



## VARICAP DIODE USED ADAPTIVE BAND-PASS FILTER DESIGN OPERATING IN THE FREQUENCY RANGE OF 700 MHz-1800 MHz

Fatma Nur Gözel<sup>1</sup> , Mahmut Ahmet Gözel<sup>1</sup> , Mesud Kahrıman<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering, 32260, Isparta, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

Filters play an important role in wireless communication systems. For this reason, filters with different physical properties according to the operating frequency are widely designed and used. Since the physical properties of the filters prepared by traditional methods are fixed, their operating frequencies are also fixed. In this study, microstrip adaptive filter design was carried out for the RF/Microwave region. Thanks to the adaptability of the prepared filter, the applied supply voltage is changed, allowing the filter to operate at different frequencies without changing its physical properties. In the simulation studies of the filter, the ADS program, which is an RF/Microwave circuit design and simulation program produced by Keysight Technology, was preferred. As a substrate material in the filter, known as FR4 in the market; A base material with a loss tangent value of 0.025, a dielectric material thickness of 1.5 mm, and a dielectric constant of 4.3 was used. SMV 1249 varicap diode was added to the prepared filter. Different voltages between 0V and 14V were applied to the ends of the diode and S11 and S21 parameters were recorded for each case. The measurements of the circuit were made with Rohde & Schwarz FSH6 spectrum analyzer. It has been observed that the prepared microstrip filter can be used as a band-pass filter between 700MHz and 1800MHz, including GSM frequencies.

**Keywords:** Adaptive filter, microstrip filter, varicap diode.

## VARİKAP DİYOT KULLANARAK 700 MHz-1800 MHz FREKANS ARALIĞINDA ÇALIŞAN ADAPTİF BANT GEÇİREN FİLTRE TASARIMI

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Kablosuz haberleşme sistemlerinde filtreler önemli yer tutmaktadır. Bu sebeple çalışma frekansına göre farklı fiziksel özelliklere sahip filtreler yaygın olarak tasarlanıp kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan filtrelerin fiziksel özelliği sabit olduğu için çalışma frekansları da sabit olmaktadır. Bu çalışmada RF/Mikrodalga bölgesi için mikroşerit adaptif filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan filtrenin adaptifliği sayesinde, uygulanan besleme gerilimi değiştirilerek, filtrenin fiziksel özelliklerini değiştirmeden farklı frekanslarda çalışabilmesi sağlanmıştır. Filtrenin benzetim çalışmalarında Keysight Teknoloji'nin ürettiği ve bir RF/Mikrodalga devre tasarım ve benzetim programı olan ADS programı tercih edilmiştir. Filtrede alttaş malzeme olarak, piyasada FR4 olarak bilinen; kayıp tanjant değeri 0,025, dielektrik malzeme kalınlığı 1,5 mm, dielektrik sabiti 4,3 olan taban malzemesi kullanılmıştır. Hazırlanan filtreye SMV 1249 varikap diyodu ilave edilmiştir. Diyodun uçlarına 0V ile 14V arasında farklı gerilimler uygulanmış ve her durum için S11 ve S21 parametreleri kaydedilmiştir. Devrenin ölçümleri ise Rohde & Schwarz FSH6 spektrum analizör ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan mikroşerit filtrenin mevcut hali ile GSM frekanslarını da içeren 700MHz ile 1800 MHz arasında Band geçiren filtre olarak kullanılabilirliği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adaptif filtre, mikroşerit filtre, varikap diyot.

### 1 Giriş

Kablosuz haberleşmede, kullanılacak sistemin teknolojisi ve ihtiyaç duyulan bant genişliğine göre farklı frekanslar kullanılmaktadır. Kablosuz haberleşmenin pek çok alanda kullanılmasıyla bir ortamda çok farklı frekanslarda sinyallerin varlığından söz edilebilir. Frekansları 30 GHz'in üzerinde ve 300 GHz'e kadar olan

EM dalgalarına milimetre dalgaları da denir, çünkü dalga boyları 1 ile 10 milimetre aralığındadır. Mikrodalga frekans spektrumu altında ise Radyo Frekansı (RF) bulunmaktadır. RF ve Mikrodalgalar arasındaki frekans sınırı, bu belirli frekans aralığının işletilmesi için geliştirilen özel teknolojilere bağlı keyfi olarak seçilmektedir. Bu sebeple RF/Mikrodalga; 300 kHz ile 300 GHz arasındaki radar, navigasyon, radyo astronomi,

\* Corresponding author.

