

Hermit-Gauss Fonksiyonları ile Çok-Genişbantlı Dik Darbe Kümesi Tasarımı

Ultra-WideBand Orthogonal Pulse Shape Set Design by Using Hermite-Gaussian Functions

Yaşar Kemal Alp¹, Mehmet Dedeoğlu¹, Orhan Arıkan¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi

ykemal@ee.bilkent.edu.tr, m.dedeoglu@ug.bilkent.edu.tr, oarikan@ee.bilkent.edu.tr

ÖZETÇE

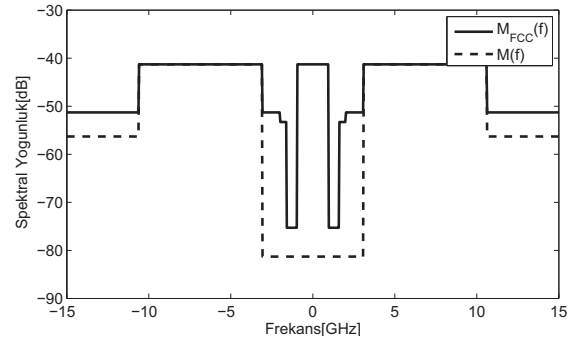
Çok-Geniş bantlı (ÇGB) iletişim sistemleri, kısa mesafeli yerel kullanıcılar arasında yüksek hızlı iletişim sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. ÇGB sistemlerinin başka sistemleri etkilemeden çalışabilmeleri için bu sistemlerin kullandığı çok kısa süreli darbesel sinyallerin frekans bandındaki yayılımlarının belirlenen bir maskenin altında olması gerekmektedir. Aynı anda birden çok darbesel sinyalin kullanılabilmesi ÇGB sistemlerinin veri iletişim hızını artırabilmektedir. Aynı anda kullanılacak olan darbesel sinyallerin birbirlerine dik olması, alıcı yapısını oldukça basitleştirmektedir. Bu çalışmada ÇGB sistemlerinde kullanılmak üzere frekans maskesiyle uyumlu, birbirlerine dik darbe kümesi tasarımı problemi bir eniyileme problemi olarak modellenmiştir. Her bir darbenin Hermit-Gauss (HG) fonksiyonları tarafından gerilen bir uzaydan seçilmesi şeklinde sınırlanan tasarım problemi öncelikle dışbükey hale getirilmiş ve ardından en iyi çözümü bulunmuştur. Bu şekilde elde edilen darbe kümesinin alternatif tekniklerle elde edilen darbe kümelerine göre daha geniş bir küme olduğu ve dolayısıyla daha yüksek hızda iletişim sağlayabildiği gösterilmiştir.

ABSTRACT

Ultra-Wideband (UWB) communication systems have been developed for short distance, high data rate communications. To avoid interfering with the existing systems in the same environment, very short duration pulses used by these systems should satisfy a predefined spectral mask. Data rate of UWB systems can be increased by using multiple pulse shapes simultaneously. Orthogonality of the simultaneously used pulse shapes simplifies the receiver design. In this work, design of orthogonal pulse shapes which satisfy the spectral mask is modelled as an optimization problem. First, it is converted to a convex optimization problem by constraining the pulse shapes to lie in a subspace spanned by the Hermite-Gaussian (HG) functions. Then the optimal solution is obtained. It is shown that a larger pulse shape set can be designed compared to the existing approaches, and hence, a higher data rate can be achieved.

1. GİRİŞ

Çok-Geniş bantlı (ÇGB) iletişim sistemleri son on yılda büyük bir ilerleme kaydetmiş olup, günümüzde kısa mesafeli kablosuz



Şekil 1: FCC'nin yayınladığı ÇGB spektral maske(düz), makale boyunca kullanılan daha dar spektral maske(kesikli).

