

# ELEKTRONİK DEVRE ÇİZİM VE SİMÜLASYON PROGRAMI

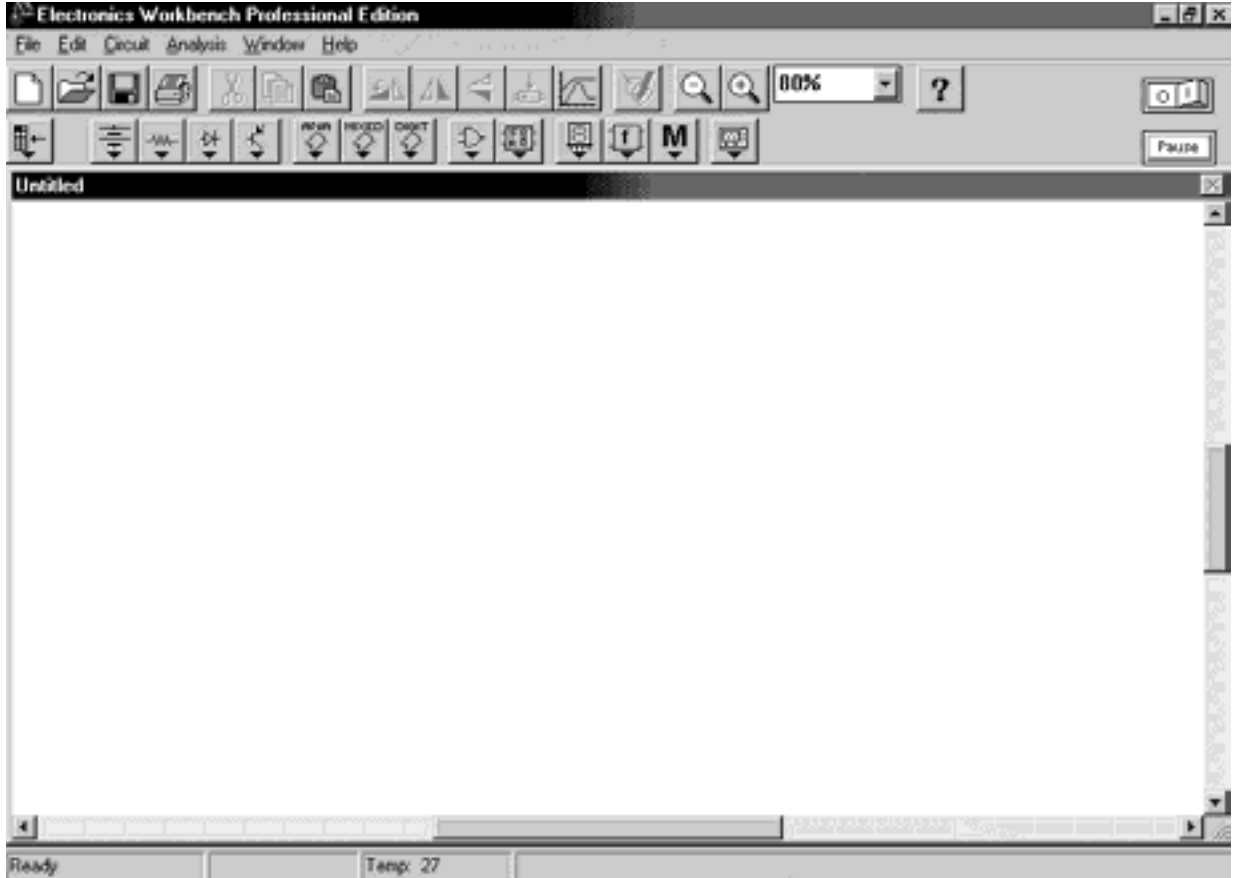
## EWB (Electronics Workbench)

Günümüzde her türlü elektronik devrenin tasarım ve analizinde artık simülasyon (benzetim) programları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu programlar sayesinde zamandan ve paradan tasarruf sağlanarak bilgisayar başında devre tasarımı ve analizi kolayca yapılabilmektedir.

Elektronik devre çizimi için kullanılan pek çok program bulunmaktadır. Ancak çizimle birlikte devre analizi de yapan program sayısı fazla değildir. Burada EWB programının 5.12 versiyonu anlatılacaktır. Amaç, programın temel düzeyde nasıl kullanılacağını göstermektir. Programın eski versiyonlarında bulunmayan bazı gelişmiş özelliklerin nasıl kullanılacağını öğrenmek için programın help (yardım) menüsünden yararlanılmalıdır. Programın doğru bir şekilde kullanılabilmesi için elektroteknik, analog ve dijital elektronik, kontrol teorisi, sinyaller ve sistemler gibi alanlarda belirli bir düzeyde bilgi sahibi olunması gereklidir.

### 1. PROGRAMIN TANITIMI

EWB programı uygun şekilde bilgisayara yüklenip çalıştırıldığında ekranda şekil 1'deki çalışma sayfası görünür. En üstte "File, Edit, Circuit, Analysis, Window, Help" menülerini içeren menü satırı bulunur. En alt satırda ise test cihazları ve elektronik devre elemanlarını içeren malzeme kutuları bulunur. Sağ tarafta bulunan anahtar yardımıyla simülasyonun başlatılması veya sona erdirilmesi sağlanır. Pause butonu ise simülasyonu bir süre durdurmak için kullanılır. İlerleyen bölümlerde test cihazları ve malzeme kutularının içeriği hakkında bilgi verilecektir.



Şekil 1

## 2. TEST CİHAZLARI

Bu bölümde, analiz edilecek bir devrede kullanılacak ölçü aletleri ve sinyal kaynakları tanıtılacaktır. Şekil 2'nin üst kısmında görülen butona basılmasıyla Instruments menüsü açılır. Burada, test cihazları programdaki görünüş sırasına göre toplu halde verilmiştir. Aşağıda her birinin görevi ve çalışma şekli kısaca anlatılmaktadır.



Şekil 2

### 2.1. AVO Metre (Multimeter)

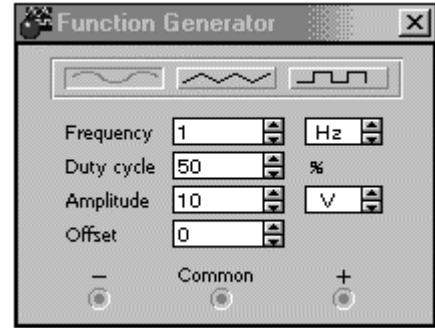
Şekil 2'nin ilk sırasında yer alan küçük kutu AVO metredir. Bu eleman mouse ile çalışma sayfasına taşınıp çift tıklanırsa şekil 3'deki büyük kutu açılır. İki uçlu bu eleman sayesinde doğru ve alternatif akım şartlarında akım(A), gerilim(V), direnç( $\Omega$ ) ölçülebilmektedir. Ayrıca logaritmik kazanç da dB (desibel) cinsinden hesaplanabilmektedir.