E-mail address: mesudkahrıman@sdu.edu.tr (M. Kahrıman)

Received 09 October 2021; Received in revised form 12 March 2022; Accepted 06 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1007567>

algılama, tıbbi enstrümantasyon gibi iletişimlerin olduğu uygulamalar için kullanılan genel bir terimdir [1]. Sistemlerin doğru ve verimli haberleşmesi açısından filtreler önemli bir yere sahiptir. Geleneksel olarak filtreler, belirli bir frekansa göre tasarlanır ve çalışma frekansları ve bant genişlikleri sabittir. Sabitlikten kaynaklanan bu eksiliğin önüne geçmek için aktif filtreler kullanılmaya başlanmıştır.

Elektronik olarak ayarlanabilen veya yeniden yapılandırılabilen RF/Mikrodalga filtreler, mevcut ve gelecekteki kablosuz sistemlerin kapasitesini artırmada artan önemi nedeniyle araştırma ve geliştirmeye daha fazla dikkat çekmiştir [2]. Bilişsel telsiz ve radar uygulamalarının geleceğini düşünerek, elektronik olarak yeniden yapılandırılabilir mikrodalga filtrelerinin kablosuz sistemlerde daha etkin bir rol oynayacağını söylemek mümkündür. Genel olarak, elektronik yeniden yapılandırılabilir bir filtre geliştirmek için, yarı iletken p-i-n ve varikap diyotlar, RF MEMS gibi aktif anahtarlama veya ayarlama elemanları veya ferroelektrik varikaplar gibi aktif elemanların pasif bir filtre yapısına dâhil edilmesi gerekmektedir. Mikro şerit filtreler ile bu tür küçük boyutlu entegrasyonları uygulaması kolay olduğu için, mikro şeritlere dayalı ayarlanabilir veya yeniden yapılandırılabilir filtreler geliştirmeye ilgi artmaktadır [3-37]. Bu filtreler ayarlanabilir (adaptif) bant geçişi filtreleri olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma literatürdeki filtre yapıları göz önüne alındığında aşağıdaki gibi yapılabilir:

- RF MEMS ayarlanabilir filtreler [11-17].
- Piezoelektrik dönüştürücü (PET) ayarlanabilir filtreler [18-20].
- Ayarlanabilir yüksek sıcaklık süper iletken (HTS) filtreleri [21-23].
- Yeniden yapılandırılabilir ultra geniş bantlı (UWB) filtreler [24, 37].
- Ayarlanabilir çift bantlı filtreler [25].
- Ayarlanabilir bant durduran filtreler [26-30].
- Yeniden yapılandırılabilir/ayarlanabilir çift modlu filtreler [31-36].
- Anahtarlama bir gecikme hattı yaklaşımına dayalı yeniden yapılandırılabilir bant geçiren filtreler [38].
- Yeniden yapılandırılabilir bant genişliğine sahip geniş bantlı bant geçiren filtre [39, 40].
- Analog ve Dijital Aktif Filtreler ve yapay sinir ağları ile modellemeleri [41-43]

Bu çalışmada RF/Mikrodalga frekanslarda band geçiren mikroşerit filtre tasarımı yapılarak ve aktif veya pasif devre elemanları kullanılarak farklı giriş seviyelerine göre farklı frekans bantlarında çalışabilen bir mikroşerit adaptif filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

