

Linie zasilające

Jasnym jest, że anteny należy podłączyć do nadajnika lub odbiornika. Wykorzystujemy w tym celu linie przesyłowe. Przy swojej, z pozoru, prostocie budowy (jeden lub dwa przewody) fizyczne procesy zachodzące w liniach zasilających są bardzo złożone. Ważnym jest aby zrozumieć, że właściwości linii silnie zależą nie tylko od jej konstrukcji, ale też od częstotliwości i obciążenia z obu końców linii.

Parametry linii przesyłowych.

Do podstawowych parametrów linii przesyłowych zaliczamy :

- L – indukcyjność własna linii (jednostkowa). Wielkość (L) zależy od konstrukcji linii i prawie nie zależy od częstotliwości (tylko bardzo niewielkie zmiany wywołane efektem naskórkowości). Indukcyjność linii można łatwo wyznaczyć eksperymentalnie – krótki odcinek linii (mniej niż $0,05\lambda$ od częstotliwości pomiarowej) zwieramy na jednym końcu. Indukcyjność mierzymy na drugim jego końcu.
- C – pojemność własna linii (jednostkowa). Wartość tej pojemności zależy od konstrukcji linii przesyłowej i niewiele zmienia się z częstotliwością (poza niewielką zależnością przenikalności dielektrycznej od częstotliwości).
- α – tłumienność linii (jednostkowa). Składa się z rzeczywistego oporu (omowego – są to straty mające wpływ na wielkość prądu), straty w izolacji (mające wpływ na wielkość napięcia) i straty promieniowania. Wszystkie te trzy parametry zależą od konstrukcji linii przesyłowej, częstotliwości pracy i szybko rosną wraz z nią.
- Z – oporność falowa. Ważny parametr linii przesyłowej. Dla nieznaney linii może być obliczony wedle formuły :

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \text{po zmierzeniu } (L) \text{ i } (C).$$

- K – współczynnik skrócenia. Mówi on ile razy długość fali w linii jest mniejsza od długości fali w swobodnej przestrzeni. Inaczej – ile razy fizyczna długość linii przesyłowej jest mniejsza od długości elektrycznej tej linii. Przyczyny tego zjawiska (skrócenia) należy szukać w różnicy prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w dielektryku (jest mniejsza) i swobodnej przestrzeni. Dlatego współczynnik skrócenia (K) zależy w pierwszym rzędzie od przenikalności dielektryka, materiału z jakiego wykonana jest izolacja linii i w niewielkim stopniu od częstotliwości. Dla linii wykorzystywanych przez radioamatorów współczynnik skrócenia zawiera się w przedziale $K = 0,65$ (przewód koncentryczny z pełnym dielektrykiem) do $K = 0,99$ (otwarta linia dwuprzewodowa). Współczynnik skrócenia można zmieniać. W tym celu należy wyznaczyć najmniejszą częstotliwość (F) [MHz], na której otwarty koniec odcinka linii o długości (l) [m] zachowuje się jak przewód zwierający wyjście generatora sygnałów wzorcowych. Przy czym :

$$K = \frac{l * F}{75}$$

Jeżeli rezultat obliczeń znajdzie się w przedziale 2 ... 3 lub 4 ... 5, to mamy do czynienia z błędem przy określaniu częstotliwości (F) i znaleźliśmy nie minimalną częstotliwość, a nieparzystą harmoniczną (tzn. zamiast rezonansu ćwierćfalowego mamy rezonans $3\lambda/4$ lub $5\lambda/4$).

Podstawowe typy linii przesyłowych

Jednoprzewodowa linia przesyłowa przedstawia sobą pojedynczy przewód o średnicy (d) przechodzący na wysokości (h) nad ziemią przewodzącą. Impedancja takiej linii wynosi :

$$Z = 138 \lg \frac{4h}{d}$$

Przy $d=1...5$ [mm] i $h=0,2...40$ [m] zakres impedancji wynosi $Z=300...700$ [Ω]. Do szybkiej oceny (Z) wygodnie jest stosować tabelę poniżej.

