



Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mikrodalga ve Anten Laboratuvarı I
Deney Föyleri

Laboratuvarın Yeri ve Sorumluları

Şube	Öğretim Türü	Yer	Dersin Öğretim Üyesi	İletişim Bilgileri
A	Normal	E10-206	Prof. Dr. Evren EKMEKÇİ	evrenmekci@sdu.edu.tr
B	Normal	E10-206	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ahmet GÖZEL	mahmutgozel@sdu.edu.tr

Dersin yardımcı öğretim elemanı

Arş. Gör. Dr. Elif Merve KÜÇÜKÖNER

iletişim bilgisi : elifkucukoner@sdu.edu.tr**Dersin Notlandırılması**

% 10 Ara Sınav + % 15 Ön hazırlık + % 15 Rapor + % 10 Performans + % 50 Final

Mikrodalga ve Anten Laboratuvarı I dersin devamını daha önceden almış öğrenciler, dersin dönem başında belirlenen telafi haftasında gerçekleştirilmek üzere, en az iki deneyin uygulaması yapacaklardır. Dersin devamını daha önceden almış öğrenciler Ön Hazırlık, Performans ve Deney Raporu notlarını bu belirlenen deneylerden aldıkları notların aritmetik ortalaması ile alacaklardır. Bu öğrenciler önceden talep etmeleri halinde ikiden fazla deneye katılıp değerlendirmeye tabi olabilirler. Telafi haftasında geçerli mazereti olan öğrenciler dersin öğretim üyesi/elemanına önceden bildirmeleri ve olur almaları halinde belirlenen başka bir zaman aralığında da deneyleri yapabilirler. Daha önce devamını alıp aktif dönemde hiç bir deneyin uygulamasına katılmayan öğrencinin Ön Hazırlık, Performans ve Deney Raporu notları 0 (sıfır) olarak verilir.

Laboratuvar Kuralları

1. Derse %80 devam zorunludur. İki adet laboratuvar dersine yasal mazereti (sağlık raporu, öğrenci izni v.b.) olmadan katılmayan öğrenci dersten kalır.
2. Öğrenciler, deney ön hazırlık raporlarını bireysel, deney sonuç raporlarını grup halinde hazırlamak zorundadır.
3. Dönem içerisinde öğrenciler geçerli mazeret sunmadan ve öğretim üyesinin iznini almadan grup değişikliği yapamaz.
4. Ders sırasında cep telefonlarının kapalı tutulması gerekmektedir.
5. Laboratuvar ortamına yiyecek ve içecek getirilmesi yasaktır.
6. Ders çıkışı deney cihazlarının kapalı konuma getirilmesi ve deney masasının düzenli bırakılması gerekmektedir.
7. Laboratuvar içerisindeki malzemelerin ve cihazların laboratuvar dışına çıkarılmaması gerekmektedir.

DENEY NO	1
DENEYİN ADI	Mikrodalga ve Anten Laboratuvarına Giriş

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) Bir ucu N tipi, diğer ucu SMA tipi konnektörler ile sonlandırılmış 150 cm uzunluğunda iki adet koaksiyel kablo.

Amaç

Bu deneyin amacı, Mikrodalga ve Anten Laboratuvarı I dersi deneylerinde kullanılacak olan Rohde-Schwarz FPC1500 spektrum analizörünün tanıtılması ve cihazın koaksiyel kablo testinde kullanılması olacaktır.

Giriş

Bu kısımda, deneyle ilgili bazı tanımlara yer verilmiştir.

Spektrum Analizör: Giriş sinyalinin frekansa göre büyüklüğünü (genliğini) görüntüleyen cihazlardır [1]. Deneylerde kullanılacak olan Rohde-Schwarz Marka FPC1500 model spektrum analizöre ait bir fotoğraf Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Bu cihaz ile 5 kHz ile 3 GHz frekansları arasındaki frekans spektrumun görüntülenmesi mümkün olabilmektedir.

Koaksiyel Kablo: Tipik olarak radyo frekanslarındaki (RF) sinyallerin iletimi için kullanılan iletim hatlarıdır [2].



Şekil 1.2. Rohde-Schwarz Marka FPC1500 model spektrum analizör

Deney Ön Hazırlık Çalışmaları

- 1) Saçılma parametreleri (S parametreleri, scattering parameters) nedir araştırınız.
- 2) Laboratuvar ortamında deneylerde kullanılacak olan RG6/U4 ve RG58 C/U tipi koaksiyel kabloların elektriksel özelliklerini ve tasarım parametrelerini içeren veri yapraklarına (datasheet) internet üzerinden ulaşınız. Veri yapraklarında bulunan teknik bilgileri kullanarak CST STUDIO SUITE® Learning Edition [3] ile her bir koaksiyel kablo tipinden 10 cm uzunluğunda tasarlayınız ve bu iletim hatlarının 100 MHz -1 GHz frekans aralığında karmaşık S parametrelerini (genlik ve faz bilgileri ile birlikte) elde ediniz. CST STUDIO SUITE® Learning Edition [3] numaralı kaynakçada verilen link üzerinden ücretsiz olarak temin edilebilir. Elde ettiğiniz sonuçları ön hazırlık çalışması olarak raporlayıp sonuçları yorumlayınız.
- 3) Aşağıdaki kavramları açıklayınız.
 - a. Radyo frekansı (RF),
 - b. Empedans uyumu ve empedans uyumsuzluğu,
 - c. Maksimum güç transferi,
 - d. Ekleme kaybı (insertion loss),
- 4) $x(t) = 10 \sin(1000\pi t)$ sinyalini için:
 - a. $x(t)$ sinyalini yatay ve düşey eksenleri düzgün bir biçimde birimlendirerek çizin. Çizim için bilgisayar programı ya da ölçekli kağıt/milimetrik kağıt kullanabilirsiniz.
 - b. $x(t)$ sinyalinin Fourier dönüşümü $X(f)$ 'i hesaplayıp çizin.
 - c. $x(t)$ ve $X(f)$ sinyallerini laboratuvar ortamında ölçmek için bir cihaz ve düzenek öneriniz.
- 5) Özellikle RF ve mikrodalga frekanslarında güç ölçümlerinde kullanılan aşağıdaki ifadeleri açıklayınız.
 - a. dB
 - b. dBm
 - c. dBmV
 - d. dBmikrovolt (dBμV).
- 6) Aşağıdaki dönüşümler için gerekli olan formülleri araştırınız ve yazınız.
 - a. dBm den dBmV'ye
 - b. dBm den dBμV'ye
 - c. 1W ve 1 mW güç değerlerinin dBm, dBmV, dBμV karşılıklarını hesaplayınız.
- 7) RF ve/veya mikrodalga bölgesinde sıklıkla kullanılan aşağıda listelenen iletim hatlarının tasarım parametrelerini ve kullanım alanlarını araştırıp açıklayınız.
 - a. Koaksiyel kablo (coaxial cable),
 - b. Mikroşerit hat (microstrip line),
 - c. Şerit hat (stripline),
 - d. Düzlemdeş dalgakılavuzu (coplanar waveguide),
 - e. Dalga kılavuzu (waveguide).

