

## DENEY NO: 10

### SPICE KULLANARAK FİLTRE DEVRELERİNİN ZAMAN VE FREKANS DOMENİNDE ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

#### Deneyin Amacı:

Pasif ve aktif filtre devrelerinin *Orcad PSpice A/D* kullanarak simülasyonu ve dışarıdan verilen bazı uyarılara karşı bu devrelerin yanıtlarının programa hesaplatılıp çizdirilmesi suretiyle simülasyon yapmanın, devre kurmaya göre avantajları ve dezavantajlarının öğrenilmesi.

#### Spice Hakkında Genel Bilgiler:

Bilgisayarla devre simülasyonu, elektronik devrelerin ve sistemlerin tasarımında en önemli adımlardan biridir. Bilgisayar destekli tasarımın veya elektronik devrelerin bilgisayar ile simüle edilmesinin sağladığı en büyük yarar, tasarımcının laboratuvar ortamında elde etmesinin uzun süre alacağı sonuçların simülasyon ile kolayca görebilmesidir. Devre tasarımcısı, bilgisayar kullanarak gerçek bir devrede ölçü probunun yaptığı gibi devreyi yüklemeksizin akım ve gerilim dalga şekillerini ve frekans cevabını izleyebilir; doğru gerilim seviyelerini bozmadan bir geribesleme çevrimini açabilir, bir deney plaketinin getireceği parazitik etkiler olmaksızın elektronik bir sistemin yüksek frekanslardaki davranışını inceleyebilir. Başka bir ifadeyle tasarımcı, laboratuvar çalışmalarına başlamadan, tasarladığı devrenin davranışını bilgisayar yardımıyla inceleme olanağı elde etmektedir.

SPICE(Simulation Package with Integrated Circuit Emphasis) ilk olarak Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesinde geliştirilmiştir. Analog devre simülasyonu açısından dünya standardı olan programın birçok ticari türeviden bir tanesi MicroSim şirketince yapılan PSpice programıdır. Daha sonraları PSpice tabanlı bir çok görsel devre tasarım programları geliştirilmiştir.

Spice simülasyonu için, analizi yapılacak devrenin giriş dosyası üzerinden tanımlanması gerekir. Devrenin programa tanıtılabilmesi için düğümlerin numaralanması ve elemanların hangi düğümlerin arasında bulunduğu belirtilmesi gerekir. Düğüm numaraları keyfi olarak verilebilir. Referans düğümü "0" ile gösterilmelidir.

SPICE programında üç değişik tipte satır bulunmaktadır: **ELEMAN SATIRI**, **KOMUT SATIRI** ve **YORUM SATIRI**.

**ELEMAN SATIRLARI:** Belirli bir devredeki bir devre elemanını tanımlar. O halde her bir devre elemanı için bir komut satırı mevcuttur. Bir devre elemanını tanımlamak için komut satırı şu bilgileri içermelidir: eleman tipi için gerekli sembol, o devredeki belirli ismi, devredeki konumu ve değeri(mevcutsa parametreleriyle birlikte örn. bir transistör varsa).

Örneğin, bir direnç elemanı için komut satırı R (veya r) sembolü ile başlamalıdır. Daha sonra devredeki belirli ismi şu şekilde eklenebilir:  $R_{yük}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  (veya  $r_{yük}$ ,  $r_1$ ), vs. Örnek:

10Ω, 10kΩ veya 10MΩ değerinde üçüncü ve beşinci düğümler arasına bağlanmış  $R_{L1}$  direncini tanımlayan komut satırı yazılsın.

Bu satırlar her bir direnç değeri için şu şekilde yazılmalıdır:

RL1 3 5 10

RL1 3 5 10k

RL1 3 5 1meg

Bu satırlarda R eleman tipini belirtirken L1 elemanın o devredeki belirli ismini, 3. ve 5. düğümler devredeki konumunu, 10, 10k ve 10meg ise eleman değerini belirtir. Elemanın birimini yani ohm(Kondansatör için F(Farad) veya endüktans için H(Henry)) ise isteğe bağlıdır.

