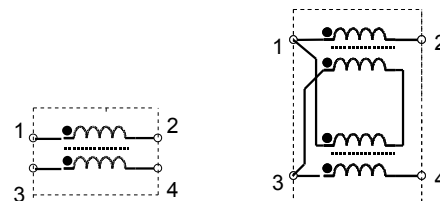


Testy obejmują kilka typów symetryzatorów wykonanych na różne sposoby, na rdzeniach ferrytowych oraz powietrznych. Są to symetryzatory prądowe (*current balun*, *choke balun*) przewidziane do linii o impedancji 50om i symetryzatory napięciowe (*voltage balun*), transformujące 50om:200om, w układzie często stosowanym na wyjściu skrzynek antenowych. Celem eksperymentów było wyłonienie możliwie prostych rozwiązań działających poprawnie w zakresie częstotliwości 1,8-30MHz. Zostały porównane wyniki uzyskane z różnymi rdzeniami i różnymi uzwojeniami na tym samym typie rdzenia. Wszystkie symetryzatory miały niewielkie wymiary, ograniczające ich zastosowanie do małych mocy.

Symetryzatory prądowe.

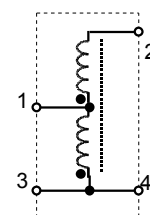
Symetryzator prądowy 1:1 uzyskujemy nawijając odcinek linii transmisyjnej na rdzeń ferrytowy lub niemagnetyczny tak, aby uzyskać możliwie dużą indukcyjność. Tworzy się w ten sposób dławik, który stanowi dużą impedancję dla prądów w.cz. które próbujemy wymusić w pojedynczym uzwojeniu lub w obu naraz, w tym samym kierunku. Dla prądów w.cz. o równych wartościach i płynących w przeciwnych kierunkach przez linie symetryzatora jest on „przezroczysty”, bo pola magnetyczne znoszą się. W taki sposób symetryzator prądowy wymusza równe prądy o przeciwnych fazach na swoich wyjściach nawet jeśli wyjścia są obciążone różnymi rezystancjami. Łącząc dwa proste symetryzatory prądowe 1:1 można otrzymać symetryzator prądowy 1:4. Wejścia łączymy równolegle, a wyjścia szeregowo. Taki symetryzator może być nawinięty na dwóch osobnych rdzeniach lub na jednym rdzeniu dwuotworowym.



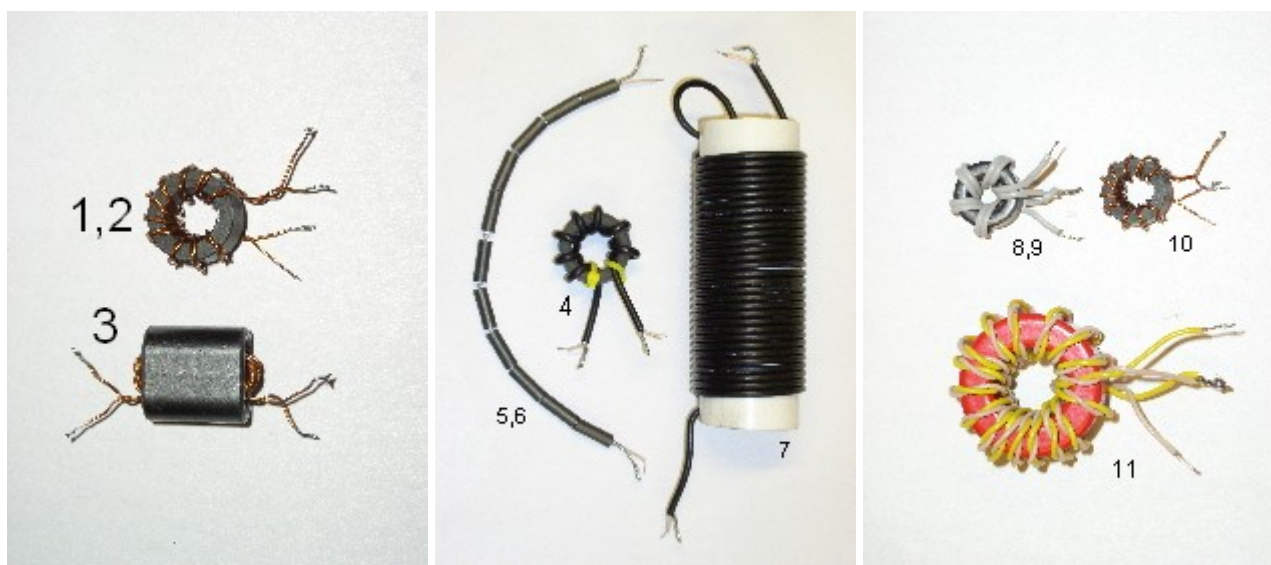
Symetryzator prądowy 1:1 Symetryzator prądowy 1:4

