


# İnterdijital kapasitör yüklü geniş bantlı mikroşerit bant durduran filtre tasarımı

## Interdigital capacitor loaded wideband bandstop microstrip filter design

Ali Kürşad GÖRÜR<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye.  
kgorur@nevsehir.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.02.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 14.08.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.58265

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu makalede, kompakt bir yapıya sahip geniş bantlı bant durduran mikroşerit filtre tasarımı önerilmektedir. Önerilen filtre, kıvrılmış mikroşerit hatlarla oluşturulmuş menderes biçimli açık halka rezonatörün alt kenarına kapasitif yükleme yapılarak tasarlanmaktadır. Giriş-çıkış portları birbirine yüksek empedansa sahip bir iletim hattı ile bağlı olup, kapasitif yükleme bu hatta interdigital kapasitörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Tasarlanan filtrede durdurma bandının üst ve alt frekanslarında oluşturulan yansıma sıfırları sayesinde yüksek seçicilik elde edilebilmektedir. Bu yansıma sıfırlarının kontrolü devredeki çeşitli parametrelerdeki değişimlerle sağlanmaktadır. Ayrıca, durdurma bandı içerisinde iki adet iletim sıfır mevcuttur. Durdurma bandının bant genişliği ve merkez frekansı da kontrol edilebilmektedir. Tasarlanan filtre, önerilen çalışmaların geçerliliğinin ortaya konulabilmesi amacıyla 10.2 bağlı dielektrik sabitine ve 1.27 mm taban kalınlığına sahip RT/Duroid malzeme üzerinde imal edilmiştir. Yaklaşık 2.57 GHz merkez frekansında 1.22 GHz bant genişliğine sahip filtrenin ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarıyla oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Ölçüm sonuçlarında yansıma kaybı ve bant içi araya girme kaybı sırasıyla -0.3 dB ve -20 dB'den daha iyi olacak şekilde elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mikroşerit, Filtre, Bant durduran, Geniş bant

### Abstract

In this paper, a wideband microstrip bandstop filter design having a compact size is proposed. The proposed filter is designed by making a capacitive loading to the bottom side of a meandered open loop resonator formed by folded microstrip transmission lines. Input-output ports are connected to each other with a high impedance transmission line and capacitive loading is achieved by interdigital capacitors to this transmission line. In the designed filter, high selectivity can be obtained by means of reflection zeros occurred at the upper and lower frequencies of the stopband. Control of those reflection zeros is achieved by the changes in various parameters of the circuit. Besides, there are two transmission zeros inside the stopband. Bandwidth and center frequency of the stopband can also be controlled. In order to prove the validity of the proposed study, the designed filter was fabricated on an RT/Duroid substrate having a dielectric constant of 10.2 and a thickness of 1.27 mm. Measured results of the filter with a center frequency of approximately 2.57 GHz and a bandwidth of 1.22 GHz have been observed in a very good agreement with the simulated results. In the measurements, return loss and in-band insertion loss have been obtained as -0.3 dB and better than -20 dB, respectively.

**Keywords:** Microstrip, Filter, Bandstop, Wideband

## 1 Giriş

Son yıllarda uydu ve uzay haberleşme sistemlerindeki hızlı gelişime bağlı olarak geniş bantlı bant durduran filtreler bu tür sistemlerin önemli bir bileşeni durumundadır. Bu filtreler, geniş bir frekans bandında istenmeyen sinyallerin ve gürültülerin bastırılması amacıyla kullanılmaktadır. Düşük maliyete, yüksek seçiciliğe, yüksek durdurma oranına ve kompakt boyutlara sahip devre tasarımlarına izin vermelerinden dolayı mikroşerit yapılar geniş bantlı bant durduran filtre tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır [1],[2].

