

BACH.
INFORMATIONEN- UND ELEKTROTECHNIK
MODUL: NACHRICHTENTECHNIK Teil 2

AUTOR: Prof. Dr. Ing. habil. Steffen Lochmann

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER RANDSYMBOLE	4
1. EINFÜHRUNG	5
2. BANDBREITE UND DEREN MESSUNG	6
3. LEITUNGSWELLEN	7
4. STREU- UND TRANSMISSIONSMATRIX	9
5. SMITH-CHART	13

VERZEICHNIS DER RANDSYMBOLE



Email



Beispiel



Definition



Studien
ziele



Übung

1. EINFÜHRUNG



Dieser Lehrbrief soll Sie in der selbständigen Wissensaneignung für das Modul NACHRICHTENTECHNIK Teil 2 unterstützen und Schwerpunkte setzen. Zum eigenständigen Durcharbeiten können Sie die Vorlesungsfolien zur Bandbreitebestimmung und die Leseprobe 1 nutzen.

Folgende Themen stehen im Mittelpunkt:

- Bandbreite und deren Messung
- (Lecher)-Leitungswellen
- Reflexionskoeffizient
- Komponentenrealisierung durch Leitungen
- S-Parameter
- Smith-Chart
- Anpassungsschaltungen mit Hilfe der Smith-Chart

Internet-Lernhilfen / Downloads:

Die folgenden Dateien können Sie aus dem Stud.IP-Portal hierfür herunterladen:

- Teil_2_Bandwidth.pdf
- Teil_2_Leseprobe_Leitungswellen.pdf

2. BANDBREITE UND DEREN MESSUNG



Lernziele:

- Zusammenhang zwischen Bandbreite und Bitrate
- Arbeitsweise eines Netzwerkanalysators
- Funktionsweise des Impulsmessverfahrens
- Beschreibung des Messvorgangs im Zeit- und Frequenzbereich
- Evaluierung von Einflussgrößen
- Funktionsweise von Real Time- und Sampling-Oszilloskop

Referenzliteratur:

Teil_2_Bandwidth.pdf

Studieren Sie im Vorfeld die oben angeführte Datei.

Mehrere Webinare hierzu sollen die angeführten Inhalte vertiefen und Ihre Frage beantworten.



Aufgabe 1 Beantworten Sie folgende Fragen

- Ein RZ-Signal soll mit 1Mbit/s übertragen werden, welche Bandbreite wird hierfür mindestens benötigt?
- Eine Signalanstiegszeit von 1ns sei vorgegeben. Welche Übertragungsbandbreite ist hierfür in etwa notwendig?
- Wie arbeitet ein Netzwerkanalysator?
Beschreiben Sie für ein gewähltes Untersuchungsobjekt die Verhältnisse im Zeitbereich und im Frequenzbereich.
- Wie arbeitet das Impulsmessverfahren zur Bandbreitebestimmung?
Verdeutlichen Sie die Verhältnisse im Zeit- und Frequenzbereich für unterschiedliche Gewichtsfunktionen im Vergleich zur Quellenpulsbreite.
- Benennen Sie Einflussgrößen auf zu messende Frequenzgänge beim Impulsmessverfahren. Diskutieren Sie deren Auswirkungen.
- Wie funktioniert ein Sampling-Oszilloskop und welche Vor- und Nachteile besitzt es?

3. LEITUNGSWELLEN

Lernziele:



- Ableitung der Beschreibung von Leitungswellen aus dem Leitungsersatzschaltbild
- Verständnis der Leitungsgrößen Wellenwiderstand und Phasenkonstante
- Kenntnisse zum Reflexionsgrad bei allgemeinem Leitungsabschluss und bei Sonderfällen
- Dimensionierung von Komponenten in Ausführung als Leitungen ($\lambda/2$ -; $\lambda/4$ -Transformator; Schwingkreis ...)

Referenzliteratur:

Teil_2_Leseprobe_Leitungswellen.pdf Seite 60 bis 68

Studieren Sie detailliert den oben angeführten Seitenbereich. Beantworten Sie anschließend alle Fragen der Übung 2.



Aufgabe 2

Beantworten Sie ausführlich alle Fragen

- Wie lautet die Lösung der Wellengleichung. Diskutieren Sie deren Bestandteile.
- Was stellt der Wellenwiderstand dar? Wie wird er beeinflusst?
- Was stellt die Phasenkonstante dar? Verdeutlichen Sie sich diese an Hand der Maßeinheit, sowie mit Hilfe der Leitungsbeläge.
- Wie ist der Reflexionsgrad ermittelbar? Was stellt er in Bezug auf die Spannungs- und Stromverhältnisse auf einer Leitung dar?
- Wie hängen Reflexionsgrad und Stehwellenverhältnis zusammen. Welche Grenzwerte können jeweils auftreten (Leerlauf, Kurzschluss, Anpassung)?
- Zeichnen Sie den Funktionsverlauf des Eingangswiderstandes bei Leerlauf einer Leitung in Abhängigkeit vom Produkt βl . Diskutieren Sie die auftretenden Werte bzgl. äquivalenter Bauelemente.
- Wozu dient ein $\lambda/4$ -Transformator? Wie würde er auf einer Leiterplatte umgesetzt werden?
- Verändern Sie in der Referenzliteratur, Glg. 3.53 die Leitungslänge in $\lambda/2$. Die resultierende Gleichung beschreibt einen $\lambda/2$ -Transformator. Was würde bei Austausch eines hierfür genutzten 50Ohm-Koaxkabels durch ein 75Ohm-Kabel passieren?

- i) Verdeutlichen Sie sich an Hand nachfolgender Übersicht in Abb. 1 noch einmal welche Transformationsbeziehungen zwischen Last- (Z_e) und Eingangswiderstand (Z_a) durch Leitungen realisiert werden können.

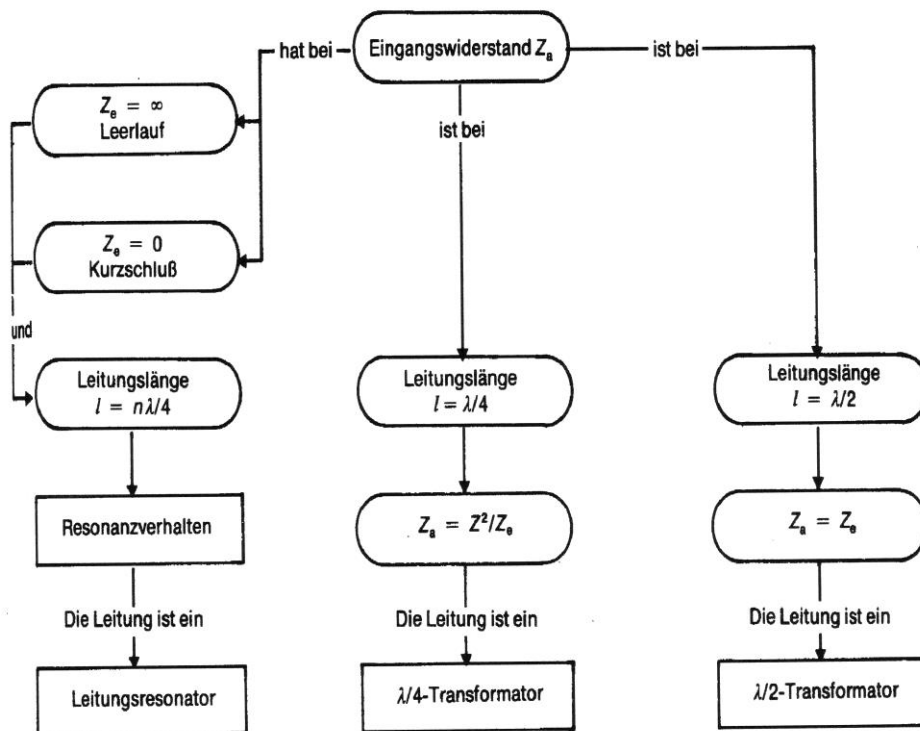


Abbildung 1 Übersicht der Transformationsmöglichkeiten von Leitungen

4. STREU- UND TRANSMISSIONSMATRIX

Lernziele:



- Kennenlernen der S-Parameter zur Beschreibung allgemeiner n-Tor-Komponenten
- Vermittlung der Vor-/Nachteile bei der Verwendung der Streu- bzw. Transmissionsmatrix

Referenzliteratur:

Teil_2_Leseprobe_Leitungswellen.pdf

Seite 68 bis 70

Studieren Sie erneut den oben angeführten Seitenbereich.

Die im o.a. Kapitel angeführte Definition der Streuparameter, kurz S-Parameter, basiert auf den normierten Wellen a bzw. b , welche in ein Tor eines Bauelementes hinein- bzw. herauslaufen. Die Normierung ist in Abb. 3 genauer ersichtlich, als auch die Zusammenhänge im Schaltbild bzw. in der Graphendarstellung. Voraussetzung ist, dass alle Tore gleiche Leitungseigenschaften haben (z.B. $Z=50\Omega$).

Durch die Verwendung dieser Bezugswiderstände beruht die Messung der Streuparameter letztendlich auf einer Leistungsmessung (vgl. hierzu die Maßeinheit von a bzw. b). Damit werden alle Messprobleme, die für h -, y - oder z -Parameter bei Frequenzen ab ca. 100MHz auftreten würden, umgangen. Ansonsten würden z.B. offene oder kurzgeschlossene Leitungen bei steigenden Frequenzen immer mit parasitären Induktivitäten oder Kapazitäten verbunden sein und zu verfälschten Messergebnissen führen.

S-Parameter ermöglichen somit die allgemeine Komponentencharakterisierung bis in hohe Frequenzbereiche.

Weitere Vorteile der S-Parameter liegen darin, dass Sie Hinweise zu physikalischen Eigenschaften geben wie z.B. S_{21} auf die Verstärkung eines Transistors, od. S_{11} auf dessen Eingangswiderstand.

Nachteilig ist allerdings; dass sich die analytische Betrachtung beim Zusammenschalten mehrerer Komponenten nicht intuitiv erschließt.

Demgegenüber bietet die Transmissionsmatrix (auch Kettenmatrix oder Kaskadenmatrix) Vorteile.

Die Kettenmatrix stellt den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangstoren her:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ a_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Damit lassen sich dann durch Matrixmultiplikation sehr einfach viele Komponenten miteinander verbinden (s. Abb. 2).

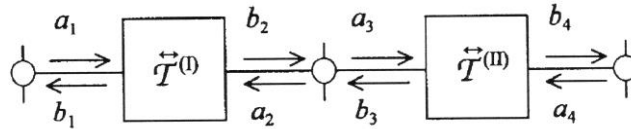


Abbildung 2 Zusammenschaltung von Kettenmatrizen

Aus Abb. 2 folgt:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ a_1 \end{pmatrix} = \vec{T}^{(I)} \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_3 \\ a_3 \end{pmatrix} = \vec{T}^{(II)} \begin{pmatrix} a_4 \\ b_4 \end{pmatrix} \quad (2) \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ a_1 \end{pmatrix} = \vec{T}^{(I)} \vec{T}^{(II)} \begin{pmatrix} a_4 \\ b_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Da üblicherweise Bauelemente durch S-Parameter charakterisiert werden, wandelt man diese zunächst in Transmissionsparameter entsprechend Glg. (5) um, kaskadiert die Komponenten nach Glg. (4) und wandelt abschließend mit Glg. (6) wieder zurück in die S-Parameter des Gesamtsystems.

$$\vec{T} = \frac{1}{S_{21}} \begin{pmatrix} -\det(\vec{S}) & S_{11} \\ -S_{22} & 1 \end{pmatrix} \quad \vec{S} = \frac{1}{t_{22}} \begin{pmatrix} t_{12} & \det(\vec{T}) \\ 1 & -t_{21} \end{pmatrix} \quad (5) \quad (6)$$

Nachteilig ist, wenn auch in der Praxis weniger relevant, dass Kettenmatrizen zumeist nur für Zweitore und nicht für alle Bauelemente existieren.



Übung

Aufgabe 3 Beantworten Sie alle Fragen

- Warum müssen für die Bestimmung der S-Parameter entsprechende a-Wellen auf null gesetzt sein?
- Wie würde die Streumatrix für ein ideales Kabel aussehen?
- Wie würde die Streumatrix für eine Richtungsleitung (lässt Wellen nur in Vorwärtsrichtung passieren) aussehen?
- Wie hängen S-Parameter und die technischen Größen Insertion Loss und Return Loss analytisch zusammen?

- e) Geben Sie für 1mW, 500 μ W und 100 μ W die Leistungswerte in dBm an.
- f) Eine Quelle habe eine Leistung von +3dBm. Das daran angeschlossene Kabel weise einen Leistungsverlust von 13dB auf. Geben Sie die am Kabelausgang vorhandene Leistung in mW an. (Rechnen Sie mit den dB-Werten und nicht über den Logarithmus)

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{U_h}{\sqrt{Z_L}} + i_h \sqrt{Z_L} \right)$$

$$b = \frac{1}{2} \left(\frac{U_r}{\sqrt{Z_L}} + i_r \sqrt{Z_L} \right)$$

$$u = (a + b) \cdot \sqrt{Z_L}$$

$$i = (a - b) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_L}}$$

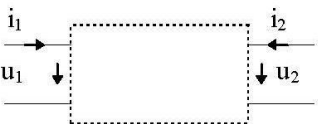
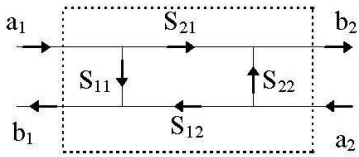
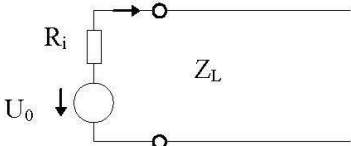
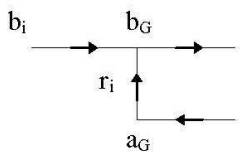
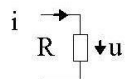
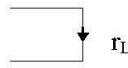
Schaltbild	Graph
 $u_1 = (a_1 + b_1) \cdot \sqrt{Z_L}$ $i_1 = (a_1 - b_1) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_L}}$ $u_2 = (a_2 + b_2) \cdot \sqrt{Z_L}$ $i_2 = (a_2 - b_2) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_L}}$	 $b_1 = S_{11} a_1 + S_{12} a_2$ $b_2 = S_{21} a_1 + S_{22} a_2$
	 $r_i = \left. \frac{b_G}{a_G} \right _{b_i=0} = \frac{R_i - Z_L}{R_i + Z_L}$ $b_i = \frac{U_0 \sqrt{Z_L}}{R_i + Z_L}$
	 $r_L = \frac{R - Z_L}{R + Z_L}$

