

## Geniş Bantlı Mikroşerit Yönlü Kuplör Tasarımı ve Analizi

Ömer Aktaş, Sibel Yenikaya\*

Bursa Orhangazi Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,

Bursa

[omer.aktas@bou.edu.tr](mailto:omer.aktas@bou.edu.tr),

\*Uludağ Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,

Bursa

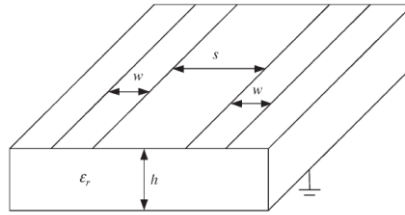
[sguler@uludag.edu.tr](mailto:sguler@uludag.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, geniş frekans bandı için bir mikroşerit yönlü kuplör tasarlandı ve analizi yapıldı. Tasarım parametrelerini elde etmek için sentez yöntemi kullanıldı. Bu yöntemle göre yönlü kuplörün boyutlarının kestiriminin yapılması için kuplaj seviyesi, frekans aralığı ve sonlandırma empedansı giriş verileri olarak yeterlidir. Daha kararlı sonuçlar elde etmek için mevcut modele ilave mikro şerit hatlar eklenerek tasarımda iyileştirmeler yapıldı. Analiz için analitik çözüm yapıp iki farklı EM benzetim yazılımı kullanıldı. Elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde verilmiş olup grafikleri sıralı olarak çizdirilmiştir.

**Abstract:** In this paper, a directional microstrip coupler is designed and analysed for a wide frequency interval. Synthesis method is used to obtain the parameters of the design precisely. According to this method, coupling level frequency and impedance are enough as inputs data to determine exact dimension of the design. To achieve better stable results, microstrip lines added to the standart design. Design parameters are obtained analytically and simulated with different EM simulation tools. The results are given in detail and illustrated respectively.

### 1. Giriş

Yönlü kuplör ideal olarak uyumlandırılmış dört portlu pasif devredir ve ideal şartlarda kayıpsızdır. Bu devreler mikroşerit, stripline, koaksiyel hat ve dalga kılavuzları kullanılarak gerçekleştirilebilirler[1]. Genellikle mikrodalga sistemlerinde, yansıyan ve iletilen güçlerin ölçümünde kararlı sonuçlar elde etmek için mikroşerit yönlü kuplörler kullanılırlar. Üretim için kullanılan literatürdeki tasarım yöntemleri, kuplörün fiziksel boyutunun bilgisine ihtiyaç duyar ancak sentez tekniği ile çift hatlı simetrik bir mikroşerit yönlü kuplörün fiziksel uzunluğu istenen çalışma frekansında verilen kuplaj seviyesi ve empedans yardımı ile hesaplanabilir. Şekil 1' mikroşerit hatlı yönlü kuplörün hesaplanacak fiziksel parametrelerini gösterilmektedir.



Şekil 1. Yönlü kuplör fiziksel parametreleri.

Tasarımın ilk aşamasında yönlü kuplör için kuplaj seviyesi, sonlandırılmış port empedansı ve çalışma frekansı ihtiyaç duyulan giriş değerleridir. Genellikle alüminyum, teflon, RO4003, FR4 ve RF-60 olan malzemeler kullanılarak bu pasif devre elemanı tasarlanır. Biz bu çalışmada yüksek sıcaklığa dayanıklı dielektrik malzeme olan TMM[2]'yi kullanacağız. Yönlü kuplörün fiziksel boyutu büyük oranda kuplaj seviyesine ve frekansa bağlı olarak değişir. Çalışmada, aynı zamanda, verilen farklı kuplaj seviyeleri için frekansa ek olarak dielektrik malzemeye bağlı olarak yönlü kuplörün fiziksel uzunluğunun değişimi gösterilmiştir.

### 2. Tasarım Adımları

Tasarım için ihtiyaç duyulan ilk veriler: çalışma frekansı, kuplaj seviyesi ve sonlandırılmış hat empedansıdır. Bu verilerden yola çıkarak tasarımın fiziksel boyutları bulunabilir. Tasarımı üç adımda yapılmaktadır ve bu yöntemle sentez yöntemi adı verilir[3].

## 2.1 Tek ve Çift Mod Empedansının Bulunması

$Z_0$  karakteristik empedans  $Z_{0o}$  tek mod  $Z_{0e}$  çift mod empedans değeri olmak üzere aralarındaki bağıntı şöyledir

$$Z_0 = \sqrt{Z_{0o}Z_{0e}} \quad (1)$$

$$Z_{0e} = Z_0 \sqrt{\frac{1+C}{1-C}} \quad \text{ve} \quad Z_{0o} = Z_0 \sqrt{\frac{1-C}{1+C}} \quad (2)$$

C burada kuplaj seviyesi olup birimi dB'dir. Bu veriler kullanılarak mikroşerit yönlü kuplörün fiziksel boyutları ve uzunluğu bulunabilir.

