HEINRICH+HERTZ+INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG BERLIN+CHARLOTTENBURG

pm

Technischer Bericht Nr. 28

Fusspunktswiderstandsmessungen an Faltdipolen

Dr.=Ing. HEINZ JUNGFER

1 9 5 9

Technischer Bericht Nr. 28

Fusspunktswiderstandsmessungen an Faltdipolen

Zusammenfassung

Im Frequenzbereich von 30...300 MHz wurde der Fusspunktswiderstand von einfachen, aus gleichmässig starkem Rundmaterial hergestellten Faltdipolen gemessen. Es ergab sich, dass der Fusspunktswiderstand im Resonanzpunkt praktisch unabhängig von den Abmessungen etwa 290 Ω betrug. Für die Resonanzlänge wurde eine Kurve in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad ermittelt. Die Messergebnisse werden mit den theoretisch zu erwartenden Werten und mit den Messwerten anderer Stellen verglichen. Es werden Vorschläge zum Bau eines 240 Ω-Faltdipols gemacht.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Der Bearbeiter gez.: H. Jungfer (Dr.-Ing. H. Jungfer)

Der Abteilungsleiter Der Institutsdirektor gez.: Gundlach gez.: Gundlach (Prof. Dr.-Ing. F.W. Gundlach) (Prof. Dr.-Ing. F.W. Gundlach)

Berlin - Charlottenburg, den 25. März 1959

1

Allgemeines

Der Leistungsgewinn einer Antenne kann experimentell dadurch bestimmt werden, dass man die zu untersuchende Antenne in ein homogenes elektromagnetisches Strahlungsfeld bringt und ihre Ausgangsleistung vergleicht mit der Ausgangsleistung eines Bezugsdipols, der ersatzweise an die gleiche Stelle des Strahlungsfeldes gebracht wird. Als Bezugsdipole werden einfache Halbwellendipole oder Faltdipole verwendet. Die Dipole sollen bei der Messfrequenz in Resonanz sein, d.h. ihr Scheinwiderstand - auch Fusspunktswiderstand genannt - soll reell sein. Ueber den Widerstand von einfachen zylindrischen Dipolen liegen genügend theoretische und experimentelle Untersuchungen vor (1 bis 8). Der praktisch ebenfalls wichtige Faltdipol kann dagegen theoretisch nur mit gewissen Vernachlässigungen behandelt werden (9,10,11); man ist daher zur genauen Ermittlung seiner Kennwerte auf Messungen angewiesen. Derartige Messungen sind auch schon mehrfach durchgeführt worden (9,11,12,13,14). Dabei zeigt sich zwar qualitativ bei den an verschiedenen Stellen gemessenen Werten eine ausreichende Uebereinstimmung, dagegen bestehen in quantitativer Hinsicht und in Einzelheiten, insbesondere in den Werten für den Resonanzwiderstand und die Resonanzlänge merkliche Unterschiede. Diese sind in der Regel bedingt durch die nicht genau definierten elektrischen Eigenschaften der Verbindungsstelle zwischen Dipol und Speisekabel oder durch Abweichungen in der konstruktiven Gestaltung der Antennen. Es wurde daher versucht (15), durch möglichst sorgfältige Messungen zuverlässige und vergleichbare Unterlagen für die Bemessung einfacher Faltdipole, die aus Stäben gleichbleibenden Querschnitts aufgebaut sind und beispielsweise als Bezugsdipole für Antennengewinnmessungen dienen sollen, zu schaffen.

Messverfahren

Das Messverfahren wurde durch das Messobjekt (symmetrische Antenne) und den Frequenzbereich (30 - 300 MHz) bestimmt. Von den verschiedenen Möglichkeiten wurde folgendes Verfahren ausgewählt.

Meßsender

Bild 1

Grundsätzliches Schaltbild der Messanordnung

Ein Messender (Bild 1) ist lose an einen symmetrisch aufgebauten Messkreis angekoppelt, der mit einem veränderbaren Kondensator abgestimmt werden kann. Die Spannung am Messkreis wird relativ mit einem symmetrischen Spannungszeiger gemessen. Das Messobjekt kann dem Messkreis parallel geschaltet werden. Hierdurch verbreitert und verschiebt sich die Resonanzkurve im Vergleich zu der des unbelasteten Messkreises (Bild 2). Aus der Verbreiterung und Verschiebung wird das unbekannte Messobjekt bestimmt.



