

ÖZET
DEĞİŞTİRİLEBİLİR DERECELİ VE ÇOK AMAÇLI DALGA KILAVUZU FİLTRE
TASARIMI

5 Buluş, değıştirilebilir dereceli ve çok amaçlı, SRR/CSRR (Ayrık/Tamamlayıcı-Ayrık Halka Rezonatörler) meta-rezonatör yapılar kullanılarak dalga kılavuzu (DK) filtre tasarımı ile ilgilidir.

10

15

20

25

30

İSTEMLER

1. Dalga kılavuzu filtre (7) olup, özelliği;
 - Filtrenin (7) diğer devre elemanlarına bağlanabilmesi için Ana gövdenin (5) iki ucuna yerleştirilmiş flanş (1),
 - İnce sac (2),
 - Meta-rezonatör (3),
 - İçerisine komponent yerleştirilebilen oyuklar içeren ana gövde (5),
 - Üst kapak (6) parçalarını içermesiyle karakterizedir.
2. İstem 1'e uygun dalga kılavuzu filtre (7) olup, özelliği; ana gövde (5) ile üst kapak (6) parçalarının montajlanması için setkur civata (4) içermesiyle karakterizedir.
3. İstem 1'e uygun dalga kılavuzu filtre (7) olup, özelliği; ana gövdenin (5) sağ, sol ve alt yüzeylerinde, birbirine paralel yedi adet yuva içermesiyle karakterizedir.
4. İstem 1 veya İstem 3'e uygun dalga kılavuzu filtre (7) olup, yuvaların et kalınlığının DK'nın et kalınlığının yarısı kadar olmasıyla karakterizedir.
5. İstem 1'e uygun dalga kılavuzu filtre (7) olup, özelliği; meta-rezonatörün (3) dikdörtgen, halka veya hilal geometrilerinden en az birine sahip olmasıyla karakterizedir.

TARİFNAME

DEĞİŞTİRİLEBİLİR DERECELİ VE ÇOK AMAÇLI DALGA KILAVUZU FİLTRE TASARIMI

5 TEKNİK ALAN

Buluş, değiştirilebilir dereceli ve çok amaçlı, SRR/CSRR (Ayrık/Tamamlayıcı-Ayrık Halka Rezonatörler) meta-rezonatör yapılar kullanılarak dalga kılavuzu (DK) filtre tasarımı ile ilgilidir.

10 ÖNCEKİ TEKNİK

Dalga kılavuzu, elektromanyetik (kısaca EM) taşındığı ve yönlendirildiği yapılardır ve yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların iletilmesinde kullanılır. Dalga kılavuzu filtresi ise endüktif veya kapasitif yükler kullanılarak oluşturulmuş pasif mikrodalga komponentlerdir. Dalga kılavuzlarının, içinde elektromanyetik dalganın iletilebildiği içi boş metal yapılar olduğu belirtilmiştir. Filtreler de bazı frekanslardaki sinyallerin geçmesine (geçiş bandı) izin verirken diğerlerinin reddedilmesine (durdurma bandı) izin vermek için kullanılan yapılardır. Mevcut uygulamalardaki DK filtreler ya geleneksel yöntemlerdeki iris ve post tasarımları kullanılarak ya da meta-rezonatörler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu iris ve post yapılı DK filtreler eski ve bilinen bir üretim yöntemi olup, piyasada yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan meta-rezonatör (SRR/CSRR) yapılı DK filtreler ise son yıllarda literatürde ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte henüz ticarileşmemiştir.

Geleneksel (iris ve post yapılı) DK filtrelerin dezavantajları; tasarlanan her bir filtrenin tek tip filtre türünde (bant geçiren veya bant durduran) olması, tek tip bant genişliğine (dar, orta veya geniş bant genişliği) sahip olması, tek bir filtre derecesinde (n : order of filter) ve sabit merkez çalışma frekansında (f_0) çalışıyor olmasıdır. Literatür incelendiğinde belirtilen bu dört özelliği de sahip olan bir DK filtre bulunmamaktadır. Farklı tipte veya farklı derecede bir filtre uygulamasına ihtiyaç duyulduğunda, komponent tamamen baştan yeniden üretilmek ve tüm bileşenler yeniden tasarlanmak zorundadır. Bu ise çok büyük bir maliyet dezavantajı ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, bu tür uygulamalarda farklı dereceli veya farklı frekanslarda çalışan SRR/CSRR meta-rezonatörler ile değiştirilebilir dereceli ve çok amaçlı özgün DK filtre tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır.

BULUŞUN AMACI

DK filtrelerde C-bandı (4-8 GHz), insansız hava sistemleri, mikrodalga iniş sistemi (MLS), uçuş testi, havaalanı yüzey iletişimi için AMS komuta ve kontrol bağlantısı (5,0-5,15 GHz), uzaydan gelen sensör/yere dayalı meteoroloji radarında, havadan gelen radar (5,35-5,460 GHz), amatör radyo uygulamaları (5,65-5,85 GHz), mikrodalga iniş sistemleri (5,0-5,25 GHz), terminal doppler hava durumu radarı (5,60-5,65 GHz) uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Buluşumuzda da bu yaygın kullanımından dolayı C-bandı seçilmiştir. Fakat buluş, istenildiği takdirde DK'nın boyutları uygun şekilde değiştirilerek diğer frekans bant bölgesinde (S, X, Ku vb.) kullanılan muhtelif uygulamalarda da kullanılabilmesi mümkündür.

Düşük kayıp ve yüksek güç kapasiteleri ile bilinen DK filtrelerinde, DK üzerinde iris veya post gibi yapıların kullanıldığı geleneksel yöntemler, filtre performansı üzerinde etkili sonuçlar verebildiğinden öne çıkmaktadır. Ancak bu yöntemlerle üretilen filtrelerin kompakt olmaması, büyük profilli olması, artan üretim maliyeti ve üretim zorluğu gibi çeşitli sınırlamaları vardır. Bu durumun üstesinden gelmek için, negatif geçirgenlik içeren ve doğal ortamda bulunmayan meta-malzemeler kullanılarak oluşturulan SRR/CSRR gibi meta-rezonatör yapılar DK içine uygun şekilde yerleştirilerek kullanılmaktadır. Son yıllarda, belli frekans bölgelerinde, farklı geometrilere (halka, dikdörtgen ve hilal vb.) sahip bu yapıları kullanan çeşitli çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Şekil 1.1 - Şekil 1.9). Ancak bu çalışmalar, neredeyse birbirinin tekrarıdır ve bu yapılar değiştirilebilir bir tasarıma sahip değildirler. Buluşumuzdaki tasarım ise değiştirilebilir bir yapıdadır ve birden fazla filtrenin yaptığı fonksiyonları tek bir filtrenin yapmasını mümkün kılmaktadır.