## 2 Filtre Tasarımı

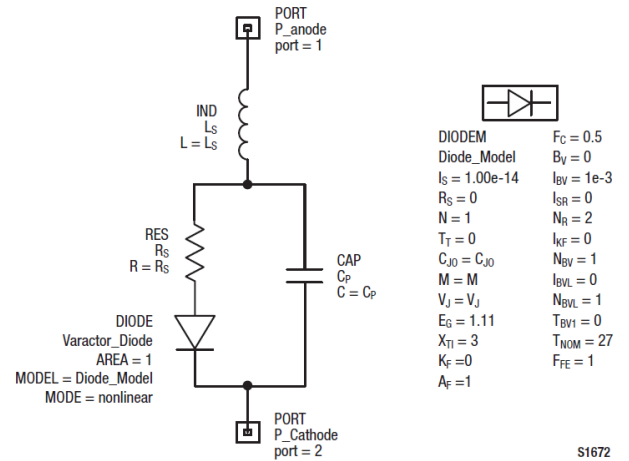
Bir filtre, geçirme bandı frekanslarında iletimi, söndürme bandı frekanslarında ise sönümlenmeyi sağlayarak bir RF veya mikrodalga sisteminin belirli bir noktasındaki frekans tepkisini kontrol eden iki kapılı bir devredir. Tipik frekans tepkileri alçak geçiren (AGF), yüksek geçiren (YGF), bant geçiren (BGF), bant durduran

(BDF) özellikleri içerir. Filtre uygulamaları neredeyse her RF veya mikrodalga iletişim, radar veya test ve ölçüm sistemlerinde bulunabilir.

Bant geçiren filtreler, alt ve üst limitleri dışında kalan noktadaki sinyalleri bastıran, belirtilen aralıklardaki sinyallere dokunmayan transfer fonksiyonuna sahip filtrelerdir. Alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin seri bağlanmasıyla elde edilir. Belirlenen frekansın altındaki frekansları geçirip üstündekileri zayıflatıyorsa alçak geçiren filtre, üstündekileri geçirip altındaki frekansları zayıflatıyorsa yüksek geçiren filtre, belirli bir frekans aralığındaki frekansları zayıflatıyorsa bant durduran filtre denir. Adaptif filtreler de bu filtreler aracılığıyla elde edilir.

Adaptif filtre, değişken parametrelerle kontrol edilen bir transfer fonksiyonuna ve bu parametreleri bir optimizasyon algoritmasına göre ayarlamak için bir araca sahip olan doğrusal filtreli bir sistemdir.

Bu çalışmada sistemin adaptifliğinin sağlanabilmesi için kullanılacak elemanlardan varikap diyotu tercih edildi. Varikap diyot eşdeğer devresi Şekil 1'deki gibi ele alınarak tasarlanacak filtre için uygun olduğu düşünülen SMV1249 079LF paketi kullanılmıştır. SMV1249 varikap diyodunun eşdeğer devresi ve iç parametreleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

