

2 GHZ DENGELİ OPTİK-MİKRODALGA ÇEVİRİCİ

Taner IŞIK (*isikt@itu.edu.tr*)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Osman CEYLAN (*ceylanos@itu.edu.tr*)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Hasan Bülent YAĞCI (*bulent.yagci@itu.edu.tr*)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Optik haberleşme sistemleri, yüksek hızda veri iletişimi sağladığı için günümüzde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak optik işaretlerin taşıdığı veriyi işleyebilmek için optik işaretin elektriksel işarete çevrilmesi gereklidir. Bu çalışmada, optik işareti elektriksel işarete çeviren bir devre sunulmuştur. Tasarlanan devre dengeli girişe sahip olup ortak işaret bastırma oranı 2 GHz merkez frekansında % 10 bant genişliği içerisinde 44 dB'den daha iyidir. Tasarlanan devrede birleştirici yapı olarak halka yapılı melez bağdaştırıcı kullanılmıştır. Önerilen devre yayınlanmış çalışmalara göre daha yüksek bastırma oranına sahiptir.

Anahtar Kelimeler: *Optik mikrodalga dönüştürücü, fotodiyot, melez bağdaştırıcı.*

2 GHZ BALANCED OPTICAL - MICROWAVE CONVERTER

Taner IŞIK (*isikt@itu.edu.tr*)

Istanbul Technical University, Electrical - Electronics Faculty, Electronics and Communication Engineering Department, Istanbul, Turkey

Osman CEYLAN (*ceylanos@itu.edu.tr*)

Istanbul Technical University, Electrical - Electronics Faculty, Electronics and Communication Engineering Department, Istanbul, Turkey

Hasan Bülent YAĞCI (*bulent.yagci@itu.edu.tr*)

Istanbul Technical University, Electrical - Electronics Faculty, Electronics and Communication Engineering Department, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Optical communication systems are widely used due to high data rate. Light signal must be converted to electrical signal to process the data. In this study, a balanced optical-microwave converter circuit design and implementation is proposed. Center frequency of the converter is 2 GHz. A hybrid coupler as a combiner was preferred to increase common mode rejection. Designed converter circuit at least 44 dB suppression was achieved in the 10 % bandwidth. According to our knowledge, proposed design has better rejection.

Keywords: *Optical to microwave converter, photodiode, hybrid coupler*

1. GİRİŞ

Işık kaynaklı haberleşme, kapasite ve hız üstünlüğünden dolayı günümüzde yoğun olarak kullanılmaktadır. Işığın iletişimde kullanılması düşüncesi yeni bir fikir değildir. 1790'lı yılların başlarında Claude Chappe büyük bir kule üzerinde işaret verici kolların yönelimlerini değiştirerek uzun mesafeler boyunca mesaj gönderebilen optik telgrafı icat etmiştir (Hranilovic, 2005, s6). Bu sayede birkaç dakika içinde birkaç yüz kilometre uzağa veri gönderilebiliyordu.

Elektronik algılayıcı kullanan en eski ışıklı haberleşme sistemlerinden biri 14 Aralık 1880 A. G. Bell ve C. S. Tainter tarafından icat edilen (photophone) ışık telefonudur (Hranilovic, 2005, s6). Sistem, bir folyo diyafram üzerinde güneşten yansıyan ışığı modüle ederek (değiştirerek) operatörün sesini bir mesafe boyunca iletmek için tasarlanmıştır. Alıcı optik işareti elektrik akımına çeviren bir selenyum kristalden yapılmıştır. Bu sistem ile duyulabilir (sesli) bir işareti 213 metrelik bir mesafede iletmeyi başardılar.

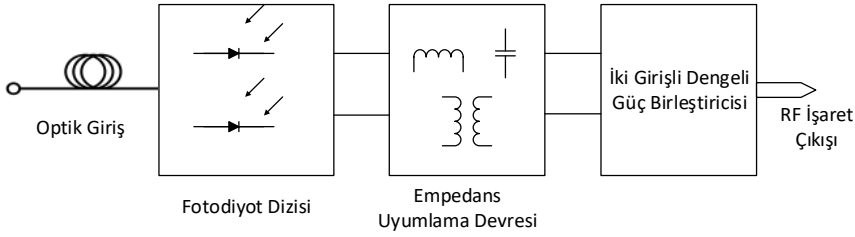
Malzeme bilimindeki ve üretim tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde düşük maliyetli ve kaliteli optik kabloların üretilmeye başlanmasıyla birlikte, optik haberleşme günümüz haberleşme sistemlerinin vazgeçilmez parçalarından birisi haline gelmiştir.

