

Kompleks Zarflı Sinyallerin Alternatif Çok Tonlu Gösterimi ve İleribesleme Sistemlerine Uygulamaları

Hakan Coskun, Ahmet Mutlu, Simsek Demir*
ASELSAN , 06172, Ankara
hacoscun@aselsan.com, amutlu@aselsan.com

* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik & Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
simsek@metu.edu.tr

Özet: Haberleşme sistemlerinde kullanılan sinyaller modülasyon tipine bağlı olarak farklı stokastik karakteristiklere sahiptir. Sistemlerin kendileri doğrusal olmadıkları için, farklı tip sinyallere karşı tepkilerinin analizi çok karışık olabilir. Herhangi bir sinyali çok tonlu bir gösterim kullanarak modellemek ve böylelikle genel bir analiz yöntemi geliştirmek, doğrusal olmayan sistemlerin tasarım ve analizlerini kolaylaştırmakta ve tasarım başlarında hızlı optimizasyona da olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, haberleşme sistemlerinde karşılaşılan kompleks zarflı sinyallerin çok tonlu alternatif bir model kullanılarak gösterilmesi ve ileri besleme sistemlerine uygulamaları sunulmaktadır.

1. Giriş

Doğrusal güç yükselteç tasarımı ve güç yükselteç doğrusallaştırma çalışmaları, farklı tepe oranlı sinyallerin iletiminde kalite kayıpları ve yan kanal bozulmalarının kritik olduğu çağdaş haberleşme sistemlerinin tasarımlarında önemli yer tutmaktadır. Bu amaçla değişik doğrusallaştırma teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden ileribesleme diğerlerine göre daha iyi doğrusallaştırma performansına ve geniş bantlı uygulamalarda kararlı bir yapıya sahip olması bakımından popülerdir. İleribesleme sistemlerinde uygun doğrusallık ve verimliliğin sağlanabilmesi için, sistemin içerdiği iki farklı döngüde yer alan iki ayrı doğrusal olmayan güç yükselteci, faz ve gecikme üniteleri ve yönlü bağlaç parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. Dolayısı ile bu karmaşıklığı çözebilecek hızlı, kullanılabilir ve seri optimizasyonlara olanak sağlayacak analitik modeller geliştirilmelidir. Bu amaca ulaşabilmek için hem giriş sinyali hem de bütün doğrusallaştırıcı sistem karakterize edilmelidir. [1] de stokastik olarak simgelenen bir CDMA sinyali kullanılarak basit bir ileribesleme sistemi CDMA uygulamaları için modellenmişti. [2] de bu model her iki döngüdeki gecikmeleri içerecek şekilde geliştirilmişti.

Bu çalışmada stokastik olarak simgelenemeyen veya simgelenmesi güç kompleks zarflı rastgele bir sinyalin alternatif çok tonlu bir gösterimle modellenmesi ve böyle bir modelin basit bir ileribesleme sisteminin analizinde kullanımı anlatılacaktır. Rastgele sinyal mümkün olan en az sayıda, eş aralıklı sinüsoidal sinyallerin oluşturduğu eşdeğer bir sinyal ile modellenecektir. Eşdeğer sinyalin ortalama gücü rastgele sinyalinki ile aynı, tepe gücü ise sinyalin anlık tepelerin dağılımı kullanılarak belirlenecek etkin bir tepe-ortalama zarf gücü oranı (Ψ) ile hesaplanacaktır. Böyle alternatif bir modelin geliştirilmesi doğrusal olmayan kompleks sistemlerin analiz ve tasarımlarını kolaylaştıracaktır çünkü tasarımcı kompleks zarflı rastgele sinyaller yerine sinüsoidal tonlarla ilgilenecektir. Bu çalışmada bu modelin ileribesleme döngülerinde genlik ve faz ayarlamaları için kolay kullanımı gösterilecektir. Ayrıca ileribesleme sisteminde yer alan esas güç yükselteç ve sistemin çıkışındaki ana kanal ve yan kanal güç seviyelerinin hızlı bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlayacak kapalı ifadeler sunulacaktır.

