärkungs-		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	kreises in der Eingabe-Halbebene	G ₁ , dB	C <input type="text"/>	r ₀₁
			<input type="text"/> <input type="text"/>	ρ ⁰¹
5	Geben Sie die gewünschte Verstärkung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	(≤G _{2max}) ein und berechnen Sie die		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Lage* des Mittelpunktes des Verstärkungs-		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	kreises in der Ausgangs-Halbebene	G ₂ , dB	f c <input type="text"/>	r ₀₂
			<input type="text"/> <input type="text"/>	ρ ⁰²
	* Anmerkung: Diese Punkte liegen in der		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Richtung von s ₁₁ * und im Abstand r ₀₁ vom		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Ursprung des Smith-Diagramms.		<input type="text"/> <input type="text"/>	

Beispiel 1:

Ein Transistor vom Typ HP35876E Option 100 hat bei 4 GHz die folgenden s-Parameter (Streu-Matrix):

$$s = \begin{bmatrix} .51 \angle 154 & .09 \angle 26 \\ 1.4 \angle 22 & .60 \angle -58 \end{bmatrix}$$

Berechnen Sie die charakteristische Kennzahl für den einseitigen Entwurf (u).

Wie groß ist die maximale einseitige Übertrager-Leistungsverstärkung?

Berechnen Sie den Bereich der Übertrager-Leistungsverstärkung, der dadurch bedingt ist, daß s_{12} nicht gleich Null ist.

Wie groß sind G_0 , G_{1max} und G_{2max} ?

Zeichnen Sie in der Eingangs- und Ausgangs-Halbebene Verstärkungs-
kreise für 0 dB, .5 dB und 1 dB.

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

.51 **ENTER** 11 **A** .09 **ENTER** 12 **A**

1.4 **ENTER** 21 **A** .6 **ENTER**

22 **A** **B** →

0.08***

u

6.17***

G_{max}

5.49***

$G_{actual\ min}$

6.91***

$G_{actual\ max}$

2.92***

G_0

1.31***

G_1

1.94***

G_2

0 **C** →

0.40***

r_{o1}

0.40***

ρ_{o1}

.5 **C** →

0.44***

r_{o1}

0.32***

ρ_{o1}

1 **C** →

0.48***

r_{o1}

0.20***

ρ_{o1}

0 **f** **C** →

0.44***

r_{o2}

0.44***

ρ_{o2}

.5 **f** **C** →

0.48***

r_{o2}

0.38***

ρ_{o2}

1 **f** **C** →

0.52***

r_{o2}

0.30***

ρ_{o2}

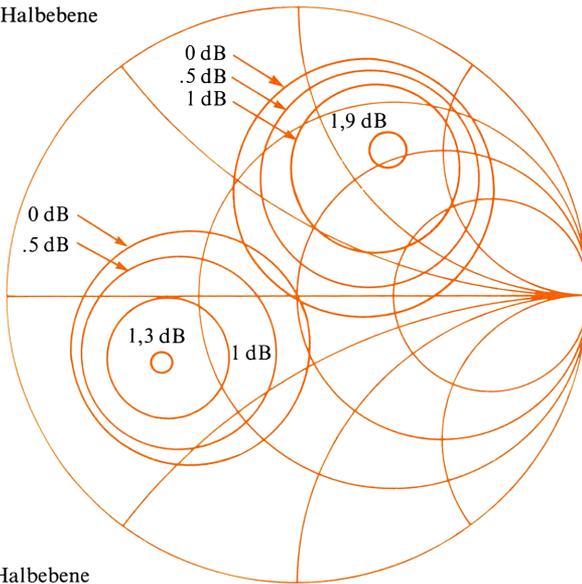
Eingangs-Halbebene

Ausgangs-Halbebene

	r_{o1}	ρ_{o1}
0 dB	.40	∠ -154 .40
.5 dB	.44	∠ -154 .32
1 dB	.48	∠ -154 .20

	r_{o2}	ρ_{o2}
	.44	∠ 58 .44
	.48	∠ 58 .38
	.52	∠ 58 .30

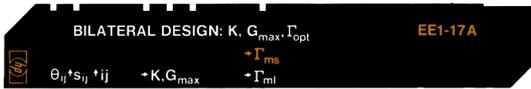
Ausgangs-Halbebene



Eingangs-Halbebene

Notizen

«Zweiseitiger» Entwurf: Stabilitätsfaktor, Maximal-Verstärkung, optimale Anpassung



Bisweilen ist s_{12} nicht ausreichend klein, um es beim Entwurf von Transistorverstärkern vernachlässigen zu können. In diesem Fall ist ein Stabilitätsfaktor K zu berechnen und in Abhängigkeit von diesem Wert eine entsprechende Richtung beim Entwurf zu verfolgen. Der Stabilitätsfaktor ist wie folgt definiert:

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2}{2|s_{21}| |s_{12}|}$$

wobei

s_{ij} die Parameter der Streu-Matrix sind

und

$$\Delta = s_{11} s_{22} - s_{21} s_{12}$$

Für $K < 1$ ist der Verstärker möglicherweise instabil und die Anpassungs-Netzwerke im Ein- und Ausgang sind sehr vorsichtig zu wählen (siehe Programm EEI-18). Für $K > 1$ ist der Verstärker unbedingt stabil; mit diesem Programm kann dann die verfügbare Maximal-Verstärkung berechnet werden sowie die Abschluß- und Quell-Reflexionskoeffizienten, die zu dieser Maximal-Verstärkung führen.

Die Maximal-Verstärkung berechnet sich nach der Beziehung

$$G_{\max} = \frac{|s_{21}|}{|s_{12}|} \left(K \pm \sqrt{K^2 - 1} \right)$$

wobei das positive Vorzeichen verwendet wird, wenn die Größe

$$b_1 = 1 + |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

negativ ist, und das negative Vorzeichen, wenn b_1 positiv ist.

Der zweite Teil des Programms berechnet nach den folgenden Formeln Quell- und Abschluß-Reflexionskoeffizient für eine konjugierte Anpassung (Leistungsanpassung).

$$\Gamma_{ms} = C_1^* \left[\frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2|C_1|^2} \right]$$

$$\Gamma_{ml} = C_2^* \left[\frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2|C_2|^2} \right]$$

wobei

$$C_1 = s_{11} - \Delta s_{22}^*$$

C_1^* = zu C_1 komplex konjugierter Wert

$$C_2 = s_{22} - \Delta s_{11}^*$$

C_2^* = zu C_2 komplex konjugierter Wert

$$B_1 = 1 + |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

$$B_2 = 1 + |s_{22}|^2 - |s_{11}|^2 - |\Delta|^2$$

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Programm einlesen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Geben Sie die s-Parameter (Streu-Matrix)		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	ein, ij=11, 12, 21, 22		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Winkel von s_{ij}	$\angle s_{ij}$	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Betrag von s_{ij}	$ s_{ij} $	<input type="text"/> ↑ <input type="text"/>	
	Indizes (Position des Parameters)	ij	<input type="text"/> A <input type="text"/>	$ s_{ij} $
3	Berechnen Sie den Stabilitätsfaktor		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	und die Maximalverstärkung		<input type="text"/> B <input type="text"/>	k
			<input type="text"/> <input type="text"/>	G_{max} , dB
4	Berechnen Sie Winkel und Betrag des		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Quell-Reflexionskoeffizienten		<input type="text"/> f <input type="text"/> c <input type="text"/>	θ_{ms}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ \Gamma_{ms} $
5	Berechnen Sie Winkel und Betrag des		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Abschluß-Reflexionskoeffizienten		<input type="text"/> C <input type="text"/>	θ_{ml}
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ \Gamma_{ml} $
	* Für $K < 1$ tritt bei dieser Berechnung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	eine Fehlermeldung auf. Verwenden Sie		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	dann Programm EEL-18.		<input type="text"/> <input type="text"/>	

Beispiel:

Verwenden Sie einen Transistor mit folgenden s-Parametern zum Entwurf eines Verstärkers mit maximalem Verstärkungsgrad.

$$s_{11} = 0,277 \angle -59^\circ$$

$$s_{12} = 0,078 \angle 93,0^\circ$$

$$s_{21} = 1,920 \angle 64^\circ$$

$$s_{22} = 0,848 \angle -31^\circ$$

Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**59 **CHS** **ENTER↑** .277 **ENTER↑** 11 **A**93 **ENTER↑** .078 **ENTER↑** 12 **A**64 **ENTER↑** 1.92 **ENTER↑** 21 **A**31 **CHS** **ENTER↑** .848 **ENTER↑**22 **A** **B** → **1.033+00*******12.81+00*******f** **c** → **135.4+00*******729.8-03*******C** → **35.85+00*******951.1-03*****

K

 G_{\max} $\angle \Gamma_{ms}$ $|\Gamma_{ms}|$ $\angle \Gamma_{ml}$ $|\Gamma_{ml}|$

Notizen

Zweiseitiger Entwurf: Verstärkung und Kreise stabilen Betriebs, Abschluß- und Quell-Diagramme (Smith)



Wenn ein Verstärker gebaut werden soll, dessen Verstärkung kleiner als die für den verwendeten Transistor maximal mögliche ist, wird ein Verstärkungskreis konstruiert. Diesem Kreis können alle möglichen Ausgangsbelastungen entnommen werden, die der gewünschten Leistungsverstärkung entsprechen. Wenn Sie einen Abschluß auf dem Verstärkungskreis auswählen, können Sie anschließend mit Hilfe des Programms den neuen erforderlichen Quell-Reflexionskoeffizienten berechnen.

Das Programm berechnet den Mittelpunkt

$$r_{02} = \left[\frac{G}{1 + D_2 G} \right] C_2^*$$

und Radius

$$\rho_{02} = \frac{(1 - 2K |s_{12} s_{21}| G + |s_{12} s_{21}|^2 G^2)^{1/2}}{1 + D_2 G}$$

wobei:

$$G = \frac{G_p}{G_0}$$

G_p = gewünschte Verstärkung

G_0 = maximale Übertrager-Verstärkung = $|s_{21}|^2$

$$C_2 = s_{22} - \Delta s_{11}^*$$

$$D_2 = |s_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

$$\Delta = s_{22} s_{11} - s_{21} s_{12}$$

Wenn ein Vierpol mit einer Belastung abgeschlossen wird, die den Reflexionskoeffizienten Γ_L hat, dann wird der Quell-Reflexionskoeffizient im Falle der Leistungsanpassung zu

$$\Gamma_{ms} = \left[s_{11} + \frac{s_{12} s_{21}}{\frac{1}{\Gamma_L} - s_{22}} \right]^*$$

Wenn umgekehrt der Quell-Reflexionskoeffizient eines Vierpols Γ_s ist, gilt für den Abschluß-Reflexionskoeffizient im Falle der Leistungsanpassung

$$\Gamma_{m1} = \left[s_{22} + \frac{s_{12} s_{21}}{\frac{1}{\Gamma_S} - s_{11}} \right]^*$$

Zu gegebenen Werten für Γ_L oder Γ_S berechnet diese Routine den entsprechenden Quell- oder Abschluß-Reflexionskoeffizienten. Ein Anwendungsbeispiel ist die Bestimmung des stabilen und unstabilen Bereichs innerhalb eines Verstärkungskreises (für stabilen Betrieb muß Γ_L so liegen, daß $|\Gamma_{ms}| < 1$ und Γ_S so liegen, daß $|\Gamma_{ml}| < 1$).