Işık ile iletişimin sağladığı üstünlüklerin yanında bilgi taşıyan ışığın doğrudan işlenememesi, ışık ile iletişimde ışığın sadece taşıyıcı olarak kullanılmasına yol açmaktadır. Günümüz işaret işleme devreleri elektriksel işaretleri işleyebildiği için ışık ile taşınan bilginin de işlenebilmesi için elektriksel işarete dönüştürülmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.

Optik hatlar ile iletilen işaretlerin, haberleşme sistemlerinin alıcı bloklarında ihtiyaç duyulduğu şekilde elektriksel işaret olarak kullanılmasını sağlayan işaret dönüştürücü yapısı optik-mikrodalga

çevirici olarak adlandırılır. Optik-mikrodalga dönüştürücüler, optik haberleşmenin alıcı kısmındaki ilk devre olarak alıcı başarımına doğrudan etki eder. Günümüzde optik-mikrodalga dönüşümünde sıklıkla foto diyotlar sıklıkla kullanılmaktadır.

Modülasyonlu işaretler yüksek frekanslı olduğu için genelde 50Ω karakteristik empedansa sahip yüksek frekanslı devreler ile işlenir. Bu nedenle diyotlu alıcı devrenin de empedansının 50Ω 'a uyumlu olması gerekir. Şekil 1.1'de temel bir optik alıcı sistemi verilmiştir. Gelen işaret diyotlar yardımıyla elektriksel işarete çevrildikten sonra uygun bir şekilde birleştirilmelidir. Çevrilen işaret çok yüksek frekanslı olduğu için mikrodalga devre tasarımı yöntemleri ile tasarımı gereklidir.



Şekil 1.1 Optik-Mikrodalga çevirici sistemi genel yapısı

Optik alıcı tasarımındaki ilk zorluk optik diyotların çıkış empedanslarının çok düşük olması sebebiyle empedans uyum devresinin tasarımının daha zahmetli olmasıdır. Özellikle bant genişliğinin artırılması ihtiyacı oluşursa tasarım daha da zor bir hal alabilmektedir. Özellikle geniş bantlı uygulamalarda bu sorun daha büyük olmaktadır. Empedans uyumsuzluğundan kaynaklı sorunları önlemek için ve daha kolay bir şekilde empedansı uydurmak için, yayınlanmış birçok çalışmada direnç içeren empedans uydurucu yapısı kullanıldığı görülmektedir (Gomez-Rojas, Want, Davis ve Wake, 2000, s1; Goldsmith ve Kanack, 1993, s3).

Bu çalışmada 2 GHz merkez frekanslı, dengeli optik girişe sahip 2 diyotlu bir optik-mikrodalga çevirici sunulmuştur. Tasarımın düşük kayıplı olması ve ortak işaret bastırma oranının da yüksek tutulması

hedeflenmiştir. Tasarımın düşük kayıplı ve yüksek verimli olması için dirençli bir empedans uydurucu yapısı tercih edilmemiştir. Çok düşük olan diyot empedansı, mikroşerit ve ayrık elemanlar kullanılarak 50Ω 'a eşlenmiştir. Empedans uydurucu devrenin ardından dengeli bir işareti dengesiz hale getirebilmek için uygun bir birleştirici tasarlanmıştır. Tasarlanan devre başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır.

Makalenin devam eden ikinci kısmında devre yapısı hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise devrenin montajı ve ölçüm sonuçları sunulmuştur.

2. TASARLANAN SİSTEMİN YAPISI

Devrenin tasarımı 2 başlıkta incelenmektedir: Empedans uydurucu ve birleştirici. Empedans uydurucu yapı ile çevirici diyotun empedansı 50Ω değerine uydurulmuştur. Dengeli işareti birleştirmek için de melez yapıllı halka tipi bağdaştırıcı (hybrid ring coupler) kullanılmıştır.

Tasarımda Taconic firmasının TLC-30-0600 ($\epsilon=3$, taban kalınlığı=1.52mm, $T_{and}=0.0013$) tabanı kullanılmıştır.

2.1. Empedans Uyum Katı

Çevirici diyotların bilgisayar destekli bir elektronik tasarım aracında kullanılabilecek modelinin olmamasından dolayı ilk olarak diyotlarla ilgili bir S parametresi seti hazırlanması gerekmiştir.

