

Experimentelle Untersuchungen über Flach- und Rohrdipole

als Breitbandantennen.

L. Pungs und K. Lamberts, Braunschweig.

I. Allgemeines

Die Theorie des Scheinwiderstandes der Antennen ist in den letzten Jahren eingehend behandelt worden und gibt für längere Wellen eine gute Uebereinstimmung mit den Meßergebnissen. Im Bereich der kürzeren Meter- und Dezimeterwellen unter 3 m werden zwei wichtige Umstände durch die bekannten Theorien nicht berücksichtigt: die Verkürzung und der Einfluß der Verhältnisse am Fußpunkt der Antenne, die in dem genannten Wellenbereich für die Dimensionierung mitentscheidend sind.

Ferner beziehen sich die theoretischen Unterlagen hauptsächlich auf Zylinderantennen. Für Flachdipole ist z.Zt. noch keine genaue Theorie vorhanden. Dann gehen die vorhandenen Rechnungen von Antennen im freien Raume aus, während für die meisten praktischen Anwendungen die Verbindung mit einer Reflektorfläche in Frage kommt.

Um in möglichst kurzer Zeit Aufschluss über den Breitbandcharakter von Flach- und Rohrdipolen in dem Wellenbereich von 200 bis 60 cm und auch Unterlagen für die Dimensionierung zu erhalten, wurde beim NVK der experimentelle Weg beschritten. Ueber die Ergebnisse wird im folgenden berichtet. Die Arbeiten mussten den unmittelbaren Forderungen des Tages unterstellt werden, so dass nicht immer so systematisch vorgegangen werden konnte, wie es eigentlich erwünscht war.

II. Meßmethodik

Die Messungen wurden mit Rücksicht auf die Anwendung in der Praxis an symmetrischen Gebilden mit einem symmetrischen Lechersystem durchgeführt. Die Schaltung ist auf Abb. 1 angegeben und enthält gegenüber der bekannten Anordnung zwei Abweichungen.

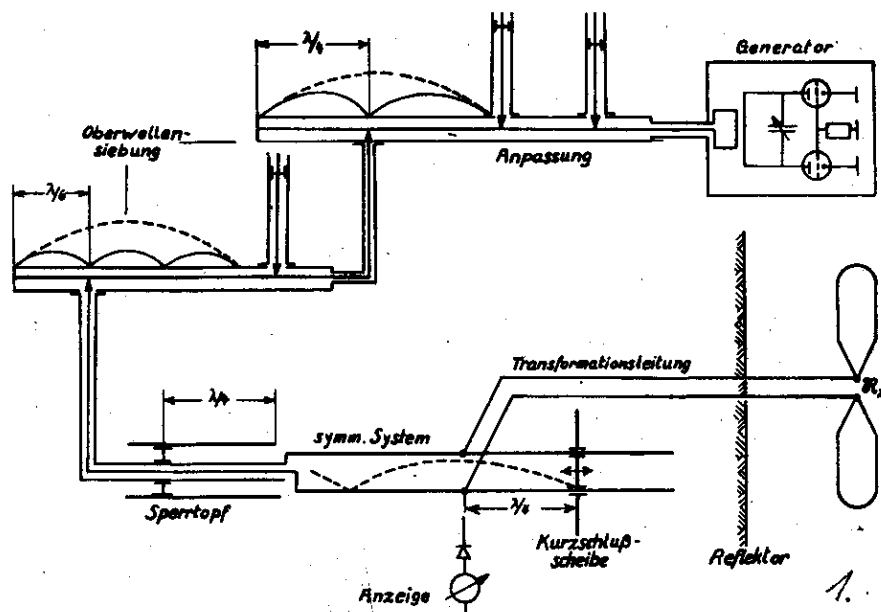


Abb. 1

Meßanordnung für symmetrische Scheinwiderstände

Erstens wird die genaue Symmetrierung des Lechersystems durch einen für verschiedene Frequenzen einstellbaren Sperrtopf erreicht. Die genaue Einstellung erfolgt mit Hilfe einer in der Mitte zwischen den Leitungen angebrachten Sonde, die bei Symmetrie die Spannung Null ergeben muss. Zweitens wird die für die Genauigkeit der Messung wichtige Oberwellenbefreiung des Generators durch kurzgeschlossene Meßschiene mit konzentrischem Innenleiter durchgeführt. Der Abzweig erfolgt jedesmal im Spannungsnulldpunkt der zu unterdrückenden Oberwelle.

Für zu messende Widerstände, deren Wert stark von dem Wellenwiderstand der Messleitung abwich, wurde das Verfahren mit Aufnahme der Resonanzkurve durch Verschiebung eines Kurzschlusses angewendet (Kaufmann). Bei Widerständen in der Nähe des Z der Messleitung benutzte man das Verfahren der Spannungsabtastung (O. Schmidt). Die Messungen wurden im Bereich von 200 bis 60 cm durchgeführt und zwar nur an Einzeldipolen, so dass der Einfluss der Strahlungskopplung nicht berücksichtigt ist.

III. Messungen an Flachdipolen.

Die Abb. 2 gibt eine Zusammenstellung der untersuchten Flachdipole. Die Grundform ist durch A 1 dargestellt.

