

OFDM SİSTEMLERİNDE ARAKİPLENİM BOZULMALARININ ANALOG KÜBİK ÖNCEDEN BOZUCU DOĞRUSALLAŞTIRMA METODU İLE AZALTILMASI

Cebraile ÇİFLİKLİ¹

A. Çağrı YAPICI²

¹Erciyes Üniversitesi, Kayseri M.Y.O. Teknik Programlar, 38039, Melikgazi, Kayseri

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039, Melikgazi, Kayseri

¹e-posta: cebraile@erciyes.edu.tr

²e-posta: cyapici@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: OFDM, Arakiplenim Bozulmaları, Doğrusallaştırma

ABSTRACT

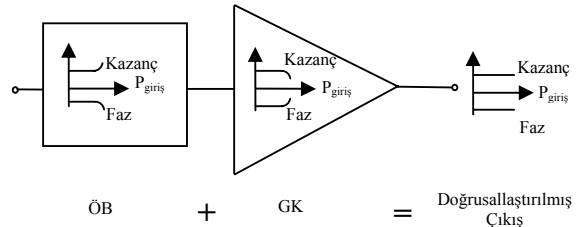
Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems are preferred in mobile communication systems, are the popular modulation techniques, because of easy to implement, have facilities to transmit high data rates and have resistance to multipath effects. Since OFDM signals show a nonconstant envelope, the nonlinear properties of power amplifiers (PA), which have very critical importance in communication systems, results as the intermodulation distortion. This study presents an analog cubic predistorter to reduce the intermodulation distortion (IMD) caused by nonlinearity properties of radio frequency (RF) PAs in multicarrier communication systems using OFDM modulation scheme. For designing the system and observing the result of linearization method in OFDM signal's power spectral density, the circuits designed in Agilent-ADS simulator performed by real RF circuit components has been used. Simulation results have been shown that the analog cubic predistortion linearization method can be used to overcome intermodulation distortion in OFDM systems.

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemleri benzeri modern haberleşme sistemleri giderek daha yüksek kanal kapasitesi ve bant genişliği ihtiyacı duymaktadır. Bu durumsa $\mu/4$ -DQPSK, M-QAM ve OFDM benzeri bant genişliği kullanımı verimli, sabit olmayan taşıyıcı zarfı gerektiren modülasyon tekniklerine olan talebi artırmıştır. Bununla beraber bu modülasyon teknikleri sistem performansını, sistem bileşenlerinin doğrusallığına duyarlı hale getirmektedir. Haberleşme sistemlerinde doğrusal olmayan bileşenlerden önemli birtaneside güç kuvvetlendiricisidir (GK). Giriş işaretinin zarfındaki dalgalanmalar mevcut iken sistemdeki güç kuvvetlendiricisinin doğrusalsızlığı,

arakiplenim bozulmaların yol açmaktadır [1]. Doğrusal olmayan bir güç kuvvetlendiricisi sistemde kullanıldığı zaman bant içi bozulmalar ve komşu kanal güç oranı (KKGO) kabul edilebilir sınırları aşmaktadır [2]. Bu durumu engelleyebilmek için doğrusal olmayan bir güç kuvvetlendiricisini belirli bir güç geri çekmesi (back-off) ile kullanmak bir çözüm olabilir. Bununla beraber güç geri çekmesi güç verimliliği açısından istenen bir durum değildir. Daha gelişmiş bir çözüm ise doğrusal olmayan bir kuvvetlendiriciyi, bir doğrusallaştırma tekniği ile beraber kullanmaktır.

Bu güne kadar geri beslemeli [3-4], ileri beslemeli [5-9], önceden bozma (predistortion) [10-14] tekniklerinin de içinde bulunduğu birçok doğrusallaştırma tekniği sunulmuştur. Geleneksel olan geri beslemeli tekniği kazanç kaybı, kararlılık problemi ve bant-genişliği gibi dezavantajları barındırmaktadır. Buna ek olarak ileri beslemeli tekniği yardımcı kuvvetlendirici ve karmaşık kontrol devreleri gerektirmektedir. Bu dezavantajlar ileri beslemeli tekniğini boyut olarak büyük hale getirmekle beraber maliyetini artırmaktadır. Diğer yandan önceden bozma tekniği, gerçekleştirme kolaylığı, düşük maliyeti ve kararlılık gibi avantajlara sahiptir.



