

# 2-10GHz Geniş Bantlı Sıfır Ara Sıklıklı İkinci Harmonik Pompalamalı SiGe Karıştırıcı

Umut Güvenç, Osman Palamutçuoğulları\*  
TÜBİTAK BİLGEM  
Kocaeli  
umut.guvenç@tubitak.gov.tr

\*İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Bölümü  
İstanbul  
opal@itu.edu.tr

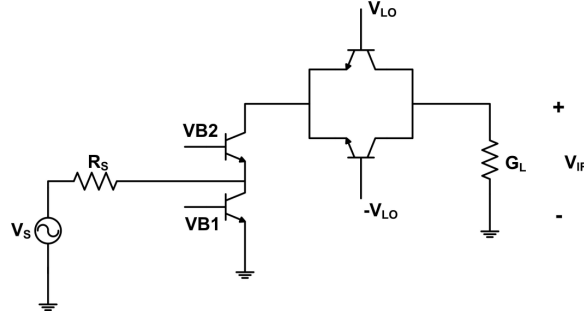
**Özet:** Bu çalışmada sıfır ara sıklıklı alıcılarda kullanılmaya uygun, ikinci harmonik pompalamalı, SiGe teknolojisi ile gerçekleştirilmiş bir karıştırıcı devresi önerilmiştir. İkinci harmonik pompalamalı karıştırıcıda yerel osilatör sıklığının taşıyıcı sıklığının yarısı olması, sıfır ara sıklıklı alıcıların yerel osilatör sızması ve DC dengesizlik sorunlarına çözüm getirmektedir. Geniş bantlı uygulamalar için uygun olan karıştırıcı devresinin benzetimleri sonucunda yüksek dönüştürme kazancı ve düşük gürültü sayısı elde edilmiştir. Devrenin analizi ve kazanç optimizasyonu için teorik yaklaşım detaylı olarak verilmiş ve benzetim sonuçları teorik hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır.

## 1. Giriş

Kablosuz iletişim kurabilen cihazların gün geçtikçe yaygınlaşması ve artması, daha basit ve tümleştirilmeye uygun bir yapısı olana sıfır ara sıklıklı alıcı verici yapılarının tekrar gündeme gelmesine neden olmuştur. Fakat basit ve tümleştirilmeye uygun yapısının yanında sıfır ara sıklıklı alıcı vericilerin çözülmesi gereken sorunları bulunmaktadır [1]. Bu sorunların başında yerel osilatör (YO) işaretinin sızması ve YO işaretinin kendi kendini karıştırarak DC dengesizlik gerilimi oluşmasına neden olmasıdır. Bu temel olarak YO sıklığı ile taşıyıcı sıklığının eşit olmasından kaynaklanmaktadır. Sıfır ara sıklıklı alıcı verici yapılarının bu sorunu nedeniyle geçmişte genellikle heterodyne alıcı verici yapıları tercih edilmiştir. Fakat kablosuz iletişim pazarındaki büyüme ve bu büyümenin oluşturduğu baskı, araştırmacıların daha basit ve tümleştirilebilir bir çözüm olan sıfır ara sıklıklı alıcı verici yapılarının sorunlarına çözüm bulmaya odaklanmalarını sağlamıştır [1].

İkinci harmonik pompalamalı karıştırıcılarda, YO sıklığı taşıyıcı sıklığının yarısına eşit olduğundan, bu tür karıştırıcılar sıfır ara sıklıklı alıcı verici yapılarının temel sorunu olan DC dengesizlik sorununa radikal bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle, ikinci harmonik pompalamalı karıştırıcılar, sıfır ara sıklıklı alıcı verici yapılarında kullanılmak üzere bariz bir tercih olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, YO sıklığının taşıyıcı sıklığının yarısına eşit olması, YO tasarımının kolaylaşmasını ve YO üzerindeki faz gürültüsünün karıştırma sonucunda ara sıklık bandı içerisine düşmemesi, sıfır ara sıklıklı karıştırıcıların en önemli özellikleri olarak ortaya çıkmaktadır [2] [3] [4].

