

# İndüktif Yüklemeli Mikroşerit Kare Halka Rezonatörler Kullanılarak Mikrodalga Frekans Çiftleyici Tasarımı ve Çift-Band Uygulamaları

## Design of Microwave Duplexer Using Microstrip Square Loop Resonators with Inductive Loading and Dual-Band Applications

Pınar ÖZTÜRK ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Ali Kürşad GÖRÜR<sup>2</sup>, Ceyhan KARPUZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Pamukkale Üniversitesi  
pozturk@pau.edu.tr, ckarpuz@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi  
agorur@pau.edu.tr

### Özet

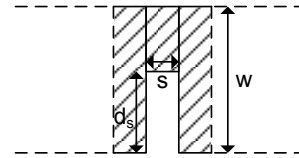
Bu çalışmada mikroşerit kare halka rezonatör yapılarında indüktif yarıkların kullanılmasıyla yavaş dalga karakteristiği elde edilmekte ve böylece arzu edilen bir boyut indirgeme sağlanmaktadır. İndüktif yüklü bir yapı oluşturulmasında kullanılan yarıkların sayısı ve derinliğinin frekans cevabı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Öncelikle band geçiren filtre tasarımı ve daha sonra frekans çoğullayıcı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Son olarak çift-band özelliğine sahip frekans çoğullayıcı tasarlanmış, üretilmiş ve ayrıca deneysel doğrulama için simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmak üzere performans testi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçları arasında mükemmel bir uyum sağlanmıştır.

### Abstract

In this study, slow wave characteristics can be obtained by using inductive slits in microstrip square loop resonator and so, desired size reduction can be obtained. Effects of numbers and depth of slits used in construction of a structure having inductive loading are investigated. Firstly design of bandpass filter and then frequency multiplexer applications are achieved. Finally, dual-band multiplexer has been designed, fabricated and also, performance test has been realized to compare the measured results with the simulation results for the experimental verification. An excellent agreement has been obtained between the simulated and measured results.

## 1. Giriş

Son yıllarda mobil iletişim sistemlerinde artan gelişmeler kompakt ve yüksek seçiciliğe sahip çoğullayıcı ihtiyacının artmasına neden olmuştur. Genellikle kanal ayırıcı ve birleştirici olarak kullanılan çoğullayıcılar birçok iletişim ve radar sistemlerinde geniş frekans bandlarının farklı frekanslardaki birçok sinyal bandına dönüşmesini sağlaması



Şekil 1: İndüktif yükleme özelliğine sahip yarıklı mikroşerit birim hücre yapısı.

ya da tam tersi işlemleri gerçekleştirilebilmesi sebebiyle oldukça önemli rol oynamaktadırlar.

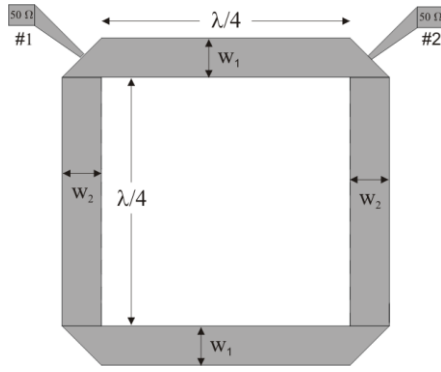
Kablosuz iletişim istemlerinin giderek çok fonksiyonlu hale gelmesiyle, çok bantlı işlemlerin önemi giderek artmaya başlamıştır. Bu durum çok fonksiyonlu sistemlerin temel elemanlarından biri olan çoğullama devrelerinin ve böyle çok fonksiyonlu sistemlerin hem boyut hem de maliyetinin optimize edilmesi için öngörülen çözümlerden bir tanesi olan çok bantlı filtre devrelerinin yaygın olarak kullanılması anlamını taşımaktadır. Bu nedenle çok fonksiyonlu sistemlerin temel elemanlarının optimizasyon çalışmaları da günümüzün popüler konuları arasına girmiştir.

Çoğullayıcı yapılarının iyi bir izolasyon ve düşük araya girme kaybı sağlaması gerekmektedir. Birçok kablosuz iletişim sistemi uygulamalarında çoğullayıcılar merkez frekansları farklı eliptik ya da lineer faz filtreler kullanılarak elde edilmektedir [1].

