

## FSM Tabanlı Yeni Bir MSK Mimarisinin Tasarımı

Mehmet Sönmez<sup>1</sup>, Ayhan Akbal<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ.  
e-posta:msonmeztr@gmail.com

### Özet

Günümüzde haberleşme sistemleri için en önemli konulardan birisi enerji verimliliğidir. Yazılım tabanlı bir radyo uygulaması için enerji verimliliği kaynak kullanımıyla doğrudan önemlidir. OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing: Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama) gibi çoklu kullanıcıya hizmet veren birçok sistemde kullanılan modülasyon tekniği oldukça önemlidir. Modülasyon tekniklerinin maksimum çalışma frekanslarını değiştirmeden kaynak kullanımlarını ve enerji tüketimlerini düşürmek çoklu kullanıcıya hizmet veren sistemler için oldukça faydalıdır. Bu çalışmada yeni bir MSK (Minimum Shift Keying: Minimum Kaydırmalı Anahtarlama) verici mimarisi önerilmiştir. Mimari FPGA (Field Programmable Gate Array: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) derleyicisi Quartus programında gerçekleştirilerek FPGA donanımı üzerinde gerçek zamanlı uygulanmış ve çıkış sinyali izlenmiştir. Önerilen verici mimari geleneksel mimariye göre daha az güç tüketmektedir. Ayrıca önerilen MSK modülatör yapısı işlemsel bloklardan arındırıldığı için kaynak kullanım miktarı da düşürülmüştür. Yapılan çalışmada görülen diğer önemli nokta ise MSK sinyalini oluşturan sayısal sinyalin bit sayısıdır. Önerdiğimiz mimaride MSK sinyalinin gösterimi için kullanılan bit sayısını kullanıcı belirlemektedir. Ancak geleneksel MSK mimarisinde kullanılan toplam ve çarpım blokları çıkıştaki sinyali temsil eden bit sayısını artırmaktadır. Sayısal MSK sinyalini çıkışta analog olarak gösterebilmek için özel tasarlanmış DAC (Digital to Analog Converter: Sayısal Analog Dönüştürücü) mimarilerine ihtiyaç duyulabilir. Bu durum kullanılacak vericinin karmaşıklığını da artıracaktır. Kullanılacak DAC'lerin aynı özelliklerde seçilmesi halinde ise geleneksel MSK mimarisi çıkışında bir bölme bloğunun kullanılması gerekebilir. Ancak bu durum sinyalde bozulmalara yol açacağı gibi sistemin karmaşıklığını artırır ve maksimum çalışma frekansını düşürebilir.

### Anahtar kelimeler

FPGA, MSK, Kaynak Kullanımı, FSM

## Design of FSM-Based A New MSK Architecture

### Abstract

In Today, energy efficiency is one of the most significant issues for communication systems. In software defined radio applications, resource utilization affects directly energy [efficiency](#). The modulation technique is very important for communication systems with multiple [users](#) such as OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). It is important that resource utilization and energy efficiency of modulation technique is reduced without reducing maximum operating frequency of that for these communication systems. In this paper, a new MSK (Minimum Shift Keying) transmitter architecture is proposed. The structure is realized on FPGA (Field Programmable Gate Array) compiler Quartus programme, and is applied real-time on FPGA hardware. The proposed MSK transmitter consumes lesser power than conventional MSK. Moreover, resource utilization of proposed MSK modulator is reduced to [eliminate](#) operational blocks. In this paper, another important issue is bit number of the digital signal which creates MSK signal. The user determines bit number of MSK signal in our architecture. Yet, adder and multiplier used in conventional MSK increase bit number which represents output signal. In order to show digital MSK signal as analog, particular DAC (Digital to Analog Converter) can be necessary. This case increases complexity of the transmitter. If same DACs are selected for conventional and proposed MSK, a division blocks is necessary in output of conventional MSK. However, this status can be cause distortion of signal, increase complexity of the system, and decrease of the architecture.

### Keywords

FPGA, MSK, Resource Utilization, FSM.