Im Falle des potentiell unstabilen Verstärkers (Stabilitätsfaktor $K < 1$) ist es erforderlich, daß solche Werte für Quell- und Abschluß-Reflexionskoeffizienten vermieden werden, die Schwingungen verursachen können. Die Grenzen zwischen stabilem und unstabilem Bereich sind Kreise in der Eingangs- und Ausgangs-Halbebene.

Die Mittelpunkte der Stabilitätskreise liegen bei :

$$r_{si} = \frac{C_i^*}{|s_{ij}|^2 - |\Delta|^2}$$

wobei :

r_{s1} = Mittelpunkt des Stabilitätskreises in der Eingangs-Halbebene

r_{s2} = Mittelpunkt des Stabilitätskreises in der Ausgangs-Halbebene

$$C_1 = s_{11} - \Delta s_{22}^*$$

$$C_2 = s_{22} - \Delta s_{11}^*$$

$$\Delta = s_{11} s_{22} - s_{21} s_{12}$$

Für die Radien der Stabilitätskreise gilt :

$$\rho_{si} = \frac{|s_{12} s_{21}|}{|s_{ij}|^2 - |\Delta|^2}$$

wobei :

ρ_{s1} = Radius des Stabilitätskreises in der Eingangs-Halbebene

ρ_{s2} = Radius des Stabilitätskreises in der Ausgangs-Halbebene

Nr.	Anweisung	Werte	Tasten	Anzeige
1	Verwenden Sie als erstes das Programm		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	EE1-17 und lesen Sie anschließend dieses		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Programm ein		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Führen Sie einen oder alle der nach-		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	folgenden Schritte in beliebiger		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Reihenfolge aus		<input type="text"/> <input type="text"/>	
3	Geben Sie die gewünschte Verstärkung		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	kleiner G_{max} ein und berechnen Sie den		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Mittelpunkt und Radius des		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Verstärkungskreises	G_p, dB	A <input type="text"/>	$\angle r$
		<input type="text"/> <input type="text"/>	$ r $	
		<input type="text"/> <input type="text"/>	ρ	
4	Geben Sie den Abschluß-		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Reflexionskoeffizienten ein und		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	berechnen Sie den neuen		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Quell- Reflexionskoeffizienten	$\angle \Gamma_L, deg$	↑ <input type="text"/>	
		$ \Gamma_L $	f <input type="text"/> b <input type="text"/>	$\angle \Gamma_{ms}$
		<input type="text"/> <input type="text"/>	$ \Gamma_{ms} $	
5	Geben Sie den Quell- Reflexions-		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	koeffizienten ein und berechnen Sie den		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	neuen Abschluß- Reflexionskoeffizienten	$\angle \Gamma_S, deg$	↑ <input type="text"/>	
		$ \Gamma_S $	B <input type="text"/>	$\angle \Gamma_{ml}$
		<input type="text"/> <input type="text"/>	$ \Gamma_{ml} $	
6	Berechnen Sie Mittelpunkt und Radius von		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Stabilitätskreisen in der Eingangs- (i=1)		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	oder Ausgangs- Halbebene (i=2)		C <input type="text"/>	$\angle r_{sii}$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	$ r_{sil} $
			<input type="text"/> <input type="text"/>	P_{si}

Beispiel 1:

Ein Transistor mit der folgenden Streu-Matrix (s-Parameter) soll für einen Verstärker mit einem Verstärkungsfaktor von 10 dB verwendet werden.

$$S = \begin{bmatrix} .277 \angle -59 & .078 \angle 93 \\ 1.92 \angle 64 & .848 \angle -31 \end{bmatrix}$$

26.5 **CHS** **ENTER**↑ .89 **ENTER**↑

22 **A** **B** → **909.5-03***** K
 Error weist auf $K < 1$ hin.

Lesen Sie das Programm EEI-18 ein.

1 **C** → **122.4+00***** $\angle r_{s1}$
-8.371+00*** $|r_{s1}|$
-9.271+00*** ρ_{s1}

2 **C** → **29.88+00***** $\angle r_{s2}$
1.178+00*** $|r_{s2}|$
192.6-03*** ρ_{s2}

Speicherlisten

Den folgenden Listen können Sie nähere Einzelheiten zu den Programmen entnehmen. Eine Zusammenstellung der hier verwendeten Symbole und Tasten-Codes finden Sie im Anhang E des HP-67 bzw. HP-97 Bedienungs-Handbuchs.

1. Übertragungsfunktion von Kettennetzwerken	94
2. Impedanzanpassung mit L-Netzwerken	98
3. Optimaler Arbeitspunkt eines Klasse A-Transistor-Verstärkers	100
4. Leistungsdaten von Transistor-Verstärkern	102
5. Umwandlung von Transistor-Grundsaltungen	104
6. Umwandlung von Vierpol-Matrizen	106
7. Fourier-Reihen	108
8. Entwurf aktiver Filter	110
9. Entwurf von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern	112
10. Bode-Plot von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern	116
11. Entwurf von ohmschen Dämpfungsgliedern	118
12. Smith-Diagramm-Umwandlung	120
13. Wellenwiderstand einer Übertragungsleitung	122
14. Berechnung von Streifenleitern	124
15. Eingangsimpedanz einer verlustbehafteten Übertragungsleitung	126
16. Einseitiger Entwurf: charakteristische Entwurfs-Kennzahl, maximale einseitige Verstärkung, Verstärkungskreise	128
17. Zweiseitiger Entwurf: Stabilitätsfaktor, Maximal-Verstärkung, optimale Anpassung	130
18. Zweiseitiger Entwurf: Verstärkung und Kreise stabilen Betriebs, Abschluß- und Quell-Diagramme (Smith)	132

Übertragungsfunktion von Kettennetzwerken

Karte 1

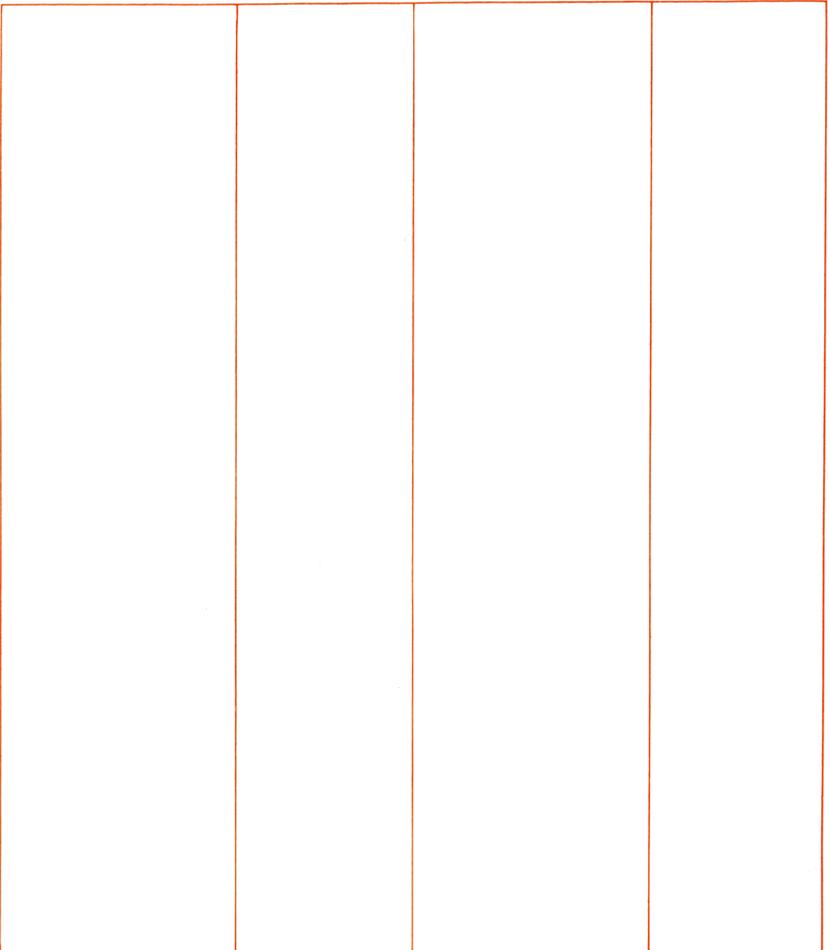
<pre> 001 #LBL6 002 CLRG 003 2 004 x 005 Fi 006 x 007 ST00 008 1 009 ST01 010 ST07 011 CLX 012 RTH 013 #LBL6 014 0 015 ST01 016 #LBLE 017 RCL0 018 x 019 9 020 0 021 ST01 022 #LBLD 023 RCL0 024 x 025 1/X 026 9 027 0 028 CHS 029 ST01 030 #LBLE 031 X=Y 032 GSB0 033 #LBL1 034 GSB7 035 RCLC 036 ST02 037 RCLB 038 ST01 039 RCLE 040 ST04 041 RCLD 042 ST03 043 CLX 044 RTH 045 #LBL6 046 0 047 ST02 048 #LBLE 049 RCL0 050 x 051 9 052 0 053 ST02 054 #LBLd 055 RCL0 056 x </pre>	<p>f eingeben</p> <p>ω speichern</p> $q = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$ <p>R $\angle 0$ nach LBL 1</p> <p>$\omega L \angle 90$ nach LBL 1</p> <p>$(\omega C)^{-1} \angle -90$ nach LBL 1</p> <p>$\frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC} \angle 90$ nach LBL 1</p> $[q] \leftarrow \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} [q]$ <p>R $\angle 0$ nach LBL 2</p> <p>$\omega L \angle 90$ nach LBL 2</p>	<pre> 057 1/X 058 9 059 0 060 CHS 061 ST02 062 #LBLE 063 GSB0 064 CHS 065 X=Y 066 1/X 067 X=Y 068 #LBL2 069 GSB7 070 RCLC 071 RCLB 072 RCL9 073 1/X 074 RCLA 075 CHS 076 GSB9 077 ST05 078 RJ 079 ST06 080 RCL6 081 RCLD 082 RCL9 083 1/X 084 RCLA 085 CHS 086 GSB9 087 ST07 088 RJ 089 ST08 090 CLX 091 RTH 092 #LBL7 093 ST0A 094 X=Y 095 ST09 096 RCL5 097 RCL6 098 GSB9 099 RCL2 100 RCL1 101 GSB8 102 ST0B 103 RJ 104 ST0C 105 RCLA 106 RCL9 107 RCL7 108 RCL8 109 GSB9 110 RCL4 111 RCL3 112 GSB8 </pre> <p>$(\omega C)^{-1} \angle -90$ nach LBL 2</p> <p>$\frac{1 - \omega^2 LC}{\omega C} \angle -90$ nach LBL 2</p> $[q] \leftarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{z} & 1 \end{bmatrix} [q]$ <p>Eingabe: $y = Z$ $x = \angle Z$</p> <p>$q_{11} + Z q_{21}$ berechnen und speichern</p> <p>$q_{12} + Z q_{22}$ berechnen und speichern</p>							
REGISTERS									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\angle Z$	$ q_{11} $	$\angle q_{11}$	$ q_{12} $	$\angle q_{12}$	$ q_{21} $	$\angle q_{21}$	$ q_{22} $	$\angle q_{22}$	$ Z $
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
$\angle Z$	$ q_{11neu} $	$\angle q_{11neu}$	$ q_{12neu} $	$\angle q_{12neu}$	$ q_{21neu} $	$\angle q_{21neu}$	$ q_{22neu} $	$\angle q_{22neu}$	$ Zneu $