	$h = 0,2 \text{ m}$	$h = 2 \text{ m}$	$h = 8 \text{ m}$	$h = 20 \text{ m}$
$d = 1 \text{ mm}$	400 Ω	539 Ω	621 Ω	677 Ω
$d = 2,5 \text{ mm}$	345 Ω	483 Ω	566 Ω	622 Ω
$d = 5 \text{ mm}$	305 Ω	442 Ω	525 Ω	580 Ω

Tego typu linia zasilająca wykorzystywana jest na KF-ie do zasilania anten typu LW i WINDOM (nie należy zapominać, że drugą linią jest ziemia, konieczne jest dobre uziemienie).

Podstawowym niedostatkim takiej linii przesyłowej jest jej znaczne promieniowanie (poza dużą odległością od ziemi). Trzeba wyraźnie powiedzieć, że są to straty linii mające wpływ na promieniowanie. Jednak w „radiowym mniemaniu” nie są one stratami dopóty dopóki sygnał nie zanika, a jest wypromieniowany w eter, tj. linia zasilająca pracuje częściowo jak antena. Dlatego też, taka promieniująca linia wytwarza i zakłóca pracę wszelkiej aparatury elektronicznej, a w trakcie odbioru „zbiera radiowe śmieci” wytwarzane przez tę aparaturę, która jest umiejscowiona obok radiostacji. Wobec tego w przestrzeni wokół linii przesyłowej w promieniu (h) (tj. znaczącym) występuje wysokie natężenie pola elektromagnetycznego. W rzeczywistości, o ile linia przesyłowa jest podłączona bezpośrednio do nadajnika, to w przestrzeni wokół stacji temu polu podlega i operator i jego sąsiedzi.

Ma to niebagatelny wpływ na zdrowie człowieka ze względu na przekroczenie dopuszczalnych norm dot. natężenia pola elektromagnetycznego, w których może on przebywać !

Współczynnik skrócenia jedнопrzewodowej linii jest bardzo bliski jedności. Ale tylko w tym przypadku, jeżeli wykorzystujemy przewód bez izolacji. Wykorzystując izolację z tworzywa sztucznego o grubości 0,2...2,0 mm (a więc cienką) otrzymamy współczynnik skrócenia $K = 0,94...0,99$. Będzie on zależał od średnicy przewodu, rodzaju i grubości izolacji, a także częstotliwości. Dla jedнопrzewodowej linii nie jest to zbyt istotne. Taki współczynnik skrócenia mamy w antenach, które konstruujemy. Półfalowa antena (dipol, ramka, etc.) wykonana z przewodu w izolacji powinna być skrócona w stosunku do obliczonej (przy korzystaniu z MMANA-GAL przewód liczony jest jako „goły”) od 1% do 6% właśnie z powodu wpływu tej izolacji. Należy zwrócić na to szczególną uwagę – to częsty błąd w praktyce i przyczyna przesunięcia w dół częstotliwości rezonansowej naszej (rzeczywistej) anteny. Dokładne oznaczenie współczynnika skrócenia (K) dla anteny wykonanej z przewodu w izolacji, można określić wykorzystując program „NEC2 for MMANA”.

Dwuprzewodowa linia symetryczna przedstawia sobą dwa przewody o średnicy (d), umieszczone we wzajemnej odległości od siebie (e). Taka linia może występować jako powietrzna, jak też i linia płaska z zastosowaniem dielektryka o przenikalności (ϵ).

Oporność falowa linii dwuprzewodowej wynosi :

$$Z \cong \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \lg \frac{2e}{d}$$

Dla $d=1,5$ mm i $e=1...30$ cm zakres impedancji wynosi $Z=150...700 \Omega$. Impedancję dwuprzewodowej linii można też obliczyć w programie MMANA-GAL. Do szybkiej oceny oporności falowej linii powietrznej wygodnie jest stosować tabelę poniżej.

	$e = 1$ cm	$e = 5$ cm	$e = 12$ cm	$e = 30$ cm
$d = 1$ mm	360Ω	552Ω	656Ω	766Ω
$d = 2,5$ mm	250Ω	442Ω	547Ω	656Ω
$d = 5$ mm	167Ω	360Ω	464Ω	574Ω