## 1. Giriş

MSK modülasyon tekniği ikili modülasyon ve dördün modülasyon tekniklerine göre spektrum verimliliği daha yüksek bir modülasyon tekniğidir. Bu yüzden optik ve çok kullanıcı sistemler gibi birçok haberleşme sisteminde önerilmektedir (Liu et al. 2014), (Liu et al. 2015), (Cho et al. 2016). Günümüz haberleşme sistemlerinin önde gelen talepleri arasında güç tüketimi ve veri iletim oranı bulunmaktadır. Güç tüketimini düşürmek için literatürde CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken) tabanlı yapılar daha fazla ilgi görmektedir. Dolayısıyla MSK modülasyon tekniğinin güç tüketimini düşürmek için CMOS tabanlı modülasyon mimarileri önerilmiştir (Bohovequez et al. 2009) CMOS tabanlı olduğu gibi sayısal devrelerden FPGA (Field Programmable Gate Array: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) tabanlı MSK modülasyon mimarileri de birçok çalışmada önerilmiştir (Xiangyuan ve Meng, 2011), (Maghawry ve Fikri, 2011), (Xie ve Heng, 2013). Bu tasarımların birçoğu NCO (Numerically Controlled Oscillator: Sayısal Kontrollü Osilatör) tabanlı mimariler kullanılmaktadır. Ancak NCO bloklarının yüksek kaynak kullanımı nedeniyle tasarımların güç tüketimi bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Yapılan çalışmaların bir kısmında NCO bloğu yazarlar tarafından tasarlanmasına rağmen diğer bir kısmında ise Xilinx veya Quartus firmalarının üretmiş oldukları bloklar kullanılmıştır. NCO bloğunun yazarlar tarafından tasarlandığı bir çalışmada ROM içerisine aynı örnekler defalarca kaydedilmiştir. Bunun nedeni faz artış miktarının yazarlar tarafından iyi bir şekilde optimize edilememesindedir. Dolayısıyla RAM bit kullanımı bu durumdan dolayı artmaktadır (Maghawry ve Fikri, 2011), (Xie ve Heng, 2013). Xilinx veya Quartus firmaları tarafından üretilen NCO blokları kullanılarak da literatürde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bir çalışmada Xilinx firmasının ürettiği NCO bloğu kullanılarak MSK modülasyonu DS-SS (Direct-Sequence Spread Spectrum: Doğrudan Sıralı Yayılı Spektrum) çoğullama tekniği ile birlikte kullanılmıştır

(Xiangyuan ve Meng, 2011). Ancak hazır NCO blokları çıkış bit sayısının esnek olmaması nedeniyle özel DAC mimarilerinin kullanılmasını gerektirebilmektedirler. Ayrıca NCO blokları sadece MSK mimarileri için değil aynı zamanda ikili modülasyon teknikleri için de önerilmiştir. Ancak çalışmada kullanılan NCO bloğu için ROM kullanımı aynı örneğin defalarca kaydedilmesinden dolayı oldukça verimsizdir (Erdoğan et al. 2012). Bu çalışmada önerdiğimiz mimari FSM (Finite State Machines: Sonlu Durum Makinaları) tekniği tabanlı çalışmaktadır. MSK sinyalinin fazı bir önceki ve o andaki bilgi bitlerinin durumuna göre ya 90 derece ileri kaymaktadır ya da 90 derece geri kaymaktadır. Dolayısıyla 4 adet sembol için (00-01-10-11) MSK sinyalinin fazını tutan ve gelen bilgi sinyalinin durumuna göre sinyal fazını belirleyen bir sistem tasarlanabilmektedir. Bu çalışmada sinyal fazını tutmak için bir sonlu durum makinesi kullanılmıştır. MSK sinyali iki farklı frekanstan oluşmaktadır. FSM bloğu kullanılarak farklı frekanstaki sinyallerin faz durumları saklanmıştır ve farklı faz-frekans parametrelerine sahip sinyaller üretilmiştir. Bu şekilde gerçekleştirilen MSK modülasyon mimarisine bu çalışmada FSM-MSK mimarisi adı verilmiştir. Önerilen tasarım FPGA donanımı üzerinde gerçek zamanlı olarak uygulanmış olup osiloskop çıktılarından MSK sinyalinin veri bitlerinin durumuna göre değişimi izlenmiştir.