<pre> 113 ST0D 114 R↓ 115 STO E 116 RTN 117 *LBL 8 118 →R 119 R↓ 120 R↓ 121 →R 122 X↔Y 123 R↓ 124 + 125 R↓ 126 + 127 R↑ 128 →P 129 RTN 130 *LBL 9 131 R↓ 132 × 133 R↓ 134 + 135 R↑ 136 RTN 137 *LBL 0 138 x 139 LSTX 140 RCL 0 141 x 142 X↔Y 143 LSTX 144 X² 145 x 146 1 147 - 148 CHS 149 ÷ 150 9 151 0 152 RTN 153 R/S </pre>	<p>-----</p> <p>Unterprogramm zur Addition komplexer Zahlen</p> <p>-----</p> <p>Unterprogramm zur Multiplikation komplexer Zahlen</p> <p>-----</p> <p>Eingabe: y = b x = a</p> <p>-----</p> <p>Ausgabe: $y = \frac{\omega a}{1 - \omega^2 a b}$ x = 90</p> <p>-----</p>		
---	--	--	--

LABELS					FLAGS	SET STATUS			
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	DISP
a	b	c	d	e	1	ON	OFF	DEG <input checked="" type="checkbox"/>	FIX <input checked="" type="checkbox"/>
0 belegt	1 belegt	2 belegt	3	4	2	1 <input checked="" type="checkbox"/>	0 <input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
5	6	7 belegt	8 ADD.	9 MULT.	3	2 <input type="checkbox"/>	1 <input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input checked="" type="checkbox"/>
						3 <input type="checkbox"/>	2 <input checked="" type="checkbox"/>		n <u>3</u>

Karte 2

001	*LBLA	Z _L eingeben	057	RCL2					
002	ST09		058	RCL1					
003	X=Z		059	RCL4					
004	ST0A		060	RCL3					
005	CLX		061	GSB6					
006	R/S		062	RCLA					
007	*LBLB	Z _{in} berechnen	063	RCL9					
008	GSB4		064	R†					
009	RCLB		065	CHS					
010	1/X		066	R†					
011	RCLI		067	1/X					
012	CHS		068	X=Z					
013	GSB9		069	GSB9					
014	GT05		070	XZ					
015	*LBLE	V ₂ /V ₁ berechnen	071	RCLC					
016	RCL2		072	X					
017	RCL1		073	F0?					
018	RCL4		074	PRTX					
019	RCL3		075	RTN					
020	GSB6		076	*LBL5	GTO LBL 0, falls				
021	RCLA		077	F0?	Flag 0 gesetzt -				
022	RCL9		078	GT00	andernfalls				
023	R†		079	*LBL1	abwechselnd y und x				
024	CHS		080	X=Z	anzeigen				
025	R†		081	R/S					
026	1/X		082	GT01					
027	X=Z		083	*LBL0	y und x ausgeben				
028	GSB9		084	X=Z					
029	GT05		085	PRTX					
030	*LBLD	I ₂ /I ₁ berechnen	086	X=Z					
031	RCL6		087	PRTX					
032	RCL5		088	RTN					
033	RCL8		089	*LBL4	Z _L u ₂₁ + u ₂₂				
034	RCL7		090	RCL6	berechnen und				
035	GSB6		091	RCL5	speichern				
036	1/X		092	RCL8					
037	X=Z		093	RCL7					
038	CHS		094	GSB6					
039	X=Z		095	ST0B					
040	CHS		096	R†					
041	GT05		097	ST01	Z _L u ₁₁ + u ₁₂				
042	*LBLE	P ₂ /P ₁ berechnen	098	RCL2	berechnen				
043	GSB4		099	RCL1					
044	RCLB		100	RCL4					
045	1/X		101	RCL3					
046	RCLI		102	*LBL6					
047	CHS		103	ST0E					
048	GSB9		104	R†					
049	+R		105	ST0D	Eingabe: $\angle A$				
050	RCLA		106	R†	A				
051	RCL9		107	RCL9	$\angle B$				
052	+R		108	RCLA	B				
053	X=Z		109	GSB9					
054	R†		110	RCLD	Ausgabe: $\angle Z_L A + B$				
055	=		111	RCLE	$\angle Z_L A + B$				
056	ST0C		112	GSB8					
REGISTERS									
0	1 u ₁₁	2 $\angle u_{11}$	3 u ₁₂	4 $\angle u_{12}$	5 u ₂₁	6 $\angle u_{21}$	7 u ₂₂	8 $\angle u_{22}$	9 Z _L
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	$\angle Z_L$	B	Nenner	C	belegt	D	$\angle B$	E	B
								I	$\angle Nenner$



LABELS					FLAGS	SET STATUS								
A	$X_L \uparrow R_L$	B	$X_S \uparrow R_S$		E	0	<table border="1"> <tr> <th>FLAGS</th> <th>TRIG</th> <th>DISP</th> </tr> <tr> <td>ON OFF</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		FLAGS	TRIG	DISP	ON OFF		
FLAGS	TRIG	DISP												
ON OFF														
a	b	c	d	e	1	0	<input checked="" type="checkbox"/> DEG	<input checked="" type="checkbox"/> FIX						
0	1	2	3	4	2	1	<input type="checkbox"/> GRAD	<input type="checkbox"/> SCI						
5	Anzeige	7	8	9	3	2	<input type="checkbox"/> RAD	<input type="checkbox"/> ENG						
						3	<input type="checkbox"/> ON	n <u>2</u>						

Optimaler Arbeitspunkt eines Klasse A-Transistor-Verstärkers

<pre> 001 #LBLA 002 RCL9 003 P=S 004 ST09 005 P=S 006 RCL4 007 2 008 5 009 - 010 RCL5 011 ÷ 012 ST05 013 RCL0 014 *# 015 x 016 RCL4 017 RCL2 018 - 019 4 020 . 021 4 022 x 023 ÷ 024 ST0C 025 . 026 1 027 x 028 ST0B 029 #LBL0 030 RCL0 031 2 032 ÷ 033 ENT1 034 ENT1 035 RCLC 036 RCLD 037 + 038 ÷ 039 ST01 040 RCL5 041 x 042 x 043 RCL2 044 + 045 RCL4 046 *#Y 047 *#Y? 048 GT01 049 GSB3 050 CHS 051 RCL1 052 1 053 + 054 GSB4 055 RCL8 056 + </pre>	<p>V_{BE}max → Sekundär-Register</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>θ_{JA} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>R_L berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>R_E berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>Beginn der Iterationsschleife</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>I_{ca} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>T_{max} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>Falls T_{max} > T_{Jmax}, dann R_L vergrößern; andernfalls V_{BEX} berechnen</p>	<pre> 057 ST0E 058 1 059 RCL1 060 *#2 061 - 062 2 063 ÷ 064 RCL1 065 x 066 RCL5 067 x 068 RCL0 069 x 070 RCL3 071 + 072 GSB3 073 CHS 074 1 075 RCL1 076 - 077 GSB4 078 P=S 079 RCL9 080 + 081 P=S 082 ST09 083 RCLC 084 *#Y? 085 GT02 086 - 087 RCL1 088 ÷ 089 RCL1 090 ÷ 091 RCLD 092 *#Y 093 ST0C 094 *#CH 095 . 096 5 097 *#Y? 098 GT08 099 F1? 100 GT01 101 SF1 102 GT08 103 #LBL1 104 CF1 105 R/S 106 ST0E 107 *#Y 108 ST0A 109 RCL1 110 2 111 x 112 RCL1 </pre>	<p>T_{min} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>V_{BEN} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>Falls V_{BEX} > V_{BEN}, dann R_E = 0 setzen und R_L vergrößern; andernfalls neuen Wert für R_E berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>Falls $\Delta R_F \geq 0,5\%$, dann Schleife wiederholen Wenn Flag 1 gesetzt, dann Aufgabe beenden; andernfalls erneuter Schleifendurchlauf für Ausgabe</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>Stop zur Eingabe der h_{FE}-Werte</p> <hr style="border-top: 1px dashed #000;"/> <p>h_{FE}min speichern h_{FE}max speichern</p>						
REGISTERS									
0 VCC	1 ΔI_{ca}	2 T _{Amax} , R _B	3 T _{Amin} , V _{BE}	4 T _{Jmax}	5 P _D , θ_{JA}	6 I ₁	7 ΔV_{BE}	8 V _{BE} min	9 V _{BEN}
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9 V _{BE} max
A h _{FE} max	B h _{FE} min	C R _L n	D R _E n	E V _{BEX}	I I _{ca}				

