



Zastosowanie struktur międzypalczastych w szerokopasmowych sprzęgaczach kierunkowych

MIROSŁAW CZYŻEWSKI, HENRYK GRUCHAŁŁA-WĘSIERSKI,
ADAM SŁOWIK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

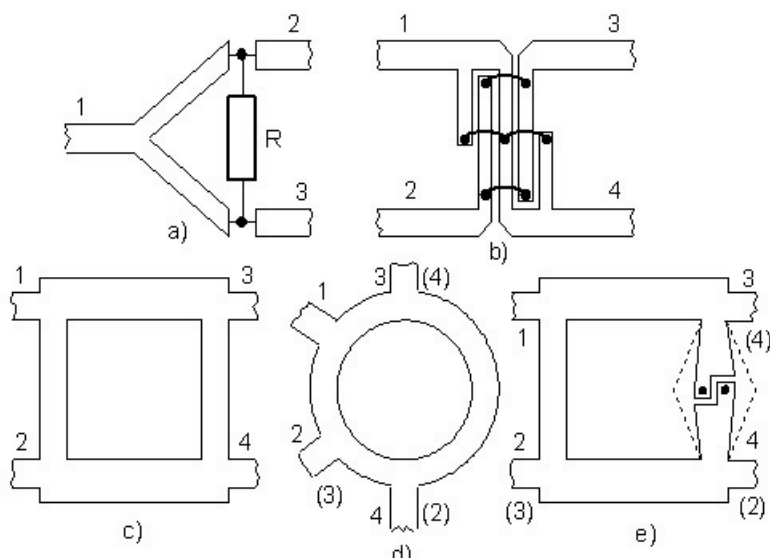
Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę porównawczą struktur i parametrów 3 dB sprzęgaczy kierunkowych. Analizie podlegały sprzęgacze realizowane w technice niesymetrycznej linii paskowej. Dotyczy to sprzęgaczy zbliżeniowych, gałęziowych, „ $3/2\lambda$ ” i „ $0-180^\circ$ ”. W celu poszerzenia pasma i wartości sprzężenia stosuje się struktury wielosekcyjne lub połączenie tandemowe. Ponieważ w sprzęgaczach wielosekcyjnych największe wymagane sprzężenie przekracza znacznie wartość 3 dB, zaproponowano stosowanie w tej sekcji połączenia tandemowego dwóch struktur międzypalczastych (w celu uzyskania sprzężenia rzędu 1 dB). Efektem tego rozwiązania jest sprzęgacz o nowej strukturze. Przedstawione wyniki badań praktycznie wykonanych sprzęgaczy w pełni pokrywają się z wynikami analizy teoretycznej.

Słowa kluczowe: technika mikrofalowa, sprzęgacze kierunkowe, struktury międzypalczaste