## 2.2 Fiziksel Boyutların Hesaplanması

Yönlü kuplörün fiziksel boyutlarına için mesafe oran hesabı (3) denklemi yardımı ile yapılabilir:

$$s/h = \frac{2}{\pi} \cosh^{-1} \left[ \frac{\cosh\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{w}{h}\right)_{so}'\right) + \cosh\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{w}{h}\right)_{so}\right) - 2}{\cosh\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{w}{h}\right)_{so}'\right) - \cosh\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{w}{h}\right)_{se}\right)} \right] \quad (3)$$

$$w/h = \sqrt{\frac{\left( \frac{R}{e^{42.4\sqrt{\epsilon_r+1}} - 1} \right)^{\frac{7+4/\epsilon_r}{11}} + \frac{1+1/\epsilon_r}{0.81}}{\frac{R}{e^{42.4\sqrt{\epsilon_r+1}} - 1}}} \quad (4)$$

burada  $R = \frac{Z_{0e}}{2}$ ,  $\left(\frac{w}{h}\right)_{se} = \frac{w}{h}|_R$  ve  $\left(\frac{w}{h}\right)_{so} = \frac{w}{h}|_R$  olarak tanımlanabilir.

$$\left(\frac{w}{h}\right)_{so}' = 0.78 \left(\frac{w}{h}\right)_{so} + 0.1 \left(\frac{w}{h}\right)_{se} \quad (5)$$

$$\frac{w}{h} = \frac{1}{\pi} \cosh^{-1}(d) - \frac{1}{2} \left(\frac{s}{h}\right) \quad (6)$$

$$d = \cosh\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{w}{h}\right)_{se}\right) (g+1) + g - 1$$

burada  $g = \cosh\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{w}{h}\right)\right)$  değerine eşittir. Bu formüller ile istenen mikroşerit hat hesapları yapılabilir.

## 2.3. Uzunluk Hesabı

Yönlü kuplörün uzunluğu (7) denklemi kullanarak hesaplanır,

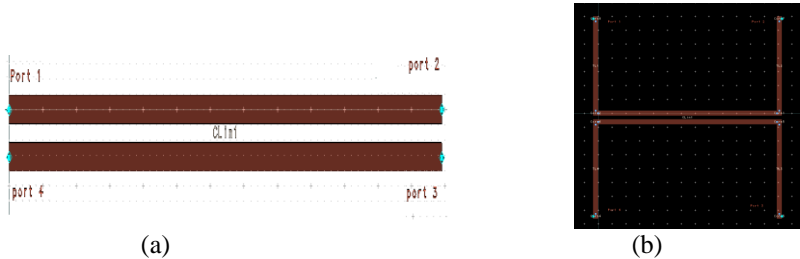
$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{ef}}} \quad (7)$$

$$\epsilon_{ef} = \left( \frac{\sqrt{\epsilon_{efe}} + \sqrt{\epsilon_{efo}}}{2} \right)^2 \quad (8)$$

Burada  $l$  yönlü kuplörün uzunluğu,  $f$  çalışma frekansını ve  $\epsilon_{ef}$  efektif geçirgenlik sabitini ifade etmektedir.  $\epsilon_{efe}$  ve  $\epsilon_{efo}$  sabitlerinin değerleri tek-çift mod kapasitelerine bağlıdır. Hesaplamalarına ilişkin bilgi için bakınız [3].

## 3. Analiz Sonuçları ve Simülasyon Değerleri

Sayısal analiz yapılarak, ADS Momentum[4] ve Qucs[5] benzetim programları kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil-2a'da standart model ve Şekil-2b'de ise ilave hatlar eklenerek iyileştirilmiş yönlü kuplörün baskı devre şeması görülmektedir.

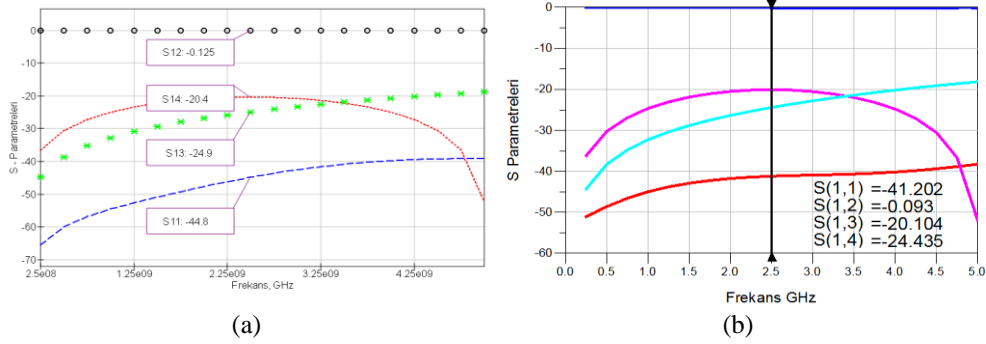


Şekil 2. Yönlü kuplör baskı şeması a) Standart model b) İlave hatlar eklenmiş model