**KOMUT SATIRLARI:** Bir '.' (nokta) sembolü ile başlar. Hangi tip analiz yapılacağını belirleyen komutlar komut satırlarına örnek olarak gösterilebilirler:

.TRAN 1ms 50ms ; zamanda 50 ms boyunca analiz yapar.(Değişken zamandır.)Her 1ms'de bir çıkış dosyasına(.out) veri gönderir;

.AC LIN 11 100Hz 200Hz ; frekansta 100Hz'den 200Hz'e analiz yapar.(Değişken frekanstır.) Bu frekans aralığında 11 nokta alır.

.PROBE ; grafik işlemcisini çağırır.

.END ; programın bittiğini gösterir.

**YORUM SATIRLARI:** Bir '\*' işareti başlar. Kaynak dosyaları başlık satırı olan özel bir komut satırı ile başlar, örn. \*Toplama devresi simülasyonu

Simülasyon yapıldığında SPICE programındaki hesap sonuçları dosya\_adi.dat dosyasına konur. Bu dosya SPICE tarafından varsayılan olarak oluşturulur. Eğer sonuçlar saklanmak isteniyorsa SPICE tarafından oluşturulan dosya\_adi.dat ve dosya\_adi.cir dosyaları alınmalıdır.

#### **Ölçek ve birim kısaltmaları:**

Büyük veya küçük sayıları ifade etmek için standart metrik kısaltmalar PSpice programında değiştirilmiştir. Çünkü PSpice programı yapısı itibariyle büyük küçük harfe duyarlı değildir. Aynı zamanda Latin harfleri de yapısında mevcut değildir. Mesela standartta  $10^6$  sayısı için Mega(M),  $10^{-3}$  sayısı için mili(m) kullanılır. Fakat PSpice'ta küçük büyük harf ayrımı olmadığı için mega(meg) kısaltması kullanılmıştır. Aşağıda PSpice'ta kullanılan bazı kısaltmalar verilmiştir.

F	femto	$10^{-15}$	<b>V:</b> Volt
P	pico	$10^{-12}$	<b>A:</b> Amper
N	nano	$10^{-9}$	<b>Hz:</b> Hertz
U	micro	$10^{-6}$	<b>Ohm:</b> Ohm
M	mili	$10^{-3}$	<b>H:</b> Henry
K	kilo	$10^3$	<b>F:</b> Farad
MEG	mega	$10^6$	<b>DEG:</b> Derece
G	giga	$10^9$	<b>DEC:</b> Dekad
T	tera	$10^{12}$	

#### **Pasif Elemanlar (Direnc, Kondansatör, Endüktans):**

Pasif elemanlar belirtilirken, sırasıyla eleman **tipi için gerekli sembol**, **o devredeki belirli ismi, devredeki konumu**(Hangi düğümlere bağlı olduğu) ve **değeri** yazılır.

##### Direnc Elemanı :

R1            1        0        10K

##### Kapasite Elemanı:

C5            10        15        100U

Endüktans Elemanı:

L3            12        0        5M

**Bağımsız Kaynaklar:**DC Kaynak: “DC Analiz”, “Transient Analiz” gerçekleştirilirken kullanılır.

Gerilim veya Akım Kaynağı	Devredeki konumu	Türü	Değeri
V1	1    0	dc	5V
I5	3    4	dc	2A

AC Kaynak: Sadece “AC Analiz” yapılırken kullanılan kaynak türüdür. Analiz sırasında AC kaynağın frekansı belirlenen değerler arasında değiştirilerek devrenin frekans karakteristiği elde edilir. Bundan dolayı kaynağın frekansı kaynak özelliklerinde yoktur. Sadece kaynağın genlik değeri belirtilir.

Gerilim veya Akım Kaynağı	Devredeki konumu	Türü	Değeri
Vac2	3    6	ac	1V
Iac1	2    8	ac	2mA

Sinüsoidal Kaynak: “Transient Analiz” gerçekleştirilirken kullanılan kaynak türüdür. İstenilen frekansta ve genlikte sinüsoidal işaret üretilir. İşarete belli bir ofset değeri de eklenebilir.