Abbildung 3 Übersicht zum Zusammenhang zwischen normierten Wellen und S-Parametern

5. SMITH-CHART

Lernziele:



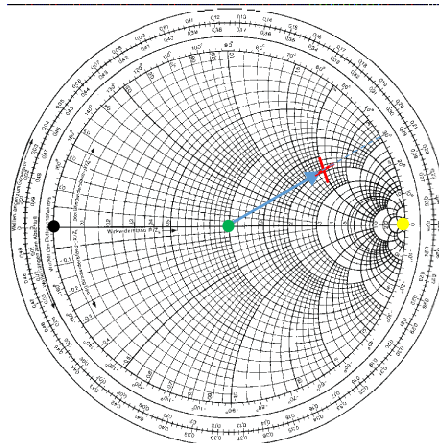
- Verständnis der Smith-Chart-Darstellungsweise hinsichtlich normierter Impedanzen und Reflexionsfaktor
- Sichere Bewegung innerhalb der Smith-Chart beim Hinzufügen von Komponenten
- Sichere Konstruktion von Anpassungsschaltungen mit Hilfe der Smith-Chart

Referenzlehrbuch:

Teil_2_Leseprobe_Leitungswellen.pdf , Seite 71 bis 74

Lesen Sie wiederum den oben angeführten Seitenbereich und verinnerlichen Sie die beschriebenen Konzepte.

Eine typische Smith-Chart ist aus Abb. 5 ersichtlich. Die zugehörige Hilfsskalierung variiert je nach Referenz. Kopieren Sie sich die Smith-Chart nach Bedarf zur Lösung von nachfolgenden Aufgaben. Eingetragen werden grundsätzlich Impedanzverhältnisse wie z.B. $w = (150 + j 100) \text{ Ohm} / 50 \text{ Ohm} = 3 + j 2$. Der Realteil ist an der x-Achse auffindbar, der Imaginärteil an der Innenseite des ersten Rings (s. Abb. 4, rot). Der Betrag des Reflexionsfaktors lässt sich sofort an der blauen Pfeillänge mit



Hilfe der Skalierung zu $r \approx 0.63$ ablesen. Sie können aber auch mit Hilfe des Innenkreises, der einen Reflexionsfaktor von 100% repräsentiert, den entsprechenden Wert ermitteln. In Verlängerung des Pfeiles ergibt sich ein Phasenwinkel von 30° . Das Ganze funktioniert natürlich auch umgekehrt bei gesuchtem Impedanzverhältnis. Die Sonderfälle Kurzschluss (sw), Anpassung (gr) und Leerlauf (ge) sind ebenfalls eingetragen.

Abbildung 4 Smith-Chart mit Beispiel-eintragungen

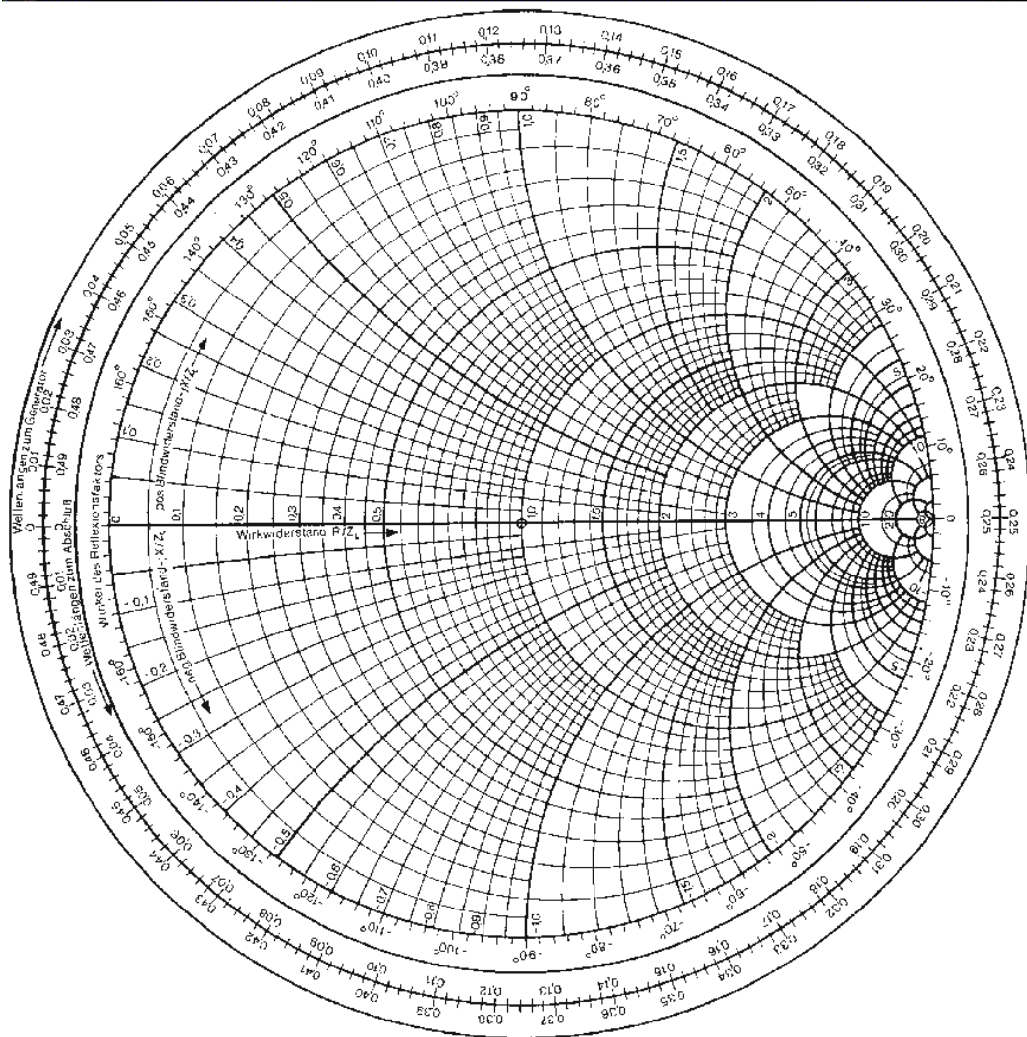
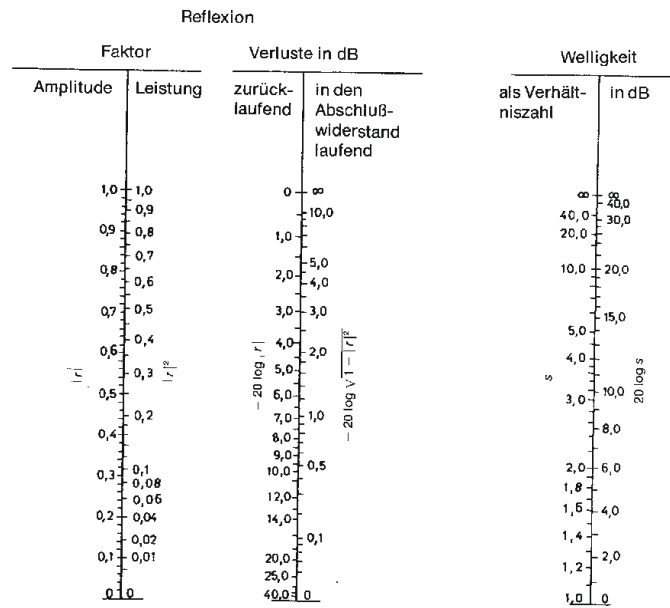


