

Kompakt çift bantlı mikroşerit soğurucu (yansız) bant durduran filtre tasarımı

Compact dual-band microstrip absorptive (reflectionless) bandstop filter design

Ali Kürşad GÖRÜR^{1*}, Kürşat Oğuzhan ŞAHİN¹, Alper TÜRKELİ¹, Ceyhan KARPUZ²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye.
kgorur@nevsehir.edu.tr, kursatoguzhansahin@gmail.com, alperturkeli@nevsehir.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
ckarpuz@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.02.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 22.05.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 28.03.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.61091
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada çift bantlı mikroşerit soğurucu (yansız) bant durduran filtre tasarımları, simülasyon ve deneysel çalışmalarla sunulmaktadır. Giriş ve çıkış portlarına bağlı iletim hattına açık devre kıvrımlı saplamalar yüklenerek tasarlanan üçüncü dereceden bant durduran filtreye dirençler eklenerek soğurucu bant durduran filtre cevapları elde edilmektedir. Tasarlanan soğurucu bant durduran filtreler giriş portunda düşük yansıma katsayısına sahiptir. Giriş portu yakınındaki açık devre saplamaya sadece birine direnç eklenerek tek durdurma bandı soğurucu bant durduran filtre tasarımı gerçekleştirilebilmektedir. Bu filtre türünde direncin konumuna bağlı olarak sadece birinci veya sadece ikinci durdurma bandı soğurucu olan bant durduran filtre tasarlanabilir. Giriş portuna yakın saplamaya ve ortadaki açık devre saplamaya direnç eklenmesiyle iki durdurma bandı da soğurucu olan çift bantlı bant durduran filtre cevabı elde edilmektedir. Sadece birinci durdurma bandının, sadece ikinci durdurma bandının ve her iki durdurma bandının birden soğurucu olarak elde edildiği üç filtre imal edilmiş ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Durdurma bantlarının merkez frekansları 1.18 GHz ve 3.5 GHz'de ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları simülasyonlarla oldukça uyumlu bir şekilde elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler Soğurucu (yansız), Bant durduran, Mikroşerit filtre.

Abstract

In this study, designs of dual-band microstrip absorptive (reflectionless) bandstop filters are represented by simulation and experimental studies. Absorptive bandstop filter responses are obtained by adding resistors to the third order bandstop filter designed by loading open circuit meandered stubs to the transmission line connected to the input and output ports. The designed absorptive bandstop filters have low reflection loss at the input port. Reflectionless bandstop filter design can be realized by adding a resistor to the open circuit stub near the input port. In this type of filter, depending on the position of the resistor, bandstop filter with only first or only second absorptive stopband can be designed. The dual-band bandstop filter response having two absorptive stopbands can be obtained by adding two resistors to the stub located near the input port and to the open circuit stub located in the middle. Three dual-band bandstop filters having first absorptive stopband, second absorptive stopband and two absorptive stopbands were fabricated and measured. The center frequencies of the stopbands were measured at 1.18 GHz and 3.5 GHz. The measured results have been obtained in a very good agreement with the simulations.

Keywords: Absorptive (reflectionless), Bandstop, Microstrip filter.

1 Giriş

Uydu haberleşme sistemlerindeki hızlı gelişime bağlı olarak birçok farklı filtre türüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar arasında, düşük kayıp ve maliyete sahip olduğu, kolay imal edilebildiği ve tasarım esnekliğine izin verdiği için mikroşerit filtreler literatürde önemli bir yere sahiptir. Söz konusu filtreler arasında, harmonik ve sahte sinyaller gibi istenmeyen sinyallerin engellenmesine yarayan bant durduran filtreler geniş bir kullanım sahası bulabilmektedir. Literatürdeki geleneksel bant durduran filtre tasarımlarının çoğu yansız olup, bu tür filtreler giriş portundan belli oranda yansıma yapar [1]-[5]. Bu tür filtrelerde geri dönüş kaybının mümkün olduğunca sifıra yakın olması arzu edilir. Ancak, bir bant durduran filtrenin bir haberleşme sisteminde kullanılması esnasında giriş portundan yansıma yapmaması, diğer devre elemanlarının istenmeyen sinyallere maruz kalmamasını sağlar. Bu nedenle, durdurma bandındaki istenmeyen sinyalleri

soğurma özelliğine sahip soğurucu bant durduran filtre tasarımları son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Soğurucu bant durduran filtreler olarak da adlandırılan bu tür filtrelerde bant içerisindeki geri dönüş kaybının 10 dB'den daha yüksek olması beklenir.

