

Vertikalpolarisierte, rundstrahlende Antennen mit Gewinn für den UHF-Bereich

Sergio Miguel Pelicano CT1BYM
Frank Haßenpflug DF2ZJ

Vertikalpolarisierte Antennen gewinnen immer mehr an Bedeutung im UHF-Bereich. Interessant sind sie vor allen Dingen für den Mobil- sowie für den Relaisfunk.

Die einfachste und wohl am häufigsten verbreitete Vertikalantenne ist der $\lambda/4$ -Strahler. Er wird meist benutzt im Frequenzbereich unterhalb 400 MHz. Geht man jedoch in höhere Frequenzbereiche, so nehmen Kabel- und Streckendämpfung beträchtlich zu. Eine Streckendämpfung von 9 dB zeigt sich bei einer Frequenzänderung von 430 MHz auf 1,3 GHz bei gleicher $\lambda/4$ -Antenne.

Der $\lambda/4$ -Strahler über der Erde ist auch als Marconi-Antenne bekannt (siehe Bild 1). Im Prinzip handelt es sich dabei um einen Halbwellenstrahler, der sich durch das Spiegelbild der Erde zu einem Dipol ergänzt. Diese unsymmetrische Antenne hat einen reellen Strahlenfußpunkt von ca. 35 Ohm.

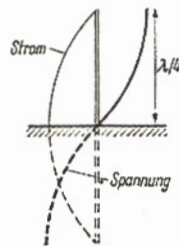


Bild 1

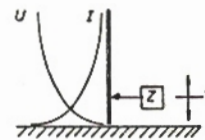


Bild 2

Durch Verkürzen des Strahlers kann man sich den geeigneten Strahlenfußpunkt suchen (Bild 2). Der Gewinn des $\lambda/4$ -Strahlers gegenüber einem Dipol beträgt -1,4 dB.

Stockt man zwei Dipole gleichphasig übereinander, so kann man mit einem theoretischen Gewinn von 3 dB rechnen. Mit gleichphasig ist gemeint, daß jede Antenne zur gleichen Zeit die gleiche Strom- oder Spannungsverteilung besitzt.

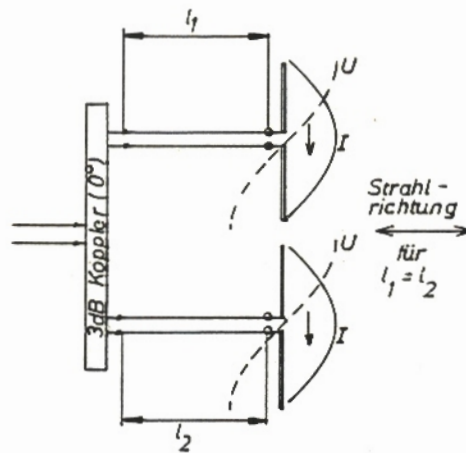


Bild 3

Die Zuleitungslängen sind für die Phasenlänge in den einzelnen Antennen verantwortlich. Die Zuleitung l_1 und l_2 muß gleiche Längen oder einen Unterschied von λ besitzen, wenn die Antennen phasengleich betrieben werden sollen. Ist l_1 um $\lambda/4$ kürzer als l_2 , so ergibt sich ein Phasenunterschied von 90° zwischen den beiden Dipolen ($\lambda \approx 360^\circ$). Dies hat eine Änderung des Richtdiagrammes der beiden Dipole zur Folge. Bei einer Montage eines Phasenschiebers in die Zuleitung l_1 , kann man in einem begrenzten Bereich das Richtdiagramm und somit die Empfangsrichtung ändern, ohne die Antenne drehen zu müssen.

Ihre Rundstrahlcharakteristik wird stark beeinflusst durch Montage der zwei Dipole an einen Mast, besonders im UHF-Bereich. Dafür ist der Durchmesser des Mastes und der Antenne zum Mast verantwortlich.