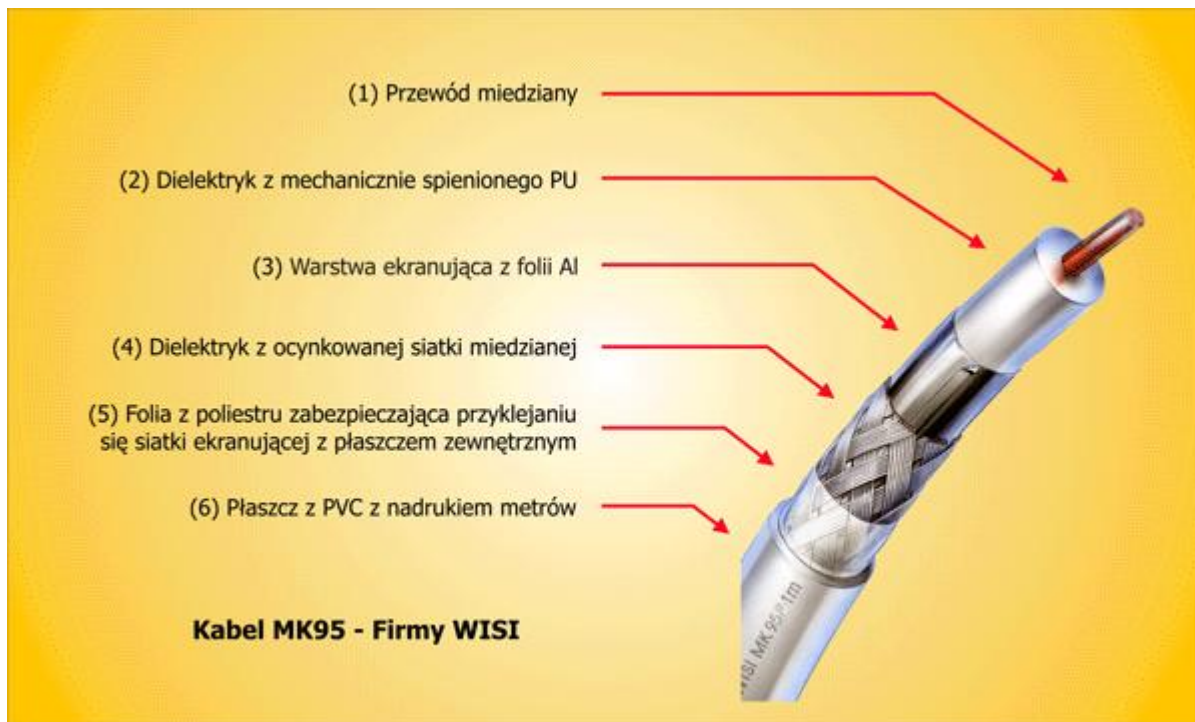
Jeżeli linia jest linią płaską z dielektrykiem, to wartości impedancji z tabeli należy zmniejszyć o $\sqrt{\epsilon}$.

Rzeczywiste pole elektromagnetyczne dwuprzewodowej linii przesyłowej skupione jest pomiędzy przewodami tej linii i szybko maleje wraz ze wzrostem odległości od niej. Dla zastosowań amatorskich można obliczyć, że całkowite pole elektromagnetyczne skupione jest w promieniu $5e...10e$ od linii. Dlatego linię dwuprzewodową należy umieścić w taki sposób, żeby w odległości $5e$ (a jeszcze lepiej $10e$) od niej nie było elementów przewodzących ani pochłaniających. Tak więc, nie należy wieszać takiej linii bezpośrednio wzdłuż masztu, ściany domu, na dachu, w szybie wentylacyjnym czy na ziemi. Koniecznie należy rozpórkami izolacyjnymi odsunąć linię od przeszkód (elementów odbijających) na odległość większą niż $5...10e$.

Straty promieniowania (α) linii dwuprzewodowej są lekceważąco małe jeżeli stosunek $e/\lambda < 0,5\%$. Szybko też rosną (proporcjonalnie do kwadratu e/λ) jeśli $e/\lambda > 2...3\%$ - co stanowi niedopuszczalnie wysokie wartości. Dlatego też takie linie przesyłowe stosowane są w zakresie częstotliwości do 30 MHz, gdzie wartość $e/\lambda < 0,5\%$, co odpowiada odstępowi między przewodami równemu 50 mm. Na UKF-ie ich zastosowanie ogranicza się do krótkich odcinków do transformacji i symetryzacji.

Dwuprzewodowe linie powietrzne o $Z = 400...700 \Omega$ i $K = 0,98...0,99$ - zgodnie z zasadami - można wykonać samodzielnie. Płaskie linie z dielektrykiem, produkowane przez przemysł, mają $Z = 240...450 \Omega$ i $K = 0,82...0,9$.