Şekil 1. Önceden bozma doğrusallaştırma tekniğinin blok şeması

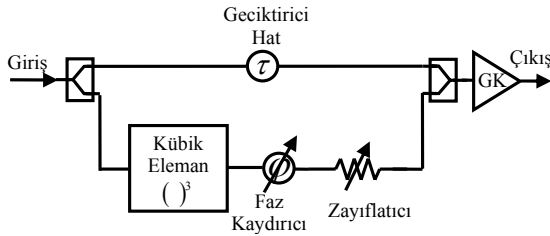
Önceden bozma doğrusallaştırma tekniğinin blok şeması Şekil 1’de görüldüğü gibidir. Kazanç ve faz tepkimelerinde doğrusal bir karakteristik elde edebilmek için önceden bozucu (ÖB), güç kuvvetlendiricisinin tersi bir karakteristiğe sahip olmalıdır. Güç kuvvetlendiricisinin giriş gücünün artışıyla birlikte oluşan kazanç baskılanması, önceden bozucunun genleşme karakteristiği ile karşılanmaktadır. Faz tepkimesi için aynı yaklaşımla, güç kuvvetlendiricisinin artan giriş gücü karşısındaki faz genişmesi, önceden bozucunun faz baskılanması ile karşılanmaktadır. Sonuç olarak, önceden bozucunun güç kuvvetlendiricisi ile birlikte kullanılması ile arzu edilen doğrusal karakteristik elde edilmektedir.

Analog, sayısal ve karma olmak üzere birçok önceden bozma doğrusallaştırma tekniği daha önceden sunulmuştur. Sayısal önceden bozucular RF güç kuvvetlendiricilerinin doğrusal olmayan özelliklerini daha doğru kestirmektedirler. Bununla birlikte, beraberinde bant sınırlamasını getiren, hesaplama zamanı gibi bir dezavantaja sahiptirler. Bunların yanı sıra, analog önceden bozucular boyut olarak daha küçüktürler ve temel bant sayısal işarete ihtiyaç duymadan RF/IF frekanslarında çalışabilmektedirler. Bunun yanı sıra, analog önceden bozucular genellikle üçüncü derece IMD ürünlerini azaltmaya odaklanmaktadır. Haberleşme sistemlerindeki birçok uygulama daha çok üçüncü derece bozulma üzerinde durmaktadır. Bu sebepten dolayı analog kübik önceden bozucu, üçüncü derece arakiplenim bozulmalarını azaltmak için uygun bir yöntemdir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. II. Bölümde doğrusallaştırıcının yapısı ve genel algoritması tanımlanmıştır. III. Bölümde simülasyon metodu ve sonuçları tartışılmıştır. IV. Bölümde ise çalışmanın bütününe dair genel sonuçlar ifade edilmiştir.

2. ANALOG KÜBİK ÖNCEDEKİ BOZUCU DOĞRUSALLAŞTIRICI

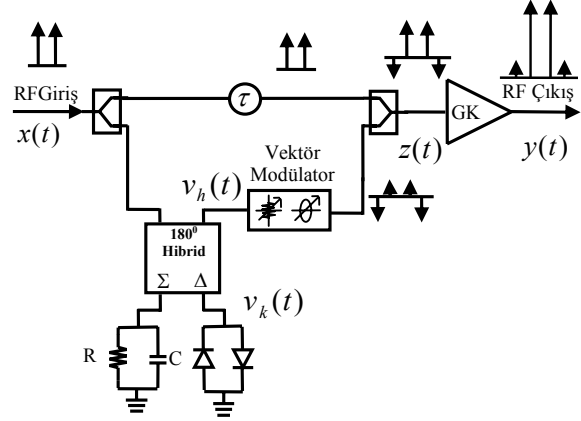
Kübik önceden bozucunun genel blok şeması Şekil-2’de gösterilmiştir. Güç bölücü tarafından ikiye ayrılan hatlar güç kuvvetlendiricisinden önce tekrar birleşmektedir.



Şekil 2. Kübik önceden bozucu kuvvetlendiricisi

Üst koldaki geciktirici hat, alt koldaki bileşenlerin oluşturduğu zaman gecikmesini karşılamaktadır. Alt koldaki kübik bileşen üçüncü derece doğrusalsızlığı

meydana getirmektedir ve genellikle anti-paralel diyot devresi olarak seçilir. Faz ve genlik kontrolü, elde edilmek istenilen doğrusal olmayan karakteristiğin faz ve genliği ile uyumluluk için oldukça önemlidir [13]. Bu faz ve genlik kontrolü bileşenleri voltaj kontrollü elemanlardan seçilebileceği gibi, arakiplenim bozulmalarını azaltmak için optimize edilebilirler.