Buluşun bir amacı, tek bir dalga kılavuzu ana yapısı kullanılarak, sadece belli sayılarda eklenecek meta-rezonatörlerle hem bant geçiren hem de bant durduran filtre tasarımı yapılabilmesi, farklı frekanslarda çalışabilecek filtreler elde edilebilmesi ve bant genişliğinin istenildiği şekilde dar veya geniş tutulabilmesi ve istenilen derecede çalışma sağlanabilmesidir. Bu şekilde birden fazla yapı ile elde edilebilecek sonuçlar çok basit ve ekonomik bir yöntemle tek bir ana yapı kullanılarak elde edilebilmektedir.

Buluşun bir diğer amacı katalog oluşturulabilmesidir. Buluş, ana kısım olarak montajlanabilen DK yapısı ve düşük maliyetli meta-rezonatörlerden oluşmaktadır. Düşük maliyetli olmasından dolayı çeşitli filtre senaryoları için SRR/CSRR meta-rezonatörleri tasarlamak mümkündür. Bu tüm senaryolar için LPKF (Laser und Pulverbearbeitungs-Kerpen GmbH) prototipleme cihazı kullanılarak bir meta-rezonatör

katalogu oluşturulacaktır. Her bir tasarım için öncelikle istenilen filtrenin özelliklerine göre hazırlanmış bu katalogdan meta-rezonatör seçimi yapılacaktır.

5 Buluşun bir diğerk amacı, meta-rezonatörlerin istenilen sayıda (filtre derecesine göre) yerleştirilebilmesi için montajlanabilen zgn DK yapısı oluşturulmasıdır. DK yapısındaki tüm oyuklara ya meta-rezonatör yapılar ya da Alüminyumdan yapılmış dikdörtgen içi boş sac yapıları yerleştirilecektir (şekil 2a).

Buluşun bir diğerk amacı, filtre türünün belirlenmesine olanak vererek; eğerk bant geçiren filtre isteniyor ise CSRR yapısı kullanılması; bant durduran filtre isteniyor ise SRR yapısı kullanılmasını mümkün kılmaktır.

10 Buluşun bir diğerk amacı, meta-rezonatörlerin farklı geometrik yapılarda (halka, dikdörtgen ve hilal) kullanılabilmesi ile bant genişliğini dar/orta/geniş olarak ayarlayabilmenin mümkün olmasıdır. Geniş bantlı filtre isteniyorsa örneğinin hilal geometrisi kullanılabilmekte iken, dar bantlı uygulamalar için ise dikdörtgen geometrisi kullanılabilmektedir.

15 Buluşun bir diğerk amacı, istenilen rezonans frekansında çalışacak filtre tasarlanması için meta-rezonatör katalogundan uygun SRR/CSRR yapısının seçilmesinin mümkün olmasıdır.

Buluşun bir diğerk amacı, meta-rezanatr sayısını değiştirerek istenilen filtre derecesinin değiştirilmesini mümkün kılmaktır. DK filtrelerinde, filtre derece sayısı aynı zamanda kullanılacak meta-rezonatör sayısını da belirlemektedir. Ancak nceki 20 teknikte, filtre derecesini arttırmanın yüksek maliyet, tasarım/üretim zorluğu, DK uzunluğunun artması ve fazla sayıda rezonans olması gibi çeşitli dezavantajları vardır. Dolayısıyla kayda değer bir performans artışı için optimum bir filtre derecesinin tespit edilmesi maliyet, zaman, minyatrleşme ve kompakt bir filtre tasarımı için önemlidir. 25 Ancak buluşumuz dahilinde tek bir DK'ya takılıp sökülebilir özelliğe sahip meta-rezonatörler kullanılarak filtre derecesi belirlenebilmektedir. Birinci dereceden yedinci dereceye kadar istenilen derecede istenilen filtre metal sac veya meta-rezonatörlü yapı kullanılarak şekil 2a'da verildiği gibi gerçekleştirilecektir. Maksimum filtre derecesinin yedi seçilmesinin sebebi, hem çoğu uygulama için bu derecenin yeterli olması hem de 30 maliyetin gereksiz yere artırılmamasıdır.

şEKİL LİSTESİ

şekil 1.1. Halka tipi meta-rezonatörün eşdeğer devre modeli

şekil 1.2. Dikdörtgen tipi meta-rezonatörün eşdeğer devre modeli

Şekil 1.3. Hilal tipi meta-rezonatörün eşdeğer devre modeli

Şekil 1.4. CSRR halka tipi meta-rezonatör

Şekil 1.5. CSRR dikdörtgen tipi meta-rezonatör

Şekil 1.6. CSRR hilal tipi meta-rezonatör

5 Şekil 1.7. SRR halka tipi meta-rezonatör

Şekil 1.8. SRR dikdörtgen tipi meta-rezonatör

Şekil 1.9. SRR hilal tipi meta-rezonatör

Şekil 2a. SRR/CSRR yapıları veya sac kullanılarak değiştirilebilir dereceli ve çok amaçlı dalga kılavuzu filtre tasarımı (Açık Hali)

10 Şekil 2b. SRR/CSRR yapıları veya sac kullanılarak değiştirilebilir dereceli ve çok amaçlı dalga kılavuzu filtre tasarımı (Kapalı Hali)

Şekil 3a. Hilal tipi meta-rezonatör yapılı bant durduran DK filtrenin frekans cevabı

15 Şekil 3b. Hilal tipi meta-rezonatör yapılı bant durduran bant geçiren DK filtrenin frekans cevabı

Şekil 4. Farklı geometrilerdeki CSRR yapılı (bant geçiren) DK filtrenin frekans cevabı

Şekil 5a. Hilal tipi CSRR yapılı DK filtredeki G1 değerinin DK filtrenin frekans cevabına etkileri

