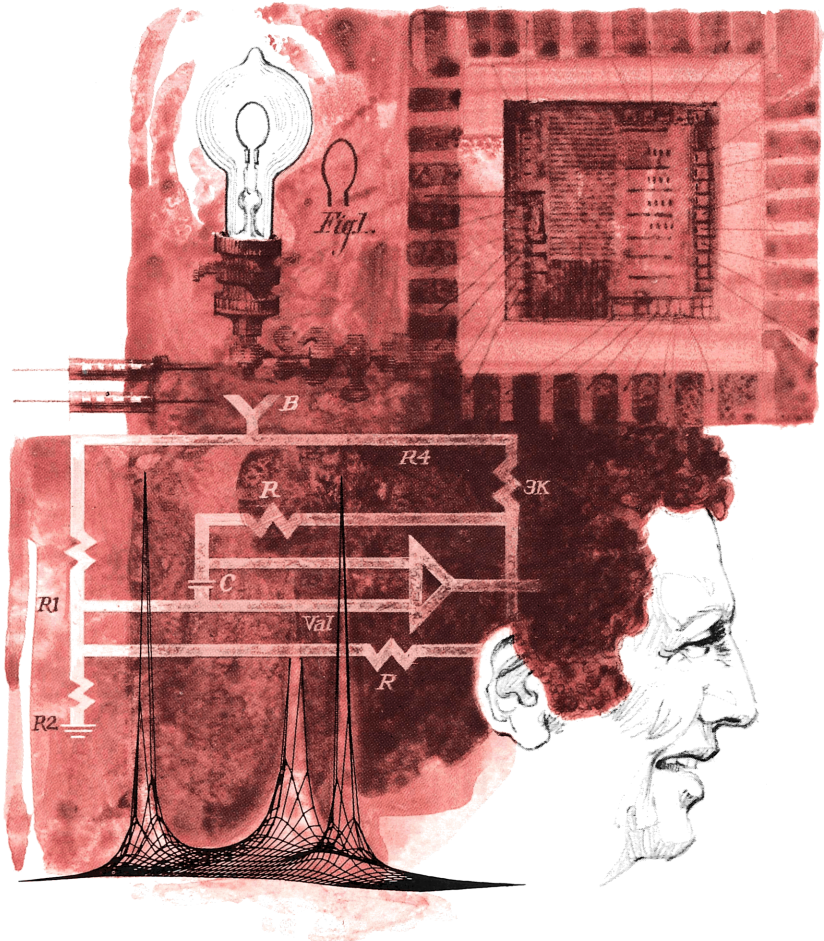


HEWLETT-PACKARD

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.

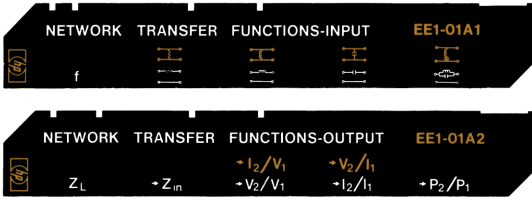
Weitere Unterschiede zwischen beiden Rechnermodellen können im Zusammenhang mit den Tastenfolgen auffallen, die zu den einzelnen Rechenbeispielen in dieser Programmsammlung angegeben sind. Dabei treten bisweilen Operationen auf, die Präfix-Tasten erfordern; das sind **f** beim HP-97 und **f**, **g**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

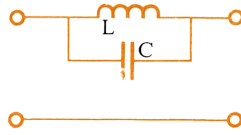
Übertragungsfunktion von Kettennetzwerken



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:

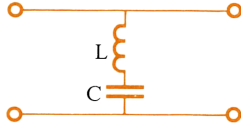
| Bezeichnung | Schaltung | Ketten-Matrix* |
|-----------------------|-----------|---|
| Serien-Widerstand | | $\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & R \angle 0 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$ |
| Parallel-Widerstand | | $\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ \frac{1}{R} \angle 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$ |
| 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

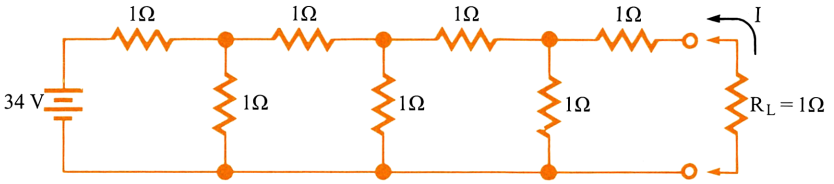
$$\frac{V_2}{I_1} = \frac{Z_L}{\mathbf{q}_{21} Z_L + \mathbf{q}_{22}}$$

* \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.

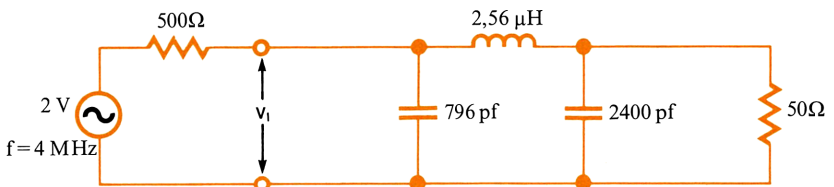
0 **ENTER+** 1 **A** **f** **c** \longrightarrow **0.000 + 00*****
 Winkel der Übertragungs-
 Admittanz
-29.41 - 03***
 Betrag der Übertragungs-
 Admittanz

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

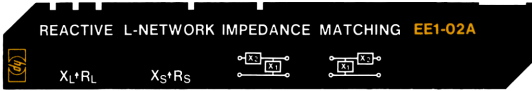
498.9-03***

2 **x** → 997.7-03

Betrag von V_1

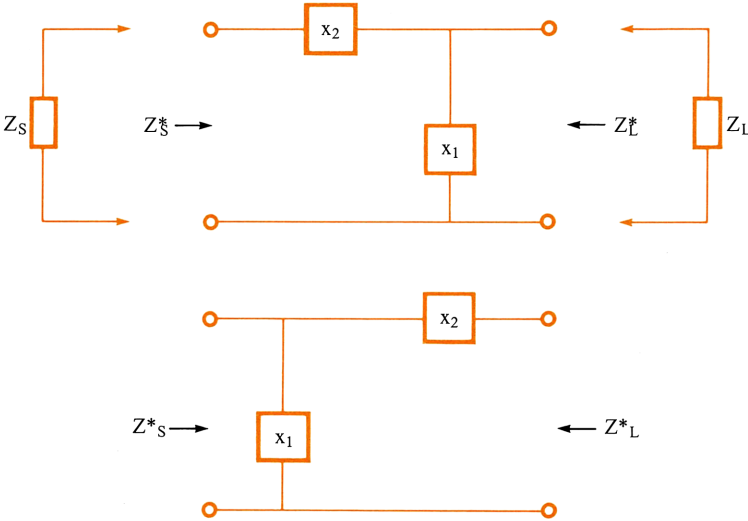
Notizen

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

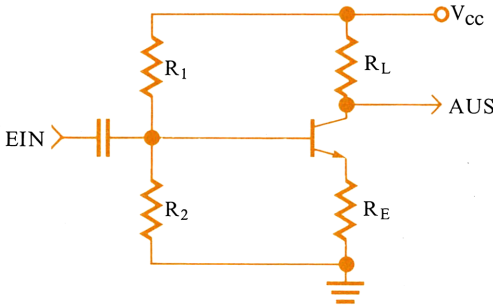
| | | | | | | | | |
|----------|---------------|----|----------|----|---------------|----|----------|------------|
| 50 | ENTER↑ | 50 | A | 50 | ENTER↑ | 25 | B | |
| f | c | → | | | | | | -36.60*** |
| | | | | | | | | -6.70*** |
| C | → | | | | | | | 136.60*** |
| | | | | | | | | -93.30*** |
| f | d | → | | | | | | -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:

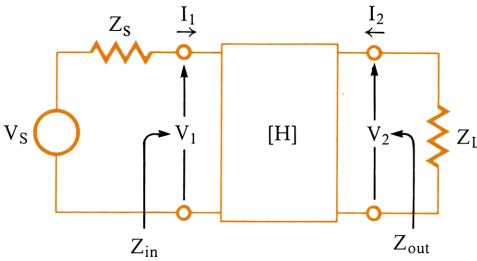
600 **ENTER** 100 **R/S** → **45.0+03 T** R_1
4.18+03 Z R_2
888.+00 Y R_L
115.+00 X R_E
22.9+00*** A_p

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

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 → Y | S → Z | S → G |
|---|----------------------|----------------------|--|
| Vorbesetzung | T = S | T = -S | T = $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} S$ |
| S → H | Y → S | Z → S | G → 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 → 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 → Y | S → Z | G → 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 $f(t)$

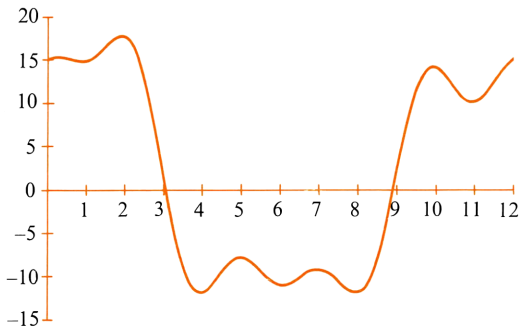
Das Programm berechnet die Fourier-Koeffizienten mit Hilfe diskreter Funktionen der vorgenannten Art, wenn eine ausreichende Anzahl von Stützwerten gegeben ist. Zu N Punkten gleichen Abstands berechnet das Programm bis zu zehn aufeinanderfolgende Koeffizientenpaare. Die Koeffizienten können wahlweise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

