

Simetrik I ve Q Kanalı Sinyalleri Kullanılarak Yeni Bir MSK Mimarisinin Tasarımı

Mehmet Sönmez^{1*}, Ayhan Akbal¹

¹Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23200

*mehmetsonmez@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 16.03.2016; Kabul/Accepted: 01.06.2016)

Özet

Yüksek spektrum verimliliğinden dolayı MSK (Minimum Shift Keying: Minimum Kaydırmalı Anahtarlama) tekniği birçok haberleşme alanında tercih edilen modülasyon tekniklerinden birisi olmuştur. Dolayısıyla bu tekniğin donanımsal uygulamalarında kaynak kullanımının düşürülmesi oldukça önemlidir. Yapılan çalışmada MSK modülasyon tekniği için RAM bit kullanımının düşürülmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. RAM bit kullanımı geleneksel MSK modülasyon tekniğine göre yaklaşık olarak %83 oranında düşürülmüştür. Ayrıca yapılan çalışma Altera DE-0 Nano kart üzerinde uygulanarak gerçek zamanlı deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: FPGA, MSK, Kaynak Kullanımı

Design of A New MSK Architecture Using Symmetrical I And Q Channel Signals

Abstract

Due to its high spectrum efficiency, MSK (Minimum Shift Keying) technique is one of the preferred modulation techniques in many communication fields. Therefore, reducing of resource utilization of the MSK is very important for hardware applications. In this paper, RAM bit utilization of MSK technique is reduced. Compared with conventional MSK, RAM bit utilization is reduced by 83%. Additionally, proposed architecture is implemented on Altera DE-0 Nano Board and experimental results are analyzed.

Keywords: FPGA, MSK, Resource Utilization

1. Giriş

Günümüzde MSK modülasyon tekniği spektral verimliliği nedeniyle OFDM, CDMA ve optik haberleşme gibi sistemlerde yaygın olarak önerilmektedir [1, 2]. Ancak son zamanlarda haberleşme sistemleri için literatürde güç tüketiminin oldukça fazla yer bulması nedeniyle donanımsal tasarımı yapılan modülasyon teknikleri için düşük güç tüketiminin sağlanması oldukça önemlidir [3]. Dolayısıyla MSK modülasyon tekniği için de düşük güçlü CMOS tabanlı donanımsal mimariler önerilmiştir [4].

MSK modülasyon tekniğinin FPGA (Field Programmable Gate Array: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) tabanlı birçok tasarımı mevcuttur [5, 6, 7]. 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 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 [5]. Yapılan çalışmaların bazılarında yazarlar NCO bloğunu tasarlamışlardır. Ancak gerçekleştirilen tasarımlarda faz artış miktarının belirlenmesinde problemler oluşmuştur. Bu problemlerden dolayı NCO bloğu için kullanılan ROM blokları içerisinde aynı örnek defalarca kaydedilmiştir. Dolayısıyla bu durumlarda RAM bit kullanımı oldukça olumsuz bir şekilde etkilenmiştir [6, 7]. 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 [8].

Önerilen algoritma geleneksel MSK mimarisi ile yaklaşık olarak eşit TLE ve

Kaydedici kullanmasına rağmen aynı F_0 (MSK sinyalinin bir periyodunu oluşturan örnek sayısı) değeri için yaklaşık olarak %83 daha az RAM biti kullanılmaktadır. Ayrıca önerilen mimari geleneksel MSK mimarisine göre daha az güç tüketmektedir. Önerilen algoritma ikili modülasyon tekniklerinin üretilmesinde kullanılan mux tabanlı bir mimardır. Önerilen mimaride ayrıca sinyallerin simetriklik özellikleri kullanılarak ROM içerisine kaydedilecek örnek sayısı azaltılmış olup ram bit kullanımı düşürülmüştür.

