

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mikro, Karg. Dur. Denk. İle Kar. Edil,

Yüksek Lisans Tezi

A. Bülent Taşer

1987

2/42

4500-

15/2
63

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA KARIŞTIRICISININ
DURUM DENKLEMLERİ İLE
KAREKTERİZE EDİLMESİ

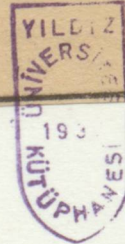
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELK. MÜH. AHMET BÜLENT TAŞER

İSTANBUL 1987

YILDIZ UNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R. 152
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 63
Tarih : 3.12.1988
Fatura : ----
Fiatı : 4500 TL
Ayniyat No : 1/21
Kayıt No : 45749
UDC : 378.242
=EK : 001.64

P



İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
1. KARİSTİRİCİNİN MODELLENMESİ	3
1.1 PERKANS DEĞİŞTİRİLMİŞ	3
1.2 SCHOTTKY ERGİMLİ DİOD KARAKTERİSTİKLERİ	4
Akım gerilim karakteristiği	4
Diod eşdeğer devreleri	6
1.2. Çalışmalarım süresi boyunca bana yol gösteren ve yardımcı olan sayın Doç. Dr. Filiz GÜNES ' e teşekkür ederim.	16
2. ANA LİNEAR ZAMAN DEĞİŞEN BİR DEVRE İÇİN DURUM DENKLEMLERİ	16
2.2 KARİSTİRİCİNİN DURUM DENKLEMLERİ İLE İFADESİ	29
2.2.1 Karistirici Grafi	30
2.2.2 Durum Matrisi	31
2.2.3 Parametre Matrisleri	33
2.2.4 Karistiricinin Temel Devre ve Kesit İfadeleri	34
2.2.5 Durum Matrisi	36
3.1 NİKRODAL-A KARİSTİRİCİNİN KARARLILIK SİSTEM DURUM DEĞİŞ MATRİSİ	39
3.1.2 KARİSTİRİCİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMLER İFADESİ ve BU DENKLEMLERİN ÇÖZÜMLERİ	44
3.2 LİNEAR ZAMANLA DEĞİŞEN NİKRODAL-A KARİSTİRİCİNİN KARARLILIK SİSTEM DURUM DEĞİŞ MATRİSİ	46
3.2.1 NİKRODAL-A KARİSTİRİCİNİN LİNEAR ZAMANLA DEĞİŞEN NİKRODAL-A KARİSTİRİCİNİN KARARLILIK SİSTEM DURUM DEĞİŞ MATRİSİ	56
4. SONUÇ	60
KAYNAKLAR	62
DİŞİNDEKİLER	63

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
1. KARİSTİRİCİNİN MODELLENMESİ	3
1.1 FREKANS DEĞİŞTİRME	3
1.2 SCHOTTKY ENGELLİ DİOD KAREKTERİSLİKLERİ	4
Akım gerilim karakterisliği	4
Diod eşdeğer devreleri	6
1.2.3 KARİSTİRİCİ ANALİZİ	9
2. DURUM DENKLEMLERİ İLE GÖSTERİM	16
2.1 ZAMANLA LİNEAR OLARAK DEĞİŞEN BİR DEVRE İÇİN DURUM DENKLEMLERİ	16
2.2 KARİSTİRİCİNİN DURUM DENKLEMLERİ İLE İFADESİ	29
2.2.1 Karıştırıcı Grafi	30
2.2.2 Düğümleme Matrisi	31
2.2.3 Parametre Matrisleri	33
2.2.4 Karıştırıcının Temel Çevre ve Kesit ifadeleri	34
2.2.5 Durum Matrisi	36
3.1 MİKRODALGA KARİSTİRİCİSİNİN KARARLILIĞI	39
Sistem Durum Geçiş Matrisi	40
3.1.2 KARİSTİRİCİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMLE İFADESİ ve ÖZ ÇÖZÜMÜNÜN ARAŞTIRILMASI	44
3.2 LİNEAR ZAMANLA DEĞİŞEN DEVRELERİN LİAPUNOV KARARLILIĞINI	46
3.2.1 MİKRODALGA KARİSTİRİCİSİNİN LİAPUNOV ANLAMDA KARARLILIĞI	56
4. SONUÇ	60
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	83

ÖZET

Mirrodalga alıcı sistemlerinde bulunan karıştırıcı katının durum denklemleri ile ifadesi tezin ana konusudur. Bu çalışma esnasında . karıştırıcı katında frekans değiştirme işlevini gerçekleştiren Schottky engelli diodun eşdeğer devresi modellenmiştir. Bu model üzerinde bir sistemin durum denklemlerini elde etme yaklaşımı uygulanmıştır. Durum denklemleri ile karakterize edilen bir sistemin kararlılığı genel olarak incelendikten sonra Karıştırıcının Liapunov anlamda kararlılığı için kriter elde edildi. Belli bir kutuplama şartı için diod junction geriliminin eldesi ve Liapunov anlamda kararlılık kriterinin testi nümerik yöntemle sağlandı. ed by means of using numerical method.

GİRİŞ

SUMMARY

Expressing by state equations of microwave mixer at microwave receiver systems is the main subject of this thesis. During this work : the equivalent circuit of Schottky barrier diode which was used for obtain frequency changing process at mixer was modelled. At this model the approximation of obtaining state equation of any system was used. The stability of any system which was expressed by state equations was investigated in general and then the Liapunov stability of mixer criterias was obtained . And finally , for certain bias condition the junction voltage of mixer and the testing of mixer Liapunov stability criteria was obtained by means of using numerical method.

Bu tezde mikrodalga karıştırıcıların diğer bir adıyla "Frekans Değiştirici"lerdir.

Frekans Değiştirme İşlevi: Reaktif, reaktans veya bunların karışımına içeren lineer olmayan veya parametreleri zamanla değişen sistemler tarafından gerçekleştirilir.

Lineer olmayan dirençlerin kullanımı ile elde edilen frekans değiştirme işlevindeki esas elemanlar Schottky çukullu diod, negatif dirençli tünel diodu P-N veya bipolär transistör olabilir.

1970'lerden sonra mikrodalga sistemlerinde kullanılan başlıca aktif devre elemanlarından biride mikrodalga alıcılarının karıştırıcı katında kullanılan Schottky çukullu dioddur.

Teorik yaklaşımların çoğunda Mikrodalga karıştırıcı-

GİRİŞ

Günümüz iletişim teknolojisinde alıcı sistemlerinde süperheterodin ilkesi uygulanmaktadır. Süperheterodin alıcısının çalışması ana hatlarıyla şöyle özetlenebilir, sistemde istenen bilgi işaretini taşıyan taşıyıcı frekans ve çevresi kabaca süzülür, daha sonra ise önceden saptanmış ve sisteme göre değişen bir ara frekansa kaydırılır. Bu frekansda süzülme, demodile ve yükseltme gibi temel işlevler gerçekleştirilir.

Mikrodalga alıcı sistemlerinde süperheterodin prensibi karıştırıcı katlarında gerçekleştirilmektedir. Alıcıya gelen işaretle lokal osilatörden gelen işaret karıştırıcıda birleşerek diğer bir deyimle işaret demodile edilerek ara frekans adı verilen daha alçak frekanslı bir işarete dönüştürme görevi karıştırıcınınındır. Dolayısıyla mikrodalga karıştırıcılarının diğer bir adıda "Frekans Değiştirici"lerdir.

Frekans değiştirme işlevi resistif, reaktans veya bunların karışımını içeren linear olmayan veya parametreleri zamanla değişen sistemler tarafından gerçekleşir.

Linear olmayan dirençlerin kullanımı ile elde edilen frekans değiştirme işlevindeki esas elemanlar Schottky engelli diod, negatif dirençli tünel diodu FET veya bipolar transistör olabilir.

1970'lerden sonra mikrodalga sistemlerinde kullanılan başlıca aktif devre elemanlarından biride mikrodalga alıcılarının karıştırıcı katında kullanılan Schottky engelli dioddur.

Teorik yaklaşımların çoğunda Mikrodalga karıştırıcı-

ların sırf resistif modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. 1 G.Hz. lik frekansların altındaki çalışmalarda resistif diod modeli uygundur. Fakat daha yüksek frekanslardaki çalışmalarda diodun reaktans bileşenlerindeki hesaba katılması gerekir.

Bu çalışmada diod eşdeğer modelinde diodun reaktans bileşeninde göz önüne alınmıştır. Frekans değiştirme veya frekans dönüştürme işlevleri genel olarak linear olmayan devre yada sistemler tarafından sağlanır.

Pratik uygulamalarda frekans değiştiricilerde linear olmayan elemanlar kullanıldığı halde frekans değiştirme ve modülasyon konularını incelemede zamanla değişen parametrelili linear devre analizi daha iyi bir yaklaşımdır. Bu tarz yaklaşım bir çok pratik düzen sınırlamaları getirdiği halde pratiğe temel olan ve ona yol gösteren teoriyi daha iyi yorumlamayı sağlar.

Mikrodalga alıcı sistemlerinin karıştırıcı katlarında kullanılan schootky diodun durum denklemleriyle karakterize edilmeleri bu tezin başlıca konusudur. Bu tarz yaklaşımda diodun ele alınan modelinde endüktans ve kapasitans bulunması diod reaktans elemanlarının hesaba katılması sağlanmış olurki 1 G.Hz. lik ve üzerindeki çalışmalardada geçerli bir model üzerinde inceleme olanağı sağlar. Ayrıca ele alınan model zamanla değişen parametrelili bir devre olduğundan linear olmayan sistemlerin incelenmesindeki yaklaşım geleneğinde bozulmamış olur.

1. KARİSTTRICININ MODELLENMESİ

1.1. FREKANS DEĞİŞTİRME

Belirli bir band genişliğine sahip bir sinyalin frekans bandının tamamı ile aynı band genişliğinde bir başka frekans bandına sinyal bilgisini bozmadan yada tahrip etmeden kaydırma işlevine frekans değiştirme denir. Bu işlevi gerçekleştiren sistemde frekans değiştirici veya karıştırıcı denir.

Karıştırıcıların pratik anlamda gerçekleştirilmesi resistif, reaktif veya bunların karışımını içeren linear olmayan veya parametreleri zamanla değişen sistemler tarafından sağlanır. Alıcıların karıştırıcı katlarında kullanılan elemanlardan bazıları ise negatif dirençli tünel diod, Schottky engellidiod, FET veya bipolar transistör olabilir. Bu elemanlardan Schottky engelli diod 3 Terahertz gibi çok yüksek frekanslarda çalışabildiğinden dolayı uydu iletişim sistemlerinde yaygın biçimde kullanılır. Dolayısıyla bu çalışmada geniş bir frekans bandında çalışabilen schottky engelli diod model olarak alınmıştır.

Mikrodalga karıştırıcısının matematiksel modellenmesini yapmadan önce, karıştırıcı katında kullanılan schottky engelli diodun özelliklerini kısaca belirtmek daha uygundur.

li enerjili seviyesine sahip olan yarı iletken elektrotlarının miktarını saptanabilir. Bu enerji veya sıcak taşıyıcılar metalle içine bu önceden enjekte edilirler. Elektrotlar potansiyel engelini aşarak metale ulaşırlar.

1.2. SCHOTTKY ENGELLİ DİOD KAREKTERİSLİKLERİ

Schottky engelli diodun temel yapısı . metal ve yarı iletken birleşimidir. Schottky engelli diod bir çok özellikleri bakımından "p-n" dioduna benzemesine rağmen bu dioda nazaran bazı üstünlükleri mevcuttur.

Schottky engelli diodu bir çoğul taşıyıcı elemandır. Bu sebepten dolayı çalışma esnasında her hangi bir yük birikimi olmaz. Diğer bir avantajı ise "p-n" diodunda bulunan "p" yüzey tabakası schottky engelli diodunda bulunmaz. Bu ise seri parazit resistansının düşük seviyeli olmasını sağlar.

A . AKIM GERİLİM KAREKTERİSLİĞİ

Schottky engelli diod akımının oluşumu için iki ayrı teori mevcuttur. Bunlardan diod (ısı) teorisine göre metal ile yarı iletken arasında oluşan engel yarı iletken içindeki elektronların serbest yollarından daha dar olmasından dolayı engel içindeki çarpışma ihmal edilebilir. Yayılım teorisine göre ise metal ile yarı iletken arasındaki engel tabakası . yarı iletken içindeki serbest yoldan daha ince olduğundan engel içindeki elektronların hareketi yayılım işlevi tarafından kontrol edilebilir. Bu tarz yaklaşımların arasından ısı teorisi daha geniş çapta kabul görür. Isı teorisinin asıl amacı . metal ile yarı iletken arasında yer alan engeli aşmak için yeterli enerji seviyesine sahip olan yarı iletken elektronlarının miktarını saptamaktır. Bu enerjik veya sıcak taşıyıcılar metalin içine bu engelden enjekte edilirler. Elektronlar potansiyel engelini aşarak metale ulaşırlar.

Bu elektronlar metal içinde çok kısa bir zaman aralığında taşıdıkları fazla enerjiyi çarpışma yoluyla verip tekrar Fermi seviyelerine dönerler. Bu çok kısa zaman aralığı yaklaşık olarak 10^{-13} sn. seviyesindedir. Dolayısıyla dioda tatbik edilen sinüzoidal gerilimin polaritesinin yaklaşık olarak 10^{-12} sn. den daha kısa zamanda değişebileceğini gösterir.

Schottky engelli diod teorik olarak 10^{12} Hz. lik frekansda çalışabilir, fakat pratik uygulamalarda jonksiyon daki diferansiyel " C_j " kapasitesinden dolayı bu frekans da çalışma gerçekleşemez.

Diodun akım ve gerilim eşitliği

$$I_j = I_s (\exp(\alpha V_j) - 1) \quad (1.2.1)$$

(1.2.1) ifadesinde yer almaktadır. Bu ifadede yer alan " I_s " diod saturasyon akımıdır ve bilgisayarlarla yapılan hesaplamalarda diod saturasyon akımının değeri $7.5 \cdot 10^{-10}$ A. olarak alınır. (1.2.1) ifadesinde yer alan " " ise

$$\alpha = \frac{q}{n K T} \quad (1.2.2)$$

şeklindedir. (1.2.2) ifadesinde bulunan elemanlar ise

q elektron yükü

n jonksiyon kalite faktörü

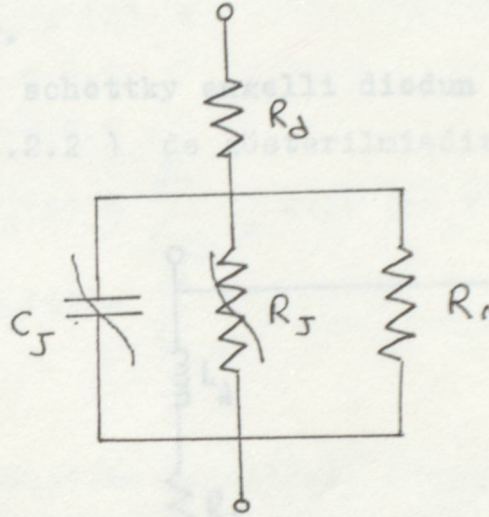
K Boltzman sabiti

T diod sıcaklığı (Kelvin)

olup " α " 'nın yaklaşık değeri 38.0228 V^{-1} dir.

B. DİOD EŞDEĞER DEVRELERİ

Paketlenmemiş schottky enjelli diodun eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil (1.2.1)

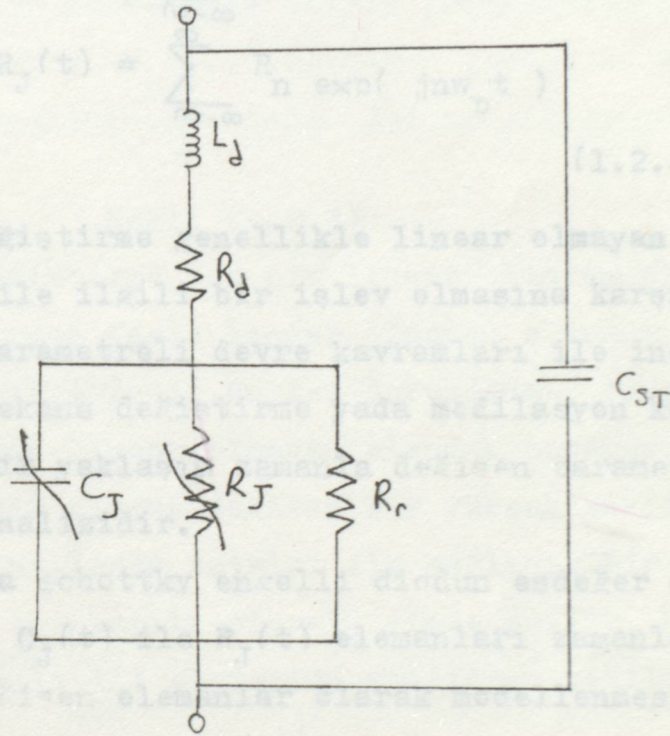
Şekil (1.2.1) de gösterilen diod eşdeğer devrede yer alan R_d direnci jonksiyon dışında kalan diod gövdesinin direncini temsil etmektedir. Ayrıca söz konusu olan bu direnc , diodun frekansdan bağımsız olan DC değerinde gösterir.

Negatif gerilim bölgesindeki jonksiyon sızıntı akımlarını R_r limit direnci temsil etmektedir. Eşdeğer devrede yer alan C_J ise diferansiyel jonksiyon kapasitesinin lineer olmayan karakterisliğini gösterir. Bu karakterislik aşağıdaki ifade ile belirtilebilir.

$$C_J = \frac{C_{J0}}{\left(1 - \frac{V_J}{\phi}\right)^\gamma} \quad (1.2.3)$$

(1.2.3) ifadesinde yer alan C_{J0} kapasitenin sıfır voltluk gerilime karşı düşen değerini, ϕ yayılma (difüzyon) potansiyelini ise jonksiyonun yapısına bağlı bir parametreyi gösterir. Bu parametresi gerilimden bağımsız bir değerdir.

Paketlenmiş schottky engelli diodun eşdeğer devresi ise şekil (1.2.2) de gösterilmiştir.



Şekil (1.2.2)

Bu eşdeğer devrede yer L_d diod endüktansını, C_{ST} ise paketleme kapasitesini temsil etmektedir. Diod paketleme işlevi cam, seramik ve küçük MCM paketleri kullanılmak suretiyle \times frekans bandına kadar frekans değerlerinde gerçekleştirir.

Diod eşdeğer devrelerinde yer alan elemanlar ise:

$$R_d = 9$$

$$C_{ST} = 0.17 \text{ pf}$$

$$C_{JO} = 0.8 \text{ pf}$$

$$L_d = 2.3 \text{ nh}$$

$$R_r = 100 \text{ K}$$

$$\gamma = 0.5$$

$$\phi = 0.9 \text{ v}$$

$$C_J(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp(jn\omega_p t)$$

$$R_J(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} R_n \exp(jn\omega_p t)$$

(1.2.4)

Frekans değiştirme genellikle linear olmayan devre yada sistemler ile ilgili bir işlev olmasına karşın .za manla değişen parametrelili devre kavramları ile incelenir Genel olarak frekans değiştirme yada modilasyon konularına daha iyi bir yaklaşım zamanla değişen parametrelili linear sistem analizidir.

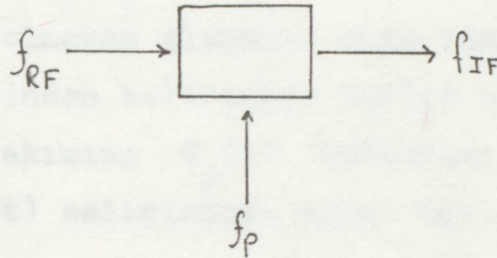
Delayısıyla schottky engelli diodun esdeğer devre sinde yer alan $C_J(t)$ ile $R_J(t)$ elemanları zamanla periyodik olarak değişen elemanlar olarak modellenmesi. karıştırıcı analizinde linear zamanla değişen parametrelili sistem yaklaşımının kullanılmasını sağlar.

Şekil (1.2.4)

Pratikte karıştırıcıyı eüren lokal osilatörün seri lihi . uygulanan sinyal geriliminden 20 dB daha fazladır. linear olmayan elemana uygulanan toplam gerilim lokal e-

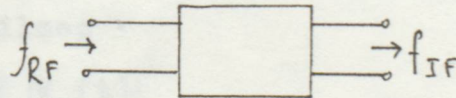
1.2.3 KARİSTİRİCİ ANALİZİ

Süperheterodin alıcıların karıştırıcı katları bir mikrodalga frekansındaki sinyali IF ara frekanslı bir sinyal haline dönüştürülür. Genel olarak karıştırıcının prensip şeması şekil (1.2.3)de gösterilmiştir.



Şekil (1.2.3)

Frekans değiştirme tek bir linear olmayan elemanla olduğu gibi birden fazla linear olmayan elemanın birleşimi ile de gerçekleşir. Bu iki durumdada , frekans değişimi kullanılan linear olmayan elemana parametreleri zamanla periyodik olarak değişen bir yüksek seviyeli lokal osilatör sinyalinin tatbiki ile sağlanır. Bir frekans çevirici , bir iki kapılı olarak ifade edilir. Karıştırıcının iki kapılı ile gösterimi aşağıdaki şekilde yer almaktadır.



Şekil (1.2.4)

Pratikte karıştırıcıyı süren lokal osilatörün gerilimi , uygulanan sinyal geriliminden 20 dB daha fazladır. Linear olmayan elemana uygulanan toplam gerilim lokal o-

osilatör gerilimi ile (kutuplama gerilimi), RF frekansındaki sinyale ait küçük değişimlerdir.

$$V_{J}(t) = V_{p}(t) + v_{s} \quad (1.2.5)$$

(1.2.5) ifadesinde yer alan $V_{p}(t)$ lokal osilatör tarafından üretilen sinyali, v_{s} ise RF frekansındaki sinyal bileşenini gösterir.