Leistungsdaten von Transistor-Verstärkern

001 *LBLA 002 2 003 x 004 2 005 1 006 - 007 ST01 008 R4 009 ST01 010 ISZ1 011 R4 012 ST01 013 RTN 014 *LBLB 015 ST07 016 X=Y 017 ST08 018 RTN 019 *LBLb 020 ST05 021 X=Y 022 ST05 023 RTN 024 *LBLc 025 GSB7 026 X=Y 027 GSB5 028 X=Y 029 GSB5 030 SPC 031 RTN 032 *LBLC 033 CF1 034 GSBc 035 SF1 036 1/X 037 X=Y 038 CHS 039 X=Y 040 RCL7 041 RCL8 042 GSB9 043 RCL9 044 RCLA 045 GSB9 046 X=Y 047 GSB5 048 X=Y 049 GSB5 050 SPC 051 RTN 052 *LBLc 053 GSB7 054 RCL7 055 RCL8 056 GSB9	Adresse berechnen h _{ij} speichern θ _{ij} speichern ----- R _L speichern θ _L speichern ----- R _S speichern θ _S speichern ----- A _i berechnen A _V berechnen Z _{in} (ohne Ausgabe) berechnen ----- Z _{out} berechnen ----- Z _{in} berechnen	057 RCL3 058 RCL4 059 GSB9 060 RCL2 061 RCL1 062 GSB8 063 ST08 064 X=Y 065 ST01 066 F1? 067 GSB5 068 X=Y 069 F1? 070 GSB5 071 F1? 072 SPC 073 RTN 074 *LBLD 075 CF1 076 GSBc 077 SF1 078 RCL6 079 RCL5 080 GSB8 081 1/X 082 X=Y 083 CHS 084 X=Y 085 RCL9 086 RCLA 087 GSB9 088 RCL7 089 RCL8 090 GSB9 091 X=Y 092 GSB5 093 X=Y 094 GSB5 095 SPC 096 RTN 097 *LBLc 098 RCL2 099 RCL1 100 RCL6 101 RCL5 102 GSB8 103 1/X 104 X=Y 105 CHS 106 X=Y 107 RCLB 108 RCLC 109 GSB9 110 RCL3 111 RCL4 112 GSB9	Falls Flag 1 gesetzt, dann Druck/Anzeige Falls Flag 1 gesetzt, dann Druck/Anzeige ----- A _{Vs} berechnen Z _{in} (ohne Ausgabe) berechnen ----- Z _{out} berechnen
--	--	---	--

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Z _{in}	h ₁₁ = h _i	θ ₁₁	h ₁₂ = h _r	θ ₁₂	R _S	θ _S	R _L	θ _L	A _i	
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
A ∠ A _i		B h ₂₁ = h _f		C θ ₂₁		D h ₂₂ = h _o		E θ ₂₂		I ∠ Z _{in}

113	CHS			169	R↓	Routine für komplexe Multiplication
114	RCLC			170	×	
115	RCLD			171	R↓	
116	GSBB			172	+	
117	1/X			173	R↑	
118	X↔Y			174	RTN	
119	CHS			175	R↔S	
120	GSBE					
121	X↔Y					
122	GSBE					
123	SPC					
124	RTN					
125	#LBL5					
126	F0?	Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige				
127	PRTY	Wenn Flag 0 gesetzt, dann Rücksprung; andernfalls Anzeige				
128	F0?					
129	RTN					
130	R↔S					
131	RTN					
132	#LBL7					
133	RCLC	Unterprogramm zur Berechnung von A _j				
134	RCLD					
135	RCL7					
136	RCL8					
137	GSBB					
138	0					
139	ENT↑					
140	1					
141	GSBB					
142	1/X					
143	X↔Y					
144	CHS					
145	X↔Y					
146	RCLB					
147	CHS					
148	RCLC					
149	GSBB					
150	STO9					
151	X↔Y					
152	STO0					
153	X↔Y					
154	RTN					
155	#LBL9					
156	→F	Routine für komplexe Addition				
157	R↓					
158	R↓					
159	→F					
160	X↔Y					
161	R↓					
162	+					
163	R↓					
164	+					
165	R↑					
166	→F					
167	RTN					
168	#LBL9					

LABELS					FLAGS	SET STATUS									
A	θ _j ↑h _j t _j	B	θ _L ↑RL	C	→A _v	D	→A _{vS}	E	→Z _{out}	F	Druck/Anz.	ON OFF	TRIG	DISP	
a		b	θ _S ↑R _S	c	→A _j	d		e	→Z _{in}	f	Druck/Anz.	0	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	DEG <input checked="" type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
0		1		2		3		4		2		1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
5	Anzeige	6		7	A _j	8	ADD.	9	MULT.	3		2	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input checked="" type="checkbox"/>
												3	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		n_3

Umwandlung von Transistor-Grundsaltungen

<p>001 *LBL4 002 2 003 x 004 2 005 1 006 - 007 ST01 008 R4 009 ST01 010 ISZ1 011 R4 012 ST01 013 RTN 014 *LBL3 015 GSB0 016 *LBL3 017 RCL1 018 RCLD 019 ST01 020 RJ 021 STOD 022 RCL3 023 RCLB 024 ST03 025 R4 026 ST0E 027 RCL2 028 RCLC 029 ST02 030 R4 031 ST0E 032 RCL4 033 RCLC 034 ST04 035 R4 036 ST0C 037 GSB7 038 RTN 039 *LBL6 040 *LBL6 041 GSB0 042 GSB7 043 RTN 044 *LBL0 045 GSB7 046 RCLC 047 RCLB 048 RCLC 049 RCLD 050 GSB8 051 CMS 052 ST0B 053 R4 054 ST0C 055 RCL4 056 RCL3</p>	<p>Registeradresse berechnen</p> <p>h_{ij} speichern</p> <p>θ_{ij} speichern</p> <p>CC→CB Neue Y-Matrix berechnen</p> <p>Routine zur Umwandlung von</p> $\begin{bmatrix} a_{22} & a_{21} \\ a_{12} & a_{11} \end{bmatrix}$ <p>in</p> $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ <p>und dann in</p> $\frac{1}{a_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -a_{12} \\ a_{21} & \det a \end{bmatrix}$ <p>CB→CE CE→CB Neue y-Matrix berechnen [y]→[h] [h]→[y]'</p> <p>Y₂₁' = -(y₂₁ + y₂₂)</p>	<p>057 RCLC 058 RCLD 059 GSB8 060 CMS 061 ST03 062 X=Y 063 ST04 064 X=Y 065 RCLC 066 RCLB 067 GSB8 068 RCLC 069 RCLD 070 GSB8 071 CMS 072 RCL2 073 RCL1 074 GSB8 075 ST01 076 R4 077 ST02 078 RTN 079 *LBL4 080 *LBLD 081 GSB0 082 GSB7 083 RTN 084 *LBLc 085 GSB0 086 CT03 087 *LBL0 088 GSB7 089 RCL2 090 RCL1 091 RCL4 092 RCL3 093 GSB8 094 CMS 095 ST03 096 R4 097 ST04 098 RCL2 099 RCL1 100 RCLC 101 RCLB 102 GSB8 103 CMS 104 ST0E 105 X=Y 106 ST0C 107 X=Y 108 RCL4 109 RCL3 110 GSB8 111 RCL2 112 RCL1</p>	<p>Y₁₂' = -(Y₁₂ + Y₂₂)</p> <p>-----</p> <p>Y₁₁' = -y₂₂ + (y₂₁' + y₁₂') + y₁₁ = y₁₁ + y₁₂ + y₂₁ + y₂₂</p> <p>-----</p> <p>CE→CC CC→CE Neue y-Matrix berechnen [y]→[h] CB→CC Umwandlung</p> <p>-----</p> <p>[h]→[y]'</p> <p>Y₁₂' = -(y₁₁ + y₁₂)</p> <p>-----</p> <p>Y₂₁' = -(y₁₁ + y₂₁)</p> <p>-----</p> <p>Y₂₂' = y₁₁ + y₁₂ + y₂₁ + y₂₂</p>						
REGISTERS									
0	1 h ₁₁	2 θ ₁₁	3 h ₁₂	4 θ ₁₂	5	6 Δ	7 ∠ Δ	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B h ₂₁	C θ ₂₁	D h ₂₂	E θ ₂₂	F	G	H	I	J

113	GSB8			169	ST0D		
114	CHS			170	R↓		
115	RCL5			171	ST0E		
116	RCLD			172	RTN		
117	GSB8			173	*LBL8		
118	ST0D			174	→R		
119	R↓			175	R↓		
120	ST0E			176	R↓		
121	RTN			177	→R		
122	*LBL7			178	↔Y		
123	RCL2			179	R↓		
124	RCL1			180	+		
125	RCLD			181	R↓		
126	RCL5			182	+		
127	GSB9			183	R↑		
128	ST06			184	→P		
129	R↓			185	RTN		
130	ST07			186	*LBL9		
131	RCL4			187	R↓		
132	RCL3			188	x		
133	RCLB			189	R↓		
134	RCLC			190	+		
135	GSB9			191	R↑		
136	CHS			192	→R		
137	RCL7			193	→P		
138	RCL6			194	RTN		
139	GSB8			195	*LBL5		
140	ST06			196	RCL2		
141	R↓			197	GSB5		
142	ST07			198	RCL1		
143	RCL2			199	GSB5		
144	CHS			200	RCL4		
145	ST02			201	GSB5		
146	RCL1			202	RCL3		
147	1/X			203	GSB5		
148	ST01			204	RCLC		
149	RCL3			205	GSB5		
150	CHS			206	RCLB		
151	RCL4			207	GSB5		
152	GSB9			208	RCL5		
153	ST03			209	GSB5		
154	R↓			210	RCLB		
155	ST04			211	*LBL5		
156	RCL2			212	F0°		
157	RCL1			213	PRTX		
158	RCLB			214	F0°		
159	RCLC			215	RTN		
160	GSB9			216	R/S		
161	ST0B			217	RTN		
162	R↓			218	R/S		
163	ST0C						
164	RCL2						
165	RCL1						
166	RCL6						
167	RCL7						
168	GSB9						

Routine zur Umwandlung von							
$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$							
$\frac{1}{a_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -a_{12} \\ a_{21} & \det a \end{bmatrix}$							
det a berechnen							
$a_{11} \leftarrow \frac{1}{a_{11}}$							
$a_{12} \leftarrow \frac{-a_{12}}{a_{11}}$							
$a_{21} \leftarrow \frac{a_{21}}{a_{11}}$							
$a_{22} \leftarrow \frac{\det a}{a_{11}}$							

