



**DİELEKTRİK REZONATÖR VE HİBRİD RİNG KULLANILARAK
GERÇEKLEŞTİRİLEN FREKANS DİSKRİMİNATOR DEVRESİ**

**(FREQUENCY DISCRIMINATOR CIRCUIT EMPLOYING DIELECTRIC
REZONATÖR AND HYBRID RING)**

Emine Yeşim Yüksel*

ÖZET/ABSTRACT

Sıcaklık katsayısı kontrol edilebilen düşük kayıplı seramik dielektrik malzemelerin uygun maliyetle bulunabilir olmasından sonra dielektrik rezonatör mikrodalga devrelerinde başta filtre devreleri ve katıhal osilatörleri olmak üzere geniş ölçülerde kullanım alanı bulmaktadır. Son yıllarda çok yaygın olmamakla birlikte dielektrik rezonatör uygulamaları frekans diskriminatör devrelerinde de görülmektedir. Bu çalışma $TE_{01\delta}$ modunda çalışan dielektrik rezonatör ve hibrid ring kullanarak planar devre olarak gerçekleştirilen frekans diskriminatörünün tasarımını ve diskriminatör merkez frekansı sıcaklık katsayısı ölçümlerini içermektedir. Tasarımlanan devrenin sıcaklık kararlılığı yüksek olup, devrenin fiziksel boyutları ve üretim maliyetlerindeki azalma geleneksel dalga kılavuzu ve cavity rezonatör kullanılan frekans diskriminatörleri ile karşılaştırıldığında önemli ölçülerdedir. Devrenin analizleri temel transmisyon hatları teorisi kullanılarak yapılmıştır. Teorik analiz ve deneysel olarak elde edilen frekans diskriminatör S-karakteristikleri verilmiştir.

Soon after low-loss ceramic dielectric material with controllable temperature coefficients was available at reasonable cost, the dielectric resonator became a widely employed component in microwave circuits, predominately in filters and solid-state oscillators. Even though it is not very common, in recent years dielectric resonator applications can also be seen in frequency discriminator circuits. This paper presents a planar circuit realization of a frequency discriminator based on single-mode $TE_{01\delta}$ operation of the dielectric resonator and a hybrid ring and temperature coefficient measurements for the center frequency of the discriminator characteristic. The designed circuit has high temperature stability and the reduction in physical size and cost of manufacturing is substantial when compared to the waveguide and cavity version. Theoretical analysis and experimental results of the S-curve characteristics of the designed circuit are also presented.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Dielektrik rezonatör, Frekans diskriminatörü, Sıcaklık kararlılığı
Dielectric resonator, Frequency discriminator, Temperature stability

*DEÜ, Müh. Fak., Elektrik ve Elektronik Müh. Böl., Buca İZMİR

1. GİRİŞ

Seramik dielektrik malzeme teknolojisindeki gelişmeler düşük kayıplı, yüksek sıcaklık kararlılığına sahip dielektrik rezonatör üretimini olağan kılmakta ve bu nedenle de dielektrik rezonatörler günümüzde mikrodalga osilatörlerinde, frekans ayıraçlarında işaret kaynağı olarak geniş kullanım alanı bulmaktadırlar (Masse, 1979). Dielektrik rezonatör kullanarak kısa dönem kararlılığı yüksek işaret kaynakları elde edilebilir. Diğer yandan sistemlerin uzun dönemli kararlılıkları materyal yaşlanması, sıcaklık ve nem gibi diğer bazı faktörlere bağlıdır. Dielektrik rezonatörler osilatör frekanslarının kararlılığının artırılmasında önemli rol oynamaktadırlar ve dielektrik rezonatör devrelerinin duyarlılığının artırılması osilatör devrelerinin de kararlılıklarını artırmaktadır. Dielektrik rezonatörler mikrodalga entegre devrelerinde mikroşerit hatlarla bağlaşıklık olarak kullanıldığında, maliyet ve devrenin fiziksel boyutları açısından önemli ölçülerde azalma sağlamaktadır. Bu nedenlerle de her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadırlar. Dielektrik rezonatörlerin sık rastlanmayan ama etkili kullanım alanı bulduğu uygulama alanlarından biri de frekans diskriminatör devreleridir. Frekans diskriminatörleri osilatör devrelerindeki küçük işaret değişimlerini gözlemlemek ya da işaretlerin demodülasyonu amacıyla kullanılabilir (Foster and Seeley, 1937). Elektronik ayarlamalı osilatör devreleri kullanıldığında, diskriminatör devresi çıkış işareti osilatör devresinin kontrolü için kullanılabilir. Diskriminatör devresi çıkışındaki voltaj direkt olarak merkez frekansındaki sapmalarla orantılıdır ve bu nedenle frekans diskriminatörleri osilatör devrelerinin kararlılıklarının artırılması için kullanılan etkili yöntemlerdir.