- 8) Bir iletim hattının karakteristik (öz) empedansı ne ifade eder? İletim hatlarında karakteristik empedans değerleri için neden 50 Ω veya 75 Ω standart değerleri kabul edilmiştir, açıklayınız. 50 Ω ve 75 Ω değerlerinden başka standart kabul edilen karakteristik empedans değerleri var mıdır?

Uygulama ve Deney Adımları

- 1) Spektrum analizörü çalıştırınız.
- 2) Spektrum analizör çalışma frekans aralığı olarak size laboratuvarı verilen frekansa uyumlu bir aralık ayarlayınız.
- 3) Spektrum analizör bünyesindeki RF sinyal üretici çıkışına (*Gen. Output*) ve spektrum analizördeki RF sinyal girişine (*RF Input*) 150 cm uzunluğunda koaksiyel kabloları bağlayınız.
- 4) Spektrum analizörü kalibre ediniz.
- 5) Spektrum analizör üzerinden kalibrasyonun sağlıklı olup olmadığını kontrol ediniz.
- 6) RF adaptörler yardımıyla ölçümünü gerçekleştireceğiniz RF kabloyu bağlayın ve yansıma ve iletim spektrumlarını gözlemleyiniz.
- 7) Deney yoluyla elde ettiğiniz sonuçları, deney öncesinde yaptığınız benzetim sonuçları ile karşılaştırıp yorumlayınız.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Deney düzeneği şematik olarak gösterin ve deney adımlarını detaylı bir şekilde anlatınız.
- 2) Deney sonuçlarını tablo ve grafikler ile destekleyerek (gerekirse spektrum analizör çıkış grafiği için dijital fotoğraf kullanabilirsiniz) sununuz.
- 3) Deney sonuçlarını yorumlayınız.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrum_analyzer
[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial_cable
[3] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>

Erişim tarihi: 13.09.2023.

DENEY NO	2
DENEYİN ADI	Yönlü Bağlaştırmacı (Directional Coupler)

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) Mikroşerit yönlü bağlaştırmacı (kuplör).
- 3) 2 adet 50 Ω BNC(m) yük.
- 4) Gereli bağlantı kabloları ve adaptörler.

Önemli Not

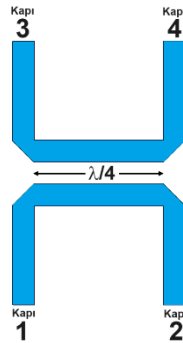
Deney için gerekli benzetimler (simülasyonlar) ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

Bu deneyin amacı, RF ve mikrodalga teknolojisinde kullanılan mikroşerit iletim hattı tabanlı yönlü bağlaştırmacı (kuplör) tasarımının gerçekleştirilmesidir. Her deney grubu kendilerine atanmış olan çalışma frekansına (bkz. deney föyü sonu) göre tasarımını gerçekleştirmektedir. Tasarlanan yönlü bağlaştırmacı devresinin deney öncesinde benzetimleri yapılacak ve deney sırasında deney guruplarına temin edilecek bağlaştırmacıların ölçümleri gerçekleştirilecektir. Bu sayede, elde edilen sonuçların incelenmesi ve karşılaştırılması ile yönlü bağlaştırmacıların çalışma prensibinin pekiştirilmesi amaçlanmıştır.

Giriş

Yönlü bağlaştırmacılar dört kapılı pasif mikrodalga devre elemanlarıdır [2]. Mikrodalga ve Anten Laboratuvarı I dersinde kullanabileceğiniz türden bir mikroşerit yönlü bağdaştırıcı için şematik görünüm ve kapıların isimlendirilmesi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Burada bağlaştırmacıya güç giriş kapısından (giriş portundan) uygulanmakta, uygulanan gücün bir kısmı bağlaştırmacıya aktarılmakta ama genellikle büyük bir kısmı iletim portuna iletilmektedir. Teoride yalıtım portuna hiç güç aktarılmaz [2].



Şekil 2.1. Mikroşerit yönlü bağlaştırmacı için örnek bir şematik görünüm

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) Yönlü bağdaştırıcı tasarımı nasıl yapılır? Bir yönlü bağdaştırıcı tasarım parametreleri nelerdir araştırınız. Gerekli grafik/şekiller ile destekleyip açıklayınız.
- 2) Bir yönlü bağdaştırıcı için bağlaşım (kuplaj) faktörü (coupling factor), araya girme kaybı (insertion loss), yalıtım (isolation) ve yönlülük (directivity) değerlerini açıklayınız.
- 3) Bir mikrodalga devresinde yansıyan güç ölçüm yöntemlerini araştırarak gereçli araç/gereç ve deney düzenekleri ile birlikte açıklayınız.
- 4) Bir yansımölçer (reflectometer) nedir, çalışma prensibini araştırıp raporlayınız.
- 5) Mikrodalga devre veya sistemlerde geri dönüş kaybı (return loss (RL)) nasıl meydana gelir? Sistemde meydana gelen RL nasıl ölçülebilir?
- 6) Mikroşerit iletim hatlarında karakteristik empedansın bağlı olduğu tasarım parametrelerini formüller yardımı ile açıklayınız.
- 7) Mikroşerit yönlü bağdaştırıcı tasarımı için seçeceğiniz taban malzemesinin (alttaş, substrat) dielektrik sabiti, kayıp tanjantı ve malzeme kalınlığı gibi parametrelerin tasarımıyla neleri etkileyebileceğini teorik olarak tartışınız.

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Deney kapsamı, temel olarak üç temel işlem adımından oluşmaktadır.

- 1) **Tasarım:** Bu işlem adımında, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) için ve 800 MHz merkez frekansı için yönlü bağdaştırıcı devresi tasarımı gerçekleştiriniz.
- 2) **Benzetim:** Tasarlanan mikroşerit yönlü bağdaştırıcı devresi için benzetim programında, devrenin:
 - a. Bağlaşım (kuplaj) faktörü (Coupling Factor),
 - b. Araya girme kaybı (Insertion Loss),
 - c. Yalıtım (Isolation)
 - d. Yönlülük (Directivity) değerlerini elde ediniz.
- 3) **Ölçüm:** Ölçümler 800 MHz için tasarlanmış ve üretimi yapılmış yönlü bağdaştırıcı için yapılacaktır. Bu yönlü bağdaştırıcı deney sırasında size verilecektir.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Tasarımı yapılan yönlü bağdaştırıcı için tasarım kriterleri belirtiniz. Tasarımın hangi parametreye göre değişim gösterdiği ve bu değişimin tasarımda nelerin değişimine sebep olduğu belirtiniz.
- 2) Ölçüm için yönlü bağdaştırıcının port numaralarını da göstererek iletim ve yansım için deney ölçüm düzeneklerini şematik olarak gösteriniz. Çizimler üzerinde kablo bağlantılarını ve kullandıysanız adaptörleri belirtiniz.
- 3) Benzetim ve ölçüm sırasında elde edilen bağlaşım faktörü, araya girme kaybı, yalıtım ve yönlülük değerleri tablo şeklinde gösterilecek ve karşılaştırmalı olarak yorumlayınız.