Önerilen ikinci harmonik pompalamalı karıştırıcının temel yapısı Şekil 1’de görülmektedir. Bu yapıda paralel bağlı birbirine eşleştirilmiş anahtarlama transistörlerine, aralarında  $180^\circ$  faz farkı bulunan YO işaretleri uygulanarak karıştırma sonucundaki temel bileşenler bastırılmaktadır [3] [5].



Şekil 1. İkinci harmonik pompalamalı karıştırıcının temel yapısı

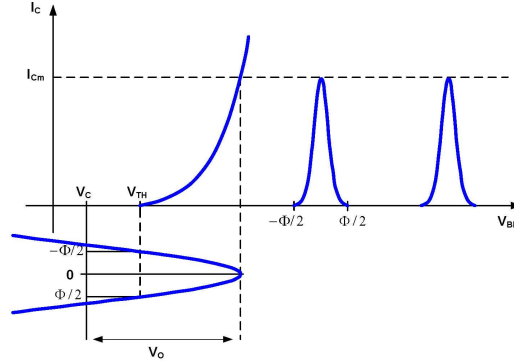
## 2. Karıştırıcı Analizi ve Kazanç Optimizasyonu

Transistorun baz emetör jonksiyonuna, genliği yeterince büyük olan bir sinüs işareti uygulandığında, transistorun geçiş iletkenliği de Şekil 2’de gösterildiği gibi periyodik bir değişim göstermektedir. Baz emetör gerilimi olarak  $V_C + V_o \cos \theta$  şeklinde bir işaret uygulanan anahtarlama transistorlarının geçiş iletkenliği ifadesi (1)’de verilmiştir.

$$g_m(\theta) = \underbrace{\frac{I_S}{V_T}}_{G_0} e^{\frac{v_C}{V_T}} e^{\frac{V_0}{V_T} \cos \theta} = G_0 e^{X \cos \theta} \quad (1)$$

Kazanç optimizasyonu denklemlerinde kullanılacak olan akış açısının ( $\Phi$ ) ifadesi ise Şekil 2'den (2)'deki gibi elde edilmektedir. Burada  $V_{TH}$  transistorun eşik gerilimini göstermektedir.

$$\Phi = 2 \cos^{-1} \left( \frac{V_{TH} - V_C}{V_0} \right) \quad (2)$$



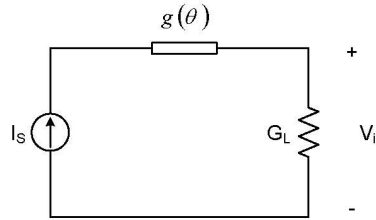
Şekil 2. YO işareti uygulanan transistorun akımı

Transistor geçiş iletkenliği girişine uygulanan YO işareti ile birlikte periyodik olarak değiştiğinden, geçiş iletkenliği (3)'deki gibi Fourier serisi şeklinde ifade edilebilmektedir. İkinci harmonik pompalamalı karıştırıcıda  $g_2$  katsayısının mümkün olduğunca yüksek olması,  $g_1$  katsayısının ise bastırılması istenmektedir [5].

$$g(\theta) = g_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} g_n \cos n\theta \quad (3)$$

Girişte sadece RF işaretinin çıkışta ise sadece IF bileşenin bulunduğu kabul edilerek karıştırıcı Şekil 3'deki gibi modellenilebilmektedir. Şekil 3'de gösterilen karıştırıcı Y modelinde  $I_S$  akım kaynağı giriş transistorunun kolektör akımını göstermektedir ve (4)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$I_S = \frac{V_S}{2R_S} \quad (4)$$



Şekil 3. Karıştırıcı Y modeli

Karıştırıcının Y modelinin akım gerilim denklemlerinde [5] (4)'deki ifade kullanıldığında, dönüştürme kazancına ait ifade (5)'deki gibi elde edilebilmektedir.