Şekil 3

### 2.2. Sinyal Üretici ( Function Generator)

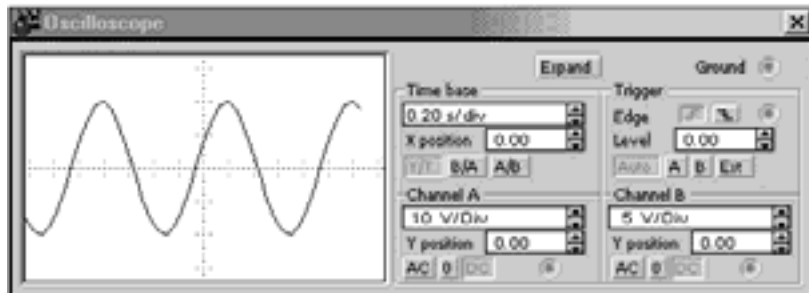
Şekil 4'de görülen sinyal üretici ile dalga şekli farklı 3 sinyal üretilebilmektedir. Bunlar sinüsoidal, üçgen ve kare dalga'dır. Sinyal üretici üzerindeki ayar butonları yardımıyla sinyalin frekansı (frequency) ve genliği (amplitude) değiştirilebilmektedir. Duty cycle ve offset adlı butonlar ile sırasıyla işaretin görev periyodu ve kayma miktarı ayarlanmaktadır. Sinyal kaynağı üzerinde görünen genlik değeri maksimum değerdir. Örneğin efektif değeri 220 V olan şebeke gerilimini elde etmek için genlik 311V seçilmelidir.



Şekil 4

### 2.3. Osiloskop (Oscilloscope)

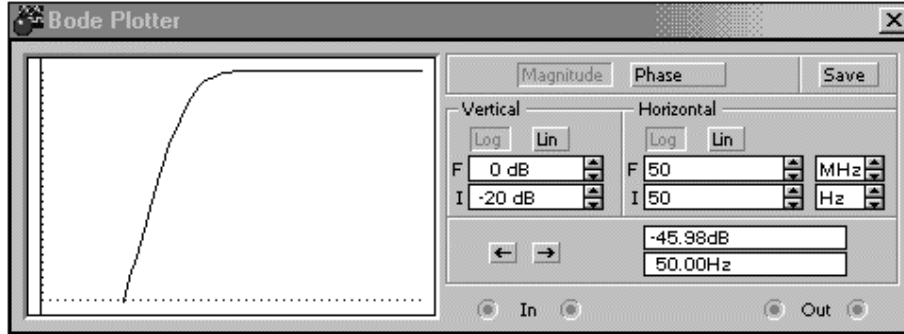
Şekil 5'de 2 kanallı osiloskop görülmektedir. Osiloskop üzerindeki butonlar gerçek osiloskoptaki ile aynıdır. Görüntüyü büyötmek için expand butonuna basılır.



Şekil 5

## 2.4. Bode Çizici (Bode Plotter)

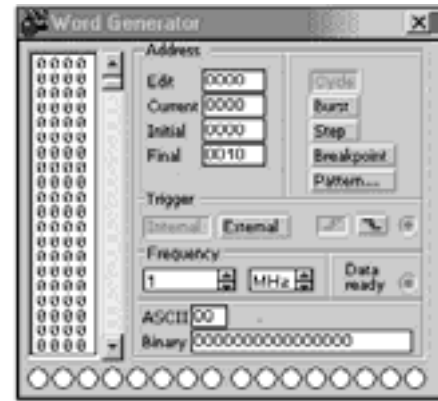
Şekil 6’da görülen test cihazı bir devrenin bode diyagramını çizmek için kullanılır. Bu sayede bir devrenin frekans cevabı (genlik-frekans ve faz-frekans eğrileri) elde edilir.



Şekil 6

## 2.5. Kelime Üretici (Word Generator)

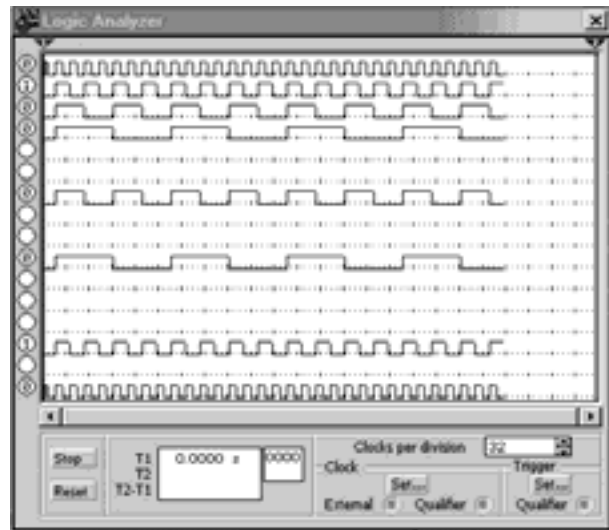
Şekil 7’de görülen 16 çıkış ucu olan kelime üretici sayesinde dijital (sayısal) bir elektronik devreye 16 bitlik lojik sinyaller gönderilebilir. Frekans ayarlaması yapılarak bilgi aktarım hızı istenildiği gibi seçilebilir. Sol kısımda, gönderilen bilginin heksadesimal (16’lık taban) karşılığı görülmektedir. Ayrıca ikili (binary) veya ASCII kodu da görülebilir.



Şekil 7

## 2.6. Lojik Analizör (Logic Analyzer)

Şekil 8’deki lojik analizör yardımıyla bir dijital devrenin herhangi bir noktasındaki zamana bağlı dalga şekli görülebilir. Zaman eksenini uygun şekilde seçilerek ekrandaki dalga sıklığı artırılabilir. Ayrıca girişe uygulanan sinyalin heksadesimal karşılığı da okunabilir.



Şekil 8

## 2.7. Lojik Çevirici (Logic Converter)

Şekil 9’da görülen lojik çevirici yardımıyla bir lojik devrenin doğruluk tablosu elde edilir. Bu test cihazı ile doğruluk tablosuna göre otomatik lojik devre çizimi de yaptırılabilir. Aynı zamanda cihazın alt kısmında doğruluk tablosuna göre otomatik olarak elde edilmiş lojik ifadeler de görülebilir.

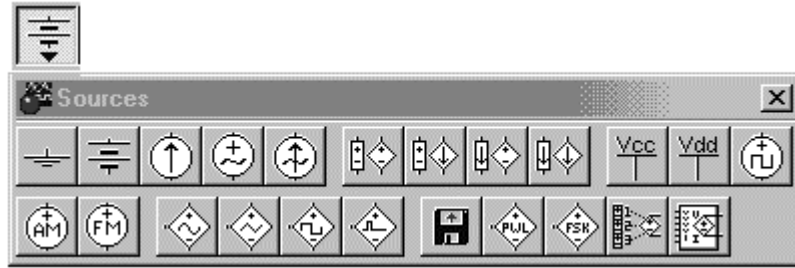


Şekil 9

## 3. MALZEME KUTULARI

### 3.1. Kaynaklar (Sources)

Şekil 10’un üst kısmında görülen kutucuğa mouse ile tıklandığında kaynaklar penceresi açılır. Şekilden de görüldüğü gibi pek çok kaynak türü bulunmaktadır. Bunların ne işe yaradığı aşağıda sırasıyla verilmiştir.