Literatürde geniş bantlı mikroşerit bant durduran filtre tasarımlarına yönelik çeşitli tasarım türleriyle karşılaşılabilir. Bunlar içerisinde açık halka rezonatörler [3], paralel kuplajlı hatlar [4]-[7], basamak empedans tipi rezonatörler [8],[9], açık devre sonlandırılmalı yan hatlar [11],[12], sıklıkla ele alınmış tasarım metodlarıdır. Açık halka rezonatörün kullanıldığı geniş bantlı bant durduran filtre tasarımına [3]'te rastlanmaktadır. Bu çalışmada, durdurma bandı içerisinde tek kutup elde edilmiş olup, giriş-çıkış portlarının açık halka rezonatöre bağlantı yerleri sayesinde geniş bir durdurma bandı elde edilmiştir. Paralel kuplajlı hatlara dayalı geniş bantlı bant durduran filtre tasarımları ise literatürde en çok tercih edilen modellerden

biri olmuştur. Bu sayede geniş bir durdurma bandı içerisinde beş iletim sıfırının elde edilmesine yönelik [4], bant dışı yansıma sıfırları sayısının artırılmasına yönelik [5],[6], yüksek durdurma oranının elde edilmesine yönelik [7] çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Basamak empedans tipi rezonatörler de, giriş-çıkış portları arasında farklı empedanslara sahip iletim hatlarının yerleştirilmesi suretiyle ele alınan bir diğer tasarım metodu olarak literatürde yerini almıştır [8],[9]. Bu çalışmaların yanı sıra, halka rezonatörün içerisine yerleştirilmiş açık devre sonlandırılmalı yan hatlar ile tasarlanmış filtreler [10], basamak empedans tipi rezonatörlerde ve paralel kuplajlı hatlarda açık devre sonlandırılmalı yan hatların kullanılmasıyla tasarlanmış filtreler de yine literatüre kazandırılmış diğer tasarım metodlarıdır [11], [12]. Eşdüzlemsel dalga kılavuzlarının bozulmuş toprak düzlemlerle beraber kullanılmasına dayalı geniş bantlı bant durduran filtre tasarımları ve yama pertürbasyon elemanlarına sahip halka rezonatörlerin giriş-çıkış portlarına doğrudan bağlanmasına dayalı geniş bantlı bant durduran filtre tasarımları da literatürdeki önemli çalışmalardan bazılarıdır [13],[14].

Bu çalışmada, kapasitif yüklemeye sahip bir açık halka rezonatörün giriş-çıkış portlarına doğrudan bağlanmasıyla yeni bir geniş bantlı bant durduran filtre tasarımı

önerilmektedir. Literatürdeki geniş bantlı bant durdurucu filtre tasarımları arasında önemli bir kompaktlığa sahip olan yapı, durdurma bandına ait merkez frekansının ve bant genişliğinin kontrol edilmesine de çeşitli parametreler vasıtasıyla imkân vermektedir. Rezonatördeki kapasitif yüklemeye interdijital kapasitör sayesinde rezonatörün alt kenarından yapılmış olup, bu kapasitif etkinin frekans cevabı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Diğer yandan, rezonatörün açık kolları arasına yerleştirilen bir ideal kapasitörün frekans cevabı üzerine etkileri de gözlenmiştir. Önerilen filtre konfigürasyonu, Tam-Dalga Elektromanyetik Simülasyon kullanılarak optimum performans elde edilebilecek boyutlara ulaştırılmış ve imal edilmiştir. İmal edilen filtrenin ölçümleri ile simülasyon sonuçlarının oldukça iyi bir uyum sergilediği gözlenmiştir.