Gerilim veya Akım Kaynağı	Devredeki konumu	SIN( $V_{offset}$ $V_{peak}$ Frekans)
V1	3    6	sin(0    5    1khz )
I10	2    8	SIN(0.5    1m    100meghz )

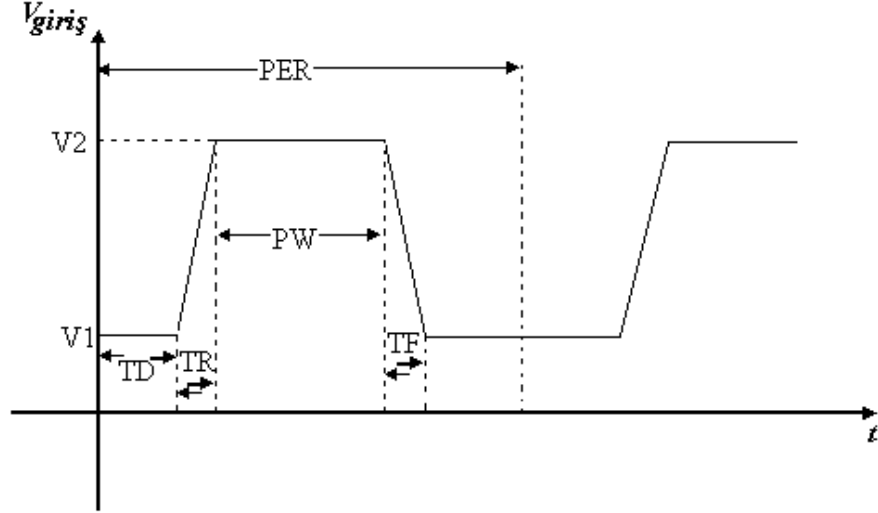
Darbe Kaynağı: “Transient Analiz” gerçekleştirilirken kullanılan kaynak türüdür. Kaynağın kullanılışı aşağıda verilmiştir.

Gerilim veya Akım Kaynağı	Devredeki konumu	PULSE( $V1$ $V2$ TD    TR    TF    PW    PER )
Vgiris	2    0	PULSE(0    5    0    1n    1n    0.5m    1m)
Iabc	2    8	PULSE(1m    3m    1u    1n    1n    0.5u    1u)

Burada,

- V1: Başlangıç değeri(volt)
- V2: Darbe değeri(volt)
- TD: gecikme zamanı(saniye)
- TR: Yükselme zamanı(saniye)
- TF: Düşme zamanı(saniye)
- PW: Darbe genişliği(saniye)
- PER: Periyot(saniye)

Bu özelliklerin neler olduğu Şekil 1 ile belirtilmiştir.



Şekil 1.

Darbe kaynağı ile periyodik olmayan işaretler de oluşturulabilir. Bunun için “*PER*” özelliği boş bırakılmalıdır. Birim basamak fonksiyonunu da darbe kaynağı ile elde edebiliriz. Bunun için “*PW*” özelliğini çok büyük seçilir, “*PER*” özelliği kullanılmaz ve simülasyon süresi de “*PW*” süresi kadar belirlenir.

### Yarıiletken Elemanlar

#### Diyot:

*D(isim) NA NK model ismi*

biçiminde tanımlanır. NA anot ucu, NK ise katod ucunun bağlandığı düğümlerdir. Diyot modeli Spice giriş dosyasında:

*.MODEL model ismi D(diyot model parametreleri)*

#### Bipolar Transistör (BJT):

*Q(isim) NC NB NE model ismi*

biçiminde tanımlanır.

NC kolektör, NB baz ve NE emetör ucunun bağlandığı düğümlerdir. Transistör modeli :

*.MODEL model ismi eleman tipi(NPN-PNP)(transistör model parametreleri)*

#### MOS Transistör:

*M(isim) ND NG NS NB model ismi L=... W=...*

ND drain, NG gate, NS source, NB bulk ucunun bağlandığı düğümleri gösterir. L kanal boyu, W ise kanal genişliğidir.