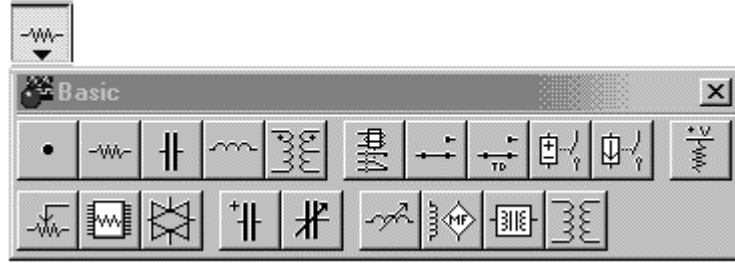


Şekil 10

- **Ground** : Toprak bağlantısı
- **Battery** : Doğru gerilim kaynağı
- **DC Current Source** : Doğru akım kaynağı
- **AC Voltage Source** : Alternatif gerilim kaynağı (Gerilim değerini efektif değer olarak gösterir).
- **AC Current Source** : Alternatif akım kaynağı
- **Voltage-Controlled Voltage Source** : Gerilim kontrollü gerilim kaynağı
- **Voltage-Controlled Current Source** : Gerilim kontrollü akım kaynağı
- **Current-Controlled Voltage Source** : Akım kontrollü gerilim kaynağı
- **Current-Controlled Current Source** : Akım kontrollü akım kaynağı
- **+Vcc Voltage Source** : +Vcc gerilim kaynağı (5 volt)
- **+Vdd Voltage Source** : +Vdd gerilim kaynağı (15 volt)
- **Clock** : Saat (Kare dalga üretici)
- **AM Source** : Genlik modülasyonu (Amplitude modulation) kaynağı
- **FM Source** : Frekans modülasyonu (Frequency modulation) kaynağı
- **Voltage-Controlled Sine Wave Oscillator** : Gerilim kontrollü sinüs dalga osilatörü
- **Voltage-Controlled Triangle Wave Oscillator** : Gerilim kontrollü üçgen dalga osilatörü
- **Voltage-Controlled Square Wave Oscillator** : Gerilim kontrollü kare dalga osilatörü
- **Controlled One-Shot** : Kontrollü tek darbe (Darbe genişliği ayarlanabilen darbe üretici)
- **Piecewise Linear Source** : Parça parça lineer (doğrusal) kaynak (Bir txt uzantılı dosyadan alacağı zaman ve gerilim değerlerine göre sinyal üretir).
- **Voltage-Controlled Piecewise Linear Source** : Gerilim kontrollü parça parça doğrusal kaynak
- **Frequency-Shift-Keying Source** : Frekans kaydırmalı anahtarlama kaynağı
- **Polynomial Source** : Çokterimli (polinom) kaynak
- **Nonlinear Dependent Source** : Doğrusal olmayan bağımlı kaynak

### 3.2. Basic (Temel)

Şekil 11’de görülen malzeme kutusunda temel elektriksel devre elemanları bulunur. Aşağıda bu elemanların sırasıyla açıklaması verilmiştir.



Şekil 11

- **Connector** : Bağlayıcı
- **Resistor** : Direnç
- **Capacitor** : Kondansatör, kapasitör
- **Inductor** : Bobin, indüktör
- **Transformer** : Transformatör, trafo
- **Relay** : Röle
- **Switch** : Anahtar
- **Time-Delay Switch** : Zaman gecikmeli anahtar
- **Voltage-Controlled Switch** : Gerilim kontrollü anahtar
- **Current-Controlled Switch** : Akım kontrollü anahtar
- **Pull-Up Resistor** : Yukarı çekme direnci (Bir ucu pozitif kaynağa bağlı olan direnç)
- **Potentiometer** : Potansiyometre, ayarlı direnç
- **Resistor Pack** : Direnç kutusu (Eşit değerde 8 bağımsız direnç içerir)
- **Voltage Controlled Analog Switch** : Gerilim kontrollü analog anahtar
- **Polarized Capacitor** : Kutuplu kondansatör
- **Variable Capacitor** : Değişken (ayarlı) kondansatör
- **Variable Inductor** : Ayarlı bobin
- **Coreless Coil** : Çekirdeksiz bobin
- **Magnetic Core** : Manyetik çekirdek
- **Nonlinear Transformer** : Doğrusal olmayan transformatör

### 3.3. Diodes (Diyotlar)

Şekil 12’de görülen kutuda çeşitli yarıiletken elemanlar bulunmaktadır.

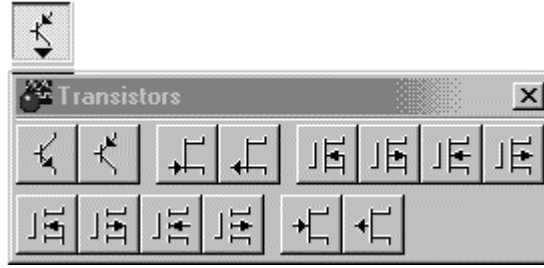


Şekil 12

- **Diode** : Diyot
- **Zener Diode** : Zener diyot
- **LED** : LED (Light Emitting Diode), ı ışık yayan diyot
- **Full-Wave Bridge Rectifier** : Tam dalga köprü doğrultucu
- **Shockley Diode** : Şotki diyot
- **Silicon Controlled Rectifier** : Silikon kontrollü doğrultucu, tristör
- **Diac** : Diyak
- **Triac** : Triyak

### 3.4. Transistors (Transistörler)

Şekil 13’de görülen malzeme kutusunda çeşitli transistör türleri bulunur.



Şekil 13

- **NPN Transistor** : NPN transistör
- **PNP Transistor** : PNP transistör
- **N-Channel JFET** : N kanallı JFET
- **P-Channel JFET** : P kanallı JFET
- **3-Terminal Depletion N-MOSFET** : 3 uçlu kanal ayarlamalı N-MOSFET
- **3-Terminal Depletion P-MOSFET** : 3 uçlu kanal ayarlamalı P-MOSFET
- **4-Terminal Depletion N-MOSFET** : 4 uçlu kanal ayarlamalı N-MOSFET
- **4-Terminal Depletion P-MOSFET** : 4 uçlu kanal ayarlamalı P-MOSFET
- **3-Terminal Enhancement N-MOSFET** : 3 uçlu kanal oluşturmali N-MOSFET
- **3-Terminal Enhancement P-MOSFET** : 3 uçlu kanal oluşturmali P-MOSFET
- **4-Terminal Enhancement N-MOSFET** : 4 uçlu kanal oluşturmali N-MOSFET
- **4-Terminal Enhancement P-MOSFET** : 4 uçlu kanal oluşturmali P-MOSFET
- **N Channel GaAsFET** : N kanallı GaASFET
- **P Channel GaAsFET** : P kanallı GaASFET

### 3.4. Analog ICs (Analog IC’ler)

Şekil 14’de çeşitli analog entegre devreler görülmektedir.