Durdurma bandında soğurucu özelliğe sahip bant durduran filtre tasarımları 2004 yılında Jachowski tarafından tasarlanan filtreye birlikte hız kazanmaya başlamıştır [6]. Bu filtreye giriş sinyali hem bant geçiren rezonatörlere kuplajlanmış, hem de bir kısmı kıvrık (çentik) filtre aracılığıyla çıkışa yönlendirilmiş ve böylece enerji soğurulmuştur. Bu yaklaşımın dışında soğurucu bant durduran filtre tasarımları devreye direnç eklenerek de tasarlanmış ve bu yaklaşım tasarım esnekliği açısından önemli bir avantaj sunmuştur [7,8]. Direnç kullanımına dayalı birçok farklı soğurucu bant durduran filtre topolojisi literatüre sunulmuştur [9]-[15]. Bu çalışmalar arasında direnç yüklü kompakt rezonatöre dayanan dar bant soğurucu bant durduran filtre [10], dört rezonatörden oluşan

*Yazışılan yazar/Corresponding author

soğurucu filtre [11], çift yönlü filtre [12], iki kuplörden oluşan soğurucu filtre [13], saplama yüklü geniş bantlı soğurucu filtre [14], ve metamalzeme tabanlı soğurucu filtre [15] yer almaktadır. Söz konusu tasarımlar genellikle tek durdurma bandından oluşmakta, [12],[14] numaralı çalışmalar geniş bantlı soğurucu bant durduran filtre tasarımları olarak göze çarpmaktadır. Tasarlanan filtrelerin ayarlanabilir ve çok bantlı olmasına yönelik de literatürde çeşitli bant durduran filtre topolojilerine rastlanmaktadır [16]-[19]. Bu filtre türleri yine toplu devre direnç elemanı sayesinde çok fonksiyonlu soğurucu bant durduran filtre haline literatürde çeşitli çalışmalarda getirilmiştir [20]-[25]. Literatürdeki çok bantlı yaklaşımlar incelendiğinde tüm durdurma bantlarının genellikle birlikte soğurulduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle her bir bandının ayrı ayrı soğurucu bant durduran filtre haline getirilebilen filtre türleri önem arz etmektedir.

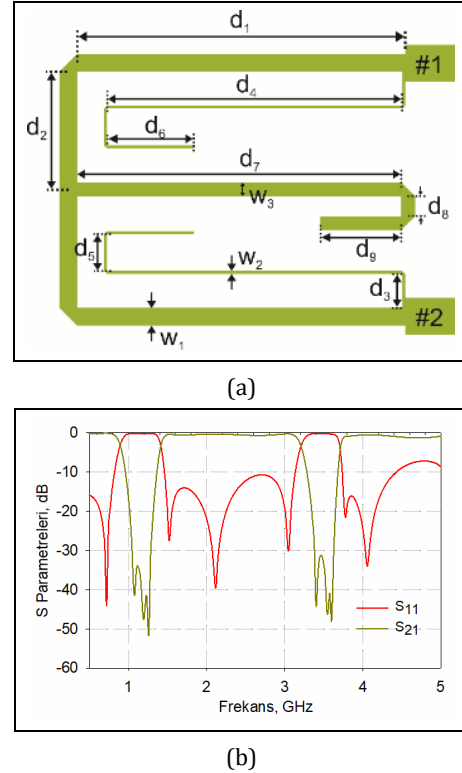
Bu çalışmada, kompakt boyutlarda çift bantlı soğurucu bant durduran filtre tasarımları önerilmektedir. Önerilen soğurucu bant durduran filtreler, literatürde mevcut olan bir çift bantlı bant durduran filtrede saplamalara yerleştirilen dirençler sayesinde gerçekleştirilmektedir [26]. Bu kapsamda, iki durdurma bandına hem birbirinden bağımsız olarak hem de eş zamanlı olarak soğurma özelliği kazandırılabilir. Açık devre sonlandırılmalı saplamaların kullanıldığı tasarımda iki durdurma bandı farklı saplamalar tarafından kontrol edilebildiği için, ilgili saplamalara yerleştirilen dirençlerle giriş portunda yansımının olmadığı filtre tasarımları gerçekleştirilebilmektedir. Önerilen yaklaşımın doğrulanması adına üç farklı prototip imal edilmiş ve ölçümleri simülasyonlarla mükemmel bir uyum içerisinde gerçekleştirilmiştir. Durdurma bantlarının merkez frekansları 1.18 GHz ve 3.5 GHz'de elde edilmiştir. Tasarlanan soğurucu bant durduran filtreler GPS ve WiMAX frekans sahalarında durdurma bantlarına sahip olduğundan bu sistemlerde kullanılması mümkündür.

