

Antennenanpaß-Schaltungen  
im Smith-Diagramm

Fi 32

2 Blätter

Die Transformation von komplexen (Antennen-)Widerständen  $\mathfrak{R}_A = R_A \pm jX_A$  auf einen vorgegebenen Anpassungswiderstand  $R_Z$  wurde in den Funktechnischen Arbeitsblättern Fi 31 mit Hilfe des in Blatt Mth 85 beschriebenen Anpassungsdiagramms mit rechtwinkligen Koordinaten durchgeführt.

Nun eignet sich das in Blatt Mth 87 in seinen Grundlagen erläuterte Kreisdiagramm (Smith-Diagramm) nicht nur für die Lösung von Transformationen mit Leitungen, sondern es ist auch günstig anzuwenden, wenn es sich um konzentrierte Schaltelemente handelt. Gegenüber dem Transformationsdiagramm nach Mth 85 hat es den Vorteil, daß sich auch große Transformationsbereiche erfassen lassen, da  $R = 0$  und  $R = \infty$  sowie  $X = 0$  und  $X = \infty$  gleichermaßen darstellbar sind.

Als Anwendungsbeispiel für das Kreisdiagramm (Smith-Diagramm) sollen einige der in Blatt Fi 31 beschriebenen Transformationen in diesem Diagramm auch zahlenmäßig gelöst werden.

A. Transformation auf ein vorgegebenes  $R_Z$  mit Hilfe von zwei Blindwiderständen

(siehe Funktechnische Arbeitsblätter Fi 31/2a, Bild 10,  $N_A$ )

Gegeben sei ein komplexer Antennenwiderstand

$$\mathfrak{R}_A = R_A - jX_A$$

d. h. die Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes  $R_A$  mit einer Kapazität vom Blindwiderstand  $-jX_A$ . Hierfür werden nach Bild 1 gleich Zahlenwerte eingesetzt, und zwar:

$$\mathfrak{R}_A = (40 - j15) \Omega$$

Die zum Eintragen dieses Widerstandes in das Kreisdiagramm notwendige Maßstabsänderung erreicht man durch Dividieren von  $\mathfrak{R}_A$  mit einem Wert  $Z$ , der so gewählt wird, daß sich damit für das Diagramm bequeme Zahlen ergeben. Diese als Wellenwiderstand  $Z$  einer Leitung definierte Größe kann also als beliebig wählbarer Faktor zur Maßstabserweiterung benützt werden, wenn es sich nicht um Transformationen mit Leitungen, sondern mit konzentrierten Schaltelementen handelt. Hier wird als Umrechnungsfaktor  $Z = 60$  gewählt. Dann sind die normierten Größen:

$$R'_A = R_A/Z = 40/60 = 0,667$$

und

$$X'_A = X_A/Z = 15/60 = 0,25$$

das gibt

$$\mathfrak{R}'_A = \mathfrak{R}_A/Z = 0,667 - j0,25$$

Mit diesen Komponenten für Real- und Imaginärteil ergibt sich im Diagramm Bild 2 der Punkt  $\mathfrak{R}'_A$ . Transformiert werden soll entsprechend der in Blatt Fi 31, Bild 10,  $N_A$ , gemachten Voraussetzung:  $R_Z > R_A$  auf den reellen Widerstand  $R_Z = 240 \Omega$ :

$$\mathfrak{R}'_Z = 240/60 = 4$$

Dieser Punkt  $R'_Z = 4$  ist ebenfalls im Diagramm eingetragen. Da man durch Parallelschalten eines Blindwiderstandes zu diesem Punkt gelangen will, zeichnet man durch ihn einen Kreis in das Diagramm hinein, der auch durch den Punkt  $R'$ ,  $X' = 0$  hindurchgeht. Er entspricht einem Kreis des Leitwertdiagramms für konstanten reellen Leitwert  $G'_Z = Z \cdot G = 0,25$  und ist mit  $G'_Z = 0,25$  bezeichnet.