iletimde kullanılan teknoloji olarak ön plana çıkmaktadırlar. ÇGB sistemleri çok geniş frekans bantlarında çalıştıkları için yüksek hızda veri iletimine olanak sağlamaktadırlar. Bu nedenle ÇGB sistemleri kablosuz USB (Universal Serial Bus) gibi kısa mesafede yüksek hızda veri iletimi gerektiren uygulamalarda kullanılmışlardır [1]. ÇGB iletişim sinyallerinin çok geniş frekans bantlarına yayılmış olması, aynı ortamda çalışan diğer sistemler için karıştırıcı tehdit oluşturmaktadır. Bu durumu engellemek için ülkelerin iletişim kurumları ÇGB darbelerinin uyması gerektiği bazı frekans maskeleri yayımlamıştır [2]. Amerikan İletişim Kurumu (FCC) tarafından yayımlanan frekans maskesi (düz) ve darbe tasarımında sıklıkla kullanılan daha sınırlayıcı maske (kesikli) Şekil-1'de gösterilmiştir. Bu frekans maskelerinin yayınlanmasından sonra, bu maskelere uyan ve süresi 1ns civarında olan dar ÇGB darbelerinin tasarımı önemli bir araştırma konusu olmuştur [3, 4].

ÇGB iletişim sistemlerinde, kanal kullanım verimliliğini arttırmak ve alıcı yapısını basitleştirmek için birbirlerine dik darbeler kullanılmaktadır. Almacı tarafında, en iyi teşhis için ise alıcı tarafındaki sinyal gürültü oranı (SGO) en büyük yapılmalıdır. Bunun için de ÇGB darbelerinin enerjisi yüksek olmalıdır. Bu nedenle, her birisi frekans maskesiyle uyumlu, birbirlerine dik, enerjileri olabilecek en yüksek seviyede olan darbe kümelerinin oluşturulması gerekmektedir.

Biz bu çalışmada tasarlayacağımız darbeleri bir sinyal kümesinin elemanlarının doğrusal kombinasyonları olarak seçtik. Sinyal kümesini oluşturmak için de, zaman-frekans düzleminde en iyi yerleşen, Hermit-Gauss (HG) fonksiyon ailesini kullandık. ÇGB dik darbe tasarım problemini dışbükey eniyileme problemi olarak kurguladık ve problemi en iyi

çözümünü bulabilecek şekilde dönüştürdük. Elde edilen en iyi çözüme karşılık gelen darbe kümelerinin alternatiflerine göre daha çok sayıda darbe içerdiği ve bu darbelerin enerjilerinin birbirlerine oldukça yakın olduğunu gözledik.

2. bölümde önerdiğimiz yöntem detaylandırılmıştır. 3. bölümde tasarım sonuçları ve alternatif tekniklerle kıyaslamalar verilmiştir. Sonuçlar ise 4. bölümde açıklanmıştır.

2. ÇGB Dik Darbe Kümesi Tasarımı

Bu bölümde birbirine dik ÇGB darbe tasarım problemi ve önerilen çözüm yöntemi detaylandırılacaktır. Tasarlanacak darbe sayısı N , darbelerin uyması gereken frekans maskesi $M(f)$ ve darbe süresi T_p verildiğinde, ÇGB dik darbe kümesi tasarım problemi

$$\max_{p_0(t), p_1(t), \dots, p_{N-1}(t)} \sum_{n=0}^{N-1} \int_{F_p} |P_n(f)|^2 df,$$

öyle ki: $|P_n(f)|^2 \leq M(f) \quad \forall f, \forall n = 0, 1, \dots, N-1,$

$$T_{p_n} \leq T_p \quad \forall n = 0, 1, \dots, N-1,$$

$$\int p_n(t)p_m(t)dt = 0 \quad \forall n \neq m, \quad (1)$$

şeklinde kısıtlı bir eniyileme problemi olarak ele alınabilir. Burada $p_n(t)$ n . dik darbeyi, T_{p_n} bu darbenin süresini, $P_n(f)$ darbenin Fourier dönüşümünü, F_p ise verilen maskenin geçirgen bandını (Şekil-1'deki daha dar maske için $F_p = [3.1, 10.6]GHz$) belirtmektedir. Bu çalışmada en büyültmeye çalışılan değerlilik fonksiyonu, almanın belirli bir frekans aralığına ayarlanabileceği düşünülerek, maskenin geçirgen bandındaki darbelerin toplam enerjisi olarak belirlenmiştir. Sonuçta tasarlanan darbelerin olabildiğince yüksek normalize edilmiş etkin sinyal gücüne (NEESG) sahip olması istenmektedir. Tasarlanan n . darbe için NEESG değeri ise [3]'de