Linie koncentryczne wykorzystywane są najczęściej.



*zdjęcie ze strony : <http://forum.pcformat.pl/> (dodane przez SP1VDV)

Oporność falowa takiej linii opisana jest wzorem :

$$Z \cong \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \lg \frac{D}{d},$$

gdzie :

- D – średnica zewnętrzna dielektryka (2 na rysunku),
- d – średnica przewodu miedzianego (1 na rysunku).

Kable w powszechnym użyciu mają impedancję (Z) równą 50 Ω, 75 Ω i 100 Ω. Jako dielektryk wykorzystywane są :

- Polietylen. Jest to tani i trwały przewód. Ma jednak znaczne tłumienie w zakresie fal UKF. Przy dużej mocy i wydzielanej temperaturze możliwa jest deformacja, przebicie a nawet zapłon (zwłaszcza w miejscach o małym promieniu zgięcia). $\epsilon = 2,2...2,4$ i $K = 0,65...0,7$.
- Spieniony polietylen. Tani, małe straty w dielektryku. Niezbyt wytrzymały mechanicznie, mający co najmniej dwukrotnie mniejszą wytrzymałość na przebicie elektryczne, łatwo się deformuje pod wpływem temperatury – w stosunku do koncentryka z polietylenem. $\epsilon = 1,4...1,6$ i $K = 0,79...0,84$.
- Policzterofluoroetylen. Drogi. Wysoka wytrzymałość na przebicie elektryczne, nie poddaje się deformacji pod wpływem temperatury, małe straty. $\epsilon = 1,8...2,2$ i $K = 0,7...0,8$.

Praktycznie cała przekazywana energia fali elektromagnetycznej jest skupiona w przestrzeni pomiędzy wewnętrznym i zewnętrznym przewodem linii koncentrycznej. Rzecz w tym, że poza efektem naskórkowości,

głębokość wnikania prądu w metal przy częstotliwości 1,8 MHz wynosi około 0,05 mm i maleje wraz ze wzrostem częstotliwości.

Prąd w.cz. w linii koncentrycznej rozchodzi się po powierzchni środkowego przewodu i po wewnętrznej powierzchni ekranu. Grubość ekranu, nawet dla bardzo cienkich kabli, jest znacznie większa niż głębokość wnikania prądu w.cz. w metal. Dlatego do zewnętrznej powierzchni ekranu prąd w.cz. nie może dojść ! Cały ekran, wyłączając ciekłą warstwę w którą wnika prąd w.cz., ma zerowy potencjał w.cz. (ponieważ tam nie ma prądu), jest też dobrym cylindrycznym ekranem (pod warunkiem uziemienia go z obydwu końców linii). Z tej też przyczyny straty promieniowania kabla koncentrycznego są znikome. To wszystko powoduje, że kable koncentryczne dominują w zastosowaniach UKF. Nieobecność pola w.cz. wokół linii koncentrycznej daje możliwość prowadzenia jej w dowolnym miejscu (w przeciwieństwie do linii dwuprzewodowej), co jest bardzo wygodne w praktyce. Efektywność ekranowania (stosunek energii płynącej przez środkowy przewód linii do energii przedostającej się do zewnętrznej przestrzeni) wynosi 60...70 dB dla linii z pojedynczym ekranem i 90...110 dB dla linii, w których pod ekranem jest cienka aluminiowa warstwa albo są dwa ekrany. Zwrócić należy uwagę na to, że wokół linii koncentrycznej pola nie ma, tylko jeśli ekran jest uziemiony z obu końców linii. Jeżeli jest tak (częste w praktyce), że przy antenie oplot podłączony jest z nią niebezpośrednio (bez specjalnych rozwiązań, zabezpieczających zerowy potencjał w.cz. – symetryzujących lub odsprężających), to możliwy jest przepływ dodatkowego prądu po zewnętrznej stronie ekranu kabla koncentrycznego.

Straty w liniach przesyłowych

Teraz zajmiemy się tylko stratami (zanikaniem sygnału) w dopasowanej linii przesyłowej, obciążonej rzeczywistym oporem (R), równym oporowi falowemu (Z) linii przesyłowej.

Wyjściowa oporność nadajnika (R) też niech będzie równa impedancji linii (Z). Zdawało by się – przypadek bardzo prosty, ale... .

