



## **Deney 4: Yönlü Kuplör**

### **1 Amaç**

1. Mikroşerit tabanlı bir yönlü bağdaştırıcının (directional coupler) temel parametrelerini ölçmek: bağlaşım (coupling), araya girme kaybı (insertion loss), yalıtım (isolation) ve yönlülük (directivity).
2. Bu parametrelerin çalışma frekansına göre nasıl değiştiğini incelemek.
3. Yönlü bağdaştırıcıların mikrodalga sistemlerde nasıl kullanıldığını ve bu devrelerin S-parametreleri üzerinden nasıl karakterize edildiğini öğrenmek.

### **2 Ön Hazırlık Soruları**

1. Yönlü bağdaştırıcının çalışma prensibini açıklayınız. Portların görevlerini ve aralarındaki güç dağılımını şematik olarak gösteriniz.
2. Bağlaşım (coupling), araya girme kaybı (insertion loss), yalıtım (isolation) ve yönlülük (directivity) terimlerini tanımlayınız ve formüllerini yazınız.
3. Yönlü bağdaştırıcı kullanılarak bir devrede yansıyan gücün nasıl ölçülebileceğini açıklayınız.
4. Geri dönüş kaybı (return loss) ve yönlülük arasındaki ilişkiyi yorumlayınız.
5. Mikroşerit yönlü bağdaştırıcı tasarımında kullanılan temel parametreleri (substrat kalınlığı, dielektrik sabiti, iletken genişliği vb.) açıklayınız.
6. 10 dB kuplajlı bir bağdaştırıcı için teorik olarak “coupled”, “through” ve “isolation” portlarındaki güç değerlerini hesaplayınız. ( $P_{in} = 0$  dBm kabul ediniz.)
7. Spektrum analizörü ve RF sinyal üretici kullanarak yönlü kuplörün  $S_{11}$  parametresini ölçmek isteniyor. Bu ölçüm nasıl yapılır? Bu ölçüm için eksik bir ölçüm ekipmanı var mıdır? Ne dersiniz?

### **3 Temel Kavramlar**

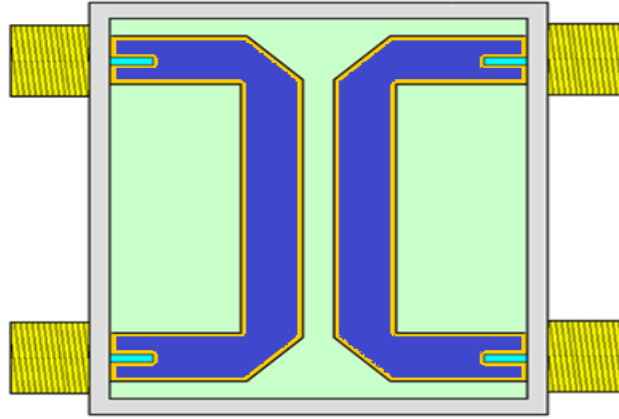
#### **3.1 Giriş**

Yönlü bağdaştırıcılar, mikrodalga sistemlerde sinyalin belirli bir kısmını ana iletim hattından örneklemek için kullanılan dört portlu pasif devre elemanlarıdır. Bu elemanlar güç ölçümü, yansıma katsayısı ( $S_{11}$ ) belirleme, sinyal izleme ve geri besleme kontrolü gibi uygulamalarda kullanılır. Şekil 4-1’de örnek bir yönlü kuplörün yapısı, Şekil 4-2’de ise S parametreleri verilmiştir:

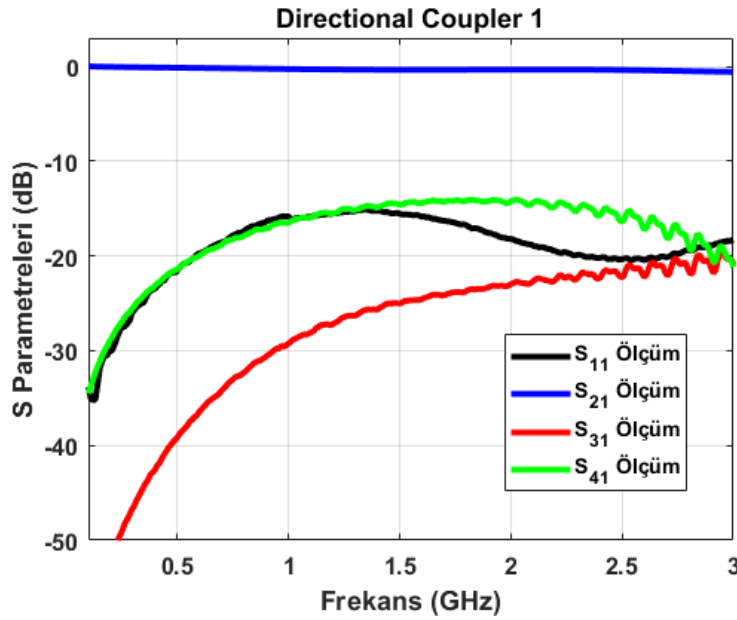
Bir yönlü bağdaştırıcının tipik dört portu aşağıdaki gibi tanımlanır:

- **Port 1 (Input):** Giriş gücü uygulanır.
- **Port 2 (Through):** Ana gücün büyük kısmı buradan çıkar.
- **Port 3 (Coupled):** Giriş gücünün küçük bir kısmı alınır (örnekleme portu).
- **Port 4 (Isolated):** Teorik olarak güç iletilmemesi beklenen porttur.

Bu yapıda bağlaşım, yalıtım ve yönlülük değerleri genellikle dB cinsinden ölçülür:



Şekil 4-1. Yönlü bağdaştırıcı (mikroşerit yönlü kuplör).



Şekil 4-2. Bir yönlü bağdaştırıcının S parametrelerinin frekansa göre dB cinsinden değişimi.

$$\text{Coupling (C)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{in}}{P_{coupled}} \right) \quad (4-1)$$

$$\text{Isolation (I)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{in}}{P_{isolated}} \right) \quad (4-2)$$

$$\text{Insertion Loss (IL)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{in}}{P_{through}} \right) \quad (4-3)$$

$$\text{Directivity (D)} = I - C \quad (4-4)$$

Bu parametreler, bağdaştırıcının kalitesini ve yönlülük performansını belirler.



#### 4 Gerekli Ekipmanlar

- Spektrum Analizörü (3 GHz)
- RF Sinyal Üretici (3 GHz)
- Vektör Network Analizörü (VNA)
- Kablo ve Konnektörler
- Yönlü Bağdaştırıcı (Directional Coupler)
- 50  $\Omega$  sonlandırıcı (terminatör) yükler

#### 5 Deneyin Yapılışı

##### 5.1 Ölçüm Hazırlığı

###### Önemli:

- Deneyde kullanılacak cihaz Vektör Network Analizör (VNA)'dır.
  - Kullanılan mikroşerit yönlü bağdaştırıcı dört portludur: Giriş (Port 1), İletim (Port 2), Bağlaşım (Port 3) ve Yalıtım (Port 4).
  - Ölçüm sırasında VNA yalnızca iki portu aktif olarak kullanır. Diğer iki port, hatalı yansımaları önlemek için 50  $\Omega$  sonlandırıcı yük ile kapatılmalıdır.
1. Önce VNA'nın port kalibrasyonunu (SOLT: S: short, O: open, L: load, T: through) yapınız. (Laboratuvarda kalibrasyon işlemini araştırma görevlileri tek bir defa gösterecektir, lütfen not alınız.)
  2. Ölçmek istediğiniz iki portu (örneğin Port 1–2) VNA'ya bağlayınız.
  3. Ölçüm yapılmayan portları 50  $\Omega$  terminatörlerle sonlandırınız.
  4. VNA'yı 2.0–3.0 GHz (veya devrenin tasarım frekans aralığına göre) süpürme (sweep) moduna alınız.
  5. Ölçüm ekranında S-parametreleri ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$ ) için ayrı ayrı ölçüm alınacaktır.
  6. Ekrandaki kursor (marker) ile her bir kritik noktadaki S parametresini not ediniz.