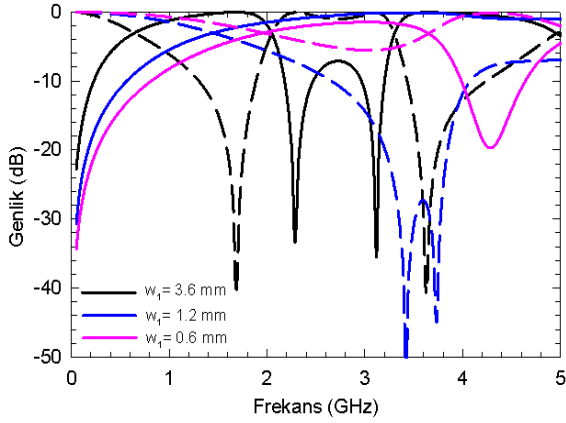
## 2. Çift Band Filtre Tasarımı

### 2.1. Yavaş Dalgalı Yapılar

Mikrodalga bileşenlerin boyutlarını minyatürize etmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi yavaş dalgalı yapılar kullanmaktır. İki farklı şekilde uygulanabilir; indüktif yükleme ve kapasitif yükleme. Bu çalışmada indüktif yükleme yöntemi



Şekil 2: Mikroşerit kare halka rezonatörün üstten görünüşü.



Şekil 3: Mikroşerit kare halka rezonatörün frekans cevabı. (Düz çizgiler S<sub>11</sub>, kesikli çizgiler S<sub>22</sub>)

Çizelge 1: Halka rezonatör için iletim hattının farklı şerit genişliğindeki (w<sub>1</sub>) karakteristik empedansları (Z<sub>01</sub>) (ε<sub>r</sub>=10.2, h=1.27 mm)

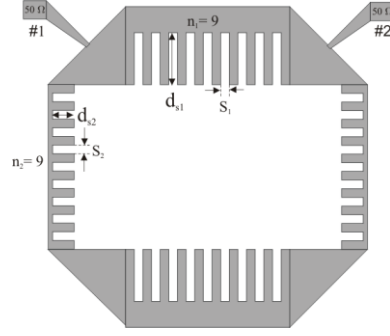
w <sub>1</sub> (mm)	Z <sub>01</sub> (Ω)
0.6	66.51
1.2	49.63
3.6	26.29

seçilmiştir. İndüktif yükleme, ince indüktif yarıkların yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. İndüktif yarıklar w genişliğindeki hat üzerine Şekil 1’de de görüldüğü üzere s genişliği ve d uzunluğundaki parmakların belirli aralıklarla periyodik olarak yerleştirilmesi ile oluşturulur. Herhangi bir konvansiyonel transmisyon hattının propagasyon hızı

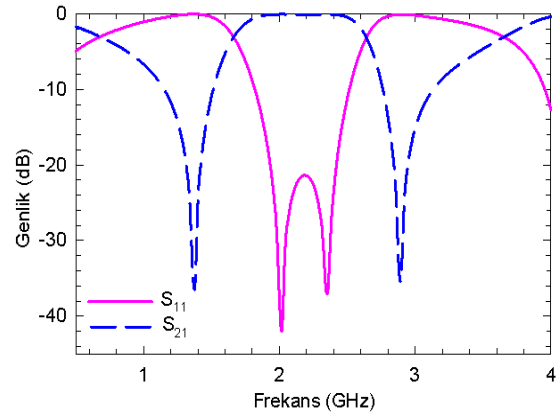
$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L'_0 C'_0}} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada L'<sub>0</sub> ve C'<sub>0</sub> sırasıyla birim uzunluktaki hattın indüktans ve kapasitans değerleridir ve değerleri hattın genişliğine bağlı olarak değişir. Transmisyon hattına indüktif yarıkların eklenmesi ile hattın birim uzunluğundaki kapasitans değeri hemen hemen aynı kalırken, indüktans değeri artar. Bu durumda efektif indüktans olarak adlandırılan hattın birim uzunluğundaki toplam indüktans değeri

$$L'_{eff} = L'_0 + L'_{ind} \quad (2)$$



Şekil 4: Yarıklar kullanılarak indüktif yüklemeli mikroşerit kare halka rezonatörlerin üstten görünüşü.