Resonanzkurven bei belastetem und unbelastetem Messkreis

Ist

- Co die Messkreiskapazität bei Resonanz ohne Messobjekt,
- C_m die Messkreiskapazität bei Resonanz mit Messobjekt,
- ΔC_{o} die Halbwertsbreite ohne Messobjekt,
- ΔC_m die Halbwertsbreite mit Messobjekt,
 - f die Senderfrequenz,
 - G, der zu messende Wirkleitwert des Messobjekts,

Y_x der zu messende Blindleitwert des Messobjekts, so ist

- $G_{x} = \pi f (\Delta C_{m} \Delta C_{o})$ (1) $Y_{x} = 2\pi f (C_{o} - C_{m}).$ (2)
- Die Vorteile dieses Messverfahrens sind folgende:
 - 1.) Die Beziehungen (1) und (2) sind sehr einfach auszuwerten.
 - 2.) Die zwei Bestimmungsgrössen, aus denen das Messobjekt berechnet wird, sind die Frequenz des Messenders und Kapazitätsänderungen des Messkreises. Beide können leicht mit genügender Genauigkeit ermittelt werden.
 - 3.) Die Resonanzkurve ist bei diesem Messverfahren mit Kapazitätsänderung auch bei beliebig starker ohmscher Belastung noch exakt symmetrisch zur Resonanzkapazität. Die Gleichungen (1) und (2) gelten daher auch für beliebige Belastung genau.
 - 4.) Das Bezugsnormal ist eine Kapazität. Sie kann bis zu den höchsten hier verwendeten Frequenzen noch als frequenzunabhängiges Normal hergestellt werden. Die Anfangskapazität des Kondensators und die Eigenkapazität der Spule spielen keine Rolle, da nur Kapazitätsänderungen zur Auswertung gebraucht werden.

Nachteilig ist der etwas grössere Zeitaufwand für eine Messung im Vergleich zu einem unmittelbaren Verfahren; er konnte für den vorliegenden Zweck aber in Kauf genommen werden.

Messanordnung

Der Messkreis wurde schon vor längerer Zeit für ähnliche Untersuchungen verwendet (14). Wichtigster Bestandteil ist der symmetrische veränderbare Kondensator. Er besteht aus zwei zylindrischen Halbschalen, in die ein über einen Mikrometertrieb verschiebbarer Kolben eintaucht (Bild 3). An die Punkte 1 und 2 ist das Messobjekt, an 3 und 4 die Messkreisspule aus Kupferdraht oder -band angeschlossen. Wie die Rechnung zeigt, sind die Korrekturen derKapazität infolge des Frequenzeinflusses bis zu 250 MHz kleiner als 1 %; sie wurden deshalb nicht berücksichtigt. Zur Spannungsanzeige dient ein Germaniumdetektor, der über zwei kleine einstellbare Kondensatoren symmetrisch an die Punkte 5 und 6 angeschlossen ist.



Grundsätzlicher Aufbau des veränderbaren symmetrischen Messkondensators

Für die Verbindung des Messobjekts mit dem Messkreis galten folgende Ueberlegungen. Es ist in der Regel nicht ratsam, die zu untersuchende Antenne unmittelbar an den Messkreis anzuschliessen, da erstens die, wenn auch sehr kurzen, Verbindungsleitungen elektrisch nicht genau definiert werden können und zweitens das Vorhandensein der Messapparatur selbst in unmittelbarer Nähe der Antenne Anlass zu Fehlern geben kann. Daher wurde vorgezogen, die Antenne über eine Paralleldrahtleitung anzuschliessen. Es wurden Verbindungsleitungen verschiedener Länge verwendet und die Messfrequenz jeweils so eingestellt, dass die Leitungsstücke $\lambda/2$ lang waren. Hierdurch wurde die eigentlich erforderliche Auswertung mittels eines Leitungsdiagramms umgangen und gleichzeitig Fehler, die durch die Unsicherheit des Wellenwiderstandes der Verbindungsleitung hätten verursacht werden können, vermieden.

5 -

Die Genauigkeit der Gesamtanordnung wurde geprüft, indem bekannte ohmsche Widerstände sowohl unmittelbar an den Schwingkreis als auch über die $\lambda/2$ langen Verbindungsleitungen angeschlossen bei 20 verschiedenen Frequenzen im Bereich von 40 bis 80 und 140 bis 250 MHz gemessen wurden. Im Widerstandsbereich von 400 Ω lagen sämtliche Messwerte des komplexen Leitwertes in einem Fehlerkreis mit einem Radius von 2,7 % des Leitwertbetrages, der mittlere quadratische Fehler war kleiner als ± 2 %.