- 4) Benzetim sonucu çıktıların S parametreleri cinsinden grafiksel olarak raporunuza ekleyiniz. Grafikteki S parametre değerlerinin bağdaştırıcının hangi parametresine karşılık geldiği belirtiniz.
- 5) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 6) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	800 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynaklar

- [1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>

Erişim tarihi: 13.09.2023.

- [2] David M Pozar, *Mikrodalga Mühendisliği*, Palme Yayıncılık, 2014.

DENEY NO	3
DENEYİN ADI	Halka Karma Bağlaştırmacı (Ring Hybrid Coupler, Rat-Race Coupler)

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) İki adet 50 Ω SMA(m) yük.
- 3) Bir adet halka karma bağlaştırmacı.
- 4) Gereli bağlantı kabloları ve adaptörler.

Önemli Not

Deney için gerekli benzetimler ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

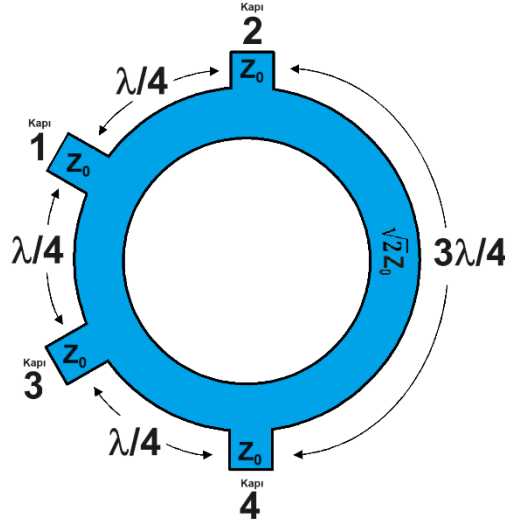
Bu deneyin amacı, mikrodalga devrelerinde sıklıkla kullanılan halka karma bağlaştırmacının çalışma prensibini anlamak, tasarımı ve benzetimini gerçekleştirmek ve üretimi yapılmış bir devre üzerinden ölçümlerini gerçekleştirerek ve sonuçları yorumlamaktır.

Giriş

Halka karma bağlaştırmacı (ring hybrid coupler) devresi dört kapılı bir devre elemanıdır. Fare kapanı bağlaştırmacı (rat-race coupler) adı ile de anılmaktadır [2]. Halka karma bağlaştırmacının şematik görünümü Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Devrede giriş sinyali 1 numaralı kapıdan uygulandığında çıkış, 2 ve 3 numaralı kapılardan eşit genlik ve fazda elde edilir ve 4 numaralı kapı izole olur. Bunun yanında giriş sinyali 2 numaralı kapıdan uygulandığı zaman çıkış, 1 ve 4 numaralı kapılardan eşit genlikte fakat 180° faz farkı ile alınır. Bu durumda 3 numaralı kapı izole olur [2]. Devre aynı anda iki kapının giriş olarak kullanılması ile karıştırıcı (combiner) olarak kullanılabilir. Örneğin 2 ve 3 numaralı kapılardan giriş uygulandığında 1 numaralı kapıdan 2 ve 3 numaralı kapılardan uygulanan sinyalin toplamı, 4 numaralı kapıdan da farkı alınır [2].

İdeal bir 3 dB halka karma bağlaştırmacının çalışma prensibinin anlaşılması için devrenin saçılma parametreleri matrisi (3.1) de verilmiştir [2].

$$[S] = \frac{-j}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. Halka karma devresi için örnek bir şematik görünüm.

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) ABCD parametreleri nedir, araştırınız.
- 2) Halka karma bağdaştırıcı için ABCD parametreleri kullanarak çift-tek (even-odd) mod analizini gerçekleştirerek devrenin çalışma prensibini açıklayınız.
- 3) Halka karma bağdaştırıcı tasarımı nasıl yapılır? Bir halka karma bağdaştırıcı tasarım parametreleri nelerdir? Gerekli grafik/şekiller ile destekleyip açıklayınız.
- 4) İdeal olmayan bir karma halka bağdaştırıcı için S-parametrelerinde ne gibi değişiklikler olabileceğini tartışınız.
- 5) Halka karma bağdaştırıcının kullanım alanlarını araştırınız ve her bir kullanım alanı için belirgin örnekler veriniz.

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Ön hazırlık uygulama çalışmaları ve deney, temel olarak üç temel işlem adımıyla oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 4) **Tasarım:** Bu işlem adımı, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) için ve 950 MHz merkez frekansı için bir halka karma devresi tasarlayınız. Tasarımlar sırasında elinizde dielektrik kalınlığı 1,5 mm, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,26$ ve kayıp tanjantı $\tan \delta_c = 0,0058$, bakır kalınlığı 35 μm olan bir taban malzemesi olduğunu varsayınız.
- 5) **Benzetim:** Tasarımları yapılan mikroşerit yönlü bağdaştırıcı devrelerinin CST STUDIO SUITE® Learning Edition ile benzetimlerini yapınız ve benzetimler sonucu elde edilecek frekansa bağlı tüm S parametreleri grafiklerini kullanarak denklem (3.1) de verilen S-parametrelerini ne kadar sağladığınızı tartışınız. Ayrıca ön hazırlık çalışmanızda S_{11} , S_{21} , S_{31} , S_{41} , grafiklerini raporlayınız.
- 6) **Ölçüm:** Ölçümler 950 MHz için tasarlanmış ve üretimi yapılmış halka karma bağdaştırıcı için yapılacaktır. Bu halka karma bağdaştırıcı deney sırasında size verilecektir.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Tasarımı yapılan halka karma bağdaştırıcılar için tasarım kriterleri belirtiniz. Tasarımın hangi parametreye göre değişim gösterdiğini ve bu değişimin tasarımda nelerin değişimine sebep olduğunu belirtiniz.
- 2) Ölçüm için halka karma bağdaştırıcının kapı numaralarını da göstererek iletim ve yansıma ölçümleri için deney ölçüm düzeneklerini şematik olarak gösteriniz.
- 3) Deney sırasında elde edilen sonuçları raporlayınız ve sonuçları benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yorumlayınız. Bu amaca yönelik benzetim sonucu çıktıları S-parametreleri cinsinden grafiksel olarak gösteriniz.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	950 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynaklar

- [1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>

Erişim tarihi: 13.09.2023.

- [2] David M. Pozar, *Mikrodalga Mühendisliği*, Palme Yayıncılık, 2014.

DENEY NO	4
DENEYİN ADI	Dal Hatlı Bağlaştırmacı (Branch Line Coupler)

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) 1 (bir) adet 850 MHz merkez frekansında tasarlanmış hatlı bağlaştırmacı (koplör).
- 3) 3 (dört) adet 50 Ω SMA(m) yük.
- 4) 1 (bir) adet yönlü bağlaştırmacı.
- 5) SMA(f)-SMA(f) adaptör.
- 6) SMA(m)-SMA(m) adaptör.
- 7) Gerekli bağlantı kabloları.