Verlängern wir einen $\lambda/4$ -Strahler über gute Erde, so erhalten wir eine vertikale Dipollinie mit einem theoretischen Gewinn von 3,2 dB.

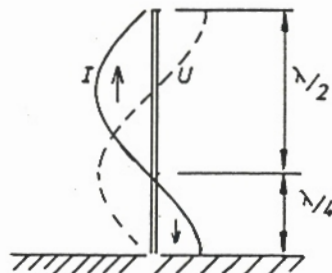


Bild 4

Diese Antenne weist ein gutes VSWR auf, aber die Stromrichtung in der $\lambda/4$ -Sektion ist nicht gleich wie in der $\lambda/2$ -Sektion. Sie wird nicht gleichphasig betrieben. Der vertikale Erhöhungswinkel beträgt somit **nicht** 0° .

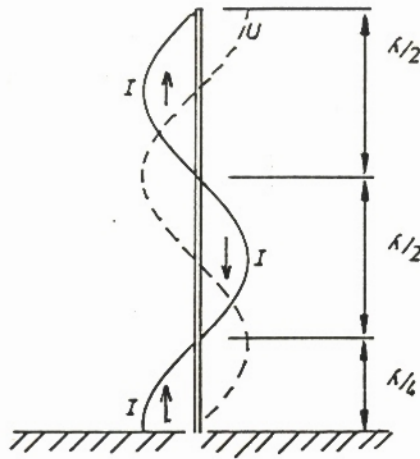


Bild 5

Bringt man eine weitere $\lambda/2$ -Leitung hinzu, zeigt sich eine Stromverteilung, wie im Bild 5 dargestellt. Wir drehen die Phase um 180° . Nun hat die erste $\lambda/2$ -Sektion die gleiche Stromrichtung wie die $\lambda/4$ -Sektion.

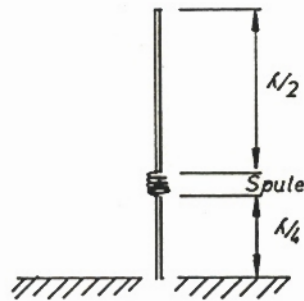


Bild 6

Läßt man die mittlere $\lambda/2$ -Sektion nicht abstrahlen (Spule oder Umwegleitung), so ergibt sich, wie Bild 6 zeigt, eine vertikale Dipollinie, die gleichphasig gespeist ist und einen flachen Erhebungswinkel besitzt. Die mittlere $\lambda/2$ -Sektion wurde als Spule ausgeführt mit einer Länge von $\lambda/2 \cdot v$. Der Verkürzungsfaktor (v) richtet sich nach den Zusatzkapazitäten der einzelnen Windungen der Spule.

Mit dieser Antenne wurde ein Gewinn von ca. 2 dB gegenüber einem $\lambda/4$ -Strahler gemessen. Der Erhebungswinkel ist sehr flach, und die Bandbreite bei 1,3 GHz beträgt 20 MHz zwischen dem VSWR 1,2.

Bild 7 zeigt einen weiteren Typ dieser vertikalen Dipollinie mit einem Gewinn von 5 dB über einem $\lambda/4$ -Strahler.

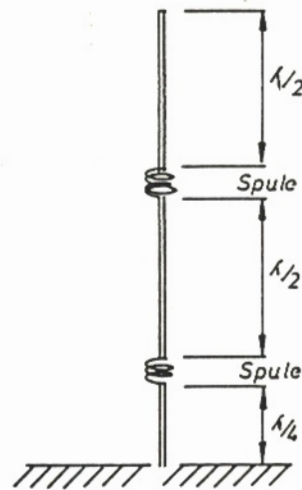


Bild 7

Der Antenneneingangswiderstand ist sehr niedrig, da die Einspeisung im Strombauch erfolgt, so kann ein 50 Ohm Koaxkabel angeschlossen werden.

Einfache Untersuchungen über die Spannungsverteilung auf solchen Antennen wurden, wie Bild 8 zeigt, durchgeführt.