Die Antennenmessungen wurden zum kleineren Teil in einem etwa 7 x 22 x 7 m grossen Hörsaal, grösstenteils aber im Freien ausgeführt, wobei die Antennen freitragend 3...4 m hoch über dem Erdboden aufgehängt waren. Der Einfluss des Bodens, bzw. der Wände auf den Fusspunktswiderstand lag innerhalb der Messungenauigkeit, wie durch Messungen bei veränderter Höhe festgestellt wurde.

Untersuchte Antennen

Die untersuchten Antennen waren einfache Faltdipole nach Bild 4.



Bild 4

Form der untersuchten Faltdipole

Die Abmessungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

mobelle 1

| | TAPETTE | | | |
|-----|---------|---------|---------|----------|
| Nr. | L cm | a cm | d cm | s cm |
| 1 | 308 | 13,5 | 1,2 | 1,2 |
| 2 | 285 | 12,8 | 1,2 | 1,1 |
| 3 | 260 | 12,5 | 1,2 | · 1,2 |
| 4 | 240 | 12,8 | 1,2 | 1,3 |
| 5 | 217 | 12,3 | 1,2 | 1,4 |
| 6 | 75,6 | 7,5 | 0,6 | 0,8 |
| 7 | 67,2 | 7,5 | 0,6 | 0,8 |
| 8. | 70,0 | 7,5 | 0,6 | 0,8 |
| • 9 | 148 | 7,5 | 0,6 | 0,8 |
| 10 | 75,3 | 1,8 | 0,6 | 0,8 |
| 11 | 75,4 | 4,2 | 0,6 | 0,8 |
| 12 | 80,6 | 6,3 | 0,7 | |
| 13 | 78,6 | 6,3 | 0,7 | |
| 14 | 76,6 | 6,3 | 0,7 | besonder |
| 15 | 74,7 | 6,3 | 0,7 | Anschlus |
| 16 | 70,7 | 6,3 | 0,7 | dose |
| 17 | 69,1 | 6,3 | 0,7 | |
| 18 | 66,7 | 6,3 | 0.7 | |

Messergebnisse

Einen Ueberblick über den Verlauf des Fusspunktswiderstandes von Faltdipolen kann man aus folgender Ueberlegung gewinnen. Der Eingangsleitwert \mathcal{G} berechnet sich aus dem Verhältnis des in den Anschlusspunkt 1 hineinfliessenden Stromes \mathcal{F} zu der über die Klemmen 1 und 2 angelegten Spannung \mathcal{U} .



Ersatz der Faltdipole durch einen gewöhnlichen Dipol und eine kurzgeschlossene Paralleldrahtleitung.

Wir denken uns nun die Speisespannung des Faltdipols nach Bild 5a aufgeteilt in 3 gleichphasige Teilspannungen vom Betrage $\mathcal{U}/4$, $\mathcal{U}/2$ und $\mathcal{U}/4$ und fügen ausserdem in den nichtgespeisten Arm des Faltdipols gegenphasige Spannungen – $\mathcal{U}/4$, + $\mathcal{U}/2$ und - $\mathcal{U}/4$ ein, wodurch elektrisch nichts geändert wird (Bild 5b). Die beiden gleichphasigen mittleren Spannungen können in eine einzige zusammengefasst werden, wodurch das Bild 5c entsteht. Hieraus kann man den in den Anschlusspunkt 1 hineinfliessenden Strom entstanden denken aus der Ueberlagerung eines in einen gewöhnlichen Dipol hineinfliessenden Stromes \mathcal{F}_d und des Eingangsstromes \mathcal{F}_ℓ einer kurzgeschlossenen Paralleldrahtleitung (Bild 5d,e). Mit diesen Ueberlegungen ergibt sich der Eingangsleitwert des Faltdipols zu

$$g = \frac{1}{4} g_d + \frac{1}{2} g_e$$
.

(3)

 \mathcal{G}_d ist der Eingangsleitwert des gewöhnlichen Dipols, \mathcal{G}_t der Eingangsleitwert der kurzgeschlossenen Paralleldrahtleitung.

Letzterer ist aus den Abmessungen leicht berechenbar, während \mathcal{Q}_d aus zahlreichen theoretischen und experimentellen Untersuchungen entnommen werden kann, wenn man den aus zwei parallelgeschalteten Leitern bestehenden Dipol durch einen äquivalenten zylindrischen Dipol ersetzt. Als Radius r_a des äquivalenten zylindrischen Dipols findet man (12) $r_a = \sqrt{d \cdot r}$.