2 Çift bantlı soğurucu bant durduran filtre tasarımı

2.1 Çift bantlı bant durduran filtre

Şekil 1(a)'da soğurucu özelliğe sahip olmayan çift bantlı bant durduran filtre tasarımı gösterilmektedir [26]. Tasarım yöntemi, tek bantlı bir bant durduran filtrenin tasarımı ve ikinci durdurma bandının elde edilmesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada devrede bulunması gereken kapasitif elemanları temsil etmesi için açık devre saplamalar kullanılmıştır. Daha sonra devre boyutunu küçültmek ve çift bantlı yanıtı elde etmek için ana iletim hattı ve açık devre saplamalar şekilden de görüldüğü gibi kıvrılmıştır. Tasarımda bağıl dielektrik sabiti 2.94 ve kalınlığı 1.52 mm olan bir RT/Duroid taban malzemesi kullanılmıştır. Son boyutlar, Tam Dalga Elektromanyetik Simülasyon yazılımı olan Sonnet'te parametre taramasıyla belirlenmiştir. Şekil 1(a)'da gösterilen boyutlar şu şekildedir: $d_1=32.9$, $d_2=11.1$, $d_3=3.7$, $d_4=29.6$, $d_5=3.7$, $d_6=8.7$, $d_7=32.5$, $d_8=2$, $d_9=8.1$, $w_1=1.8$, $w_2=0.3$, $w_3=1.4$ mm. Şekil 1(b)'de gösterilen frekans cevabından görüldüğü üzere, geleneksel bant durduran filtrelere benzer şekilde " f_0 " ve " $3f_0$ " frekanslarında bantlar elde edilmektedir. Filtre derecesinin üç olmasına bağlı olarak durdurma bantlarında üçer adet yansıma sıfırı mevcuttur. Durdurma bantlarının merkez frekansları 1.13 GHz ve 3.47 GHz'de elde edilmiştir. Bantların kısmi bant genişlikleri 46.4% ve 15.3%'dir. Birinci ve ikinci bantta minimum geri dönüş kayıpları sırasıyla 0.36 dB ve

0.79 dB, reddetme seviyeleri ise -33 dB ve -29 dB'den daha iyi düzeydedir.

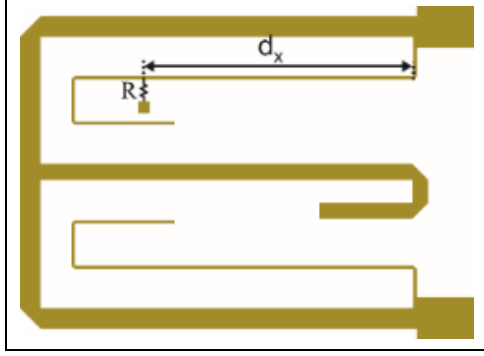


Şekil 1(a): Çift bantlı bant durduran filtre. (b): Frekans cevabı.
Figure 1(a): Dual-band bandstop filter. (b): Frequency response.

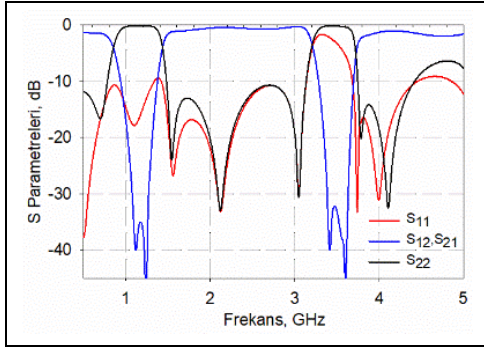
2.2 Çift bantlı soğurucu bant durduran filtre tasarımı