$$NEESG_n = \int_{F_p} |P_n(f)|^2 df / \int_{F_p} M(f) df \quad (2)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu metrik, tasarlanan darbenin maskenin geçirgen bandındaki enerjisinin, maskenin yine aynı banddaki enerjisine oranını belirtmektedir. (1)'de verilen en iyileme probleminde birinci kısıt fonksiyonu darbelerin verilen frekans maskesine uymasını, ikinci kısıt fonksiyonu darbelerin sürelerinin amaçlanan darbe süresinden daha uzun olmamasını, üçüncü kısıt fonksiyonu ise darbelerin birbirine dik olarak tasarlanmasını sağlamaktadır. Tüm darbelerin birlikte tasarlanmasını amaçlayan yukarıdaki eniyileme probleminin doğrudan çözümü çok güçtür. Bu güçlüğü azaltmak amacıyla, bu çalışmada, her aşamasında sadece bir darbe tasarımının yapıldığı ve öncekilerin sabit tutulduğu bir ardışık eniyileme yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda, her aşamada aşağıdaki gibi sadece bir darbenin tasarlandığı bir eniyileme problemi çözülmektedir. Örneğin ilk n darbe tasarlanmış ise, $n+1$. darbe

$$\max_{p_n(t)} \int_{F_p} |P_n(f)|^2 df,$$

öyle ki: $|P_n(f)|^2 \leq M(f) \quad \forall f,$

$$T_{p_n} \leq T_p,$$

$$\int p_n(t)p_m(t)dt = 0 \quad \forall m = 0, 1, \dots, n-1, \quad (3)$$

çözümü olarak seçilmektedir. Bu eniyileme yaklaşımında kullanılan değer fonksiyonu sadece o aşamada tasarlanan darbe-

nin maskenin geçirgen bandındaki enerjisidir. Kısıtlar arasında ise frekans maskesiyle ilgili uyum kısıtı ve azami darbe süresi kısıtı hala bulunmaktadır. Ayrıca tasarlanacak yeni darbenin daha önceki aşamalarda tasarlananlara dik olması şartı korunmaktadır. Bu şekilde aşamalar halinde elde edilen darbe kümesinin her bir elemanı frekans maskesi, darbe süresi ve diklik şartlarının tümüyle uyumlu olacaktır. (3)'de verilen eniyileme probleminin sonsuz boyutlu bir uzayda arama gerektirdiği, sonsuz kısıt fonksiyonu içerdiği ve değerlilik-kısıt fonksiyonlarının analitik olmaması nedeni ile değerlilik-kısıt fonksiyonlarının analitik olmaması nedeni ile değışimsel hesaplama (variational calculus) yöntemleri ile de çözülemediği için bu problemin parametrik olarak modellenmesi gerekmektedir. Tasarlanacak n . darbe için aşağıdaki modeli düşünelim:

$$p_n(t) = \mathbf{Q}(t)\boldsymbol{\alpha}_n. \quad (4)$$

Burada $\mathbf{Q}(t) = [q_0(t), q_1(t), \dots, q_{K-1}(t)]$ seçilen sinyal kümesini, $\boldsymbol{\alpha}_n = [\alpha_{n,1}, \alpha_{n,2}, \dots, \alpha_{n,K}]^T$ ise bu sinyallerin n . darbe tasarımındaki ağırlıklarını belirtmektedir. Bu modele göre tasarlayacağımız her darbe K elemanlı bir sinyal kümesinin elemanlarının doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilmiştir. Böylece, N tane darbenin tasarımı da $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{N-1}$ katsayı vektörlerinin en iyi seçimi ile sağlanacaktır. Azami darbe süresi ile ilgili olan kısıt ise $\int |(1 - \lambda(t))p(t)|^2 dt \leq \zeta \int_{F_g} M(f)df$ olarak yazılabilir. Burada $\lambda(t)$, $[-T_p/2, T_p/2]$ aralığında 1, diğer aralıklarda 0 olan dikdörtgensel zaman penceresini, ζ ise tipik olarak 0.0001 seçtiğimiz enerji parametresini belirtmektedir. Bu formülizasyon ile tasarlanan darbenin, azami darbe süresi T_p dışında kalan enerjisinin, frekans maskesinin geçirgen bandının altında kalan enerjinin ζ katından küçük olması sağlanmış olmaktadır. Sonuçta (3)'de verilen ardışık eniyilemeli darbe tasarım problemi