Linear olmayan elemanın akım ifadesini terminal gerilimleri cinsinden belirtmede Taylor açılımından istifade edilir. Diod akımını $V_{p}(t)$ kutuplama gerilimi civarında küçük $v_{s}(t)$ salınımları için Taylor serisine açmak mümkündür.

$$I_{J} = I(V_{p}(t) + v_{s}(t))$$

$$I_{J} = I(V_{p}(t)) + \left. \frac{dI}{dV_{J}} \right|_{V_{J}=V_{p}(t)} \cdot v_{s} + \frac{1}{2} \cdot \left. \frac{d^2 I}{dV_{J}^2} \right|_{V_{J}=V_{p}(t)} \cdot (v_{s})^2$$

$$(1.2.6)$$

(1.2.6) ifadesinde yer alan v_{s} RF bileşeni lokal osilatör gerilimi V_{p} den yeterince küçük olduğundan (1.2.6) ifadesinin ilk iki terimini almakla büyük bir hataya sebebiyet verilmez.

$$\left| v_{s} \right|^2 \ll \left| V_{p}(t) \right|^2$$

$$I_{J} = I(V_{p}(t)) + \left. \frac{dI}{dV_{J}} \right|_{V_{J}=V_{p}(t)} \cdot (v_{s}) \quad (1.2.7)$$

Bu yaklaşımda $I(V_{p}(t))$ ifadesinin analizi büyük sin-

yal analizi ile mümkündür. $I(V_p(t))$ akımına büyük sinyal akımı denir.

$$I_J = G_J(V_p) \cdot v_s(t) \quad (1.2.8)$$

(1.2.8) nolu ifadede küçük sinyal akımı belirtilmiş olup $G_J(V_p)$ geçirenliği ise

$$G_J(V_p) = \left. \frac{dI}{dV_J} \right|_{V_J = v_s} \quad (1.2.9)$$

şeklindedir. Bu ifadenin matematiksel sonucu olarak

$$G_J(V_p) = \alpha I_s \exp(\alpha V_p(t)) \quad (1.2.10)$$

elde edilir. Bu (1.2.10) eşitliğinde $V_p(t) = V_{DC} + V_p \cos \omega_p t$ olduğundan diferansiyel fonksiyon iletkenliği, ana harmoniği ω_p olan ve katsayıları tamamen lokal osilatör tarafından tayin edilebilen Fourier serisine açılabilir.

$$G_J(V_p) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} G_n \exp(jn\omega_p t) \quad (1.2.11)$$

(1.2.11) ifadesindeki G_n terimi ise

$$G_{-n} = G_n^* = \frac{\omega_p}{2n} \int_0^{2\pi/n} G_J(V_p) \exp(-jn\omega_p t) \cdot dt$$

şeklindedir.

Aynı yaklaşım tarzıyla fonksiyon bölgesinin iki tarafındaki elektrik yükü Q fonksiyonunu

$$|v_s(t)|^2 \ll |v_p(t)|^2$$

$$V_J(t) = V_p(t) + v_s(t)$$

icin Taylor serisine açınımını kullanarak kapasite için-
den geçen büyük ve küçük sinyal akımlarını

$$\begin{aligned} I_C &= C_J(V_p) \frac{dV_p(t)}{dt} \\ i_c &= \frac{d}{dt} (C_J(V_p) \cdot v_s(t)) \\ &= \frac{dC_J}{dV_p} \cdot \frac{dV_p}{dt} \cdot v_s + C_J(t) \frac{dv_s}{dt} \end{aligned} \quad (1.2.12)$$

şeklinde ifade edilir. (1.2.12) deki $C_J(V_p)$ kapasite-
sini (1.2.11) nolu ifadedeki $G_J(V_p)$ iletkenlik gibi Four-
ier serisi açınımı olarak belirtmek mümkündür.

Bu tarz bir yaklaşımla pompalanmış diodun küçük
RF siyaline olan davranışını . pompalama koşullarından
bağımsız linear bir yaklaşımla analiz etmek mümkündür.
Dolayısıyla mikrodalga karıştırıcısı linear zamanla pe-
riyodik olarak değişen devre yaklaşımı ile analiz edilebilir.

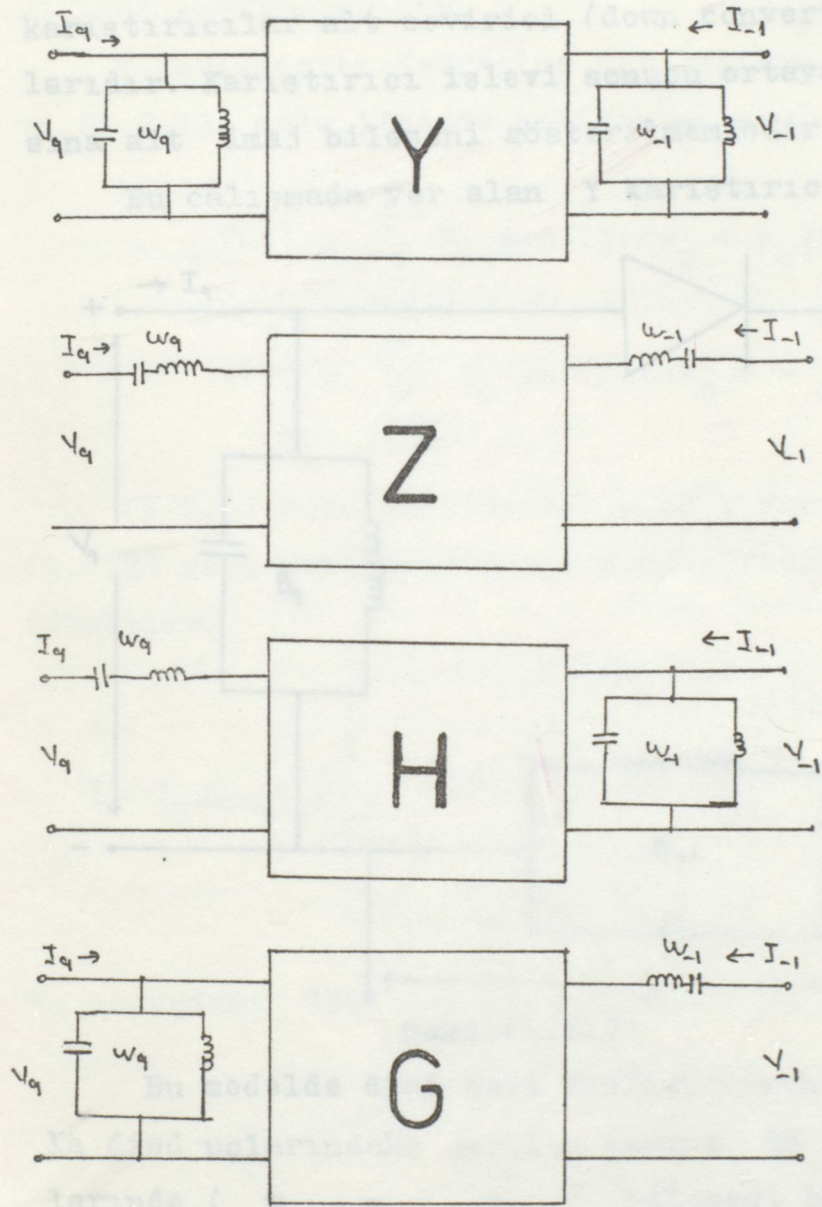
Günümüzde araştırmacılar tarafından temel olarak
alınan karıştırıcı tipleri terminal konumlarına göre

- a. Y Karıştırıcısı
- b. Z Karıştırıcısı
- c. H Karıştırıcısı
- d. G Karıştırıcısı olmak üzere dört tiptir.

Genel olarak bu karıştırıcılar aşağıdaki şekilde
gösterilmiştir.

Şekil (1.2.5)

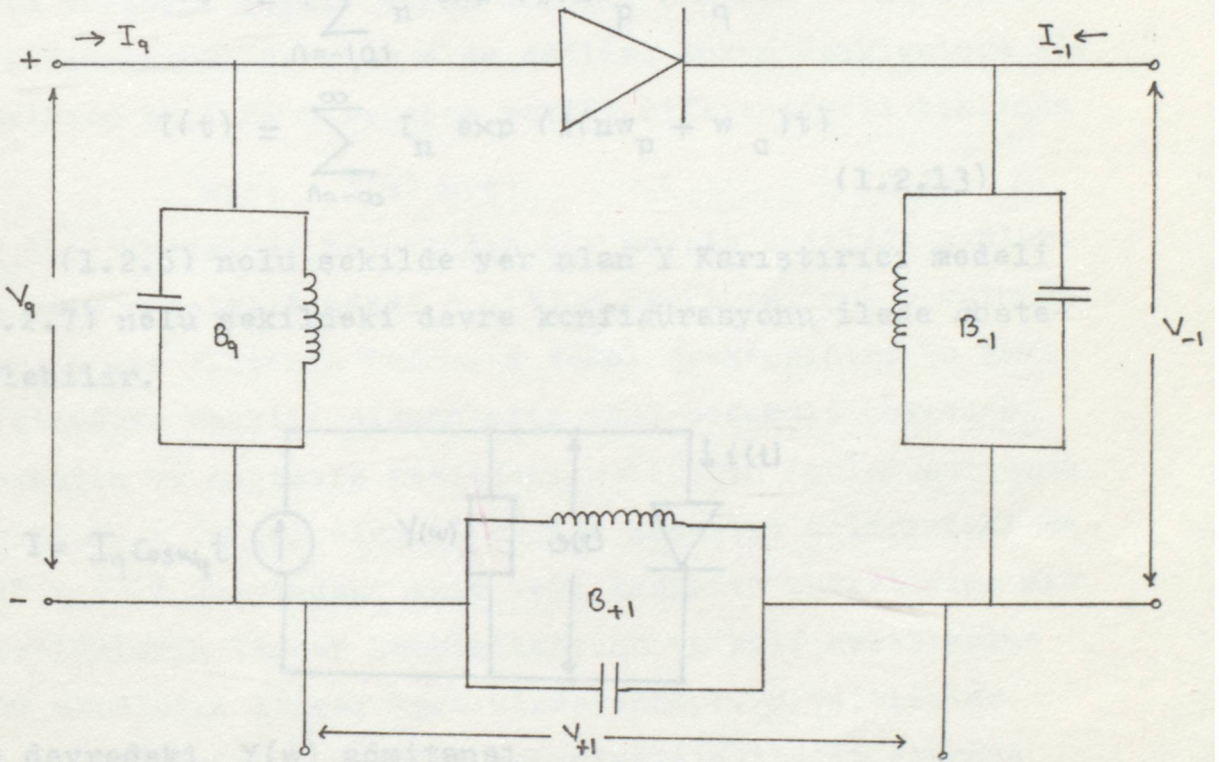
(1.2.5) nolu şekilde bulunan ω alt frekanslı V_q frekansına ait akın ve gerilimi I_{-1} indisi ise ω üst frekansına ait akın ve gerilimi gösterir. Şekil (1.2.5)de yer alan



Şekil (1.2.5)

(1.2.5)nolu şekilde bulunan ω alt indisi RF frekansına ait akım ve gerilimi ω_{-1} indisi ise IF ara frekansına ait akım ve gerilimi gösterir. Şekil (1.2.5)de yer alan karıştırıcılar alt çevirici (down converter) karıştırıcılarıdır. Karıştırıcı işlevi sonucu ortaya çıkan ω_{+1} frekansına ait imaj bileşeni gösterilmemiştir.

Bu çalışmada yer alan Y Karıştırıcı modeli



Şekil(1.2.6)

Bu modelde diod seri konfigürasyondadır. Dolayısıyla diod uçlarındaki gerilim sadece RF IF ve imaj frekanslarında ($\omega_q, \omega_{-1}, \omega_{+1}$) bileşeni bulunmasına karşın akım ($\omega_q + n\omega_p$) adet sonsuz sayıda harmonik ihtiva eder.

Şekil (1.2.6)da yer alan Y Karıştırıcı modelindeki filtreler sırasıyla RF IF ve imaj bileşenlerine ait ω_q

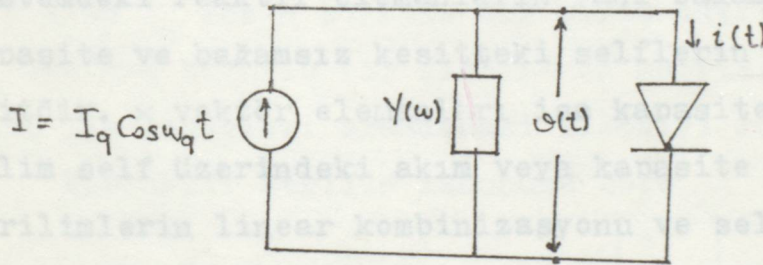
w_{-1} ve w_{+1} frekanslarına akortlu filtrelerdir. Bu modelde yer alan $V_q \cdot V_{-1}$ ve V_{+1} gerilimleri sırasıyla w_q frekansındaki RF, w_{-1} frekansındaki IF ve w_{+1} frekansındaki imaj gerilimleridir.

Y Karıştırıcı devresine ait gerilim ve akım ifadeleri (1.2.13) nolu ifadeyle belirtilmiştir.

$$V(t) = \sum_{n=-1,0,1} V_n \exp(j(nw_p + w_q)t)$$

$$I(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} I_n \exp(j(nw_p + w_q)t) \quad (1.2.13)$$

(1.2.6) nolu şekilde yer alan Y Karıştırıcı modeli (1.2.7) nolu şekildeki devre konfigürasyonu ile gösterilebilir.



Bu devredeki $Y(w)$ admitansı

$$Y(w) = \begin{cases} w = w_q - w_p & Y_{-1} \\ w = w_q + w_p & Y_{+1} \\ w = w_q & Y_q \\ \text{Diğer frekanslarda} & 0 \end{cases}$$

Karıştırıcının durum denklemleriyle karakterize edilmesinde temel eşdeğer devre (1.2.7)deki model olacaktır.

2. DURUM DENKLEMLERİ İLE GÖSTERİM

2.1.ZAMANLA LİNEAR OLARAK DEĞİŞEN BİR DEVRE İÇİN DURUM DENKLEMLERİ

Zamana lineer olarak değişen bir devrede toplam dal sayısı "b" bağımsız çevre sayısı "L" ve toplam düğüm sayısı "n+1" ise Kirchhoff gerilim yasasına dayalı çevre analizi sonucu "L" adet integrodiferansiyel ve Kirchhoff akım yasasına dayalı düğüm analizi sonucu "n" adet integrodiferansiyel denklem elde edilir. Durum denklemleri ile yaklaşım birinci dereceden vektör diferansiyeli şeklinde

$$\dot{x}(t) - A(t) x(t) \quad (2.1.1)$$

(2.1.1)ifadesinde belirtilen bir matris eşitliği sağlar. Bu matris eşitliğindeki " $x(t)$ " vektörü $m \times 1$ boyutunda dir. m ise sistemin bağımsız doğal frekansıdır. Bu sayı sistemdeki reaktif elemanların yani bağımsız çevredeki kapasite ve bağımsız kesitteki selflerin toplam sayısına eşittir. x vektör elemanları ise kapasite uçlarındaki gerilim self üzerindeki akım veya kapasite çevrelerine ait gerilimlerin linear kombinizasyonu ve self kesitlerine ait akımların linear kombinizasyonudur. Bu eşitlikler Kirchhoff akım ve gerilim kanunlarının ilgili devreye tatbiki ile elde edilir.

Dal gerilimlerini " v " dal akımlarını " j " ile ifade edilen bir sistemde her hangi bir ağaç için " V " ve " j " matrislerini alt matrislere ayırmak mümkündür. (2.1.2)matris eşitliklerinde yer alan $v^{(1)}$ ağaç dal gerilimlerini gösteren $n \times 1$ boyutunda bir alt matris ve $j^{(2)}$ ise giriş akımlarını gösteren bir alt matrisdir.

$$v = \begin{bmatrix} v^{(1)} \\ v^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e \\ v^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ D \end{bmatrix} \quad j = \begin{bmatrix} j^{(1)} \\ j^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j^{(1)} \\ i \end{bmatrix} \quad (2.1.2)$$

Kirchhoff akım kanununa göre

$$A \cdot J = \begin{bmatrix} I_n & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} j^{(1)} \\ i \end{bmatrix} = 0 \quad (2.1.3)$$

matris eşitliği elde edilir. Bu matris eşitliğinden ise

$$j^{(1)} + D \cdot i = 0 \quad (2.1.4)$$

elde edilir. (2.1.3) nolu matris eşitliğinde bulunan "A" matrisine düğümleme matrisi adı verilir. Düğümleme matrisi bir devrenin tüm akımları hakkında bilgi verir. Düğümleme matrisinin boyutları $n \times b$ dir. Bu matris eşitliğinde yer alan I_n ise n boyutlu bir birim matrisdir. "D" matrisi ise $n \times L$ boyutlu bir dikdörtgen matrisi olup ağaç dalları ile girişleri arasındaki ilişkiyi gösterir.

Kirchhoff gerilim kanununa göre

$$B \cdot v = \begin{bmatrix} -D^t & I_L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e \\ v^{(2)} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.1.5)$$

matris eşitliği elde edilir. Bu matris eşitliğinden ise

$$-D^t e + v^{(2)} = 0 \quad (2.1.6)$$

elde edilir. Buradaki "B" devre matrisidir. Bu matrisin boyutu ise $l \times b$ dir.

(2.1.4) ile (2.1.6) nolu ifadelerden

$$\begin{bmatrix} i^{(1)} \\ v^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -D \\ D & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e \\ i \end{bmatrix} \quad (2.1.7)$$

elde edilir. Bu matris eşitliğinde ağac dal akımları ve giriş gerilimleri sırasıyla ağac dal gerilimleri ve giriş akımları cinsinden ifade edilmiştir.

Durum denklemlerini elde etmede karşılaşılan esas problem bu (2.1.7) ifadesinde yer alan istenmeyen değişkenleri her bir dal için gerilim akım eşitlikleri ile yok edilmesidir. Sayet devre saf self kesiti ve saf kapasite döngüsü içermezse devrenin elde edilen doğal frekans miktarı devrede yer alan reaktif elemanlarının toplam sayısına eşittir. Durum değişkenleri ise kapasiteler arası gerilimler ve selfler üzerinden geçen akımlardır.

Boşkow'un (4) çizdiği uygun ağacda dallar tüm kapasiteleri bazı iletkenlikleri içerdiği halde hiç self içermezler. Aynı şekilde girişlerde tüm selfleri bazı dirençleri içerdiği halde hiç kapasite içermezler. Durum denklemlerinin eldesi için bu model esas alınır ise sadece tüm kapasite gerilimlerinin ve direnç akımlarının (2.1.7) nolu eşitlikten yok edilmesi gerekir. Kapasite döngülü bir genel devre için uygun bir ağac saptanamaz. Çünkü kapasite döngüsü içindeki en azından bir kapasite ağac dışındadır. Aynı şekilde eğer self kesiti mevcudsa en azından bir self ağac dalları arasında kalacaktır.

Durum denklemlerini elde etmede Bryant'ın uygulamış olduğu ağac saptama yöntemini uygulamak daha uygundur. Bu yöntemde ağac mümkün olduğu kadar fazla miktarda kapasite ve mümkün olduğu kadar az sayıda self içermelidir.

kirişlerde aynı şekilde mümkün olduğu kadar çok sayıda self ve mümkün olduğu kadar az sayıda kapasite içermelidir. Sadece artan kapasiteler girişlerde bırakılır. Bu kapasiteler açık devre edildiğinde tüm kapasite dönüşümleri yok edilir. Aynı yaklaşım tarzıyla sadece artan selfler ağac dalları üzerinde bırakıldığında bu artan selfler kısa devre edildiğinde tüm self kesitleri yok edilmiş olur.

Parametreleri zamanla değişen devreler için durum denklemlerini elde etmede ilkin dal parametre matrisleri teşkil edilir. Bu genel halde dal parametre matrisleri

$$C = \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \quad (2.1.8)$$

şeklinde ifade edilir. Matrislerdeki "1" alt indisi ağac dallarına ait elemanları "2" alt indisi ise girişlere ait elemanları belirtir. Dolayısıyla C_1 , L_{11} ve R_1 sırasıyla ağac dallarına ait kapasite self ve direnç matrislerini gösterir. C_2 , L_{22} ve R_2 matrisleri ile de sırasıyla girişlere ait kapasite self ve direnç parametrik matrisleri gösterilir. Kapasite ve direnç matrisleri köşegen matris olmalarına karşın self matrisi şayet karşılıklı değilse simetrik ve genelde köşegendir. Daha uygun bir yaklaşımla devredeki tüm akım ve gerilimleri alt matrislere ayırmak mümkündür.

$$j^{(1)} = \begin{bmatrix} j_c \\ j_G \\ j_1 \end{bmatrix} \quad e = \begin{bmatrix} e_c \\ e_G \\ e_1 \end{bmatrix} \quad (2.1.9)$$

$$V^{(2)} = \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \\ V_S \end{bmatrix} \quad i = \begin{bmatrix} i_L \\ i_R \\ i_S \end{bmatrix}$$

(2.1.10)

Alt matrislerdeki C, G ve L alt indisleri sırasıyla kapasite, iletkenlik ve selflere ait akım ve gerilimleri belirtmede kullanılır. Yine L, R ve S alt indisleride self direnç ve kapasite elemanlarına ait akım ve gerilimleri belirtmede kullanılır.