## 2. MSK Modülasyon Tekniği

MSK modülasyon tekniği BPSK, QPSK ve O-QPSK modülasyon tekniklerinde olan faz süreksizliğini önlemek için geliştirilmiştir. Ayrıca bu sayısal modülasyon tekniğinin spektrum verimliliği de diğer tekniklere göre oldukça yüksektir (Ertürk, 2005). Bu yüzden uydu haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MSK modülasyon şemasında bir önceki sinyal ile bir sonraki sinyal arasında 90 derecelik bir faz farkı vardır (Subbarayan, 1979). MSK modülasyon tekniği CPFSK (Sürekli Fazlı Frekans Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyon tekniğinin özel bir şeklidir. CPFSK modülasyon tekniğinde modülasyon indeksi  $h=0.5$  olarak alınırsa MSK modülasyon

teknîği gerçekleştirilmiş olur (Proakis and Salehi, 2002). CPFSK tekniği kullanılarak üretilen MSK sinyali için kullanılan genel ifade eşitlik 1’de görüldüğü gibidir (Ertürk, 2005).

$$MSK(t) = \cos 2\pi f_c t + u_k \frac{\pi}{2T} + \varphi_k, kT \leq t \leq (k+1)T \quad (1)$$

Denklem 1’de T bit periyodunu,  $f_c$  taşıyıcı veya merkez frekans  $\varphi_k$  ise faz sabiti olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca  $u_k$  ise olarak ifade edilen iki kutuplu veriyi göstermektedir. Eğer I kanalı ve Q kanalı bitleri aynı işaretli ise -1 değerini, ters işaretli bilgi bitleri için ise +1 değerini almaktadır (Steven and ALEN, 1976). Yani  $u_k$  değeri Denklem 2’de görüldüğü gibi ifade edilmektedir.

$$u_k = -I_k \cdot Q_k \quad (2)$$

MSK sinyalinin parçalı doğrusal faz fonksiyonu ve faz sabiti sırasıyla Denklem 3 ve 4’de verilmektedir.

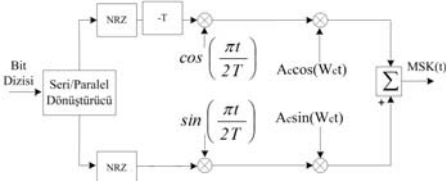
$$\theta(t) = \varphi_k + \left( \frac{\pi u_k}{2T} \right) t \quad (3)$$

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + (u_{k-1} - u_k) \frac{\pi k}{2} \quad (4)$$

Denklem 4-3 ve Denklem 3’den 4’den görüldüğü gibi MSK sinyalinin t anındaki fazı bir önceki faz değerlerine bağlıdır. Dolayısıyla, Denklem 5’de zamana bağlı faz fonksiyonunun genel ifadesi görülmektedir.

$$\theta(t) = \frac{\pi}{2} \sum_{n=-\infty}^{k-1} u_n + \frac{\pi}{2} u_k \frac{t - kT}{T} \quad kT \leq t \leq (k+1)T \quad (5)$$

Denklem 5’den de görüldüğü gibi bir önce MSK sinyallerinin faz değerleri toplanarak t anındaki sinyalin fazı bulunabilmektedir. Geleneksel bir MSK modülatör mimarisi Şekil-1’de görüldüğü gibidir.

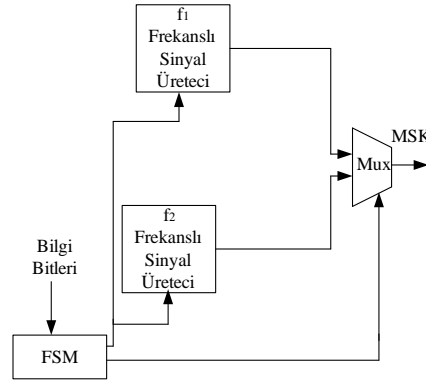


Şekil 1. Geleneksel MSK mimarisi

Geleneksel MSK modülatör mimarisinde görüldüğü gibi seri bağlı iki çarpım bloğundan sonra bir toplam bloğu yardımıyla MSK modülasyonlu sinyal üretilmektedir. Ayrıca '0' bilgi bitinin I veya Q kanalı için çarpım sonucunu '0' yapmasını engellemek için bir adet NRZ (Not Return-to-Zero: Sıfıra Dönmeyen) blok kullanılmıştır. Dolayısıyla birinci çarpım bloğunun girişinde +1 ve -1 değerleri elde edilmiş olmaktadır. Ayrıca geleneksel MSK mimarilerinin en büyük dezavantajlarından birisi de yarım bit periyotluk bekleme süresidir. Bu bekleme süresi I ve Q kanalı sinyallerinin toplama bloğu girişinde senkronizasyonun bozulmasına neden olabilmektedir.

