

RF GÜÇ KUVVETLENDİRİCİLERİNİN DOĞRUSALLAŞTIRILMASI İÇİN ANALOG/SAYISAL KARMA ÖNCEDEN BOZUCU TASARIMI

Cebrail ÇİFLİKLİ¹

A. Çağrı YAPICI²

A. Tuncay ÖZŞAHİN³

^{1,3}Erciyes Üniversitesi, Kayseri M.Y.O. Teknik Programlar,
38039, Melikgazi, Kayseri

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Erciyes Üniversitesi, 38039, Melikgazi, Kayseri

¹e-posta: cebrailc@erciyes.edu.tr

²e-posta: cyapici@erciyes.edu.tr

³e-posta: atozsahin@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: RF Güç Kuvvetlendiricileri, Arakiplenim Bozulmaları, Doğrusallaştırma Teknikleri, Önceden-Bozma Tekniği

ABSTRACT

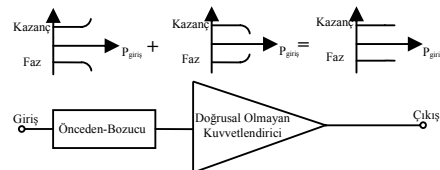
In this paper a hybrid analog/digital predistortion method has been proposed for reducing the intermodulation distortion (IMD) caused by radio frequency (RF) power amplifiers (PA) in communication systems having high envelope fluctuations. The proposed hybrid analog/digital predistorter (PD) based on a polynomial work function. Coefficients of the work function have been updated by an optimization algorithm to achieve desired adjacent channel power ratio (ACPR). For designing, optimizing and simulating the predistorter Agilent-ADS2005A has been used. Using IS95-CDMA and 16-QAM signals the linearization performance of a power amplifier circuit consisting Motorola MOSFET package MRF9742 was investigated. Simulation results have been shown that the proposed predistorter topology can be used to reduce the intermodulation distortion and spectral regrowth caused by RF PAs in communication systems having high envelope fluctuations.

1. GİRİŞ

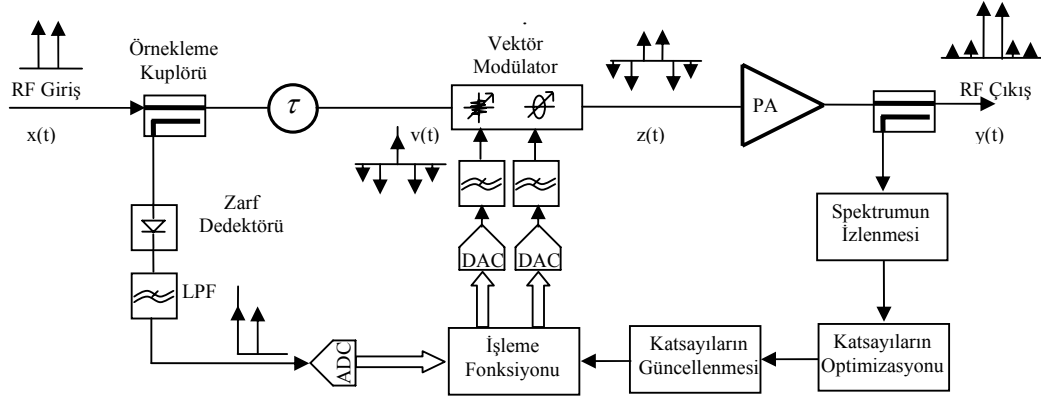
Kanal kapasitesi ve bant-genişliği, modern haberleşme sistemlerinde önemli problemlerden birisidir. Bu problemleri aşmak için CDMA, OFDM ve 16-QAM benzeri bant genişliği kullanımı verimli, fakat taşıyıcı zarfı sabit olmayan modülasyon teknikleri tercih edilmektedir. Bununla beraber bahsi geçen sistemlerinin zarf dalgalanmaları, RF güç kuvvetlendiricilerinin doğrusal olmayan çalışmalarından dolayı ara-kiplenim bozulmaları (IMD) meydana getirmektedir [1]. Bu bozulmalar diğer kanallara arzu edilmeyen güç kaçaklarına sebep

olan spektral kabarma olarak kendisini göstermektedir. Bu spektral kabarmayı belirlemek için “Komşu Kanal Güç Oranı” (ACPR) genel bir başarımlı ölçüsüdür.