Modeli doğrulayabilmek için rastgele kompleks zarflı bir sinyal simülasyon ortamında oluşturulmuştur. Rastgele sinyal sinüsoidal tonlar cinsinden modellenmiş ve kapalı ifade sonuçları bu sinyalin gerçek güç yükselteç ve elemanlar ile birlikte kullanıldığı bir ileribesleme simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar 'Advanced Design System (ADS – Agilent Technologies)' RF simülasyon programının desteklediği RF Zarf Simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir.

2. Sinyal ve sistem modellemesi

Herhangi çok tonlu bir sinyal aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v_{in}(t) = v \left[\sum_{n=1}^p m_n \cos(n\omega_m t) \right] \cos(\omega t) \quad (1)$$

Bu çalışmada rastgele kompleks zarflı bir sinyal (1) de görülen eşdeğer çok tonlu bir sinyal ile modellenmiştir. (1) de ω_m ve m_n modeldeki tonların frekansları ve ağırlık katsayıları, ω taşıyıcı frekans, v normalizasyon katsayısıdır. Model sinyalin ortalama gücü (P_m) ve Ψ , (2) ve (3) ile verilir [3]:

$$P_m = \left(\frac{v^2}{4R} \right) \left(\sum_{n=1}^p m_n^2 \right) \quad (2)$$

$$\Psi = P_{pk} / P_m = 2 \left(\sum_{n=1}^p m_n \right)^2 / \left(\sum_{n=1}^p m_n^2 \right) \quad (3)$$

Rastgele bir sinyalde anlık tepe güçlerin gelme oranlarının tepe güçlerinin artması ile azalması beklenir. Belirli bir Ψ faktörüne sahip bir sinyalde en yüksek tepeler çok seyrek gelmesine rağmen, aynı Ψ faktörünü veren (1) deki gibi periyodik bir sinyalde aynı tepeler daha sık ve periyodik olarak gelmektedir. Sonuç olarak ikinci sinyal güç yükselteciyi daha fazla sürer ve doğrusallığı daha olumsuz etkiler. Bu sebeple rastgele sinyali modelleyecek eşdeğer periyodik sinyalin Ψ faktörünün modellenenden daha düşük olması beklenir. Bu faktör, etkin tepe-ortalama zarf gücü oranı, Ψ_{eff} olarak tanımlanacaktır. (1)'deki ifade üçüncü dereceden doğrusal olmayan bir ilişki ile karakterize edilen ana ve hata güç yükselteçleri içeren ileribesleme sisteminden geçirilirse, ana yükselteç çıkışındaki ana kanal (P_{main}) ve yan kanal güçleri (P_{mainacp}) ve sistem çıkışındakiler (P_{out} , P_{outacp}) için kapalı ifadeler aşağıdaki gibi çıkarılabilir:

$$P_{\text{main}} = \left(\frac{1}{4R} \right) \left(\sum_{n=1}^p d_n^2 \right) \quad P_{\text{mainacp}} = \left(\frac{1}{4R} \right) \left(\sum_{n=p+1}^{3p} d_n^2 \right) \quad (4)$$

$$P_{\text{out}} = \left(\frac{1}{4R} \right) \left(\sum_{n=1}^p y1_n^2 + \sum_{n=1}^p y2_n^2 \right) \quad P_{\text{outacp}} = \left(\frac{1}{4R} \right) \left(\sum_{n=p+1}^{3p} y1_n^2 + \sum_{n=p+1}^{3p} y2_n^2 \right) \quad (5)$$

$$y1_n = l_2 l_4 \cos(\phi_2) m_n^{(3)} - \frac{b_1}{C_4} (\alpha m_n + \beta m_n^{(3)}) - \frac{3b_3}{4C_4} \sum_i k_i \alpha^{(r_i)} \beta^{(s_i)} \mu^{(t_i)} m_n^{(q_i)} \quad (6)$$

