

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİNİ
KULLANARAK YARI İLETKEN DİYODA AİT
PARAMETRE ÇIKARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilg.Müh. Ferda BOZKURT

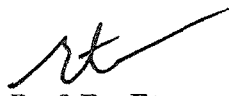
Enstitü Anabilim Dalı : Bilgisayar ve Bilişim Müh.

Bu tez 31/08/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK

Jüri Başkanı



**Prof. Dr. Etem
KÖKLÜKAYA**

Üye



**Yrd. Doç. Dr. Feyzullah
TEMURTAŞ**

Üye

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma esnasında bana yardımları dokunan Yrd. Doc. Dr. Gürsel Düzenli Bey'e, danışmanım, Yrd. Doc. Dr. Nejat Yumuşak Bey'e, Yüksek Elektronik Mühendisi Mehmet Recep Bozkurt Bey'e, Elektronik Mühendisi adayları Murat Saylık ve Numan Saylık Beylere, Annem ve Babama, ve her aşamada yanımda bulunan sevgili minik kızım AyŐe Sabiha Bozkurt'a ve sevgilim eŐim Mehmet Recep Bozkurt'a çok teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1 .	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 .	
EVİRİMSEL ALGORİTMALARA GENEL BAKIŞ	2
2.1 Evrimsel Algoritmaların Bilgisayar Tabanlı Problemlerin Çözülmesinde Tercih Edilme Sebepleri	6
2.1.1 Geleneksel ayrıntılı arama algoritmalarını gerektiren problemler	6
2.1.2 Ardışıl değerlendirme ile arama yapmak zaman kaybettirebilir.	6
2.1.3 Uyarlanabilir veya orijinal çözüm gerektiren problemler.....	7
2.2 Evrimsel Kompütasyon Stratejileri Hangi Durumlarda Kullanılmalıdır ?	7
2.3 Evrimsel Algoritma Çeşitleri.....	8
2.3.1 Genetik algoritmalar (GA).....	8
2.3.2 Genetik programlama (GP).....	8
2.3.3 Evrimsel programlama (EP).....	8
2.3.4 Evrim stratejileri.....	8

BÖLÜM 3 .

GENETİK ALGORİTMALARA GİRİŞ	9
3.1 Temel Tanım.....	10
3.2 Genetik Algoritmalarda Biyolojik Terimler:.....	10
3.2.1 Doğal seleksiyon (Natural selection).....	10
3.2.2 Genotip (Genotype) ve Fenotip (Phenotype).....	11
3.2.3. Adaptasyon mekanizması	11
3.2.4 Mutasyon (Değişim).....	12
3.2.5 Yeniden kopyalama (Recombination, Crossing-Over,Mayoz) .	12
3.2.6 Kromozom	13
3.3 Arama Kümesi ve Uygun Çözümü Bulma Metotları	14
3.3.1 Hill climbing	14
3.3.2 Tabu search	15
3.3.3 Simulated annealing	15
3.3.4 Genetik algoritma	15
3.3.5 Np-Hard problemleri	15
3.4 Basit Genetik Algoritmanın Ana Hatları.....	16
3.5 Genetik Algoritma Operatörleri.....	18
3.5.1 Kromozomların kodlanması.....	18
3.5.2 Çaprazlama (Crossover)	18
3.5.3 Mutasyon.....	19
3.6 Genetik Algoritma Parametreleri.....	20
3.6.1 Çaprazlama (Crossover) olasılığı	20
3.7 Seleksiyon (Selection).....	21
3.7.1 Roulette wheel (Rulet tekeri) seleksiyonu	21
3.7.2 Rank seleksiyonu.....	22
3.7.3 Kararlı hal (Steady-state) seleksiyonu	23
3.7.4 Seçmecilik - Elitizm (Elitism).....	23
3.8 Kodlama (Encoding)	24
3.8.1 Binary Kodlama	24
3.8.2 Permütasyon kodlama.....	25
3.8.3 Değer kodlama	26
3.8.4 Ağaç kodlaması (Tree encoding)	26

3.9	Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları	26
3.9.1	Traveling salesman	26
3.9.2	Ağaç rotalama problemi	27
3.9.3	Tesis yerleşim problemi	27

BÖLÜM 4 .

YARIİLETKEN DİYOT.....		29
4.1	İletken, Yalıtkan ve Yarıiletken Kavramları	29
4.1.1	Germanyum ve silisyum atomik yapıları	30
4.1.2	Katkılı malzemeler (p ve n tipi)	33
4.2	Diyot.....	37
4.2.1	Diyot temel yapısı ve karakteristikleri.....	37
4.2.2	İleri yönde öngerilimleme durumu	38
4.2.3	Ters yönde öngerilimleme durumu	38
4.2.4	Diyot akım-gerilim karakteristik eğrisi	39
4.2.5	Diyot akım denklemleri	40
4.2.6	Diyot SPICE modelleri ve hatalar	45

BÖLÜM 5 .

DENEYSEL ÇALIŞMA VE OPTİMİZASYON PROGRAMI.....		47
5.1	Donanımsal Çalışma	47
5.1.1	HP4155B.....	47
5.1.2	4155 Parametre analiz cihazıyla basit diyot ölçümlerinin yapılması	48
5.2	Uygulama ve Deney.....	54
5.3	Yazılım Çalışması	55
5.3.1	FBGA programı.....	56
5.4	Uygun I_0 Değerinin Seçilmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması.....	57
5.4.1	HP4155B ile dataların alınması.....	58
5.4.2	PSPICE Simülasyonu ile dataların alınması	59
5.4.3	Geliştirilmiş PSPICE simülasyonu ile dataların alınması.....	60
5.4.4	Değerlendirme.....	61

BÖLÜM 6 .

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
Ek A	68
Ölçülen 1N4001 Diyoduna Ait Karakteristik Bilgiler	68
ÖZGEÇMİŞ	70



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Evrimsel Algoritma ile problem çözümü	2
Şekil 2.2 Basit Bir Evrimsel Algoritmanın Yapısı.....	3
Şekil 2.3 Evrimsel Programlamanın yapısı.....	4
Şekil 2.4 Çoklanmış Bir Popülasyonun Yapısı.....	5
Şekil 3.1 Mayoz Bölünmeye uğramış bir kromozomun yapısı	13
http://esg-www.mit.edu:8001/bio/mg/meiosis.html	
Şekil 3.2 Arama kümesine bir örnek.....	14
Şekil 3.3 Uygunluk Fonksiyonu Değeri Yüksek Kromozomlar.....	21
Şekil 3.4 Uygunluk Değeri Grafiği: Rank Öncesi Hali.....	22
Şekil 3.5 Uygunluk Değeri Grafiği: Rank Uygulandıktan Sonraki Hali.....	23
Şekil 4.1 Özdirenç için temel büyüklük.....	29
Şekil 4.2 Germanyum (a) ve Silisyum (b) için Bohr modelleri.....	30
Şekil 4.3 Silisyum kovalent bağ yapısı.....	31
Şekil 4.4 Yalıtılmış atomik yapıda ayrık düzeyler.....	32
Şekil 4.5 Yalıtkan, İletken ve yarıiletken maddelerde iletim ve valans bantları.....	33
Şekil 4.6 n-tipi malzemede antimon katkısı.....	34

Şekil 4.7 Enerji bandı yapısı üzerinde verici katkısının etkisi.....	35
Şekil 4.8 p-Tipi malzemede Boron katkısı.....	36
Şekil 4.9 Elektron-delik akışı.....	36
Şekil 4.10 (a) n tipi malzeme (b) p tipi malzeme.....	37
Şekil 4.11 Diyot yapısı.....	37
Şekil 4.12 Diyot ileri yönde öngerilimleme durumu.....	38
Şekil 4.13 Diyot ters yönde öngerilimleme durumu.....	39
Şekil 4.14 Diyot akım-gerilim karakteristiği.....	39
Şekil 5.1 HP4155B ve Bileşenlerinin Genel Görünümü.....	47
Şekil 5.2 HP4155B Önden Görünüm.....	48
Şekil 5.3 Sonuçların Karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.4 Genetik Algoritma uygulamasının ekran görüntüsü.....	57
Şekil 5.5 Ölçüm sonuçlarına göre I-V eğrisi (0-7 Volt arası, 0.02 lik adımlar).....	58
Şekil 5.6 Standart model ile simülasyon sonuçlarına göre I-V eğrisi (0-7 Volt arası, 0.02 lik adımlar).....	60
Şekil 5.7 Geliştirilmiş model ile simülasyon sonuçlarına göre I-V eğrisi (0-7 Volt arası, 0.02 lik adımlar).....	61
Şekil 5.8 Elde edilen üç tip datanın tek grafik üzerinde gösterilmesi.....	62

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1 Madde türlerinin öz direnç değerlerine örnekler	30
Tablo 4.2 Diyot model parametreleri	40



ÖZET

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritmalar, Optimizasyon, Genel Diyot Denklemi

Diyotların akım değerinin hesaplanmasında kullanılan genel diyot denkleminin, simülasyon programları için kullanılabilir olmadığı bilinmektedir. Bundan dolayı diyot denkleminin yerine yaklaşık ifadeler kullanılmaktadır. Bu ifadelerde I_s değerinin ölçümü ile elde edilen değer yerine simülasyonlarda çok daha iyi sonuç veren yeni bir I_s değerinin olduğu çalışmamızda görülmüştür. Böylece ölçüm sonuçları ile PSPICE da kullanılan yeni I_s değeri ile elde edilen simülasyon sonuçlarının tam bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmada en uygun I_s değerinin Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak bulunması hedeflenmiştir.

PARAMETER EXTRACTION OF A SEMICONDUCTIVE DIODE BY USING GENETIC ALGORITHMS

SUMMARY

Key Words: Genetic Algorithms, Optimization, General Diode Equation

This study proposes that Genetic Algorithms are viable candidates as tools for parameter optimization of the SPICE diode equation. A description of Genetic Algorithms is discussed, general diode equation in contrast of the SPICE diode equations are examined and a software implementation is introduced with comparative results of PSICE, HP4155B parameter analyzer, genetic algorithm software and actual measurements. These results showed that the I_s value of the diode equation that was found by GA software gave the closest value to the real measurements.

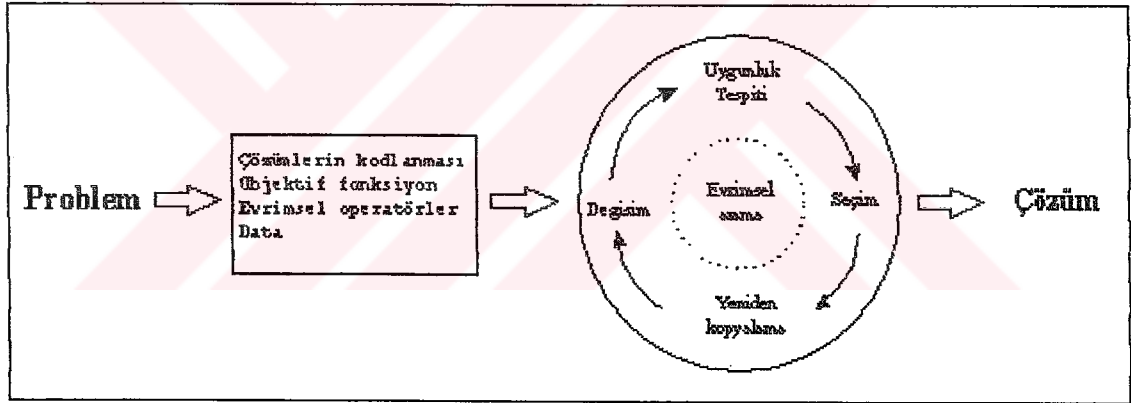
BÖLÜM 1 . GİRİŞ

Diyotların akım değerinin hesaplanmasında kullanılan genel diyot denkleminin, simülasyon programları için kullanılabilir olmadığı bilinmektedir [1]. Bundan dolayı diyot denkleminin yerine yaklaşık ifadeler kullanılmaktadır [1-5,7]. Bu ifadelerde I_s değerinin ölçümü ile elde edilen değer yerine simülasyonlarda çok daha iyi sonuç veren yeni bir I_s değerinin olduğu bu tez çalışmasında görülmüştür. Ölçüm sonuçları ile PSPICE da kullanılan yeni I_s değeri ile elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve tam bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada en uygun I_s değerinin genetik algoritma yöntemi kullanılarak bulunması hedeflenmiştir. Bu tez çalışmasında genetik algoritmaların bağlı olduğu algoritmik yöntemlerden olan evrimsel algoritmalarından genel olarak bahsedilerek genetik algoritma yöntemi, genel diyot denklemi ve geliştirilen uygulama anlatılmıştır.

BÖLÜM 2 . EVRİMSEL ALGORİTMALARA GENEL BAKIŞ

Evrimsel algoritmalarla ilgili olarak çalışmalar son 30 yılda başlamıştır. Genetik Algoritmalar Amerika'da J.H. Holland tarafından, Evrimsel Stratejiler Almanya'da I Rechenberg ve H-P. Schwefel tarafından geliştirilmiştir. Her bir ülkenin konuya yaklaşımları farklı olmuş ancak hepsi de aynı prensipten etkilenmişlerdir: Evrim, doğal değişim.

Aşağıdaki Şekil 2.1'de Evrimsel Algoritmalarla bir problemin nasıl çözüldüğünü görebiliriz.

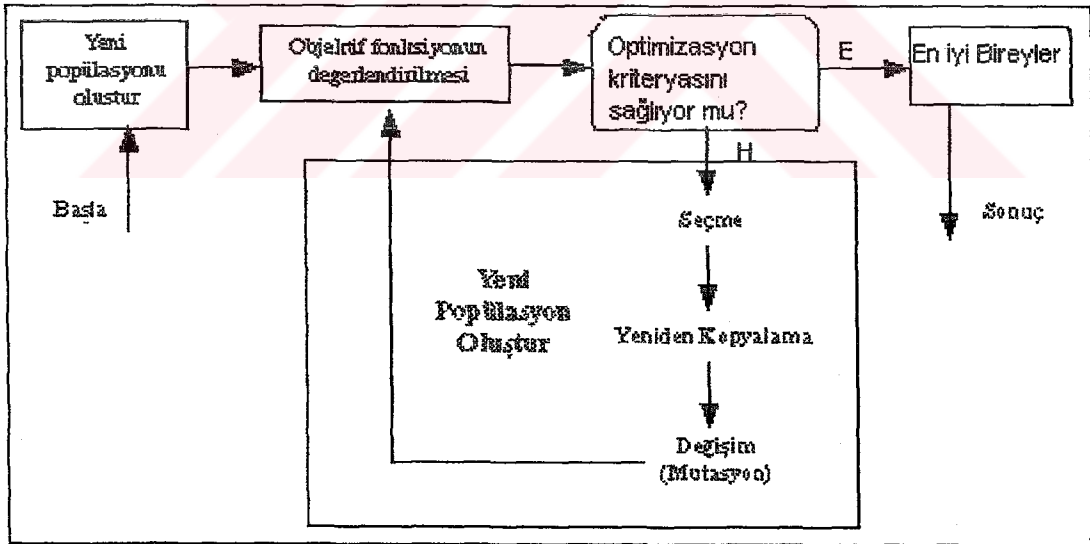


Şekil 2.1 Evrimsel Algoritma ile problem çözümü

Geleneksel arama metotları, probleme bir çözüm adayı önerir ve onu değiştirerek daha iyi çözümler elde etmeye çalışır. Aksine evrimsel algoritmalar, bir çözüm adayları popülasyonu oluşturur ve bu popülasyon zamanla evrimleşir. Bir adayın çözüme ne kadar yakın olduğu, uygulamaya bağlı bir fonksiyondur. Bir çözüm adayı bir parametreler topluluğunu, bir kuralı, bir kurallar grubunu veya ağaç yapısında bir bilgisayar programını temsil edebilir. Hepsinde de, algoritma her adayın ne kadar güçlü olduğunu hesaplar ve buna göre bir sonraki neslin ebeveynleri olacak yada yok olacak bireyleri belirler. Daha sonra, makul bir yeni nesil oluşturmak için ebeveynlere genetik arama işlemcilerini (yeniden kopyalama ve değişim) uygular. Bu döngü her defasında daha güçlü bireyler oluşturarak tekrarlanır.

Evrimsel Algoritmalar, bilgisayar tabanlı problem çözme sistemlerinde kullanılan ana algoritma başlıklarından birisidir. Skolastik arama metotlarından olan evrimsel algoritmalar biyolojik evrimin taklit eder. Evrimsel algoritmalar potansiyel çözümler popülasyonu üzerine hayatta kalma prensibini uygulayarak en iyi çözümü bulurlar. Her jenerasyonda problem kümesi içindeki çözüme uygunluk (fitness) derecelerine göre yeni yaklaşık çözüm setleri oluşturulur ve genetik biliminden ödünç alınan bu yöntemle çözüm kümesi genişletilir. Bu işlemlerle ortama uygunluk sağlayan çözümlerin kullanılmasını sağlar.

Evrimsel algoritmalar, seçme, yeniden birleşme, mutasyon, göç etme, yerleşiklik, ve komşuluk gibi doğal işleyişte olan olayları modeller. Aşağıdaki Şekil 2.2’de basit bir evrimsel algoritmanın yapısını görebilirsiniz. Evrimsel algoritmalar tek bir çözüm yerine bir popülasyon içindeki bireylerle çalışır. Böylece arama paralel bir şekilde sürdürülür.



Şekil 2.2 Basit Bir Evrimsel Algoritmanın Yapısı

Hesaplama öncelikle popülasyondaki bireylerden bir kısmı rasgele seçilerek başlangıç değerleri sıfırlanır. Kullanılan fonksiyon bu bireylere göre değerlendirilir. Böylece ilk jenerasyon üretilmiş olur.

Eğer optimizasyon kriteriyası sağlanmamışsa, yeni bir jenerasyonun üretimine başlanır. Bireyler, yeni birey (offspring) oluşturabilme uygunluğuna göre seçilirler. Ebeveynle (Parents) tekrar eşleştirilerek yeni bireyler oluşturulur. Tüm yeni bireyler belli bir olasılık dahilinde değişime uğratılarak (mutation) bir sonraki jenerasyonun farklılığı sağlanır. Yeni bireylerin uygunluğu hesaplanır. Yeni bireyler ebeveynlerinin yerine geçerek popülasyonda yerlerini alırlar. Bu çevirim optimizasyon kriterleri sağlanana dek sürer.

Aşağıda Evrimsel Programlama yapısını görebilirsiniz.

```

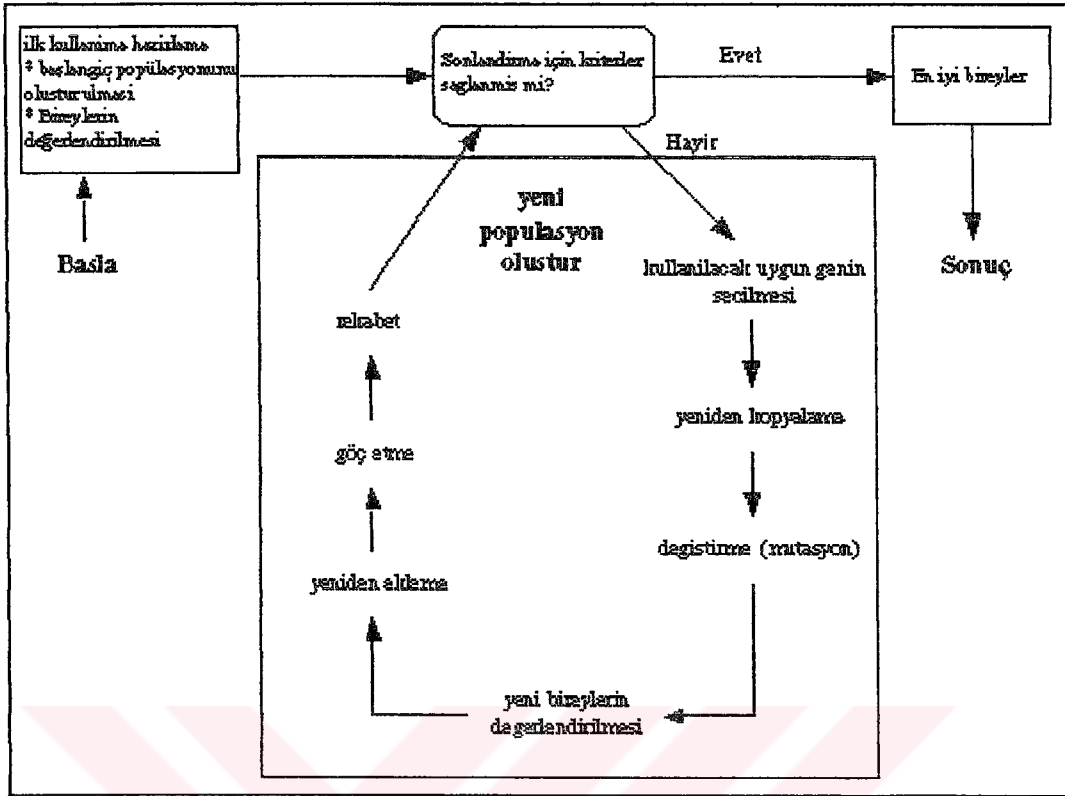
procedure evrimsel programlama
begin
   $t \leftarrow 0$ 
  başlat  $P(t)$ 
  değerlendir  $P(t)$ 
  while (not bitiş-koşulu) do
  begin
     $t \leftarrow t + 1$ 
    seç  $P(t)$  itibaren  $P(t-1)$ 
    değiştir  $P(t)$ 
    değerlendir  $P(t)$ 
  end
end

```

Şekil 2.3 Evrimsel Programlamanın yapısı

Bu gibi tek popülasyonlu evrimsel algoritmalar geniş bir yelpazeye yayılabilecek alanda güçlü performans sağlar. Ancak, daha iyi sonuçların alınabilmesi için birden fazla alt popülasyonlarında sisteme dahil edilmesi gerekir. Çok popülasyonlu (multipopulation) evrimsel algoritmalar tek popülasyonlu evrimsel algoritmalara nazaran doğal hayattaki geçirilen değişime daha çok benzerlik gösterir.