Ara-kiplenim bozulmalarını istenilen seviyelerde tutmak ve arzu edilen ACPR seviyesini elde etmek için geleneksel bir RF güç kuvvetlendiricisi belirli bir güç geri çekmesi ile kullanılmalıdır. Bununla birlikte bu durum düşük güç verimliliği ile sonuçlanmaktadır. Daha uygun bir çözüm ise, güç verimli fakat bundan dolayı oldukça doğrusal olmayan bir kuvvetlendiriciyi doğrusallaştırma metodu ile birlikte kullanmaktır. En sık kullanılan doğrusallaştırma teknikleri, ileri-beslemeli [2-9], geri-beslemeli [10,11] ve önceden-bozma [12-25] teknikleridir. İleri-beslemeli tekniği bozulmada en fazla iyileşmeyi sağlaması ile birlikte, fazladan yardımcı bir kuvvetlendiriciye ihtiyaç duyması ve büyük boyutlara sahip olmasından dolayı baz istasyonu uygulamalarıyla sınırlı kalmaktadır. Geleneksel geri-beslemeli tekniği, benzer bozulma iyileştirmesi için kazanç kaybı ve kararlılık problemlerini beraberinde getirmektedir. Önceden-bozma doğrusallaştırma tekniği ise küçük boyut, düşük karmaşıklık ve kararlı çalışma gibi avantajlara sahip bir tekniktir.



Şekil-1. Önceden-bozma doğrusallaştırma tekniğinin temel yapısı.



Şekil-2. Önceden-bozucu doğrusallaştırıcı devresi

Şekil 1’de önceden bozma tekniğinin temel yapısı ve prensipleri gösterilmektedir. Önceden bozucu doğrusal olmayan kuvvetlendiricinin tersi bir karakteristiğe sahiptir. Kuvvetlendiricinin doğrusal olmayan kazanç baskılandırması, önceden bozucunun genişletici karakteristiği ile dengelenmektedir. Benzer bir etki de faz doğrusalsızlığına uygulanmaktadır. Çıkışta doğrusal kazanç ve faz elde edilmektedir. Bunun sonucu olarak ta bozulmanın olmadığı kuvvetlendirilmiş işarete ulaşılmaktadır.

Analog önceden bozucular boyut olarak ufaktırlar, düşük maliyetlidirler ve RF frekanslarında çalışarak temel bant işaretine ihtiyaç duymazlar. Bununla birlikte ortaya konacak olan fonksiyonun kesinliği söz konusu olduğunda daha çok üçüncü dereceden arakiplenim bozulmalarını azaltmaya yaramaktadırlar. Sayısal önceden bozucu sistemler analog sistemlere kıyasla işleme fonksiyonunu daha kesin ve doğru elde etmelerinden dolayı tercih sebebi olmaktadır. Bununla birlikte sayısal sistemler sayısal temel bant işaretine ihtiyaç duymaları ve sayısal devrelerin işlem hızının bant genişliğini sınırlaması gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu çalışmada önerilen analog/sayısal karma önceden bozucu topolojisi ise her iki yapısında avantajlarına sahiptir. İşleme fonksiyonunun doğru bir şekilde elde edilmesiyle birlikte doğrusal olmayan etkinin sayısal devrelerin kontrolü altında doğrudan RF işaret üzerinde gerçekleştirilmesi bant genişliği sınırlamasını ortadan kaldırmaktadır.

Bu çalışmada polinom esasına dayanan işleme-fonksiyonu içeren analog/sayısal karma bir önceden-bozma tekniği yüksek zarf dalgalanmalarına sahip sistemlerde ara-kiplenim bozulmalarının azaltılması için önerilmiştir. İşleme fonksiyonu için gerekli olan katsayılar benzetim vasıtasıyla, optimizasyon yöntemleri ile elde edilmiştir. Benzetim sonuçları ile CDMA ve 16-QAM sistemlerinde ara-kiplenim bozulmalarının önceden-bozma tekniği vasıtasıyla azaltılabileceği gösterilmiştir.

2.ÖNCEDEN-BOZMA DOĞRUSALLAŞTIRMA TEKNİĞİ

Polinom tabanlı işleme fonksiyonuna sahip önceden-bozma doğrusallaştırma devresi Şekil 2’de görülmektedir. Optimizasyon şematığı çift ton test işareti ile çalıştırılmış, optimizasyon sonucunda elde edilen işleme fonksiyonu polinom katsayıları vasıtasıyla CDMA ve 16-QAM işaretleri üzerinde önceden bozucu test edilmiştir.

