



TAMAMEN OPTİK MİKROSİSTEMLER İÇİN 180NM CMOS TEKNOLOJİSİNDE TASARLANMIŞ DÜŞÜK GERİLİM BESLEMELİ OSİLATÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Emin Cihan ANIL¹ , Baykal SARIOĞLU^{2,*} 

^{1,2} İstanbul Bilgi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 34060, İstanbul, Turkey

ÖZET

Bu çalışmada tamamen optik entegre bir biyomedikal sistem için düşük güç tüketimine ve düşük besleme gerilimine sahip üç temel osilatör bazlı kapasitif ve dirençsel algılama devre yapısı incelenmiş ve bu devreler güç tüketimi, çalışma besleme gerilimi ve çıkış frekansı değerleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Osilatör temelli algılama devrelerinde kullanılan elemanların değerleri 180 nm CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor - Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken) Teknolojisine göre hesaplanmış ve benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çıkış frekansının algılayıcı direnç ve kapasite değerine bağlı teorik eşitlikleri türetilmiştir. Halka osilatör devresi ile 0,5 V besleme geriliminde başarılı sonuçlar alınmış ve bu algılayıcının gerilim yükseltici devreler kullanımına ihtiyaç duymadan tek bir tümleşik CMOS fotodiyot ile çalışabilirliği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Optik iletişim, Algılayıcı, CMOS, Osilatör, Düşük güç

COMPARISON LOW VOLTAGE OSCILLATORS IN 180NM CMOS TECHNOLOGY FOR ALL-OPTICAL MICROSYSTEMS

ABSTRACT

In this work, the design and results of three oscillator-based capacitive and resistive sensing circuits with low supply voltage and low power consumption for an optically powered biomedical microsystem are investigated. The oscillator-based sensing circuits are designed and simulated using 180 nm CMOS Technology. In addition, the theoretical relationships of output frequency depending on sensor resistance and capacitance are derived. Moreover, it is also shown that the ring oscillator can work at 0.5 V supply voltage and it can be operated with a single integrated CMOS photodiode without utilizing a voltage doubler circuit.

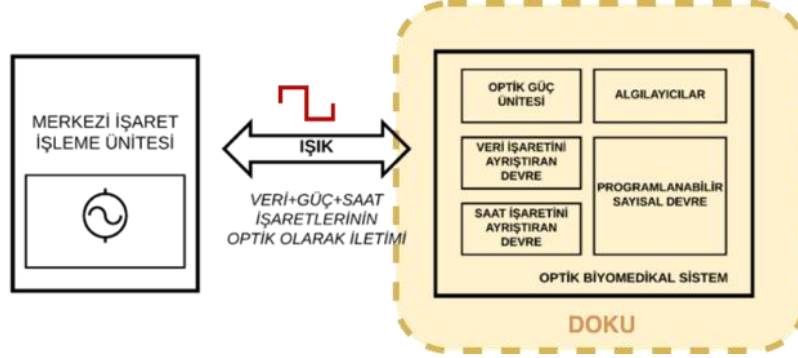
Keywords: Optical transmission, Sensor, CMOS, Low power

1. GİRİŞ

Hastalık seyrinin izlenebilmesi adına sürekli çalışacak ve hasta üzerine yerleşimi mümkün olan mikro boyutlu ve çok düşük güç tüketimli mikro-sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır [1]-[7]. Bu sistemlerin hastalığa özgü olarak hastalığın seyrini izleyebilme olanağı sağlayacak çeşitli yapıda algılayıcı ünitelere sahip olmaları gerekmektedir. Bu algılayıcılar yapıları itibarı ile kapasitif, endüktif ve dirençsel olmaktadır [3],[8],[9]. Kapasitif algılayıcılar, biyomedikal sistemler ve implant sistemlerinde basınç değişimi, nem değeri gibi değerlerin algılamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [8]-[16]. Kapasitif algılayıcıların uygulanan farklı basınç değerlerine bağlı olarak algılayıcı kapasite değeri de değişmektedir. Basınca bağlı değişen bu kapasite değerinin gerilim, akım ya da frekans gibi elektriksel bir büyüklüğe dönüştürülmesi ile basınç algılanması gerçekleştirilmektedir. Literatürde bu tip algılayıcıların çeper içi basınç veya kan basıncının ölçülmesinde kullanılabilirliği gösterilmiştir [8]-[15]. Ayrıca kapasitif algılayıcılar, diş implant operasyonlarının ve ortopedik operasyonların başarısını arttırmak adına da nem ve sıcaklık ölçümlerinde de kullanılabilmektedir [12]-[18]. Bu algılayıcıların sürekli çalışabilirliği için gerekli olan enerji, alternatif kaynaklardan, hareket, radyo dalgaları ya da optik yöntemler kullanarak sürekli olarak veya ihtiyaç duyulduğunda pil kullanmadan sağlanabilmektedir. Bu alternatif kaynaklarından en verimli olan optik enerji iletimi, görece yapısal olarak karışık olmayan sistemler ile oluşturulabilmektedir. Bunun yanında, optik enerjiyi elektriksel enerjiye

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: baykal.sarioglu@bilgi.edu.tr
Geliş / Received: 04.10.2019 Kabul / Accepted: 06.05.2020 doi: 10.28948/ngumuh.629606

çeviren sistemlerin ve algılayıcıların aynı elektronik devrede kullanımı mümkündür. Optik enerji, güç kaynağı seçimi konusunda esneklikte barındırmaktadır. Örneğin, optik enerji iletimi için güneş ışığı dışında lazer, LED (Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot) gibi kontrol edilebilen ışık kaynakları da kullanılabilir. Enerjinin optik iletilmesi yanında, iletişim için gerekli işaretler de optik olarak iletilmekte ve tamamen optik bir yapı ortaya çıkartılabilmektedir.