Abbildung 5 Smith-Chart



Beispiel

Da das Stehwellenverhältnis mit dem Reflexionsgrad verbunden ist, kann dieses auch direkt an der Skalierung abgelesen werden. Z. B. soll an einem Antennenfußpunkt ein normiertes Impedanzverhältnis von $w=0.3+j1.4$ gegeben sein. Entsprechend Abb. 6 würde dann das Stehwellenverhältnis $s=10$ betragen.

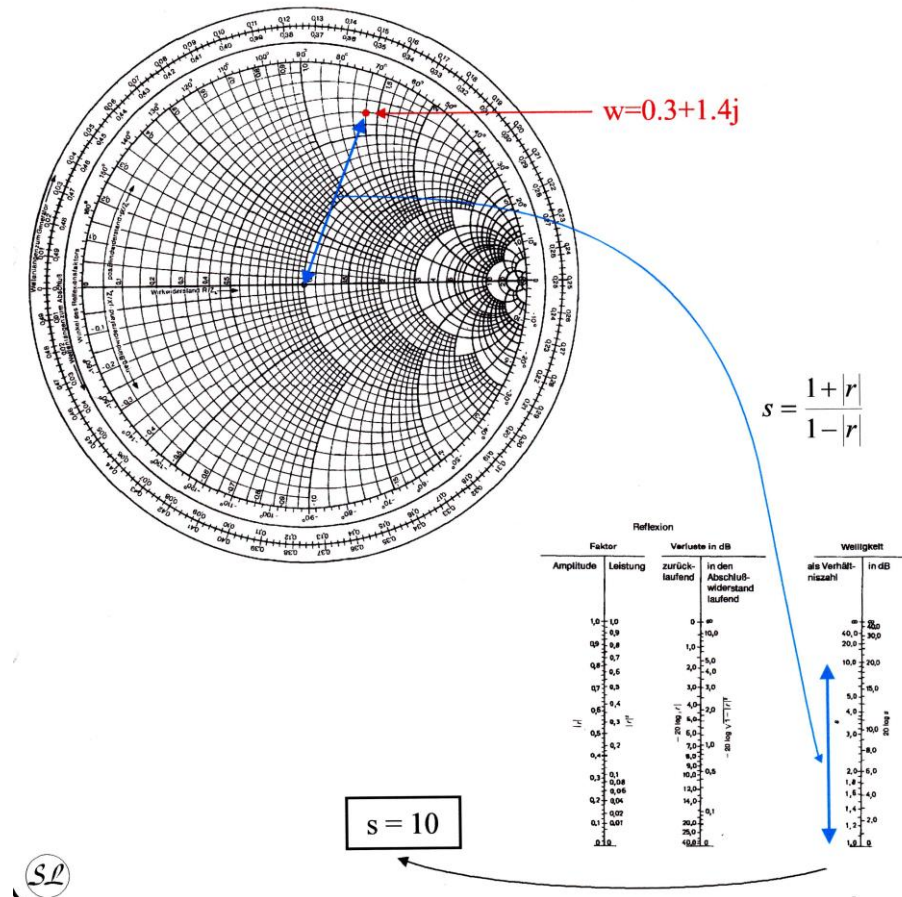


Abbildung 6 Ablesen des Stehwellenverhältnisses aus der Smith-Chart

Nunmehr soll die jeweilige Bewegung innerhalb der Smith-Chart beim Zuschalten von verschiedenen Komponenten untersucht werden. Zunächst betrachten wir ein Kabel.



Beispiel

Schaltet man ein zusätzliches Leitungsstück zwischen Verbraucher und Generator (s. Abb. 7), so wird sich bei einem verlustlosen Kabel der Betrag des Reflexionsfaktors (d.h. die Pfeillänge in Abb. 8) nicht ändern, sondern nur die zugehörige Phase. Diese ließe sich als Winkel aus der Kabellänge ermitteln. Einfacher ist es aber, gleich die auf die Wellenlänge normierte Kabellänge auf dem äußeren Ring der Smith-Chart zu benutzen (z.B. $l/\lambda = 0.374$). Addiert man diese zum Ausgangswert der Last hinzu und schlägt einen Kreisbogen mit konstantem Radius (= Reflexionsfaktor), so kommt man an die gewünschte Stelle und kann das neue Impedanzverhältnis ablesen. Im Bsp. bedeutet das eine Phasendrehung entsprechend $l_a/\lambda_L = 0.208 + 0.374 - 0.5 = 0.082$.

Man beachte, dass bei einer Umdrehung die Änderung von $l_a/\lambda_L = 0.5$ beträgt! Dies

resultiert aus Gleichung 7:

$$r(l) = r_0 \cdot e^{-j2\beta l} \quad \Rightarrow \quad r(l) = r_0 \cdot e^{-j4\pi \frac{l}{\lambda}} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Das neue Impedanzverhältnis am Anfang der Leitung wäre dann $w(l) = 0.39 + j0.5$.

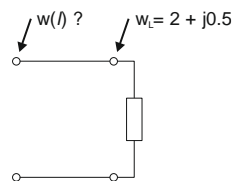
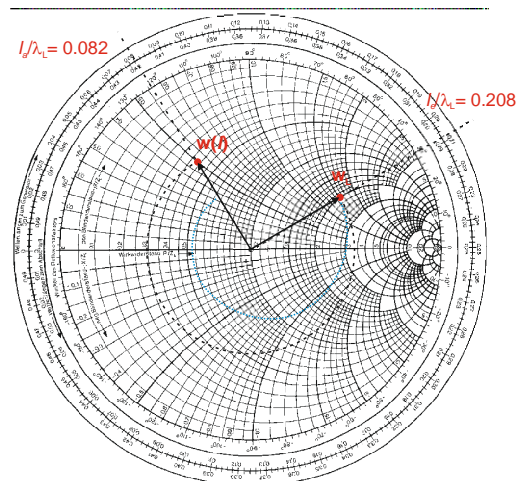


Abbildung 7

Zuschalten eines Leitungsstückes

Abbildung 8 Änderung des Impedanzverhältnisses beim Hinzufügen eines Leitungsstückes der Länge l



Sollte die Leitung verlustbehaftet sein, würde sowohl die hinlaufende als auch rücklaufende Welle gedämpft werden. Das bedeutet aber, dass sich deren Verhältnis, also dementsprechend der lokale Reflexionsfaktor entlang der Leitung, verringert. In Abbildung 8 wird dies am spiralförmigen Verlauf der blauen Linie deutlich.