Giriş işaretini oluşturan, eşit güçteki çift-ton işaret $x(t)$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

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

burada A işaretlerin genliğini ifade ederken ω_1 ve ω_2 ise taşıyıcı frekanslarını ifade etmektedir. Giriş işaretinin kompleks zarfı $\tilde{x}(t)$ ile ifade edecek olursak,

$$x(t) = \text{Re}\{\tilde{x}(t) \cdot e^{j\omega_c t}\} \quad (2)$$

burada ω_c taşıyıcı frekansını ifade etmektedir. Zarf dedektörü tarafından elde edilen, çift ton giriş işaretinin kompleks zarfının genliği,

$$|\tilde{x}(t)| = \sqrt{\frac{1}{2} \{1 + \cos[(\omega_2 - \omega_1)t]\}} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Kuvvetlendirici çıkışı $y(t)$, ara-kiplenim terimlerinden sadece tek dereceli olanlar ele alındığında ve kuvvetlendirici hafızaya sahip değilken aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$y(t) = \sum_{k=1}^n a_{2k-1} \cdot |x^{2(k-1)}(t)| \cdot x(t), \quad n=5 \text{ iken} \\ = a_1 x(t) + a_3 x^3(t) + a_5 x^5(t) \quad (4)$$

burada a_{2k-1} güç kuvvetlendiricisinin doğrusal olmayan karakteristiğini ifade eden kompleks katsayıdır.

İşleme fonksiyonunun bI gibi bir sabit ile başlayan bir polinomdan meydana gelmektedir. Bu durumda $v(t)$ işaretini, zarf detektörünün elde ettiği giriş işaretinin kompleks zarfının genliği cinsinden ifade edecek olursak;

$$v\{\tilde{x}(t)\} = v_I \{\tilde{x}(t)\} + i v_Q \{\tilde{x}(t)\} \quad (5)$$

burada $v_I(t)$ ve $v_Q(t)$ sırasıyla vektör modülatörün I ve Q kanallarının kontrol işaretleridir ve işleme fonksiyonu tarafından elde edilir;

$$v_{I,Q} \{\tilde{x}(t)\} = b_{I,Q1} - b_{I,Q2} |\tilde{x}(t)|^3 - b_{I,Q5} |\tilde{x}(t)|^5 \quad (6)$$

Sabit terim ara-kiplenim ürünlerinin gücünü değil, güç kuvvetlendiricisine giren asıl işaret gücünü kontrol etmektedir.

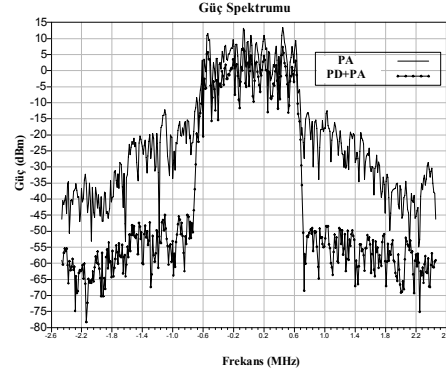
Önceden bozulmuş işaret $z(t)$ giriş işareti $x(t)$ ve önceden bozucu işaret $v(t)$ 'nin çarpımı sonucu meydana gelmektedir;

$$\begin{aligned} z(t) &= x(t) \cdot v(t) \\ &= \beta_0 \cdot \{\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)\} \\ &\quad - \beta_0 \cdot \{\cos[(2\omega_1 - \omega_2)t] + \cos[(2\omega_2 - \omega_1)t]\} \\ &\quad - \beta_2 \cdot \{\cos[(3\omega_1 - 2\omega_2)t] + \cos[(3\omega_2 - 2\omega_1)t]\} \end{aligned} \quad (7)$$

β_k katsayılarının optimizasyonu vasıtasıyla oluşturulan önceden bozucu terimler ile güç kuvvetlendiricisinden kaynaklanan ara-kiplenim bozulmalarını azaltmak mümkündür.

3. BENZETİMLER VE SONUÇLARI

Önceden-bozma doğrusallaştırma tekniği, polinom tabanlı bir işleme fonksiyonu ile zarf dalgalanması yüksek olan sistemlerde güç kuvvetlendiricilerinden kaynaklanan ara-kiplenim bozulmalarını azaltmak için kullanılmıştır. İşleme fonksiyonunun katsayıları benzetim programı ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak, çift-ton test işareti vasıtasıyla elde edilmiştir. Daha sonra bu katsayılar CDMA ve 16 QAM modülasyon tekniğini kullanan sistemler için önceden bozucu devrede kullanılmıştır. Başarım ölçütü olarak komşu kanal güç oranı ele alınmıştır. Benzetimler ve optimizasyonlar için Agilent ADS2005A programı kullanılmıştır.