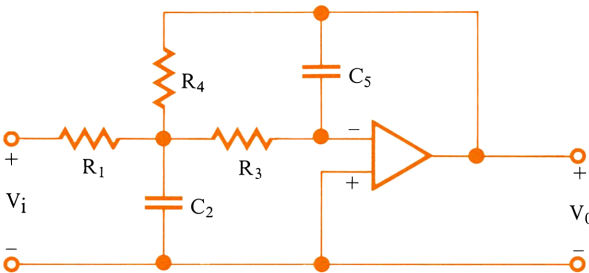
$$C_5 = C$$

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

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

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

$$R_4 = AR_1$$



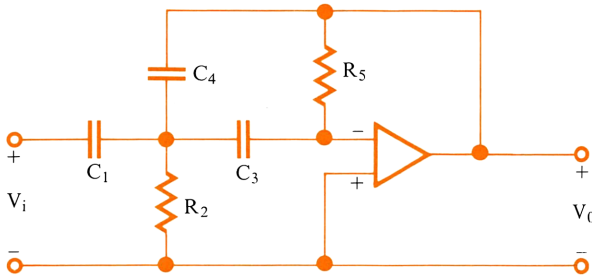
Hochpaß

$$C_1 = C_3 = C$$

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

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

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



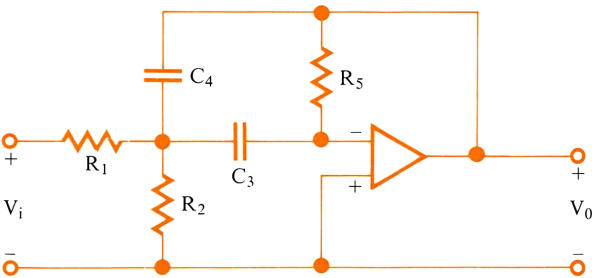
Bandpaß

$$C_3 = C_4 = C$$

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

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

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



| 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:

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

$$A = 10$$

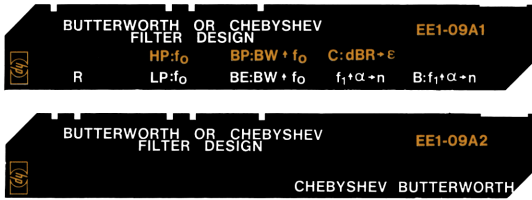
$$\alpha = 1$$

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

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

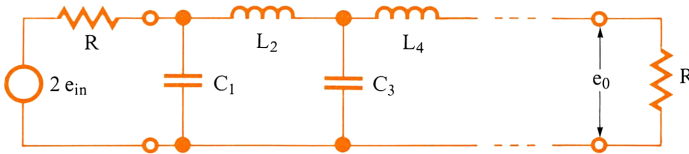
| | |
|--------------------|----------------|
| 7.579+03*** | R ₂ |
| 1.000-06*** | C ₃ |
| 100.0-09*** | C ₄ |
| 334.2+03*** | R ₅ |

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

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

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

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



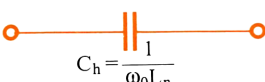
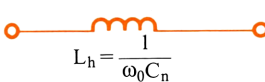
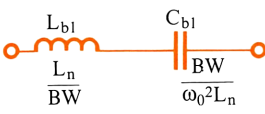
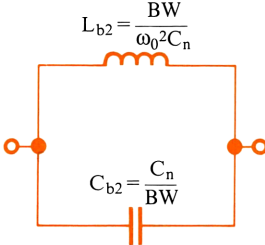
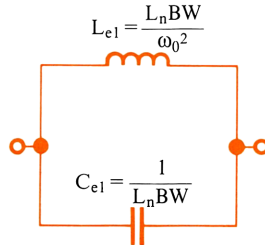
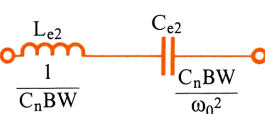
$$a_i = \sin \frac{(2i-1)}{2n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

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

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

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

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.

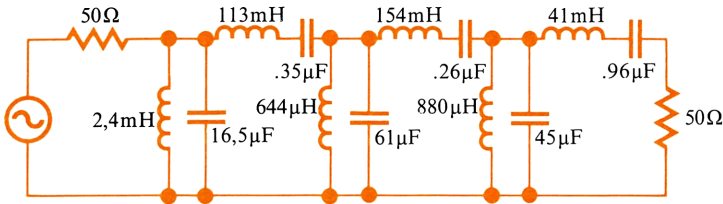
| Filtercharakteristik | Schaltelemente | |
|----------------------|---|---|
| Tiefpaß |  |  |
| Hochpaß |  |  |
| Bandpaß |  |  |
| Bandsperre |  |  |

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:

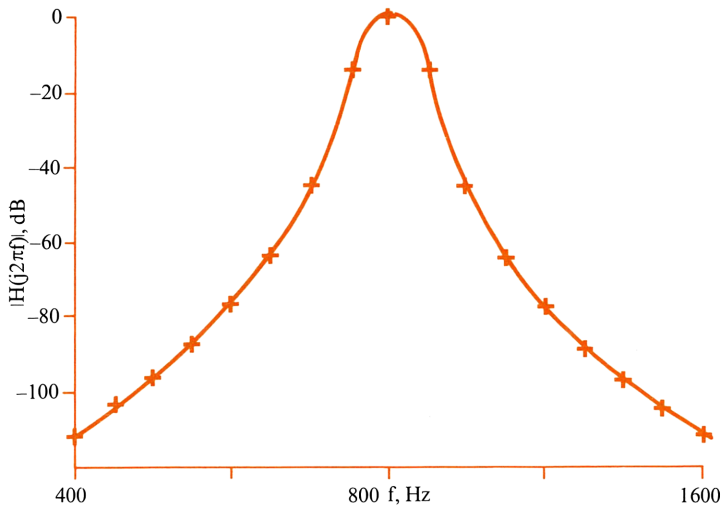
Tragen Sie das Verhalten eines Butterworth-Bandpaß-Filters 6. Grades mit $BW=100$ und $f_0=800$ graphisch auf. Erstellen Sie ein logarithmisches Diagramm und verwenden Sie als Schrittweite (Inkrement) $2^{1/8}$ von 400 Hz bis 1600 Hz.

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 Sie7 **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

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

Frequenz

Betrag $\{H(s)\}$, dBPhase $\{H(s)\}$,

Gruppenlaufzeit,

sek.

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

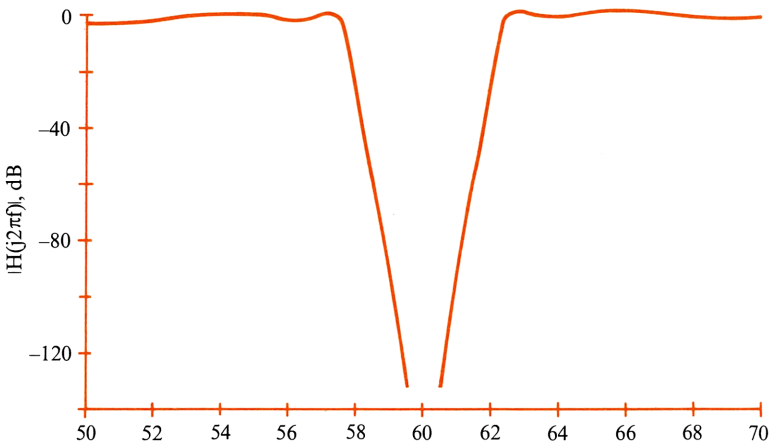
59.000 T
-88.662 Z
103.950 Y
0.111 X

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

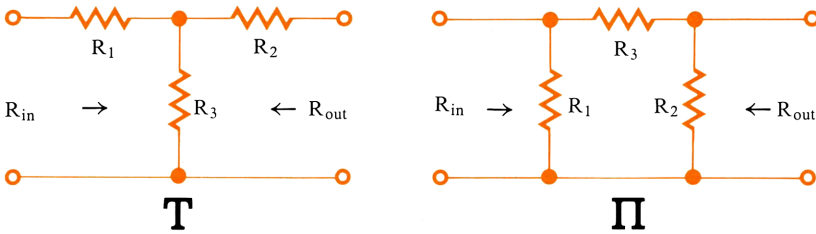


Notizen

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

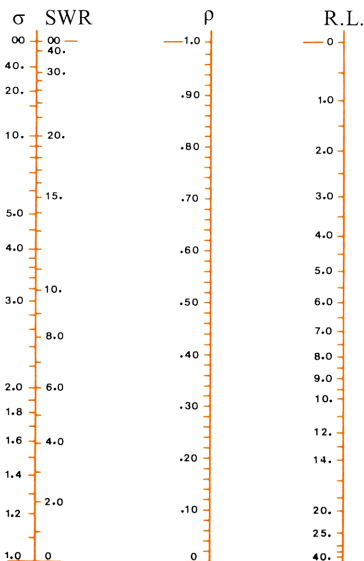
M.L. = Fehlabschluß-Verlust

hängen wie folgt zusammen:

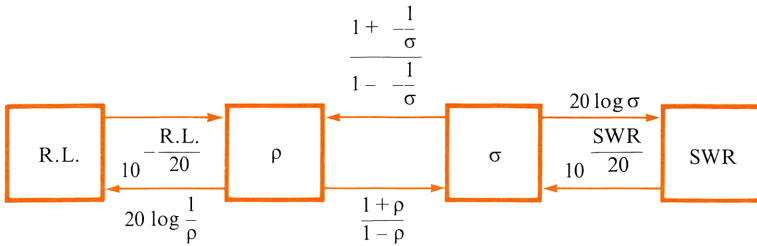
$$\text{SWR} = 20 \log \sigma$$

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

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



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"/> | |
| | $\sigma \rightarrow$ SWR | σ | <input type="text"/> f <input type="text"/> a | SWR |
| | SWR \rightarrow σ | SWR | <input type="text"/> A <input type="text"/> | σ |
| | $\sigma \rightarrow$ ρ | σ | <input type="text"/> f <input type="text"/> b | ρ |
| | $\rho \rightarrow$ σ | ρ | <input type="text"/> B <input type="text"/> | σ |
| | $\rho \rightarrow$ R.L. | ρ | <input type="text"/> f <input type="text"/> c | R.L. |
| | R.L. \rightarrow ρ | 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 Γ | θ | <input type="text"/> \uparrow <input type="text"/> | |
| | | Z | <input type="text"/> D <input type="text"/> E | Φ, ρ |
| | $\Gamma \rightarrow$ Z | Φ | <input type="text"/> \uparrow <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:

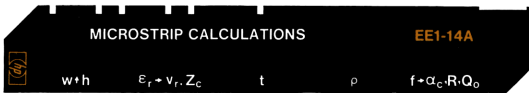
Berechnen Sie Z_0 für eine Freileitung, die aus einem einzelnen 0,1285 Zoll dicken Draht besteht, der in 6 Zoll Abstand zu einer geerdeten Fläche gespannt ist.