Önceki bölümde açıklanan literatürde yer alan çift bantlı bant durduran filtre tasarımı açık devre sonlandırılmış saplamalara direnç yerleştirmek suretiyle giriş portunun soğurucu olması sağlanabilir. Bilindiği gibi direncin rezonatöre yüklenmesi sayesinde rezonatör kayıplı hale getirilmektedir. Bir başka deyişle, durdurma bandı boyunca iletilmeyen giriş sinyali enerjisinin çoğu hattaki topraklanmış direnç tarafından harcanır. Böylelikle, filtrenin giriş kısmında yansıma oldukça düşük düzeylere indirilebilir ve soğurucu filtre cevabı elde edilmiş olur. Yansımanın azaltılması sayesinde de ilgili bant durduran filtre tasarımı soğurucu bir filtreye dönüşmüş olacaktır. Bu kapsamda, giriş portuna yakın olan açık devre hatta eklenen direncin konumuna bağlı olarak birinci veya ikinci durdurma bandında soğurucu filtre cevabı elde edilebilir. Şekil 2(a)'da önerilen çift bantlı soğurucu bant durduran filtre yapısı verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, giriş portuna d_x mesafesinde R direnci bir ucu toprağa gidecek biçimde bağlanmıştır. Şekil 2(b)'de verilen bant durduran filtre cevabında birinci banttaki yansıma kaybı -9.3 dB'den daha küçük olacak şekilde elde edilmiştir. Burada d_x mesafesi 23.6 mm olarak, R direnci ise 270 Ω olarak belirlenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sadece ilk durdurma bandında soğurucu cevap elde edildiğinden tek bantlı soğurucu olan çift bantlı soğurucu filtre tasarımı ortaya konmuştur. Her iki durdurma bandında da reddetme seviyelerinin -30 dB'den daha düşük olduğu görüldüğünden, mükemmel bir soğurucu bant durduran filtre cevabının elde edildiği söylenebilir. Diğer yandan, ikinci banttaki yansımanın her iki durdurma bandında da mevcut olduğu yine Şekil 2(b)'deki frekans cevabından

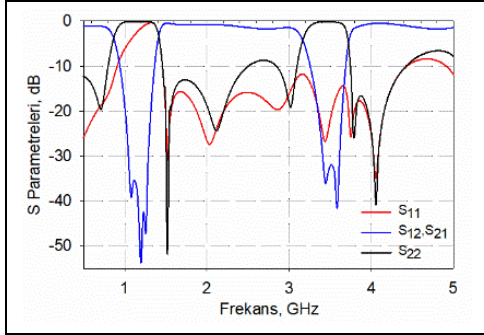
gözenmektedir. Şekil 2(c)'de ise ikinci durdurma bandında yansımının olmadığı frekans cevabı gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

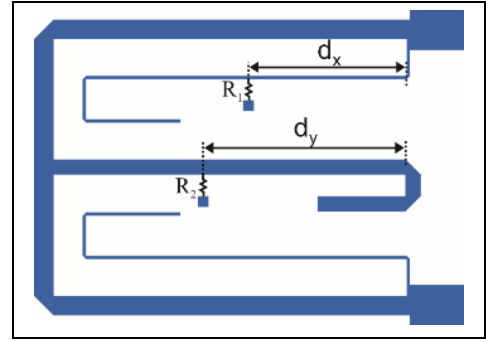
Şekil 2(a): Tek bantlı soğurucu olan çift bantlı bant durdurucu filtre yapısı, (b): Birinci durdurma bandının soğurucu olduğu durumdaki frekans cevabı ($d_x=23.6$ mm). (c): İkinci durdurma bandının soğurucu olduğu durumdaki frekans cevabı ($d_x=4.6$ mm) ($R=270$ Ω).

Figure 2(a): Dual-band bandstop filter configuration with single absorptive stopband. (b): Frequency response with absorptive first stopband ($d_x=23.6$ mm). (c): Frequency response with absorptive second stopband ($d_x=4.6$ mm), ($R=270$ Ω).

