

Sayısal Modülasyon Yöntemlerinin Spektral Etkinlikleri Bakımından İncelenmesi

Gökçe HACIOĞLU, Önder AYDEMİR, Mehmet ÖZTÜRK
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Trabzon

gokcehacioglu@ktu.edu.tr, onderaydemir@ktu.edu.tr, mehmetozturk@ktu.edu.tr

Özet: *QPSK, GMSK ve MSK modülasyonlarının güç spektral yoğunlukları incelenmiştir. Kaplanan bant genişliğini azaltmak için kullanılabilir Yüksektilmiş Kosinus ve Gauss darbe şekillendirmesi gibi yöntemlerin etkisi incelenmiştir. İncelenen modülasyonların yanısıra, genel olarak doğrusal module edilmiş sinyallerin daha küçük bant'ta daha büyük güç taşıyabilmeleri için kullanılacak bir bakış açısı önerilmiştir. Elde edilebilecek spektrumlar gösterilmiştir.*

1. Giriş

Daha yüksek hızda veri aktarımına duyulan ihtiyaç, kullanıcı sayısının artması ve verilen hizmetlerin çeşitlerinin artması gibi nedenlerle; daha küçük bant'ta daha fazla veri iletme yani bantı daha etkin bir şekilde kullanma gereksinimi oluşmuştur. Bu çalışmada doğrusal modülasyon yöntemleri genel olarak spektral etkinliği bakımından incelenmiştir. Aynı bant genişliğinde hangi modülasyon yönteminin daha fazla bit aktardığı bant genişliği etkinliği olarak tanımlanmıştır. Bir yöntem bant genişliği bakımından etkin olsa da kanallar arası girişim (ISI), senkronizasyon, işaret gürültü oranından ne derece olumsuz etkilendiği gibi diğer sistem parametreleri bütünde başarıyı belirler [1]. Doğrusal olarak module edilmiş bir sayısal sinyal aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s(t) = \text{Re} \left[v(t) e^{j2\pi f_c t} \right] \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde $v(t)$ temelbant eşdeğer karmaşık zarftır ve $s(t)$ 'nin özilinti fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\phi_{ss}(\tau) = \text{Re} \left[\phi_{vv}(\tau) e^{j2\pi f_c \tau} \right] \quad (2)$$

Bantgeçen sinyal $s(t)$ 'nin öz ilinti fonksiyonu $\phi_{ss}(\tau)$ 'nin Fourier dönüşümü alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\Phi_{ss}(f) = \frac{1}{4} [\phi_{vv}(f - f_c) + \phi_{vv}(f + f_c)] \quad (3)$$

Denklem (3)'ten de görüldüğü gibi bantgeçen sinyalin güç spektral yoğunluğu tamamen, temelbant sinyalin güç yoğunluk fonksiyonuna bağlıdır.

$$v(t) = A \sum_k b(t - kT, x_k) \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde A taşıyıcı genliğini, $b(t)$ T süreli eşdeğer darbe şekillendirme fonksiyonunu ve x_k sembolü belirtmektedir. Denklem (4)'ün öz ilinti fonksiyonunun Fourier Dönüşümü alındığında aşağıdaki denklem elde edilmektedir [2].

$$\Phi_{vv}(f) = \sigma_i^2 R_s |B(f)|^2 + (\mu_i R_s)^2 \sum_{m=-\infty}^{\infty} |B(mR_s)|^2 \delta(f - mR_s) \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde; $R_s = 1/T$ veri hızı, σ_i^2 sembollerin varyansı ve μ_i sembollerin ortalamasıdır. Sayısal modülasyonlarda sembollerin ortalamasının sıfır olması tercih edilir. Semboller eğer eşit olasılığa sahipse ve karmaşık düzlemde simetrik olarak yerleşmişlerse sembollerin ortalaması μ_i 'nin sıfır olduğu kabul edilebilir [1].