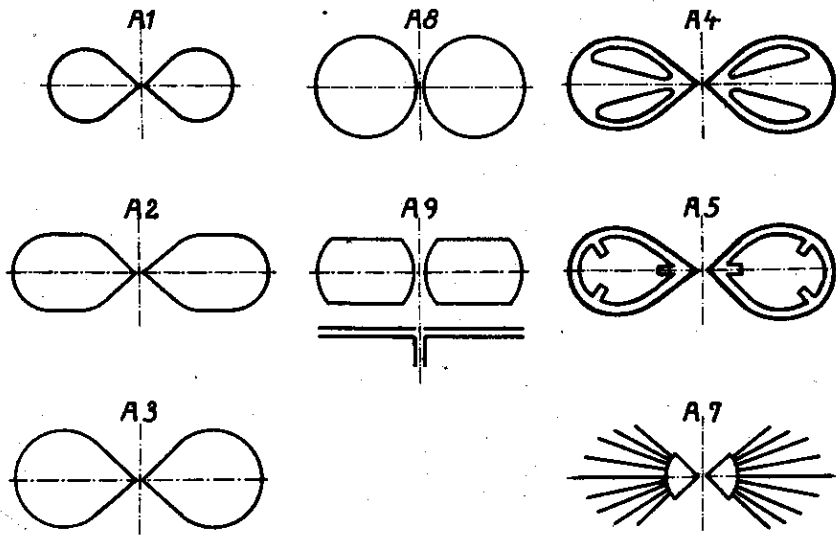


Abb. 2

Formen der untersuchten Flachantennen.

Der Breitbandcharakter soll hier durch Verkleinerung von Z gegenüber dem Lineardipol erreicht werden. Das geschieht durch Vergrößerung von C und Verkleinerung von L infolge der Ausbildung als Fläche, die gleichzeitige Verschmälerung zum Fußpunkt hin vermittelt den Uebergang zur Zuleitung. Die Form A2 ist aus A 1 durch Beschneidung am Rande entstanden, A 3 entstand durch proportionale Vergrößerung von A 1 bei gleichem Reflektorabstand. Die Kreisform A 8 und die abgerundete Rechteckform A 9 bilden die geometrischen Grenzformen. Eine Verbesserung des Breitbandcharakters wurde durch Anbringung einer Parallelfäche angestrebt, wie bei A 9 in Seitenansicht zu sehen ist. Die Form A 4 entstand durch die Förderung der Materi-

al- und Gewichtersparnis. Sie ergab in bezug auf ihren Scheinwiderstand fast vollkommene Uebereinstimmung mit Form A 1, während die Dornen A 5 und A 7 wesentlich schlechtere Breitbandeigenschaften zeigten. Die letzten drei Formen werden im folgenden nicht weiter behandelt. Bei den Untersuchungen wurde als praktische Ausführung der Doppeldipol (λ -Dipol) zugrundegelegt, der bekanntlich für Breitbandantennen besser geeignet ist als der $\lambda/2$ -Dipol. Bei allen Untersuchungen sind die Ortskurven in möglichst grossem Frequenzgebiet aufgenommen worden, um eine bessere Uebersicht über die Eigenschaften der Antenne insbesondere bei sehr breiten Frequenzbändern zu erhalten.

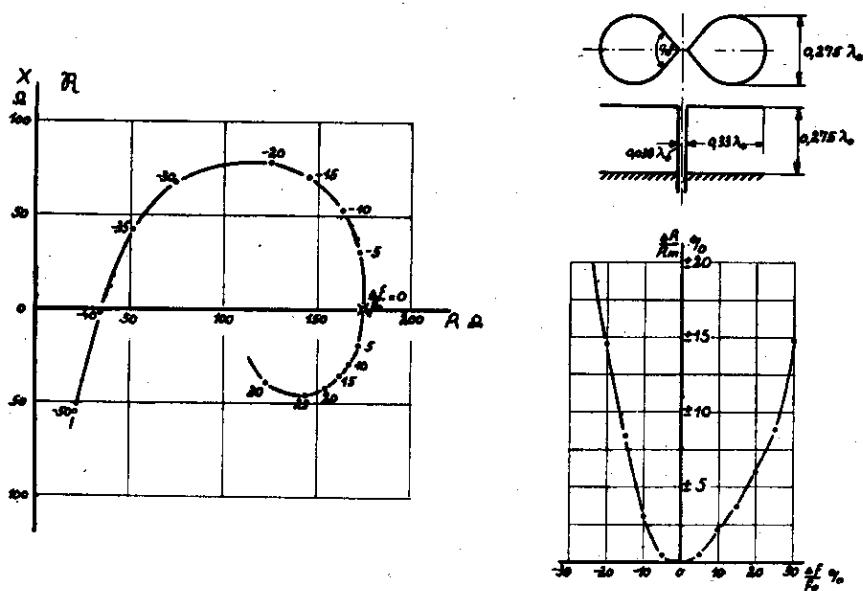


Abb. 3

Ortskurve und prozentuale Wirkwiderstandsänderung des Flachdipols A 1.

Auf der Abb. 3 ist ausser der Ortskurve auch das Verhältnis $\frac{\Delta R}{R_{max}} = \frac{1/2(R_{max} - R)}{R_{max}}$ in Abhängigkeit von $\frac{\Delta f}{f_0}$ aufgetragen, wo R, R_{max} die reellen Komponenten der Scheinwiderstände und f_0 die Frequenz der Bandmitte bezeichnen.