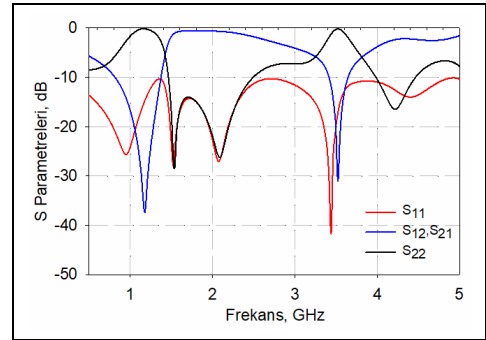
Bu frekans cevabı için (d_x mesafesi 4.6 mm olarak, R direnci ise önceden olduğu gibi yine 270 Ω olarak tespit edilmiştir. İlgili değerler Tam Dalga Elektromanyetik Simülasyon yazılımı olan Sonnet programında parametre taraması yardımıyla belirlenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ikinci bantta yansıma kaybı -11.8 dB'den daha düşük şekilde elde edilmiştir. Reddetme seviyeleri her iki durdurma bandında da yine -30 dB'den daha düşük seviyelerde elde edilmiş olup, çıkış portundaki yansıma da aynı şekilde her iki durdurma bandında mevcuttur. Dolayısıyla her iki durdurma bandının da

birbirinden bağımsız olarak soğurucu biçimde bant durdurma işlemini gerçekleştirebildiği söylenebilir.

Şekil 3(a)'da her iki durdurma bandında da soğurucu cevabın elde edilebildiği filtre yapısı gösterilmektedir. Giriş ve çıkış portlarının tam ortasında yer alan kıvrılmış saplama ikinci durdurma bandını kontrol edebildiğinden ikinci direnç bu hat üzerine bağlanmıştır. Dirençler d_x ve d_y mesafelerine sahip olacak şekilde saplamalar üzerine yerleştirilmiş olup bu mesafeler sırasıyla 14.6 ve 18.7 mm'dir. Bu mesafelerde yerleştirilen R_1 ve R_2 dirençleri ise sırasıyla 150 ve 82 Ω olarak belirlenmiştir. Şekil 3(b)'de bu filtreye ait frekans cevabı görülmektedir. Görüldüğü üzere iki durdurma bandında da yansıma kaybı -10 dB'den daha düşük şekilde elde edilmiştir. Reddetme seviyeleri her iki durdurma bandında da -30 dB'den daha düşük seviyelerde olup, buradaki filtre tasarımında öncekilerin aksine durdurma bantlarında üç yerine tek yansıma sıfırının elde edilebildiğine dikkat edilmelidir. Çıkış portundaki yansımının her iki durdurma bandında da mevcut olduğu yine Şekil 3(b)'deki frekans cevabından gözlemlenebilir.



(a)



(b)

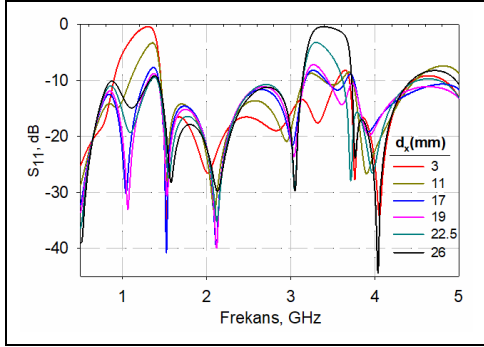
Şekil 3(a): İki soğurucu durdurma bandına sahip filtre yapısı, (b): Frekans cevabı.

Figure 3(a): Filter configuration with two absorptive stopbands, (b): Frequency response.

2.3 Çift bantlı soğurucu bant durdurucu devrede direnç konumlarının frekans cevabına etkisi

Tasarlanan çift bantlı soğurucu bant durdurucu filtrelerde kullanılan dirençlerin konumlarına bağlı olarak frekans cevabındaki değişimler incelenmiştir. Şekil 4'te tek bantlı soğurucu şekilde elde edilen devrede direncin konumunun frekans cevabına etkisi görülmektedir. Görüldüğü üzere direnç açık devre saplamasının başlangıç konumundayken yani $d_x = 3$ mm iken filtre cevabında ikinci banttaki yansıma kaybı düşük elde edilirken direncin konumu açık devre hattın sonuna yaklaştığında ikinci banttaki yansıma kaybı artmakta ve birinci

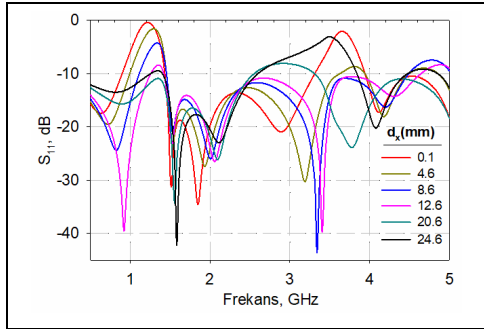
banttaki yansıma kaybı azalmaktadır. Böylece hat üzerindeki direncin konumuna bağlı olarak birinci bant veya ikinci bantta soğurucu bant durdurma cevabı edilebilmektedir.



