

## 5.8 GHz HyperLan UYGULAMASI İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ UYUMLU DENETİMLİ İLERİ-YÖN BESLEMELİ GÜÇ KUVVETLENDİRİCİSİ

**Engin Kurt**

e-mail: [engin.kurt@bte.mam.gov.tr](mailto:engin.kurt@bte.mam.gov.tr)  
Tübitak Marmara Research Center  
Information Technologies Institute  
41470 Gebze, Kocaeli, Turkey

**Osman Palamutçuoğlu**

e-mail: [opal@ehb.itu.edu.tr](mailto:opal@ehb.itu.edu.tr)  
Istanbul Technical University, Electrical &  
Electronics Faculty, 34469, Maslak, Istanbul,  
Turkey

Anahtar Sözcükler: adaptive İleri-Yön Besleme, Doğrusallaştırım, İç-Modülasyon Bozulumu, iki-tonlu test.

### ABSTRACT

**Bu çalışmada, 5.8 GHz HyperIn uygulamalar için bir güç kuvvetlendiricisinin uyumlu iler-yön yöntemi ile doğrusallaştırımı incelenmiştir. DSP dayanımlı bir denetim uygulanarak iç-modülasyon bozulumu azaltılmıştır. İki-tonlu test kullanılarak yöntemin etkinliğini gösterilmiştir.**

### I. TANITIM

Tüm radyo vericilerinde özünde doğrusal olmayan öbekler kullanılmaktadır. Güç kuvvelendiricileri ve karıştırıcıları buna örnek olarak gösterilebilir. Vericinin çıkışında yayımlanan işaretin QPSK veya QAM veya diğer başka çoklu-taşıyıcılı modülasyonlu olması durumunda, işaret zamanla salınan bir zarfa sahiptir. Bu durumda, doğrusal olmayan öbeklerde İç-Modülasyon bozulumu(IMB) oluşacaktır. Genellikle, IMB ürünleri komşu kanallar için karışım ürünleri olacağından, bunların azaltılması gerekir. Bu nedenle, adı geçen uygulamalarda doğrusallıkları yeterince iyi olan güç kuvvetlendiricileri(GK)nin kullanılması bir zorunluluktur.

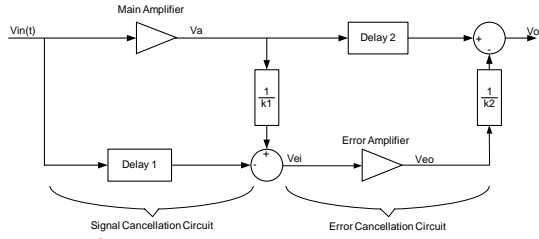
Bugüne değin farklı doğrusallaştırım yöntemleri önerilmiş ve bunlar değişik uygulamalarda kullanılmıştır.Ön-bozulum(pre-distortion) yönteminin koşulsuz kararlı olmak gibi bir üstünlüğünün yanında, analog devre uygulamalarında sınırlı bir doğrusallaştırım sağlayabilmesi gibi önemli bir sakıncası bulunmaktadır. Sayısal uygulamalarda ise, en fazla iki hücre kanalını kapsayabilen hesaplama hızı ile sınırlı olmaktadır. Geri-besleme uygulanarak gerçekleştirilen doğrusallaştırım oldukça kolay uygulanabilir ancak, kazancı düşürmesi ve kararlılık sorununu ortaya çıkartması nedeniyle, band genişliği ve etkinliği sınırlıdır. Diğer bir yönte de İleri-yön Beslemeli(feed-forward) doğrusallaştırım olarak anılmakta ve bu yöntem uzunca bir süredir de kullanılmaktadır. İleri-Yön Beslemeli doğrusallaştırım yönteminin kendine özgü önemli üstünlükleri bulunmaktadır. İşaretler özünde geniş bantlı olan analog yöntemlerle işlendiğinden, bu yöntem çoklu-taşıyıcılı işaretlerin kullanıldığı uygulamalarda kullanılabilir. Bunun ötesinde, işaretlerin değişimlerine ya da kuvvetlendiricilerin geçiş öz-eğrilerine bağlı olmaksızın bir doğrusallaştırım sağlayabilmesi diğer önemli üstünlüğüdür. Ancak, tümüyle birbirinin aynı olan işaretlerin farklarının