Aşağıdaki Şekil 2.4’de çoklanmış bir popülasyonun yapısını görebilirsiniz.



Şekil 2.4 Çoklanmuş Bir Popülasyonun Yapısı

Yukarıdaki açıklamalardan ve şekillerden de görüldüğü gibi, evrimsel algoritmalar geleneksel arama algoritmalarından oldukça farklıdır. Evrimsel algoritmaları geleneksel arama algoritmalarından ayıran en büyük farkları şöyle listeleyebiliriz:

- Evrimsel algoritmalar, popülasyon noktalarında paralel arama yapar, sadece tek bir noktada arama yapmaz.
- Evrimsel algoritmaların türetilmiş bilgiye yada harici başka bilgilere ihtiyacı yoktur. Sadece objektif fonksiyon ve buna bağlı uygunluk seviyesi (fitness level) aramanın yönünü belirler.
- Evrimsel algoritmalar olasılıksal geçiş (probabilistic transition) kurallarını kullanırlar, deterministik kuralları değil.
- Evrimsel algoritmaları uygulamak daha kolaydır. Çünkü objektif fonksiyon için kısıtlama yoktur.
- Evrimsel algoritmalar eldeki sorun için birden fazla cevap türetebilir ve son karar kullanıcıya bırakılabilir. (Belli bir problemde eğer tek bir sonuç yoksa, mesela, evrimsel algoritmalar kural tabanlı otonom ajanların kural kümelerinin öğrenilmesinde, robot kontrolü için kullanılan sinir ağlarının

ağırlıklarının ve topolojisinin öğrenilmesinde, bulanık mantık kontrol sistemlerinde ve davranış tabanlı robotların kurallarında kullanılmaktadır ve bu tür durumlar için evrimsel algoritmalar daha uygundur)

2.1 Evrimsel Algoritmaların Bilgisayar Tabanlı Problemlerin Çözülmesinde Tercih Edilme Sebepleri

2.1.1 Geleneksel ayrıntılı arama algoritmalarını gerektiren problemler

Bazı zor problemlerde en iyi çözümün bulunabilmesi için tüm olası cevapların tek tek taranması gerekir. Örneğin, para borsasındaki aktiviteleri izleyip bir sonraki adımda neler olabileceğini tahmin eden bir programın yazılabilmesi durumunda: Önceki senelere ait 100 setten oluşan bir kurallar topluluğu içerisinde optimal hareketin seçilmesi gerekiyorsa her bir kuralın incelenip “doğruluk” paylarının değerlendirilmesi gerekir.

Olası cevapların fazla sayıda olması ve bunların değerlendirilerek optimal sonucun bulunması uzun zaman alabilir. Ancak, Evrimsel algoritmaların bu tür bir probleme uygulanması halinde, mesela 30 olası cevabı içeren bir çözüm kümesi oluşturularak değerlendirilir. Eğer rasgele seçilen ilk 30 olası cevap doğru değilse seçilme aşamasında bunlar elenir ve neticede çözüm kümesi gittikçe daraltılarak optimal çözüme ulaşılır.

2.1.2 Ardışıl değerlendirme ile arama yapmak zaman kaybettirebilir.

Geleneksel olarak bir probleme sonuç arandığında tüm olası sonuçlar tek tek incelenir. Ancak veri miktarının fazla olması halinde tüm bu verilerin tek tek incelenmesi uzun zaman alacaktır. Bu tür problemlerde paralel yaklaşım yani, her olası sonucun tek tek sırayla değerlendirilmesi yerine aynı anda değerlendirilmesi daha uygundur.

2.1.3 Uyarlanabilir veya orijinal çözüm gerektiren problemler

Bazı problemler çözüm algoritmasının bir sonuç oluşturmasını yada değişen ortamı eldeki bir sonuca adapte etmesini gerektirir. Mesela, değişik kullanıcıların duyarlılıklarına uyum sağlayan bir kullanıcı arabiriminin algoritmasını ele alırsak, Kullanıcı arabirimini harekete geçiren algoritma öyle bir değişikliğe uğramalı ki programlama esnasında tahmin edilemez olmalıdır. Evrimsel algoritmalar, genetik biliminden esinlenen değişen ortamlar için orijinal çözümler oluşturma mekanizması olarak görülebilir.

2.2 Evrimsel Kompütasyon Stratejileri Hangi Durumlarda Kullanılmalıdır ?

Bir problemin evrimsel kompütasyon yaklaşımıyla çözüm aranmasına sebep olabilecek birkaç senaryo vardır.

- 1- Aranacak elemanlar kümesi, çözüm kümesi, ayrıntılı arama yapılamayacak kadar büyükse:
- 2- En iyi sonucun bulunması şart değilse: Evrimsel algoritmalarda ileriye görme gibi bir mekanizma yoktur. Dolayısıyla bir bireyin o anki çevreye ne zaman uyum sağlayabileceğini bilemez, ancak diğer bireylere göre daha iyi uyum sağlayıp sağlayamadığını bilebilir. Bunun anlamı, eldeki problemin optimal çözümüne yaklaşmak bu algoritmaların ana hedefidir. Daha sonra gelen hedef ise eldeki bulunan sonuçtan daha iyi bir sonuç bulmaktır. Daha fazla zaman ve kaynakla daha optimal çözümler bulunabilir
- 3- Bir problemin çözümüne yaklaşım çok iyi anlaşılmamışsa: Çoğu problemde çözümün doğru olup olmadığını kontrol etmek (fitness function) kolaydır, ancak çözümün yolunu en başta bulmak daha zordur ve kolay yapılamaz. Evrimsel kompütasyon stratejileriyle, Doğruluğu kontrol edilmiş uygunluk fonksiyonuna (fitness function) karşılık gelen doğru çözümler birbirine adapte edilerek sonuç bulunabilir.
- 4- Simültane optimizasyon gerektiren çok parametrelili problemlerde: Evrimsel algoritma stratejik olarak bir probleme paralel arama tekniği ile

yaklaştığından, parametre optimizasyonlarının simültane yapılmasının gerekli olduğu hallerde evrimsel algoritmalarla daha kolay çözüme ulaşılır.

2.3 Evrimsel Algoritma Çeşitleri

2.3.1 Genetik algoritmalar (GA)

John Holland ve öğrencileri tarafından ortaya atılmış ve geliştirilmiştir.

Sayısal Optimizasyon ve Uyarlamalı Sistem Tasarımı konularında kullanılmıştır.

- Evrim Teorisini simüle eder
- Yeniden Birleştirme, Mayoz (Recombination, Crossover) önemli konulardır.
- Çoğunlukla binary değerler kullanılır.
- Schema Theorem'i klasik Genetik Algoritma teoremlerindedir.

2.3.2 Genetik programlama (GP)

Koza tarafından geliştirilmiştir.

LISP programlama ile yapılmıştır.

- Tree (Ağaç) yapıları kullanılır.
- GP kullanılarak geliştirilen uygulamalar çok çeşitlidir.
- Genetik Programlama terimi De Garis tarafından ANN evrimi içinde kullanılır.

2.3.3 Evrimsel programlama (EP)

Fogel tarafından simüle edilmiş zeka konusunu geliştirmek için ortaya atılmıştır.

Sonsuz durumlu makine temsilinde kullanılmıştır.

- Lamarckian'ın kalıtım teorisine benzer.
- Yeniden Birleşme (Recombination) özelliği kullanılmaz.
- Uyarlamalı mutasyon ve diğer teknikler kullanılır.
- Fenotiplere (Phenotype) uygulanır.

2.3.4 Evrim stratejileri

Rechenberg ve Schwefel tarafından Sayısal Optimizasyonların Gerçek değerli sunumlarında kullanmak amacıyla ortaya atılmıştır.

- Mutasyon tabanlıdır.
- Uyarlamalı mutasyon kullanılır.

BÖLÜM 3 . GENETİK ALGORİTMALARA GİRİŞ

Yapay zeka dünyasında yapılan en ilginç gelişmelerden biriside Genetik Algoritmaların keşfidir. Genetik Algoritmaların kullanılması fikri hayatın ve evrimin incelenmesiyle çıkmıştır. Hayat, farklı özelliklerin oluşabilmesi için gerekli DNA bilgi alışverişleri ile sürer durur. Yeni organizmalar ortamlarında yaşabilmeleri için gerekli özellikler geliştirir ve bunları genlerinde saklarlar. Saklanan veriler genlerle sonraki nesillere aktarılır. Yeni nesiller atalarından gelen genlerin özelliklerini de barındırdıklarından daha güçlü bireyler olmaları olasıdır. Daha ileriki jenerasyonlarda ise yaşayabilmek için en iyi donanımlı bireyler olurlar. Her jenerasyonda yaşanan mutasyon bir organizmanın varolan ortamda yaşayabilmesini engeller yada desteklenmesine yardımcı olur.

Genetik Algoritmalar, performans kriteri ve bir popülasyon (çözüm kümesi) kullanarak global optimum değerini arayan paralel optimizasyon algoritmalarıdır. Genetik Algoritmalar karmaşık ve düzensiz çözüm kümelerinde kullanıldıklarında başarılı sonuçlar verirler. Farklı çeşitteki optimizasyon problemlerine uygulandıklarında başarılı sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, Genetik Algoritmalar çok boyutlu ve lineer olmayan optimizasyon problemlerinde de başarılı sonuçlar vermiştir. Tamsayı programlama, dinamik programlama, branch-and bound metodları gibi bileşik optimizasyon tabanlı diğer algoritmalar çokta fazla olmayan değişkenler için bile çalışma zamanı ve kullandıkları kaynaklar bakımından pahalıdır ve sadece sınırlı sayıda alternatiflerle başa çıkabilirler [17, 21].

Genetik Algoritmalar, Seleksiyon, mutasyon, crossover (çaprazlama-mayoz) konularının önemli rol oynar. İyi sonuçlar seçilip manipüle edilerek yenileri oluşturulur. Manipüle etme işlemi genetik operatörler tarafından olası çözümlerin kayıtlı olduğu kromozomlar kümesinde çalışarak gerçekleştirilir. Genetik

Algoritmaların her jenerasyonunda yeni çözümler, popülasyon içerisinde silinmek üzere seçilmiş çözümlerin yerine geçer.

3.1 Temel Tanım

Genetik Algoritmalar kullanarak bir probleme sonuç ararken evrimsel bir yöntem izlenir. Algoritma, **popülasyon** denilen ve (kromozomlarla temsil edilen) bir **çözüm kümesiyle** başlar. Bir popülasyondaki çözümler alınarak yeni popülasyonlar oluşturulur. Bu yeni popülasyonların oluşturulmasında yeni popülasyonların eskilerine nazaran daha iyi olacağı düşünülür. Yeni sonuçlar (offsprings, yavru döller) içinden uygunluk derecelerine göre seçilir. Ne kadar uygun olurlarsa o kadar iyi döller verme olasılığı vardır.

Bu olay bir şart, mesela popülasyon belli bir sayıya gelene kadar yada en iyi çözüm belli bir yere gelene kadar devam eder.

3.2 Genetik Algoritmalarda Biyolojik Terimler:

Genetik Algoritmaların mantığını tam olarak anlayabilmek için kullanılan biyolojik genel kavramlar ile aşina olmak ve bu terimlerin nasıl türediğini bilerek çalışmak daha verimli bir netice verecektir. Bu bölümde genetik algoritmalar ile kodlama için gerekli bazı genel kavramlar, yeniden üretim (reproduction) ve genetik konuları anlatılacaktır.

3.2.1 Doğal seleksiyon (Natural selection)

Genel olarak evrim teorisini temel alan algoritmalar, doğal seleksiyon terimine odaklanır. Teorinin dayanak noktası, popülasyonların doğal seleksiyon sayesinde değişen çevre koşullarına uyum sağlamasıdır. Bu teoride aşağıdaki üç gözleme dayanarak ortaya atılmıştır.

1- Kaynakların Sınırlı Olması:

Herhangi bir hayvan popülasyonunun genişlemesi teorik olarak sınırsızdır. Ancak, yaşamı ve popülasyonu devam ettirmek için gerekli kaynakların (yiyecek, barınak, eş bulma v.b.) sınırlı miktarda olması, popülasyonların sınırları olmaksızın genişlemesine engeldir.

2- Yaşam Savaşı:

Bu sınırlı kaynakları elde etmek için verilen mücadele popülasyondaki bireyler için bir “Yaşam Savaşı” doğurur.

3- Başarıya Göre Uygunluğun Belirlenmesi:

Hayatta kalma savaşında başarılı olmak bireyin “uygunluk” (fitness) derecesini belirtir. Uygunluk terimi, “birey çevresine ne kadar adapte olabiliyor”, şeklinde de düşünülebilir. Eğer iyi adapte olabiliyorsa o birey daha uygundur ve yaşam savaşından sağ çıkma oranı daha yüksektir.

Bireyin uygun olup olmadığı temel olarak o bireyin genetik yapısıyla belirlenir. Bireyin zekası, fiziksel özellikleri gibi karakteristik özellikler genetik şifrede mevcuttur.

Uygun (Fit) bireylerin yaşam kaynakları için yapılan mücadelelerden başarıyla çıkmaları büyük olasılıktır. Sonuç olarak doğurganlık yaşına gelene dek yaşayabilir ve üreyerek kazanan kombinasyona sahip genleri çocuklarına aktarırlar. Daha ileriki jenerasyonlarda başarılı yada uygun genlere daha sık ortaya çıkar.

3.2.2 Genotip (Genotype) ve Fenotip (Phenotype)

Genotip, bireylerin genetik özellikleridir. Fenotip ise kişinin kalıtsal yapısının dışı akseden görünümüdür, buna, aynı tür fertlerini belirleyen, gözle görülebilen özelliklerin tümü de denilebilir.

3.2.3. Adaptasyon mekanizması

Bir bireyin yaşadığı çevreye uyum sağlama aşamasına adaptasyon diyebiliriz. Adaptasyon evrimin anahtar öğelerinden birisidir. Adaptasyon sürecinde bir popülasyon artarak iyileşen bir çevreye uyumluluk gösterir ve sonunda en yüksek, en uygun (optimal) formuna ulaşır.

Her popülasyonda, her zaman, ortamlarına en iyi uyumu sağlayan elemanlar mevcuttur. Ortam değiştiği zaman bu bireyler çevreye daha az uyum sağlayabilirler, hatta bazı durumlarda en az uyum sağlayan bireyler kategorisine de düşebilirler. Ancak ortam değişiklikleri olduğu zamanlarda da karakteristik özellikleri norm değerinden farklı bireyler bulunmaktadır. Jenerasyonlar ilerledikçe önceki jenerasyonlardan kalan farklı baskın genetik karakteristikler artarak sıklaşır çünkü bu farklılıkları gösteren bireyler hayatta kalmış ve bunların genleri ileriki nesillere aktarılabilmektedir.

3.2.4 Mutasyon (Değişim)

Önceden bahsedilen “farklı” karakteristiğe sahip bireylerin sayısı popülasyon içinde, yeni gelen ortama iyi adapte olmuş bireylerinde varolmasına rağmen artar. Bunun sebebi Mutasyon (Değişim) ve Recombination (Crossing-Over), Yani Yeniden Kopyalamadır.

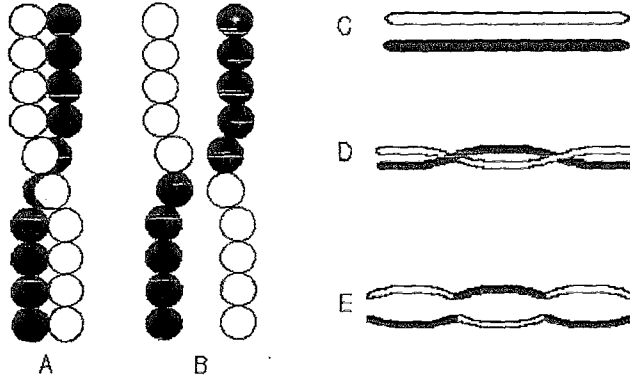
Genetik yapıda doğal olarak, kendiliğinden gerçekleşen değişikliklere Mutasyon denir. Çevre faktörleri, radyoaktivite, kimyasal maddelerin vücut tarafından emilmesi gibi sebepler genetik kodların değişmesini sağlar. Mesela Adenine timin bağlanması gerekirken guanin yada sitozin bağlanması 6 parmaklılık gibi bir mutanımı örneklemeye yol açar. Ya da X-Y kromozomlarının hedefini şaşırarak farklı bağlanmaları da otizm, mongolizm gibi beyinsel hastalıklara yol açabilir. Mutasyon bireyin genotipinde değişikliğe sebep olabilir ve sonuç olarak farklı bir fenotip meydana gelebilir.

3.2.5 Yeniden kopyalama (Recombination, Crossing-Over, Mayoz)

Genetik anlamda yeniden kopyalama yeniden üretim aşamasında meydana gelir. İki genetik materyal mayoz bölünmeye uğradığında aşağıdaki Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ilk hallerinden farklı bir yapıya bürünürler.

Biyolojik sistemlerde mutasyonlar genelde büyük değişiklikler meydana getirirken Mayoz bölünme daha az fark edilir değişiklikler meydana getirir.

Chromosome Crossing-over



Şekil 3.1 Mayoz Bölünmeye uğramış bir kromozomun yapısı

(<http://esg-www.mit.edu:8001/bio/mg/meiosis.html>)

3.2.6 Kromozom

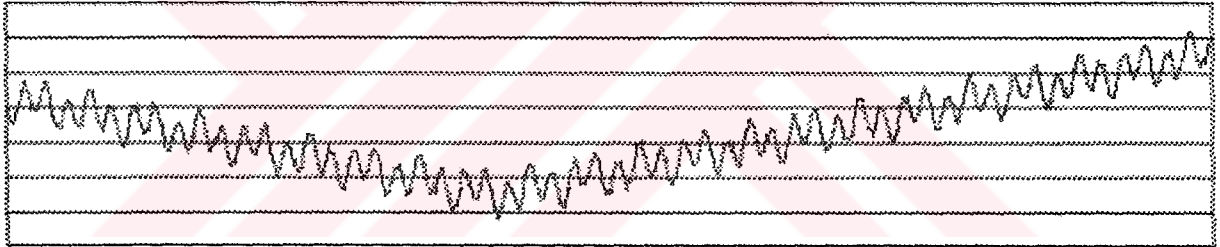
Tüm yaşayan canlılar hücrelerden ibarettir. Her hücrenin içerisinde de aynı setten oluşan **kromozomlar** bulunur. Kromozomlar DNA'yı oluşturan bağlardır ve tüm organizmalar için bir model oluşturular. Bir kromozom DNA blokları olan **gen**lerden oluşur. Her bir gen belli proteinleri şifreler. Yani diyebiliriz ki her bir gen bir **karakteristik (trait)** şifresini taşır. Örneğin gözlerin rengi. Aynı karakteristiği kodlayan fakat farklı kodlar taşıdığı için farklı özelliklerin ortaya çıkmasını sağlayan genlerden her biri **alleldir (Alleles)**. Örneğin saç rengini belirleyen genin sarı saçı ortaya çıkaran versiyonu ile siyah saçı ortaya çıkaran versiyonu alleldir. Her bir genin kromozom içerisinde belli bir yeri vardır. Bu pozisyona da **locus** denir.

Genetik materyallerin tamamını oluşturan sete (tüm kromozomlara) **genom** adı verilir. Genomlar içindeki oluşmuş belli setlere ise **genotip** denir. Organizma doğduktan sonra bu genotip gelişir ve organizmanın **fenotipi** oluşur. Bunlar, fiziksel ve zihinsel karakteristiklerdir.

3.3 Arama Kümesi ve Uygun Çözümü Bulma Metotları

Bir problem çözülrken genelde diğeri arasında en iyisi olabilecek olan cevap seçilir. Tüm olası çözümlerin bulunduğu kümeye **arama kümesi** denir. Küme içerisindeki her nokta olası bir çözümlü temsil eder. Her olası çözümlü kendi değeriyle (yada uygunluk değeriyle) işaretlenebilir. Genetik Algoritmalarda olası çözümlü içerisindeki – uygunluk değeriyle temsil edilen - en uygun çözümlü aranır.

Bir çözümlü aramak, arama kümesi içerisinde bir uç noktayı aramak demektir (minimum yada maksimum). Zaman zaman arama kümesi iyi tanımlanmış olabilir, ancak çoğunlukla arama kümesi içerisinde birkaç nokta bilinir. Genetik Algoritmaları kullanma aşamasında, çözümlü bulma çabaları başka noktaların (olası çözümlü) bulunmasına yol açar ve evrim devam ettikçe daha çok nokta açığa çıkar.