Fügt man direkt an die Last einen seriellen Widerstand, so ändert sich in Gleichung 8 nur der Realteil, was der Bewegung in Abbildung 9 entspricht. In der Praxis würde man eine derartige Schaltung aber eher vermeiden, da hierdurch ein Leistungsverlust verursacht würde.

$$w = x_L + SR + jy_L \quad (8)$$

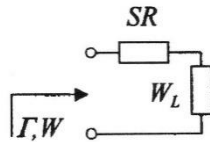
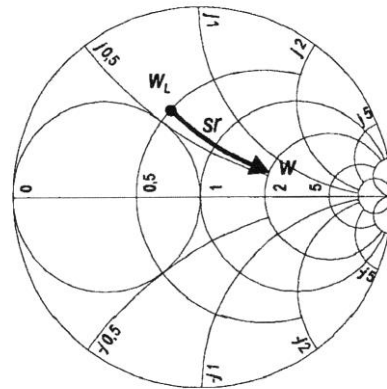


Abbildung 9 Hinzufügen eines
seriellen Widerstandes



Man bewegt sich also entlang der Linie eines konstanten Imaginärteils, also konstanten Blindwiderstands.

Schaltet man eine serielle Spule an die Lastimpedanz, ergibt sich nun über Gleichung 9 eine Bewegung entlang des konstanten Realteils entsprechend Abbildung 10.

$$w = x_L + jSL + jy_L \quad (9)$$

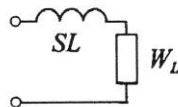
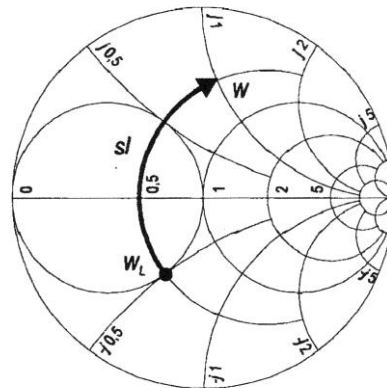


Abbildung 10 Hinzufügen einer seriellen
Spule



Beim Hinzuschalten eines seriellen Kondensators bewegt man sich entsprechend in entgegengesetztem Uhrzeigersinn.

$$w = x_L + jSC + jy_L \quad (10)$$

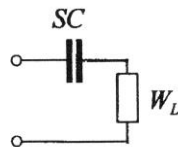
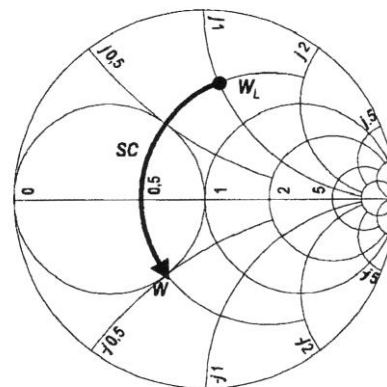


Abbildung 11 Hinzufügen eines seriellen
Kondensators



An Stelle einer seriellen Verschaltung kann man natürlich auch eine parallele vornehmen. Doch wie erfolgt dann die Bewegung im Smith-Diagramm? Betrachten wir die äquivalenten Schaltungen in Abbildung 12. Die Impedanz- und Admittanzverhältnisse sollen identisch sein.

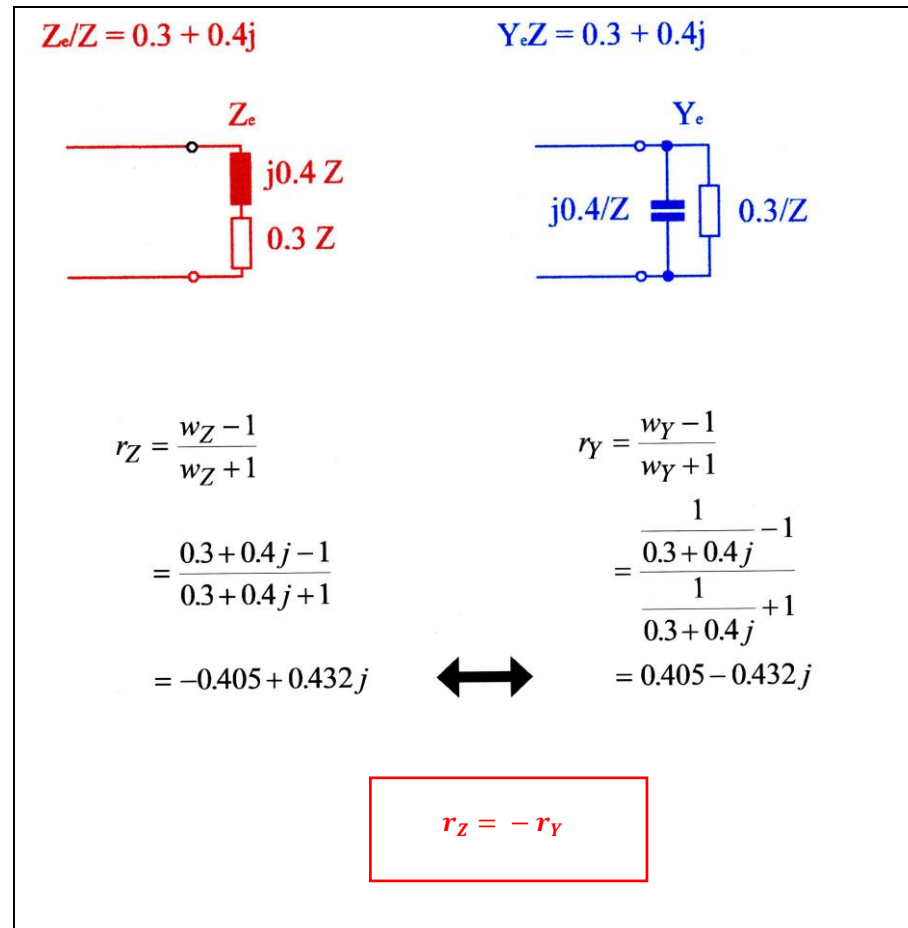


Abbildung 12 Reflexionsfaktor bei serieller und paralleler Beschaltung

Die Reflexionsfaktoren sind also bis auf das Vorzeichen identisch. D.h. aber auch, dass beim Übergang zur Parallelschaltung nur eine Spiegelung am Nullpunkt (alle weiteren Werte wären dann Admittanzverhältnisse) oder gleich die Verwendung einer gespiegelten Smith-Chart, auch Leitwertkoordinatennetz genannt, stattfinden kann. Stellen Sie sich am einfachsten eine Smith-Chart (gr) mit darunterliegendem Leitwertkoordinatennetz (rt) vor (s. Abbildung 13). Solange Sie serielle Beschaltungen vornehmen bzw. Impedanzverhältnisse vorliegen haben, nutzen Sie die obenliegende Smith-Chart. Beim Übergang zu Admittanzverhältnissen für parallele Beschaltungen kopieren Sie einfach den ermittelten Punkt in die darunterliegende Ebene, um dann dort weiter zu arbeiten.