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:

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

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

$$R = 2R_S/w$$

$$\mu_0 = \frac{\alpha_0}{V_r}$$

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

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

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.

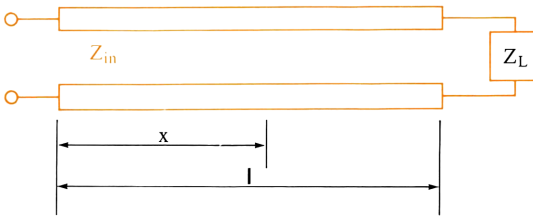
Drücken Sie**Anzeige/Ausdruck**.05 **ENTER** 2.54 **x** **ENTER** **A**

| | | |
|--|--------------------|----------|
| 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 |

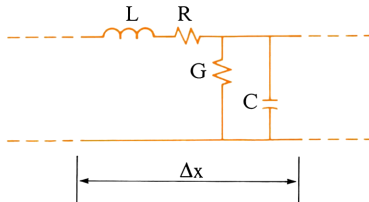
Eingangsimpedanz einer verlustbehafteten Übertragungsleitung



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.

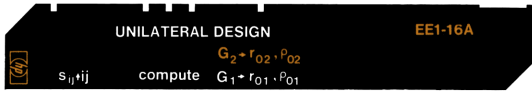
| | | | | | | | | | | |
|-----|--------------|------------|----------|--------------|----------|------------|----------|--------------------|----------------------------------|----------|
| .05 | ENTER | 2.54 | x | ENTER | + | 9.5 | B | 391.3-03*** | v_r | |
| | | | | | | | | 49.54+00*** | Z_c | |
| 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 <input type="text"/> 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 , $G_{1\max}$ und $G_{2\max}$?

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

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

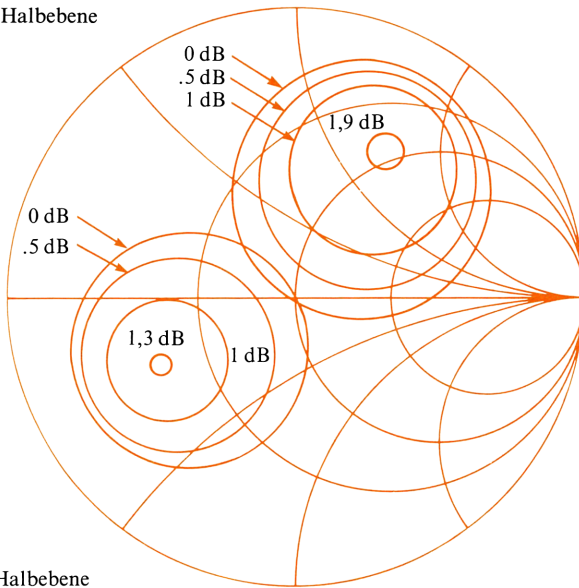
| | | | | | | | | | |
|-----|--------|----|---|-----|--------|----|---|---------|-------------------------|
| .51 | ENTER↑ | 11 | A | .09 | ENTER↑ | 12 | A | | |
| 1.4 | ENTER↑ | 21 | A | .6 | ENTER↑ | | | | |
| 22 | A | B | | | | | | 0.08*** | u |
| | | | | | | | | 6.17*** | G_{\max} |
| | | | | | | | | 5.49*** | $G_{\text{actual min}}$ |
| | | | | | | | | 6.91*** | $G_{\text{actual max}}$ |
| | | | | | | | | 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} | | r_{o2} | ρ_{o2} |
|-------|----------|-------------|-----|----------|-------------|
| 0 dB | .40 | ∠ -154 | .40 | .44 | ∠ 58 |
| .5 dB | .44 | ∠ -154 | .32 | .48 | ∠ 58 |
| 1 dB | .48 | ∠ -154 | .20 | .52 | ∠ 58 |

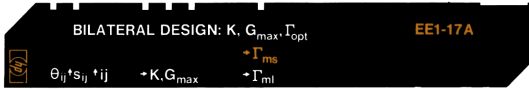
Ausgangs-Halbebene



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 EEI-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.

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

Wo liegt der Mittelpunkt des 10 dB-Verstärkungskreises und wie groß ist der Radius?

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

Lesen Sie das Programm EEI-17 ein

| | | | | | | |
|----------|------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| 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*** | K |
| | | | | | 12.81 + 00*** | G_{\max} |
| f | C | —————→ | | 135.4 + 00*** | | θ_{ms} |
| | | | | | 729.8 - 03*** | Γ_{ms} |
| C | —————→ | | 33.85 + 00*** | | | θ_{ms} |
| | | | | | 951.1 - 03*** | Γ_{ms} |

Lesen Sie das Programm EEI-18 ein.

| | | | | | |
|----|----------|--------|--|----------------------|-----------------|
| 10 | A | —————→ | | 33.85 + 00*** | $\angle r_{02}$ |
| | | | | 781.2 - 03*** | $ r_{02} $ |
| | | | | 214.2 - 03*** | ρ_{02} |

Beispiel 2:

Wir haben herausgefunden, daß der 10 dB-Verstärkungskreis im Punkt $r_{02} = .781 \angle 33.85$ liegt und den Radius $\rho_{02} = .214$ besitzt. Welcher neue Quell-Reflexionskoeffizient ergibt sich, wenn wir einen Abschluß-Reflexionskoeffizienten von $(r_{02} - \rho_{02}) \angle r_{02} = .567 \angle 33.85$ herausgreifen?

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

Fortsetzung von Beispiel 1,

| | | | | | | |
|-------|----------------|------|----------|--------|----------------------|----------------------|
| 33.85 | ENTER ↑ | .567 | B | —————→ | 32.33 + 00*** | $\angle \Gamma_{ms}$ |
| | | | | | 276.0 - 03*** | $ \Gamma_{ms} $ |

Beispiel 3:

Konstruieren Sie Stabilitätskreise für einen Transistor mit folgender Streu-Matrix (s-Matrix):

$$s = \begin{bmatrix} .385 \angle -55 & .045 \angle 90 \\ 2.7 \angle 78 & .89 \angle -26.5 \end{bmatrix}$$

Drücken Sie

Anzeige/Ausdruck

Lesen Sie das Programm EEI-17 ein.

| | | | | | |
|----------|------------|----------------|------|----------------|----|
| 55 | CHS | ENTER ↑ | .385 | ENTER ↑ | 11 |
| A | 90 | ENTER ↑ | .045 | ENTER ↑ | 12 |
| A | 78 | ENTER ↑ | 2.7 | ENTER ↑ | 21 |

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

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-------|
| <p>001 #LBLA 002 CLRG 003 2 004 x 005 Fi 006 x 007 ST00 008 1 009 ST01 010 ST07 011 CLX 012 RTH 013 #LBLB 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=V 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 #LBLk 046 0 047 ST02 048 #LBLc 049 RCL0 050 x 051 9 052 0 053 ST02 054 #LBLd 055 RCL0 056 x</p> | <p>f eingeben</p> <p>ω speichern</p> <p>$q = \begin{bmatrix} 1 \angle 0 & 0 \\ 0 & 1 \angle 0 \end{bmatrix}$</p> <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> <p>$[q] \leftarrow \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} [q]$</p> <p>R $\angle 0$ nach LBL 2</p> <p>$\omega L \angle 90$ nach LBL 2</p> | <p>057 1/X 058 9 059 0 060 CHS 061 ST02 062 #LBLE 063 GSB0 064 CHS 065 X=V 066 1/X 067 X=V 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 RCLC 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=V 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</p> | <p>$(\omega C)^{-1} \angle -90$ nach LBL 2</p> <p>$\frac{1 - \omega^2 LC}{\omega C} \angle -90$ nach LBL 2</p> <p>$[q] \leftarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{z} & 1 \end{bmatrix} [q]$</p> <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_{11} \text{neu} $ | $\angle q_{11} \text{neu}$ | $ q_{12} \text{neu} $ | $\angle q_{12} \text{neu}$ | $ q_{21} \text{neu} $ | $\angle q_{21} \text{neu}$ | $ q_{22} \text{neu} $ | $\angle q_{22} \text{neu}$ | $ Z $ |

| | | | |
|---|--|--|--|
| <pre> 113 ST00 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> | | |
|---|--|--|--|