Şekil 3.2 Arama kümesine bir örnek

Bazen problem çok karmaşık olabilir, ve çözümlü için nereye bakılması gerektiği bilinmiyor yada nereden başlanacağı bilinmiyor olabilir. **Uygun Çözümlü**'ün bulunabilmesi için pek çok metot vardır ve bu metotlar kullanılabilir. Ancak bu metotlar **En İyi Çözümlü** vermeyebilir. Bu metotlardan bazıları şunlardır.

3.3.1 Hill climbing

Bir problemin çözümlünü tüm ihtimalleri denemeden, her aşamada garanti çözümlü götüreceklü yolu seçerek ilerleyerek bulma tekniğidir. Örneğin program dünya'dan herhangi bir Türk'ü bulmaya çalışıyorsa, direk olarak Türkiye'ye yönelmelidir. her

problemin olmasa da çoğu problemin Hill climbing bir çözümü olduğu ve bulunmayı bekleedikleri söylenmektedir.

3.3.2 Tabu search

Bu arama çeşidinde ise yerel bir algoritma rasgele bir sonuçtan başlar ve en yakınındaki noktaya ilerleyerek bir yandan da objektif fonksiyonun değerini azaltarak arama yapar.

3.3.3 Simulated annealing

Kati cisimlerin özellikle metallerin soğurken mükemmel atomik dizilişlerini örnek alan yapay zeka optimizasyon algoritmalarının en basitidir. İçerisinde rasgelelik barındırır. Soęutma işlemi bu algorithmada daha iyi sonuçların bulunmasını sağlayacak yeni komşu çözümlerin üretilmesini sağlayan eksponansiyel bir ifadedir.

3.3.4 Genetik algoritma

Temel düzeyde bahsedilecek olursa,

1. Problemin aranan çözümleri bitler (ya da harfler) olarak tanımlanır
2. Çözüm önerilerinin fitness (uygunluk) ları belirlenir
3. Uygunluğu çok olanın çıkma olasılığı daha fazla olmak üzere rasgele eşleştirme yapılır
4. Eşlenen çiftler kromozom parçalarını (rasgele bir noktadan başlayarak) takas eder
5. Programcının isteğine göre bir mutasyon olabilir (tek bir bitin/harfin değiştirilmesi)
6. Yeni çözüm önerileri ile ikinci basamaęa dönülür

3.3.5 Np-Hard problemleri

Geleneksel yollarla çözülemeyen problemlere örnek olarak NP (Non-Polynomial) problemleri verebiliriz.

Pek çok önemli problemin sonucunu bulmak oldukça zordur. Ancak sonuç bulunduktan sonra doğruluğunu kontrol etmek kolaydır. Bu gerçek bizi NP-complete problemlerine götürür. NP, Non deterministic polinom anlamına gelir ve problemin “tahmin edilebilir” bir sonucu olabileceği ve bu sonucun bazı deterministik olmayan algoritmalarla kontrol edilebileceği anlamına gelir. Eğer elimizde bir tahmin makinesi olsaydı bir süre sonra sonucu bulabilirdik diyebiliriz.

NP-Complete problemlerinde, kolaylık olsun diye sonuç evet yada hayır şeklinde bulunacak şekilde kısıtlanmıştır. Çok karmaşık sonuçlar veren problemlerde vardır ki bunlara NP-Hard problemleri denir. Bu sınıf problemlerin çözümleri NP-Complete problemleri gibi kısıtlamalı değildir.

NP problemlerinin karakteristiklerinden biri basit algoritmali olmalarıdır. Ancak sadece ilk bakışta. Bu basit algoritmalarla, işe yarar sonuçlar bulunmaya çalışılır. Ancak bu yaklaşım pek çok çözümün ortaya çıkmasını sağlar. Daha sonra bu çıkan tüm sonuçları tek tek inceleyip en doğrusunu bulmak, ($O(2^n)$) gibi oldukça yavaş bir süreçtir. Çok daha büyük çaptaki problemlerin bu yaklaşımla çözümlenmeleri neredeyse imkansız olmaktadır.

Günümüzde NP problemlerine daha hızlı çözüm bulacak bir algoritmanın var olup olmadığını bilinmemekte ve araştırmacılar için büyük bir araştırma konusu olarak beklemektedir. Çoğu araştırmacı böyle bir algoritmanın olmadığını savunarak alternatif yollar aramaktadır. Bu alternatif yollardan birisi de Genetik Algoritmalarıdır.

3.4 Basit Genetik Algoritmanın Ana Hatları

1. [Başla] n kromozomdan (olası sonuçlar) oluşan rasgele bir popülasyon oluştur.
2. [Uygunluk] Popülasyon içindeki her x kromozomunun (Uygunluk) Fitness $f(x)$ 'ini değerlendir.
3. [Yeni Popülasyon] Aşağıdaki adımları yeni popülasyon oluşana dek uygula.

- a. [Seçim] Popülasyondan uygunluk değerlerine bakarak birer adet anne ve baba kromozomu seç (uygunluk değeri yüksek olanın seçilme ihtimali de yüksek olacaktır)
 - b. [Çaprazla] (Crossover) Anne babaları değiştirerek yeni çocuklar yavru döller oluştur. Eğer değişim uygulanmazsa, çocuklarda ana babalarının aynıları olacaktır.
 - c. [Mutasyon] Mutasyon olasılığıyla, yeni döller her locusda (kromozomdaki noktalar) mutasyona uğrat
 - d. [Kabul etme] Yeni döller yeni popülasyona kabul et.
4. [Yerine Koy] Yeni oluşturulan popülasyon üzerinde algoritmayı uygula.
 5. [Test] Sonlandırma koşulunun sağlanıp sağlanmadığını kontrol et, DUR, ve en iyi sonucu geçerli popülasyona aktar
 6. [Döngü] 2. Adıma geri dön

Görüldüğü gibi basit Genetik Algoritmaların ana hatları oldukça genelleştirilmiştir. Farklı problemlerde farklı şekillerde kullanılabilinecek pek çok parametre ve ayarları vardır. Sorulması gereken ilk soru kromozomların nasıl oluşturulacağı ve ne çeşit bir kodlama kullanılacağıdır. Daha sonra Genetik algoritmaların temel operatörlerinden olan çaprazlama ve mutasyon adreslenir. Bir sonraki sorulması gereken soru ise, çaprazlama için ebeveynlerin nasıl seçileceğidir. Bu çok çeşitli şekillerde yapılabilir ancak en iyi ana babayı seçerek daha iyi döller oluşturmak asıl amaçtır. Sadece bir çift anne babadan oluşturulacak popülasyonlarda elde edilen en iyi kromozomun bir sonraki popülasyonda kaybedilebileceği düşünülebilir. Bu olası bir durumdur da. Bu sebeple seçmecilik (elitism) çoğunlukla kullanılan bir yöntemdir. Elitism (seçmecilik) anlamı, en azından bir popülasyondaki en iyi çözüm herhangi bir değişikliğe uğratılmadan yeni oluşturulan popülasyona aktarılır. Böylece en iyi sonuç en son oluşturulan başarılı popülasyon içerisinde yaşamaya devam eder.

3.5 Genetik Algoritma Operatörleri

Genetik algoritmaların ana hatları bölümünden de anlaşıldığı üzere çaprazlama ve mutasyon genetik algoritmaların en önemli bölümlerindedir. Performans temel olarak bu iki operatörden etkilenir.

3.5.1 Kromozomların kodlanması

Bir kromozom temsil ettiği çözüm hakkında bir şekilde bilgiler içermelidir. En çok kullanılan kodlama, binary dizileridir. Kromozom bu durumda aşağıdaki gibi gözüktür.

Kromozom 1 1101100100110110

Kromozom 2 1101111000011110

Her kromozom bir binary dizisi ile temsil edilir. Dizi içerisindeki her bit çözümle alakalı bir karakteristiği taşır. Bir başka olasılıkta tüm dizi bir sayıyı temsil eder.

Elbetteki sıralamanın başka yollarıda vardır. Sıralama temel olarak çözülen probleme bağlıdır. Örneğin bir problemde direk olarak tam sayıları yada gerçel sayıları kodlayabiliriz, bazen da permütasyon kodlamaları daha uygun olacaktır.

3.5.2 Çaprazlama (Crossover)

Ne tür bir sıralama kullanılacağına karar verildikten sonra çaprazlama (crossover) operasyonu ile devam edilir. Çaprazlama operatörleri, yeni dölü oluşturan anne ve babanın kromozomlarından seçilmiş genleri üzerinde işlerler. Bunu yapmanın en kolay yolu, rasgele bazı çaprazlama noktaları seçmek ve bu noktadan önceki her şeyi ilk ebeveynden kopyalayıp daha sonra da çaprazlama noktasından sonraki yeri de başka bir ebeveynden kopyalamaktır.

Çaprazlama aşağıdaki gibi gösterilebilir. (| işareti çaprazlama noktasını gösterir)

Kromozom 1	11011 00100110110
Kromozom 2	11011 11000011110
Yavru Döl 1	11011 11000011110
Yavru Döl 2	11011 00100110110

Çaprazlama işini farklı yapma yöntemleri de vardır. Mesela daha fazla değişim noktası belirlenebilir. Değişim işlemi oldukça karmaşık olabilir ve kromozomların sıralanmasına bağlıdır. Belli problemler için yapılan değişimler genetik algoritmaların performansını artırır.

3.5.3 Mutasyon

Çaprazlama işlemi yapıldıktan sonra mutasyon gerçekleşir. Mutasyon, çözülen problemin yerel optimum popülasyonu içerisine tüm çözümlerin girmesini engeller. Mutasyon operasyonu çaprazlamadan çıkmış yavru döllerini değişime uğratar. Binary sıralama konusu üzerinde durumu anlatacak olursak, rasgele seçilmiş birkaç bitin 1 ve 0 değerlerinin yerlerini değiştirerek mutasyon yapmış oluruz. Mutasyon işlemi aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere gerçekleşir.

Orijinal Yavru Döl1	110/111000011110
Orijinal Yavru Döl2	11011001001101/0
Mutasyona Uğramış Yavru Döl 1	1100111000011110
Mutasyona Uğramış Yavru Döl 2	1101101100110110

Mutasyonun tekniği de çaprazlamadaki gibi kromozomların sıralanmasına bağlıdır. Mesela permütasyonları sıraladığımızda mutasyon iki genin yer değiştirmesi gibi rol oynayabilir.

3.6 Genetik Algoritma Parametreleri

3.6.1 Çaprazlama (Crossover) olasılığı

Değişimin ne sıklıkta olacağıdır. Eğer çaprazlama gerçekleşmiyorsa yavru döller ana babalarının aynıları olurlar. Eğer çaprazlama gerçekleştiriliyorsa, yavru döller ana babalarının aldıkları kromozomlardan yapılırlar. Eğer çaprazlama olasılığı 100% ise, bu durumda tüm yavru döller çaprazlama yoluyla oluşturulmuş olur. Eğer çaprazlama 0% ise tüm jenerasyon eski popülasyondaki kromozomların kopyalarıdır. (Ancak bu yeni jenerasyonla eski jenerasyonun aynı olduğu anlamına gelmez)

Crossover yolu ile eski kromozomların iyi özelliklerinin yeni kromozomlara aktarılması beklenir. Böylelikle yeni kromozomlar daha iyi olacaktır. Ancak eski popülasyonun bir kısmının yeni popülasyona katılması daha iyi neticeler verecektir.

3.6.2 Mutasyon olasılığı

Kromozoun parçalarının ne sıklıkla mutasyona uğratılacağıdır. Eğer mutasyon yoksa yavru döller çaprazlama'dan hemen sonra herhangi bir değişime uğramadan oluşturulur. Eğer mutasyon olursa, kromozomun bir yada birkaç yerinde değişiklik yapılır. Eğer Mutasyon olasılığı %100 ise, tüm kromozom değiştirilir. Eğer %0 ise, hiçbir şey değiştirilmez.

Mutasyon genelde Genetik Algoritmaların lokal uç sınırlara düşmesini engeller. Mutasyon program içerisinde çok sık tekrarlanmamalıdır çünkü Genetik Algoritmalar zaten rasgele arama yaparlar.

3.6.3 Popülasyonun boyutu

Bir jenerasyondaki popülasyonda kaç kromozomun olması gerektiğidir. Genetik Algoritmalarda çaprazlama'ın gerçekleşebilmesi için az seçenek vardır ve arama kümesinin sadece ufak bir kısmı incelenir. Diğer bir taraftan da eğer çok fazla kromozom varsa, bu durumda da Genetik Algoritma yavaşlar. Araştırmalar göstermiştir ki, belli bir sınırdan sonra (bu sınır problemin kodlanmasına bağlıdır) geniş popülasyonların kullanılması kullanışlı değildir.

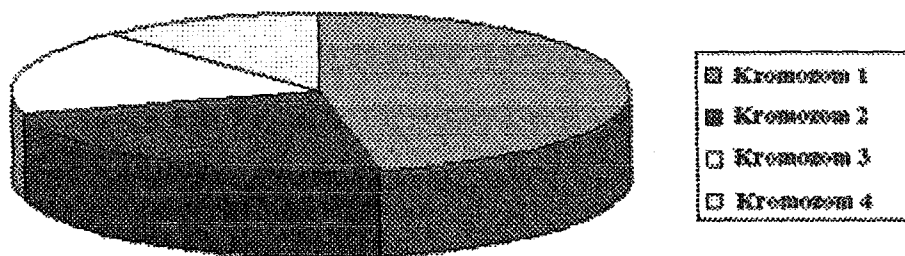
3.7 Seleksiyon (Selection)

Bilindiği üzere, popülasyondan cross over işlemine tabi tutularak ebeveyn olmaları için kromozomlar seçilir. Problem bu kromozomların nasıl seçileceğidir. Mantığa göre en iyiler hayatta kalarak yeni dölleri oluşturur. En iyi kromozomu seçmek için farklı yöntemler vardır. Bunlara örnek, Roulette Wheel (Rulet Teker) seleksiyonu, Boltzman seleksiyonu, turnuva seleksiyonu, rank seleksiyonu, steady state seleksiyonu ve diğer bazı başkalarıdır.

3.7.1 Roulette wheel (Rulet tekeri) seleksiyonu

Ana babalar uygunluk değerlerine göre seçilir. Kromozomlar iyi ise hayatta kalma şansı daha yüksektir. Popülasyondaki tüm kromozomların üzerine yerleştirildiği bir rulet tekeri düşünürsek, her kromozomun uygunluk fonksiyon değeri ile rulet üzerindeki yeri doğru orantılıdır. Uygunluk fonksiyonu değeri yüksek olan rulet üzerinde daha geniş bir yer alır.

Aşağıda verilen örneğe bakıldığında konu daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 3.3 Uygunluk Fonksiyonu Değeri Yüksek Kromozomlar

Rulet tekeri içerisine bir bilye atılır ve durduğu yerdeki kromozom seçilir. Daha büyük uygunluk (fitness) değeri olan kromozom daha fazla kereler seçilecektir.

Aşağıdaki algoritma bu sürecin algoritmasıdır.

1. [Topla] Popülasyondaki tüm kromozomların uygunluk (fitness) değerlerini topla–Toplam T.
2. [Seç] $(0, T) - r$ aralığından rasgele bir numara oluştur.
3. [Döngü] Popülasyonu dolaş ve uygunluk değeri 0- toplam t olanları topla. Toplam t, r'den büyük olduğunda dur ve bulunduğu yerin kromozomunu bildir.

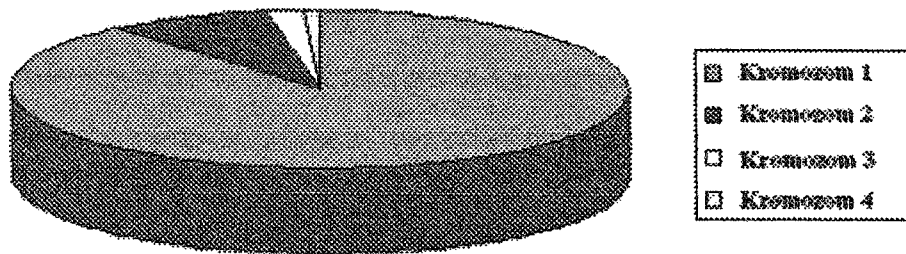
Birinci adım her popülasyon için bir defa işlenmektedir.

3.7.2 Rank seleksiyonu

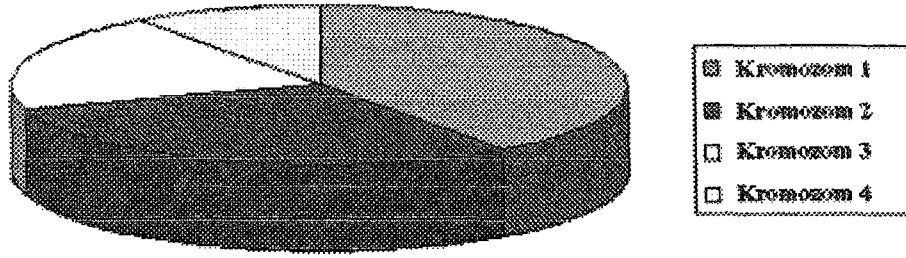
Uygunluk değerleri arasında büyük farklar olduğunda yukarıdaki rulet seleksiyonu problemlidir. Örneğin, eğer en iyi kromozomun uygunluk değeri %90 ise diğer kromozomların seçilme şansı olacaktır.

Rank seleksiyonunda popülasyon kategorilere ayrılır ve her kromozom bu kategorileşmeye göre bir uygunluk değeri alır. En kötü olan uygunluk değeri olarak 1, daha sonraki kötü kromozom 2 değeri alır şeklinde uygunluk değerleri sıralanır. En iyi kromozom da N (popülasyondaki kromozom sayısı) uygunluk değerini alır.

Aşağıdaki şekillerde rank metoduyla uygunluk değeri ataması yapıldıktan sonra ruletin değiştiğini görebilirsiniz.



Şekil 3.4 Uygunluk Değeri Grafiği: Rank Öncesi Hali



Şekil 3.5 Uygunluk Değeri Grafiği: Rank Uygulandıktan Sonraki Hali

Bu aşamada tüm kromozomların seçilebilme olasılığı vardır. Ancak bu metot daha yavaş bir yakınlaşmaya sebep olur çünkü en iyi kromozom diğerlerinden çokta farklı olmaz.

3.7.3 Kararlı hal (Steady-state) seleksiyonu

Bu metod ana-babayı seçmek için kullanılan özel bir metod değildir. Yeni bir popülasyon oluşturmada böyle bir metodun kullanılmasındaki ana fikir kromozomların büyük bir kısmının bir sonraki jenerasyonda yaşayabilecek olmasıdır.

Genetik Algoritmalarda kararlı hal seleksiyonunun çalışması şu şekildedir:

Her jenerasyondan bir miktar uygunluk değeri(fitness) yüksek olan kromozomlar yeni dölleri oluşturmak için seçilir. Daha sonra bir miktar uygunluk değeri,(fitness) düşük olan kromozomlar popülasyondan silinir ve yeni dölleri bunların yerine koyulur. Geri kalan popülasyonda yeni jenerasyona dahil edilerek popülasyon sürdürülür.

3.7.4 Seçmecilik – Elitizm (Elitism)

Seçmecilik (Elitizm) mantığını daha önce vermiştik. Çaprazlama ve mutasyonu kullanarak yeni bir popülasyon oluştururken en iyi kromozomu kaybetme olasılığı çok yüksektir. Elitizm metodunda yeni jenerasyona ilk olarak en iyi kromozom (yada en iyi kromozomların bir miktarı) kopyalanır geri kalan popülasyonda yukarıda

anlatıldığı gibi oluşturulur. Genetik Algoritmada elitizmin kullanılması performansı artırır çünkü en iyi çözümün kaybolmasını engeller.

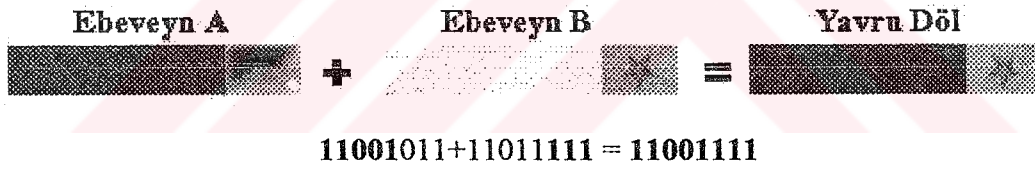
3.8 Kodlama (Encoding)

Genetik Algoritma problemlerini çözmeye başlarken ilk olarak ele alınması gereken konu kromozomların kodlanmasıdır. Kodlama da probleme bağlı olarak değişmektedir. Bu bölümde bazı kodlama çeşitleri tanıtılacaktır.

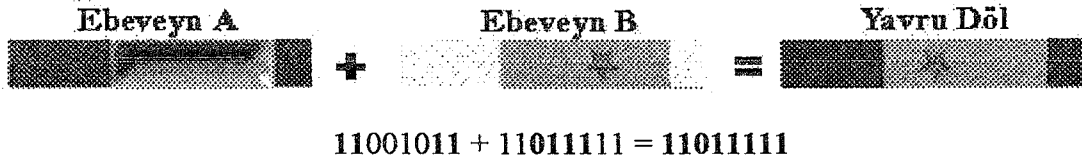
3.8.1 Binary Kodlama

Çaprazlama

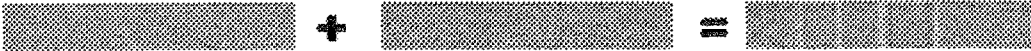
- a) **Tek noktalı çaprazlama:** Bir çaprazlama noktası seçilir. Binary dizgi kromozomun başından çaprazlama noktasına kadar birinci ebeveynden kopyalanır. Çaprazlama noktasından geri kalan kısım ise diğer ebeveynden kopyalanır.