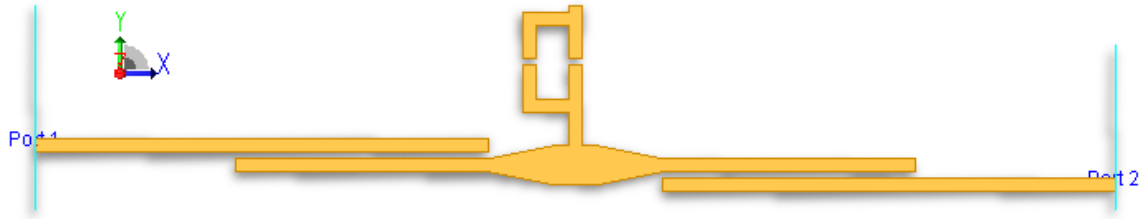


Diyot Adı	$C_{J0}$	$V_J$	$M$	$C_P$	$R_S$
SMV1249	36.40	80	70	1.68	1.7

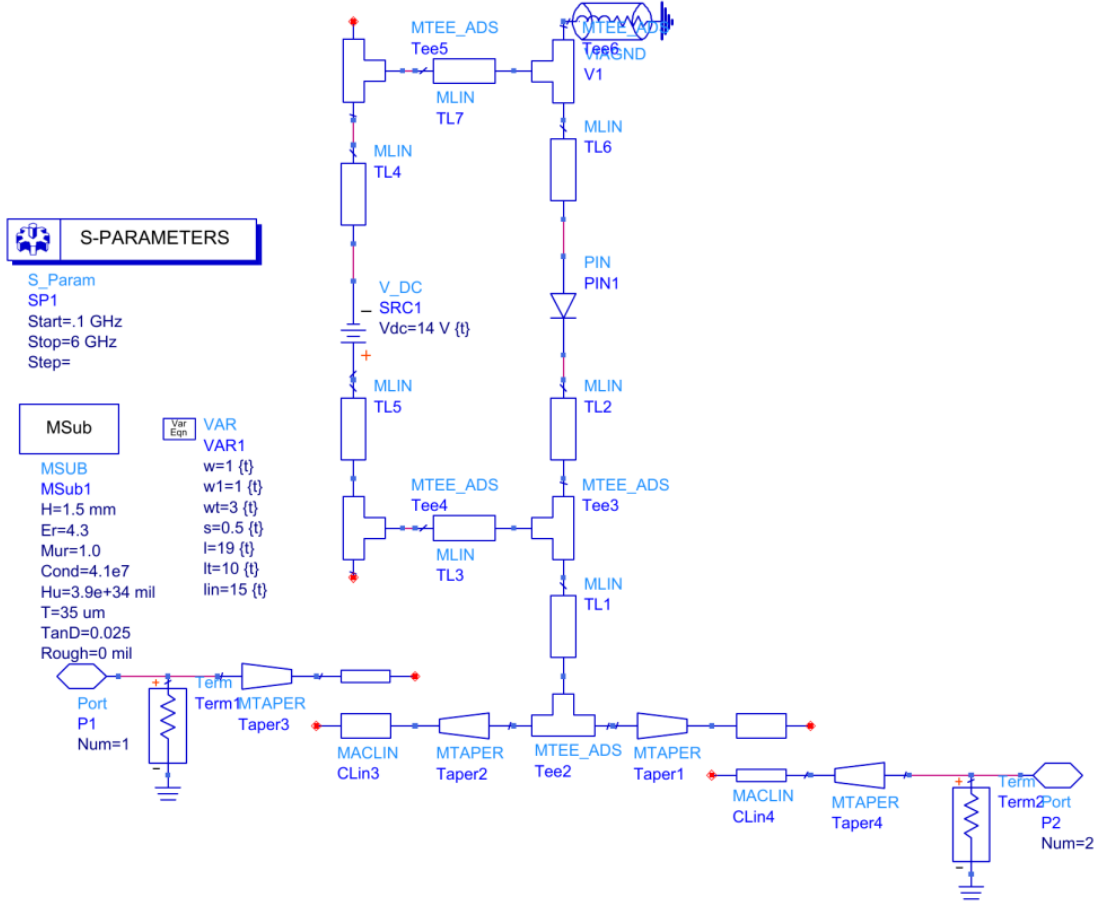
Şekil 1. SMV1249 Varikap diyot eşdeğer modeli.

RF ve Mikrodalga devre tasarımı ve simülasyonu yapılabilen ADS yazılımı kullanılarak bağlaşıklı hatlı filtre topolojisi referans alınarak bant geçiren adaptif filtre tasarımı, simülasyonu ve ölçümleri yapılmıştır.

Öncelikle ADS yazılımı kullanılarak mikroşerit hat tabanlı bağlaşıklı hatlı filtre topolojisi tasarlanmıştır. Bu tasarımın adaptif hale getirilebilmesi için SMV1249 varikap diyotu kullanılarak 0-14 Volt arasında değişken gerilimler ile bu bölgedeki kapasitif etki ayarlanmış ve böylece farklı frekans bölgelerinde bant geçiren filtre özelliği sağlayan bir devre tasarımı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Şekil 2 ile gösterilen devre mikroşerit hatlar ile tasarlanmıştır.



a)

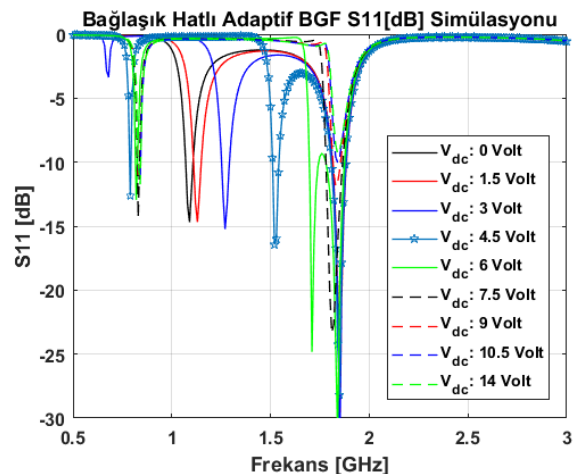


b)

Şekil 2. a). Tasarlanan devrenin baskı devre görüntüsü b) mikroşerit hatlar ile ADS tasarımı.