alınmasın dayalı bir yöntem olması nedeniyle, eleman toleranslarına ve karakteristiklerindeki değişimlere ve de taşıyıcı sayısı değiştiğinde oluşacak olan güç düzeyi değişimlerine duyarlı bir yöntem oluşu, en önemli sakıncalarıdır. Son yıllarda bu sakıncaların giderilmesini sağlayan uyumlaştırım yöntemlerindeki gelişimler, bu yöntemde yeniden bir ilginin oluşmasına neden olmuştur[1]. İleri-yön Beslemeli doğrusallaştırım, çağdaş çok taşıyıcılı sayısal iletişim dizgelerinde en yaygın ve etkili olarak kullanılan yöntem olarak güncelliğini bugün de korumaktadır.Yöntemin uygulanmasında kullanılan dizge parametreleri, otomatik uyumlaştırım ile ayarlanmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasındaki en önemli engeller, karşılaştırılacak olan işaretlerin izlediği yollardaki genlik ve evre dengesizlikleri ve bu yollardaki farklı zaman gecikmesidir [2].

Bu çalışmada, ileri-yön besleme mimarisi kısaca anlatılmış ve sözü edilen dengesizlikleri gidermek amacıyla yapılan uyumlaştırım yönteminin en küçük karasel ortalama(LMS) algoritması kullanılarak yapılan benzetim sonuçları verilmiştir. Benzetim analizi tümüyle Agilent ADS-Simulation Tool kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### II. İLERİ-YÖN BESLEME TEKNİĞİ

İleri-yön beslemeli doğrusallaştırım yönteminin ilkesi Şekil-1 de gösterilmiştir. Ana kuvvetlendirici(GK) giriş işaretini genlik ve evre bozulumuna uğratacağından, GK çıkışında kuvvetlendirilmiş giriş işareti ve belirli iç-modülasyon ürünleri(hata işareti) bulunacaktır. İleri-yön besleme yöntemi ile doğrusallaştırım, ana kuvvetlendirici çıkışında oluşan IM ürünlerinin belirli genlik ve evre değişimlerine uğratarak yok edilmeleri esasına dayanır. Ana kuvvetlendirici çıkışında oluşan IMB ürünleri, işaret yok edici çevrim çıkışında esas işareten ayrılır (işaret yok edici çevrim). Ana kuvvetlendirici çıkışına göre genlikleri aynı ancak, evreleri 180° farklı olacak şekilde ayarlandıktan sonra (hata yok edici çevrim) ana kuvvetlendirici çıkışı ile birleştirilerek IMB ürünleri yok edilir. Bu işlemlerin tüm işaret bandı boyunca tam olarak gerçekleştirilmesi durumunda, tam bir doğrusallaştırımın sağlanabileceği açıktır.

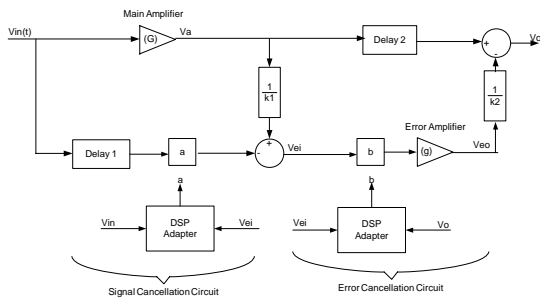


**Şekil- 1. İleri-Yön Beslemeli kuvvetlendiricinin ilkesel gösterimi**

Yukarıda da değinildiği gibi, ileri-yön beslemeli kuvvetlendirici iki farklı çevrimden oluşmaktadır. Birincisi İşaret Yok Edici çevrim olarak adlandırılır ve bunun çıkışında IMB ürünleri toplam işareten ayrılır(hata işareti). İkinci çevrim ise, IMB yok edici çevrim olarak adlandırılır ve hata işareti kullanılarak ana kuvvetlendirici çıkışında oluşan IMB ürünlerinin azaltılması amacıyla kullanılır. Doğal olarak bu azaltımın miktarı, bu çevrimlerdeki kazanç ve evre parametrelerinin birbirleriyle uyumuna doğrudan bağlı olacaktır.

