

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİLİM İZLEYİCİLİ AKIM FARK KUVVETLENDİRİCİSİ
(CDBA) VE OSİLATÖR UYGULAMALARI**

100994

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Abdulkadir PAY
504961052**

100994

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Cevdet ACAR

Doç.Dr. M. Saif Türkoğlu

Prof.Dr. Estigul Eris

Cevdet Acar

TEMMUZ 2000

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. CDBA ELEMANI	4
3. TEMEL DEVRELERİN CDBA İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	7
3.1. Gerilim Kazancı	7
3.2. Çok Girişli Toplayıcı	8
3.3. Integral Alıcı	9
3.4. Türev Alıcı	10
4. CDBA İLE SRCO' LERİN DURUM DEĞİŞKENLERİ İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	12
4.1. Karakteristik Denklemin 1. Durumu	14
4.1.1 1.Seçim	16
4.1.2 2.Seçim	17
4.1.3 3.Seçim	18
4.1.4 4.Seçim	19
4.1.5 5.Seçim	20
4.1.6 6.Seçim	21
4.1.7 7.Seçim	21
4.1.8 8.Seçim	22
4.2. Karakteristik Denklemin 2. Durumu	23
4.2.1 9.Seçim	24
4.2.2 10.Seçim	24
4.2.3 11.Seçim	25
4.2.4 12.Seçim	25
4.2.5 13.Seçim	26
4.2.6 14.Seçim	26
4.2.7 15.Seçim	27
4.2.8 16.Seçim	27
4.3. Karakteristik Denklemin 3. Durumu	28
4.3.1 17.Seçim	28
4.3.2 18.Seçim	29
4.3.3 19.Seçim	29
4.3.4 20.Seçim	30

4.3.5 21.Seçim	31
4.3.6 22.Seçim	32
4.3.7 23.Seçim	32
4.3.8 24.Seçim	34
4.4. Karakteristik Denklemin 4. Durumu	34
4.4.1 25.Seçim	35
4.4.2 26.Seçim	35
4.4.3 27.Seçim	36
4.4.4 28.Seçim	36
4.4.5 29.Seçim	37
4.4.6 30.Seçim	37
4.4.7 31.Seçim	38
4.4.8 32.Seçim	38
4.5. Karakteristik Denklemin 5. Durumu	38
4.5.1 33.Seçim	39
4.6. Karakteristik Denklemin 6. Durumu	40
4.6.1 41.Seçim	40
4.6.2 42.Seçim	41
4.6.3 43.Seçim	42
4.6.4 44.Seçim	42
5. CDBA ELEMANI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DEVRELERİN ÖZELLİKLERİ VE PSPICE SIMULASYONU	46
5.1. 1. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı	49
5.2. 2. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı	50
5.3. 3. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı	50
5.4. 4. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı	51
5.5. 4. PSPICE simülasyonu	52
6. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	56

KISALTMALAR

SRCO	: Single resistance controlled oscillator
CDBA	: Current differencing buffered amplifier
CFOA	: Current feedback operational amplifier
DO-OTA	: Dual operational transconductance amplifier
FTFN	: Four terminal floating nullor
OTA	: Operational transconductance amplifier
CCII	: Current conveyer second generation
VCO	: Voltage controlled oscillator
IC	: Integrated circuit
op-amp	: Operational amplifier

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : CDBA elemanının sembolü.....	4
Şekil 2.2 : CDBA elemanının eşdeğer devresi.....	5
Şekil 2.3 : CFOA elemanı ile CDBA elemanı gerçekleştirimi.....	5
Şekil 2.4 : CMOS teknolojisi ile tasarlanmış CDBA elemanı.....	6
Şekil 2.5 : CBBA elemanının CMOS ile gerçekleştirilmesi.....	6
Şekil 3.1 : Gerilim kazancı.....	7
Şekil 3.2 : Çok girişli toplayıcı.....	8
Şekil 3.3 : İntegral alıcı.....	9
Şekil 3.4 : Türev alıcı.....	11
Şekil 4.1 : Osilasyon koşulu altında karakteristik denklemin kökleri.....	13
Şekil 4.2 : 1. seçime ait devre.....	17
Şekil 4.3 : 2. seçime ait devre.....	18
Şekil 4.4 : 3. seçime ait devre.....	19
Şekil 4.5 : 4. seçime ait devre.....	20
Şekil 4.6 : 6. seçime ait devre.....	21
Şekil 4.7 : 7. seçime ait devre.....	22
Şekil 4.8 : 8. seçime ait devre.....	23
Şekil 4.9 : 19. seçime ait devre.....	30
Şekil 4.10 : 20. seçime ait devre.....	31
Şekil 4.11 : 23. seçime ait devre.....	33
Şekil 4.12 : 24. seçime ait devre.....	34
Şekil 4.13 : 42. seçime ait devre.....	42
Şekil 4.14 : 44. seçime ait devre.....	43
Şekil 5.1 : Geri besleme blok diyagramı.....	48
Şekil 5.2 : $C_1=C_2=1\text{nF}$, $R_2=7.05\text{K}$, $R_3=7\text{K}$ değerleri için frekans değerleri.....	53
Şekil 5.3 : $C_1=C_2=1\text{nF}$, $R_2=7.05\text{K}$, $R_3=7\text{K}$ değerleri için frekans değerleri.....	53

SEMBOL LİSTESİ

C	: Kapasitör
I	: s düzlemindeki akım
R	: Direnç
V	: s düzlemindeki gerilim
b	: Osilasyon koşulu
ω_0	: Frekans osilasyonu
S^F	: Frekans kararlılığı
ω_p	: Kutup frekansı
Q_p	: Kutup kalite faktörü

GERİLİM İZLEYİCİLİ AKIM FARK KUVVETLENDİRİCİSİ (CDBA) VE OSİLATÖR UYGULAMALARI

ÖZET

Bu tezin amacı, son zamanlarda tanıtılan CDBA (gerilim izlemeli akım fark kuvvetlendirici) elemanı ile temsil edilen yeni bir aktif eleman kullanarak, durum denklemleri vasıtasıyla SRCO (tek dirençli kontrol edilen osilatör) devrelerinin sunulmasıdır. Bu osilatörler, osilasyon şartı b , osilasyon frekansı ω_0 ’ dan bağımsız ve eleman sayısının az olması sınırlamaları altında tasarlanmıştır. Tek direnç ile ayarlanabilen osilasyon frekansında, direncin bir ucu CDBA elemanının p veya n uçlarına, dolayısıyla CDBA elemanın tanımı gereğince 0 potansiyele sahiptir. Bu özellik tüm devre gerçekleştirme ve gerilim kontrollü osilatörün gerçekleştirilmesi için çok elverişli şartlardır.

Tek direnç kontrollü osilatörler gerçekleştirilirken farklı karakteristik denklemler bulunarak, bu denklemlere ait düğüm eşitlikleri yazılmış ve buradan fiziksel osilatör devreleri gerçekleştirilmiştir. Bunlardan uygun olanlar önerilmiştir.

Daha önce sunulmuş olan CDBA ile SRCO tasarımından farklı olarak durum değişkenleri yöntemi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde herhangi özel bir topolojiye bağlı kalmadan sistematik bir şekilde karakteristik denklemden yola çıkarak devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak durum değişkenleri yaklaşımı ile CDBA tabanlı SRCO’ ların devre tasarımını gerçekleştirmenin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Birinci bölümde, konunun tarihi gelişimi ile ilgili giriş yapılmış kısa bilgi aktarılmıştır.

İkinci bölümde, topraklanmış dört-kapılı eleman olarak CDBA tanıtılmış, bununla ilgili karakteristikleri, eşdeğer devresi, AD844' ü kullanarak CDBA gerçekleştirilmesi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, CDBA temelli kuvvetlendiriciler, integral ve türev alıcı devreler gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde, karakteristik denklemlerden yola çıkarak nasıl osilatör gerçekleştirileceği anlatılmış, bu devrelere karşı düşen fiziksel devreler çizilmiş, osilasyon şartları ve osilasyon frekansları verilmiştir.

Beşinci bölümde, CDBA elemanının özellikleri osilatör açısından incelenmiş, CDBA elemanının idealsizliği halindeki davranışı incelenmiş, bunlarla ilgili tablolar verilmiş ve frekans kararlılığı incelenmiştir. Ayrıca PSPICE programı ile simulasyon da gerçekleştirilmiştir.



CURRENT DIFFERENCING BUFFER AMPLIFIER (CDBA) AND OSCILLATOR IMPLEMENTATIONS

SUMMARY

In this thesis, it is intended to design and implement new SRCO, single resistance circuit oscillator, topologies using active elements. For this purpose recently introduced CDBA, current differencing buffered amplifier, is chosen as active element.

For these topologies followings are aimed to achieve:

1. Orthogonal control of oscillation of condition b,
2. Orthogonal control of oscillation frequency ω_0 ,
3. Using few numbers of elements.

Oscillator frequency is adjusted by means of a single resistor whose one end is connected to p or n end of CDBA. This leads resistance to be grounded which is an important feature in circuit implementation. These are advantages for realization of voltage-controlled oscillators, VCO.

Following steps has been taken during the design and implementation stages of SRCO:

1. Various characteristics equations have been suggested.
2. All possible node equations introduced for each characteristic equation.
3. Physical oscillator circuits have been designed for each node equations.
4. Suitable circuits that satisfy previously defined conditions have been chosen for implementation.

A new approach is taken into consideration in this work that is using state variables for designing SRCO with CDBA. This approach provides designing circuits systematically starting from characteristics equations without considering any special topology.

As a conclusion, CDBA based SRCO has been successfully designed by considering a new methodology.

In the first chapter, brief historical background in the area is given.

In chapter two, CDBA is described as a grounded four-ports element. Furthermore, implementation of CDBA using AD844, its characteristics and equivalence circuit is introduced.

CDBA based amplifiers, integral and differential circuits implemented in chapter three.

Fourth chapter describes how to design oscillator starting from characteristics equations. For these oscillators physical circuits are introduced and their oscillation conditions and frequencies are also defined.

In the last chapter, CDBA is considered from the oscillator point of view. Its conduct in the case of non-ideal is investigated and results are figured out. Frequency stability of CDBA is also covered in the chapter.

1. GİRİŞ

Elektronik mühendisliğinde aktif filtreler ve osilatörler gibi devrelerin gerçekleştirilmesi için devre tasarımı ve topoloji oluşturma önemli araştırma alanıdır. Son yirmi yılda, işlemsel kuvvetlendiriciler üstün bir rol oynamıştır. Literatürde çok sayıda değişik devreler bulunmaktadır [1].

Son onyılda, özellikle son zamanlarda, yeni aktif yapı blokları evirmeyen ve eviren ikinci kuşak akım taşıyıcılar (CCII+ ve CCII-), akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendiriciler (CFOA) dinamik aralığa ve daha geniş band genişliğine sahip olmaları sayesinde önemli bir ilgi almışlardır [1].

Sinüsoidal osilatörler ölçme, haberleşme, kontrol sistemleri ve işaret işleme uygulamalarında oldukça geniş bir kullanıma sahiptirler. Bu uygulamaların çoğu osilatör devrelerine, ihtiyaç duyarlar. Bu devrelerdeki aktif ve pasif elemanların değerleri osilatör parametrelerini (genlik, frekan, faz) oluşturur [1,2,3]. OTA, CCII, DO-OTA ve FTFN gibi farklı yapılar kullanarak oluşturulan sinusoidal osilatörler son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Çünkü işlemsel kuvvetlendiriciler ile oluşturulan osilatörlere göre, çok sayıda avantajlar sağlamakla beraber, CMOS teknolojisi ile VLSI tasarımında, tam entegre edilebilir osilatör devreleri gerçekleştirmeye de uygundur. Yeni araştırmalarda, iki eleman ile frekans kontrolünün getirdiği izleme probleminden kaçınmak için dikkatler tek elemanlı frekans kontrolü üzerine yoğunlaşmıştır [1].

[4]' de sunulan CDBA olarak isimlendirilen yeni bir aktif blok, devre sentezinde ve gerçekleştirmede kolaylıklar sağlamaktadır [1,4].

CDBA elemanı, CMOS ve bipolar ile tek parça yapılmaya elverişlidir. Ayrıca gerilim modunda çalıştığı gibi akım modunda da çalışmaktadır. Son olarak, akım farkı alma özelliği tasarımda esneklik sağlamaktadır [1].

CDBA elemanının bu avantajları göz önüne alınarak, osilasyon koşulu b, osilasyon frekansı ω_0 1 etkilemeden ve minimum sayıda eleman kullanarak (2 kapasiteli 3 dirençli ve 2 CDBA elemanlı) durum denklemleri metodu ile SRCO devrelerinin gerçekleştirilmiştir. Osilasyon koşulundan bağımsız olmak şartı ile frekans kontrolü tek bir direnç ile sağlanan osilatörlere tek direnç kontrollü osilatör (single resistance controlled oscillator) denir. SRCO ile temsil edilir.