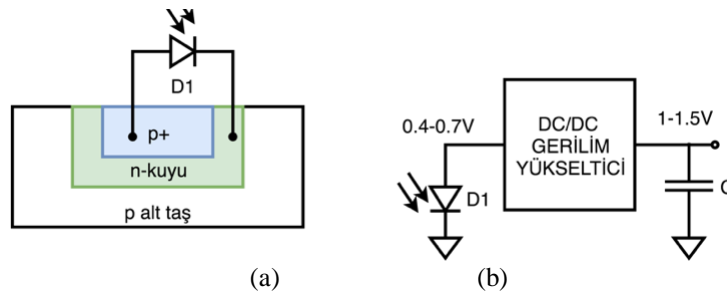
Şekil 1. Tamamen optik biyomedikal sistemin blok şeması.

Şekil 1’de tamamen optik olarak çalıştırılabilen bir biyomedikal mikrosistemin blok şeması verilmiştir [19]. Bu sisteme güç ve veriler optik olarak aktarılmaktadır. Tümleşik tek yonga üzerindeki fotoduyarlı elemanların, optik güç elde edilmesinde kullanıldığı optik sistemler en fazla %5 oranında enerji çevirim oranına sahiptir [20].

Bu tip mikro-sistemlerin tutarlı çalışabilmesi adına 40 mW ve üzerinde güce sahip bir lazer ile güç aktarımı gerçekleştirilmesi gerekliliği görülmektedir [21]. Bu nedenle bu tip optik güç ile operasyonel hale gelen mikro-sistemin verimli olarak çalıştırılabilmesi için üzerinde ihtiva ettiği devrelerin düşük besleme gerilimi ile çok düşük güç tüketerek çalışması elzemdir. Bunun yanında sunulan sistemin mikro boyutlarda olması, hasta üzerine yerleştirilebilmesi ve taşınabilirlik açılarından kritiktir. Bundan dolayı bütün sistemin aynı teknoloji kullanılarak gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. CMOS Teknolojisi, yaygınlığı, tasarım açısından getirdiği kolaylıklar ve düşük maliyeti düşünülerek amaçlanan biyomedikal mikrosistemin yaygın kullanımı açısından tercih edilmiştir.

Bu çalışmada tamamen optik bir biyomedikal sistem için düşük gerilim ile çalışan düşük güç tüketen algılayıcı yapıları incelenmiş ve bu yapıların karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör, gevşeme ve halka osilatör olmak üzere üç adet yapı incelenmiştir [9][13][14]. Bu devreler 180nm CMOS teknolojisine optik enerji ile çalışan sistemler göz önüne alınarak aktarılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT



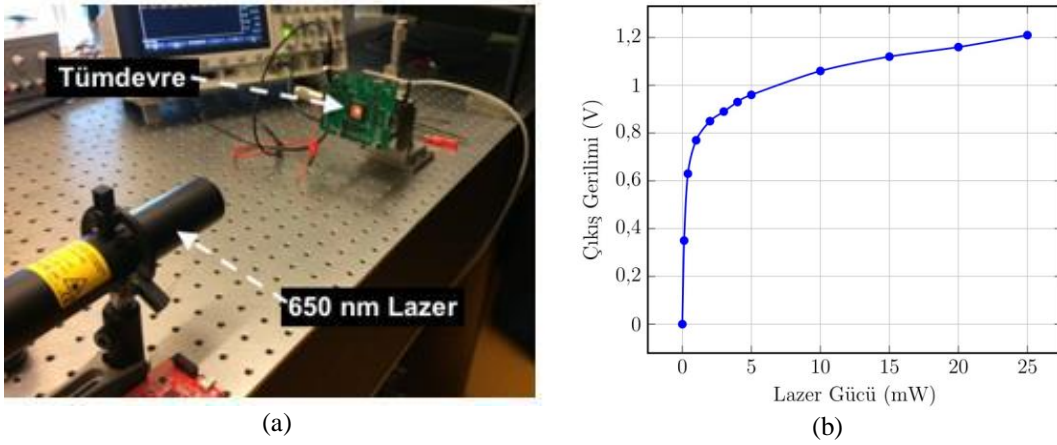
Şekil 2. (a) Güç elde etmek için kullanılan tümleşik CMOS fotodiyot yapısı, (b) Fotodiyot geriliminin gerilim yükseltici ile artırılması.

Tamamen optik mikroelektronik sistem analog ve sayısal devrelere entegre bir şekilde tümleşik CMOS fotodiyot ihtiva etmektedir. Şekil 2 (a)’da optik güç elde edilmesinde kullanılan örnek bir CMOS tümleşik fotodiyot yapısı gösterilmiştir. Bu fotodiyotlar p+/n-well jonksiyonunu kullanmaktadırlar. Bu fotodiyotlar diğer devre elemanları ile entegre olarak kullanılacağı için p-alt taşın toprağa bağlanması gerekmektedir. Bu nedenle birden fazla fotodiyot seri olarak bağlanamamaktadır. Sonuç olarak tümleşik fotodiyotlardan en yüksek 0,7 V mertebesinde bir gerilim elde edilebilmektedir. Bu gerilimin artırılabilmesi için Şekil 2 (b)’de gösterilen gerilim yükselticisi yapısı fotodiyot çıkışına bağlanmaktadır [22]. Bu tümleşik gerilim yükselticilerin ise verimlilik değeri %60-70 civarında olmaktadır. Bu şekilde tümleşik fotodiyotlardan güç elde etme %2-5

TAMAMEN OPTİK MİKROSİSTEMLER İÇİN 180NM CMOS TEKNOLOJİSİNDE TASARLANMIŞ DÜŞÜK GERİLİM BESLEMELİ OSİLATÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

civarında verimliliğe düşmektedir [19]. Bu sebeple optik güç ile çalışacak devrelerin çok düşük güç tüketimine sahip olmaları ve düşük gerilimlerde çalışmaları gerekmektedir.