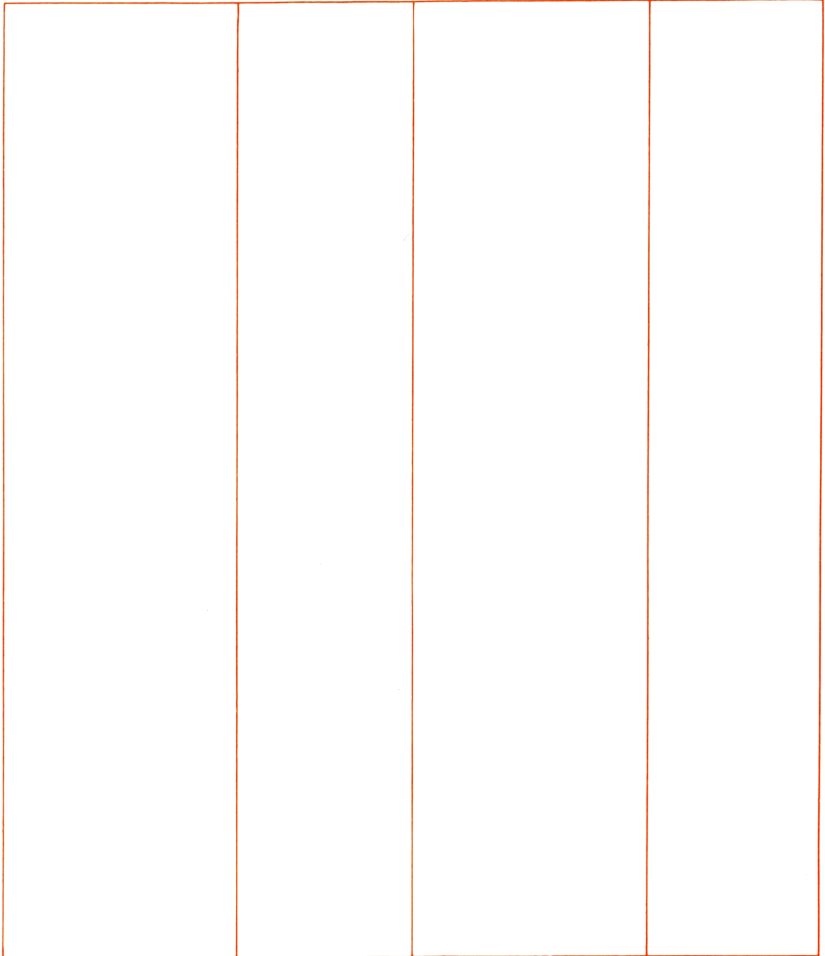
| LABELS | | | | | FLAGS | SET STATUS | | | |
|--------|--------|---|--------|-------|--------|-------------------------------------|--------------------------|---|---|
| A | B | C | D | E | 0 | FLAGS | | TRIG | DISP |
| f | | | | | | ON | OFF | | |
| a | | | | | 1 | <input checked="" type="checkbox"/>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

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 | *LBL E | 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: Z_A | | | | |
| 050 | RCLA | | 106 | R† | A | | | | |
| 051 | RCL9 | | 107 | RCL9 | Z_B | | | | |
| 052 | +R | | 108 | RCLA | B | | | | |
| 053 | X=Z | | 109 | GSB9 | | | | | |
| 054 | R† | | 110 | RCLD | Ausgabe: $Z_{Z_L A + B}$ | | | | |
| 055 | = | | 111 | RCLE | $Z_{Z_L A + B}$ | | | | |
| 056 | ST0C | | 112 | GSB8 | | | | | |
| REGISTERS | | | | | | | | | |
| 0 | 1 u ₁₁ | 2 $Z_{u_{11}}$ | 3 u ₁₂ | 4 $Z_{u_{12}}$ | 5 u ₂₁ | 6 $Z_{u_{21}}$ | 7 u ₂₂ | 8 $Z_{u_{22}}$ | 9 Z _L |
| S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
| A | B Nenner | | C belegt | D Z_B | | E B | I Z_{Nenner} | | |

Impedanzanpassung mit L-Netzwerken

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|----|----|----|----|----|----|
| <p>001 *LBLA 002 ST01 003 R4 004 ST02 005 R/S 006 *LBLB 007 ST03 008 R4 009 ST04 010 R/S 011 *LBL1 012 RCL2 013 X² 014 RCL1 015 X² 016 + 017 RCL3 018 x 019 RCL1 020 RCL3 021 - 022 ÷ 023 LSTX 024 1/X 025 RCL3 026 x 027 RCL2 028 x 029 X² 030 LSTX 031 R4 032 + 033 IX 034 R↑ 035 XZY 036 - 037 ST05 038 LSTX 039 ENT↑ 040 + 041 + 042 ST06 043 RTN 044 *LBLC 045 GSB1 046 GSB5 047 GSB2 048 GSB5 049 RTN 050 *LBLc 051 GSB1 052 RCL5 053 GSB5 054 GSB2 055 GSB5 056 RTN</p> | <p>R_L speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X_L speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>R_S speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X_S speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Unterprogramm zur Berechnung von X₁₍₊₎ und X₁₍₋₎</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₁₍₊₎ berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₂ berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₁₍₋₎ berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₂ berechnen</p> | <p>057 *LBLD 058 GSB2 059 GSB1 060 GSB5 061 GSB2 062 GSB5 063 + 064 GSB2 065 LSTX 066 RTN 067 *LBLd 068 GSB2 069 GSB1 070 RCL5 071 GSB5 072 GSB2 073 GSB5 074 + 075 GSB2 076 LSTX 077 RTN 078 *LBL2 079 ST07 080 RCL2 081 + 082 RCL3 083 x 084 RCL7 085 RCL4 086 + 087 RCL1 088 x 089 - 090 RCL1 091 ÷ 092 RTN 093 *LBL2 094 RCL1 095 RCL3 096 ST01 097 XZY 098 ST03 099 RCL2 100 RCL4 101 ST02 102 XZY 103 ST04 104 RTN 105 *LBL5 106 F0? 107 PRX 108 F0? 109 RTN 110 R/S 111 RTN 112 R/S</p> | <p>Z_S und Z_L austauschen X₁₍₊₎ berechnen X₂ berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₂ in LSTX speichern Z_S und Z_L austauschen X₂ zurückrufen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Z_S und Z_L austauschen X₁₍₋₎ berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₂ berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>X₂ in LSTX speichern Z_S und Z_L austauschen X₂ zurückrufen</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Unterprogramm zur Berechnung von X₂</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Routine zum Austausch von Z_S und Z_L</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige Wenn Flag 1 gesetzt, dann Rücksprung, andernfalls Anzeige Rücksprung</p> | | | | | | |
| REGISTERS | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 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 $X_L \uparrow R_L$ | B $X_S \uparrow R_S$ | | | E | 0 | ON OFF | | DISP |
| a | b | c | d | e | 1 | 0 <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | DEG <input checked="" type="checkbox"/> | FIX <input checked="" type="checkbox"/> |
| 0 | 1 X_1 | 2 $Z_S \leftarrow Z_L$ | 3 X_2 | 4 | 2 | 1 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD <input type="checkbox"/> | SCI <input type="checkbox"/> |
| 5 Anzeige | 6 | 7 | 8 | 9 | 3 | 2 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> | RAD <input type="checkbox"/> | ENG <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | 3 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> | | n <u>2</u> |

Optimaler Arbeitspunkt eines Klasse A-Transistor-Verstärkers

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|---------------------|------------------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| <p>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 +</p> | <p>V_{BE}max → Sekundär-Register ----- θ_{JA} berechnen ----- R_L berechnen ----- R_E berechnen ----- Beginn der Iterationsschleife I_{ca} berechnen ----- T_{max} berechnen ----- Falls T_{max} > T_{Jmax}, dann R_L vergrößern; andernfalls V_{BEX} berechnen</p> | <p>057 ST0E 058 1 059 RCL1 060 *# 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</p> | <p>T_{min} berechnen ----- V_{BEN} berechnen ----- Falls V_{BEX} > V_{BEN}, dann R_E = 0 setzen und R_L vergrößern; andernfalls neuen Wert für R_E berechnen Falls ΔR_F ≥ 0,5%, dann Schleife wiederholen Wenn Flag 1 gesetzt, dann Aufgabe beenden; andernfalls erneuter Schleifendurchlauf für Ausgabe Stop zur Eingabe der h_{FE}-Werte ----- 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 *LBLE 002 2 003 x 004 2 005 1 006 - 007 ST01 008 R4 009 ST01 010 ISZ1 011 R4 012 ST01 013 RTN 014 *LBLE 015 ST07 016 X=Y 017 ST08 018 RTN 019 *LBLE 020 ST05 021 X=Y 022 ST05 023 RTN 024 *LBLE 025 GSB7 026 X=Y 027 GSB5 028 X=Y 029 GSB5 030 SPC 031 RTN 032 *LBLC 033 CF1 034 GSB _e 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 *LBLE 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 _{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 *LBLO 075 CF1 076 GSB _e 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 *LBLE 098 RCL2 099 RCL1 100 RCL6 101 RCL5 102 GSB8 103 1/X 104 X=Y 105 CHS 106 X=Y 107 RCL8 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 | | B | | C | | D | | E | |
| ∠ A _i | | h ₂₁ = h _f | | θ ₂₁ | | h ₂₂ = h _o | | θ ₂₂ | |
| | | | | | ∠ Z _{in} | | | | |