Symetryzator napięciowy.

Najprostszy symetryzator napięciowy tworzymy z użyciem transformatora odwracającego fazę. Dzięki temu na jednym z wyjść otrzymujemy fazę zgodną z napięciem wejściowym, a na drugim fazę przeciwną ale amplitudy napięć na wyjściach są równe nawet przy niesymetrycznym obciążeniu wyjść. Symetryzatory napięciowe mogą zapewnić jednoczesną transformację impedancji i napięcia.



Symetryzator napięciowy 1:4



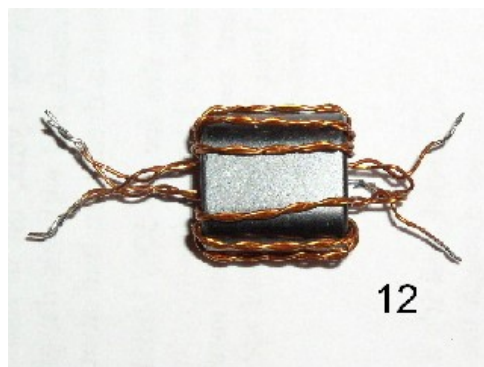
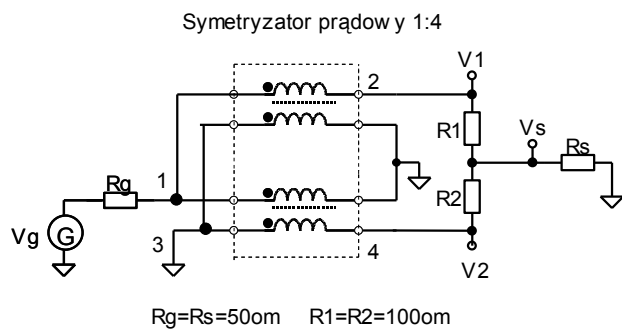
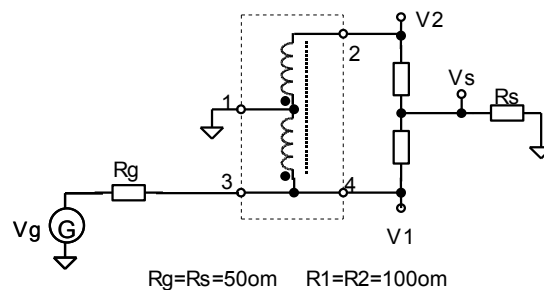
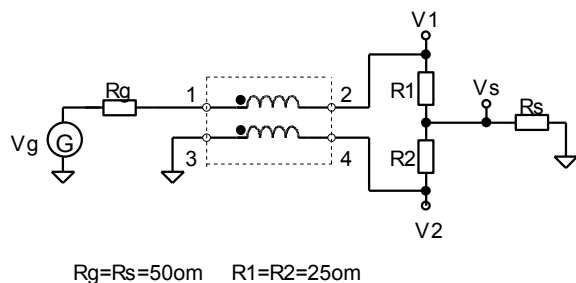
Fot. 1, 2, 3. Badane symetryzatory. Prądowe: 1 - 7 i napięciowe: 8-11.