Çalışma frekansına uygunluğu ve kazanç parametreleri devrede kullanılacak fotodiyotun belirlenmesinde oldukça önemlidir (Li ve diğ., 2004). İstenilen teknik özellikler dikkate alındığında Emcore firmasının 2651E foto diyotu tercih edilmiştir (Şekil 2.1). Fotodiyota ait özellikler de Tablo 2.1'de verilmiştir.

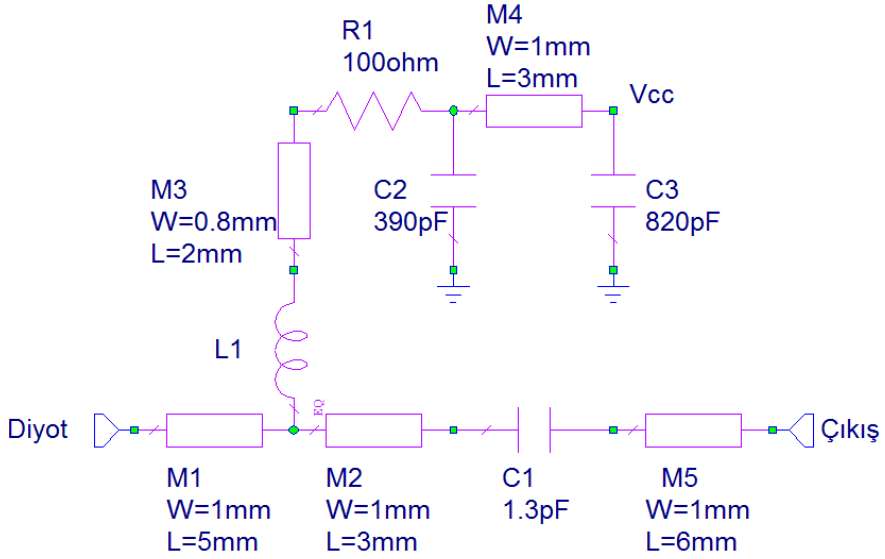


Şekil 2.1 Emcore 2651A/2651E genişbant fotodiyot

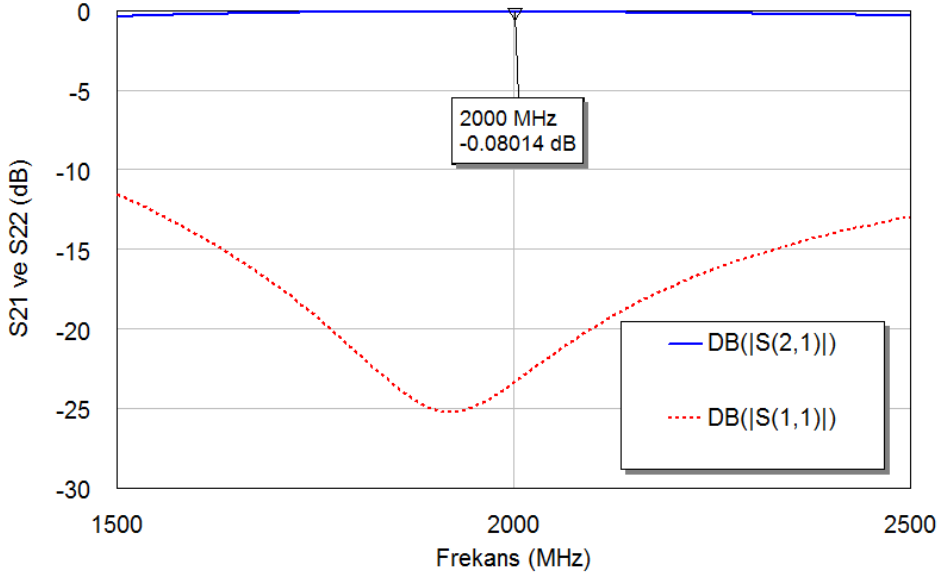
Tablo 2.1 Emcore 2651E Özellikleri

Özellik	En Düşük	Normal	En Yüksek	Birim
Frekans Aralığı	-	-	3	GHz
Kazanç	2	-	4	dB
İç Kapasitesi		0.35	0.4	pF
Kutuplama Gerilimi	10	12	15	V
Giriş Doyma Gücü	-	-	10	mW

Devrede kullanılacak fotodiyot belirlendikten sonra, S parametrelerini ölçebilmek için kutuplama devresi tasarlanmıştır. Çalışma frekansı olan 2 GHz’de çalışacak olan dönüştürücü devre için kullanılacak fotodiyottan 4 dB olan en yüksek kazancı elde edebilmek için Tablo 1’de verildiği gibi kutuplama gerilimi 15 V DC olarak belirlenmiştir. Yüksek frekanslarda çalışan fotodiyotun doğru şekilde kutuplanması için besleme kaynağı ile RF işaret hattının arasında yüksek bir yalıtım olmalıdır. Kutuplama devresinin araya girme kaybının düşük olması için boyutu da küçük olmalıdır. Tasarlanan kutuplama devresi Şekil 2.2’ de gösterilmiştir.