20 Şekil 5b. Hilal tipi CSRR yapılı DK filtredeki G2 değerinin DK filtrenin frekans cevabına etkileri

Şekil 5c. Hilal tipi CSRR yapılı DK filtredeki R1 değerinin DK filtrenin frekans cevabına etkileri

25 Şekil 5d. Hilal tipi CSRR yapılı DK filtredeki R0 değerinin DK filtrenin frekans cevabına etkileri

Şekil 6a. Hilal tipi CSRR yapılı birinci dereceden DK filtrenin frekans cevapları

Şekil 6b. Hilal tipi CSRR yapılı üçüncü dereceden DK filtrenin frekans cevapları

Şekil 6c. Hilal tipi CSRR yapılı beşinci dereceden DK filtrenin frekans cevapları

Şekil 6d. Hilal tipi CSRR yapılı yedinci dereceden DK filtrenin frekans cevapları

30

Şekillerde verilen numaralandırmaların karşılıkları:

1. Flanş
2. İnce sac
3. Meta-rezonatör

4. Setkur cıvata

5. Ana gövde

6. Üst kapak

7. Dalga kılavuzu filtre

5 a: Dalga kılavuzunun genişliği (mm)

b: Dalga kılavuzunun yüksekliği

l: Dalga kılavuzu filtrenin uzunluğu

t: Dalga kılavuzunun et kalınlığı

$t_{sub.}$: Yuva kalınlığı

10 c: İnce sacın kenar kalınlığı ($c=t/2$)

d: Yuvalar arası mesafe ($\lambda_g/4$)

n: Meta-rezonatörün genişliği ($a+2t$)

m: Meta-rezonatörün yüksekliği ($b+2t$)

15 BULUŞUN DETAYLI AÇIKLAMASI

Buluş dalga kılavuzu filtre (7) olup;

- Flanş (1),
- İnce sac (2),
- Meta-rezonatör (3),
- 20 – Setkur cıvata (4),
- Ana gövde (5),
- Üst kapaktan (6) meydana gelmektedir.

Buluşun tasarımında C-bandı seçildiği için (4.90-7.05 GHz) WR-159 DK kullanılmıştır. Dalga kılavuzunun, yüksek frekanslı sinyaller için kullanılan bir elektromanyetik besleme hattı olduğunu belirtmiştik. Dalga kılavuzları, mikrodalga enerjisini koaksiyel kablolarla göre daha düşük kayıpla iletir ve mikrodalga iletişimde, radarlarda ve diğer yüksek frekans uygulamalarında kullanılır. Dalga kılavuzunun düzgün çalışması için sinyalin dalga boyuna göre belirli bir minimum kesite sahip olması gerekir. Sinyalin dalga boyu, dalga kılavuzunun kesitine göre çok uzunsa (Frekans çok düşükse), elektromanyetik alanlar yayılamaz. Bir dalga kılavuzunun çalışacağı en düşük frekans aralığı, kesitin sinyalin tam bir dalga boyuna sığacak kadar

büyük olduğu yerdir. Geometrik olarak konuşursak üç tür dalga kılavuzu vardır: Dikdörtgen Dalga Kılavuzları, Çift Sert Dalga Kılavuzları ve Dairesel Dalga Kılavuzları.

WR159 DK'ların boyutları $a=40.386$ ve $b=20.193$ olup tavsiye edilen çalışma frekans bölgesi 4.90- 7.05 GHz'dir ve en düşük dereceli moddaki (yani TE_{10} modu) kesim frekansı (f_c) 3.712 GHz olduğu bilinmektedir. Buluşu; S, X, Ku gibi diğer frekans bantları için de kolaylıkla uyarlamak mümkündür. Tek yapılması gereken, istenen bant genişliğine uygun ölçülerin belirlenip, buluşun o boyutlarda üretilmesidir.

Flanş (1), filtrenin (7) diğer devre elemanlarına bağlanabilmesi için kullanılır ve altı adet yuva içermektedir. Flanş (1) olarak standart CPR159F tipi flanş kullanılmıştır. Standart flanş kullanılmasının sebebi, Vektör Network Analizatör (VNA) ile ölçüm aşamasında dalga kılavuzu-koaksiye adaptör ile önerilen DK filtrenin uyumlu olmasıdır. Bu yuvalar sayesinde filtrenin, diğer devre elemanlarına bağlantısı (Örneğin vidalama ile) gerçekleştirilir. Ana gövdenin (5) iki ucuna, yani filtrenin (7) giriş ve çıkış portlarına birer adet yerleştirilmiştir. İnce sac (2) ve meta-rezonatör (3) parçaları, istenilen filtre derecesine göre seçilmektedir. Önerilen Şekil 1'de gösterilen filtre (7) hem boş bir DK, hem de 1. dereceden 7. dereceye kadar filtre olarak kullanılabilir. Bunun için uygun ince sac (2) ve meta-rezonatör (3) parçaları seçilip ana gövde (5) içerisindeki komponent yerleştirilebilen oyuklara yerleştirilmelidir. Örneğin, 3. dereceden DK filtre tasarımı için üç adet meta-rezonatör (3) ve dört adet ince sac (2) kullanılmalıdır. Benzer şekilde 5. dereceden DK filtre tasarımı için beş adet meta-rezonatör (3) ve iki adet ince sac (2) kullanılmalıdır. Son olarak 7. derece DK filtre için ince sac (2), boş DK için de meta-rezonatör (3) hiç kullanılmaz. İnce sac (2) ve meta-rezonatör (3) parçaların yerleştirileceği yuvalar arası mesafe (d) $\lambda_g/4$ (kılavuzlanmış dalga boyu) kadar ayarlanmıştır. Kılavuzlanmış dalga boyu, Denklem (1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda_o^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \quad (1)$$

Burada λ_o merkez frekansı (6 GHz) için dalga boyudur ve 50 mm olarak bulunur. λ_c ise kesim frekansıdır. Dalga kılavuzu bilindiği gibi $1.25 \times f_c$ ile $1.89 \times f_c$ frekansları arasında çalışır. TE_{10} modu için WR-159 dikdörtgen DK'nın kesim frekansı 3.712 GHz olup DK, 4.640-7.015 GHz arasında çalışır. DK içindeki yuva kalınlığı ile ince sac (2) parçasının kenar kalınlığı (c) ve meta-rezonatör (3) parçalarının kalınlığı eşit olmalıdır ve bu mesafe t_{sub} olarak belirlenmiştir. Bu t_{sub} değeri dielektrik alttaş kalınlığı (1.58 mm'lik kalınlığa sahip Rogers 5880) kadar olmalıdır. Maksimum filtre derecesi istenildiği

takdirde artırılabilir fakat çoğu uygulama için yedi olarak belirlenen filtre derecesi yeterlidir.

