

# AMIS 0.5 $\mu$ Teknolojisiyle Digital Ayarlı Düşük Frekanslı Osilatör

## A Digital Tuning Low Frequency Oscillator with AMIS 0.5 $\mu$ Process Technology

Fırat Kumru<sup>1</sup>, Mutlu Avcı<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
fkumru@cu.edu.tr<sup>1</sup>, mavci@cu.edu.tr<sup>2</sup>

### Özet

*Bu çalışmada, denizaltı haberleşme uygulamaları için düşük frekanslı 4-bit sayısal kontrollü osilatör tasarlanmış, AMIS 0.5 $\mu$  CMOS üretim teknolojisi parametreleri kullanılarak SPICE ortamında benzetime tabi tutulmuştur. Birkaç Hertz frekanslı kare dalga işaretleri elde edilmiştir. Tasarım benzetimleri verilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.*

### Abstract

*In this work, for the submarine communication, low frequency 4-bit digital controlled oscillator is designed. AMIS 0.5 $\mu$  CMOS process technology parameters are used and the design is simulated in SPICE environment A few Hertz square wave signal is obtained. The simulation results are given and concluded.*

### 1. Giriş

CMOS entegre devre uygulamaları, elektroniğin ilerlediği her alanda yaygınlaşmıştır. Entegre devrelerin ve tümleşik sistemlerin en önemli parçalarından birisi osilatör devreleridir [1]. Osilatör devreleri, çok düşük frekanslardan, Giga Hertz düzeyindeki aralıklarda, farklı tiplerde geniş bir uygulama alanına sahiptir [2]. Ayarlanabilir gerilim ve frekans çıkışlı osilatörler kontrol edilebilirliklerinden, sabit gerilim ve frekans çıkışlılara göre daha yaygın uygulama alanına sahiptir. Gerilim kontrollü osilatör devreleri, kontrol gerilimine bağlı olarak farklı frekanslarda çıkış işareti üreten elektronik devrelerdir. Çıkış frekansı, kontrol gerilimi ile doğrusal olarak değişen osilatör devreleri, ideal gerilim kontrollü osilatör devreleridir [1].

Osilatör devreleri, kapasitörler ya da benzer yük depolayıcı elemanları içerirler. Depolama elemanı ya da kapasitördeki gerilim, şarj ve deşarj olarak değişir. Bu değişim istenilen osilasyonu oluşturur. Çıkış sinyali kapasitörün deşarj süresinin değişimi ile şekillenir. Değişken frekanslı osilatörler, iletişim sistemlerinde Faz Kilitli Döngülerinde (PLL) veya ara frekans sentezleyici gibi sinyal üretici bloklar olarak kullanılırlar [3]. Yüksek frekanslı osilatörler, iletişim vericileri ve alıcılarında, çevre şartlarından doğacak gürültü sinyallerine daha duyarlı oldukları için daha yaygındırlar. Aşırı Düşük Frekanslı (ELF) osilatörler ise denizaltı iletişim

uygulamalarında ve biyomedikal uygulamalarda kullanılırlar.

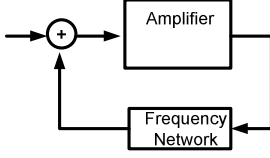
1990'lı yıllardan itibaren uzaktan algılama araştırmaları ivmelenmiştir [4]. Kullanılan teknik, güçlü bir verici anten vasıtasıyla yayılan 3Hz-100kHz aralığındaki düşük frekanstaki sinyaller ile veri iletimi yapmaktadır. Düşük frekansların okyanuslarda uzak mesafelere kadar ulaşması, yayılım zayıflamasının düşük olması, yüksek frekanslara oranla ionosferik dağılıma daha iyi kararlılık göstermesi düşük frekansların bazı alanlarda avantajları olarak sayılabilir [4]. Biyomedikal araştırmalarında tümör büyümelerinin düşük frekans tetiklemeleriyle oluşan manyetik alan ile engel olunabilmektedir. Bir uygulamada 0.16-1.34 Hz ELF tetiklemeli manyetik alan bir fareye uygulandığında tümörün büyümesinin önlendiği bilgisi verilmiştir [5].