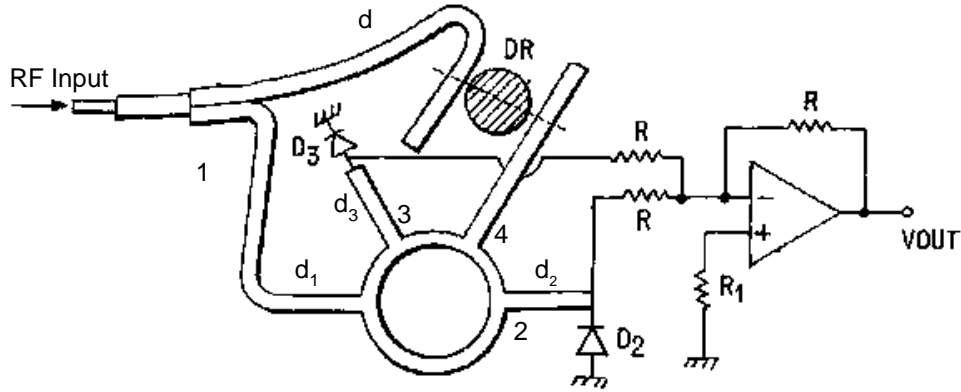
Tasarıma bağlı olarak yüksek frekans devrelerinde bir ya da daha fazla cavity rezonatör kullanılmaktadır (Pound, 1946; Hansen, 1950). Mikroşerit hat rezonatörler ve dielektrik rezonatörlerin frekans diskriminatörlerinde kullanımı geleneksel cavity versiyonlarıyla karşılaştırıldığında devrenin fiziksel boyutlarında önemli ölçülerde azalmalar sağlamaktadır. Bu da maliyeti düşürüp ve kullanım alanlarını artırmaktadır. Tek bir dielektrik rezonatör ihtiva eden frekans diskriminatörü ilk olarak Bianchini tarafından gerçekleştirilmiştir (Bianchini, 1984). Bu tasarımı izleyen ve dual modda çalışan frekans diskriminatörü Fiedziuszek tarafından sunulmuştur (Fiedziuszek, 1987). Fiedziuszek'nun gerçekleştirdiği tasarımın çalışma ilkesi Hansen tarafından yapılan tasarımla aynı olup, cavity rezonatör yerine dielektrik rezonatör kullanılmıştır. Pound diskriminatörü vakum komponent kullanan mikrodalga osilatörlerinin stabilizasyonu için yıllardır kullanılmaktadır. Özgün tasarım boşluk rezonatör kullanılarak yapılmış olmasına karşın, dielektrik rezonatör-mikroşerit kuplajı kullanılarak gerçekleştirilen tasarım aynı derecede başarılı diskriminatör karakteristiği vermiştir (Yüksel and Wong, 2000).