Her bir eleman için akım ve gerilim bağıntıları yazılmak suretiyle aşağıdaki matris eşitlikleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} J_C \\ i_S \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_C \\ V_S \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} J_G \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_G \\ i_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_L \\ V_L \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_L \\ i_L \end{bmatrix}$$

$$\rho \triangleq \frac{d}{dt} \quad (2.1.11)$$

(2.1.6) nolu ifadeye yer alan " D "matrisini giriş-ler ve ağaç dalları arasındaki ilişkiyi belirtir bir tarzda düzenlemek mümkündür.

$$D = \begin{bmatrix} \alpha & \beta & \epsilon \\ \gamma & \delta & 0 \\ \mu & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(2.1.12)

elde edilir. (2.1.6) nolu ifadedende görüleceği üzere "D" matrisinin alt matrislerini gerilim eşitlikleri şeklinde ifade etmek mümkündür. " α " alt matrisi giriş self gerilimleri ile ağaç dal kapasite gerilimleri arasındaki ilişkiyi belirtir. Aynı şekilde " β " alt matrisi giriş direnc gerilimleri ile ağaç dal kapasite gerilimleri arasındaki ilişkiyi belirtir. " D " matrisinde üç adet " 0 " sıfır matrisi mevcuttur. Bu matrisler ise geliştirilmiş uygun ağaç seçimi sayesinde elde edilir. " D " matrisinin 3. sütunundaki iki alt matrisin sıfır olması giriş kapasite gerilimlerin sadece ağaç dal kapasite gerilimleri cinsinden " ϵ " matrisi ile ifade edilebileceğini gösterir.

Bu " ϵ " matrisi ağaç dal iletkenlik ve self gerilimleri hakkında her hangi bir bilgi taşımaz. Çünkü kapasite girişleri , kapasite çevrelerinin mevcudu halinde ortaya çıkar.

" D " matrisinin orta sütunundaki sıfır alt matrisi giriş-direnc gerilimlerinin ağaç dal kapasite ve iletkenlik gerilimleri cinsinden ifade edildiğini ayrıca ağaç dal selflerinin gerilimlerine gereksinim olmadan " D " matrisinin eldesinin mümkün olduğunu gösterir. Ağaç dal selflerinin gerilimleri sadece giriş selflerine bağlıdır.

(2.1.7) nolu matris ifadesinde (2.1.9) ve (2.1.10) ifadeleri yerine konulup yeniden düzenlenirse (2.1.13) nolu matris eşitliği elde edilmiş olur.

$$\begin{bmatrix} J_c \\ J_G \\ J_r \\ V_L \\ V_R \\ V_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha i_L - \beta i_R \\ 0 & -D \\ D & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_c \\ e_G \\ e_r \\ i_L \\ i_R \\ i_S \end{bmatrix}$$

(2.1.13)

Bu matris ifadesi açılırsa ağac dal ve kırıqlara ait akım ve gerilimler ayrı ayrı elde edilirler.

$$J_c = -\alpha i_L - \beta i_R - \epsilon i_S \quad (2.1.14)$$

$$J_G = -\gamma i_L - \delta i_R \quad (2.1.15)$$

$$J_r = -\mu i_L \quad (2.1.16)$$

$$V_L = d^t e_c + \gamma^t e_G + \mu e_r^t \quad (2.1.17)$$

$$V_R = \beta^t e_c + \delta^t e_G \quad (2.1.18)$$

$$V_S = \epsilon^t e_c \quad (2.1.19)$$

Uygun bir ağac seçimi ile elde edilen doğal frekans sayısı devrede yer alan C_1 kapasitelerinin toplam sayısı ile L_{22} selflerinin toplam sayısına eşittir.

Durum denklemleriyle gösterimde (2.1.14) ile (2.1.19) nolu ifadeler arasında yer alan 6 adet eşitlikten i_L, i_R, i_S

e_G ile e_1 değişkenlerinin yok edilmesi gerekir .Bu işlemde (2.1.11) nolu ifadede yer alan devre elemanlarına ait gerilim ve akım bağıntılarından istifade edilir.

(2.1.14) nolu esitlikten

$$J_c + \epsilon i_s = -\alpha i_L - \beta i_R \quad (2.1.20)$$

bağıntısıyla elde edilir. (2.1.11) nolu ifadeden j_c ve i_s için aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$J_c = \rho C_1 e_c$$

$$i_s = \rho C_2 v_s$$

(2.1.21)

Elde edilen bu akım değerlerini (2.1.20) de yerine konursa

$$J_c + \epsilon i_s = \rho (C_1 e_c + \epsilon C_2 v_s) \quad (2.1.22)$$

elde edilir. Bu ifadede yer alan v_s kırıqlara ait kapasite gerilimlerini (2.1.19) nolu esitliği kullanmak suretiyle ağaç dal kapasite gerilimleri cinsinden belirtmek suretiyle durum denklemlerinin eldesinde arzu edilmeyen v_s değeri yok edilmiş olur. Böylece sonucda

$$J_c + \epsilon i_s = \rho (C_1 + \epsilon C_2 \epsilon^t) e_c \quad (2.1.23)$$

elde edilir. Bu ifadeyi daha basit bir tarzda da belirtmek mümkündür. Bu takdirde aşağıdaki matris formuna ulaşılır.

$$J_c + \epsilon i_s = \rho C e_c \quad (2.1.24)$$

(2.1.24) nolu ifadede ki " C " matrisi

$$C = [1, \epsilon] \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \epsilon \end{bmatrix} \quad (2.1.25)$$

şeklindedir.

Devredeki kapasiteler için elde edilen (2.1.24) ifadeye karşın devrede yer alan selfler içinde aynı yaklaşım tarzı ile benzer bir ifade elde edilir. (2.1.17) nolu ifadedem

$$v_L - \mu^t e_r = \alpha^t e_c + \gamma^t e_g \quad (2.1.26)$$

bağıntısı elde edilir. (2.1.11) nolu ifadeden e_1 ve v_L değişkenlerinin aşağıdaki ifadeleri yazılabilir.

$$\begin{aligned} e_r &= \rho L_{11} J_r + \rho L_{12} i_L \\ v_L &= \rho L_{21} J_r + \rho L_{22} i_L \end{aligned} \quad (2.1.27)$$

" e_1 " ve " v_L " değişkenlerinin bu değerleri (2.1.26) da yerlerine konursa

$$v_L - \mu^t e_r = \rho L_{21} J_r + \rho L_{22} i_L - \mu^t \rho L_{11} J_r - \mu^t \rho L_{12} i_L \quad (2.1.28)$$

elde edilir. (2.1.28) ifadesinde yer alan i_L ağaç dallarına ait self akımlarını (2.1.16) nolu eşitliği kullanmak suretiyle giriş self akımları cinsinden belirtmek mümkündür. Böylece durum denklemlerinin eldesinde istenmeyen akım bileşeni de yok edilmiş olur.

sonucda aşağıdaki ifadeye ulaşılır.

$$V_L - \mu^t e_r = \rho (-\mu L_{21} + L_{22} + \mu^t L_{11} \mu - \mu^t L_{12}) i_L \quad (2.1.29)$$

Bu ifadeyi matris formunda düzenlemek mümkündür. Bu takdirde

$$V_L - \mu^t e_r = \rho L i_L \quad (2.1.30)$$

elde edilir. Bu ifadedeki L matrisi ise

$$L = |1-\mu| \begin{bmatrix} L_{22} & L_{21} \\ L_{12} & L_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -\mu \end{bmatrix} \quad (2.1.31)$$

şeklinde dir.

(2.1.25) nolu ifade de ver alan C matrisi ağac dal kapasitelerini içeren temel kesitler için elde edilen düzüm kapasite matrisine eşdeğ erdir. Yine aynı düşün ce tarzı ile (2.1.31) nolu ifade de ver alan L matrisi kıs ir selflerini içeren temel dö ngüler için elde edilen çevre self matrisine eşdeğ erdir.

Devrenin durum denklemlerini elde etmede temel olarak (2.1.24) ve (2.1.30) nolu ifadeler ele alınır. (2.1.24) ile (2.1.20) nolu ifadelerden

$$\rho C e_c = -\alpha i_L - \beta i_r \quad (2.1.32)$$

ayrı ca (2.1.30) ve (2.1.26) nolu ifadelerden

$$\rho L i_L = \alpha e_c + \gamma^t e_G \quad (2.1.33)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu iki eşitlikten i_R ve e_G nin yok edilmesiyle devre sadece ağac dal kapasite gerilimleri ile giriş self akımları ile modellenmiş olacaktır.

(2.1.15) ile (2.1.11) nolu ifadelerden

$$G_1 e_G = -\gamma i_L - \delta i_R$$

(2.1.34)

ayrıca yine aynı yaklaşım tarzıyla (2.1.18) ile (2.1.11) nolu ifadelerden

$$R_2 i_R = \beta^t e_c + \delta^t e_G$$

(2.1.35)

eşitlikleri elde edilir.

(2.1.34) deki e_G nin değerini (2.1.35) de yerine koymak sureti ile elde edilen ifadeyi düzenlersek

$$i_R = P^{-1} \beta^t e_c - P^{-1} \delta^t R_1 \gamma i_L$$

(2.1.36)

eşitliğine ulaşılır. Buradaki P

$$P = R_2 - \delta^t R_1 \delta$$

şeklindedir. Yine aynı düşünce tarzıyla e_G ağac dal iletkenliklerinin değeride bulunur. (2.1.35) deki i_R nin değeri (2.1.34) de yerine konup düzenlenirse

$$e_G = -Q^{-1} \gamma i_L - Q^{-1} \delta G_2 \beta^t e_c$$

(2.1.37)

elde edilir. bu ifadeye yer alan Q

$$Q = G_1 - \delta G_2 \delta^t$$

şeklindedir.

(2.1.36) ve (2.1.37) de yer alan i_R ve e_G değerlerini (2.1.34) ile (2.1.35) nolu ifadelerde yerine konup, düzenlenirse

bir devrenin en genel halde durum denklemlerini veren matris eşitliği elde edilir.

$$\begin{aligned} \rho C e_c &= -\beta \rho^{-1} \beta^t e_c - H i_L \\ \rho L i_L &= H^t - \gamma^t Q^{-1} \gamma i_L \end{aligned} \quad (2.1.38)$$

ifadesine ulaşılır. Bu ifadede yer alan H nin değeri ise

$$H = \alpha - \beta \rho^{-1} \delta^t R_1 \gamma$$

şeklindedir. Aynı zamanda H^t nin değeride aşağıdaki gibi elde edilir.

$$H^t = \alpha^t - \gamma Q^{-1} \delta G_2 \beta^t$$

(2.1.36) ve (2.1.37) ifadelerinde yer alan P ve O simetrik matrislerdir. Aynı zamanda yine bu ifadelerde yer alan R_1 ve R_2 matrisleride köşegen matrisdir. P matrisi giriş dirençlerini içeren temel çevreler için elde edilen çevre direnci matrisidir. Q matrisi ise ağac dal iletkenliklerini içeren temel kesitler için elde edilen düzüm iletkenlik matrisidir.

(2.1.38) nolu ifadeden aşağıdaki matris eşitliği elde edilir.

$$\rho \begin{bmatrix} C & O \\ O & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_c \\ i_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\beta \rho^{-1} \beta^t & -H \\ H^t & -\gamma Q^{-1} \gamma^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_c \\ i_L \end{bmatrix} \quad (2.1.39)$$

" ρ " operatörü işleme sokulup türev alınır ve matris eşitliğinin her iki tarafında belirtilen ters matris ile çarpılırsa

$$\begin{bmatrix} C & O \\ O & L \end{bmatrix}^{-1}$$

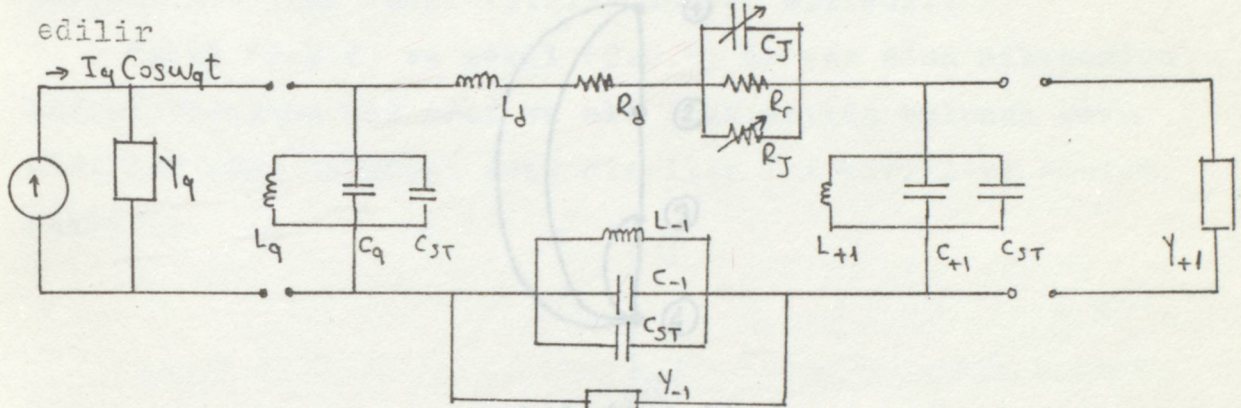
bir devrenin en genel halde durum denklemlerini veren matris eşitliği elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_c \\ i_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{C}^{-1}(\beta\bar{P}^{-1}\beta^t + \dot{C}) & -\dot{C}^{-1}H \\ L^{-1}H^t & -L(\gamma^t\dot{Q}^{-1}\gamma + \dot{L}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_c \\ i_L \end{bmatrix} \quad (2.1.40)$$

Elde edilen bu matris ifadesinde modellenen devre sayet zamandan bağımsız parametrelili elemanları içeriyorsa \dot{C} ve \dot{L} kapasite ve selflerin türevlerini oluşturan alt matrisler sifıra eşittir.

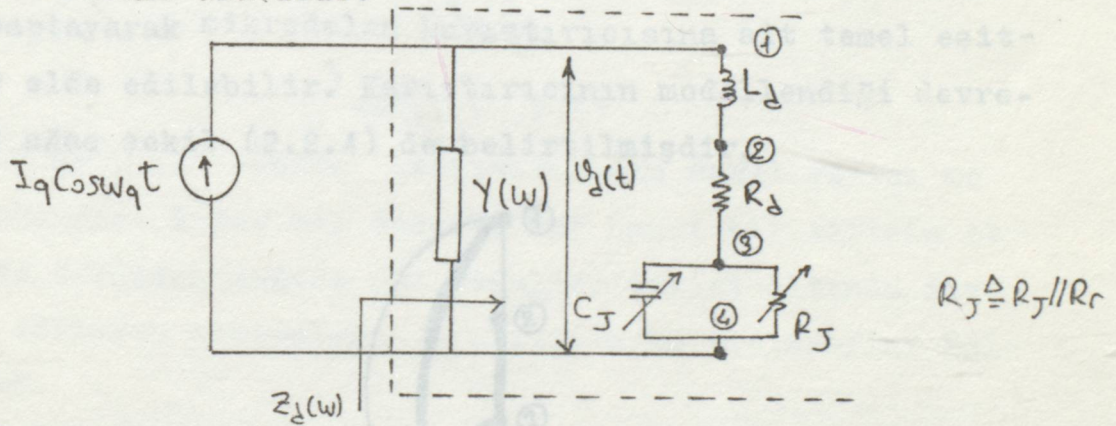
2.2.KARİSTİRİCİNİN DURUM DENKLEMLERİ İLE İFADESİ

Sekil (1.2.6) da yer alan Y Karıştırıcı modeli şekil (1.1.2) de bulunan diod eşdeğer devresi göz önüne alınarak yeniden düzenlenirse ve bu düzenlemede C_{ST} paketleme kapasitesi filtreler içinde yer alırsa aşağıdaki model elde edilir



Sekil (2.2.1)

Sekil (2.2.1) de yer alan devre modelini ideal filtreleri tek bir $Y(\omega)$ admitansı şeklinde gösterilirse şu devre modeline ulaşılır.



Durum denklemlerini çıkarmada bu devre esas alınacaktır.

Sekil (2.2.4)

Sekil (2.2.4) den de görüleceği üzere " $C_J(t)$ " kapasitans kapasitesi aynı şekilde yer alırken " I_q " selfi birleste yer almıştır.

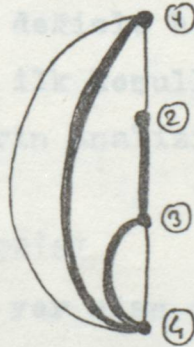
2.2.1. KARIŞTIRICI GRAFI

(2.2.2) nolu şekilde belirtilen devrenin düğüm ve ayrıtlarınının saptanması ile aşağıdaki graf elde edilir.



şekil (2.2.3)

Şekil (2.2.3) de belirtilen mikrodalga karıştırıcısının grafi 6 adet ayrıt ve 4 adet düğüm noktası bulunmaktadır. Uygun bir ağaç secimiyle grafdaki dal ve girişleri saptayarak mikrodalga karıştırıcısına ait temel eşitlikler elde edilebilir. Karıştırıcının modellenildiği devreye ait ağaç şekil (2.2.4) de belirtilmiştir.

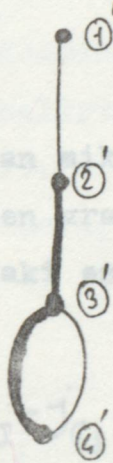


şekil (2.2.4)

Şekil (2.2.4) den de görüleceği üzere " $C_J(t)$ " fonksiyon kapasitesi ağac dalında yer alırken " L_d " Selfi girişte yer almıştır.

Eğer sadece elemanın doğal davranışına ait grafi gerekiyorsa kaynak ve sonlandırma elemanlarına ait düğüm ve ayrıtlar grafdan ayrılarak bir alt graf elde edilir. Mikrodalga karıştırıcısına ait doğal davranışı incelemeye varayan alt graf şekil (2.2.5) de yer almıştır.

Şekil (2.2.4) ve şekil (2.2.5) de yer alan mikrodalga karıştırıcısına ait graf ve alt graflarında bulunan kovu çizgiler ağac dalarını açık çizgiler ise girişleri göstermektedir.



şekil (2.2.5)

(2.2.5) nolu alt grafda karıştırıcının doğal yapısı modellenmiştir. Diğer bir deyişle her hangi bir girişin etkisinde kalmadan sadece ilk koşullar etkisi altında davranış gösteren sistemlerin analizinde bu tip graflar kullanılır.

2.2.2 DÜĞÜMLEME MATRİSİ

(2.1.3) esitliğinde yer alan düğümlene matrisi devreye ait tüm akımlar hakkında bilgi verir. Mikrodalga karıştırıcısının doğal davranışını incelemeye kullanılan (2.2.4) de bulunan graf için ağac dal ve giriş akımlarının (2.1.9) ve (2.1.10) ifadelerinde belirtilen alt matrisler

cinsinden değerleri (2.2.3) nolu eşitliklerde gösterilmiştir.

$$J_C = j_{C_J}$$

$$J_G = j_{G_d}$$

$$J_R = 0$$

$$i_L = i_{L_d}$$

$$i_R = i_{R_J}$$

$$i_S = 0$$

(2.2.3)

Sekil (2.2.4) de bulunan mikrodalga karıştırıcısının doğaal davranışını temsil eden graf için Kirchhoff akım kanununun uygulanmasıyla aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$3. \text{ düğüm için; } j_{C_J} + i_{R_J} - j_{G_d} = 0$$

$$2. \text{ " " ; } -i_{L_d} + j_{G_d} = 0$$

$$j_{G_d} = i_L \Rightarrow j_{C_J} + i_{R_J} - i_{L_d} = 0$$

$$-i_{L_d} + j_{G_d} = 0$$

(2.2.4)

(2.2.4) nolu ifadede yer alan akım değerleri (2.1.6) nolu matris eşitliğinde yerine konup düzenlenirse (2.2.5) ne-

lu matris formuna ulaşılır.

$$A = \left[\begin{array}{cc|cc} 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{array} \right] \begin{bmatrix} j_{C_J} \\ j_{G_d} \\ i_{L_d} \\ i_{R_J} \end{bmatrix}$$

(2.2.5)

Ayrıca bu matris formundan görüleceği üzere " D " matrisinin mikrodalga karıştırıcısı için eldesi (2.2.5) nolu matris formundan sağlanır.

$$D = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

(2.2.6) nolu matris ifadesinde bulunan karıştırıcının D matrisinden (2.1.12) de belirtilen alt matris bağıntılarını veren " α , β , δ ... " gibi elemanlar arası gerilim bağıntıları elde edilir. Karıştırıcıya ait bu bağıntılar aşağıda gösterilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \alpha = -1 \quad \epsilon = 0 \\ \beta = +1 \quad \mu = 0 \\ \gamma = -1 \quad \delta = 0 \end{array}$$

2.2.3 PARAMETRE MATRİSLERİ

(2.1.24) nolu ifadede karıştırıcı için ele alınan devreye ait değerler yerine konursa , " C " kapasite matrisinin mikrodalga karıştırıcısı için değeri saptanmış olur. Bu " C " matrisi ise (2.2.8) nolu ifadede yer almıştır.

$$C = \begin{bmatrix} 1,0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_J & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = C_J \quad (2.2.8)$$

(2.1.31) nolu ifadede karıştırıcı için ele alınan devreye ait değerler yerine konursa , " L " self matrisinin mikrodalga karıştırıcısı için eldesi sağlanmış olur.

$$L = \begin{bmatrix} 1,0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = L_d \quad (2.2.9)$$

(2.1.36) ifadesinde belirtilen " P " ve (2.1.37) ifadesindeki " Q " matrislerinin mikrodalga karıştırıcısının eşdeğer devresi için ifadeleri (2.2.10) nolu eşitlikte yer almaktadır. $P = R_J(1 + 0 \cdot G_J) = R_J$ $Q = G_d(1 + 0 \cdot R_J) = G_d$ (2.2.10)

2.2.4 KARIŞTIRICININ TEMEL ÇEVRE VE KESİT İFADELERİ

Şekil (2.2.4)de belirtilen mikrodalga karıştırıcısının grafına ait temel çevre ifadesi (2.2.11) nolu eşitlikte gösterilmiştir.

$$U_d + e_{G_d} + e_{C_J} = U_d(t) \quad (2.2.11)$$

Bu eşitlikte yer alan " U_d " değeri yerine konup eşitlik yeniden düzenlenirse (2.2.12)ifadesine ulaşılır.

$$\frac{d}{dt} L_d = U_d = \frac{1}{L_d} U_d(t) - \frac{1}{L_d} R_d U_d - \frac{1}{L_d} e_{C_J} \quad (2.2.12)$$

Dolayısıyla karıştırıcının girişine ait selfin akımı saptanmış olur. Bu " i_{L_d} " ifadesi karıştırıcının durum değişkenlerinden biridir. Genel olarak bir devrede yer alan giriş self akımları ve ağaç dal kapasite gerilimlerinin devrenin durum değişkenlerini oluşturduğu bölüm 2.1 de gösterilmiştir.