$$\min_{\boldsymbol{\alpha}_n} - \boldsymbol{\alpha}_n^H \left[\int_{F_p} \hat{\mathbf{Q}}^H(f)\hat{\mathbf{Q}}(f)df \right] \boldsymbol{\alpha}_n,$$

öyle ki: $|\hat{\mathbf{Q}}(f)\boldsymbol{\alpha}_n|^2 \leq M(f) \quad \forall f,$

$$\boldsymbol{\alpha}_n^H \left[\int \mathbf{Q}^H(t)\mathbf{Q}(t)(1 - \lambda(t))dt \right] \boldsymbol{\alpha}_n$$

$$\leq \zeta \int_{F_g} M(f)df \quad \forall n = 0, 1, \dots, N-1,$$

$$\boldsymbol{\alpha}_n^H \left[\int \mathbf{Q}^H(t)\mathbf{Q}(t)dt \right] \boldsymbol{\alpha}_m = 0 \quad \forall m = 0, 1, \dots, n-1, \quad (5)$$

halini alır. Burada $\hat{\mathbf{Q}}(f)$, $\mathbf{Q}(t)$ 'nin Fourier dönüşümüdür.

Darbe tasarımında kullanılacak sinyal altuzayının belirleyicisi olan $\mathbf{Q}(t)$ sinyal kümesinin elemanlarının seçimi tasarımın başarımının önemli bir belirleyicisidir. Bu amaçla kullanılacak sinyal kümesinin elemanlarının doğrusal olarak bağımsız olması eniyileme sonucunun tek olması için gereklidir. Ayrıca bu kümedeki elemanların frekans maskesi ve darbe süresi koşullarıyla uyumlu olması gerekmektedir. Biz bu çalışmada taban sinyal kümesi $\mathbf{Q}(t)$ 'nin elemanlarını farklı ölçeklerde ve frekansta kaydırılmış HG fonksiyonlarından oluşturduk. HG fonksiyonları, kesirsel Fourier dönüşümün taban vektörleri oldukları için, zaman-frekans düzleminde dairesel destek bölgesine sahiptirler [5]. Bundan dolayı bu fonksiyonlar zaman-frekans düzleminde en çok yerelleşebilen (hem zamandaki desteği hem de frekanstaki desteği kısa olan) fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar aşağıdaki dögüsel ifadeler kullanılarak oluşturulabilirler:

$$h_n(t) = \frac{2^{1/4}}{\sqrt{2^n n!}} H_n(\sqrt{2\pi}t) e^{-\pi t^2}, \quad (6)$$

Algorithm 1 Faz adaptasyonu algoritması

1: $i \leftarrow 0$, $\phi'(f) = 0$, $\alpha_n^i = 0$
2: $i \leftarrow i + 1$
3: (10)'u çözümlen en iyi α_n^i 'i bul
4: $P_n^i(f) = \hat{\mathbf{Q}}(f)\alpha_n^i$
5: $\phi^i(f) = \angle P_n^i(f)$
6: **if** $\|\alpha_n^i - \alpha_n^{i-1}\|^2 \leq \eta$ **then**
7: Algoritmadan çık
8: **else**
9: 3'ye dön
10: **end if**