TYPY BADANYCH SYMETRYZATORÓW						
Nr	Rdzeń	Zwoje	Przewód	L [uH]	N	Opis
1	toroidalny Amidon FT50-43 $\mu=850$	2x10	2xDNE 0.4 skręcone 2,8zw./cm	35	1:1 prądowy	
2	toroidalny Polfer F2001, 12x8x6mm $\mu=2000$	2x10	2xDNE 0.4 skręcone 2,8zw./cm	90	1:1 prądowy	
3	dwuotworowy Amidon BN43-202 $\mu=850$	2x5	2xDNE 0.4 skręcone 3,5zw./cm	70	1:1 prądowy	Uzwojenie na kolumnie środkowej
4	toroidalny Polfer F1001, 30x20x10 $\mu=1000$	8	RG-174	60	1:1 prądowy	
5	walcowy otworowy K2004 18x6x3mm $\mu=2000$, (6szt)	1	RG-174	30	1:1 prądowy	rdzenie nawleczone na przewód koncentryczny RG174
6	walcowy otworowy K2004 18x6x3 $\mu=2000$, (11szt)	1	RG-174	55	1:1 prądowy	rdzenie nawleczone na przewód koncentryczny RG174
7	Plastikowy $\Phi 40$ mm	31	RG-174	15	1:1 prądowy	Cewka cylindryczna z przewodu RG-174
8	toroidalny Amidon FT50-43 $\mu=850$	2x7	Przewód płaski 2xAWG28	26	1:4 napięciowy	
9	toroidalny Amidon FT50-43 $\mu=850$	2x5	Przewód płaski 2xAWG28	13	1:4 napięciowy	
10	toroidalny Amidon FT50-43 $\mu=850$	2x5	2xDNE 0.4 skręcone 2,8zw./cm	13	1:4 napięciowy	
11	toroidalny Amidon T105-2 $\mu=10$	2x17	2x0.4 izol. skręcone 2 zw./cm	3,8	1:4 napięciowy	
12	dwuotworowy Amidon BN43-202 $\mu=2000$	2x5	2xDNE 0.4 skręcone 3,5zw./cm	40	1:4 prądowy	

Symetryzatory prądowe 1, 2, 3 zostały nawinięte 2 skręconymi drutami DNE 0.4mm. Przy ok. 3 skręceniach na 1 cm długości impedancja uzyskanej linii dwu przewodowej powinna być bliska 50om. Wykonania 8 i 9 miały uzwojenia z dwóch przewodów z taśmy płaskiej stosowanej w komputerach, która ma teoretycznie impedancję 100om.

Większość pokazanych symetryzatorów może pracować jaką prądowe lub, po połączeniu końca jednego uzwojenia z początkiem drugiego, jako napięciowe. Dwa identyczne symetryzatory prądowe można połączyć tak, aby uzyskać symetryzator prądowy 1:4.

Ocena symetryzatorów została przeprowadzona w oparciu o pomiar tłumienia asymetrii, w układzie podanym na rysunkach.



Na wejście było podane stałe napięcie 1V w.cz. Zmierzona wartość napięcia V_s na wyjściu służyła do obliczenia tłumienia asymetrii według wzoru:

$$A[dB] = 20 * \lg\left(\frac{V_g}{V_s}\right)$$

Obliczana też była względna różnica napięć na wyjściu:

$$\Delta U[\%] = \left| \frac{V_2 - V_1}{V_1} \right| * 100$$

**TŁUMIENIE ASYMETRII I RÓŻNICA NAPIĘĆ WYJŚCIOWYCH
SYMETRYZATORÓW 1:1**

Nr	Opis	1.8MHz	3.6MHz	7.2MHz	14.4MHz	28.8MHz	56.6MHz	
Prądowe		1:1						
1	FT50-43 2x10zw	24	28	31	34	38	38	A[db]
		28	14	10	8	10	7	$\Delta U[\%]$
2	F2001 2x10zw	30	34	38	38	34	31	A[db]
		10	10	8	8	8	7	$\Delta U[\%]$
3	BN43-202 2x5zw	30	34	38	40	38	34	A[db]
		9	9	7	8	6	3	$\Delta U[\%]$
4	F1001 8zw. RG174	28	32	34	32	30	27	A[db]
		15	10	13	7	12	9	$\Delta U[\%]$
5	K2004 x6 RG174	28	25	27	29	29		A[db]
		25	25	23	22	19		$\Delta U[\%]$
6	K2004 x11 RG174	27	28	30	30	30		A[db]
		19	19	20	15	14		$\Delta U[\%]$
7	Powietrzny Φ 40mm RG174	18	24	30	44	44	38	A[db]
		28	4	6	4	4	6	$\Delta U[\%]$
Uwe=1V, Rg=50om								

**TŁUMIENIE ASYMETRII I RÓŻNICA NAPIĘĆ WYJŚCIOWYCH
SYMETRYZATORÓW 1:4**

Napięciowe		1:4						
3a	BN43-202 2x5zw DNE 0.4	47	44	38	36	29	23	A[db]
		0	0	0	0	0	6	$\Delta U[\%]$
8	FT50-43 2x7zw w izol.	44	39	30	27	21	15	A[db]
		3	2	3	0	1	0	$\Delta U[\%]$
9	FT50-43 2x5zw w izol.	44	42	36	30	24	20	A[db]
10	FT50-43 2x5zw DNE 0.4	44	44	42	36	30	25	A[db]
10a	FT50-43 2x10zw DNE 0.4	50	44	38	33	27	21	A[db]
		0	0	0	0	0	6	$\Delta U[\%]$
11	T105-2 2x17zw. w izol.	34	30	25	19	13	8	A[db]
Prądowe		1:4						
12 ⁽¹⁾	BN43-202 2x5zw DNE 0.4	>44	>44	>44	>44	>44	>44	A[db]
		<1	<1	<1	<1	<1	<1	$\Delta U[\%]$
12 ⁽²⁾	BN43-202 2x5zw DNE 0.4	21	25	29	31	34	40	A[db]
		18	10	9	6	6	3	$\Delta U[\%]$
Uwe=1V, Rg=50om								

12⁽¹⁾ - pomiar z uziemieniem punktu środkowego na wyjściu, 12⁽²⁾ - bez uziemienia punktu środkowego

Oprócz własności symetryzujących badany też był współczynnik fali stojącej na wejściu symetryzatorów obciążonych impedancją znamionową (50 lub 200om).

WSPÓŁCZYNNIK FALI STOJĄCEJ WYBRANYCH SYMETRYZATORÓW							
Nr	Opis	3.5MHz	7MHz	14MHz	21MHz	28MHz	
Prądowe 1:1		Ro=50om		P=5W			
1	FT50-43 2x10zw DNE 0.4	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	WFS
2	F2001 2x10zw DNE 0.4	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	WFS
3	BN43-202 2x5zw DNE 0.4	1,0	1,0	1,05	1,1	1,1	WFS
1:4		Ro=200om		P=5W			
3a	BN43-202 2x5zw DNE 0.4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,05	WFS
9	FT50-43 2x5zw w izol.	1,25	1,15	1,15	1,15	1,2	WFS
10a	FT50-43 2x10zw DNE 0.4	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	WFS
11	T105-2 2x17zw. w izol.	1,8	1,4	1,2	1,2	1,3	WFS
12	BN43-202 2x2x5zw DNE 0.4	1,0	1,0	1,0	1,05	1,1	WFS

Typy 3a i 10a powstały z typów 3 i 10 przez odpowiednie połączenie uzwojeń.

Ocena wyników.