55

CDBA elemanı ticari olarak bulunan AD844' deki CFA elemanından elde edilmiştir [4]. CFOA elemanı daha geniş band genişliğine sahip olması, daha yüksek yükselme eğilimine sahip olması ile tercih edilir. CDBA elemanı CFA elemanından elde edilmesi ile hem bu özelliklere sahip, hem de iki girişinin topraklı olması ve aktif eleman kullanımına izin vermesi özellikleri ile tercih edilen bir elemandır [5].

Gerçekleştirilen osilatörlerin, osilasyon frekansının kontrolü tek direnç ile sağlanmaktadır. Elemanların 0 potansiyele sahiptir ki bu özellik IC (entegre devre) uygulamalarında tercih edilmektedir. Topraklanmış çıkışa sahiptir. İyi bir frekans kararlılığına sahiptir. Ayrıca şuda söylenebilir ki, osilasyon frekansını etkileyen bir ucu topraklı direnç, kolay bir biçimde FET kullanarak gerilim kontrollü direnç biçimine dönüşebilir. Bu özellik sayesinde gerilim kontrollü osilatör (VCO) elde edilmiş olur. CDBA elemanının çıkış gerilimi tamponlanmış olduğundan dolayı, düşük bir empedans değerine sahiptir [1].

İkinci bölümde, topraklanmış dört-kapılı eleman olarak CDBA tanıtılmış, bununla ilgili karakteristik, eşdeğer devre ve AD844' ü kullanarak CDBA gerçekleştirilmesi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, CDBA temelli kuvvetlendiriciler, integral ve türev alıcı devreler gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde, karakteristik denklemlerden yola çıkarak nasıl osilatör gerçekleştirileceği anlatılmış, bu devrelere karşı düşen fiziksel devreler çizilmiş, osilasyon şartları ve osilasyon frekansları verilmiştir.

Beşinci bölümde, CDBA elemanının özellikleri osilatör açısından, CDBA elemanının idealsizliği halindeki davranışı incelenerek bunlarla ilgili tablolar

verilmiş ve frekans kararlılığı incelenmiştir. PSPICE programı ile simulasyon yapılmıştır.

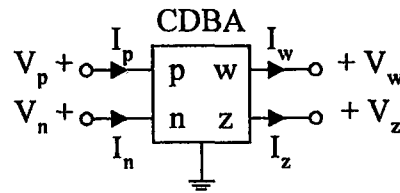


2. CDBA ELEMANI

Bu bölümde, yeni bir aktif eleman olan CDBA (gerilim izleyicili akım fark kuvvetlendiricisi) açıklanmıştır. [4]' de sunulan CDBA olarak isimlendirilen yeni bir aktif blok, devre sentezinde ve gerçekleştirilmede kolaylıklar sağlamaktadır [1]. CDBA elemanı, CMOS ve bipolar ile tek parça yapılmaya elverişlidir. Ayrıca gerilim modunda çalıştığı gibi akım modunda da çalışmaktadır. Son olarak, akım farkı alma özelliği tasarımı esneklik sağlamaktadır [1].

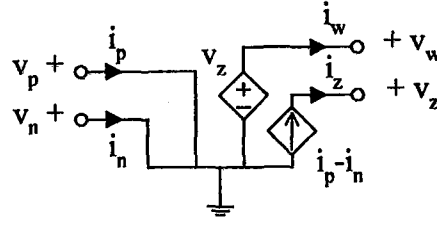
CDBA' nın pratikte gerçekleşimi ticari olarak elde edilebilir olan CFOA (akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendiricisi) elemanı ile [4]. CFOA elemanı, yüksek bir band genişliğine sahip olması, daha yüksek yükselme eğilimine sahip olması ile osilatör ve filtre uygulamalarında tercih edilir [5]. CDBA elemanı CFOA elemanından elde edilmesi ile hem bu özelliklere sahip ve hem de iki girişinin topraklı olması, aktif eleman kullanımına izin vermesi özellikleri ile tercih edilen bir elemandır [4].

Yeni bir aktif eleman olan CDBA' nın devre sembolü, Şekil 2.1' de gösterilmiştir. p ve n giriş terminalleri, w ve z çıkış terminalleridir [4]. $v_{p,p}$ terminalinin gerilimi, $v_{n,n}$ terminalinin gerilimi, $v_{w,w}$ terminalinin gerilimi, $v_{z,z}$ terminalinin gerilimi, $i_{p,p}$ terminalinin giriş akımı, $i_{n,n}$ terminalinin giriş akımı, $i_{w,w}$ terminalinin çıkış akımı, $i_{z,z}$ terminalinin çıkış akımıdır.



Şekil 2.1 CDBA elemanının sembolü

Bu elemanın eşdeğer devresi Şekil 2.2' deki gibi, bağımlı akım ve gerilim kaynakları ile gerçekleştirilir [4].

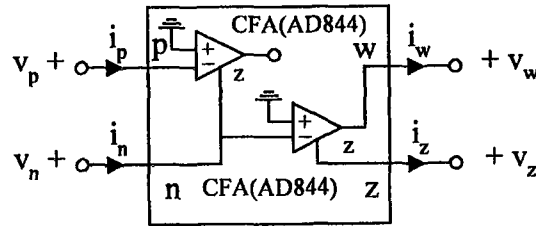


Şekil 2.2 CDBA elemanının eşdeğer devresi

Karakteristik modelin s düzlemindeki ifadesi aşağıdaki gibidir [4]:

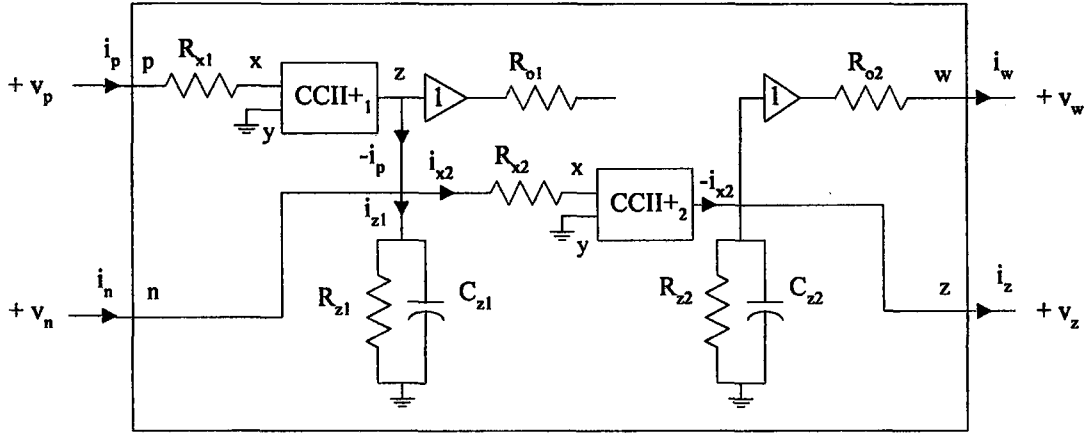
$$\begin{bmatrix} i_z \\ v_w \\ v_p \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_z \\ i_w \\ i_p \\ i_n \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Şekil 2.2' den giriş uçlarının içeriden topraklanmış oldukları görülmektedir. Şekil 2.2 ve yukarıdaki (2.1) eşitliğine göre z-terminalinden akan i_z akımı, p terminalinden akan i_p akımı ile n terminalinden akan i_n akımının farkıdır. Bundan dolayı z terminali akım çıkışı olarak adlandırılır. p terminalini pozitif giriş, n terminalini negatif giriş olarak da adlandırabiliriz. Ayrıca, w terminalinin gerilimi z terminalinin gerilimini izler. Bu yüzden w terminali çıkış gerilimi olarak adlandırılır. Son olarak p ve n giriş terminalleri topraklıdır. CDBA elemanı ticari olarak elde edilebilir olan CFOA elemanı ile gerçekleştirimi (AD844 ile isimlendirilir.) Şekil 2.3' de verilmiştir [4].

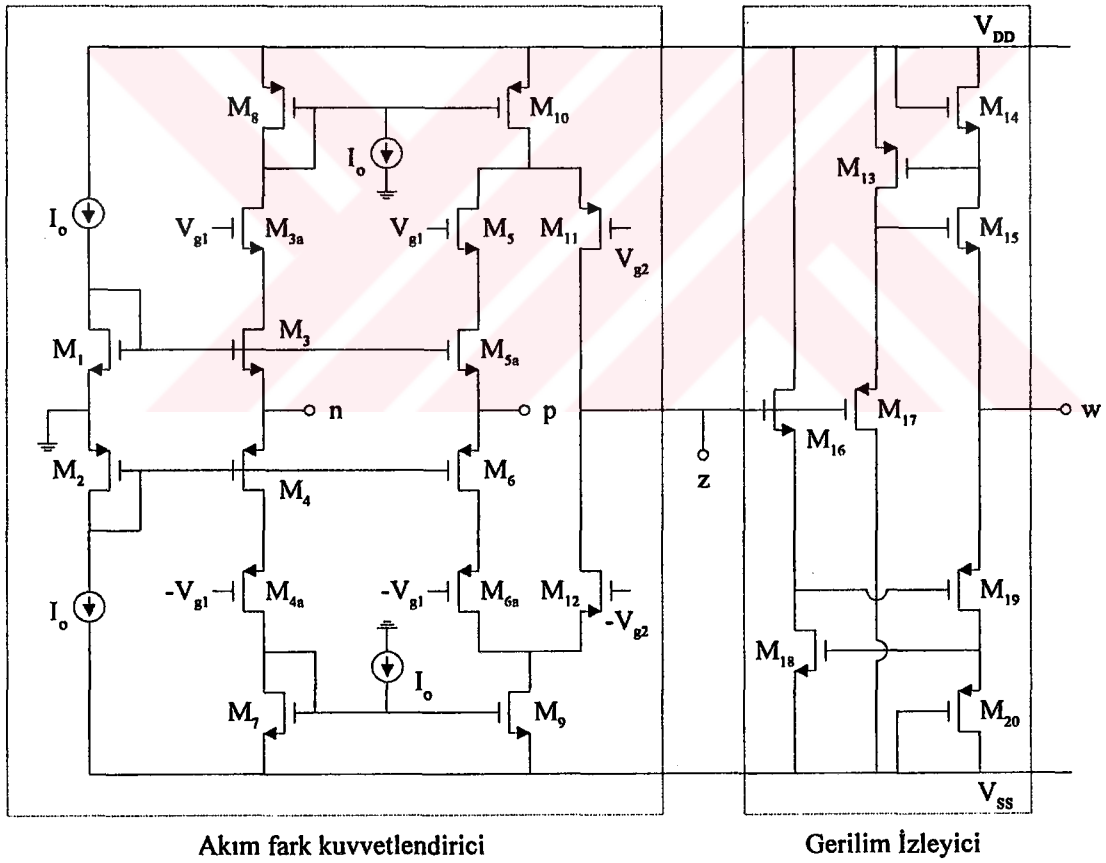


Şekil 2.3 CFOA elemanı ile CDBA elemanı gerçekleştirimi

Şekil 2.4’ de AD844 kullanılarak tasarlanmış CBBA elemanı, Şekil 2.5’ de CDBA elemanının CMOS ile gerçekleştirilmesi gösterilmiştir [1].



Şekil 2.4 AD844 kullanılarak tasarlanmış CBBA elemanı



Akım fark kuvvetlendirici

Gerilim İzleyici

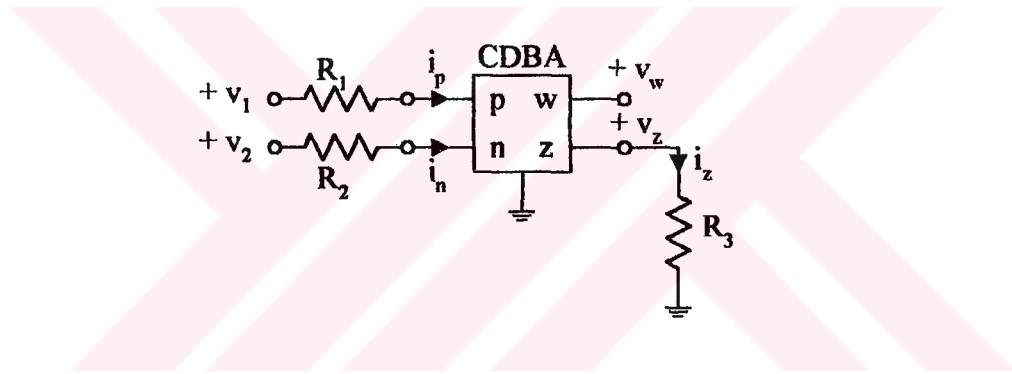
Şekil 2.5 CBBA elemanının CMOS ile gerçekleştirilmesi

3. TEMEL DEVRELERİN CDBA ELEMANI İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Temel devrelerin gerçekleştirilmesi, bize osilatör devrelerini gerçekleştirirken büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu bölümde bu devrelerden, gerilim kazancı, çok girişli toplayıcı, integral alıcı ve türev alıcı incelenmiştir [4].