Da die Transformation vom Punkt  $\mathfrak{R}'_A$  auf den Punkt  $R'_Z$  bei konstantem Realteil erfolgen soll, Wirkwiderstände werden zur Transformation nicht hinzugezogen, so schreiben die beiden Kreise für konstanten Realteil, nämlich die mit  $R'_A = 0,667 = \text{const}$  und  $G'_Z = 0,25 = \text{const}$  bezeichneten Kreise, die möglichen Transformationswege vor. Wie in Fi 31, Bild 10,  $N_A$ , gibt es zwei Wege:

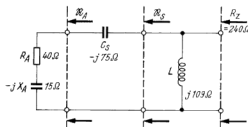


Bild 1. Schaltung zur Transformation eines Antennenwiderstandes  $\mathfrak{R}_A = R_A - jX_A$  mit Serienschaltung und Parallelinduktivität

a) Serienschaltung einer Kapazität  $C_G$  zum Antennenwiderstand

Das entspricht einem Fortschreiten vom Punkt  $\mathfrak{R}'_A$  auf dem  $R'_A = \text{const}$ -Kreis nach unten (in Richtung größer werdender Werte für  $-jX$ ), bis man auf den Schnittpunkt  $\mathfrak{R}'_S$  mit dem Kreis  $G'_Z = \text{const}$  trifft. Auf diesem Kreise muß der Transformationsweg fortgesetzt werden durch Fortschreiten nach oben, bis man auf  $R'_Z = 4$  trifft, wie gefordert. Dieses Fortschreiten nach oben auf dem  $G = \text{const}$ -Kreis bedeutet Parallelschaltung einer Induktivität  $L_P$ ; damit erhält man die dem Bild 10  $N_A$  links in Fi 31 entsprechende Transformation.

Die Zahlenwerte sind leicht abzulesen: Der Schnittpunkt  $\mathfrak{R}'_S$  liegt bei  $jX = -1,5$ , der Ausgangspunkt  $\mathfrak{R}'_A$  bei  $jX = -0,25$ . Es ist also ein Kondensator  $C_G$  mit dem Blindwiderstandsbeitrag  $|X'_G| = |1,5 - 0,25| = 1,25$  daraus

$$|X_G| = |X'_G| \cdot Z = 1,25 \cdot 60 = 75 \Omega$$



**B. Transformation mit drei Blindwiderständen: Collinsfilter**

(siehe auch Funktechnische Arbeitsblätter Fi 31/3, Abschnitt C 5 und E)

Das Collinsfilter ist eine  $\pi$ -Schaltung aus zwei Querkapazitäten und einer Längsinduktivität. Wie bereits in Blatt Fi 31 gezeigt, kann man mit einer solchen Transformationschaltung jeden komplexen Widerstand auf einen vorgegebenen reellen Widerstand  $R_Z$  transformieren. Der in Fi 31/3, Bild 13, im Transformationsdiagramm mit rechtwinkligen Koordinaten gezeigte Transformationsweg soll auch im Smith-Diagramm erläutert werden. Hierzu wird ein Zahlenbeispiel herangezogen:

Ein Antennenwiderstand  $\mathfrak{N}_A = (1000 + j400) \Omega$  soll auf den (reellen) Wellenwiderstand  $R_Z = 600 \Omega$  einer Speiseleitung angepaßt werden, siehe Bild 3.

Als Faktor zur Maßstabsänderung wird  $Z = 200$  benutzt.

1. Eintragen des gewünschten Wertes von

$$R'_Z = R_Z/200 = 600/200 = 3$$

in das Smith-Diagramm, Bild 4.

2. Eintragen des Antennenwiderstandes, im Beispiel als Serienschaltung  $\mathfrak{N}_A = R_A + jX_A = (1000 + j400) \Omega$  gegeben, normiert:

$$\mathfrak{N}'_A = \left( \frac{R_A}{200} + j \frac{X_A}{200} \right) \Omega = (5 + j2) \Omega$$

in das Diagramm.