$$CG = 4R_S G_L \left( \frac{V_{if}}{V_S} \right)^2 = \frac{G_L}{R_S} \left( \frac{g_2}{g_0(g_0 + G_L) - g_2^2} \right)^2 \quad (5)$$

Dönüştürme kazancını en yüksek yapan yük iletkenliği  $G_{LO}$ , (5)'de verilen dönüştürme kazancı ifadesini  $G_L$ 'ye göre optimize ederek (6)'deki gibi elde edilebilmektedir.  $G_{LO}$  yük iletkenliği ile yüklendiğinde dönüştürme kazancı en yüksek değerini alacaktır. En yüksek dönüştürme kazancının  $g_0$  ve  $g_2$  katsayılarına göre ifadesi (7)'de verilmiştir.

$$G_{LO} = g_0 \left[ 1 - \left( \frac{g_2}{g_0} \right)^2 \right] \quad (6)$$

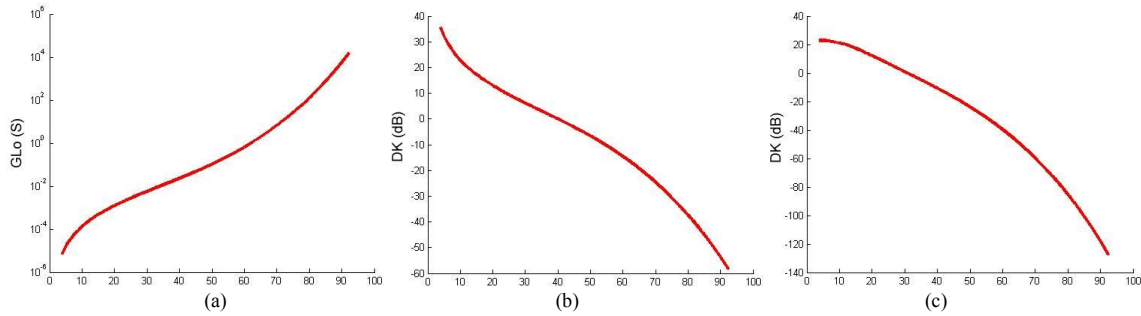
$$CG_{\max} = \frac{1}{4R_s} \frac{\left( \frac{g_2}{g_0} \right)^2}{G_{LO}} \quad (7)$$

Transistorun geçiş iletkenliğinin ifadesi Fourier serisi şeklinde yazıldığında Fourier katsayıları (8)'deki gibi olmaktadır. Önerilen ikinci harmonik pompalamalı karıştırıcı yapısında 180° faz farklı YO işaretleri ile sürülen paralel bağlı eř anahtarlama transistorları bulunduğundan, toplam geçiş iletkenliğinin temel ilk üç Fourier katsayısı (9)'daki gibi olmaktadır.

$$g_{mn}(\Phi) = \frac{G_0}{\pi} \int_0^{\Phi/2} e^{X \cos \theta} \cos n\theta d\theta \quad (8)$$

$$g_0 = 2g_{m0} = \frac{2G_0}{\pi} \int_0^{\Phi/2} e^{X \cos \theta} d\theta, \quad g_1 = 0, \quad g_2 = 2g_{m2} = \frac{2G_0}{\pi} \int_0^{\Phi/2} e^{X \cos \theta} \cos 2\theta d\theta \quad (9)$$

Karıştırıcının periyodik olarak değişen toplam geçiş iletkenliğinin tek harmoniklerinin Fourier katsayıları sıfırlanmakta, çift harmoniklerinin katsayıları ise ikiye katlanmaktadır. Fourier katsayılarına ait (8)'de verilen genel integral belirsiz bir integral olduğundan, analitik olarak çözülebilmesi için bazı yaklaşıklıklar kullanılarak basitleştirilmesi gerekmektedir. Yaklaşıklıklar kullanılarak çözülp g0 ve g2 katsayıları için ifadeler elde edilebilmesine rağmen, integralin nümerik olarak çözülmesi geniş bir akış açısı aralığında daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. İntegralin g0 ve g2 için nümerik olarak çözülmesinden elde edilen G<sub>LO</sub>, CG<sub>max</sub> ve CG eğrileri şekil 4'de gösterilmektedir.