Şekil 5: İndüktif yüklemeli mikroşerit kare halka rezonatörün frekans cevabı.

şeklinde elde edilebilir. Bu durumda ilgili hattın propagasyon hızı

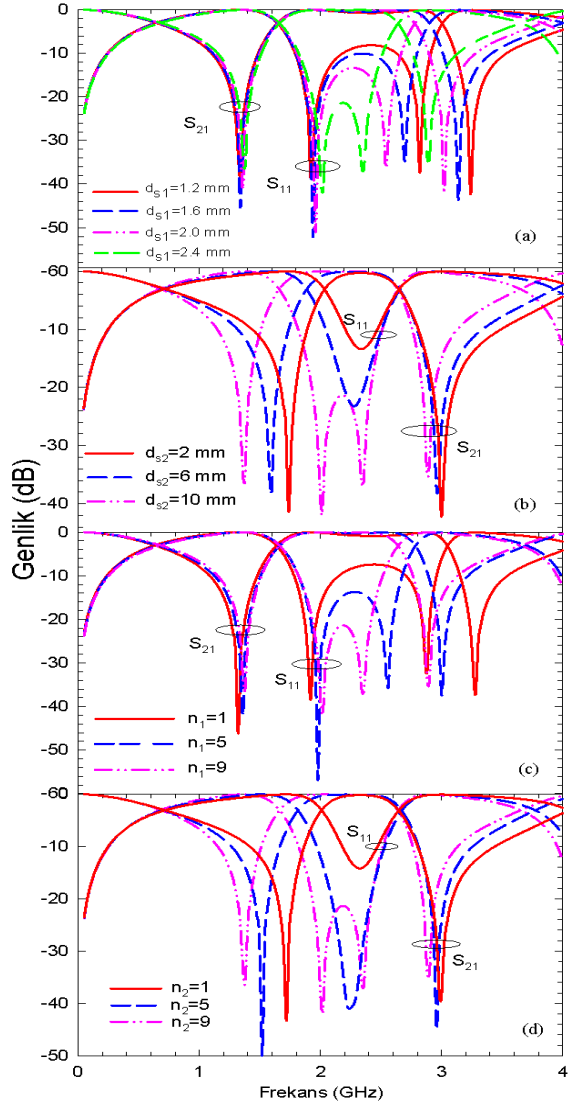
$$v = \frac{1}{\sqrt{L'_{eff} C'_0}} \quad (3)$$

olarak hesaplanır. L'<sub>eff</sub> > L'<sub>0</sub> olduğundan v < v<sub>0</sub> olur. Bu nedenle indüktif yüklemeli bu yapılar yavaş dalgalı yapılar olarak da adlandırılmaktadır [2].

## 2.2. Kare Halka Rezonatör

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım direk bağlı kare halka rezonatörlerin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de görülen rezonatör devresinde her bir iletim hattı ilgili frekansta çeyrek dalga boyundadır ve her bir hattın ortalama uzunlukları birbirine eşittir.

Rezonatörün w<sub>2</sub> genişliğindeki iletim hatlarının karakteristik empedansı 50 Ω olacak şekilde ayarlanmış ve w<sub>1</sub> genişliğindeki iletim hatlarının karakteristik empedansı ise Çizelge 1’de verilen farklı karakteristik empedanslara ayarlanmış ve frekans cevapları Şekil 3’de verildiği gibi elde edilmiştir. Bu durumda w<sub>2</sub> genişliğinin 3.6 mm olduğu durumda rezonatörün frekans cevabının iki kutuplu ve iki transmisyon sıfırlı olduğu gözlemlenmiştir.