3. Da sowohl zu  $\mathfrak{N}'_A$  als auch zu  $R'_Z$  ein Blindwiderstand parallelgeschaltet wird, sind die zugehörigen Leitwertkreise in das Diagramm einzzeichnen (bezeichnet mit  $G'_Z$  und  $G'_A$  in Bild 4). Ihre Mittelpunkte liegen auf der reellen Achse und sie gehen beide durch  $R = 0; X = 0$ .

Die Transformationswege laufen nur entlang der G- und R-Kreise, da nur Blindwiderstände zur Transformation dienen und Wirkwiderstände in der Schaltung nicht verändert werden.

Der Transformationsweg ist folgender:

4. Parallelschalten einer Kapazität  $C_A$  zum Antennenwiderstand (Bild 3), d. h. im Diagramm (Bild 4) von  $\mathfrak{N}'_A$  aus auf

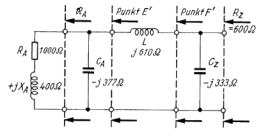


Bild 3. Beispiel für eine Transformation mit Collinsfilter

dem  $G'_A$ -Kreis rechtsdrehend nach unten, und zwar so weit, bis ein R-Kreis geschnitten wird, der einen kleineren Zahlenwert aufweist als dem geforderten  $R'_Z$ -Wert entspricht, hier  $< 3$ . In Bild 4 wurde der Schnittpunkt mit dem  $R = 0,7$ -Kreis gewählt, Punkt E'.

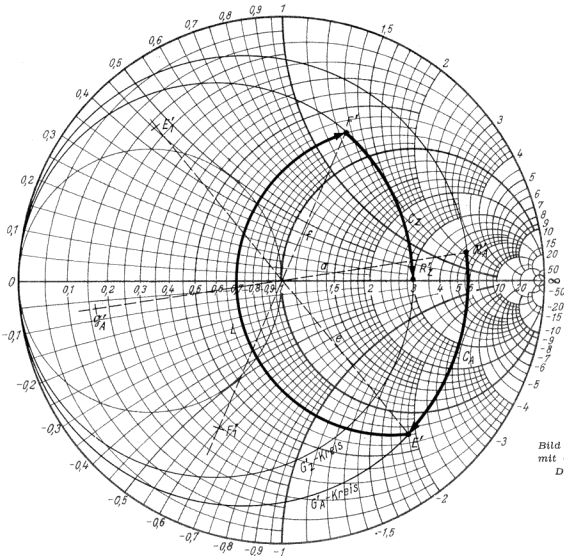


Bild 4. Eine Transformation mit Collinsfilter im Smith-Diagramm dargestellt

## Fi 32

5. Eine Induktivität  $L$  in Reihe schalten (Bild 3) bedeutet im Diagramm (Bild 4) rechtsdrehende Bewegung (nach oben) auf dem  $R = 0,7$ -Kreis, bis der  $G_2$ -Kreis getroffen wird, Punkt  $F$ .

6. Jetzt gelangt man zu dem geforderten  $R_2$ -Wert von 3 durch rechtsdrehendes Fortschreiten (nach unten) auf dem  $G_2$ -Kreis, das bedeutet wieder ein Parallelschalten einer Kapazität  $C_2$  zu dem durch Punkt  $F$  gekennzeichneten Widerstand (siehe auch Bild 3).

Damit ist der Transformationsweg vorgegeben. Die Größen der erforderlichen Blindwiderstände sind aus dem Diagramm auf folgende Weise zu ermitteln: Der Blindwiderstand  $X_L$  der Induktivität  $L$  direkt ablesbar an der  $\pm jX$ -Teilung; Bogen  $E'$  bis  $F$  von  $-1,9$  bis  $+1,25$  ergibt

$$|X_L| = 1,25 + 1,8 = 3,05 \Omega$$

$$|X_L| = |X_L| \cdot 200 = \frac{3,05}{0,01} \Omega \text{ (induktiv) } \quad \checkmark 30$$

Die Werte der parallel zu schaltenden  $|X_C|$ -Werte müssen durch Inversion bestimmt werden. Dazu werden im Diagramm (Bild 4) die Inversionslinien durch  $P'$  (Linie  $f$ ) und  $E'$  (Linie  $e$ ) sowie  $N_A$  (Linie  $a$ ) gezeichnet, die durch den Kreismittelpunkt  $I$  gehen.

