

EEM 207 ELEKTRİK DEVRE LABORATUAR-I

DENEY KİTAPÇIĞI

Hazırlayanlar:

T. Özge ONUR, Rifat HACIOĞLU

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

ZONGULDAK, 2023

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu uygulama notları Elektrik-Elektronik Mühendisliği ikinci sınıf öğrencilerinin Devre Analizi-1 dersi konularına paralel olarak yapılacak çalışmaları içermektedir. Ders içeriğindeki konular:

- Devre Değişkenleri: Akım, Gerilim, Güç ve Enerji
- Devre Elemanları: Elektrik devre elemanları, Elektrik Kaynaklar
- Temel Direnç Devreleri: Kirchoff'un gerilim ve akım yasaları, Seri ve/veya paralel bağlı dirençli devrelerde akım gerilim hesaplamaları
- Devre Analiz Teknikleri: Süperpozisyon, Thevenin ve Norton Teoremleri, Dal ve Çevre Akımları Yöntemi ile Devre Çözümü, Düğüm Gerilimleri Yöntemi ile Devre Çözümü
- İşlemsel Yükselteçler
- Endüktans, Kapasitans ve Karşılıklı Endüktans
- Birinci Dereceden RL ve RC Devrelerinin Tepkileri
- RLC Devrelerinin Doğal ve Basamak Tepkileri

Hazırlanan 10 adet deney ile yukarıda sıralanan konular ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilecektir. Bu amaçla PSPICE programı kullanılacaktır.

Öğrencilerin her bir deney için rapor hazırlama kurallarına göre rapor hazırlamaları gerekmektedir. Bu amaçla hazırlanan raporlarda:

- Bir kapak sayfası bulunacak; dersin adı, uygulama numarası ile birlikte raporu hazırlayan grubun numarası ve hazırlayanların imzaları bulunacaktır.
- Raporun bir amacı olacak ve yapılan çalışma açıkça belirtilecektir.
- Deneyde gerçekleştirilen devre PSPICE programı ile simüle edilerek, elde edilen sonuçlar verilecektir.
- Sonuç bölümünde elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır.

BAŞARILAR ...