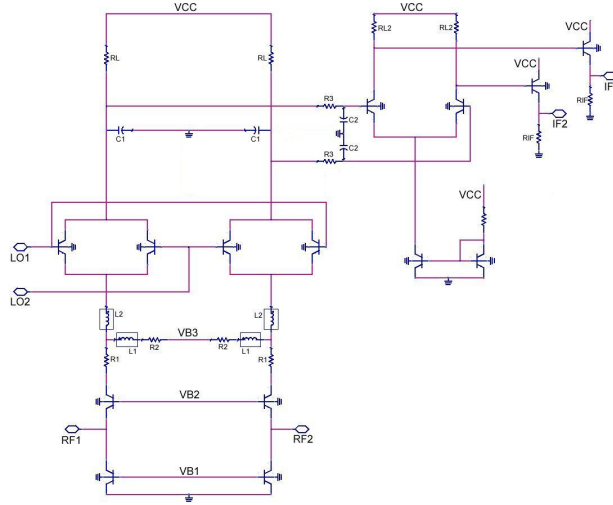
**şekil 4.** (a) En uygun yük iletkenliği, (b) en uygun yük iletkenliği kullanıldığında dönüştürme kazancı ve (c) 0,5 mS yük iletkenliği için dönüştürme kazancı

şekil 4(a) ve şekil 4(b)'de görüldüğü gibi akış açısı düştükçe dönüştürme kazancını en yüksek yapan en uygun yük iletkenliği de sıfıra yaklaşmaktadır. Ayrıca, akış açısı düştükçe elde edilebilecek en yüksek dönüştürme kazancı eğrisi yükselmektedir. Gerçeklenebilir bir değer olarak 0,5 mS'lik bir yük iletkenliği kullanıldığında elde edilen dönüştürme kazancının akış açısıyla değişimi eğrisi şekil 4(c)'de gösterilmektedir. Devre benzetim ortamıyla aynı fiziksel değerler ve kutuplama koşulları kullanılarak elde edilen şekil 4'deki eğrilere göre, 0,5 mS'lik yük iletkenliği kullanıldığında karıştırıcının dönüştürme kazancı 22 dB ile sınırlanmaktadır.

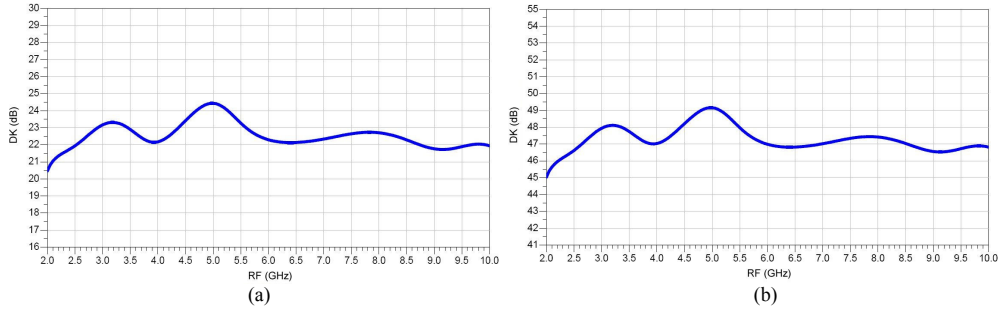
### 3. Benzetim Sonuçları

Benzetimlerde şekil 5'de gösterilen karıştırıcı devre şeması kullanılmıştır. şekil 6'da gösterilen dönüştürme kazancı eğrileri, RF işaret sıklığı 2-10 GHz arasında taratılarak ve IF işareti her zaman 10 MHz sıklığına düşürülecek şekilde YO işareti sıklığı da gerekli şekilde değiştirilerek elde edilmiştir. Yük iletkenliği olarak 0,5 mS kullanılmıştır. şekil 6(a)'da karıştırıcının IF kuvvetlendiricisinden önceki, analizi yapılan bölümün dönüştürme kazancı, şekil 6(b)'de ise karıştırıcının IF kuvvetlendiricisi ile birlikte toplam kazancı görülmektedir. şekil 6(a)'da görüldüğü gibi 0,5 mS'li yük iletkenliği ile elde edilen dönüştürme kazancı 23 dB'dir.