2. MSK Modülatör Mimarisi

MSK modülasyon tekniği bant genişliği verimliliğini artırmak için önerilen bir tekniktir [9]. Ayrıca bu teknik iki farklı frekanslı sinyalin değişiminden oluştuğu için frekans kaydırmalı anahtarlamayla benzer özellikler göstermektedir. Ayrıca bu teknik faz kaydırmalı anahtarlamalı sinyallerdeki faz süreksizliğini gidermektedir. Bu teknikte bir önceki sinyal ile bir sonraki sinyal arasında 90 derecelik faz farkı vardır. Bir MSK sinyalinin matematiksel eşitliği Denklem-1'de verildiği gibidir.

$$MSK(t) = \cos\left(2\pi f_c t + u_k \frac{\pi t}{2T} + \varphi_k\right) \quad (1)$$

$kT \leq t \leq (k+1)T$ aralığında

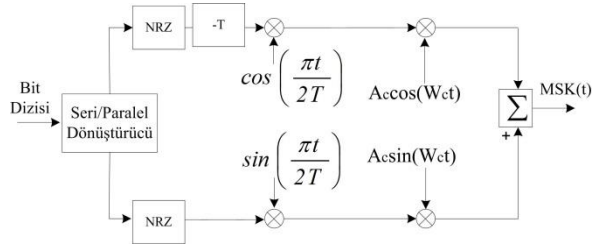
Denklem 1'de T bit periyodunu, f_c taşıyıcı veya merkez frekans φ_k ise faz sabiti olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca u_k ise olarak ifade edilen iki kutuplu veriyi göstermektedir. Eğer I kanalı ve Q kanalı bitleri aynı işaretli ise -1 değerini, ters işaretli bilgi bitleri için ise +1 değerini almaktadır. Yani u_k değeri Denklem 2'de görüldüğü gibi ifade edilmektedir.

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

MSK modülasyonlu sinyali ifade eden Denklem 1 farklı bir şekilde de ifade edilebilmektedir. MSK sinyalinin zamana göre değişimini veren diğer bir ifade de Denklem 3'de verilmiştir.

$$MSK(t) = I_k(t) \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t) + Q_k(t) \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin(2\pi f_c t) \quad (3)$$

Denklem 3'de verilen ifadeden yola çıkarak geleneksel MSK modülasyon tekniği için bir blok diyagram Şekil 1'de görüldüğü gibi verilmektedir.



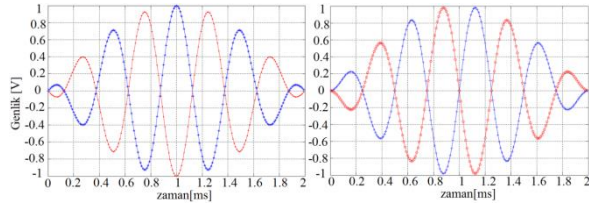
Şekil 1. Geleneksel MSK mimarisi

Şekilde görülen NRZ blokları gelen bilgi sinyalinin ± 1 olarak kodlanması için kullanılmıştır. Eğer bu blok kullanılsaydı '0' bilgi sembolü için I veya Q kanalından alınan sinyaller '0' olurdu. Şekilden görüldüğü gibi ayrıca I ve Q kanalı arasında gecikme mevcuttur.

3. Önerilen MSK Modülatör Mimarisi

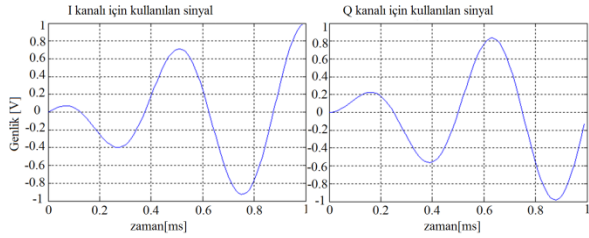
Bu bölümde MSK modülatör mimarisinin ram bit kullanım miktarını düşürmek için farklı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem I düğümü ve Q düğümü sinyallerinin simetrik özelliğinden faydalanılarak geliştirilmiştir. Şekil-2 incelenirse I kanalında görülen mavi ve kırmızı renkli sinyaller x-eksenine göre birbirleriyle simetriklerdir. Ayrıca hem mavi sinyal hem de kırmızı sinyal y-eksenine göre simetriklerdir. Dolayısıyla sinyallerin simetriklik özelliği kullanılarak hem birbirlerinin üretimi sağlanabilir hem de yarım periyotluk kısımdan diğer yarım periyotluk kısmın üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekildeki kullanım ise ram bit kullanımını yaklaşık olarak %75 oranında düşürecektir. Q düğümü sinyalleri ise x-ekseni referans alınırsa birbirlerine göre simetriklerdir. Ancak bu sinyallerin ilk yarım periyotluk kısmıyla ikinci yarım periyotluk kısmı ise orijine göre simetriklerdir. Q kanalı için de aynı tekniğin uygulanması sonucunda önerilen MSK modülasyonu ram bit kullanımı büyük

ölçüde düşürülecektir. Ancak sistem karmaşıklığı bu durumda artacaktır.