Şekil-3. CDMA sistemi için güç kuvvetlendiricisinin çıkışında, önceden bozucu varken ve yokken ki güç spektrumu.

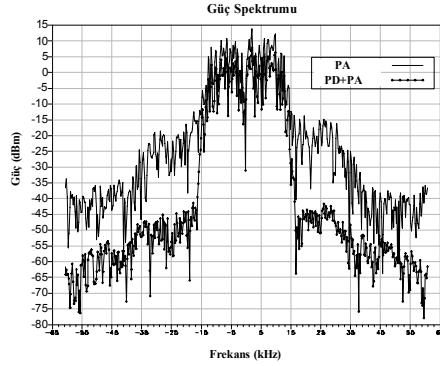
CDMA sistemi IS95 standardına uygun olarak 850 MHz frekansındadır, sembol oranı 1.2888 MHz dir ve RF işaretin gücü ise 16 dBm dir. Hafıza etkilerinin de gösteren güç kuvvetlendiricisi devresi bir Motorola MOSFET'i kullanmaktadır. Güç kuvvetlendiricisinde kullanılan Motorola MOSFET'e yakın bir paket eleman ise MRF9742 dir. Kazancı ve 1 dB bastırma noktası çıkış gücü sırasıyla 9.5 dB ve 25 dBm dir.

CDMA sistemine ait güç kuvvetlendiricisinin çıkış güç spektrumu, önceden-bozucu varken ve yokken olmak üzere şekil 3'te gösterilmiştir. CDMA sistemi için önceden bozucu devresinin mevcut olduğu ve olmadığı durumda ACPR seviyeleri tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. CDMA sistemi için ACPR ölçümleri

Ofset Frekansı	-614.4 kHz (alt kanal)	614.4 kHz (üst kanal)
PA	-19.81 dBc	-20.92 dBc
PD+PA	-40.16 dBc	-45.65 dBc

16-QAM sistemi 850 MHz frekansındadır ve sembol oranı 24.3 kHz dir ve RF işaretin gücü ise 16 dBm dir. CDMA sistemi için kullanılan güç kuvvetlendiricisi devresinin aynısı 16-QAM sistemi içinde kullanılmıştır.



Şekil-4. 16-QAM sistemi için güç kuvvetlendiricisinin çıkışında, önceden bozucu varken ve yokken ki güç spektrumu.

16-QAM sistemine ait güç kuvvetlendiricisinin çıkış güç spektrumu, önceden-bozucu varken ve yokken olmak üzere şekil 4'te gösterilmiştir. 16-QAM sistemi için önceden bozucu devresinin mevcut olduğu ve olmadığı durumda ACPR seviyeleri tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 16-QAM sistemi için ACPR ölçümleri

Ofset Frekansı	-16.4 kHz (alt kanal)	16.4 kHz (üst kanal)
PA	-25.97 dBc	-25.71 dBc
PD+PA	-46.06 dBc	-50.39 dBc

Sonuç olarak CDMA ve 16-QAM benzeri zarf dalgalanması yüksek sistemlerde önerilen önceden-bozma tekniğinin ara kiplenim bozulmalarını ve spectral kabarmayı azalttığı, daha yüksek ACPR değerlerine ulaşmayı sağladığı ve sistem güç verimliliğini artırdığı gösterilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada RF güç kuvvetlendiricilerinin doğrusalsızlıklarından kaynaklanan arakiplenim bozulmalarının azaltılması için analog/sayısal karma önceden-bozma doğrusallaştırma metodu önerilmiştir. Önerilen metodun test edilmesi için Agilent-ADS2005A simülatörü kullanılmıştır. Benzetim sonuçları CDMA ve 16-QAM işaretlerinde arakiplenim bozulmalarından kaynaklanan spektral kabarmanın önceden-bozma metodu ile istenilen seviyelere azaltılabildiğini ölçülen ACPR değerleri vasıtasıyla göstermiştir.