Frekans diskriminatörleri için gerekli önemli gereksinimlerden biri de merkez frekansının tanımlanan bir sıcaklık çalışma bölgesi için kararlılığının yüksek olmasıdır. Buna bağlı olarak devreyi oluşturan parçaların termal özelliklerinin tasarım sırasında dikkate alınması gerekir. Bu çalışmada dielektrik rezonatör-mikroşerit kuplajı ve hibrid ring kullanılarak gerçekleştirilen frekans diskriminatörü tasarımı teorik ve deneysel sonuçlar verilerek ele alınmıştır. Devrenin sıcaklık kararlılığı deneysel ölçümlerle bulunmuş ve merkez frekansı sıcaklık kararlılığı üç farklı dielektrik rezonatör kullanılarak test edilmiştir.

2. DEVRENİN TANIMLANMASI VE ANALİZİ

Tasarımlanan devrenin RF girişinde 3dB kuplör ve hibrid ring, dielektrik rezonatör nedeniyle bir tanesi faz kaymasına uğrayan iki mikrodalga işaretini tekrardan birleştirmek amacıyla Şekil 1'de gösterildiği gibi kullanılmıştır. Dielektrik rezonatör aynı anda iki

mikroşerit hatla kuplaj edilmiştir. Bir çift uyumlu diyot kullanılarak algılanan mikrodalga işaretleri fark (differential) yükseltici kullanılarak toplanmıştır.



Şekil 1. Dielektrik rezonatör ve H-Ring kullanılarak tasarılan frekans diskriminatörü

Devrenin analizi temel transmisyon hatları bilgileri kullanılarak, işaretlerin fazor gösterimleri ($v(t)=\text{Re}\{V \exp(-j\omega t)\}$) esas alınarak yapılmıştır. RF girişine uygulanan V_1 işareti 3dB'lik güç bölücü kullanılarak bir kısmı üst koldan dielektrik rezonatöre, bir kısmı da hibrid ringe (rat-race) kuplaj edilir. Terminalleri Şekil 1'de gösterilen hibrid ring için S-parametre matrisi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$S_H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Hibrid ringe kuplaj edilen işaret diğer kollara da S-parametre matrisine uygun biçimde kuplaj edilir. Buna ek olarak RF girişinden gelen diğer işaret aynı anda iki mikroşerit hatta kuplaj edilen dielektrik rezonatör aracılığı ile hibrid ringe 4 numaralı koldan kuplaj olur. Dielektrik rezonatörün aynı anda iki mikroşerit hatta kuplaj olduğu bu yapı için S-parametre matrisi aşağıdaki şekilde verilebilir (Khanna, 1984):

$$S = \begin{bmatrix} \frac{k_1 - k_2 - 1 - j2Q_u \delta}{1 + k_1 + k_2 + j2Q_u \delta} & \frac{2k_1 k_2}{1 + k_1 + k_2 + j2Q_u \delta} \\ \frac{2k_1 k_2}{1 + k_1 + k_2 + j2Q_u \delta} & \frac{k_2 - k_1 - 1 - j2Q_u \delta}{1 + k_1 + k_2 + j2Q_u \delta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bu eşitlikte k_1 ve k_2 kuplaj katsayıları, Q_u yüksüz (unloaded) Q-faktörüdür. Rezonans frekansı f_0 ile gösterilmek üzere δ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\delta = \frac{f - f_0}{f_0} \quad (3)$$

Yukarıda verilen S-parametre matrisleri yardımıyla hibrid ringin 2 ve 3'nolu kollarındaki işaretler aşağıda gösterilmiştir.

$$V_2 = \frac{e^{-j\beta d_2}}{\sqrt{2}} \left[T_V e^{-j\beta d} - e^{-j\beta d_1} \right] \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{e^{-j\beta d_3}}{\sqrt{2}} \left[e^{-j\beta d_1} + T_V e^{-j\beta d} \right] \quad (5)$$

T_V olarak gösterilen değer dielektrik rezonatörün voltaj transmision katsayısıdır ve Eşitlik 2'de verilen S-parametresi matrisi kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$T_V = \frac{2k_1 k_2}{\sqrt{(1+k_1+k_2)^2 + 4Q_u \delta}} e^{-j\phi} \quad (6)$$

ve

$$\phi = \text{atan} \left[\frac{2Q_u \delta}{(1+k_1+k_2)} \right] \quad (7)$$

Hibrid ringin 2 ve 3'nolu kollarından elde edilen işaretler bir çift diyot aracılığı ile algılandıktan sonra differential yükseltici ile toplanır ve çıkışta diskriminatör S-karakteristiğini veren işaret aşağıdaki şekilde bulunur.