3.1 Gerilim Kazancı

CDBA elemanı kullanarak gerilim kazancı Şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Bu devrede üç direnç ve bir CDBA elemanı kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Gerilim kazancı

Bu devreden şu eşitlikleri çıkarabiliriz:

$$v_z = i_z \cdot R_3 \quad (3.1)$$

$$v_w = v_z = (i_p - i_n) \cdot R_3 \quad (3.2)$$

$$i_p = \frac{v_1}{R_1} \quad (3.3)$$

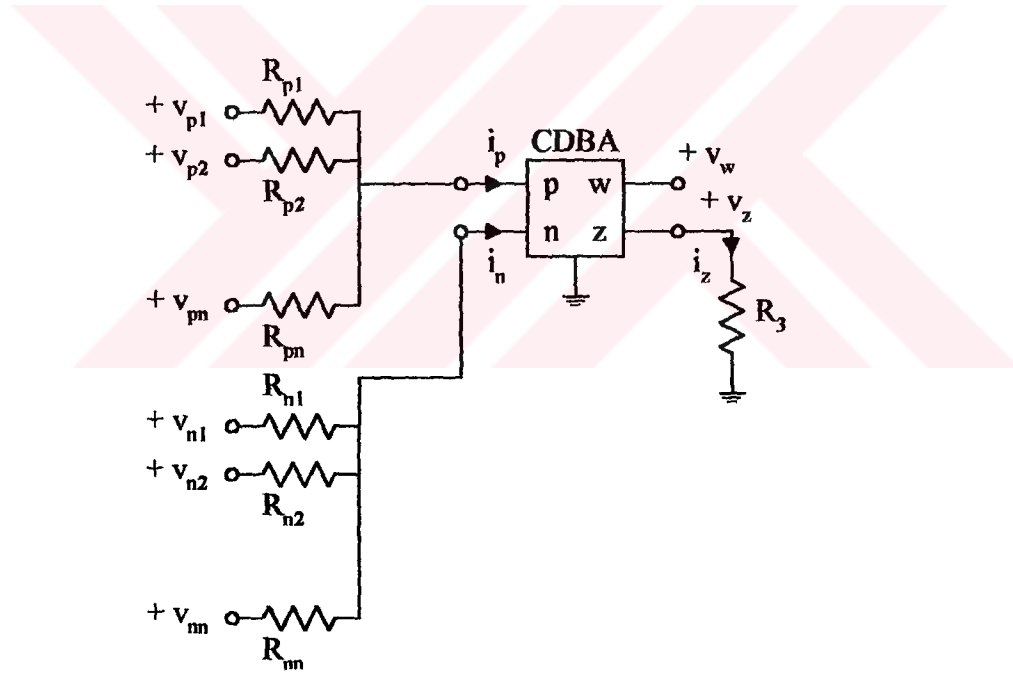
$$i_n = \frac{v_2}{R_2} \quad (3.4)$$

(3.3) ve (3.4) eşitliklerini (3.2)' de yerine koyarsak yeni eşitliği aşağıdaki gibi elde ederiz:

$$v_z = v_w = \frac{R_3}{R_1} \cdot v_1 - \frac{R_3}{R_2} \cdot v_2 \quad (3.5)$$

3.2 Çok Girişli Toplayıcı

CDBA elemanının p ve n terminallerini çok girişli kullanarak çok girişli toplayıcı devresini elde edebiliriz. Şekil 3.2' de bunun gerçekleştirimi ile ilgili devre gösterilmiştir.



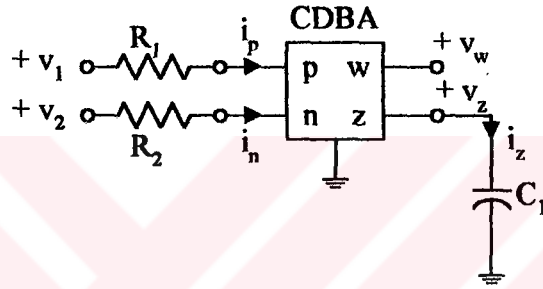
Şekil 3.2 Çok Girişli Toplayıcı

Bu devreden şu eşitliği yazabiliriz:

$$v_z = v_w = \left(v_{p1} \cdot \frac{R_3}{R_{p1}} + v_{p2} \cdot \frac{R_3}{R_{p2}} + \dots + v_{pn} \cdot \frac{R_3}{R_{pn}} \right) - \left(v_{n1} \cdot \frac{R_3}{R_{n1}} + v_{n2} \cdot \frac{R_3}{R_{n2}} + \dots + v_{nm} \cdot \frac{R_3}{R_{nm}} \right) \quad (3.6)$$

3.3 İntegral alıcı

CDBA kullanarak integral alıcı Şekil 3.3’ de gösterilmiştir. Bu devrede iki direnç, bir kapasitör ve bir CDBA kullanılmıştır.



Şekil 3.3 İntegral alıcı

İntegral alıcı devresi durum değişkenleri denklemleri ile osilatör tasarlarken çok önemli rol oynamaktadır. Şekil 3.3’ deki devreden s düzleminde şu eşitlikleri çıkarabiliriz:

$$V_z = I_z \cdot \frac{1}{sC_1} \quad (3.7)$$

$$V_w = V_z = (I_p - I_n) \cdot \frac{1}{sC_1} \quad (3.8)$$

$$I_p = \frac{V_1}{R_1} \quad (3.9)$$

$$I_n = \frac{V_2}{R_2} \quad (3.10)$$

(3.9) ve (3.10) eşitliklerini (3.8)' de yerine koyarsak yeni eşitliği aşağıdaki gibi elde ederiz:

$$V_z = V_w = \frac{1}{s \cdot C_1 \cdot R_1} \cdot V_1 - \frac{1}{s \cdot C_1 \cdot R_2} \cdot V_2 \quad (3.11)$$

$$V_z = \frac{1}{s \cdot C_1} \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} \right) \quad (3.12)$$

(3.12) eşitliğini t düzleminde yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dv_z}{dt} = \frac{v_1}{R_1} - \frac{v_2}{R_2} \quad (3.13)$$

3.4 Türev Alıcı

Şekil 3.4' de CDBA kullanarak türev alıcı uygulaması gösterilmiştir. Bu devrede iki kapasitör, bir direnç ve bir CDBA kullanılmıştır.

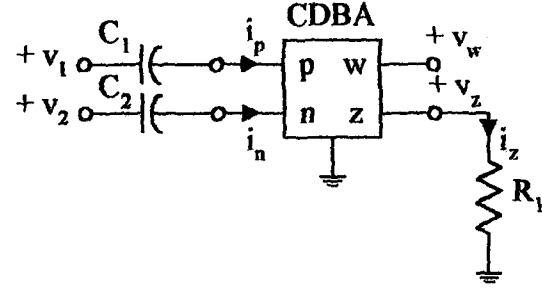
Şekil 3.4' deki devreden s düzlemi için şu eşitlikleri çıkarabiliriz:

$$V_z = I_z \cdot R_1 \quad (3.14)$$

$$V_w = V_z = (I_p - I_n) \cdot R_1 \quad (3.15)$$

$$I_p = V_1 \cdot s \cdot C_1 \quad (3.16)$$

$$I_n = V_2 \cdot s \cdot C_2 \quad (3.17)$$



Şekil 3.4 Türev alıcı

(3.16) ve (3.17) eşitliklerini (3.15)' de yerine koyarsak yeni eşitliği aşağıdaki gibi elde ederiz:

$$V_z = V_w = V_1 \cdot s \cdot C_1 \cdot R_1 - V_2 \cdot s \cdot C_2 \cdot R_1 \quad (3.18)$$

4. CDBA İLE SRCO' LERİN DURUM DEĞİŞKENLERİ İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Daha önce gerçekleştirilen CDBA temelli osilatör devreleri [1] elde edilirken CDBA elemanı ve pasif elemanlar içeren bir osilatör devresi sürülür, daha sonra bu devrenin analizi yapılarak osilasyon koşulu için gerekli şartlar bulunur, bu şartların ve devrelerin analiziyle elde edilen frekans denkleminin, bilgisayar simülasyonları ve pratik devrelerle elde edilen sonuçlarla çelişmediği gösterilerek öne sürülen devrenin bir osilatör olarak kullanabileceği desteklenirdi [6]. Bu tezdeki CDBA temelli osilatörler, daha önce gerçekleştirilen [1] osilatörlerden farklı olarak bir sentez yönteminin kullanılmasıdır. Bu yöntem [7]' de CFA üzerinde uygulanmıştır. Bu çalışmada [7]' deki yöntemden yola çıkarak CDBA temelli osilatör devreleri gerçekleştirilmiştir.

En genel halde bir devrenin durum denklemleri aşağıda verilen biçimdedir.

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= A \cdot x + B \cdot e \\ y &= C \cdot x + D \cdot e\end{aligned}\tag{4.1}$$

Bu tezde ikinci dereceden tek dirençle kontrol edilebilen osilatör devreleri incelenecektir. Bu yüzden giriş işaretimiz ($e = 0$)'dır. A matrisimiz 2×2 boyutludur. Bu şartlar altında aşağıdaki durum eşitliği ile karakterize edilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}\tag{4.2}$$

Yukarıdaki eşitliği s düzleminde yazarsak,

$$\begin{aligned}s \cdot x_1 &= a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 \\ s \cdot x_2 &= a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2\end{aligned}\tag{4.3}$$

Elde ettiğimiz (4.3) eşitliğini düzenlersek;

$$\begin{aligned}(s - a_{11}) \cdot x_1 - a_{12} \cdot x_2 &= 0 \\ (s - a_{22}) \cdot x_2 - a_{21} \cdot x_1 &= 0\end{aligned}\quad (4.4)$$

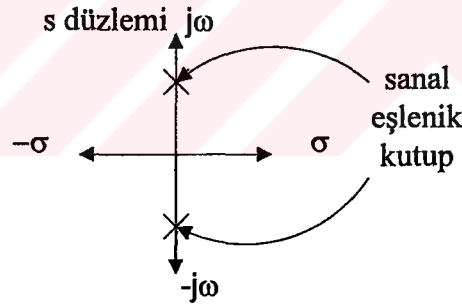
(4.4) denklemindeki x_2 ' ler eşitlenirse ve denklem düzenlenirse aşağıdaki karakteristik denklemi elde ederiz:

$$s^2 - (a_{11} + a_{22}) \cdot s + (a_{11} \cdot a_{12} - a_{11} \cdot a_{12}) = 0 \quad (4.5)$$

(4.5) denklemini karakteristik denklem olarak adlandırılır. Devrenin osilasyon yapması için karakteristik denklemin s ' in katsayısının 0 olması gerekir.

$$a_{11} + a_{22} = 0 \quad (4.6)$$

(4.6) eşitliğine osilasyon koşulu denir ve b ile temsil edilir. Bu koşul sağlandığında devrenin kutupları, $j\omega$ ekseninde eşlenik kutbu çift olur. Şekil 4.1' de köklerin $j\omega$ ekseninde olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Osilasyon koşulu altında karakteristik denklemin kökleri

Bu kutup osilasyonu aşağıdaki frekansla verilir ve osilasyon frekansı ile adlandırılır ω_0 ile temsil edilir.

$$\omega_0 = \sqrt{a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}} \quad (4.7)$$

a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin seçimi, osilatör devresinin özelliklerini belirler. Bağımsız osilasyon koşulunu ve osilasyon frekansını sağlayacak şekilde R ve C

parametrelerinin değerleri durum değişkeni denkleminde uygun şekilde seçilir. Devrenin SRCO' lu olabilmesi için frekans koşulunu sağlayan parametrelerden en az biri, osilasyon koşulunu sağlayan parametrelerin içinde bulunmaması gerekir. Durum eşitlikleri yazıldıktan sonra sonra bu eşitlikten fiziksel devre gerçekleşimi oluşturulur. a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametreleri ile oluşan matris $[A]$ ile ifade edilirse aşağıdaki biçimde yazabiliriz:

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki ifadelere uygun olarak, karakteristik denklemi elde etmek mümkündür. Minimum sayıda eleman ile SRCO gerçekleştirmek için osilasyon frekansını belirleyen dirençlerden en az birisi osilasyon koşulunu gerçekleyen dirençlerden farklı olmalıdır. Bu durumda 3 direnç elemanı gereklidir. Karakteristik denklemde s katsayısını oluşturan ifadenin 0' a eşit olması, bu ifadeyi iki ifadenin farkı olarak seçme zorunluluğunu orataya çıkarmaktadır. Bu durumda $a_{11} + a_{22}$ ' nin seçimi aşağıdaki biçimde seçilebilir [6].

$$\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) \quad (4.8)$$

Aşağıda karakteristik denklemin aldığı durumlar belirtilmiştir. Genel olarak farkları direncin aldığı işaret ve s katsayısındaki kapasitenin R ile çarpıldığında aynı veya farklı olmasıdır. Tablo 4.1' de daha sonra incelenecek olan karakteristik denklemlerin durumları ile ilgili tablo verilmiştir.