$$H_{n+1}(t) = 2tH_n(t) - 2nH_{n-1}(t). \quad (7)$$

Burada $H_n(t)$ n . Hermit polinomunu belirtmektedir, ve $H_0(t) = 1$ ve $H_1(t) = 2t$ 'dir. Bu fonksiyonlar hakkında detaylı bilgi [6]'da bulunabilir. Verilen azami darbe süresi T_p için her bir HG fonksiyonu, etkin süresi T_p olacak şekilde ölçeklenmelidir. n . HG fonksiyonun etkin süresi T_{h_n} ise, bu fonksiyon $c_n = T_p/T_{h_n}$ ile ölçeklendirilir: $\tilde{h}_n(t) = h_n(c_n t)$, ve $\tilde{\mathbf{h}}(t) = [h_0(c_0 t), h_1(c_1 t), \dots, h_{H-1}(c_H t)]$ sinyal kümesi oluşturulur. $\tilde{\mathbf{h}}(t)$ içindeki elemanların frekans dağılımı 0Hz civarında simetrik olduğu için, bu fonksiyonların doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilen bir darbe de frekans maskesinin sadece 0Hz civarındaki kısımlarını dolduracaktır. Bunun için, $\tilde{\mathbf{h}}(t)$ sinyal kümesi farklı frekans merkezleri civarına kaydırılarak oluşturulan daha geniş bir sinyal kümesi, frekans maskesini daha iyi kaplayan darbelerin tasarımı için daha uygun olacaktır: $\hat{\mathbf{h}}(t) = [\tilde{\mathbf{h}}(t)\cos(2\pi f_0 t), \tilde{\mathbf{h}}(t)\cos(2\pi f_1 t), \dots, \tilde{\mathbf{h}}(t)\cos(2\pi f_{K-1} t)]$. Bu kümede $H \times K$ kadar eleman yer alacaktır. Bu sayı ne kadar artarsa, darbe tasarımındaki esnekliğimiz de o kadar artar. Frekans kaydırma aralıkları $|f_{k+1} - f_k|$ dar seçilirse, kümenin büyüklüğü artar ancak küme elemanları birbirine bağımlı hale gelmeye başlar. Sinyal kümesi oluşturulduktan sonra belli bir kritere göre bu kümedeki en bağımsız elemanlar seçilmelidir. Bu ise kümeye QR ayrıştırımı uygulanarak çözülebilir: $[\mathbf{Q}, \mathbf{R}] = QR(\hat{\mathbf{h}})$. Burada, \mathbf{Q} diagonal elemanları $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{HK}$ olan yukarı üçgensel matris, \mathbf{R} aşağı üçgensel matris, $\hat{\mathbf{h}}$ ise $\hat{\mathbf{h}}(t)$ sinyal kümesinin zamanda uygun örneklenmesi ile oluşturulan ayrık zamanlı sinyal kümesi matrisidir. \mathbb{S} , $\sigma_k \geq \max\{\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_{HK}\}/\varphi$, $k = 1, 2, \dots, HK$ sağlayan k indislerini içeren küme, φ ise tipik olarak 10^5 olarak seçtiğimiz bağımsızlık derece parametresi olarak tanımlanırsa, elemanları birbirinden en çok bağımsız olan yeni sinyal kümesi $\mathbf{Q}(t) = [\tilde{\mathbf{h}}_{\mathbb{S}(1)}(t), \tilde{\mathbf{h}}_{\mathbb{S}(2)}(t), \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{\mathbb{S}(\hat{K})}(t)]$ olarak oluşturulur. Burada $\mathbb{S}(m)$ \mathbb{S} kümesinin m . elemanını, $\tilde{\mathbf{h}}_{\mathbb{S}(m)}(t)$, $\tilde{\mathbf{h}}(t)$ sinyal kümesinin $\mathbb{S}(m)$. fonksiyonunu, \hat{K} ise \mathbb{S} kümesinin eleman sayısını belirtmektedir. Oluşturulan bu yeni sinyal kümesinin eleman sayısı φ 'nın seçimine bağlıdır, yüksek seçilmesi kümeyi genişletirken, düşük seçilmesi kümeyi daraltmaktadır.