İÇİNDEKİLER

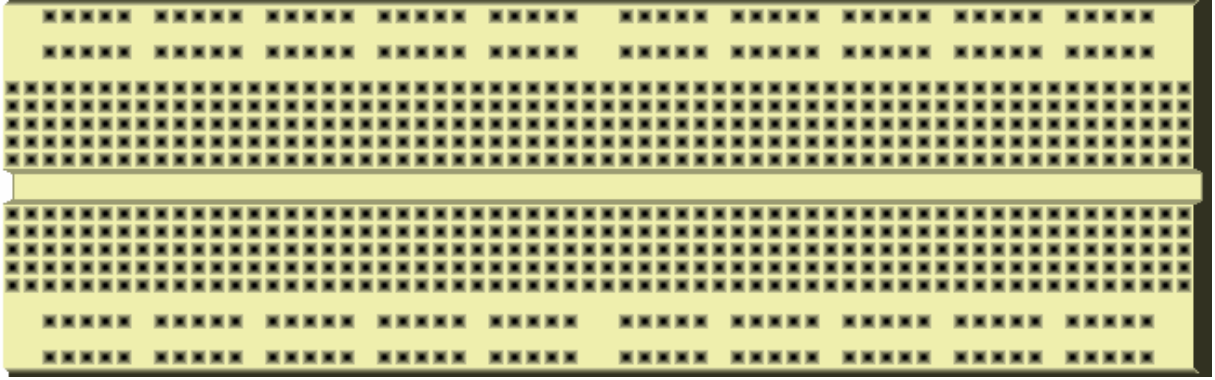
Sayfa No

ÖNSÖZ	2
İÇİNDEKİLER	3
LABORATUVARDA KULLANILAN CİHAZLAR	4
I. BREADBOARDLAR VE YAPILARI.....	5
II. OSİLOSKOPLAR VE YAPILARI.....	8
III. DİJİTAL MULTİMETRE	29
IV. FONKSİYON JENERATÖRÜ	32
LABORATUAR DENEYLERİ.....	35
I. DENEY: Seri ve Paralel Bağlı Direnç Devre Uygulamaları.....	36
II. DENEY: Seri ve Paralel Bağlı Direnç Devre Uygulamaları.....	39
III. DENEY: Düğüm Noktası ve Çevre Akımları Analiz Yöntemleri.....	41
IV. DENEY: Thevenin-Norton Teoremleri ve Maksimum Güç	43
V. DENEY: Süperpozisyon Prensibi	46
VI. DENEY: RL ve RC Devrelerinin Doğal Tepkileri.....	49
VII. DENEY: RL ve RC Devrelerinin Basamak Tepkileri.....	51
VIII.DENEY: Paralel R-L-C Devresinin Tabi Tepkisi.....	53
IX. DENEY: Paralel R-L-C Devresinin Birim Basamak Tepkisi.....	55
X. DENEY: Seri R-L-C Devresinin Tabi ve Birim Basamak Tepkisi	56
XI. DENEY: Tasarım Deneyi	56

LABORATUVARDA KULLANILAN CİHAZLAR

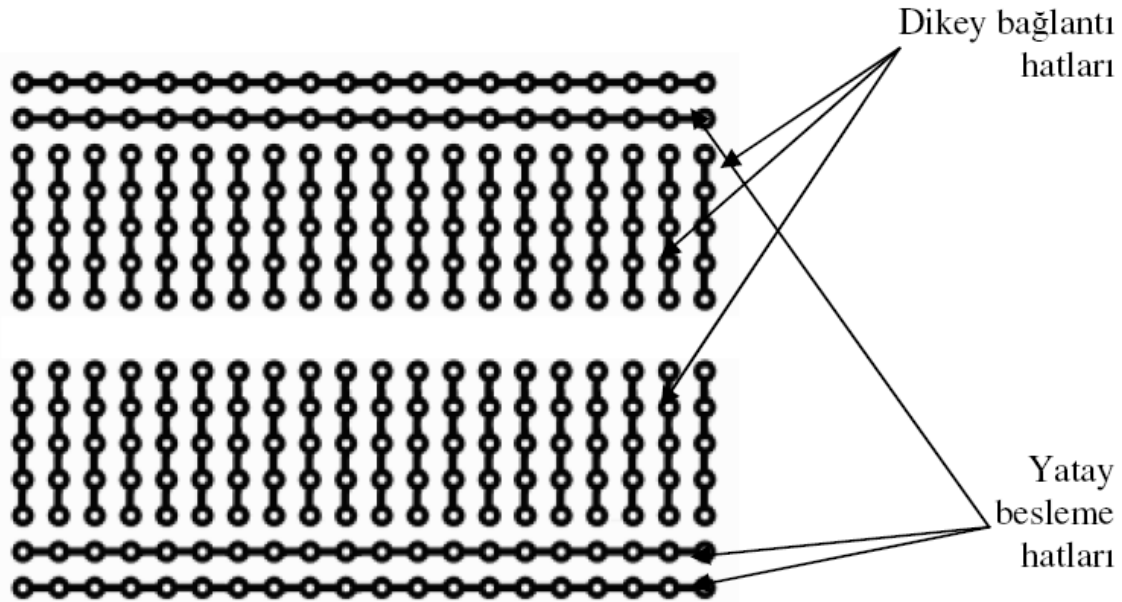
- I. BREADBOARD**
- II. OSİLOSKOP**
- III. DİJİTAL MULTİMETRE**
- IV. FONKSİYON JENERATÖRÜ**

I. BREADBOARDLAR VE YAPILARI



Şekil.1 – Breadboard

Breadboardlar elektronik devre test ve deneylerinde sıklıkla kullanılan bir çeşit birleştirme cihazıdır. En önemli avantajı hiçbir şekilde lehimleme gerektirmemesi, özel alet ve cihazlara ihtiyaç duymamasıdır. Bundan dolayı genellikle amatörler ve yeni başlayanlar tarafından fazlaca el becerisi gerektirmeden kullanılabilirlerdir. Breadboard üzerinde bulunan deliklere devre elemanlarının bacakları ve tel uçları sokularak devreler kurulurlar. Tellerin ve uçların girdiği delikler alttan diğer deliklerle Şekil.2’de gösterildiği şekilde alttan metal parçalar ile kısa devre edilmiştir.