### 3. Önerilen MSK Tekniği

Denklem 2’den görüldüğü gibi MSK sinyalinin frekansı, o andaki bilgi bitlerinin aynı veya farklı olması durumu ile ilgilidir. Eğer bilgi bitleri (I ve Q kanalı biti) aynıysa MSK sinyali frekansı düşük sinyal ile; farklıysa yüksek frekanslı sinyal ile oluşturulur. Ancak MSK sinyali için faz diyagramı incelenirse görülecektir ki gelen bilgi bitlerinin aynı veya farklı olması durumuna göre bir önceki sinyalden 90 derece ileride veya 90 derece geride faz farkına sahip sinyal ile MSK modülasyonlu sinyal oluşturulur.



Şekil 2. Önerilen MSK Modülasyon Tekniği

Şekil-2’de önerilen MSK modülatör mimarisinin blok diyagramı verilmiştir. Önerilen mimariden görüldüğü gibi iki farklı frekansta sinyal üretilmektedir. Farklı frekanslardaki sinyallerden

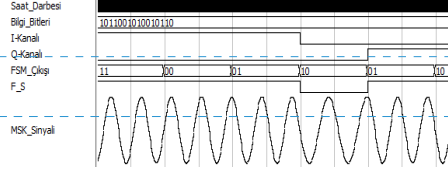
- Biçimlendirilmiş: Alt simge
- Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik
- Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge
- Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik
- Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge
- Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik
- Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

hangisinin MSK modülasyonlu sinyali oluşturacağı ise şekildeki  $Mux$  bloğu yardımıyla gözlenmektedir. Eğer gelen bilgi bitleri aynıysa denklem 2'den  $u_k$  değişkeni -1 oluyorken bilgi bitlerinin farklı olması durumunda ise bu değer +1 olmaktadır. Dolayısıyla  $mux$  bloğunun seçici pinine bağlı olan ve FSM bloğunun çıkışından üretilen bit bu işlemi yapmaktadır. FSM bloğu içerisinde bir  $xor$  kapısı kullanılarak  $mux$  bloğuna giden seçici pin biti elde edilir. Eğer gelen bilgi bitleri aynıysa  $xor$  kapısı çıkışı '0' oluyorken (bu durumda  $u_k$  değişkeni -1 olur), bilgi bitleri farklı olduğunda  $xor$  kapısı çıkışı '1' olmaktadır (bu durumda  $u_k$  değişkeni 1).

Ayrıca  $f_1$  ve  $f_2$  frekanslı sinyallerin üretiminde ise FSM bloğunun çıkışındaki bitlerden faydalanılmaktadır. FSM bloğundan bu iki bloğa giden bitlerin toplam sayısı 2'dir. Bu bitler, FSM bloğuna uygulanan bilgi bitlerinin durumuna göre üretilmektedir. FSM bloğu bir önceki bilgi bitleri için durumunu korumaktadır. Dolayısıyla bir sonraki bilgi bitleri geldiğinde durumunu değiştirerek MSK sinyalinin fazını 90 derece değiştirmektedir. Şekildeki  $f_1$  ve  $f_2$  frekanslı sinyallerin üretimi dört farklı faz durumu için elde edilmiştir.

#### 4. Derleme ve Deneysel Sonuçlar

Önerilen mimari FPGA derleyici Quartus programında tasarlanarak, FPGA donanım kartlarından Altera firmasının ürettiği DE-0 Nano Board üzerinde uygulanmıştır. Uygulama sonuçlarının incelenmesi için 8 bitlik bir DAC elemanına sayısal çıkış sinyali uygulanmıştır. DAC elemanı çıkışı bir osiloskoba bağlanarak bilgi bitlerinin durumu ile MSK sinyalinin durumu izlenmiştir. Ayrıca derleme sonuçlarından geleneksel MSK mimarisine göre daha az kaynak kullandığı görülmüştür. Şekil 3'te FSM-MSK modülör mimarisi için benzetim sonuçları görülmektedir.