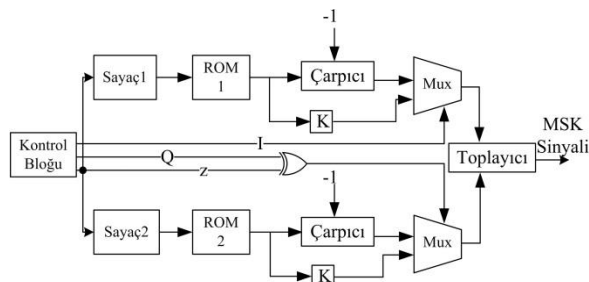
Şekil 2. I ve Q düğümü sinyalleri

Önerilen MSK modülör mimarisinde kullanılan rom bloklarında saklanan örnekler Şekil 3'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3. I ve Q kanalı için kullanılan sinyaller

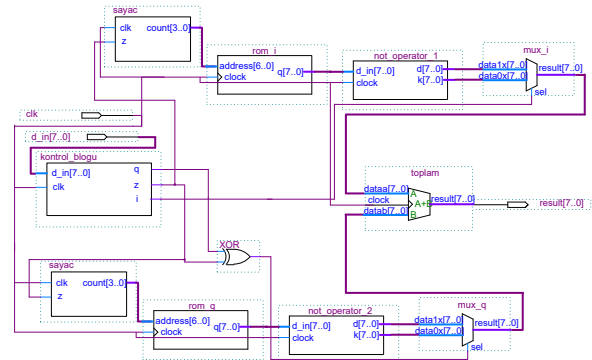
Şekil 3'de görülen I kanalı ve Q kanalı sinyalleri kullanılarak negatif alternanstaki ve diğer yarım periyottaki sinyaller üretilebilmektedir. Şekil 2 incelenirse ram bit kullanımının %75 oranında azaldığı görülmektedir çünkü Şekil 1'de görülen sinyallerin oluşumu için kullanılacak örnek sayısı, mavi ve kırmızı renkteki sinyallerin 1/4'i oranındadır (aynı frekanstaki sinyallerin örnekleme frekanslarının eşit olması şartıyla). MSK modülör mimarisi için önerilen blok diyagram Şekil 4'de verilmiştir.



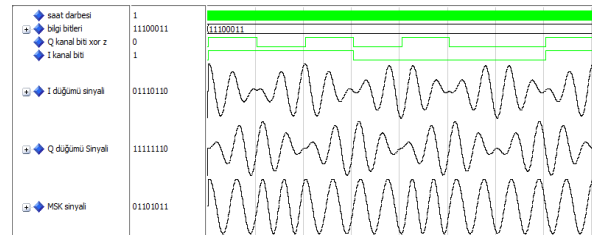
Şekil 4. I ve Q kanalı için kullanılan sinyaller

Şekil 4'de K (kaydedici) bloğu senkronizasyonun sağlanması için kullanılmıştır. Bu blok sayesinde rom çıkışındaki veri ile çarpım bloğu çıkışındaki veri eş zamanlı olarak mux

bloğuna uygulanır. Şekil 2'de I kanalı sinyalleri (mavi ve kırmızı sinyal) 0.1us süresinden sonra işaret değiştirmeden örneklerinin genlik değeri azalarak devam etmektedir. Çünkü bu iki sinyalin de 0us-0.1us aralığındaki örnek değerleri ile 0.1us-0.2us aralığındaki örnek değerleri y-eksenine göre simetriktir. Dolayısıyla sayaç değeri 0.1us den sonra azaltılırsa rom içerisinde en büyük değerlikteki adresten en küçük değerlikteki adrese doğru saklanan örnekler çıkışa aktarılacaktır ve mux bloğunun seçici pinini değiştirmeye gerek yoktur. Ancak Q kanalı için bu durum farklı bir şekilde gerçekleşir. Q kanalındaki sinyaller orijine göre simetrik olduklarından dolayı tam 0.1us anında negatif örnekten pozitif örneğe geçiş vardır. Dolayısıyla hem sayaç değeri azaltılmalı hem de mux bloğunun seçici pin değeri değiştirilmelidir ki farklı işaretli örnek 0.1us anından sonra toplayıcı girişine uygulanabilsin. Bu problemi çözebilmek için z olarak ifade edilen bir bit Q kanalından iletilen bit ile xor işleminden geçirilmiştir. Bu sayede Q bit değeri değişmeden mux bloğunun seçici pinindeki değer değişecektir ve mux diğer girişindeki sinyali çıkışa aktaracaktır. Şekil 5'de MSK modülör mimarisi için FPGA tabanlı tasarım görülmektedir. Şekil 6'da ise bu mimariye ilişkin benzetim sonuçları verilmiştir.