| | | | | | |
|-----|-------|---|-----|-----|-------------------------------------|
| 113 | CHS | | 169 | R↓ | Routine für komplexe Multiplication |
| 114 | RCLC | | 170 | × | |
| 115 | RCLD | | 171 | R↓ | |
| 116 | GSBE | | 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 | GSBE | | | | |
| 138 | 0 | | | | |
| 139 | ENT↑ | | | | |
| 140 | 1 | | | | |
| 141 | GSBE | | | | |
| 142 | 1/X | | | | |
| 143 | X↔Y | | | | |
| 144 | CHS | | | | |
| 145 | X↔Y | | | | |
| 146 | RCLB | | | | |
| 147 | CHS | | | | |
| 148 | RCLC | | | | |
| 149 | GSBE | | | | |
| 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 | B | C | D | E | F | ON OFF | | DISP | |
| 0 | θ _L ↑h _j t _j | →A _V | →A _{VS} | →Z _{out} | Druck/Anz. | 0 | <input type="checkbox"/> | DEG <input checked="" type="checkbox"/> | FIX <input type="checkbox"/> |
| a | θ _S ↑R _S | →A _j | d | →Z _{in} | Druck/Anz. | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD <input type="checkbox"/> | SCI <input type="checkbox"/> |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | <input type="checkbox"/> | RAD <input type="checkbox"/> | ENG <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | Anzeige | 7 | A _j | 8 | ADD. | 3 | 3 | <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 ST0D 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 | × | | |
| 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 → θ_{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 → S</p> <p>[T] = Z₀[Y] [T'] berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>S → Y [T] = [S] [T'] berechnen ξ = 1/Z₀ · {Y} = [T']/Z₀</p> <p>$[T] \leftarrow \begin{bmatrix} \xi & 0 \\ 0 & \xi \end{bmatrix} [T]$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Z → S ξ = 1/Z₀ [T] = [S]/Z₀ [T'] berechnen ξ = -1 [S] = -[T]</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>S → Z ξ = -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>ξ = Z₀ [Z] = Z₀ [T']</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>G → S</p> <p>$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} [S]$</p> <p>[T'] berechnen ξ = -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 → G ξ = -1</p> <p>$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} S$</p> <p>[T'] berechnen</p> <p>$G = \begin{bmatrix} t_{11}' & \\ t_{21}' & Z_0 t_{22}' \end{bmatrix}$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>H → S</p> <p>$[T] = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} Z_0 \end{bmatrix} [H]$</p> <p>[T'] berechnen ξ = -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 → H ξ = -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

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

| 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 | | | |

| <p>113 - 114 RCL4 115 x 116 RCL2 117 x 118 1/x 119 GSB5 120 RCL3 121 GSB5 122 GSB5 123 2 124 RCL2 125 ÷ 126 RCL4 127 ÷ 128 GSB5 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 | TRIG | | DISP | |
| a | b | c | d | e | 1 | ON | OFF | | |
| f ₀ | α | | | | | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FIX <input type="checkbox"/> |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | DEG <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 3 | 2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD <input type="checkbox"/> |
| Anzeige | | | | | | 3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | RAD <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | | | | SCI <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | | | | ENG <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | | | | | | | | n <u> 3 </u> |

Entwurf von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern

Karte 1

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|--|--------------|--------------|----|--------|----|----|
| 001 *LBL E 002 1 003 0 004 ÷ 005 10^x 006 2 007 x 008 1 009 - 010 LN 011 STOB 012 X^Y 013 GSB9 014 GSB7 015 RCLB 016 X^Y 017 LN 018 ABS 019 ÷ 020 1 021 + 022 2 023 ÷ 024 INT 025 STOE 026 RTN 027 *LBLA 028 ST05 029 RTN 030 *LBLD 031 1 032 0 033 ÷ 034 10^x 035 1 036 - 037 4 038 x 039 RCL6 040 X^2 041 ÷ 042 2 043 - 044 STOB 045 X^Y 046 GSB9 047 GSB7 048 ENT↑ 049 X^2 050 1 051 - 052 √X 053 + 054 ST03 055 LN 056 RCLB | Berechnen Sie n für ein Butterworth-Filter ----- R speichern ----- Berechnen Sie n für ein Tschebyscheff-Filter | 057 LN 058 X^Y 059 ÷ 060 STOE 061 *LBL6 062 RCL E 063 RCL3 064 RCL E 065 Y^X 066 ST0A 067 ENT↑ 068 1/X 069 + 070 RCLB 071 - 072 RCLA 073 ENT↑ 074 1/X 075 - 076 ÷ 077 RCL3 078 LN 079 ÷ 080 2 081 ÷ 082 - 083 STOE 084 LSTX 085 ABS 086 . 087 0 088 1 089 X^Y? 090 CT06 091 RCL E 092 2 093 ÷ 094 1 095 + 096 INT ← STO E 097 RTN 098 *LBL9 099 2 100 x 101 P↑ 102 x 103 RTN 104 *LBL7 105 ST0A 106 RCLD 107 ST01 108 CT0;. 109 *LBL4 110 GSB3 111 CT00 112 *LBL2 | ----- ----- Routine zur Multiplikation mit 2π ----- Routine zur Normierung der Frequenz ----- Bandsperr ----- Hochpaß | | | | | | |
| REGISTERS | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
| A ω | | B | C | D | E | F | G | H | I |
| | | | | 1 LP 2 HP | 3 BP 4 BE | n | Zähler | | |

Karte 2

| | | | |
|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 001 *LBL8 | BUTTERWORTH | 057 RCL8 | |
| 002 RCL8 | | 058 ÷ | |
| 003 STOI | Zähler vorbereiten | 059 GSB6 | |
| 004 SF1 | | 060 GSB5 | |
| 005 *LBL8 | Beginn Schleife 8 | 061 LSTX | |
| 006 RCL8 | | 062 ÷ | |
| 007 RCL1 | Butterworth- | 063 1/X | |
| 008 - | Gleichungen | 064 RCL7 | |
| 009 1 | | 065 X ² | |
| 010 + | i speichern | 066 ÷ | |
| 011 ST09 | | 067 GSB6 | |
| 012 2 | | 068 CHS | |
| 013 x | | 069 GT00 | |
| 014 1 | | 070 *LBL4 | Bandsperr |
| 015 - | | 071 X ² 1 | |
| 016 P1 | | 072 R1 | |
| 017 x | | 073 RCL8 | |
| 018 2 | | 074 x | |
| 019 ÷ | (2i-1) π/2n | 075 RCL7 | |
| 020 RCL8 | | 076 X ² | |
| 021 ÷ | | 077 ÷ | |
| 022 SIN | | 078 GSB6 | |
| 023 2 | | 079 GSB5 | |
| 024 x | | 080 LSTX | |
| 025 *LBL9 | | 081 ÷ | |
| 026 ST0A | | 082 RCL7 | |
| 027 RCL5 | | 083 X ² | |
| 028 1 | | 084 x | |
| 029 CHS | i anzeigen | 085 1/X | |
| 030 RCL9 | | 086 GSB6 | |
| 031 GSB5 | | 087 CHS | |
| 032 Y ^x | R (-1) ⁱ | 088 *LBL8 | |
| 033 Y ^x | | 089 GSB5 | |
| 034 x | Sprung zur entspr. | 090 F0? | |
| 035 RCLD | Routine zur | 091 SPC | Falls Butterworth, |
| 036 X ² 1 | Frequenz- | 092 F1? | dann Schleife 8 |
| 037 GT01 | Transformation | 093 GT01 | wiederholen, sonst |
| 038 *LBL1 | Tiefpaß | 094 DSZ1 | Schleife 7 |
| 039 X ² 1 | | 095 GT07 | wiederholen |
| 040 R1 | | 096 RTN | |
| 041 RCL7 | | 097 *LBL1 | |
| 042 ÷ | | 098 DSZ1 | |
| 043 GSB6 | | 099 GT00 | |
| 044 GT00 | | 100 RTN | |
| 045 *LBL2 | Hochpaß | 101 *LBL6 | Routine für |
| 046 X ² 1 | | 102 1 | Vorzeichenwechsel |
| 047 R1 | | 103 CHS | bei Kapazitäten |
| 048 RCL7 | | 104 RCL9 | |
| 049 x | | 105 Y ^x | |
| 050 1/X | | 106 x | |
| 051 GSB6 | | 107 RTN | |
| 052 CHS | | 108 *LBLD | Tschebyscheff |
| 053 GT00 | | 109 1 | |
| 054 *LBL3 | Bandpaß | 110 ST09 | |
| 055 X ² 1 | | 111 CF1 | |
| 056 R1 | | 112 FC14 | |

| REGISTERS | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|----|---------------------------------|------------|----------------|----|----------------|----|--------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | | | Ripple, dB | R | ε | ω ₀ | BW | i |
| S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
| A | G ₁ , G _{i-1} | B | a ₁ , a _j | C | γ ² | D | 1 LP 2 HP | E | 3 BP 4 BE |
| | | | | | | | n | | Zähler |

Bode-Plot von Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|------------------|--------------------------|--------------|--------------|------|--------------|
| <pre> 001 #LBL0 002 1 003 0 004 1 005 10^ 006 1 007 - 008 % 009 ST08 010 R4 011 CF0 012 ST0E 013 RTN 014 #LELA 015 SF0 016 ST0E 017 RTN 018 #LBLE 019 2 020 GT08 021 #LBL0 022 3 023 GT01 024 #LBLE 025 4 026 #LEL1 027 GSB0 028 R4 029 GSB9 030 ST08 031 RTN 032 #LELA 033 1 034 #LEL0 035 ST08 036 R4 037 GSB9 038 ST07 039 RTN 040 #LELD 041 ST08 042 GSB9 043 ST0C 044 R4 045 GSB9 046 ST08 047 R4 048 GSB9 049 ST0A 050 RTN 051 #LBLE 052 0 053 ST07 054 ST05 055 1 056 ST04 </pre> | <p>dB ripple in ϵ umwandeln</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>ϵ speichern</p> <p>Tschebyscheff n speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Butterworth n speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Hochpaß</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Bandpaß</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Bandsperre</p> <p>Filtercharakteristik und ω_0 speichern</p> <p>$2\pi \times$ BW speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Tiefpaß</p> <p>Filtercharakteristik speichern Mit 2π multiplizieren ω_0 speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Δf speichern</p> <p>$\Delta\omega$ speichern</p> <p>ω_2 speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>ω_1 speichern</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Register löschen</p> | <pre> 057 RCLE 058 ST01 059 GSB7 060 #LBL8 061 RAD 062 GSB6 063 RCL1 064 RCL9 065 + 066 RCL2 067 +P 068 ST=4 069 %Y 070 ST=5 071 RCL2 072 RCL1 073 +P 074 ST*4 075 +R 076 RCL9 077 + 078 RCL2 079 +P 080 %2 081 %Y 082 R4 083 1 084 ST+3 085 DSZ1 086 GT08 087 RCL4 088 1 089 GSB9 090 1 091 RCL4 092 LOG 093 2 094 0 095 x 096 RND 097 RCL5 098 1 099 +P 100 DEG 101 +P 102 CLY 103 RCL3 104 PRST 105 RCLE 106 RCL4 107 F1^ 108 GT08 109 RCLC 110 + 111 GT03 112 #LBLE </pre> | <p>----- ω_N berechnen -----</p> <p>Beginn Schleife 8 s_k berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Dämpfung</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Phase</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Normierung</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Laufzeit solange Zähler $\neq 0$, Schleife 8 wiederholen</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Frequenz</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Dämpfung, dB</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Phase, Grad</p> <p>Laufzeit f, iH, θ, t ausgeben</p> <hr style="border-top: 1px dashed orange;"/> <p>Falls Flag 1 gesetzt, dann GTO LBL 0; sonst $\omega \leftarrow \omega + \Delta\omega$</p> | | | | | | |
| REGISTERS | | | | | | | | | |
| 0 Δf | 1 $- Im s_k $ | 2 $-Re s_k $ | 3 Laufzeit | 4 $- H(\omega) $ | 5 $\Sigma\theta(\omega)$ | 6 ϵ | 7 ω_0 | 8 BW | 9 ω_N |
| S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
| A ω_1, ω | B ω_2 | C $\Delta\omega$ | D 1 LP 2 HP | E 3 BP 4 BE | F n | G Zähler | | | |