### III. ÇEVİRİM BAĞINTILARI

Uyumlu denetim benzetim analizinde kullanılan ileri-yön beslemeli kuvvetlendirici modeli Şekil-2 de gösterilmiştir. GK ve hata kuvvetlendiricisi(HK) nin karmaşık kazançları G ve g ile simgelenmiştir. G giriş işaret genliğinin bir fonksiyonu, g ise bir sabittir yani, HK nin doğrusal olduğu varsayılmıştır. Her iki çevrimde de aynı kuvvetlendirici kullanılabilir. Yüksek güçlü çıkışı nedeniyle, birinci çevrimde GK olarak adlandırılmıştır. İkinci çevrim çok daha düşük güç düzeylerinde çalıştığından, bu çevrimde doğrusal hata kuvvetlendiricisi olarak davranır. (1/k<sub>1</sub>) ve (1/k<sub>2</sub>), çevrimlerde kullanılan yönlü-bağlaştırıcıların bağlaştırım katsayılarını gösterir. Burada (a) ve (b), çevrimlerde oluşabilecek olan kazanç ve evre uyumsuzluğunu gidermek amacıyla çevrimlere yerleştirilen iki farklı öbeğin ayarlanabilir karmaşık parametreleridir.



**Şekil- 2. Uyumlu denetimli İleri-yön Beslemeli Kuvvetlendirici**

Giriş işareti geriliminin ;

$$V_{in} = ce^{j\phi(t)} \quad (1)$$

biçiminde olduğu varsayılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu işaret GK tarafından genlik ve evre bozulumuna uğrattılacaktır. Bu nedenle, GK çıkışındaki işaret gerilimi;

$$V_a = G_1 V_{in} + v_{IMD} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$$G_1 = |G_1| e^{j\alpha} \quad : \text{GK'nin doğrusal kazancı,}$$

$G_1 v_{in}$  : Belirli bir shift  $\alpha$  evre döngüsüne uğrattılmış kuvvetlendirilmiş giriş işareti

$v_{IMD}$  : IMB ürünleri gerilimi.

İşaret yok edici çevrimde, GK çıkışı gerilimi,  $v_a/k_1$  oranında ( $k_1$ :gerçel) giriş işaretinin belirli bir oranı olan  $av_{in}$  ile(a: karmaşık) karşılaştırılır ve sonuçta elde edilen  $v_{ei}$  hata geriliminin bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v_{ei} = \frac{G_1}{k_1} v_{in} + \frac{1}{k_1} v_{IMD} - av_{in} \quad (3)$$

Eğer (a) parametresi;

$$a = \frac{G_1}{k_1} \quad (4)$$

olarak ayarlanabilirse,  $v_{ei}$  hata geriliminde yalnızca IMB ürünleri bulunacaktır. Yani;

$$v_{ei} = \frac{1}{k_1} v_{IMD} \quad (5)$$

olacaktır. Kazanç ve evre dengesizliğini tam olarak giderebilmek için, bir karmaşık parametre olan (a) nın uyumlu(adaptive) işleme denetimi gerekecektir. Hata yok edici çevrimde ise, hata işareti HK tarafından kuvvetlendirildiğinde, çıkış gerilimi;