Şekil 5. Önerilen MSK modülör mimarisi-II'nin FPGA tabanlı tasarım



Şekil 6. Önerilen MSK modülör mimarisi II için benzetim sonuçları

Şekil 6’da görüldüğü gibi Q kanal biti ve z biti olarak ifade edilen iki bitlik çıkış pininin ilk biti sürekli bir biçimde 0-1-0-1-0 olarak değişmektedir. Bu bit z biti olup diğer bit Q kanalı bilgi bitidir. Ancak kullanılan I ve Q bilgi bitleri kodlanmıştır. Yani önerilen MSK modülasyonu için I kanalının ve Q kanalının ikinci bitleri not işleminden geçirilmiştir. Sonuç olarak z biti ile xor işleminden geçirilen bit kodlanmış Q kanal bitidir.

4. Önerilen MSK Modülatör Mimarisi için Derleme Sonuçları ve Deneysel Sonuçlar

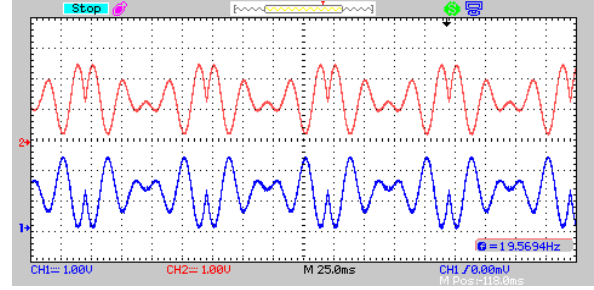
Önerilen yöntemin uygulanması Altera Firmasının üretmiş olduğu EP4CE22F17C6 cihazında gerçekleştirilmiş olup bu kart için derleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca derleme sonuçları Tablo-1’de verilmiştir.

Tablo 1. Geleneksel ve Önerilen MSK mimarilerinin derleme sonuçları

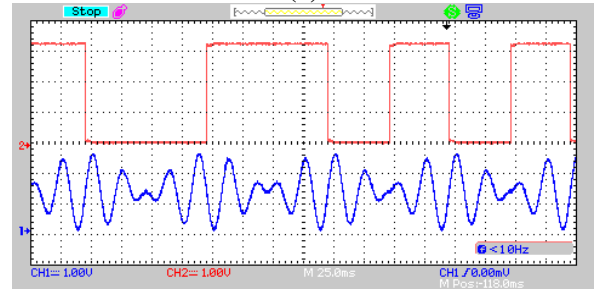
Mimari	TLE	Kaydedici	RAM bit	Çarpıcı	f (MHz)	P_{toplam} [mW]
Ö-MSK	259	152	2016	-	101.58	117
G-MSK	255	163	12070	2	106.12	135

Derleme sonuçlarından görüldüğü gibi iki mimari için de TLE ve kaydedici kullanımları yaklaşık olarak eşittir. Ayrıca MSK sinyalinin bir periyodunu oluşturan örnek sayısı da her iki mimaride 72 olarak seçilmiş olup mimarilerin maksimum çalışma frekansları (f) da yaklaşık olarak eşittir. Ancak RAM bit miktarı ve güç tüketimi açısından Önerilen MSK (Ö-MSK), Geleneksel MSK (G-MSK) mimarisine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Dolayısıyla önerilen yöntem gerçek zamanlı FPGA donanımı üzerinde uygulanmıştır. Osiloskop çıktılarından sonuçların benzetim sonuçları ile benzer olduğu görülmüştür. Eğer geleneksel mimari için darbe biçimlendirme sinyallerinin sadece pozitif

alternansları kullanılmış olsaydı RAM bit kullanımı düşecek ve TLE sayısında da artış oluşacaktı.