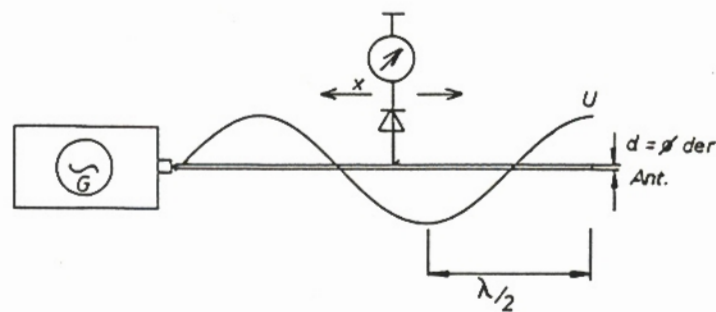


Bild 8

Ein Generator für die gewünschte Frequenz (hier 1,3 GHz) wird an eine Drahtlänge $n \cdot \lambda$ angeschlossen und mit einer Sonde (Dioden-Meßkopf, HF-Gleichrichter) abgefahren. Man sieht sehr deutlich Maxima und Minima der stehenden Welle auf der Leitung. Die Antenne $\lambda/4$ plus $\lambda/2$ nach Bild 6 ist wie folgt hergestellt:

Beginnt man am offenen Ende der Leitung, so wurde nach dem zweiten Maximalwert die Spannung (besser zu messen Minimalwert plus $\lambda/4$) abgetrennt und eine Spule mit der gleichen Länge $\lambda/2 \cdot v$ (kapazitive Effekte verkürzen die aufgerollte $\lambda/2$ -Leitung, $v \approx 0,7$) montiert.

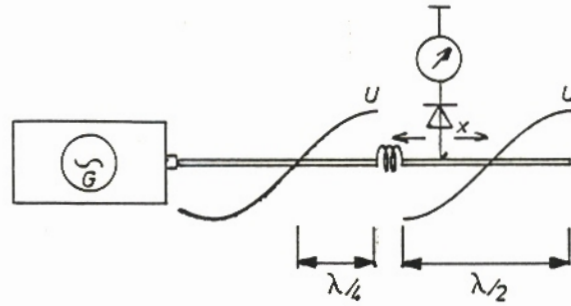


Bild 9

Abgeschnitten nach einer weiteren Länge von $\lambda/4$ (Spannungsminimum) ist die Antenne fertig. Ein Nachgleichen der Antenne war natürlich nach der endgültigen Montage erforderlich.

Ein anderer Typ von vertikalen Dipollinie mit Rundstrahlcharakteristik ist die koaxiale Dipollinie. Man stellt sich zunächst einmal eine Zweidrahtleitung vor, die auf einer Seite mit einem Generator gespeist wird und auf der anderen Seite offen ist.

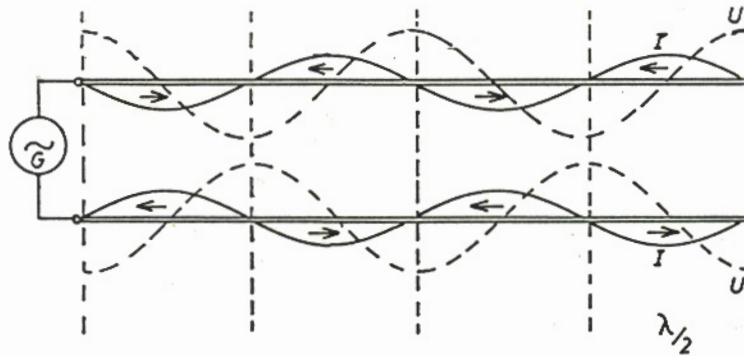


Bild 10

Im Bild 10 sieht man die Strom-Spannungs-Verteilung der Zweidrahtleitung. Die Ströme (I) in einem $\lambda/2$ -Teil sind entgegengesetzt und heben sich auf. Dadurch ist keine Abstrahlung möglich. Schirmt man jedoch den Bereich der unerwünschten Stromrichtung ab, so ergibt sich eine Leitung, die außen nur noch eine Stromrichtung besitzt.