Devrenin yapısından dolayı temel kesit ifadesi yazılamaz, bilindiği üzere temel kesit alınırken kapasite içeren dala ait düğümde kesit yapılır. Bu kesitte sadece bir dal ve muhtelif sayıda giriş olması gerekir. (2.2.4) deki grafin 3 nolu düğüm için Kirchhoff akım kanunu uygulanırsa

$$i_{L_d} = j_{C_J} + i_{R_J} \quad (2.2.13)$$

(2.2.13) eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte bulunan " i_{R_J} " akım ifadesi yerine konup düzenlenirse

$$i_{L_d} = j_{C_J} + \frac{v_{R_J}}{R_J(t)} \quad (2.2.14)$$

ifadesine ulaşılır. (2.2.14)deki " v_{R_J} " gerilim değerinin kapasite gerilimi cinsinden ifadesi gerekir. Karıştırıcı esdeğer devresindeki kapasite gerilimi ise

$$v_{C_J}(t) = v_{R_J}(t) \quad (2.2.17)$$

şeklindedir. Ayrıca zamanla değişen parametrelili kapasitenin akım ifadesi (2.2.15) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$j_{C_J} = C(t) \frac{dv_{C_J}(t)}{dt} + v_{C_J}(t) \frac{dC(t)}{dt} \quad (2.2.15)$$

(2.2.15) eşitliği (2.2.14) de yerine konup yeniden düzenlenirse (2.2.16) eşitliğine ulaşılır.

$$\dot{e}_{c_j} = \frac{1}{C(t)} \left(-\frac{1}{R(t)} - c(t) \right) e_{c_j}(t) + L_d \cdot \frac{1}{C(t)}$$

(2.2.19)

şeklindedir. Bu durumda (2.2.18) ifadesinde yer alan (2.2.16)

(2.2.12) ve (2.2.16) ifadeleri ile karıştırıcının durum denklemleri elde edilmiş olur. Karıştırıcı modelinde yer alan self zamanla değişim göstermediğinden dolayı (2.1.12) ifadesinde "L" parametresinin türevine rastlanmaz.

2.2.5 DURUM MATRİSİ

(2.2.12) ve (2.2.16) ifadeleri matris biçiminde yazılabilir. Bu takdirde

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_{L_d}(t) \\ \dot{e}_{c_j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_d}{L_d} & -\frac{1}{L_d} \\ \frac{1}{C(t)} & \frac{1}{C(t)} \left[-\frac{1}{R(t)} - c(t) \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{L_d}(t) \\ e_{c_j}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L_d \\ 0 \end{bmatrix} U_d(t)$$

(2.2.21)

Bu formda ifade edilen sisteme her hangi bir input uyarıcı alınmaksızın incelenmesinde (2.2.21) veya (2.2.17)

matris eşitliğine ulaşılır. Bu matris eşitliğindeki " $U_d(t)$ " terimi diod gerilimini göstermektedir. Diod gerilimi aşağıdaki eşitlikte belirtilmiştir.

$$U_d(t) = i_q(t) Z_d(\omega)$$

Ayrıca karıştırıcı için elde edilen D matrisi (2.2.18)

Genel olarak $Z.i(t)$ ifadesi

$$Z \cdot i(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} Z_m Z_m \cos[(\omega_q + m\omega_p)t + \theta_m] \quad (2.2.19)$$

şeklindedir. Bu durumda (2.2.18) ifadesinde yer alan " $i_q(t)$ " terimi ω_q frekansındaki RF sinyal kaynağını ve " $Z_d(t)$ " ise diodun senlandırma empedansları ile beraber RF kaynağa gösterdiği empedansı temsil etmektedir.

(2.2.17) deki matris ifadesi yeniden düzenlenirse

$$\begin{vmatrix} \dot{L}_d(t) \\ e_{c_f}(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{R_d}{L_d} & -\frac{1}{L_d} \\ \frac{1}{C(t)} & \frac{1}{C(t)} \left[\frac{-1}{R(t)} - C(t) \right] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} L_d(t) \\ e_{c_f}(t) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \frac{1}{L_d} Z_d(\omega) \\ 0 \end{vmatrix} I_q(t) \quad (2.2.20)$$

elde edilir.

Y Karıştırıcısı için elde edilen durum matrisi (2.2.21) de belirtilen formdadır.

$$\dot{X}(t) = A(t) X(t) + B(t) U(t) \quad (2.2.21)$$

Bu formda ifade edilen sisteme her hangi bir input uyarıcı olmaksızın incelenmesinde (2.2.21) nolu ifade

$$\dot{X}(t) = A(t) X(t) \quad U(t) = 0 \quad (2.2.22)$$

şeklini alır. (2.2.22) sistemin doğal davranışını karakterize eder.

Ayrıca karıştırıcı için elde edilen D matrisi, parametre matrisleri (2.1.40) nolu matris formunda yerine konursa

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_{c_j}(t) \\ \dot{i}_{L_d}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{C(t)} \left[\frac{1}{R(t)} + C(t) \right] & \frac{1}{C(t)} \\ -\frac{1}{L_d} & -\frac{R_d}{L_d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{c_j}(t) \\ i_{L_d}(t) \end{bmatrix} \quad (2.2.23)$$

elde edilir. (2.2.23) matris eşitliğinin (2.2.22)de belirtilen matris eşitliği ile aynı olduğu görülür.

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t)$$

(3.1.2)

(3.1.1) eşitliği ile modellenen sistemlerin kararlılığı için bir kriter olan matris diferansiyel denklemin çözümünün kriter olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu diferansiyel denklemin genel çözüm araştırılarak sistemin kararlılığı hakkında bir kriterle sahip oluruz. Bir an için çözümün

$$X(t) = L(t)y$$

(3.1.3)

olduğu kabul edilirse (3.1.1) eşitliği

$$\dot{X} = \frac{d}{dt} L(t)y + L(t)\dot{y}$$

şeklini alır ve bu eşitlik $X = L(t)y$ için yeniden düzenlenirse

$$\frac{dL}{dt} y + L\dot{y} = ALy + Bu$$

(3.1.4)

elde edilir. Sistemin çözümü olan $(dL/dt) = A L$ (3.1.4) de yerine konursa

3.1 MİKRODALGA KARİSTİRİCİSİNİN KARARLILIĞI

Çalışmamız süresi boyunca ele alınan mikrodalga karıştırıcısı (3.1.1) ifadesinde yer alan matris diferansiyel eşitliği ile belirtilmesi çalışmanın 2. bölümünde yer almaktadır.

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)U(t) \quad (3.1.1)$$

Bu diferansiyel eşitlikte $u(t) = 0$ ise yani fiziksel olarak sistemi uyaran her hangi bir girdi yoksa (3.1.1) eşitliği aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) \quad (3.1.2)$$

(3.1.1) eşitliği ile modellenen sistemlerin kararlılığı için söz konusu olan matris diferansiyel denklemin çözümünün kriter olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu diferansiyel denklemin genel çözümü araştırılırsa sistemin kararlılığı hakkında bir kritere sahip olunur. Bir an için çözümün

$$X(t) = L(t)y \quad (3.1.3)$$

olduğu kabul edilirse (3.1.1) eşitliği

$$\dot{X} = \frac{d}{dt}L(t)y + L(t)\dot{y}$$

şeklini alır ve bu eşitlik $X = L(t) \cdot y$ için yeniden düzenlenirse

$$\frac{dL}{dt}y + L\dot{y} = ALy + BU$$

(3.1.4)

elde edilir. Sistemin çözümü olan $(dL/dt) = A L$ (3.1.4) de yerine konursa

$$\dot{y} = L^{-1} B u$$

veya

$$y = y_0 + \int_0^t L(\tau) B(\tau) u(\tau) d\tau \quad (3.1.5)$$

elde edilir.

(3.1.5) ve (3.1.3) nolu ifadeler birlikte değerlendirilirse sisteme ait durum denkleminin çözümü olan durum vektör elemanlarının genel formülü elde edilir.

$$x = L(t) y_0 + \int_0^t L(t) L^{-1}(\tau) B(\tau) u(\tau) d\tau \quad (3.1.6)$$

(3.1.3) de belirtilen eşitlikte $L(0) = I$ kabulü $y_0 = x_0$ eşitliğini sağlar. Bu durumda (3.1.6) nolu ifade

$$x = L(t) x_0 + \int_0^t L(t) L^{-1}(\tau) B(\tau) u(\tau) d\tau \quad (3.1.7)$$

şeklini alır. (3.1.7) nolu eşitlikte yer alan "L(t)" terimi $(dL/dt) = AL$ diferansiyel denklemin $L(0) = I$ ilk koşulu ile çözümünden elde edilir. Genel olarak A(t) matrisi zamanla değişim özelliği gösteriyorsa L(t) matrisinin elde si analitik olarak zordur. Çözüm için nümerik methotlar veya integral serileri şeklindeki çözümler tercih edilir.

Sistemin Durum Geçiş Matrisi

şeklindeki bir diferansiyel eşitlik (3.1.8) nolu ifadede belirtilen bir çözüme sahiptir.

$$x = \phi(t, t_0) x_0 \quad (3.1.8)$$

Bu " $\phi(t, t_0)$ " matrisi aşağıdaki eşitlikleri sağlar.

$$\frac{d}{dt} [\phi(t, t_0)] = A(t) \phi(t, t_0)$$

$$\phi(t_0, t_0) = I$$

(3.1.9)

" $\phi(t, t_0)$ " matrisine temel matris veya durum geçiş matrisi denir. " t_0 " zaman göstergesi ise sistemin ilk anını belirtir. Sayet $t_0 = 0$ ise sisteme ait durum geçiş matrisi (3.1.3) de yer alan " $L(t)$ " terimine esdeğerdur.

Durum geçiş matrisinin temel özellikleri (3.1.10) da yer almıştır.

Grup özelliği $\phi(t_0, t_1) \cdot \phi(t_1, t_2) = \phi(t_0, t_2) \quad \forall t_0, t_1, t_2$

Ters matris özelliği $\phi^{-1}(t_0, t_1) = \phi(t_1, t_0)$

Çarpım özelliği $\phi(t, t_0) = L(t) \cdot L^{-1}(t_0) \quad \forall t$

(3.1.10)

$L(t)$ ve $L^{-1}(t)$ terimlerini çarparak ayrıca grup özelliğini kullanarak (3.1.1) de yer alan diferansiyel denklemin çözümünü de durum geçiş matrisleri cinsinden ifade etmek mümkündür.

$$L(t) = \phi(t, 0) \quad \text{ve} \quad L^{-1}(t) = \phi(0, t)$$

ise

$$x = \phi(t, t_0) x(t_0) + \int_{t_0}^t \phi(t, \tau) \phi^{-1}(\tau, t_0) B(\tau) u(\tau) d\tau$$

(3.1.11)

elde edilir.

(3.1.11) de yer alan çözümün ilk terimi t_0 anındaki ilk koşullardan dolayı gerçekleşen çözümü ikinci terimi ise kaynaktan dolayı gerçekleşen çözümü belirtmektedir. Yani ilk terim öz çözümü ikinci terim ise zorlanmış çözümü verir. Ayrıca

$$\phi(t, t_0) \phi^{-1}(\tau, t_0) = \phi(t, t_0) \phi(t_0, \tau) = \phi(t, \tau)$$

olduğundan (3.1.11) ifadesi şu formu alır.

$$x = \phi(t, t_0) x(t_0) + \int_{t_0}^t \phi(t, \tau) B(\tau) u(\tau) d\tau \quad (3.1.12)$$

Şayet sistem belirli bir "T" periyoduna sahip olarak periyodik bir karakter gösteriyorsa

$$\phi(t, t_0) = Q(t, t_0) e^{(t+t_0)C} \quad (3.1.13)$$

şeklinde olan durum geçiş matrisi kararlılık kriteri olarak ele alınır. (3.1.13) ifadesinde yer alan "Q"

$$Q(t+T, t_0) = Q(t, t_0)$$

şeklinde dir.

3. Bölümün başından itibaren ana hatları ile zamanla değişim özelliği gösteren bir sistemin matematiksel analizi yapıldı. Bu tip sistemler için kararlılık konusu gündeme geldiğinde oldukça zor bir problem ile karşılaşılır. Sadece sınırlı bir girdi için sistemin durum vektörü sınırlı ise kriteri geçerlidir.

Genel olarak sistemin kararlı olabilmesi için sistemin tam çözümünün öz çözüm kısmının aşağıdaki özelliği sağlaması gerekir.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(\phi(t, t_0) x(t_0) \right) = 0 \quad (3.1.14)$$

Buradaki kararlılık kavramı asimtotik kararlılıktır. 0 halde sistemin her sınırlı " $x(t_0)$ " girdisi için " x " sadece

$$\| \phi(t, t_0) \| \leq C \quad \forall t \geq t_0 \quad (3.1.15)$$

icin sınırlıdır. (3.1.15) ifadesinde yer alan norm terimi bir $x(t)$ fonksiyonu için

$$\| x(t) \| = \sum_{i=1}^n | x_i(t) |$$

şeklindedir. Bir matrisin normu ise

$$\| A(t) \| = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n | a_{ij}(t) | \quad (3.1.16)$$

genel ifadesi ile belirtilir.

Sonuçta sistemin durum geçiş matrisinin normunun sınırlı olması sistemin kararlılığı konusunda kriter olarak alınır.

Bu tip sistemler için Liapunov anlamında kararlılık kavramı bölüm 3.2 de incelenmiştir. Mikrodalga karıştırıcısının kararlılığı konusundaki incelememiz ilkin bölüm 3.1 deki yaklaşım ışığında gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada karıştırıcısının doğal anlamda kararlılığı incelenmiştir. Bir dinamik sistem için en genel anlamda kararlılık sistemin girişinde her hangi bir uyarı olmadığında sistemin ilk değerlerinden dolayı bulunduğu davranışın incelenmesidir. Sistemin bünyesinde bulunan ilk değerlerden kaynaklanan enerjisi zaman içinde tükenip sifira, bir sonlu değere asimtotik yaklaşırsa sistem kararlıdır anlamına gelir.

Karıştırıcının (2.2.22) eşitliğinde belirtilen durum matrisi

$$\dot{x}(t) = A(t) x(t)$$

şeklindedir.

Bu eşitlikte sistemi uyarın her hangi bir girdiye ait bir terim yoktur. Dolayısıyla karıştırıcının her hangi bir giriş sinyali olmaksızın davranışını incelemeye hareket noktası bu matris eşitliğidir.

3.1.2 KARİŞTİRİCİNİN DİFFERANSİYEL DENKLEMLE İFADESİ VE ÖZ ÇÖZÜMÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Mikrodalga karıştırıcısının durum denklemleri ile ifadesinde yer alan durum vektörü iki elemandan oluşur. " e_{c_j} " ağaç dal kapasite gerilimleri ile " i_{L_d} " giriş selflerinin akımından oluşan bu durum vektör elemanlarının eldesi söz konusu olan diferansiyel denklemin çözümü ile mümkündür.

(2.2.22) nolu eşitlikten

$$\dot{i}_{L_d} = -\frac{1}{L_d} e_{c_j}(t) - \frac{R_d}{L_d} i_{L_d} \quad (3.1.16)$$

elde edilir. (3.1.16) da yer alan ifadenin zamana göre türevi alınır (3.1.17) eşitliğine ulaşılır.

$$\ddot{i}_{L_d} = -\frac{1}{L_d} \dot{e}_{c_j}(t) - \frac{R_d}{L_d} \dot{i}_{L_d} \quad (3.1.17)$$

(2.2.22) eşitliğinden elde edilen " e_{c_j} " ifadesi (3.1.17) yerine konursa

$$\ddot{i}_{L_d} = \frac{R_d}{L_d} \dot{i}_{L_d} - \frac{1}{L_d} \left[\frac{1}{C(t)} \dot{i}_{L_d} - \frac{1}{C(t)} \left(\frac{1}{R(t)} + C(t) \right) e_{c_j}(t) \right] \quad (3.1.18)$$

elde edilir. " e_{c_j} " ifadesi (3.1.16) nolu eşitlikten alınıp (3.1.18) nolu eşitliğe yerleştirilirse

$$\ddot{i}_{L_d} = -\frac{R_d}{L_d} \dot{i}_{L_d} - \frac{1}{L_d} \left[\frac{L_d}{C(t)} - \frac{1}{C(t)} \left(\frac{1}{R(t)} + C(t) \right) \right] \left(-R_d i_{L_d} - L_d \dot{i}_{L_d} \right) \quad (3.1.19)$$

elde edilir.

Bu ifade yeniden düzenlenirse (3.1.20) ifadesine ulaşılmış olur.

$$\ddot{z}_{L_d} + \left[\frac{R_d}{L_d} - \frac{1}{C(t)} \left(\frac{1}{R(t)} + C(t) \right) \right] \dot{z}_{L_d} + \left[\frac{1}{L_d C(t)} + \frac{1}{L_d C(t)} \left(\frac{1}{R(t)} + C(t) \right) \right] z_{L_d} = 0 \quad (3.1.20)$$

(3.1.20) katsayıları zamanla periyodik olarak değişen ikinci dereceden linear bir diferansiyel denklemdir. Bu tip bir diferansiyel denklemin çözümü bize durum vektör elemanlarını verecektir dolayısıyla sisteme ait durum geçiş matrisini oluşturmak mümkün olacaktır.

Bu tip diferansiyel denklemlerin analitik çözümü için kesin bir method yoktur. Sadece belirli tipden denklemler için çözümler mevcuttur.

Mikrodalga karıştırıcısının kararlılığını incelemede karıştırıcıyı modelleyen durum denkleminin çözümüyle elde edilen durum geçiş matrisinin eldesi analitik olarak mümkün değildir. Bu takdirde karıştırıcının kararlılığı için sistemi modelleyen durum denkleminin çözümünü gerekli kılmayan Liapunov kararlılık kriterinin uygulanması daha akılcı bir yoldur.

3.2 bölümünde Liapunov kararlılık kriterinin parametreleri zamanla periyodik olarak değişen bir sistem için incelenmesi ve mikrodalga karıştırıcısına tabii yer almaktadır.

Liapunov anlamında kararlılık kavramında karşılaşılan esas problem kararlılığı analiz edilecek sisteme ait bir Liapunov fonksiyonu teskil etmektir. Zamanla değişmeyen sistemlerde Liapunov fonksiyonu olarak sisteme ait enerji

3.2 LİNEAR ZAMANLA DEĞİŞEN DEVRELERİN LİAPUNOV KARARLILIĞI

Bu bölümde durum denklemleri ile belirtilen bir sistemin Liapunov anlamda kararlılığı gösterilecek ve anlamı ifade edilecektir. Bu sistem linear zamanla değişen bir sistem olup aşağıdaki denklem vasıtasıyla belirtilir.

$$\dot{X} = A(t) X \quad (3.2.1)$$

Bu ifadede yer alan " X " vektörü modellenen devrede yer alan kapasite gerilimleri ile self akımlarını içeren durum vektörüdür.

$$X = \begin{bmatrix} e_c \\ i_L \end{bmatrix}$$

A(t) matrisi ise (2.1.40) eşitliğinde yer alan modellenen devreye ait durum matrisidir.

$$A(t) = \begin{bmatrix} -C^{-1}(\beta P^{-1} \beta^t + \dot{C}) & -C^{-1} H \\ L^{-1} H^t & -L^{-1}(\gamma Q^{-1} \gamma^t + \dot{L}) \end{bmatrix}$$

A(t) matrisi sürekli ve $(0, \infty)$ aralığı ile sınırlıdır. Çalışmanın bu bölümünde bir devrenin girişinde her hangi bir uyarı olmaksızın kararlılığını devre parametreleri cinsinden belirtmektir. Ayrıca Liapunov anlamda asimtotik kararlılık kavramı üzerinde durulacaktır.

Liapunov anlamda kararlılık kavramında karşılaşılan esas problem kararlılığı analiz edilecek sisteme ait bir Liapunov fonksiyonu teskil etmektir. Zamanla değişmeyen sistemlerde Liapunov fonksiyonu olarak sisteme ait enerji

fonksiyonu esas alınır. Bu enerji fonksiyonunun kuartatik formda ifadesi (3.2.2) nolu matris eşitliğinde belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} \varepsilon = & \frac{1}{2} \begin{bmatrix} e_c^t & v_s^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_c \\ v_s \end{bmatrix} \\ & + \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} j_r^t & i_L^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j_r \\ i_L \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

Bu ifadede yer alan eleman matrislerinin (2.1.8) nolu ifadede belirtilen matrisler olduğu görülmektedir.