Bu çalışmada, bir Schmidt tetikleyici tabanlı osilatör devresi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devrenin kontrol gerilimi ve çıkış karakteristiği gösterilmiştir. Tam olarak 1 Hz'lik salınım elde etmek için sayısal kontrollü bir devre sentezlenmiş ve üretimde meydana gelecek imalat hatalarının neden olacağı frekans kaymaları sayısal kontrol ünitesi ile giderilmeye çalışılmıştır. Bu işlem için gerilim kontrollü osilatör devresine bir sayısal-analog çevirici devre eklenmiştir. Osilatör devresinin gerilim kontrollü analog kısmı ile sayısal kontrol devreli tamamı ayrı ayrı ve tümleşik benzetime tabi tutulmuştur. Simülasyonlar AMIS 0.5 $\mu$  üretim teknolojisi parametreleri kullanılarak SPICE ortamında yapılmıştır. Sonuçlar grafikleri verilmiş, tasarımın üretilebilirliği yorumlanmıştır.

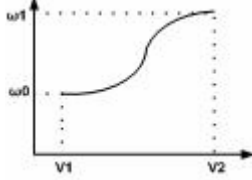
### 2. Osilatör Devresi

Bağımsız osilatörler hiç bir giriş olmadan salınımlar yapan devrelerdir. Osilatörün çalışma prensibi, devrenin transfer fonksiyonunun köklerine bağlıdır. Basit devre yapısı, pozitif ileri beslemeli bir döngüye bağlı gecikme frekans seçici bölüm içeren dijital eleman ya da yükseltici içermektedir [6]. Şekil 1 de böyle bir yapı görülmektedir.

Birçok uygulamada, osilatörlerin çıkış frekansları, kontrol geriliminin fonksiyonu olarak değişir [3]. Gerçek gerilim kontrollü osilatör karakteristiği tipik olarak, orta aralıkta yüksek kazanç, uç aralıklarda ise düşük kazanç sağlayan bir yapı göstermektedir [3].

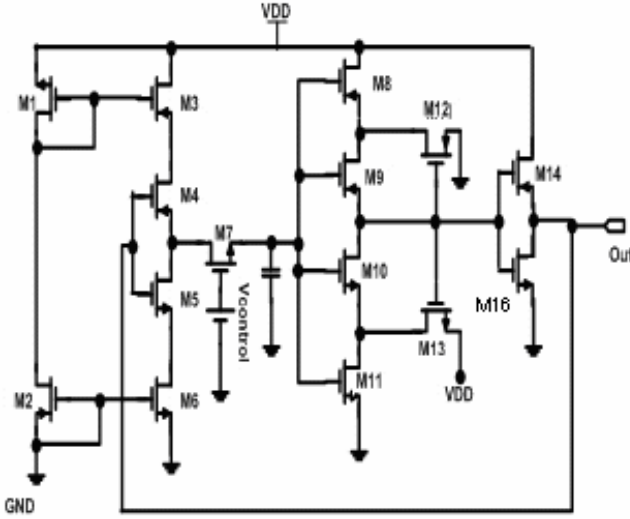


Şekil 1: Osilatör Yapısı



Şekil 2: Gerilim Kontrollü Osilatörün Lineer Olmayan Karakteristiği

Bu çalışmada Şekil 3’ te görülen Schmidt tetikleyici tabanlı osilatör devre yapısı tasarlanmıştır. Şekil 3’teki osilatör başlıca PTAT tipi akım aynaları, kapasitör şarj ve deşarj için kullanılan M4 ve M5 transistörleri, M7 frekans kontrol transistörü dışında Schmidt tetikleyici kısım ve evirici kısımdan oluşmaktadır. Çıkış işaretinin dalga şeklini şarj ve deşarj sürelerine göre düzenleyen kapasitörden önce bir NMOS transistör kontrol gerilimi ile birlikte devreye eklenmiştir. Bu kontrol gerilimi M7 transistörünün iletim karakteristiğini değiştirerek kapasitörün şarj ve deşarj akımlarını kontrol etmektedir.