Şekil 3. Benzetim sonuçları

Şekil 3'te I kanalı ve Q kanalı bilgi bitlerinin durumuna göre  $FSM\_Çıkışı$  sinyali değişmekte olup sinyalin faz durumunu değiştirmektedir. Şekilden de görüleceği gibi I-Kanalı ve Q-Kanalı bitlerinin aynı olduğu durumlardan yarım bit periyotluk süre sonra MSK sinyalinin fazını belirleyene  $FSM\_Çıkışı$  bir önceki durumuna göre 1 azalmıştır. Bu durum  $FSM\_Çıkışı$  sinyalinin 10'dan 01'e geçişinde örnek olarak verilebilir. Diğer durumlarda ise bilgi bitlerinin farklı olduğu durumlar incelenebilmektedir. Dolayısıyla sinyalin faz durumu  $FSM\_Çıkışı$  sinyalinin Şekil 2'de verilen  $f_1$  ve  $f_2$  frekanslı sinyallerin üretimi için verilen bloklara uygulanması ile belirlenmektedir.  $F_S$  sinyali ise frekans seçimi için kullanılmış olan sinyaldir. Şekilden görüldüğü gibi I-Kanalı ve Q-Kanalı bitleri aynı olduğu anda frekansı düşük olan sinyal aktif ediliyorken farklı olduğu anda frekansı yüksek olan sinyal aktif edilmektedir. Tablo-1'de geleneksel MSK ve FSM MSK modülör mimarileri için kaynak kullanım miktarları verilmektedir.

Tablo-1 MSK Mimarilerinin Kaynak Kullanım Miktarları

Mimariler	TLE	Kay.	Bits	$f$ (MHz)
G-MSK	255	163	10000	106.12
FSM-MSK	203	117	6400	107.61

Tablo-1'den görüldüğü gibi G-MSK (geleneksel MSK) mimarisine göre TLE (toplam lojik eleman) sayısında yaklaşık olarak %21'lik bir tasarruf sağlanıyorken Kay. (Kaydedici) eleman sayısında ise yaklaşık olarak %28'lik bir düşüş sağlanmıştır. Ayrıca Bit kullanımı da yaklaşık olarak %36 civarında düşürülmüşken iki mimarinin de maksimum çalışma frekansları birbirine oldukça

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Aralık Sonra: 0 nk

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

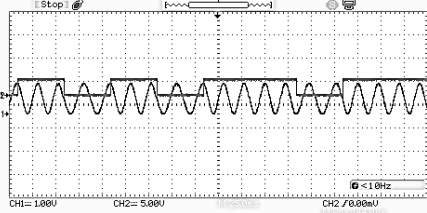
Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

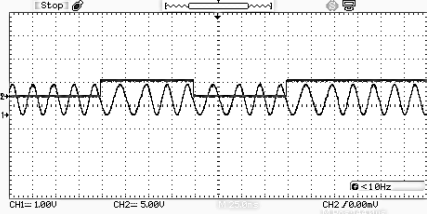
Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik, Alt simge

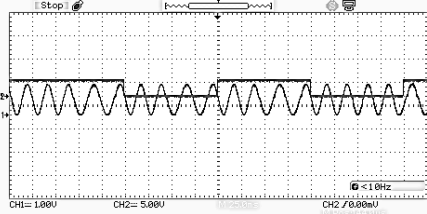
yakındır. Önerilen mimari için osiloskop çıktıları Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verildiği gibidir.



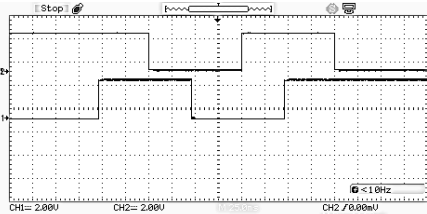
Şekil 4. F-S sinyali ve MSK sinyal



Şekil 5. I kanalı Sinyali ve MSK sinyal



Şekil 6. Q kanalı Biti ve MSK Sinyal



Şekil 7. I Kanalı Biti ve Q Kanalı Biti Değişimi

Şekil 4'te  $F_S$  sinyali ile MSK sinyalinin değişimi verilmektedir. Sinyalin lojik '1' olduğu durumlarda MSK sinyalini frekansı yüksek olan sinyal oluştururken diğer durumda frekansı düşük olan sinyal MSK modülasyonlu sinyali oluşturmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'da ise MSK sinyali ile bilgi bitlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 7'de ise