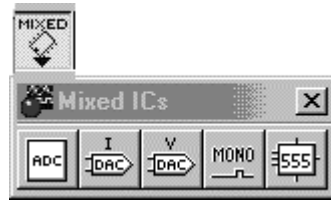


Şekil 14

- **3-Terminal Opamp** : 3 uçlu Opamp (İşlemsel kuvvetlendirici)
- **5-Terminal Opamp** : 5 uçlu Opamp
- **7-Terminal Opamp** : 7 uçlu Opamp
- **9-Terminal Opamp** : 9 uçlu Opamp
- **Comparator** : Karşılaştırıcı
- **Phase-Locked Loop** : Faz kilitlemeli çevrim

### 3.5. Mixed ICs (Karışık IC'ler)

Şekil 15'de çeşitli entegre devreler görülmektedir.

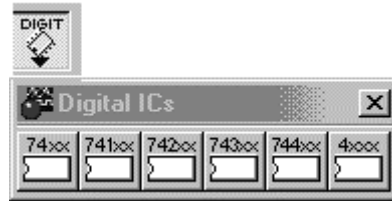


Şekil 15

- **Analog-to-Digital Converter** : Analog-dijital dönüştürücü (ADC)
- **Digital-to-Analog Converter (I)** : Dijital-analog dönüştürücü (I) (DAC)
- **Digital-to-Analog Converter (V)** : Dijital-analog dönüştürücü (V) (DAC)
- **Monostable Multivibrator** : Tek kararlı multivibratör
- **555 Timer** : 555 zamanlayıcı

### 3.6. Digital ICs (Dijital IC'ler)

Şekil 16'da çeşitli dijital entegre şablonları bulunur. Bunlar yardımıyla 7447, 74145, 74240 gibi entegreler seçilebilir.

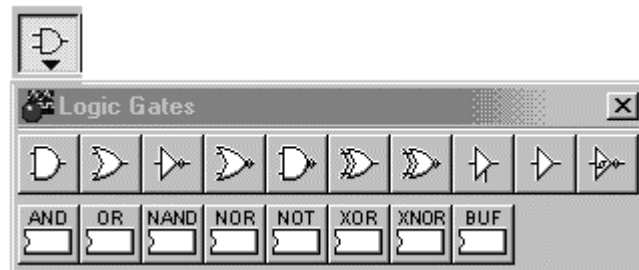


Şekil 16

- **74XX Template** : 74XX şablonu
- **741XX Template** : 741XX şablonu
- **742XX Template** : 742XX şablonu
- **743XX Template** : 743XX şablonu
- **744XX Template** : 744XX şablonu
- **4XXX Template** : 4XXX şablonu

### 3.7. Logic Gates (Lojik Kapılar)

Şekil 17'de lojik devrelerde kullanılan lojik kapıların sembolleri görülmektedir.



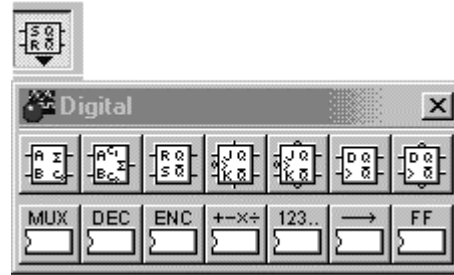
Şekil 17

- **2-Input AND Gate** : 2 girişli VE kapısı
- **2-Input OR Gate** : 2 girişli VEYA kapısı
- **NOT Gate** : DEĞİL kapısı

- **2-Input NOR Gate** : 2 girişli VEYA DEĞİL kapısı
- **2-Input NAND Gate** : 2 girişli VE DEĞİL kapısı
- **2-Input XOR Gate** : 2 girişli ÖZEL VEYA kapısı
- **2-Input XNOR Gate** : 2 girişli ÖZEL VEYA DEĞİL kapısı
- **Tristate Buffer** : 3 durumlu tampon
- **Buffer** : Tampon
- **Schmitt Triggered Inverter** : Schmitt tetiklemeli tersleyen
- **AND Gates** : VE kapıları
- **OR Gates** : VEYA kapıları
- **NAND Gates** : VE DEĞİL kapıları
- **NOR Gates** : VEYA DEĞİL kapıları
- **NOT Gates** : DEĞİL kapıları
- **XOR Gates** : ÖZEL VEYA kapıları
- **XNOR Gates** : ÖZEL VEYA DEĞİL kapıları
- **BUFFERS** : Tamponlar

### 3.8. Digital (Dijital)

Şekil 18’de çeşitli dijital entegre devre elemanları görülmektedir.



Şekil 18

- **Half-Adder** : Yarım toplayıcı
- **Full-Adder** : Tam toplayıcı
- **RS Flip-Flop** : RS flip flop
- **JK Flip-Flop with Active High Asynch Inputs** : Aktif yüksek asenkron girişli JK flip flop
- **JK Flip-Flop with Active Low Asynch Inputs** : Aktif düşük asenkron girişli JK flip flop
- **D Flip-Flop** : D flip flop
- **D Flip-Flop with Active Low Asynch Inputs** : Aktif düşük asenkron girişli D flip flop
- **Multiplexers** : Bilgi seçiciler, Çoğullayıcılar (Mux)
- **Demultiplexers** : Bilgi dağıtıcılar, Yol çoklayıcılar (Demux)
- **Encoders** : Kodlayıcılar
- **Arithmetic** : Aritmetik
- **Counters** : Sayıcılar
- **Shift Registers** : Kaydırmalı kaydediciler
- **Flip-Flops** : Flip flop’lar

### 3.9. Indicators (Göstergeler)

Şekil 19’da, elektronik devrelerde kullanılan bazı sesli ve ışıklı göstergeler görülmektedir.



Şekil 19



- **Voltmeter** : Voltmetre
- **Ammeter** : Ampermetre
- **Bulb** : Ampul
- **Red Probe** : Kırmızı prob, lojik sinyal seviye gösterici
- **Seven-Segment Display** : Yedi segmentli display
- **Decoded Seven-Segment Display** : Kod çözücülü yedi segmentli display
- **Buzzer** : Buzer, belirli frekansta ses üreten devre elemanı
- **Bargraph Display** : Çubukgrafik display
- **Decoded Bargraph Display** : Kod çözücülü çubukgrafik display

### 3.10. Controls (Kontroller)

Şekil 20’de görülen kontrol elemanlarının adları aşağıdaki verilmiştir.



Şekil 20

- **Voltage Differentiator** : Gerilim türev alıcı
- **Voltage Integrator** : Gerilim integral alıcı
- **Voltage Gain Block** : Gerilim kazanç bloğu
- **Transfer Function Block** : Transfer fonksiyon bloğu
- **Multiplier** : Çarpıcı
- **Divider** : Bölücü
- **Three-Way Voltage Summer** : 3 yollu gerilim toplayıcı
- **Voltage Limiter** : Gerilim sınırlandırıcı
- **Voltage Controlled Limiter** : Gerilim kontrollü sınırlandırıcı
- **Current Limiter Block** : Akım sınırlandırıcı blok
- **Voltage Hysteresis Block** : Gerilim histeresiz bloğu
- **Voltage Slew Rate Block** : Gerilim eğim oranı bloğu (Sinyalin yükselme ve düşme hızını ayarlar)

### 3.11. Miscellaneous (Çeşitli)

Şekil 21’de simülasyon sırasında kullanılacak çeşitli elemanlar görülmektedir.