Den grundsätzlichen Verlauf des resultierenden Leitwertes zeigt Bild 6. Beispiele für gemessenen Kurven sind in den Bildern 7 und 8 wiedergegeben. Sie entsprechen vollständig dem zu erwartenden Verlauf.



<u>Bild 6</u> Grundsätzlicher Verlauf des Eingangsleitwertes eines Faltdipols

Wie man aus Gl. (3) erkennt, ist es nicht möglich, den Verlauf des Fusspunktsleitwertes durch eine einzige allgemein gültige Kurvenschar darzustellen, wie dies z.B. EHRENSPECK aus seinen Messungen für einfache zylindrische Dipole getan hat. Denn während ${\mathcal G}_{d}$ vom Wellenwiderstand des äquivalenten Dipols, also von $1/r_{a}=1/\sqrt{d} \cdot r$ abhängt, ist q_{1} vom Wellenwiderstand der Paralleldrahtleitung, also vom Verhältnis d/r abhängig. Nun ist aber in dem hier vor allem interessierenden Resonanzfall (Punkt R in Bild 6) der Leitwert des äquivalenten Dipols besonders gross und der Leitwert des kurzgeschlossenen Paralleldrahtleitung sehr klein; in diesem Punkt ist daher praktisch nur der Leitwert des äquivalenten Dipols . wirksam. Wie sich aus den Messungen von EHRENSPECK ergibt, ist der Fusspunktswiderstand zylindrischer Strahler in diesem Resonanzpunkt praktisch unabhängig vom Verhältnis Länge/Durchmesser konstant gleich dem von van der POL für unendlich dünne Strahler berechneten Wert von 73,2 Q. In Uebereinstimmung hiermit und mit Gl. (3) schneiden sich alle Kurven der gemessenen Eingangsleitwerte der Faltdipole, unabhängig von ihren



<u>Bild 7</u> Gemessene Ortskurven des Fusspunktswiderstandes von Faltdipolen



<u>Bild 8</u> Gemessene Ortskurven des Fusspunktswiderstandes von Faltdipolen

sonstigen Abmessungen, praktisch in einem einzigen Punkt, der auf der reellen Leitwertachse bei etwa 3,5 \cdot 10⁻³ entsprechend 4 \cdot 73,2 \approx 290 Ω liegt.



<u>Bild 9</u> Abhängigkeit des Resonanzleitwertes von Dipolen vom Verhältnis L/r_ä

Bild 9 zeigt die Resonanzleitwerte sämtlicher von NESTEL (15) gemessenen Faltdipole. Als Abzisse ist ausser L/r_ä auch der Hallen'sche Parameter $\Omega = 2 \ln L/r_{\ddot{a}}$ angegeben. Ausserdem sind eingetragen die Messwerte von KOEHLER ^x, WÜSTENHAGEN (12), die mit dem Faktor 4 umgerechneten Messwerte von EHRENSPECK (7)

x) unveröffentlichte, persönlich mitgeteilte Messwerte. Die Messungen wurden durchgeführt mit einem Z=g=Diagraphen von Rohde und Schwarz. An der Messobjektseite war ein 2 m langes Messkabel angeschlossen, das am oberen Ende mit einem Breitbandsymmetriertopf und einem symmetrischen Impedanzwandler abgeschlossen war. Der Faltdipol war freitragend unmittelbar an den Anschlussklemmen des Impedanzwandlers befestigt und befand sich bei der Messung etwa 1,5 m über dem Erdboden. und TOMIYASU (16), sowie die theoretisch ermittelten Werte nach SCHELKUNOFF (5), KING und MIDDELTON (6). Es zeigt sich, dass im Gegensatz zu dem nach (5) und (6) theoretisch zu erwartenden Verlauf alle an den verschiedenen Stellen gemessenen Eingangsleitwerte praktisch konstant und unabhängig vom Verhältnis L/d sind und etwa $3,5 \cdot 10^{-3}$ S betragen. Der Unterschied zu den von SCHELKUNOFF errechneten Werten ist erheblich, während die von KING und MIDDELTON nur wenig von den Messwerten abweichen.