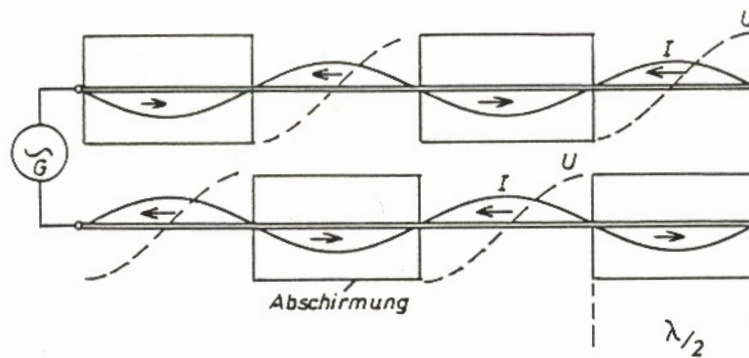


Bild 11

Diese Antenne ist als partiell abgeschirmte Oberwellenantenne bekannt. Oberwellenantenne deswegen, weil sich die abstrahlende Welle auf der Oberfläche der abgeschirmten Leitung befindet (Bild 12).

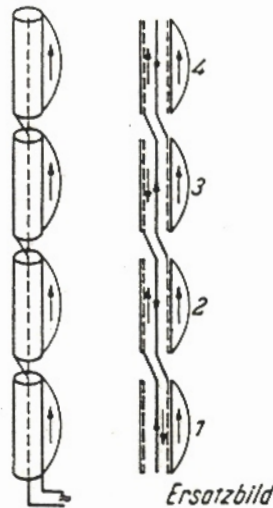


Bild 12

Die einzelnen Leitungsstücke sind $\lambda/2$ lang, wenn man ein Leitungsstück mit Luft ($\epsilon_r = 1$) benutzt.

Verwendet man Koaxialkabel mit einem Dielektrikum PE oder PTFE, ist der Verkürzungsfaktor v

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

PE	$\epsilon_r = 2,5$
PTFE	$\epsilon_r = 2,1$

zu beachten, d. h. die Längen der einzelnen Kabelstücke betragen dann

$$l = \lambda/2 \cdot v.$$

Jetzt ist die Wellenlänge im Kabel aber nicht gleich der äußeren Welle (in Luft). Es muß also eine Längen Anpassung durchgeführt

werden, da sonst die gleichphasige Ansteuerung der einzelnen $\lambda/2$ -Antennenstücke nicht gewährleistet ist.

Zur Herstellung einer 23 cm koaxialen Dipollinie bot sich das Semi-Rigid-Kabel UT 141 an. Es ist stabil und sehr gut zu bearbeiten, insbesondere für den 23 cm-Bereich. Eine Semi-Rigid-Leitungslänge von 1 mm entspricht einer Phasenänderung von $2,23^\circ$, das bedeutet, auf den Millimeter genau arbeiten.

Der Verkürzungsfaktor beträgt $v = 0,695$ bei UT 141-Kabel. Da die Kabelstücke $\lambda/2 \cdot v$ abgeschnitten werden, ist das strahlende Element, der Koaxkabelmantel, 30 % kürzer als $\lambda/2$.

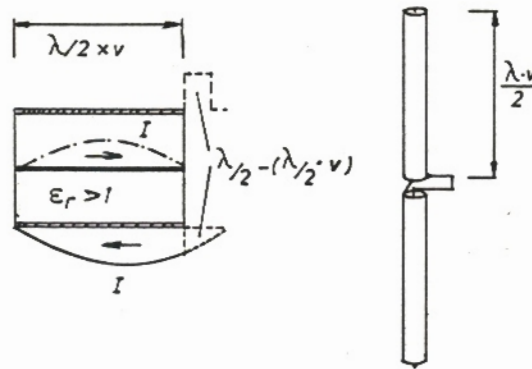


Bild 13

Ein Versuch, mit einer Umwegleitung den Phasenausgleich herzustellen, gelang, der Abgleich ist jedoch sehr kritisch (Bild 13).