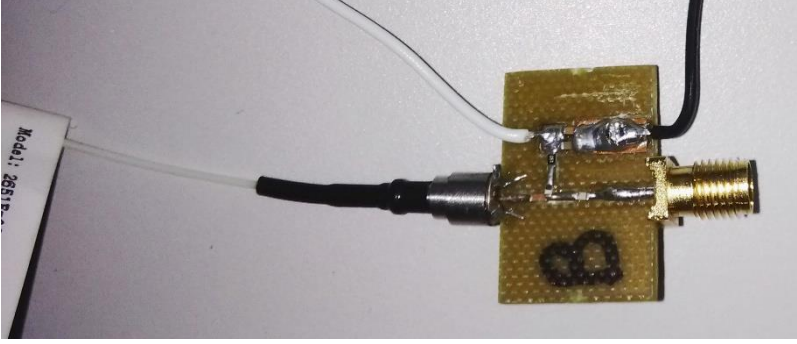


Şekil 2.2 Fotodiyot için AWR Microwave Office ile tasarlanan kutuplama devresi

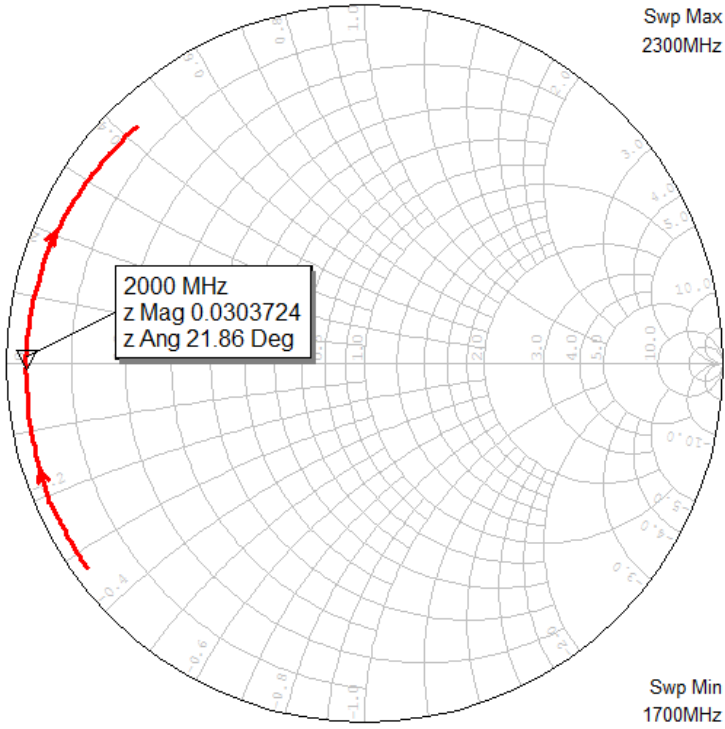


Şekil 2.3 Foto diyot kutuplama devresinin araya girme kaybı ve yansıma değeri

Tasarlanan kutuplama devresi üretilmiş, diyot montajı yapılmış ve S parametreleri ölçülmüştür. Hazırlanan devre Şekil 2.4'te, ölçüm sonucu elde edilen S parametresi de Şekil 2.5'te görülmektedir.



Şekil 2.4 S Parametresi ölçümü için üretilen fotodiyot kutuplama devresi (SMA-F konnektörlü)

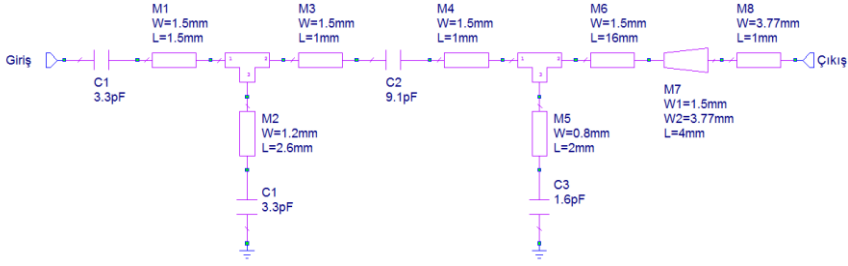


Şekil 2.5 Fotodiyotun ölçülen çıkış empedansı (1.7 GHz – 2.3 GHz arası)

