

Logarithmisch-periodische Dipolantennen mit frequenzabhängigem Gewinn und extremer Bandbreite

DIPL.-ING. DIETER NOWATZKY

Der Verfasser ist Mitarbeiter der Deutschen Post, Rundfunk- und Fernsehtechnisches Zentralamt, Berlin-Adlershof

Logarithmisch-periodische Dipolantennen zeichnen sich durch sehr große Bandbreite, gleichmäßige Richtdiagramme und hohe Nebenzipfeldämpfung aus. Weniger gut ist in der Regel ihr Verhalten hinsichtlich des Gewinns. Serienmäßig gefertigte log.-period. Empfangsantennen für den UHF-Bereich liefern über die Kanäle 21 bis 60 einen fast gleichmäßigen Gewinn, während eine etwa vergleichbare, noch etwas kürzere Yagi-Antenne einen mit der Frequenz ansteigenden Gewinn sichert. Der Verfasser beschreibt eine 1962 von ihm zum Patent angemeldete log.-period. Breitbandantenne, deren Gewinn mit steigender Frequenz zunimmt. Daß dies durch besondere konstruktive Ausbildung der Antenne möglich ist, erwähnt auch eine Veröffentlichung aus dem Jahr 1965 [1].

In den letzten Jahren haben logarithmisch-periodische Antennen immer mehr an Bedeutung gewonnen, da ihre Bandbreite nahezu beliebig groß gemacht werden kann. Ihre untere Grenzfrequenz wird praktisch nur durch die Antennengröße bestimmt, die erreichbare obere Grenzfrequenz ist lediglich durch die Art und Größe ihres Speisesystems sowie durch die erreichbare Herstellungsgenauigkeit begrenzt. Bandbreiten von 20 : 1 und darüber sind ohne große Schwierigkeiten erreichbar.

Solche Antennen eignen sich für Frequenzen von etwa 1,5 MHz bis hinauf zu den Zentimeterwellen. Es lassen sich Antennen aufbauen, die entweder linear oder zirkular polarisierte, ein- oder zweiseitig gerichtete Strahlungsdiagramme oder linear polarisierte Rundstrahlungsdiagramme besitzen.

In letzter Zeit werden sowohl fest montierte als auch elektrisch oder mechanisch drehbare log.-per. Antennen mit großem Erfolg als Sende- und Empfangsantennen benutzt, die den gesamten Kurzwellenbereich ohne Nachstimmung überstreichen. Weitere Anwendung finden log.-per. Antennen u. a. bei der Funküberwachung, in der Radioastronomie, bei der Verfolgung von Satelliten und Raketen, in der Feldstärkemeßtechnik, im Amateurfunk sowie auf militärischem Gebiet. Einige Firmen bieten auch log.-per. Fernsehempfangsantennen an, oft auch in Verbindung mit mehreren Direktoren.

Von allen log.-per. Antennenformen sind die log.-per. Dipolantennen [2], [3] bisher die einzigen, die sich rechnerisch erfassen lassen. Da sie auch sonst viele Vorzüge besitzen, werden sie besonders oft verwendet.

Allen diesen Antennen ist gemeinsam, daß ihre wesentlichsten elektrischen Eigenschaften, wie Eingangswiderstand, Strahlungsdiagramme und Gewinn, praktisch frequenzunabhängig sind. Da die aus einem elektromagnetischen Feld entnommene Leistung proportional dem Antennengewinn und dem Quadrat der Wellenlänge ist, nimmt die von der Antenne aufgenommene Leistung bei log.-per. Antennen wegen des konstanten Gewinns mit steigender Frequenz ab. Dieser Leistungsabfall nach den hohen Frequenzen hin tritt nicht auf bei Antennen, deren Gewinn quadratisch mit der Frequenz ansteigt, wie dies z. B. bei Parabolantennen mit frequenzunabhängigem Erreger der Fall ist.

Im folgenden werden extrem breitbandige Dipolantennen beschrieben, deren Gewinn im Gegensatz zu log.-per. Antennen mit der Frequenz ansteigt, wobei alle Vorzüge der log.-per. Dipolantennen erhalten bleiben [4], [5].

Aufbau extrem breitbandiger Dipolantennen

In Bild 1 ist eine solche extrem breitbandige Dipolantenne dargestellt. Die durch eine symmetrische Leitung gespeisten Dipole liegen im Gegensatz zur log.-per. Antenne auf einer monoton ansteigenden Kurve. Die Phase der Speisespannung der einzelnen Dipole wird von Dipol zu Dipol durch Vortauschen der Anschlüsse zusätzlich um 180° gedreht, so daß die Antenne in Richtung ihrer Spitze strahlt. Hinter dem längsten Dipol ist die Leitung im allgemeinen kurzgeschlossen.