| | | | | | |
|-----|----------------|---|-----|----------------|--------------------|
| 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 \leq 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 | GT01 | Sprung nach LBL i | 179 | STx2 | |
| 124 | *LBL4 | BE | 180 | R4 | |
| 125 | GSB3 | | 181 | STx1 | |
| 126 | GT00 | HP | 182 | 2 | |
| 127 | *LBL2 | | 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 | GT05 | | 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 | GT05 | BP | 194 | GSB9 | |
| 139 | *LBL3 | | 195 | 4 | |
| 140 | X \neq 1 | | 196 | = | |
| 141 | RCLA | | 197 | 1 | |
| 142 | X \neq | | 198 | →R | |
| 143 | RCL7 | | 199 | ST01 | |
| 144 | X \neq | | 200 | X \neq Y | |
| 145 | - | | 201 | ST02 | |
| 146 | RCLA | | 202 | RTN | |
| 147 | ÷ | | 203 | *LBLd | |
| 148 | RCL8 | | 204 | 1 | |
| 149 | ÷ | | 205 | F10 | |
| 150 | *LBL5 | ω_N speichern | 206 | CLX | Logarithmisches |
| 151 | ST09 | | 207 | SF1 | Inkrement |
| 152 | RTH | | 208 | X=0° | |
| 153 | *LBL6 | Routine zur | 209 | CF1 | |
| 154 | F0° | Berechnung von s_k | 210 | RTH | Lineares Inkrement |
| 155 | GT01 | 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 | ON OFF | TRIG | DISP |
| ⁰ belegt | ¹ belegt | ² belegt | ³ belegt | ⁴ | ² | 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | DEG <input type="checkbox"/> | FIX <input type="checkbox"/> |
| ¹ | ² | ³ | ⁴ | ⁵ | ³ | 1 <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | GRAD <input type="checkbox"/> | SCI <input type="checkbox"/> |
| ² | ³ | ⁴ | ⁵ | ⁶ | | 2 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> | RAD <input checked="" type="checkbox"/> | ENG <input type="checkbox"/> |
| ³ | ⁴ | ⁵ | ⁶ | ⁷ | | 3 <input type="checkbox"/> <input checked="" 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

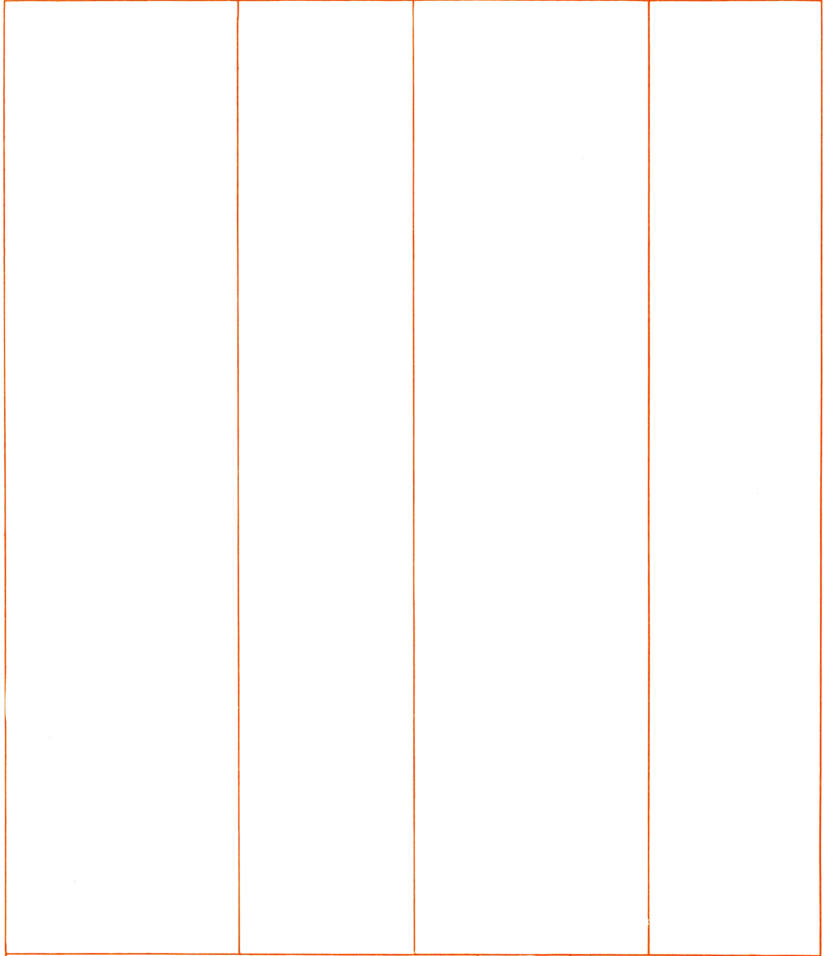
| | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|----------|----------|----------------------|----|----|----|
| <pre> 001 #LBL6 002 1/X 003 #LBL6 004 LOC 005 2 006 0 007 x 008 RTH 009 #LBL6 010 CHS 011 #BLA 012 2 013 0 014 ÷ 015 10* 016 RTH 017 #LBL6 018 1/X 019 CHS 020 #LBL6 021 1 022 X<Y 023 + 024 1 025 LSTX 026 - 027 ÷ 028 RTH 029 #LBL6 030 STO1 031 RTH 032 #LBL6 033 : 034 GSB7 035 RCL1 036 CHS 037 x 038 →R 039 →P 040 CT09 041 #LBL6 042 RCL1 043 CHS 044 GSB7 045 #LBL9 046 X<Y 047 GSB5 048 X<Y 049 GSB5 050 RTH 051 #LBL5 052 F0? 053 PRTX 054 F0? 055 RTH 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 eingeebener 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 RTH 058 #LBL7 059 ENTf 060 Rf 061 Rf 062 →R 063 Rf 064 - 065 CT06 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 RTH 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 | | | | FIX | ENG | | | | | | |
| 0 | | 1 | belegt | 2 | belegt | 3 | | 4 | | 2 | | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | DEG | <input checked="" type="checkbox"/> | SCI | <input type="checkbox"/> | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD | <input type="checkbox"/> | ENG | <input type="checkbox"/> | | | | | | |
| 5 | Anzeige | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | belegt | 3 | | 2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | RAD | <input type="checkbox"/> | n | <u>2</u> | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |

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 <input checked="" type="checkbox"/> | OFF <input type="checkbox"/> | DEG <input checked="" type="checkbox"/> | FIX <input checked="" type="checkbox"/> |
| a | b | c | d | e | 2 | 1 <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD <input type="checkbox"/> | SCI <input type="checkbox"/> |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | RAD <input type="checkbox"/> | ENG <input type="checkbox"/> |
| 5 Anzeige | 6 | 7 | 8 | 9 | | 3 <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 *LBL2 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 ST04 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 RCL4 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 |