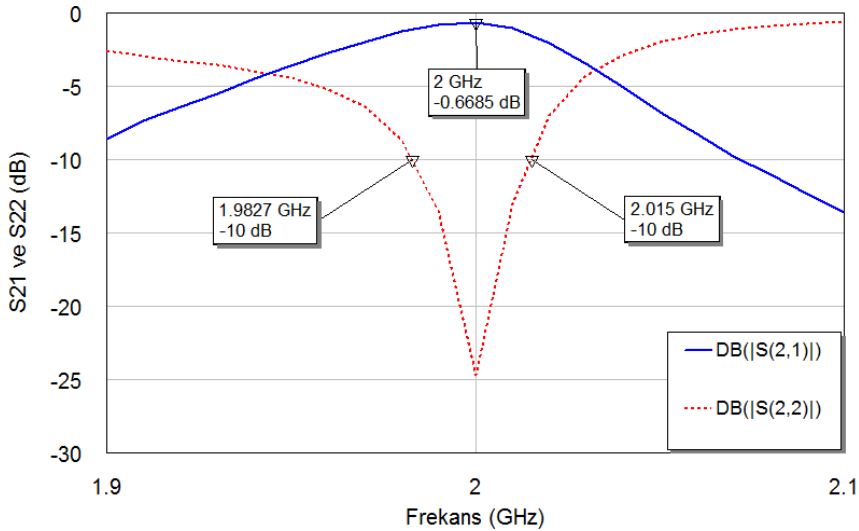
Üretilen bu test devresinin empedansı R&S FSH8 Network Analyzer ile ölçülmüştür ve ölçüm sonucu elde edilen S parametreleri tasarımda kullanmak amacıyla AWR MWO benzetim programına aktarılmıştır. Fotodiyot çıkış empedansı 2 GHz frekansında kısa devreye yakın bir empedansa sahiptir (2 GHz’de $1,409 + j0,57 \Omega$). Empedansın değerinin düşük olması, empedans uyum devresinin tasarımını güçleştirmektedir.

Foto diyot çıkışının 50Ω ’a uydurulması sırasında tasarlanacak devrenin bant genişliğinin yüksek olması, araya girme kaybının da az olması en önemli iki koşuldur.

Direnç içeren empedans uydurucular kolay bir şekilde tasarlanabilmesine rağmen kayıplarının yüksek olması sebebiyle bu çalışmada tercih edilmemiştir. Bu çalışmada toplu elemanlarla empedans uyumlama tekniği kayıpsız uyum sağladığı için tercih edilmiştir. Ek olarak, çok katlı bir yapı kullanılarak daha geniş bir bantta uyum sağlanabilmiştir. Bant genişliğini arttırabilmek için ve besleme yapısını etkilememek için π tipi empedans uyum yapısı tercih edilmiştir. Bu yöntemin diğer geniş bant uyum tekniklerine göre özellikle daha düşük empedanslarda daha iyi sonuçlar verdiği de gözlemlenmiştir. Devre tasarımında ilk aşamada Smith abağı üzerinde genel bir çalışma yapılmış, elde edilen veriler benzetim aracına aktarılmıştır. Bu aşamada bir miktar en iyileştirme özelliği de kullanılarak devre son haline getirilmiştir. Bant genişliğini arttırmak için yapılan değişikliklerde bir miktar araya girme kaybı da oluşmuştur. Bu yöntem kullanılarak tasarlanan empedans uyumlama devresi Şekil 2.6’da verilmiştir. Devreye ait araya girme kaybı ve geri dönüş kaybı değerlerinin benzetim sonuçları Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.6 Toplu elemanlı empedans uyumlama devresi