$$v_{eo} = g v_{ei} \quad (6)$$

olarak yazılabilir. Burada ;  $g = |g| e^{j\beta}$  HK nin karmaşık kazancını gösterir. Önceki çevrime benzer şekilde, hata işaretinin kazanç ve evresi karmaşık (b) parametresi ile uyumlu olarak denetlendikten sonra GK çıkışındaki işaret ile karşılaştırılır. Uyumun tam olarak sağlanması durumunda,  $v_o$  çıkış gerilimi IMB ürünlerinden tümüyle arındırılmış olacaktır. Çıkış;

$$v_o = V_a - \frac{v_{eo}}{k_2} \quad (7)$$

olarak yazılabilir ki, burada;  $k_2$  gerçel bir büyüklüktür. (2), (3) ve (6) bağıntıları (7) de kullanıldığında, çıkış gerilimi (8) bağıntısında gösterildiği biçimde yazılabilir.

$$v_o = G_1 v_{in} + v_{IMD} - b \frac{g}{k_1 k_2} v_{IMD} \quad (8)$$

Burada; (b) karmaşık büyüklüğü;

$$b = \frac{k_1 k_2}{g} \quad (9)$$

olacak şekilde ayarlanabildiğinde; çıkış gerilimi  $v_o$ , be

$$v_o = G v_{in} \quad (10)$$

biçimini alacaktır ki, yalnızca GK nin doğrusal kazancı ile çarpılmış giriş gerilimini gösterir. Bu çalışmada, karmaşık (b) parametresi de (a) parametresi gibi uyumlu denetim algoritması kullanılarak ayarlanmıştır.

#### IV. UYUMLU DENETİM

Karmaşık parametreler (a) ve (b) nin uyumlu olarak belirlenebilmeleri için etkin olabilecek bir çözüm, her iki çevimde de sayısal işaret işleme (DSP) nin kullanılması durumunda bulunabilir.

(a) ve (b) karmaşık parametreleri, en-küçük karasel ortalama(LMS) algoritmasının sayısal domende (Agilent ADS-Simulation Tool kullanılarak) yapılan uyumlaştırma yöntemi ile ayarlanmıştır. Aynı işlemin benzer bir şekilde (b) parametresi için de aynen geçerli olacağı varsayımı ile, sadece (a) parametresinin uyumu ile ilgili bağıntılar gösterilmiştir.

LMS algoritmasına göre, (a) parametresi için bağıntılar aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$a(n) = a(n-1) + \Delta v_{in}(n) v_{ei}^*(n) \quad (11)$$

$$a(n) - a(n-1) = K \Delta \tau v_{in}(n) v_{ei}^*(n) \quad (12)$$

Burada;

K : Algoritmanın uyumlaştırma hızını belirleyen bir Sabit,

$v_{in}$  : GK nin giriş gerilimi,

$v_{ei}^*$  : (3) bağıntısıyla belirtilen hata işareti, dir.

(12) bağıntısı;

$$\frac{a(n) - a(n-1)}{\Delta \tau} = K v_{in}(n) v_{ei}^*(n) \quad (13)$$

şeklinde yazılabilir.  $a(\tau)$  nin analitik olduğu varsayımı altında  $\Delta \tau$  sifira yaklaşırken limiti alındığında, (13) bağıntısı;

$$\frac{da}{d\tau} = K v_{in}(\tau) v_{ei}^*(\tau) \quad (14)$$

şeklini alır. Bunun sonucu olarak da, (a) için;

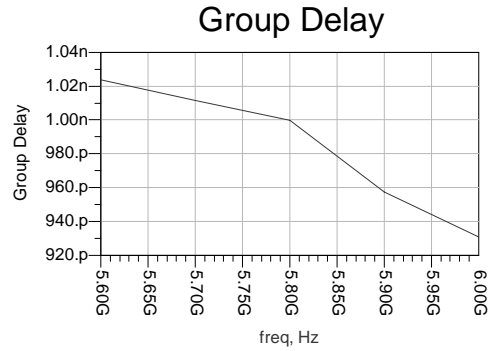
$$a(t) = K \int_0^t v_{in}(\tau) v_{ei}^*(\tau) d\tau \quad (15)$$

Bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntı, Agilen ADS yazılımında yer alan DSP esaslı Ptolemy benzeticisi(simulator) kullanılarak çözülmüştür.