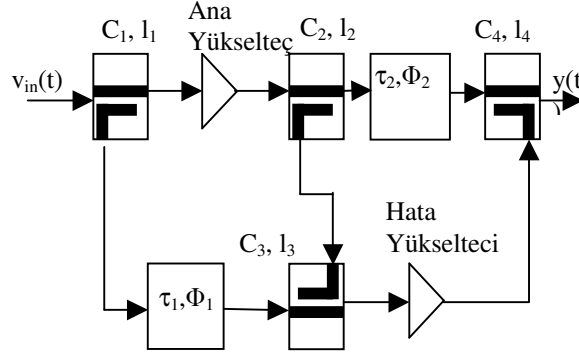
$$y2_n = -l_2 l_4 \sin(\phi_2) m_n^{(3)} - \frac{b_1}{C_4} \mu m_n - \frac{3b_3}{4C_4} \sum_i k_i \alpha^{(r_i)} \beta^{(s_i)} \mu^{(t_i)} m_n^{(q_i)} \quad (7)$$

$$d_n = a_1 l_1 v m_n + \frac{3}{4} a_3 l_1^3 v^3 m_n^{(3)}, \quad \alpha = \frac{a_1 l_1 v}{C_2 C_3} - \frac{l_3 v \cos \phi_1}{C_1}, \quad \beta = \frac{3a_3 l_1^3 v^3}{4C_2 C_3}, \quad \mu = \frac{l_3 v \sin \phi_1}{C_1} \quad (8)$$

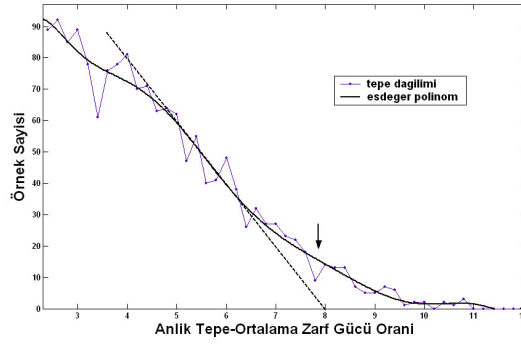
a_1, a_3 ve b_1, b_3 sırası ile ana ve hata yükselteçlerin doğrusallık katsayıları, l_i ve C_i i indeksli yönlü bağlacın kayıp ve kuplaj katsayıları, ϕ_1 ve ϕ_2 sırası ile birinci ve ikinci döğüdeki faz uyumsuzluklarıdır. $m_n^{(3)}$ ve $m_n^{(q)}$ (1) in doğrusal olmayan sistemden geçtikten sonra oluşan yeni katsayı serileridir.