üstteki sinyal Q kanalı bitini ifade ederken alttaki sinyalde I kanalı bitini göstermektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada geleneksel MSK mimarisine göre daha verimli çalışan bir FSM MSK mimarisi önerilmiştir. Önerilen mimari işlemsel bloklardan arındırıldığı için kaynak kullanım miktarı geleneksel mimariye göre oldukça düşüktür. Ayrıca, önerdiğimiz mimaride MSK sinyalinin gösterimi için kullanılan bit sayısını kullanıcı belirlemektedir. Ancak geleneksel MSK mimarisinde kullanılan toplam ve çarpım blokları çıkıştaki sinyali temsil eden bit sayısını artırmaktadır. Geleneksel MSK mimarisi için bu dezavantaj sistem karmaşıklığını artırarak kaynak kullanımını artırabilirken, bit sayısını düşürmek için kullanılan bölme bloğu maksimum çalışma frekansını düşürebilmektedir. Derleme sonuçlarında önerilen mimarinin ve geleneksel mimarinin kaynak kullanım miktarları verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi önerdiğimiz mimari geleneksel mimariye göre daha üstündür. Geleneksel mimari için darbe biçimlendirme sinyallerinin sadece pozitif alternansları kullanılsaydı ram bit sayısı düşecekti ancak TLE sayısında artış oluşacaktı. İleride yapılacak olan çalışmalarda önerilen mimarinin optik haberleşme sistemlerindeki etkisi izlenebilir. Ayrıca önerilen mimarinin OFDM gibi tekniklere entegre edilerek kaynak kullanımının ve maksimum çalışma frekansının değişimi izlenebilir.

## Kaynaklar

Liu, X., Liang, M., Morton, Y., Closas, P., Zhang, T. ve Hong, Z. (2014). Performance evaluation of MSK and OFDM modulations for future GNSS signals. *The Journal of Global Navigation Satellite Systems*, 18 (2), 163-175.

Liu, H., Liao, R., Wei, Z., Hou, Z. ve Qiao, Y. (2015). BER Analysis of a Hybrid Modulation Scheme Based on PPM and MSK Subcarrier Intensity Modulation. *IEEE Photonics Journal*. 7 (4), 7201510.

Biçimlendirilmiş: Yazı tipi: İtalik

- Cho, H., Kim, H., Kim, M., Jang, J., Lee, Y., Lee, K., Bae, J. ve Yoo, H. J. (2016). A 79 J/b 80 Mb/s Full-Duplex Transceiver and a 42.5 $\mu$ W 100 kb/s Super-Regenerative Transceiver for Body Channel Communication. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 5 (11), 310-317.
- Bohorquez, J. L., Dawson, J. L. ve Chandrakasan, A. P. (2009). A 350 $\mu$ W CMOS MSK transmitter and 400 $\mu$ W OOK Super-Regenerative Receiver for Medical Implant Communications. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 44 (4), 1248-1259.
- Xiangyuan, B. ve Meng, W. (2011). A new modulation implementation method of the CPM Information Technology. *Computer Engineering and Management Sciences Conference* (24-25 Eylül), Nanjing, China, 152-155.
- Xie, W. ve Heng, D. (2013). Design and verification of MSK based on FPGA Measurement. *Information and Control Conference* (16-18 Ağustos), Harbin, China, 486-489.
- Maghawry, A. ve Fikri, M. (2011). FPGA-based Coherent MSK Spread Spectrum Modem for Small Satellites TT&C Transponders. *25th Conference of Small Satellites* (8-11 Ağustos), Logan, USA, 117-125.
- Erdoğan, C., Myderrizi, I. ve Minaei, S. (2012). "FPGA Implementation of BASK-BFSK-BPSK Digital Modulators", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 54 (2), 262-269.
- Ertürk, S. (2005). Sayısal Haberleşme. Birsen Yayınevi, İstanbul, 384s.
- Subbarayan, P., 1979. Minimum Shift Keying: A Spectrally Efficient Modulation, *IEEE communications Magazine*, 17, s. 14-22.
- Proakis, J.G. and Salehi, M., 2002. Communication Systems Engineering, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Printice-Hall.
- Steven A. G. and Alan L. M., 1976. MSK and Offset QPSK Modulation, *IEEE Transactions on Communications*, 24, s. 809-820.