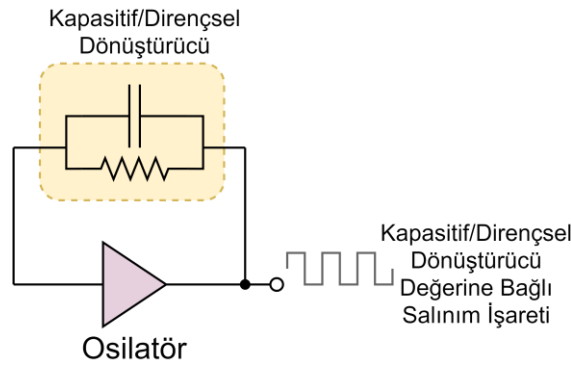
Şekil 3 (a)'da 180 nm CMOS Teknolojisinde tasarlanıp üretilen, Şekil 2 (b)'de de gösterilen, tümleşik devre ve buna bağlı bir gerilim yükselticiden oluşan, bir optik güç ünitesinin deney düzeneği ve gerçekleştirilen deneylerin sonuçları gösterilmektedir. Bu deneyler sırasında 650 nm dalga boyuna sahip çıkış optik gücü ayarlanabilen bir lazer, tümdevre üzerinde tümleşik fotodiyot yapısı üzerine uygulanmıştır. Deneyler sırasında lazer gücü 0-25 mW aralığında taranmış ve Şekil 3 (b)'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan optik güç ünitesinin gerilim çıkışından 1 V üzerinde bir besleme gerilimi elde edilebilmesi için sisteme yüksek güçte ve odaklanmış bir lazer ışığı uygulanması gerektirdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle bu tarz lazer kaynakları ihtiyacının ortadan kaldırılabilmesi adına mikro-sistemde çalışacak algılayıcı devre yapılarının düşük gerilim ve düşük güçte çalışması gerekliliği anlaşılmaktadır.



Şekil 3. (a) Optik güç ileme deney düzeneği, (b) bu düzenden elde edilen gerilim deneysel sonucu.

2.1 Düşük Gerilim Beslemeli Osilatör Yapıları

Kapasitif ve dirençsel algılayıcıların değerine bağlı olarak farklı frekanslarda çıkış işareti üreten algılayıcı devre Şekil 4'te iletilmiş olan mikro sistem içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Algılayıcı devre osilatör bazlı olup giriş bağlantısına yerleştirilmiş olan direnç ve kapasite değerinin değişimine göre çeşitli frekanslarda çıkış işareti üretmektedir. Bu işaret frekansı direk olarak dönüştürücü değer algılamasında kullanılabilir ya da bu işaret referans bir osilatör işareti ile karşılaştırılır ve iki işaret arasındaki fark, darbe genişliği kiplenmeli bir işaret olarak bir sonraki bloğa iletilir. Faz karşılaştırılması işlemi basit bir XOR devresi ile gerçekleştirilebilmektedir. Darbe genişliği değeri ise giriş kapasite ve direnç değerine tekabül etmektedir.

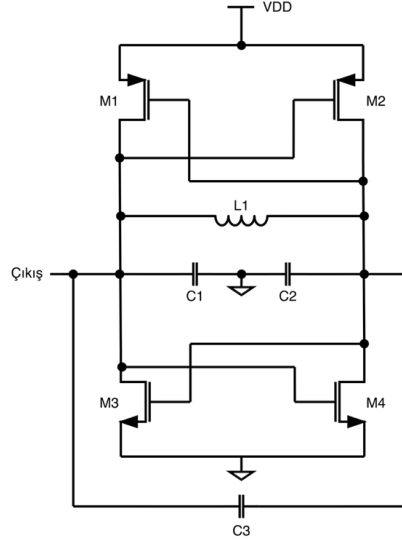


Şekil 4. Kapasitif/Dirençsel algılayıcı için örnek bir osilatör tabanlı algılayıcı devresinin blok şeması.

Bu çalışma kapsamında algılayıcı devrede kullanılmak üzere düşük güç tüketimli ve düşük besleme geriliminde çalışabilen, literatürde bu tip algılayıcıların gerçekleştirilmesinde kullanılan (1) LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör, (2) gevşeme osilatör ve (3) halka osilatör olmak üzere temel olarak üç tip osilatör devresi incelenmiştir. Osilatör devrelerindeki elemanların değerleri 180nm teknolojisine göre tekrardan hesaplanmış ve tamamen optik sistem için uygunlukları açısından karşılaştırılmıştır.

Hesaplanan yeni değerlere göre oluşturulan osilatörlerin benzetimleri Mentor Graphics IC Flow uygulaması kullanılarak yapılmıştır.

2.1.1. Çapraz Kuplajlı LC Osilatör Tasarımı



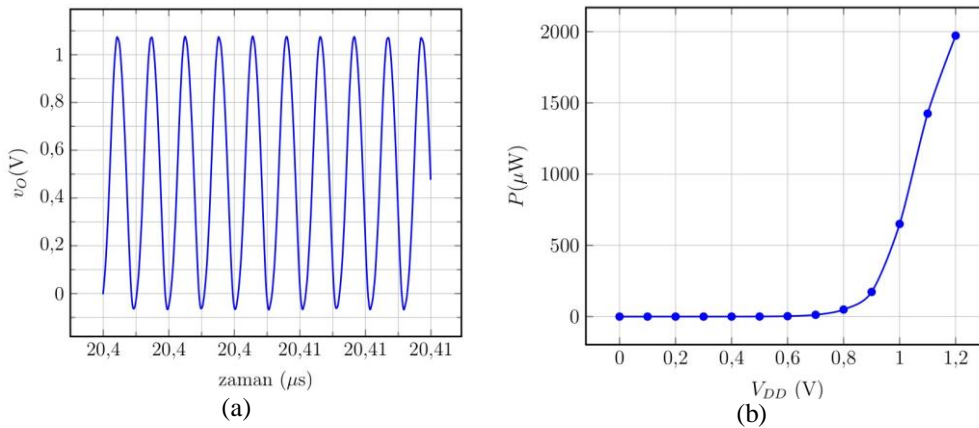
Şekil 5. LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör devre şematığı, $C1 = C2 = C3 = 4$ pF, $L = L1 = 4$ nH.

LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörler negatif empedans temelinde çalışırlar. Elde edilen açıl salınım frekans değeri devrede kullanılan endüktans (L) ve kapasite (C) değerine \sqrt{LC} eşitliği ile bağlıdır. Bu eşitlik uyarınca kullanılan L ve C değerinin değişimi çıkış frekansında da değişime yol açacaktır. Çıkış frekansının ölçülmesi ile kapasite ya da endüktans değeri bulunabilmektedir.