Einfach herzustellen und unkritisch im Abgleich sind dünne Kupferscheiben, die als kapazitive Belastung den Strahler verkürzen.

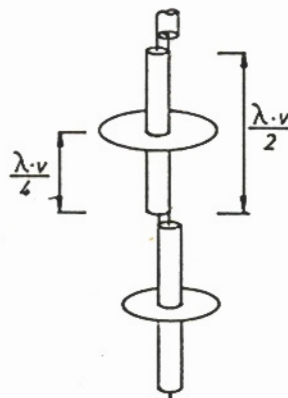


Bild 14

Der Durchmesser einer solchen Scheibe beträgt 20 mm und wird in der Mitte des $\lambda/2 \cdot v$ festgelötet.

Eine detaillierte Zeichnung folgt am Schluß des Beitrages. Mit dieser 4-Element-Koaxial-Dipollinie wurde ein Gewinn von 4 bis 5 dB gegenüber einem $\lambda/4$ -Vertikal-Strahler gemessen. Wir dürfen dabei nicht vergessen, daß jedes $\lambda/2$ -Dipol 30 % kürzer ist.

Eine andere Konfiguration zeigt Bild 15. Es ist eine 8-Element-Koaxiale-Dipollinie; sie zeigt eine neue Strahlerverlängerung.

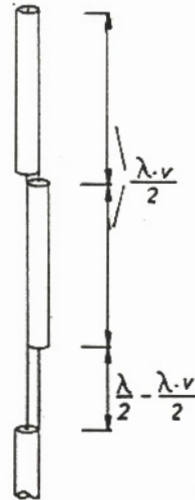


Bild 15

Sie besteht aus zwei Drähten mit der Länge von $\lambda/2$ (Luft) - $\lambda/2$ -Verkürzungsfaktor. Die einzelnen Koaxialkabelelemente haben wieder die Länge von $\lambda/2 \cdot v$. Der gemessene Gewinn beträgt ca. 8 dB gegenüber einem $\lambda/4$ -Strahler und hat eine Bandbreite von 10 MHz zwischen dem VSWR von 1,2. Bei der Antennenmessung zeigt sich ein Öffnungswinkel von ca. 8° bei -3 dB Feldstärke. Mit diesem Öffnungswinkel kann man einen theoretischen Gewinn nach der Kraus-Formel

$$\text{dBd} = 10 \log \frac{25154}{\alpha \frac{\alpha}{E H}}$$

von 9,4 dBd berechnen. Dieser theoretische Gewinn bezieht sich auf ein $\lambda/2$ -Dipol und berechnet hier den Gewinn von acht gestockten $\lambda/2$ -Dipolen mit einer idealen Richtcharakteristik ohne Nebenzipfel. Unsere Antennendipole sind keinesfalls $\lambda/2$ -Dipole, sie sind 30 % kürzer. Der exakte Antennengewinn von rundstrahlenden Antennen ist schwierig zu messen, da jede nur mögliche Reflexion empfangen wird. Ein reflexionsfreier Antennenmeßraum stand nicht zur Verfügung. Die Gewinn- und Öffnungswinkelmessungen wurden amateurmäßig durchgeführt.

Und nun zum Fußpunkt der 4-Element- und 8-Element-Koaxial-Dipollinie. Der Fußpunkt liegt recht hoch, und zwar in dem Bereich 200 bis 300 Ohm. Er muß symmetrisch gespeist werden, da

sonst das erste $\lambda/2$ -Element nicht abstrahlt. Verwendet man eine unsymmetrische Anschlußleitung, so eignet sich ein $\lambda/2$ -Balun hervorragend für die Anpassung einer solchen Antenne. Der $\lambda/2$ -Balun symmetriert und transformiert 1:4. Ein Balun aus Semi-Rigid-Kabel (UT 141) mit $v=0,695$ hat eine Länge von 8,5 mm für eine Mittelfrequenz von 1.296 MHz.