LABELS					FLAGS	SET STATUS			
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	DISP
$\theta_{ij} \uparrow h_{ij} \uparrow j$	CB←CE	CB←CC	CE←CC	[h] ausgeben	Druck/Anz	ON	OFF		
a	CB→CE	CB→CC	CE→CC	e	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEG <input checked="" type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
$[h] \rightarrow [y]$	1	2	3	4	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
Anzeige	6	7	[h] z=[y]	8	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input checked="" type="checkbox"/>
			ADD.	MULT.		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		n—3—

Routine für komplexe Addition

Routine für komplexe Multiplikation

[h] ausgeben

Falls Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige
Falls Flag 0 gesetzt, dann Rücksprung; andernfalls Anzeige

Umwandlung von Vierpol-Matrizen

<p>001 *LBL0 002 GSB0 003 R4 004 ST01 005 ISZ1 006 R4 007 ST01 008 RTN 009 *LBLA 010 GSB0 011 RCL1 012 ISZ1 013 RCL1 014 GSB5 015 X/Y 016 *LBL5 017 FB0 018 PRN 019 FB0 020 RTN 021 R-0 022 RTN 023 *LBL0 024 2 025 x 026 2 027 1 028 - 029 ST01 030 RTN 031 *LBL6 032 ST00 033 GSB1 034 GT06 035 *LBL6 036 ST00 037 GSB6 038 RCL0 039 1/X 040 *LBL1 041 GSB3 042 GSB4 043 RTN 044 *LBL0 045 ST00 046 1/X 047 GSB1 048 GSB6 049 1 050 CHS 051 GT01 052 *LBL0 053 ST00 054 1 055 CHS 056 GSB1</p>	<p>Eingabedaten speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Ergebnisse anzeigen</p> <p>$ij \rightarrow \theta_{ij}, M_{ij}$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Ausgabe-Routine Falls Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; andernfalls Anzeige</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Berechnung der Registeradresse</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$Y \rightarrow S$</p> <p>$[T] = Z_0 [Y]$ [T] berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$S \rightarrow Y$ [T] = [S] [T] berechnen $\xi = 1/Z_0 \cdot [Y] = [T]/Z_0$</p> <p>$[T] \leftarrow \begin{bmatrix} \xi & 0 \\ 0 & \xi \end{bmatrix} [T]$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$Z \rightarrow S$ $\xi = 1/Z_0$ [T] = [S]/Z₀ [T] berechnen $\xi = -1$ [S] = -[T]</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$S \rightarrow Z$</p> <p>$\xi = -1$ [T] = -[S]</p>	<p>057 GSB6 058 RCL0 059 GT01 060 *LBL4 061 ST00 062 STX1 063 1/X 064 RCL0 065 x 066 ST00 067 GSB6 068 1 069 CHS 070 *LBL4 071 RCLB 072 X/Y 073 x 074 ST00 075 LSTX 076 RCLD 077 x 078 ST00 079 RTN 080 *LBLD 081 ST00 082 1 083 CHS 084 GSB4 085 GSB6 086 RCL0 087 ST+1 088 RCLD 089 x 090 ST00 091 RTN 092 *LBL6 093 ST00 094 ST+1 095 RCLD 096 x 097 ST00 098 GSB6 099 1 100 CHS 101 *LBL3 102 STX1 103 STX3 104 RTN 105 *LBL6 106 ST00 107 1 108 CHS 109 GSB3 110 GSB6 111 RCL0 112 STX1</p>	<p>$\xi = Z_0$ [Z] = Z₀ [T]</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$G \rightarrow S$</p> <p>$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} [S]$</p> <p>[T] berechnen $\xi = -1$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$[T] \leftarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \xi \end{bmatrix} [T]$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$S \rightarrow G$ $\xi = -1$</p> <p>$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} S$</p> <p>[T] berechnen</p> <p>$G = \begin{bmatrix} t_{11}' & \\ Z_0 & t_{12}' \\ t_{21}' & Z_0 t_{22}' \end{bmatrix}$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$H \rightarrow S$</p> <p>$[T] = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ Z_0 & \\ h_{21} & h_{22} Z_0 \end{bmatrix} [H]$</p> <p>[T] berechnen $\xi = -1$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$[T] \leftarrow \begin{bmatrix} \xi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} [T]$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$S \rightarrow H$ $\xi = -1$</p> <p>$T = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} S$</p> <p>[T] berechnen</p>						
REGISTERS									
0 Z ₀	1 M ₁₁ , T ₁₁ '	2 θ ₁₁ , ∠T ₁₁ '	3 M ₁₂ , T ₁₂ '	4 θ ₁₂ , ∠T ₁₂ '	5 2/D	6 ∠2/D	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B M ₂₁ , T ₂₁ '	C θ ₂₁ , ∠T ₂₁ '	D M ₂₂ , T ₂₂ '	E θ ₂₂ , ∠T ₂₂ '	I Index				

Fourier-Reihen

001	*LBL a	START	057	9	andernfalls
002	CLRC		058	1/X	0.111 anzeigen
003	P=S		059	RTN	
004	CLRC		060	*LBL 0	Neues k anzeigen
005	RAD		061	R/S	
006	RTN		062	GTOC	Ausgabe polar
007	*LBL a	N+ # freqs	063	*LBL d	
008	2		064	SF1	
009	x		065	RCLB	
010	STOB		066	STOI	
011	X=Y		067	GTO2	
012	STOE		068	*LBL D	Ausgabe rechtwinklig
013	RTN		069	CF1	
014	*LBL B	J speichern	070	RCLB	
015	STOD		071	STOI	
016	1	k vorbesetzen	072	*LBL 2	
017	STOB		073	RCL1	Beginn der Schleife 2
018	RTN		074	RCLB	
019	*LBL C		075	-	
020	STOC	y _k speichern	076	2	
021	RCLB	Indexregister	077	CHS	
022	STOI	vorbesetzen	078	÷	
023	*LBL 1	Beginn der Schleife	079	RCLD	
024	CLY		080	+	
025	RCL 0		081	FIX	
026	RCL 1		082	DSP0	
027	RCLB		083	GSB5	
028	-		084	DSP3	
029	2		085	RCL i	
030	CHS		086	DSZ1	
031	÷		087	RCL i	Wenn Ausgabe polar,
032	RCLD		088	FI?	dann GO TO LBL 3
033	+		089	GTO3	
034	RCLB		090	2	andernfalls
035	÷		091	RCLB	Vorbereitung für
036	x		092	÷	rechtwinklige
037	2		093	x	Ausgabe
038	x		094	X=Y	
039	Pi		095	LSTX	
040	x		096	x	
041	X=Y		097	*LBL 4	
042	→F		098	X=Y	
043	ST+ i		099	GSB5	
044	X=Y		100	R/	
045	DSZ1		101	GSB5	
046	ST+ i		102	F0?	
047	RCLC		103	SPC	
048	ENT+		104	DSZ1	Wenn Index ≠ 0,
049	DSZ1	Wenn Index ≠ 0,	105	GTO2	dann Schleife 2
050	STOI	wiederholen;	106	RTN	wiederholen
051	1	andernfalls k erhöhen	107	*LBL 3	
052	ST+ 0		108	X=Y	(a, b) in (c, θ)
053	RCLB		109	→P	umwandeln
054	RCL 0		110	2	
055	X=Y?	Wenn k ≤ N	111	RCLB	
056	GTO0	dann GO TO LBL 0	112	÷	

REGISTERS																			
0	k, t	1	b	2	a	3	b	4	a	5	b	6	a	7	b	8	a	9	b
S0	a	S1	b	S2	a	S3	b	S4	a	S5	b	S6	a	S7	b	S8	a	S9	b
A	a		B	2 × #freqs		C	y _k		D	J		E	N		I	pointer			

Entwurf aktiver Filter

001 #LBL ₀		057 RTN	
002 ST00	f_0 speichern	058 #LBL0	Hochpaß
003 RTN	-----	059 RCL3	C ₁ anzeigen
004 #LBLA	A speichern	060 GSB5	
005 ST01	-----	061 RCL0	
006 RTN		062 x	
007 #LBLk	α speichern	063 x 2	
008 ST02	-----	064 x	
009 RTN		065 Pi	
010 #LBLB	C speichern	066 x	
011 ST03	-----	067 ST04	
012 RTN	Tiefpaß	068 RCL2	
013 #LBLC		069 X ² Y	
014 RCL2		070 ÷	
015 2		071 ÷ 2	
016 ÷		072 RCL1	
017 RCL1		073 1/X	
018 ÷		074 +	
019 2		075 ÷	
020 Pi		076 GSB5	R ₂ anzeigen
021 x		077 RCL3	
022 RCL0		078 GSB5	C ₃ anzeigen
023 x		079 RCL1	
024 RCL3		080 ÷	
025 x		081 GSB5	C ₄ anzeigen
026 ST04		082 RCL1	
027 ÷		083 2	
028 ST05		084 x	
029 GSB5	R ₁ anzeigen	085 1	
030 RCL3		086 +	
031 4		087 RCL2	
032 x		088 ÷	
033 RCL1		089 RCL4	
034 1		090 ÷	
035 +		091 GSB5	R ₅ anzeigen
036 x		092 RTN	
037 RCL2		093 #LBLB	Bandpaß
038 X ²		094 RCL3	
039 ÷		095 RCL0	
040 GSB5	C ₂ anzeigen	096 x	
041 RCL2		097 2	
042 2		098 x	
043 ÷		099 Pi	
044 RCL1		100 x	
045 1		101 ST04	
046 +		102 RCL1	
047 ÷		103 x	
048 RCL4		104 RCL2	
049 ÷		105 x	
050 GSB5	R ₃ anzeigen	106 1/X	
051 RCL1		107 GSB5	
052 RCL5		108 2	
053 x		109 RCL2	
054 GSB5	C ₄ anzeigen	110 X ²	
055 RCL3		111 ÷	
056 GSB5	C ₅ anzeigen	112 RCL1	

REGISTERS									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_0	A	α	C	$2\pi f_0 C$	R _{1LP}				
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	

<p>113 - 114 RCL4 115 x 116 RCL2 117 x 118 1/x 119 GSBS 120 RCL3 121 GSBS 122 GSBS 123 2 124 RCL2 125 ÷ 126 RCL4 127 ÷ 128 GSBS 129 RTN 130 *LBL5 131 F0? 132 PRTX 133 F0? 134 RTN 135 R/S 136 RTN 137 R/S</p>	<p>R₂ anzeigen C₃ anzeigen C₄ anzeigen R₅ anzeigen ----- Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; sonst Anzeige</p>								
LABELS					FLAGS	SET STATUS			
A	B	C	D	E	0	DRUCK/ANZ		TRIG	DISP
a	b	c	d	e	1	0	ON	DEG	FIX
0	1	2	3	4	2	1	OFF	GRAD	SCI
5	6	7	8	9	3	2	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	RAD	ENG
Anzeige						3	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		n <u> 3 </u>