Önemli Not

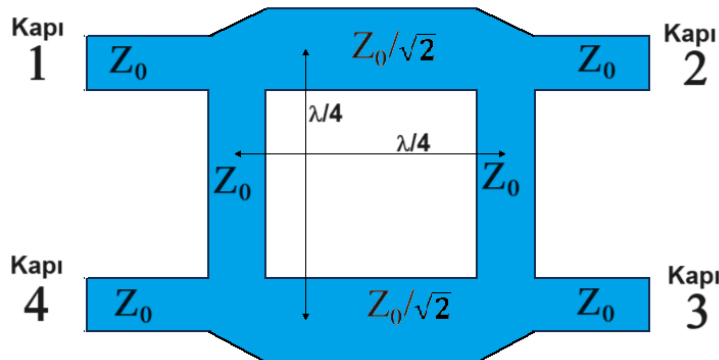
Deney için gerekli simülasyonlar ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

Bu deneyin amacı, mikrodalga devrelerinde sıklıkla kullanılan dal hatlı bağlaştırmacının (branch line coupler) çalışma prensibini anlamak, tasarımı ve benzetimini gerçekleştirmek ve üretimi yapılmış bir devre üzerinden ölçümlerini gerçekleştirerek sonuçları yorumlamaktır.

Giriş

Dal hatlı bağlaştırmacı devresi dört kapılı bir devre elemanıdır ve bu devre elemanı dal hatlı karma olarak da isimlendirilmektedir [2]. Dal hatlı bağlaştırmacının şematik görünümü Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Burada giriş sinyali 1 numaralı kapıdan uygulandığı zaman çıkış, 2 ve 3 numaralı kapılardan eşit genlikte fakat 90° faz farkı ile elde edilir ve 4 numaralı kapı yalıtılmış (izole) olur [2].



Şekil 4.1. Dal hatlı bağlaştırmacı devresi için örnek bir şematik görünüm.

İdeal bir 3 dB dal hatlı bağlaştıracının çalışma prensibinin anlaşılması için devrenin saçılma parametreleri matrisi (4.1) de verilmiştir [2]. Buna göre devre 1 numaralı kapıdan beslendiğinde güç 90° faz farkı ile 2 ve 3 numaralı kapılar arasında paylaşılmakta ve 4 numaralı kapı izole olmaktadır. (4.1) açıkça göstermektedir ki besleme kapısının değiştirilmesi, sadece çıkış ve izole kapıların yerlerini değiştirecek, devrenin çalışma prensibi değişmeyecektir.

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) Dal hatlı bağlaştırmacı için ABCD parametreleri kullanarak çift-tek (even-odd) mod analizini gerçekleştirin ve elde ettiğiniz sonuçları kullanarak devrenin çalışma prensibini açıklayınız.
- 2) Dal hatlı bağlaştırmacı tasarımı nasıl yapılır? Dal hatlı bağlaştırmacı tasarım parametreleri nelerdir? Gerekli grafik/şekiller ile destekleyip açıklayınız.
- 3) İki numaralı deneyden öğrendiğiniz bilgi birikimini kullanarak, spektrum analizör ve sinyal üretici kullanarak dal hatlı bağlaştırmacının girişten görülen geri dönüş kaybının ölçümü için bir deney düzeneği öneriniz.
- 4) Dal hatlı bağlaştırmacının kullanım alanlarını araştırınız ve her bir kullanım alanı için somut örnekler veriniz.

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Ön hazırlık uygulama çalışmaları ve deney, temel olarak üç temel işlem adımından oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) **Tasarım:** Bu işlem adımında, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) için ve 850 MHz merkez frekansı için bir dal hatlı karma devresi tasarlayınız. Tasarımlar sırasında elinizde dielektrik kalınlığı 1,5 mm, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,26$ ve kayıp tanjantı $\tan\delta_c = 0,0058$ ve bakır kalınlığı 35 μm olan bir taban malzemesi (substrat) olduğunu varsayınız.
- 2) **Benzetim:** Tasarımı yapılan dal hatlı karma devresinin CST STUDIO SUITE® Learning Edition ile benzetimlerini yapınız. Benzetimler sonucu elde ettiğiniz frekansa bağlı tüm S parametre grafiklerini kullanarak denklem (4.1) de verilen S-parametre değerlerinin ne kadar yakınlıkla elde edildiğini tartışınız. Ayrıca ön hazırlık çalışmanızda S_{11} , S_{21} , S_{31} , S_{41} , grafiklerini raporlayınız.
- 3) **Ölçüm:** Ölçümler 850 MHz için tasarlanmış ve üretimi yapılmış dal hatlı bağlaştırmacı için yapılacaktır. Ölçümler sırasında spektrum analizör ve 50 Ω SMA(m) konnektörlü RF yükler kullanılarak olup ölçümünü yapacağınız dal hatlı bağlaştırmacı deney sırasında size verilecektir. Yansıma ölçümlerini yapabilmek için yönlü bağlaştırmacı ve deneylerde kullanılmak üzere SMA(f)-SMA(f) ve SMA(m)-SMA(m) adaptörler de size verilecektir.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Tasarımı yapılan dal hatlı bağlaştırmalar için tasarım kriterlerini belirtiniz. Tasarımın hangi parametreye göre değişim gösterdiği ve bu değişimin tasarımda nelerin değişimine sebep olduğu açıklayınız.
- 2) Ölçüm için dal hatlı bağlaştırmaların kapı numaralarını da gösterilerek iletim ve yansıma ölçümleri için deney ölçüm düzeneklerini şematik olarak gösteriniz.
- 3) Deney sırasında elde edilen sonuçları raporlayınız ve sonuçları benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yorumlayınız. Bu amaca yönelik benzetim sonucu çıktılarını S-parametreleri cinsinden grafiksel olarak gösteriniz.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	850 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynaklar

- [1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>

Erişim tarihi: 13.09.2023.

- [2] David M Pozar, *Mikrodalga Mühendisliği*, Palme Yayıncılık, 2014.

DENEY NO	5
DENEYİN ADI	Wilkinson Güç Bölücü (Wilkinson Power Divider)

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) 1 (bir) adet 900 MHz merkez frekansında tasarlanmış Wilkinson güç bölücü.
- 3) 2 (dört) adet 50 Ω SMA(m) yük.
- 4) 1 (bir) adet yönlü bağlaştırmacı.
- 5) SMA(f)-SMA(f) adaptör.
- 6) SMA(m)-SMA(m) adaptör.
- 7) Gerekli bağlantı kabloları.