## 2 Filtre tasarımı

Tasarlanan filtre, giriş-çıkış portları arasında yüksek empedanslı iletim hattı ile açık devre sonlandırılmalı yan hatların geniş bantlı bir durdurma bandı oluşturacağı bilgisi ışığında ortaya konmaktadır [1],[2]. Söz konusu yüksek empedanslı iletim hattı ve açık devre sonlandırılmalı yan hatların bir açık halka rezonatör görünümünde olduğu söylenebilir. Tasarım esnasında özellikle Tam-Dalga Elektromanyetik Simülasyon olan Sonnet yazılımı kullanılarak tüm boyutlar nihai haline ulaştırılmıştır [15]. Sonnet yazılımı düzlemsel problemlerin çözümü için Maxwell Denklemleri'ne doğrudan uygulanan Momentler Metodu'nu kullanmaktadır [15]. Diğer yandan, çalışma kapsamındaki tüm simülasyon ve deneysel çalışmalarda 10.2 bağıl dielektrik sabitine ve 1.27 mm taban kalınlığına sahip RT/Duroid taban malzemesi kullanılmaktadır. Malzemenin taban kalınlığı ve dielektrik sabitine göre giriş-çıkış portlarında 50 ohm elde edebilmek için mikroşerit iletim hattının kalınlığı yaklaşık olarak 1.2 mm olarak hesaplanmıştır [1].

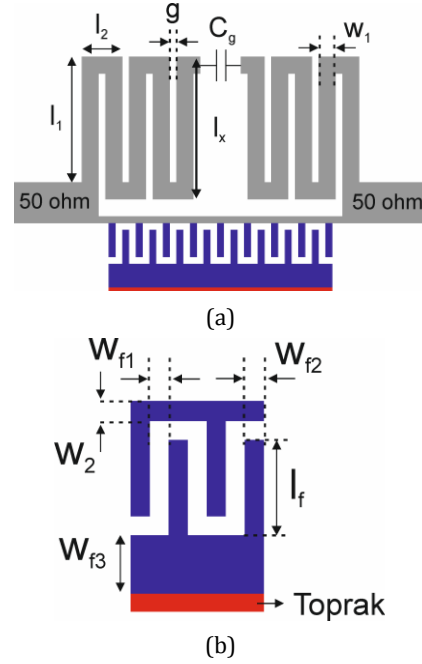
### 2.1 Önerilen filtre konfigürasyonu

Önerilen geniş bantlı mikroşerit bant durdurucu filtre konfigürasyonu Şekil 1a'da gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, kıvrılmış iletim hatlarıyla oluşturulmuş menderes biçimli açık halka rezonatörün alt kenarı yüksek empedansa sahip bir iletim hattından oluşmaktadır. Bu yüksek empedanslı iletim hattı giriş-çıkış portlarını birbirine bağladığından bir durdurma bandı elde edilebilmektedir. Söz konusu iletim hattı ayrıca interdijital kapasitörler ile yüklenmekte, böylece durdurma bandı performansı kontrolü sağlanmaktadır. İnterdijital kapasitörlerin daha yakın görünümü ise Şekil 1b'de gösterilmektedir. Bilindiği gibi interdijital kapasitörlerin kapasitans değeri Denklem (1)'de verilen formül vasıtasıyla hesaplanabilir [1].

$$C_{int} = 3.937 \times 10^{-5} \epsilon_r (\epsilon_r + 1) [0.11(n - 3) + 0.252] \text{ (pF)} \quad (1)$$

Burada,  $n$  interdijital kapasitördeki parmak sayısını,  $\epsilon_r$  bağıl dielektrik sabitini ve  $f$   $\mu\text{m}$  cinsinden parmak uzunluğunu göstermektedir. Tasarlanan filtrede interdigital kapasitör yerine toplu kapasitör kullanılması da bir diğer alternatif yöntem olarak gösterilebilir. Ancak, söz konusu toplu kapasitörler deneysel çalışmalarda değer olarak esneklik sağlayamayacak ve aynı zamanda kayıp anlamında daha fazla olumsuz etkide bulunacaktır. Dolayısıyla toplu kapasitörlerin deneysel çalışmalardaki bu dezavantajları nedeniyle arzu edilen frekans cevaplarına ulaşılması daha da güçleşecektir.