- b) **İki noktalı çaprazlama:** İki çaprazlama noktası seçilir. Binary dizgi, kromozomun başından birinci çaprazlama noktasına kadar birinci ebeveynden kopyalanır. Birinci çaprazlama noktası ile ikinci çaprazlama noktası arasındaki kısım diğer ebeveynden kopyalanır. Geri kalan kısım ise tekrar ilk ebeveynden kopyalanır.




- c) **Uniform çaprazlama:** Bitler ilk yada ikinci ebeveynden rasgele kopyalanır.

Ebeveyn A **Ebeveyn B** **Yavru Döl**


 $11001011 + 11011101 = 11011111$


d) **Aritmetik çaprazlama:** Yeni döllerin oluşturulabilmesi için bazı aritmetik operasyonlar uygulanır.

Ebeveyn A **Ebeveyn B** **Yavru Döl**


 $11001011 + 11011111 = 11001001$ (AND)

Mutasyon

Bit Tersçevrimi (Bit Inversion): Seçilen bitler ters çevrilir.

Crossover'dan Sonra **Mutasyon'dan sonra**


 $11001001 \Rightarrow 10001001$

3.8.2 Permütasyon kodlama

Çaprazlama

Tek noktalı çaprazlama: Bir çaprazlama noktası seçilir. Permütasyon çaprazlama noktasına kadar birinci ebeveynden kopyalanır. Sonra diğer ebeveyn yoklanır ve eğer sayı yavru dölde henüz yoksa eklenir.

Not: birinci çaprazlama noktasından sonraki kopyalama için farklı metodlar geliştirmekte mümkündür.

$$(1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9) + (4\ 5\ 3\ 6\ 8\ 9\ 7\ 2\ 1) = (1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9\ 7)$$

Mutasyon

Sıra değiştirme: İki sayı seçilir ve yerleri değiştirilir.

$$(1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9\ 7) \Rightarrow (1\ 8\ 3\ 4\ 5\ 6\ 2\ 9\ 7)$$

3.8.3 Değer kodlama

Çaprazlama

Binary Kodlama bölümünde anlatılan tüm çaprazlama yöntemleri bu bölüm içinde geçerlidir.

Mutasyon

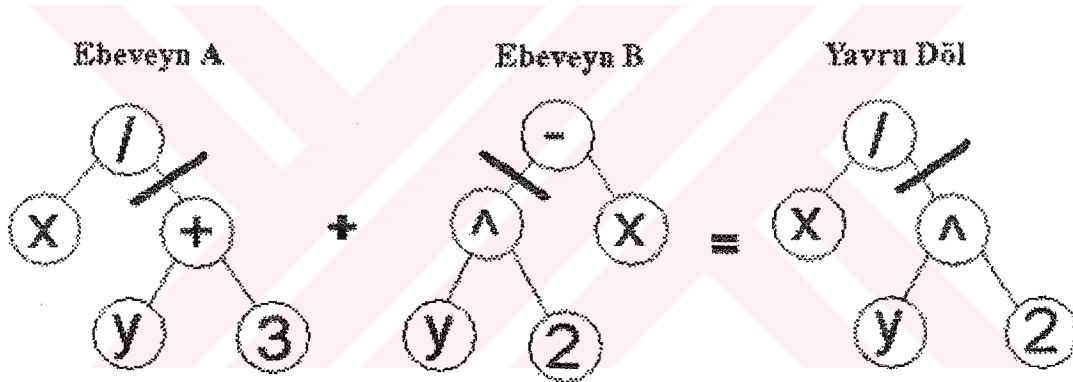
Gerçek değerli kodlama için, seçilen değerlere küçük bir değer eklenir yada çıkartılır.

$$(1.29 \ 5.68 \ 2.86 \ 4.11 \ 5.55) \Rightarrow (1.29 \ 5.68 \ 2.73 \ 4.22 \ 5.55)$$

3.8.4 Ağaç kodlaması (Tree encoding)

Çaprazlama

Çaprazlama ağacı yöntemi: Her bir ebeveynden bir çaprazlama noktası seçilerek ebeveynler o noktadan bölünürler. Yeni döller oluşturmak için çaprazlama noktası altında kalan kısımları birbirlerinininkiyle yer değiştirilir.



Mutasyon

Operatör, sayı değiştirme: Belli düğümler seçilir ve bu seçilen düğümler değiştirilir.

3.9 Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları

3.9.1 Traveling salesman

Genetik algoritmaların, birleşti optimizasyon problemlerine uygulamaları ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. En yoğun yapılan çalışmalardan biri de gezgin satıcı problemleri için yapılmaktadır. Gezgin satıcı probleminde amaç, katedilen toplam mesafeyi minimize eden bir yolculuk planı oluşturmaktır. Bir çok problem tipi

gezgin satıcı problemi gibi modellenebilmektedir. Bunlara örnek olarak; devre tasarımı, posta taşıyıcılarının, havayolu uçaklarının, okul otobüslerinin rotalarının bulunması verilebilir. Gezgin satıcı probleminin bir özelliği de değişken sayısı arttıkça üstsel artış gösteren zaman ihtiyacı içinde çözüme ulaştırılabilmesidir. Bu durum bir örnekle şöyle açıklanabilir; bir satış görevlisinin ziyaret etmek durumunda olduğu n tane şehir olsun. Burada tüm şehirler arasındaki maksimum izlenecek rota sayısı $(n-1)!$ dir. Tüm mümkün rotaları basitçe inceleyen ve en kısa olan rotayı bulan bir algoritma kullanılır. Fakat şehir sayısı arttıkça algoritmanın hesaplama için gereksinim duyduğu zaman daha da büyük bir oranda artmaktadır. Ziyaret edilmesi gereken 25 şehir varsa, algoritmanın inceleyeceği rota sayısı $24!$ 'dir. Bu da yaklaşık $6,2 \times 10^{23}$ sayısına karşılık gelmektedir. Saniyede bir milyon rota inceleme kapasitesine sahip bir bilgisayar, bu problemi, $6,2 \times 10^{17}$ saniyede yani, $1,96 \times 10^{10}$ yılda çözebilmektedir. Herhangi bir problem için kullanılan algoritmanın en yaygın performans ölçütü, algoritmanın çözüme ulaşma süresidir. Gezgin satıcı gibi değişken sayısı arttıkça çözüm zamanı üstsel olarak artan problemlerde bu daha da önemlidir. Genetik algoritmalar birleşti optimizasyon problemlerini klasik yöntemlere göre çok daha kısa sürede çözmektedir. Sonuçta optimale yakın ve kabul edilebilir bir çözüm bulunmaktadır [21].

3.9.2 Ağaç rotalama problemi

Birleşti optimizasyon problemlerinin örneklerinden biri de araç rotalama problemidir. Temel araç rotalama problemi, talebi belirli olan müşterileri kapsar. Tek bir depodan araçlar ayrılmakta ve müşteri taleplerini karşılayarak tekrar depoya dönmektedir. Her aracın kapasite kısıtı vardır. Bu temel probleme ayrıca, her aracın alacağı yol da mesafe kısıtı olarak eklenebilir. Her bir müşterinin talebini yalnızca bir araç karşılamaktadır. Problem, bu kısıtlar altında minimum toplam maliyeti veren rotaları bulmaktır [20].

3.9.3 Tesis yerleşim problemi

Tesis yerleşim problemleri araç/gereçleri veya diğer kaynakları belirli bir kritere göre optimum performans sağlayacak şekilde yerleştirme kararını içermektedir. Bu gibi

kararlar, araç/gereçlerin genellikle farklı ürünleri üretme esnasında kullanılmasından dolayı karmaşık hale gelmektedir. Her ürünün kendine özgü gereksinimleri olabilir ve tüm ürünler için toplam üretim maliyetinin optimum olması sağlanacak şekilde yerleşim tasarlanabilir. Yerleşim kararları hızlı ve doğru verilmelidir. Çünkü kararların zayıflığı üretim esnasında ortaya çıkmakta ve bu da artı maliyetlere yol açmaktadır. Örneğin, üretimde robot kullanan işletmelerin tesis yerleşimi tasarımında karmaşıklık söz konusudur. Tek bir robot bir makineden diğerine parçalar taşırken hareketsiz bir noktada sabitlenir ve yalnızca bir eksen etrafında hareket eder. Robotun hareketine göre, makineler tek-sıra, doğrusal çift-sıra, dairesel tek-sıra ve çoklu-sıra gibi dört farklı yerleşim şekliyle yerleştirilebilir. Burada, dairesel tek-sıra, doğrusal tek-sıranın özel bir durumudur. Ayrıca doğrusal çift-sıra da çoklu sıra probleminin bir alt kümesidir [21].

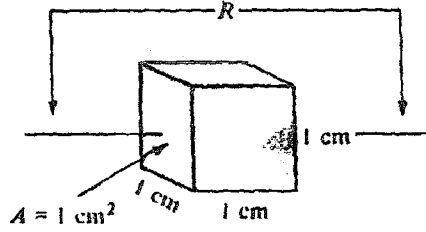


BÖLÜM 4 . YARIİLETKEN DİYOT

4.1 İletken, Yalıtkan ve Yarıiletken Kavramları

Yarıiletken terimi adından da anlaşılacağı gibi, ne tam bir iletken, ne de tam bir yalıtkan maddedir. “Yarı” kelimesi başka bir kelimeye önek olarak geldiğinde genelde iki sınır arasında kalan bir değer için kullanılır. “İletken” terimi ise sınırlı miktarda dış basınç uygulanması neticesinde rahat bir yük akışına izin veren herhangi bir madde için kullanılır. Bu durumda bir yarıiletken madde, bir yalıtkan madde (çok düşük iletkenlik) ile yüksek bir iletkenliğe sahip bir iletkenin sınırları arasında kalan bir iletkenlik düzeyine sahiptir. Bir maddenin yük akışına veya elektrik akımına karşı gösterdiği direnç, maddenin iletkenliği ile ters orantılıdır. Yani maddenin iletkenliği ne kadar yüksek ise, direnci o derece düşüktür.

Tablolarda öz direnç (ρ , Yunan alfabesindeki ro) terimi, maddelerin direnç düzeyleri kıyaslanırken sık sık kullanılır. Bir maddenin öz direnci Şekil 4.1’de gösterildiği gibi 1 cm uzunluğunda ve 1 cm² kesite sahip bir malzeme örneğinin direnci esas alınarak incelenebilir.



Şekil 4.1 Öz direnç için temel büyüklük

Tablo 4.1 ‘de üç genel madde kategorisi için tipik öz direnç değerleri verilmiştir. Yarıiletken maddeye örnek olarak, yarıiletken aygıtların geliştirilmesinde en çok ilgi toplayan iki madde olan Germanyum ve Silisyumun öz direnç değerleri verilmiştir.

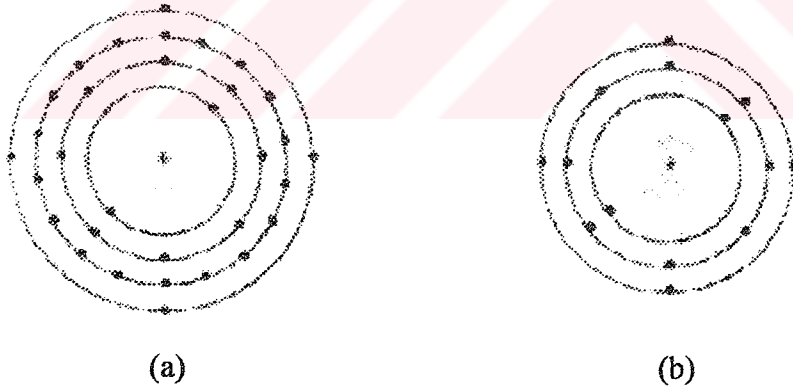
Tablo 4.1 Madde türlerinin öz direnç değerlerine örnekler

	İletken	Yarıiletken		Yalıtkan
$\rho \approx (\Omega \cdot \text{cm})$	10^{-6} (Bakır)	50 (Ge)	50×10^3 (Si)	10^{12} (Mika)

Tablodan da görüleceği gibi, iletken ve yalıtkan maddeler arasında öz direnç değeri olarak çok büyük farklar varken, yarıiletken maddeler bu ikisi arasında öz direnç değerlerine sahiptir. Bu farklılık yarıiletken maddelerin atomik yapılarından enerji bandı genişliklerinden kaynaklanmaktadır. [22]

4.1.1 Germanyum ve silisyum atomik yapıları

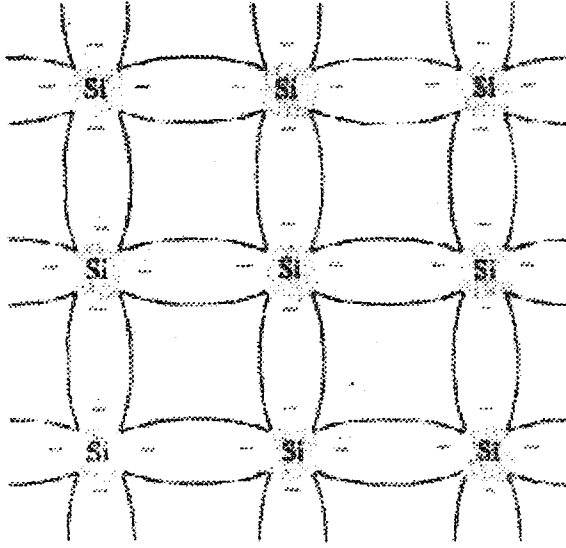
Bilindiği gibi atom üç temel parçacıktan oluşur: Elektron, proton ve nötron. Atomik örgüde, nötronlar ve protonlar çekirdeği oluşturur, elektronlar ise çekirdek etrafında sabit bir yörüngede dolaşır. En yaygın olarak kullanılan yarıiletken maddelerden germanyum ve silisyumun Bohr modelleri, Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Germanyum (a) ve Silisyum (b) için Bohr modelleri

Şekil 4.2a'da gösterildiği gibi germanyum atomunun 32 adet yörüngesel elektronu varken, silisyumun 14 adet elektronu vardır. Her bir durumda, en dış (valans) kabuğunda 4 elektron bulunmaktadır. Bu dört valans elektronlarından herhangi birini uzaklaştırmak için gerekli olan potansiyel (iyonizasyon potansiyeli) yapıdaki herhangi başka bir elektronu uzaklaştırmak için gerekenden daha azdır. Saf bir germanyum veya silisyum kristalinde bu dört valans elektron, Şekil 4.3'de silisyum

için gösterildiği gibi, 4 komşu atoma bağlıdır. Hem Germanyum hem de Silisyum dört valans elektrona sahip oldukları için tetravalans atomlar olarak anılırlar.



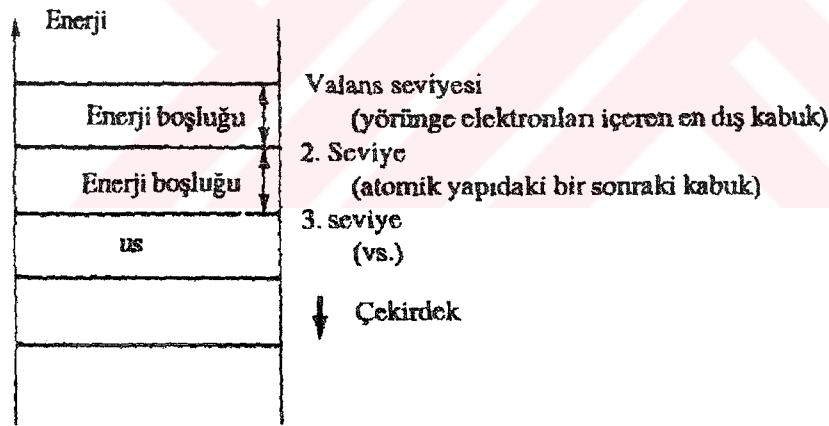
Şekil 4.3 Silisyum kovalent bağ yapısı

Bu elektronların paylaşılmasıyla oluşan bu tür bağlara kovalent bağ denir. Her ne kadar kovalent bağı, valans elektronları ile ana atomlar arasında daha sağlam bir bağlaşımaya yol açsa da, valans elektronlarının doğal sebeplerle yeteri kadar kinetik enerji alıp kovalent bağdan koparak serbest' duruma geçmesi mümkündür. Bu doğal sebepler, foton şeklinde ışık enerjisi ve çevreleyen ortamdaki ısı enerjisi sayılabilir. Oda sıcaklığında, bir santimetre küp öz silisyum maddesinde yaklaşık $1,5 \times 10^{10}$ serbest taşıyıcı vardır. Öz maddeler, katkıları çok düşük bir düzeye düşürmek amacıyla modern teknoloji ile mümkün olan en yüksek saflık için özenle rafine edilmiş yarıiletkenlerdir. Maddenin içinde yalnızca doğal sebeplerden dolayı serbest halde bulunan elektronlara, öz taşıyıcılar denmektedir. Aynı sıcaklıkta, öz germanyum maddesinin bir santimetre küpünde yaklaşık olarak $2,5 \times 10^{13}$ serbest taşıyıcı olacaktır. Germanyumdaki taşıyıcıların silisyumdaki taşıyıcılara oranı 10^{13} ten daha fazladır ve bu da, germanyumun oda sıcaklığında çok daha iyi bir iletken olduğunu gösterir. Bu doğru olabilir ancak her ikisi de halen, öz (yapısal) durumda zayıf iletkenler olarak kabul edilir. Tablo 4.1'e bakıldığında öz dirençlerin de yaklaşık 1000:1'lik bir oranla farklı olduğu görülür ki; silikon daha büyük bir değere sahiptir. Böyle de olması gerekir, çünkü öz direnç ile iletkenlik ters orantılıdır. Yarıiletken maddenin sıcaklığındaki bir değişim, serbest elektronların sayısını önemli oranda

artırabilir. Sıcaklık mutlak sıfırdan (0°K) yükselmeye başladıkça valans elektronların artarak büyüyen bir bölümü kovalent bağı kırmak için ısı enerjisi alır ve yukarıda anlatıldığı gibi serbest haldeki elektron sayısını artırır. Artan taşıyıcı sayısı iletkenlik oranını artıracak ve daha düşük bir direnç düzeyine yol açacaktır, Ge ve Si gibi, artan sıcaklıkta dirençlerinde düşüş gösteren yarıiletken maddeler için, negatif sıcaklık katsayısına sahiptir denir. İletkenlerin bir çoğunun direncinin sıcaklıkla birlikte artmasının nedeni, iletkenlerdeki taşıyıcı sayısının sıcaklık ile önemli ölçüde artmaması, ama nispeten sabit olan konumlarının üstündeki titreşme deseninin elektronların geçişini giderek zorlaştırmasıdır. Bu nedenle sıcaklıktaki bir artış, direncin artmasıyla ve bir pozitif sıcaklık katsayısıyla sonuçlanmaktadır.

Enerji düzeyleri

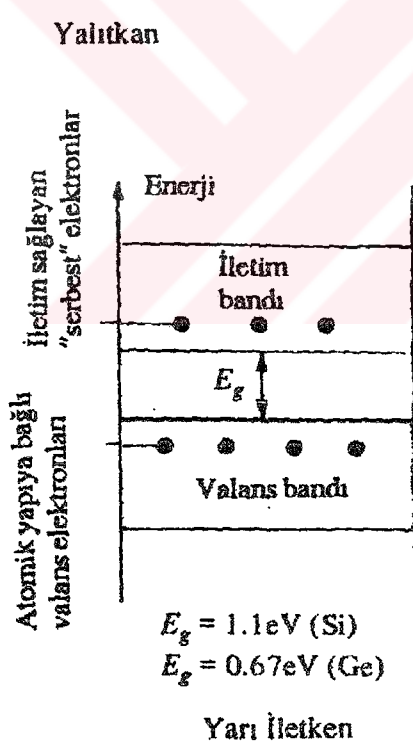
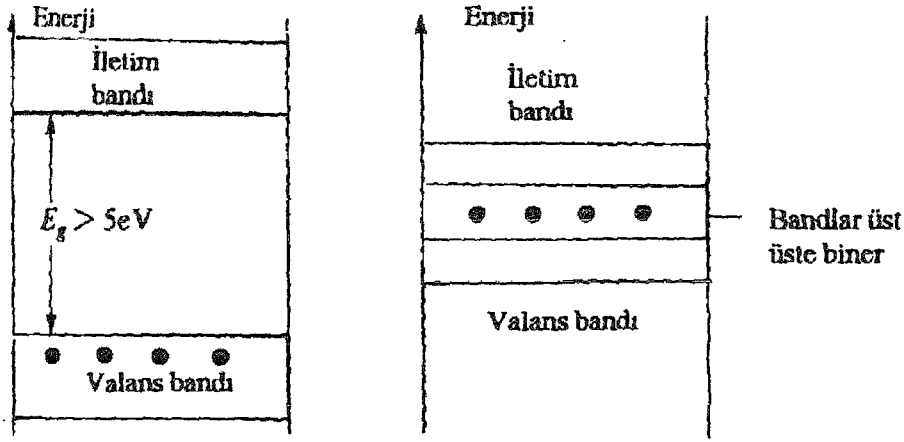
Yalıtılmış atomik yapıda Şekil 4.4 de gösterildiği gibi her bir yörünge elektronuyla ilgili ayrı (farklı) enerji düzeyleri vardır. Aslında her madde, atomik yapısındaki elektronları için kendi izin verilebilir enerji düzeyleri kümesine sahip olacaktır.