Şekil 3. Önerilen analog kübik önceden bozucu

Güç kuvvetlendiricisi ile birlikte kullanılmak üzere önerilen önceden bozucu Şekil 3’te gösterilmiştir. Kübik önceden bozucunun analizi çift ton test işareti için gerçekleştirilmiştir. Çift ton giriş işareti eşit güçte iki işareten oluşur ise;

$$x(t) = \text{Re}\{Ae^{j\omega_1 t} + Ae^{j\omega_2 t}\} \quad (1)$$

olarak yazılabilir. Burada A işaretlerin genliği, ω_1 ve ω_2 ise taşıyıcı frekanslarıdır. Ayrıca giriş işareti aşağıda ki gibi düzenlenebilir;

$$x(t) = A\{\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t\} \quad (2)$$

Giriş işareti iki güç bölücü ile eşit güce ve kola ayrılmaktadır. Alt koladaki işaret devrenin kübik önceden bozucu bileşeni olan anti-paralel diyot devresine uygulanır. Anti-paralel diyot devresi çıkışındaki kontrol işareti;

$$v_k(t) = a_1 x(t) + a_3 x^3(t) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada a_1 kübik önceden bozucu işaretinin ana işaret bileşenini, a_3 ise üçüncü derece doğrusalsızlık bileşenini kontrol eden katsayılarıdır. Orjinal işareti, önceden bozucu işareten ayırmak için paralel RC devresi kullanılmaktadır. Anti-paralel diyot ve paralel RC devresi 180° hibrid devre elemanı ile birlikte kullanılmaktadır. Hibrid çıkışındaki işaret;

$$v_h(t) = a_3 \left(\frac{A}{2}\right)^3 \{\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t\}^3 \quad (4)$$

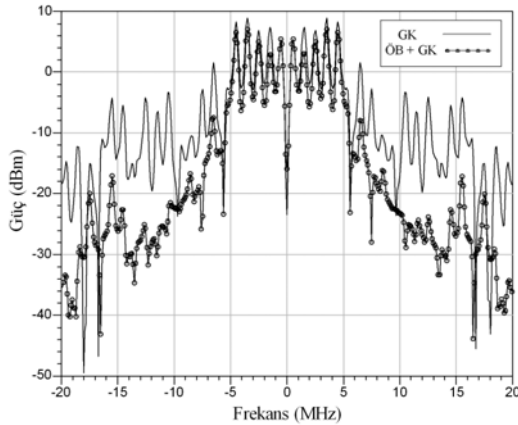
şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü derece arakiplenim bozulmasının tersi bir karakteristiği elde etmek için önceden bozucu işaret vektör modülatör tarafından kontrol edilir ve üst koldan gelen orjinal işaretle güç birleştirici ile birleştirilir. Son olarak RF güç kuvvetlendiricisinden önce elde edilen önceden bozucu işaret aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$z(t) = \beta_0 \cdot \{\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)\} - \beta_1 \cdot \{\cos[(2\omega_1 - \omega_2)t] + \cos[(2\omega_2 - \omega_1)t]\} \quad (5)$$

burada β_0 and β_1 katsayıları sırasıyla, orjinal işareti ve üçüncü derece arakiplenim bozulmalarını etkilemektedir. Her iki katsayıda, kübik önceden bozucu ve kompleks kazanç düzenleyicinin sonucunda belirlenmektedir. Sonuç olarak, arakiplenim bozulmalarını azaltmak için kübik önceden bozucu devre parametreleri R , C ve kompleks kazanç düzenleyicinin genlik ve faz parametreleri optimize edilebilirler.

3. SİMÜLASYON VE SONUÇLARI

Analog kübik önceden bozucu doğrusallaştırma tekniği, OFDM işaretinin doğrusal olmayan güç kuvvetlendiricisinden kaynaklanan ara kiplenim bozulmalarını azaltmak için kullanılmıştır. Önerilen metodun RF simülasyonlarını gerçekleştirmek için Agilent-ADS simülatörü kullanılmıştır. OFDM sistemi 2.412 GHz merkezli 10 taşıyıcı, komşu kanalları kapsayacak 40 MHz bant genişliğine sahiptir. RF güç kuvvetlendiricisi 2.4-2.5 GHz bant aralığında 20 dB kazançla sahip olup, üçüncü derece kesişim noktası (IP3) 47 dBm dir. Kuvvetlendiricinin 1 dB bastırma noktası ise 30dBm dir.