Auf ihnen werden die Strecken  $F-1$ ,  $E'-1$  und  $N_A-1$  in die jeweils gegenüberliegende Halbkreisebene hinein abgetragen und damit die Punkte  $F_1$ ,  $E_1$  und  $G_1$  erhalten. Sie stellen die den Widerstandspunkten  $F$ ,  $E'$  und  $N_A$  entsprechenden Leitwerte in Parallelschaltung dar. Die

den Punkten  $E_1$  und  $G_1$  entsprechenden Leitwerte unterscheiden sich im Imaginärteil um den Leitwertbetrag, der zu  $C_A$  gehört. Es ist also:

$$|Y_{CA}| = 0,46 + 0,07 = 0,53 \text{ S}$$

und, da  $Y_{CA} = Y_{CA} \cdot Z$ , ist:

$$|X_{CA}| = \frac{Z}{|Y_{CA} \cdot Z|} = \frac{Z}{|Y_{CA}|} = \frac{200}{0,53 \text{ S}} = 377 \Omega \text{ (kapazitiv)}$$

Und schließlich hat der Punkt  $F_1$  einen Imaginärteil des Leitwertes von  $-0,6 \text{ S}$ , woraus sich der Betrag des Blindwiderstandes von  $C_2$  ergibt zu:

$$|X_{C2}| = \frac{Z}{|Y_{F1}|} = \frac{Z}{|Y_{C2}|} = \frac{200}{0,6} = 333 \Omega \text{ (kapazitiv).}$$

Damit ist die Schaltung bestimmt. Wie in Blatt Fi 31/3a, Abschnitt E, erwähnt, ist auch hier ersichtlich, daß es beliebig viele Transformationswege der gezeigten Art und damit viele  $\pi$ -Filter gibt, mit denen die vorgegebene Aufgabe zu lösen ist. Um zu einer eindeutigen Lösung zu kommen, wird man auch hier zunächst eine der Bestimmungsgrößen  $C_A$ ,  $C_2$  oder  $L$  nach Blatt Fi 31, Abschnitt E, aus einer geforderten Güte  $G$  rechnerisch ermitteln und dann die anderen im Kreisdiagramm bestimmen. Ist keine Güte vorgeschrieben, so lassen sich die Möglichkeiten dadurch einschränken, daß nicht alle aus dem Diagramm ablesbaren  $X_L$ ,  $X_{CA}$ - und  $X_{C2}$ -Werte sich praktisch realisieren lassen.

## C. Allgemeines über die Verwendung des Kreis-Diagrammes

Die vorbehandelten Beispiele beschränkten sich auf Transformationsaufgaben mit konzentrierten Schaltelementen. Besonders die in Abschnitt B gebrachte Aufgabe macht aber deutlich, wie universell man das Kreisdiagramm anwenden kann. Denn bei Anpassungsfragen von Antennen spielt die Verwendung von Leitungen und Kabeln, nicht nur zur Energieübertragung, sondern auch für Transformationen und zur Oberwellensiebung, eine große Rolle. Nun gestattet das in Mth 87 beschriebene vollständige Kreisdiagramm gleichermaßen die Berechnung von Transformationseigenschaften von Leitungsrücken beliebiger Länge und unter beliebigen Abschlußverhältnissen, als auch die Transformation durch konzentrierte Schaltelemente.