Şekil 3: Gerilim Kontrollü Osilatör

Şekildeki M3 ve M6 transistörleri M1 ve M2 deki akımları aynalayarak akım kaynağı olarak davranırlar. Osilatörün çıkış gerilimi düşükken M4 iletimde, M5 kesimdedir. Bu olay M3 vasıtasıyla kapasitörü şarj etmek için sabit bir akım geçişini sağlar. Kapasitör, üst anahtarlama gerilimine,  $V_{SPH}$  ulaştığında, Schmidt tetikleyici çıkışı düşük seviyeye döner. Bu durum osilatörün çıkışını yükseltir ve kapasitörün M6 üzerinden deşarj olmasına neden olur.

Kapasitör en düşük alt anahtarlama gerilimine,  $V_{SPL}$ , ulaştığında, schmidt tetikleyici durum değiştirir. Bu olaylar

seri şekilde devam ederek, osilatörün dalga işareti üretmesine sebep olur.

Eğer M6 ve M3 transistörlerindeki akımı  $I_{D6}$  ve  $I_{D3}$  olarak adlandırsak, kapasitörün şarj ve deşarj sürelerini belirleyebiliriz. Kapasitörün,  $V_{SPL}$  geriliminden  $V_{SPH}$  gerilimine şarj olmasında geçen süre,

$$t_1 = C \frac{V_{SPH} - V_{SPL}}{I_{D3}} \quad (1)$$

ve  $V_{SPH}$  geriliminden  $V_{SPL}$  gerilimine deşarj olurken geçen süre,

$$t_2 = C \frac{V_{SPH} - V_{SPL}}{I_{D6}} \quad (2)$$

şeklinde dir.

Osilasyon frekansının periyodu  $t_1$  ve  $t_2$  sürelerinin toplamıdır. Bu tip osilatör, gerilim kontrollü osilatör (VCO) olarak adlandırılır, çıkış frekansı harici bir gerilim kaynağı ile kontrol edilir.

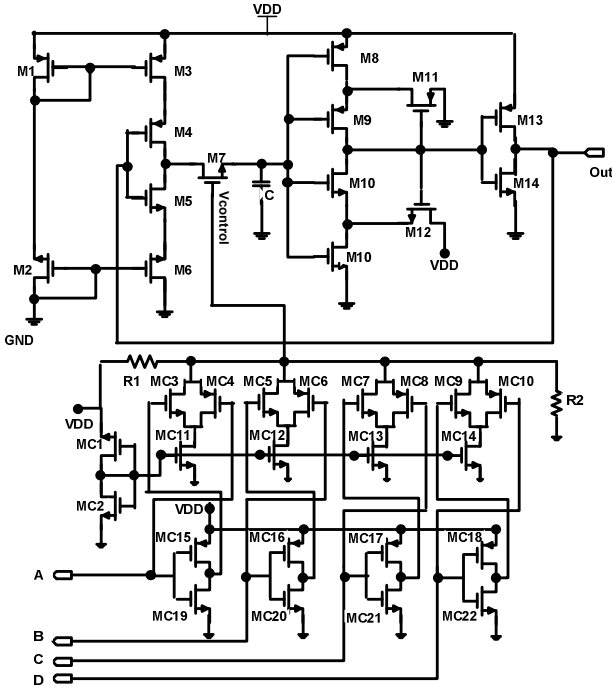
Şekil 3’ teki ek M7 transistörü, kapasitörün şarj ve deşarj akımını direk olarak etkilemektedir. İmalat işlemi için bu kontrol kısmı gereklidir. Bu devrenin üretiminden sonra, uyum etkileri, litografı hataları, iyon katkısı kusurları ve buna benzer MOS tasarım hatalarından dolayı, devre tam istenilen frekansta çalışmayabilir. Bu hataların etkilerini azaltmak için iki yol vardır. Birincisi devreyi hassas ayarlanabilir yapmaktır. Şekil 3’te  $V_{control}$  olarak adlandırılan kısım bunu sağlamaktadır. Böylece üretim hatalarından kaynaklanan bazı frekans sapmaları bu şekilde ayarlanarak ortadan kaldırılabilir. Bir diğer yol ise, osilatörü sayısal-analog çevirici kullanarak kontrol etmektir. Bu yapıda dijital girişler tümleşik devrenin dışından uygulanır.