Şekil 5'te LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör devresi gösterilmektedir [13]. LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörün kapasite-frekans eşitliği eğri uydurma yöntemi kullanılarak şu şekilde ifade edilebilmektedir.

$$f(C) = \frac{10751,97}{C^{0,433}} \quad (1)$$

Bulunan eşitliğin benzetim sonuçlarına olan yakınsaklığını gösteren istatistiksel R^2 değer 0,9946 olarak bulunmuştur. R^2 değerinin eşitlik ile benzetim sonuçlarına tam uyumu gösteren 1 değerine olan yakınlığı, devre üzerine yerleştirilecek değişik kapasitif dönüştürücülerin sonuç vereceği frekans değerlerinin bulunmasında, elde edilen eşitliğin kullanılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 6. (a) LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörün benzetim sonuçları, $V_{DD} = 1$ V, (b) LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörün güç tüketimi - besleme gerilimi ilişki grafiği.

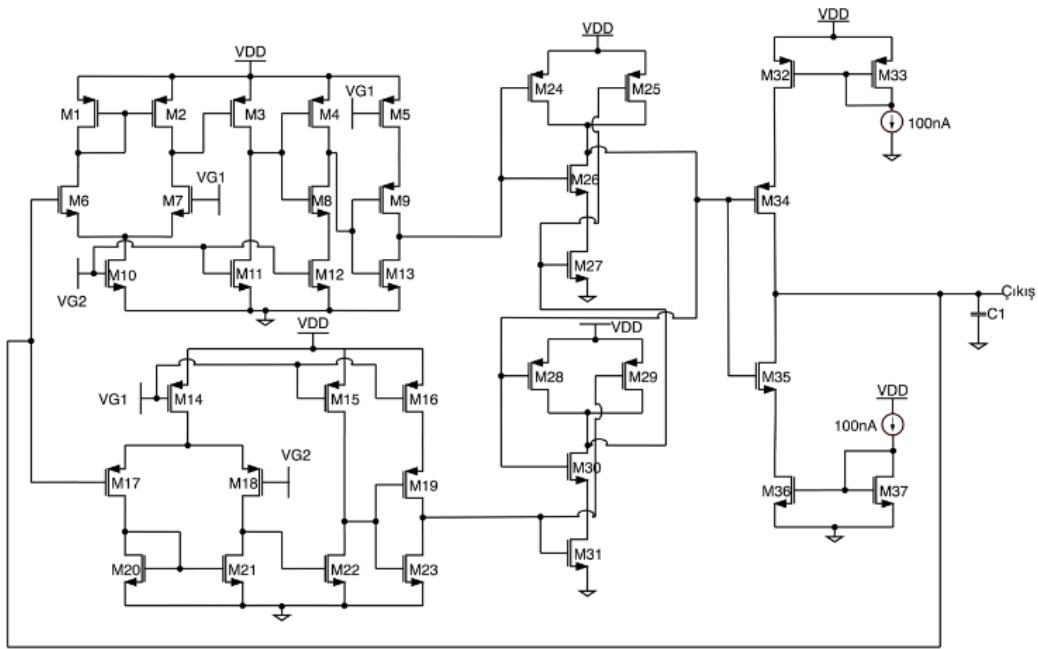
TAMAMEN OPTİK MİKROSİSTEMLER İÇİN 180NM CMOS TEKNOLOJİSİNDE TASARLANMIŞ DÜŞÜK GERİLİM BESLEMELİ OSİLATÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Devrede kullanılan transistörlerinin boyutları L değeri minimum tutularak sırası ile PMOSlar $W = 190 \mu\text{m}$, $L = 0,18 \mu\text{m}$; NMOSlar $W = 96 \mu\text{m}$, $L = 0,18 \mu\text{m}$ olmaktadır. L olarak 4 nH ve kapasitif dönüştürücüyü temsilen C olarak ise 4 pF seçilmiştir. Optik güç ünitesinden gelen gerilim değeri 0,4 V-2 V aralığında olabileceğinden benzetimlerimiz esnasında osilatöre bu besleme gerilimi aralığında çeşitli besleme gerilimleri uygulanmıştır.

LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör devresinin besleme gerilimi 1,2 V iken salınım frekansı 936 MHz olmaktadır. Devrede ortalama çekilen akım ise 1,643 mA, harcanan güç ise 1,972 mW olmaktadır. LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör devresinin besleme gerilimi 1 V iken ürettiği salınım için benzetim sonuçları Şekil 6 (a)'da verilmiştir. Besleme gerilimi 1 V'a düşürüldüğünde çıkış frekans aralığı 945 MHz olarak görülmektedir. 1 V besleme geriliminde devre ortalama 649,9 μA akım çekmektedir. Toplam harcanan güç ise 649,9 μW olmaktadır. LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörün besleme gerilimi 0,99 V altına düşürüldüğünde devrenin salınım gerçekleştirmediği tespit edilmiştir. Bundan dolayı LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörün tek fotodiyottan alınacak 0,5 V-0,7 V aralığındaki bir besleme gerilimi için uygun olmadığı görülmüştür.

2.1.2. Gevşeme Osilatörü Tasarımı

Çalışmada incelenen bir diğer osilatör yapısı Şekil 7'de gösterilen gevşeme osilatörüdür [14]. Gevşeme osilatörü 555 zamanlayıcı devresi baz alınarak kurulmuştur. Gevşeme osilatörü tasarımında yer alan 100 nA'lık akım kaynağı ile kondansatör şarj edilir. Kondansatör, gerilimin üst eşiğe ulaşması esnasında deşarj durumuna geçer. Bu durum osilatör tasarımında yer alan karşılaştırıcı tarafından algılanır ve gerilimin düşük eşiğe ulaşması sağlanır. Gerilimin düşük eşiğe ulaşmasıyla tekrardan kondansatörün şarj edilmesi sağlanır. Kondansatörün şarj-deşarj durumu ile bir salınım meydana gelir.



Şekil 7. Gevşeme osilatör devre şematığı, $C1 = 1 \text{ pF}$.