Straty w dopasowanej linii :

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_u + \alpha_i,$$

gdzie :

- α_r – straty w przewodach powstałe w skutek oporu rzeczywistego (zmniejszenie prądu),
- α_u – straty w nieidealnej izolacji (napięciowe),
- α_i – straty promieniowania linii.

Straty promieniowania pokazują, jaka część energii nie dojdzie do obciążenia tylko zostanie wypromieniowana przez linię w eter. Część linii pracuje jak antena i chociaż kiepsko, to jednak promieniuje. α_i zależą od konstrukcji linii i są tym wyższe im większa (w długości fal) przestrzeń, w której skoncentrowana jest energia fali elektromagnetycznej oddawana przez linię. Promieniowanie linii nie jest pożądane, ponieważ zwiększają straty zarówno przy odbiorze jak i przy nadawaniu.

Linie dwuprzewodowe na UKF mają duże straty promieniowania α_i co praktycznie wyklucza je z zastosowań w tym zakresie. Rozpatrzmy straty w takiej linii w zakresie fal krótkich (do 30 MHz), gdzie α_i są pomijalnie małe. Dla linii z dielektrykiem powietrznym straty w izolacji α_u są pomijalne i suma strat α jest równa α_r , które dla linii dwuprzewodowej opisane wzorem :

$$\alpha_r = \frac{0,723L\sqrt{f}}{dZ},$$

gdzie :

- α_r [dB]

- L – długość linii [m]
- f - częstotliwość [MHz]
- d – średnica [mm]

Straty w linii proporcjonalne są do jej długości (L) oraz pierwiastka z częstotliwości (f) (zmniejszenie głębokości wnikania prądu pomijając efekt naskórkowości) i odwrotnie proporcjonalne do średnicy przewodu linii (d) i jej impedancji (Z). Mniej zrozumiałym wydaje się być zmniejszenie strat wraz ze wzrostem oporności falowej linii (Z). Jeżeli jednak przypomnimy sobie, że mówimy o stratach przesyłu, to i ten fakt stanie się zrozumiałym. Są one proporcjonalne do kwadratu prądu, który przy jednakowej mocy zmniejsza się liniowo wraz ze wzrostem (Z). Przykładowo, niech oporność strat linii wynosi 50 Ω (bardzo długa i słabej jakości linia z dużymi stratami). Jeżeli impedancja linii $Z = 50 \Omega$, to na ciepło zostanie zamieniona połowa doprowadzonej mocy, a jeżeli $Z = 500 \Omega$ - to tylko 10 %. Dla tej właśnie przyczyny energetyczne linie przesyłowe dużej mocy są odporne na przebicia (i tym samym o dużej oporności) – energetycy dbają o małe straty w swoich liniach.

Do tego pytania powrócimy później, a teraz autor zmuszony jest prosić żeby czytelnik zapamiętało następuje :

Przy jednakowej średnicy przewodów w linii straty są mniejsze w liniach o dużej oporności – spadają proporcjonalnie do wzrostu oporności Z.

Spróbujmy określić przy jakiej konstrukcji linii dwuprzewodowej otrzymamy minimalne straty ? Jeżeli mamy stałą średnicę (d) przewodów linii, to straty będą ulegały zmniejszeniu wraz ze wzrostem odległości (e) między nimi (i odpowiednio Z).

Jeżeli stała będzie odległość (e) między przewodami linii, to straty w tej linii będą osiągały minimum dla średnicy (d), przy której stosunek $e/d = 1,36$ (co dla linii z powietrznym dielektrykiem odpowiada $Z = 120 \Omega$, a dla linii z dielektrykiem z polietylenu $Z = 80 \Omega$). Istnienie takiego minimum przy stałym odstępnie (e) wyjaśnić można następująco :

- Jeżeli średnicę (d) znacznie zmniejszymy, to zysk z wolnego przyrostu (Z) przy dużym stosunku e/d (zgodnie ze wzorem : $Z = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \lg \frac{2e}{d}$, funkcja logarytmiczna przy dużych argumentach zmienia się powoli), będzie z nadmiarem przewyższał liniowy wzrost czynnych strat na cienkich przewodach.
- Jeżeli średnicę (d) znacznie zwiększymy, to w pewnym momencie (Z) zaczyna się obniżać na tyle szybko (szybkość zmian funkcji logarytmicznej jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości argumentu i przy jego małych wartościach jest większa od liniowej) , że nie ma możliwości liniowej kompensacji strat poza zwiększaniem (d).