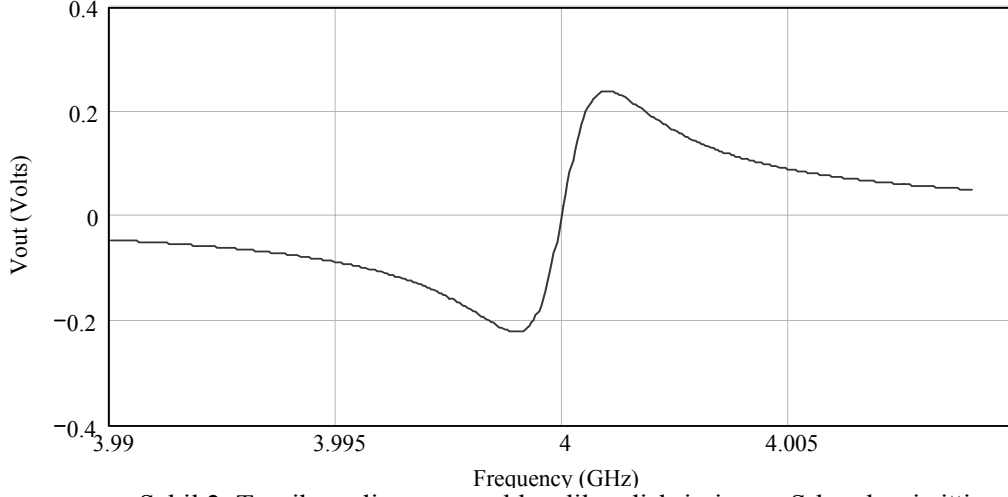
$$V_{out} = \frac{D}{2} \left[\left| e^{-j\beta d_2} \left\{ T_V e^{-j\beta d} - e^{-j\beta d_1} \right\} \right|^2 - \left| e^{-j\beta d_3} \left\{ T_V e^{-j\beta d} + e^{-j\beta d_1} \right\} \right|^2 \right] \quad (8)$$

Yukarıdaki eşitlikte D ampliflerin kazancını simgelemektedir. Uzunluk d Şekil 1'de 1 numaralı girişten (DR üstünden) hibrid ringin 4 numaralı koluna kadar olan mesafedir. Bu eşitlik yardımı ile elde edilen teorik diskriminatör S-karakteristiği Şekil 2'de sunulmuştur. Teorik hesaplamalar esnasında rezonans frekansı 4GHz olarak alınmıştır.

3. DENEYSEL ÖLÇÜMLER

Tasarımı yapılan devre Duroid RT5870 substrate malzemesi ve Trans-Tech firması tarafından üretilmiş dielektrik rezonatörler kullanılarak pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyle sırasında kullanılan dielektrik rezonatörler Çizelge 1'de verilmiştir. Dielektrik rezonatörlerin modu ölçümler sırasında temel TE_{018} mod olarak alınmış ve çalışılan rezonatörler için rezonans frekans bu modda 4 GHz civarındadır. Tasarımlanan devrenin sıcaklık kararlılığının ölçümü amacıyla rezonans frekansı sıcaklık katsayısı farklı üç aynı frekans aralığında çalışılan rezonatör için test edilmiştir. Radyasyon ve girişimleri önlemek amacıyla devre alüminyum üzeri gümüş kaplama kutuya yerleştirilmiştir. Bu devreye ait deneysel diskriminatör S-karakteristiği HP Network Analyzer kullanılarak çalışılan dielektrik rezonatörlerin biri için Şekil 3'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. DR1 tip rezonatör devrede kullanıldığında diskriminatör merkez frekansı 4.22GHz ve çalışılabilir linear bölge band