Aber nicht nur bei solchen Antennen-Anpassungsaufgaben, sondern bei der Berechnung vieler anderer Schaltungen bietet das Kreisdiagramm Vorteile. Einige Beispiele: In Fernseh-Kanalschaltern finden  $\pi$ -Glieder als Eingangskreise Verwendung, siehe auch Funktechnische Arbeitsblätter Mth 84, Blatt 3. Hierbei ist die Welligkeit  $m$ , deren Größe ja auch aus dem Kreisdiagramm abgelesen werden kann, von besonderer Bedeutung. Ferner dienen hier zur Transformation zwischen den Ausgängen der Kaskodenstufen und Eingang der Gitterbasistufe in der Kaskode-Stufe ebenfalls  $\pi$ -Schaltungen, siehe Mth 84, Blatt 2a.

Der Eingangskreis der meisten Autosuper ist als  $\pi$ -Glieder mit einer variablen Induktivität im Längsglied zur Abstimmung dimensioniert.

Das neue Fernsehband IV/V bedingt den Einsatz von Leitungskreisen als frequenzbestimmende Schaltelemente in Tunern, Umsetzern und Antennenverstärkern. Hier findet sich eine weitgehende parallele Verwendung von Leitungskreisen und Anpaßleitungen neben konzentrierten Schaltelementen. Die gegenüber der Röhre komplizierteren Ersatzschaltungen der Transistoren, besonders bei hohen Frequenzen, sowie ihre im Verhältnis zu den Schwingungskreisen niedrigen Eingangsimpedanzen machen die Verwendung und damit richtige Vorausberechnung von Transformationsschaltungen notwendig. Es soll darauf hingewiesen werden, daß sogar Aufgaben aus dem NF-Gebiet sich mit dem Diagramm lösen lassen, die beliebige Maßstabserweiterung läßt dies zu.

Nicht zuletzt soll erwähnt werden, daß es moderne Meßgeräte gibt, die den komplexen Widerstand oder Leitwert eines untersuchten Schaltelements direkt mittels eines Leuchtzeigers auf dem Smith-Diagramm anzeigen. Für die Auswertung solcher Messungen ist die Kenntnis des Umgangs mit dem Diagramm erforderlich.

Für den Hf-Ingenieur wird also nach Lage der Dinge das Smith Diagramm mehr und mehr ein so selbstverständlicher Arbeitsbehelf, wie es heute der Rechenschieber oder die sogenannte Hf-Tapete (siehe z. B. Kp 01 und Ind 01) sind.

Wesentliche Voraussetzung dafür ist natürlich, daß man sich mit der Technik und den Möglichkeiten dieses Diagramms eingehend vertraut macht; das geschieht am besten, indem man es zu allen vorliegenden Aufgaben von vorneherein heranzieht, auch dann, wenn das gerade zu lösende Problem vielleicht zufällig infolge seiner Einfachheit genauso schnell rechnerisch zu lösen wäre.

Über die Ersparnis von Rechenarbeit hinaus bietet das Diagramm nämlich auch noch den weiteren Vorteil der Anschaulichkeit: Man erkennt an Hand der Lage der komplexen Widerstandspunkte im Diagramm mögliche Transformationswege, die man sofort in Schaltungsmaßnahmen umdeuten kann und umgekehrt.

Mancher wird hierbei vielleicht das Widerstands- und Leitwertdiagramm mit rechtwinkligen Koordinaten anschaulicher finden oder darin zu arbeiten gewohnt sein. Das Smith-Diagramm hat diesem gegenüber jedoch den manchmal entscheidenden Vorteil, daß es den ganzen Bereich von Null bis unendlich mit gleichbleibender prozentualer Genauigkeit erfassen kann. Man lernt leicht von dem einen Diagramm in das andere umzudenken, wenn man sich die konforme (winkel-treue) Abbildung der rechtwinkligen Ebene in die Kreisebene vor Augen hält. Eine gute Einführung in das Arbeiten mit dem Smith-Diagramm bietet das im Franzis-Verlag, München, erschienene Buch *Die Praxis der Kreis- und Leitungsdiagramme in der Hochfrequenztechnik* von H. Geschwinde, besonders wegen der zahlreichen, ausführlich beschriebenen Beispiele.