Konstrukcja symetryzatora wpływa na tłumienie asymetrii i współczynnik fali stojącej. Poniżej został omówiony wpływ poszczególnych cech konstrukcyjnych na parametry.

Indukcyjność.

Kluczową sprawą jest dostateczna indukcyjność uzwojenia symetryzatora, która dla dolnej częstotliwości 1,8MHz powinna być co najmniej 70uH. Reaktancja uzwojenia wynosi wtedy ok. 800om czyli 15-to krotnie przewyższa impedancję linii 50om. Zbyt mała indukcyjność powoduje spadek tłumienia asymetrii, co widać dla typów „1” i „7”, na częstotliwości 1,8MHz. Zbyt małą indukcyjność powoduje też niedopasowanie przy symetryzatorach napięciowych.

Liczba zwojów.

Duża liczba zwojów pogarsza własności na dużych częstotliwościach. (Nie dotyczy to uzwojeń wykonanych przewodem koncentrycznym.) Najlepiej wypadają symetryzatory kilkuzwojowe na rdzeniach o dużej wartości stałej AI. Problem zbyt dużej liczby zwojów widać dla typu „11”, gdzie tłumienie asymetrii spada z częstotliwością dramatycznie.

Przy dużej liczbie zwojów rośnie pojemność własna uzwojenia i może pojawić się rezonans w paśmie roboczym. Taki rezonans wykazał typ „7” na częstotliwości 20MHz. W punkcie rezonansu tłumienie osiąga maksimum. Powyżej częstotliwości rezonansowej tłumienie szybko spada.

Im mniejsza liczba zwojów (krótsza linia), tym lepsze dopasowanie symetryzatora na większych częstotliwościach.

Rodzaj uzwojenia.

Sposób wykonania uzwojenia bardzo wpływa na własności symetryzatorów napięciowych. Porównanie typów 9 i 10 wskazuje, że przewody uzwojenia muszą być silnie sprzężone (skręcone). Poprawia to zarówno symetrię, jak i dopasowanie. Uzwojenie w symetryzatorach prądowych powinno być tak wykonane, aby stanowiło linię transmisyjną o wymaganej impedancji, aby nie pogarszało dopasowania.

Materiał magnetyczny rdzenia.

Dobór rdzenia do symetryzatora dla zakresu 1,8-30MHz, to sprawa kompromisu. Przenikalność magnetyczna powinna być jak największa, aby uzyskać dostateczną indukcyjność na niskich częstotliwościach ale na wyższych częstotliwościach lepiej sprawdzają się materiały o średniej przenikalności. Ferryty o przenikalności $\mu=2000$ (F-2001, K-2004) bardzo dobrze pracują w zakresie 1,8-28MHz ale na 56MHz ma już przewagę materiał Amidon 43 ($\mu=850$). Materiał 43 daje natomiast mniejsze indukcyjności, co pogarsza sprawę na 1,8MHz.

Rdzenie proszkowe np. czerwony Amidon-2 często są stosowane w symetryzatorach antenowych z racji dużo większej zdolności przenoszenia mocy. Indukcyjności uzyskiwane na takich rdzeniach są jednak zdecydowanie za małe, więc symetria i dopasowanie na niskich częstotliwościach będzie więc marne. Wskazują to wyniki uzyskane dla typu „11”. Pół biedy, gdy taki „balun” zostanie zastosowany na wyjściu skrzynki antenowej w celu przejścia na wysokoomową linię symetryczną. Skrzynka skompensuje wtedy przesunięcie fazy wnoszone przez symetryzator, a nie powstają w samym symetryzatorze dodatkowe straty mocy. Taki symetryzator zastosowany na końcu przewodu koncentrycznego, przy antenie może natomiast pogarszać WFS w linii, nawet, gdy sama antena wykazuje impedancję bliską 50om, a tłumienie asymetrii będzie dobre jedynie na wyższych pasmach.

Kształt rdzenia.