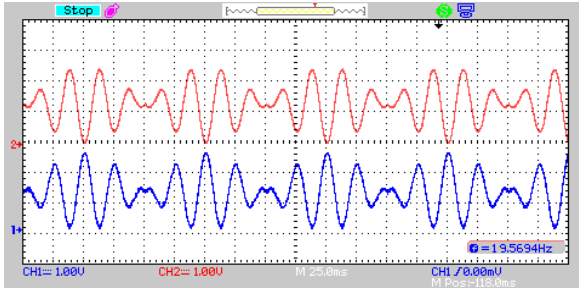
(a)



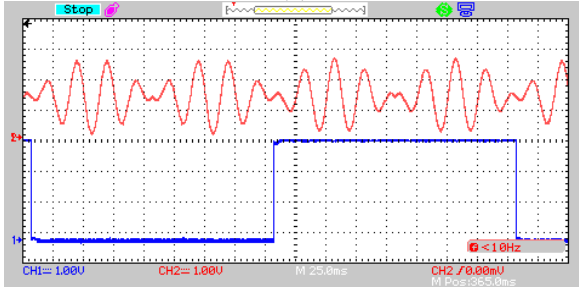
(b)

Şekil 7 (a). Q kanalı mux bloğunun sıfıncı (kırmızı renkli) ve birinci (mavi renkli) girişlerinin çıkışları
(b). Q kanalı mux bloğu çıkışı ile mux bloğunun seçici pin giriş sinyali

Şekil 7 (a) ve (b)’de görülen ölçüm sonuçları, Q kanalı sinyalinin üretimi için kullanılan mux bloğunun çıkış sinyalini ve mux bloğu giriş sinyallerini göstermektedir. Şekil 7 (b)’de görüldüğü gibi kırmızı renkli seçici pin girişi ‘1’ olduğunda 7 (a)’da verilen kırmızı renkli sinyal mux bloğu çıkışında aktif edilirken pin girişi ‘0’ olduğunda mavi renkli sinyal mux bloğu çıkışından aktif edilmektedir. Önerilen MSK modülatör mimarisi incelendiğinde görülecektir ki kodlanmış Q kanalı bilgi biti ile z kontrol biti xor kapısından geçirilmektedir. Şekil 7 (b)’de görülen kırmızı renkli sinyal xor kapısı çıkışında elde edilen sinyaldir. Kontrol biti sayesinde yarım bit periyodu süresince Şekil 7 (a)’da verilen mavi renkli sinyal mux çıkışına aktarılırken diğer yarım bit periyodunda kırmızı renkli sinyal mux çıkışına aktarılmaktadır.



(a)

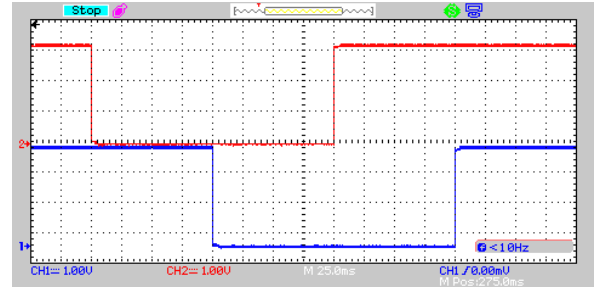


(b)

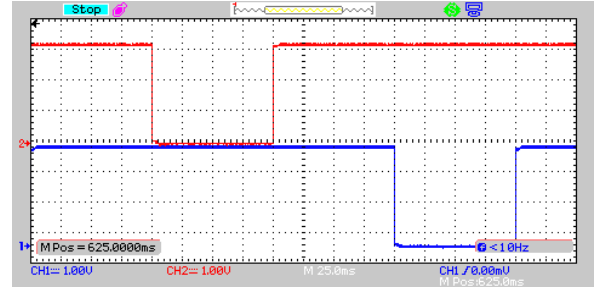
Şekil 8 (a). I kanalı mux bloğu girişleri, **(b)** I kanalı mux çıkışı ile mux bloğunun seçici pin girişi

Şekil 8 (a)'da mavi renkli sinyal I kanalında kullanılan mux bloğunun bir numaralı veri girişini ifade ediyorken kırmızı renkli sinyal sıfır numaralı veri girişini göstermektedir. Ayrıca Şekil 8 (b)'de görülen ölçüm sonucunda mavi renkli sinyal I kanalı kodlanmış veri bitini ifade etmektedir (çift veri bitlerinin terslenmiş hali). Şekil 8 (a) ve Şekil 8 (b)'den görüldüğü gibi kodlanmış I kanalı biti lojik '0' olduğunda mux bloğunun sıfır numaralı veri girişi (Şekil 8 (a)'da kırmızı renkli sinyal) aktif oluyorken, I kanalı biti '1' olduğunda bir numaralı veri girişi (Şekil a'da mavi renkli sinyal) aktif olmaktadır. Dolayısıyla Şekil 7 (a)-(b) ve Şekil 8 (a)-(b), I kanalından ve Q kanalından (bir önceki bölümde I kanalı düğümü ve Q kanalı düğümü sinyalleri olarak ifade edilmiştir) toplama bloğuna uygulanacak sinyallerin üretimini göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi I kanalı ve Q kanalı bitlerinin çift bitleri not işleminden geçirilmiştir. Bu durum Şekil 9'da I kanalı ve Q kanalı bitler için verilmektedir.