Bu yaklaşımın avantajı, dijital tümleşik devrelerin analoglara, göre gürültü ve duyarlılık bakımından olan duraganlıklarıdır. Tek dezavantajı ise tümleşik devre için fazla silikon alanının tüketimidir.

Şekil 3 teki osilatör devrede yer alan transistörlerin parametreleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Transistör	W	L
M1	0.6	24
M2	0.6	9,6
M3	0.6	24
M4	0.6	24
M5	0.6	9,6
M6	0.6	9,6
M7	0.6	9,6
M8	0.6	5,4
M9	0.6	5,4
M10	0.6	1,8
M11	0.6	1,8
M12	0.6	5,4
M13	0.6	1,8
M14	0.6	3
M16	0.6	9,6

Tablo 1: Gerilim Kontrollü Osilatördeki transistör Parametreleri



Şekil 4: Dijital Ayarlanabilir Düşük Frekanslı Osilatör

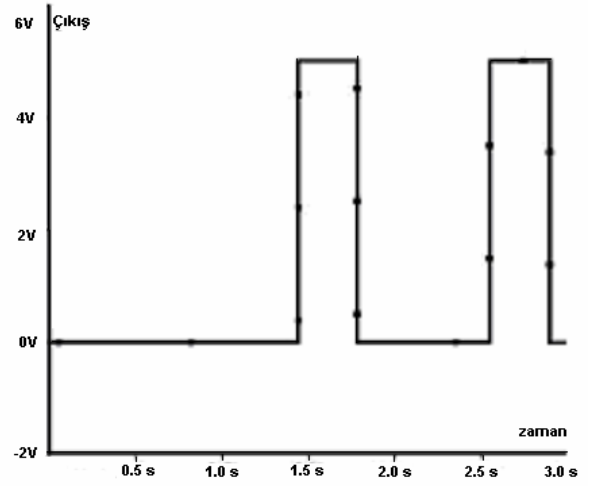
Şekil 4’ te, Şekil 3’teki osilatör devresinin sayısal olarak geliştirilmiş hali yer almaktadır. Osilatörün istenilen aralıkta çalışabilmesi için 4 bit sayısal-analoga çevirici yeterlidir. Sayısal ayarlanabilir osilatörün gerçekleşmesinde, istenilen uygulamalar için 1 Hz- 5 Hz lik frekans çıkışı 2-4 Volt arası kontrol gerilimi uygulanarak elde edilmiştir. Sayısal-analoga çeviricinin çözünürlüğü aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Çözünürlük} = \frac{2}{2^4 - 1} \quad (3)$$

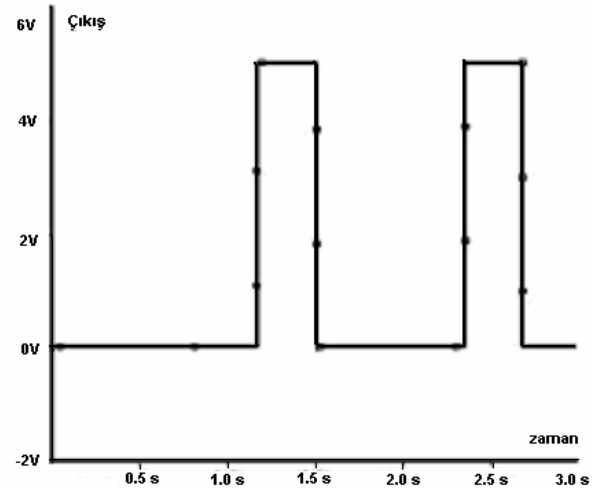
Bu formül ile hesaplanan çözünürlük yaklaşık olarak 133 mV’luk adımlara sahiptir. Daha hassas uygulamalar için 8-bit veya daha fazla çözünürlükte sayısal-analoga dönüştürücü devre seçimleri tercih edilebilir.