Önemli Not

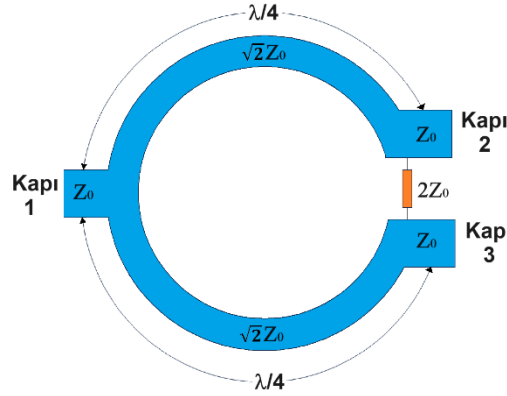
Deney için gerekli simülasyonlar ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

Bu deneyin amacı, RF ve mikrodalga devrelerinde sıklıkla kullanılan Wilkinson güç bölücünün çalışma prensibini anlamak, tasarımı ve benzetimini gerçekleştirmek ve üretimi yapılmış bir devre üzerinden ölçümlerini gerçekleştirerek konunun uygulamalı olarak kavranmasını sağlamaktır.

Giriş

Wilkinson güç bölücü (Wilkinson power divider) devresi RF ve mikrodalga bölgelerinde gücün eşit genlik ve fazda bölünmesini sağlayan bir güç bölücü devresidir [2]. Wilkinson güç bölücü tasarım yöntemi ile N-yollu güç bölücü tasarımı mümkün olmakla birlikte [2] gücü iki eşit genlik ve fazda bölen bir Wilkinson güç bölücünün şematik görünümü Şekil 5.1’de gösterilmiştir [3-5]. Burada ideal bir devre için giriş sinyali 1 numaralı kapıdan uygulandığı zaman çıkış, 2 ve 3 numaralı kapılardan eşit genlikte ve fazda elde edilir, bir başka ifade ile devre 1 numaralı kapıdan uygulanan sinyali 2 ve 3 numaralı kapılara eşit olarak böler [2-5]. 2 ve 3 numaralı kapılar arasında kullanılan $2Z_0$ değerindeki toplu (lumped) eleman direncin güç bölümünde etkisi yoktur, yalnız sinyal 2 veya 3 numaralı kapılardan uygulandığı zaman empedans uyumlama sağlar ve sinyalin geri yansımalarını engeller [2, 3].



Şekil 5.1. Wilkinson güç bölücü devresi için örnek bir şematik görünüm.

İdeal bir Wilkinson güç bölücü devresinin çalışma prensibinin daha iyi anlaşılması için devrenin saçılma parametreleri matrisi (5.1) de verilmiştir [3-5]. Buna göre devre 1 numaralı kapıdan beslendiğinde güç aynı fazda ile 2 ve 3 numaralı kapılar arasında eşit olarak paylaşılmaktadır. Devre 2 numaralı kapıdan beslendiği zaman gücün yarısı 1 numaralı kapıya iletilecek, 3 numaralı kapıya güç aktarılmayacaktır. Bu durumda gücün kalan yarısı $2Z_0$ değerindeki dirençte soğurulacaktır. Benzer durum 3 numaralı kapıdan besleme durumu için de geçerlidir [2, 3].

$$[S] = \frac{-j}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Wilkinson güç bölücü ile ilgili CST uygulama notuna [4] numaralı referanstan ulaşabilirsiniz.

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) Wilkinson güç bölücü için ABCD parametreleri kullanarak çift-tek (even-odd) mod analizini gerçekleştirin ve elde ettiğiniz sonuçları kullanarak devrenin çalışma prensibini açıklayınız.
- 2) S parametrelerini kullanarak devrenin resiprok (karşılıklı) ve kayıpsız olduğunu gösteriniz.
- 3) Wilkinson güç bölücü tasarımı nasıl yapılır, tasarım parametreleri nelerdir? Gerekli grafik/şekiller ile destekleyip açıklayınız.
- 4) İki numaralı deneyden öğrendiğiniz bilgi birikimini kullanarak, spektrum analizör ve sinyal üretici kullanarak dal hatlı bağlaştıracının girişten görülen geri dönüş kaybının ölçümü için bir deney düzeneği öneriniz.
- 5) Wilkinson güç bölücü eğer 2 ve 3 numaralı kapılardan aynı anda beslenirse, devre davranışı nasıl olurdu tartışınız.
- 6) Wilkinson güç bölücü devrenin kullanım alanlarını araştırınız ve her bir kullanım alanı için somut örnekler veriniz.
- 7) Güç bölümü çıkışta N eşit parçaya bölünmek istenseydi, tasarımda ne gibi değişiklikler yapılabilirdi? Literatür araştırması ile çözüm önerileri sununuz.

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Ön hazırlık uygulama çalışmaları ve deney, temel olarak üç temel işlem adımıyla oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1) Tasarım: Bu işlem adımı, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) için ve 900 MHz merkez frekansı için bir Wilkinson güç bölücü tasarlayınız. Tasarımlar sırasında elinizde dielektrik kalınlığı 1,5 mm, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,26$ ve kayıp tanjantı $\tan \delta_c = 0,0058$ ve bakır kalınlığı 35 μm olan bir taban malzemesi (substrat) olduğunu varsayınız.

2) Benzetim: Tasarımı yapılan dal hatlı karma devresinin CST STUDIO SUITE® Learning Edition ile benzetimleri yapılacaktır. Benzetimler sonucu elde edilecek frekansa bağlı tüm S parametreleri grafikleri kullanarak denklem (5.1) de verilen S-parametre değerlerinin ne kadar yakınlıkla elde edildiği tartışılacaktır. Ayrıca ön hazırlık çalışmanızda S_{11} , S_{21} , S_{31} , S_{32} , S_{23} , S_{22} , S_{33} grafikleri raporlanacaktır.

3) Ölçüm: Ölçümler 900 MHz için tasarlanmış ve üretimi yapılmış Wilkinson güç bölücü için yapılacaktır. Ölçümler sırasında spektrum analizör ve 50 Ω SMA konnektörlü RF yükler kullanılarak olup ölçümünü yapacağınız güç bölücü deney sırasında verilecektir. Yansıma ölçümlerini yapabilmek için yönlü bağlaştırmacı ve deneylerde kullanılmak üzere SMA(f)-SMA(f) ve SMA(m)-SMA(m) adaptörler de verilecektir.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Tasarımı yapılan Wilkinson güç bölücü için tasarım kriterleri belirtiniz. Tasarımın hangi parametreye göre değişim gösterdiğini ve bu değişimin tasarımda nelerin değişimine sebep olduğunu belirtiniz.
- 2) Ölçüm için Wilkinson güç bölücünün kapı numaralarını açık olarak gösterilerek iletim ve yansıma için deney ölçüm düzeneklerini şematik olarak çizin.
- 3) Deney sırasında elde edilen sonuçları raporlayınız ve sonuçları benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yorumlayınız. Bu amaca yönelik benzetim sonucu çıktıları S-parametreleri cinsinden grafiksel olarak gösteriniz.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	900 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynaklar

- [1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>
Erişim tarihi: 13.09.2023.
- [2] E. J. Wilkinson, “An N-Way Hybrid Power Divider,” *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 8, Issue. 1, pp. 116-118, Jan. 1960.
- [3] David M. Pozar, *Mikrodalga Mühendisliği*, 4. Baskıdan Çeviri, Palme Yayıncılık, 2014.
- [4] <https://www.3ds.com/products-services/simulia/resources/wilkinson-power-divider/>
Erişim tarihi: 13.09.2023.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Wilkinson_power_divider Erişim tarihi: 13.09.2023.