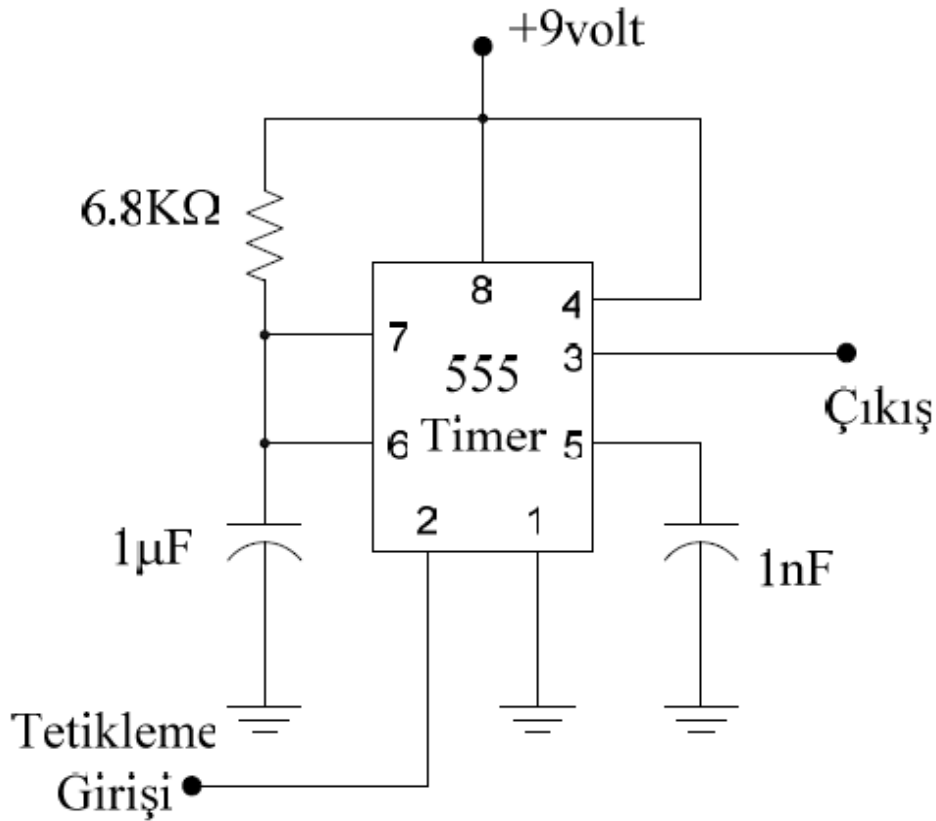


Şekil.2 – Breadboard taban bağlantıları

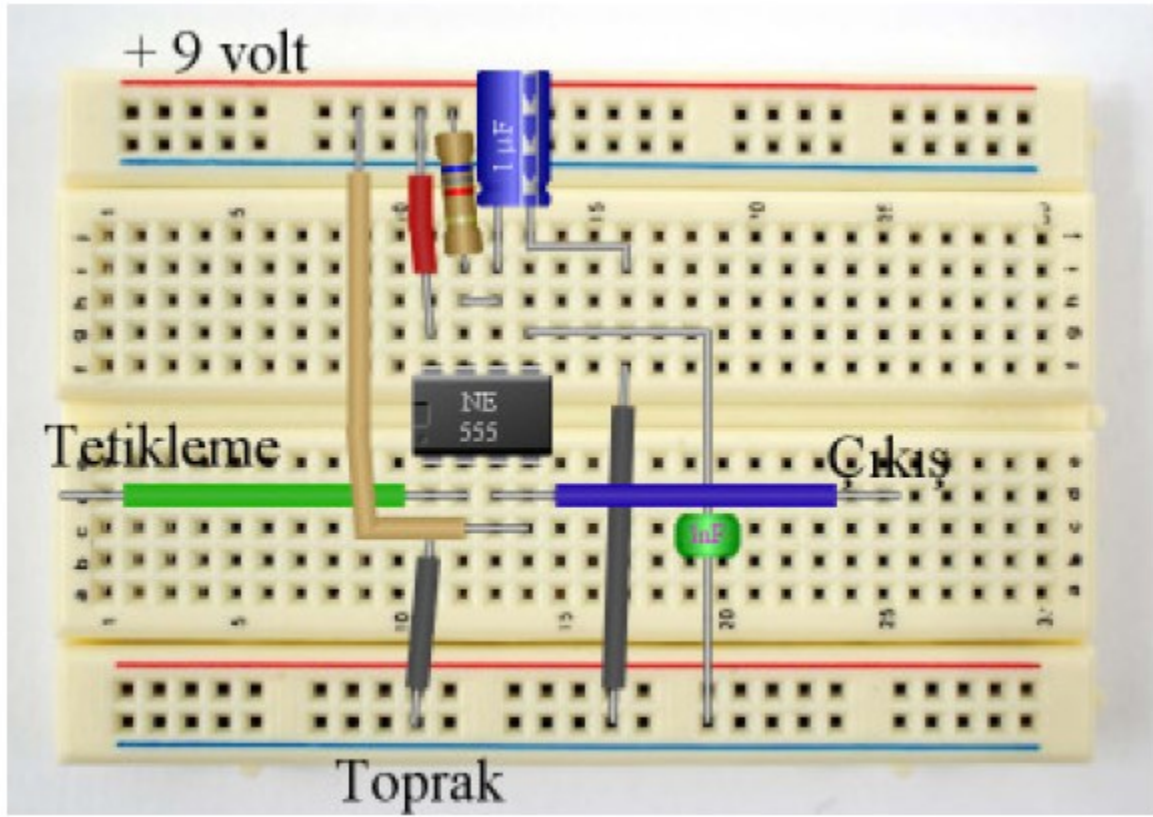
Ortadan ikiye ayrılmış gibi duran breadboardun orta kısmı DIP (Dual In-line Package) ismi verilen tümleşik devre (IC) elemanlarını takmaya elverişlidir. Dikeydeki beşli gruplar alttan bir metal vasıtasıyla kısa devredir. Dolayısıyla her paralel 5li delik sistemi yandaki beşli grup ile açık fakat grup olarak kısa devredirler. Yine altta ve üste yer alan yatay ikili sıralar ise alttan yatay olarak kısa devre edilmiştir. Bu hatlar