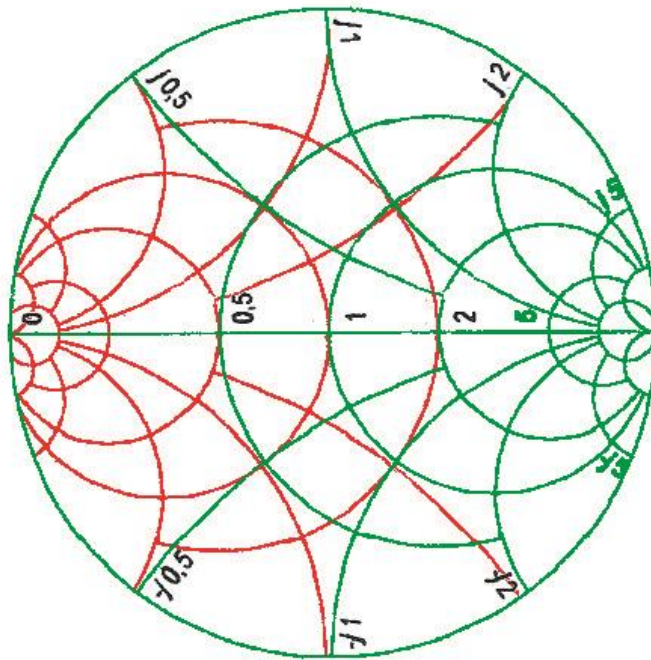


Abbildung 13 Smith-Chart mit unterlegtem Leitwertkoordinatennetz

Fügt man nun z.B. einer Lastimpedanz, die man in die Smith-Chart einträgt (grüner Punkt in Abbildung 14), einen parallelen Wirkwiderstand hinzu, so bewegt man sich auf der Kurve mit konstantem Blindleitwert (roter Pfeil). Das neue Leitwertverhältnis ist dann direkt in die „darüberliegende“ Smith-Chart zu übertragen und kann als Impedanzverhältnis abgelesen werden (gelber Punkt).

$$w = \frac{1}{y} = \frac{1}{\left(\frac{1}{g_L} + \frac{1}{PR} + jb_L\right)}$$

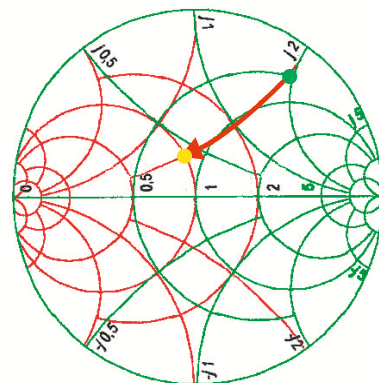
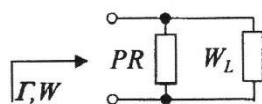


Abbildung 14 Hinzufügen eines parallelen Widerstandes

Beim Parallelschalten eines Kondensators bzw. einer Spule bewegt man sich entsprechend auf Kreisen konstanter Leitwerte (s. Abbildung 15 und 16)

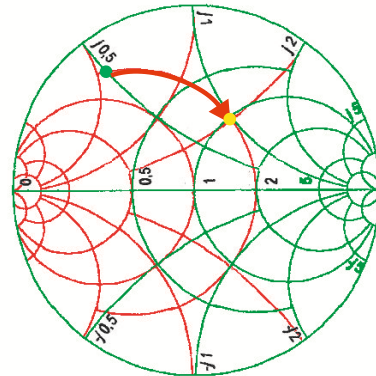
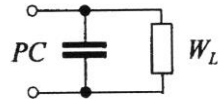


Abbildung 15 Hinzuschalten eines parallelen Kondensators

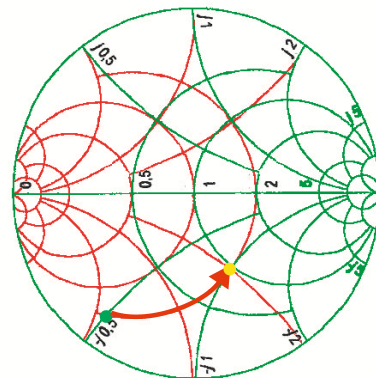
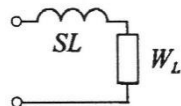


Abbildung 16 Hinzuschalten einer parallelen Spule

Aus den angeführten Bewegungsbeispielen ist auch ersichtlich, dass durch Hinzuschalten eines einzigen Bauelementes im Normalfall kein Weg zur Lastanpassung führt. Der Punkt mit Impedanzverhältnis = 1 ist nicht erreichbar, allenfalls wird man einen minimalen Reflexionsgrad erreichen können.

Dementsprechend sollen nun die verschiedenen Möglichkeiten zur Anpassungserzielung mit Hilfe zweier Bauelemente dargestellt werden.

Die grundsätzliche Vorgehensweise ist dabei, dass man zunächst mittels einer parallelen oder seriellen Blindkomponente eine Widerstandstransformation so vornimmt, dass man auf einen Admittanz- bzw. einen Impedanzkreis trifft, der dann zur Anpassung führt.

Dementsprechend ergeben sich acht Schaltungsvarianten: vier Schaltungen, bei denen zur Last zunächst eine serielle Blindkomponente hinzugefügt wird und vier weitere bei denen mit einer parallelen Blindkomponente begonnen wird. Beachten Sie, dass je nach Quadrantenlage der Last nur die Hälfte der Schaltungen möglich sind.