Die in der Praxis am häufigsten angewendete Ausführungsform log.-per. Dipolantennen zeigt Bild 2. Sie wird auch bei der vorliegenden Antennenform angewendet. Die Phasenumkehr erreicht man durch abwechselndes Vertauschen der Dipolanschlußpunkte, wobei die Speiseleitung durch zwei starre Rohre mit meist konstantem Abstand gebildet wird. Die Einspeisung erfolgt entweder durch eine symmetrische Leitung am schmalen Ende der Antenne oder durch ein Koaxialkabel, das von hinten durch eines der beiden Rohre nach vorn geführt wird. Dabei wird der Außenleiter mit dem einen Rohr, der Innenleiter mit dem anderen Rohr leitend verbunden.

Die Wirkungsweise

Die vom Sender gelieferte Energie läuft die Leitung entlang und regt die Dipole zur Strahlung an. Die kurzen Dipole strahlen nur wenig Energie ab; der größte Teil der Energie wird vielmehr von den Dipolen abgestrahlt, deren Länge in der Größenordnung einer halben Wellenlänge liegt. Diese bilden die "aktive Zone" der Antenne; sie strahlen praktisch die gesamte Energie ab, so daß die dahinter liegenden längeren Dipole ebenfalls nicht an der Abstrahlung beteiligt sind.

Die aktive Zone der Antenne ist der strahlende Teil der Antenne und somit für ihre Strahlungseigenschaften verantwortlich. Sie ändert ihre Lage auf der Antenne, wenn die

Betriebsfrequenz geändert wird. Bei Frequenzerhöhung findet eine Verschiebung zur Spitze hin statt, bei Frequenzverringern von der Spitze weg (Bild 3). Die auf die jeweilige Betriebswellenlänge bezogene Länge a/λ der aktiven Zone und die Zahl der in ihr enthaltenen Dipole, die an der Strahlung beteiligt sind, werden um so größer, je dichter sich die aktive Zone an der Antennenspitze befindet. Damit steigt der Gewinn an, wenn die Frequenz erhöht wird.

Bei einer log.-per. Antenne liegen die Enden der Dipole auf einer Geraden. Bei einer beliebigen Frequenz sind stets gleich viele Dipole an der Energieabstrahlung beteiligt; gleichzeitig ist die Länge der aktiven Zone a/λ konstant. So erklärt es sich, daß die Strahlungseigenschaften und der Eingangswiderstand log.-per. Antennen frequenzunabhängig sind.

Strahlungsdiagramm und Antennengewinn

Der Verlauf des Antennengewinns als Funktion der Frequenz hängt in erster Linie von der Begrenzungskurve der Dipole ab, in geringerem Maße auch vom gegenseitigen Abstand der Dipole. Durch die Wahl der Begrenzungskurve kann der Gewinnverlauf beeinflußt werden. Der Gewinn ist um so größer, je flacher die Begrenzungskurve an der Stelle der aktiven Zone verläuft.

Wie bei log.-per. Dipolantennen beträgt der mit einer Einzelantenne maximal erzielbare Gewinn etwa 10 ... 12 dB, bezogen auf einen $\lambda/2$ -Dipol. Größere Gewinne sind durch Parallelschaltung mehrerer Einzelantennen erreichbar. Es ist auch möglich, eine solche Antenne als Erreger für eine oder mehrere Direktorreihen zu verwenden, wie dies auch bei log.-per. Antennen üblich ist. Da Direktoren aus elektrischen Gründen stets auf die oberen Frequenzen des Betriebsbereichs abgestimmt werden müssen und dort auch ihm größte Wirksamkeit besitzen, steigt der Gewinn nach den hohen Frequenzen weiter an.

Bei den betrachteten extrem breitbandigen Dipolantennen besteht ebenso wie bei den log.-per. Dipolantennen eine sehr enge Beziehung zwischen dem Antennengewinn und den Leistungshalbwertsbreiten („Öffnungswinkeln“) des Horizontal- und Vertikaldiagramms. Diese Verhältnisse sind in Bild 4 wiedergegeben. Der Öffnungswinkel in der E-Ebene (horizontaler Öffnungswinkel bei horizontaler Polarisation) ändert sich nur wenig mit dem Gewinn und auch mit der Frequenz. Je geringer der Gewinn bei einer bestimmten Frequenz, um so breiter ist dort auch das Richtdiagramm in der H-Ebene, also das Vertikaldiagramm bei horizontaler Polarisation.

Der Eingangswiderstand

Durch geeignete Wahl der Dipolabstände sowie des Wellenwiderstandes der zu den Dipolen führenden Zweidrahtlei-

tung kann erreicht werden, daß der Eingangswiderstand der Antenne nahezu konstant ist und gleich dem geforderten Wellenwiderstand des Speisekabels ist. Für einen Eingangswiderstand der Speiseleitung von z. B. 60Ω liegt der Wellenwiderstand der Speiseleitung etwa zwischen 60Ω und 100Ω . Durch Veränderung des Leiterabstandes kann der geforderte Eingangswiderstand der Antenne beeinflußt werden.

Die Bandbreite

Für die Bandbreite gelten sinngemäß die gleichen Überlegungen wie bei log.-per. Antennen. Die aktive Zone verschiebt sich bei Frequenzänderung auf der Antenne und erreicht bei den Grenzfrequenzen das entsprechende Antennenende (vgl. Bild 3). Die Länge des längsten Dipols muß $\lambda_{P1}/2$, die des kürzesten Dipols bei den üblichen Ausführungen $\lambda_{P2}/3$ bis $\lambda_{P2}/4$ betragen (λ_{P1} und λ_{P2} sind die höchste bzw. die tiefste Betriebswellenlänge der Antenne). Durch Hinzufügen weiterer Dipole kann die Bandbreite weiter vergrößert werden.