Önerilen filtre konfigürasyonundaki bir diğer önemli parametre ise, açık halka rezonatörün kıvrılmış açık kolları arasına yerleştirilmiş ideal  $C_g$  kapasitansdır. Bu kapasitans durdurma bandının alt ve üst frekanslarındaki sıfırların kontrol edilmesinde etkin olacağından, bu etkinin incelenmesi amacıyla yerleştirilmiştir. Şekil 1a'daki filtre konfigürasyonu ve Şekil 1b'deki interdijital kapasitör üzerinde gösterilen boyutlar Tablo 1'de verilmiş olup, tabloda yer almayan boyutlandırmalar frekans cevabı üzerine etkileri gözlemlenen parametrelerdir.



Şekil 1(a): Önerilen geniş bantlı bant durdurucu filtre yapısı, (b): İnterdijital kapasitörün yakın görünümü.

Tablo 1: Tasarlanan filtreye ait boyutlandırmalar.

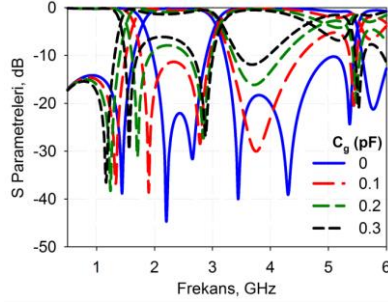
Parametre	Boyut (mm)
$l_1$	3.2
$l_2$	1.2
$g$	0.2
$w_1$	0.5
$w_2$	0.2
$w_{f1}$	0.2
$w_{f2}$	0.2
$w_{f3}$	0.8

Tasarlanan filtrede bir diğer önemli nokta da, rezonatörün kıvrımlı kolları arasındaki kuplajdır. Burada, her bir iletim hattı arasında elektriksel ve manyetik kuplaj mevcut olup, bu kuplaj durdurma bandının performansının artırılmasında etkili olmuştur.

### 2.2 Çeşitli parametrelerin frekans cevabına etkisi

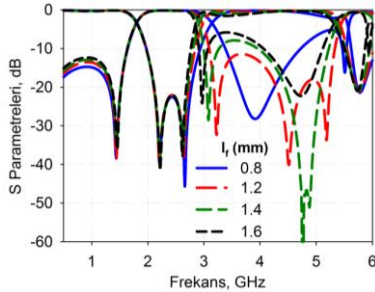
Şekil 2'de  $C_g$  kapasitansının frekans cevabı üzerine etkisi gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, kapasitans değeri 0.3 pF'a kadar değiştirilmiş ve hem bant içerisindeki iletim sıfırlarında, hem de durdurma bandının üst tarafındaki yansıma sıfırları frekanslarında değişim gözlenmektedir. Buna göre, kapasitansın artmasıyla birlikte bant içerisindeki iletim sıfırları birbirinden ayrılmaktadır. Kapasitansın olmadığı durumda, yani  $C_g = 0$  pF değerinde, durdurma bandı içerisindeki araya girme kaybının -20 dB'den daha düşük

seviyelerde elde edildiği gözlenmektedir. Kapasitansın artmasıyla durdurma bandının bant genişliğinin de alt frekanslara doğru arttığı gözlenmektedir. Durdurma bandının üst frekanslarında ise kapasitansın artmasına bağlı olarak yansıma sıfırları birbirine yaklaşmaktadır. Kapasitörün olmadığı durumda yaklaşık olarak 3.45 ve 4.3 GHz frekanslarındaki iki iletim sıfırı, kapasitansın eklenmesiyle birlikte çakışık hale gelmektedir.



Şekil 2:  $C_g$  kapasitansı değişiminin frekans cevabına etkisi ( $l_f = 1.0$ ,  $l_x = 4.2$  mm,  $n = 17$ ).