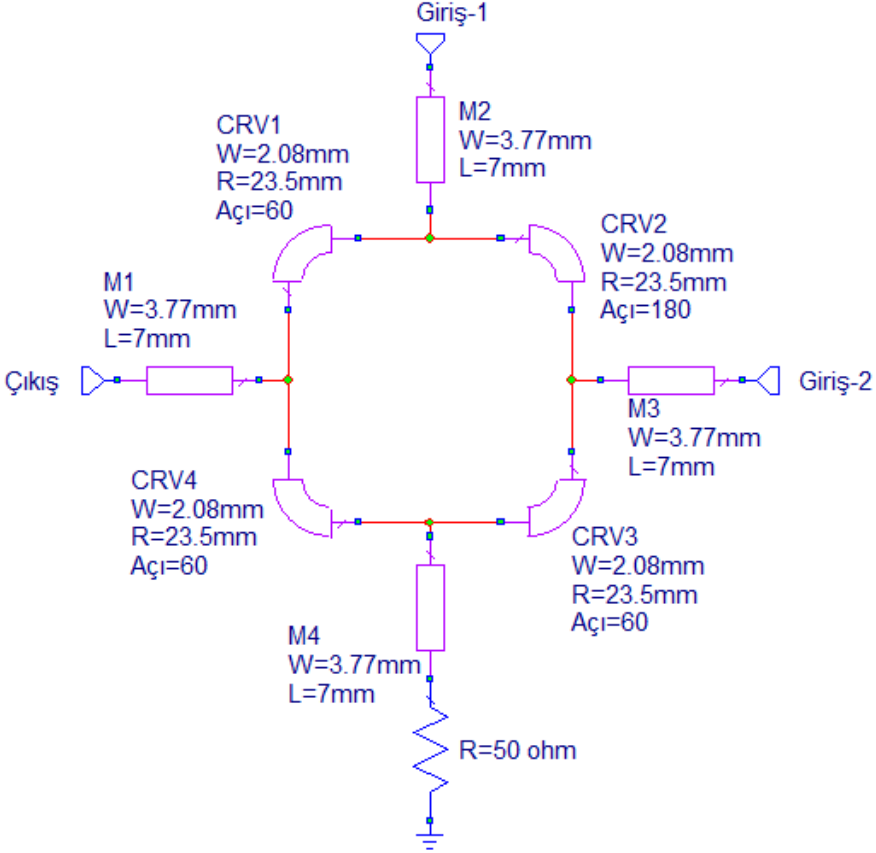


Şekil 2.7 Empedans uyumlama devresinin araya girme ve geri dönüş kaybı

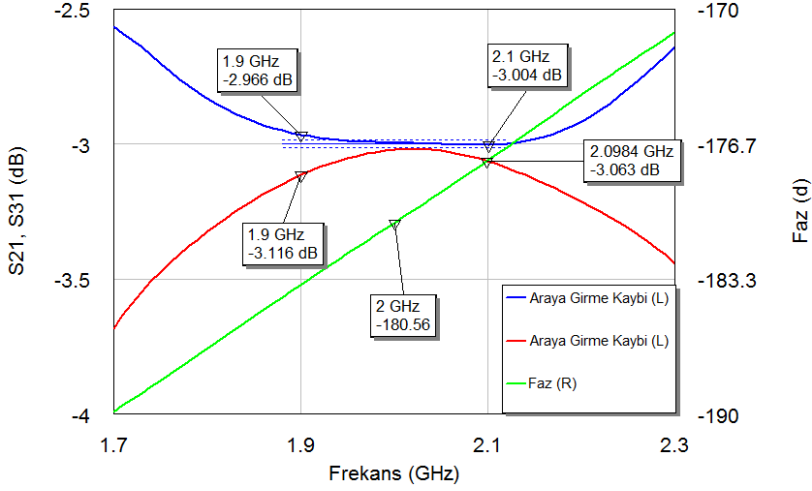
2.2. Dengeli Güç Birleştiricisi

Giriş işareti dengeli (balanced) olduğu için 2 diyot için kullanılacak birleştirici yapısının buna uygun olması gereklidir. Birleştirme işlemi sırasında gelen işaretin birisinin fazı 180° çevrilerek diğer işaret ile toplanacaktır. Bu sayede dış ortamdan kaynaklanan gürültünün bastırılması hedeflenmiştir, ayrıca toplam güç de artacaktır. Farklı tipte dengeli birleştiriciler çeşitli yayınlarda ve kitaplarda bulunmaktadır (Pozar, 2011, s362-372; Ludwig and Bretchko, 2000, s616-619; Muraguchi, Yukitake and Naito, 1983,

s674-678). Bu projede, tasarım kolaylığı ve montaj açısından uygun olması sebebiyle melez dairesel bağdaştırıcı (ring hybrid coupler) tercih edilmiştir. Tasarlanan devre Şekil 2.8’de verilmiştir. Benzetim sonuçları da Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.8 Tasarlanan birleştirici devresi ve devre ayrıntıları