Praktisch ausgeführte Antenne für 165 ... 1000 MHz

Bild 5 zeigt eine seit einigem Jahren im Handel befindliche Antenne in kommerzieller Ausführung, die den Frequenzbereich von 165 ... 1000 MHz ohne Nachstimmung überstreicht. Die Antenne ist 1,6 m lang, die Länge des längsten Dipols beträgt 90 cm, die des kürzesten Dipols 11 cm. Der auf den Halbwellendipol bezogene Gewinn steigt von 5 dB bei 165 MHz auf 10 dB bei 650 MHz an, und bleibt dann bis 1000 MHz mit 10 dB konstant. Die zu den einzelnen Gewinnwerten und damit zu den entsprechenden Frequenzen gehörenden Öffnungswinkel können aus Bild 4 entnommen werden. Der Fußpunktwidertand ist 60Ω unsymmetrisch mit einem maximalen Stehwellenverhältnis von $s = U_{\max}/U_{\min} = 2$.

Literatur

- [1] Thurl, W.: Log.-period. Antennen für UHF-Empfang. radio mentor electronic 1966, Heft 6, Seite 509
- [2] Carrel, R.: The Design of Log-Periodic Dipole Antennas. IRE National Convention Record 1961, Heft 1, Seite 61.
- [3] Nowatzky, D.: Logarithmisch-periodische Dipolantennen. Techn. Mitt. des RFZ, Heft 2, Seite 77 und Heft 3, Seite 127.
- [4] Nowatzky, D.: Extrem breitbandige Dipolantennen. Techn. Mitt. des RFZ, 1965, Heft 1, Seite 6.
- [5] Patentschrift WP 34357 (Anmeldetag: 24. 9. 1962)

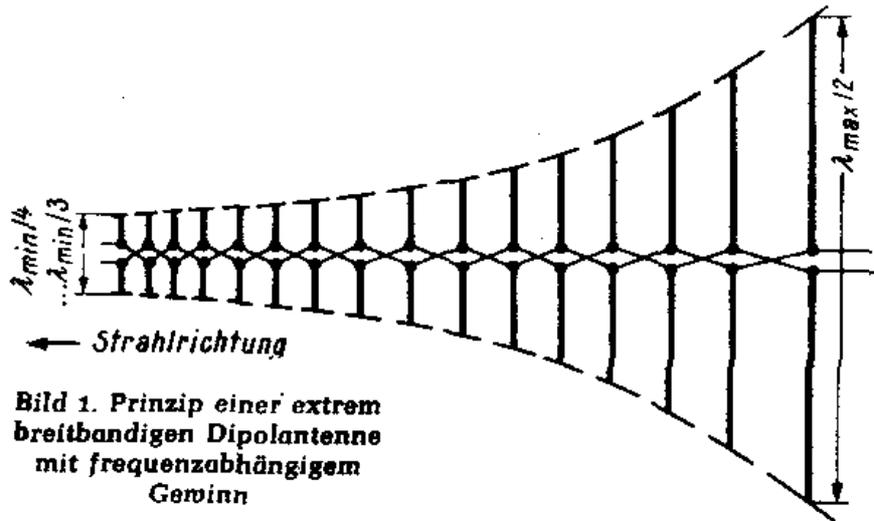


Bild 1. Prinzip einer extrem breitbandigen Dipolantenne mit frequenzabhängigem Gewinn

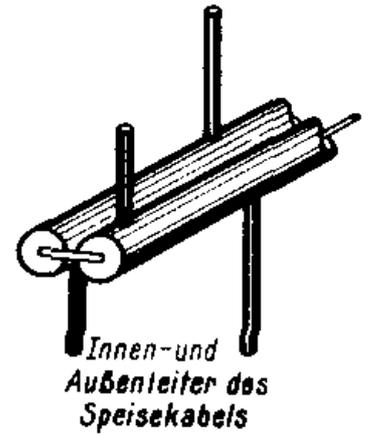


Bild 2. Praktischer Aufbau der Antenne

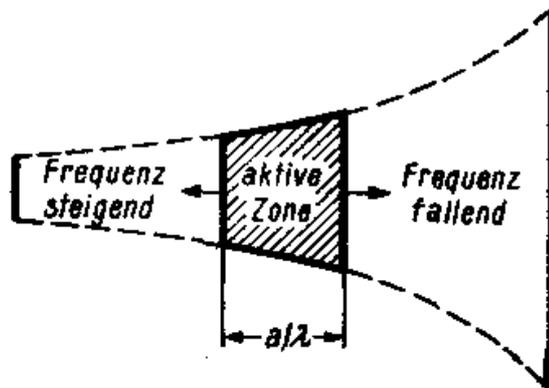


Bild 3. Aktive Zone bei extrem breitbandigen Dipolantennen