Symbole UKD: 621.375.037.37

1. Wstęp

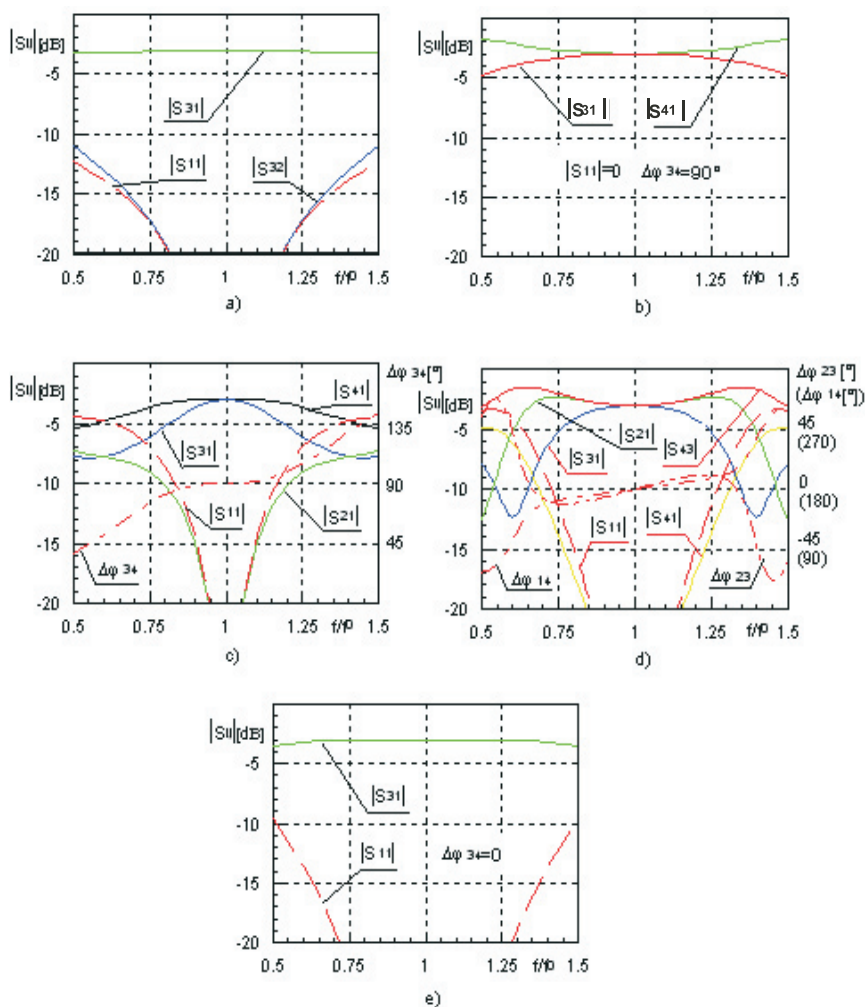
Sprzęgacze kierunkowe należą do bardzo ważnej grupy podzespołów mikrofalowych. Charakteryzują się one bardzo ważną cechą, jaką jest kierunkowe, w przybliżeniu stałe, odsprężanie mocy w pasmie pracy. Poza tym w pasmie pracy sprzęgaczy występuje stała różnica faz sygnałów wyjściowych. Szczególne miejsce wśród sprzęgaczy kierunkowych zajmują sprzęgacze o sprzężeniu 3 dB. Są one jednymi z podstawowych podzespołów w profesjonalnych urządzeniach mikrofalowych. Dotyczy to mieszaczy, modulatorów, detektorów fazowy, układów namiaru, czy macierzy Buttlera.



Rys. 1. Struktury 3 dB mikrofalowych układów rozdziału mocy wykonanych w technice linii paskowych: a) dzielnik mocy; b) sprzęgacz Langa; c) sprzęgacz dwugałęziowy; d) sprzęgacz „ $3/2 \lambda$ ”; e) sprzęgacz „ $0-180^\circ$ ”

Do 3 dB sprzęgaczy kierunkowych wykonywanych w technice paskowej należy zaliczyć: sprzęgacze „ $3/2 \lambda$ ”, sprzęgacze „ $0-180^\circ$ ” (nazywane czasem sprzęgaczami „ λ ”), sprzęgacze gałęziowe i sprzęgacze zbliżeniowe. Najszerze pasmo wśród wyżej wymienionych sprzęgaczy jednosekcyjnych mają sprzęgacze „ $0-180^\circ$ ” i sprzęgacze zbliżeniowe. Jednosekcyjne sprzęgacze gałęziowe „ $3/2 \lambda$ ” mają pasmo nieprzekraczające 40%. Struktury podstawowych 3 dB układów rozdziału mocy (sprzęgaczy i dzielników mocy) przedstawiono na rysunku 1, a ich charakterystyki na rysunku 2 [2]. We wszystkich tych układach na środkowej częstotliwości pasma pracy poziom wprowadzanego tłumienia wynosi 3 dB. Dzielnik mocy zapewnia zerową różnicę faz pomiędzy sygnałami wyjściowymi (we wrotach 2 i 3). Sprzęgacze Langa, sprzęgacz „ $3/2 \lambda$ ” oraz sprzęgacz gałęziowy zapewniają 90-stopniową różnicę faz pomiędzy sygnałami wyjściowymi. W sprzęgaczu „ $0-180^\circ$ ” pobudzając wrota 1, sygnały wyjściowe we wrotach 2 i 3 będą względem siebie w fazie. Pobudzając wrota 3 lub 2, sygnały wyjściowe przesunięte będą względem siebie o 180° .

W zakresie częstotliwości do pasma K powszechnie stosowana jest technika linii paskowych, a dokładnie technika linii mikropaskowych. Powyżej tego pasma stosowana jest zwykle technika falowodowa. Analiza podjęta w tym artykule dotyczy układów realizowanych w technice linii paskowych.



