

İYİLEŞTİRİLMİŞ AKIM GERİBESLEMELİ İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ İLE SİNUSİDAL OSİLATÖR TASARIMI

Merih YILDIZ *

Alınma: 29.03.2018; düzeltme: 24.04.2019; kabul: 25.04.2019

Öz: Bu çalışmada yeni bir aktif eleman olan iyileştirilmiş aktif geri beslemeli (MCFOA) blok devresi yardımıyla farklı osilatör topolojileri gerçekleştirilmiştir. Bu osilatör yapıları gerçekleştirilirken sadece bir adet MCFOA yapısı ve en fazla beş adet pasif eleman kullanılmıştır. Gerçekleştirilen osilatör yapılarının osilasyon kriterleri ve osilasyon frekansları detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca MCFOA yapısındaki akım ve gerilim izleme hatalarından kaynaklanan idealsizlik etkileri de ayrıca incelenmiştir. Simülasyonlar SPICE programı yardımıyla yapılmış ve 0.35 µm TSMC CMOS teknoloji parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan devrede besleme gerilimi olarak $V_{DD} = -V_{SS} = 1.65$ V alınmıştır. Gerçekleştirilen devrelerde osilasyon kriterlerinin osilasyon frekansı etkilemeyecek şekilde olmasına da dikkat edilerek tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları teorik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve makalede verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Osilatör, MCFOA, CMOS.

Sinusoidal Oscillator Design with Modified Current-Feedback Operational Amplifier

Abstract: In this study, different oscillator topologies have been realized with the help of a new active element, Modified Current-Feedback Operational Amplifier (MCFOA). Only one MCFOA element and a maximum number of five passive elements were used during the design of the oscillator circuits. The oscillation criteria and oscillation frequencies of the oscillator structures have been examined in detail.

In addition, the non-ideality effects of MCFOA block, due to the current and voltage tracking errors, were also examined. The simulations were performed with SPICE program and 0.35 µm TSMC CMOS technology parameters were used. The supply voltages are chosen as $V_{DD} = -V_{SS} = 1.65$ V. It is ensured that the oscillation condition criteria in the circuits does not affect the oscillation frequency. Simulation results are compared with theoretical results and presented in paper.

Keywords: Oscillator, MCFOA, CMOS.

1. GİRİŞ

Son yıllarda lineer analog devre tasarımında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu analog devre tasarımları ile analog-sayısal dönüştürücüler, sayısal-analog dönüştürücüler, analog çarpıcılar, sinyal üreteçleri, süzgeç yapıları ve osilatörler gerçekleştirilmiştir (Toker ve diğ., 2002). Sinüzoidal osilatörler haberleşme, sinyal işleme, kontrol sistemleri, enstrümantasyon uygulamaları gibi konularda kullanılan çok önemli analog devre bloklarından bir tanesidir (Huijsing ve De Korte, 1997). Literatürde, aktif devre blokları olan işlemsel kuvvetlendirici

* Doğuş Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Acıbadem, Kadıköy, 34722 İstanbul.
İletişim Yazarı: Merih Yıldız (myildiz@dogus.edu.tr)

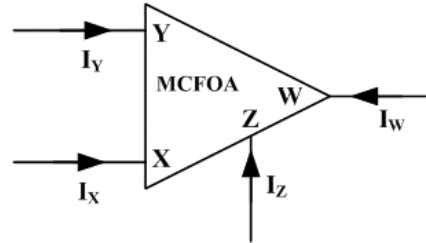
(OP-AMP), ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII) ve akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendiriciler (CFOA) (Abuelma'atti ve Al-Shahrani, 1997), elektronik olarak kontrol edilebilen akım taşıyıcı (ECCII) (Surakamponorn ve Thitimajshima, 1998), diferansiyel fark akım taşıyıcısı (DDCC) (Chiu ve diğ., 1996), diferansiyel gerilim akım taşıyıcı (DVCC) (Elwan ve Soliman, 1997) ve üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII) (Fabre, 1995) ile çok sayıda osilatör devresi tasarlanmıştır (Abuelma'atti ve Al-Zaher, 1999). Bunların dışında CFOA yapısı kullanarak tasarlanmış osilatör yapıları da bulunmaktadır (Srivastava1 ve diğ.,2015). Ancak bu yapıların genelinde osilasyon koşulu genellikle osilasyon frekansını etkilemektedir.