Şekil 2.9 Birleştiricinin benzetim sonuçları

2.3. Devrenin Üretimi ve Montajı

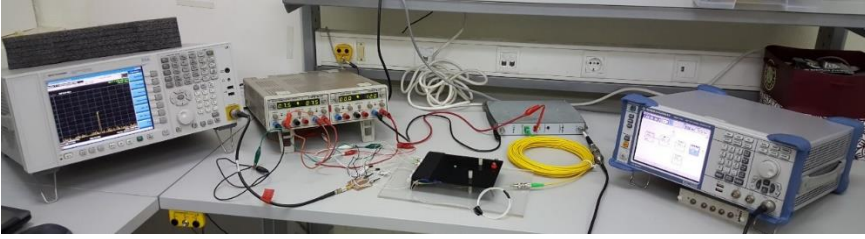
Empedans uyum katı ve dengeli güç birleştirici katı tasarımının tamamlanmasının ardından bu iki devre birleştirilmiş ve devrenin serimi hazırlanmıştır. Üretimde LPKF cihazı ile kazıma tekniği kullanılarak üretim yapılmıştır. Devrede çıkış ucu SMA tipi konnektör ile sonlandırılmıştır. Hazırlanan devre Şekil 2.10'da verilmiştir.



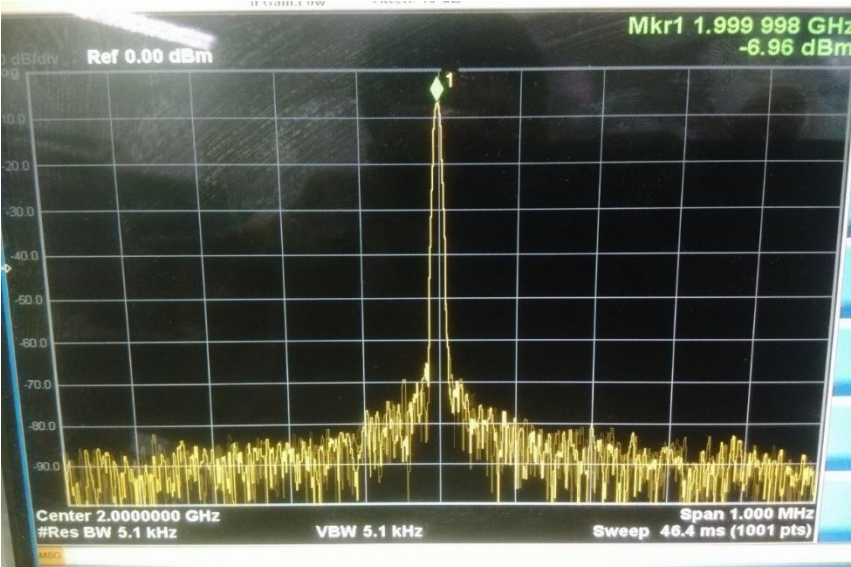
Şekil 2.10 Montajı tamamlanmış verimli optik-mikrodalga çevirici devresi

3. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Devrenin ölçümü için hazırlanan düzenek Şekil 3.1’de verilmiştir. Optik işaret kaynağı olarak IKUSU marka modülatör kullanılmıştır. Besleme gerilimi olarak $\pm 7,5V$ kullanılmıştır. Ölçüm sırasında ilk olarak diyotlara tek tek işaret verilmiş ve diyotların çalışıp çalışmadığı incelenmiştir. Şekil 3.2 de görüldüğü gibi diyotlar başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Diyotun çalışması durumundaki başarımlar incelenmiştir. Ardından devreye eşit fazlı bir işaret uygulanarak ortak işaret bastırma miktarı ölçülmüştür.

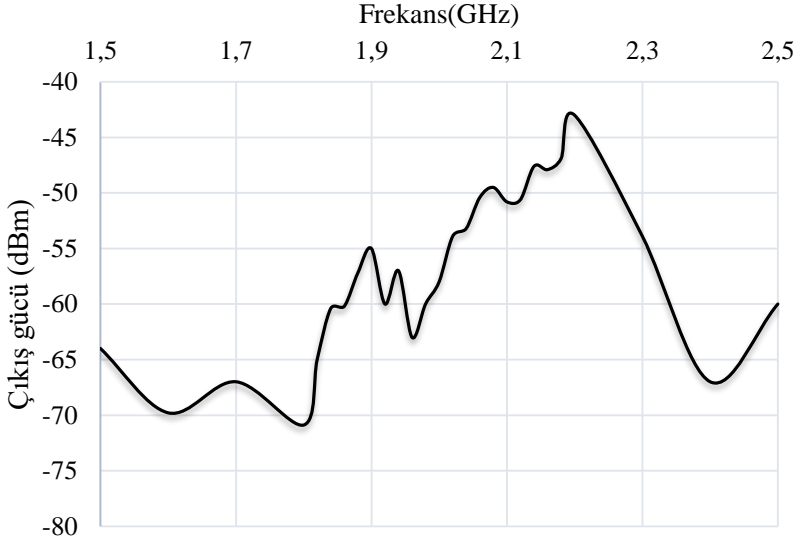


Şekil 3.1. Ölçüm düzeneği (Soldan Sağa: Spektrum Analiz Cihazı, Güç Kaynağı, Modülatör, Referans İşaret Üretici)