Şekil 21

- **Fuse** : Sigorta
- **Write Data** : Veri yazma (Simülasyon sonuçlarını ASCII dosyaya yazar)
- **Netlist Component** : Netlist elemanı (Üretici firmanın eleman modelini .CIR uzantılı bir dosya aracılığıyla devreye eklemek için kullanılır)
- **Lossy Transmission Line** : Kayıplı iletim hattı
- **Lossless Transmission Line** : Kayıpsız iletim hattı
- **Crystal** : Kristal
- **DC Motor** : Doğru akım motoru

- **Triode Vacuum Tube** : Triyod vakum tüpü
- **Boost (Step-Up) Converter** : Yükseltici konvertör
- **Buck (Step-Down) Converter** : Düşürücü konvertör
- **Buck-Boost Converter** : Düşürücü-yükseltici konvertör
- **Textbox** : Metin kutusu
- **Title Block** : Başlık bloğu (Başlık, tarih, isim yazmak için kullanılır)

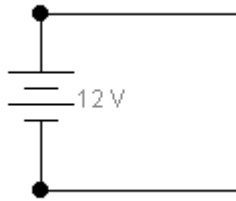
#### 4. ELEKTRONİK DEVRE ÇİZİMİ İÇİN ÖN BİLGİLER

Bu bölümde, devre çizimi sırasında yapılan hatalı bağlantılardan, ayarlı elemanlardan ve eleman modellerinin nasıl seçileceğinden bahsedilecektir.

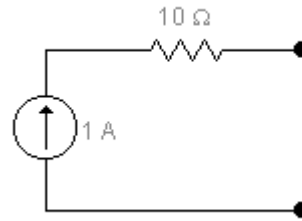
##### 4.1. Hatalı Bağlantılar

Aşağıda, devre çizimi sırasında yapılan yanlış bağlantıların birkaç tanesi verilmiştir. Bu tip hatalı bağlantılar yapıldığında simülasyon başlatılamaz ve ekranda hata yapıldığına dair bir uyarı mesajı görülür.

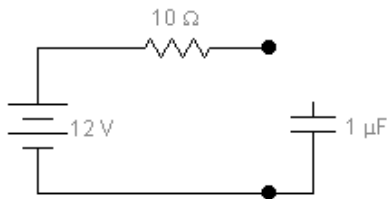
- Gerilim kaynağı kısa devre yapılmaz.



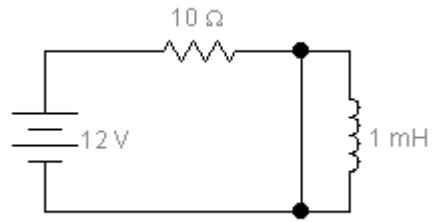
- Akım kaynağı açık devre yapılmaz.



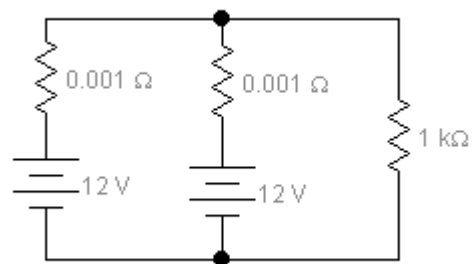
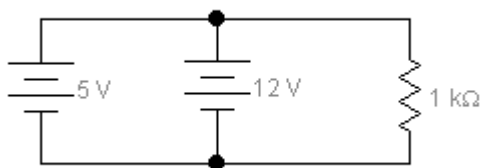
- Kondansatör açık devre yapılmaz.



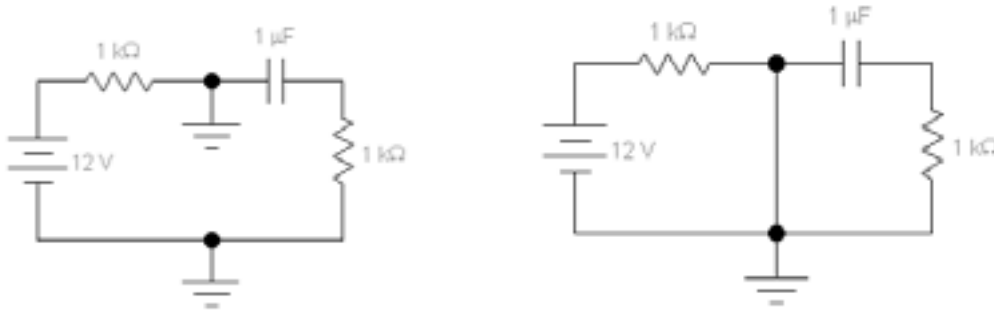
- Bobin kısa devre yapılmaz.



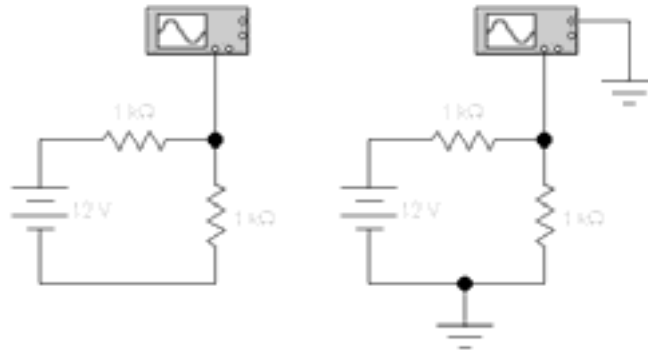
- Farklı değerli gerilim kaynakları paralel bağlanmaz. Aynı değerli olanlar küçük değerli seri bir dirençle birlikte paralel bağlanabilir.



- Bir devrede birden fazla toprak bağlantısı bulunmamalıdır. Aksi taktirde toprak noktaları birbirine fiziksel olarak bağlı duruma gelir. Buna göre alttaki iki devre de aynıdır.



- Osiloskop bağlantısı için devrede mutlaka bir toprak bağlantısı olmalıdır. Devrenin bir ucuna veya osiloskobun sağ üst köşesindeki uca toprak bağlantısı yapılmadan simülasyon başlatılırsa hata oluşur. Bunun için her zaman alttaki şeklin sağındaki gibi bir bağlantı şekli oluşturulmalıdır.