Literatürde aktif elemanlara olan talep ve ihtiyaç doğrultusunda yeni bir aktif eleman olan iyileştirilmiş akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendirici yapısı önerilmiştir (Yuce ve Minaei, 2008). Bu yapı ile gerçekleştirilmiş bir osilatör devresi bulunmamaktadır. Ancak MCFOA yapısı ile gerçekleştirilmiş filtre yapıları, indüktans simülatörleri ve kapasite çarpıcı devresi bulunmaktadır ayrıca bu yapı CFOA yapısına göre filtre tasarımında daha elverişli olduğu için benzer şekilde osilatör tasarımında da kullanılabilir (Yuce ve Minaei, 2008). Dolayısıyla bu çalışmanın amacı yeni bir eleman olan MCFOA kullanılarak gerçekleştirilmiş sinüsoidal osilatör devreleri tasarlamaktır. Bu tasarlanan devrelerde bir adet MCFOA yapısı ve en fazla beş adet pasif eleman kullanılarak osilatör devreleri tasarımı hedeflenmiştir.

Makalenin akışında, ikinci bölümde MCFOA elemanının blok yapısı, tanım bağıntıları ve iç devre şeması irdelenmiş, üçüncü bölümde MCFOA yapısı ile gerçekleştirilmiş osilatör yapıları verilmiştir. Dördüncü bölümde ise osilatör yapısının SPICE simülasyonu ve beşinci bölümde de sonuçlara yer verilmiştir.

2. İYİLEŞTİRİLMİŞ AKIM GERİBESLEMELİ İŞLEMSSEL KUVVETLENDİRİCİ (MCFOA)

İyileştirilmiş akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendiricinin sembolik gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir. MCFOA elemanının matris biçiminde verilmiş tanım bağıntısı da 1 numaralı denklemde verilmiştir.



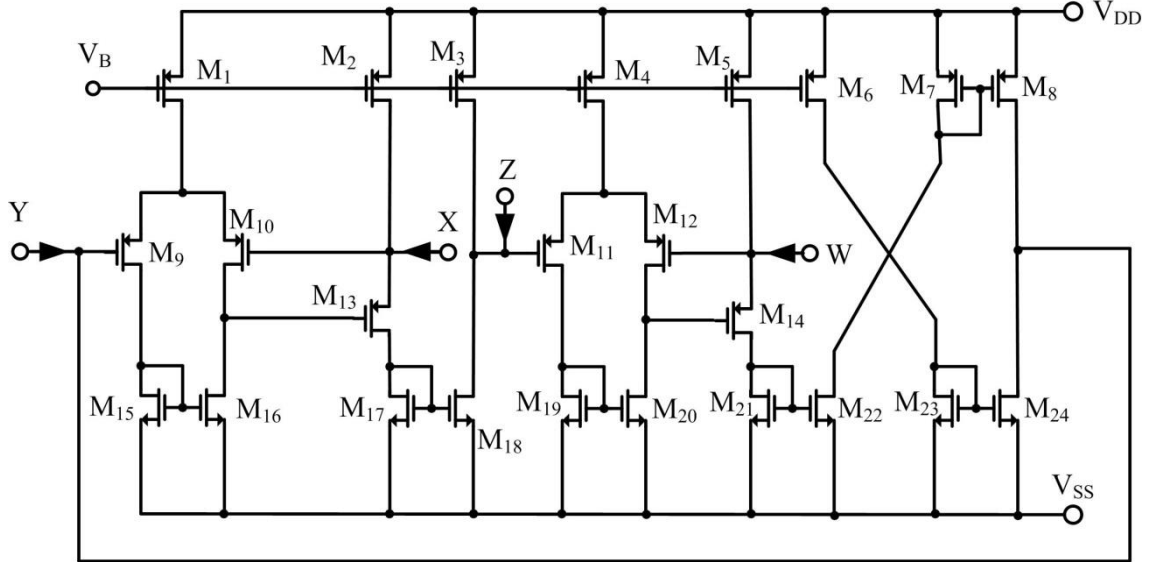
Şekil 1:

İyileştirilmiş akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendiricisi sembolik gösterimi

$$\begin{bmatrix} I_Z \\ I_Y \\ V_X \\ V_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_X \\ I_W \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Buradaki tanım bağıntısında kullanılan α_1 ve α_2 frekansdan bağımsız ideallsizlik akım kazançları, β_1 ve β_2 'de benzer şekilde frekansdan bağımsız ideallsizlik gerilim kazançlarıdır. Bu akım ve gerilim kazançları ideal olarak bire eşittir. MCFOA yapısının CFOA yapısından temel farkı W ucundaki akımın evirilmiş halinin Y ucunu kopyalanmasıdır. Oysaki standart CFOA yapısında Y ucunun akımı sıfıra eşittir. Şekil 1'de kullanılan MCFOA devresinin iç

yapısı şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’de kullanılan tranzistorların boyutları da tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2:

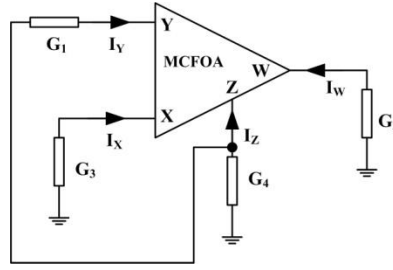
İyileştirilmiş akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendiricisi iç yapısı (Yuce ve Minaei, 2008)

Tablo 1. MCFOA devresinde kullanılan tranzistorların boyutları

MOSFET	W [μm]	L [μm]
M ₁ , M ₄ , M ₉ , M ₁₀ , M ₁₁ , M ₁₂ ,	1.4	0.35
M ₂ , M ₃ , M ₅ , M ₆ , M ₇ , M ₈	2.8	0.35
M ₁₃ , M ₁₄	5.6	0.35
M ₁₅ , M ₁₆ , M ₁₇ , M ₁₈ , M ₁₉ , M ₂₀ , M ₂₁ , M ₂₂ , M ₂₃ , M ₂₄	0.7	0.35

3. MCFOA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN OSİLATÖR DEVRELERİ

MCFOA yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan osilatör yapılarının genel yapısı şekil 3’de verilmiştir. Burada verilen MCFOA yapısının ideal durumu kullanılmış, $i_z = i_x$, $i_y = -i_w$, $v_x = v_y$ ve $v_w = v_z$ tanım bağıntıları dikkate alınarak 2 numaralı ifadede verilen karakteristik denklem elde edilmiştir. Bu karakteristik denklemde G_i ($i=1,2,3,4$) elemanlarının yerlerine çeşitli pasif elemanlar kullanılarak dört farklı osilatör devresi tasarlanmıştır. Bu osilatör devrelerinde kullanılan elemanlar, osilasyon koşulları ve osilasyon frekansları Tablo 2’de detaylı olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen osilatör yapılarında en fazla beş adet pasif eleman kullanılmıştır. Tasarımlarda özellikle osilasyon frekansının, osilasyon koşulundan fazla etkilenmeyecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Böylelikle tasarlanan osilatör devrelerinde, osilasyon koşuluna bağlı kalınmaksızın devredeki diğer pasif elemanlar sayesinde istenilen osilasyon frekansının ayarlanması sağlanmıştır.