4.1 Karakteristik Denklemin 1. Durumu

Frekans osilasyonunu R_1 ile, osilasyon koşulunu R_2 ve R_3 dirençleri ile sağlayacak biçimde karakteristik denklemi aşağıdaki gibi seçebiliriz.

$$s^2 + \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0 \quad (4.9)$$

(4.9) denklemindeki a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin mümkün olabilecek birkaç seçimi aşağıda açıklanmıştır. Bu karakteristik denkleme ait osilasyon koşulu b, ve osilasyon frekansı ω_0 ı kolaylıkla yazabiliriz. Osilasyon koşulu:

$$R_2 = R_3 \quad (4.10)$$

Osilasyon frekansı:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (4.11)$$

Tablo 4.1 Karakteristik denkleme ait durumlar

Durumlar	Karakteristik Denklem
1	$s^2 + \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0$
2	$s^2 + \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0$
3	$s^2 + \left(\frac{1}{R_1 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0$
4	$s^2 + \left(\frac{1}{R_1 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0$
5	$s^2 + \frac{1}{R_1} \cdot \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0$
6	$s^2 + \left(\frac{1}{R_4 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_1} - \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0$
7	$s^2 + \left(\frac{1}{R_4 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_1} - \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_4} = 0$

4.1.1 1. Seçim

a_{11} ve a_{12} parametreleri C_1 kapasitörü ile, a_{21} ve a_{22} parametreleri C_2 kapasitörü ile değişeceği (4.2) eşitliğinden çıkartırız. Burada C_1 ve C_2 ' nin yerdeğiştirmesinin önemi yoktur. (4.9) eşitliğinde $a_{11} + a_{22}$ ifadesinin eşiti olan ifadede C_1 kapasitörü olmadığından aşağıdaki seçimi kolaylıkla yapabiliriz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

(4.12)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

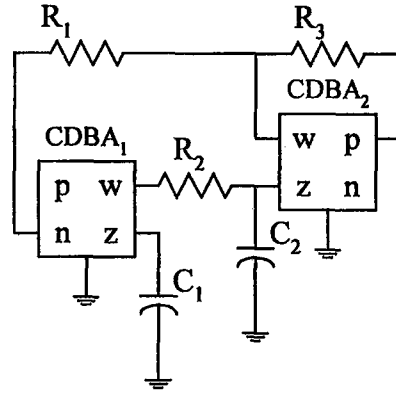
$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_2}{R_3} + \frac{(x_1 - x_2)}{R_2} \quad (4.13)$$

(4.13) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \\ \frac{1}{R_2 \cdot C_2} & \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

(4.13) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.2' deki fiziksel devreyi elde edebiliriz. (4.13) denkleminde kurallar elde edilir. C_1 ve C_2 topraklanmış kapasitelerinde sırasıyla x_1 ve x_2 gerilimleri vardır, bunlar da sırasıyla CDBA₁ ve CDBA₂ elemanlarının z terminallerinden toprağa bağlanır. Sağ taraftaki ifadeler i_{z1} ve i_{z2} akımlarını oluşturur. $-\frac{x_2}{R_1}$, $\frac{x_2}{R_3}$ sırası ile negatif ve pozitif işaretli toplama devresi ile elde edilir ve eviren ve evirmeyen gerilim kontrollü akım kaynakları ile sağlanmaktadır. $\frac{x_1 - x_2}{R_2}$ cebrik farkı oluşturur.

Osilasyon frekansının, osilasyon koşulundan bağımsız olarak kontrol edilebilmesi, tamponlanmış çıkış ve tüm elemanların topraklanmış olması devrelerin özellikleridir.



Şekil 4.2 1. seçime ait devre

4.1.2 2. Seçim

1. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerinin işaretlerini birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4.15)$$

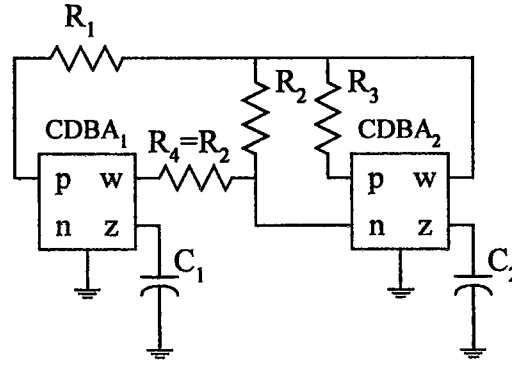
(4.14)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$\begin{aligned} C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} &= \frac{x_2}{R_1} & C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} &= \frac{x_2}{R_3} + \frac{(x_1 + x_2)}{R_2} \end{aligned} \quad (4.16)$$

(4.15) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{R_2 \cdot C_2} & \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

(4.16) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz:



Şekil 4.3 2. seçime ait devre

Bu seçimi ayar işlemine uygun olmadığı için tercih etmiyoruz. Sebebi ise gerilim toplamından dolayı devre fiziksel gerçekleştirilirken bir tane daha dirence mal olmasıdır. Bu ekonomik bir seçim değildir.

4.1.3 3. Seçim

1. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerindeki dirençleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4.18)$$

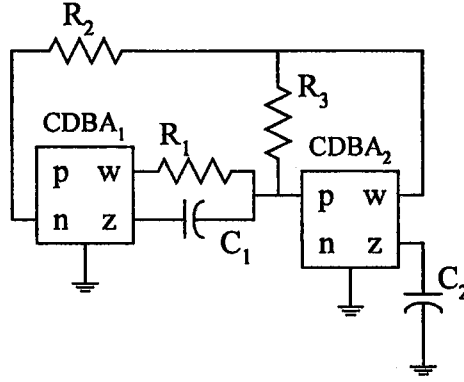
(4.18)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} - \frac{x_2}{R_2} \quad (4.19)$$

(4.19) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{R_2 \cdot C_1} \\ \frac{1}{R_1 \cdot C_2} & \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

(4.20) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz:



Şekil 4.4 3. seçime ait devre

4.1.4 4. Seçim

3. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerinin işaretleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4.21)$$

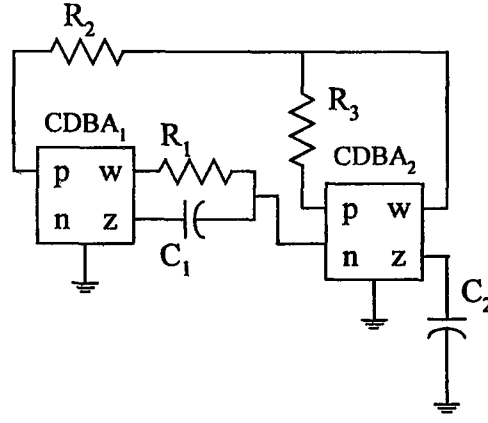
(4.21)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$\begin{aligned} C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} &= \frac{x_2}{R_2} & C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} &= -\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} - \frac{x_2}{R_2} \end{aligned} \quad (4.22)$$

(4.25) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_2 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{R_1 \cdot C_2} & \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

(4.25) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz:



Şekil 4.5 4. seçime ait devre

4.1.5 5. Seçim

1., 2., 3. ve 4. seçimlerdeki $[A]$ matrisinin -1 ile çarpılmasından oluşan yeni matrislere ait seçimlerde elde edebiliriz. 1. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4.24)$$

(4.29)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_2}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_2}{R_3} - \frac{(x_1 - x_2)}{R_2} \quad (4.25)$$

(4.25) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{R_2 \cdot C_2} & -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

(4.25) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz ancak bu çizim 2. seçimdeki gibi dördüncü bir dirence ihtiyaç olacaktır. Dolayısıyla ayar işlemine uygun olmayacağından bu devre çizilmesine gerek duyulmamıştır.

4.1.6 6. Seçim

2. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4.27)$$

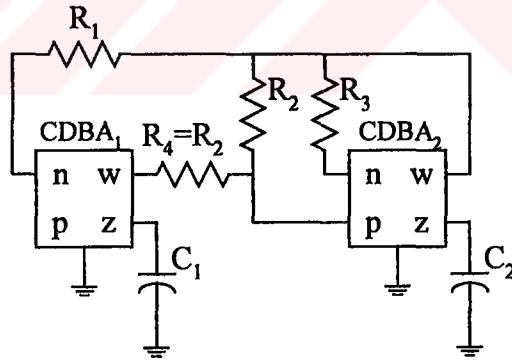
(4.27)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_2}{R_3} + \frac{(x_1 + x_2)}{R_2} \quad (4.28)$$

(4.28) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \\ \frac{1}{R_2 \cdot C_2} & -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

(4.28) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz. Ancak bu biçim bir tane daha dirence mal olduğundan dolayı ayar işlemine uymaz



Şekil 4.6 6. seçime ait devre

4.1.7 7. Seçim

3. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned}
a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\
a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right)
\end{aligned} \tag{4.30}$$

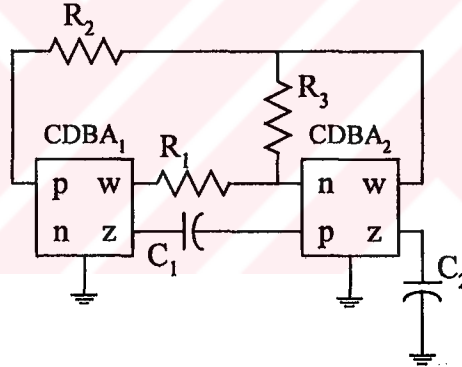
(4.30)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$\begin{aligned}
C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} &= \frac{x_2}{R_2} & C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} &= -\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} - \frac{x_2}{R_3}
\end{aligned} \tag{4.31}$$

(4.31) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_2 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{R_1 \cdot C_2} & -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \tag{4.32}$$

(4.32) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz:



Şekil 4.7 7. seçime ait devre

4.1.8 8. Seçim

4. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned}
a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\
a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right)
\end{aligned} \tag{4.33}$$

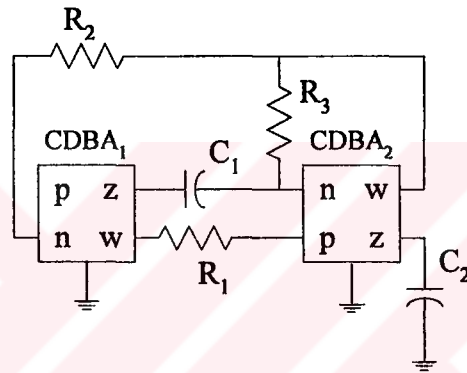
(4.33)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} + \frac{x_2}{R_2} \quad (4.34)$$

(4.34) denklemlerinden matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{R_2 \cdot C_1} \\ \frac{1}{R_1 \cdot C_2} & -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4.35)$$

(4.35) denkleminden yola çıkarak CDBA' lı devreyi çizebiliriz:



Şekil 4.8 8. seçime ait devre

Karakteristik denklemin 1. durumuyla ilgili seçimler bu kadardır. 5., 6., 7. ve 8. seçimler sıra ile 1., 2., 3. ve 4. seçimlerdeki $[A]$ matrisinin -1 ile çarpılmasından elde edilmiştir. 5., 6., 7. ve 8. seçimlerdeki fiziksel devrelerden karakteristik denklem yazıldığında, aşağıda anlatılmış olan, karakteristik denklemin 2. durumu ile benzerlik göstermektedir.

4.2 Karakteristik Denklemin 2. Durumu

Karakteristik denklemin 1. durumundaki osilasyon frekansını sağlayacak olan ifade deki direnç, osilasyon koşulunu sağlayacak olan ifadedeki direnç ile aynı işaretli idi. Bu bölümde ters olması durumu incelenmiştir. Frekans osilasyonunu R_2 ile,

osilasyon koşulunu $R_1 = R_3$ dirençleri ile sağlayacak biçimde karakteristik denklemi aşağıdaki gibi seçebiliriz.

$$s^2 + \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0 \quad (5.36)$$

Bu karakteristik denkleme ait osilasyon koşulu b, ve osilasyon frekansı ω_0 ı kolaylıkla yazabiliriz. Osilasyon koşulu:

$$R_1 = R_3 \quad (4.37)$$

Osilasyon frekansı:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (4.38)$$

(5.36) denklemindeki a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin mümkün olabilecek seçimleri aşağıda incelenmiştir.