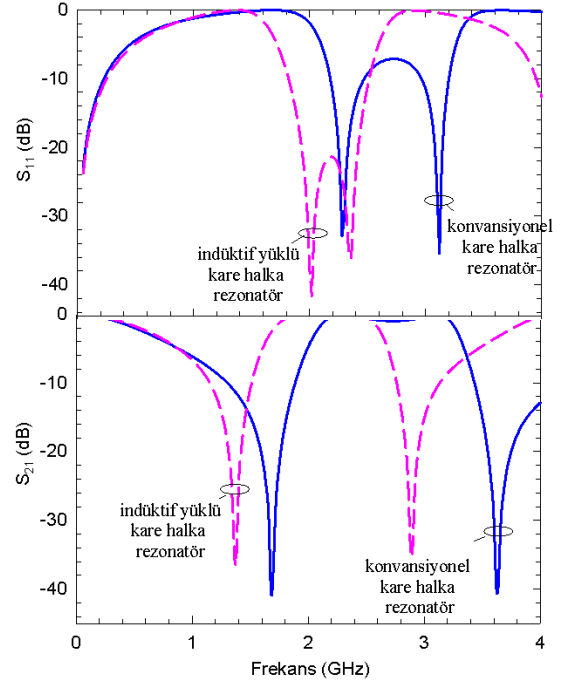


Şekil 6: İndüktif yüklemeli mikroşerit kare halka rezonatörlerde yarık derinliğinin ve sayısının frekans cevabı üzerindeki etkileri: a)  $d_{s1}$  değişimi b)  $n_1$  değişimi c)  $d_{s2}$  değişimi d)  $n_2$  değişimi.

### 2.3. İndüktif Yüklemeli Kare Halka Rezonatör

Bu kısımda frekans cevabı Şekil 3c'de görülmekte olan rezonatör devresi üzerine Şekil 4'de görüldüğü gibi indüktif elemanlar eklemek suretiyle elde edilmiştir. Böylece yavaş dalga etkisi kullanılarak hem hatların birim uzunluklarındaki indüktif etki artırılmış hem de toplam yüzey alanı değiştirilmeksizin minyatürizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

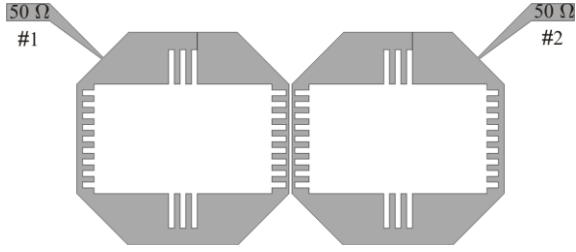
İndüktif etkiyi artırmak amacıyla İletim hatları üzerine eklenen indüktif yarıkların derinliği ( $d_s$ ) ve sayısı ( $n$ ) mümkün olduğunca artırılmıştır. Her bir iletim hattında  $n_1 = n_2 = 9$  yarık açılarak ve yarık derinlikleri  $d_{s1} = 2.4$  mm ve  $d_{s2} = 1.0$  mm, yarık genişlikleri  $s_1 = s_2 = 0.4$  mm olacak şekilde indüktif olarak yüklenerek elde edilen kare halka rezonatörün frekans cevabı Şekil 5'de görülmektedir.



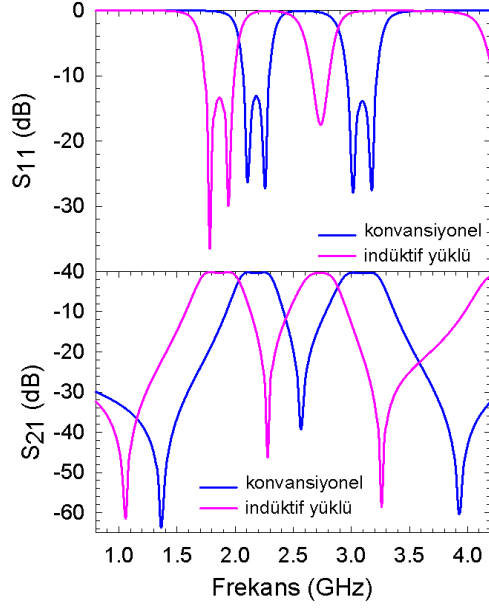
Şekil 7: Konvansiyonel ve indüktif yüklü mikroşerit kare halka rezonatörlerin frekans cevaplarının karşılaştırılması.