Rys. 2. Charakterystyki amplitudowe 3 dB układów rozdziału mocy: a) jednostopniowego dzielnika mocy; b) sprzęgacza zbliżeniowego; c) sprzęgacza dwugąźniowego; d) sprzęgacza „ $3/2 \lambda$ ”; e) sprzęgacz „ $0-180^\circ$ ”

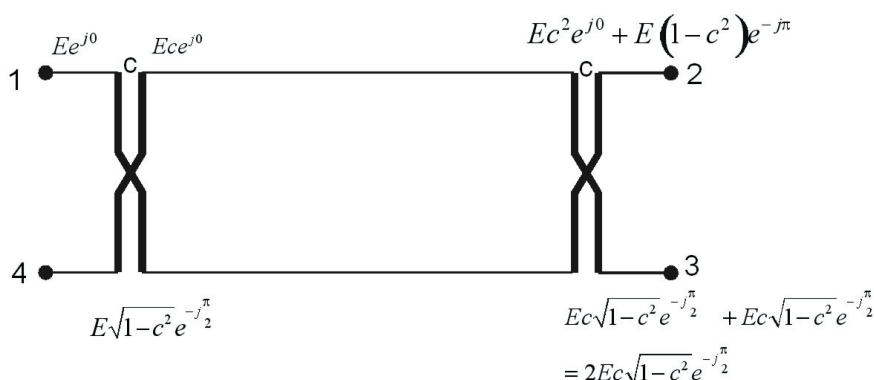
2. Połączenie tandemowe

Połączenie tandemowe czterowrotników odpowiada ich połączeniu kaskadowemu, jak przedstawiono to na rysunku 3. Jeżeli przyjmie się, że wrotła oznaczone numerem 1 są wrotłami wejściowymi, pobudzonymi sygnałem $Ee^{j\theta}$, wówczas we wrotłach sprzężonych wystąpi sygnał $Ece^{j\theta}$, zaś we wrotłach bezpośrednich sygnał

$E\sqrt{1-c^2}e^{-j\frac{\pi}{2}}$, gdzie „ c ” jest sprzężeniem sprzęgacza. Sygnały te z kolei są sumowane w drugim sprzęgaczu zgodnie z zależnościami:

$$V_2 = E(c^2 - 1 + c^2) = E(2c^2 - 1) \quad (1)$$

$$V_3 = 2Ec\sqrt{1-c^2}e^{-j\frac{\pi}{2}}. \quad (2)$$



Rys. 3. Tandemowe połączenie dwóch sprzęgaczy kierunkowych

Gdy oznaczy się transmisję z wrot 1 do wrot 2 przez „ t ” oraz transmisję z wrot 1 do wrot 3 przez „ k ”, pomiędzy sprzężeniem „ c ” pojedynczego sprzęgacza i transmisją „ k ” zachodzi relacja:

$$c = \sqrt{\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{1-k^2}}. \quad (3)$$

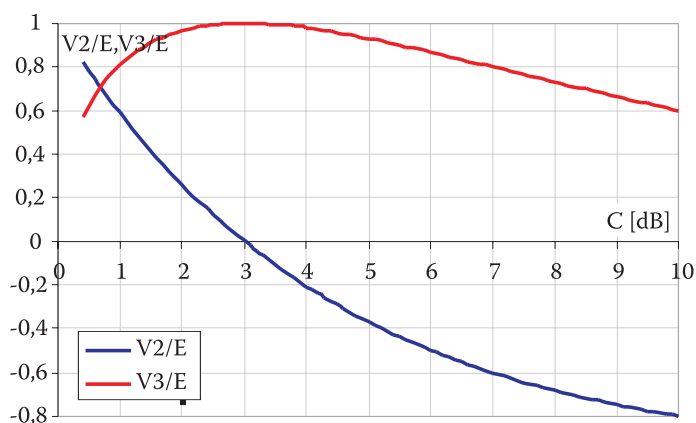
TABELA 1

c	0,630	0,562	0,501	0,447	0,383	0,316
c [dB]	4	5	6	7	8,34	10
k	0,983	0,930	0,867	0,715	0,707	0,631
k [dB]	-0,146	-0,630	-1,23	-2,91	-3,01	-4,00
t	0,182	0,367	-0,497	0,601	-0,707	-0,800
t [dB]	-14,7	-8,69	-6,06	-4,40	-3,01	-1,94