Şekil 4.4 Yalıtılmış atomik yapıda ayrı düzeyler

Elektron, çekirdekte ne kadar uzakta ise, enerji durumu da o kadar yüksektir ve ana atomundan ayrılmış olan bir elektron atomik yapıdaki herhangi bir elektrondan daha yüksek bir enerji durumuna sahiptir. Ayrı enerji düzeyleri arasında, yalıtılmış atomik yapı içerisinde, hiçbir elektronun gözükemeyeceği boşluklar vardır. Maddenin atomları kristal örgü yapısını oluşturacak şekilde birbirine yaklaştıkça atomlar arasındaki etkileşim, bir atomun belirli bir yörüngesindeki elektronların komşu bir atomun aynı yörüngesindeki elektronlarından biraz daha farklı enerji

düzeylerine sahip olması sonucuna yol açar. Toplam sonuç, valans elektronları için mümkün olan enerji durumlarına ilişkin ayrıntıların Şekil 4.5’de gösterildiği gibi bantlara yayılmasıdır.



Şekil 4.5 Yalıtkan, İletken ve yarıiletken maddelerde iletim ve valans bantları

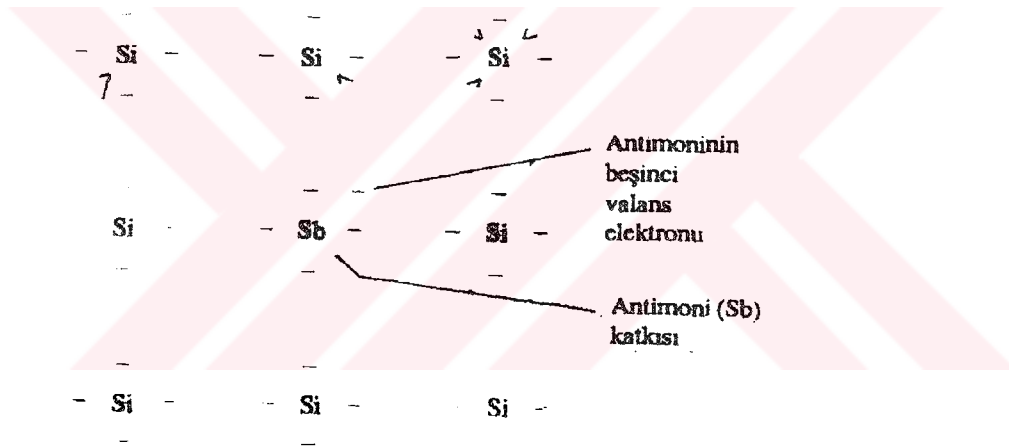
4.1.2 Katkılı malzemeler (p ve n tipi)

Yarıiletken malzemelerin karakteristikleri, nispeten saf yarıiletken malzemeye bazı katkı atomları eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu katkılar, ancak 10

milyonda 1 oranında ekleniyor olmasına karşın bant yapısını, malzemenin elektriksel özelliklerini tümüyle değiştirmeye yetecek ölçüde değiştirebilir. Bu katkılama işlemine tabi tutulan yarıiletken malzemeye, katkılı malzeme denir. Yarıiletken eleman üretiminde paha biçilmez önemde iki katkılı malzeme vardır: n-tipi ve p-tipi. Şimdi sırasıyla bunlar incelenecektir.

n-Tipi Malzeme

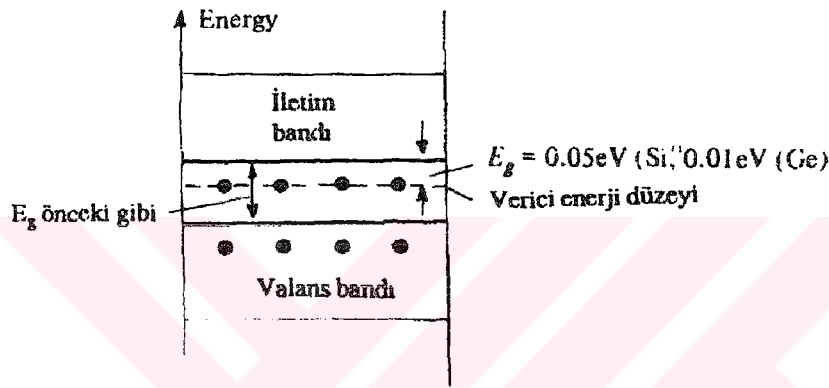
Hem n- hem de p- tipi malzeme bir germanyum veya silisyum tabana, önceden belirlenmiş sayıda katkı atomu eklenmesiyle oluşturulur. n-tipi malzeme, antimon, arsenik ve fosfor gibi beş valans elektronuna sahip (pentavalans) katkı maddeleri eklenerek oluşturulur. Bu katkı maddelerinin etkileri Şekil 4.6'da gösterilmiştir (silisyum taban üzerine katkı olarak antimon kullanılmıştır).



Şekil 4.6 n-tipi malzemede antimon katkısı

Dört kovalent bağın halen mevcuttur. Ancak, katkı atomundan dolayı ek bir beşinci elektron vardır ve belirli herhangi bir kova bağ ile ilişkisi yoktur. Geriye kalan ve ana (antimon) atomuna gevşekçe bağlı olan bu elektron, yeni oluşturulan n-tipi malzeme içerisinde nispeten hareket serbestisine sahiptir. Eklenen katkı atomu nispeten serbest bir elektron katkısında bulunduğu için beş elektrona sahip katkı maddelerine katkı atomları veya donör atomları denir. n-tipi malzemede çok sayıda 'serbest taşıyıcılar oluşmasına rağmen malzemenin atom çekirdeğindeki pozitif yüklü protonların sayısı ideal yapıda serbest olan ve yörüngede bulunan negatif yüklü elektronların sayısına eşit olduğundan, elektriksel olarak nötr durumdadırlar. Bu katkılama işleminin kısmi

iletkenlik üzerindeki etkisi en iyi Şekil 4.7'deki enerji bandı diyagramı ile tanımlanabilir. Eklenen katkıdan gelen bu serbest elektronlar, bu enerji düzeyinde kalır ve yeterli ölçüde ısı enerjisi olarak oda sıcaklığında iletim bandına geçmek için hiç zorluk çekmezler. Bunun sonucunda oda sıcaklığında, iletkenlik düzeyinde çok sayıda taşıyıcı (elektron) vardır ve malzemenin iletkenliği önemli ölçüde artmıştır. Oda sıcaklığında bir öz Si malzemesinde her 10^{12} atom için (Ge için 1 ila 10^9) yaklaşık bir serbest elektron bulunur. Katkı düzeyimiz 10 milyonda (10^7) 1 olsaydı, ($10^{12}/10^7 = 10^5$) oranı taşıyıcı yoğunluğunun 100000:1 oranında arttığını gösterecekti.

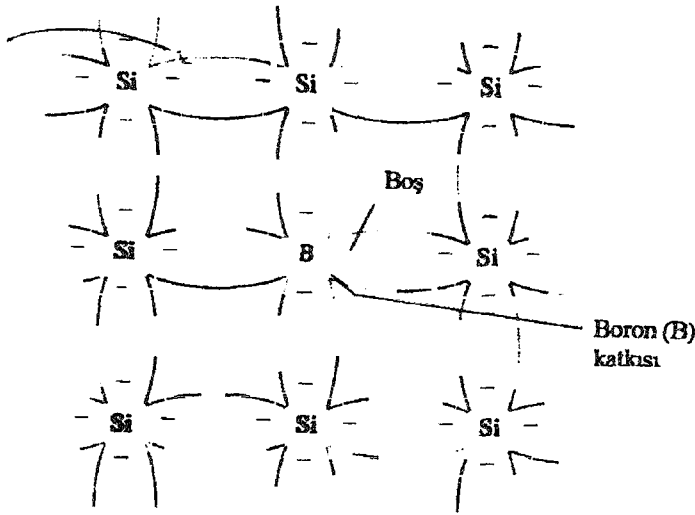


Şekil 4.7 Enerji bandı yapısı üzerinde verici katkısının etkisi

p Tipi Malzeme

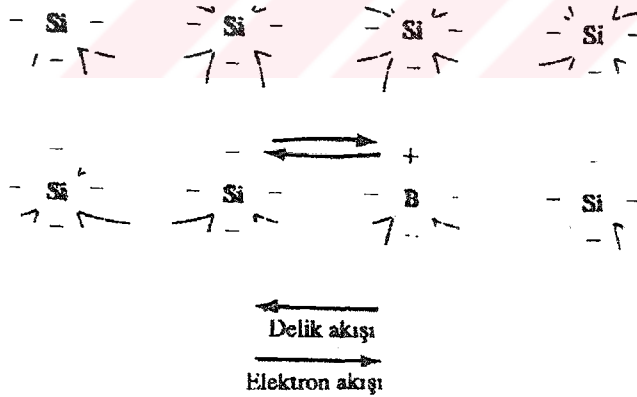
p-tipi malzeme, saf bir germanyum veya silisyum kristaline üç valans elektronuna sahip katkı atomları eklenerek oluşturulur. Bu amaçla en sık kullanılan elementler boron, galyum ve indiyumdur. Bu elementlerden boronun silisyum taban üzerindeki etkisi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Dikkat edilirse, yeni oluşturulan örgüde kovalent bağları tamamlamak için yeterli sayıda elektron olmadığı görülecektir. Sonuçta ortaya çıkan bu boşluğa delik denir ve negatif yük olmaması nedeniyle küçük bir daire veya matematiksel artı işareti ile gösterilir. Ortaya çıkan boşluklar serbest elektronları almaya hazır olduğundan, eklenen katılara alıcı (akseptör) atomlar denir. Oluşan p-tipi malzeme, n tipi malzeme için geçerli olan nedenlerden dolayı, elektriksel olarak nötr durumdadır.



Şekil 4.8 p-Tipi malzemede Boron katkısı

Delğin iletkenlik üzerindeki etkisi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Eğer bir valans elektronu kovalent bağı koparmaya yetecek kinetik enerjiyi alır ve delğin oluşturduğu boşluğu doldurursa, bu durumda elektronu bırakan kovalent bağda bir delik veya boşluk oluşur. Bundan dolayı Şekil 4.9’da da görüldüğü gibi deliklerin hareketi sağdan sola, elektronlarınki ise soldan sağa doğrudur.

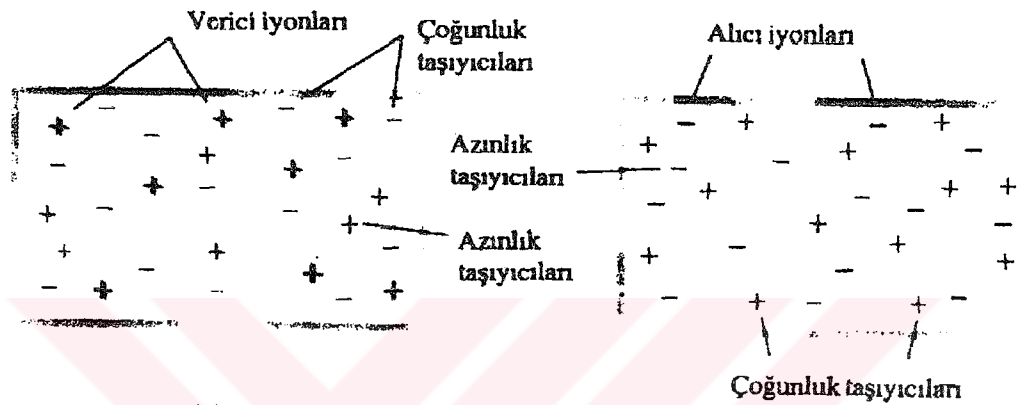


Şekil 4.9 Elektron-delik akışı

Saf halde, Ge veya Si’deki serbest elektron sayısı sadece valans bandında bulunan ve ısı veya ışık kaynaklarından kovalent bağı koparmaya yetecek enerji alan veya tam safsızlaştırılmamaktan kaynaklanan az sayıdaki elektrondan oluşur. Kovalent bağ yapısında geride kalan boşluklar çok sınırlı delik kaynağı durumundadır. Bir n-tipi malzemede, delik sayısı bu öz düzeyden pek farklılaşmamıştır. Yani sonuçta,

elektron sayısı delik sayısını fazlasıyla aşmaktadır. Bu nedenle Şekil 4.10a'da da gösterildiği gibi elektrona çoğunluk taşıyıcısı ve deliğe de azınlık taşıyıcısı denir.

Şekil 4.10.b'de görüleceği gibi bunun tersi p-tipi malzeme için geçerlidir. Bir donör atomun beşinci elektronu ana atomdan ayrıldığında, geride kalan atomun net bir pozitif yükü olur; bundan dolayı donör-iyonu gösteriminde artı (+) işareti vardır. Benzer nedenlerden dolayı alıcı atom için de negatif işaret kullanılır.



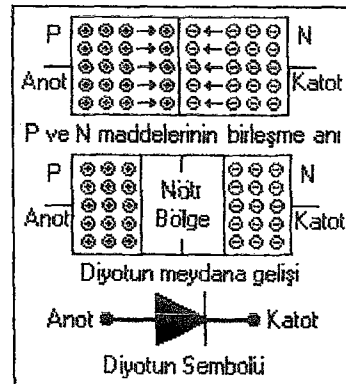
Şekil 4.10 (a) n tipi malzeme

(b) p tipi malzeme

4.2 Diyot

4.2.1 Diyot temel yapısı ve karakteristikleri

Diyot tek yönde elektrik akımını ileten bir devre elemanıdır. Diyotun P kutbuna "Anot", N kutbuna da "Katot" adı verilir. Diyot N tipi madde ile P tipi maddenin birleşiminden oluşur.

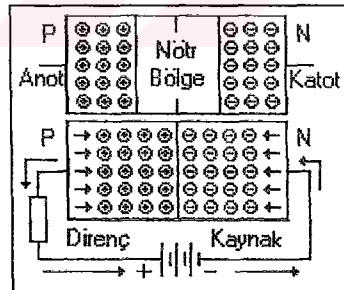


Şekil 4.11 Diyot yapısı

Bu maddeler ilk birleştirildiğinde p tipi maddedeki oyuklarla n tipi maddedeki elektronlar iki maddenin birleşim noktasında buluşarak birbirlerini nötrlerler ve burada "Nötr" bir bölge oluştururlar. Şekil 4.11'de nötr bölge görülebilir. Bu nötr bölge, kalan diğer elektron ve oyukların birleşmesine engel olur. Şekil 4.11'de diyodun sembolü de görülebilmektedir.

4.2.2 İleri yönde öngerilimleme durumu

Anot ucuna güç kaynağının pozitif (+) kutbu, katot ucuna da güç kaynağının negatif (-) kutbu bağlandığında P tipi maddedeki oyuklar güç kaynağının pozitif (+) kutbu tarafından, N tipi maddedeki elektronlar da güç kaynağının negatif (-) kutbu tarafından itilirler. Bu sayede aradaki nötr bölge yıkılmış olur ve kaynağın negatif (-) kutbundan pozitif (+) kutbuna doğru bir elektron akışı başlar (Şekil 4.12). Yani diyot iletme geçmiştir. Fakat diyot nötr bölümü aşmak için diyot üzerinde 0,6÷0,7 Voltluk bir gerilim düşümü meydana gelir. Bu gerilime diyodun "Eşik Gerilimi" adı verilir. Aynı zamanda diyot üzerinden fazla akım akıtıldığında diyot zarar görüp bozulabilir. Diyot üzerinden geçen akımın düşürülmesi için devreye bir seri direnç bağlanmalıdır. İdeal diyotta bu gerilim düşümü ve sızıntı akımı yoktur.

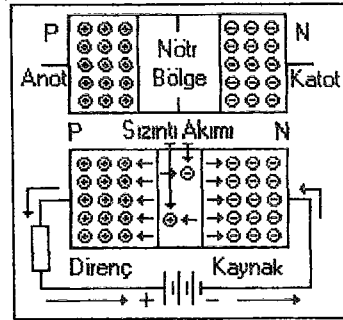


Şekil 4.12 Diyot ileri yönde öngerilimleme durumu

4.2.3 Ters yönde öngerilimleme durumu

Diyodun katot ucuna güç kaynağının pozitif (+) kutbu, anot ucuna da güç kaynağının negatif (-) kutbu bağlandığında ise N tipi maddedeki elektronlar güç kaynağının negatif (-) kutbu tarafından, P tipi maddedeki oyuklarda güç kaynağının pozitif (+) kutbu tarafında çekilirler. Bu durumda ortadaki nötr bölge genişler, yani diyot

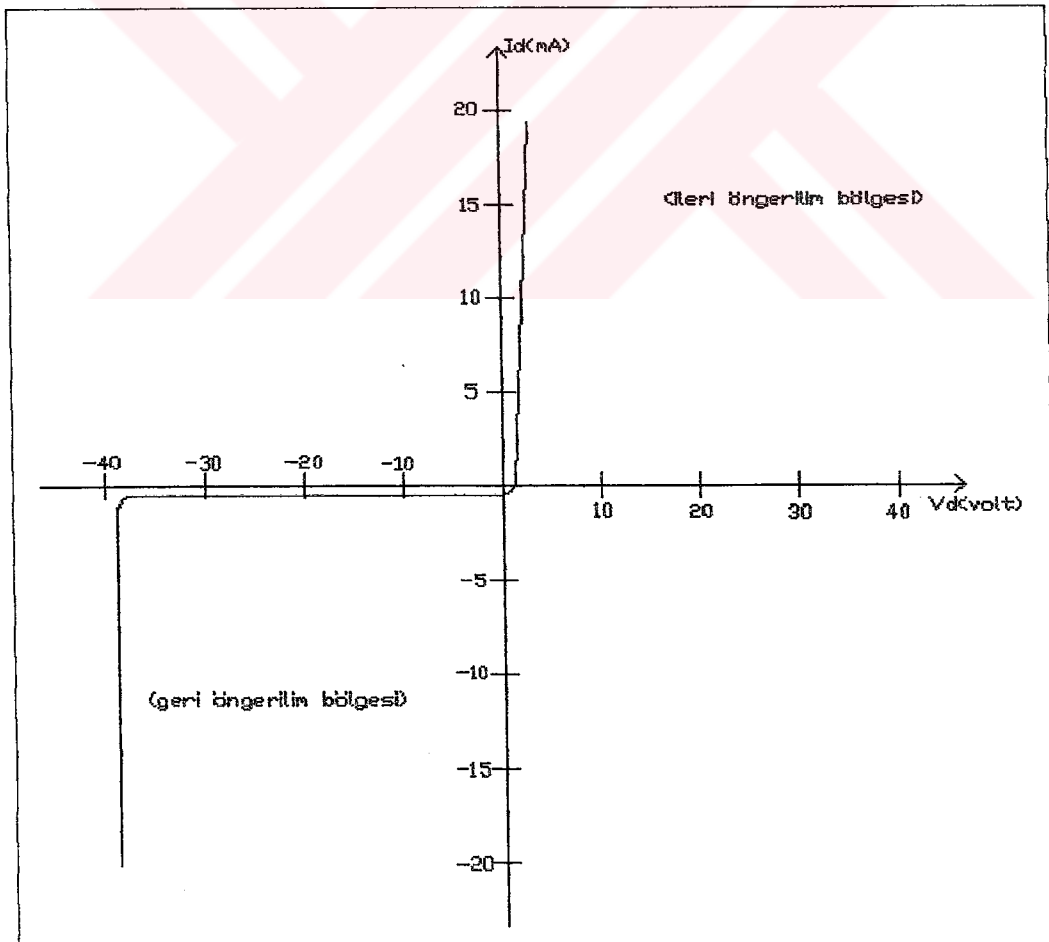
yalıtıma geçmiş olur (şekil 4.13). Fakat diyoda ters yönde öngerilim uygulandığında diyot yalııtımda iken çok küçük derecede bir akım geçer. Buna da "Sızıntı Akımı" adı verilir. Bu istenmeyen bir durumdur.



şekil 4.13 Diyot ters yönde öngerilimleme durumu

4.2.4 Diyot akım-gerilim karakteristik eğrisi

Diyot ileri öngerilim bölgesinde iletimde, ters öngerilim bölgesinde de tıkamadadır.