2.1. Problemin Dışbükey Modeldenmesi

Önceki bölümde (5) ile tanımlanan en iyileme problemi, içbükey maliyet fonksiyonu ve dışbükey kısıt fonksiyonları olan bir içbükey eniyileme problemidir. Bu nedenle en iyi çözüm noktası polinom zamanlı bulunamaz [7]. İçbükey olan maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde değiştirilirse dışbükey hale getirilebilir.

$$J_n = \int \left| \sqrt{M(f)}e^{j\phi(f)} - P_n(f) \right|^2 df. \quad (8)$$

Burada $\phi(f)$ frekans maskesinin fazını belirtmektedir. Tanımlanan bu maliyet fonksiyonu ile amaç tasarlanan n . darbenin spektrumunu maskeye benzeterek, maskenin geçirgen bandında kalan enerjisini enbüyütmeye çalışmaktır. Simgelimi kısaltmak adına şu tanımlamaları yapalım: $\mathbf{A} = \int \hat{\mathbf{Q}}(f)^H \hat{\mathbf{Q}}(f) df$, $\mathbf{b} = -2 \int \Re \left\{ \sqrt{M(f)}e^{-j\phi(f)}, \hat{\mathbf{Q}}(f) \right\} df$, $\mathbf{A}_k = [\Re\{\hat{\mathbf{Q}}(f_k)\}; \Im\{\hat{\mathbf{Q}}(f_k)\}]$, $M_k = \sqrt{M(f_k)}$, $\mathbf{C} = \left[\int \mathbf{Q}^H(t)\mathbf{Q}(t)(1 - \lambda(t))dt \right]^{1/2}$, $\mathbf{d}_m = \left[\int \mathbf{Q}^H(t)\mathbf{Q}(t)dt \right] \alpha_m$, $E_M = \int_{F_g} M(f)df$. Burada $\Re\{\cdot\}$ ve $\Im\{\cdot\}$ sırasıyla içeriklerinin gerçek ve sanal kısımlarını veren operatörlerdir. M_k , ise maskenin k . örneğini belirtmektedir. Bu tanımlamalardan sonra, (8)'de verilen maliyet fonksiyonunu kullanarak, (5)'de verilen eniyileme problemi

$$\min_{\alpha_n} \alpha_n^T \mathbf{A} \alpha_n + \mathbf{b}^T \alpha_n$$

öyle ki: $\|\mathbf{A}_k \alpha_n\| \leq M_k \forall k = 1, 2, \dots, K_f$

$$\|\mathbf{C} \alpha_n\| \leq \zeta E_M$$

$$\mathbf{d}_m^T \alpha_n = 0 \forall m = 0, 1, \dots, n-1 \quad (9)$$

halini alır. Ayrıca tasarlanan darbenin spektrumu üzerindeki sürekli olan maske kısıtı, uygun sayıda frekansta örnekleterek ($15\hat{K}$ tane örneğin alınması genel bir kuraldır [3]) ayrık zamanlı hale dönüştürülmüştür. Bu haliyle bu problem dışbükey maliyet ve koşul fonksiyonları olan bir QCQP (Quadratically constrained quadratic problem)'dir. QCQP'ler genellikle SOCP (Second order cone problem)'lere dönüştürülerek çözülmektedirler. (9)'da verilen QCQP

$$\min_{\alpha_n} t + \mathbf{b}^T \alpha_n$$

öyle ki: $\|\tilde{\mathbf{A}} \alpha_n\|^2 \leq t$

$$\|\mathbf{A}_k \alpha_n\| \leq M_k \forall k = 1, 2, \dots, K_f$$

$$\|\mathbf{C} \alpha_n\| \leq \zeta E_M$$

$$\mathbf{d}_m^T \alpha_n = 0 \forall m = 0, 1, \dots, n-1 \quad (10)$$

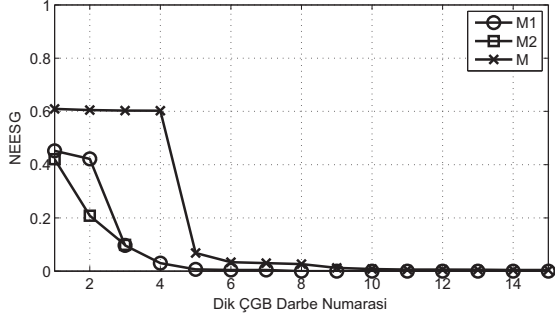
şeklinde bir SOCP'ye dönüştürülebilir [3]. Burada $\tilde{\mathbf{A}}$ matrisi $\tilde{\mathbf{A}}\tilde{\mathbf{A}}^H = \mathbf{A}$ koşulu sağlayan matristir. $\tilde{\mathbf{A}}$ yarı-kesin artı matris olduğu için bu koşulu sağlayan $\tilde{\mathbf{A}}$ her zaman bulunabilir.