2. Darbe Şekillendirme

İdeal darbe şekli iki özelliğe sahip olmalıdır. Pratik bant sınırlı sistemlerde iletimi sağlayabilmek için sınırlı bir bant genişliğine sahip olmalıdır. Darbe şekli aynı zamanda doğru zaman aralıklarıyla örneklenirse semboller arası girişim olmamalıdır. Bizim çalışmamızda semboller arası girişimden ziyade darbe şekillendirmenin bant genişliği kullanımında sağladığı iyileşme üzerinde durulmuştur. Normalde kullanılan kare dalgayı da aslında vuruş tepkisi kare dalga olan bir filtrenin çıkışı olarak düşünebiliriz. Pratikte en çok kullanılan darbe şekillendirme Yükseltmiş Kosinüs ya da Kök Yükseltmiş Kosinüs darbe şekillendirmesidir. Bunun yanı sıra MSK'da bitler yarım sinüs darbesi ile GMSK'da da Gaussian darbe şekli ile şekillendirilmektedir [1-2-3-4]. Yükseltmiş Kosinüs filtresinin vuruş tepkesinin denklemi aşağıda verilmiştir.

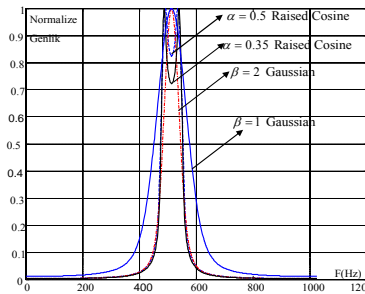
$$h_{RC}(t) = \left(\frac{\sin(\pi t / T)}{\pi t} \right) \left(\frac{\cos(\pi \alpha t / T)}{1 - (4\alpha t / (2T))^2} \right) \quad (6)$$

Denklem (6)'da, α azalma faktörünü belirtmektedir. azalma faktörü sıfır olduğunda Nyquist band genişliğine ulaşılmaktadır ancak bu durumda semboller arası girişim artmaktadır. Azalma kendi en büyük değerine ulaştığında spektrum azalmasının 0 olduğu durumdakinin iki katı kadar bant genişliği gerektirir. Pratik sayısal haberleşme sistemleri genelde 0,10 ile 0,35 arasında değişen azalma değerlerine sahiptirler. Azalma faktörü 0.35 ola bir tayf ideal sinc darbesine göre %35 daha fazla bat genişliği kullanır.

Diğer bir darbe şekillendirme de Gauss darbe şekillendirme filtresi ile yapılan darbe şekillendirmedir. Bu darbe şekillendirme Yükseltmiş Kosinüste olduğu gibi sembollerin bir diğer sembollerle girişmemesinden ve kare dalgaya göre daha etkin bir spektral etkinliğe sahip olmasından dolayı tercih edilmektedir [3]. GMSK'da Gauss darbe şekillendirmesi kullanılmaktadır. Gauss darbe şekillendirme filtresine ilişkin vuruş tepkesinin denklemi aşağıda verilmiştir.

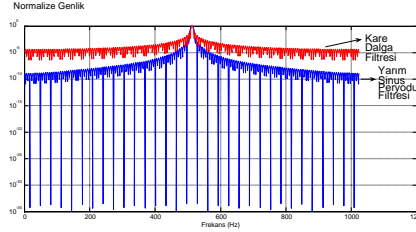
$$h_G(t) = \left(\frac{\pi}{\beta} \right) \exp\left(-\frac{\pi^2}{\beta^2} t^2 \right) \quad (7)$$

Denklem (7)'de $\beta = \frac{\sqrt{\ln 2}}{\sqrt{2}B} = \frac{0.5887}{B}$ ve B 3dB band genişliğidir.