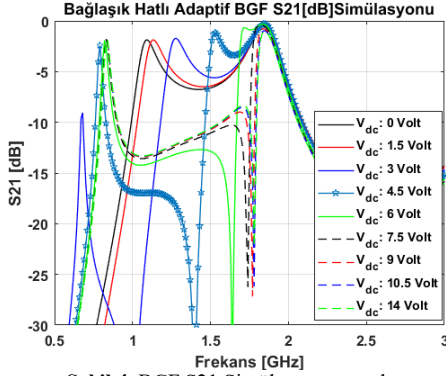
### 3 Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

Tasarımları yapılan devre ile Şekil 2 b) ile gösterilen devrede SRC1 olarak isimlendirilen ve 0-14 Volt arasında DC gerilim veren değişken bir kaynak bağlanarak DC gerilim 1.5 Volt aralıklar ile değiştirilmiştir. Böylece varikap diyotun devreye sağladığı kapasitif etki değerlendirilmiştir. Kapasitif değişimin BGF(Band geçiren Filtre) üzerindeki etkisi ile S-parametreleri incelenmiştir. Yapılan benzetim çalışması ile elde edilen S11 ve S21 sonuçları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmektedir.



Şekil 3. BGF S11 Simülasyonu sonuçları.

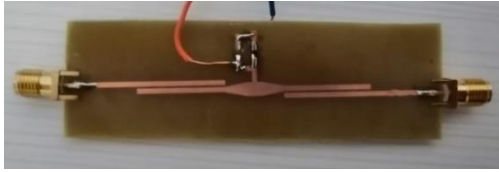
Şekil 2 ile gösterilen devrede, gerilim değerlerinin değişimine bağlı olarak 0.7 GHz den başlayarak 1.8 GHz'e kadar DC olarak verilen gerilim ile değişen S11 sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. BGF S21 Simülasyon sonuçları.

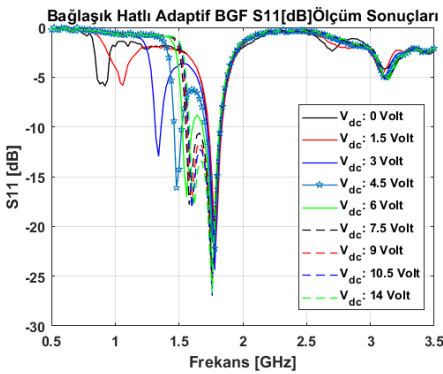
Şekil 4 ile gösterilen S21 sonuçları 1.8 GHz için tüm DC değerlerde devrenin filtre olarak çalıştığını fakat değişen giriş gerilimine bağlı olarak 0.7 GHz ile 1.8 GHz arasında farklı frekanslarda da devrenin BGF olarak çalıştığını göstermektedir.

ADS yazılımı ile yapılan devrenin baskı devresi yapılarak simülasyon ile benzerliği karşılaştırılmak istenmiştir. Bu sebeple simülasyonda belirtilen malzeme FR4 kullanılarak bir baskı devre gerçekleştirilmiştir. Bu baskı devre Şekil 5 ile gösterilmiştir.



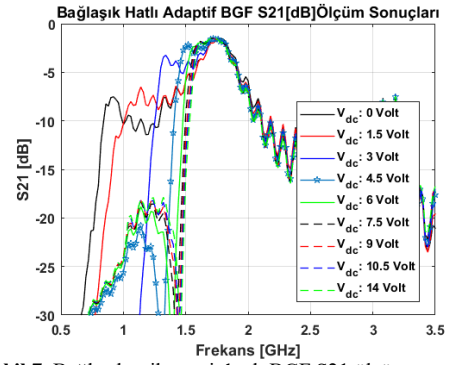
Şekil 5. Bağlaşık mikroşerit hatlı BGF baskı devresi.