Setkur cıvata (4), DK filtrenin tek parça olarak montajlanması için kullanılır ve bunun için ana gövde (5) ve üst kapağa (6) altı adet yeterli ebatlarda oyuk açılmıştır (Şekil 2b).

Ana gövdenin (5) sağ, sol ve alt yüzeylerinde birbirine paralel yedi adet yuva oluşturulmuştur. Bu yuvaların kullanılmasının iki amacı vardır. Birincisi, kılavuz içerisinde ilerleyen EM dalganın meta-rezonatör (3) kenarlarından sızmadan ilerlemesini sağlamaktır. İkincisi ise, meta-rezonatörlerin (3) hem paralel konumlanmasının hem de fiziksel olarak sağlam ve hareket etmez konumda bulunmasını sağlamaktır.

Yuvaların DK içerisindeki et kalınlığı DK'nın et kalınlığının (t) yarısı kadardır. Dolayısıyla, dalga kılavuzunun genişliği (a) ve yüksekliğinden (b) hareketle; boş kılavuzun ön kesit ebatı, $a \times b \text{ mm}^2$ iken, dış ön kesit ebatı ise $(a+2t) \times (b+2t)$ kadar olur. DK filtrenin toplam uzunluğu ise l kadardır (Şekil 2a). Meta-rezonatörün genişliği $(a+t)$ kadar (n), yüksekliği ise $(b+t)$ kadardır (m).

DK Filtrenin montajlanması şu şekilde olur. Ana gövdeye (5) önce 2 adet flanş (1) eklenir. Daha önce belirtildiği gibi filtre derecesine göre uygun sayıda ince sac (2) ve meta-rezonatör (3) parçaları yerleştirilir. Daha sonra üst kapak (6) ve ana gövde (5) üzerine setkur cıvata (4) kullanılarak montajlama işlemi tamamlanır. Ve nihai ürün olan dalga kılavuzu filtre (7) elde edilir. Flanş (1), ince sac (2), ana gövde (5) ve üst kapak (6) parçaları Alüminyum 7075 malzemesi (hafif, dayanıklı ve uygun olmasından dolayı) kullanılarak üretilir.

Buluşa konu DK filtre tasarımının dört farklı senaryoda düzgün çalıştığını göstermek için aşağıda verilen örneklendirmeler hazırlanmıştır.

Buluşa konu DK filtrelerinin tasarımı için bir örnek olay hazırlanmış ve benzetim sonuçları sunulmuştur. Her bir tasarım için öncelikle istenilen filtrenin özelliklerine göre hazırlanmış katalogdan meta-rezonatör seçimi yapılmıştır. Her bir tasarım aşamasında rezonans frekansı (f_0), bant genişliği (BW), filtre türü (bant geçiren/bant durduran), geri dönüş kaybı (S_{11}) ve durdurma bandı araya girme kaybı (S_{21}) gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmiştir. Bu S-parametrelerine bağlı olarak filtre derecesi belirlenmiştir. Tüm senaryolar için, içinde SRR/CSRR bulunduran $a=40,386 \text{ mm} \times b=20,193 \text{ mm} \times l=100 \text{ mm}$ boyutlarındaki DK filtresi üç boyutlu modellenmiştir.

Filtre türünün belirlenmesi: Bant durduran ve bant geçiren hilal tipi meta-rezonatör yapılı DK filtrenin frekans cevabı Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir. CSRR yapısında (band geçiren) hilal kısım dielektrik malzemeden oluşmakta iken SRR yapısında (band durduran) ise bu kısım bakırdan oluşmaktadır. Buna göre, bant geçiren CSRR yapısı için elde edilen 3,19 GHz'in bant genişliği, bant durduran SRR yapısında 4,06 GHz olarak elde edilmiştir. Hedef merkez frekansı (6 GHz) için doğru sonuçlar veren hilal geometrisine sahip meta-rezonatörün bant geçiren ya da bant durduran bir yapı olarak kullanılabildiği tespit edilmiştir.

Dar/geniş bant genişliği belirlenmesi: Meta-rezonatör (3) geometri tipinin filtrenin bant genişliği üzerinde etkisi vardır ve bu BW parametresini incelemek amacıyla bant geçiren bir filtre için Şekil 4'de verilen birinci dereceden hilal, dikdörtgen ve halka tipi CSRR yapıları 4,90-7,05 GHz için tasarlanmıştır. Bu sonuçlara göre, hedeflenen 6 GHz merkez frekansında üç farklı bant geçiren filtre cevabı elde edilmiştir. Dikdörtgen, halka ve hilal geometrileri için sırasıyla 0,32 GHz, 0,98 GHz ve 3,19 GHz bant genişliği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre dar/orta ve geniş bant uygulamalar için sırasıyla dikdörtgen/halka ve hilal meta-rezonatör (3) geometrilerinin kullanılması mümkündür. Yani meta-rezonatör (3) dikdörtgen, halka veya hilal geometrilerinden en az birine sahiptir. Sonraki örneklerde tasarımlar geniş bant özelliği gösteren hilal geometrisi ile yapılmıştır.