Die mechanische Länge der Faltdipole ist wie bei gewöhnlichen Dipolen kürzer als die elektrische Länge. Es ist jedoch offensichtlich, dass in elektrischer Hinsicht die über alles gemessene Länge L des Faltdipoles im Verhältnis zur Länge des zu vergleichenden zylindrischen Dipoles etwas zu gross ist. Um die Verkürzung der Faltdipole zahlenmässig mit der bekannten der zylindrischen Dipole vergleichen zu können, muss die Länge L der Faltdipole den physikalischen Verhältnissen entsprechend gekürzt werden. Es erscheint sinnvoll, den Faltdipol gedanklich so umzuformen, dass die Verbindung der beiden Leiter des Faltdipols nicht wie in Wirklichkeit durch ein halbkreisförmig gebogenes Leiterstück, sondern durch einen geraden, rechtwinklig abgebogenen Leiter hergestellt wird, wobei aber die gestreckte Länge in beiden Fällen gleich sein soll. Die so entstehende Länge des umgeformten Dipols soll . als die wirksame Länge 1. des ursprünglichen Faltdipols angeschen werden.

Die unter Zugrundlegung dieser wirksamen Länge gemessenen Verkürzungen sind in Bild 10 dargestellt. Ebenfalls eingetragen sind die von SCHELKUNOFF und KING und MIDDELTON berechneten und die von EHRENSPECK gemessenen Kurven für einfache zylindrische Dipole. Die Uebereinstimmung dieser Werte mit den für die Faltdipole gemessenen Werten ist trotz der etwas willkürlichen Festsetzung der wirksamen Länge recht befriedigend. Stärkere Abweichungen ergaben sich zu den Messungen von WUESTENHAGEN.



Der Einfluss des Abstandes der Speisepunkte auf den Fusspunktswiderstand.

Wegen der cos-förmigen Stromverteilung ist eine Zunahme des Fusspunktswiderstandes mit grösser werdendem Abstand s der Speisepunkte zu erwarten. Dies wurde durch Messungen bestätigt, deren Ergebnis Bild 11 zeigt. Obgleich die gemessenen Widerstandsänderungen schon in der Grössenordnung der Messunsicherheit liegen, ist die Tendenz doch erkennbar. Der Blindwiderstand dagegen behielt innerhalb der Grenzen der Messunsicherheit unabhängig vom Abstand den Wert Null.



Bild 11 Abhängigkeit des Fusspunktswiderstandes vom Abstand

Messungen an technischen Faltdipolen

Die bisher beschriebenen Messergebnisse wurden ausschliesslich an Dipolen der in Bild 4 gezeigten Form, deren Halterung nur aus zwei sehr dünnen Isolierstoffstegen in einem praktisch feldfreien Raum bestand, gewonnen; sie geben daher gewissermassen den "natürlichen" Wert des Fusspunktswiderstandes von Faltdipolen an. In der Praxis werden die Faltdipole aus Festigkeits- und Montagegründen in einer besonderen Anschlussdose gehaltert. Hierdurch verändert sich der resultierende Fusspunktswiderstand; in der Regel wirkt sich die Halterung als zusätzliche Kapazität aus. Ein Beispiel für die Messungen an technischen Faltdipolen zeigt Bild 12. Die Kurven erscheinen im Leitwertdiagramm nach oben verschoben; die Verschiebung entspricht einer Kapazität von etwa 0,7 pF, was mit dem bei Niederfrequenz gemessenen Wert der Anschlussdosenkapazität allein von 0,9 pF ungefähr übereinstimmt.

 $jB(10^{-3}S)$

1





Faltdipole mit einem Fusspunktswiderstand von 240 Q

Bei der in Deutschland üblichen Uebertragungstechnik mit dem für symmetrische Leitungen genormten Wellenwiderstand von 240 Ω wäre es vorteilhaft, wenn die Faltdipole ebenfalls einen Fusspunktswiderstand von 240 Ω aufwiesen. Von den **ver**schiedenen Möglichkeiten, dies zu verwirklichen, seien hier zwei angegeben:

Bei der ersten wird der Fusspunktswiderstand dadurch transformiert, dass bei gleichbleibender Spannung an der Speisestelle der in den Faltdipol hineinfliessende Strom geändert wird. Dies kann man leicht dadurch erreichen, dass man für die beiden Einzelstäbe des Faltdipols verschiedene Durchmesser wählt. Der Eingangswiderstand ist dann (9)

$$R = 73,2 (1 + \frac{\log s/r_1}{\log s/r_2})^2$$
 oben;

der Durchmesser des gespeisten Stabes muss also grösser als der des durchgehenden Stabes gewählt werden (Bild 13).



<u>Bild 13</u> Durchmesser der beiden Dipolstäbe für einen Fusspunktswiderstand von 240 Ω . Parameter: a = Abstand der Dipolstäbe.