Gevşeme osilatörü devresinin salınım frekansının analitik eşitliği ise [14] te iletildiği üzere;

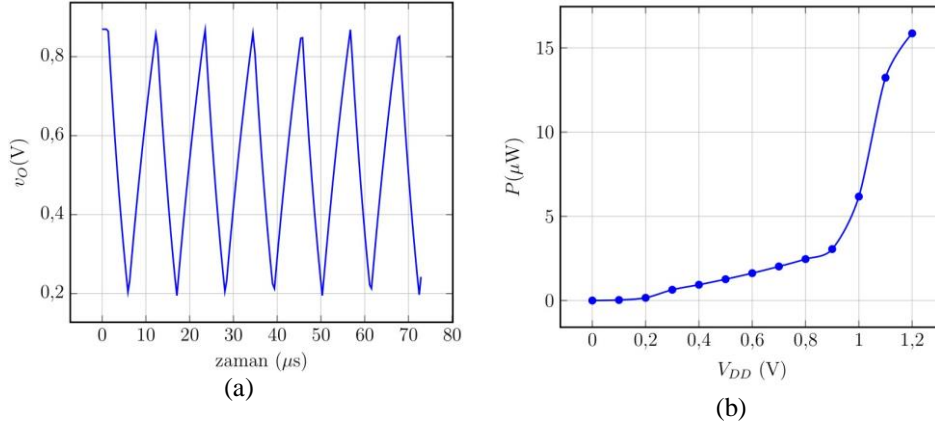
$$f(C) = \frac{\alpha I}{C(VG1 - VG2)} \quad (2)$$

dir ve akım katsayısı çalışmamızda sunulan devre için $\alpha = 10,23 \times 10^{-2}$ olarak eğri uydurma tekniği kullanarak hesaplanmıştır. Gevşeme osilatör devresinde PMOS ve NMOS transistörlerinin boyutları $W = 1 \mu\text{m}$, $L = 0,24 \mu\text{m}$ alınmıştır. Kondansatörün şarj olmasını başlatmak için 100 nA'lık akım kaynağı kullanılmıştır. Kapasitif dönüştürücüyü temsilen C1 olarak ise 1 pF seçilmiştir. Devrede $VG1 = 0,9 \text{ V}$, $VG2 = 0,2 \text{ V}$ değerlerindedir. Diğer osilatörlerde izlenen metotlar gevşeme osilatör benzetimleri için de izlenmiş ve benzetimler besleme gerilimi 1,2 V ve 1 V iken yapılmıştır.

Gevşeme osilatör devresinde besleme gerilimi 1,2 V olan gevşeme osilatörün çıkış frekansı 93,220 kHz ve ortalama akımı 13,22 μA ' dir. Osilatörün harcadığı güç ise 15,864 μW olmaktadır. Gevşeme osilatör devresinin besleme gerilimi 1 V iken ürettiği salınım için benzetim sonuçları Şekil 8 (a)'da verilmiştir. Devrenin besleme gerilimi 1 V iken çıkış frekansı 90,222 kHz ve ortalama akımı 6,172 μA ' dir. Osilatörün harcadığı güç ise 6,172 μW olmaktadır. Gevşeme osilatörün besleme gerilimi

E. C. Anıl, B. Sarıoğlu

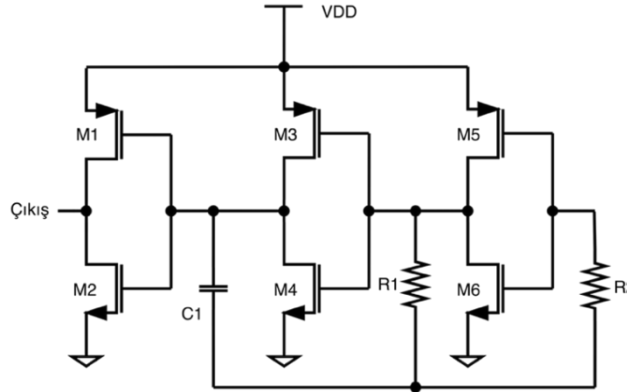
0,99 V altına düşürüldüğünde devrenin salınım gerçekleştirmediği tespit edilmiştir. Bundan ötürü gevşeme osilatörün tek fotodiyottan alınacak 0,5 V-0,7 V aralığındaki bir besleme gerilimi için uygun olmadığı görülmüştür.



Şekil 8. (a) Gevşeme osilatörün benzetim sonuçları, $V_{DD} = 1$ V, (b) gevşeme osilatörün güç tüketimi - besleme gerilimi ilişki grafiği.

2.1.3. Halka Osilatör Tasarımı

Bu çalışma kapsamında son olarak incelenen osilatör yapısı ise eviricilerin arka arkaya bağlanması prensibine dayanan halka osilatör yapısıdır [9]. Bu yapının doğal salınım frekansı eklenecek ek direnç ve kapasite değerleri ile değişmektedir. Bu özellik sayesinde halka osilatörler kapasite ve direnç değerlerinin tespitinde kullanılabilir. Şekil 9’da üç katlı halka osilatör devresi gösterilmektedir.



Şekil 9. Halka osilatör devre şematığı

Bu devrenin salınım frekansının eşitliği [9] da iletilen eşitlik kullanılarak;

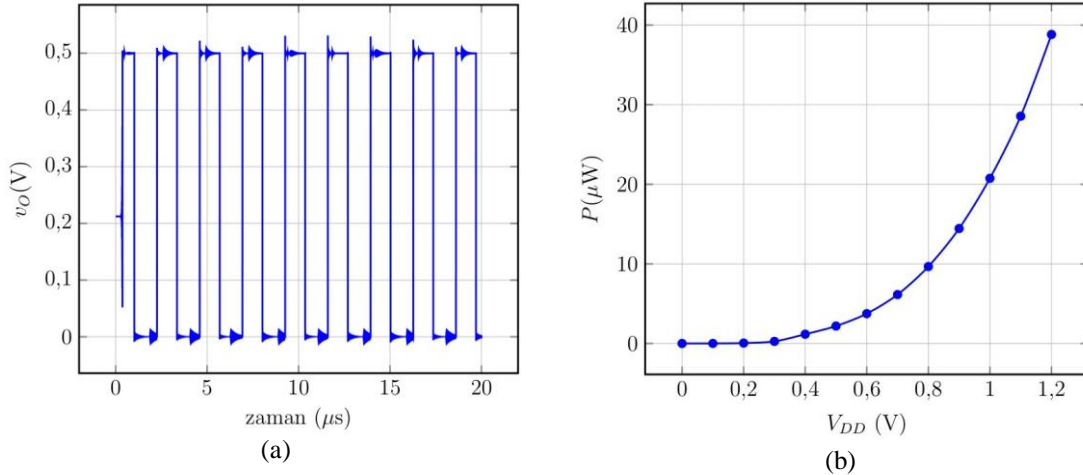
$$f(C) = \frac{1}{2R1C \left(\frac{0,405R1}{R1+R2} + 0,693 \right)} \quad (3)$$

olarak hesaplanmıştır.