genellikle besleme gerilimi, toprak vb. gibi devrenin her bölümüne uzanan hatlar için kullanılır. Bundan dolayı güç hattı olarak isimlendirildiği de olur. Bu hatlar çoğu zaman kırmızı ve mavi çizgiyle işaretlenmiştir. Kırmızı genellikle (+) besleme hattı ve mavi ise (-) toprak hattı olarak kullanılır.

Örnek: 555 tek kararlı multi-vibratör.

Devre Şeması:



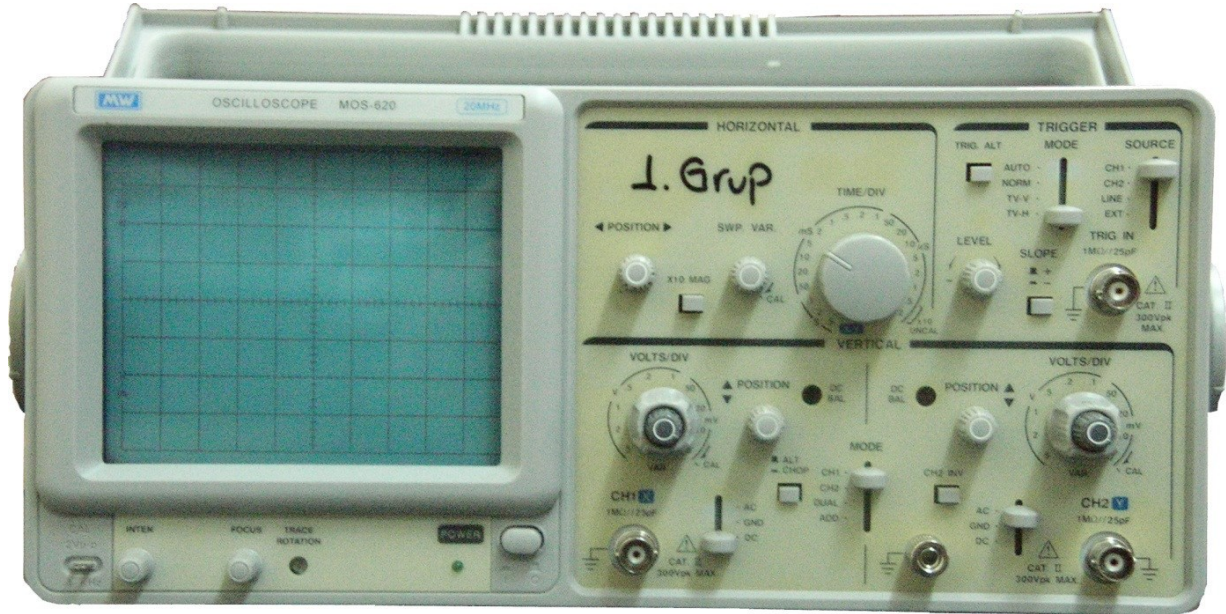
Şekil.3 – 555 Tek kararlı multi-vibratör devresi



Şekil.4 – Şekil.3’teki 555 Tek kararlı multi-vibratör devresinin breadboard üzerinde gerçekleştirilmiş hali.