Sonuç olarak analog/sayısal karma önceden-bozma doğrusallaştırma metodu zarf dalgalanmalarının yüksek olduğu sistemlerde 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] Coskun H., Demir S., A CDMA System Wideband Feedforward. Linearizer Design Based on an Analytical Model, RAWCON CONFERENCE, pp. 191-194, 2003.
- [3] Young Y. W., Youngoo Y., Jaehyok Y., Joongjin N., Jeong H. C., Bumman K., Feedforward amplifier for WCDMA base stations with a new adaptive control method, MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, Vol. 2, pp. 769 – 772, 2-7 June 2002
- [4] Coskun A. H., Demir S., A mathematical characterization and analysis of a feedforward circuit for CDMA applications, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol.51, pp.767 – 777, March 2003
- [5] Coskun A. H., Mutlu A., Demir S., A multitone model of complex enveloped signals and its application in feedforward circuit analysis, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol.53, pp. 2171 - 2178, June 2005
- [6] Paul D. K., Parkinson G., A New Approach for The Linearization of a Distributed Amplifier, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 46, No. 1, pp. 15-17, July 5 2005
- [7] Kenington P. B., Bennet D. W., Linear Distortion Correction Using a Feedforward System, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol. 45, No. 1, pp. 74-81, February 1996
- [8] Larose C. L., Ghannouchi F. M., Optimization of Feedforward Amplifier Power Efficiency on the Basis of Drive Statistics, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol. 51, No. 1, pp. 41-54, January 2003
- [9] Cho K. J., Kim J. H., Stapleton S. P., RF High Power Doherty Amplifier for Improving the Efficiency of a Feedforward Linear Amplifier, IEEE Transactions on Microwave TheoryandTechniques, Vol.53, Issue:1, pp. 292- 300, Jan.2005
- [10] 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,
- [11] 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.
- [12] Hau G., Nishimura T. B., Iwata N., A Highly Efficient Linearized Wide-Band CDMA Handset Power Amplifier Based on Predistortion Under Various Bias Conditions,

- IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol. 49, No. 6, June 2001
- [13] Naskas N., Papananos Y., A Convergence-Free Predistortion Technique for Adaptive Linearisation of RF Power Amplifiers, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, Vol. 41, pp. 109–118, 2004
- [14] Ding L., Zhou G. T., Morgan D. R., Ma Z., Kenney J. S., Kim J., Giardina J. R., A Robust Digital Baseband Predistorter Constructed Using Memory Polynomials, *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, Vol. 52, No. 1, January 2004
- [15] Ding L., Zhou G. T., Effects of Even-Order Nonlinear Terms on Power Amplifier Modeling and Predistortion Linearization, *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, Vol. 53, No. 1, January 2004
- [16] Cha J., Yi J., Kim J., Kim B., Optimum Design of a Predistortion RF Power Amplifier for Multicarrier WCDMA Applications, *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 52, No. 2, February 2004
- [17] Wustenberg J. W., Xing H. J., Cruz J. R., Complex Gain and Fixed-Point Digital Predistorters for CDMA Power Amplifiers, *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, Vol. 53, No. 2, March 2004
- [18] Jeckeln E. G., Ghannouchi F. M., Sawan M. A., A New Adaptive Predistortion Technique Using Software-Defined Radio and DSP Technologies Suitable for Base Station 3G Power Amplifiers, *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 52, No. 9, September 2004
- [19] Gupta N., Tombak A., Mortazawi A., A Predistortion Linearizer Using a Tunable Resonator, *IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS*, Vol. 14, No. 9, September 2004
- [20] 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 TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 52, No. 12, December 2004
- [21] Woo W., Miller M. D., Kenney J. S., A Hybrid Digital/RF Envelope Predistortion Linearization System for Power Amplifiers, *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 53, No. 1, January 2005
- [22] Lee S. Y., Lee Y. S., Hong S. H., Choi H. S., Y. H., An Adaptive Predistortion RF Power Amplifier With a Spectrum Monitor for Multicarrier WCDMA Applications, *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 53, No. 2, February 2005
- [23] Ceylan N., Mueller J. E., Weigel R., Optimization of EDGE Terminal Power Amplifiers Using Memoryless Digital Predistortion, *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 53, No. 2, February 2005
- [24] Iommi R., Macchiarella G., Meazza A., Pagani M., Study of an Active Predistorter Suitable for MMIC Implementation, *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vol. 53, No. 3, March 2005
- [25] Naskas N., Papananos Y., Neural-Network-Based Adaptive Baseband Predistortion Method for RF Power Amplifiers, *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—II: EXPRESS BRIEFS*, Vol. 51, No. 11, November 2004