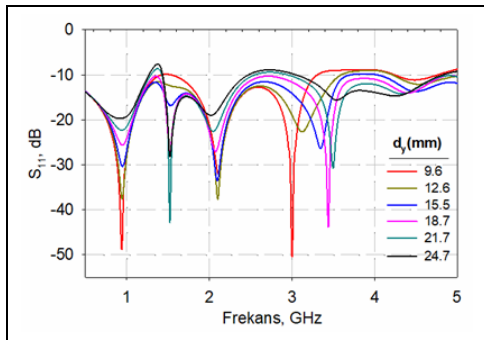
Şekil 4. Tek bantlı soğurucu filtrede direnç konumunun frekans cevabına etkisi.

Figure 4. Effects of resistor locations on frequency response in the filter with single absorptive stopband.

Şekil 5 iki dirence sahip iki bantlı da soğurucu bant durdurucu filtre cevabı şeklinde elde edilen filtrede dirençlerin konumunun değişiminin filtre cevabına etkisi görülmektedir. Şekil 5(a)'da R_1 direncinin konumunun frekans cevabına etkisi verilmektedir. Görüldüğü üzere Şekil 4'tekine benzer bir tepki elde edilmiştir. Şekil 5(b) ortadaki iletim hattındaki R_2 direncinin konumunun frekans cevabına etkisini göstermektedir. Görüldüğü üzere direncin konumuna bağlı olarak durdurma bantlarındaki yansıma kaybı -10 dB'den daha düşük elde edilecek şekilde ayarlanabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5. Çift bantlı soğurucu bant durdurucu filtrede direnç konumlarının frekans cevabına etkisi. (a): d_x değişimi.

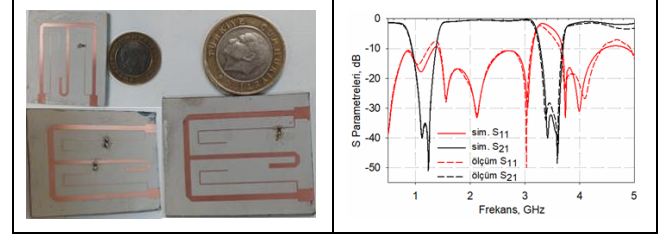
(b): d_y değişimi

Figure 5. Effects of resistor locations on the frequency response in dual-band absorptive bandstop filter. (a): d_x change.

(b): d_y change.

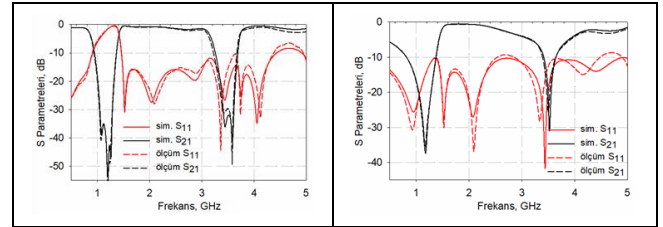
3 Deneysel çalışmalar

Deneysel doğrulama için birinci bant, ikinci bant ve çift bantlı soğurucu olarak elde edilen üç farklı çift bantlı band durdurucu filtre tasarımları imal edilmiştir ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan filtrelerin giriş ve çıkış portları hariç devre boyutu $0.16 \lambda_g \times 0.21 \lambda_g$ 'dir. Burada λ_g birinci durdurma bandının merkez frekansındaki dalga boyudur. Ölçümler Keysight PNA N5222A Ağ Analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İmal edilen üç devreye ait fotoğraflar Şekil 6(a)'da, ölçüm sonuçlarının simülasyonlarla karşılaştırması ise Şekil 6(b), (c) ve (d)'de verilmiştir.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 6(a): İmal edilen devrelerin fotoğrafları. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması. (b): Birinci bantlı soğurucu filtre cevabı, (c): ikinci bantlı soğurucu filtre cevabı. (d): İki bantlı da soğurucu filtre cevabı.