### 3. Osilatör Devre Benzetimleri

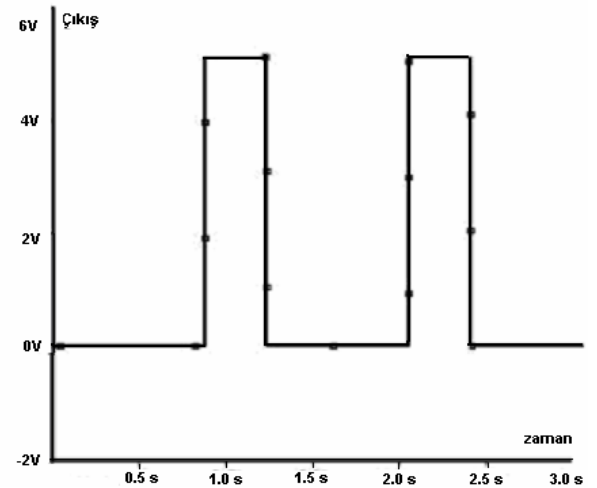
Şekil 3 ve Şekil 4’teki devreler SPICE ortamında AMIS 0.5µ parametreleri ile benzetime tabi tutulmuş olup, zamana bağlı çıkış grafikleri Şekil 3’teki devre için Şekil 5, 6, 7, 8, 9, 10’da verilmiştir. Şekil 11 ise kontrol gerilimi ile frekansın değişimi grafiğidir. Şekil 4’teki devre için ise Şekil 12, 13, 14’teki zamana bağlı çıkış grafikleri verilmiş, Şekil 15’te ise bu devrenin sayısal kontrol ile frekans değişimi gösterilmiştir.



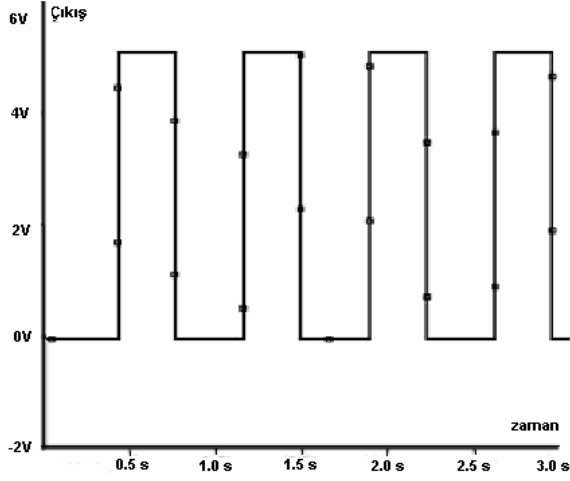
Şekil 5: Çıkış Karakteristiği, Vcontrol=0V



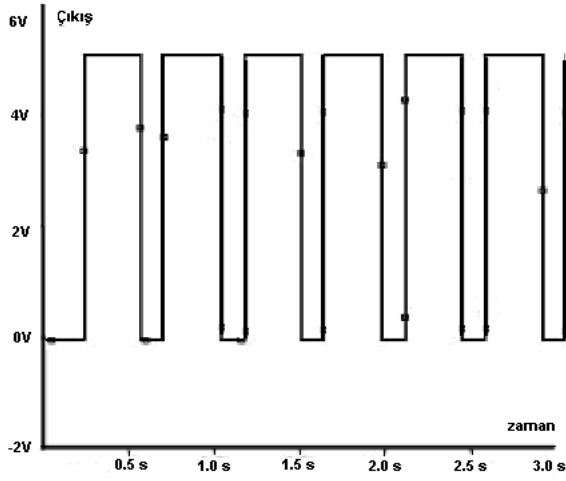
Şekil 6: Çıkış Karakteristiği, Vcontrol=1V