4.2.1 9.Seçim

Aşağıdaki seçimi kolayca yapabiliriz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (4.39)$$

(4.39)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_2}{R_1} + \frac{(x_1 + x_2)}{R_3} \quad (4.40)$$

(4.40) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek fiziksel devre 6. seçime ait şekil 4.6' daki fiziksel devre ile aynı olduğundan burada tekrar çizilmemiştir. Aşağıda geçen seçimler ile aynı olan daha önceki seçimler varsa bunlarla ilgili devreler çizilmeyip sadece referansı verilecektir.

4.2.2 10.Seçim

9. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerinin işaretlerini birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (4.41)$$

(4.41)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$\begin{aligned} C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} &= \frac{x_2}{R_2} & C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} &= -\frac{x_2}{R_1} - \frac{(x_1 - x_2)}{R_3} \end{aligned} \quad (4.42)$$

(4.42) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 5. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.2.3 11.Seçim

9. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerindeki dirençleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_3} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (4.43)$$

(4.43)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$\begin{aligned} C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} &= -\frac{x_2}{R_3} & C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} &= \frac{x_1}{R_2} + \frac{x_2}{R_3} - \frac{x_2}{R_1} \end{aligned} \quad (4.44)$$

(4.44) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 8. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.2.4 12.Seçim

11. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerinin işaretleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.45a)$$

$$a_{21} = -\frac{1}{C_2 \cdot R_2} \quad a_{22} = \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (4.45b)$$

(4.45)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_2} + \frac{x_2}{R_3} - \frac{x_2}{R_1} \quad (4.46)$$

(4.46) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 7. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.2.5 13.Seçim

9., 10., 11. ve 12. seçimlerdeki $[A]$ matrisinin -1 ile çarpılmasından oluşan yeni matrislere ait seçimlerde elde edebiliriz. 9. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$a_{11} = 0 \quad a_{12} = \frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} = -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \quad a_{22} = -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (4.47)$$

(4.47)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_2}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} - \frac{x_1}{R_3} \quad (4.48)$$

(4.48) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 2. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.2.6 14.Seçim

10. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$a_{11} = 0 \quad a_{12} = -\frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} = \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \quad a_{22} = -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (4.49)$$

(4.49)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_2}{R_1} + \frac{(x_1 - x_2)}{R_3} \quad (4.50)$$

(4.50) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 1. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.2.7 15.Seçim

11. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_3} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (4.51)$$

(4.51)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_2} - \frac{x_2}{R_3} + \frac{x_2}{R_1} \quad (4.52)$$

(4.52) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 4. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.2.8 16.Seçim

12. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 0 & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_3} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (4.53)$$

(4.53)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_2}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} + \frac{x_1}{R_2} \quad (4.54)$$

(4.54) denkleminde yola çıkarak CDBA' lı devre 3. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.3 Karakteristik Denklemin 3. Durumu

Karakteristik denklemin 1. durumundaki ortak çarpan parantezi C_2 kapasitörü idi. C_2 kapasitörünü parantez ile çarparsak ve $C_1 \neq C_2$ olarak alırsak bu durumda karakteristik denkleminiz:

$$s^2 + \left(\frac{1}{R_1 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0 \quad (5.55)$$

Bu karakteristik denkleme ait osilasyon koşulu b, ve osilasyon frekansı ω_0 1 kolaylıkla yazabiliriz. Osilasyon koşulu:

$$R_1 \cdot C_1 = R_3 \cdot C_2 \quad (4.56)$$

Osilasyon frekansı:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (4.57)$$

(5.55) denklemindeki a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin mümkün olabilecek seçimleri aşağıda incelenmiştir.

4.3.1 17.Seçim

Aşağıdaki seçimi kolayca yapabiliriz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.58)$$

(4.58)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{(x_2 + x_1)}{R_1} - \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{(x_1 + x_2)}{R_3} \quad (4.59)$$

(4.59) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı fiziksel devre ayar işlemine aykırı olduğundan çizilmemiştir.

4.3.2 18.Seçim

17. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerinin işaretleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.60)$$

(4.60)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{(x_2 - x_1)}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{(x_2 - x_1)}{R_3} \quad (4.61)$$

(4.61) eşitliğindeki düğüm denkleminde elde edilen CDBA' lı fiziksel devre ayar işlemine uygun olmadığından çizilmemiştir.

4.3.3 19.Seçim

17. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerindeki dirençleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz::

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_3} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.62)$$

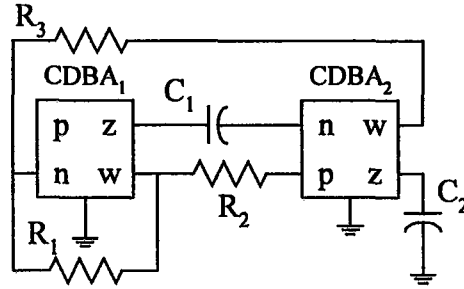
(4.62)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1} + \frac{x_1}{R_2} + \frac{x_2}{R_3} \quad (4.63)$$

(4.63) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} & -\frac{1}{R_3 \cdot C_1} \\ \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

(4.63) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.8' deki fiziksel devreyi elde edebiliriz.



Şekil 4.8 19. seçime ait devre

4.3.4 20. Seçim

19. seçimdeki a_{12} ve a_{21} parametrelerinin işaretleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_3} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.65)$$

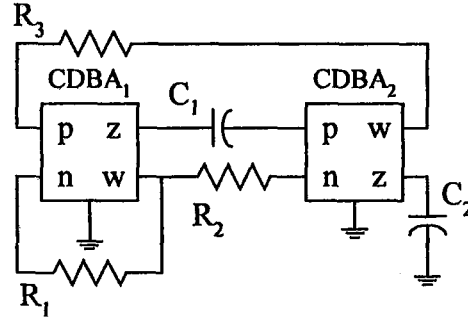
(4.65)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} - \frac{x_1}{R_2} + \frac{x_2}{R_3} \quad (4.66)$$

(4.66) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} & \frac{1}{R_3 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \end{bmatrix} \quad (4.67)$$

(4.66) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.10' daki fiziksel devreyi elde edebiliriz.



Şekil 4.10 20. seçime ait devre

4.3.5 21. Seçim

17., 18., 19. ve 20. seçimlerdeki $[A]$ matrisinin -1 ile çarpılmasından oluşan yeni matrislere ait seçimlerde elde edebiliriz. 17. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$a_{11} = \frac{1}{C_1 \cdot R_1} \quad a_{12} = \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (4.67a)$$

$$a_{21} = -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \quad a_{22} = -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \quad (4.67b)$$

(4.67)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{(x_2 + x_1)}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{(x_1 + x_2)}{R_3} \quad (4.68)$$

(4.68) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek devre ayar işlemine uymadığından fiziksel devrenin çizimi verilmemiştir.

4.3.6 22.Seçim

18. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.69)$$

(4.69)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{(x_1 - x_2)}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{(x_1 - x_2)}{R_3} \quad (4.70)$$

(4.70) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek devre ayar işlemine uymadığından fiziksel devrenin çizimi verilmemiştir

4.3.7 23.Seçim

19. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$a_{11} = \frac{1}{C_1 \cdot R_1} \quad a_{12} = \frac{1}{C_1 \cdot R_3} \quad (4.71a)$$

$$a_{21} = -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad a_{22} = -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \quad (4.71b)$$

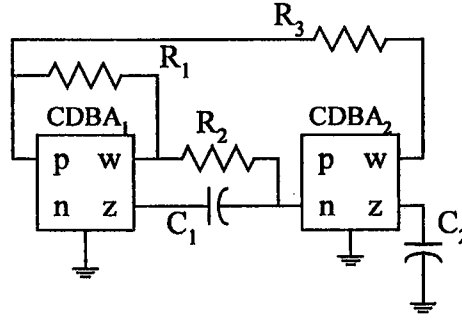
(4.71)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\left(\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} \right) - \frac{x_1}{R_2} \quad (4.72)$$

(4.73) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1 \cdot C_1} & \frac{1}{R_3 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & -\frac{1}{R_3 \cdot C_2} \end{bmatrix} \quad (4.73)$$

(4.73) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.11' deki fiziksel devreyi elde edebiliriz.



Şekil 4.11 23. seçime ait devre

4.3.8 24. Seçim

20. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_3} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.74)$$

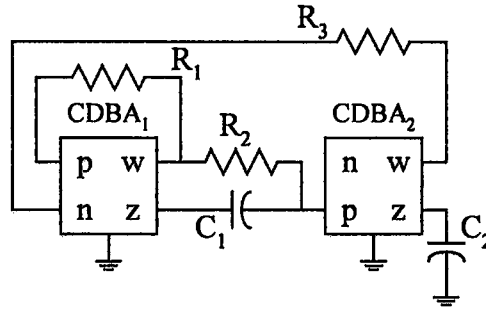
(4.74)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1} + \frac{x_1}{R_2} - \frac{x_2}{R_3} \quad (4.75)$$

(4.74) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1 \cdot C_1} & -\frac{1}{R_3 \cdot C_1} \\ \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & -\frac{1}{R_3 \cdot C_2} \end{bmatrix} \quad (4.76)$$

(4.75) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.12' deki fiziksel devreyi elde edebiliriz.



Şekil 4.12 24. seçime ait devre

Karakteristik denklemin 3. durumuyla ilgili seçimlerimiz bu kadardır. 21., 22., 23. ve 24. seçimler sıra ile 17., 18., 19. ve 20. seçimlerdeki [A] matrisinin -1 ile çarpılmasından elde edilmiştir. 21., 22., 23. ve 24. seçimlerdeki fiziksel devrelerden karakteristik denklem yazıldığında, aşağıda anlatılmış olan, karakteristik denklemin 4. durumu ile benzerlik göstermektedir.

4.4 Karakteristik Denklemin 4. Durumu

Karakteristik denklemin 3. durumundaki osilasyon frekansını sağlayacak olan ifadedeki direnç, osilasyon koşulunu sağlayacak olan ifadedeki direnç ile ters işaretli idi. Bu bölümde aynı olması durumu incelenmiştir.

$$s^2 + \left(\frac{1}{R_1 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0 \quad (4.77)$$

Bu karakteristik denkleme ait osilasyon koşulu b, ve osilasyon frekansı ω_0 ı kolaylıkla yazabiliriz. Osilasyon koşulu:

$$R_1 \cdot C_1 = R_3 \cdot C_2 \quad (4.78)$$

Osilasyon frekansı:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (4.79)$$

(5.77) denklemindeki a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin mümkün olabilecek seçimleri aşağıda incelenmiştir.

4.4.1 25.Seçim

Aşağıdaki seçimi kolayca yapabiliriz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.80)$$

(4.80)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{(x_2 + x_1)}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_2} + \frac{(x_1 + x_2)}{R_3} \quad (4.81)$$

(4.81) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek CDBA' lı devre ayar işlemine uygun olmadığından fiziksel devre çizilmemiştir.

4.4.2 26.Seçim

25. seçimdeki a_{11} ve a_{12} parametrelerinin işaretleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.82)$$

(4.82)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_2 - x_1}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_2} + \frac{(x_2 - x_1)}{R_3} \quad (4.83)$$

(4.83) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek CDBA' lı devre ayar işlemine uygun olmadığından fiziksel devre çizilmemiştir.

4.4.3 27.Seçim

25. seçimdeki a_{11} ve a_{12} parametrelerindeki dirençleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.84)$$

(4.84)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_2} - \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} \quad (4.85)$$

(4.85) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı fiziksel devre 23. seçimdeki devre ile aynıdır

4.4.4 28.Seçim

27. seçimdeki a_{11} ve a_{12} parametrelerinin işaretleri birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.86)$$

(4.86)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} + \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_3} \quad (4.87)$$

(4.87) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek fiziksel devre 23. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.4.5 29.Seçim

25., 26., 27. ve 28. seçimlerdeki $[A]$ matrisinin -1 ile çarpılmasından oluşan yeni matrislere ait seçimlerde elde edebiliriz. 25. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.88)$$

(4.88)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{(x_2 + x_1)}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_2} - \frac{(x_1 + x_2)}{R_3} \quad (4.89)$$

(4.89) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek CDBA' lı devre ayar işlemine uygun olmadığından fiziksel devre çizilmemiştir.

4.4.6 30.Seçim

26. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.90)$$

(4.90)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2 - x_1}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_2} + \frac{(-x_2 + x_1)}{R_3} \quad (4.91)$$

(4.91) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek CDBA' lı devre ayar işlemine uygun olmadığından fiziksel devre çizilmemiştir.