Zamanla değişmeyen sistemlerde (3.2.2) ifadesinde belirtilen enerji formülü devrede yer alan reaktif elemanlar tarafından depo edilen toplam enerjiyi göstermektedir.

Zamanla değişen sistemlerde ise enerji ifadesi devredeki toplam enerjiyi göstermez. Fakat devrede yer alan bütün kapasite ve selflerin fonksiyonu pozitif olduğundan enerji fonksiyonu bir pozitif kuartatik formdadır. Zamanla değişen sistemlerde pozitif tanımlı elemanları göz önüne alarak sisteme ait enerji fonksiyonunu aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz

Bütün $t \geq 0$ ve $x \neq 0$ için

$$\varepsilon(x,t) = \frac{1}{2} x^t \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} x \geq \epsilon \quad \epsilon > 0$$

$$\varepsilon(0,t) = 0$$

(3.2.3)

Enerji fonksiyonunun zamana göre türevi alınıp yeniden düzenlenirse

$$\frac{dE}{dt} = -e_c^t \left[\beta P^{-1} \beta^t + \frac{\dot{c}}{2} \right] e_c - z_c^t \left[\gamma^t Q^{-1} \gamma + \frac{\dot{L}}{2} \right] z_c \quad (3.2.4)$$

yukarıdaki ifade elde edilir. Bu ifadeye ver alan " dE/dt " sisteme ait enerji fonksiyonunun zamana göre türevi olup sistemin Liapunov anlamında kararlılık kriteri olarak kullanılır. $x \neq 0$ iken $V(x) > 0$ veya $V(x)$ bir pozitif tanımlıdır.

TEOREM 1. $V(x)$ sürekli bir fonksiyondur.

(3.2.1) ve (3.2.3) nolu ifadeler vasıtası ile belirtilen bir pozitif kapasite ve selflerden oluşan linear devre parametreleri zamanla değişim özelliğine sahip devrede Liapunov anlamında kararlılıktan söz edebilmek için o devreye ait enerji fonksiyonunun türevinin katsayıları kriter olarak alınır.

Bu katsayılar

$$\beta P^{-1} \beta^t + \frac{1}{2} \dot{c} \geq 0$$

$$\gamma^t Q^{-1} \gamma + \frac{1}{2} \dot{L} \geq 0 \quad (3.2.5)$$

yukarıdaki ifadeye ver alan şartları sağlamalıdır. Şayet (3.2.5) ifadesinde eşitsizlik söz konusu olursa sistem asimtotik kararlı özelliğini gösterir.

İspat 1.

Genel olarak bir sistemde enerji değişimi sistemin denge konumu dışında negatif ise . bu sistem bu konumda kararlı bir yapıya sahip olacaktır. Ayrıca bu konumda sistemin enerjisi minimum bir değerde bulunacaktır. Bu kararlılık kriteri sistemin enerjisi ile kararlılığı arasındaki

temel ilişkiyi verir.

$$\dot{X} = f(X, t)$$

(3.2.6)

(3.2.6) nolu ifade ile belirtilebilen bir sistemde şayet aşağıdaki özellikleri taşıyan bir $V(x)$ fonksiyonu mevcudsa

- $V(0) = 0$ veya $V(0) > 0$
- $x \neq 0$ iken $V(x) > 0$ veya $V(x)$ bir pozitif tanımlıdır.
- $V(x)$ sürekli bir fonksiyondur.
- $x \rightarrow \infty$ iken $|V(x)| \rightarrow \infty$
- $x \neq 0$ iken $(d/dt)(V(x)) = \dot{V}(x) < 0$

bu sistem asimtotik kararlıdır. Bu $V(x)$ fonksiyonuna sistemin Liapunov fonksiyonu denir. Genel olarak bu fonksiyonun eldesini sağlayan uygun bir method yoktur.

Pozitif tanımlı elemanlardan oluşan zamanla değişen sistemlerde tanımlanan enerji fonksiyonu bütün t değerleri için pozitifdir. (3.2.5) ifadesindeki terimler enerji fonksiyonunun türevinin negatif olacağını garanti eder. Bu iki özelliğe dayanarak sisteme ait enerji fonksiyonunu Liapunov fonksiyonu olarak kabul edebiliriz ve bu nedenle bu fonksiyon kararlılık kriteri olarak ele alınır.

(3.2.1) ifadesinde yer alan bir linear devrede zamanla değişim özelliği göstermeyen pozitif kapasite ve selfler ile zamanla değişen dirençler mevcudsa bu devrenin kararlı olabilmesi için devredeki tüm dirençlerin pozitif olması gerekmektedir. Bu durumda \dot{L} ve \dot{C} türevleri sıfır olup ayrıca (3.2.5) ifadesinde yer alan $\beta \beta' \beta^t$ ve $\gamma^t Q^{-1} \gamma$ pasif devreye ait olduklarından pozitif tanımlıdırlar.

Bu durumda Teorem 1. den dolayı bahis konusu olan devre kararlıdır denir.

(3.2.2) eşitliğinde ifade edilen enerji fonksiyonuna ilişkin kararlılık kriterini belirli matrislerin öz değerleri cinsinden belirtmek mümkündür.

Bir sistem için elde edilen $E(t)$ enerji fonksiyonu keyfi bir $f(t)$ ile $f(t)E(t)$ şeklinde modifiye edilmiş enerji fonksiyonu haline döndür. Elde edilen bu modifiye edilmiş enerji fonksiyonunun türevi alındığında (3.2.7) nolu ifadeye ulaşılır.

$$\begin{aligned} \frac{d(fE)}{dt} &= \dot{f}E + f\dot{E} \\ &= f(-e_c^t (\beta P^{-1} \beta^t + \frac{c}{2}) e_c - i_L^t (\gamma^t Q^{-1} \gamma + \frac{L}{2}) i_L) \\ &\quad + \dot{f}(\frac{1}{2} e_c^t C e_c + \frac{1}{2} i_L^t L i_L) \end{aligned}$$

$$\frac{d(fE)}{dt} = e_c^t (f(-\beta P^{-1} \beta^t - \frac{c}{2}) + \dot{f}(\frac{1}{2} C)) e_c + i_L^t ((-\gamma^t Q^{-1} \gamma - \frac{L}{2}) f + \dot{f}(\frac{1}{2} L)) i_L$$

$$\begin{aligned} \frac{d(fE)}{dt} &= \frac{1}{2} e_c^t (f(-2\beta P^{-1} \beta^t - c) + \dot{f} C) e_c + \frac{1}{2} i_L^t (f(-2\gamma^t Q^{-1} \gamma - L) + \dot{f} L) i_L \\ F_1 &= \dot{f} C - f(2\beta P^{-1} \beta^t + c) \quad F_2 = \dot{f} L - f(2\gamma^t Q^{-1} \gamma + L) \end{aligned}$$

$$\frac{d(fE)}{dt} = \frac{1}{2} e_c^t F_1 e_c + \frac{1}{2} i_L^t F_2 i_L$$

Modifiye edilmiş enerji fonksiyonunda yer alan $f(t)$ fonksiyonu sayet bir sabit değer ise $f(t) = 0$ olur. Bu durumda (3.2.7) nolu ifadeye yer alan F_1 ve F_2 terimlerinin sadece negatif kısmını içeren şekle girer. $f(t)$ fonksiyonu ile yapılan bir takım matematiksel işlemler kararlılık

kriteri hakkında daha kesin şartlar sağlayacaktır. (3.2.7) de yer alan \mathbb{F}_1 terimindeki C matrisi simetrik ve pozitif tanımlı olduğundan " $2\beta\beta^t + \dot{c}$ " terimide pozitifdir. Dolayısıyla her iki matriside köşegen matris formuna dönüştürülebilir bir dönüştürme matrisi mevcuttur.

Bu dönüşüm birbirini takip eden iki matris çarpımı işlemleri ile gerçekleştirilmektedir. C matrisi önce birim matrisine dönüştürülür.

$$T_1 C T_1^t = I \quad (3.2.8)$$

C matrisini birim matrisine dönüştüren T_1 ve T_1^t matrislerini kullanmak suretiyle (3.2.7) eşitliğinde yer alan \mathbb{F}_1 matrisinin negatif tanımlı " $\Lambda_1(t)$ " alt matrisini köşegen matris biçimine dönüştürmek mümkündür.

$$T_1 (2\beta\beta^t + \dot{c}) \cdot T_1^t = \Lambda_1(t) \quad (3.2.9)$$

Elde edilen " Λ_1 " matrisi köşegen bir matris olup bu köşegen matrisin öz vektör matrisi $\lambda_{1i}(t)$ aşağıdaki matris işlemi sonucu elde edilir.

$$\det[\lambda_{1i} C - (2\beta\beta^t + \dot{c})] = 0 \quad (3.2.10)$$

(3.2.7) eşitliğinde yer alan \mathbb{F}_2 matrisinin negatif tanımlı " $2\gamma^t\dot{q} + \dot{i}$ " alt matrisi ilede aynı tarzda işlemler dizisi uygulamak sureti ile aynı sisteme ait ikinci bir " λ_{2j} " öz vektör matrisi elde etmek mümkündür.

\mathbb{F}_2 matrisi içinde yer alan L alt matrisi ilkin birim matrisine dönüştürülür.

$$T_2 L T_2^t = I \quad (3.2.11)$$

Elde edilen T_2 ve T_2^t matrisleri yardımı ile F_2 matrisinin negatif tanımlı " $\Lambda_2(t)$ " alt matrisini köşegen matris biçimine dönüştürmek mümkündür.

$$T_2 (2\gamma^t \bar{Q}^{-1} \gamma + i) T_2^t = \Lambda_2(t) \quad (3.2.12)$$

Bu köşegen matrisin öz vektör matrisi " λ_{ij} " aşağıdaki matris işlemi ile elde edilir.

$$\det[\lambda_2 L - (2\gamma^t \bar{Q}^{-1} \gamma + i)] = 0 \quad (3.2.13)$$

Bu dönüştürme işlemlerinden sonra (3.2.7) nolu ifade de yer alan F_1 ve F_2 matrisleri köşegen matris biçiminde yazılabilir.

$$F_1' = \int I - f \Lambda_1$$

$$F_2' = \int I - f \Lambda_2$$

Bu F_1 ve F_2 matrislerinin negatif birer alt matrisleri olduğundan dolayı bu matrislerden elde edilen F_1' ve F_2' matrisleride negatif tanımlı alt matrisler içerirler. Ayrıca F_1' ve F_2' birer köşegen matris olduklarından (3.2.14) nolu eşitliği aşağıdaki biçimde ifade etmek mümkündür.

$$\begin{aligned} \dot{f} - \lambda_{1i} &\leq 0 \\ \dot{f} - \lambda_{2j} &\leq 0 \end{aligned} \quad (3.2.15)$$

(3.2.15) nolu esitlikteki " i " alt indisi devreye ait aġac dallarında bulunan kapasite iceren C matrisini birim matrisi biçimine dönüştüren dönüştürücü matrisin (3.2.9) ve (3.2.10) daki uygulamaları sonucu elde edilen öz değerleri gösteren öz vektördür. Aynı şekilde " j " alt indisinde devreye ait kirislerde bulunan selfleri iceren L matrisini birim matris biçimine dönüştüren dönüştürücü matrisin (3.2.12) ve (3.2.13) daki uygulamaları sonucu elde edilen öz değerleri gösteren öz vektördür.

(3.2.15) daki ifade bütün i ve j ler için geçerlidir. Elde edilen bu eşitsizlik sisteminde yer alan f(t) fonksiyonu aşağıdaki diferansiyel denklemden elde edilir.

$$\dot{f} - \lambda_{ij}(t) \cdot f = 0$$

(3.2.16)

Bu diferansiyel denklemde yer alan " λ_{ij} " terimini

$$\hat{\lambda}_{ij}(t) = \min_t (\lambda_{1i}, \lambda_{2j}) \quad (3.2.17)$$

seklindedir. " $\hat{\lambda}_{ij}$ " bütün i ve j ler için $t \geq 0$ seklindedir.

Tanım ifadesinde yer alan \min_t matematiksel operatörü tüm $t \geq 0$ için elde edilen $\lambda_{1i}, \lambda_{2j}$ öz vektörler arasından minimum olanın alınması gerektiğini bildirir.

(3.2.16) daki diferansiyel denklemin çözümü

$$\frac{df}{dt} = \lambda_{ij} f \Rightarrow \ln f = \int \lambda_{ij}(t) dt$$

$$f(t) = f(0) \exp \left(\int_0^t \lambda_{ij}(z) dz \right)$$

(3.2.18)

seklindedir.

Yapılan bu analizler ışığı altında aşağıdaki teoremler geliştirilebilir. $\{\lambda_u(t)\} > 0$

TEOREM 2. (3.2.20)

(3.2.1) ve (3.2.3) nolu ifadeler vasıtasıyla belirtilen bir pozitif kapasite ve selflerden oluşan linear devre parametreleri zamanla değişim özelliği gösteren devrede kararlılık

$$\lim_{t \rightarrow 0} \int_0^t \lambda_u(\xi) d\xi > -\infty$$

(3.2.19)

sartına bağlıdır.

İspat 2.

(3.2.18) nolu ifadeye yer alan $f(0)$ pozitif bir terim olarak seçilirse (3.2.1) eşitliğinde yer alan $A(t)$ durum matrisi $(0, \infty)$ aralığında tanımlı olduğundan ve ayrıca (3.2.15) nolu ifadeye belirtilen " λ_{1i} " ve " λ_{2j} " öz değerleri sabit birer değer olduklarından (3.2.18) nolu ifade belirtilen $f(t)$ fonksiyonu bütün $t \geq 0$ için $f(t) > 0$ şeklindedir. Yine bu yaklaşım ışığı altında modüle edilmiş $f(t)\delta(t)$ fonksiyonunda bütün $t \geq 0$ değerleri için pozitifdir (3.2.7) de yer alan F_1 ve F_2 terimleride negatif tanımlı alt terimler olduğundan $[d(fE)/dt] \ll 0$ şeklindedir. Dolayısıyla modifiye edilmiş enerji fonksiyonu sistemin kararlılığı konusunda kriter olarak ele alınabilen bir Liapunov fonksiyonudur. Bu teorem bilhassa periyodik karakterli devrelerde uygulanır.

TEOREM 3.

$\dot{x} = A(t)x(t)$ denklem sistemi ile ifade edilen parametreleri zamanla periyodik olarak değişen bir sistemde

$A(t) = A(t + T)$ şeklindedir ve bu sistemde kararlılık

$$\text{ave} \{ \lambda_u(t) \} > 0 \quad (3.2.20)$$

ifadesi ile belirtilir.

$\lambda_u(t)$ 'nın ortalama değeri

$$\text{ave} \{ \lambda_u(t) \} = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda_u(\xi) d\xi$$

şeklindedir.

TEOREM 4. ile belirtilen modelde x durum vektörü

Bünyesinde pozitif kapasite ve self bulunduran ayrı ca devre parametreleri zamanla periyodik olarak değişen bir sistemde

şeklinde olup $A(t)$ matrisi ise

$$\text{ave} \{ \lambda_u(t) \} < 0$$

ise sistem kararsızdır.

Şu ana kadar çalışmamızda genel olarak doğrusal zaman la değişen sistemlerde Liapunov kararlılık kriteri ele alındı. daha sonraki kısımda ise mikrodalga karıştırıcısının Liapunov kararlılığı incelenecektir.

matris ifadesinde yer alan C matrisi mikrodalga karıştırıcısı için

$$C = C_j(t)$$

değerine sahiptir. Yine (2.2.9) matris ifadesinde yer alan

L matrisi mikrodalga karıştırıcısı için

$$L = L_j$$

şeklindedir. (2.2.10) nolu matris eşitliklerindeki karıştırıcı için değerleri

$$P = R_j(t)$$

$$Q = G_j$$

türlerine esittir.

Bu 3.2.1 MİKRODALGA KARİŞTİRİCİSİNİN LİAPUNOV ANLAMINDA KARARLILIĞI

Mikrodalga karıştırıcısının durum denklemleri ile ifadesi bu çalışmanın 2. bölümünde yer almaktadır. Karıştırıcının kararlılığı için ele alınan model (2.2.22) nolu eşitlikte belirtilmiştir.

$$\dot{X} = A(t) X$$

Genel formülü ile belirtilen modelde x durum vektörü

$$X = \begin{bmatrix} I_{L_d}(t) \\ C_{C_J}(t) \end{bmatrix}$$

şeklinde olup $A(t)$ matrisi ise

$$A(t) = \begin{bmatrix} -R_d/L_d & -1/L_d \\ 1/C(t) & 1/C(t) \left[-1/R_d - C(t) \right] \end{bmatrix}$$

şeklinde dir. Karıştırıcının (3.2.3) nolu eşitlikte belirtilen enerji fonksiyonunu belirtmeden önce karıştırıcıya ait parametre matrislerine göz atmak yerinde olur. (2.2.8) nolu matris ifadesinde yer alan C matrisi mikrodalga karıştırıcısı için

$$C = C_J(t)$$

değerine sahiptir. Yine (2.2.9) matris ifadesinde yer alan L matrisi mikrodalga karıştırıcısı için

$$L = L_d$$

şeklinde dir. (2.2.10) nolu matris eşitliklerinde karıştırıcı için değerleri

$$P = R_J(t)$$

$$Q = G_d$$

terimlerine eşittir.

Bu matris ifadelerinde de anlaşılacağı üzere C, L, P ve Q matrisleri karıştırıcı için 1x1 boyutunda tek elemandan oluşan matrislerdir.

Bu bilgilerin ışığı altında Mikrodalga karıştırıcısının enerji fonksiyonunu (3.2.3) nolu matris eşitliği formunda belirtmek mümkündür.

$$\mathcal{E}(x, t) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} e_{c_j} & \mathcal{L}_{L_d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_j & 0 \\ 0 & L_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{c_j} \\ \mathcal{L}_{L_d} \end{bmatrix} \gg e$$

$$e > 0 \quad \text{ve} \quad \mathcal{E}(0, t) = 0$$

(3.2.22)

(3.2.22) nolu ifadede yer alan bu enerji fonksiyonu aynı zamanda sistemin Liapunov kararlılığı için kriter olarak ele alınan Liapunov fonksiyonudur. Teorem 1. de belirtildiği üzere karıştırıcısının Liapunov anlamda kararlı olabilmesi için (3.2.22) nolu ifadede belirtilen Liapunov fonksiyonunun türevinin katsayılarının negatif bir değer alması gerekmektedir. Dolayısıyla karıştırıcısının üzerinde herhangi bir sebepten dolayı oluşan enerji $t \rightarrow \infty$ için sürekli azalarak sifıra veya bir başka küçük değere gitmesi gerekliliği temel alınacaktır.

(3.2.5) ifadesini karıştırıcı için belirtmeden önce (2.2.7) nolu ifadede yer alan alt matris bağıntılarından

$$\beta = 1 \quad \gamma = -1$$

değerlerini hatırlatmak yerinde olur. Mikrodalga karıştırıcısı için elde edilen bu değerleri (3.2.5) ifadesinde yerine koyarsak karıştırıcı için kararlılık kriterlerini elde

ederiz. Bu Liapunov kararlılık kriterleri

$$\begin{aligned} R_J^{-1}(t) + \frac{1}{2} \dot{C}_J(t) &\geq 0 \\ G_J^{-1} &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.2.23)$$

şeklindedir. Mikrodalga karıştırıcısı için ele alınan modelde L diod endüktansı zamanla değişim özelliği göstermediğinden $\dot{L} = 0$ türev ifadesi sıfırdır. Bu ifade direnc ve acir-kenlik kavramlarını göz önüne alarak yeniden düzenlersek -

$$\begin{aligned} G_J(t) - \frac{1}{2} \dot{C}_J(t) &\geq 0 \\ R_J &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.2.24)$$

şeklini alır.

Mikrodalga karıştırıcısının kararlılığı için parametreleri zamanla periyodik olarak değişen sistemlere ait kararlılığı inceleyen teorem2 de tatbik edilebilir.

Karıştırıcı için (3.2.9) ve (3.2.10) ifadelerinde belirtilen determinant hesaplanırsa

$$\begin{aligned} \det [\lambda_1 C_1 - (2 \cdot 1 \cdot R_J^{-1}(t) \cdot 1 + C_J(t))] &= 0 \\ \lambda_1 &= \frac{1}{2} (2 G_J(t) + C_J(t)) \frac{1}{C_J(t)} \\ \det [\lambda_2 L_2 - (2 \cdot 1 \cdot G_J^{-1} \cdot -1 + 0)] &= 0 \\ \lambda_2 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{L_2} \end{aligned} \quad (3.2.25)$$

elde edilir. Bu λ_1 ve λ_2 öz vektörleri tek elemanlıdır. Bu vektörleri (3.2.19) ifadesinde yorumlamak için mikrodalga karıştırıcısının λ_u ile tanımlanan ve kararlılık kriteri olarak kullanılan terimi ise

4. SORU

$$\lambda_u(t) = \min_t \left(\frac{2G_T(t) - C_T(t)}{C_T(t)}, \frac{2R_d}{L_d} \right) \quad (3.2.26)$$

şeklindedir.