Yukarıdaki devrede 555 Timer tümleşik devresi DIP pakette imal edilmiştir. 1µF kondansatör elektrolitik ve 1nF kondansatör standarttır. Örnek bir breadboard bağlantısı Şekil.4’te gösterilmiştir. Belirtilmesi gereken nokta ise bu bağlantının olabilecek çok sayıda bağlantı şekillerinden yalnızca birini göstermesidir.

II. OSİLOSKOPLAR VE YAPILARI



Osiloskop dört ana bölümden oluşur:

1. DISPLAY
 2. HORIZONTAL
 3. TRIGGER
 4. VERTICAL
- DISPLAY:



BİRİMLER

CAL: Kalibrasyon voltajını ayarlamak için kullanılır.

INTEN: Bir iz veya noktanın parlaklığını kontrol eder.

FOCUS : Daha keskin şekiller elde etmek için herhangi bir bölgeyi odaklar.

TRACE ROTATION : Paralel çizgilere yatay dalgaları hizalamak için kullanılan yarı sabit bir potansiyometredir.

POWER LED: Power düğmesine basıldığında yanar. Cihazın çalışıp çalışmadığını gösterir.

POWER : Cihazın güç anahtarıdır. Cihazı çalıştırmak için kullanılır.

- **HORIZONTAL:**



BİRİMLER

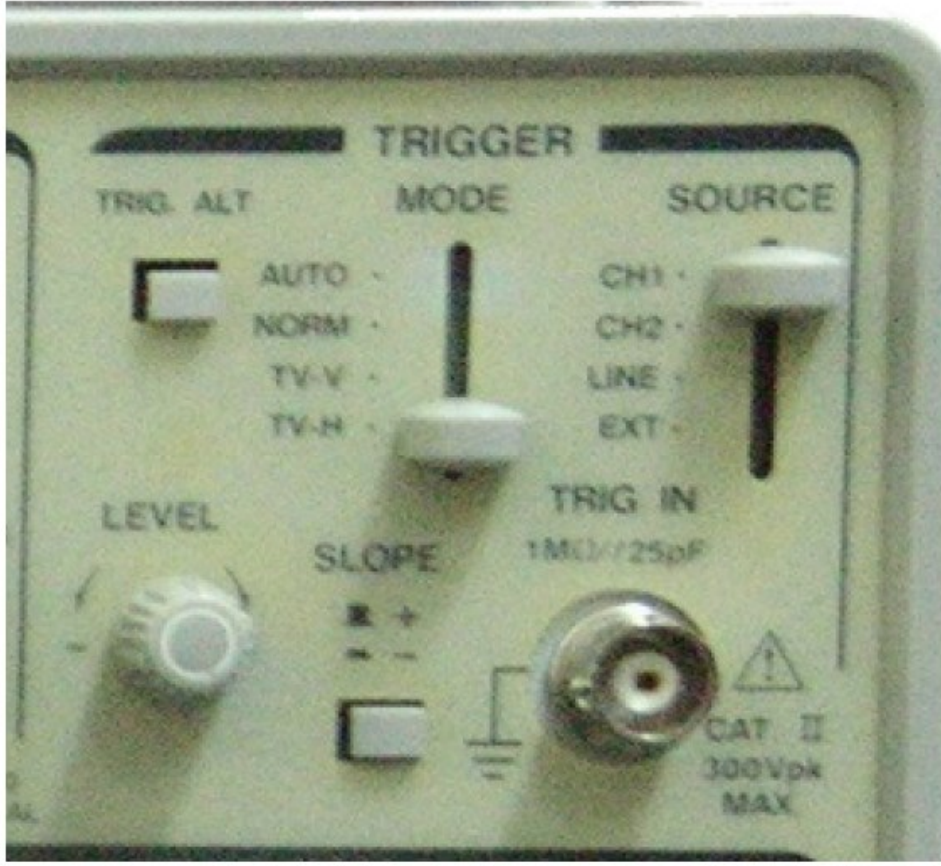
POSITION : Yatay iz kontrol pozisyonunu belirtir.