Şekil 1. Yükseltmiş Kosinüs ve Gauss Filtre Güç Spektral Yoğunluğu

Şekil (1)'de Yükseltmiş Kosinüs ve Gauss darbe şekillendirme süzgeçlerinin vuruş tepkelerinin güç tayf yoğunlukları görülmektedir. Bu darbe şekillendirme yöntemlerinden hangisinin daha iyi olduğuna karar vermek zordur çünkü şekilden de görüldüğü gibi α ve β parametrelerine bağlı olarak bant genişliği değişmektedir. Bu parametreler zamanda ISI bakımından iyileşme sağlarken bant genişliği bakımından kötüleşmeye neden olmaktadır. MSK'da darbeler yarım sinus darbe şekline sahip bir filtre ile şekillendirilmektedir. Yine kare dalgaya göre bant genişliği etkinliğinde iyileşme olmaktadır [2].



Şekil 2. Kare Dalga Filtresi ile Yarım Periyot Sinüs Süzgecinin Güç Tayf Yoğunluğu

Şekil (2)'de gösterilen güç spektral yoğunluk fonksiyonları OQPSK ve MSK ile ilişkilendirilebilir. Şekil (1)'den de görüldüğü gibi MSK, OQPSK'ya göre yan loplarda daha hızlı bir güç düşüşü göstermektedir [5].

3. Alıcıya Ulaşacak Olan Sinyalin Tayf Yoğunluğu

Bir kablosuz haberleşme sistemini göz önüne alırsak. Modülasyonlu sinyal bir kanaldan geçecek ve alıcıya ulaşacaktır. Aşağıda toplam sistemin vuruş tepkisi gösterilmektedir [1].

$$h_{toplam} = \delta(t) * p(t) * h_c(t) * h_r(t) \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde $p(t)$ darbe şekillendirme süzgecinin vuruş tepkisi, $h_c(t)$ kanalın vuruş tepkisi ve $h_r(t)$ alıcının vuruş tepkesidir. Modülasyonlu sinyalin bant genişliği etkinliğini arttırmak için $\delta(t) * p(t)$ işlemi sonucu elde edilecek olan sinyalin güç spektral yoğunluğuna bakılmaktadır.

4. Sonuç

Modülasyon sonucu elde edilen sinyalin güç spektral yoğunluğu kullanılan darbe şekillendirme süzgeci ile doğrudan ilişkilidir. Darbe şekillendirme yapılırken bu çalışmada sadece spektral karakteristiklere bakılmasına rağmen elde edilecek olan sinyalin ISI özelliklerine de bakılmaktadır. Darbe şekillendirmenin yanı sıra alışı sinyalinin alıcıda doğru bir şekilde algılanabilmesi de çok önemli bir noktadır. Alıcı süzgecin vuruş tepkisi göz önüne alınarak ta darbe şekillendirme yapılmaktadır; buna örnek olarak Yükseltmiş Kosinüs yerine Kök Yükseltmiş Kosinüs darbe şekillendirme filtresi kullanılması gösterilebilir. Sinyalin geçtiği kanal rastlantısal bir yapıya sahip olsa da tayf özellikleri kanalın cinsine göre önceden kestirilebilmektedir. Bu sebeple kanalın vuruş tepkisi de darbe şekillendirmeye dahil edilebilir.

Kaynaklar

- [1]. Rappaort, T., Wireless communications : Principles and Practice, Second Editon, Prentice-Hall, Upper Saddle River New Jersey, 2002
- [2]. Proakis, J.G., Digital Communications, Fourth Edition, McGraw-Hill, Boston, 2001
- [3]. Greenstein L. J., "Spectra of PSK signals with overlapping Base and Pulses", IEEE Tran. Commn., Mayıs 1977
- [4]. Ramana D. V., Prasad A.P. S. ve Pal S., "Theoretical and Experimental Results on QPSK Spectrum Used for Data Transmission", Tencon 2003
- [5]. Gronemeyer S. A ve McBride A. L., "MSK and Offset QPSK Modulation", IEEE Communication Theory of the IEEE Communications Society, Amerika Birleşik Devletleri, 1976
- [6]. Waldman D. G. ve Makarov S. B., "Synthesis of Spectral-Effective Modulation Techniques For Digital Communications Systems", Circuits and Systems for Communications 1st IEEE International Conference, (2002) 432-435