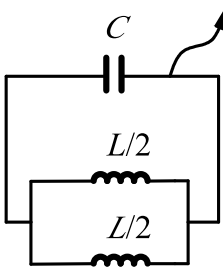
Rezonans frekansının ayarlanması: Bant geçiren CSRR hilal geometrik yapılı DK filtredeki parametrelerin (R_1 , R_0 , G_1 , G_2) frekans cevabına etkileri Şekil 5a, Şekil 5b, Şekil 5c ve Şekil 5d'de verilmiştir. Hilal geometrisindeki parametrelerle oynanarak filtrenin rezonans frekansı değiştirilebilir. Slot kalınlığı ve hilal uçları arasındaki mesafeler sırasıyla G_1 ve G_2 olarak tanımlanırken iç ve dış yarıçap büyüklükleri R_1 ve R_0 olarak belirlenmiştir. Şekil 5a'da, diğer parametreler sabit iken, G_1 parametresi 0,20 mm'den 1,80 mm'e kadar 0,40 mm'şer aralıklar ile arttırılmıştır. Buna göre merkez frekansının (f_0) G_1 artışı ile arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5b'deki durumda ise G_2 aralığı 1,20 mm'den 3,80 mm'e kadar 0,50 mm'şer arttırıldığında, f_0 değerinin neredeyse hiç değişmediği ve 6 GHz'de kaldığı tespit edilmiştir. R_1 dış yarıçapının 8,75 mm'den 9,75 mm'e kadar 0,25 mm'şer arttırarak yapılan benzetim sonuçlarına göre ise $f_0=6,40$ GHz'den $f_0=6$ GHz'e kadar hafifçe azaldığı Şekil 5c'de görülmüştür. İç yarıçap R_0 değerinin arttırıldığı Şekil 5d'deki son durumda ise $f_0=6,62$ GHz'den $f_0=5,63$ GHz'e kadar dış yarıçap R_1 parametresine göre daha fazla azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, f_0 merkez frekansını azaltmak için R_1 ve R_0 parametrelerinin büyük seçilirken

G_1 aralığının ise küçük tercih edilmesinin doğru olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 6 GHz'den farklı bir rezonans frekansı için tasarım yapılacaksa daha önce belirtildiği gibi farklı bir meta-rezonatör ebatları belirlenebilir.

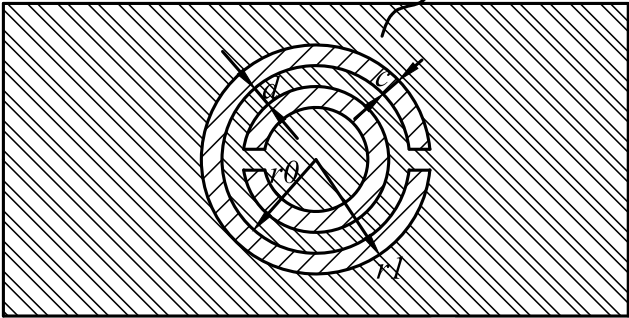
Filtre derecesinin belirlenmesi: Şekil 6a, Şekil 6b, Şekil 6c ve Şekil 6d'de hilal tipi CSRR yapıları birinci, üçüncü, beşinci ve yedinci dereceden DK filtrenin frekans cevapları incelenmiştir. Bu durumda filtrede kullanılan derece sayısı, sadece DK'na katmanlı ve simetrik olarak yerleştirilen meta-rezonatör sayısını değil aynı zamanda benzetimde görülen rezonans sayısını da belirlemektedir. Meta-rezonatörler arasındaki mesafe $\lambda_g/4$ olarak alınmıştır. Bu sonuçlara göre birinci, üçüncü, beşinci ve yedinci dereceler için ilk rezonans değerine ulaşmadaki geçirme bölgesi frekans aralıkları sırasıyla 2 GHz, 0,9 GHz, 0,3 GHz ve 0,15 GHz olarak tespit edilmiştir. Buna göre filtre derecesi arttıkça geçiş bölgesi daha keskin ve sert olmasına bağlı olarak filtre performansı ve kalitesi artmaktadır.

Sonuçta tek bir dalga kılavuzu (WR-159) kullanılarak ve bu dalga kılavuzunda yedi adet oyuk açılarak bu oyuklara takılacak PCB kartlar sayesinde aynı dalga kılavuzu ile hem farklı tipten (bant durduran/bant geçiren), hem farklı bant genişliğine sahip (dar veya geniş bantlı), hem de farklı çalışma frekanslarına sahip, değişken dereceli bir mikrodalga filtre (7) elde edilmiştir.