Praktyczne znaczenie istniejących optymalnych strat przy stałym (e) jest niewielkie, bowiem linia z małym stosunkiem $e/d = 1,36$ możliwa jest do wykonania tylko z dielektrykiem, a zmniejszyć straty jest znacznie prościej poprzez zwiększenie (e).

Zwróćmy uwagę na następujące dwie tabele (poniżej), w których obliczone są straty w linii.

Tab.1

e/d	e [mm]	Z [Ω]	α_i [dB]
1,1	2,2	94	0,86
1,36	2,72	120	0,67
2	4	166	0,486
6	12	297	0,27
25	50	467	0,173
50	100	552	0,146
100	200	635	0,127

Tab.2

e/d	D [mm]	Z [Ω]	α_i [dB]
1,1	10,9	94	0,157
1,36	8,8	120	0,153
2	6	166	0,162
6	2	297	0,27
25	0,48	467	0,72
50	0,24	552	1,22
100	0,12	635	2,12

Straty w dwuprzewodowej linii; e = 12 mm, L = 50 m, f = 20 MHz

W tabelach pokazane są zmiany parametrów linii. W Tab.1 dla d = 2 mm, a w Tab.2 przy stałym odstępzie między przewodami e = 12 mm. Na czerwono, w obu tabelach, pokazany jest jednakowy przypadek dla e = 12 mm i d = 2 mm, gdzie straty wynoszą 0,27 dB. Zmniejszyć je można dwoma sposobami :

1. Utrzymać odstęp e = 12 mm zwiększając (d) do osiągnięcia optymalnego stosunku e/d = 1,36. Straty będą wówczas wynosiły 0,153 dB (drugi wiersz w Tab.2). Średnica przewodów osiągnie wówczas 8,8 mm co jest bardzo niekorzystne i drogie.
2. Utrzymujemy średnicę d = 2 mm i zwiększamy odstęp (e) do 100 mm (przedostatni wiersz w Tab.1). Straty zmniejszą się do 0,146 dB. To rozwiązanie jest znacznie prostsze i szeroko stosowane w praktyce radioamatorskiej. Linia ma duży stosunek e/d i wysoką (Z).

Linie koncentryczne praktycznie nie mają strat promieniowania, co pozwala stosować je zarówno w zakresie fal krótkich jak i UKF. W takich liniach, mających niewielką odległość pomiędzy przewodnikami, nie należy lekceważyć strat w izolacji α_i , które dodają się do strat α_u . Tak więc straty :

$$\alpha = \alpha_i + \alpha_u = 0,362L\sqrt{f} * \frac{(1+\frac{D}{d})}{DZ} + 9,1 * 10^{-3}fL\sqrt{\epsilon} * tg\delta ,$$

gdzie : α [dB]; L- długość linii [m]; f - częstotliwość [MHz]; D i d [mm]; tg δ – współczynnik stratności linii.

Analiza tego wzoru pokazuje, że podobnie jak dla linii dwuprzewodowej :

- Zwiększenie L i f zwiększa straty.
- Przy stałej średnicy wewnętrznej żyły (d) zwiększenie zewnętrznej średnicy D (a przez to i Z) prowadzi do obniżenia strat.
- Przy stałej średnicy zewnętrznej (D), minimum strat osiągniemy przy stosunku D/d = 3,6, co dla linii z powietrznym izolatorem odpowiada Z = 76 Ω , a dla linii z dielektrykiem polietylenowym Z = 50 Ω . Dlatego właśnie przeważająca większość produkowanych kabli koncentrycznych ma impedancję charakterystyczną Z = 50 Ω . Ma to duże znaczenie praktyczne (w odróżnieniu od linii dwuprzewodowych) w produkcji koncentryka, ponieważ określoną impedancję uzyskuje się poprzez zmianę jego średnicy zewnętrznej.

Popatrzmy na tabele poniżej, w których obliczone są straty α_i w kablu koncentrycznym z powietrznym izolatorem. W Tab.3 pokazane są zmiany parametrów linii przy stałej średnicy d=2 mm, a w Tab.4 – przy stałej średnicy zewnętrznej średnicy D = 7,2 mm.