##### 5.2 Ölçüm Adımları

###### a) Coupling (Bağlaşım) Ölçümü

- Port 1 giriş, Port 4 çıkış olarak bağlanır.
- Port 2 ve Port 3, 50  $\Omega$  ile sonlandırılır.
- VNA'da  $S_{41}$  parametresini ölçünüz.
- Coupling faktörü:

$$C \text{ (dB)} = -|S_{41} \text{ (dB)}| \quad (4-5)$$

###### b) Insertion Loss (Araya Girme Kaybı) Ölçümü

- Port 1 giriş, Port 2 çıkış olarak bağlanır.
- Port 3 ve Port 4, 50  $\Omega$  ile sonlandırılır.
- $S_{21}$  parametresini ölçünüz.



$$IL \text{ (dB)} = - |S_{21} \text{ (dB)}| \quad (4-6)$$

#### c) Isolation (Yalıtım) Ölçümü

- Port 1 giriş, Port 3 çıkış olarak bağlanır.
- Port 2 ve Port 4, 50  $\Omega$  ile sonlandırılır.
- $S_{31}$  parametresini ölçünüz.

$$I \text{ (dB)} = - |S_{31} \text{ (dB)}| \quad (4-7)$$

**Not (modülde kontrol ediniz):** Bu bölümdeki ölçüm düzeni (bağlaşım için  $S_{41}$ , yalıtım için  $S_{31}$ ) Şekil 4-2'deki eğrilerle uyumludur: yüksek değerli eğri ( $S_{41}$ ) bağlaşım, daha düşük değerli eğri ( $S_{31}$ ) yalıtımdır. Temel Kavramlar bölümündeki port tanımında ise Port 3 bağlaşım, Port 4 yalıtım portu olarak anılmıştır. Bağlantıyı modül üzerindeki port işaretlerine göre yapınız; ayırım her durumda şudur: giriş portundan sinyalin küçük bir kısmını alan port bağlaşım portudur, çok daha küçük bir kısmını alan port yalıtım portudur.

#### d) Directivity (Yönlülük) Hesabı

- Ölçülen değerlerden yönlülüğü hesaplayınız.

$$D \text{ (dB)} = I \text{ (dB)} - C \text{ (dB)} \quad (4-8)$$

Sonuçları Tablo 4-1'de toplayınız.

**Tablo 4-1.** Ölçüm sonuçlarının toplanması.

| Frekans<br>(GHz) | $S_{21}$<br>(dB) | $S_{31}$<br>(dB) | $S_{41}$<br>(dB) | Insertion Loss<br>(dB) | Coupling<br>(dB) | Isolation<br>(dB) | Directivity<br>(dB) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| 2.0              |                  |                  |                  |                        |                  |                   |                     |
| 2.2              |                  |                  |                  |                        |                  |                   |                     |
| 2.4              |                  |                  |                  |                        |                  |                   |                     |
| 2.6              |                  |                  |                  |                        |                  |                   |                     |
| 2.8              |                  |                  |                  |                        |                  |                   |                     |

### 5.3 Raporda Bulunması Gerekenler

1. Deney sonuçları tablo ve grafikler ile desteklenerek (gerekirse vektör network analizör çıkış grafiği için dijital fotoğraf kullanabilirsiniz) sunulacaktır. Ölçülen S-parametrelerini MATLAB ortamına aktarınız.



2. Frekansa göre Coupling, Isolation ve Directivity eğrilerini çiziniz.
3. Elde edilen grafiklerden merkez frekansı ve bağdaştırıcının çalışma bandını belirleyiniz.
4. Bu deneyden öğrenilenler maddeler halinde yazılacaktır.

#### 6 Deney Sonu Soruları

1. Tablo 4-1'deki ölçüm sonuçlarına göre kuplörün bağlaşım, araya girme kaybı ve yalıtım değerleri 2.0–3.0 GHz aralığında frekansla nasıl değişmiştir? Sonuçlarınızı Şekil 4-2'deki eğrilerle karşılaştırınız.
2. Hesapladığınız yönlülük değeri frekansla nasıl değişmiştir? Yönlülüğün düşük çıkmasına yol açabilecek etkenleri (imalat toleransı, sonlandırıcı uyumsuzluğu, konnektör ve kablo kayıpları vb.) tartışınız.
3. Ölçüm sırasında kullanılmayan portların 50  $\Omega$  ile sonlandırılması neden gereklidir? Bir port açık devre bırakılsaydı ölçülen S parametreleri nasıl etkilenirdi?
4. Ölçtüğünüz bağlaşım ve araya girme kaybı değerlerinden, giriş gücünün yüzde kaçının through ve coupled portlarına ulaştığını hesaplayınız. Kalan güç nereye gitmiştir?