#### 4.2. Ayarlı Elemanlar



Şekil 22

Şekil 22’de ayarlı direnç, kondansatör ve bobin elemanları görülmektedir. Ayarlı elemanlar üzerinde sırasıyla hangi tuşla kontrol edileceğini belirten bir isim (R, L veya C), elemanın toplam değeri (1kΩ, 10μF veya 10mH) ve o andaki değeri % şeklinde yazılıdır (%50, %40 veya %23). Elemanların değeri klavye üzerindeki belirli tuşlara basılarak değiştirilir. Bir elemanın değerini azaltmak için R, L veya C tuşuna basılır. Bu isim Şekil 23’deki pencerelerdeki Key kısmında belirtilir. Elemanın değerini artırmak için ise Shift-R, Shift-C ve Shift-L tuşlarına basılır. Şekil 23’de görülen Setting ve Increment ayarları ise başlangıç değeri ve artım miktarını ayarlamak için kullanılır.

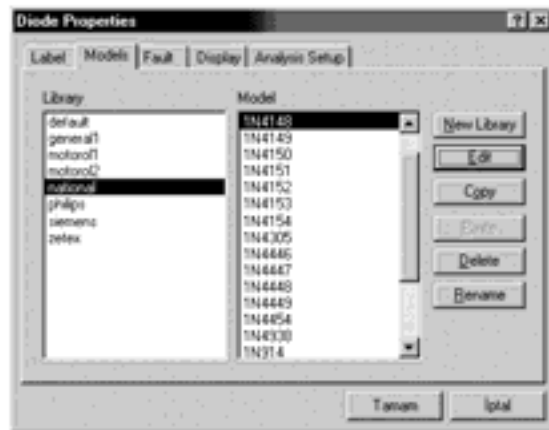
Potentiometer Properties					Variable Capacitor Properties					Variable Inductor Properties				
Label	Value	Fault	Display		Label	Value	Fault	Display		Label	Value	Fault	Display	
Key:	[R]				Key:	[C]				Key:	[L]			
Resistance (R):	1	kΩ			Capacitance (C):	10	μF			Inductance (L):	10	mH		
Setting:	50	%			Setting:	40	%			Setting:	23	%		
Increment:	5	%			Increment:	15	%			Increment:	3	%		

Şekil 23

### 4.3. Eleman Modelleri

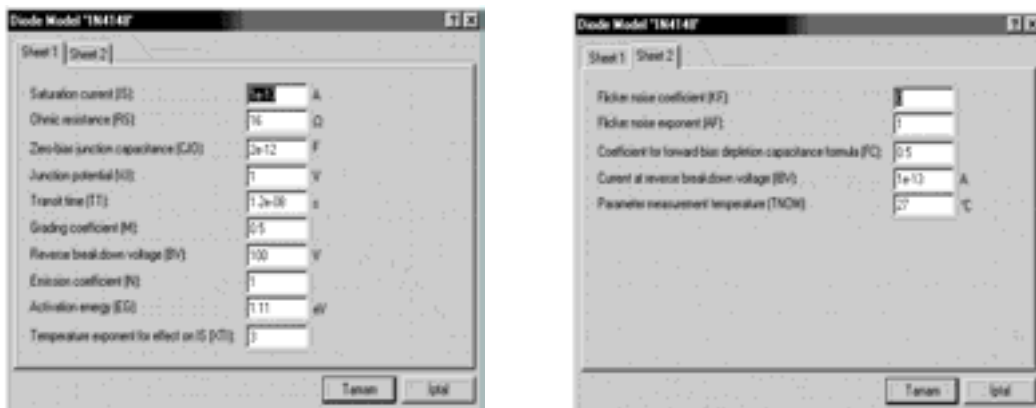
EWB programında devre çizimi yapılırken, devrede kullanılan elemanların tipi ile birlikte modeli de seçilebilmektedir. Bir eleman için uygun parça numarası kullanılarak tasarımın gerçeğe uygunluğu sağlanır. Örneğin diyot, transistör, opamp gibi elemanlardan oluşan bir devrede eğer model seçimi yapılmazsa, program bu elemanların ideal olduğunu varsayarak simülasyon yapar. Ancak, bu şekilde simülasyon yapılması gerçeği tam olarak yansıtmaz. Çünkü pratikte her bir devre elemanının kendine özgü pek çok parametresi vardır. Ve bu parametreler dikkate alınmadan ideal şartlar için simülasyon yapıldığında, elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasında mutlaka farklılıklar meydana gelir. Bir devre elemanının en doğru parametreleri için üretici firma kataloglarından yararlanılmalıdır. EWB programının eleman kütüphanesindeki değerler bazen yanlış olabilmektedir. Bu tür durumlarda <http://www.electronicworkbench.com> adresinden bilgi alınabilir.

Aşağıda diyot ve transistör için model seçiminin nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Bir diyodun modeli seçilmek istendiğinde diyot elemanına mouse ile çift tıklanır. Bu durumda şekil 24’de görülen pencere açılır. Bu pencerede Models seçeneğine tıklanır. Library kısmındaki kütüphanelerden uygun olan biri işaretlenir. Bu durumda Library penceresinin yanındaki Model penceresinde elemanın parça numaraları görülür. Bunlardan biri seçilip Tamam butonuna basılmasıyla model seçimi tamamlanmış olur.



Şekil 24

Eğer modeldeki parametrelerin değiştirilmesi veya okunması gerekiyorsa Edit butonuna basılır. Bu durumda şekil 25’de görünen pencere açılarak Sheet 1 ve Sheet 2 adlı sayfalarda elemana ait bütün parametreler görünür. Bu parametrelerin değiştirilmesi gerekiyorsa, değişiklikler mutlaka üretici firmanın bilgilerine göre yapılmalıdır. Rasgele yazılan değerler, eleman modelinin yanlış olmasına ve simülasyonun hatalı yapılmasına neden olur.