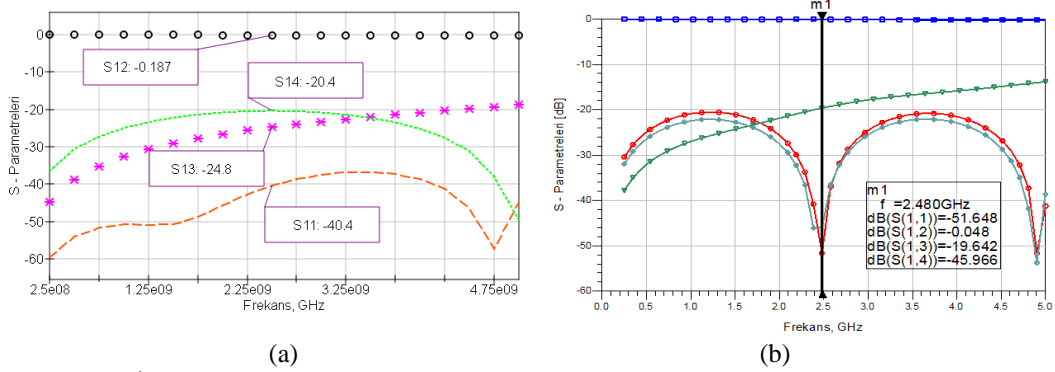
Yönlü kuplörün boyutlarına ait hesaplamalar Tablo-1 de verilmiştir ve s-parametrelerine ait grafikler Şekil-3 ve 4'te gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda  $\epsilon_r = 4.5$  olan TMM4[5] dielektrik malzemesi kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Yönlü kuplörün 2.5 GHz merkez frekansında boyutlarının benzetim sonuçları.

$\epsilon_r$	$C$ [dB]	QUCS			ADS		
		$w$ [mm]	$s$ [mm]	$l$ [mm]	$w$ [mm]	$s$ [mm]	$l$ [mm]
4.5	10	0.332039	0.0438801	16.6523	0.392208	0.052997	16.7815
6	10	0.266548	0.0533795	14.7519	0.313015	0.062966	14.8829
9.2	10	0.184266	0.0690312	12.2721	0.213372	0.078897	12.4042
12.85	10	0.131856	0.0817162	10.597	0.149803	0.090941	10.7321
4.5	15	0.375519	0.141656	16.444	0.446344	0.163198	16.5123
6	15	0.300108	0.15458	14.5683	0.355321	0.176118	14.6414
9.2	15	0.206311	0.174449	12.1311	0.241938	0.195109	12.2092
12.85	15	0.147158	0.18978	10.4874	0.170303	0.208289	10.5686
4.5	20	0.388718	0.289025	16.3303	0.463627	0.329216	16.39
6	20	0.310027	0.29959	14.4689	0.368543	0.337822	14.532
9.2	20	0.212686	0.317011	12.0567	0.250705	0.351122	12.122
12.85	20	0.151599	0.331376	10.4319	0.17657	0.360197	10.4967



**Şekil 3.** Standart modelin 2.5 GHz’de analiz sonuçları  $C = 20$  dB,  $\epsilon_r = 4.5$  a) QUCS b) ADS



**Şekil 4.** İlave hatlar eklenmiş model analiz sonuçları  $C = 20$  dB,  $\epsilon_r = 4.5$  a) QUCS b) ADS

Diğer dielektrik malzemeler TMM3, TMM6 TMM10 ve TMM13 için de hesaplama ve çözümler yapılmıştır, bu malzemeler için [5] kaynağına bakılabilir. Şekil 3 ve Şekil 4’te iki model için de kuplaj S13, izolasyon S14, yansıma S11 ve iletim S12 değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan bu yöntemin yüksek frekanslarda çok iyi sonuçlar üretmediği görülmüştür. 5 GHz’den sonraki değerlerde yönlü kuplörün boyutları küçüldüğü şeritler arası mesafe de mikrometre mertebeler seviyesinde olduğu için istenen kararlı sonuçlar alınamamıştır. C bandı için düşük dielektrik sabitine sahip malzemeler kullanılarak nispeten daha iyi sonuçlar (yönelticilik, kuplaj ve izolasyon) elde edilmiştir[6]. Yüksek frekans değerleri için önerilecek iyileştirme ise yönlü kuplöre ilave hatlar eklenerek yapının uzatılmasıdır.

### Kaynaklar

- [1] Pozar D. M., Microwave Engineering, John Wiley & Sons, 4.baskı, 2011.
- [2] TMM® Thermoset Microwave Materials Datasheet, <https://www.rogerscorp.com/acs/producttypes/8/TMM-Laminates.aspx>
- [3] Eroğlu A., Lee J.K., “Complete Design of Microstrip Directional Couplers Using Synthesis Technique”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, no:57, 2008.
- [4] Agilent Advanced Design System 2014.01, <http://www.keysight.com/>
- [5] Quite Universal Circuit Simulator 0.0.18, <http://qucs.sourceforge.net/>
- [6] Valente G., Montisci G., Mariotti S., “ High Performance Microstrip Directional Coupler for Radio Astronomical Receivers at Cryogenic Temperature”, Electronic Letters, cilt.40 no.6, s.449-451, 2014.