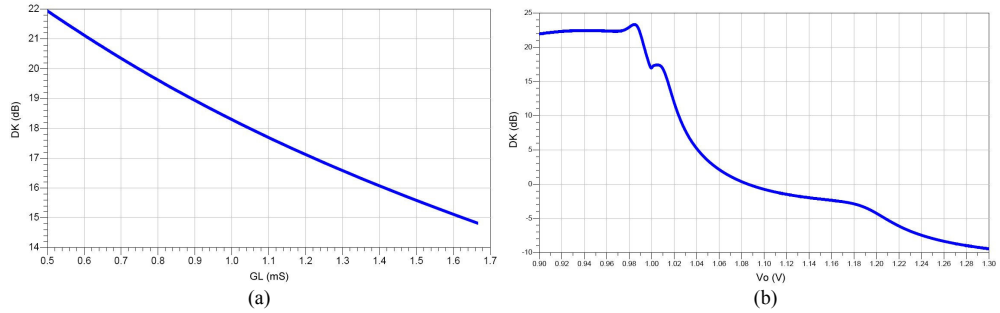
Dönüştürme kazancının yük iletkenliği ile değişimini gösteren şekil 7(a)'daki grafik, RF sıklığı 10 GHz, YO sıklığı ise 5,005 GHz yapılarak gerçekleştirilen benzetimde, yük iletkenliği 0,5-1,67 mS arasında taratılarak elde edilmiştir. şekil 7(b)'deki grafikte ise dönüştürme kazancının YO genliğine göre değişimi görülmektedir. YO genliğinin 0,9-1,3 V arasında taratılması akış açısının 0°-92° arasında değişmesine karşılık gelmektedir.



Şekil 5. Benzetimlerde kullanılan karıştırıcı devre şeması



Şekil 6. (a) IF kuvvetlendiricisinden önce ve (b) IF çıkışında dönüştürme kazancı



Şekil 7. Dönüştürme kazancının (a) yük iletkenliği (b) YO genliği ile değişimi

#### 4. Sonuç

Önerilen ikinci harmonik pompalamalı karıştırıcı yapısının kazanç analizi ve optimizasyonu için teorik hesaplamalar yapılmış ve benzetim sonuçlarının teorik hesaplama sonuçları ile uyumluluğu gösterilmiştir. Karıştırıcı devresinden 2-10 GHz bant aralığında yaklaşık 23 dB'lık bir dönüştürme kazancı elde edilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1]. R. Weigel, "Highly-Integrated Radio Frequency Integrated Circuits (RFICs) for UMTS", Proceedings GMe Forum, 2001.
- [2]. E. Degenford, M. Cohn ve A. Newman, "Harmonic Mixing with Anti-parallel Diode Pair", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Ağustos 1975, Vol.MTT-23, No.8, s. 667-673.
- [3]. O. Palamutcuoglu, "Second Harmonically Pumped MESFET Mixer", Proc. 8th Colloquium on Microwave Communication, Budapeşte, Ekim 1986, s. 237-238.
- [4]. O. S. A. Tang ve C. S. Aitchison, "A Very Wide-Band Microwave MESFET Mixer Using the Distributed Mixer Principle", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Aralık 1985, Vol.MTT-33, No.12, s. 1470-1478.
- [5]. O. Palamutcuoglu ve M. Kayhan, "Second Harmonically Pumped MOSFET Mixer with Zero-IF", International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, 2007.