4.4.7 31.Seçim

27. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.92)$$

(4.92)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} + \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} \quad (4.93)$$

(4.93) eşitliğindeki düğüm denklemindeki devre 19. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.4.8 32.Seçim

28. seçimdeki matrisin -1 ile çarpılmasından:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_1} & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_3} \end{aligned} \quad (4.94)$$

(4.94)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_2} - \frac{x_2}{R_3} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_3} \quad (4.95)$$

(4.95) eşitliğindeki düğüm denklemindeki devre 20. seçimdeki devre ile aynıdır.

4.5 Karakteristik Denklemin 5. Durumu

Karakteristik denklemin 5. durumu R_1 ortak çarpan parantezinde olacak şekilde C_1 ve C_2 kapasitörlerinin farkının R_1 ile çarpılması ile seçilmiştir.

$$s^2 + \frac{1}{R_1} \cdot \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0 \quad (5.96)$$

Bu karakteristik denkleme ait osilasyon koşulu b, ve osilasyon frekansı ω_0 ı kolaylıkla yazabiliriz. Osilasyon koşulu:

$$C_1 = C_2 \quad (4.97)$$

Osilasyon frekansı:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (4.98)$$

(5.96) denklemindeki a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin mümkün olabilecek seçimleri aşağıda incelenmiştir.

4.5.1 33.Seçim

Aşağıdaki seçimi kolayca yapabiliriz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_1} & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_1} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & a_{22} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_1} \end{aligned} \quad (4.99)$$

(4.99)' dan düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1 - x_2}{R_1} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1 - x_2}{R_1} + \frac{x_1}{R_2} \quad (4.100)$$

(4.100) eşitliğindeki düğüm denkleminde, $C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1 - x_2}{R_1}$ ifadesini $R_1 = R_3$

seçecek şekilde $C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_3}$ biçiminde yazabiliriz. Ancak bu şekilde CDBA'

lı fiziksel devre 24. seçimdeki devre ile aynıdır.

Buradaki 33. seçim, 24.seçim ile aynı özellikleri göstermektedir. Benzer şekilde 34.seçim ve 40.seçim ile arasındaki seçimler karakteristik denklemin 4. durumundaki seçimler ile aynı özellikleri sahiptir.

4.6 Karakteristik Denklemin 6. Durumu

Karakteristik denklemin 6. durumu aşağıda iki tipi verilmiştir.

$$s^2 + \left(\frac{1}{R_4 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_1} - \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0 \quad (5.101)$$

$$s^2 + \left(\frac{1}{R_4 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_1} - \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_4} = 0 \quad (5.102)$$

Bu karakteristik denkleme ait osilasyon koşulu b, ve osilasyon frekansı ω_0' ı kolaylıkla yazabiliriz. Osilasyon koşulu:

$$\frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) = \frac{1}{C_2 \cdot R_2} \quad (4.103)$$

Osilasyon frekansı:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (4.104)$$

(5.101) denklemindeki a_{ij} , $i=1,2$, $j=1,2$ parametrelerinin mümkün olabilecek birkaç seçimi aşağıda incelenmiştir. Ancak osilasyon koşulu ve frekans osilasyonu sağlayan parametrelerin birbirleri ile bağımlı olduğu görülmektedir. (4.104) formülünde, R_2 veya R_3 ile frekansı ayarladığımızda osilasyon koşulunun etkilendiğini (4.103)' deki formülde görülmektedir.

4.6.1 41.Seçim

Aşağıdaki seçimi kolayca yapabiliriz:

$$a_{11} = \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) \quad a_{12} = \frac{1}{C_1 \cdot R_4}$$

$$a_{21} = -\frac{1}{C_2 \cdot R_2} \quad a_{22} = \frac{1}{C_2 \cdot R_2} \quad (4.105)$$

(4.105)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_3} - \frac{x_1}{R_4} + \frac{x_2}{R_4} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_2} + \frac{x_2}{R_2} \quad (4.106)$$

(4.106) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek CDBA' lı devre ayar işlemine uygun olmadığından fiziksel devre çizilmemiştir.

4.6.2 42.Seçim

41. seçimdeki a_{11} ve a_{12} parametrelerindeki dirençler birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) & a_{12} &= \frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} &= -\frac{1}{C_2 \cdot R_4} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} \end{aligned} \quad (4.107)$$

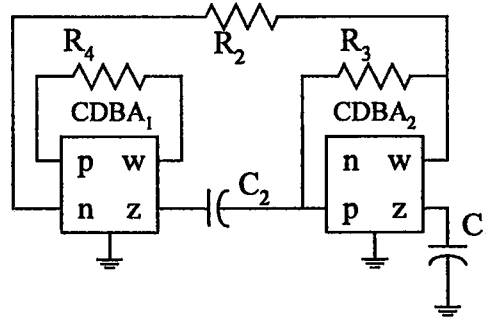
(4.107)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_3} - \frac{x_1}{R_4} + \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = -\frac{x_1}{R_4} + \frac{x_2}{R_4} \quad (4.108)$$

(4.108) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) & \frac{1}{R_2 \cdot C_1} \\ -\frac{1}{R_4 \cdot C_2} & \frac{1}{R_4 \cdot C_2} \end{bmatrix} \quad (4.109)$$

(4.108) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.29' daki fiziksel devreyi elde edebiliriz.



Şekil 4.13 42. seçime ait devre

4.6.3 43.Seçim

41. seçimdeki a_{11} ve a_{12} parametrelerinin işaretlerini birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_4} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} \end{aligned} \quad (4.110)$$

(4.110)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_3} - \frac{x_1}{R_4} - \frac{x_2}{R_4} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_2} + \frac{x_2}{R_2} \quad (4.111)$$

(4.111) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak elde edilecek CDBA' lı devre ayar işlemine uygun olmadığından fiziksel devre çizilmemiştir.

4.6.4 44.Seçim

42. seçimdeki a_{11} ve a_{12} parametrelerinin işaretlerini birbirleri ile değiştirirsek yeni seçimimiz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) & a_{12} &= -\frac{1}{C_1 \cdot R_2} \\ a_{21} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_4} & a_{22} &= \frac{1}{C_2 \cdot R_2} \end{aligned} \quad (4.112)$$

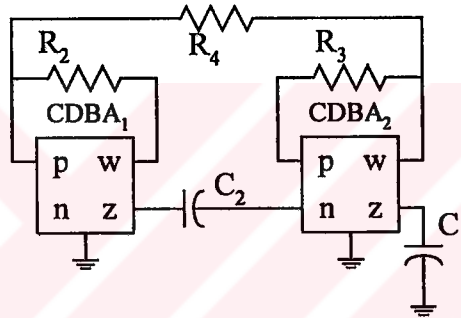
(4.112)' den düğüm eşitliğini yazarsak:

$$C_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \frac{x_1}{R_3} - \frac{x_1}{R_4} - \frac{x_2}{R_2} \quad C_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_4} + \frac{x_2}{R_2} \quad (4.113)$$

(4.112) denkleminde matrisi elde edersek:

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) & -\frac{1}{R_2 \cdot C_1} \\ \frac{1}{R_4 \cdot C_2} & \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \end{bmatrix} \quad (4.114)$$

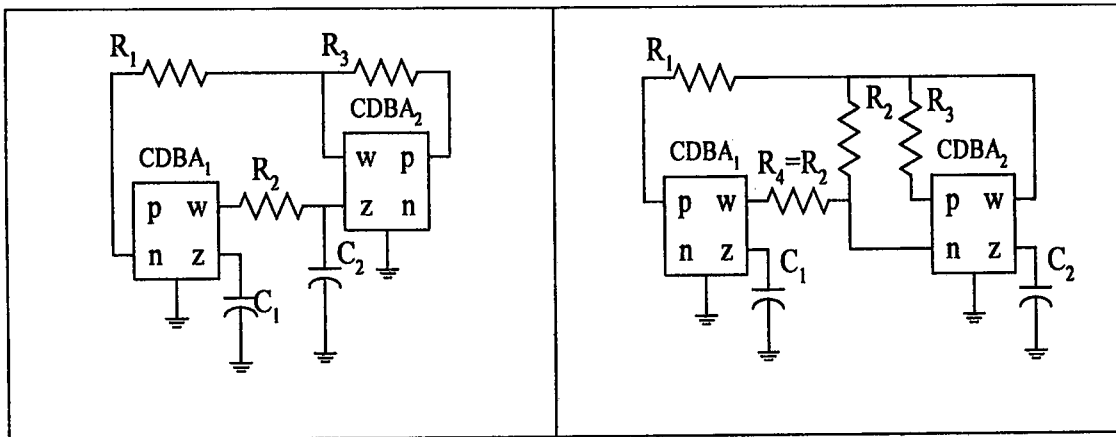
(4.114) eşitliğindeki düğüm denkleminde yola çıkarak CDBA' lı şekil 4.30' deki fiziksel devreyi elde edebiliriz.



Şekil 4.14 44. seçime ait devre

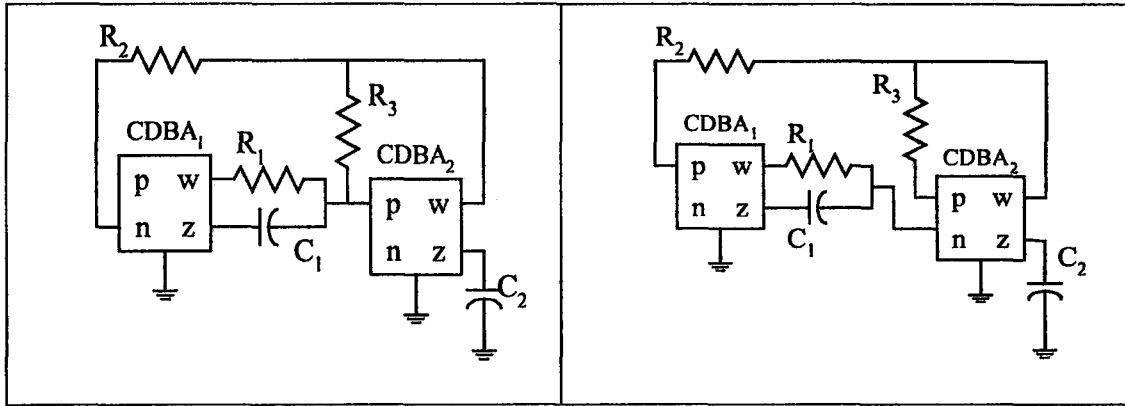
Aşağıda önerilen devrelere ait fiziksel devreler bir tablo halinde verilmiştir.

Tablo 4.2a Karakteristik denklemin 1. durumuna ait tek dirençle kontrol edilen CDBA tabanlı osilatör devreleri



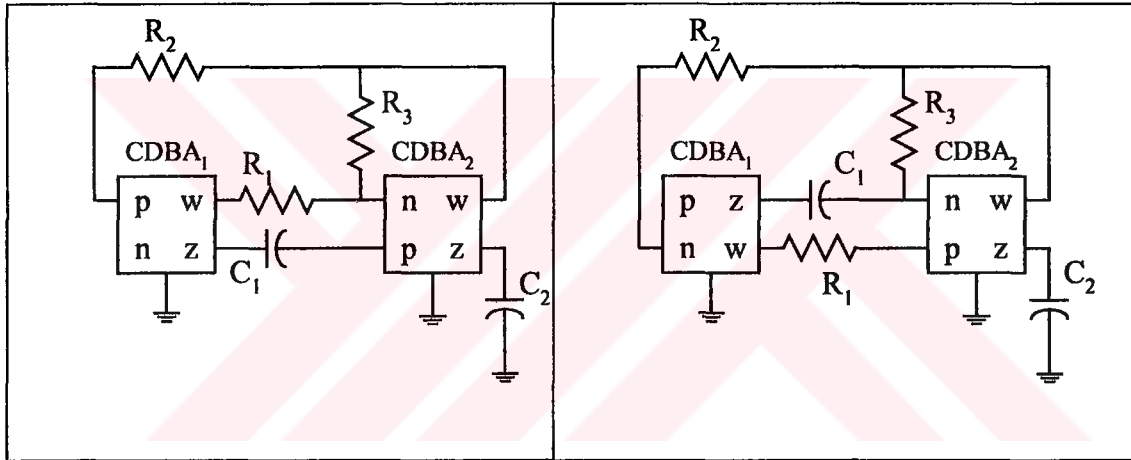
Tablo 4.2b Karakteristik denklemin 1. durumuna ait tek dirençle kontrol edilen