Şekil 7: Çıkış Karakteristiği, Vcontrol= 2V

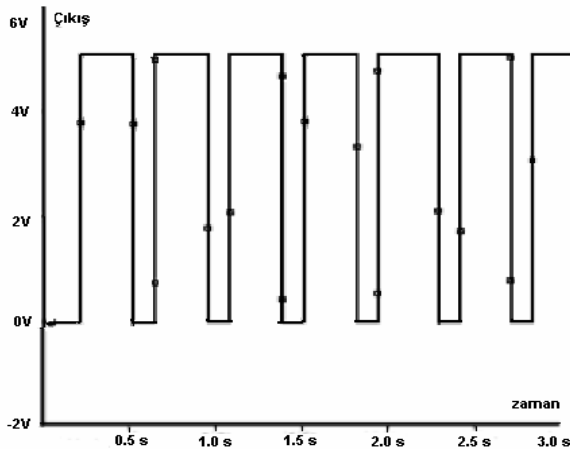


Şekil 8: Çıkış Karakteristiği,  $V_{control}=3V$



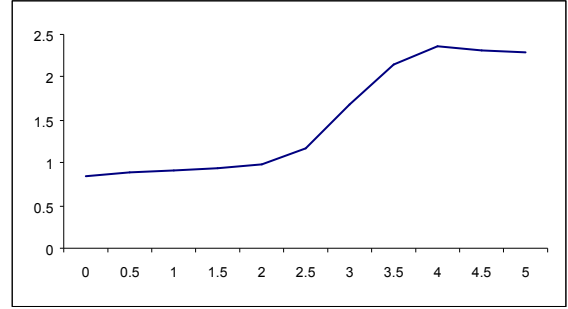
Şekil 9: Çıkış Karakteristiği,  $V_{control}=4V$

Şekil 5.,6.,7.,8.,9. ve 10' da kontrol gerilim değerleri 0 Volttan 5 Volta kadar 1' er Voltluk adımlarla değiştirilerek, çıkış karakteristikleri elde edilmiştir.



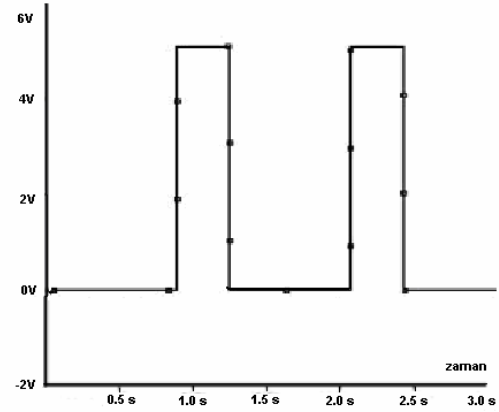
Şekil 10: Çıkış Karakteristiği,  $V_{control}=5V$

Şekil 3' teki gerilim kontrollü osilatörün doğrusal olmayan kontrol karakteristiği şekil 11' de görülmektedir.

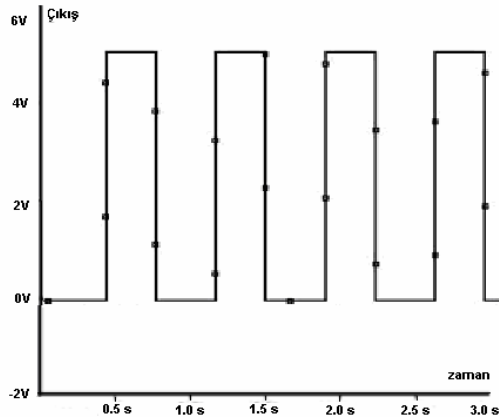


Şekil 11: Devrenin kontrol karakteristiği

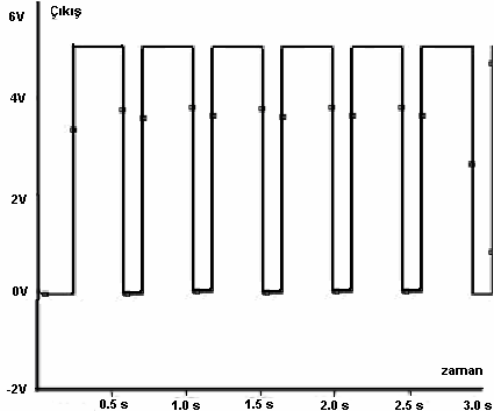
Şekil 4' teki sayısal kontrollü osilatörün çıkış sinyallerinin benzetimlerinde 2V, 3V ve 4V'a en yakın çözünürlükteki ayırık gerilim değerleri kontrol gerilimleri olarak uygulanmıştır.