Für kleine R stimmt die angegebene Verhältniszahl mit der sonst üblichen Grösse w überein, gibt aber für grössere Frequenzbereiche wegen der Beziehung auf einen festen Wert, bessere Uebersicht. Es ist zu erkennen, dass die angegebene Form zum mindesten in bezug auf den Wirkwiderstand recht guten Breitbandcharakter hat.

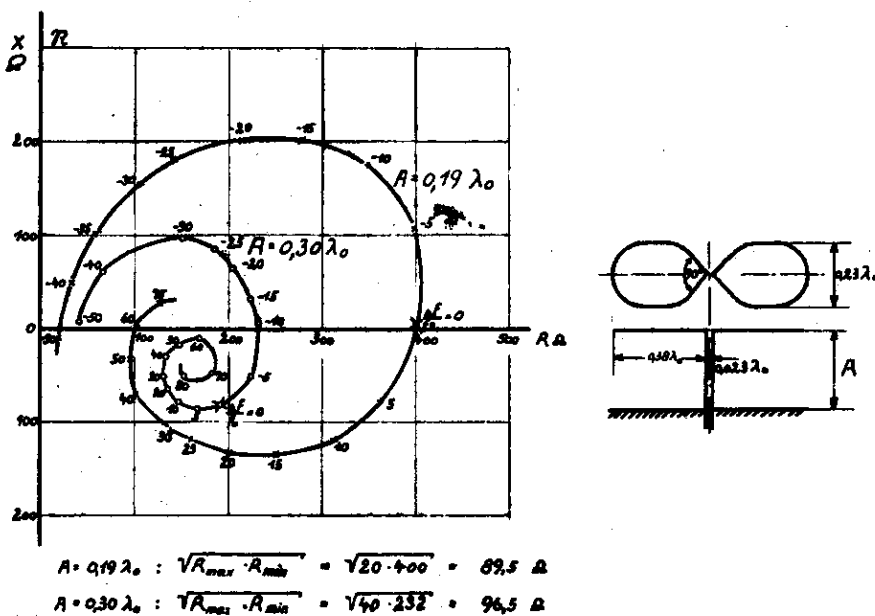


Abb. 4

Ortskurve des Flachdipols A 2 für zwei verschiedene Reflektorabstände.

Die Abb. 4 zeigt für die Antennenform A 2, die sich in ihrem Scheinwiderstandsverlauf nur unwesentlich von der Form A 1 unterscheidet, den Einfluß des Reflektorabstandes. Der Breitbandcharakter im grossen Frequenzbereich wird durch die Vergrösserung des Abstandes von $0,19 \lambda_0$ auf $0,30 \lambda_0$ ganz wesentlich verbessert. Setzt man in erster Annäherung

$$Z = K \sqrt{R_{max} \cdot R_{min}}$$

so zeigt die Rechnung, dass Z durch den Abstand wenig beeinflusst wird, also wird der Breitbandcharakter hier in erster

Linie durch Veränderung des Strahlungswiderstandes bestimmt. Von Interesse ist auch die Verlagerung der Frequenz f_0 bei Veränderung des Abstandes (Beeinflussung der Blindkomponente). Der Abstand ist nach oben durch die bei seiner Vergrößerung eintretende ungünstige Veränderung der Richtungscharakteristik begrenzt und soll $0,3 \lambda$ nicht übersteigen.

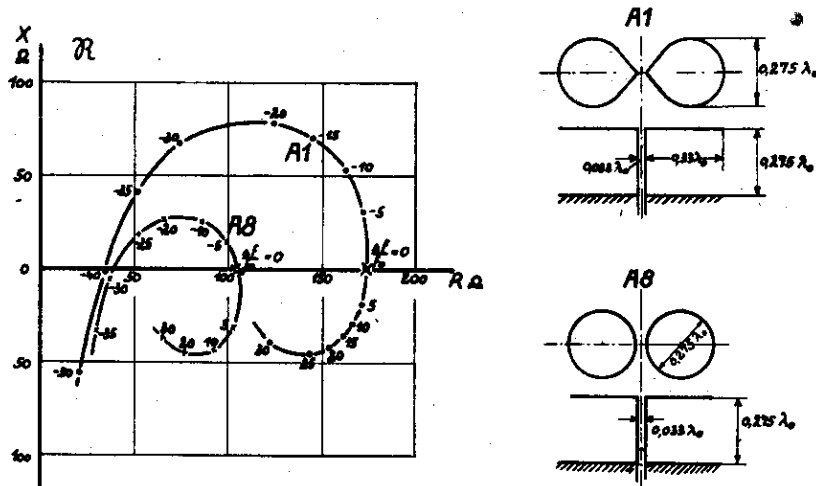


Abb. 5

Ortskurven der Flachdipole A 1 und A 8.
Einfluß der Fußpunkttrandkurve

In Abb. 5 werden die Breitbandeigenschaften des Flachdipols von Kreisform in Vergleich mit der Grundform dargestellt. Die Verbesserung durch die Kreisform tritt sehr deutlich hervor. Da der Unterschied der beiden Formen im wesentlichen durch den Verlauf der Randkurven um den Fußpunkt bestimmt wird, ist dadurch auch der Einfluss der Fußpunktverhältnisse als wesentlich nachgewiesen.