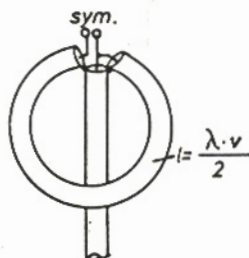


Bild 16

Diese zwei Antennen, 4-Element- und 8-Element-Koaxial-Dipole, sind ohne große Schwierigkeiten herzustellen. Das Zuschneiden der Semi-Rigid-Kabel mit einem scharfen Messer und einer Schieblehre ist kein Problem. Mehrere Nachbauten brauchten noch nicht einmal nachgeglichen werden - bei Einhalten der Maße, versteht sich.

Viel Spaß auf 23 cm!

73

CT1BYM und DF2ZJ

Literaturangabe

Meinke / Gundlach

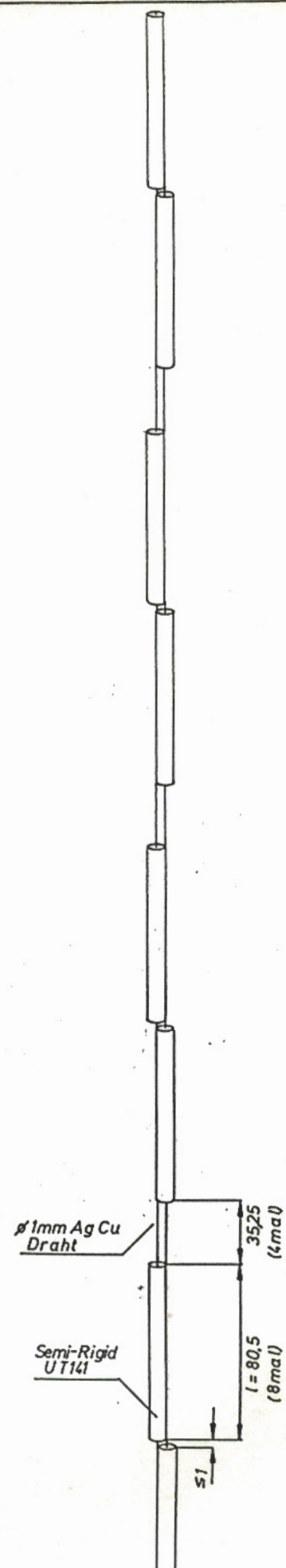
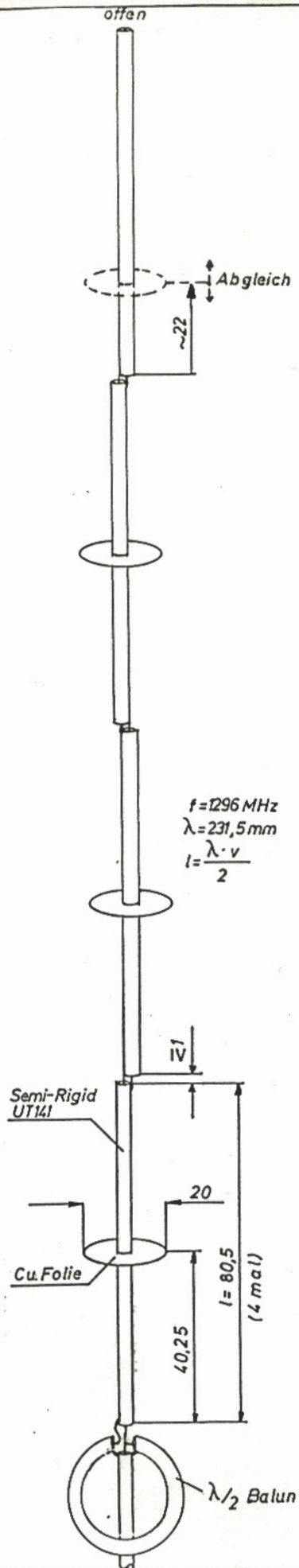
Taschenbuch der Hochfrequenztechnik