2.2. Maske Fazının Seçimi

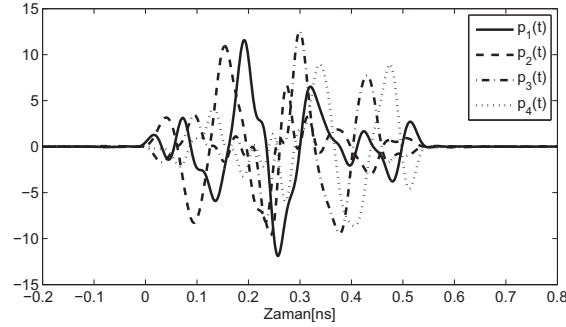
(8)'de verilen maliyet fonksiyonunda, spektral maskenin fazı $\phi(f)$ 'nin bilindiği varsayılmıştır. (10)'da verilen SOCP'nin en iyi çözümü için maskenin fazının tasarlanan darbenin fazına eşit olması gerekmektedir. Ancak darbe bilinmediği için, Algoritma-1'de verilen faz adaptasyonu yöntemi ile maskenin fazı dögüsel olarak tasarlanan darbenin fazına eşitlenebilir [4]. Bu yöntemde, ilk dögüde maskenin fazı $\phi(f) = 0$ olarak seçilir. Daha sonra (10)'da verilen SOCP çözülür, en iyi α_n bulunur ve $p_n(t)$ (4) ile hesaplanır. Sonraki dögüde maskenin fazı, bir önceki dögüde hesaplanan $p_n(t)$ 'nin fazına eşitlenir ve (10) tekrar çözülür. Bu dögüler, ardışık iki dögü sırasında hesaplanan en iyi katsayılar arasındaki fark $\|\alpha_n^{i+1} - \alpha_n^i\|^2$ tipik olarak $\eta = 0.001$ seçilen bir eşikten küçük olduğunda durdurulur.

3. Tasarım Sonuçları ve Kıyaslamalar

Önerilen yöntem ile iki farklı azami darbe süresi $T_p = 0.54$ ns ve $T_p = 1.25$ ns için 15'er tane birbirine dik, verilen maskeyle (Şekil-1'de verilen daha dar maske) uyumlu darbe tasarladık ve yöntemin başarımını [3] ve [4]'deki alternatifleriyle



Şekil 2: $T_p = 0.54$ ns için önerdiğimiz yöntem (M), [4]'deki (M1) ve [3]'deki (M2) tasarım yöntemleri ile oluşturulan 15 dik ÇGB darbenin NEESG değerleri.

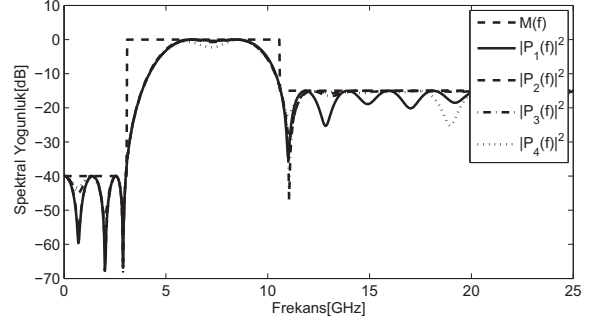


Şekil 3: $T_p = 0.54$ ns için önerdiğimiz yöntem ile tasarlanan ilk 4 dik darbe: $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$, $p_4(t)$.