| | | | | | | | | |
|-----|----------------|-------------------------|--|--|-----|----------------|--|-------------|
| 113 | *LBL E | | | | 169 | 1 | | |
| 114 | EE | | | | 170 | + | | |
| 115 | 9 | | | | 171 | F0? | | |
| 116 | ÷ | | | | 172 | GT0: | | |
| 117 | STO5 | | | | 173 | 1 | | |
| 118 | f _x | | | | 174 | RCL9 | | |
| 119 | RCL3 | a _c ausgeben | | | 175 | - | | |
| 120 | x | | | | 176 | 5 | | |
| 121 | RCL2 | | | | 177 | Y ⁿ | | |
| 122 | ÷ | | | | 178 | 6 | | |
| 123 | STOB | | | | 179 | x | | |
| 124 | PRTN | | | | 180 | . | | |
| 125 | LSTN | | | | 181 | 4 | | |
| 126 | x | | | | 182 | 4 | | |
| 127 | 2 | R ausgeben | | | 183 | + | | |
| 128 | x | | | | 184 | RCL9 | | |
| 129 | RCL4 | | | | 185 | Y ^x | | |
| 130 | ÷ | | | | 186 | x | | |
| 131 | RCL9 | | | | 187 | 1 | | |
| 132 | x | | | | 188 | + | | |
| 133 | PRTN | | | | 189 | x | | |
| 134 | 2 | | | | 190 | RCLA | | |
| 135 | Pi | | | | 191 | x | | |
| 136 | x | | | | 192 | 7 | | |
| 137 | RCL0 | | | | 193 | 2 | | |
| 138 | ÷ | | | | 194 | 0 | | |
| 139 | RCL5 | | | | 195 | ÷ | | A speichern |
| 140 | x | | | | 196 | Pi | | |
| 141 | 3 | | | | 197 | STOB | | |
| 142 | ÷ | Q ausgeben | | | 198 | *LBL1 | | |
| 143 | RCL2 | | | | 199 | 3 | | |
| 144 | ÷ | | | | 200 | 2 | | |
| 145 | RCL8 | | | | 201 | RCL9 | | |
| 146 | ÷ | | | | 202 | Y ^x | | |
| 147 | PRTN | | | | 203 | x | | |
| 148 | RTH | | | | 204 | 1 | | |
| 149 | *LBL0 | | | | 205 | - | | |
| 150 | CF1 | | | | 206 | x | | |
| 151 | RCL7 | | | | 207 | RCLA | | |
| 152 | 2 | | | | 208 | ÷ | | |
| 153 | x | | | | 209 | LSTN | | |
| 154 | X ^Y | | | | 210 | ∫ | | |
| 155 | ÷ | | | | 211 | 0 | | |
| 156 | RCL8 | | | | 212 | ÷ | | |
| 157 | Pi | | | | 213 | e ^x | | |
| 158 | 2 | | | | 214 | ÷ | | |
| 159 | x | | | | 215 | . | | |
| 160 | x | | | | 216 | 4 | | |
| 161 | x | | | | 217 | *LBL0 | | |
| 162 | X ^Y | | | | 218 | ÷ | | |
| 163 | X ^Y | | | | 219 | RCL0 | | |
| 164 | LN | | | | 220 | ÷ | | |
| 165 | Pi | | | | 221 | Pi | | |
| 166 | ÷ | | | | 222 | ÷ | | |
| 167 | RCL8 | | | | 223 | STO4 | | A speichern |
| 168 | + | | | | 224 | RTN | | |

| LABELS | | | | | | SET STATUS | | | | | | | | |
|--------|-----|---|----------------|---|---|------------|---|---|---------------------------|---|-------------|---|---|---|
| A | wth | B | e _r | C | t | D | p | E | f → a _c , R, Q | 0 | w > h | FLAGS | TRIG | DISP |
| a | | b | | c | | d | | e | | 1 | gleichmäßig | 0 <input type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/> OFF | 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 | | 6 | | 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 <u>3</u> |

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 | l |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|---|-------------------------------------|--------------------------|--|--|--|--------|--|--|--|--|--|---|--------------------------|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|---|--------------------------|-------------------------------------|------|--------------------------|-----|---|--------------------------|-------------------------------------|-----|--------------------------|-----|--|--|--|--|--|----------------|
| 113 | RCL3 | | 169 | CHS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 114 | + | | 170 | × | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 115 | × | | 171 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 116 | 2 | | 172 | CHS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 117 | ÷ | | 173 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 118 | CHS | | 174 | →R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 119 | 1 | | 175 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | + | | 176 | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 121 | →P | | 177 | →P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 122 | ST×1 | | 178 | RCL7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123 | X \leftrightarrow Y | | 179 | × | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 124 | ST02 | | 180 | 1/X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | RCL5 | | 181 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 126 | Y \leftrightarrow | | 182 | RCL8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 127 | 2 | | 183 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 128 | ÷ | | 184 | CHS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 129 | 1 | | 185 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 130 | + | | 186 | →R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 131 | RCL3 | | 187 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 132 | RCL8 | | 188 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 133 | + | | 189 | →P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 134 | →P | | 190 | 1/X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 135 | ST×7 | | 191 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 136 | X \leftrightarrow Y | | 192 | × | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 137 | ST04 | | 193 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 138 | RTN | | 194 | CHS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 139 | #LBL5 | | 195 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 140 | ST05 | Z _L speichern | 196 | →R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 141 | X \leftrightarrow Y | | 197 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 142 | ST06 | θ _L speichern | 198 | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 143 | RCL4 | | 199 | →P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 144 | RCL7 | | 200 | RCL1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 145 | →R | | 201 | × | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 146 | CHS | | 202 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 147 | e ^x | | 203 | RCL2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 148 | ST07 | | 204 | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 149 | X \leftrightarrow Y | | 205 | GSB5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 1 | | 206 | X \leftrightarrow Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 151 | 0 | | 207 | GSB5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 152 | 0 | | 208 | RTN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 153 | × | | 209 | #LBL5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 154 | P <i>π</i> | | 210 | F0? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 155 | ÷ | | 211 | PRTX | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 156 | ST08 | | 212 | F0? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 157 | RCL6 | | 213 | RTN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 158 | RCL2 | | 214 | R↔S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 159 | - | | 215 | RTN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 160 | RCL5 | | 216 | R↔S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 161 | RCL1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 162 | ÷ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 163 | →R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 164 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 165 | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 166 | →P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 167 | 1/X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 168 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; sonst Anzeige | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LABELS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | B | C | D | E | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V _r ↑R ₀ | 1 | G↑R | u _D ↑u _c | Z _L →Z _{in} | Druck/Anz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a | b | c | d | e | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzeige | 6 | 7 | 8 | 9 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FLAGS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SET STATUS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:10%; text-align:center;">0</td> <td style="width:10%; text-align:center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width:10%; text-align:center;"><input type="checkbox"/></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align:center;">ON OFF</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">1</td> <td style="text-align:center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;">DEG</td> <td style="text-align:center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;">FIX</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">2</td> <td style="text-align:center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;">GRAD</td> <td style="text-align:center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;">SCI</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">3</td> <td style="text-align:center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;">RAD</td> <td style="text-align:center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align:center;">ENG</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align:center;">n <u> 3 </u></td> </tr> </table> | | | | | | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | ON OFF | | | | | | 1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | DEG | <input checked="" type="checkbox"/> | FIX | 2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD | <input type="checkbox"/> | SCI | 3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | RAD | <input type="checkbox"/> | ENG | | | | | | n <u> 3 </u> |
| 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ON OFF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | DEG | <input checked="" type="checkbox"/> | FIX | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD | <input type="checkbox"/> | SCI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | RAD | <input type="checkbox"/> | ENG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | n <u> 3 </u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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

| | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|----|---------|--------------------|-----|-----|-------|
| <p>001 *LBLA 002 2 003 x 004 2 005 1 006 - 007 ST01 008 R4 009 ST01 010 RTN 011 *LBLF 012 RCL1 013 RCL3 014 x 015 RCLB 016 x 017 RCLD 018 x 019 1 020 RCL1 021 * 022 - 023 1 024 RCLD 025 * 026 - 027 x 028 ST06 029 ÷ 030 ST07 031 GSB5 032 GSB3 033 GSB5 034 RCL7 035 GSB4 036 GSB2 037 GSB3 038 + 039 GSB5 040 RCL7 041 CMS 042 GSB4 043 GSB2 044 GSB3 045 + 046 GSB5 047 RCLP 048 * 049 GSB2 050 GSB5 051 RCL1 052 * 053 CMS 054 GSB1 055 GSB2 056 GSB5</p> | <p>[S] eingeben</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>$u, G_u, G_{min}, G_{max},$ G_0, G_1, G_2 berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>u anzeigen</p> <p>G_u anzeigen</p> <p>G_{min} anzeigen</p> <p>G_{max} anzeigen</p> <p>G_0 anzeigen</p> <p>G_1 anzeigen</p> | <p>057 + 058 RCLD 059 * 060 CMS 061 GSB1 062 GSB2 063 GSB5 064 RTN 065 *LBL5 066 FBP 067 PR7X 068 FBP 069 RTN 070 R/S 071 RTN 072 *LBL1 073 1 074 + 075 1/X 076 RTN 077 *LBL3 078 RCLB 079 * 080 RCLF 081 ÷ 082 *LBL2 083 LOC 084 1 085 0 086 x 087 RTN 088 *LBL4 089 1 090 + 091 * 092 1/X 093 RTN 094 *LBLC 095 1 096 CT06 097 *LBL2 098 2 099 3 100 *LBL6 101 ST01 102 * 103 1 104 0 105 ÷ 106 10^x 107 ST00 108 RCL1 109 x 110 LSTX 111 * 112 RCLC</p> | <p>G_2 anzeigen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige;</p> <p>sonst Anzeige</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Routine zur Berechnung von $\frac{1}{1+x}$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Routine zur Berechnung von G_u</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Umwandlung in dB</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>Routine zur Berechnung von $\frac{1}{1+x^2}$</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>r_{01}, p_{01} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> <p>r_{02}, p_{02} berechnen</p> <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> | | | | | | |
| REGISTERS | | | | | | | | | |
| 0 | 1 s_{11} | 2 | 3 s_{12} | 4 | 5 G_i | 6 $ s_{21} ^2/G_u$ | 7 u | 8 r | 9 p |
| S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
| A | B s_{21} | C | D s_{22} | E | F | G | H | I | Index |

| | | | | | | | | |
|-----|------------------|------------|--|--|--|--|--|--|
| 113 | x | | | | | | | |
| 114 | 1 | | | | | | | |
| 115 | + | | | | | | | |
| 116 | = | r anzeigen | | | | | | |
| 117 | GSBS | | | | | | | |
| 118 | STD8 | | | | | | | |
| 119 | LSTX | | | | | | | |
| 120 | 1 | | | | | | | |
| 121 | RCL i | | | | | | | |
| 122 | X ² | p anzeigen | | | | | | |
| 123 | - | | | | | | | |
| 124 | RCL 0 | | | | | | | |
| 125 | x | | | | | | | |
| 126 | 1 | | | | | | | |
| 127 | - | | | | | | | |
| 128 | CHS | | | | | | | |
| 129 | FX | | | | | | | |
| 130 | X ² Y | | | | | | | |
| 131 | = | | | | | | | |
| 132 | GSBS | | | | | | | |
| 133 | STD9 | | | | | | | |
| 134 | RTN | | | | | | | |
| 135 | R/S | | | | | | | |

| LABELS | | | | | FLAGS | SET STATUS | | | | | | | | |
|--------|----------|---|------------|---|--|------------|--------|---|--------|---|-------------|--|---|---|
| A | s; j t j | B | Berechnung | C | G ₁ → r ₀₁ , ρ ₀₁ | D | | E | | 0 | Druck./Anz. | FLAGS | TRIG | DISP |
| a | | b | | c | G ₂ → r ₀₂ , ρ ₀₂ | d | | e | | 1 | | ON OFF | | |
| 0 | | 1 | belegt | 2 | belegt | 3 | belegt | 4 | belegt | 2 | | 0 <input checked="" type="checkbox"/> OFF <input type="checkbox"/> | DEG <input checked="" type="checkbox"/> | FIX <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | belegt | 6 | belegt | 7 | | 8 | | 9 | | 3 | | 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"/> |
| | | | | | | | | | | | | 3 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> | | n <u>2</u> |