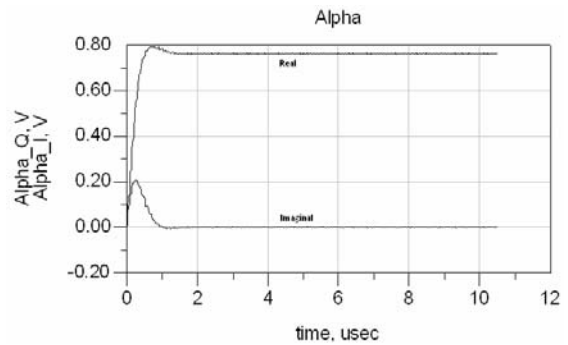
#### V. BENZETİM SONUÇLARI

Toshiba Microwave Semiconductor ürünü TMD0507-2A MMIC kuvvetlendiricisi benzetim analizinde kullanılmıştır. Kuvvetlendirici kazancı 25 dB civarındadır. Kuvvetlendiricinin 1dB bastırım noktası +33dBm olup, buradaki G-1dB kazancı 22dB olarak verilmektedir. Kuvvetlendiricinin gecikme karakteristiği Şekil-3 de gösterilmiştir. Her iki çevrimde de bu gecikmeye denk geciktirici elemanlar kullanılmıştır.

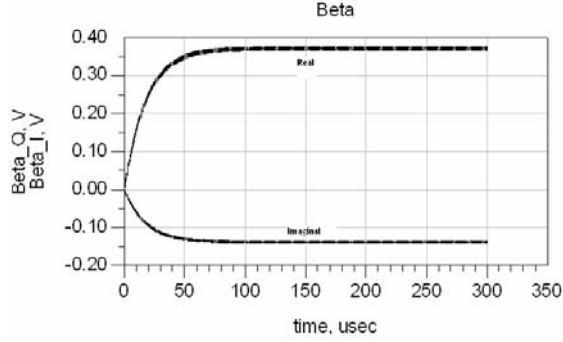
DSP denetleyici içinde (15) bağıntısının benzetimini sağlayan bir ilinti sağlayıcı(korlatör) kullanılmıştır. İlinti sağlayıcının ikişer giriş ve çıkışı bulunmaktadır. Birinci çevrim için ilinti sağlanacak girişler, esas ve hata işaretleridir. İkinci çevrim için ilinti sağlanacak giriş işaretleri ise, hata ve ileri-yön çıkış işaretleridir. İlinti sağlayıcıların çıkışları, uyumlaştırma katsayıları olan alpha ve beta'dır. Bu katsayılar doğrudan, her bir çevrimin kazanç ve evre kayımlarını ayarlamakta kullanılan karmaşık kazanç ayarlayıcılarına uygulanır. Uyumlaştırma katsayıları alpha ve beta'nın zamana göre değişimleri Şekil-4 ve 5 de gösterilmiştir.