Figure 6(a): Photographs of the manufactured circuits. Comparisons of simulation and measurement results. (b): Filter response with absorptive first stopband. (c): Second band absorbed filter response. (d): Both band absorbed filter response.

Durdurma bantlarının merkez frekansları 1.18 GHz ve 3.5 GHz'de ölçülmüştür. Şekil 6(b)'de görüldüğü üzere ilk devrede birinci durdurma bandında soğurucu filtre cevabı elde edilmiştir. Filtre cevabında birinci banttaki yansıma kaybı -7.5 dB'den daha küçük olacak şekilde ölçülmüştür. Bununla birlikte, söz konusu değer bandın önemli bölümünde -10 dB altındadır. Bant içi reddetme seviyeleri her iki durdurma bandında da -28.2 dB'den daha düşük seviyelerde elde edilmiştir. Şekil 6(c)'de ikinci durdurma bandının soğurucu olarak elde edildiği filtre cevabı gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, ikinci banttaki yansıma kaybı -10.3 dB'den daha küçük olacak şekilde ölçülmüştür. Reddetme seviyeleri her iki durdurma bandında da -29.6 dB'den daha düşük seviyelerde elde edilmiştir. Şekil 6(d)'de iki durdurma bandında da soğurucu şekilde elde edilen filtre cevabı görülmektedir. Birinci ve ikinci banttaki yansıma kayıpları sırasıyla -10.0 dB ve -10.3 dB den daha küçük ölçülmüştür. Reddetme seviyeleri ise durdurma bantlarında sırasıyla -35.5 dB ve -25.6 dB'den daha düşük seviyelerde elde edilmiştir. Görüldüğü üzere simülasyonlarla ölçümler oldukça iyi bir uyum halinde elde edilmiştir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada üçüncü dereceden çift bantlı mikroşerit bant durdurucu filtre yapısı soğurucu hale getirilmiştir. Bunun için filtredeki açık devre saplamalar üzerine farklı konumlara dirençler yerleştirilerek her bir durdurucu bantı ayrı ayrı veya birlikte soğurucu olarak elde edilmiştir. Tasarlanan soğurucu bant durdurucu filtrelerin giriş portlarında soğurucu filtre cevapları elde edilmiştir. Sadece birinci durdurucu bantı, sadece ikinci durdurucu bantı ve her iki durdurucu bantının soğurucu olduğu üç adet filtre üretilmiş ve testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan filtreler kompakt devre boyutlarına sahip olup, ölçümlerde hem reddetme seviyeleri hem de soğurma seviyeleri oldukça iyi düzeylerde elde edilmiştir.

5 Conclusions

In this study, third order dual-band microstrip bandstop filter configuration has been made as absorptive. For this purpose, each stopband has been separately or together obtained as reflectionless by locating resistors at different positions to the open circuited stubs of the filter. The reflectionless filter responses have been obtained at the input ports of the designed absorptive bandstop filters. Three filters with only first absorptive stopband, only second absorptive stopband and two absorptive stopbands were manufactured and successfully tested. The designed circuits have compact circuit sizes, and rejection and absorption rates have been obtained at very good levels.

6 Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119E476 No.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Ali Kürşad GÖRÜR ve Kürşat Oğuzhan ŞAHİN, literatür taraması, tasarımın ortaya koyulması, simülasyon ve teorik çalışmalar, devre imalatı ve ölçümü konularında; Alper TÜRKELİ ve Ceyhan KARPUZ simülasyon çalışmaları, devre imalatı ve ölçümü konularında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur."
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır."

9 Kaynaklar

- [1] Gorur A, Karpuz C. "Uniplanar compact wideband bandstop filter". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 13(3), 114-116, 2003.
- [2] Hong JS. "Microstrip dual-mode band reject filter". *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2005*, Long Beach, CA, USA, 17 June 2005.
- [3] Gorur A. "Bandstop filter with a wider upper passband using microstrip open-loop resonator". *APMC 2001. 2001 Asia-Pacific Microwave Conference (Cat. No.01TH8577)*, Taipei, Taiwan, 03-06 December 2001.
- [4] Eryilmaz GM, Gunturkun E, Gorur A, Karpuz C. "Microstrip bandstop filter using a dual-mode square loop resonator". *Microwave and Optical Technology Letters*, 51, 147-150, 2009.