İnterdijital kapasitördeki parmak uzunluğunu gösteren  $l_f$ 'nin frekans cevabı üzerine etkisi Şekil 3'te gösterilmektedir. Bu uzunluktaki değişim yüklem kapasitansındaki değişime karşılık gelmekte olup, durdurma bandının içerisinde veya alt frekanslarında herhangi bir değişime sebebiyet vermemektedir. Şekilden görüleceği üzere, yüklem kapasitansının artırılması, yani  $l_f$  uzunluğunun artırılması, durdurma bandının üst frekanslarındaki yansıma sıfırlarını ayırıştırılmaktadır. Özellikle 0.8 mm ve altındaki boyutlarda bant sonrasında yansıma sıfırlarının çakışık olarak elde edileceği söylenebilir.

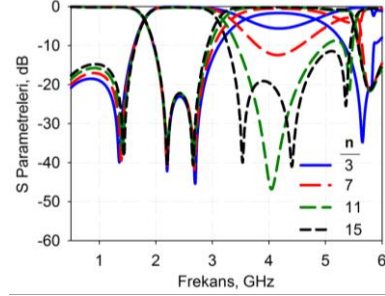


Şekil 3:  $l_f$  uzunluğundaki değişimin frekans cevabına etkisi ( $C_g = 0$  pF,  $l_x = 4.2$  mm,  $n = 17$ ).

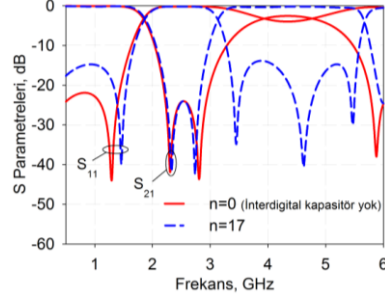
İnterdijital kapasitördeki parmak sayısının frekans cevabı üzerine etkisinin de yine  $l_f$  uzunluğunun etkisi ile benzer olması gereklidir. Çünkü her iki parametre de yüklem elemanının kapasitansını belirlemektedir. Şekil 4'te parmak sayısının frekans cevabı üzerine etkisi 3 ila 15 adet parmak üzerinden gösterilmekte olup, durdurma bandı içerisinde ve alt frekanslarında herhangi bir değişim gözlenmemektedir. Buna göre, parmak sayısının 11'den az olduğu tasarımlarda durdurma bandının üst frekanslarında yine çakışık yansıma sıfırlarının gözlenebileceği söylenebilir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer durum da, tasarımdaki mümkün olan en yüksek parmak sayısının 17 olabileceğidir.

Şekil 3 ve Şekil 4'ten anlaşılacağı üzere interdijital kapasitörün en önemli etkisi durdurma bandı sonrasındaki yansıma sıfırlarının oluşumu üzerinedir. Bir başka deyişle tasarlanan filtrede durdurma bandının seçiciliği doğrudan interdijital

kapasitörle kontrol edilebilmektedir. Şekil 5'te interdijital kapasitörlerin mevcut olduğu ve olmadığı yapılarla dair frekans cevapları gösterilmektedir. İnterdijital kapasitörün mevcut olmadığı durumda durdurma bandının üst frekanslarında hiçbir yansıma sıfırı gözlenmemekte, dolayısıyla geçme bandının da mevcut olmadığı söylenebilmektedir.

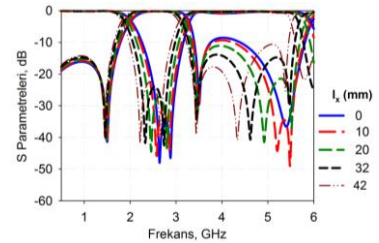


Şekil 4: Parmak sayısının frekans cevabına etkisi ( $l_f = 1.0$ ,  $l_x = 4.2$  mm,  $C_g = 0$  pF).



Şekil 5: İnterdijital kapasitörün varlığının frekans cevabına etkisi ( $l_x = 4.2$  mm,  $C_g = 0$  pF).