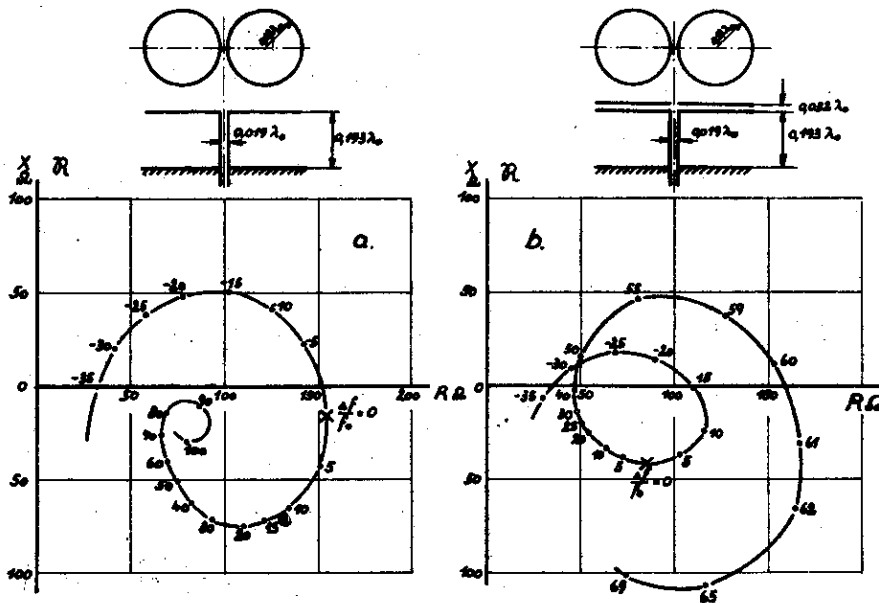


Abb. 6

Ortskurven von Kreisscheibenantennen.
Einfluß der Kapazitätserhöhung durch vorgesetzte,
strahlungsgekoppelte Antennenbleche gleicher Form.

Abb. 6 zeigt den Einfluss der Anbringung einer metallisch nicht verbundenen Parallelfäche bei der Kreisform. Der Grundgedanke war, eine weitere Herabsetzung von Z durch Vergrößerung der Kapazität anzustreben. Interessant ist die Schleifenbildung und der zweite reelle Wert bei hohen Frequenzen. Die Ursache ist noch nicht weiter untersucht worden.

Den Uebergang von der Kreisfläche zur Rechteckfläche mit zwei abgerundeten Kanten, wie sie durch Beschneidung des Kreises entsteht, zeigt Abb.7. Durch diese Abänderung soll eine günstigere konstruktive Form für die Reihenanordnung erreicht werden. Auch hier ist eine Parallelfäche wie bei Abb. 6 vorhanden. Wir sehen, dass im praktisch interessierenden Teil, also im Bereich $\frac{\Delta f}{f_0} \cdot 100 = \pm 15\%$ die Beschneidung wenig ändert, nur für höhere Frequenzen tritt eine Verschlechterung der Breitbandeigenschaften ein.

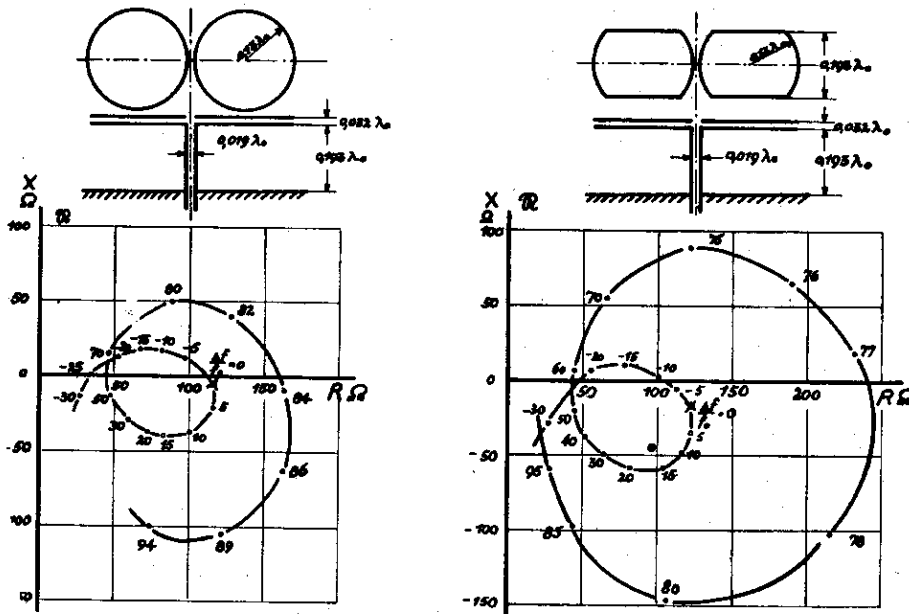


Abb. 7

Vergleich der Ortskurven von unbeschnittenen und beschnittenen Kreisscheibenantennen mit erhöhter Kapazität

IV. Messungen an Rohrdipolen ohne Kompensation.

Die Rohrdipole haben theoretisch leichter übersehbare Verhältnisse im Vergleich mit den Flächendipolen. Ein konstruktiver Vorteil ist die bequeme Anordnung der Kompensationsleitung innerhalb des Rohres, nachteilig die unbequemere Befestigung.