Elde edilen bu λ_u teriminin ortalama değerinin negatif olması Liapunov anlamında kararlılık kriteri olarak kullanılır.

$$\text{ave} \{ \lambda_u(t) \} > 0$$

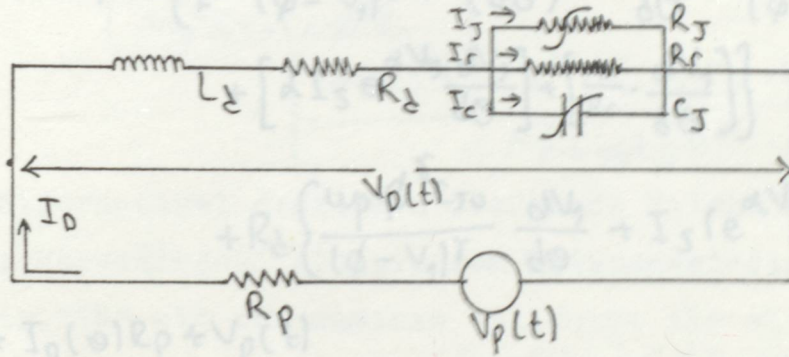
Karıştırıcıya uygulanan bu kararlılık kriterinin özelliğinden sayet ele alınan kriter sağlanmazsa karıştırıcının kesinlikle kararsız bir özellik göstereceği teorem 4 de belirtilmiştir.

4. SONUC

Bu bölümde durum denklemleri ile karakterize edilen karıştırıcının junction voltajının hesabı ve bu karıştırıcının bölüm 3 de yer alan teoremlerin kararlılık kriterinin incelenmesi yer almaktadır.

4.1 KARİSTİRİCİNİN JUNCTION VOLTAJININ NÜMERİK YÖNTEMLE SAPTANMASI

Sekil (4.1.1) de yer alan devre matematiksel modellemede esas alınacaktır. İncelemenin amacı diod junction voltajına ait diferansiyel denklemin kurulması ve çözülmesidir.



(4.1.1)

Diod junction diferansiyel denklemin eldesi

$$I_r = \frac{1}{R_r} V_J \quad I_J = I_S (e^{\alpha V_J} - 1) \quad I_c = \frac{dQ(V_J)}{dt} = \frac{dQ}{dV_J} \cdot \frac{dV_J}{dt}$$

$$\frac{dQ}{dV_J} = \frac{C_{J0}}{\left(1 - \frac{V_J}{\phi}\right)^\delta}$$

$$Q = \omega_p \cdot t$$

$$V_0(t) = V_{L_d} + V_{R_d} + V_J(t) = L_d \frac{d}{dt} I_D + R_d I_D + V_J(t)$$

$$V_0(t) = I_0 R_p + V_p(t)$$

$$V_p(t) = V_{dc} + \hat{v}_p \cos \omega_p t$$

$$I_D(t) = I_r + I_s + I_c$$

$$I_D(t) = \frac{1}{R_r} V_s + I_s (e^{\alpha V_s} - 1) + \frac{C_{T0}}{(1 - \frac{V_s}{\phi})^\gamma} \cdot \frac{dV_s}{dt}$$

$$\theta = \omega_p t$$

$$I_D(\theta) = \omega_p \frac{C_{T0}}{(1 - \frac{V_s}{\phi})^\gamma} \cdot \frac{dV_s}{d\theta} + I_s (e^{\alpha V_s} - 1) + \frac{1}{R_r} V_s$$

$$V_D(\theta) = \omega_p L_d \frac{d}{d\theta} I_D(\theta) + R_d I_D(\theta) + V_s(\theta)$$

$$V_D(\theta) = \omega_p L_d \left\{ \left[-\frac{\gamma \omega_p C_{T0} \phi^\gamma}{(\phi - V_s)^{\gamma+1}} \left(\frac{dV_s}{d\theta} \right)^2 + \frac{d^2 V_s}{d\theta^2} \cdot \frac{\omega_p C_{T0} \phi^\gamma}{(\phi - V_s)^\gamma} \right] \right.$$

$$\left. + \left[\alpha I_s e^{\alpha V_s} \frac{dV_s}{d\theta} \right] + \left[\frac{1}{R_r} \cdot \frac{dV_s}{d\theta} \right] \right\}$$

$$+ R_d \left\{ \frac{\omega_p \phi^\gamma C_{T0}}{(\phi - V_s)^\gamma} \frac{dV_s}{d\theta} + I_s (e^{\alpha V_s} - 1) + \frac{1}{R_r} V_s \right\} + V_s$$

$$V_D(\theta) = I_D(\theta) R_p + V_p(t)$$

$$\frac{d^2 V_s}{d\theta^2} \left[\frac{\omega_p^2 L_d C_{T0} \phi^\gamma}{(\phi - V_s)^\gamma} \right] = \left(\frac{dV_s}{d\theta} \right)^2 \left[\frac{\omega_p^2 L_d \gamma C_{T0} \phi^\gamma}{(\phi - V_s)^{\gamma+1}} \right]$$

$$+ \frac{dV_s}{d\theta} \left[\frac{R_p \omega_p \phi^\gamma C_{T0}}{(\phi - V_s)^\gamma} - \frac{R_d \omega_p \phi^\gamma C_{T0}}{(\phi - V_s)^\gamma} - \omega_p L_d \frac{1}{R_r} \right.$$

$$\left. - \omega_p L_d \alpha I_s e^{\alpha V_s} \right]$$

$$+ V_s \left[\frac{R_p - R_d - R_r}{R_r} \right] + I_s (e^{\alpha V_s} - 1) [R_p - R_d] + V_{DC} + V_p(t)$$

sonuçta; $\ddot{V}_s = \frac{\gamma}{(\phi - V_s)} (\dot{V}_s)^2 + \left[\frac{R_p - R_d}{\omega_p L_d} + \frac{(\phi - V_s)^\gamma}{\omega_p C_{T0} \phi^\gamma} (-\alpha I_s e^{\alpha V_s} - \frac{1}{R_r}) \right] \dot{V}_s$

$$+ \left[\frac{(\phi - V_s)^\gamma (R_p - R_d - R_r)}{\omega_p^2 C_{T0} L_d \phi^\gamma R_r} \right] V_s + \left[\frac{(\phi - V_s)^\gamma (I_s (e^{\alpha V_s} - 1) (R_p - R_d) + V_{DC} + V_p(t))}{\omega_p^2 C_{T0} L_d \phi^\gamma} \right]$$

Elde edilen bu diferansiyel denklem aşağıdaki dönüşüm vasıtası ile birinci dereceden bir diferansiyel denklem sistemine dönüşür.

$$\frac{dV_3}{d\theta} = U$$

$$\begin{aligned} \frac{dU}{d\theta} = & \frac{\gamma}{(\phi - V_3)} U^2 + \left[\frac{R_p - R_d}{\omega_p L_d} + \frac{(\phi - V_3)^{\delta}}{\omega_p C_{T0} \phi^{\delta}} \cdot \left(-\alpha I_3 e^{\alpha V_3} - \frac{1}{R_r} \right) \right] U \\ & + \left[\frac{(\phi - V_3)^{\delta} (R_p - R_d - R_r)}{\omega_p^2 C_{T0} L_d \phi^{\delta} R_r} \right] V_3 \\ & + \left[\frac{(\phi - V_3)^{\delta} (I_3 (e^{\alpha V_3} - 1) (R_p - R_d) + (V_{dc} / \omega_p + C_{T0} \phi))}{\omega_p^2 C_{T0} L_d \phi^{\delta}} \right] \end{aligned}$$

Bu diferansiyel denklemin çözümünde Yıldız Üniversitesi E.H.B. Merkezindeki alt program kütüphanesinden istifade edilmiştir. RKGS alt programının kullanımı ile elde edilen sonuçlar vasıtasıyla karıştırıcının eşdeğer devre parametrelerinden kararlılık kriteri olanlar ayrıca hesaplanmıştır.

Birinci Dereceden Diferansiyel Denklem Sisteminin Çözümü

RKGS alt programının tanıtılması

Birinci dereceden diferansiyel denklemleri verilen başlangıç değerleri ile çözer. Hassasiyet her artımda sonuçlarla kontrol edilir. 4. dereceden Runge Kutta methodunu kullanmaktadır. Genel olarak bir diferansiyel denkleme tatbiki

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y)$$

$$y_1 = y_0 + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6$$

$$k_1 = hf(x_0, y_0)$$

$$k_2 = hf(x_0 + \frac{1}{2}h, y_0 + \frac{1}{2}k_1)$$

$$k_3 = hf(x_0 + \frac{1}{2}h, y_0 + \frac{1}{2}k_2)$$

$$k_4 = hf(x_0 + h, y_0 + k_3)$$

şeklindedir. 4. dereceden Runge Kutta metodunun bir diferansiyel denklem sistemine uygulanması ise

$$\dot{x} = f(t, x, y)$$

$$\dot{y} = g(t, x, y)$$

$$k_1 = hf(t_0, x_0, y_0)$$

$$m_1 = hg(t_0, x_0, y_0)$$

$$k_2 = hf(t_0 + \frac{1}{2}h, x_0 + \frac{1}{2}k_1, y_0 + \frac{1}{2}m_1)$$

$$m_2 = hg(t_0 + \frac{1}{2}h, x_0 + \frac{1}{2}k_1, y_0 + \frac{1}{2}m_1)$$

$$k_3 = hf(t_0 + \frac{1}{2}h, x_0 + \frac{1}{2}k_2, y_0 + \frac{1}{2}m_2)$$

$$m_3 = hg(t_0 + \frac{1}{2}h, x_0 + \frac{1}{2}k_2, y_0 + \frac{1}{2}m_2)$$

$$k_4 = hf(t_0 + h, x_0 + k_3, y_0 + m_3)$$

$$m_4 = hg(t_0 + h, x_0 + k_3, y_0 + m_3)$$

$$x_1 = x_0 + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6$$

$$y_1 = y_0 + (m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4) / 6$$

şeklindedir

RKGS alt programının parametreleri ise

PRMT: Boyutu 5 den büyük veya eşit olmalıdır çıkış vektörüdür. Çıkış alt programı OUTP ile RKGS arasındaki cesitli alış verişi sağlar. PRMT(1) en düşük interval . PRMT(2) en büyük interval. PRMT(3) bağımsız değişkenin başlangıç artımıdır. PRMT(4) izin verilen en büyük hata. Eğer mutlak hata bundan büyükse artım ikive bölünür Sayet PRMT(3) ve mutlak hata PRMT(4) / 50 den küçükse artım iki kat arttırılır
Y: başlangıçta ilk koşullar verilir dönüşte bağımsız değişkenler sonuç vektörüdür.

DERY: girişte hata bantları vektörüdür dönüşte ise Y fonksiyon değerlerinin türevlerinden oluşan bir vektördür.

NDIM: sistemdeki denklem sayısını belirtir.

IHLF: başlangıç artımlarının kartlarına belirleyen bir çıkış değeridir 10 dan büyük değere ulaştığında işlem durur.

Ana hatları ile yukarıda belirtilen bu alt programı kullanırken alınacak integrale ait dataların verilmesi. diferansiyel denklemlerin verilmesi ve çıkış programı olmak üzere 3 adet program ile kullanılır.

Ana program aşağıda gösterilmiştir.

```
EXTERNAL FCT,OUTP
DIMENSION PRMT(5),DERY(2),Y(2),AUX(8,5)
DATA PRMT(1),PRMT(2),PRMT(3)/0.6,28319,0.01/
PRMT(4)=0.1 D=3
WRITE(6,100) (PRMT(I),I=1,3)
100 FORMAT(3X,'X(0)=' ,F10.5,'X(2PI)=' ,F10.5,'H=' ,F10.5)
WRITE(6,111)PRMT(4)
111 FORMAT(3X,'ERROR LIMIT=' ,F20.10)
DATA NDIM/2/
DATA DERY(1),DERY(2)/2*0.5/
WRITE(6,120)NDIM
WRITE(6,121) (DERY(I),I=1,2)
120 FORMAT(3X,'DIMENSION OF SISTEM=' ,I5)
121 FORMAT(3X,'DV/DX=' ,F10.5,3X,'DU/DV=' ,F10.5)
DATA Y(1),Y(2)/2*0/
WRITE(6,FMT='(1X,79(''**''))')
WRITE(6,FMT='(3X,' ' X IHLF DV/DX V DU/DX U '**)')
WRITE(6,FMT='(1X,79(''**''))')
CALL RKGS(PRMT,Y,DERY,NDIM,IHLF,FCT,OUTP,AUX)
```

5 1243-1
 C RECORDING OF INITIAL VALUES OF THIS STEP
 7 CALL JUTP(X,Y,DERY,IREC,NDIM,PRMT,JJ)
 TP(PRMT(5))=0,8,40

Alt Programlar

Diferansiyel denklemin çözümünü 4. dereceden Runge
 Kutta nümerik analiz yöntemini uygulayarak sağlayan
 alt program

```

SUBROUTINE RKG(S(PRMT,Y,DERY,NDIM,IHLF,AFCT,CUTP,AUX)
DIMENSION Y(1),DERY(1),AUX(8,1),A(4),B(4),C(4),PRMT(5)
JJ=-1
DO 1 I=1,NDIM
1 AUX(8,I)=0.06666667*DERY(I)
X=PRMT(1)
XEND=PRMT(2)
WRITE(6,1000)XEND
1000 FORMAT(2X,F10.5)
H=PRMT(3)
PRMT(5)=0.
CALL FCT(X,Y,DERY)
C ERROR TEST
IF(H*(XEND-X))36,37,2
C PREPARATIONS FOR RUNGE KUTTA METHOD
2 A(1)=0.5
A(2)=0.2928932
A(3)=1.707107
A(4)=0.1666667
B(1)=2.
B(2)=1.
B(3)=1.
B(4)=2.
C(1)=0.5
C(2)=0.2928932
C(3)=1.707107
C(4)=0.5
C PREPARATIONS OF FIRST RUNGE-KUTTA STEP
DO 3 I=1,NDIM
AUX(1,I)=Y(I)
AUX(2,I)=DERY(I)
AUX(3,I)=0.
3 AUX(6,I)=0.
IREC=0
H=H+H
IHLF=-1
ISTEP=0
IEND=0
C START OF A RUNGE-KUTTA STEP
4 IF((X+H-XEND)*H)7,6,5
5 H=XEND-X

```

```

DO 29 I=1,NDIM
AUX(1,I)=Y(I)
AUX(2,I)=DERY(I)
AUX(3,I)=AUX(6,I)
Y(I)=AUX(5,I)
29 DERY(I)=AUX(7,I)
CALL OUTP(X-H,Y,DERY,IHLF,NDIM,PRMT,JJ)
IF (PRMT(5)) 40,30,40
30 DO 31 I=1,NDIM
Y(I)=AUX(1,I)
31 DERY(I)=AUX(2,I)
IREC=IHLF
IF (IEND) 32,32,39
C INCREMENT GETS DOUBLED
32 IHLF=IHLF-1
ISTEP=ISTEP/2
H=H+H
IF (IHLF) 4,33,33
33 IMOD=ISTEP/2
IF (ISTEP-IMOD-IMOD) 4,34,4
34 IF (DELT-0.02*PRMT(4)) 35,35,4
35 IHLF=IHLF+1
ISTEP=ISTEP/2
H=H+H
GO TO 4
C RETURNS TO CALLING PROGRAM
36 IHLF=11
CALL FCT(X,Y,DERY)
GO TO 39
37 IHLF=12
GO TO 39
38 IHLF=13
39 CALL OUTP(X,Y,DERY,IHLF,NDIM,PRMT,JJ)
40 RETURN
END

```

Diod junction gerilimine ait birinci dereceden dife ransiyel denklem sisteminin verildiği program

```

SUBROUTINE FCT(X,Y,DERY)
DIMENSION DERY(2),Y(2)
G=((1.9-Y(1))**.5)
F1=(1/(1.6-2*Y(1)))*(Y(2)**2)
F2=2.387*Y(2)
F3=G*.000076*EXP(38.023*Y(1))*Y(2)
F4=G*.00210*Y(2)
F5=G*14.405*Y(1)
F6=G*.00000045*(EXP(38.023*Y(1))-1)
F7=G*14.511*(0+COS(X))
DERY(1)=Y(2)
DERY(2)=F1+F2-F3-F4-F5+F6+F7
RETURN
END

```

Kullanılan her artım için bağımsız değişkeni . başlanğıç artımlarını belirleyen çıkış değerinin kartlarını (bu kartlar RKGS alt programın hasasiyetini veren parametre olup 11 e esit olduğunda program kesilir.) iki bağımlı değişkenin bağımsız değişken civarında hesaplanmış türevleri ve bu türevlerin integral sonuçları aşağıdaki çıkış alt programı vasıtası ile elde edilir.

```

SUBROUTINE OUTP(X,Y,DERY,IHLF,NDIM,PRMT,J)
DIMENSION Y(2),DERY(2),PRMT(5)
J=J+1
IF(J.EQ.0) GO TO 113
IF(J/100*100.NE.J) GO TO 112
113 WRITE(6,118)X,IHLF,DERY(1),Y(1),DERY(2),Y(2)
118 FORMAT(2X,F8.5,13,2X,4(E14.7,2X))
112 RETURN
END

```

Bu programın çalışması ile elde edilen sonuçlar...

	IHLF	$\frac{dV_j}{d\theta}$	V_j	$\frac{dU}{d\theta}$	U
0	0	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.1376634E+02	0.0000000E+00
0	0	0.1544376E+01	0.7434434E-01	0.1727423E+02	0.1544376E+01
9	0	0.3599666E+01	0.3250620E+00	0.2334833E+02	0.3599666E+01
8	0	0.9856761E-01	0.4683533E+00	-0.1134434E+00	0.9856761E-01
7	0	0.8992350E-01	0.4777316E+00	-0.6727791E-01	0.8992350E-01
5	0	0.8447200E-01	0.4564205E+00	-0.4353346E-01	0.8447200E-01
4	0	0.8089367E-01	0.4946652E+00	-0.2886677E-01	0.8089367E-01
3	0	0.7650879E-01	0.5026197E+00	-0.1930237E-01	0.7650879E-01
2	0	0.7691938E-01	0.5103800E+00	-0.1278400E-01	0.7691938E-01
1	0	0.7587391E-01	0.5180100E+00	-0.8213043E-02	0.7587391E-01
0	0	0.7520425E-01	0.5255556E+00	-0.5015373E-02	0.7520425E-01
5	0	0.7479471E-01	0.5330476E+00	-0.2847672E-02	0.7479471E-01
0	0	0.7456380E-01	0.5403590E+00	0.5028725E-02	0.7456380E-01
5	1	0.7446510E-01	0.5462390E+00	0.9019852E-02	0.7446510E-01
3	0	0.7442623E-01	0.5509247E+00	0.9759903E-02	0.7442623E-01
1	1	0.7441503E-01	0.5550897E+00	0.1864433E-02	0.7441503E-01
0	2	0.7441586E-01	0.5583610E+00	0.7381439E-03	0.7441586E-01
0	1	0.7442021E-01	0.5614845E+00	0.2246302E-01	0.7442021E-01

477	4	0.7443506E-01	0.5643111E+00	0.2204239E-02	0.7443506E-01
477	4	0.7444865E-01	0.5668399E+00	0.1605690E-02	0.7444865E-01
473	1	0.7445729E-01	0.5692200E+00	0.5464542E-01	0.7445729E-01
464	2	0.7447791E-01	0.5714516E+00	0.9236693E-02	0.7447791E-01
489	3	0.7450616E-01	0.5752081E+00	0.9370506E-02	0.7450616E-01
789	3	0.7453251E-01	0.5784246E+00	0.2633095E-02	0.7453251E-01
814	3	0.7455492E-01	0.5814371E+00	0.3409195E-01	0.7455492E-01
463	2	0.7457697E-01	0.5841708E+00	0.4824257E-01	0.7457697E-01
632	2	0.7459593E-01	0.5865511E+00	0.6652355E-01	0.7459593E-01
701	3	0.7461870E-01	0.5888571E+00	0.6176856E-02	0.7461870E-01
620	3	0.7463670E-01	0.5910515E+00	0.4246712E-02	0.7463670E-01
207	4	0.7465196E-01	0.5930042E+00	0.1287079E-01	0.7465196E-01
621	3	0.7466602E-01	0.5948266E+00	0.2012825E-01	0.7466602E-01
604	3	0.7467371E-01	0.5957193E+00	0.3722191E-02	0.7467371E-01
909	3	0.7467556E-01	0.5965561E+00	0.1111631E+00	0.7467556E-01
914	5	0.7468438E-01	0.5973179E+00	0.4149437E-01	0.7468438E-01
918	4	0.7469171E-01	0.5980801E+00	0.3332138E-02	0.7469171E-01
948	3	0.7469612E-01	0.5986612E+00	0.4031849E-01	0.7469612E-01
925	3	0.7470274E-01	0.5996050E+00	0.1161289E-01	0.7470274E-01
903	3	0.7469130E-01	0.6003469E+00	0.4665394E+00	0.7469130E-01
805	4	0.7471347E-01	0.6010370E+00	0.3754616E-02	0.7471347E-01
707	4	0.7471836E-01	0.6017250E+00	0.5280495E-02	0.7471836E-01
608	4	0.7472318E-01	0.6024131E+00	0.6495476E-02	0.7472318E-01
460	4	0.7472783E-01	0.6030640E+00	0.4894257E-02	0.7472783E-01
286	4	0.7473207E-01	0.6036963E+00	0.9515762E-02	0.7473207E-01
087	4	0.7473648E-01	0.6043100E+00	0.3671646E-02	0.7473648E-01
639	4	0.7474446E-01	0.6054992E+00	0.6101608E-02	0.7474446E-01
425	4	0.7474780E-01	0.6061034E+00	0.2860451E-01	0.7474780E-01
818	3	0.7474643E-01	0.6066869E+00	0.2068262E+00	0.7474643E-01
637	4	0.7475930E-01	0.6076042E+00	0.1674747E-01	0.7475930E-01
812	4	0.7476872E-01	0.6094779E+00	0.6105709E-01	0.7476872E-01
817	5	0.7477552E-01	0.6110238E+00	0.1718378E+00	0.7477552E-01
608	4	0.7478780E-01	0.6124079E+00	0.1152611E-01	0.7478780E-01
208	4	0.7479042E-01	0.6126713E+00	0.1575184E-01	0.7479042E-01
759	5	0.7479310E-01	0.6132967E+00	0.6199837E-02	0.7479310E-01
347	4	0.7479519E-01	0.6137516E+00	0.2886391E-01	0.7479519E-01
948	4	0.7479572E-01	0.6142155E+00	0.1237621E+00	0.7479572E-01
505	5	0.7480073E-01	0.6146473E+00	0.8492470E-02	0.7480073E-01
025	4	0.7480240E-01	0.6150493E+00	0.3516674E-01	0.7480240E-01
563	5	0.7480538E-01	0.6154601E+00	0.3868103E-02	0.7480538E-01
090	3	0.7439411E-01	0.6158730E+00	0.1956351E+02	0.7439411E-01
578	4	0.7480717E-01	0.6162512E+00	0.1239901E+00	0.7480717E-01
543	4	0.7481331E-01	0.6169996E+00	0.2193928E-01	0.7481331E-01
517	4	0.7481247E-01	0.6177575E+00	0.2681389E+00	0.7481247E-01