Zweiseitiger Entwurf: Stabilitätsfaktor, Maximal-Verstärkung, optimale Anpassung

| | | | | |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------------|-------------|
| 001 #LBLA | | 057 XZY | | |
| 002 2 | | 058 ST07 | | Δ speichern |
| 003 x | Adresse berechnen | 059 RCLD | | |
| 004 2 | | 060 RCL1 | | |
| 005 1 | | 061 GSB7 | | |
| 006 - | | 062 RCL6 | | |
| 007 ST01 | | 063 X ² | | |
| 008 R4 | | 064 1 | | |
| 009 ST07 | | 065 + | | |
| 010 ISZ1 | | 066 RCL1 | | |
| 011 R4 | | 067 X ² | | |
| 012 ST01 | | 068 - | | K anzeigen |
| 013 RTN | 069 RCLD | | | |
| 014 #LBLB | 070 X ² | | | |
| 015 RCL2 | 071 - | | | |
| 016 RCL5 | 072 2 | | | |
| 017 + | 073 ÷ | | | |
| 018 1 | 074 RCL3 | | | |
| 019 +R | 075 RCLB | | | |
| 020 RCL1 | 076 x | | | |
| 021 RCLD | 077 ABS | | | |
| 022 x | 078 ÷ | | K berechnen | |
| 023 x | 079 ST09 | | | |
| 024 XZY | 080 GSB5 | | | |
| 025 LSTX | 081 ENT+ | | | |
| 026 x | 082 x | | | |
| 027 RCL3 | 083 LSTX | | | |
| 028 RCLB | 084 XZY | | | |
| 029 x | 085 1 | | | |
| 030 ST09 | 086 - | | | |
| 031 CLX | 087 JX | | | |
| 032 RCL4 | 088 RCL5 | | Γ _{ms} berechnen | |
| 033 RCL5 | 089 x | | | |
| 034 + | 090 CHS | | | |
| 035 RCL9 | 091 + | | | |
| 036 ST07 | 092 RCLB | | | |
| 037 CLX | 093 x | | | |
| 038 1 | 094 RCL3 | | | |
| 039 +R | 095 ÷ | | | |
| 040 ST06 | 096 ABS | | | |
| 041 R4 | 097 LOG | | | |
| 042 RCL7 | 098 1 | | G _{max} anzeigen | |
| 043 x | 099 0 | | | |
| 044 LSTX | 100 x | | | |
| 045 ST06 | 101 GSB5 | | | |
| 046 CLX | 102 RTN | | | |
| 047 RCL6 | 103 #LBL0 | | | |
| 048 R4 | 104 RCL7 | | | |
| 049 - | 105 RCL6 | | | |
| 050 R4 | 106 RCLD | | | |
| 051 - | 107 RCL5 | | | |
| 052 CHS | 108 CHS | | Δ speichern | |
| 053 R4 | 109 GSB9 | | | |
| 054 XZY | 110 CHS | | | |
| 055 +P | 111 RCL2 | | | |
| 056 ST06 | 112 RCL1 | | | |

REGISTERS

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-----------------|----|-----------------|----|-------|
| 0 C | 1 s ₁₁ | 2 θ ₁₁ | 3 s ₁₂ | 4 θ ₁₂ | 5 sgn | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | |
| A | B | s ₂₁ | C | θ ₂₁ | D | s ₂₂ | E | θ ₂₂ | I | Index |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|--------------------------|--|--|-----|-------|--|--|--|---|
| 113 | GSB6 | | | | 169 | X=0? | | | | |
| 114 | ST00 | | | | 170 | I | | | | |
| 115 | X=Y | | | | 171 | ABS | | | | |
| 116 | ST0A | | | | 172 | LSTX | | | | |
| 117 | RCLD | | | | 173 | = | | | | |
| 118 | RCL1 | | | | 174 | ST05 | | | | |
| 119 | GSB7 | | | | 175 | RTN | | | | |
| 120 | GT01 | | | | 176 | #LBL8 | | | | Routine für komplexe Addition |
| 121 | #LBC | Γ_m berechnen | | | 177 | →P | | | | |
| 122 | RCL7 | | | | 178 | R↓ | | | | |
| 123 | RCL6 | | | | 179 | R↓ | | | | |
| 124 | RCL1 | | | | 180 | →R | | | | |
| 125 | RCL2 | | | | 181 | X=Y | | | | |
| 126 | CHS | | | | 182 | R↓ | | | | |
| 127 | GSB9 | | | | 183 | + | | | | |
| 128 | CHS | | | | 184 | R↓ | | | | |
| 129 | RCL5 | | | | 185 | + | | | | |
| 130 | RCLD | | | | 186 | R↑ | | | | |
| 131 | GSB8 | | | | 187 | →P | | | | |
| 132 | ST00 | | | | 188 | RTN | | | | |
| 133 | X=Y | | | | 189 | #LBL9 | | | | Routine für komplexe Multiplikation |
| 134 | ST0A | | | | 190 | R↓ | | | | |
| 135 | RCL1 | | | | 191 | x | | | | |
| 136 | RCLD | | | | 192 | R↓ | | | | |
| 137 | GSB7 | | | | 193 | + | | | | |
| 138 | #LBL1 | | | | 194 | R↑ | | | | |
| 139 | RCL8 | | | | 195 | RTN | | | | |
| 140 | RCL0 | | | | 196 | #LEL5 | | | | |
| 141 | = | | | | 197 | F0? | | | | Ausgabe-Routine Wenn Flag 0 gesetzt, dann Druck/Anzeige; sonst Anzeige |
| 142 | 2 | | | | 198 | PRTX | | | | |
| 143 | = | | | | 199 | F0? | | | | |
| 144 | ENT↑ | | | | 200 | RTN | | | | |
| 145 | X^Y | $\angle \Gamma$ anzeigen | | | 201 | R/S | | | | |
| 146 | - | | | | 202 | RTN | | | | |
| 147 | - | | | | 203 | R/S | | | | |
| 148 | JX | | | | | | | | | |
| 149 | RCL5 | | | | | | | | | |
| 150 | x | | | | | | | | | |
| 151 | - | | | | | | | | | |
| 152 | RCLA | | | | | | | | | |
| 153 | CHS | | | | | | | | | |
| 154 | GSB5 | | | | | | | | | |
| 155 | X=Y | $\angle \Gamma$ anzeigen | | | | | | | | |
| 156 | GSB5 | | | | | | | | | |
| 157 | RTN | Γ anzeigen | | | | | | | | |
| 158 | #LBL7 | | | | | | | | | |
| 159 | X^2 | | | | | | | | | |
| 160 | X=Y | | | | | | | | | |
| 161 | X^2 | | | | | | | | | |
| 162 | - | | | | | | | | | |
| 163 | - | | | | | | | | | |
| 164 | + | | | | | | | | | |
| 165 | RCL6 | sgn(B) berechnen | | | | | | | | |
| 166 | X^2 | | | | | | | | | |
| 167 | - | | | | | | | | | |
| 168 | ST08 | | | | | | | | | |

| LABELS | | | | | FLAGS | SET STATUS | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|------|-------|------------|--------------------------|-------------------------------------|---|---|
| A | B | C | D | E | 0 | FLAGS | | TRIG | DISP |
| $\theta_{ij} \uparrow s_{ij} \uparrow ij$ | $\rightarrow K, G_{max}$ | $\rightarrow \Gamma_{ml}$ | | | Druck/Anz. | ON | OFF | | |
| a | $\rightarrow \Gamma_{ms}$ | $\rightarrow \Gamma_{ms}$ | d | e | 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | DEG <input checked="" type="checkbox"/> | FIX <input type="checkbox"/> |
| 0 | belegt | | | | 2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | GRAD <input type="checkbox"/> | SCI <input type="checkbox"/> |
| 5 | Anzeige | belegt | ADD. | MULT. | 3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | RAD <input type="checkbox"/> | ENG <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | n <u> 3 </u> |

| | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 113 | - | | | | | 169 | RCLB | | |
| 114 | = | | | | | 170 | RCLC | | |
| 115 | GSB5 | 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 | GSB5 | 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 | GSB5 | | | | | | | | |
| 139 | X↔Y | | | | | | | | |
| 140 | GSB5 | | | | | | | | |
| 141 | RTN | | | | | | | | |
| 142 | *LBL4 | $\Gamma_s \rightarrow \Gamma_{ml}$ | | | | | | | |
| 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 | GSB5 | | | | | | | | |
| 156 | X↔Y | | | | | | | | |
| 157 | GSB5 | | | | | | | | |
| 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. |
| $x \uparrow y$ A | Das Zeichen \uparrow 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. |
| \boxed{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. |
| $\rightarrow x$ 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