Şekil 4. OFDM işareti güç spektrumu

OFDM işaretinin güç spektrumunu, güç kuvvetlendiricisinin tek başına ve önceden bozucu sistemle birlikte kullanıldığı iki farklı durum için Şekil 4'de gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, güç kuvvetlendiricisinin tek başına kullanıldığı devrenin çıkışında, komşu kanallara kaçak güç

oluşturacak şekilde spektrumun kabardığı görülmektedir. Bununla birlikte, önceden bozucu devre güç kuvvetlendiricisinden önce kullanıldığında ise spektrumda gerçekleşen komşu kanal güç kaçaklarının bastırıldığı görülmektedir. Spektral kabarma KKGO olarak ölçülmüştür ve farklı frekans ofsetleri için Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı frekans ofsetleri için KKGO değerleri

Frekans ofseti	10 MHz	15 MHz	20 MHz
GK	-17.59 dBc	-21.33 dBc	-25.34 dBc
ÖB + GK	-27.42 dBc	-31.21 dBc	-40.62 dBc

Güç kuvvetlendiricisinin analog kübik önceden bozucu ile kullanılması durumuyla, tek başına kullanılması durumu kıyaslandığında, 10 MHz ve 20 MHz frekans ofsetlerinde KKGO iyileşmesi yaklaşık 10 dB iken 20 MHz frekans ofsetinde ise 15.28 dB olarak gözlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada OFDM sistemlerinde güç kuvvetlendiricilerinin doğrusal olmayan özelliklerinden kaynaklanan arakiplenim bozulmalarının azaltılması için analog kübik önceden bozucu doğrusallaştırma metodu önerilmiştir. Önerilen metodun test edilmesi için Agilent-ADS simülatörü kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, OFDM işaretinde arakiplenim bozulmalarından kaynaklanan spektral kabarmasının analog kübik önceden bozucu doğrusallaştırma metodu ile istenilen seviyelere azaltılabildiğini ölçülen KKGO değerleri vasıtasıyla göstermiştir. Ayrıca çalışma sonuçları önerilen metodun, OFDM sisteminde istenilen KKGO değerlerine daha düşük geri çekme güçleri ile erişilebileceğini ve güç verimliliğinin artırılabilirliğini göstermiştir.

Sonuç olarak analog kübik önceden bozucu doğrusallaştırma metodu OFDM sistemlerinde güç kuvvetlendiricilerinin sebep olduğu arakiplenim bozulmalarını azaltmak amacıyla kullanılabilir bir metottur.

KAYNAKLAR

- [1] Pedro J. C., Carvalho N. B., Intermodulation Distortion in Microwave and Wireless Circuits, ARTECH HOUSE, 2003.
- [2] Kenington P. B., High Linearity RF Amplifier Design, ARTECH HOUSE, 2000.
- [3] Kim Y., Yang Y., Kang S. H., Kim B., Linearization of 1.85 GHz amplifier using feedback predistortion loop, IEEE MTT-S INT. MICROWAVE SYMP. DIG., pp. 1675–1678, 1998,
- [4] Ezzeddine A. K., Hung H. A., Huang H. C., An MMAC C-band FET feedback power amplifier,

- IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol. 38, pp. 350–357, 1990.
- [5] Cavers J. K., Adaptation Behavior of Feedforward Amplifier Linearizer, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECH., Vol. 44, No. 1, pp. 31 - 40, 1995.
 - [6] Kenington P. B., Linear Distortion Correction Using a Feedforward System, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECH., Vol. 45, No. 1, pp. 74 - 81, 1996.
 - [7] Narahashi S., Nojima T., Extremely low-distortion multi-carrier amplifier–self-adjusting feedforward amplifier, Proc. IEEE INT. COMMUN. CONF., pp. 1485–1490, 1991.
 - [8] Myer D., Design linear feedforward amps for PCN systems, MICROWAVES RF, pp. 121–133, 1994.
 - [9] Coskun H., Demir S., A CDMA System Wideband Feedforward. Linearizer Design Based on an Analytical Model , RAWCON CONFERENCE, pp. 191-194, 2003.
 - [10] Lee S., Lee Y., Hong S., Choi H., Jeong Y., An Adaptive Predistortion RF Power Amplifier With a Spectrum Monitor for Multicarrier WCDMA Applications, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol. 53, No. 2, pp. 786–793, 2005.
 - [11] Gupta N., Tombak A., Mortazawi A., A Predistortion Linearizer Using a Tunable Resonator, IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, Vol. 14, No. 9, pp. 431–433, 2004.
 - [12] Boumaiza S., Li J., Saidane M. J., Ghannouchi F. M., Adaptive Digital/RF Predistortion Using a Nonuniform LUT Indexing Function With Built-In Dependence on the Amplifier Nonlinearity, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol. 52, No. 12, pp. 2670–2677, 2004.
 - [13] Morris K.A., McGeehan J.P., Gain and Phase Matching Requirements of Cubic Predistortion Systems, ELECTRONIC LETTERS, Vol. 36., No. 21, pp. 1822-1824, 2000
 - [14] Yi J., Yang Y., Park M., Kang W., Kim B., Analog predistortion linearizer for high-power RF amplifiers, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol. 48, pp. 2709–2713, 2000.