113	GSB1			165	RTN				
114	*LBL0			170	R/S				
115	1/N								
116	DHS								
117	GT05		Tiefpaß						
118	*LBL1								
119	RCLA								
120	RCL7								
121	÷								
122	GT05		Bandpaß						
123	*LBL3								
124	RCLA								
125	N ²								
126	RCL7								
127	N ²								
128	-								
129	RCLA								
130	÷								
131	RCL8								
132	÷								
133	*LBL5								
134	HBS								
135	ST0C								
136	RTN								
137	*LBLd								
138	ST04		dB Ripple (Welligkeit)→ε						
139	1								
140	0								
141	÷								
142	10 ^x								
143	1								
144	-								
145	1/X								
146	ST06		Hochpaß						
147	RTN								
148	*LBLb								
149	2								
150	GT00								
151	*LBLc		Bandpaß						
152	3								
153	GT01								
154	*LBLC		Bandsperre						
155	4								
156	*LBL1								
157	GSB0								
158	R↓								
159	GSB9								
160	ST08								
161	RTN		Tiefpaß						
162	*LBLB								
163	1								
164	*LBL0								
165	ST0D								
166	R↓								
167	GSB9								
168	ST07								
LABELS						FLAGS		SET STATUS	
^A R	^B LP: f ₀	^C BE: BW↑f ₀	^D f ₁ ↑α→n	^E f ₁ ↑α→n	^F Druck/Anz.	ON OFF		TRIG	DISP
^A	^B HP: f ₀	^C BP: BW↑f ₀	^D dB Ripple→ε	^E	^F	0	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	DEG <input checked="" type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
^A belegt	^B belegt	^C belegt	^D belegt	^E belegt	^F	1	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
^A	^B	^C	^D	^E	^F	2	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input checked="" type="checkbox"/>
^A belegt	^B	^C belegt	^D	^E belegt	^F	3	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		n_3

113	RCL0	$\omega \leftarrow -\omega \times \Delta f$	169	LSTX	
114	x		170	CHS	
115	*LBL3	Neues ω speichern	171	e ^y	
116	STOA	Falls $\omega \leq \omega_2$,	172	+	
117	X \leftarrow Y?	dann Schleife	173	ENT↑	
118	GTOE	wiederholen;	174	ENT↑	
119	RTN	sonst stop	175	LSTX	
120	*LBL7		176	2	
121	RCLD	Routine zur	177	x	
122	X \neq 1	Berechnung von ω_N	178	-	
123	GTO1	Sprung nach LBL i	179	STx2	
124	*LBL4	BE	180	R4	
125	GSB3		181	STx1	
126	GTO0		182	2	
127	*LBL2	HP	183	ST=2	
128	GSB1		184	ST=1	
129	*LBL0		185	RTN	
130	1/X		186	*LBL1	Routine zur
131	CHS		187	RCL1	Berechnung des
132	GTO5		188	2	Butterworth-Pols
133	*LBL1	LP	189	x	
134	X \neq 1		190	1	
135	RCL6		191	-	
136	RCL7		192	RCL5	
137	=		193	=	
138	GTO5		194	GSB9	
139	*LBL3	BP	195	4	
140	X \neq 1		196	=	
141	RCLA		197	1	
142	X \neq		198	→R	
143	RCL7		199	STO1	
144	X \neq		200	X \neq Y	
145	-		201	STO2	
146	RCLA		202	RTN	
147	÷		203	*LBLd	
148	RCL8		204	1	
149	÷		205	F10	
150	*LBL5	ω_N speichern	206	CLX	Logarithmisches
151	STO9		207	SF1	Inkrement
152	RTN		208	X=0°	
153	*LBL6	Routine zur	209	CF1	
154	F0°	Berechnung von s_k	210	RTN	Lineares Inkrement
155	GTO1	Falls Butterworth,	211	*LBL9	
156	GSB1	dann GTO.LBL 1;	212	2	Routine zur
157	1	andernfalls	213	x	Multiplikation
158	RCL6	Butterworth-Pol	214	Pi	mit 2π
159	1/X	ermitteln und	215	x	
160	→P	modifizieren	216	RTN	
161	X \neq Y		217	R/S	
162	R↓				
163	LSTX				
164	+				
165	LN				
166	RCL5				
167	=				
168	e ^x				

LABELS					FLAGS	SET STATUS		
^A B'worth n	^B LP: f ₀	^C BE: BW↑f ₀	^D f ₁ ↑f ₂ ↑Δf	^E «PLOT»	⁰ B'worth			
^A Tsch.n↑dBR	^B HP: f ₀	^C BP: BW↑f ₀	^D LIN - LOG	^E	¹ LOG	FLAGS	TRIG	DISP
⁰ belegt	¹ belegt	² belegt	³ belegt	⁴	²	0 <input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> OFF	DEG <input type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
⁵	⁶ belegt	⁷ belegt	⁸	⁹ belegt	³	1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input type="checkbox"/>
						3 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		n <u>3</u>

Entwurf von ohmschen Dämpfungsgliedern

001 *LBLA 002 ST01 003 RTN 004 *LBLB 005 ST02 006 RTN 007 *LBLC 008 RCL1 009 RCL2 010 ÷ 011 ENT+ 012 ENT+ 013 1 014 - 015 JX 016 XZY 017 JX 018 + 019 XZ 020 LOG 021 1 022 0 023 X 024 GSB5 025 ST03 026 RTN 027 *LBLD 028 RCL3 029 XZY 030 CT09 031 XZY 032 1 033 0 034 ÷ 035 10* 036 ST04 037 RCL1 038 X 039 RCL2 040 X 041 JX 042 2 043 X 044 RCL4 045 1 046 - 047 ÷ 048 ST07 049 1 050 RCL4 051 + 052 LSTX 053 1 054 - 055 ÷ 056 RCL1	R _{in} speichern ----- R _{out} speichern ----- Minimale Dämpfung berechnen ----- Wenn minimale Dämpfung > gewünschte Dämpfung, dann Fehleranzeige; sonst R ₁ , R ₂ , R ₃ berechnen	057 X 058 - 059 CHS 060 ST05 061 1 062 RCL4 063 + 064 LSTX 065 1 066 - 067 ÷ 068 RCL2 069 X 070 RCL7 071 - 072 ST06 073 ST01 074 *LBLB 075 RCL3 076 XZY 077 ST09 078 XZY 079 1 080 0 081 ÷ 082 10* 083 ST04 084 1/X 085 RCL1 086 X 087 RCL2 088 X 089 JX 090 RCL4 091 1 092 - 093 X 094 2 095 ÷ 096 ST07 097 1 098 RCL4 099 + 100 LSTX 101 1 102 - 103 ÷ 104 RCL1 105 ÷ 106 RCL7 107 1/X 108 - 109 1/X 110 ST05 111 1 112 RCL4	----- Wenn minimale Dämpfung > gewünschte Dämpfung, dann Fehleranzeige; sonst R ₁ , R ₂ , R ₃ berechnen						
REGISTERS									
0	1 R _{in}	2 R _{out}	3 min. Däm.	4 N	5 R ₁	6 R ₂	7 R ₃	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

<pre> 113 + 114 LST% 115 : 116 - 117 = 118 RCL2 119 = 120 RCL7 121 1/% 122 - 123 1/% 124 STO6 125 #LBL1 126 RCL4 127 LOG 128 1 129 0 130 x 131 GSB5 132 RCL5 133 GSB5 134 RCL6 135 GSB5 136 RCL7 137 GSB5 138 RTN 139 #LBL5 140 F0? 141 PRT% 142 F0? 143 RTN 144 R/S 145 RTN 146 R/S </pre>	<p>-----</p> <p>Rückruf der Ausgabewerte</p> <p>-----</p> <p>Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; sonst Anzeige</p> <p>-----</p>		
---	--	--	--

LABELS					FLAGS	SET STATUS				
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	DISP	
R _{in}	R _{out}	→min loss	Loss→R ₁ R ₂ R ₃	Loss→R ₁ R ₂ R ₃	Druck/Anz.	ON	OFF			
a	b	c	d	e	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEG <input checked="" type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
0	1 belegt	2	3	4	2	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
5	Anzeige	7	8	9	3	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input checked="" type="checkbox"/>
						3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		n_3