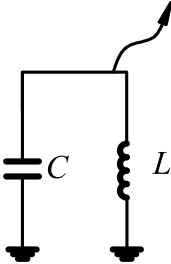
Şekil 1.1



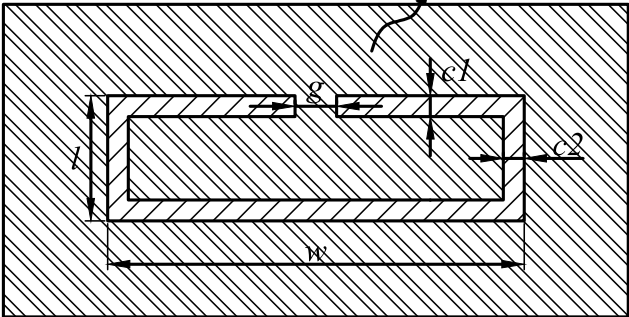
Şekil 1.4



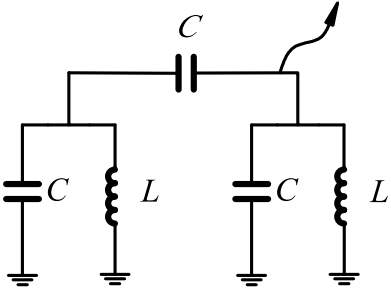
Şekil 1.2



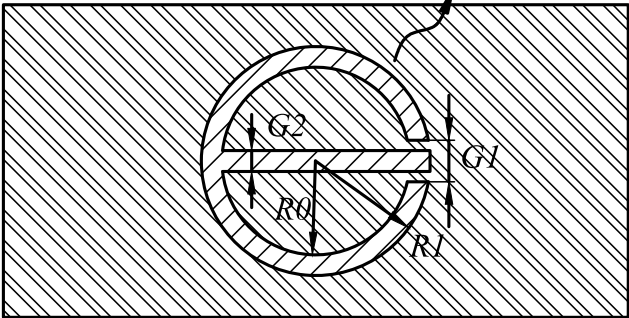
Şekil 1.5

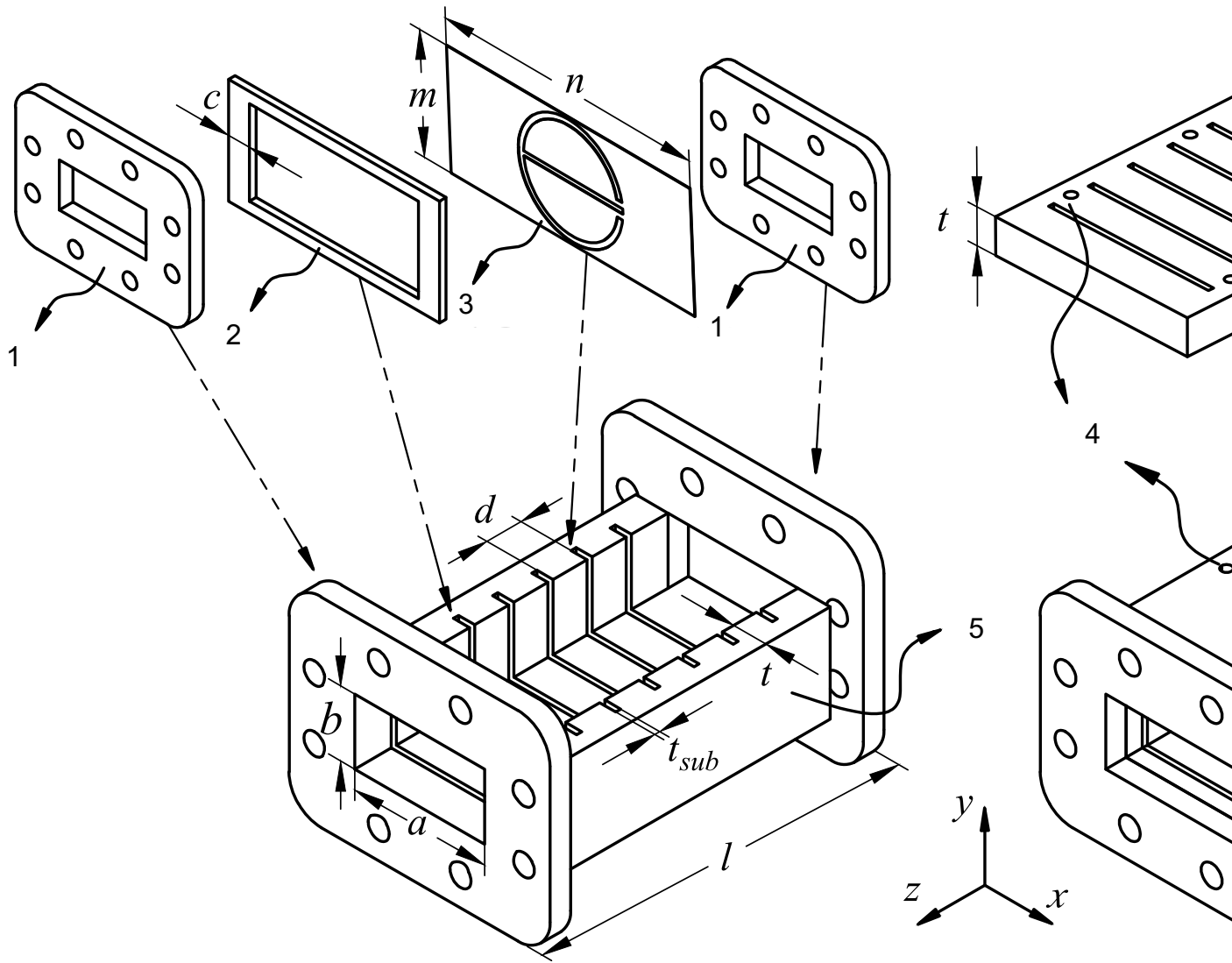


Şekil 1.3

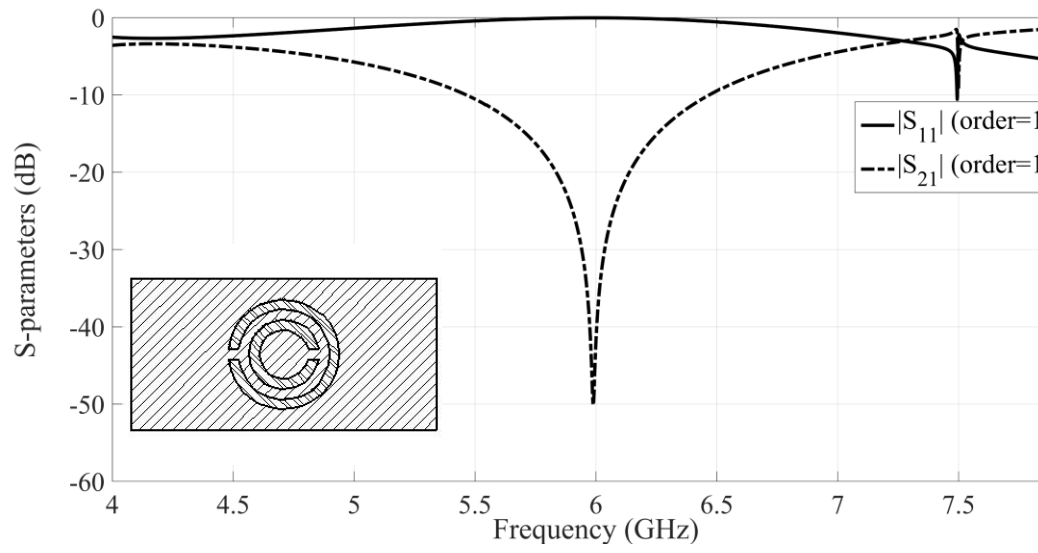