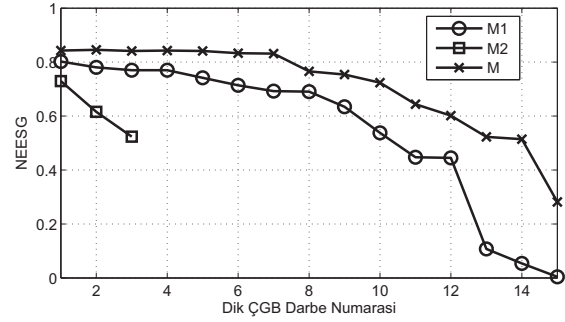
kiyasladık. Kıyaslama kriteri olarak (2)'deki NEESG'yi kullandık. Şekil-2'de $T_p = 0.54$ ns için önerdiğimiz yöntem(M) ile [3]'de önerilen doğrusal fazlı(M2) ve [4]'de önerilen doğrusal fazlı olmayan(M1) darbe tasarlama yöntemi kıyaslanmıştır. Her bir yöntem ile tasarlanan darbelerin NEESG'leri hesaplanıp çizdirilmiştir. Önerilen yöntem ile NEESG değeri 0.5'in üzerinde olan birbirine dik 4 ÇGB darbe tasarlanabilirken, diğer iki yöntem ile tasarlanan darbelerin NEESG değerleri oldukça düşüktür. Tasarlanan bu darbeler ve spektral yoğunlukları, sırasıyla, Şekil-3 ve Şekil-4'te verilmiştir. Görüldüğü üzere darbelerin süreleri 0.54ns'den kısa olup, frekans yayılımları da verilen spektral maske ile uyumludur. Şekil-5'te $T_p = 1.25$ ns için aynı kıyaslamalar yapılmıştır. Önerdiğimiz yöntem ile NEESG değeri 0.5'in üstünde olan 14 darbe tasarlanabilirken, [4]'de önerilen yöntemi(M1) ile birbirine dik 10 darbe tasarlanabilmiş, ve bu sayı [3]'de önerilen yöntemi(M2) için sadece 3 olmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada ÇGB sistemlerinde kullanılmak üzere, yeni bir darbe tasarım yöntemi önerilmiştir. Önerdiğimiz yöntem, ÇGB darbelerini farklı ölçeklerde, farklı frekanslara kaydırılmış HG fonksiyonlarının doğrusal kombinasyonu olarak modellemektedir. Bu model ile dışbükey bir eniyileme problemi kurgulanarak en iyi çözüm bulunmuştur. Önerilen yöntemin alternatiflerine kıyasla önemli sayıda daha fazla ve her birisi daha enerjik dik darbe tasarlayabildiği gösterilmiştir.



Şekil 4: $T_p = 0.54$ ns için önerdiğimiz yöntem ile tasarlanan ilk 4 dik darbenin spektral yoğunlukları $|P_1(f)|^2$, $|P_2(f)|^2$, $|P_3(f)|^2$, $|P_4(f)|^2$ ve verilen spektral maske $M(f)$.



Şekil 5: $T_p = 1.25$ ns için önerdiğimiz yöntem (M), [4]'deki (M1) ve [3]'deki (M2) tasarım yöntemleri ile oluşturulan 15 dik ÇGB darbenin NEESG değerleri.

5. KAYNAKÇA

- [1] Ghobad Heidari, "UWB Market", WiMedia UWB: Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth, 11–19, 2008.
- [2] "In the matter of revision of Part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems", FCC Report, 2–48, 2002.
- [3] W. Xianren, T. Zhi, T. N. Davidson, G.B. Giannakis, "Optimal waveform design for UWB radios", IEEE Trans. on Signal Processing, 2009–2021, June 2006.
- [4] I. Dotlic, R. Kohno, "Design of the family of orthogonal and spectrally efficient UWB waveforms", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 21–30, June 2007
- [5] Y. K. Alp, O. Arkan, U. Özertem, "Support adaptive Hermite-Gaussian expansion for analysis of multi-component signals", IEEE 19th Conf. on Signal Proc. and Com. App. (SIU2011), Nisan 2011.
- [6] Y. K. Alp, O. Arkan, "Time-frequency analysis of signals using support adaptive Hermite-Gaussian expansions", Elsevier DSP under review, Ekim 2011.
- [7] M. Lobo, L. Vandenberghe, S. Boyd, H. Lebret, "Applications of second-order cone programming", Linear Algebra and its Applications, 193–228, Kasım 1998.