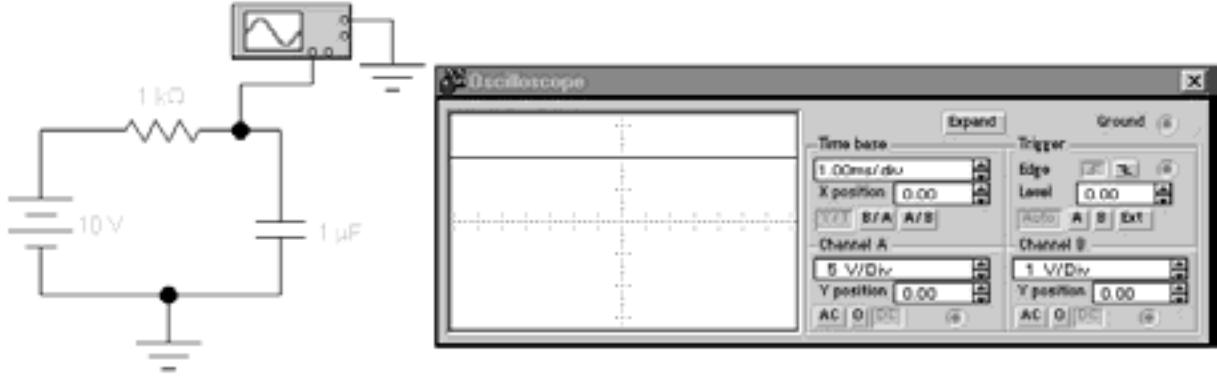


Şekil 25

## 5. ANALİZ TÜRLERİ

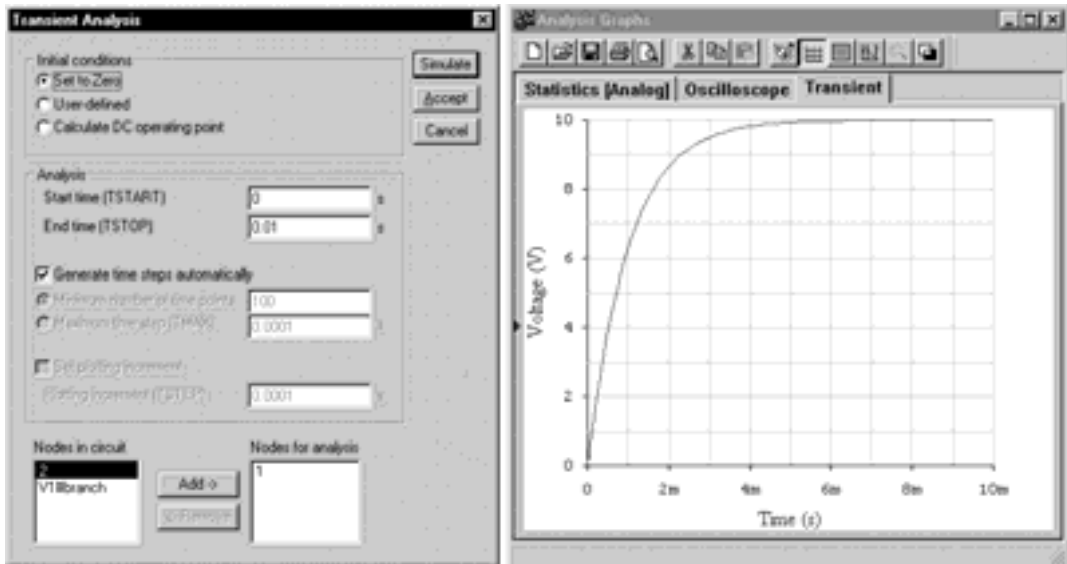
### 5.1. Sürekli ve Geçici Rejim Cevabı

Bir devrenin geçici durum cevabını elde etmek için simülasyon başlatılmadan önce bazı ayarlamalar yapılması gerekir. Örneğin seri bir RC devresinde kondansatörün şarj eğrisini elde etmek için şekil 26'daki devre çizilir ve gerekli osiloskop bağlantısı yapılırsa, osiloskop ekranında 10 volt değerinde bir doğru gerilim görünür. Bilindiği gibi bu, sürekli durum cevabıdır.



Şekil 26

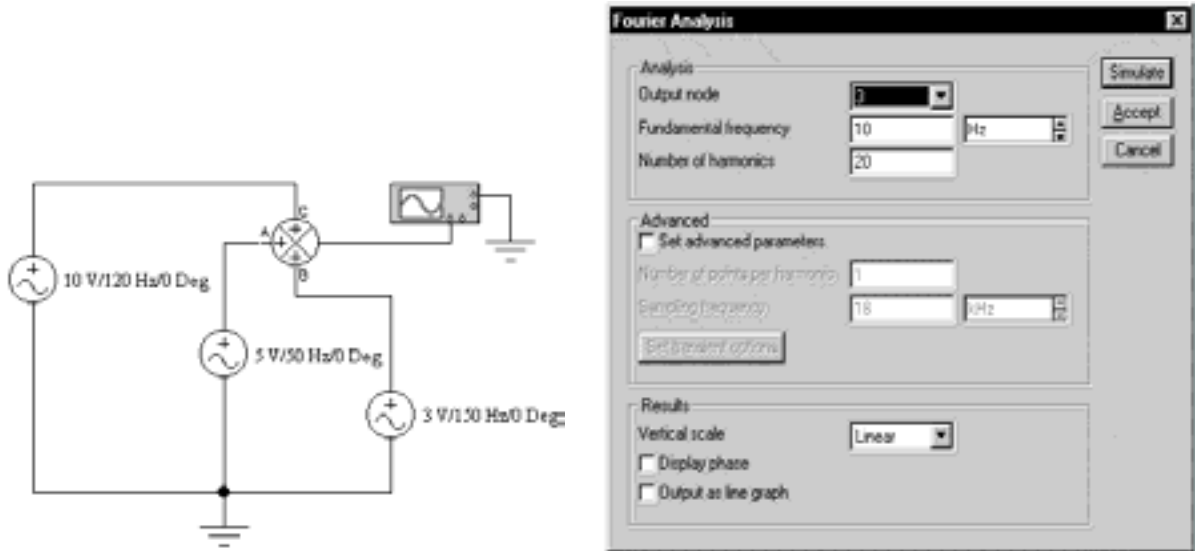
Geçici rejim cevabını elde etmek için Analysis menüsünden Transient seçeneğine mouse ile tıklanır. Bu durumda şekil 27'nin sol kısmında görülen Transient Analysis penceresi açılır. Bu pencerede Initial conditions (başlangıç şartları) için Set to Zero seçeneği işaretlenir. (Eğer Calculate DC operating point seçeneği işaretlenirse geçici rejim cevabı görülemez). Analysis kısmında simülasyonun başlangıç ve bitiş süreleri (TSTART ve TSTOP) belirtildikten sonra Nodes in Circuit kısmına, geçici rejim cevabı istenen düğümlerin numarası eklenir. (Yukarıdaki örnek için, sadece kondansatörün üst ucunun bağlı olduğu 1 nolu düğüm seçilmiştir. Hangi düğümün hangi elemana ait olduğunu anlamak için mouse, devre şeması üzerindeki • bağlantı elemanının üzerine getirilir. Bu durumda ekranın alt kısmında Connector: Node 1 şeklinde bir yazı görülür). Bu ayarlardan sonra simulate butonuna basılır. Bu esnada şekil 27'nin sağ kısmında görülen Analysis Graphs penceresi otomatik olarak açılarak geçici rejim cevabını gösterir. Gerekli ölçümlerin yapılabilmesi için Analysis Graphs menüsü üzerindeki butonlar kullanılır.