Halka osilatör devresinde PMOS ve NMOS transistörlerinin boyutları $W = 1 \mu\text{m}$, $L = 0,24 \mu\text{m}$ alınmıştır. Salınım frekansının ayarlanması adına devreye $100 \text{ k}\Omega$ değerinde iki adet direnç eklenmiştir. Salınım frekansının 1 MHz 'in altında olması hedeflendiğinden kapasitif dönüştürücüyü temsil olarak 10 pF değerinde bir adet kondansatör eklenmiştir. LC CMOS çapraz kupajlı osilatör ile izlenen benzer bir metot halka osilatör benzetimleri için de izlenmiş ve benzetimler besleme gerilimi $1,2 \text{ V}$, 1 V , $0,8 \text{ V}$ ve $0,5 \text{ V}$ iken yapılmıştır. Halka osilatör beslemesine $1,2 \text{ V}$ gerilim uygulandığında osilatörün çıkış frekansı $452,514 \text{ kHz}$, devrede çekilen ortalama akım $32,35 \mu\text{A}$, harcanan güç ise $38,82 \mu\text{W}$ olarak tespit edilmiştir. Halka osilatörün besleme gerilimi 1 V iken çıkış frekansı $444,873 \text{ kHz}$ olarak ölçülmüştür. Devrenin çektiği ortalama akım $20,75 \mu\text{A}$ iken harcadığı güç ise $20,75 \mu\text{W}$ olmaktadır. Besleme gerilimi $0,8 \text{ V}$ olan halka osilatörün çıkış frekansı $437,698 \text{ kHz}$ ve ortalama akımı $12,08 \mu\text{A}$ dir. Osilatörün harcadığı güç ise $9,664 \mu\text{W}$ olmaktadır. Halka osilatörün güç tüketiminin azaltılması için

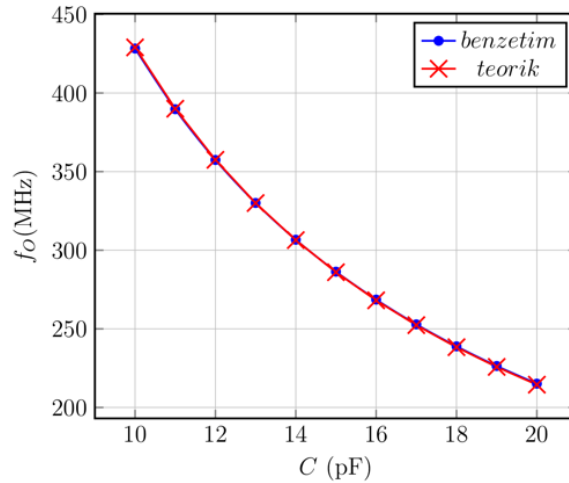
TAMAMEN OPTİK MİKROSİSTEMLER İÇİN 180NM CMOS TEKNOLOJİSİNDE TASARLANMIŞ DÜŞÜK GERİLİM BESLEMELİ OSİLATÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

tasarımlarda düşük eşik gerilimli MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör) modelleri kullanılmıştır. Düşük eşik gerilimli MOSFET modelleri kullanılarak halka osilatöre ait benzetim sonuçları Şekil 10 (a)'da görülmektedir. Devre beslemesi olarak 0.5 V uygulanmıştır. Çıkış salınım frekansı 428,295 kHz olarak ölçülmüştür. Devrenin çektiği ortalama akım 4,382 μ A iken harcadığı güç ise 2,191 μ W olmaktadır.



Şekil 10. (a) Halka osilatörün benzetim sonuçları, $V_{DD} = 0,5$ V, (b) halka osilatörün güç tüketimi-besleme gerilimi ilişki grafiği.

Şekil 11'de ise Eşitlik (4) de verilen teorik kapasite değeri-frekans değişimi eşitliği ile benzetim sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Teorik olarak elde edilen eşitliğin benzetim sonucu ile örtüştüğü anlaşılmıştır. Bu eşitlik kullanılarak algılayıcı kapasite değerini hesaplamak ve bu şekilde algılayıcının ifade ettiği nem, sıcaklık veya basınç değerlerine ulaşmak mümkündür.