Şekil 3:
MCFOA ile gerçekleştirilmiş genel osilatör topolojileri yapısı

$$G_4G_2 = G_3G_2 + G_4G_1 \quad (2)$$

Tablo 2. MCFOA yapısı ile gerçekleştirilen osilatör devrelerinin osilasyon kriterleri ve osilasyon frekansları

Devre	G_1	G_2	G_3	G_4	Osilasyon Kriteri	Osilasyon Frekansı
1	$R_1 + \frac{1}{SC_1}$	R_3	R_2	$\frac{1}{SC_2}$	$R_1 = R_3$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_2R_3C_1C_2}}$
2	$\frac{1}{SC_1}$	R_3	R_2	$R_1 + \frac{1}{SC_2}$	$C_2R_1 = C_1R_3$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_3C_1C_2(R_2 - R_1)}}$
3	R_1	$\frac{1}{SC_2}$	$R_3 + \frac{1}{SC_1}$	R_2	$R_2 = R_3$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1R_3C_1C_2}}$
4	R_1	$R_3 + \frac{1}{SC_2}$	$\frac{1}{SC_1}$	R_2	$C_2R_3 = C_1R_2$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_2C_1C_2(R_1 - R_3)}}$

MCFOA yapısında ideallsizlik parametreleri dikkate alındığında, dolayısıyla $i_z = \alpha_1 i_x$, $i_y = -\alpha_2 i_w$, $v_x = \beta_1 v_y$ ve $v_w = \beta_2 v_z$ tanım bağıntılarında dikkate alınarak 3 numaralı ifade ile verilen karakteristik denklem elde edilmiştir. Benzer ideallsizlik parametreleri dikkate alındığında gerçekleştirilen osilatör yapılarının osilasyon koşulları ve osilasyon frekansları Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’den görüldüğü gibi osilatör devrelerinin osilasyon kriterleri ve osilasyon frekansları, MCFOA yapısının akım ve gerilim izlemelerindeki ideallsizlik parametrelerinden kaynaklı olarak değişiklik göstermektedir. Bu parametrelerin idealde 1 olduğu dikkate alındığında Tablo 3’de elde edilen değerlerin Tablo 2’deki değerlere indirgeniği görülmektedir.

$$\alpha_1\beta_1G_4G_2 = G_3G_2 + \alpha_1\beta_1\alpha_2\beta_2G_4G_1 \quad (3)$$

Tablo 3. İdealsizlik parametreleri dikkate alınarak MCFOA yapısı ile gerçekleştirilen osilatör devrelerinin osilasyon kriterleri ve osilasyon frekansları

Devre	G_1	G_2	G_3	G_4	Osilasyon Kriteri	Osilasyon Frekansı
1	$R_1 + \frac{1}{SC_1}$	R_3	R_2	$\frac{1}{SC_2}$	$\alpha_2\beta_2R_1 = R_3$	$\omega_o = \sqrt{\frac{\alpha_1\beta_1\alpha_2\beta_2}{R_2R_3C_1C_2}}$
2	$\frac{1}{SC_1}$	R_3	R_2	$R_1 + \frac{1}{SC_2}$	$\alpha_2\beta_2C_2R_1 = C_1R_3$	$\omega_o = \sqrt{\frac{\alpha_1\beta_1\alpha_2\beta_2}{R_3C_1C_2(R_2 - R_1)}}$
3	R_1	$\frac{1}{SC_2}$	$R_3 + \frac{1}{SC_1}$	R_2	$\alpha_1\beta_1R_2 = R_3$	$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1\beta_1\alpha_2\beta_2R_1R_3C_1C_2}}$
4	R_1	$R_3 + \frac{1}{SC_2}$	$\frac{1}{SC_1}$	R_2	$C_2R_3 = \alpha_1\beta_1C_1R_2$	$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1\beta_1R_2C_1C_2(\alpha_2\beta_2R_1 - R_3)}}$