*.MODEL model ismi eleman tipi(NMOS-PMOS)(MOS transistör model parametreleri)*

### Analiz Komutları

#### DC Analiz:

*.DC başlangıç değer son değer adım*

şeklinde tanımlanır. Bu durumda giriş işareti, belirlenen başlangıç değerinden son değere kadar girilen adım aralıklarıyla tarama yapar. Her bir giriş gerilim değeri için devre analiz edilip sonuçlar kaydedilmektedir. Devrenin DC transfer karakteristiğinin çıkartılmasında kullanılır.

AC Analiz:

*lin*  
 .AC *oct* *nokta sayısı* *başlangıç değeri* *son değer*  
*dec*

şeklinde tanımlanır. Bu analizde değişken frekanstır. Analiz, frekansın belirli bir aralıkta lineer (lin) arttırılmasıyla yapılabileceği gibi oktav'lık (oct) veya dekat'lık (dec) artımlarla da yürütülebilir. Lineer değişimlerde toplam nokta sayısı, oktav'lık veya dekat'lık değişimlerde ise bir oktav veya dekat boyunca alınacak nokta sayısı verilir. AC tarama ile devrenin frekans cevabı çıkartılabilir ya da empedansın frekansla değişimi incelenebilir.

**Zaman Domeni Analizi**

.TRAN *Tstep* *Tstop*

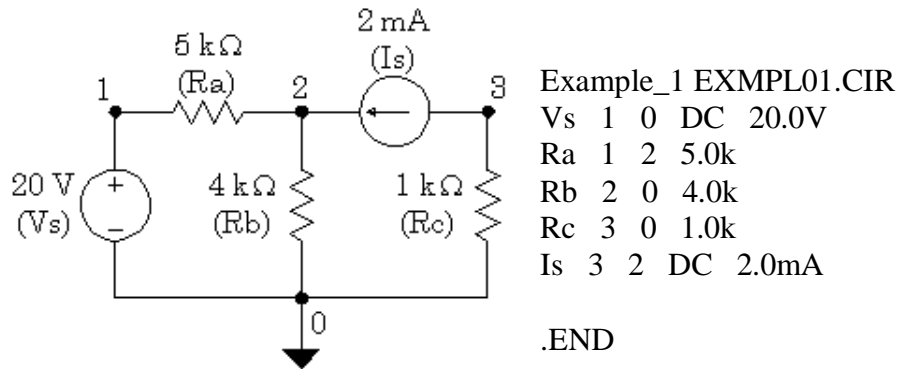
şeklinde tanımlanır. Zaman domeni analizi her zaman  $t = 0$  dan başlar ve kullanıcının verdiği adımlarla Tstop değerine kadar yapılır. Zaman domeni analizi ile devrelerin sinüsoidal ya da darbe gibi giriş işaretlerine karşılık verdiği çıkışlar incelenebilir (örn. doğrultucu, kırpıcı, kuvvetlendirici vb.)

**NOT :** Spice giriş dosyası her zaman ;

.END

ifadesiyle sonlandırılır..

Basit bir devrenin PSpice programının yazımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2.

Bu deneyde *Orcad PSpice* programı kullanılarak elektrik devrelerinin simülasyonu gösterilecektir. Bu programda görsel bir arayüz mevcuttur. Dolayısıyla herhangi bir giriş dosyası oluşturmadan görsel olarak devre şematığı "*Orcad Capture*" ile çizilir ve "*Orcad PSpice A/D*" ile simülasyonu gerçekleştirilir.

### Deney Hakkında Genel Bilgiler:

Elektriksel işaretin frekans spektrumuna biçim vermekte kullanılan devreye filtre denir. Filtrelerin elektronik ve haberleşme sistemlerinde çeşitli uygulamaları vardır. Bunlar, genellikle, sisteme uygulanan frekanslardan sadece istenenlerin geçirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Filtreler, kuvvetlendiriciler gibi çeşitli devrelerin; Sinüsoidal Sürekli Haldeki (SSH) devre fonksiyonlarının  $H(j\omega)$  ve bu fonksiyonlara ilişkin Genlik-Frekans ve Faz-Frekans karakteristiklerinin bilinmesi mühendislik açısından oldukça önemlidir. Çünkü bir devreye ilişkin devre fonksiyonunun frekansa bağlı olarak genlik ve faz değişimleri biliniyorsa, bu durumda, o devrenin girişine uygulanacak herhangi bir frekanstaki sinüsoidal işaretin, yine o devrenin çıkışından hangi genlik ve fazda elde edileceği de biliniyor demektir.