Bit ayırıcı bloğunun çıkışından alınan I kanalı ve Q kanalı bitleri not işleminden geçirilen bitler olduğundan çalışmada not işleminden geçirilmiş I kanalı ve Q kanalı bitlerinin değişimi ile MSK sinyalinin değişimi verilmiştir. Şekil 10'da kodlanmış I kanalı ve Q kanalı bitlerinin MSK sinyaline göre değişimi verilmektedir.

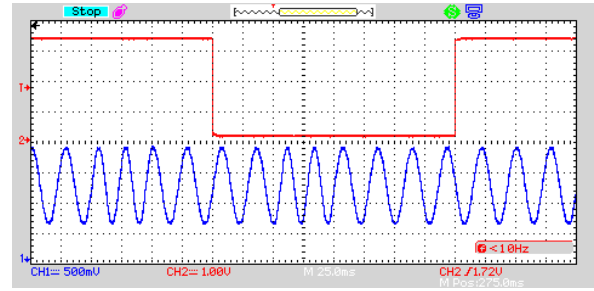


(a)

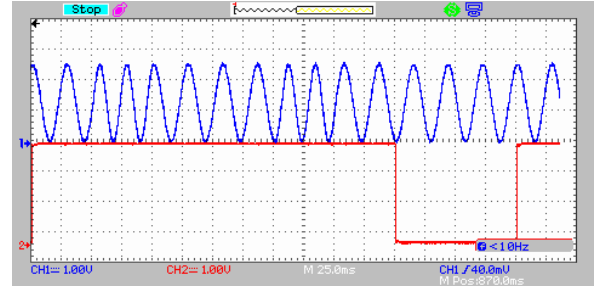


(b)

Şekil 9 (a) I veri biti (kırmızı) ile kodlanmış I kanal biti (mavi), **(b)** Q veri biti (kırmızı) ile kodlanmış Q kanal biti (mavi)



(a)



(b)

Şekil 10 (a) Kodlanmış I kanalı biti ile MSK sinyal. **(b)** Kodlanmış Q kanalı biti ile MSK Sinyal

Şekil 9 (a), Şekil 9 (b) ve Şekil 10'da verilen osiloskop çıktıları I kanalı veri bitini, I kanalı kodlanmış bitini, Q kanalı veri bitini, Q kanalı kodlanmış veri bitini, ve MSK sinyalini göstermektedir.

5. Sonuç

Yapılan çalışmada MSK modülasyon tekniği için yeni bir mimari önerilmiştir. Önerilen mimari, I ve Q kanalı sinyallerinin simetrik özelliklerinden faydalanılarak sinyallerin tamamının ROM bloklarına kaydedilmesi yerine belirli bir kısmının kaydedilmesi ile elde edilmiştir. Bu sayede kullanılan RAM bit miktarı yaklaşık olarak %83 oranında düşürülmüştür. Ayrıca geleneksel MSK mimarisine göre güç tüketimi de düşürülerek daha az güç kullanan bir MSK mimarisi önerilmiştir. Ayrıca önerilen mimarinin gerçek zamanlı çalışması FPGA kartı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

6. Kaynaklar

1. 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.
2. 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.
3. 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 μ W 100 kb/s Super-Regenerative Transceiver for Body Channel Communication. *IEEE J. Solid-State Circuits*, **5** (11), 310-317.
4. Bohorquez, J. L., Dawson, J. L. ve Chandrakasan, A. P. (2009). A 350 μ W CMOS MSK transmitter and 400 μ W OOK Super-Regenerative Receiver for Medical Implant Communications. *IEEE J. Solid-State Circuits*, **44** (4), 1248-1259.
5. 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.
- K 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.
7. 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.
8. 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.
9. S. Ertürk. (2005). *Sayısal Haberleşme*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 384s.