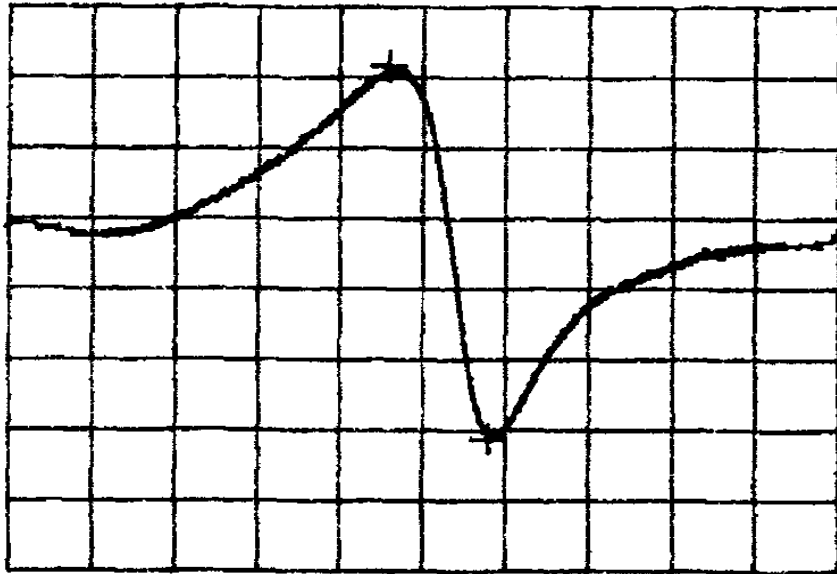
genişliği yaklaşık olarak 1.5MHz olarak ölçülmüştür. Bu devrede deneysel olarak ulaşılan duyarlılık (sensitivity) ortalama olarak 150 mV/1MHz'dir.



şekil 2. Teorik analiz sonucu elde edilen diskriminatör S-karakteristiği

Çizelge 1. Ölçümlerde kullanılan dielektrik rezonatörler

DR Tipi	Üreticinin tanımladığı τ_{fres} (ppm/°C)	Dielektrik sabiti	Çap (mm)	Kalınlık (mm)
DR1	+9.30	36.93	12.82	7.03
DR2	-4.10	36.26	13.84	6.22
DR3	-0.50	36.03	13.84	6.22



şekil 3. DR1 kullanılarak deneysel olarak elde edilen S-karakteristik eğrisi ($f_{center}=4.22$ GHz, $V_{pp}=220$ mV)

4. SICAKLIK KATSAYISI ÖLÇÜMLERİ

Tasarımlanan devrenin merkez frekansının sıcaklık değişimi ile gösterdiği sapmalar deneysel ölçümlerle bulunmuştur. Bu amaçla devre endüstriyel amaçlı bir fırına yerleştirilerek oda sıcaklığı ve 60°C arasında merkez frekansında gözlemlenen sapmalar kaydedilerek, aşağıdaki formül yardımı ile devrenin merkez frekansı sıcaklık kararlılık katsayısı (τ_f) hesaplanmıştır.

$$\tau_f = \frac{\Delta f(\text{MHz})}{f_0(\text{MHz})} \frac{1}{\Delta T} \quad (9)$$

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak τ_f 'in birimi ppm/°C (part per million per centigrade degree) olarak bulunur. Çalışılan dielektrik rezonatörler için elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği gibi kararlılık açısından en iyi sonuç DR1 tip dielektrik rezonatör kullanılarak 25-60 °C sıcaklık aralığı için 1.73 ppm/°C olarak elde edilmiştir. Bu rezonatör için üretici firma tarafından tanımlanan sıcaklık katsayısı Çizelge 1'de de görülebileceği gibi 9ppm/°C olarak verilmektedir. Sıcaklık artışı nedeniyle rezonatör ve substrate malzemesi fiziksel boyutlarındaki değişimler rezonans frekansının düşmesine neden olur. Bu nedenle pozitif sıcaklık katsayısı olan bir dielektrik rezonatör kullanımı bu düşüş etkisini kompanse ederek sistem kararlılığını verilen örnekteki gibi artırabilir (Yüksel, 2000).