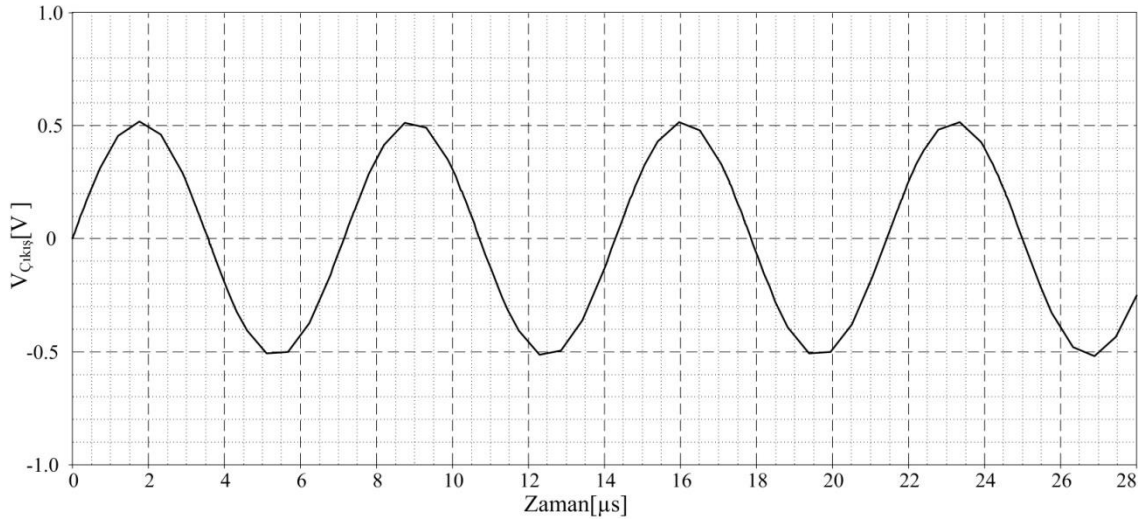
3.1. MCFOA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN OSİLATÖR SİMULASYONU

Tasarlanan devrelerin başarımlarını göstermek amacıyla Tablo 2'deki, MCFOA yapısı kullanılarak gerçekleştirilen, tüm devre yapılarının SPICE simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda 0.35µm TSMC CMOS teknoloji parametreleri kullanılmıştır. Simülasyon için kullanılan ve Şekil 2'de verilen MCFOA yapısında $V_{DD} = -V_{SS} = 1.65$ V ve $V_B = 0.76$ V olarak alınmıştır. Devrenin güç tüketimi 0.42 mW olarak elde edilmiştir. Simülasyon için Tablo 3'de verilen devrelerin simülasyonu için Tablo 4'deki eleman değerleri kullanılmıştır.

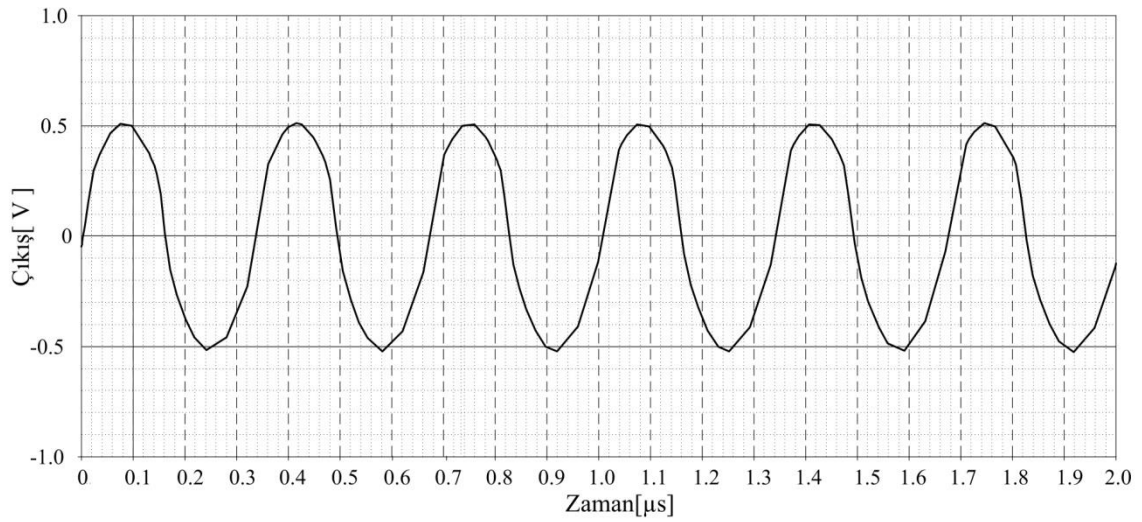
Tablo 4. Tablo 3'de verilen devrelerde kullanılan eleman değerleri ve osilasyon frekansları