Der Breitbandcharakter wird hier durch Verkleinerung des Verhältnisses Länge zu Durchmesser erreicht, wie es sich aus der Näherungsformel für den Wellenwiderstand (ohne Berücksichtigung der Verkürzung) ergibt:

$$Z_A = 120 \left[\ln \frac{L_A}{d_A} - 1 \right]$$

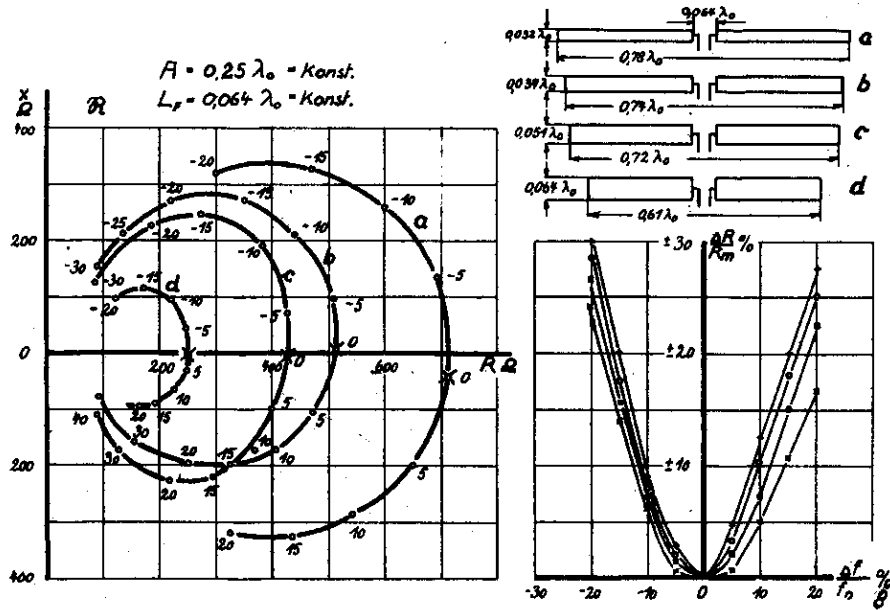
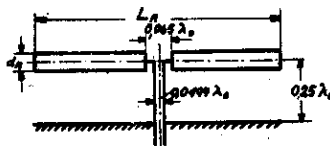
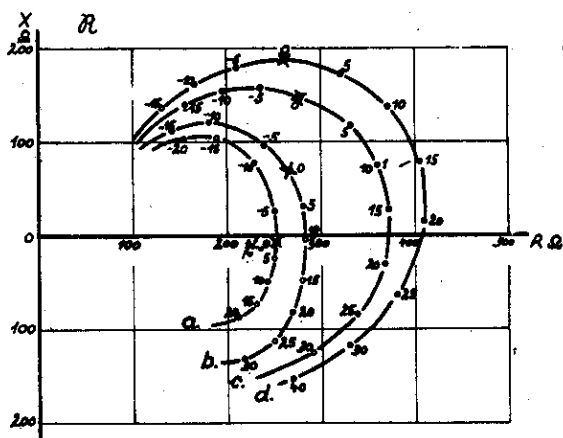


Abb. 8

Ortskurven von Rohrdipolen verschiedener Durchmesser bei konstantem Reflektorabstand und reduzierter Dipollänge

Abb. 8 zeigt das Ergebnis einer systematischen Untersuchung des Einflusses der Änderung des Durchmessers bei unveränderter Bandmitte f_0 , gleichem Reflektorabstand und gleichem Fusspunktstand. Dabei wurde die Forderung gestellt, dass die Bandmitte f_0 immer den reinen Wirkwiderstand R_m ergibt. Damit ist dann bekanntlich eine mit dem Durchmesser wachsende Verkürzung verbunden; so ist z.B. bei $d_A = 0,064 \lambda_0$ die wirkliche Länge $L_A = 0,61 \lambda_0$. Die Verbesserung der Breitbandeigenschaften durch die Vergrößerung des Durchmessers sind aus den Ortskurven a, b, c, d und den Kurven für $\frac{\Delta R}{R_m} = f\left(\frac{\Delta f}{f_0}\right)$ sehr klar zu erkennen. Es wurde nur die Änderung des reellen Teiles des Scheinwiderstandes aufgetragen, da der Blindteil, wie später gezeigt wird, leicht kompensiert werden kann und deshalb für die Breitbandeigenschaften weniger entscheidend ist. Die Kurven zeigen, dass bei einer Änderung der Frequenz von $\pm 10\%$ Widerstandsänderungen

von nur $\pm 7\%$, bei Frequenzänderungen von 20%, Änderungen des Widerstandes von 23% erreicht werden können.



- a. $\frac{L_A}{d_n} = 19,0$
- b. " = 15,3
- c. " = 12,5
- d. " = 9,5

Abb. 9

Ortskurven von Rohrdipolen verschiedener Durchmesser bei konstanter Dipollänge und konstantem Reflektorabstand.