Smith-Diagramm-Umwandlung

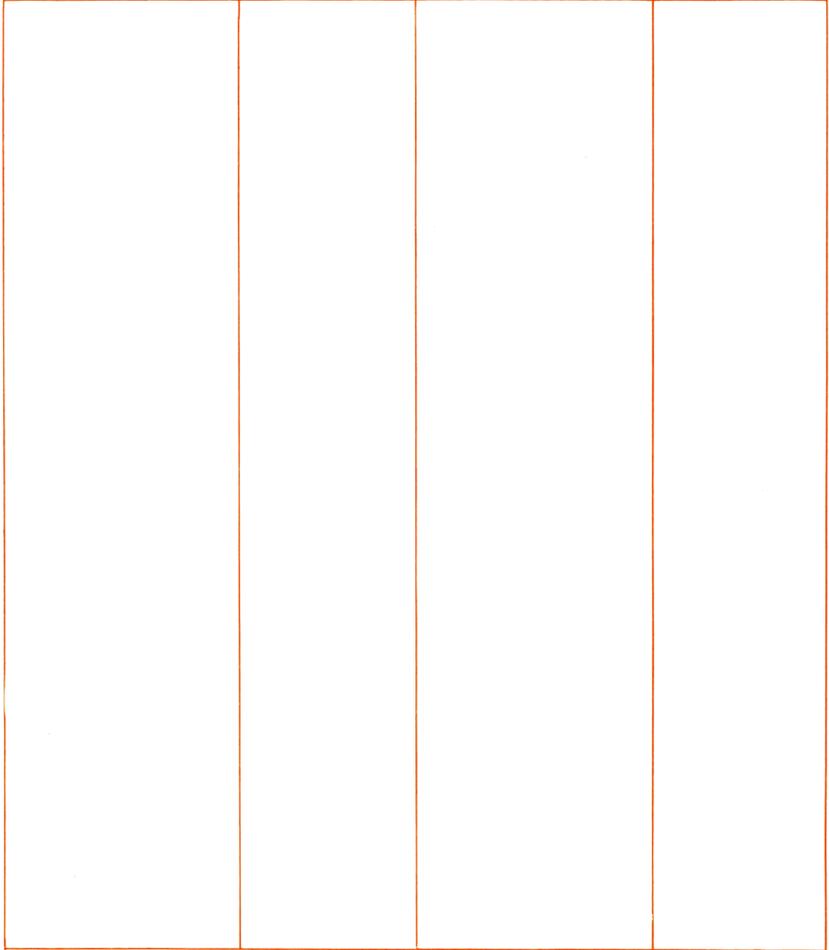
<pre> 001 #LBL6 002 1/X 003 #LBL6 004 LOC 005 2 006 0 007 x 008 RTN 009 #LBL6 010 CHS 011 #BLA 012 2 013 0 014 ÷ 015 10* 016 RTN 017 #LBL6 018 1/X 019 CHS 020 #LBL6 021 1 022 X<Y 023 + 024 1 025 LSTX 026 - 027 ÷ 028 RTN 029 #LBL6 030 STO1 031 RTN 032 #LBL6 033 ; 034 GSB7 035 RCL1 036 CHS 037 x 038 +R 039 +P 040 GT09 041 #LBL6 042 RCL1 043 CHS 044 GSB7 045 #LBL9 046 X<Y 047 GSB5 048 X<Y 049 GSB5 050 RTN 051 #LBL5 052 F0? 053 PRTX 054 F0? 055 RTN 056 R/S </pre>	<p>$\rho \rightarrow R.L.$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$\sigma \rightarrow SWR$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$R.L. \rightarrow \rho$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$SWR \rightarrow \sigma$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$\sigma \rightarrow \rho$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$\rho \rightarrow \sigma$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Z_0 speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Wenn eingegebener Wert = 0, dann Z berechnen; sonst normiertes Z speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Routine zur Berechnung von Z</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Wenn Eingabewert = 0, dann ρ berechnen; sonst ρ speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Routine zur Berechnung von ρ</p>	<pre> 057 RTN 058 #LBL7 059 ENTf 060 Rf 061 Rf 062 +R 063 Rf 064 - 065 ST06 066 Rf 067 Rf 068 + 069 + 070 +P 071 Rf 072 RCL6 073 +P 074 Rf 075 X<Y 076 Rf 077 ÷ 078 Rf 079 - 080 Rf 081 RTN 082 R/S </pre>	<hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Anzeige-Routine</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; sonst Anzeige</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/>						
REGISTERS									
0	1 Z_0	2 $\frac{Z}{Z_0}$	3 θ	4 ρ	5 Φ	6 $ -\Gamma _Z- $	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

LABELS										FLAGS					SET STATUS									
A	SWR→σ	B	ρ→σ	C	R.L.→ρ	D	θ↑Z	E	θ↑ρ	0	Druck/Anz	FLAGS			TRIG					DISP				
a	σ→SWR	b	σ→ρ	c	ρ→R.L.	d	Z ₀	e		1		ON	OFF											
0		1	belegt	2	belegt	3		4		2		0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEG <input checked="" type="checkbox"/>					FIX <input checked="" type="checkbox"/>				
												1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>					SCI <input type="checkbox"/>				
												2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>					ENG <input type="checkbox"/>				
5	Anzeige	6		7		8		9	belegt	3		3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						n <u>2</u>				

Wellenwiderstand einer Übertragungsleitung

<pre> 001 #LBLA 002 ST00 003 R4 004 ÷ 005 2 006 x 007 LH 008 1 009 2 010 0 011 x 012 RCL0 013 FX 014 ÷ 015 GT05 016 #LBLB 017 ST00 018 R4 019 4 020 x 021 ÷ 022 1/X 023 LOG 024 1 025 3 026 8 027 x 028 RCL0 029 FX 030 ÷ 031 GT05 032 #LBLC 033 ST00 034 R4 035 ST01 036 R4 037 ST02 038 R4 039 ST03 040 RCL1 041 ÷ 042 2 043 ÷ 044 X² 045 1 046 + 047 FX 048 1/X 049 2 050 x 051 RCL3 052 x 053 RCL2 054 ÷ 055 LOG 056 2 </pre>	<p>Offene 2-Draht-Leitung</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Einzeldraht nahe Erde</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>2-Draht-Leitung nahe Erde</p>	<pre> 057 7 058 6 059 x 060 RCL0 061 FX 062 ÷ 063 GT05 064 #LBLD 065 ST00 066 R4 067 ST01 068 R4 069 ST02 070 R4 071 ST03 072 RCL1 073 ÷ 074 1/X 075 2 076 x 077 X² 078 1 079 + 080 FX 081 RCL1 082 x 083 RCL2 084 ÷ 085 4 086 x 087 LOG 088 6 089 9 090 x 091 RCL0 092 FX 093 ÷ 094 GT05 095 #LBLE 096 ST00 097 R4 098 ÷ 099 LH 100 6 101 0 102 x 103 RCL0 104 FX 105 ÷ 106 #LBL5 107 F0? 108 PRX 109 RTN 110 R/S </pre>	<p>Symmetrische 2-Draht-Leitung</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Koaxialleitung</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; sonst Anzeige</p>
---	---	---	---

REGISTERS									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ϵ_r	h	d	D						
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J



LABELS					FLAGS	SET STATUS			
A	B	C	D	E	Druck/Anz.	FLAGS		TRIG	DISP
					1	ON	OFF	DEG	FIX
a	b	c	d	e	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD	SCI
0	1	2	3	4	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD	ENG
5 Anzeige	6	7	8	9		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		n <u>2</u>

Berechnung von Streifenleitern

<pre> 001 *LBL4 002 SF1 003 ST07 004 X*Y 005 ST06 006 SF0 007 X*Y 008 CF0 009 ÷ 010 ST09 011 1/X 012 ST08 013 1 014 0 015 LN 016 ST00 017 RTN 018 *LBLB 019 1 020 X*Y 021 + 022 LSTX 023 1 024 - 025 1 026 0 027 RCL8 028 ÷ 029 1 030 + 031 JX 032 ÷ 033 + 034 2 035 ÷ 036 JX 037 1/X 038 ST02 039 F0° 040 GTO1 041 1 042 RCL9 043 - 044 6 045 YX 046 . 047 4 048 4 049 RCL8 050 ÷ 051 - 052 2 053 . 054 4 055 2 056 + </pre>	<p>h speichern</p> <p>w speichern</p> <p>Wenn $w > h$, dann Flag 0 löschen</p> <p>h/w speichern</p> <p>w/h speichern</p> <p>In 10 speichern</p> <p>ϵ_{eff} berechnen</p> <p>v_r speichern Wenn $w \leq h$, dann GTO 1</p> <p>Z_0 für $w > h$ berechnen</p>	<pre> 057 RCL8 058 + 059 2 060 P f 061 x 062 X*Y 063 ÷ 064 GTD2 065 *LBL1 066 8 067 RCL8 068 ÷ 069 LSTX 070 4 071 ÷ 072 + 073 LN 074 *LBL2 075 6 076 0 077 x 078 ST0A 079 x 080 ST01 081 X*Y 082 PRTX 083 X*Y 084 PRTX 085 RTN 086 *LBLD 087 JX 088 F1? 089 GTO1 090 *LBL4 091 RCL4 092 x 093 RCL7 094 ÷ 095 2 096 x 097 P f 098 ÷ 099 ST07 100 RTN 101 *LBL1 102 2 103 0 104 RCL0 105 ÷ 106 RCL9 107 x 108 RCLA 109 ÷ 110 ST04 111 R f 112 GTD4 </pre>	<p>Z_0 für $w \leq h$ berechnen</p> <p>-----</p> <p>Z_0 speichern</p> <p>Z_C speichern</p> <p>v_r ausgeben</p> <p>Z_C ausgeben</p> <p>-----</p> <p>Falls gleichmäßige Stromverteilung, dann GTO 1</p> <p>-----</p> <p>Teilergebnis speichern</p> <p>-----</p>						
REGISTERS									
0	1 Z_C	2 v_r	3 α_c	4 A	5 $f/10^9$	6 w	7 h	8 w/h	9 h/w
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

Eingangsimpedanz einer verlustbehafteten Übertragungsleitung

001: #LBLa 002: EEY 003: 1 004: 0 005: ÷ 006: ST09 007: 2 008: FI 009: X 010: X 011: ST08 012: RTN 013: #LBLA 014: ST01 015: X 016: ST02 017: RTN 018: #LBLB 019: ST0A 020: 2 021: X 022: 3 023: RCL2 024: X 025: ST03 026: ÷ 027: ST07 028: RTN 029: #LBLC 030: RCL3 031: X 032: RCL1 033: ÷ 034: ST05 035: R4 036: RCL1 037: X 038: ST×3 039: RCL8 040: RCL5 041: +P 042: TN 043: ST05 044: X→Y 045: 2 046: = 047: ST06 048: RCL8 049: RCL3 050: +P 051: TN 052: ST03 053: X→Y 054: 2 055: = 056: ST08	f/10 ¹⁰ speichern ω ¹ speichern ----- R ₀ speichern v _r speichern ----- l speichern 3 v _r speichern 2l/3v _r speichern ----- 3 v _r R/R ₀ speichern R ₃ ←3 v _r R ₀ G	057: RCL6 058: + 059: ST04 060: RCL6 061: RCL8 062: - 063: ST02 064: RCL5 065: RCL3 066: ÷ 067: ST×1 068: RCL5 069: RCL3 070: X 071: ST×7 072: RTN 073: #LBLD 074: X→Y 075: ST08 076: R4 077: ST03 078: RCL4 079: RCL2 080: RCL9 081: Pi 082: X 083: 1 084: + 085: E 086: = 087: X→Y 088: = 089: ST06 090: X 091: 2 092: X 093: ST07 094: RCL8 095: 1 096: 0 097: LN 098: 2 099: 0 100: = 101: RCL6 102: = 103: ST×3 104: ST×9 105: RCL8 106: RCL3 107: - 108: ENT+ 109: ST05 110: RCL8 111: 3 112: X	----- a _D speichern a _C speichern						
REGISTERS									
0	1 R ₀ , Z ₀	2 v _r	3 belegt	4	5 belegt	6 β ₀	7 $\frac{2l}{3v_r} \cdot 2\beta_{0l}$	8 ω ¹ , a ₀	9 f/10 ¹⁰
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