Devre	R_1	R_2	R_3	C_1	C_2	Osilasyon Frekansı
1	1 kΩ	1.3 kΩ	1 kΩ	1 nF	1 nF	140 kHz
2	1 kΩ	1 kΩ	2 kΩ	50 pF	50 pF	3.18 MHz
3	1 kΩ	1 kΩ	1 kΩ	5 pF	1 pF	31.8 MHz
4	1 kΩ	2 kΩ	1 kΩ	1 pF	1 pF	159 MHz

Devre-1, devre-2, devre-3 ve devre-4'de elde edilen simülasyon sonuçları sırası Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir ve osilasyon frekans değerleri sırası ile 138 kHz, 3.05 MHz, 31.25 MHz ve 152 MHz olarak elde edilmiştir.

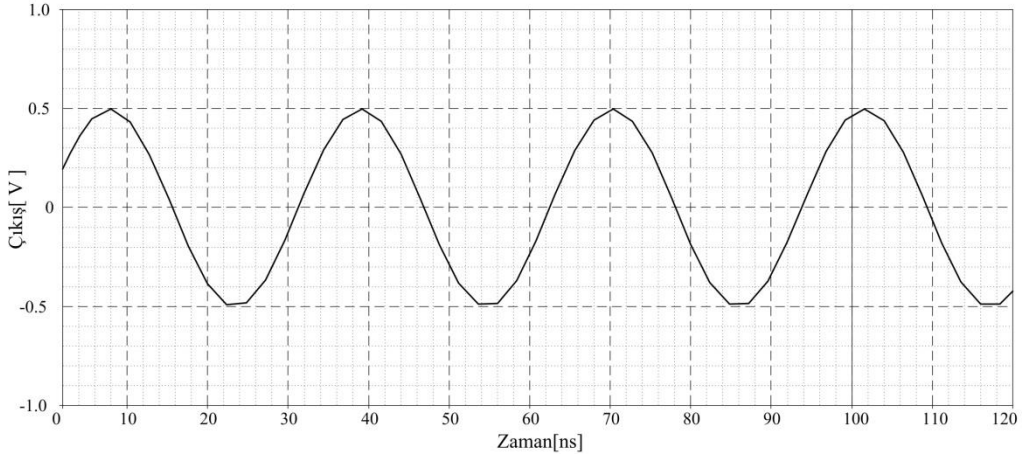


Şekil 4:
Devre-1'de verilen osilatör yapısını SPICE simülasyonu çıkış gerilimi

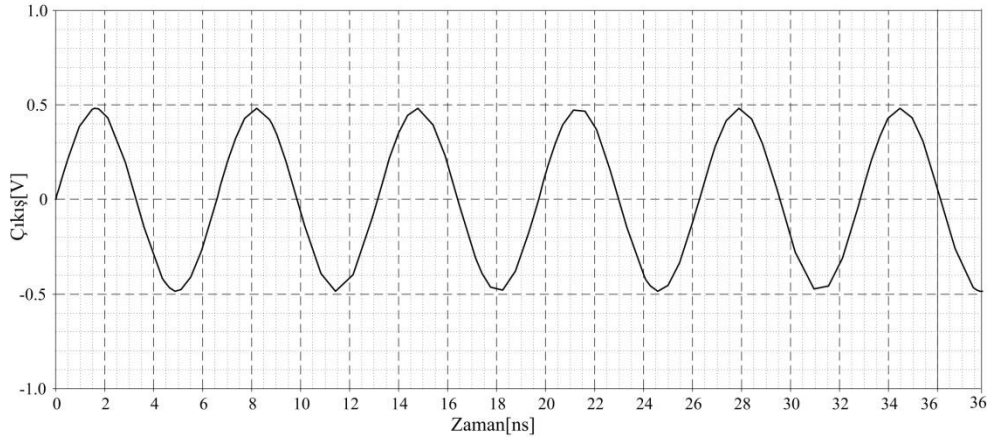


Şekil 5:
Devre-2'de verilen osilatör yapısını SPICE simülasyonu çıkış gerilimi

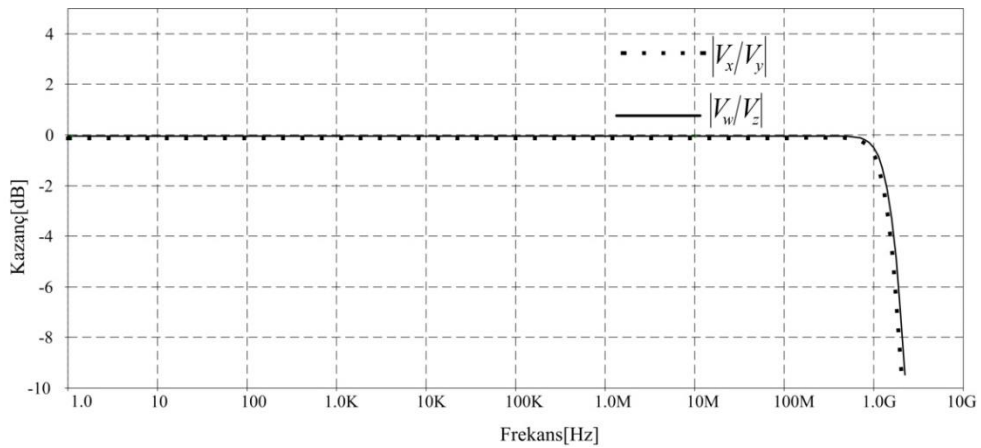
Ayrıca osilasyon devrelerinin çalışma sınırlarının belirlenmesi amacıyla, osilatör tasarımında kullanılan MCFOA yapısının $|V_x/V_y|$ ve $|V_w/V_z|$ frekans karakteristiği Şekil 8'de verilmiştir. Simulasyon sonucunda 3 dB frekans değeri 1.5 GHz olarak çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla bu MCFOA yapısının hangi frekans değerlerine kadar uygun çalışabileceğinin bir ölçütü olarak gösterilebilir.



Şekil 6:
Devre-3'de verilen osilatör yapısını SPICE simülasyonu çıkış gerilimi



Şekil 7:
Devre-4'de verilen osilatör yapısını SPICE simülasyonu çıkış gerilimi



Şekil 8:
MCFOA yapısının $|V_x/V_y|$ ve $|V_w/V_z|$ frekans karakteristiği

Tasarlanan devrenin literatürdeki benzer yapılar ile karşılaştırılması açısından Tablo 5’de karşılaştırma tablosu verilmiştir. Tablo 5’den görüldüğü gibi gerçekleştirilen devre özellikle çalışma frekansı açısından avantajlar sağlamaktadır.