DENEY NO	6
DENEYİN ADI	Bant Geçiren Mikroşerit Filtre

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) 1 (bir) adet 1000 MHz merkez frekansında tasarlanmış mikroşerit bant geçiren filtre.
- 3) 1 (bir) adet 50 Ω SMA(m) yük.
- 4) 1 (bir) adet yönlü bağlaştırmacı.
- 5) SMA(f)-SMA(f) adaptör.
- 6) SMA(m)-SMA(m) adaptör.
- 7) Gerekli bağlantı kabloları.

Önemli Not

Deney için gerekli simülasyonlar ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

Bu deneyin amacı, mikroşerit hat tabanlı bir bant geçiren filtre tasarımının yapılması, benzetim ve ölçümlerinin gerçekleştirilmesi ve sonuçların yorumlanmasıdır.

Giriş

Filtreler (süzgeçler) frekans tepkisine göre alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre, bant geçiren filtre ve bant durduran filtre olarak sınıflandırılabilirler [2]. Filtreler, girişten uygulanan sinyali geçirme bandında çıkışa iletme ve durdurma bandında zayıflatma prensibine göre çalışırlar [2]. Bu deneyde mikroşerit iletim hattı tabanlı bir bant geçiren filtrenin uygulaması çalışılacaktır.

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) Filtre nedir, geçirme bantlarına göre filtre çeşitlerini yazınız.
- 2) Bant geçiren filtre uygulamaları nelerdir, en az üç tane yazınız.
- 3) Mikroşerit hatlar yardımı ile bant geçiren filtre nasıl tasarlanabilir, açıklayınız.
- 4) Aşağıda verilen terimleri kısaca açıklayınız:
 - a. Bant genişliği
 - b. Merkez frekansı
 - c. Kesim frekansı
 - d. -3 dB bant genişliği
 - e. Frekans aralığı
 - f. Kalite faktörü
 - g. Geri dönüş kaybı

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Deney, temel olarak üç temel işlem adımıyla oluşmaktadır.

- 1) Tasarım:** Bu işlem adımı, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) ve 1000 MHz merkez frekansı için bir mikroşerit hat tabanlı bant geçiren filtre tasarlanacaktır. Tasarımlar sırasında elinizde dielektrik kalınlığı 1,5 mm, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,26$ ve kayıp tanjantı $\tan\delta = 0,0058$ ve bakır kalınlığı 35 μm olan bir taban malzemesi (substrat) olduğunu varsayınız.
- 2) Benzetim:** Tasarımı yapılan mikroşerit hat tabanlı bant geçiren filtre devresinin CST STUDIO SUITE® Learning Edition ile benzetimleri yapınız. Benzetimler sonucu elde edilecek frekansa bağlı tüm S-parametreleri (S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22}) grafiklerini raporlayınız.
- 3) Ölçüm:** Ölçümler 1000 MHz merkez frekansı için tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiş mikroşerit hat tabanlı bant geçiren filtre için yapılacaktır. Ölçümler sırasında spektrum analizör ve 50 Ω SMA konnektörlü RF yükler kullanılarak olup ölçümünü yapacağınız bant geçiren filtre deney sırasında verilecektir. Yansıma ölçümlerini yapabilmek için yönlü bağlaştırmacı ve deneylerde kullanılmak üzere SMA(f)-SMA(f) ve SMA(m)-SMA(m) adaptörler de verilecektir.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Tasarımı yapılan mikroşerit hat tabanlı bant geçiren filtre için tasarım kriterlerini belirtiniz. Tasarımın hangi parametreye göre değişim gösterdiğini ve bu değişimin tasarımda nelerin değişimine sebep olduğu belirtiniz.
- 2) Ölçüm için mikroşerit hat tabanlı bant geçiren filtre kapı numaralarını açık olarak göstererek iletim ve yansıma ölçümleri için gerekli deney ölçüm düzeneklerini şematik olarak çizin.
- 3) Deney sırasında elde edilen sonuçları raporlayınız ve sonuçları benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yorumlayınız. Bu amaca yönelik benzetim sonucu çıktıları S-parametreleri cinsinden grafiksel olarak gösteriniz.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	1000 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynaklar

[1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>

Erişim tarihi: 13.09.2023.

[1] David M. Pozar, *Mikrodalga Mühendisliği*, 4. Baskıdan Çeviri, Palme Yayıncılık, 2014.

DENEY NO	7
DENEYİN ADI	Temel Anten Parametreleri ve Anten Işıma Örüntüsü

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Amitec ATS04 Anten Işıma Örüntüsü Eğitim Düzenegi
- 2) 2 adet 2 m RG 316 Teflon SMA(M) - SMA(M) kablo
- 3) 1 adet 50 cm RG 316 Teflon SMA(M) - SMA(M) kablo
- 4) 1 adet tripod
- 5) 1 adet stepper pod
- 6) 2 adet log periyodik dipol anten
- 7) 1 adet 2,417 GHz merkez frekansında tasarlanmış mikroşerit yama anten
- 8) 1 adet 900 MHz merkez frekansında tasarlanmış dipol anten
- 9) Gerekli bağlantı kabloları.

Amaç

Bu deneyin amacı, dipol anten, mikroşerit yama anten ve log periyodik dipol anten ışıma örüntülerini gözlemlenmesi amacıyla ölçümlerinin yapılmasıdır. Ölçümlerde dipol antenin tasarlanan frekansta tüm yönlü (omni-directional) ışıma örüntüsüne, mikroşerit yama anten ve log periyodik dipol antenin yönlü ışıma örüntülerine sahip olduklarının gözlemlenmesi önemlidir.

Giriş

Antenler, radyo dalgalarını almak ya da yaymak için kullanılan cihazlardır ve mobil haberleşmenin önemli unsurlarındandır. Dipol antenler, kablosuz haberleşmede sıklıkla kullanılan anten türlerindendir. Mikroşerit yama antenler, kablosuz haberleşmede sıklıkla kullanılan düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygun, üretimi modern baskı devre üretim teknikleri ile basitçe ve pahalı olmayan şekilde gerçekleştirilebilen anten türleridir. Log periyodik dipol anten yapısı, yan yana paralel olarak dizilmiş doğrusal dipollerden oluşan geniş bantlı bir anten çeşididir [1].