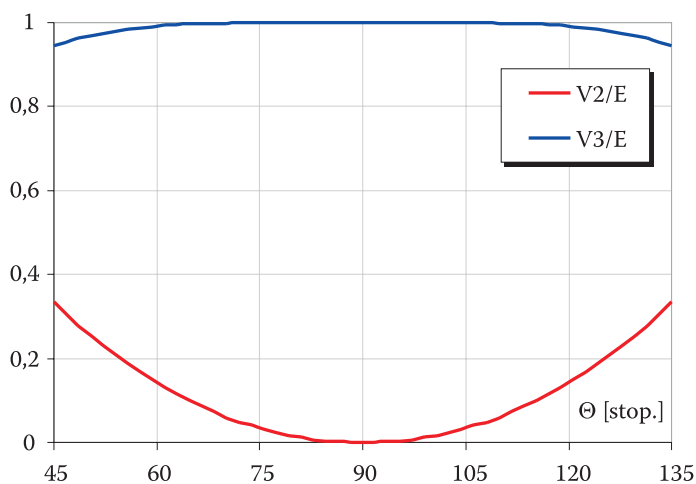
Zgodnie z tą zależnością występują dwie wartości sprzężenia „ c ”, dla których uzyskuje się wymagane wartości sprzężenia tandemu. W praktyce wykorzystywany jest warunek wymagający niższej wartości sprzężenia. Wartości wymaganych sprzężeń zastosowanych sprzęgaczy w połączeniu tandemowym przedstawia tabela 1.

Z tabeli tej wynika, że stosując strukturę międzypalczastą w połączeniu tandemowym, można w łatwy sposób uzyskać sprzężenie rzędu nawet 0,5 dB.

Gdy stosuje się połączenie dwóch jednakowych sprzęgaczy o sprzężeniu c (każdego z nich), zachodzi różny podział mocy we wrotach wyjściowych układu (wrota 2 i 3 na rysunku 3). Charakterystyki amplitudowe takiego układu przed-



Rys. 4. Charakterystyki amplitudowe sprzęgacza w połączeniu tandemowym w funkcji sprzężenia sprzęgaczy

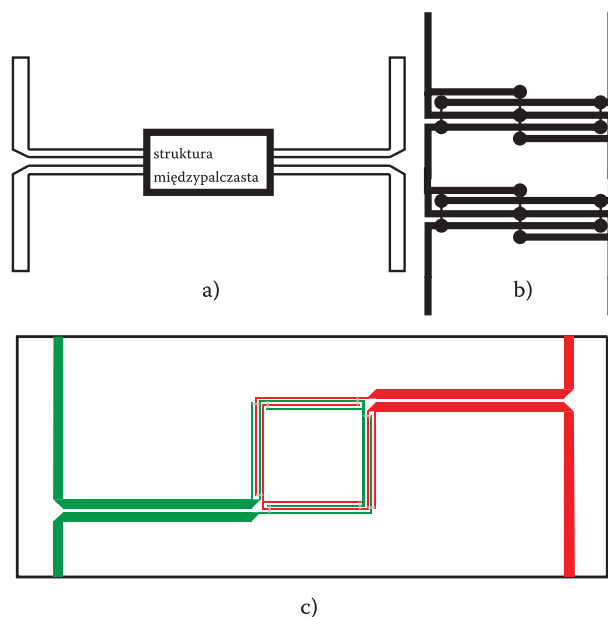


Rys. 5. Charakterystyki amplitudowe sprzęgacza tandemowego złożonego z dwóch sprzęgaczy 3 dB/90° (w funkcji długości elektrycznej linii sprzężonych)

stawiono na rysunku 4. Punkty charakterystyczne na tym wykresie odpowiadają sprzężeniu 8,34 dB, 0,69 dB i 3 dB. Dla pierwszych dwóch wartości sprzężeń zachodzi równość charakterystyk amplitudowych, co odpowiada sprzężeniu równym 3 dB całego tandemu. Dla sprzężenia równego 3 dB zachodzi izolacja jednych z wrót, jak przedstawiono to na rysunkach 4 i 5. Rozwiązanie takie stosuje się między innymi w układach wzmacniaczy zrównoważonych, filtrach kierunkowych, tłumikach i przełącznikach. Bardzo ważną zaletą tego typu układów jest zapewnienie dopasowania we wrotach wejściowych układu.