Sonuç olarak, bu diyagramlara bakarak bir devrenin herhangi bir frekansta ne şekilde davrandığı; yani bir kuvvetlendirme mi yoksa bir zayıflatma mı yaptığı; giriş işaretinin fazını çıkışta kaç derece değiştirdiği, kolaylıkla anlaşılabilir. Bir devreye ilişkin devre fonksiyonu incelenirken, frekans yanıtının geniş bir frekans aralığında (1Hz-1Ghz) incelenmesi gerekir. Faz ve genlik (kazanç) yanıtının oldukça geniş bir aralığı (0-10<sup>6</sup>) kapsamı nedeniyle, devre fonksiyonlarına ilişkin diyagramların lineer ölçek kullanarak çizilmesi yerine logaritmik ölçek kullanarak çizilmesi daha uygundur. Böylelikle geniş aralıkları kapsayan diyagramlar; küçük boyuttaki koordinat sistemleri içine sığdırılır. Logaritmik-genlik ve faz açısının, logaritmik-frekansa (log f) veya logaritmik açısal-frekansa (log  $\omega$ ) bağlı olarak değişimlerini gösteren diyagramlar ilk kez H.W.Bode tarafından sunulmuştur.

Transfer fonksiyonu  $H(s)$  olan bir devre  $u(t) = \sin(\omega t)$  sinüsoidal fonksiyonu ile uyarılırsa sürekli hal çıkışı  $y(t)$ ;

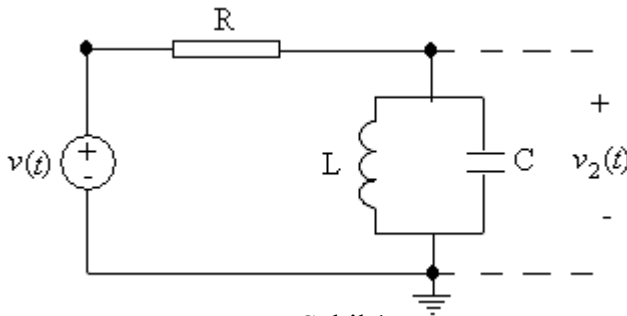
$$y(t) = |H(j\omega)| \sin[\omega t + \phi(\omega)]$$

biçiminde olacaktır. Burada  $|H(j\omega)|$  ve  $\phi(\omega)$  sırasıyla transfer fonksiyonunun genlik ve fazını göstermektedir. Bode diyagramlarında  $|H(j\omega)|$ 'nin logaritmik genlik değeri;

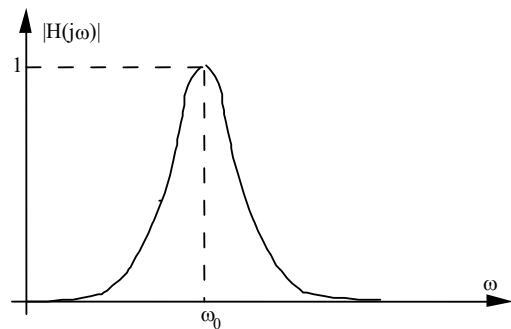
$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log_{10} |H(j\omega)| \text{ dB olarak tanımlanır ve birimi decibeldir (dB).}$$

$|H(j\omega)| - \omega$  eğrisinin biçimine göre filtreler şu temel gruplara ayrılır: alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren, band söndüren ve tüm geçiren.

Band geçiren pasif filtre devresi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1.



Şekil 2.