3477	4	0.7481891E-01	0.6185061E+00	0.1417122E+00	0.7481891E-01
4427	4	0.7479298E-01	0.6192452E+00	0.1733011E+01	0.7479298E-01
5338	4	0.7479727E-01	0.6199557E+00	0.1745836E+01	0.7479727E-01
6239	4	0.7482105E-01	0.6206562E+00	0.5436141E+00	0.7482105E-01
7114	4	0.7483429E-01	0.6213381E+00	0.8663845E-01	0.7483429E-01
7959	5	0.7483727E-01	0.6219961E+00	0.9790897E-01	0.7483727E-01
8768	5	0.7484156E-01	0.6226255E+00	0.2159882E-01	0.7484156E-01
9578	5	0.7484096E-01	0.6232547E+00	0.2386637E+00	0.7484096E-01
9974	5	0.7484561E-01	0.6235623E+00	0.3922749E-01	0.7484561E-01
0363	4	0.7477061E-01	0.6238651E+00	0.4655830E+01	0.7477061E-01
0739	5	0.7484871E-01	0.6241583E+00	0.1306629E-01	0.7484871E-01
1105	4	0.7476756E-01	0.6244429E+00	0.4041967E+01	0.7476756E-01
1458	4	0.7480782E-01	0.6247163E+00	0.2841154E+01	0.7480782E-01
1821	5	0.7485241E-01	0.6249999E+00	0.2269840E-01	0.7485241E-01
2174	5	0.7485378E-01	0.6252741E+00	0.1346016E-01	0.7485378E-01
2532	5	0.7485503E-01	0.6255531E+00	0.7937431E-02	0.7485503E-01
2890	4	0.7485032E-01	0.6258320E+00	0.4087448E+00	0.7485032E-01
3110	5	0.7486612E-01	0.6283378E+00	0.5152798E-01	0.7486612E-01
3296	5	0.7487625E-01	0.6308126E+00	0.2333736E-01	0.7487625E-01
0470	5	0.7487953E-01	0.6317233E+00	0.3546429E-01	0.7487953E-01
1290	5	0.7488215E-01	0.6323551E+00	0.8700371E-02	0.7488215E-01
2149	5	0.7488364E-01	0.6330155E+00	0.8226585E-01	0.7488364E-01
3023	6	0.7488555E-01	0.6336855E+00	0.1323323E+00	0.7488555E-01
3828	4	0.7476568E-01	0.6343030E+00	0.1138494E+02	0.7476568E-01
4080	5	0.7488960E-01	0.6344961E+00	0.1937982E-01	0.7488960E-01
4329	6	0.7489026E-01	0.6346868E+00	0.2120686E-01	0.7489026E-01
4577	5	0.7488775E-01	0.6348775E+00	0.3160219E+00	0.7488775E-01
4823	5	0.7489115E-01	0.6350659E+00	0.6022072E-01	0.7489115E-01
5071	7	0.7486314E-01	0.6352566E+00	0.2792652E+01	0.7486314E-01
5299	6	0.7489181E-01	0.6354367E+00	0.1118622E+00	0.7489181E-01
5535	5	0.7488996E-01	0.6356119E+00	0.3487396E+00	0.7488996E-01
5768	5	0.7489324E-01	0.6357907E+00	0.8967590E-01	0.7489324E-01
6008	5	0.7489473E-01	0.6359743E+00	0.1008987E-01	0.7489473E-01
6248	5	0.7489109E-01	0.6361579E+00	0.4227505E+00	0.7489109E-01
6493	5	0.7489151E-01	0.6363462E+00	0.4524031E+00	0.7489151E-01
6721	7	0.7489544E-01	0.6365203E+00	0.1156153E+00	0.7489544E-01
6963	6	0.7489634E-01	0.6367062E+00	0.8689022E-01	0.7489634E-01
7206	5	0.7489604E-01	0.6368922E+00	0.1792612E+00	0.7489604E-01
7446	5	0.7489198E-01	0.6370758E+00	0.6507072E+00	0.7489198E-01
7685	5	0.7489818E-01	0.6372594E+00	0.7924652E-01	0.7489818E-01
7920	6	0.7489890E-01	0.6374406E+00	0.7049847E-01	0.7489890E-01
8156	5	0.7489622E-01	0.6376218E+00	0.4055119E+00	0.7489622E-01
8389	5	0.7489675E-01	0.6378006E+00	0.4086380E+00	0.7489675E-01
8622	5	0.7489675E-01	0.6379794E+00	0.4743204E+00	0.7489675E-01
8855	5	0.7489699E-01	0.6381582E+00	0.5087423E+00	0.7489699E-01
9086	6	0.7490170E-01	0.6383346E+00	0.6675816E-01	0.7490170E-01
9316	5	0.7489681E-01	0.6385111E+00	0.5560688E+00	0.7489681E-01
9543	5	0.7489395E-01	0.6386851E+00	0.1030692E+01	0.7489395E-01
9764	6	0.7490379E-01	0.6388544E+00	0.2276516E-01	0.7490379E-01
9985	6	0.7490432E-01	0.6390237E+00	0.2265453E-01	0.7490432E-01
0204	6	0.7490426E-01	0.6391906E+00	0.7739067E-01	0.7490426E-01
0422	5	0.7490361E-01	0.6393574E+00	0.2102919E+00	0.7490361E-01
0642	5	0.7489467E-01	0.6395267E+00	0.1261120E+01	0.7489467E-01
0854	6	0.7490575E-01	0.6396888E+00	0.7791519E-01	0.7490575E-01
1070	5	0.7490587E-01	0.6398557E+00	0.1211319E+00	0.7490587E-01
1288	6	0.7490605E-01	0.6400226E+00	0.1604404E+00	0.7490605E-01
1506	5	0.7490611E-01	0.6401895E+00	0.2114735E+00	0.7490611E-01
3357	6	0.7491171E-01	0.6415986E+00	0.3935814E-01	0.7491171E-01
5120	6	0.7491213E-01	0.6429337E+00	0.4506016E+00	0.7491213E-01
5651	5	0.7491752E-01	0.6436394E+00	0.4227543E-01	0.7491752E-01
5807	5	0.7491595E-01	0.6440519E+00	0.3614187E+00	0.7491595E-01

2.90090	7	0.7496423E-01	0.6684672E+00	0.6654739E-01	0.7496423E-01
2.90712	8	0.7496464E-01	0.6689245E+00	0.1138266E+00	0.7496464E-01
2.90917	5	0.7491946E-01	0.6690754E+00	0.1475335E+02	0.7491946E-01
2.91190	6	0.7493138E-01	0.6692747E+00	0.1105662E+02	0.7493138E-01
2.91392	3	0.7496500E-01	0.6694230E+00	0.2040367E+00	0.7496500E-01
2.92078	7	0.7496583E-01	0.6699187E+00	0.1265154E+00	0.7496583E-01
2.92286	6	0.7487464E-01	0.6700679E+00	0.3066461E+02	0.7487464E-01
2.92483	8	0.7496643E-01	0.6702093E+00	0.4656315E-01	0.7496643E-01
2.92617	7	0.7496637E-01	0.6703054E+00	0.1123943E+00	0.7496637E-01
2.92681	7	0.7496649E-01	0.6703516E+00	0.8858027E-01	0.7496649E-01
2.92747	6	0.7438436E-01	0.6703991E+00	0.2786964E+02	0.7488436E-01
2.92810	7	0.7496631E-01	0.6704444E+00	0.1356044E+00	0.7496631E-01
2.92877	7	0.7496655E-01	0.6704913E+00	0.1152067E+00	0.7496655E-01
2.94965	7	0.7495582E-01	0.6719030E+00	0.4544623E+01	0.7495582E-01
2.95529	8	0.7496876E-01	0.6723052E+00	0.7836342E-01	0.7496876E-01
2.96392	8	0.7495064E-01	0.6729130E+00	0.7033682E+01	0.7495064E-01
2.96686	7	0.7496965E-01	0.6731209E+00	0.8791924E-01	0.7496965E-01
2.96745	7	0.7496965E-01	0.6731623E+00	0.2564590E-01	0.7496965E-01
2.96801	8	0.7496358E-01	0.6732029E+00	0.5135498E+00	0.7496858E-01
2.96863	7	0.7496316E-01	0.6732453E+00	0.6931477E+00	0.7496816E-01
2.96920	6	0.7460874E-01	0.6732370E+00	0.1354361E+03	0.7460874E-01
2.96976	7	0.7496995E-01	0.6733266E+00	0.5630375E-01	0.7496995E-01
2.97035	7	0.7495266E-01	0.6733683E+00	0.6567960E+01	0.7495266E-01
2.97086	7	0.7495299E-01	0.6734067E+00	0.6605426E+01	0.7495290E-01
2.97143	9	0.7495010E-01	0.6734470E+00	0.7591314E+01	0.7495010E-01
2.97320	7	0.7496613E-01	0.6735705E+00	0.1606730E+01	0.7496613E-01
2.97498	7	0.7497013E-01	0.6736935E+00	0.1417112E+00	0.7497013E-01
2.97670	9	0.7438942E-01	0.6736163E+00	0.3102829E+02	0.7488942E-01
2.97836	9	0.7496363E-01	0.6739348E+00	0.2735237E+01	0.7496363E-01
2.98090	7	0.7496977E-01	0.6740524E+00	0.4263823E+00	0.7496977E-01
2.98165	7	0.7497001E-01	0.6741704E+00	0.3796616E+00	0.7497001E-01
2.98274	9	0.7494396E-01	0.6742486E+00	0.1053200E+02	0.7494396E-01
2.98325	7	0.7497066E-01	0.6742860E+00	0.1726255E+00	0.7497066E-01
2.98563	7	0.7495463E-01	0.6744500E+00	0.6504561E+01	0.7495463E-01
2.98796	7	0.7497048E-01	0.6746114E+00	0.3756199E+00	0.7497048E-01
2.99020	9	0.7484496E-01	0.6747693E+00	0.5008659E+02	0.7484496E-01
2.99905	7	0.7495409E-01	0.6753930E+00	0.7333213E+01	0.7495409E-01
3.00238	7	0.7497078E-01	0.6756269E+00	0.6929207E+00	0.7497078E-01
3.00294	7	0.7497156E-01	0.6756660E+00	0.3922005E+00	0.7497156E-01
3.00350	7	0.7497013E-01	0.6757031E+00	0.9938269E+00	0.7497013E-01
3.00405	7	0.7495129E-01	0.6757442E+00	0.3716554E+01	0.7495129E-01
3.00460	9	0.7497102E-01	0.6757828E+00	0.6656449E+00	0.7497102E-01
3.00515	8	0.7497251E-01	0.6758214E+00	0.6825733E-01	0.7497251E-01
3.00571	7	0.7497090E-01	0.6758605E+00	0.7441139E+00	0.7497090E-01
3.00626	8	0.7497174E-01	0.6758991E+00	0.4199724E+00	0.7497174E-01
3.00680	8	0.7497263E-01	0.6759378E+00	0.6067657E-01	0.7497263E-01
3.00732	7	0.7497227E-01	0.6759752E+00	0.2248297E+00	0.7497227E-01
3.00787	8	0.7497132E-01	0.6760138E+00	0.6350669E+00	0.7497132E-01
3.00949	7	0.7496983E-01	0.6761267E+00	0.1303313E+01	0.7496983E-01
3.01166	7	0.7497221E-01	0.6762813E+00	0.3779068E+00	0.7497221E-01
3.01333	7	0.7497251E-01	0.6764339E+00	0.3236217E+00	0.7497251E-01
3.01601	7	0.7497245E-01	0.6765365E+00	0.4139051E+00	0.7497245E-01
3.01818	7	0.7496828E-01	0.6767391E+00	0.2246411E+01	0.7496828E-01
3.02034	7	0.7494950E-01	0.6768967E+00	0.1032395E+02	0.7494950E-01
3.02193	8	0.7497353E-01	0.6770033E+00	0.1106033E+00	0.7497353E-01
3.02352	7	0.7497281E-01	0.6771153E+00	0.4899368E+00	0.7497281E-01
3.02561	8	0.7497394E-01	0.6772646E+00	0.6034156E-01	0.7497394E-01
3.03625	8	0.7497418E-01	0.6789232E+00	0.2636232E+00	0.7497418E-01
3.04324	8	0.7497501E-01	0.6785234E+00	0.1023779E+00	0.7497501E-01
3.04375	7	0.7495809E-01	0.6785597E+00	0.7774467E+01	0.7495809E-01
3.04424	8	0.7497513E-01	0.6785949E+00	0.9108639E-01	0.7497513E-01
3.04475	7	0.7495606E-01	0.6786312E+00	0.8751463E+01	0.7495606E-01

3.04524	8	0.7497513E-01	0.6736665E+00	0.1071491E+00	0.7497513E-01
3.04575	7	0.7495618E-01	0.6787027E+00	0.8747997E+01	0.7495618E-01
3.04624	8	0.7497519E-01	0.6787380E+00	0.1154060E+00	0.7497519E-01
3.04675	7	0.7495469E-01	0.6787742E+00	0.9471102E+01	0.7495469E-01
3.04724	8	0.7497531E-01	0.6788095E+00	0.8070087E-01	0.7497531E-01
3.04774	8	0.7497543E-01	0.6788448E+00	0.4967499E-01	0.7497543E-01
3.04823	8	0.7497531E-01	0.6788801E+00	0.1124058E+00	0.7497531E-01
3.04872	7	0.7495409E-01	0.6789154E+00	0.9858727E+01	0.7495409E-01
3.04922	7	0.7495993E-01	0.6789507E+00	0.7202706E+01	0.7495993E-01
3.04970	8	0.7497543E-01	0.6789850E+00	0.1013708E+00	0.7497543E-01
3.05019	7	0.7496679E-01	0.6790203E+00	0.4105513E+01	0.7496679E-01
3.05115	7	0.7497443E-01	0.6790890E+00	0.5825338E+00	0.7497443E-01
3.05210	8	0.7497430E-01	0.6791571E+00	0.7001896E+00	0.7497430E-01
3.05258	8	0.7497383E-01	0.6791915E+00	0.3074593E+00	0.7497383E-01
3.05352	7	0.7497478E-01	0.6792587E+00	0.5290194E+00	0.7497478E-01
3.05493	8	0.7497436E-01	0.6793603E+00	0.7002081E+00	0.7497436E-01
3.05587	7	0.7497460E-01	0.6794275E+00	0.6864748E+00	0.7497460E-01
3.05680	7	0.7497513E-01	0.6794943E+00	0.4564934E+00	0.7497513E-01
3.05773	7	0.7497489E-01	0.6795610E+00	0.5976143E+00	0.7497489E-01
3.05819	7	0.7497448E-01	0.6795944E+00	0.3048944E+00	0.7497448E-01
3.05912	7	0.7493913E-01	0.6796612E+00	0.1746117E+02	0.7493913E-01
3.06005	8	0.7497621E-01	0.6797270E+00	0.5199718E-01	0.7497621E-01
3.06050	8	0.7497603E-01	0.6797603E+00	0.1499100E+00	0.7497603E-01
3.06097	7	0.7496393E-01	0.6797937E+00	0.5888451E+01	0.7496393E-01
3.06233	8	0.7497621E-01	0.6798919E+00	0.1196899E+00	0.7497621E-01
3.06417	7	0.7493806E-01	0.6800236E+00	0.1337073E+02	0.7493806E-01
3.06550	7	0.7495296E-01	0.6801197E+00	0.1135200E+02	0.7495296E-01
3.06775	7	0.7494742E-01	0.6802820E+00	0.114242E+02	0.7494742E-01
3.07042	7	0.7494509E-01	0.6804737E+00	0.1544875E+02	0.7494509E-01
3.07080	8	0.7497603E-01	0.6805052E+00	0.1443377E+00	0.7497603E-01
3.07129	8	0.7497692E-01	0.6805366E+00	0.4696178E-01	0.7497692E-01
3.07355	7	0.7494235E-01	0.6806968E+00	0.1700542E+02	0.7494235E-01
3.07485	7	0.7493746E-01	0.6807922E+00	0.1950238E+02	0.7493746E-01
3.07662	8	0.7497364E-01	0.6809195E+00	0.1812155E+01	0.7497364E-01
3.07833	8	0.7497734E-01	0.6810788E+00	0.5975151E-01	0.7497734E-01
3.08140	8	0.7497710E-01	0.6812700E+00	0.2686377E+00	0.7497710E-01
3.08541	8	0.7497215E-01	0.6815537E+00	0.2876951E+01	0.7497215E-01
3.08711	7	0.7493269E-01	0.6816772E+00	0.2291723E+02	0.7493269E-01
3.08793	8	0.7497740E-01	0.6817373E+00	0.3153614E+00	0.7497740E-01
3.08870	8	0.7497150E-01	0.6817979E+00	0.3332625E+01	0.7497150E-01
3.08952	8	0.7497805E-01	0.6818546E+00	0.2464199E-01	0.7497805E-01
3.08994	8	0.7497799E-01	0.6818851E+00	0.6793590E-01	0.7497799E-01
3.09032	9	0.7496870E-01	0.6819140E+00	0.4826063E+01	0.7496870E-01
3.09069	8	0.7497746E-01	0.6819414E+00	0.3576126E+00	0.7497746E-01
3.09100	8	0.7497811E-01	0.6819710E+00	0.4543495E-01	0.7497811E-01
3.09227	8	0.7497811E-01	0.6820587E+00	0.8155346E-01	0.7497811E-01
3.09345	7	0.7490516E-01	0.6821464E+00	0.3767627E+02	0.7490516E-01
3.09450	8	0.7497829E-01	0.6822318E+00	0.5223370E-01	0.7497829E-01
3.09578	8	0.7497770E-01	0.6823214E+00	0.4165315E+00	0.7497770E-01
3.09704	7	0.7497346E-01	0.6824144E+00	0.2648063E+01	0.7497346E-01
3.09829	9	0.7497680E-01	0.6825074E+00	0.9460095E+00	0.7497680E-01
3.09937	8	0.7497799E-01	0.6825323E+00	0.3883769E+00	0.7497799E-01
3.10083	8	0.7497859E-01	0.6826957E+00	0.1075621E+00	0.7497859E-01
3.10163	8	0.7497817E-01	0.6827592E+00	0.3435020E+00	0.7497817E-01
3.10251	8	0.7497805E-01	0.6828207E+00	0.1215820E+00	0.7497805E-01
3.10335	8	0.7497871E-01	0.6828827E+00	0.1106071E+00	0.7497871E-01
3.10418	9	0.7497728E-01	0.6829442E+00	0.8926020E+00	0.7497728E-01
3.10500	7	0.7497197E-01	0.6830047E+00	0.3748810E+01	0.7497197E-01
3.10621	8	0.7497895E-01	0.6830944E+00	0.7022285E-01	0.7497895E-01
3.10940	8	0.7497901E-01	0.6833347E+00	0.1474447E+00	0.7497901E-01
3.11108	7	0.7497156E-01	0.6834539E+00	0.4203647E+01	0.7497156E-01
3.11349	8	0.7497920E-01	0.6836313E+00	0.4578400E-01	0.7497920E-01

3.11390	7	0.7497340E-01	0.6836613E+00	0.3323521E+01	0.7497340E-01
3.11430	8	0.7497925E-01	0.6836914E+00	0.1637497E+00	0.7497925E-01
3.11469	8	0.7497341E-01	0.6837205E+00	0.6289759E+00	0.7497841E-01
3.11510	8	0.7497871E-01	0.6837500E+00	0.4809256E+00	0.7497871E-01
3.11550	8	0.7497931E-01	0.6837801E+00	0.1727295E+00	0.7497931E-01
3.11590	8	0.7497954E-01	0.6838092E+00	0.6373787E-01	0.7497954E-01
3.11630	8	0.7497799E-01	0.6838387E+00	0.9078827E+00	0.7497799E-01
3.11670	8	0.7497948E-01	0.6838678E+00	0.9576893E-01	0.7497948E-01
3.11710	8	0.7497948E-01	0.6838974E+00	0.1195993E+00	0.7497948E-01
3.11750	8	0.7497931E-01	0.6839269E+00	0.2293720E+00	0.7497931E-01
3.11789	8	0.7497960E-01	0.6839566E+00	0.7350159E-01	0.7497960E-01
3.11829	8	0.7497966E-01	0.6839851E+00	0.5046368E-01	0.7497966E-01
3.11870	7	0.7497317E-01	0.6840147E+00	0.3644613E+01	0.7497317E-01
3.11909	8	0.7497972E-01	0.6840433E+00	0.4734230E-01	0.7497972E-01
3.12342	8	0.7497990E-01	0.6843613E+00	0.8296585E-01	0.7497990E-01
3.12812	8	0.7498020E-01	0.6847051E+00	0.6630692E-01	0.7498020E-01
3.12929	8	0.7498026E-01	0.6847910E+00	0.5954575E-01	0.7498026E-01
3.13125	8	0.7498032E-01	0.6849340E+00	0.8725929E-01	0.7498032E-01
3.13281	8	0.7498044E-01	0.6850435E+00	0.7722950E-01	0.7498044E-01
3.13594	8	0.7498056E-01	0.6852773E+00	0.8847618E-01	0.7498056E-01
3.13672	8	0.7498062E-01	0.6853345E+00	0.8934307E-01	0.7498062E-01
3.13711	8	0.7498068E-01	0.6853632E+00	0.7415485E-01	0.7498068E-01
3.13907	8	0.7498074E-01	0.6855062E+00	0.8416176E-01	0.7498074E-01
3.13946	8	0.7498080E-01	0.6855348E+00	0.7283456E-01	0.7498080E-01
3.13985	8	0.7498085E-01	0.6855634E+00	0.4598522E-01	0.7498085E-01
3.14024	8	0.7498085E-01	0.6855921E+00	0.5424213E-01	0.7498085E-01
3.14063	8	0.7498080E-01	0.6856207E+00	0.9374619E-01	0.7498080E-01
3.14102	8	0.7498085E-01	0.6856493E+00	0.7075596E-01	0.7498085E-01
3.14141	8	0.7498091E-01	0.6856779E+00	0.5557728E-01	0.7498091E-01
3.14180	8	0.7498085E-01	0.6857065E+00	0.9897521E-01	0.7498085E-01
3.14220	8	0.7498091E-01	0.6857351E+00	0.8772659E-01	0.7498091E-01
3.14259	8	0.7498091E-01	0.6857637E+00	0.9599018E-01	0.7498091E-01
3.14298	8	0.7498097E-01	0.6857923E+00	0.6909657E-01	0.7498097E-01
3.20821	8	0.7498354E-01	0.6907858E+00	0.5638028E+00	0.7498354E-01
3.23576	9	0.7498431E-01	0.6928757E+00	0.9368877E+00	0.7498431E-01
3.23913	8	0.7498389E-01	0.6931354E+00	0.1361107E+01	0.7498389E-01
3.23963	8	0.7498109E-01	0.6931745E+00	0.3510489E+01	0.7498109E-01
3.23988	9	0.7498437E-01	0.6931940E+00	0.1010964E+01	0.7498437E-01
3.24013	9	0.7498467E-01	0.6932133E+00	0.8043975E+00	0.7498467E-01
3.24036	8	0.7498455E-01	0.6932319E+00	0.9103165E+00	0.7498455E-01

Bu programın kullanılması ile yarım periyot boyunca sıfır DC gerilim ve $v_D = 1$ volt tabanlama şartlarında diod junction gerilimini nümerik olarak elde edildi.