Die Kurven der Abb. 9 bilden das Gegenstück zu denjenigen der Abb. 8. Hier wird bei Veränderung des Durchmessers die Länge L_A konstant gehalten. Die Länge wurde so gewählt, dass für den grössten Durchmesser des Dipols bei der Frequenz f_0 der Widerstand R_{max} auftrat. Bei Verkleinerung des Durchmessers verschob sich der Scheinwiderstand für f_0 immer mehr nach der induktiven Seite oder mit anderen Worten der Punkt O für f_0 wurde gegen den Uhrzeiger gedreht.

Auf Grund der gewonnenen experimentellen Ergebnisse, wie sie vor allem auf Abb. 8 gegeben sind, lassen sich Kurven für die Dimensionierung von λ -Rohrdipolen in dem untersuchten Frequenzgebiet leicht aufstellen. Als Unterlagen werden angenommen:

Mittelwellenlänge λ_0

Bandbereich $\Delta f/f_0$

Zulässige Änderung des Wirkwiderstandes $\frac{\Delta R}{R_m}$

Abstand vom Reflektor A

Fusspunktstand L_P

Für einen bestimmten Reflektor- und Fusspunktstand, die als Parameter dienen, werden auf Grund der Messungen folgende Kurven aufgestellt:

$$a) \quad \frac{\Delta R}{R_m} = f\left(\frac{\lambda_0}{d_A}\right)$$

$$b) \quad R_m = f\left(\frac{\lambda_0}{d_A}\right)$$

$$\text{Verkürzungsfaktor } q_2 = \frac{L_A}{\lambda_0} = f\left(\frac{\lambda_0}{d_A}\right)$$

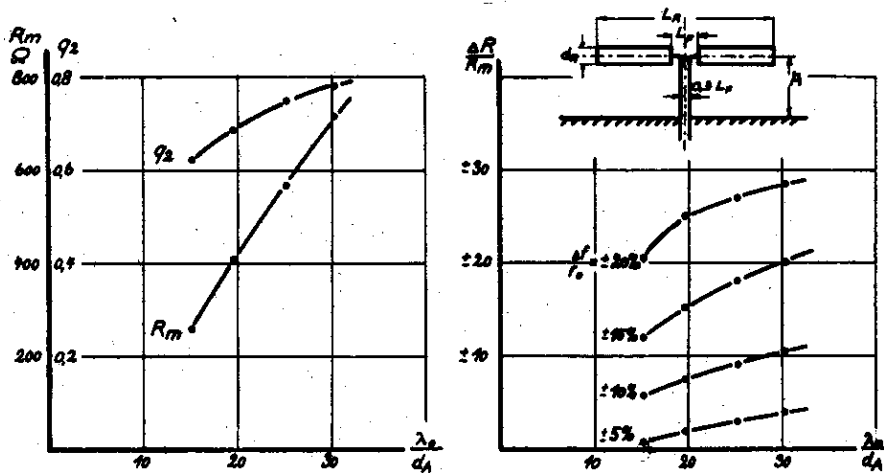


Abb. 10

Dimensionierungsunterlagen für Breitband-Rohrdipole auf Grund der Versuchsergebnisse.

- Höchstwert des Antenneneingangswiderstandes R_m und Verkürzungsverhältnis q_2 in Abhängigkeit von $\frac{\lambda_0}{d_A}$
- Relative Wirkwiderstandsänderungen bei verschiedenen Verstimmungen $\frac{\Delta f}{f_0}$ in Abhängigkeit von $\frac{\lambda_0}{d_A}$
(Reflektorabstand $A = \frac{\lambda_0}{4} = \text{konst.}$
Fusspunktstand $L_P = 0,064 \lambda_0 = \text{konst.}$)

Für $A = \frac{\lambda}{4}$ und $L_F = 0,064 \lambda_0$ sind die Kurven auf Abb. 10 dargestellt. Mit $\frac{\Delta R}{R_m}$ und $\frac{\Delta f}{f_0}$ ermitteln wir aus der Kurvenschar auf der rechten Seite das zugehörige λ_0/d_A . Damit ist für das gegebene λ_0 der Durchmesser bestimmt. Aus den Kurven links erhält man die wirkliche Länge L_A und den Widerstand R_m .