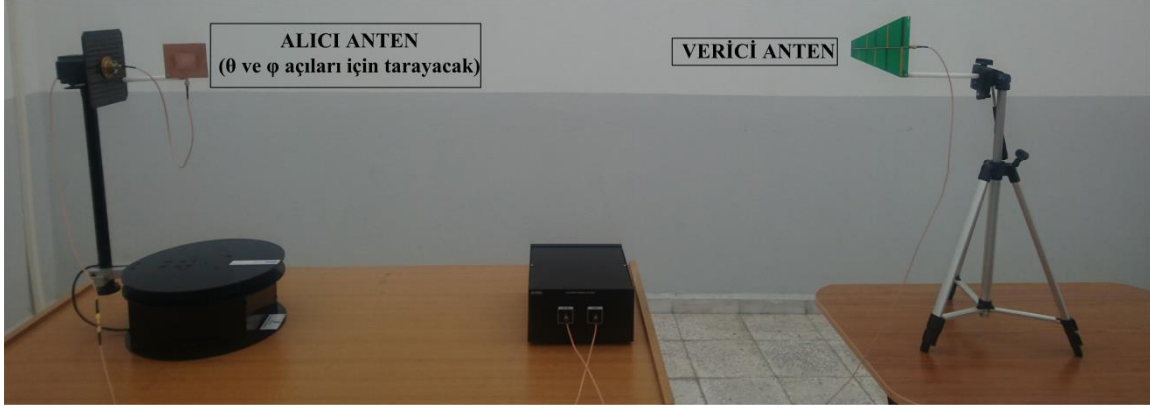
Bu deneyde log periyodik antenlerden biri geniş bantlı yapısı nedeniyle verici anten olarak kullanılacaktır. Alıcı anten olarak sırasıyla dipol anten, mikroşerit yama anten ve log periyodik dipol anten kullanılacaktır.

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) Anten kutuplanması nedir?
- 2) E-düzlemi ve H-düzlemi kavramlarını açıklayınız.
- 3) Işıma örüntüsü nedir?
- 4) Işıma örüntüsü ölçümü nasıl gerçekleştirilir? Detaylı olarak açıklayınız.

Deney Adımları

Ölçüm: Tasarlanan antenlerin laboratuvar ortamında ölçümleri gerçekleştirilip, deney çıktıları raporlanmak üzere kaydedilecektir. Işıma örüntüsü ölçümü için Şekil 7.1'deki düzenek kullanılacaktır.



Şekil 7.1. Anten ışıma örüntüsü deney düzeneği.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Deney adımlarını detaylı bir şekilde adım adım anlatınız.
- 2) Çıkış portundan elde edilen güç açısı karakteristiklerini uygun çizim programları yardımı ile çizdirerek sonuçları yorumlayınız.
- 3) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 4) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Kaynak

- [1] C.A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Third Edition, Wiley-Interscience, 2005.

DENEY NO	8
DENEYİN ADI	$\lambda/2$ Dipol Anten

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) 760 MHz merkez frekansında çalışan 2 adet $\lambda/2$ dipol anten.
- 3) 1 (bir) adet yönlü bağlaştırmacı.
- 4) 50Ω dan 75Ω 'a empedans uyumlaştırmak için mikroşerit $\lambda/4$ dönüştürücü.
- 5) SMA(m)-SMA(m) adaptör.
- 6) Gerekli bağlantı kabloları.

Önemli Not

Deney için gerekli simülasyonlar ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

Bu deneyin amacı, $\lambda/2$ dipol anten tasarımı, gerçeklemesi ve ölçümlerinin yapılmasıdır. Ölçümlerde $\lambda/2$ dipol antenin tasarlanan frekansta geri dönüş kaybının düşük olduğunun ölçülmesi ve tüm yönlü (omni-directional) ışıma örüntüsüne sahip gözlemlenmesi önemlidir.

Giriş

Antenler, radyo dalgalarını almak ya da yaymak için kullanılan cihazlardır ve mobil haberleşmenin önemli unsurlarındandır. Dipol antenler, kablosuz haberleşmede sıklıkla kullanılan anten türlerindendir [2].

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

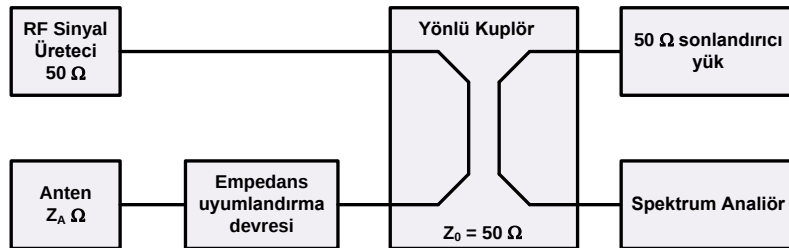
- 1) Aşağıdaki kavramları kısaca açıklayınız:
 - a. Anten,
 - b. Dalga boyu,
 - c. Anten empedansı,
 - d. Empedans uygunlaştırma,
 - e. VSWR ve yansıyan güç,
 - f. Bant genişliği,
 - g. Uzak alan ve yakın alan ışıma örüntüsü,
 - h. Beamwidth (hüzme genişliği),
 - i. Omni-directional anten,
 - j. Anten polarizasyonu ve PLF,
 - k. Uzak alan,
 - l. E-Field, H-Field örüntüleri.

- 2) Friis iletim denklemi ne ifade eder, her bir parametresini açıklayarak yazınız?
- 3) Anten kazancı nedir? Spektrum Analizör veya network analizör kullanılarak anten kazancı nasıl hesaplanır, açıklayınız.
- 4) Anteninin yönlülüğü ne demektir? İzotropik antene ya da dipol antene göre yönlülük kavramlarını açıklayınız.
- 5) Anten yarı güç hüzmeye genişliği (HPBW) nedir? Ölçülen Kartezyen ya da kutupsal bir formdaki ışıma örüntüsünden nasıl hesaplanır, açıklayınız.
- 6) HBPW parametresinin yönlülük ile ilişkisi var mıdır, açıklayınız.
- 7) Anten ışıma örüntüsü (radiation pattern) nedir? Spektrum Analizör veya network analizör kullanılarak anten ışıma örüntüsü çizimi için bir deney düzeneği öneriniz.
- 8) $\lambda/2$ dipol anten için uzak alan kriterini hesaplayınız.
- 9) $\lambda/2$ dipol anten tasarım parametrelerini gerekli olabilecek formüllerle birlikte yazınız.
- 10) Balun nedir, dipol antende balun devresi ne için kullanılır?
- 11) Anten kutuplanması nedir? Kutuplanma kayıp faktörü nedir?
- 12) Bir haberleşme sisteminde alıcı ve verici antenler için $\lambda/2$ dipol anten kullanıldığını düşünelim. Bu iki antenin fiziksel konumlandırmasına göre teorikte kutuplanma kayıp faktörünün alabileceği değer aralığını tartışınız.

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Deney, temel olarak üç işlem adımında oluşmaktadır.

- 1) **Tasarım:** Bu işlem adımında, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) ve MHz merkez frekansı için bir adet $\lambda/2$ dipol anten tasarımı yapılacaktır.
- 2) **Benzetim:** Tasarlanan antenlerin, her gruba atanan çalışma frekansı için benzetimleri yapılacak ve çıktıları raporlanacaktır. Bu çıktılar: $|S_{11}|$ grafiği, merkez frekansında ışıma örüntüsü, merkez frekansında anten üzerindeki elektrik alan dağılımı ve frekansa bağlı anten giriş empedansıdır.
- 3) **Ölçüm:** Ölçümler 750 MHz merkez frekansı için tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiş $\lambda/2$ dipol antenler için gerçekleştirilecektir. Ölçümü yapılacak $\lambda/2$ dipol anten deney sırasında gruplara verilecektir. Yansıma katsayısı ölçümü için Şekil 8.1'deki düzenek kullanılacaktır. Işıma örüntüsü ölçümleri ise Amitec ATS04 anten ışıma örüntüsü eğitim düzeneği ile gerçekleştirilecektir.