4.2 KARISTIRICTININ KARARLILIK KRİTERİNİN İNCELENMESİ

Bölüm 4.1 de elde edilen diod junction gerilimi kullanılarak teorem 1 deki kararlılık kriterinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Bu kriterin elemanları olan " G_J " ve " $\frac{1}{2}C_J$ " hesaplanmasında bu elemanların tanım bağlantılarından istifade edilmiştir.

Kullanılan program

FILE: XXXZ DATA A YILDIZ UNIVERSITESI E.H.B. MERKEZI

```

IMPLICIT INTEGER(V)
PRINT*, 'WWWWW KARARLILIK KRİTERLERİNİN HESAPLANMASI WWWWW'
DO 5 V=1,600
READ(5,110)X,IHLF,DERY1,Y1,DERY2,Y2
G=10.**(-5.)*28.52*10.**(9.)*EXP(38.023*Y1)
DC1=~(0.5*2.3843*(10.**(-3.)))
DC2=((0.9*Y1)**(1.5))*Y2
DC=DC1*DC2
WRITE(6,120)X,Y1,Y2,G,DC
110 FORMAT(2X,F8.5,13,2X,4(E14.7,2X))
120 FORMAT(1X,F7.5,1X,4(E10.3,1X))
5 CONTINUE
STOP
END

```

Sonuçlar...

.22517	0.618E+00	0.748E-01	0.453E+21	-0.134E-04
.23477	0.619E+00	0.748E-01	0.466E+21	-0.133E-04
.24427	0.619E+00	0.748E-01	0.460E+21	-0.133E-04
.25338	0.620E+00	0.748E-01	0.493E+21	-0.132E-04
.26239	0.621E+00	0.748E-01	0.505E+21	-0.132E-04
.27114	0.621E+00	0.748E-01	0.519E+21	-0.131E-04
.27959	0.622E+00	0.748E-01	0.532E+21	-0.131E-04
.28768	0.623E+00	0.748E-01	0.545E+21	-0.130E-04
.29578	0.623E+00	0.748E-01	0.559E+21	-0.130E-04
.29974	0.624E+00	0.748E-01	0.565E+21	-0.130E-04
.30363	0.624E+00	0.748E-01	0.572E+21	-0.129E-04
.30739	0.624E+00	0.748E-01	0.578E+21	-0.129E-04
.31105	0.624E+00	0.748E-01	0.584E+21	-0.129E-04
.31458	0.625E+00	0.748E-01	0.590E+21	-0.129E-04
.31821	0.625E+00	0.749E-01	0.597E+21	-0.129E-04
.32174	0.625E+00	0.749E-01	0.603E+21	-0.128E-04
.32532	0.626E+00	0.749E-01	0.610E+21	-0.128E-04
.32890	0.626E+00	0.749E-01	0.616E+21	-0.128E-04
.33110	0.628E+00	0.749E-01	0.678E+21	-0.126E-04
.339296	0.631E+00	0.749E-01	0.744E+21	-0.125E-04
.40470	0.632E+00	0.749E-01	0.771E+21	-0.124E-04
.41290	0.632E+00	0.749E-01	0.789E+21	-0.124E-04
.42149	0.633E+00	0.749E-01	0.810E+21	-0.123E-04
.43023	0.634E+00	0.749E-01	0.830E+21	-0.123E-04
.43828	0.634E+00	0.748E-01	0.850E+21	-0.122E-04
.44080	0.634E+00	0.749E-01	0.856E+21	-0.122E-04
.44329	0.635E+00	0.749E-01	0.863E+21	-0.122E-04
.44577	0.635E+00	0.749E-01	0.869E+21	-0.122E-04
.44823	0.635E+00	0.749E-01	0.875E+21	-0.122E-04
.45071	0.635E+00	0.749E-01	0.882E+21	-0.122E-04
.45299	0.635E+00	0.749E-01	0.887E+21	-0.121E-04
.45535	0.636E+00	0.749E-01	0.894E+21	-0.121E-04
.45768	0.636E+00	0.749E-01	0.900E+21	-0.121E-04
.46008	0.636E+00	0.749E-01	0.906E+21	-0.121E-04
.46248	0.636E+00	0.749E-01	0.912E+21	-0.121E-04
.46493	0.636E+00	0.749E-01	0.919E+21	-0.121E-04
.46721	0.637E+00	0.749E-01	0.925E+21	-0.121E-04
.46963	0.637E+00	0.749E-01	0.932E+21	-0.121E-04
.47206	0.637E+00	0.749E-01	0.938E+21	-0.121E-04
.47446	0.637E+00	0.749E-01	0.945E+21	-0.120E-04
.47685	0.637E+00	0.749E-01	0.951E+21	-0.120E-04
.47920	0.637E+00	0.749E-01	0.958E+21	-0.120E-04
.48156	0.638E+00	0.749E-01	0.964E+21	-0.120E-04
.48389	0.638E+00	0.749E-01	0.971E+21	-0.120E-04
.48622	0.638E+00	0.749E-01	0.978E+21	-0.120E-04
.48855	0.638E+00	0.749E-01	0.984E+21	-0.120E-04
.49086	0.638E+00	0.749E-01	0.991E+21	-0.120E-04
.49316	0.639E+00	0.749E-01	0.998E+21	-0.119E-04
.49543	0.639E+00	0.749E-01	0.100E+22	-0.119E-04
.49764	0.639E+00	0.749E-01	0.101E+22	-0.119E-04
.49985	0.639E+00	0.749E-01	0.102E+22	-0.119E-04
.50204	0.639E+00	0.749E-01	0.102E+22	-0.119E-04
.50422	0.639E+00	0.749E-01	0.103E+22	-0.119E-04
.50642	0.640E+00	0.749E-01	0.104E+22	-0.119E-04
.50854	0.640E+00	0.749E-01	0.104E+22	-0.119E-04
.51070	0.640E+00	0.749E-01	0.105E+22	-0.118E-04
.51288	0.640E+00	0.749E-01	0.106E+22	-0.118E-04
.51506	0.640E+00	0.749E-01	0.106E+22	-0.118E-04
.53357	0.642E+00	0.749E-01	0.112E+22	-0.117E-04
.55120	0.643E+00	0.749E-01	0.116E+22	-0.116E-04
.56051	0.644E+00	0.749E-01	0.121E+22	-0.116E-04
.56502	0.644E+00	0.749E-01	0.123E+22	-0.116E-04

E: XXXZ DATA A YILDIZ UNIVERSITESI E.H.B. MERKEZI

89739	0.668E+00	0.750E-01	0.309E+22	-0.997E-05
90090	0.668E+00	0.750E-01	0.312E+22	-0.996E-05
90712	0.669E+00	0.750E-01	0.317E+22	-0.993E-05
90917	0.669E+00	0.749E-01	0.319E+22	-0.991E-05
91190	0.669E+00	0.749E-01	0.321E+22	-0.990E-05
91392	0.669E+00	0.750E-01	0.323E+22	-0.989E-05
92078	0.670E+00	0.750E-01	0.329E+22	-0.986E-05
92286	0.670E+00	0.749E-01	0.331E+22	-0.984E-05
92483	0.670E+00	0.750E-01	0.333E+22	-0.984E-05
92617	0.670E+00	0.750E-01	0.334E+22	-0.984E-05
92681	0.670E+00	0.750E-01	0.335E+22	-0.984E-05
92747	0.670E+00	0.749E-01	0.335E+22	-0.982E-05
92310	0.670E+00	0.750E-01	0.336E+22	-0.983E-05
92877	0.670E+00	0.750E-01	0.337E+22	-0.983E-05
94965	0.672E+00	0.750E-01	0.355E+22	-0.973E-05
95529	0.672E+00	0.750E-01	0.361E+22	-0.971E-05
96392	0.673E+00	0.750E-01	0.369E+22	-0.967E-05
96636	0.673E+00	0.750E-01	0.372E+22	-0.966E-05
96745	0.673E+00	0.750E-01	0.373E+22	-0.966E-05
96801	0.673E+00	0.750E-01	0.373E+22	-0.965E-05
96863	0.673E+00	0.750E-01	0.374E+22	-0.965E-05
96920	0.673E+00	0.746E-01	0.374E+22	-0.960E-05
96976	0.673E+00	0.750E-01	0.375E+22	-0.965E-05
97035	0.673E+00	0.750E-01	0.375E+22	-0.964E-05
97086	0.673E+00	0.750E-01	0.376E+22	-0.964E-05
97143	0.673E+00	0.750E-01	0.377E+22	-0.964E-05
97320	0.674E+00	0.750E-01	0.378E+22	-0.963E-05
97496	0.674E+00	0.750E-01	0.380E+22	-0.962E-05
97670	0.674E+00	0.749E-01	0.382E+22	-0.960E-05
97636	0.674E+00	0.750E-01	0.384E+22	-0.961E-05
98000	0.674E+00	0.750E-01	0.385E+22	-0.960E-05
98165	0.674E+00	0.750E-01	0.387E+22	-0.959E-05
98274	0.674E+00	0.749E-01	0.388E+22	-0.958E-05
98325	0.674E+00	0.750E-01	0.389E+22	-0.958E-05
98563	0.674E+00	0.750E-01	0.391E+22	-0.957E-05
98796	0.675E+00	0.750E-01	0.394E+22	-0.956E-05
99020	0.675E+00	0.748E-01	0.396E+22	-0.954E-05
99905	0.675E+00	0.750E-01	0.406E+22	-0.951E-05
00238	0.676E+00	0.750E-01	0.409E+22	-0.950E-05
00294	0.676E+00	0.750E-01	0.410E+22	-0.950E-05
00350	0.676E+00	0.750E-01	0.410E+22	-0.949E-05
00405	0.676E+00	0.750E-01	0.411E+22	-0.949E-05
00460	0.676E+00	0.750E-01	0.412E+22	-0.949E-05
00516	0.676E+00	0.750E-01	0.412E+22	-0.949E-05
00571	0.676E+00	0.750E-01	0.413E+22	-0.948E-05
00626	0.676E+00	0.750E-01	0.413E+22	-0.948E-05
00680	0.676E+00	0.750E-01	0.414E+22	-0.948E-05
00732	0.676E+00	0.750E-01	0.415E+22	-0.948E-05
00787	0.676E+00	0.750E-01	0.415E+22	-0.947E-05
00949	0.676E+00	0.750E-01	0.417E+22	-0.947E-05
01166	0.676E+00	0.750E-01	0.419E+22	-0.946E-05
01383	0.676E+00	0.750E-01	0.422E+22	-0.945E-05
01601	0.677E+00	0.750E-01	0.424E+22	-0.944E-05
01818	0.677E+00	0.750E-01	0.427E+22	-0.943E-05
02034	0.677E+00	0.749E-01	0.429E+22	-0.942E-05
02193	0.677E+00	0.750E-01	0.431E+22	-0.941E-05
02352	0.677E+00	0.750E-01	0.433E+22	-0.940E-05
02561	0.677E+00	0.750E-01	0.435E+22	-0.940E-05
03625	0.678E+00	0.750E-01	0.448E+22	-0.935E-05
04324	0.679E+00	0.750E-01	0.457E+22	-0.932E-05
04375	0.679E+00	0.750E-01	0.457E+22	-0.931E-05
04424	0.679E+00	0.750E-01	0.458E+22	-0.931E-05

FILE: XXX2 DATA A YILDIZ UNIVERSITESI E.H.B. MERKEZI

3.04475	0.679E+00	0.750E-01	0.459E+22	-0.931E-05
3.04524	0.679E+00	0.750E-01	0.459E+22	-0.931E-05
3.04575	0.679E+00	0.750E-01	0.460E+22	-0.930E-05
3.04624	0.679E+00	0.750E-01	0.461E+22	-0.930E-05
3.04675	0.679E+00	0.750E-01	0.461E+22	-0.930E-05
3.04724	0.679E+00	0.750E-01	0.462E+22	-0.930E-05
3.04774	0.679E+00	0.750E-01	0.462E+22	-0.930E-05
3.04823	0.679E+00	0.750E-01	0.463E+22	-0.929E-05
3.04872	0.679E+00	0.750E-01	0.464E+22	-0.929E-05
3.04922	0.679E+00	0.750E-01	0.464E+22	-0.929E-05
3.04970	0.679E+00	0.750E-01	0.465E+22	-0.929E-05
3.05019	0.679E+00	0.750E-01	0.466E+22	-0.928E-05
3.05115	0.679E+00	0.750E-01	0.467E+22	-0.928E-05
3.05210	0.679E+00	0.750E-01	0.468E+22	-0.928E-05
3.05258	0.679E+00	0.750E-01	0.469E+22	-0.927E-05
3.05352	0.679E+00	0.750E-01	0.470E+22	-0.927E-05
3.05493	0.679E+00	0.750E-01	0.472E+22	-0.926E-05
3.05587	0.679E+00	0.750E-01	0.473E+22	-0.926E-05
3.05680	0.679E+00	0.750E-01	0.474E+22	-0.926E-05
3.05773	0.680E+00	0.750E-01	0.475E+22	-0.925E-05
3.05819	0.680E+00	0.750E-01	0.476E+22	-0.925E-05
3.05912	0.680E+00	0.749E-01	0.477E+22	-0.924E-05
3.06003	0.680E+00	0.750E-01	0.478E+22	-0.924E-05
3.06050	0.680E+00	0.750E-01	0.479E+22	-0.924E-05
3.06097	0.680E+00	0.750E-01	0.479E+22	-0.923E-05
3.06233	0.680E+00	0.750E-01	0.481E+22	-0.923E-05
3.06417	0.680E+00	0.749E-01	0.484E+22	-0.922E-05
3.06550	0.680E+00	0.750E-01	0.485E+22	-0.921E-05
3.06775	0.680E+00	0.749E-01	0.488E+22	-0.920E-05
3.07042	0.680E+00	0.749E-01	0.492E+22	-0.919E-05
3.07086	0.681E+00	0.750E-01	0.493E+22	-0.919E-05
3.07129	0.681E+00	0.750E-01	0.493E+22	-0.919E-05
3.07353	0.681E+00	0.749E-01	0.496E+22	-0.918E-05
3.07485	0.681E+00	0.749E-01	0.498E+22	-0.917E-05
3.07662	0.681E+00	0.750E-01	0.500E+22	-0.917E-05
3.07883	0.681E+00	0.750E-01	0.503E+22	-0.916E-05
3.08148	0.681E+00	0.750E-01	0.507E+22	-0.914E-05
3.08541	0.682E+00	0.750E-01	0.513E+22	-0.913E-05
3.08711	0.682E+00	0.749E-01	0.515E+22	-0.911E-05
3.08793	0.682E+00	0.750E-01	0.516E+22	-0.911E-05
3.08876	0.682E+00	0.750E-01	0.517E+22	-0.911E-05
3.08952	0.682E+00	0.750E-01	0.518E+22	-0.911E-05
3.08994	0.682E+00	0.750E-01	0.519E+22	-0.911E-05
3.09032	0.682E+00	0.750E-01	0.520E+22	-0.910E-05
3.09069	0.682E+00	0.750E-01	0.520E+22	-0.910E-05
3.09106	0.682E+00	0.750E-01	0.521E+22	-0.910E-05
3.09227	0.682E+00	0.750E-01	0.523E+22	-0.909E-05
3.09345	0.682E+00	0.749E-01	0.524E+22	-0.908E-05
3.09458	0.682E+00	0.750E-01	0.526E+22	-0.908E-05
3.09578	0.682E+00	0.750E-01	0.528E+22	-0.906E-05
3.09704	0.682E+00	0.750E-01	0.530E+22	-0.907E-05
3.09829	0.683E+00	0.750E-01	0.532E+22	-0.907E-05
3.09997	0.683E+00	0.750E-01	0.534E+22	-0.906E-05
3.10093	0.683E+00	0.750E-01	0.535E+22	-0.905E-05
3.10168	0.683E+00	0.750E-01	0.537E+22	-0.905E-05
3.10251	0.683E+00	0.750E-01	0.538E+22	-0.905E-05
3.10335	0.683E+00	0.750E-01	0.539E+22	-0.904E-05
3.10418	0.683E+00	0.750E-01	0.540E+22	-0.904E-05
3.10500	0.683E+00	0.750E-01	0.542E+22	-0.903E-05
3.10621	0.683E+00	0.750E-01	0.543E+22	-0.903E-05
3.10946	0.683E+00	0.750E-01	0.548E+22	-0.901E-05
3.11108	0.683E+00	0.750E-01	0.551E+22	-0.901E-05

Bu çalışmada ele alınan kriterine göre uygulanan tabanlama şartlarında mikrodalga karıştırıcısı Liapunov anlamda kararlıdır. "Schottky diodes" Doctora

Tez Bu konuda yapılacak daha sonraki çalışmalarda tabanlama şartları ve devre parametrelerinin değişik değerleri için kararlılık kriterleri incelenebilir.

3. D.G. FICKER "Circuits with periodically varying parameters" Macdonald London 1964

4. Ernest S. KUH "Stability of linear time varying networks the state space approach" IEEE Transactions on circuit Theory 1965

5. Someswar c. GUPTA "Transform and State variable methods in linear systems" John Wiley and Sons Inc 1968

6. J.M. HANLEY "Some general properties of nonlinear Elements Part 1. General Energy Relations" Proceedings on the IEE

7. T. MURATA "Decomposition of time varying LC elements and state space formulation" Electronics Letters 1969

8. RAJPAI - GANES PAIDEEY "Numerical Methods For Engineers and Scientists" John Wiley and Sons 1978

KAYNAKLAR

1. F . GÜNES "Conversion loss and noise figure of microwave and Z mixers using Schottky diodes " Doctora Tez çalışması . University of Bradford UK Kasım 1978
2. Henry D Angelo " linear time varying systems " Allyn and Bacon . Boston 1970
3. D.G. TUCKER " Circuits with periodically varying parameters " Macdonald London 1964
4. Ernest S. KUH " Stability of linear time varying networks the state space approach " IEEE Transactions on circuit Theory 1965
5. Somehwar c. GUPTA " Transform and State variable methods in linear systems " John Wiley and Sons Inc 1968
6. J.M. MANLEY " Some general properties of nonlinear Elements Part 1. General Energy Relations " Proceeding on the IRE
7. T. MURATA " Decomposition of time varying LC elements and state space formulation " Electronics Letters 1969
8. RAJPAI -CALUS FAIDLEY " Numerical Methods For Engineers and Scientists " John Wiley and Sons 1978

ÖZGEŞMİŞ

1960 yılında Ankarada dünyaya geldim. 1977 yılında Kuleli Askeri Lisesini . 1981 yılında Kara Harp Okulunu Muhabere teğmen rütbesi ile bitirdim. Kara Harp Okuluna Öğretim üyesi yetiştirme programı dahilinde Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde lisans eğitimi görüp 1984 yılında Elektrik Mühendisi ünvanını aldım. 1984 yılından itibaren Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme bölümü yüksek lisans öğrencisiyim.