- 14 -



Eine andere Möglichkeit, den gewünschten Fusspunktswiderstand von 240 Ω zu erreichen, ohne dass verschiedene Durchmesser für die Dipolstäbe verwendet werden müssen, erkennt man, wenn man sich die gemessenen Leitwertkurven in Widerstandswerte transformiert denkt. Fast alle Dipole erreichen oder unterschreiten dann im kapazitiven Bereich den Wert von 240 2. Die Dipollänge muss also etwas kürzer als die Resonanzlänge gewählt werden. Die dabei auftretende Blindkomponente kann - im einfachsten Falle durch eine Serieninduktivität - kompensiert werden. Bild 14 und 15 zeigt als Beispiel die Abmessungen von 240 Q-Faltdipolen für den Frequenzbereich von 35 ... 220 MHz bzw. von 100 ... 380 MHz und die Werte des zur Kompensation der kapazitiven Komponente erforderlichen induktiven Blindwiderstandes. Bei höheren Frequenzen kann diese Induktivität sehr einfach dadurch verwirklicht werden, dass die Speiseleitung auf eine kurze Länge etwas auseinander gebogen wird. Ein Beispiel hierfür zeigt Bild 16.



<u>Bild 16</u> Kompensation der kapazitiven Komponente des Faltdip**ols** Nr. 11 bei 170 MHz durch eine Serieninduktivität (gestreckte Drahtlänge 2 1_j)

Auf andere Kompensationsmöglichkeiten, die gleichzeitig in einem grösseren Frequenzbereich wirksam sind, soll hier nicht eingegangen werden.

Schlussbemerkung

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen wurden angeregt durch die Mitarbeit des Verfassers im FNE-Arbeitsausschuss 327.4 "Rundfunkantennen". Die dort vertretenen Firmen ENGELS, HIRSCHMANN und KATHREIN stellten dankenswerterweise die für die Untersuchung benötigten Antennen zur Verfügung. Herrn J. NESTEL danke ich für die sorgfältige Durchführung des Messungen und Herrn Dr. KOEHLER von der Fa. DEUTSCHE ELEKTRONIK für vergleichende Messungen an 4 Faltdipolen. Schrifttum

- (1) Schelkunoff, Theory of Antennas Arbitrary Size and Shape Proc.I.R.E. 29,1941.p.493 - 521
- (2) King, Mimno, Wing, Transmission Lines, Antennas and Waveguides, 1945, p. 224
- (3) Zuhrt, Eine strenge Berechnung der Dipolantenne mit rohrförmigem Querschnitt, Frequenz 4, 1950, S. 135 u. 178
- (4) Zuhrt, Elektromagnetische Strahlungsfelder 1953, S. 185
- (5) Schelkunoff, Antennas, Theory and Practice 1952, p. 339 u. 401
- (6) King, The Theory of Linear Antennas 1956, p. 145 182
- (7) Ehrenspeck, Eingangswiderstand dicker zylindrischer Antennen, FTZ 1952, S. 497
- (8) Brown and Woodward, Cylindrical Antenna Impedance Pro. I.R.E. April 1945, S. 261
- (9) Guertler, Impedance Transformation in Folded Dipoles Proc. I.R.E. 36, 1950, p. 1042
- (10) Laaf, Antennen des UKW-Bereiches, ETZ, Jan 1954, S. 8
- (11) W. van B.Roberts: Inpul Impedance of a Folded Dipole, RCA - Rev. Lv. 8 (1947) S. 289
- (12) Wüstenhagen, Schleifenantennen bei langen Wellen Rundfunktechnische Mitteil. 1957, H. 6, S. 237

Wüstenhagen, Schleifenantennen bei langen Wellen, Diplomarbeit am Insitut für angewandte Physik an der Universität Hamburg (Prof. Dr. Raether) 1955

- (13) Radio und Fernsehen, Heft 4, 1957, S. 113
- (14) A. Ruschke, Messung des Fußpunktwiderstandes von Fernsehantennen, Dipl. Arbeit 1952
- (15) J. Nestel, Messung des Fußpunktwiderstandes von Faltdipolen, Dipl.-Arbeit 1958
- (16) Tomiyasu in ... The Theory of Linear Antennas 1956, p. 843
- (17) IEC, TC 12-1 (Secretarial) 26

Recommended methods of measurement of essential electrical properties of receiving aerials for sound and television broadcast transmissions in the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz, Juli 1957

- 17 -