Şekil 8.1. Anten yansıma katsayısı ölçüm düzeneği.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Deney düzeneklerini şematik olarak gösteriniz. Deney sırasında çekilmiş olan dijital fotoğraflar üzerinde ilgili blokların işaretlenerek gösterilmesi faydalı olacaktır.
- 2) Deney adımlarını detaylı bir şekilde adım adım anlatınız.
- 3) Deney sırasında elde edilen sonuçları raporlayınız ve sonuçları benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yorumlayınız.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	750 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynaklar

- [1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>
Erişim tarihi: 13.09.2023.
- [2] C.A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Third Edition, Wiley-Interscience, 2005.

DENEY NO	9
DENEYİN ADI	Mikroşerit Yama (Patch) Anten

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

- 1) Spektrum Analizör (Rohde-Schwarz FPC1500)
- 2) 900 MHz merkez frekansında tasarlanmış 2 adet dikdörtgen mikroşerit yama anten.
- 3) 1 (bir) adet yönlü bağlaştırmacı.
- 4) SMA(m)-SMA(m) adaptör.
- 5) Amitec ATS04 Anten Işıma Örüntüsü Eğitim Düzeneği
- 6) Gerekli bağlantı kabloları.

Önemli Not

Deney için gerekli simülasyonlar ücretsiz olarak temin edilebilen CST STUDIO SUITE® Learning Edition [1] ile gerçekleştirilebilir.

Amaç

Bu deneyin amacı, dikdörtgen şekilli mikroşerit yama anten tasarımı, uygulaması ve ölçümlerinin yapılmasıdır. Ölçümlerde mikroşerit yama antenin yönlü bir ışıma örüntüsüne sahip olduğunun gözlenmesidir.

Giriş

Antenler, radyo dalgalarını almak ya da yaymak için kullanılan cihazlardır ve mobil haberleşmenin önemli unsurlarındandır. Mikroşerit yama antenler, kablosuz haberleşmede sıklıkla kullanılan düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygun, üretimi modern baskı devre üretim teknikleri ile basitçe ve pahalı olmayan şekilde gerçekleştirilebilen anten türleridir [2].

Bu deneyde her bir grup kendilerine atanmış olan merkez frekansı için dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarımı yapıp, CST STUDIO SUITE® Student Edition [1] ile benzetimlerini gerçekleştirecektir.

Ön Hazırlık Teorik Çalışmaları

- 1) Dikdörtgen mikroşerit yama anten için şematik görünümü çiziniz, şematik görünüm üzerinde tasarım parametrelerini açıkça belirtiniz.
- 2) Dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarımı için tasarım parametrelerine bağlı formülasyonları yazınız. Deney grubunuz için atanmış merkez frekansı için antenin tasarım parametrelerini (yama eni W , yama boyu L , besleme hat kalınlığı w_f) hesaplayınız.
- 3) Mikroşerit anten besleme yöntemleri nelerdir? Deneyde kullanacağınız anten tasarımında hangi besleme yöntemini tercih ettiğinizi gerekçesiyle birlikte açıklayınız.

- 4) Mikroşerit antenin giriş empedansı ile besleme hattı arasındaki empedans uyumsuzluğunu çözmek için:
 - a. Kullanılabilecek empedans uygunlaştırma yöntemleri nelerdir? Bu yöntemlerden beş tanesini detaylı bir şekilde açıklayınız.
 - b. Bu deney için tasarladığınız antende hangi empedans uyumlendirme yöntemini kullandığınızı nedenleri ile belirtiniz.
- 5) Bir anten için geri dönüş kaybı (return loss) nedir, ne ifade eder açıklayınız.
- 6) Mikroşerit antenlerin dezavantajları neler olabilir, tartışınız.

Ön Hazırlık Uygulama Çalışmaları ve Deney

Deney, temel olarak üç temel işlem adımıyla oluşmaktadır:

- 1) **Tasarım:** Bu işlem adımı, deney grubunuza atanan çalışma frekansı için (bkz. deney föyü sonu Frekans 1) ve 900 MHz merkez frekansı için bir mikroşerit yama anten tasarımı yapılacaktır. Tasarımlar sırasında elinizde dielektrik kalınlığı 1,56 mm, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3,46$ ve kayıp tanjantı $\tan \delta_c = 0,0505$ ve bakır kalınlığı 25 μm olan bir taban malzemesi (substrat) olduğunu varsayınız.
- 2) **Benzetim:** Tasarlanan antenlerin, her gruba atanan çalışma frekansı için benzetimleri yapılacak ve çıktıları raporlanacaktır. Bu çıktılar: $|S_{11}|$ grafiği, merkez frekansında ışıma örüntüsü, merkez frekansında anten üzerindeki elektrik alan dağılımı ve frekansa bağlı anten giriş empedansıdır.
- 3) **Ölçüm:** Ölçümler 900 MHz merkez frekansı için tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiş mikroşerit anten için gerçekleştirilecektir. Ölçümü yapılacak mikroşerit anten deney sırasında gruplara verilecektir. Yansıma katsayısı ölçümü için Şekil 7.1'deki düzenek kullanılacaktır. Işıma örüntüsü ölçümleri ise Amitec ATS04 anten ışıma örüntüsü eğitim düzeneği ile gerçekleştirilecektir.

Raporda Bulunması Gerekenler

- 1) Deney düzeneklerini şematik olarak gösteriniz. Deney sırasında çekilmiş olan dijital fotoğraflar üzerinde ilgili blokların işaretlenerek gösterilmesi faydalı olacaktır.
- 2) Deney adımlarını detaylı bir şekilde adım adım anlatınız.
- 3) Deney sırasında elde edilen sonuçları raporlayınız ve sonuçları benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yorumlayınız.
- 4) Bu deneyden öğrendiklerinizi maddeler halinde yazınız.
- 5) Eğer deney bireysel değil de bir grup halinde gerçekleştirildiyse, gruptaki her bir öğrencinin deney hakkındaki yorumunu raporun sonuna isim belirterek yazması gerekmektedir.

Gruplara Göre Benzetim Frekansları

Grup No	Frekans 1	Frekans 2
1.Grup	1 GHz	900 MHz
2.Grup	1,4 GHz	
3.Grup	1,8 GHz	
4.Grup	2,2 GHz	
5.Grup	2,6 GHz	

Kaynak

[1] <https://edu.3ds.com/en/software/cst-studio-suite-learning-edition>

Erişim tarihi: 13.09.2023.

[2] C.A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Third Edition, Wiley-Interscience, 2005.