Şekil 1'deki devrede 1. düğüme K.A.Y uygulanarak  $v_2(t)$  için integro-diferansiyel denklem aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\frac{1}{R} [v(t) - v_2(t)] = C \frac{dv_2(t)}{dt} + \frac{1}{L} \int_0^t v_2(t) dt$$

Burada ilk koşul  $i_L(0) = 0$  olarak alınmıştır. Laplace dönüşümü uygulanırsa şu sonuç elde edilir:

$$\frac{1}{R} V(s) - \frac{1}{R} V_2(s) = CsV_2(s) + \frac{1}{Ls} V_2(s)$$

Buradan ise aşağıdaki transfer fonksiyonu ifadesi elde edilir:

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V(s)} = \frac{\frac{1}{RC} s}{s^2 + \frac{1}{RC} s + \frac{1}{LC}}$$

Tanım olarak aşağıdaki ifadeler verilirse:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad Q = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

Burada,  $\omega_0$  : Merkez Frekansı,  $Q$  : Kalite Faktörü

Yukarıdaki transfer fonksiyonu ifadesi

$$H(s) = \frac{\frac{\omega_0}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

haline gelir. Sinüzoidal sürekli hal için genlik ifadesi;

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\left[1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right]^{1/2}}$$

şeklindedir.  $|H(j\omega)|$ 'nin açısal frekansa göre grafiği Şekil 2'de verilmiştir.  $Q \gg 1$  için

bantgenişiği şu ifadeyle verilebilir;  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{1}{RC} = \frac{\omega_0}{Q}$

**Fourier Analizi:**

$v(t)$  periyodik bir dalga şekli olmak üzere şu şekilde Fourier serisine açılabilir:

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n)$$

Buradaki sembollerin anlamı aşağıda verilmiştir.

$V_0$ :  $v(t)$ 'nin DC değeri;

$V_n$ :  $n$ . harmoniğin genliği (birinci harmonik temel olarak da adlandırılır.);

$nf_0, n\omega_0$ :  $n$ . harmoniğin frekansıdır.  $f_0$  temel frekans,  $\omega_0$  ise temel açısal frekans olup

$$f_0 = \frac{1}{T_0}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

ile hesaplanır. Burada  $T_0$  temel periyot, başka bir deyişle  $v(t)$ 'nin periyodudur.

**Deney Öncesi Hazırlıklar:**

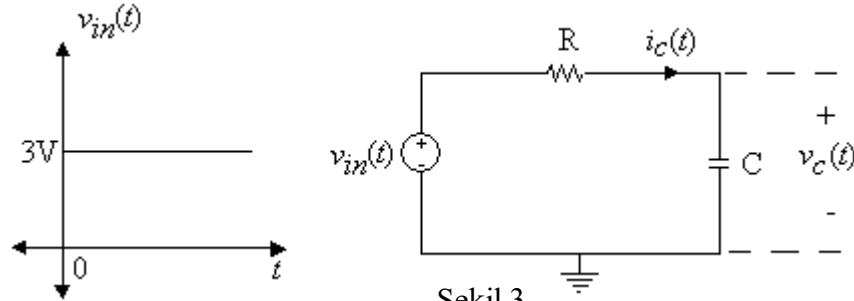
Deneyde bulunması istenilen değerleri verilen teorik bilgiden yararlanarak hesaplayınız.

**Deney Öncesi Hazırlık Raporunda İstenenler:**

1. Deney öncesi hazırlıklar bölümündeki istenenleri sırasıyla bulunuz ve düzenli bir şekilde raporunuza yazınız.
2. ORCAD 16.3 programını kullanarak deneyde gerçekleştireceğiniz bütün devrelerin simülasyonunu yapınız ve elde ettiğiniz simülasyon sonuçlarını grafiksel olarak raporunuza ekleyiniz ve sonuçları yorumlayınız.