Çizelge 2. Tasarımlanan devrenin merkez frekans sıcaklık kararlılık katsayıları

Dielektrik Rezonatör Tipi	Diskriminatör Merkez Frekansı Sıcaklık Kararlılık Katsayısı (τ_f) (ppm/°C)
DR1	1.73
DR2	-13.97
DR3	-10.46

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tasarımlanan devrenin üzerinde gerçekleştirilen teorik analiz ve deneysel ölçümler uyumlu sonuçlar vermektedir. Planar olarak gerçekleştirilen bu devre, dalga kılavuzu ve cavity rezonatör kullanan frekans diskriminatörleriyle karşılaştırıldığında çok daha hafif, küçük boyutlarda ve ekonomik olarak maliyet düşünüldüğünde daha uygun fiyatlara üretimi mümkündür. Bu özellikleri sayesinde devre (MIC) mikrodalga entegre devrelerle bağlaşımlı olarak gerekli uygulamalar için kolaylıkla kullanılabilir. Tasarımlanan devrenin sıcaklık kararlılığı yüksek olup bu kararlılığın artırılmasında en büyük etken dielektrik rezonatör seçimidir. Bu şekilde dielektrik rezonatör kullanan devrelerde üretici firma tarafından sıcaklık katsayısı 0 ppm/°C olarak verilen bir rezonatör kararlılığı artırma amacıyla seçilirse istenen kararlılık sağlanamayabilir. Bunun nedeni bu tür tasarımların sıcaklık kararlılığında aynı zamanda diğer devre bileşenlerinin de etkilerine bağlı olmasıdır. Devrenin bir bütün olarak kararlılığının artırılması diğer elemanların sıcaklık etkilerinin de hesaba katılarak, uygun dielektrik rezonatör seçimi yapılmasına bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Bianchini M.J., Cole J.B., DiBiase R., Galani Z., Laton R.W., Waterman R.C. (1984): "A Single Resonator GaAs FET Oscillator with Noise Degeneration", IEEE MTT-S Digest, pp. 270-273, June.
- Fiedziuszko S.J. (1987): "High Q Dielectric Resonator Frequency Discriminator", IEEE MTT-S Digest, Vol. 1, pp. 175-176.
- Foster D.E., Seeley S.W. (1987): "Automatic Tuning, Simplified Circuits and Design Practice", Proc. IRE, Vol. 25, No.3, pp. 289-313, March.
- Hansen W.W. (1950): "Ultra High Frequency Discriminator and Apparatus", U.S. Patent 2,402,456, April 4.
- Kahanna G. (1984): "Parallel Feedback Fetdro Design using 3-port S-Parameters", IEEE MTT-S International Symposium Digest, pp. 181-183, May.
- Masse D.J., Purcel R.A., Readey D.W., Maguire E.A., Hartwig C.P. (1971): "New Low-Loss High κ Temperature Compensated Dielectric for Microwave Applications", Proc. IEEE, pp. 1628-1629, November.
- Pound R.V. (1946): "Electronic Frequency Stabilization of Microwave Oscillators", The Review of Scientific Instruments, Vol. 17, No. 11, pp. 491-505, November.
- Yuksel E.Y. (1999): "Temperature Compensation for Frequency Discriminators Based on Dielectric Resonators", Ph.D. Dissertation, Illinois Institute of Technology, December.
- Yuksel E.Y., Wong T. (2000): "Design and Implementation of a Microwave Frequency Discriminator Employing Dielectric Resonator", IEEE 1st Electro/Information Technology Conference, June.