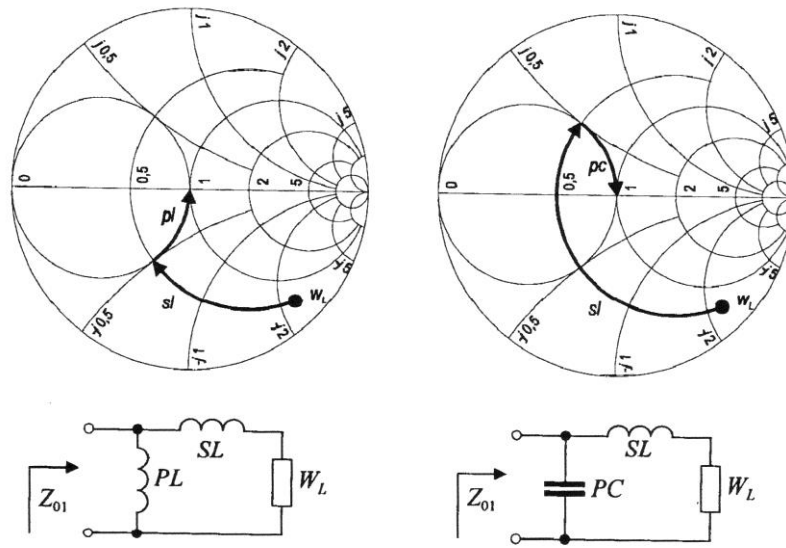


Abbildung 17 Anpassungsschaltung, beginnend mit serieller Spule

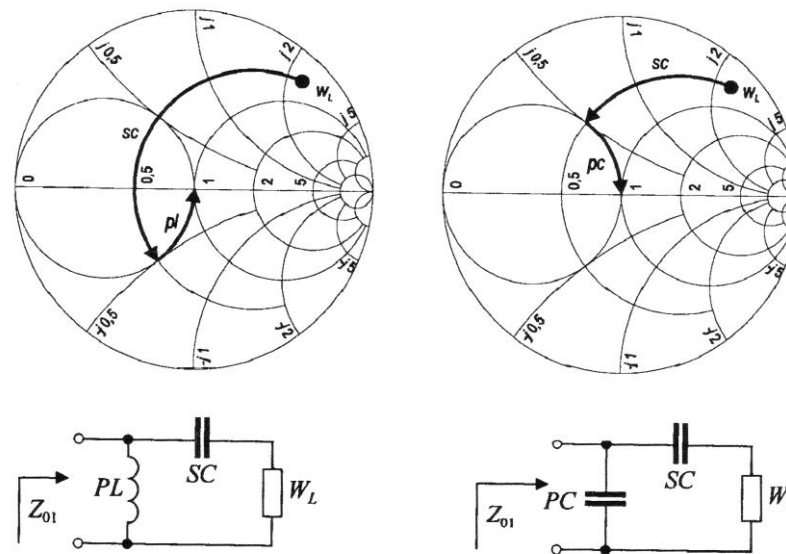


Abbildung 18 Anpassungsschaltung, beginnend mit seriellen Kondensator

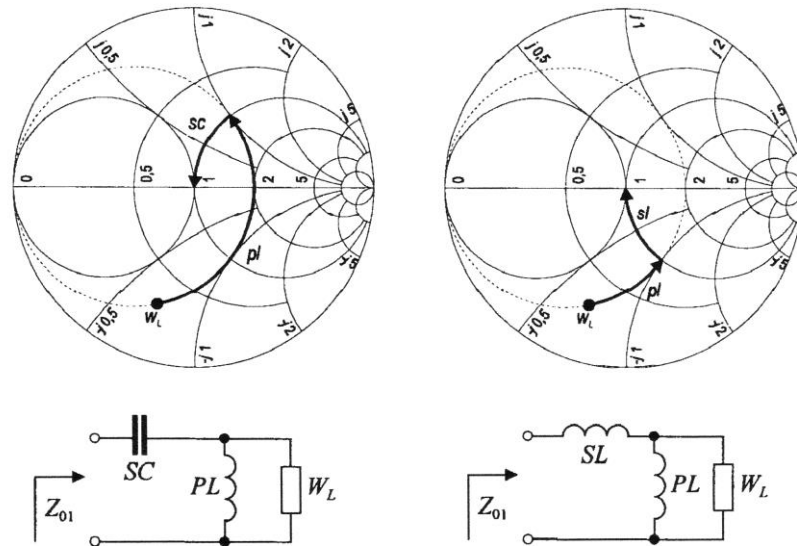


Abbildung 19 Anpassungsschaltung, beginnend mit paralleler Spule

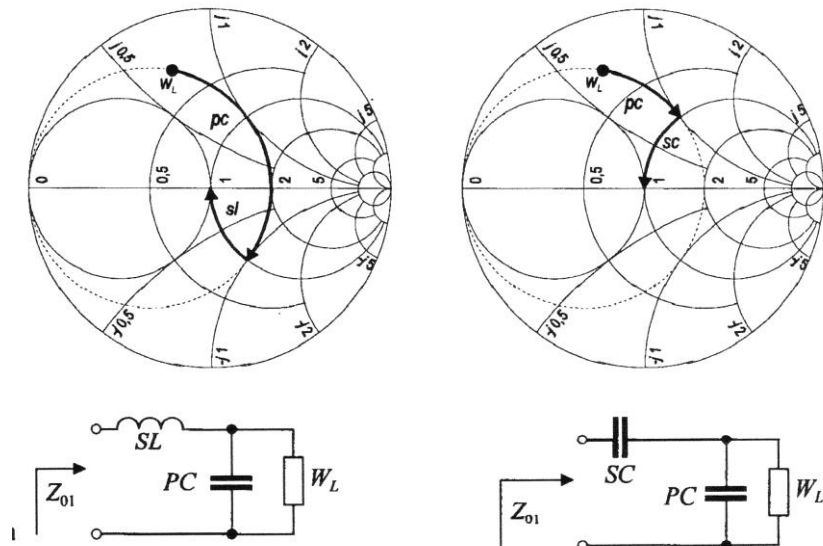


Abbildung 20 Anpassungsschaltung, beginnend mit parallelem Kondensator

Darüber hinaus kann man auch eine Einzelkomponente so dimensionieren, dass in der Smith-Chart die reelle Achse geschnitten wird. Ein $\lambda/4$ -Transformator hilft dann bei der Transformation reeller Widerstände (s. auch Abbildung 1).

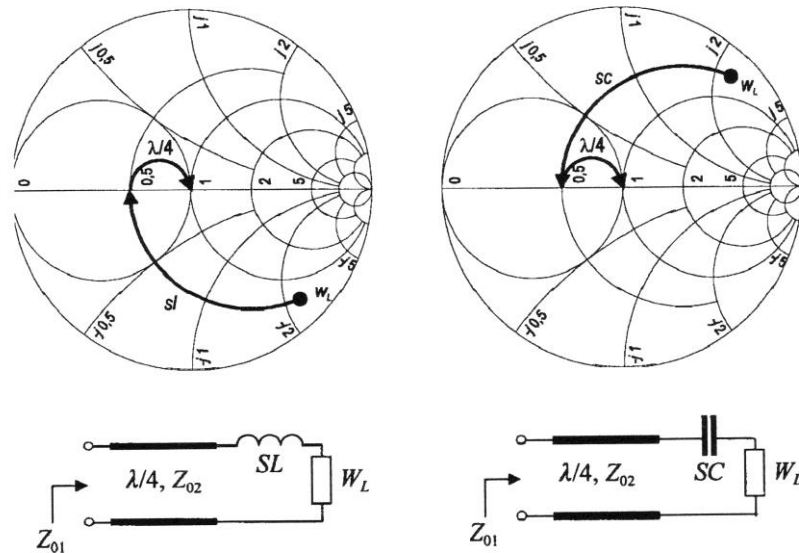


Abbildung 21 Anpassungsschaltung mit serieller Komponente und $\lambda/4$ -Transformator