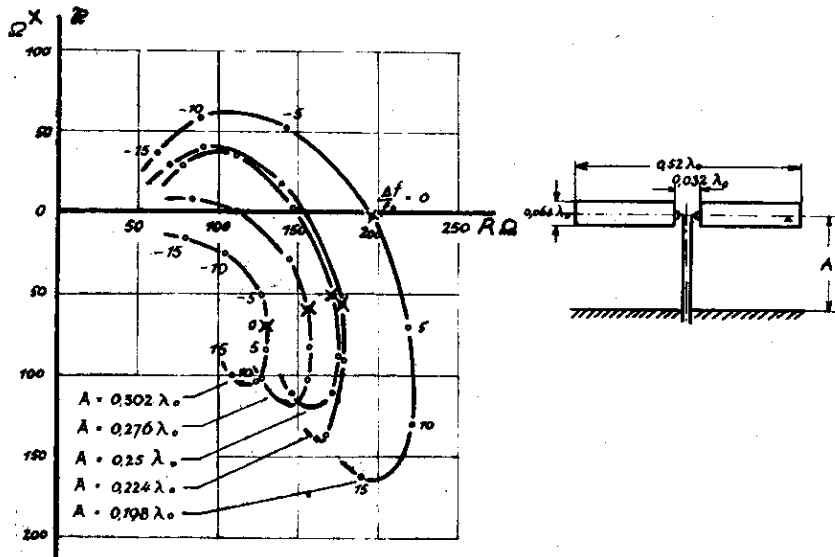


Abb. 11

Ortskurven eines Rohrdipols bei veränderlichem Reflektorabstand

Abb.11 zeigt noch etwas eingehender als Abb.4 den Einfluss des Reflektorabstandes und zugleich auch die Wirkung des Fusspunktstandes, der kleiner ist als bei den bisherigen Anordnungen. Die Folge ist eine Verschiebung der Ortskurve in den kapazitiven Quadranten. Im unteren Teil scheint sich eine Schleifenbildung anzubahnen, doch konnte diese Erscheinung noch nicht weiter untersucht werden.

V. Messungen an Rohrdipolen mit Kompensation.

In den vorhergehenden Ausführungen wurde in erster Linie die Änderung des Wirkwiderstandes mit der Frequenz berücksichtigt. Die noch verbleibende Änderung des Blindwiderstandes kann durch Kompensation (Buschbeck) auf ein zulässiges Mass verringert werden. Zur Kompensation benutzten wir zunächst kurzgeschlossene

konzentrische $\lambda/2$ -Leitungen, die durch ein Fadenkabel im Innern des Rohrdipols dargestellt wurden. Wegen der Verkürzung des Dipols musste die Leitung zu einer Schleife zusammengebogen werden. Dadurch entstand aber eine wesentliche unsymmetrische Abweichung von der theoretischen Beziehung

$$X_L = Z_L \cdot \operatorname{tg} 2\pi \frac{l}{\lambda}$$

die eine vollkommene Kompensation verhinderte. Es wurden dann offene $\lambda/4$ -Leitungen angewendet, für die in der oben angeführten Gleichung der tg durch den ctg ersetzt wird. Die Verwirklichung dieser Anordnung erfolgte durch ein Drahtstück, das achsial in dem Rohrdipol angebracht wurde - eine konstruktiv sehr einfache Ausführung. Die Justierung erfolgte durch Wahl des Durchmessers (also von Z_L) und der Länge.

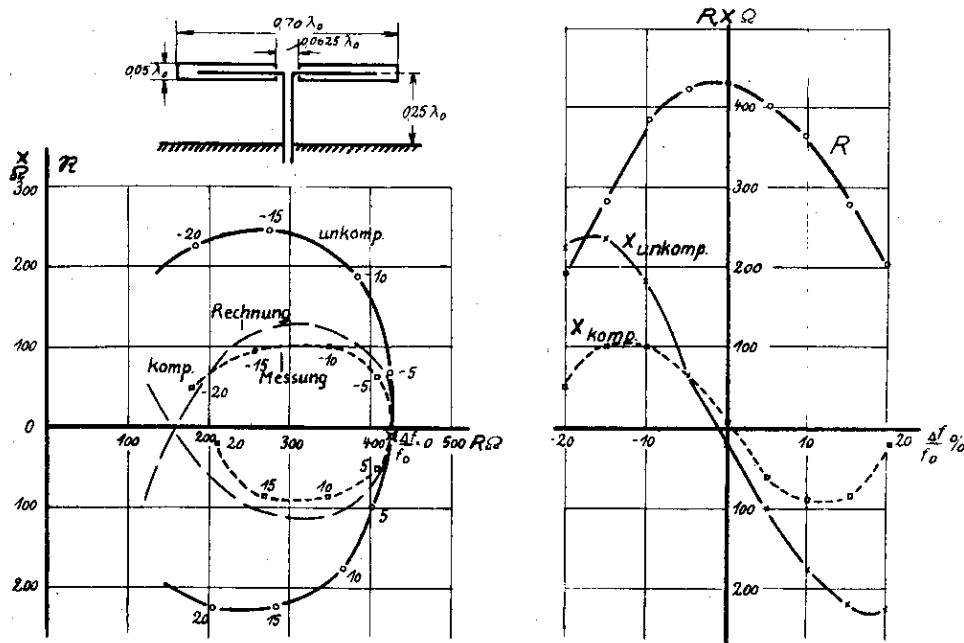


Abb. 12

Kompensation des Blindwiderstandes eines Rohrdipols durch eingebaute offene $\lambda/4$ -Leitung.

Abb. 12 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung einer solchen Kompensation, links sind die Ortskurven, rechts die Kurven für die Blind- und Wirkwiderstände aufgetragen.