CDBA tabanlı osilatör devreleri



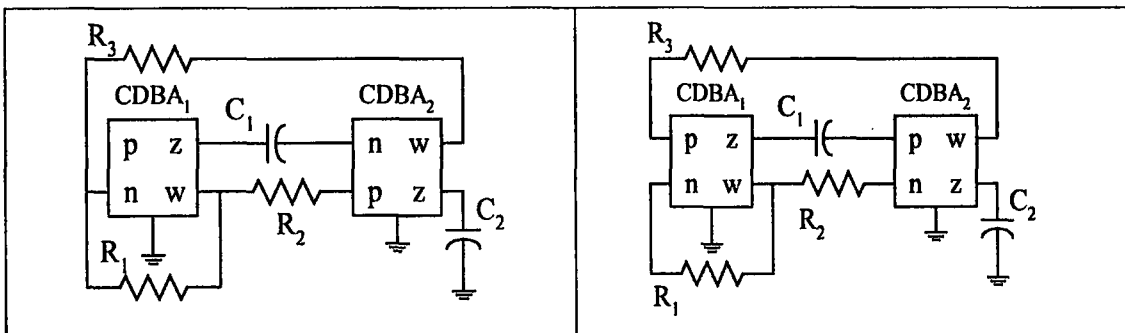
Tablo 4.3 Karakteristik denklemin 2. durumuna ait tek dirençle kontrol edilen

CDBA tabanlı osilatör devreleri

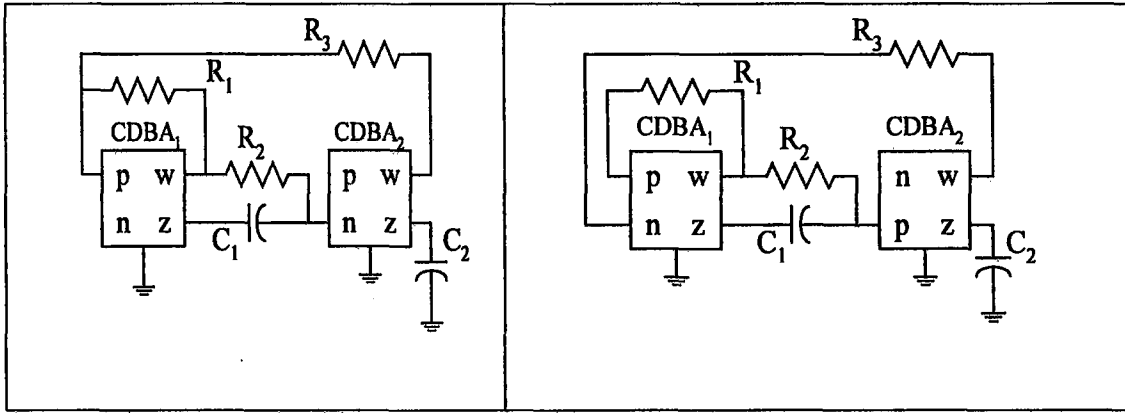


Tablo 4.4 Karakteristik denklemin 3. durumuna ait tek dirençle kontrol edilen

CDBA tabanlı osilatör devreleri



Tablo 4.5 Karakteristik denklemin 4. durumuna ait tek dirençle kontrol edilen
CDBA tabanlı osilatör devreleri



5. CDBA ELEMANI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DEVRELERİN ÖZELLİKLERİ VE PSPICE SIMULASYONU

Eleman sayısı, yukarıdaki devrelerden tablo 4.2a' daki 4 dirençli devre hariç hepsi 3 direnç, 2 kapasite ve 2 CDBA' lıdır.

Elemanların bağlantısı, yukarıdaki devrelerdeki elemanların bir kısmı toprağa, bir kısmı p ve n uçlarına ki, bu uçlardaki gerilimler 0 olarak verilmiştir. Dolayısıyla sözde toprağa bağlıdır. Bir kısımda çıkış gerilimine bağlıdır. Her devrenin sahip olduğu C_2 kapasitesi bütün devrelerde toprağa bağlıdır. C_1 kapasitesi bazılarında p sözde toprağına, bazılarında n sözde toprağına bağlanmıştır. Tablo 4.2a' da toprağa bağlanmıştır. Tablo 4.2a' daki 1. devredeki R_2 direncinin uçlarında iki ayrı gerilim olması hariç, devrelerdeki tüm dirençlerin bir uçları sözde topraklıdır.

ω_0 ve b bağımsızlığı, tablo 4.2 ve tablo 4.3 deki devreler R_2 direncinin R_3 ' e eşit olması halinde osilasyon koşulunu sağlar. Bu koşul sağlandıktan sonra R_1 direnci ile frekans osilasyonu gerçekleşir. Frekans osilasyonu R_1 direnci ile değişmesi, osilasyon koşuluna etki etmemektedir. Dolayısıyla frekans bağımsızlığı gerçekleşir.

Tablo 4.4 ve 4.5 deki devreler, $C_1=C_2$ ve $R_1=R_3$ olması halinde osilasyon koşulunu sağlar. Bu şartlar altında R_2 direnci ile bağımsız frekans osilasyonu gerçekleşir.

İdealsizliğin kompanzasyonu, devrenin ideal olmayan durumundaki davranışını bulmak için CDBA' nın karakteristik denklemini yeniden yazarsak:

$$\begin{bmatrix} i_z \\ v_w \\ v_p \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha_p & -\alpha_n \\ \beta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_z \\ i_w \\ i_p \\ i_n \end{bmatrix} \quad (5.115)$$

p ve n terminallerinden z terminaline akım kazançları sırasıyla $\alpha_p=1-\epsilon_p$, $\alpha_n=1-\epsilon_n$, w terminalinin gerilim kazancı $\beta=1-\epsilon_v$ ' dir. ϵ_p , ϵ_n , ϵ_v 1' den çok küçüktür. $|\epsilon_p| \ll 1$, $|\epsilon_n| \ll 1$, $|\epsilon_v| \ll 1$.

ϵ_p , ϵ_n , ϵ_v çok küçük büyüklükler olduğundan, osilasyon frekansına etkileri ihmal edilebilir. Ayrıca bu etkiler, frekansın tek dirençle kontrol edilebilir özelliğinden dolayı frekansa etkisi yok edilebilir. Sonuç olarak osilasyon koşulu ve frekans osilasyon özelliklerini devam ettirmektedir.

1. karakteristik denklemdeki 1. seçimde CDBA elemanın idealsızlık hali gözönüne alınarak devreni osilasyon şartını, frekans osilasyonunu ve karakteristik denkleme etkisini bulabiliriz. Aşağıda bu açıklamalarla ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir. Diğer karakterisitik denklemlerdeki seçimlerde benzer şekilde uygulanabilir.

r_{z1} , r_{z2} , α_{p1} , α_{n1} ve β 1. CDBA elemanına, r_{z1} , r_{z2} , α_{p2} , α_{n2} ve β 2. CDBA elemanına ait parametreler olmak üzere osilasyon koşulu b:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\alpha_{p2} \cdot \beta_2}{R_3} \quad (5.116)$$

frekans osilasyonu:

$$\omega_0^2 = \frac{\alpha_{n1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} \quad (5.117)$$

karakteristik denklem:

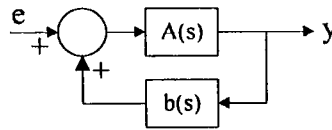
$$s^2 + \left(\frac{1}{C_2 \cdot r_{z2}} + \frac{1}{C_2 \cdot R_2} - \frac{\alpha_{p2} \cdot \beta_2}{C_2 \cdot R_3} - \frac{1}{C_1 \cdot r_{z1}} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} \cdot \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{r_{z1} \cdot r_{z2}} + \frac{R_1}{r_{z1}} - \frac{\alpha_{p2} \cdot \beta_2 \cdot R_1 \cdot R_2}{r_{z1} \cdot R_3} + \alpha_{n1} \cdot \beta_2 \cdot \beta_1 \right) = 0 \quad (5.117)$$

$R_1 \cdot R_2 \ll r_{z1} \cdot r_{z2}$, $R_1 \ll r_{z1}$, $R_1 \cdot R_2 / R_3 \ll r_{z1}$ olarak seçilirse 1. karakteristik denklem elde edilir. $R_2 = R_3$, $C_1 = C_2$ seçildiği ve $r_{z1} = r_{z2}$ olduğundan, 1. karakteristik denklem elde edilir.

ω_0 ' ın kararlılığı, A, B, C, D devreleri 1. karakteristik denklemden çıkmaktadır. 1. karakteristik denklemi yazarsak:

$$s^2 + \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0 \quad (5.118)$$

Geribeslemeli bir blok diyagramı çizersek:



Şekil 5.1 Geribesleme blok diyagramı

Bu diyagramda transfer fonksiyonu $T(s)$ ' i yazarsak:

$$T(s) = \frac{A(s)}{1 - \beta(s) \cdot A(s)} \quad (5.119)$$

Berkhausen osilasyon kriterine göre devrenin osilasyon yapabilmesi için $1 - \beta \cdot A = 0$ olması gerekir. Bu ifadede karakteristik denkleme eşittir. Birim geri besleme devresi için $T(s)$:

$$T(s) = \frac{A(s)}{1 - A(s)} \quad (5.120)$$

Karakteristik denklemi $s^2 + (b - d) \cdot s + c = 0$ biçiminde yazarsak ve $\frac{A(s)}{1 - A(s)}$ ' nın paydasına eşitleyecek biçimde $A(s)$ fonksiyonunu yazarsak:

$$A(s) = \frac{ds}{s^2 + bs + c} \quad (5.121)$$

$A(s)$ ' nin $\varphi(\omega)$ ' sini bulup, daha sonra ω ' ya göre türevinde, ω yerine ω_0 koyup, ω_0 ile çarpımını yazarsak, frekans kararlılığını buluruz:

$$S^F = \omega_0 \cdot \frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial \omega} \Big|_{\omega = \omega_0} = -\frac{2 \cdot Q}{\omega_0} = -2 \cdot Q \quad (5.122)$$

Burada $\varphi(\omega)$ faz fonksiyonu, $A(s)$ ileri yol kazancı, $\beta(s)$ besleme kazancı $A(s) \cdot \beta(s)$ çevrim kazancını verir. $\varphi(\omega)$, $A(j\omega) \cdot \beta(j\omega)$ fonksiyonundan elde edilen faz fonksiyonudur.

$\frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial \omega}$ değeri ne kadar büyükse frekans kararlılığı o kadar iyidir. Çünkü ω nin değişimi ne kadar küçükse fazdaki değişimler frekansı o kadar az etkiler. Yani S^F değerinin büyük olması frekansın kararlı olması anlamına gelmektedir [8]. (5.122) ' de kararlılığın $-2 \cdot Q$ ' ya bağlı olduğunu görüyoruz. Eğer Q değerini büyük seçersek o kadar kararlı devre elde ederiz.

5.1 1. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı

1. karakteristik denklem için A fonksiyonunu yazarsak:

$$A = \frac{\frac{1}{R_3 \cdot C_2} s}{s^2 + \frac{1}{R_2 \cdot C_2} s + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (5.123)$$

(5.201) denkleminde $\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}$ ve $\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{R_2 \cdot C_2}$ olarak bulunur. Buradan

$Q = \sqrt{\frac{R_2 \cdot C_2}{R_1 \cdot C_1}}$ olarak bulunur. R_2 ve C_2 çarpımının büyük olması devreyi kararlı

kılar. R_2 R_3 ' ü etkiler. Çünkü osilasyon koşulu için R_2 ile R_3 eşit olmalıdır. Bu R_2 direnci ile frekansa olan etkisi R_1 direnci kaldırılabilir. Yani frekans bağımsızlığı yine sağlanmaktadır.

5.2 2. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı

E ve F devreleri için 2. Karakteristik denklemi yazabiliriz:

$$s^2 + \frac{1}{C_2} \cdot \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2} = 0 \quad (5.124)$$

A fonksiyonu yazarsak:

$$A = \frac{\frac{1}{R_3 \cdot C_2} s}{s^2 + \frac{1}{R_1 \cdot C_1} s + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (5.125)$$

(5.203) denkleminde $\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}$ ve $\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$ olarak bulunur. Buradan

$Q = R_3 \cdot \sqrt{\frac{C_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1}}$ olarak bulunur. Osilasyon koşulu için R_2 ve R_3 eşit

olacağından Q' yu tekrar yazarsak, $Q = \sqrt{\frac{R_3 \cdot C_2}{R_1 \cdot C_1}}$ elde edilir. R_3 , C_2 çarpımının

büyük olması devreyi kararlı kılar. Osilasyon koşulu için R_2 ile R_3 eşit olmalıdır. Bu R_2 direnci ile frekansa olan etkisi R_1 direnci kaldırılabilir. Yani frekans bağımsızlığı yine sağlanmaktadır.