Şekil 1.6

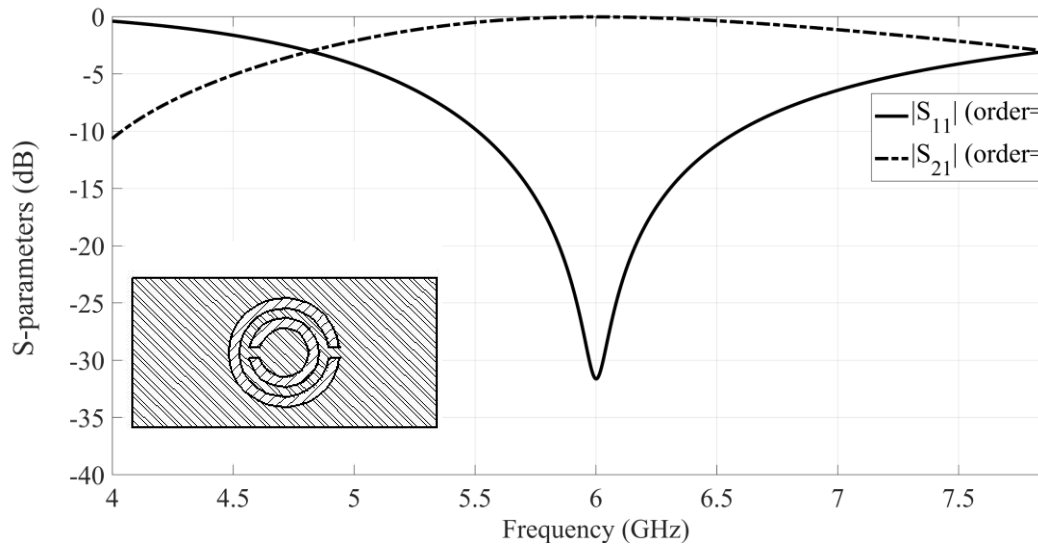




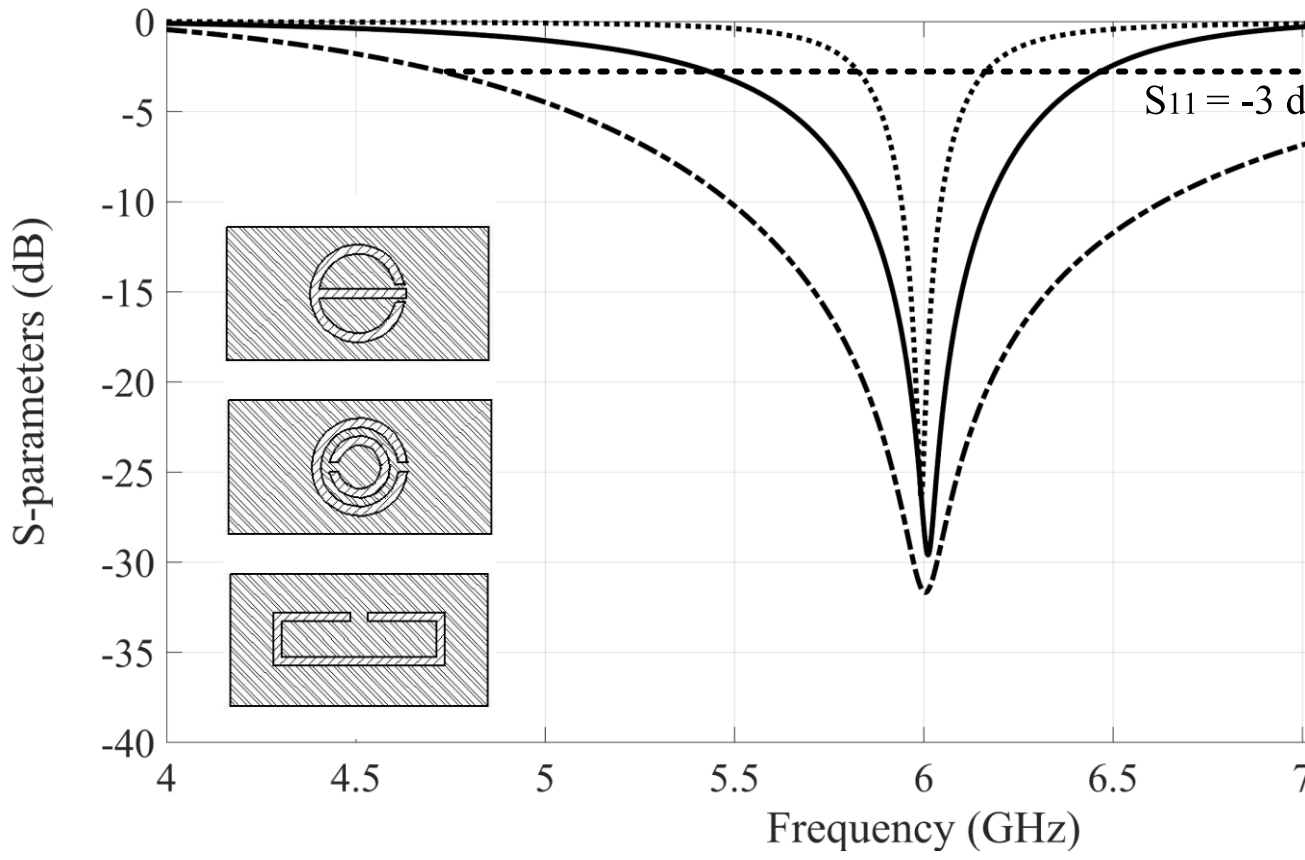
Şekil 2a



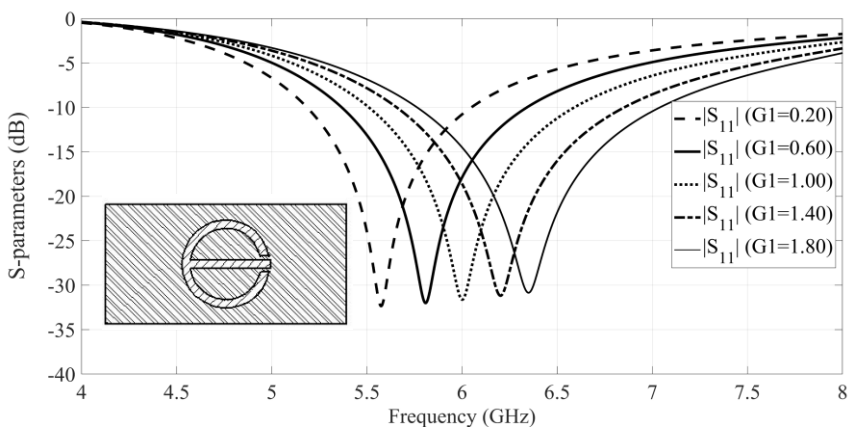
Şekil 3a



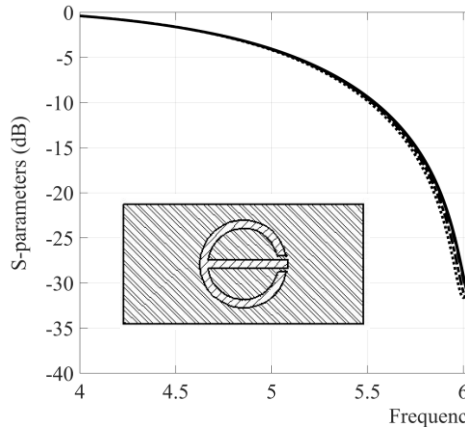
Şekil 3b



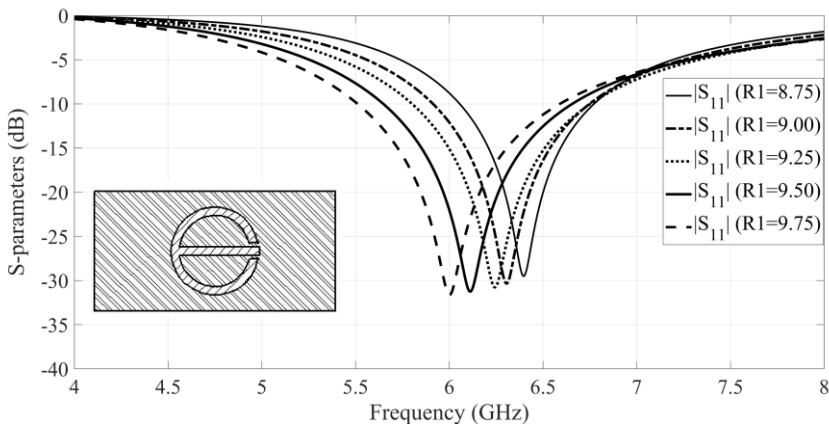
Şekil 4