3. Sprzęgacz trójsekcyjny z zastosowaniem struktury międzypalczastej w połączeniu tandemowym

Zgodnie z powyższą dyskusją dużą wartość sprzężeń uzyskać można zgodnie z [4], stosując strukturę międzypalczastą w połączeniu tandemowym [1, 2]. Strukturę takiego rozwiązania przedstawia rysunek 6b. W sprzęgaczach wielosekcyjnych symetrycznych największe sprzężenie występuje w środku jego struktury. Linie łączące struktury międzypalczaste powinny mieć zerową długość. Zbliżanie struktur międzypalczastych powodowałoby zatem ich wzajemne sprzężenie. Poza tym linie podłączone do wrót sprzęgacza powinny być „parami” sprzężone. Bezpośrednie zastosowanie struktury przedstawionej na rysunku 6b nie przyniesie oczekiwan-

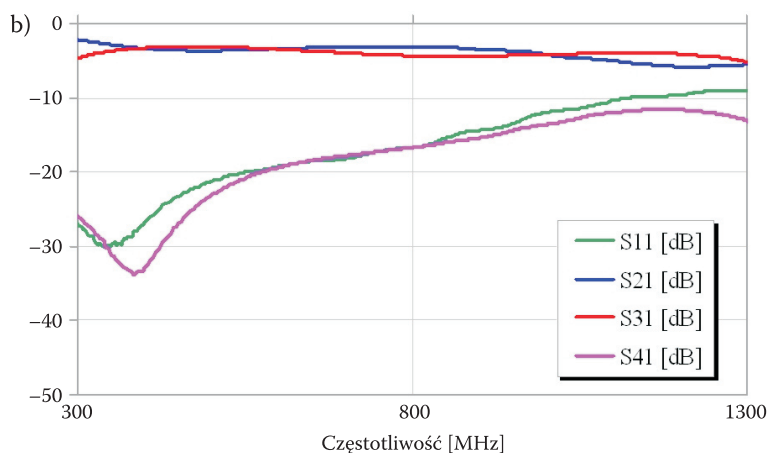
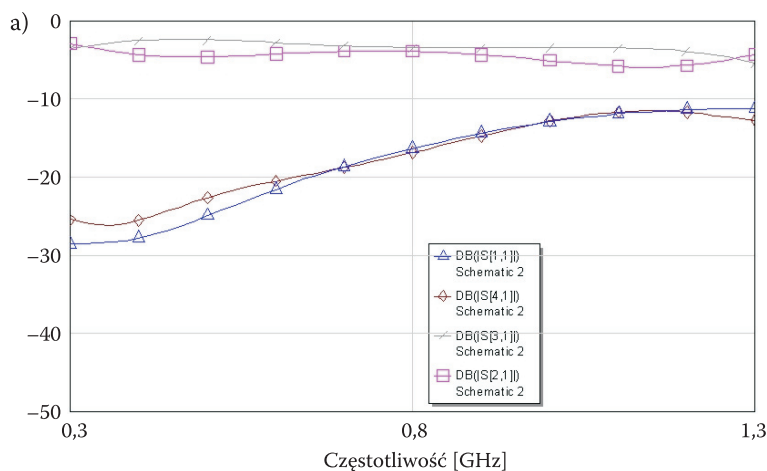


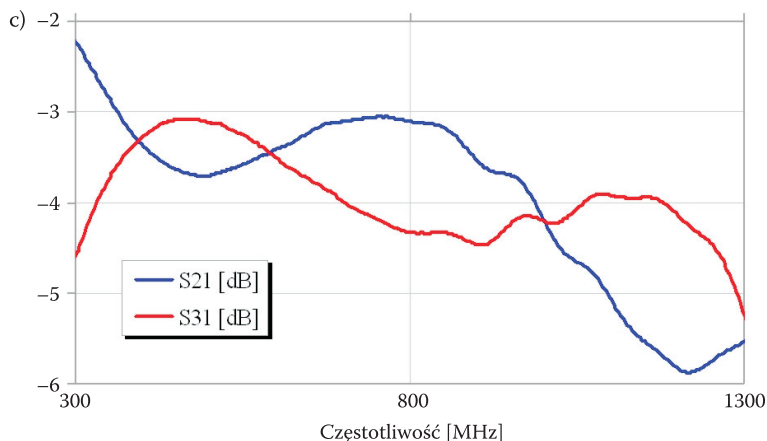
Rys. 6. Trójsekcyjny sprzęgacz zbliżeniowy (a), połączenie tandemowe dwóch sprzęgaczy o strukturze międzypalczastej (b) oraz pełna struktura sprzęgacza (c)