Kare halka rezonatör üzerinde açılan indüktif yarıkların derinliğinin ve sayısının değişimi ile tahmin edildiği üzere frekans cevabında kaymalar oluşacaktır. Şekil 6'da verilen frekans cevaplarından da görüleceği üzere iletim hatları üzerine açılan indüktif yarıkların sayısı ve derinliği artırıldıkça rezonans frekansı azalmıştır. Bu azalma hatların birim uzunluğundaki indüktansın artması sonucu gerçekleşmiştir. Böylece aynı yüzey alanına sahip indüktif yüklü devrenin daha düşük frekansa sahip olması ile minyatürizasyon sağlanmış olur. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta,  $d_{s1}$  derinliğinin ve  $n_1$  indüktif yarık sayısının değiştirilmesi durumunda geçme bandının sol tarafındaki yansıma sıfır ve kutupları hemen hemen sabit kalırken, bandın sağ tarafında bulunanlar değişim göstermiş, benzer şekilde  $d_{s2}$  derinliğinin ve  $n_2$  indüktif yarık sayısının değiştirilmesi durumunda da geçme bandının sağ tarafında bulunan yansıma sıfır ve kutupları hemen hemen sabit kalmış, bandın sol tarafında bulunanlar ise değişmiştir. Bu durum yansıma sıfırları ve kutuplarının ayrı ayrı kontrollerinin sağlanması açısından oldukça önem taşımaktadır.

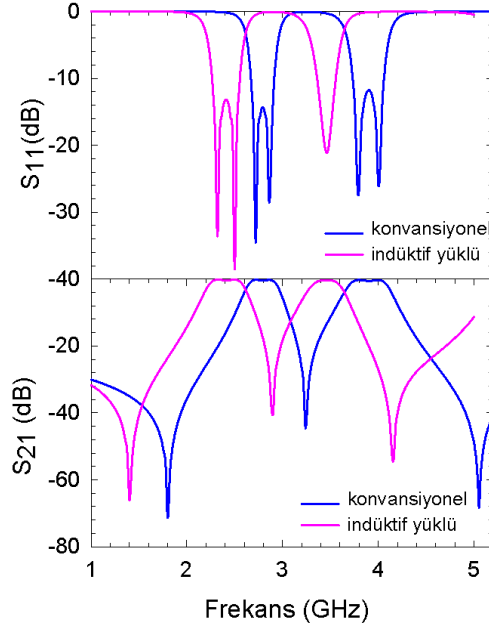
Aynı zamanda rezonatörün kalite faktörü de indüktif yarıkların derinliği ( $d_s$ ) ve hat üzerine açılan indüktif yarık sayısı ( $n$ ) ile kontrol edilebilmektedir [3]. Bu nedenle Şekil 2'de görülmekte olan rezonatör hat genişlikleri  $w_1 = 3.6$  mm,  $w_2 = 1.2$  mm olacak şekilde tasarlanmış ve yine aynı rezonatör üzerine  $d_{s1} = 2.4$  mm,  $d_{s2} = 1.0$  mm ve  $s_1 = s_2 = 0.4$  mm olacak şekilde indüktif yarıkların eklenmesi ile elde edilen indüktif yüklü kare halka rezonatör ile kalite faktörleri karşılaştırılmıştır. İndüktif yüklü rezonatörün kalite faktörünün kare halka rezonatöre göre ~%25 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kare halka rezonatör ile indüktif yüklü rezonatör arasındaki merkez frekansı değişimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 8: İndüktif yüklemeli mikroşerit kare halka rezonatörlerin çift band filtre uygulaması (üstten görünüş)

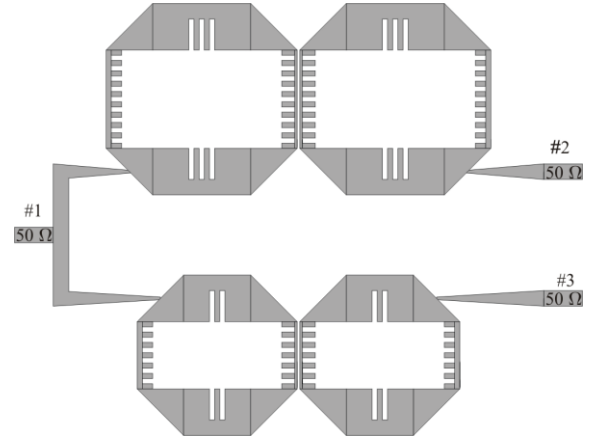


(a)

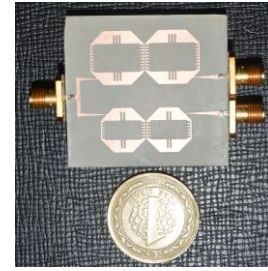


(b)

Şekil 9: Çift Bandlı Filtrelerin frekans cevabı  
a) ÇBF#1, b) ÇBF#2.