şekil 4.14 Diyot akım-gerilim karakteristiği

4.2.5 Diyot akım denklemleri

Diyodun herhangi bir gerilim değerindeki akım değerinin bulunması için o diyot modelinin bütün parametreleri bilinmelidir. Bilinmeyen parametreler için SI birim sistemine göre PSPICE programının diyot için kendi belirlemiş olduğu standart (default) değerler kullanılmalıdır. Diyot model parametreleri Tablo 4.2'de verilmiştir:

Tablo 4.2 Diyot model parametreleri

İsim	Açıklama	Birim	Default
Model seviye	Model seviye seçimi(1=standart,3=geometri)		1
Is	Saturasyon akımı(N ile birlikte diyot DC karakteristiğini belirtir)	A	10^{-14}
Rs	Omik direnç	mOhm,Ohm,kOhm, MOhm,GOhm	0.0
N	Emisyon katsayısı(Is ile birlikte diyot DC karakteristiğini belirtir)		1.0
Tt	Geçiş süresi	fsn,psn,nsn,usn,msn	0.0
Cjo	Sıfır öngerilim jonksiyon kapasitesi	fF,pF,nF,uF,mF	0.0
Vj	Jonksiyon gerilimi	fV,pV,nV,uV,mV,V	1.0 V
M	Grating katsayısı		0.5
Fc	İleri öngerilim mahrumiyet kapasitesi katsayısı		0.5
Imax	Diyot jonksiyon akımının lineer olduğu bölgenin sınırları dışındaki patlama akımı	A	1.0
Isr	Rekombinasyon akımı parametresi	A	0.0
Nr	Isr için emisyon katsayısı		2.0
Ikf	Yüksek enjeksiyon köşe akımı	A	Sonsuz
Ikr	Yüksek enjeksiyon geri köşe akımı	A	0
IkModel	Ikf/Ikr oranı için kullanılacak model (1=Pspice,2=Hspice)		1
Bv	Geri kırılma gerilimi	V	Sonsuz
Ibv	Geri kırılma gerilimindeki akım	A	0.001
Nbv	Geri kırılma ideallik faktörü		1.0
Ibvl	Düşük seviye geri kırılma köşe akımı	A	0.0
Nbvl	Düşük seviye geri kırılma ideallik faktörü		1.0
Kf	Gürültü sönüm katsayısı		0.0
Af	Gürültü sönüm üssü		1.0
Ffe	Gürültü sönüm frekans üssü		1.0
Isw	Yan kenar saturasyon akımı	A	0.0
Cjsw	Yan kenar sıfır öngerilim kapasitesi	F	0.9
Msw	Yan kenar grating katsayısı		0.33

Vjsw	Yan kenar jonksiyon gerilimi	V	Vj
Fcsw	Yan kenar ileri öngerilim mahrumiyet kapasitesi katsayısı		0.5
Alan	Diyot için default alan		1
Çevre	Diyot için default çevre		0

PSPICE Diyot Akım Denklemleri

Diyodun alanı (Area) belirtilmiş ve sıfırdan farklı ise bu model için belirtilen alan (Area) değeri kullanılmalıdır.

Diyodun çevresi (Periph) belirtilmiş ise bu model için belirtilen çevre (Periph) değeri kullanılmalıdır.

Diyodun alan (Area) ve çevre (Periph) değerlerinin hesaplanması için genişlik (width) ve uzunluk (length) değerleri belirtilmelidir. Aksi takdirde standart (default) genişlik (width) ve uzunluk (length) değerleri kullanılmalıdır.

Eğer

Width > 0 ve Length > 0 ise

$$\text{Area} = w \times l$$

$$\text{Periph} = 2 \times (w + l)$$

$$w = \text{Width} \times \text{Shrink} + \text{Dwl}$$

$$l = \text{Length} \times \text{Shrink} + \text{Dwl}$$

yoksa diyot için Area ve Periph belirtilmiş ise veya model için Area ve Periph değerlerinin hesaplanmasında yeni area ve periph değerleri hesaplanma da kullanılmadık.

$$\text{Area} = \text{area (from device/model)} \times \text{Shrink}^2$$

$$\text{Periph} = \text{periph (from device/model)} \times \text{Shrink}$$

Bu Area ve Periph değerlerini de kullanarak etkili alan faktörü (effective area factor, aeff) hesaplanabilir.

$$\text{aeff} = \text{Area} + \text{Periph} \times \frac{I_{sw}}{I_s}$$

Akım ve kondüktans;

I_s ve I_{sr} yukarıda belirtilen denklemlerden anlaşıldığı gibi a_{eff} ile ilişkilidir.

Eğer

$$v_d > v_{max}$$

$$i_{dexp} = [I_{max} + (v_d - v_{max}) \times g_{max}]$$

$$g_{dexp} = g_{max}$$

$$v_{max} = N \times v_t \times \ln \left(\frac{I_{max}}{I_s} + 1 \right)$$

$$g_{max} = \frac{I_{max} + I_s}{N + v_t}$$

v_t : termal voltaj (thermal voltage)

Eğer

$$v_{max} > v_d > -10 \times N \times v_t$$

$$i_{dexp} = I_s \left(e^{\frac{v_d}{N \times v_t}} - 1 \right)$$

$$g_{dex} = \frac{I_s}{N \times v_t} \times e^{\frac{v_d}{N \times v_t}}$$

Eğer

$$v_d < -10 \times N \times v_t$$

$$i_{dexp} = \left[I_s (e^{-10} - 1) + \frac{I_s \times e^{-10}}{N \times v_t} (v_d + 10 \times N \times v_t) \right]$$

$$g_{dex} = \frac{I_s}{N \times v_t} \times e^{-10}$$

B_v belirtilmiş ve I_{bv} sıfırdan sıfıra eşit değilse çökme akımının etkisi hesaba katılmalıdır.

Eğer

$$-(v_d + B_v) > v_{bmax}$$

$$i_b = -\{I_{max} + [-(v_d + B_v) - v_{bmax}] \times g_{bmax} - i_{bo}\}$$

$$g_b = g_{bmax}$$

$$v_{bmax} = N_{bv} \times v_t \times \ln \left(\frac{I_{max}}{I_{bv}} \right)$$

$$gb_{max} = \left(\frac{Im \alpha x}{Nbv \times vt} \right)$$

Eğer

$$vb_{max} \geq -(vd + Bv) > -MAXEXP \times Nbv \times vt$$

$$ib = \left(-Ibv \times e^{\frac{-(vd+Bv)}{Nbv \times vt}} - ibo \right) \times aeff$$

$$gb = \frac{-ib}{Nbv \times vt}$$

koşulları sağlamıyorsa

$$ib = 0$$

$$gb = 0$$

ibo'nun hesaplanması;

Eğer

$$Bv < MAXEXP \times Nbv \times vt$$

$$ibo = Ibv \times e^{\frac{-Bv}{Nbv \times vt}}$$

aksi takdirde

$$ibo = 0$$

MAXEXP, makinanın hesaplayabileceği maksimum exponansiyel değeridir. Bu değer en az exp(88) en çok exp(709) olmalıdır.

Ibvl belirtilmiş ve sıfıra eşit değilse düşük seviye geri çöküntü akımı hesaba katılmalıdır.

Eğer

$$-(vd + Bv) > vlb_{max}$$

$$ilb = -\{Imax + [-(vd + Bv) - vlb_{max}] \times gib_{max} - ilbo\}$$

$$glb = gib_{max}$$

$$vlb_{max} = Nbv_l \times vt \times \ln \frac{Im \alpha x}{Ibv_l}$$

$$glb_{max} = \frac{Im \alpha x}{Nbvl \times vt}$$

Eğer

$$vlb_{max} > -(vd + Bv) > -MAXEXP \times Nbvl \times vt$$

$$ilb = - \left(Ibvl \times e^{\frac{-(vd+Bv)}{Nbvl \times vt}} - ilbo \right) \times aeff$$

$$glb = \frac{-ilb}{Nbvl \times vt}$$

aksi takdirde

$$ilb = 0$$

$$glb = 0$$

ilbo'nun hesaplanması;

Eğer

$$Bv < MAXEXP \times Nbvl \times vt$$

$$ilbo = Ibvl \times e^{\frac{-Bv}{Nbvl \times vt}}$$

aksi takdirde

$$ilbo = 0$$

Isr belirtilmiş ve sifıra eşit değilse tekrar birleşme (recombination) akımı hesaba katılmalıdır.

Eğer

$$vd > vr_{max}$$

$$ir = I_{max} + (vd - vr_{max}) \times gr_{max}$$

$$gr = gr_{max}$$

$$vr_{max} = Nr \times vt \times \ln \left(\frac{Im \alpha x}{Isr} + 1 \right)$$

$$gr_{max} = \frac{Im \alpha x + Isr}{Nr \times vt}$$

Eğer

$$vr_{max} > vd > -10 \times Nr \times vt$$

$$ir = Isr \times \left(e^{\frac{vd}{Nr \times vt}} - 1 \right)$$

$$gr = \frac{Isr}{Nr \times vt} \times e^{\frac{vd}{Nr \times vt}}$$

Eğer

$$vd < -10 \times Nr \times vt$$

$$ir = \left[Isr \times (e^{-10} - 1) + Isr \times \frac{e^{-10}}{Nr + vt} (vd + 10 \times Nr \times vt) \right]$$

$$gr = \frac{Isr}{Nr \times vt} \times e^{-10}$$

$$iexp = idexp + ib + ilb$$

$$gexp = gdexp + gb + glb$$

Yüksek enjeksiyon etkisi modeli için iki yol vardır.

IkModel ADS/Libra/Pspice ve Ikf sıfırdan farklı, iexp > 0 ise

$$Ikfa = Ikf \times aeff$$

$$id = iexp \times \sqrt{\frac{Ikfa}{Ikfa + iexp}}$$

$$gd = gexp \times \frac{1}{2} \left(1 + \frac{Ikfa}{Ikfa + iexp} \right) \sqrt{\frac{Ikfa}{Ikfa + iexp}}$$

[22]

4.2.6 Diyot SPICE modelleri ve hatalar

Bir diyoda ait birden fazla SPICE modeli bulunabilmektedir. Seçilen modele göre simülasyon sonuçları önemli ölçüde değişebilmektedir

Aşağıda aynı diyoda ait iki farklı SPICE modeli verilmiştir. Seçilen diyot, bu tez çalışmasında kullanılan 1N4001 diyodudur. Piyasada en çok bulunan ve en basit diyotlardan birisi olmasına rağmen, bu diyotta dahi bir çok model bulmak mümkündür ve bu modellerin hepsinde birbirinden farklı noktalar bulunmaktadır. Aşağıdaki modeller incelendiğinde, aynı parametreler için aldıkları default değerler

karşılaştırılırsa görülecektir ki, bu değerlerde bile önemli farklılıklar söz konusu olmaktadır. Örneğin bu tez çalışmasında hesaplanan parametre olan I_s değeri aynı diyot için bir modelde 14.11×10^{-9} iken, diğer modelde 76.9×10^{-12} seçilmiştir. Yine modellerde kullanılan parametre sayıları da farklıdır. Örneğin birinci modelde F_c B_v I_{kf} gibi parametreler kullanılmışken, ikinci modelde bu parametrelere yer verilmemiştir.

```
.model D1N4001      D(Is=14.11n N=1.984 Rs=33.89m Ikf=94.81 Xti=3 Eg=1.11
+                  Cjo=25.89p M=.44 Vj=.3245 Fc=.5 Bv=75 Ibv=10u Tt=5.7u)
[kaynak: orcad spice library]
```

```
.MODEL DI_1N4001   D (IS=76.9p RS=42.0m BV=50.0 IBV=5.00u
+                  CJO=39.8p  M=0.333 N=1.45 TT=4.32u )
[http://diodes.com/products/spicemodels/spicemodel.php?part-number=1N4001]
```

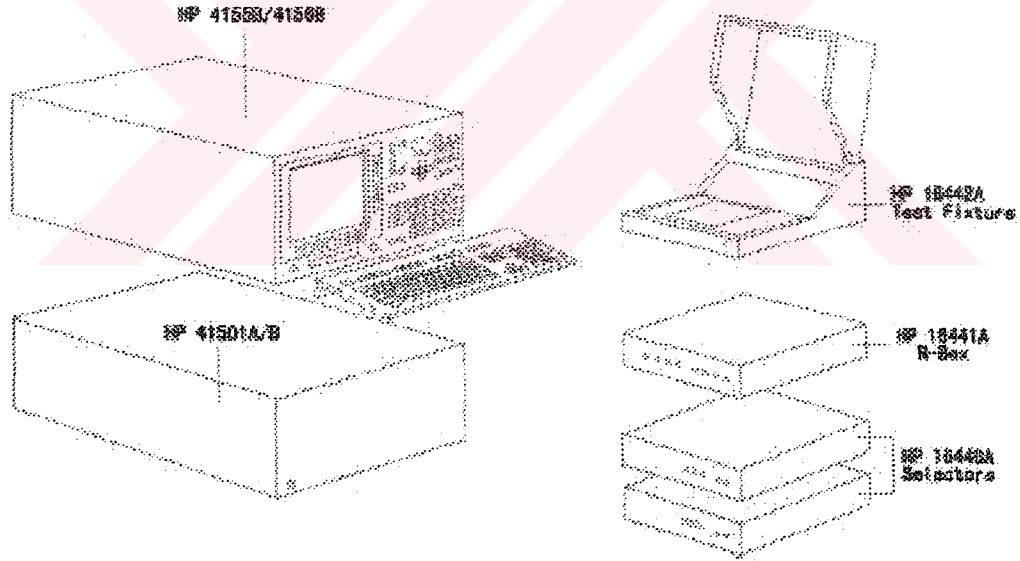
Bir simülasyondan en doğru sonucu alabilmek için parametrelere verilen değerleri en doğru şekilde seçmek gerekmektedir. Bu çalışma bir diyot için en önemli parametrelerden birisi olan saturasyon akımının en iyi şekilde seçilmesi için bir yöntem geliştirmektedir.

BÖLÜM 5 . DENEYSEL ÇALIŞMA VE OPTİMİZASYON PROGRAMI

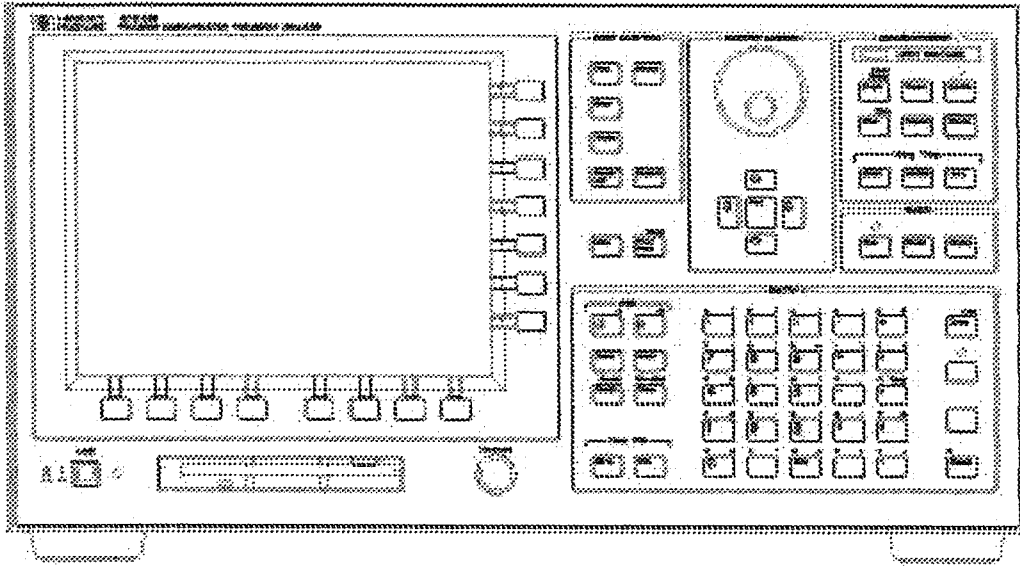
5.1 Donanımsal Çalışma

SPICE simülasyonları ve 1N4001 modeliyle karşılaştırmak üzere piyasada farklı yerlerden 10 adet 1N4001 diyot alınmış, ve bu diyotlar HP4155B parametre analizörü ile ölçülmüştür. Bu ölçümlerde 0V ile 0.8V arasındaki gerilimlerde 1mV'luk adımlarla değer alınmıştır.

5.1.1 HP4155B



Şekil 5.1 HP4155B ve Bileşenlerinin Genel Görünümü



Şekil 5.2 HP4155B Önden Görünüm

HP4155B, yarı-iletkenlerin ölçüm ve analizlerini gerçekleyen elektronik bir cihazdır. Bu cihazla ölçümleri yapmak ve bu ölçümlerin değerlendirmesini yapmak mümkündür. Cihazla ilgili detaylı bilgiyi internetten bulmak mümkündür.

5.1.2 4155 Parametre analiz cihazıyla basit diyot ölçümlerinin yapılması

Bu bölümde basit bir diyotun I-V karakteristiklerinin ölçümünün HP4155B cihazı ile nasıl yapıldığı ve diyot parametrelerinin (I_s ve n) nasıl elde edildiği anlatılmıştır.

Datanın alınması:

1. Ön paneldeki CHAN düğmesi tıklanarak CHANNELS sayfasına gidilir. (MEM4 DIODE VF-IF) adlı yumuşak tuş tıklanarak diyot için standart ayar sayfası açılır. SMU1'e diyotun anot bacağı, SMU3'e diyotun katot bacağı bağlanır (bu bacak analiz cihazı tarafından toprak hattı olarak kabul edilir)
2. MEASURE sayfasına (ön panelden "Meas" butonu ya da "NEXT PAGE" yumuşak tuşuna iki defa basarak) kullanılacak voltaj ve akım sınırlarını belirtmek üzere gidilir. (Not: "NEXT PAGE" Yumuşak tuşuna bir defa basıldığında kendi fonksiyonunuzu tanımlayabileceğiniz yer açılır. Bu özellik

basit diyot ölçümleri için gereksizdir ancak başka türden elemanların ölçümünde kullanışlı olabilir)

VAR 1 değeri lineer ölçeklendirme olarak ayarlanmalıdır. Diyot voltaj sınırında başlangıç noktası olarak -10V ile 2V arası 0.05V'luk artışlarla alınabilir. Kolektördeki akım uyumluluğu, 50mA (veya daha az) olarak ayarlanabilir. Menüdeki farklı veriler arasında gezinebilmek için ok işaretleri kullanılmalıdır. Yeni bir parametre girmek istendiğinde sadece yeni değeri yazıp enter'a basmak yeterlidir. Eğer dikkat edilirse değerler V ve A biriminden alınmıştır. Eğer farklı birimler kullanmak istenirse sayı girilirken kullanılacak birim için gerekli kısaltmanın da girilmesi gerekmektedir. Örneğin, eğer adım boyu olarak "50mV" alınmak isteniyorsa, "50m" değeri girilmelidir.

"Sweep" kutusu üzerine geçilerek buradaki ayar "CONTINUE AT ANY" olarak değiştirilmelidir. Bu değişiklik sağ üst köşedeki yumuşak tuşların kullanılmasıyla yapılır.

Ölçüm sayfasındaki bu işlemler tamamlandığında ayarlar aşağıdaki gibi olmalıdır.

• VARIABLE	VAR1	VAR2
UNIT	SMU1:MP	
NAME	VF	
SWEEP MODE	SINGLE	
LIN/LOG	LINEAR	
START	-12.000 V	
STOP	2.000 V	
STEP	50.0mV	
NO OF STEP	281	
COMPLIANCE	40.00mA	
POWER COMP	OFF	

Timing (Zamanlama)

HOLD TIME	0.0000 s
DELAY TIME	0.0000 s

Sweep

CONTINUE AT ANY

CONSTANT (Sabit)

UNIT	
NAME	
MODE	
SOURCE	-----
COMPLIANCE	-----

3. DISPLAY sayfasındaki gelişmiş ayarlar içerisinde (“Display” ön panelindeki butonu kullanarak yada “NEXT PAGE” butonunu kullanarak geçilir) Ölçülmüş veriler grafik yada liste şeklinde gösterilebilir. Bu gösterimde olağan değer grafik gösterimidir. Basit diyot ölçümü için bu kısımda bir değişiklik yapılması gerekmez. Diyot voltajının grafik sınırlarının -12 V dan 2V arasında olabilmesi için (bir önceki adımdaki voltaj aralığının tutturulabilmesi için) ve IF değerinin -1mA ile 10mA arasında olabilmesi için grafiğin noktalarının belirlenmesi gerekir. Datayı aldıktan sonra bu sayfaya tekrar gelebilmek için pencerenin boyutları değiştirmek yeterlidir.

DISPLAY sayfasındaki gelişmiş ayarlar içerisinde (“Display” ön panelindeki butonu kullanarak yada “NEXT PAGE” yumuşak butonunu kullanarak geçilir) Ölçülmüş veriler grafik yada liste şeklinde gösterilebilir. Bu gösterimde olağan değer grafik gösterimidir. Basit diyot ölçümü için bu kısımda bir değişiklik yapılması gerekmez. Diyot voltajının grafik sınırlarının -12 V dan 2V arasında olabilmesi için (bir önceki adımdaki voltaj aralığının tutturulabilmesi için) ve IF değerinin -1mA ile 10mA arasında olabilmesi

için grafiğin noktalarının belirlenmesi gerekir. Datayı aldıktan sonra bu sayfaya tekrar gelebilmek için pencerenin boyutları değiştirmek yeterlidir.