Şekil 27

## 5.2. Fourier Analizi

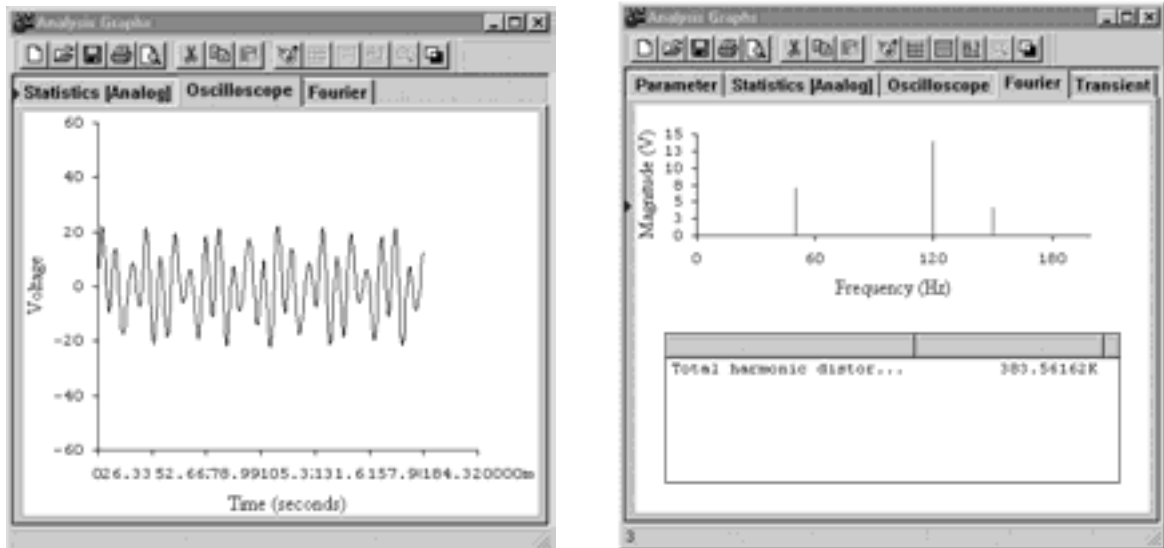
Bu analiz yardımıyla zamana bağlı bir işaretin frekans spektrumu çizdirilebilmektedir. Böylece işaretin hangi harmoniklere sahip olduğu ve bu harmoniklerin genliklerinin ne kadar olduğu görülebilmektedir. Bir devrenin fourier analizini yapmak için önce devre çizilir. Daha sonra Analysis menüsünden Fourier seçeneğine mouse ile tıklanır. Bu durumda şekil 28'in sağ kısmındaki pencere açılır. Bu pencereye çıkış düğümünün numarası, temel frekans değeri (eğer farklı frekanslı 1'den fazla kaynak varsa frekansların en küçük ortak çarpan değeri) ve harmonik sayısı girilir. Son olarak simulate butonuna basılarak grafik ekranda sonuç görülür.



Şekil 28

Örnek olarak şekil 28'in sol kısmındaki devre için fourier analizi yapılmıştır. Devrede 3 farklı frekanstaki sinüsoidal işaretin bir 3 yollu gerilim toplayıcı ile toplandığı görülmektedir. Çıkış ucuna ise osiloskop bağlıdır. Fourier analizini yapmak için Fourier Analysis penceresinde fundemental frequency kısmına 10 Hz yazılmış ve harmonik sayısı 20 olarak seçilmiştir. Böylece 200Hz'e kadar olan frekans bileşenleri görülebilecektir.

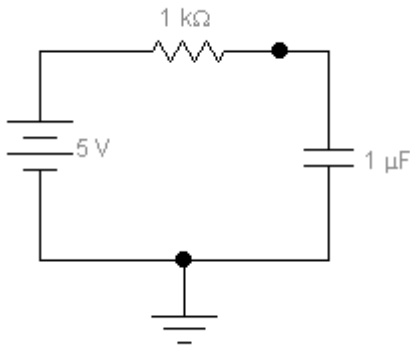
Şekil 29'daki grafik penceresinde zaman cevabı ve fourier analiz sonucu görülmektedir. Fourier analizi sonuçlarına bakıldığında 50Hz, 120Hz ve 150 Hz'de pik'ler oluştuğu ve bu pik'lerin genliklerinin sinüsoidal işaretlerin maksimum değerlerine eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 29

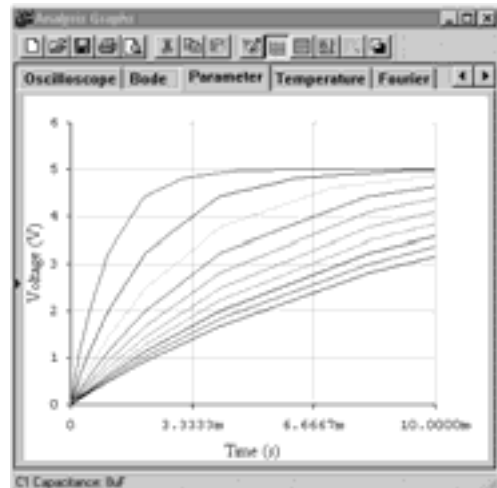
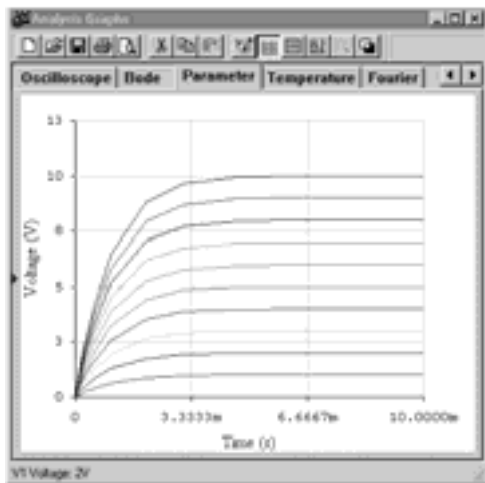
### 5.3. Parametre Değişimi Analizi

Bu analiz yardımıyla bir devre elemanının değerindeki değişimin, devrenin çalışmasını nasıl etkileyeceği gösterilir. Bu analizi yapabilmek için devre çizildikten sonra Analysis menüsünden Parameter Sweep seçeneğine mouse ile tıklanır. Bu durumda şekil 30'un sağ kısmında görülen pencere açılır. Bu pencerede hangi elemanın hangi parametresinin değiştirileceği, parametrenin başlangıç ve son değeri, tarama tipi, değerin artım miktarı ve çıkış düğüm numarası belirtilir. Örneğin kaynağın gerilim değeri, direncin toleransı veya kondansatörün kapasitesi gibi seçimler yapılabilir. Bu sayede bir devre elemanının değerini değiştirip simülasyonu yeniden tekrarlamak yerine, otomatik olarak değer değiştirilerek sonuçlar grafik ekranda toplu halde gösterilir. Bu da devrenin parametre değişimlerinden nasıl etkilendiğini kolayca anlamaya yardımcı olur.



Şekil 30

Yukarıdaki seri RC devresinde kaynak geriliminin 1 ile 10 V arasında 1'er volt adımla değişmesi durumunda kondansatör geriliminin bu değişimden nasıl etkilendiği geçici rejim analizi yapılarak şekil 31'in sol kısmında gösterilmiştir. R ve C çarpımı değişmediği için kondansatörün dolma süresinin aynı kaldığı, fakat şarj olduğu gerilim değerinin değiştiği görülmektedir. Şekil 31'in sağ kısmında ise kondansatör kapasitesinin 1 ile 10  $\mu\text{F}$  arasında 1'er  $\mu\text{F}$  adımla değişmesi durumunda kondansatör geriliminin bu değişimden nasıl etkilendiği gösterilmiştir. R ve C çarpımı her adımda farklı bir değer aldığı için kondansatörün şarj süresinin her bir durumda değiştiği görülmektedir.



Şekil 31