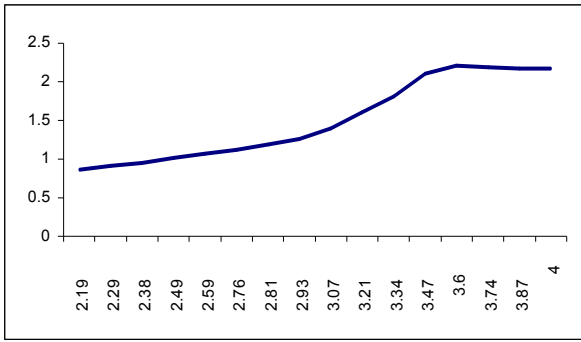
Şekil 12:  $A=0, B=0, C=0$  ve  $D=0$  iken M7 transistöründeki gerilim 2.16 voltken Çıkış Karakteristiği



Şekil 13:  $A=5 V, B=0, C=0$  ve  $D=0$  iken M7 transistöründeki gerilim 3.072 voltken, çıkış karakteristiği



Şekil 14: A=5 V,B=5 V,C=5 V ve D=5 V iken M7 transistöründeki gerilim 4 voltken, çıkış karakteristiği



Şekil 15: Dijital kontrollü osilatör devresinin kontrol çıkış karakteristiği

#### 4. Sonuç

Amaçlanan 1 Hz ve civarında frekans elde ederek ELF devresi veya tümörü engelleyici biyomedikal sistemlerde kullanılabilen bir osilatör tasarlanmıştır. Bazı üretim hatalarından kaynaklanan frekans sapmalarını engellemek için gerilim kontrol kısmı sayısal olarak tasarlanmıştır. Sayısal kontrollü sistemin çıkış karakteristiğinin analoga göre daha kararlı olduğu görülmüştür. Analog gerilim kontrollü osilatörün 2.7 V ile 3.8 V aralığında kararlı çalıştığı tespit edilmiştir. Eklenen sayısal kontrol devresinin analog osilatörü daha hassas kalibreye sahip kıldığı gözlenmiştir. İstenen amaca göre tasarlanacak daha yüksek çözünürlüklü bir sayısal analog dönüştürücü kontrol hassaslığını arttıracaktır. Bu çalışma geliştirilerek daha geniş bir frekans aralığına sahip osilatör elde edilebilir. Elde edilen osilatör 1-100 Hz arası Novel ELF radarlarında dünya üzerindeki CW radyo iletişimde kullanılabilir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] B. Razavi, Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGraw Hill Company, 2001
- [2] J. B. Kuo, J. H. Lou, Low Voltage CMOS VLSI Design, Wiley-Interscience, NY, 1999,439pp
- [3] D. S. Masmoudi, S.B. Salem, M. Loulou, L. Kamoun, A Radio Frequency CMOS Current Controlled Oscillator Based on a New Low Parasitic Resistance CCII, IEEE, 2004

- [4] Jamesina J. Simpson A Novel ELF Radar for Major Oil Deposits, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters Vol. 3, No. 1, January 2006
- [5] Xincheng Zhang, Husheng Zhang, Congyi Zhen, Chaoyang Li, Xinsong Zhang and Wei Xiong, Extremely Low Frequency (ELF) Pulsed-Gradiendy Magnetic Fields Inhibit Malignant Tumor Growth at Different Biological Levels, Elsevier Science Direct, 2002
- [6] R. J. Baker, H. W. Li, D. E. Boyce, CMOS Circuit Design, Layout and Simulation, IEEE Pres 1997
- [7] H. Iwai, CMOS Technology- Year 2010 and Beyond, IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 33, No 3, March 1999
- [8] Antony C. Fraser-Smith, Peter R. Bannister, Reception of ELF Signals At Distances, 1998