**Deney Sırasında Yapılacaklar:**

1. a) Şekil 3 ile verilen devreyi “ORCAD Capture” programı ile oluşturunuz. Devrenin birim basamak cevabını elde etmek için girişe uygulanması gereken birim basamak fonksiyonunu ( $u(t)$ ), darbe kaynağı “VPulse” elemanını kullanarak elde ediniz. Devrenin zaman domeninde analizi gerçekleştirilecektir. Bunun için analiz türü olarak “Time domain(Transient)” seçiniz.  $v_c(t)$  çıkış gerilimi ve  $i_c(t)$  akımını zamana göre 10 saniye boyunca çizdiriniz ( $R = 1k\Omega$  ve  $C = 1mF$  alınacaktır). Kapasite elemanının R direnci üzerinden dolmasını baz alarak grafikler hakkında yorum yapınız.

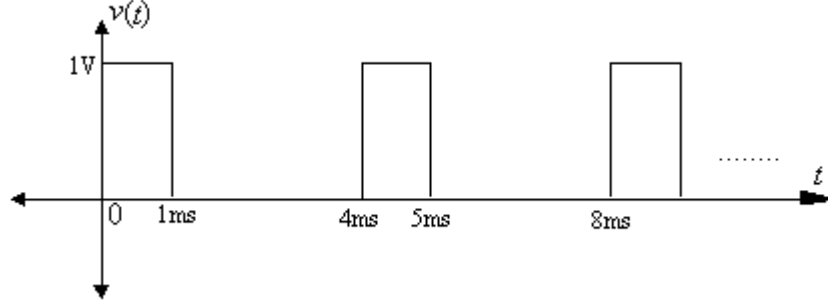


Şekil 3.

- b) Şekil 3'teki devrede “VPulse” kaynağı yerine “VAC” elemanı bağlayınız. Analiz türü olarak “AC Analiz” seçiniz. AC kaynağın tepe değeri 1V, frekans analiz aralığı 10Hz ile 1GHz arası olacaktır. Simülasyonu gerçekleştiriniz ve elde edilen frekans karakteristiğini yorumlayınız.  $\omega_c$  köşe frekansını grafik üzerinden bulunuz.



2. 1. adımda yapılanları çıkış gerilimini direnç üzerinden alarak tekrarlayınız.
3. Şekil 1’de verilen filtre devresini “*ORCAD Capture*” programında oluşturunuz. Giriş gerilimini Şekil 4’teki grafikte gösterildiği şekilde kare dalga olarak alınız. Bunun için darbe kaynağı “*VPulse*” elemanını kullanınız. Bu dalga şeklinin sadece temel harmoniğini geçiren bir filtre devresi tasarlanacaktır.



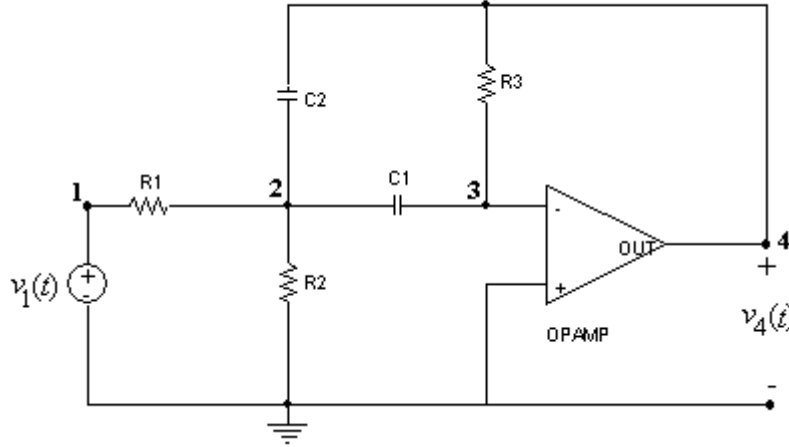
Şekil 4.