4. "GRAPH/List" sayfasındaki gelişmiş özelliklere geçilir (ön paneldeki "Graph/List" butonu yada "NEXT PAGE" yumuşak butonu kullanılarak). Bu sayfa ölçümlerin yapıldığı sayfadır. Ön panelin sağ tarafında "SINGLE" diye adlandırılmış bir düğme bulunur. 4155'in Voltaj değerlerini ve ölçülmüş akımı sınavabilmesi için bu butona basılmalıdır. Eğer tüm bağlantılar ve ayarlar tam olarak yapılmışsa, exponansiyel bir diyot grafiğinin gözlemlenmesi gerekir. Ölçümler tamamlandığında grafiğin otomatik olarak çıkartılabilir. Ekranın altındaki "SCALE" yumuşak butonuna ve ekranın sağ tarafında çıkan "AUTO SCALE" yumuşak butonuna tıklanarak, parametrelerin ayarlandığı Ölçüm ve Görüntüleme sayfalarına gidilebilir. Eğer akım değerleri nA olarak gösteriliyorsa, bu durum muhtemel bir bağlantı eksikliğinden kaynaklanıyor olabilir. Eğer diyot eğrisi ters duruyorsa buda muhtemelen diyotun ters bağlandığının işaretidir.
5. Bir sonraki adıma geçmeden önce dataların bir diskete kaydedilmesi uygun olur.

Parametrelerin çıkartılması

Diyot parametrelerinin (Is ve n) çıkartılması için aşağıdaki adımlar izlenir.

Eğer diyot denkleminin logaritması alınır (forward bias alanında alınır, böylece -1 değeri göz ardı edilmiş olur) denklem:

$$\log_{10}(ID) = \log_{10}(IS) + \log_{10}(e)(qVD/kT) \text{ halini alır.}$$

(Dikkat edilirse logaritmanın tabanı 10 olarak alınmıştır, çünkü logaritmik grafiklerin çizimi bu şekilde olmaktadır)

Sonuç olarak eğer diyot eğrisi yarım-log grafiğine uygulandığında, sonuç düz bir çizgi olmalıdır. Slope ve kesişen eğri ile

$$n = [(kT/q)(\text{slope})(\ln(10))^{-1}] \text{ (Hatırlatma: } \log_{10}(e) = [\ln(10)]^{-1} \text{) bulunabilir.}$$

Ve

$I_s = 10$ kesişme

Yani bu durumda bize diyot eğrisinin ileri kısmının yarım-log plotu gerekmektedir.

Bunu yapabilmek için:

MEASUREMENT sayfasına geri dönmeli

1. Voltaj aralığı 0-1,5 Volt arası ve adım aralığında çok küçük bir değer alınmalıdır.
2. Display sayfasına ve oradan da gelişmiş özellikleri görebilmek için advance sekmesine geçmek gerekir.
3. Y1- ekseni log ölçeğine çevrilmeli. X ekseninin MIN ve MAX ayarları ölçüm sayfasındakilere uyacak şekilde değiştirilmelidir. Y ekseninin MIN ve MAX ayarları 1nA ve 10mA (yada yakın değerler) olacak şekilde değiştirilmelidir.
4. Graph/List sayfasına geri dönerek grafiği çıkartmak için SINGLE butonuna basılır. Grafiği ekrana sığdırabilmek için AUTOSCALE özelliğinin de kullanılması gerekebilir. En azından grafiğin orta kısmı düz bir çizgi halinde olmalıdır. Sıfır voltajının civarlarında grafik düzleşir. Yüksek voltajlarda eğri, yüksek derecedeki enjeksiyondan etkilenerek düşebilir. Burada konsantre olunması gereken eğrinin merkezidir.
5. Eğrinin düzleşen bölümüne bir doğrunun sığdırılması:
 - Ekranın altındaki Marker/Cursor düğmesine basılır ve sonra sağ üstte bulunan Marker yumuşak tuşu data işaretleyicisini aktif hale getirmek için tıklanır. Yuvarlak bir imleç merkez civarlarında ortaya çıkacaktır. Akıtma imleci (Scroll Wheel) kullanılarak imleç grafiğin lineer kısmına doğru hareket ettirilir.
 - Bu adımda ekranın altındaki Line yumuşak tuşu tıklanır ve Cursor'a basılarak Marker yumuşak tuşuna tıklanır (sağ üstte). Bu aşamadan sonra circular maker'ın üst kısmı taranacaktır.
 - Line Select yumuşak tuşuna tıklayarak (sağ üst) başka yumuşak tuşların ekrana gelmesi sağlanabilir. Line özelliğini etkin hale getirmek için Line

yumuşak butonu tıklanmalıdır. Cursor ve işaretçinin bulunduğu yere doğru dikey bir çizgi çizdirilir.

- Scroll Wheel kullanılarak circular işaretleyiciyi başka bir noktaya kaydırmak mümkündür. Daha sonra cursor'a basılarak Marker yumuşak tuşu tekrar etkinleştirilir. Bu aşamada çizgi kırmızı renkte olur, böylece önceki cursor noktaları ve yeni cursor noktalarıyla karışmamış olur.

Çizilen çizginin diyot eğrisinin üst aktif bölgesinde olması gerekmektedir. Eğrinin değerleri ve doğruyla kesişme noktaları ekranda görüntülenir. Dikkat edilirse 4155 grafiğin yarı-log olduğunu kabul etmiş böylece I_s kesişme noktaları listelenmiştir.

Datanın diskete kaydedilmesi

4155 ile alınan verilerin PC'de formatlanmış bir diskete aktarılması ve Excel yada başka grafik programları kullanılarak grafiklerinin çıkartılması mümkündür.

Graph/List Menüsünden, Eğrinin noktalarının bulunduğu grafik penceresine girilerek aşağıdaki adımlar takip edilir.

- Disket sürücüye yerleştirilir
- Graph/List düğmesine basılarak tablo içindeki data gösterilir.
- Kaydetme moduna girmek için Spreadsheet yumuşak tuşu tıklanır.
- Data için bir isim seçilir (isimden sonra herhangi bir uzatma kullanılmamalıdır, zira 4155 otomatik olarak dosyayı .txt formatında kaydeder)
- OUTPUT DATA'nın 1 to MAX olduğundan emin olunuz, veya ALL yumuşak tuşunu tıklayınız. Bu hareket tüm data noktalarının kaydedilmesini sağlayacaktır. Alternatif olarak bu özellik verilerin sadece bir kısmının kaydedilmesi için de kullanılabilir.
- Delimiter tıklanır ve ne çeşit bir delimiter kullanılacağı girilir. MS Excel her türlü çalışır ve bir şey belirtilmemişse otomatik olarak seçilen delimitierin MS Excel olduğu kabul edilir.
- Kaydetmek için "EXECUTE" yumuşak tuşu tıklanır.

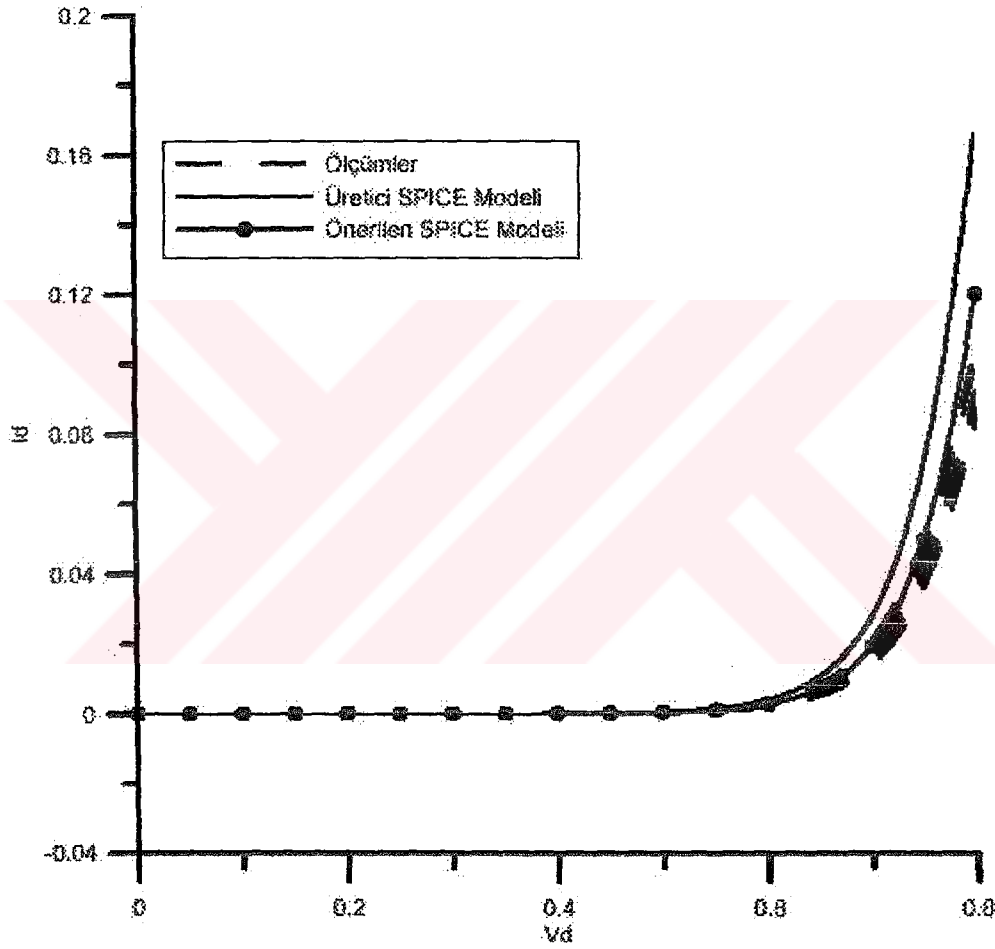
5.2 Uygulama ve Deney

Bu çalışmada HP4155B parametre analizörü ile Fairchild'a ait 1N4001 diyoduna ait gerçek akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde 0V-0.8V aralığında 1mV luk adımlarla değer alınmıştır. Bu ölçümler için piyasadan alınan on adet Fairchild 1N4001 diyodu ile, üreticiden alınan beş adet test diyodu kullanılmıştır. Genetik algoritma ile yazılan program yardımıyla bu gerçek değerlerden 0.4V ile 0.8V aralığındaki 400 değer kullanılarak yeni bir IS değeri hesaplanmıştır. IS değerinin hesaplanması sırasında yapılan ölçümlerde ölçüm sonuçlarının birbirine yakın çıkması sebebiyle sadece bir diyoda ait ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Ayrıca PSPICE programı kullanılarak iki farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlardan ilkinde PSPICE programına ait Fairchild'in 1N4001 modeli, diğer simülasyonda ise bu çalışma sonucu Genetik Algoritma ile bulunan yeni IS değeri kullanılarak değiştirilerek Fairchild'in 1N4001 modeli kullanılmıştır. Simülasyonları ölçümler ile doğru şekilde kıyaslayabilmek için simülasyonlarda da 0V-0.8V aralığında 1mV luk adımlar ile değer alınmıştır. Bu simülasyonlar neticesinde görülmüştür ki, bu çalışmada oluşturulan genetik algoritma yazılımı ile bulunan yeni IS değerinin kullanıldığı model, gerçek ölçüm sonuçlarına daha yakın değerler vermektedir.

Yapılan yazılım uygulamasında diyot denklemi için verilen tüm (I_d, V_d) çiftleri için en az hatayı verecek IS değeri bulunmak istenmektedir. Bu durumda, her bir kromozom olası bir IS değerini temsil eder. Popülasyon ise rasgele seçilmiş kromozom setleridir. Genome olarak binary sayılar yerine real sayılar kullanılmıştır. Elde edilen üç tip data (ölçüm, standart simülasyon ve genetik algoritma yazılımıyla hesaplanan IS ile simülasyon) sonuçları değerlendirildiğinde, bu çalışmada hesaplanan IS değeri kullanılarak yapılan simülasyon, ölçüm sonuçlarına daha yakın sonuç vermektedir. Bu üç tip datanın eğrileri grafik üzerinde Şekil 5.3'deki gibi gösterilebilir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde ölçüm sonuçları ve simülasyonlar arasında aşağıdaki şekilde RMS hatalar olduğu gözlemlenmiştir. Fairchild modeli ile yapılan simülasyonlarla ölçüm sonuçları arasındaki RMS hata: %0.63

Önerilen model ile yapılan simülasyonlarla ölçüm sonuçları arasındaki RMS hata: %0.06

Buradan da görülmektedir ki, önerilen model, ölçüm sonuçları ile yakınlık açısından üreticinin verdiği modelden daha doğru sonuç vermektedir.



Şekil 5.3 Sonuçların Karşılaştırılması

5.3 Yazılım Çalışması

Tez için yapılan araştırmaların deneysel olarak da ispatlanabilmesi için bir program yapılmıştır. Uygulamada, bir diyot denklemine ait (I_d , V_d) değerleri verilmiş ve buna

uygun I_0 değeri istenmektedir. Diyot denkleminde V_d , I_d değerleri bir text dosyası içinden okunmaktadır.

5.3.1 FBGA programı

Yapılan yazılım uygulamasında verilen (I_d, V_d) çiftleri için en uygun veya hatayı minimize eden I_0 değeri bulunmaya çalışılmıştır.

Çözüm için ilk olarak rastgele bir çözüm kümesi oluşturulmuştur. Uygunluk değeri (Fitness) bulunması için her bir çözüm seti diyot denkleminde yerine koyulur ve eşitliğin her iki tarafı arasındaki farkın mutlak değeri alınır. Bu aşamadan sonra bulunan sayılar uygunluk değerleridir (fitness value). Fitness değerinin yüksek olması en iyi kromozom olma ihtimalini artırır demiştik tez içerisinde, ancak bu uygulamada en düşük fitness değeri bizim için en iyi çözümdür.

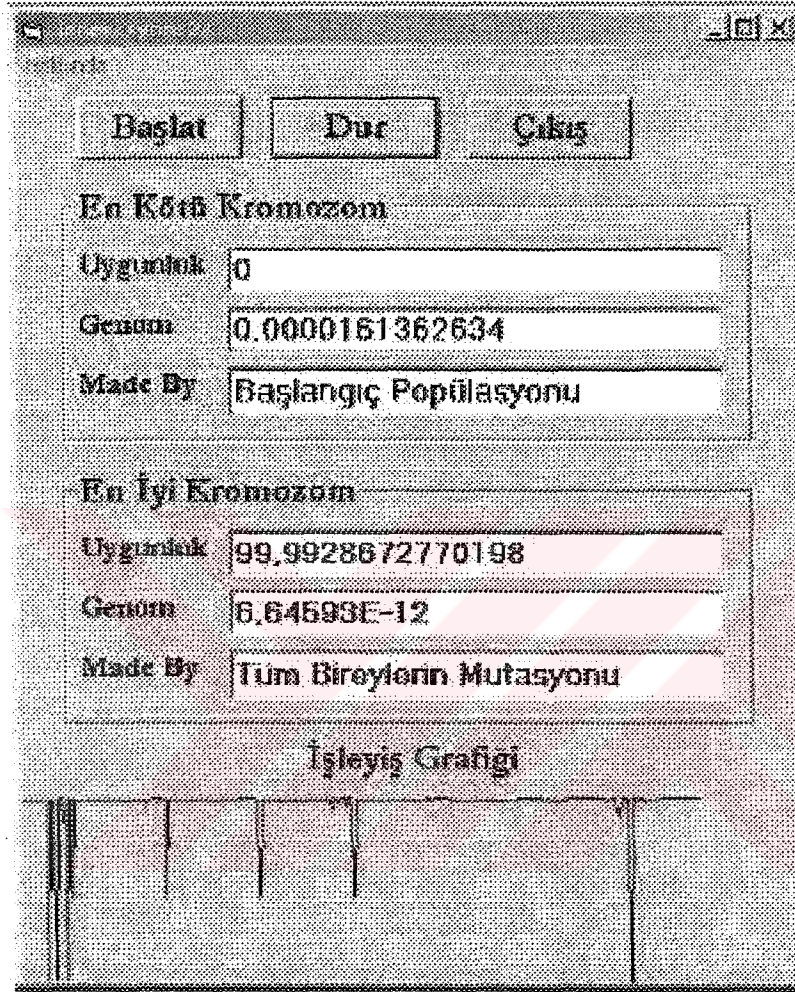
Ebeveynlerin tercih edilen uygunluk değerine sahip kromozomlara sahip olabilmeleri için öncelikle her kromozomun seçilme olasılığının hesaplanması gerekir. Bu iş için kullanılacak bir çözüm yolu, birden fazla uygunluk değerinin tersini almak ve buradan da yüzdelerin hesaplanmasıdır. Veya rasgele sayılar alarak da bu işi yapmak mümkündür.

Hesaplamalar için kullanılan programın ekran görüntüsü Şekil 5.4'de verilmiştir. Bu program ekranında görünen bazı bölümlerin açıklamaları şu şekildedir:

En Kötü Kromozom: Bir popülasyondaki uygunluk değeri en küçük olan elemandır. En kötü kromozomlar diğer oluşturulacak kromozomlara yer açmak için popülasyondan silinirler. Uygunluk, genom ve made by başlıklarıyla en kötü kromozomun uygunluk değerinin ne olduğu, hangi genoma ait olduğu ve hangi evrede olduğu gözlemlenebilmektedir.

En İyi Kromozom: Bir popülasyondaki ortalama uygunluk değerinin daha fazla artmaması halinde, bu değer en iyi kromozom olduğuna karar verilir ve bu üretilen en iyi kromozom, arama indeksi içerisine şifresi çözülerek gönderilir. En iyi kromozomun uygunluk değeri, hangi genoma ait olduğu ve bu kromozomun hangi

aşamadan sonra oluşturduğu programın kullanıcı arabiriminden takip edilebilmektedir. Ekran görüntüsünün en alt kısmında bulunan işleyiş grafiği sayesinde programın ilerlemesi gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir.



Şekil 5.4 Genetik Algoritma uygulamasının ekran görüntüsü

5.4 Uygun I_0 Değerinin Seçilmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması

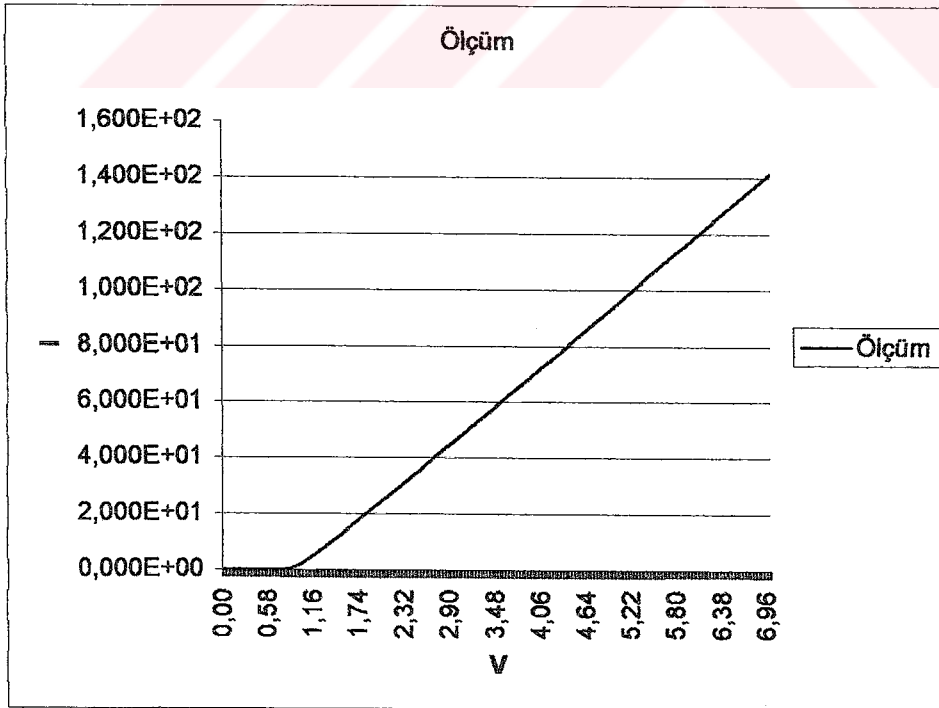
Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen olay şu şekilde aşamalandırılabilir:

1. 1N4001 diyoduna ait akım ve gerilim değerlerinin HP4155B parametre analizörü ile elde edilmesi
2. Oluşturulan yazılım ile birinci adımda bulunan ölçüm sonuçlarına göre en uygun I_0 değerinin seçilmesi

3. PSPICE programı ve ORCAD modeli kullanılarak simülasyon yapılarak akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması
4. PSPICE programı ile, ORCAD modelinde I_0 değeri 2. adımda bulunan I_0 değeri alınarak oluşturulan yeni model ile simülasyon yapıp, akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması
5. Birinci adımda ölçülen gerçek değerler, üçüncü adımda bulunan default ORCAD simülasyonu değerleri ve dördüncü adımda bulunan geliştirilmiş ORCAD simülasyonu değerlerinin karşılaştırılması

5.4.1 HP4155B ile dataların alınması

Hp4155B parametre analizörü kullanılarak bölüm 5.1.2 de anlatılan yöntem ile yarıiletken 1N4001 diyoduna ait akım ve gerilim değerleri alınmıştır. Gerilim değeri olarak 0 ile 7 volt arası değerler 0.02 voltluk artışlarla verilerek, bu gerilim değerlerine karşılık gelen akım değerleri ölçülmüştür. Elde edilen dataların grafiği çizdirildiğinde aşağıdaki şekil elde edilmektedir:



Şekil 5.5 Ölçüm sonuçlarına göre I-V eğrisi (0-7 Volt arası, 0.02 lik adımlar)

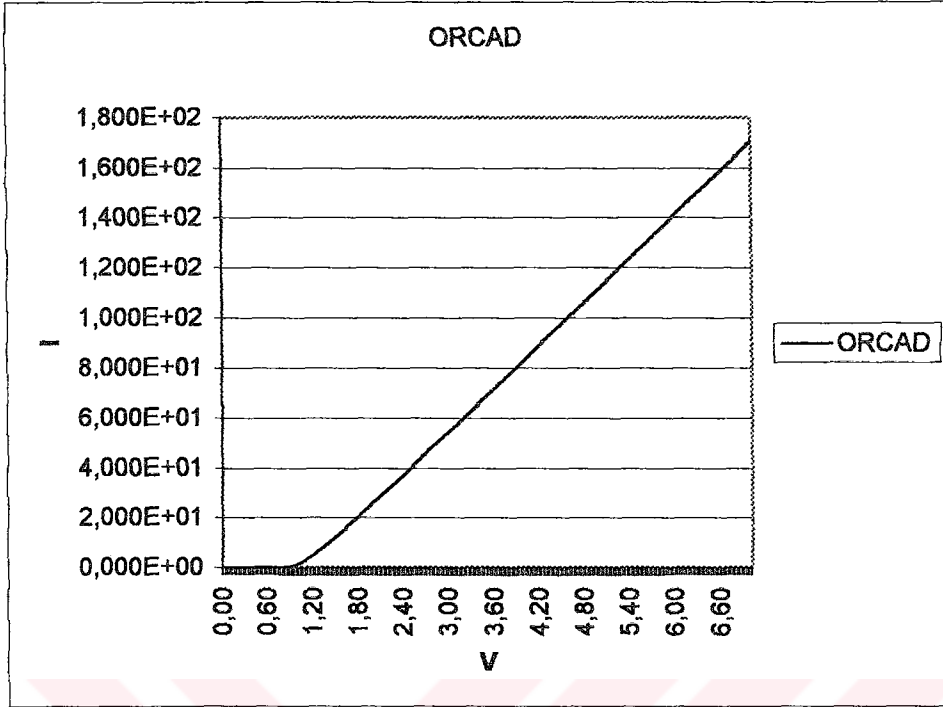
Bu ölçüm değerleri kullanılarak program çalıştırıldığında en uygun I_0 değeri olarak $I_0=1.1283e-12$ değeri bulunmuştur.