Şekil 5 ile gösterilen ve baskı devresi yapılan bağlaşık mikroşerit hatlı BGF devresi Rohde & Schwarz FSH6 spektrum analizör kullanılarak S11 ve S21 değerleri ölçülmüştür. S11 ölçümü için Spektrum analizör bir yönlü bağlaştırmacı yardımıyla network analizör olarak kullanılmıştır. Yapılan ölçümler ile elde edilen S11 sonuçları Şekil 6 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Bağlaşık mikroşerit hatlı BGF S11 ölçüm sonuçları.

Şekil 6 ile gösterilen S11 ölçüm sonuçları Şekil 3 ile gösterilen simülasyon sonuçlarına yaklaşık değerlere sahiptir. Bu durum yapılan simülasyon çalışmasının gerçekliğini de ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Bağlaşık mikroşerit hatlı BGF S21 ölçüm sonuçları.

Şekil 7 ile gösterilen ölçüm grafiği Şekil 4 ile gösterilen simülasyon grafiğinin sonuçları ile örtüşmektedir. Böylece yapılan çalışmanın geliştirilmesi ve ADS kullanımının devam ettirilmesi açısından olumlu sonuçlar alındığı gözlemlenmektedir.

Tablo 1. Çalışmanın literatür ile karşılaştırılması.

Referans	Frekans Aralığı	Varactor	Filtre Türü
[44]	0,6-1,03 GHz	MA46H202	BGF
[45]	1,4-2 GHz	SMV1405	BGF
[46]	1,32-1,89 GHz	MA46H071	BGF
Bu çalışma	0,7-1,8 GHz	SMV1249	BGF

Literatürdeki bazı çalışmalarda varikap diyot ile yapılan yeniden ayarlanabilir BGF yapıları ve bu çalışmanın frekans aralığı ile kullanılan yarıiletken türü karşılaştırılarak Tablo 1 ile gösterilmiştir. Görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan varikap diyotun bağlaşık hatlı mikroşerit filtrede kullanımı ile geniş bir frekans aralığında BGF özelliği gösterdiği söylenebilir.

#### 4 Tartışma

ADS yazılımı kullanılarak tasarlanmış olan bant geçiren filtre, gerçekleştirilmiş ve Rohde & Schwarz FSH6 spektrum analizör kullanılarak S11 ve S21 değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde benzetim ve ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma 700 MHz ile 3GHz frekans aralığında, yürütülmüş olup, kontrol gerilimi 0V ile 14 V arasında kademeli olarak uygulanmıştır. Mevcut tasarım ile gerçekleştirilen devrenin 700 MHz ile 1800 MHz arasında bant geçiren filtre olarak kullanılabilceği ortaya çıkmıştır.

İleriye dönük olarak elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, tasarlanan filtrenin katman sayısı artırılabilir ve varikap diyotun farklı bölgelerdeki kapasitif etkisi incelenebilir. Bununla birlikte varikap diyotun bağlaşık hatlı filtre topolojisindeki kullanımındaki teknik, gelecek çalışmalar için farklı kapasite aralığına sahip varikap diyotların da kullanımına ışık tutacaktır.

#### Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Referanslar

- [1] Hong, J. S. G., & Lancaster, M. J. (2004). *Microstrip filters for RF/microwave applications*. John Wiley & Sons.
- [2] Hong, J. S. (2009). Reconfigurable planar filters. *IEEE Microwave Magazine*, 10(6), 73-83.
- [3] Nath, J., Ghosh, D., Maria, J. P., Kingon, A. I., Fathelbab, W., Franzon, P. D., & Steer, M. B. (2005). An electronically tunable microstrip bandpass filter using thin-film Barium-Strontium-Titanate (BST) varactors. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 53(9), 2707-2712.
- [4] Sigman, J., Nordquist, C. D., Clem, P. G., Kraus, G. M., & Finnegan, P. S. (2008). Voltage-controlled Ku-band and X-band tunable combline filters using barium-strontium-titanate. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 18(9), 593-595.
- [5] Vendik, I., Vendik, O., Pleskachev, V., Svishchev, A., & Wordenweber, R. (2001, May). Design of tunable ferroelectric filters with a constant fractional band width. In *2001 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (Cat. No. 01CH37157)* (Vol. 3, pp. 1461-1464). IEEE.
- [6] Fathelbab, W. M., & Steer, M. B. (2005). A reconfigurable bandpass filter for RF/microwave multifunctional systems. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 53(3), 1111-1116.
- [7] Torregrosa-Penalva, G., López-Risueno, G., & Alonso, J. I. (2002). A simple method to design wide-band electronically tunable combline filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(1), 172-177.
- [8] Vendik, I., Vendik, O., Pleskachev, V., & Nikol'ski, M. (2003). Tunable microwave filters using ferroelectric materials. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 13(2), 716-719.
- [9] Kim, B. W., & Yun, S. W. (2004). Varactor-tuned combline bandpass filter using step-impedance microstrip lines. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52(4), 1279-1283.
- [10] Sanchez-Renedo, M. (2007). High-selectivity tunable planar combline filter with source/load-multiresonator coupling. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 17(7), 513-515.
- [11] Kraus, G. M., Goldsmith, C. L., Nordquist, C. D., Dyck, C. W., Finnegan, P. S., Austin, F., Muyschondt, A., & Sullivan, C. T. (2004, June). A widely tunable RF MEMS end-coupled filter. In *2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IEEE Cat. No. 04CH37535)* (Vol. 2, pp. 429-432). IEEE.
- [12] Blondy, P., Palego, C., Houssini, M., Pothier, A., & Crunteanu, A. (2007, December). RF-MEMS reconfigurable filters on low loss substrates for flexible front ends. In *2007 Asia-Pacific Microwave Conference (pp. 1-3)*. IEEE.
- [13] Pothier, A., Orlianges, J. C., Zheng, G., Champeaux, C., Catherinot, A., Cros, D., Blondy, P., & Papapolymerou, J. (2005). Low-loss 2-bit tunable bandpass filters using MEMS DC contact switches. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 53(1), 354-360.
- [14] Entesari, K., & Rebeiz, G. M. (2005). A differential 4-bit 6.5-10-GHz RF MEMS tunable filter. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 53(3), 1103-1110.
- [15] Reines, I. C., Goldsmith, C. L., Nordquist, C. D., Dyck, C. W., Kraus, G. M., Plut, T. A., ... & Sullivan, C. T. (2005). A low loss RF MEMS Ku-band integrated switched filter bank. *IEEE Microwave and wireless components letters*, 15(2), 74-76.
- [16] Zhang, R., & Mansour, R. R. (2005, June). Novel tunable lowpass filters using folded slots etched in the ground plane. In *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 2005. (pp. 775-778). IEEE.
- [17] Rebeiz, G. M., Entesari, K., Reines, I. C., Park, S. J., El-Tanani, M. A., Grichener, A., & Brown, A. R. (2009). Tuning in to RF MEMS. *IEEE microwave magazine*, 10(6), 55-72.
- [18] Hsieh, L. H., & Chang, K. (2003). Tunable microstrip bandpass filters with two transmission zeros. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, 51(2), 520-525.
- [19] Tu, W. H., & Chang, K. (2007). Piezoelectric transducer-controlled dual-mode switchable bandpass filter. *IEEE microwave and wireless components letters*, 17(3), 199-201.
- [20] Poplavko, Y., Schmigin, D., Pashkov, V., Jeong, M., & Baik, S. (2005, October). Tunable microstrip filter with piezo-moved ground electrode. In *2005 European Microwave Conference (Vol. 2, pp. 3-pp)*. IEEE.
- [21] Pal, S., Stevens, C., & Edwards, D. (2005). Tunable HTS microstrip filters for microwave electronics. *Electronics Letters*, 41(5), 286-288.
- [22] Matthaei, G. L. (2003). Narrow-band, fixed-tuned, and tunable bandpass filters with zig-zag hairpin-comb resonators. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 51(4), 1214-1219.
- [23] Subramanyam, G., Van Keuls, F. W., & Miranda, F. A. (2000). A K-band-frequency agile microstrip bandpass filter using a thin-film HTS/ferroelectric/dielectric multilayer configuration. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48(4), 525-530.
- [24] Chun, Y. H., Shaman, H., & Hong, J. S. (2008). Switchable embedded notch structure for UWB bandpass filter. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 18(9), 590-592.
- [25] Djoumessi, E. E., Chaker, M., & Wu, K. (2009). Varactor-tuned quarter-wavelength dual-bandpass filter. *IET microwaves, antennas & propagation*, 3(1), 117-124.
- [26] Jachowski, D. R. (2005, June). Compact, frequency-agile, absorptive bandstop filters. In *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 2005. (pp. 513-516). IEEE.
- [27] Chun, Y. H., Hong, J. S., Bao, P., Jackson, T. J., & Lancaster, M. J. (2008, June). BST varactor tuned bandstop filter with slotted ground structure. In *2008 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (pp. 1115-1118)*. IEEE.
- [28] Huang, S. Y., & Lee, Y. H. (2009). A compact E-shaped patterned ground structure and its applications to tunable bandstop resonator. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 57(3), 657-666.
- [29] Chun, Y. H., Hong, J. S., Bao, P., Jackson, T. J., & Lancaster, M. J. (2008, October). An electronically tuned bandstop filter using BST varactors. In *2008 38th European Microwave Conference (pp. 1699-1702)*. IEEE.
- [30] Yan, W. D., & Mansour, R. R. (2007, June). Compact tunable bandstop filter integrated with large deflected actuators. In *2007 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (pp. 1611-1614)*. IEEE.
- [31] Chun, Y. H., Hong, J. S., Bao, P., Jackson, T. J., & Lancaster, M. J. (2008). BST-Varactor Tunable Dual-Mode Filter Using Variable  $Z_{in}$  Transmission Line. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 18(3), 167-169.
- [32] Al Mutairi, M. R., Sheta, A. F., & AlKanhal, M. A. (2008, October). A novel reconfigurable dual-mode microstrip meander loop filter. In *2008 38th European Microwave Conference (pp. 51-54)*. IEEE.
- [33] Chun, Y. H., & Hong, J. S. (2008). Electronically reconfigurable dual-mode microstrip open-loop resonator filter. *IEEE microwave and wireless components letters*, 18(7), 449-451.