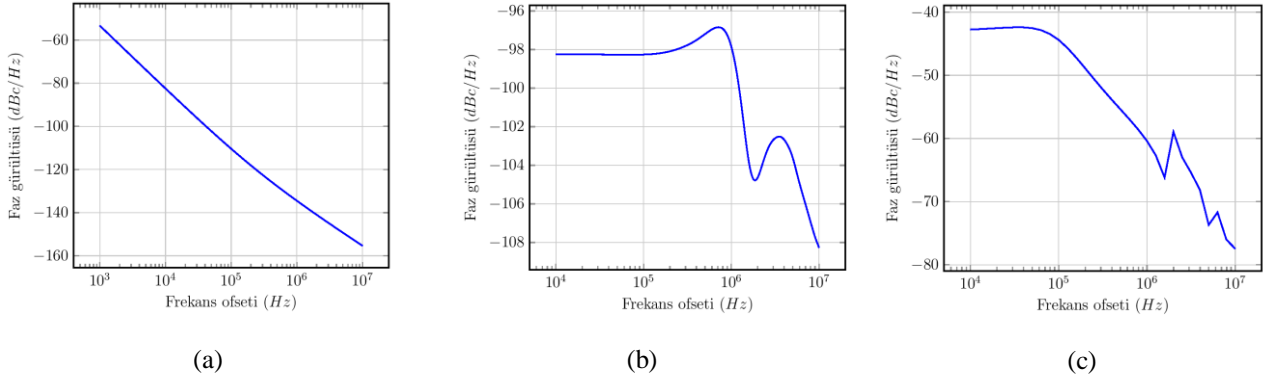


Şekil 11. Çıkış frekans değeri bazında halka osilatörünün benzetim – teorik sonuç karşılaştırma grafiği.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada dönüştürücü değerleri olarak özellikle laboratuvarımızda tasarlanan kapasitif basınç dönüştürücülerin sahip olduğu 1-10 pF aralığındaki değerler kullanılmıştır [23]. Bu dönüştürücü değeri bu aralığa sabitlenmiş ve osilatör tasarımları bu yönde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle üç tip osilatörden değişik frekans bandında işaret çıktıları alınmıştır. İncelenen osilatörlerin karşılaştırılması Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de elde edilen sonuçlar minimum besleme gerilimleri olan LC CMOS çapraz kuplajlı ve gevşeme osilatöründe 1 V, halka osilatöründe 0.5 V verilerek alınmıştır.

E. C. Anıl, B. Sarıoğlu



Şekil 12. Osilatörlerin faz gürültüsü benzetimleri (a) LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör faz gürültüsü, (b) Gevşeme osilatörü faz gürültüsü (c) Halka osilatörü faz gürültüsü.

Tablo 1. Tasarımların karşılaştırılması.

	LC CMOS Çapraz Kuplajlı Osilatör	Gevşeme Osilatör	Halka Osilatör
Salınım Frekansı	950,785 MHz	90,222 kHz	428,295 kHz
Akım Tüketimi	649,9 μ A	6,172 μ A	4,382 μ A
Güç Tüketimi	649,9 μ W	6,172 μ W	2,191 μ W
Faz Gürültüsü (1MHz)	-135 dBc	-98 dBc	-60 dBc

Osilatör seçiminde, kullanılacağı sistemden dolayı minimum güç tüketimi ve minimum besleme gerilimi şartları göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca optik enerjinin verimli kullanılabilmesi için çıkış işaret frekans değerinin düşürülmesi gerekmektedir. LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör çıkış işaretinin düşürülmesi için hacimce entegre devreye oranla fazla yer kaplayacak endüktanslara ihtiyaç duymaktadır. Düşük değerli endüktans değerleri kullanım gerekliliği, LC CMOS çapraz kuplajlı osilatörün, diğer osilatörlere göre hem daha yüksek enerji tüketimine hem de daha yüksek çıkış frekansına sahip olmasına neden olmaktadır. Gevşeme osilatöründe ise sistemde istenen gerilim değerlerinde bir salınma rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu üç osilatör karşılaştırıldığında bu şartları sağlayan halka osilatör olmuştur. Halka osilatör ayrıca çok düşük gerilimlerde çalışabileceği de görülmektedir. Optik güç veriminin %2-5 aralığında düşünüldüğünde, halka osilatörün yaklaşık 1 mW gücündeki bir optik kaynak ile çalışabilirliği de görülmektedir. Ayrıca halka osilatör daha az sayıda transistör yapısına ihtiyaç duymakta, bu nedenle daha az tümdevre alanı gereksinimine ihtiyaç duyması açısından da avantajlıdır. Kapasite değerinin frekans değeri ölçüleceği göz önüne alındığında, frekans değerinin istenilen aralıkta ayarlanması da algılayıcı devrelerden beklenen bir özelliktir.

Şekil 12 de ayrıca faz gürültüsü benzetim sonuçları da iletilmektedir. Faz gürültüsü işaret frekansının doğru olarak belirlenmesinde önemli bir değerdir. Bu konuda en az faz gürültüsüne beklenildiği üzere LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör sahiptir. En kötü değer ise halka osilatöre aittir.

LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör L ve C değerlerine bağlı olarak salındığı için bu değerlerin uygun seçilmesi ile frekans aralığı belirlenebilmektedir. Öte yandan tümleşik olarak endüktans değerinin yükseltilmesi için yüksek bir silikon alanına ihtiyaç duyulmakta ve nH mertebesinde yüksek tümleşik endüktans değeri elde etmek pratikte mümkün olamamaktadır [21]. Bu nedenle pF aralığındaki algılayıcı kapasite değerleri için LC CMOS çapraz kuplajlı osilatör salınım frekans değerleri 500 MHz-1 GHz aralığında olmaktadır. Bu nedenle güç tüketimi de yüksek çıkmaktadır. Gevşeme osilatörün salınım frekansı uygulanan gerilim değerleri ve akım kaynağı değeri ile ilintili olduğu için salınım frekansının kontrolü daha kolay olmaktadır.

Yaptığımız çalışmalar gevşeme osilatör yapısının tek fotodiyot gerilimi olan 0,5 V-0,7 V düzeyinde sonuç vermediğini göstermektedir. Öte yandan halka osilatör yapısı herhangi bir gerilim yükseltici yapısına ihtiyaç duymadan 0,5 V değerindeki bir besleme gerilimi ile çalışmaktadır ve bu şekilde halka osilatör tabanlı algılama devresinin tek entegre fotodiyot ile çalışabilirliği de görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada tamamen optik entegre bir biyomedikal sistem için düşük güç tüketimine ve düşük besleme gerilimine sahip LC çapraz kuplajlı, gevşeme ve halka osilatör temelli kapasitif ve dirençsel algılama devreleri incelenmiş ve bu tasarımlar güç tüketimi, çalışma besleme gerilimi ve çıkış frekansı değerleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Osilatör temelli algılama devreleri 180 nm UMC CMOS Teknolojisi kullanılarak tasarlanmış ve benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çıkış