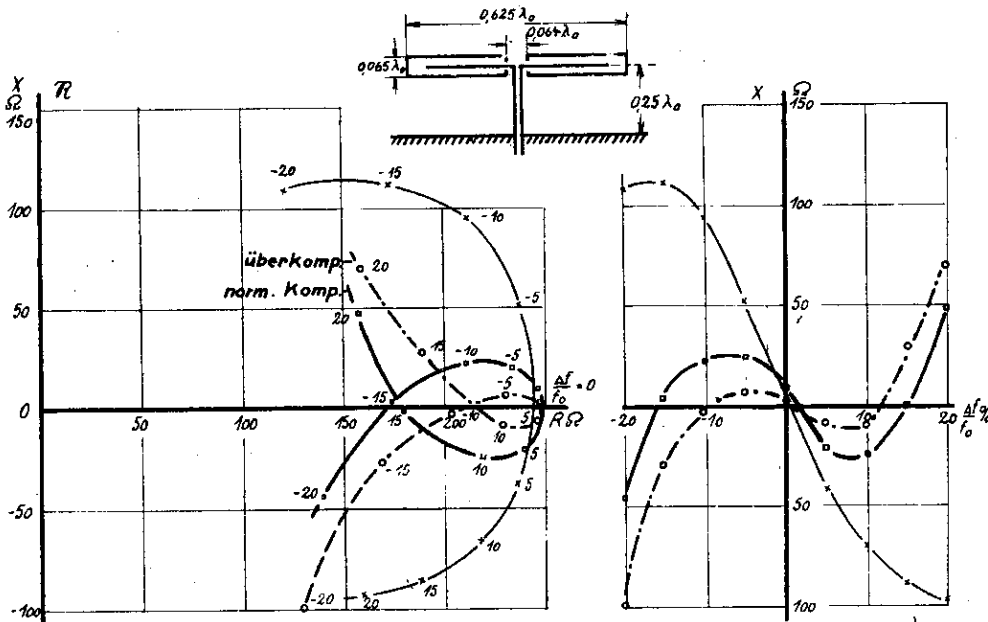


Abb. 13

Kompensation des Blindwiderstandes eines Rohrdipols bei verschiedenen Wellenwiderständen der offenen $\lambda/4$ -Kompensationsleitung

Abb. 13 zeigt eine Verbesserung der Kompensation durch passende Wahl der Abmessungen der Leitung, ferner Ueberkompensation, bei der die Schleife mehr auseinander gezogen wird.

Die Ortskurven und die Kurve der prozentualen Änderung des Gesamtbetrages des Scheinwiderstandes $\frac{\Delta|Z|}{R_{max}}$ für den günstigsten Fall sind auf Abb. 14 dargestellt. Das Ergebnis ist z. B. eine Widerstandsänderung von $\pm 7\%$ bei $\frac{\Delta f}{f_0} = \pm 10\%$, für viele Zwecke ein sehr brauchbarer Wert.

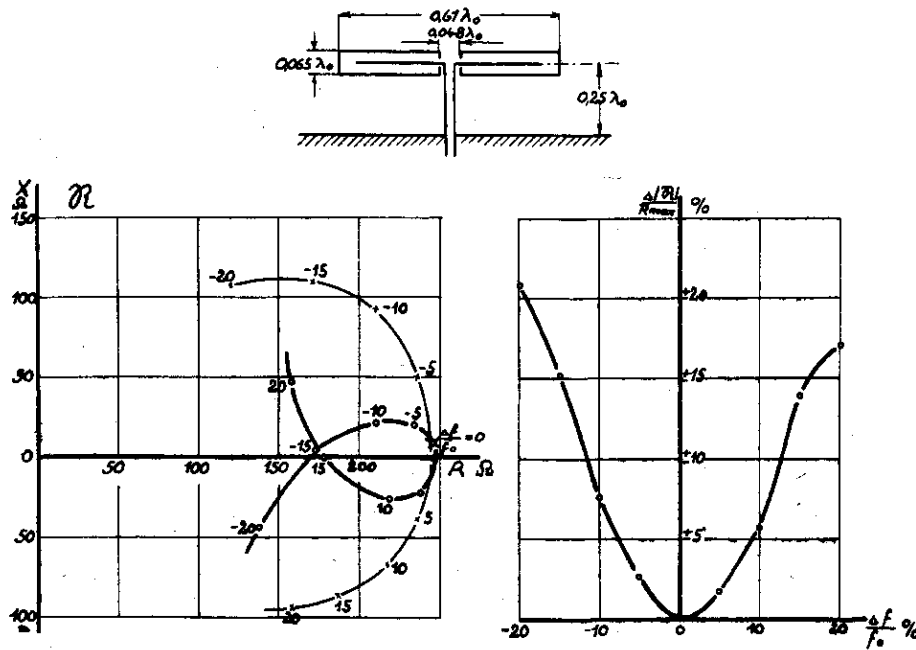


Abb. 14

Normale Kompensation eines Rohrdipols und prozentuale Aenderung des Scheinwiderstandsbeitrages.

Neben der Verwendung für B-Anlagen wurde die Benutzung der Breitbandantennen in Anlagen mit elektrisch schwenkbarer gebündelter Richtcharakteristik entwickelt. Das dazu beim NVK seit einigen Jahren ausgebildete Gerät, der Laufzeit-Kompensator, ist nach seinem Grundgedanken frequenzunabhängig. Die Verbindung dieses Gerätes mit einem System von Breitbandantennen gibt eine Anordnung mit einer in einem bestimmten Frequenzgebiet praktisch frequenzunabhängigen elektrischen Schwenkung, wenn die übrigen Teile der Anlage, wie Sperrtöpfe, Transformatoren auch Breitbandcharakter haben. Eingehende Untersuchungen der damit zusammenhängenden Fragen haben beim NVK zur Entwicklung von Grossanlagen auf dieser Basis geführt, die z.Zt. im Bau sind.