Tasarlanan filtrede  $l_x$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi ise Şekil 6'da gösterilmektedir.  $l_x$  uzunluğundaki değişim, rezonatörün elektriksel uzunluğundaki değişim anlamına geldiğinden, filtrenin rezonans frekansının değişmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, uzunluğun artırılmasıyla merkez frekans düşük frekanslara çekilebilmektedir. Diğer yandan, durdurma bandı sonrasındaki üç yansıma sıfırından ilkinin ve sonuncusunun hemen hemen sabit kaldığı, ikincisinin ise uzunluk artışına bağlı olarak alt frekanslara taşındığı gözlenmektedir. Söz konusu uzunluğun 0 mm olduğu durumda ikinci ve üçüncü yansıma sıfırı frekanslarının çakışık olarak elde edildiği gözlenmektedir. Böylece, üst geçme bandındaki yansıma kaybı seviyesi de artmaktadır.



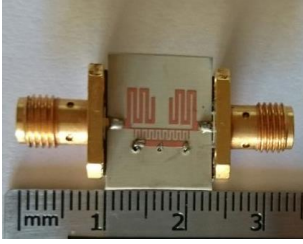
Şekil 6: Tasarlanan filtrede  $l_x$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $l_f = 1.0$  mm,  $n = 17$ ,  $C_g = 0$  pF).

### 3 Deneysel çalışmalar

Tasarlanan filtre serigrafı yöntemiyle imal edilmiş ve ölçümleri Agilent E5071C Network Analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İmal edilen filtrenin fotoğrafı Şekil 7'de

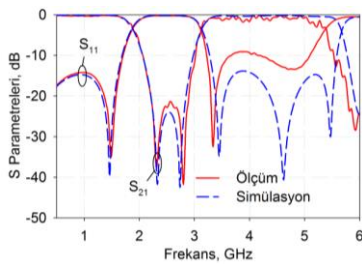


gösterilmektedir. Devre imalatında 10.2 bağıl dielektrik sabitine ve 1.27 mm kalınlığına sahip RT/Duroid taban malzemesi kullanılmıştır. İmal edilen filtrenin toplam boyutu 12.2 x 6.9 mm<sup>2</sup> gibi oldukça kompakt bir seviyede olup Tablo 1’de verilen parametrelerin haricindeki boyutlar  $l_f = 1.0$  mm,  $n = 17$ ,  $l_x = 4.2$  mm ve  $C_g = 0$  pF’dir. Bu değerlere bağılı olarak, inter dijital kapasitörlerin kapasitansı Denklem (1)’e göre 0.79 pF’dir. Ayrıca, imalat esnasında inter dijital kapasitörlerin topraklama işlemi Şekil 7’den de görüldüğü gibi üç noktadan yapılmıştır.



Şekil 7: İmal edilen filtreye ait fotoğraf.

Ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarına ait S-parametrelerinin karşılaştırması Şekil 8’de gösterilmektedir. Sonuçların oldukça iyi bir uyum sergilediği görülmektedir. Simülasyon ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılıklar imalat hatalarından kaynaklanmaktadır. Bant içerisindeki iletim sıfırları simülasyonlarda 2.32 ve 2.74 GHz’de elde edilirken, ölçümlerde 2.30 ve 2.80 GHz’de elde edilmiştir. Bant içerisindeki araya girme kaybı hem simülasyonlarda hem de ölçümlerde -20 dB’den daha iyidir. Durdurma bandının bant genişliği simülasyonlarda yaklaşık olarak 1.25 GHz iken, ölçümlerde 1.22 GHz’dir. Merkez frekansı ise simülasyonlarda 2.54 GHz iken, ölçümlerde 2.57 GHz olarak gözlenmiştir. Bant sonrasında yaklaşık 5.5 GHz’e kadar oldukça iyi bir üst geçme bandı mevcuttur. Üst geçme bandındaki yansıma sıfırları simülasyonlarda 3.44, 4.62 ve 5.48 GHz frekanslarında iken, ölçümlerde ise 3.36 ve 4.84 GHz frekanslarında toplam iki adet yansıma sıfırı elde edilmiştir. Durdurma bandındaki yansıma kaybı simülasyonlarda yaklaşık olarak -0.15 dB civarlarında, ölçümlerde ise -0.3 dB civarlarında elde edilebilmiştir.