5.4.2 PSPICE Simülasyonu ile dataların alınması

PSPICE programı ve programın kendi diyot kütüphanesindeki 1N4001 modeli kullanılarak simülasyon yapılmış, simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi kolay olsun diye gerilim aralığı ölçümde seçilen gerilim aralığı ile aynı seçilmiştir. Data almak için PSPICE içinde yazılan program aşağıdaki gibidir:

```
V1 1 0 dc 10
D1 1 0 D1N4001
.LIB Diode.lib
.DC V1 0 7 0.02
.probe
.print DC I(D1)
```

simülasyon neticesinde elde edilen dataların grafiği çizdirildiğinde aşağıdaki Şekil 5.6 elde edilmektedir. (değerlendirmenin kolay olması açısından datalara ait grafik PSPICE programı içinde değil, ölçüm sonuçlarına ait grafiğin de çizdirildiği excell programı içinde çizdirilmiştir).



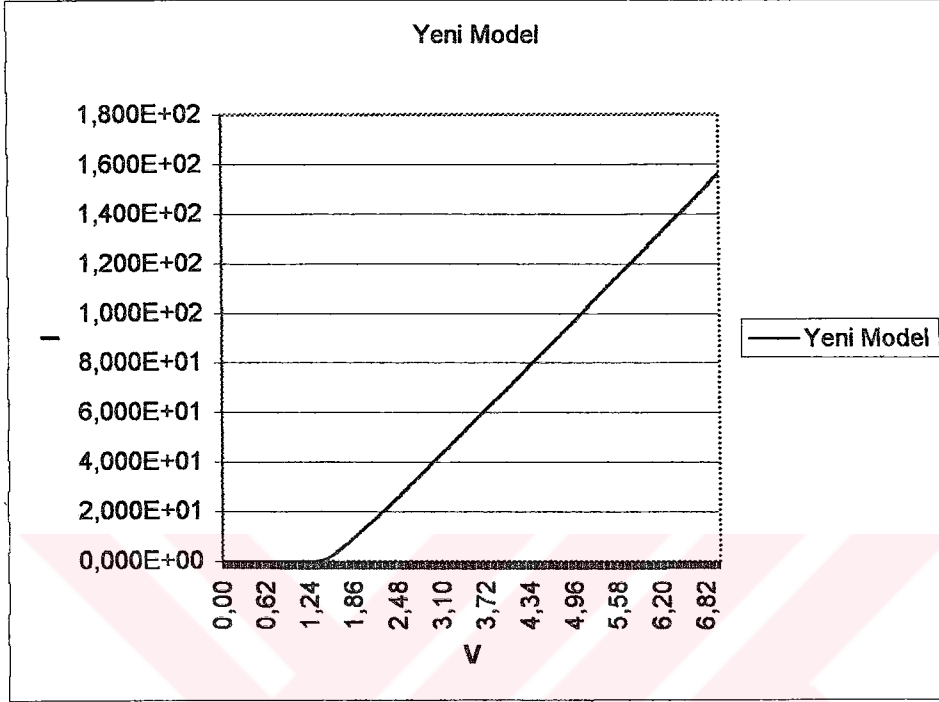
Şekil 5.6 Standart model ile simülasyon sonuçlarına göre I-V eğrisi (0-7 Volt arası, 0.02 lik adımlar)

5.4.3 Geliştirilmiş PSPICE simülasyonu ile dataların alınması

Son olarak SPICE simülasyonu tekrarlanmış, fakat bu sefer ORCAD firmasının standart diyot kütüphanesindeki 1N4001 modeli kullanılmamış, bu modeldeki I_0 (I_S) değeri ölçüm sonuçlarına göre program vasıtasıyla bulunan I_0 değeri modelde yerine yazılmıştır. Bunun haricinde modeldeki diğer tüm parametreler aynı bırakılmıştır. Bu simülasyon sırasında kullanılan SPICE programı şu şekildedir:

```
V1 1 0 dc 10
D1 1 0 D_1N4001
.model D_1N4001 D(Is=1.1283p N=1.984 Rs=33.89m Ikf=94.81
+           Xti=3 Eg=1.11 Cjo=25.89p M=.44
+           Vj=.3245 Fc=.5 Bv=75 Ibv=10u Tt=5.7u)
.DC V1 0 7 0.02
.probe
.print DC I(D1)
```

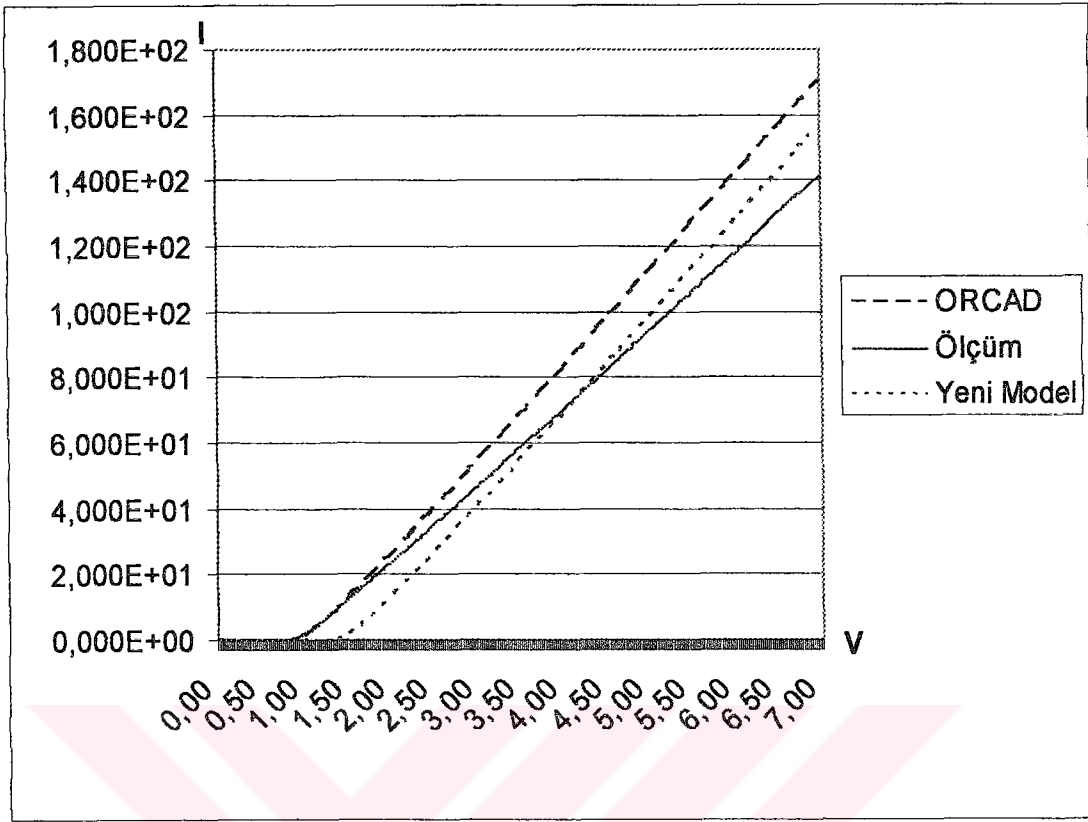
simülasyon neticesinde elde edilen dataların grafiği çizdirildiğinde aşağıdaki Şekil 5.7 elde edilmektedir.



Şekil 5.7 Geliştirilmiş model ile simülasyon sonuçlarına göre I-V eğrisi (0-7 Volt arası, 0.02 lik adımlar)

5.4.4 Değerlendirme

Elde edilen üç tip data (ölçüm, standart simülasyon ve yeni hesaplanan I_0 ile simülasyon) sonuçları değerlendirildiğinde görülür ki, bu tez çalışmasında hesaplanan I_0 değeri kullanılarak yapılan simülasyon asıl çalışma bölgesinde ölçüm sonuçlarına daha yakın sonuç vermektedir. Bu konuda yapılabilecek yorumlar 6. bölümde detaylandırılacaktır. Bu üç tip datanın eğrileri aynı grafik üzerinde gösterildiğinde Şekil 5.8 elde edilir:



Şekil 5.8 Elde edilen üç tip datanın tek grafik üzerinde gösterilmesi

BÖLÜM 6 . SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölüm5 de anlatılan ölçüm düzeneği kurularak 1N4001 diyoduna ait ölçüm sonuçları alınmış, ve bu ölçüm sonuçlarına göre genetik algoritma yöntemi ile en uygun I_0 değeri seçilmiştir. Ardından PSPICE programının kendi kütüphanesindeki 1N4001 modeli ile bir simülasyon yapılmış ve sonra bulunan I_0 değeri modeldeki I_0 değeri ile değiştirilerek simülasyon tekrarlanmıştır. Bölüm 4.2.5 ten hatırlanacağı üzere bir diyoda ait bir çok parametre vardır. Yine bölüm 4.2.6 da ve 5.4.3. de görülebilir ki, PSPICE programında 1N4001 modelinde 13 adet parametre kullanılmıştır ($I_s=14.11n$ $N=1.984$ $R_s=33.89m$ $I_{kf}=94.81$ $X_{ti}=3$ $E_g=1.11$ $C_{jo}=25.89p$ $M=.44$ $V_j=.3245$ $F_c=.5$ $B_v=75$ $I_{bv}=10u$ $T_t=5.7u$)

Oysa bu çalışmada bu parametrelerden sadece bir tanesi değiştirilmiş, ve simülasyon sonucunun önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.8 dikkatle incelenirse görülecektir ki, PSPICE programının kendi modeli ile gerçekleştirilen simülasyon neticesi iletme geçme geriliminde gerçek ölçüm sonuçlarına daha yakın iken, gerilim biraz arttığında ölçüm sonucundan uzakta kalmakta, fakat buna karşın gerilimin arttığı noktalarda değiştirilmiş model ile elde edilen sonuçlar gerçek değerlere daha yakın bulunmaktadır. İletme geçme geriliminde değiştirilmiş model yetersiz gibi görünse de unutulmamalıdır ki sadece bir parametre değişimi ile bu denli büyük bir değişim ve yaklaşım elde edilmiştir. Eğer uygun olabilecek bazı diğer parametreler için de benzer şekillerde en iyi değerler hesaplanıp modeldeki değerleri ile değiştirilirse, beklenir ki simülasyon sonuçları her bölgede gerçek ölçüm sonuçlarına yaklaşacaktır.

Bu konuda daha sonra çalışacak araştırmacılar burada elde edilen sonuçları değerlendirerek çalışmayı daha ileri götürebilir, birden fazla parametre ile daha net sonuçlar elde edebilirler. Veya başka alanlarda genetik algoritmaları kullanarak optimizasyon ve yaklaşımlarda bulunabilirler. Pratiğe yönelik bir çalışma olan bu tez

çalışması ülkemizde çok yeni olmakla birlikte, yeni bir bakış açısı ve yaklaşımlar getirmesi hedeflenmiş, ve bu amaca mümkün olduğunca yaklaşılmaya çalışılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] T.A. Fjeldly, B. Moon, M. Shur, "Approximate analytical solution of generalized diode equation", IEEE Transactions on Electron Devices , vol. 38, pp. 1976-1977, Aug. 1991.
- [2] M.T. Abuelma'Atti, "Improved approximate analytical solution for generalised diode equation", Electronics Letters , vol. 28, pp. 594-595, March 1992.
- [3] A. Ortiz-Conde, F.J. García Sánchez, "Approximate analytical expression for equation of ideal diode with series and shunt resistances", Electronics Letters , vol. 28, pp. 1964-1965, Oct. 1992.
- [4] J. Le Bihan, "Simple accurate analytical approximation for normalised diode characteristic", 1999 Symposium on High Performance Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications , pp. 206-209, Nov. 1999.
- [5] J. Le Bihan, "Accurate approximate function for normalised diode characteristic", 8th IEEE International Symposium on High Performance Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications , pp. 248-252, Nov. 2000.
- [6] T.C. Banwell, "Bipolar transistor circuit analysis using the Lambert W-function", IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications , vol. 47, pp. 1621-1633, Nov. 2000.
- [7] J.M. Pimbley, "Iterative solutions of the generalized diode equation", IEEE Transactions on Electron Devices , vol. 39, pp. 1268-1269, May 1992.

- [8] Pohlheim, H.: GEATbx: Genetic and Evolutionary Algorithm Toolbox for use with Matlab. <http://www.geatbx.com/>, 1995-2002
- [9] Muthuswamy, Bharathwaj “Diodes: Experiment Guide” Berkeley University, Spring 2004
- [10] Pavel Kostka and Zbynek Skvor: Scalable Parallel Optimisation Using Fast Messy Genetic Algorithm. In: Asia Pacific Microwave Conference proceedings, IEICE Kyoto 2002, pp. 309-312.
- [11] Mansfield, R.A. “Genetic Algorithms”, University of Wales College of Cardiff, 1990.
- [12] Reeves, Colin R., Yamada, Takeshi “Genetic Algorithms, Path Relinking, and the Flowshop Sequencing Problem”, *Evolutionary Computation*, Spring98, Vol 6, Issue 1.
- [13] Deb, Kalyanmony “Multi-objective Genetic Algorithms”, *Evolutionary computation*, Fall99, Vol 7, Issue 3.
- [14] <http://osiris.sunderland.ac.uk/cbowww/AI>
- [15] Farhad, Azadivar and John (Jian), “Wang Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms”, *International Journal of Production Research*, 2000, Vol.38, No.17, 4369-4383.
- [16] Michalewicz, Zbigniew “Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs”, Springer, 1996
- [17] Genetic Algorithms,
http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/tcw2/report.html#Internet
- [18] Roubos J A, M Setnes; Compact fuzzy models and classifiers through model reduction and evolutionary optimization. Chapter 1 in: L Chambers (eds.); *The Practical Handbook of Genetic Algorithms Applications*. CRC Press, London, 2000, p. 31-59. ISBN: 1-58488-2409-9, BTA IBd, DIOC IMDS

- [19] Roubos J A, M Setnes; Compact fuzzy models through complexity reduction and evolutionary optimization. In: Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2000). IEEE Operations Center, Piscataway, 7-10 March 2000. p. 762-767. ISBN: 0780358775, BTA CPi, DIOC IMDS, OZS BSDL
- [20] B.M. Baker, M.A. Ayechev, A genetic algorithm for the vehicle routing problem, Computers & Operations Research 30 (5) (2003) pp. 787-800.
- [21] <http://www.doc.ic.ac.uk>
- [22] R. Boylestad, L. Nashelsky: Electronic Devices and Circuit Theory, 8th Edition, Prentice-Hall, 2001.

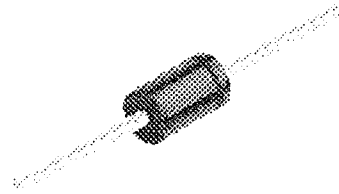


Ek A

Ölçülen 1N4001 Diyoduna Ait Karakteristik Bilgiler

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41
COLOR BAND DENOTES CATHODE

General Purpose Rectifiers

Absolute Maximum Ratings* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current, .375" lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

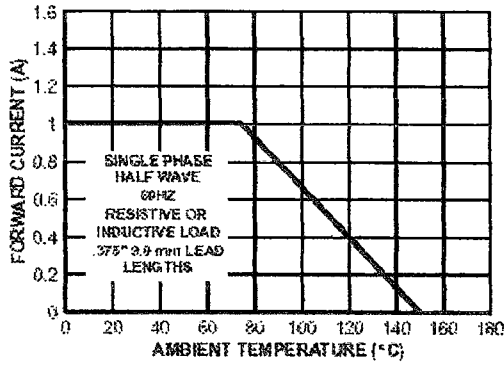
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_F	Forward Voltage @ 1.0 A	1.1							V
I_R	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30							μA
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0 500							μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$	15							pF

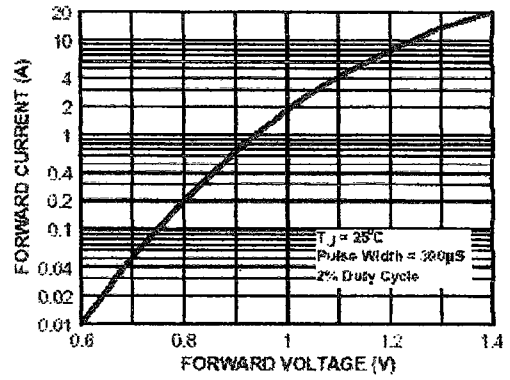
General Purpose Rectifiers
(continued)

Typical Characteristics

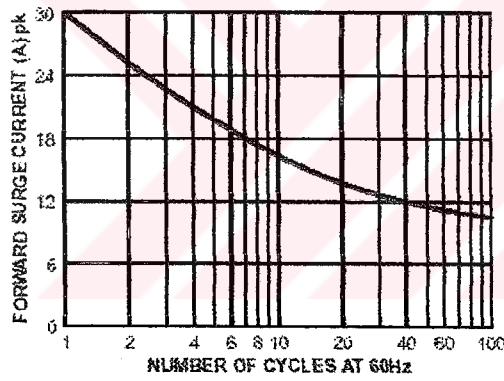
Forward Current Derating Curve



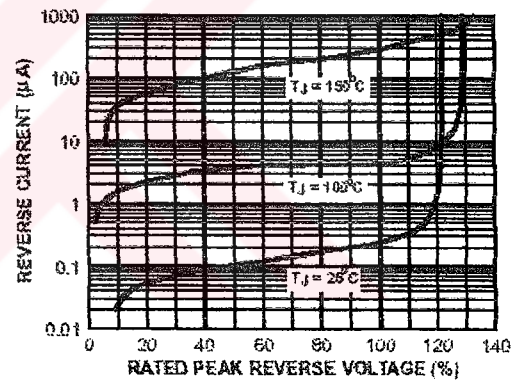
Forward Characteristics



Non-Repetitive Surge Current



Reverse Characteristics



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimimi sırasıyla Köstence İlkokulu, Alparslan İlkokulu, İsmail Erez İlkokulu, Demetevler Ortaokulu, Mehmetçik Lisesi, Eryaman Lisesi okullarında tamamladı. 1994 senesinde Ankara Eryaman Lisesinden mezun oldu.

1996 senesinde Amerika’nın New York eyaletine giderek ‘City University of New York’a bağlı La’Guardia Community College de bilgisayar ön lisans eğitimi almaya başladı. 1998 senesinde bu okuldan şeref listesi öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı sene yine ‘City University of New York’ a bağlı Computer Science bölümüne dikey geçiş yaptı. 2001 senesinde bu okulu da 2,5 not ortalaması ile bitirerek lisans eğitimimi tamamladı.

Amerika’da bulunduğu yıllar içinde okuduğu okullarda Yönetim Bilgi Sistemleri Asistanı (MIS Assistant), Teknik Destek Görevlisi (Technical Support Representative) ve Üniversite Bilgi İşlem Merkezi Asistanı (College Assistant) olarak görev yaptı.

2001 senesinde evlenerek Türkiye’ye dönüş yaptı. Eğitim hayatına eşinin işi sebebiyle bulunduğu Sakarya’da, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans yaparak devam etmektedir. Çalışma hayatına ve akademik kariyerine ise, daha önceki işlerinden tecrübeli olduğu üniversite ortamında öğretim görevlisi olarak devam etmektedir.