3. Auflage - Springer-Verlag - Berlin 1968

Rothammel Karl Y21iBU

Antennenbuch - 10. Auflage

Militärverlag der DDR



Datum	Name
Gez.	STBYM DF22j

4 AND 8 ELEMENT COAX ANTENNAS FOR 23cm

Elektrische und mechanische Spezifikation von SEMI-RIGID-KABELN mit festem Teflon

Kabel-Typ	0.047"	0.085"	0.085"	0.141"	0.141"	0.250"	0.250"	0.325"
Modell-Nr.	047	086	087	668	669	252	250	608
Wellenwiderstand (Ohm) bei 0 m NN und +25° C	50 ± 2	50 ± 1	50 ± 1	49 ± 1	50 ± 1	50 ± 1	50 ± 1	50 ± 1
Ausbreitungsgeschwindigkeit in %, ± 2 %	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5
Kapazität in pF/m	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1
Durchschlagfestigkeit (60 Hz) in KV	2,0	2,5	2,5	5,0	5,0	7,0	7,0	8,0
Max. Betriebsspannung bei 0 m NN in KV _{eff} , 60 HZ	1,0	1,5	1,5	1,9	1,9	3,0	3,0	3,0
Grenzfrequenz in GHz	109	60	60	34	34	19	19	14
Max. Durchgangsdämpfung in dB/m als Funktion der Frequenz ³⁾	500 MHz	0,72	0,43	0,43	0,25	0,25	0,14	0,10
	1 GHz	1,02	0,63	0,63	0,38	0,38	0,21	0,16
	5 GHz	2,34	1,44	1,44	0,87	0,87	0,54	0,43
	10 GHz	3,41	2,11	2,11	1,29	1,29	0,86	0,67
	20 GHz	4,98	3,15	3,15	1,98	1,98	1,35	1,36
Max. Eingangsleistung in (W) als Funktion der Frequenz ³⁾ bei +25° C und 0 m NN	500 MHz	36	222	222	741	741	2620	4733
	1 GHz	16	151	151	506	506	1760	2841
	5 GHz	11	64	64	215	215	682	1091
	10 GHz	7	45	45	140	140	434	690
	20 GHz	5	30	30	90	90	276	276
Außenleiter-Ø in mm	1,19	2,18	2,18	3,58	3,58	6,35	6,35	8,26
Außenleitermaterial	Kupfer (nahtlos)						Aluminium (nahtlos)	
Außenleiterveredelung	ohne Zusatz: keine ²⁾ Zusatz - 1: versilbert Zusatz - 3: verzinkt						ohne Zusatz Zusatz-1: Teffl.-Überzug Zusatz-2: Iridiert	keine ¹⁾ Zusatz-1: Iridiert Zusatz-2: Teffl.-Überzug
Dielektrikum Ø in mm	0,94	1,68	1,68	2,92	2,98	5,33	5,33	7,24
Dielektrikum	Teflon							
Innenleiter Ø in mm	0,29	0,51	0,51	0,91	0,91	1,63	1,63	7 × 0,79
Innenleitermaterial	Stahl versilbert		Kupfer versilbert	Stahl versilbert	Stahl versilbert	Kupfer versilbert		
kleinster Biegeradius innen in mm	3,2	3,2	3,2	6,4	6,4	9,5	9,5	19,1
Temperaturbereich	-54° C bis +125° C ⁴⁾							
Gewicht in Gramm/Meter	6,5	20,4	20,4	47,4	47,4	148,7	103,0	216,6

1) z. B. 421-250-1 = Kabel 421-250 mit Teflonüberzug über dem Außenleiter

2) z. B. 421-086-1 = Kabel 421-086 mit versilbertem Außenleiter

3) Kurven sind stetig

4) T_f beträgt +175° C, bzw. +200° C bei 421-608