5.3 3. Karakteristik denklem için frekans kararlılığı

G ve H devreleri için 3. Karakteristik denklemi yazabiliriz:

$$s^2 + \left(\frac{1}{R_1 \cdot C_1} - \frac{1}{R_3 \cdot C_2} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0 \quad (5.126)$$

A fonksiyonunu yazarsak:

$$A = \frac{\frac{1}{R_3 \cdot C_2} s}{s^2 + \frac{1}{R_1 \cdot C_1} s + \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (5.127)$$

(5.205) denkleminde $\omega_0^2 = \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}$ ve $\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$ olarak bulunur. Buradan

$Q = R_1 \cdot \sqrt{\frac{C_1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_2}}$ olarak bulunur. Osilasyon koşulu için R_1 , C_1 ve R_3 , C_2 'ye eşit

olacağından Q 'yu tekrar yazarsak, $Q = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$ elde edilir. R_1 'in büyük olması

devreyi kararlı kılar. R_3 direncinin frekansa olan etkisi R_2 direnci kaldırılabilir. Frekans bağımsızlığı yine sağlanmaktadır.

5.4 4. Karakteristik denklem için frekans karalılığı

I ve J devreleri için 4. Karakteristik denklemi yazabiliriz:

$$s^2 + \left(\frac{1}{R_3 \cdot C_2} - \frac{1}{R_1 \cdot C_1} \right) \cdot s + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3} = 0 \quad (5.128)$$

A fonksiyonu yazarsak:

$$A = \frac{\frac{1}{R_1 \cdot C_1} s}{s^2 + \frac{1}{R_3 \cdot C_2} s + \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (5.129)$$

(5.201) denkleminde $\omega_0^2 = \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}$ ve $\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{R_3 \cdot C_2}$ olarak bulunur. Buradan

$Q = \sqrt{\frac{R_3 \cdot C_2}{R_2 \cdot C_1}}$ olarak bulunur. R_3 'ün büyük olması devreyi kararlı kılar. R_3

direncinin frekansa olan etkisi R_2 direnci kaldırılabilir. Frekans bağımsızlığı yine sağlanmaktadır.

Aşağıda devrelerin ideal ve ideal olmayan durumlarının osilasyon koşulları ve frekans koşulları, fiziksel devreleri ile ilgili tablolar verilmiştir.

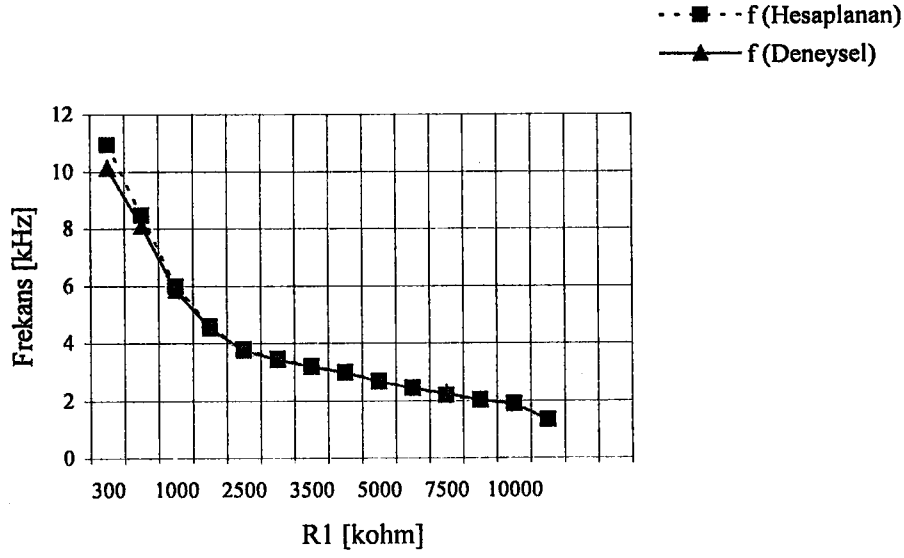
Tablo 5.1 Yukarıda verilen devrelerin ideal ve ideal olmayan şartlardaki osilasyon koşulları ve frekans osilasyonları:

İDEAL			İDEAL OLMAYAN	
NO	Osilasyon koşulu (b)	Frekans osilasyou (ω_0^2)	Osilasyon koşulu (b)	Frekans osilasyou (ω_0^2)
A	$R_2 = R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$	$\alpha_{p2} \cdot \beta_2 \cdot R_2 = R_3$	$\frac{\alpha_{n1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
B	$R_2 = R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$	$\alpha_{p2} \cdot R_2 = \alpha_{n2} \cdot R_3$	$\frac{\alpha_{n2} \cdot \alpha_{p1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
C	$R_2 = R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$	$\alpha_{p2} \cdot R_2 = \alpha_{n1} \cdot R_3$	$\frac{\alpha_{n1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
D	$R_2 = R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$	$\alpha_{p2} \cdot R_2 = \alpha_{p2} \cdot R_3$	$\frac{\alpha_{n2} \cdot \alpha_{p1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
E	$R_2 = R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$	$\alpha_{n2} \cdot R_2 = \alpha_{p1} \cdot \alpha_{p2} \cdot R_3$	$\frac{\alpha_{n1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
F	$R_2 = R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$	$R_2 = \alpha_{n1} \cdot R_3$	$\frac{\alpha_{n1} \cdot \alpha_{p2} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
G	$C_1 \cdot R_1 = C_2 \cdot R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3}$	$C_1 \cdot R_1 \cdot \alpha_{n1} \cdot \beta_2 = C_2 \cdot R_3 \cdot \beta_1$	$\frac{\alpha_{n1} \cdot \alpha_{p2} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
H	$C_1 \cdot R_1 = C_2 \cdot R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3}$	$C_1 \cdot R_1 \cdot \alpha_{n1} \cdot \alpha_{p2} \cdot \beta_2 = C_2 \cdot R_3 \cdot \alpha_{p1}$	$\frac{\alpha_{n2} \cdot \alpha_{p1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
I	$C_1 \cdot R_1 = C_2 \cdot R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3}$	$C_1 \cdot R_1 \cdot \alpha_{n1} \cdot \beta_2 = C_2 \cdot R_3 \cdot \beta_1$	$\frac{\alpha_{n2} \cdot \alpha_{p1} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$
J	$C_1 \cdot R_1 = C_2 \cdot R_3$	$\frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot R_3}$	$C_1 \cdot R_1 \cdot \alpha_{n1} \cdot \alpha_{p2} \cdot \beta_2 = C_2 \cdot R_3 \cdot \beta_1 \cdot \alpha_{p1}$	$\frac{\alpha_{n1} \cdot \alpha_{p2} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}$

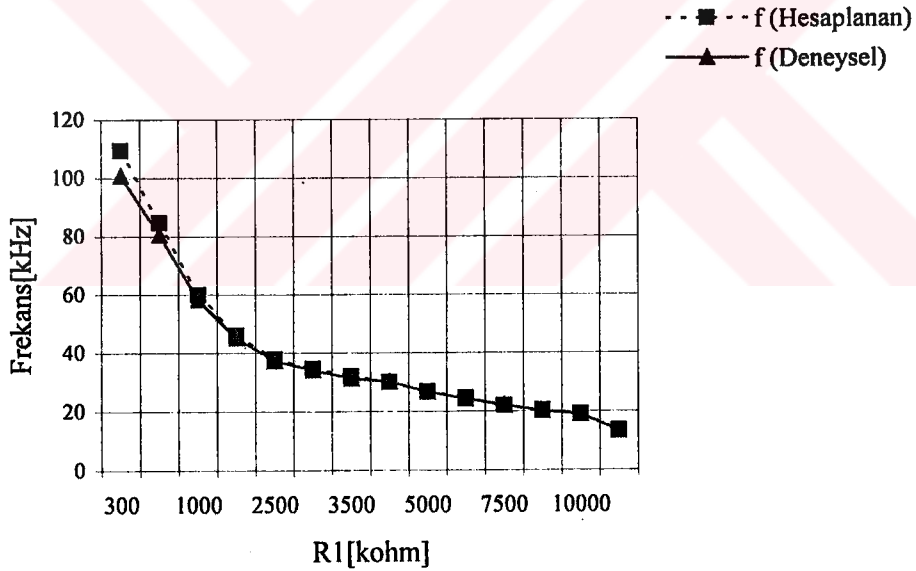
5.5 PSPICE Simulasyonu

PSPICE simulasyonu, önerilen devrelerin teorik analizini doğrulamak için yapılmıştır. PSPICE ile simulasyonda AD844 ile kullanılan CDBA modeli kullanılmıştır. Aşağıda şekil 4.1 devresi için simulasyonun neticeleri verilmiştir.

Osilasyon şartı için $R_2=7.05K$, $R_3=7K$, $C_1=C_2=10nF$, $R_1=5K$ değerleri şekil 4.1' deki osilatör devresi için uygulandığında $f_0=2690,21$ Hz olarak hesaplanırken simulasyonda 2669 Hz elde edilmiştir.



Şekil 5.2 $C_1=C_2=10nF$, $R_2=7.05K$, $R_3=7K$ değerleri için frekans değerleri



Şekil 5.3 $C_1=C_2=1nF$, $R_2=7.05K$, $R_3=7K$ değerleri için frekans değerleri

6. SONUÇ

Bu çalışmada CDBA aktif elemanı kullanılarak oluşturulan 10 osilatör devresi önerilmiştir. Osilasyon frekansı osilasyon şartından bağımsız ve en az sayıda elemanla içeren osilatör devrelerinin tasarım detayları verilmiştir. CDBA elemanının idealsızlık hali incelenmiş, osilatörün idealsızlıktan etkilenmemesi için gerekli şartlar belirtilmiştir. CDBA elemanının en büyük avantajı ω - ucunun düşük değerli empedansa sahip olmasıdır. Önerilen devrelerde, üç direnç, iki kapasitör ve 2 CDBA elemanına sahip ve osilasyon frekansı R direnci ile ayarlanabilmektedir. Gerilim kontrollü osilatör (VCO) gerçekleştirmede uygundur. Dolayısıyla yeni imkanlar sağlamaktadır.

Ayrıca [1]' de belirtilen metodun aksine bu çalışmada gerçek bir sentez metodu ile basit bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yaklaşım bize devre tasarımında bir topolojiye bağlı kalma zorunluluğunu ortadan kaldırarak ve sistematik bir şekilde devreyi elde etmemizi sağlamaktadır.

CDBA elemanını kullanarak sistematik bir şekilde SRCO' ları elde etmek, durum değişkenleri sentezi metodu yaklaşımı ile elde etmek oldukça kolaydır.

Osilasyon koşulunu ve frekans koşulunu oluşturan dirençleri R' ye, kapasiteleri C' ye eşitlersek, ve frekans osilasyonunu ayarlayan direnc $R_0=R/n$ olarak seçilirse, frekans kararlılık faktörünü $2.n^{1/2}$ olarak bulunur. n değeri oldukça büyük seçilerek kararlı bir osilatör elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özcan, S., Toker, A. , Acar, C., Kuntman, H., Çiçekoğlu, O., 1999, Single resistance-controlled sinusoidal oscillators employing current differencing buffered amplifier, *Microelectronics Journal.*, **31**, 169-174.
- [2] Tao, Y.Fidler, J. K., 2000. Electronically tunable dual-ota second order sinusoidal / filter with non-interacting control: sistematic sensitive approach, *IEEE transaction on circuit and systems- Part1: Fundemantal theory and application*, Vol.47 No.2, 117-129
- [3] Abuelma' atti, M. T., Al zahir, H., 2000. Grounded capacitor current mode sinusoidal oscillator with single element controlled amplitude and phase using two FDFN, *Frequenz*, Vol.54, ,87-89
- [4] Acar, C. and Özoğuz, S., 1998, A new versatile building block: current differencing buffered amplifier suitable for analog signal-processing filters, *Microelectronics Journal.*, **30**, 157-160.
- [5] Dong-Shiuh, W., Ho-Tsan, L., Yuh-Shyan, H. and Yan-Pei, W., 1994. CFA-based universal filter deduced from a Mason graph, *Int. J. Electronics*, **77**, 1059-1065.
- [6] Yüksel, E., 1999. Genelleştirilmiş durum denklemleriyle CFOA temelli osilatör sentezi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Gupta, S.S. and Senani, R., 1997. Synthesis of single-resistance-controlled oscillators using CFOAs: simple state-variable approach, *IEE Proc. – Circuit Devices Syst.*, **144**, 104-106.
- [8] Bhaskar, D.R. and Senani, R., 1993. New current-conveyor-based single-resistance-controlled / voltage-controlled oscillator employing grounded capacitors, *Electronics Letters.*, Vol.29 No.7, 612-613.
- [9] Özoğuz, S., Toker, A. , İbrahim, Muhammed A.. and Acar, C., 'A new versatile building block: current differencing buffered amplifier and its applications', *Proc. Of 1999 European Conference on Curcuit Theory and Design (ECCTD'99)*, Vol. II, pp. 90-93, Stresa, Italy 29 Aug.-2 Sep. 1999.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Üsküdar doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit' te tamamladı. Daha sonra Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi' nin Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünü 1996 yılında bitirdi. Aynı yıl girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde öğrenimi devam etmektedir.