- [34] Tang, W., Hong, J. S., & Chun, Y. H. (2008, October). Compact tunable microstrip bandpass filters with asymmetrical frequency response. In *2008 38th European Microwave Conference* (pp. 599-602). IEEE.
- [35] Tang, W., & Hong, J. S. (2009, October). Tunable microstrip quasi-elliptic function bandpass filters. In *2009 European Microwave Conference (EuMC)* (pp. 767-770). IEEE.
- [36] Tang, W., & Hong, J. S. (2010). Varactor-tuned dual-mode bandpass filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 58(8), 2213-2219.
- [37] Arachchige, H. R., Hong, J. S., & Hao, Z. C. (2008, December). UWB bandpass filter with tunable notch on liquid crystal polymer substrate. In *2008 Asia-Pacific Microwave Conference* (pp. 1-4). IEEE.
- [38] Wong, P. W., & Hunter, I. C. (2008). A new class of low-loss high-linearity electronically reconfigurable microwave filter. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 56(8), 1945-1953.
- [39] Cheng, T., & Tam, K. W. (2017). A wideband bandpass filter with reconfigurable bandwidth based on cross-shaped resonator. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 27(10), 909-911.
- [40] Miller, A., & Hong, J. S. (2010, September). Wideband bandpass filter with multiple reconfigurable bandwidth states. In *The 40th European Microwave Conference* (pp. 1273-1276). IEEE.
- [41] Serbet, F., Kaya, T., & Ozdemir, M. T. (2017, May). Design of digital IIR filter using Particle Swarm Optimization. In *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (pp. 202-204). IEEE.
- [42] Kaya, T., & İnce, M. C. (2012). Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Modellenen Pencere Fonksiyonu Kullanarak Fır Filtre Tasarımı. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 27(3).
- [43] Kaya, T., & Guler, H. (2018). A hybrid genetic algorithm for analog active filter component selection. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 86, 1-7.
- [44] Tang, W., & Hong, J. S. (2010). Varactor-tuned dual-mode bandpass filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 58(8), 2213-2219.
- [45] Long, J., Li, C., Cui, W., Huangfu, J., & Ran, L. (2011). A tunable microstrip bandpass filter with two independently adjustable transmission zeros. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 21(2), 74-76.
- [46] El-Tanani, M. A., & Rebeiz, G. M. (2010). Corrugated microstrip coupled lines for constant absolute bandwidth tunable filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 58(4), 956-963.