<p>113 RCL3 114 + 115 x 116 2 117 ÷ 118 CHS 119 1 120 + 121 →P 122 ST×1 123 X↔Y 124 ST02 125 RCL5 126 Y↔ 127 2 128 ÷ 129 1 130 + 131 RCL3 132 RCL8 133 + 134 →P 135 ST×7 136 X↔Y 137 ST04 138 RTN 139 #LBL1 140 ST05 141 X↔Y 142 ST06 143 RCL4 144 RCL7 145 →R 146 CHS 147 e^x 148 ST07 149 X↔Y 150 1 151 8 152 8 153 x 154 Pi 155 ÷ 156 ST08 157 RCL6 158 RCL2 159 - 160 RCL5 161 RCL1 162 ÷ 163 →R 164 . 165 + 166 →P 167 1/X 168 2</p>	<p>Z_L speichern θ_L speichern</p>	<p>169 CHS 170 x 171 X↔Y 172 CHS 173 X↔Y 174 →R 175 1 176 + 177 →P 178 RCL7 179 x 180 1/X 181 X↔Y 182 RCL8 183 - 184 CHS 185 X↔Y 186 →R 187 1 188 - 189 →P 190 1/X 191 2 192 x 193 X↔Y 194 CHS 195 X↔Y 196 →R 197 . 198 + 199 →P 200 RCL1 201 x 202 X↔Y 203 RCL2 204 + 205 GSB5 206 X↔Y 207 GSB5 208 RTN 209 #LBL5 210 Fθ? 211 PRTX 212 Fθ? 213 RTN 214 R↔S 215 RTN 216 R↔S</p>	<p>Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck-/Anzeige; sonst Anzeige</p>									
LABELS					FLAGS		SET STATUS					
A	B	C	D	E	0							
v _r ↑R ₀	1	G↑R	u _D ↑u _c	Z _L →Z _{in}	Druck/Anz	FLAGS	TRIG	DISP				
a	b	c	d	e	1	ON	OFF					
f						0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEG	<input checked="" type="checkbox"/>	FIX	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	2	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD	<input type="checkbox"/>	SCI	<input type="checkbox"/>
5	6	7	8	9	3	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD	<input type="checkbox"/>	ENG	<input checked="" type="checkbox"/>
Anzeige						3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			n	3

113	-					169	RCLB		
114	=					170	RCLC		
115	GSBS	$ r_{sj} $ anzeigen				171	GSB9		
116	*LBL3					172	RTN		
117	LSTX					173	*LBL8		Routine für komplexe Addition
118	1/X					174	→R		
119	RCL3					175	R↓		
120	x					176	R↓		
121	RCLB					177	→R		
122	x					178	X↔Y		
123	GSBS	ρ_{sj} anzeigen				179	R↓		
124	RTN					180	+		
125	*LBLB	$\Gamma_L \rightarrow \Gamma_{ms}$				181	R↓		
126	1/X					182	+		
127	X↔Y					183	R↑		
128	CHS					184	→P		
129	X↔Y					185	RTN		
130	RCLB					186	*LBL9		Routine für komplexe Multiplikation
131	RCLD					187	R↓		
132	GSB7					188	x		
133	RCL2					189	R↓		
134	RCL1					190	+		
135	GSB8					191	R↑		
136	X↔Y					192	RTN		
137	CHS					193	R/S		
138	GSBS								
139	X↔Y								
140	GSBS								
141	RTN								
142	*LBL6	$\Gamma_s \rightarrow \Gamma_{ml}$							
143	1/X								
144	X↔Y								
145	CHS								
146	X↔Y								
147	RCL2								
148	RCL1								
149	GSB7								
150	RCLB								
151	RCLD								
152	GSB8								
153	X↔Y								
154	CHS								
155	GSBS								
156	X↔Y								
157	GSBS								
158	RTN								
159	*LBL7	Routine zur Berechnung von							
160	CHS								
161	GSB8								
162	1/X	$s_{12} s_{21}$							
163	X↔Y	1							
164	CHS	$\Gamma^{-s_{ii}}$							
165	X↔Y								
166	RCL3								
167	RCL4								
168	GSB9								
LABELS						FLAGS		SET STATUS	
A	$G_p \rightarrow \angle r, r, \rho$	B	$\Gamma_L \rightarrow \Gamma_{ms}$	C	$i \rightarrow \angle r, r, \rho$	D		E	0
a		b	$\Gamma_s \rightarrow \Gamma_{ml}$	c		d		e	1
0		1	belegt	2	belegt	3		4	2
1	Anzeige	6	belegt	7	belegt	8	ADD.	9	MULT
						ON	OFF		
						0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
						1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	DEG <input checked="" type="checkbox"/>
						2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>
						3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>
								FIX	<input type="checkbox"/>
								SCI	<input type="checkbox"/>
								ENG	<input checked="" type="checkbox"/>
								n	<u>3</u>

ANHANG A

Beschriftungsweise der Programmkarten Konventionen, Symbole

Symbol bzw. Schreibweise	Bedeutung
Weiße Zeichen: x A	Die Funktion der Programmtasten wird durch die weißen Symbole gekennzeichnet, die jeweils über diesen Tasten stehen, wenn Sie die Programmkarte in den dafür vorgesehenen Fensterausschnitt geschoben haben. In diesem Fall besagt die Beschriftung, daß der Wert x eingegeben wird, wenn Sie nach Eintasten des Zahlenwertes die Taste A drücken.
Goldfarbene Zeichen: y x f e	Für goldfarbene Zeichen gilt das gleiche, das bereits für weiße Zeichen gesagt wurde, nur daß jetzt die entsprechende Programmtaste im Anschluß an die Präfixtaste f zu drücken ist. Das Beispiel gibt an, daß der Wert für y durch Drücken von f e eingegeben wird.
x ↑ y A	Das Zeichen ↑ steht für die ENTER+ -Taste. Im angegebenen Beispiel wird ENTER+ zur Trennung der Zahlenwerte für die Variablen x und y verwendet. Zur Eingabe beider Werte ist zuerst x einzutasten, ENTER+ zu drücken, y einzutasten und dann A zu drücken.
X A	Ist das Symbol der Variablen von einem viereckigen Kästchen umgeben, ist der Wert einzugeben, indem zuerst STO und anschließend die entsprechende Programmtaste A bis E gedrückt wird. Im Beispiel erfolgt die Eingabe von x mit STO A .
(x) A	Runde Klammern deuten an, daß der entsprechende Bedienungsschritt auf Wunsch ausgeführt werden kann. Im Beispiel hier bleibt es Ihnen überlassen, ob Sie x durch Drücken von A eingeben, oder nicht.
→ x A	Ein Pfeil besagt, daß die derart gekennzeichnete Variable nach Drücken der zugehörigen Programmtaste berechnet wird. Im hier gezeigten Beispiel ist zur Berechnung von x die Taste A zu drücken.

Symbol bzw. Schreibweise	Bedeutung
→ x, y, z A	Diese Bezeichnung besagt, daß die durch Kommas getrennten Variablen auf einmaliges Drücken der zugehörigen Programmtaste nacheinander berechnet werden. Sie werden in der Reihenfolge x, y, z angezeigt.
→ x; y; z A	Diese Schreibweise bedeutet, daß nach Berechnung von x durch Drücken der Taste A die weiteren Variablen durch jeweiliges Drücken von R/S berechnet werden können.
«x», y A	Die Anführungszeichen bedeuten, daß x während einer Programmpause (ca. 1 Sekunde lang) angezeigt wird. Anschließend wird die Rechnung fortgesetzt und dann y angezeigt.
↔ x A	Der Doppelpfeil zeigt an, daß dieser Wert wahlweise eingegeben, oder berechnet werden kann. Falls zwischen den Programmtasten Zifferntasten gedrückt wurden (Eintasten einer Zahl), wird x mit Drücken von A gespeichert; falls nicht, wird x berechnet, wenn Sie A drücken.
P? A	Ein Fragezeichen besagt, daß ein bestimmter Modus gewählt wird, während das davor stehende Symbol angibt, um welchen Modus es sich handelt. Hier geht es um das Ein- bzw. Ausschalten des automatischen Anzeige-/Druck-Modus («AUTO»-Modus). Grundsätzlich erscheint nach Ausführung dieser Operationen in der Anzeige entweder 0.00 oder 1.00; damit wird angezeigt, ob der betreffende Modus nun ein- (1.00) oder ausgeschaltet (0.00) ist.
START A	Das Wort START bedeutet, daß die zugehörige Programmtaste zum Starten des Programms zu drücken ist; es taucht da auf, wo ein Programm einen Vorbereitungsschritt erfordert.
DEL A	DEL (<i>delete</i> – entfernen) besagt, daß der zuletzt eingegebene Wert oder die zuletzt eingegebene Gruppe von Werten durch Drücken dieser Programmtaste entfernt werden kann.

HP-67/97 E.E. PAC 1

The magnetic card for EE1-09A1, *Butterworth or Chebyshev Filter Design*, is recorded correctly, but the listing on page L09-01 is one step short. There should be a STO E at step 97; thus, everything from there to the end is pushed down one step.



172 mal Verkauf und Service in 65 Ländern

Hewlett-Packard GmbH/Vertrieb:

1000 Berlin 30, Keith Straße 2–4, Telefon (030) 24 90 86

7030 Böblingen, Herrenbergerstraße 110, Telefon (07031) 667-1

4000 Düsseldorf, Emanuel-Leutze-Straße 1 (Seestern), Telefon (0211) 59 71-1

6000 Frankfurt 56, Berner Straße 117, Postfach 560 140, Telefon (0611) 50 04-1

2000 Hamburg 1, Wendenstraße 23, Telefon (040) 24 13 93

3000 Hannover-Kleefeld 91, Am Großmarkt 6, Telefon (0511) 46 60 01

8500 Nürnberg, Neumeyer Straße 90, Telefon (0911) 56 30 83/85

8012 Ottobrunn, Isar Center, Unterhachinger Straße 28,
Telefon (089) 601 30 61/67

Für die Schweiz: Hewlett-Packard (Schweiz) AG, Zürcherstraße 20,
Postfach 307, 8952 Schlieren-Zürich, Telefon (01) 730 52 40

Für Österreich / Für sozialistische Staaten:

Hewlett-Packard Ges.m.b.H., Handelskai 52, Postfach 7, A-1205 Wien,
Österreich, Telefon (0222) 35 16 21 bis 27

Für die UdSSR:

Hewlett-Packard Representative Office USSR, Pokrovsky Boulevard 4/17, KV 12,
Moscow 101000, Telefon 294-2024

Europa-Zentrale:

Hewlett-Packard S.A., 7, rue du Bois-du-Lan, Postfach, CH-1217 Meyrin 2-Genf,
Schweiz, Telefon (022) 41 54 00, ab März 1977 Telefon (022) 82 70 00