Najkorzystniejszy jest taki kształt rdzenia, aby uzyskać dużą indukcyjność przy najmniejszej liczbie zwojów (najmniejszej długości uzwojenia). Łatwiej to osiągnąć na rdzeniach wydłużonych, rurkowych. Dlatego korzystnie wypada na testach rdzeń dwuotworowy BN32-202, na którym wystarcza 5 zwojów. Podobne wyniki można uzyskać nawijając tylko 2 zwoje na rurce z materiału o przenikalności 2000 i długości 18mm.

Symetryzator powietrzny.

Badany symetryzator powietrzny „7” nawinięty cienkim przewodem współosiowym wykazuje interesujące własności ale od razu rzuca się w oczy występowanie rezonansu na częstotliwości ok. 20MHz. Rezonans wynika z pojemności własnej cewki jaką tworzy zwinięty przewód. Na częstotliwości rezonansowej tłumienie asymetrii osiąga maksimum ale powyżej niej właściwości symetryzujące szybko się pogarszają. Zjawisko rezonansu takiego symetryzatora jest czasem wykorzystywane do uzyskania wysokiego tłumienia składowej wspólnej na określonej częstotliwości, przy specyficznych, silnie asymetrycznych antenach. Niestety uzyskanie dostatecznego tłumienia w szerszym paśmie jest już trudniejsze.

Symetryzator ferrytowy na przewodzie współosiowym.

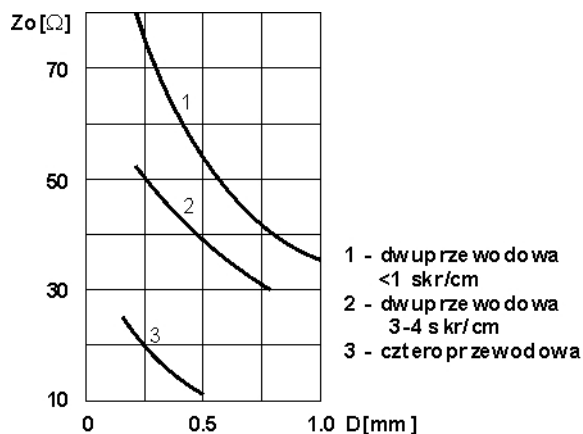
Nawlekając rdzenie (rurki) ferrytowe na przewód współosiowy (typy 5 i 6) uzyskujemy symetryzator o bardzo dużej szerokokopasmowości, dobrym dopasowaniu i mogący przenosić duże moce. Jego koszt może być jednak znaczny, jeśli będziemy musieli zastosować kilkadziesiąt rdzeni toroidalnych lub rurkowych.

Wnioski.

1. Symetryzatory ferrytowe mają przewagę nad powietrznymi z racji z racji rozmiarów i braku rezonansów własnych w zakresie do 30MHz.
2. Kluczową sprawą jest dostateczna indukcyjność uzwojenia symetryzatora, która dla zakresu 1,8-30MHz powinna być co najmniej 70uH.
3. Ilość zwojów powinna być jak najmniejsza ale z zachowaniem minimalnej, niezbędnej indukcyjności.
4. Rodzaj materiału ferrytowego i kształt rdzenia mają znaczenie drugorzędne. Nawet polskie materiały F-1001 i F-2001 pozwalają uzyskać niezłe wyniki.

Dodatek.

Wykres impedancji linii transmisyjnych wykonanych z przewodu emaliowanego w zależności od średnicy przewodu.



**Impedancja linii skręcanych z drutu w emalii.
(wg. UT5AA, UB5UN)**

Marcin Świetliński, SP5JNW.

Dokument utworzony: 29.10.06.

Literatura:

[1] The ARRL Antenna Book, 20th Edition

[2] Poradnik Ultrakrótkofalowca, Z.Bieńkowski SP6LB, WKŁ 1988

[3] Baluns: What They Do And How They Do It, R.W.Lewallen W7EL