Şekil 3.2. Tek diyot ile yapılan ölçüm örneği (Merkez frekans 2 GHz)

Eş fazlı iki işaret girişi uygulandığında bant boyunca en az 44 dB bastırma sağlamaktadır (Şekil 3.3). Tablo 3.1’de direnç kullanılmadan tasarlanan dengeli girişli optik çeviriciler için bir karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 3.3. Eş fazlı işaret girişi durumunda çıkışta ölçülen bastırma miktarı

Tablo 3.1. Karşılaştırmalı Başarım Sonuçları

Kaynak	Frekans	Ortak İşaret Bastırma Oranı
Bu çalışma	2.2 GHz	44 dB
Arvizu ve diğ., 1997	140 MHz	26,4 dB
Painchaud ve diğ., 2009	2 GHz	22 dB
Xue ve diğ., 2011	7 GHz	30 dB

4. SONUÇ

Bu makalede 2 GHz merkez frekansında çalışan ve optik işareti elektriksel işarete çeviren dönüştürücü sunulmuştur. Çevresel gürültülerin yok edilebilmesi açısından daha uygun olan dengeli işaret kullanımı optik sistemlerde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada da yüksek ortak işaret bastırma oranına sahip bir dönüştürücü devresi tasarlanmış ve başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. İşaret birleştirme için halka yapılı melez bağdaştırıcı kullanımının elektriksel ve fiziksel olarak bu tür dönüştürücülerde başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Basit ama kayıplı bir yöntem olan direnç ile empedans uyum tekniği yerine, toplu parametrelili yapılar ile empedans uyumu tercih edilmiştir ve çevrim kaybı düşürülmüştür. Bu yöntem çevrim kaybını düşürse de bant genişliğini sınırlandırmaktadır. Bant genişliğini arttırabilmek için daha karmaşık yapılı empedans uydurucu yapıların kullanımı gereklidir. Ancak günümüzde bu bantlarda, pasif devre elemanlarının ve tabanların kayıpları az olduğu için dirençli yapılara göre tercih edilebileceği gösterilmiştir.

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre %10 bant genişliği içerisinde en az 44 dB bastırma sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Arvizu, A., Mendieta, F. J. ve Chávez, R., “Balanced Photoreceiver for Coherent Optical Communications”, Journal of the Mexican Society of Instrumentation, Mexico, 1997.
- [2] Goldsmith, C. ve Kanack, B., “Broadband Microwave Matching of High Speed Photodiodes”, Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International, 1993.
- [3] Gomez-Rojas, L., Gomes, N.J., Wang, X., Davis, P.A., ve D. Wake, “High performance optical receiver using a PIN photodiode and amplifier for operation in the millimeter-wave region”, 30th European Microwave Conference, Paris, October 2000.
- [4] Hranilovic, S., Wireless Optical Communication Systems, NY, Springer, 2005.
- [5] Li, X., Li, N., Demiguel, S., Campbell, J. C., Tulchinsky, D. ve Williams, K.J., “A Comparison of Front- and Backside-Illuminated High-Saturation Power Partially Depleted Absorber Photodetectors”, IEEE Journal of Quantum Electronics, 2004.
- [6] Ludwig R. ve Bretchko P. RF Circuit Design Theory and Applications, New Jersey, Prentice Hall, 2000.
- [7] M. Muraguchi , T. Yukitake and Y. Naito, "Optimum design of 3 dB branch-line couplers using microstrip lines", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-31, no. 8, s. 674-678, 1983
- [8] Painchaud, Y., Poulin, M., Morin, M., ve Têtu, M., “Performance of Balanced Detection In A Coherent Receiver”, Optic Express, 2009.
- [9] Pozar, M. D., Microwave Engineering, 4th ed., New York, Wiley, 2011.
- [10] Xue, X., Zheng, X., Zhang, H. ve Zhou, B., “Noise Reduction by Balanced Detection in Microwave Photonic Filters Based on Optical Broadband Sources”, Optical Society of America, 2011.