(a)



(b)

Şekil 10: Önerilen mikrodalga çoğullayıcı devresi  
a) Filtre geometrisinin üstten görünüşü, b) Üretilen mikrodalga çoğullayıcı devresi.

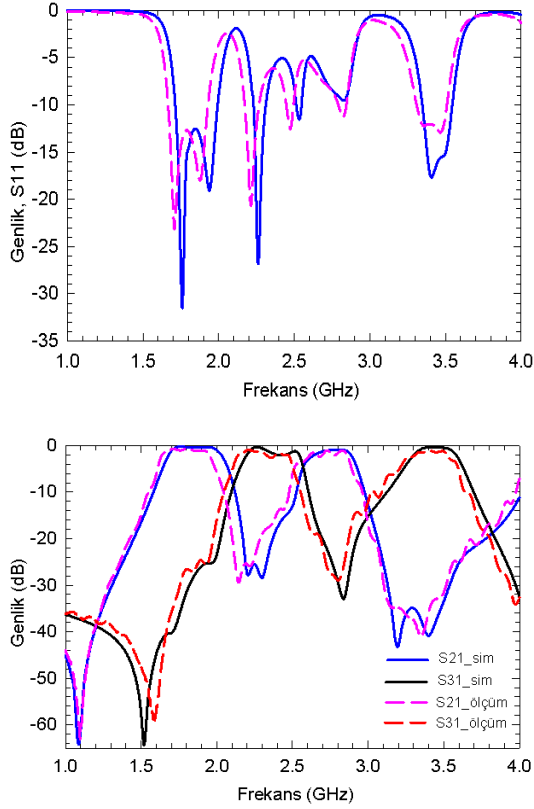
Çizelge 2: ÇBF#1 ve #2 için merkez frekansı değişimleri

Konvansiyonel filtre		
	$f_{01}$ (GHz)	$f_{02}$ (GHz)
ÇBF#1	2.1	3.1
ÇBF#2	2.8	3.9
İndüktif yüklü filtre		
	$f_{01}$ (GHz)	$f_{02}$ (GHz)
ÇBF#1	1.8	2.7
ÇBF#2	2.4	3.45

## 2.4. Çift Bandlı Filtreler

Literatürde çok bandlı band geçiren filtre üretimi için pek çok yöntem mevcuttur. Son zamanlarda çoğullayıcı tasarımlarında kullanılan filtrelerde rezonatör boyutlarını küçültmek ve rezonans frekansını kontrol etmek amacıyla basamak tipi empedans rezonatörler kullanılarak elde edilen Çok Bandlı Filtreler (ÇBF) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4]. Önerilen yapıda ise bu duruma alternatif olarak indüktif yüklemeli basamak tipi empedans rezonatörler kullanılarak minyatürizasyon gerçekleştirilmiştir.

Çift bandlı filtreler indüktif yüklü iki özdeş rezonatörün birbirine kuplanmasıyla elde edilir. Şekil 8'de görülen çift bandlı filtre (ÇBF#1) için indüktif yarıkların derinlikleri  $ds_1 = 2.4$  mm,  $ds_2 = 0.8$  mm,  $ds_3 = 1.0$  mm olarak alınmıştır ve indüktif yarıklar arası mesafe 0.4 mm'dir. Üst ve alt kollara



Şekil 11: Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

üç, yan kollara dokuz adet indüktif yarı eklenen ÇBF#1'in toplam yüzey alanı 14.8 mm x 14.8 mm'dir. Benzer şekilde toplam yüzey alanı 12.4 mm x 12.4 mm olan ve yine yarı derinlikleri  $ds_1 = 2.4$  mm,  $ds_2 = 0.8$  mm,  $ds_3 = 1.0$  mm ve indüktif yarıklar arası mesafe 0.4 mm olacak şekilde üst ve alt kollara iki ve yan kollara dokuz adet indüktif yarı eklemek suretiyle bir çift bantlı filtre daha (ÇBF#2) üretilmiştir. Filtreler bağıl dielektrik sabiti 10.2 ve kalınlığı 1.27 mm olan RT/Duroid taban üzerinde simüle edilmiştir [5].