Tab.3

D/d	D [mm]	Z [Ω]	α [dB]
2	4	41,5	1,46
3	6	65	0,81
3,6	7,2	76	0,68
5	10	96,5	0,5
10	20	138	0,32
20	40	180	0,24

Straty w linii koncentrycznej; d = 2 mm, L = 50 m, f = 20 MHz

Tab.4

D/d	D [mm]	Z [Ω]	α [dB]
2	3,6	41,5	0,822
3	2,4	65	0,682
3,6	2	76	0,68
5	1,44	96,5	0,698
10	0,72	138	0,896
20	0,36	180	1,31

Straty w linii koncentrycznej; D = 7,2 mm, L = 50 m, f = 20 MHz

Tłustym drukiem (na czerwono) zaznaczono w obu tabelach jednakowy przypadek : D= 7,2 mm i d = 2 mm (optymalny stosunek D/d = 3,6). Straty stanowią 0,68 dB . Zwrócić należy uwagę , że w tabelach przedstawione są tylko straty prądu, w rzeczywistym kablu z izolacją polietylenową są uzupełnione stratami w izolacji, które są zwykle bardzo małe. Zmniejszyć straty przy nie zmieniając (D) niepodobna. Przy stałym (d) zwiększając (D) można to uczynić (trzy ostatnie wiersze w Tab.3) i to znacznie. Łatwo powiedzieć trudniej wykonać – zewnętrzna średnica (D) określona jest konstrukcyjnie w produkcji i jej zmiana jest niemożliwa – w odróżnieniu od linii dwuprzewodowej (*dla powietrznego dielektryka – przyp. tłum.*). Dlatego w praktyce najszerzej stosowane są linie koncentryczne o Z = 50 Ω , zoptymalizowane pod względem strat przy danej średnicy zewnętrznej.

Porównanie różnych linii przesyłowych pod względem strat pokazane jest poniżej – w tabeli. Są tam zebrane dane katalogowe najpopularniejszych kabli. Tłumienie pokazane jest dla f = 20 MHz i długości 50 metrów. Dla innych częstotliwości i długości tłumienie można przeliczyć, pamiętając, że straty (w dB) rosną proporcjonalnie do długości linii i w kwadracie częstotliwości.

Typy linii	Z [Ω]	α [dB]	Budowa
RG58 C/U	50	2,5	Średnica izolacji 5 mm
PK 75-9-12	75	1,8	Średnica izolacji 9 mm
PK 5 –9-12	50	1,4	Średnica izolacji 9 mm
RG 8/U	50	1,25	Średnica izolacji 10,3 mm
PK 50–11-11	50	1,2	Średnica izolacji 11 mm
PK 75–17-32	75	0,66	Średnica izolacji 17 mm
Linia dwuprzewodowa w polietylenie	300	0,55	d = 1,0 mm e = 12 mm
Linia dwuprzewodowa w polietylenie	300	0,35	d = 1,5 mm e = 20 mm

Cd.

Linia dwuprzewodowa z izolatorem powietrznym	450	0,25	$d = 1,5 \text{ mm}$ $e = 33 \text{ mm}$
Linia dwuprzewodowa z izolatorem powietrznym	600	0,18	$d = 1,5 \text{ mm}$ $e = 110 \text{ mm}$
Linia dwuprzewodowa z izolatorem powietrznym	635	0,14	$d = 2,0 \text{ mm}$ $e = 200 \text{ mm}$

Podsumowanie :

- W zakresie fal krótkich dwuprzewodowe linie przesyłowe mają mniejsze straty niż linie koncentryczne.
- W zakresie fal ultrakrótkich dwuprzewodowe linie przesyłowe mają niedopuszczalnie duże promieniowanie.
- Zwiększenie odległości pomiędzy przewodami bez zmiany ich średnicy znacznie zmniejszają straty.
- Zwiększenie średnicy przewodów przy stałym stosunku e/d lub D/d zmniejszają straty.
- Przy stałym odstępzie pomiędzy przewodami istnieją optymalne straty dla $e/d = 1,36$ dla linii dwuprzewodowej i dla $D/d = 3,6$ - dla linii koncentrycznej.

Źródło : I.W. Gonczarenko, *Anteny KF i UKF – podstawy i praktyka (cz.2)*, Rozdział 3.2.1, Rozdział 3.2.2, Rozdział 3.2.3, Moskwa 2010

Tłumaczenie : SP1VDV
sp1vdv@wp.pl