go rezultatu. Stosując rozwiązanie jak na rysunku 6c, można połączyć sprzęgacze praktycznie liniami o zerowej długości, a ramiona wyjściowe sprzęgacza mogą stanowić sekcje linii sprężonych. Uzyskano to dzięki „złamaniu” sekcji międzypalczastej pod kątem prostym. Spowodowało to wzajemne odsunięcie sprzęgaczy. Linie o strukturze międzypalczastej mogą mieć kształt półkoła, lecz wykonanie takich linii jest trudniejsze z punktu widzenia technologicznego.

4. Wyniki badań

Przedmiotem badań jest sprzęgacz o strukturze jak na rysunku 6c. Jego charakterystyki teoretyczne przedstawiono na rysunku 7a, zaś charakterystyki praktycznie wykonanego sprzęgacza o dwuoktawowym pasmie pracy przedstawiono na





Rys. 7. Charakterystyki teoretyczne (a) i wyniki badań praktycznie wykonanego sprzęgacza 3 dB (b i c)

rysunku 7 b. W sprzęgaczu tym zachodzi monotoniczny wzrost strat odbiciowych przy poprawnym podziale mocy we wrotach wyjściowych. Monotoniczność ta wynika z własności sprzęgacza tandemowego. W przypadku badań 3 dB sprzęgacza tandemowego o sprzężeniu 8,34 dB każdy, w oktawowym pasmie straty odbiciowe sięgają wartości 16 dB.

5. Podsumowanie

Zastosowanie struktury międzypalczastej pozwala na uzyskanie silnych sprzężeń. W proponowanym rozwiązaniu wykorzystano tę właściwość. Zastosowanie tej struktury pozwala na uzyskanie sprzężeń większych od 1 dB jednak zastosowanie połączenia tandemowego obniża pasmo pracy całego sprzęgacza. Gdy przyjmie się poziom strat odbiciowych na poziomie 15 dB, proponowane rozwiązanie może być stosowane w układach ponadoktaowych o współczynniku pokrycia pasma sięgającym wartości 3.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.01.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2006 r.

LITERATURA

- [1] E. G. CRISTAL, L. YOUNG, *Theory and Tables of Optimum Symmetrical TEM-Mode Coupled-Transmission Lines Directional Couplers*, IEEE Transac. on MTT, vol. MTT-13, no. 5, Sept. 1965.
- [2] H. GRUCHAŁA, *Układy mikrofalowe z rozdziałem w częstotliwości*, WAT, Warszawa, 1999.

- [3] J. P. SHELTON, J. M. MOSKO, *Synthesis and Design of Wide-Band Equal-Ripple TEM Directional Couplers and Fixed Phase Shifters*, IEEE on MTT, vol. 14, no. 10, Octob. 1966.
- [4] WEN PIN OU, *Design Equations for an Interdigitated Directional Couplers*, IEEE on MTT, vol. 23, no. 2, Feb. 1975.

M. CZYŻEWSKI, H. GRUCHAŁŁA-WĘSIERSKI, A. SŁOWIK

Application of interdigital structures in broadband directional couplers

Abstract. Comparative analysis of 3 dB directional couplers structures and its parameters has been done. The analysis has concerned branch couplers, gap couplers, „ $3/2\lambda$ ” and „0-180°” couplers made in microstrip technique. If we want to get broadband and high coupling, the tandem connection of multisection structures must be used. Some sections must have a coupling higher than 3 dB. The interdigital structures have been applied to get coupling of the order of 1 dB. We have got the new structure of directional couplers.

Experimental results of the directional couplers have confirmed results of theoretical analysis.

Keywords: microwave technique, directional couplers, interdigital structures

Universal Decimal Classification: 621.375.037.37