- [5] Gorur A, Gunturkun E, Karpuz C, "Dual-mode microstrip bandstop filters using square loop resonators". *2014 44th European Microwave Conference*, Rome, Italy, 06-09 October 2014.
- [6] Jachowski DR. "Passive enhancement of resonator Q in microwave notch filters". *2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Fort Worth, TX, USA, 06-11 June 2004.
- [7] Morgan MA, Boyd TA. "Theoretical and experimental study of a new class of reflectionless filter". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 59(5), 1214-1221, 2011.
- [8] Lee J, Lee TC, Chappell WJ. "Lumped-Element realization of absorptive bandstop filter with anomalously high spectral isolation". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 60(8), 2424-2430, 2012.
- [9] Chieh JCS, Rowland J. "Quasi-Lumped element bridged-T absorptive bandstop filter". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 26(4), 264-266, 2016.
- [10] Liu G, Xu J, Liu Z. "A narrowband absorptive band-stop filter based on a resistor-loaded compact resonator". *2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS)*, St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017.
- [11] Lee J, Kim B, Lee K, Chappell WJ. "Bandwidth-enhanced lumped-element absorptive bandstop filter topology and its application to LTCC bandstop filter design". *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* 7(6), 691-698, 2015.
- [12] Yang CH, Wu CH, Tang CW. "Design of a wideband microstrip bidirectional absorptive bandstop filter". *2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*. IEEE, Singapore, 10-13 December 2019.
- [13] Chen Z, Li K, Qu D, Zhong X, Sun L, Ma W. "A novel microstrip absorptive bandstop filter". *2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Chongqing, China, 25-26 March 2017.
- [14] Chien SH, Lin YS. "Novel wideband absorptive bandstop filters with good selectivity". *IEEE Access*, 5, 18847-18861, 2017.
- [15] Liu C, Li M, Zhu Q. "Lumped-element absorptive bandstop filter based on dual composite right/left handed transmission line". *2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*, Xi'an, China, 16-19 October 2017.
- [16] Karpuz C, Görür A, Güntürkün E, Görür AK. "Asymmetric response dual-mode dual-band bandstop filters having simple and understandable topology," *2009 Asia Pacific Microwave Conference*, Singapore, 07-10 December 2009.
- [17] Karpuz C, Eryilmaz GM, Gorur A. "Dual-mode dual-band microstrip square loop resonators and filters". *2008 Asia-Pacific Microwave Conference*, Hong Kong, China, 16-20 December 2008.
- [18] Karpuz C, Gorur AK, Emur M. "Quad-Band microstrip bandstop filter design using dual-mode open loop resonators having thin film capacitors". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 26(11), 873-875, 2016.
- [19] Gorur AK, Basmacı FAN, Dogan E, Karpuz C, Gorur A. "Dual-Mode dual-band microstrip bandstop filter design with independently tunable center frequencies". *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(10), 2542-2547, 2017.

- [20] Chang EW, Lin YS. "Miniature multi-band absorptive bandstop filter designs using bridged-T coils". *IEEE Access*, 6, 73637-73646, 2018.
- [21] Chaudhary G, Qi W, Lim J, Jeong Y. "Arbitrary terminated negative group delay circuit with constant signal attenuation and its application to absorptive bandstop filter". *2019 49th European Microwave Conference (EuMC)*, Paris, France, 01-03 October 2019.
- [22] Chen Z, He L, Qu D, Zhong X, Li K. "Design of absorptive bandstop waveguide filter without lumped-element". *2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, Chongqing, China, 03-05 October 2017.
- [23] Hagag MF, Abdelfattah M, Peroulis D. "Balanced octave-tunable absorptive bandstop filter". *2018 IEEE 19th Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, Sand Key, FL, USA, 09-10 April 2018.
- [24] Kong M, Wu Y, Zhuang Z, Liu Y, Kishk AA. "Compact wideband reflective/absorptive bandstop filter with multitransmission zeros". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67(2), 482-493. 2018.
- [25] Cho YH, Park C, Yun SW. "4-Pole Tunable absorptive bandstop filters using folded coupled-lines with an inductor". *IEEE Access*, 10, 120191-120199, 2022.
- [26] Sahin KO, Gorur AK, Gorur A. "Design of a compact dual-band microstrip bandstop filter with high rejection levels". *2021 13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey, 25-27 November 2021.