TAMAMEN OPTİK MİKROSİSTEMLER İÇİN 180NM CMOS TEKNOLOJİSİNDE TASARLANMIŞ DÜŞÜK GERİLİM BESLEMELİ OSİLATÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

frekansının algılayıcı direnç ve kapasite değerine bağlı teorik eşitlikleri türetilmiştir. Bu tasarımlar karşılaştırılmış ve optik güç ile çalışan bir mikrosistem için uyarlanabilirlikleri tartışılmıştır. Yaptığımız karşılaştırmalı incelemeler sonucunda halka osilatör tasarımı ile 0,5 V düşük besleme geriliminde başarılı sonuç alınmış ve algılayıcının tek bir tümleşik CMOS fotodiyot ile çalışabilirliği gösterilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tübitak Proje No:114E549 kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] K. Agarwal, R. Jegadeesan, Y.X. Guo, and N. Thakor, "Wireless Power Transfer Strategies for Implantable Bioelectronics," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 10, pp. 136-161, 2017.
- [2] R. Bashirullah, "Wireless Implants," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 11, no. 7, pp. 14-23, 2010.
- [3] P. Bose P, A. Khaleghi, M. Albatat, J. Bergsland, and I. Balasingham, "RF Channel Modeling for Implant-to-Implant Communication and Implant to Subcutaneous Implant Communication for Future Leadless Cardiac Pacemakers," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 65, no. 12, pp. 2798-2807, 2018.
- [4] P. Gutruf and J.A. Rogers, "Implantable, Wireless Device Platforms for Neuroscience Research," *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 50, pp. 42-49, 2018.
- [5] L. Jiang, Y. Yang, R. Chen, G. Lu, R. Li, D. Li, M.S. Humayun, K.K. Shung, J. Zhu, Y. Chen, and Q. Zhou, "Flexible Piezoelectric Ultrasonic Energy Harvester Array for Bio-Implantable Wireless Generator," *Nano Energy*, vol. 56, pp. 216-224, 2019.
- [6] R. Pavelková, D. Vala, and K. Gecová, "Energy Harvesting Systems Using Human Body Motion," *IFAC-PapersOnLine*, vol.51, no. 6, pp. 36-41, 2018.
- [7] F. Ali, W. Raza, X. Li, H. Gul, and K.H. Kim, "Piezoelectric Energy Harvesters for Biomedical Applications," *Nano Energy*, vol. 57, pp. 879-902, 2019.
- [8] H.Y. Lee, B. Choi, S. Kim, S.J. Kim, J.W. Bae, and S.W. Kim, "Sensitivity-Enhanced LC Pressure Sensor for Wireless Bladder Pressure Monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 12, pp. 4715-4724, 2016.
- [9] R. Aragonés, P. Álvarez, J. Oliver, and C. Ferrer, "Comparison of Readout Circuitry Techniques for Data Acquisition in Raw Sensor Systems," In Proc. IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2010, pp. 1252-1257.
- [10] S. Wang, T.J. Koickal, A. Hamilton, E. Mastropaolo, R. Cheung, A. Abel, L.S. Smith, and L. Wang, "A Power-Efficient Capacitive Read-Out Circuit with Parasitic-Cancellation for MEMS Cochlea Sensors," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 25-37, 2016.
- [11] C. Brandon, D. Elliott, and K. Moez, "An Ultra Low-Voltage Low-Power Capacitance-to-Digital Converter for Wirelessly Powered Intraocular Pressure Sensor," *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, vol. 1, no. 3, pp. 208-218, 2017.
- [12] N.A. Qadir, L. Albasha, M. Taghadosi, N. Qaddoumi, and B. Hatahet, "Low-Power Implanted Sensor for Orthodontic Bond Failure Diagnosis and Detection," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 7, pp. 3003-3009, 2018.
- [13] Y. Wang, W.L. Goh, J.H. Lee, K.T.C. Chai, and M. Je, "Resonant-Based Capacitive Pressure Sensor Read-Out Oscillating at 1.67 GHz in 0.18µm CMOS," *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, vol. 7, no. 7, pp. 375-378, 2013.
- [14] Y.C. Shih, T. Shen, and B.P. Otis, "A 2.3µW Wireless Intraocular Pressure/Temperature Monitor," In Proc. 2010 IEEE Journal of Solid-State Circuits Conference, 2011, pp. 2592-2601.
- [15] J.F. Drazan, O.T. Abdoun, M.T. Wassick, R. Dahle, L. Beardslee, G.A. Marcus, N.C. Cady, and E.H. Ledet, "Simple Implantable Wireless Sensor Platform to Measure Pressure and Force," *Medical Engineering & Physics*, vol. 59, pp. 81-87, 2018.
- [16] C.C. Chiang, C.C.K. Lin, and M.S. Ju, "An Implantable Capacitive Pressure Sensor for Biomedical Applications," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 134, no. 2, pp. 382-388, 2007.
- [17] S.S. Karipott, P.M. Veetil, B.D. Nelson, R.E. Guldberg, and K.G. Ong, "An Embedded Wireless Temperature Sensor for Orthopedic Implants," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 3, pp. 1265-1272, 2018.
- [18] D. Cirmirakis, A. Demosthenous, N. Saeidi, and N. Donaldson, "Humidity-to-Frequency Sensor in CMOS Technology with Wireless Readout," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 900-908, 2013.

E. C. Anıl, B. Sarioğlu

- [19] A. Yelkenci and B. Sarioğlu, “CMOS optical receiver for low power biomedical microsystems,” In Proc. 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2017, pp. 1-4.
- [20] B. Camli, B. Sarioğlu, and A.D. Yalcinkaya, “Photodiodes for Monolithic CMOS Circuit Applications,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 20, no. 6, pp. 336-343, 2014.
- [21] B. Sarioğlu, M. Tumer, U. Cindemir, B. Camli, G. Dunder, C. Ozturk, and A.D. Yalcinkaya, “An Optically Powered CMOS Tracking System for 3 T Magnetic Resonance Environment,” *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 12-20, 2015.
- [22] E. Ashenafi and M.H. Chowdhury, “Noise Voltage Analysis of Spiral Inductor for On-Chip Buck Converter Design,” In Proc. 2017 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 2017, pp. 1-4.
- [23] Y.D. Gokdel and B. Sarioğlu, “Üç Boyutlu Baskı Metodu ile Üretilmiş Dalgalı Yüzeyli Sıralı Basınç Algılayıcı,” *Düzce University Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 1151-1161, 2019