ÇBF#1 ve ÇBF#2 için konvansiyonel yapılarıyla karşılaştırılmalı olarak verilen frekans cevapları Şekil 9'da görülmektedir. İndüktif yarıklar eklenmesi ile meydana gelen merkez frekans değişimleri Çizelge 2'de verilmiştir.

### 3. Mikrodalga Çoğullayıcı Tasarımı

Çift band filtre konfigürasyonlarının belirlenmesinin ardından filtrelerin belirli aralıklarla uygun biçimde yerleştirilmesi sonucunda mikrodalga çoğullayıcı devresi Şekil 10(a)'da görüldüğü gibi oluşturulabilmektedir.

### 3.1. Deneysel Çalışma

Önerilen mikrodalga çoğullayıcı devresi tam dalga EM simülasyon kullanılarak tasarlanmıştır [5] ve ölçümleri HP8720C network analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çoğullayıcı devresi 10.2 bağıl dielektrik katsayısı ve 1.27 mm taban kalınlığına sahip RT/Duroid taban üzerinde imal edilmiştir. Mikroşerit besleme hatlarına sahip olan devre 50  $\Omega$ 'luk konektörler tarafından beslenmektedir. Üretilen devre Şekil 10(b)'de görülmektedir. Böyle bir topolojiye sahip çoğullayıcı devresinin ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 11'de de görüldüğü üzere oldukça iyi bir uyum yakalamıştır. Mikrodalga çoğullayıcı tasarımı için önemli parametrelerden biri olan izolasyon seviyesinin de 20 dB'in altında olduğu gözlenmiştir.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada istenilen performans ve minyatürizasyonu elde etmek için, indüktif yüklem elemanlarının belirli aralıklarla periyodik olarak yerleştirilmiş olduğu mikroşerit kare halka rezonatörler ile oluşturulan indüktif yüklemeli çift band filtrelerin kullanılması ile elde edilen mikrodalga çoğullayıcı devresi önerilmektedir. Mikrodalga çoğullayıcı devresinde kullanılan çift bantlı filtrelerin merkez frekansları sırasıyla, ÇBF#1 için 1.8 GHz GSM bandında, 2.7 GHz sivil ve askeri radar uygulamalarında, ÇBF#2 için 2.4 GHz Bluetooth ve WiFi, 3.45 GHz WiMax uygulamalarında kullanılabilecek şekilde ayarlanmıştır. İstenilen minyatürizasyonu sağladığını doğrulamak için önerilen çoğullayıcı devresinin ölçüm ve simülasyon sonuçları birbiri ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda mikrodalga çoğullayıcı tasarımında oldukça önemli noktalardan biri olan izolasyon seviyesinin de genel olarak 20 dB'in altında olduğu görülmüştür.

## 5. Kaynaklar

- [1] Karpuz, C., Kaptan G. ve Görür, A., " Novel Microstrip Diplexer and Dual Band Filter Applications for Wireless Communication Systems ", *Proceedings of the fourth LASTED International Conference on Circuits, Signals and Systems*, 2006, 43-46.
- [2] Karpuz, C. ve Ozturk, P., " Design of branch line coupler loaded capacitively with interdigitated fingers by using microstrip fed coplanar structures (L-shaped conductor backed asymmetric CPS and U-shaped conductor backed CPW) ", *Microwave and Optical Technology Letters*, 55., 816-820, 2013
- [3] Görür, A. ve Karpuz, C., " Experimental study on characteristics of loaded CPW resonators ", *Microwave and Optical Technology Letters*, 21., 199-201, 1999.
- [4] Prigent, G. ve Vu, T.-M., " Design of an input multiplexer using dual-band planar filters", *Microwave Symposium Digest (IMS), 2013 IEEE MTT-S International*, 2013, 1-3.
- [5] EM User's Manual, Sonnet Software, Inc., Liverpool, NY, 2008.