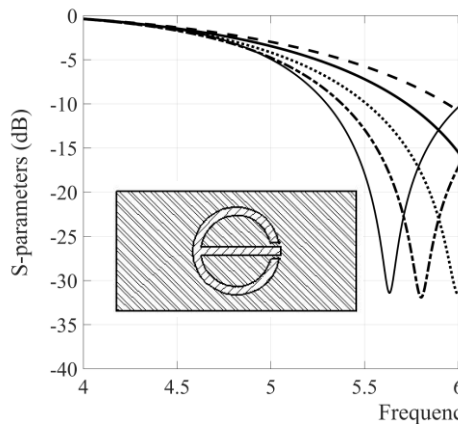
Şekil 5a



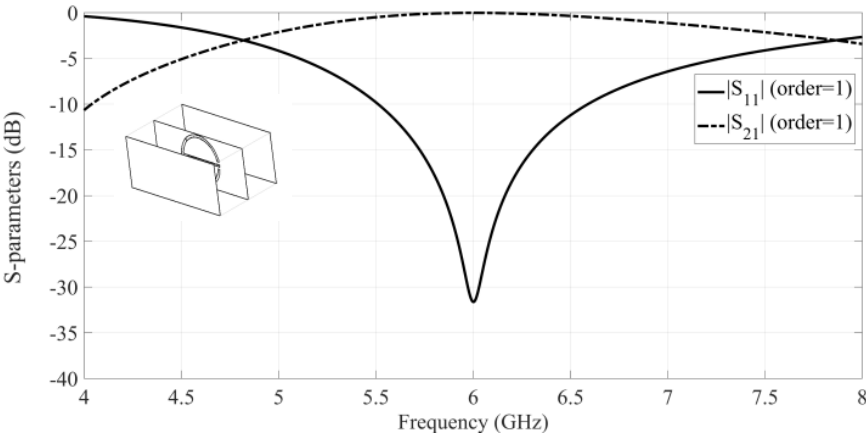
Şekil 5b



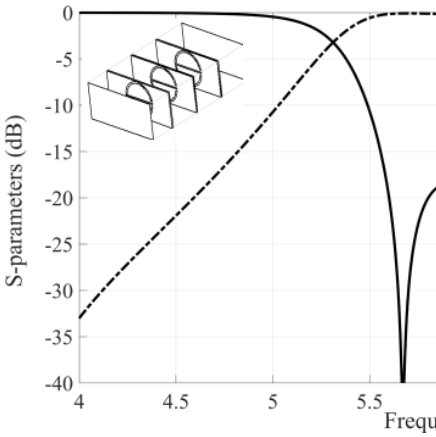
Şekil 5c



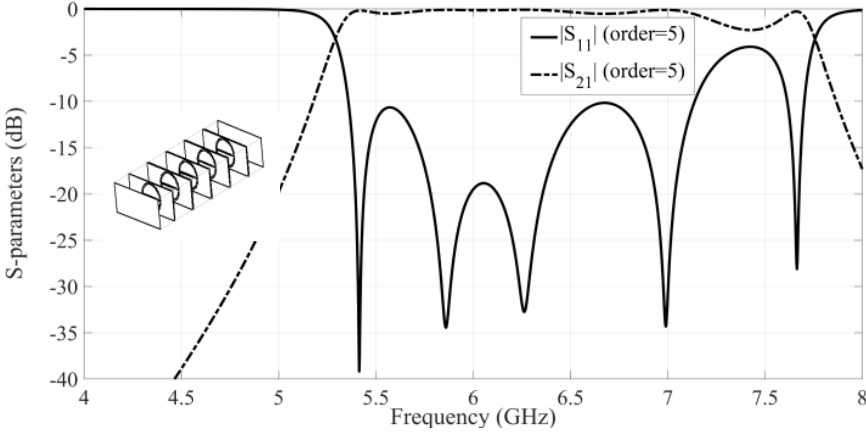
Şekil 5d



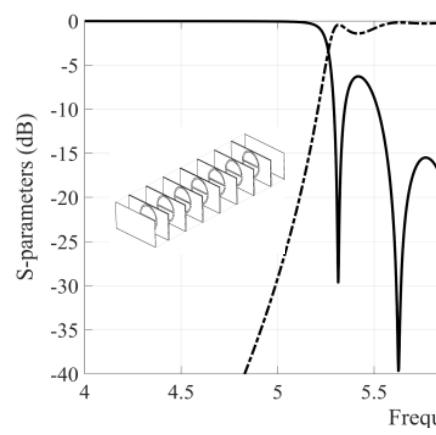
Şekil 6a



Şekil 6b



Şekil 6c



Şekil 6d