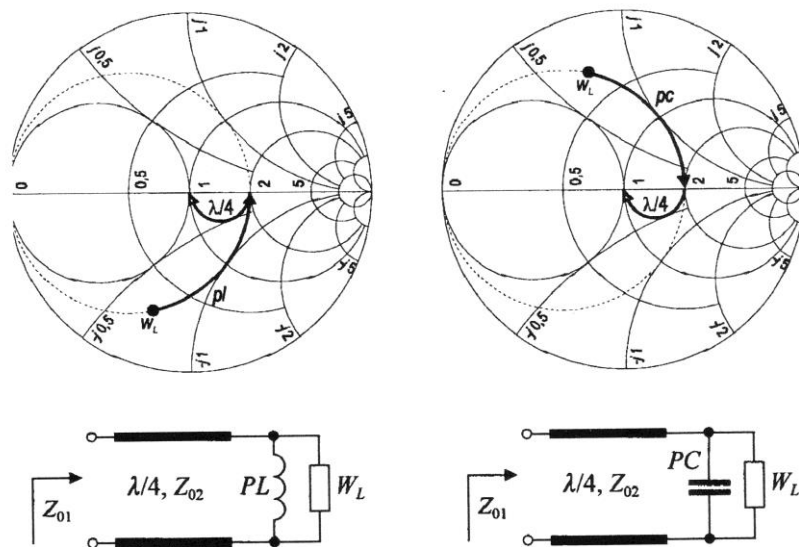


Abbildung 22 Anpassungsschaltung mit paralleler Komponente und $\lambda/4$ -Transformator

Da es nun verschiedenste Wege in der Smith-Chart gibt, die zur Anpassung führen, ergibt sich die Frage nach deren Unterschieden.

Betrachten wir die in Abbildung 23 a) und b) dargestellten Schaltungen, die die Lastimpedanz R/C an den Wellenwiderstand einer Leitung anpassen. Da alle Blindwiderstände frequenzabhängig sind, kann eine Anpassung eigentlich nur für eine einzelne Frequenz realisiert werden. Dementsprechend schneiden zwar alle dargestellten Anpassungsschaltungen den Punkt $w=1$, sie weisen andererseits aber auch ein sehr unterschiedliches Frequenzverhalten auf.

Im Abbildungsteil a) ergibt sich bei DC ein Reflexionsfaktor der ausschließlich durch den Lastwiderstand R bestimmt ist, während bei sehr hohen Frequenz der parallele Kondensator einen Kurzschluss erzeugt.

Im Abbildungsteil b) wird bei DC über die parallel geschaltete Spule ein Kurzschluss erzeugt, während bei sehr großen Frequenzen ein unendlicher Blindwiderstand zur vollständigen Reflexion führt.

In der Praxis würden je nach geforderter Bandbreite noch mehr Komponenten hinzugefügt werden. Man verzichtet dabei auf eine 100%ige Anpassung und würde dafür sorgen, dass mehrere kleine Kringel (die Schleifen in Abbildung 23) den Anpassungspunkt möglichst nah umkreisen.

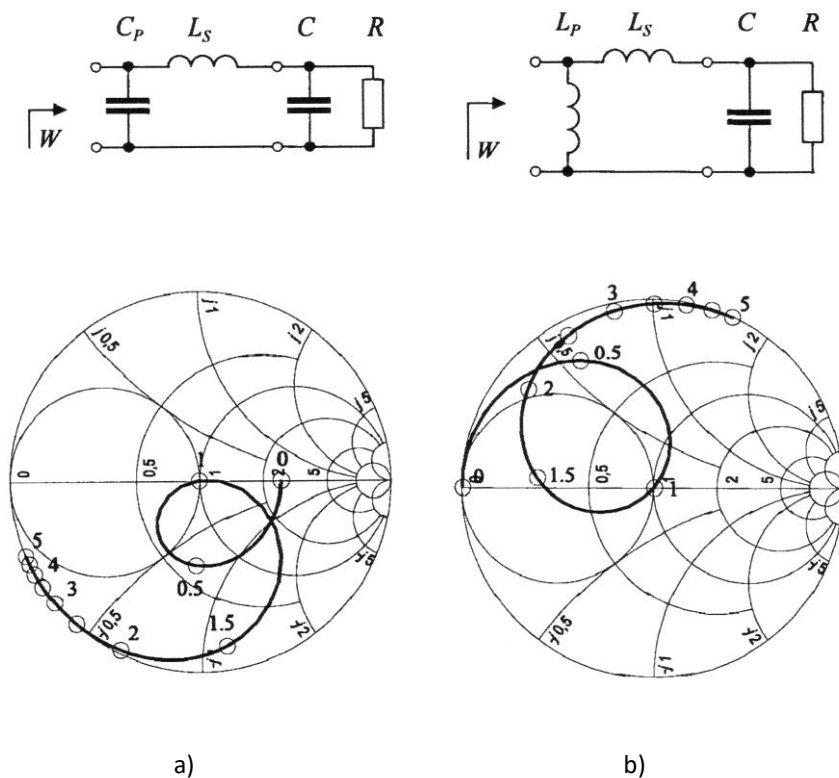


Abbildung 23 Frequenzverhalten unterschiedlicher Anpassungsschaltungen



Übung

Aufgabe 4 Beantworten Sie alle Fragen

- Kopieren Sie die Smith-Chart in Abbildung 5 mehrfach.
Ermitteln Sie für einen Leitungswellenwiderstand von $Z_0=50\Omega$ und eine Last von $Z_e=(50+j57.5)\Omega$ das Impedanzverhältnis und tragen Sie es ein.
Wie groß sind Reflexionsfaktor und Stehwellenverhältniss?
- Leitungskurzschluss und –leerlauf in Abbildung 4 repräsentieren jeweils 100%ige Reflexion. Wie groß ist dabei der Phasenunterschied?
Welche Komponenten würden auf dem gleichen Kreisring der Smith-Chart (100%ige Reflexion) bei $+j$ bzw. bei $-j$ zu finden sein?
- An einen Netzwerkanalysator ist über ein 50-Ohm-Kabel mit fester Länge eine Last angeschlossen. Die Messung wird als Smith-Chart ausgegeben. Skizzieren Sie qualitativ den Kurvenverlauf. (Berücksichtigen Sie in ihren Überlegungen die Aussagen zur Phasengangdarstellung im Vorlesungsteil „Bandbreite“).
- Kann man durch Hinzuschalten einer seriellen Spule gemeinsam mit einer seriellen Kapazität zur Anpassung gelangen?
- In folgender Abbildung 24 wird ein Weg zur Lastanpassung an den Wellenwiderstand eines 50Ohm-Kabels dargestellt. Zeichnen Sie das zugehörige Schaltbild und geben Sie die Größen der erforderlichen Parameter an.

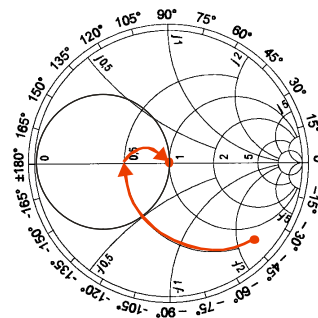


Abbildung 24 Beispiel eines Weges zur Lastanpassung

- Tragen Sie ausgehend vom Lastwiderstand in eine Smith-Chart den Weg für eine Leitungsanpassung an ein 50Ohm-Kabel bei Anwendung folgender Schaltung ein.

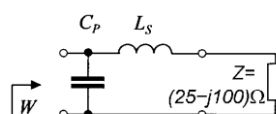


Abbildung 25 Beispielschaltung zur Lastwiderstandanpassung