Şekil 8: Ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, oldukça kompakt boyutlara sahip geniş bantlı mikroşerit bant durduran filtre tasarımı deneysel çalışmalarıyla birlikte gerçekleştirilmiştir. Tasarımda giriş-çıkış portları birbirine yüksek empedanslı iletim hattıyla bağlanmış, açık devre sonlandırılmalı kıvrımlı yan hatlarla birlikte menderes biçimli açık halka rezonatör topolojisi ortaya çıkarılmıştır. Yüksek empedanslı iletim hattına inter dijital kapasitörlerle kapasitif yüklemeye yapılarak frekans cevabı üzerine etkileri incelenmiş ve söz konusu

kapasitörlerin özellikle durdurma bandının seçiciliğinde önemli bir göreve haiz olduğu gösterilmiştir. Tasarlanan devre imal edilmiş ve ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarıyla oldukça iyi bir uyum sergilediği gözlenmiştir. Deneysel çalışmalarda, bant içi araya girme kaybı -20 dB’den daha iyi ölçülerek oldukça iyi bir bant söndürme oranı elde edilmiştir. Ayrıca yansıma kaybı yaklaşık olarak -0.3 dB civarlarında elde edilmiştir.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Hong JS, Lancaster MJ. *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. New York, USA, Wiley, 2001.
- [2] Pozar DM. *Microwave Engineering*. New York, USA, Wiley, 2005.
- [3] Gorur A, Karpuz C. "Uniplanar compact Wideband Bandstop filter". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 13(3), 114-116, 2003.
- [4] Mandal MK, Divyabramham K, Velidi VK. "Compact wideband bandstop filter with five transmission zeros". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 22(1), 4-6, 2012.
- [5] Ren SW, Wu LS, Peng HL, Mao JF. "A new wideband elliptic bandstop filter with cross coupling". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 25(10), 639-641, 2015.
- [6] Ren SW, Wu LS, Peng HL, Mao JF. "Quasi-Elliptic wideband bandstop filter using stepped-impedance coupled line". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 25(6), 364-366, 2015.
- [7] Liang L, Liu Y, Li J, Li S, Yu C, Wu Y, Su M. "A novel wide-stopband Bandstop filter with sharp-rejection characteristic and analytical theory". *Progress in Electromagnetics Research C*, 40, 143-158, 2013.
- [8] Chen FC, Li RS, Qiu JM, Chu QX. "Sharp-Rejection wideband bandstop filter using stepped impedance resonators". *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 7(3), 444-449, 2017.
- [9] Hsieh MY, Wang SM. "Compact and wideband microstrip bandstop filter". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 15(7), 472-474, 2005.
- [10] Gorur AK, Karpuz C, Ozdemir PO, Karaca Z. "A novel compact triple-mode microstrip bandstop filter with adjustable reflection zeros". *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, Seoul, South Korea, 5-8 November 2013.
- [11] Shaman H, Hong JS. "Wideband bandstop filter with cross-coupling". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 55(8), 1780-1785, 2007.
- [12] Rao M, Wu Y, Wang W, Liu Y. "Design of compact Wideband high-selectivity band-stop filter based on coupled lines". *Progress In Electromagnetics Research C*, 53, 55-66, 2014.
- [13] Chen H, Jiang D, Chen X. "Wideband bandstop filter using hybrid microstrip/CPW-DGS with via-hole connection". *Electronics Letters*, 52(17), 1469-1470, 2016.
- [14] Sahin EG, Gorur AK, Karpuz C, Gorur A. "A novel compact wideband bandstop filter design using a dual-mode square loop resonator". *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, New Delhi, India, 5-9 December 2016.
- [15] Sonnet User’s Manual, Version 14, *Sonnet Software*, North Syracuse, NY, June 2011.