Şekil- 3. Kuvvetlendiricinin gecikme karakteristiği

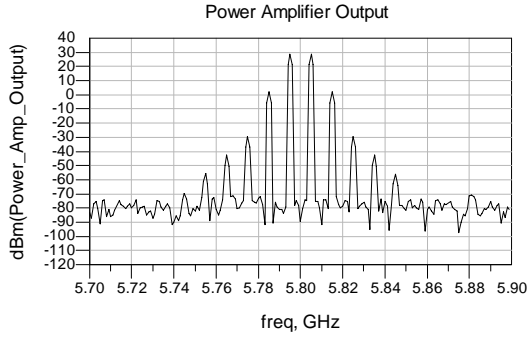


Şekil-4. Alpha uyumlaştırma karakteristiği



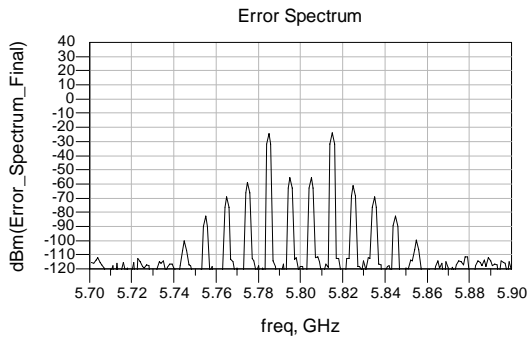
**Şekil- 5. Beta uyumlaştırma karakteristiği**

İki tonlu işaret kuvvetlendirici girişine uygulandığında, çıkış işaretinin sıklık yayılımı Şekil-6 da gösterilmiştir. 3. mertebe IM-Bozulumu – 30 dB mertebesindedir.

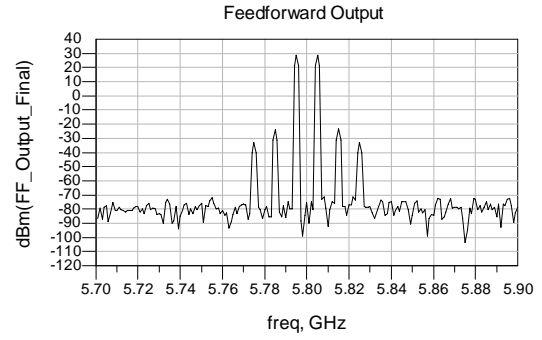


**Şekil- 6. İki-tonlu giriş test işareti için Güç Kuvvetlendiricisi çıkışının sıklık yayılımı**

Şekil-7 ve Şekil-8 de, sırasıyla işaret yok edici çevrim çıkışı(hata işareti) ve ileri-yön beslemeli çıkışların sıklık yayılımları gösterilmiştir. Açıkça görülmektedir ki, 3.mertebe IMB ürünlerinin düzeyleri esas işarete göre -55 dB zayıflamaktadır. Kuvvetlendiricinin IMB davranışında, yöntemin uygulanmadığı duruma göre 25 dB kadar bir iyileşme sağlanmıştır.



**Şekil-7. Hata işaretinin sıklık yayılımı**



**Şekil- 8. İleri-Yön Besleme çıkışı**

## VI. SONUÇLAR:

Sayısal uyumlaştırma algoritması kullanılarak yapılan benzetim analizi ile olabildiğince doğrusal ileri-yön beslemeli güç kuvvetlendiricisinin tasarımı gösterilmiştir. Söz konusu kuvvetlendiricinin kullanım alanı olarak da , güncel olarak kullanılmaya başlanılan ve çoklu taşıyıcılı modülayon olan OFDM in kullanıldığı 5,8 GHz Hyperlan uygulaması seçilmiştir. İşaret ve hata yok edici çevrimlerde kullanılan karmaşık genlik ve evre düzeltme parametreleri olan (a) ve (b) nin, işaretlerin sayısal olarak işlenmesi sonucunda doğru olarak belirlenebileceği gösterilmiştir. En-küçük karasel ortalama algoritmasına dayalı uyumlaştırıcı analizi ile yapılan benzetim sonuçları verilmiştir.

## REFERENCES

1. James K. Cavers, Adaptation Behavior Of A Feedforward Amplifier Linearizer, IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 44, No. 1, February 1995
2. Alfonso J. Zozaya, Eduard Bertran Alberti and Jordi Berenguer-Sau, Adaptive Feedforward Amplifier Linearizer Using Analog Circuitry, Microwave Journal, Vol. 4, pp. 102-114, July 2001
3. Jianyi Zhou, Limin Feng, Xiaowei Zhu nad Wei Hong, Design Of An Ultralinear Wideband Feedforward Amplifier Using EDA Tools, Microwave Journal, Vol. 43, January 2000