3. Modelin İleribesleme Sistemine Uygulanması

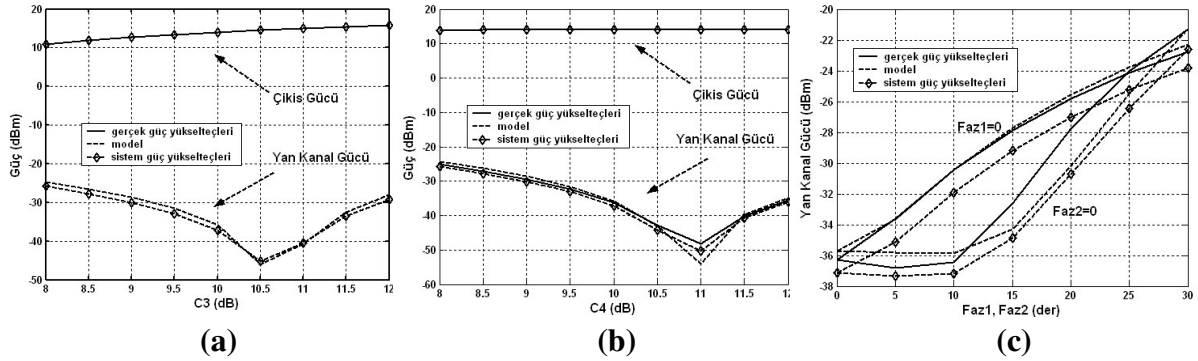
Bu bölümde çok tonlu modelin ADS RF simülâtörünün ‘zarf simülasyon’ ortamı ve gerçek transistör SPICE modelleri kullanılarak tipik bir ileribesleme sistemi üzerinde doğrulanması gösterilmektedir. Ana yükselteç ve hata yükselteci SEMELAB firmasının D2001UK ve D2019UK RF güç transistörleri kullanılarak tasarlandı. Ana yükselteci ve hata yükselteci doğrusal kazanç, üçüncü dereceden enterpolasyon parametreleri, gecikmeleri (G_m , G_e , $IP3^m$, $IP3^e$, τ_1 , τ_2) sırası ile 13.1 dB, 33.4 dB, 32 dBm, 36 dBm, 1.8 ns ve 4.1ns olarak ölçüldü. Yönlü bağlaçların nominal kuplaj parametreleri ise $C_1=C_3=C_4=10$ dB ve $C_2=13$ dB dir (bkz. Şekil 1). 167 ns aralıklı 8192 örnekli 1.9 MHz ana kanal bandlı kompleks rastgele bir sinyal MATLAB ortamında oluşturuldu. Sinyalin ortalama gücü 2.1 dBm ve en yüksek Ψ değeri ise 10.8 dB dir. Simülasyonlar 350 MHz de gerçekleştirildi. Nominal değerler için P_{main} ve P_{mainacp} 14.2 ve -17 dBm ölçüldü. Şekil 2 de sinyalin anlık Ψ dağılımı ve bu dağılımı en yakından takip eden polinom görülmektedir. Polinom anlık tepe değerleri arttıkça doğrusal bir iniş gösterirken kritik bir değerden sonra azalarak azalıyor. Bu kritik noktanın x eksenine uzantısı gözlemlerimiz sonucu bize Ψ_{eff} i yaklaşık 8.1 dB olarak vermektedir. (3) incelenecek olursa bu oranı veren p değerinin en az 4 olması gerektiği anlaşılır. Bu oranı veren m katsayı kombinasyonlarından bir tanesi [1 0.6 0.5 0.2] dir. Bu katsayılar kullanılarak çok tonlu model ve gerçek yükselteçlerle yapılan simülasyonlar sistem çıkışındaki ana ve yan kanal güç ölçümleri için Şekil 3 de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda görülen farklılıklar genelde dip noktalarda olup, bunların bir kısmı gerçek yükselteçlerin modellenmesinde yüksek dereceden bozulmaların hesaba katılmamasından kaynaklanmaktadır. Sinyalimizi ne ölçüde modelleyebildiğimizi daha iyi anlamak için bu karşılaştırmalara, gerçek yükselteçlerin yukarıda belirtilen parametreler cinsinden karakterize edilmiş üçüncü dereceden sistem yükselteçlerin kullanıldığı simülasyon sonuçları da eklenmiştir. Sonuçlar model ve simülasyonların birbirlerini takip ettiğini göstermektedir.



Şekil 1: Tipik bir ileribesleme sistemi.



Şekil 2: Anlık tepe-ortalama zarf gücü oranı dağılımı.



Şekil 3: Model ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması. Farklı C_3 (a), C_4 (b) ve Faz1-Faz2 (c) değerleri için.

4. Sonuç

Bu çalışmada, stokastik özellikleri tanımlı olmayan veya ele alınması zor olan kompleks rastgele sinyalleri, tepe oran dağılımları kullanılarak, genlikleri değişik, aynı fazda mümkün olan en az sayıda tonla modellenmesi ve ileribesleme sistemine uygulanması anlatılmıştır. Bu model kullanılarak tüm sistem, genlik ve faz uyumsuzlukları dikkate alınarak karakterize edilmiştir. Modelin gerçek RF transistör modellerinin kullanıldığı bir simülasyon ortamında doğrulanması yapılmıştır. Böylelikle tasarımcıya kompleks zarfı rastgele sinyaller yerine eşdeğer periyodik bir sinyal ile çalışabilme olanağı sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] H. Coskun, S. Demir, "A mathematical characterization and analysis of a feedforward circuit for CDMA applications," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 51, s. 767-777, Mart 2003.
- [2] H. Coskun, S. Demir, "Application of an Analytical Model to an Actual CDMA System Feedforward Linearizer", 2003 European Microwave Conference, EUMW 2003, Münih, Almanya, s. 773-776.
- [3] S. C. Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House, 1999.