- a) Bu filtre için merkez frekansı  $f_0$  ve  $\omega_0$ ’ı bulunuz.  $L=1\text{mH}$  olarak  $C$ ’yi hesaplayınız.
- b)  $Q=10$  olması için  $R$  değerini hesaplayınız. Filtrenin bant genişliğini hesaplayınız.
- c)  $|V_2(j\omega)|$ ’nin frekansa göre grafiğini elde etmek için AC analiz yapınız.  $|V_2(j\omega)|$ ’yi frekansa göre çizdiriniz (Lineer ve logaritmik ölçekler kullanınız). Bu grafikten merkez frekansını ve bantgenişliğini ölçünüz ve a ve b’de hesapladığımız değerlerle karşılaştırınız.
- d) “*ORCAD Capture*” programını kullanarak aynı devre için ve tekrar Şekil 4’teki dalga şekli giriş olarak alınarak zaman domeninde analiz yapınız.  $v_2(t)$  ne tür bir dalga şekline sahiptir?  $v_2(t)$ ’nin grafiğine bakarak frekansını hesaplayınız. Neden saf sinüzoidal bir dalga şekli olmadığı hakkında yorum yapınız.
- e) “*Orcad PSpice A/D*” programının Fourier özelliğini kullanarak  $v_1(t)$  ve  $v_2(t)$ ’nin frekans spektrumlarını elde ediniz. Bu frekans spektrumlarının grafiklerini çizdirerek karşılaştırınız ve bunun sonucunda yapılan filtreleme işlemi hakkında yorum yapınız.  $v_2(t)$ ’nin spektrumunu kullanarak neden saf sinüzoidal bir dalga şekli olmadığını açıklayınız.
- f) (b-e) arasını  $Q=20$  için tekrar ediniz. Elde ettiğiniz sonuçları  $Q=10$  için elde edilenlerle karşılaştırınız.
4. Şekil 5 ile verilen devreyi “*ORCAD Capture*” programında oluşturunuz ve giriş gerilimini Şekil 4’teki grafikte gösterildiği gibi kare dalga olarak alınız. Bu dalga şeklinin sadece temel harmoniğini geçiren bir filtre devresi tasarlanacaktır.
- a) Bu filtre için merkez frekansı  $f_0$  ve  $\omega_0$ ’ı bulunuz. Filtrenin kalite faktörünün  $Q=10$  olması istenmektedir. Aşağıda verilen eşitlikleri kullanarak devrenin eleman değerlerini bulunuz.

$$R_1 = \frac{Q}{\omega_0 C} , \quad R_2 = \frac{Q}{(2Q^2 - 1)\omega_0 C} , \quad R_3 = \frac{2Q}{\omega_0 C}$$

burada  $C_1 = C_2 = C$ 'dir.

- b)  $|V_2(j\omega)|$ 'nin frekansa göre grafiğini elde etmek için AC analiz yapınız.  $|V_2(j\omega)|$ 'yi frekansa göre çizdiriniz.(Linear ve logaritmik ölçekler kullanınız.)Bu grafikten merkez frekansını ve bantgenişliğini ölçünüz ve a ve b'de hesapladığınız değerlerle karşılaştırınız.



Şekil 5.

- c) “ORCAD Capture” programını kullanarak aynı devre için ve tekrar Şekil 4’teki dalga şekli giriş olarak alınarak zaman domeninde analiz yapınız.  $v_2(t)$  ne tür bir dalga şekline sahiptir?  $v_2(t)$ ’nin grafiğine bakarak frekansını hesaplayınız. Neden saf sinüzoidal bir dalga şekli olmadığı hakkında yorum yapınız.
- d) “Orcad PSpice A/D” programının Fourier özelliğini kullanarak  $v_1(t)$  ve  $v_2(t)$ ’nin frekans spektrumlarını elde ediniz. Bu frekans spektrumlarının grafiklerini çizdirerek karşılaştırınız ve bunun sonucunda yapılan filtreleme işlemi hakkında yorum yapınız.  $v_2(t)$ ’nin spektrumunu kullanarak neden saf sinüzoidal bir dalga şekli olmadığını açıklayınız.

#### KAYNAKLAR:

[1]. Nilsson J.W., Riedel S.A., “Introduction to PSpice Manual Electric Circuits Using Orcad Release 9.2”, Prentice Hall 2002

[2]. Rashid M.H.,”SPICE for Circuits and Electronics Using Pspice”, Prentice Hall, 1995.

[3]. <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Classes/IcBook/SPICE/>