Tablo 5. Osilatör devreleri karşılaştırma tablosu

Referans	[1]	[2]	[5]	[9]	Mevcut Çalışma
Osilasyon Frekansı	0.8 MHz	1.57 MHz	1 MHz	39.78 kHz	152 MHz
Güç Tüketimi	-	-	-	-	0.42 mW
Aktif eleman sayısı	1	2	1	1	1
Besleme gerilimi	-	-	±12 V	±2.5 V	±1.65 V

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yeni bir aktif eleman olan iyileştirilmiş aktif geri beslemeli bir eleman yardımıyla dört farklı osilatör topolojisi gerçekleştirilmiştir. Bu osilatör yapıları gerçekleştirilirken bir adet MCFOA yapısı ve en fazla beş adet pasif eleman kullanılmıştır. Gerçekleştirilen osilatör yapılarının osilasyon kriterleri ve osilasyon frekansları ideallsizlik etkileride dikkate alınarak incelenmiştir. Tasarlanan osilatör devrelerinde osilasyon kriterlerinin osilasyon frekansı etkilemeyecek şekilde olmasına da dikkat edilmiştir. Simülasyonlar için SPICE programından yararlanılmıştır. Ayrıca kullanılan devrede besleme gerilimi olarak $V_{DD} = -V_{SS} = 1.65$ V olarak alınmış ve $0.35 \mu\text{m}$ TSMC CMOS teknoloji parametreleri kullanılmıştır. Devrenin güç tüketimi 0.42 mW olarak elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları teorik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içinde olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Abuelma'atti, M. T. and Al-Shahrani, S. M. (1997) New CFOA-based sinusoidal oscillators, *International Journal of Electronics*, 82(1), 27-32. doi:10.1080/002072197136246
2. Abuelma'atti, M T. ve Al-Zaher, H. (1999) Current-mode quadrature sinusoidal oscillators using two FTFNs, *Frequenz*, 53,(1-2), 27-30. doi:10.1515/FREQ.1999.53.1-2.27
3. Chiu, W., Liu, S. I., Tsao, H. W. ve Chen, J. J. (1996) CMOS differential diference current conveyors and their applications, *IEE Proceedings Pt.G*, 143(2), 91-96. doi:10.1049/ip-cds:19960223
4. Elwan, H. O. ve Soliman, A. M. (1997) Novel CMOS differential voltage current conveyor and its applications, *IEE Proceedings Pt.G*, 144(3), 195-200. doi:10.1049/ip-cds:19971081
5. Fabre, A. (1995) 3rd-generation current conveyor - a new helpful active element, *Electronics Letters*, 31(5), 338-339. doi:10.1049/el:19950282
6. Huijsing, J. H. ve De Korte, J. (1997) Monolithic nullor: a universal active network element, *IEEE J. Solid-State Circuits*, 12(1), 50-64. doi:10.1109/JSSC.1977.1050841
7. Srivastava1, D. K., Singh1, V. K. ve Senani, R. (2015) Novel Single-CFOA-based Sinusoidal Oscillator Capable of Absorbing All Parasitic Impedances, *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 3(3), 71-74. doi:10.12691/ajeec-3-3-2

8. Surakamponorn, W. ve Thitimajshima, P. (1998) Integrable electronically tunable current conveyors, *IEE Proceedings Pt.G*, 135(2), 71-77. doi:10.1049/ip-g-1.1988.0010
9. Toker, A., Kuntman, H.,Çiçekoğlu, O., ve Dişçigil. M., (2002) New Oscillator Topologies Using Inverting Second-Generation Current Conveyors, *Turkish Journal of Electrical Engineering*, 10(1), 119-129.
10. Yuce, E. ve Minaei, S. (2008) A Modified CFOA and Its Applications to Simulated Inductors, Capacitance Multipliers, and Analog Filters, *IEEE Transactions on Circuits and Systems—I: Regular Papers*, 55(1), 266-275. doi:10.1109/TCSI.2007.913689