X10 MAG : Tıklandığında 10 kat büyüme meydana gelir.

SWP. VAR : Bu kontrol CAL olarak çalışır. Yani fabrika kalibre ayarları olarak kullanılır.

TIME/DIV: Süpürme zaman aralıkları 0.2 uS/DN ile 0.5 S/DN arasında 20 kademedey uygulanır.

- **TRIGGER:**



BİRİMLER

TRIGGER MODE: Tetikleme modu seçmeye yarar.

- **AUTO:** Tetikleme sinyalinin olmadığı veya 25Hz değerinden aşağı olduğu durumlarda, süpürme serbest modda çalışır.
- **NORM:** Herhangi bir tetikleme sinyali olmadığında süpürme hazır haldedir.
- **TV-V:** Televizyon sinyallerinin tüm dikey görüntüleri meydana geldiğinde kullanılan ayardır.
- **TV-H:** Televizyon sinyallerinin tüm yatay görüntüleri meydana geldiğinde kullanılan ayardır.

TRIG ALT: VERTICAL MODE düğmesi DUAL veya ADD durumuna ayarlandığı zaman ve SOURCE anahtarı da CH1 veya CH2'ye getirildiğinde, CH1&CH2 içsel tetikleme kaynak sinyali için seçilmiş olur.

SOURCE: İçsel tetikleme kaynak sinyali ve EXT TRIG IN giriş sinyali için kullanılır.

- **CH1:** VERTICAL MODE anahtarı DUAL veya ADD durumuna ayarlandığında içsel tetikleme kaynak sinyali için CH1'i seçer.

- **CH2:** VERTICAL MODE anahtarı DUAL veya ADD durumuna ayarlandığında içsel tetikleme kaynak sinyali için CH1'i seçer.

LEVEL: Senkronize edilmiş sabit bir dalga formu gösterir ve o dalga formu için bir başlangıç noktası ayarlar. (+) yöne çevrildiğinde tetikleme seviyesi dalga formu görüntüsünde yukarı yönde hareket eder. (-) yöne çevrildiğinde tetikleme seviyesi dalga formu görüntüsünde aşağı yönde hareket eder.

TRIG IN: Bu giriş terminali dışarıdan gelen tetikleme sinyali için kullanılır. Bu terminali kullanmak için SOURCE anahtarı EXT pozisyonuna getirilir.

SLOPE: "+" Tetikleme sinyali, pozitif cihette tetikleme seviyesini asarsa, tetikleme meydana gelir. "-" Tetikleme sinyali, negatif cihette tetikleme seviyesini asarsa, tetikleme meydana gelir.

- **VERTICAL:**



BİRİMLER

VOLTS/DIV: Dikey eksen hassasiyetini 5mV /DIV - 5V/DIV arasında değiştirip ayarlamak için kullanılır.

CH1 : CH1'in giriş terminalidir. X-Y işlemi esnasında X eksen giriş terminali olarak kullanılır.

VAR: Hassasiyet ayarındır. CAL pozisyonuna getirildiğinde hassasiyeti belirtilen değere ayarlar.

AC-GND-DC : Giriş sinyali ile dikey amplifikatör arasında bağlantı modu seçmeye yarayan anahtarlardır.

- AC: AC kavrama
- GND: Vertikal amplifikatör girişi topraklar ve giriş terminalleri bağlantı dışı kalır.

- DC: DC kavrama

POSITION: Dikey iz kontrol pozisyonunu belirtir.

ALT/CHOP: Bu anahtar dual moddan kurtarıldığında CH1 ve CH2 girişleri sırası ile görüntülenir. Tersi durumda ise CH1 ve CH2 girişleri eşzamanlı olarak görüntülenecektir.

DC BAL (CH1&CH2): Azaltan denge ayarı için kullanılırlar.

VERTICAL MODE:

- CH1: Osiloskop , sadece CH1 ile tek kanallı işlem yapar.
- CH2: Osiloskop , sadece CH2 ile tek kanallı işlem yapar.
- DUAL: Osiloskop , CH1 ve CH2 ile çift kanallı işlem yapar.
- ADD: Osiloskop , CH1 ve CH2 ile çift kanallı işlem yapar.

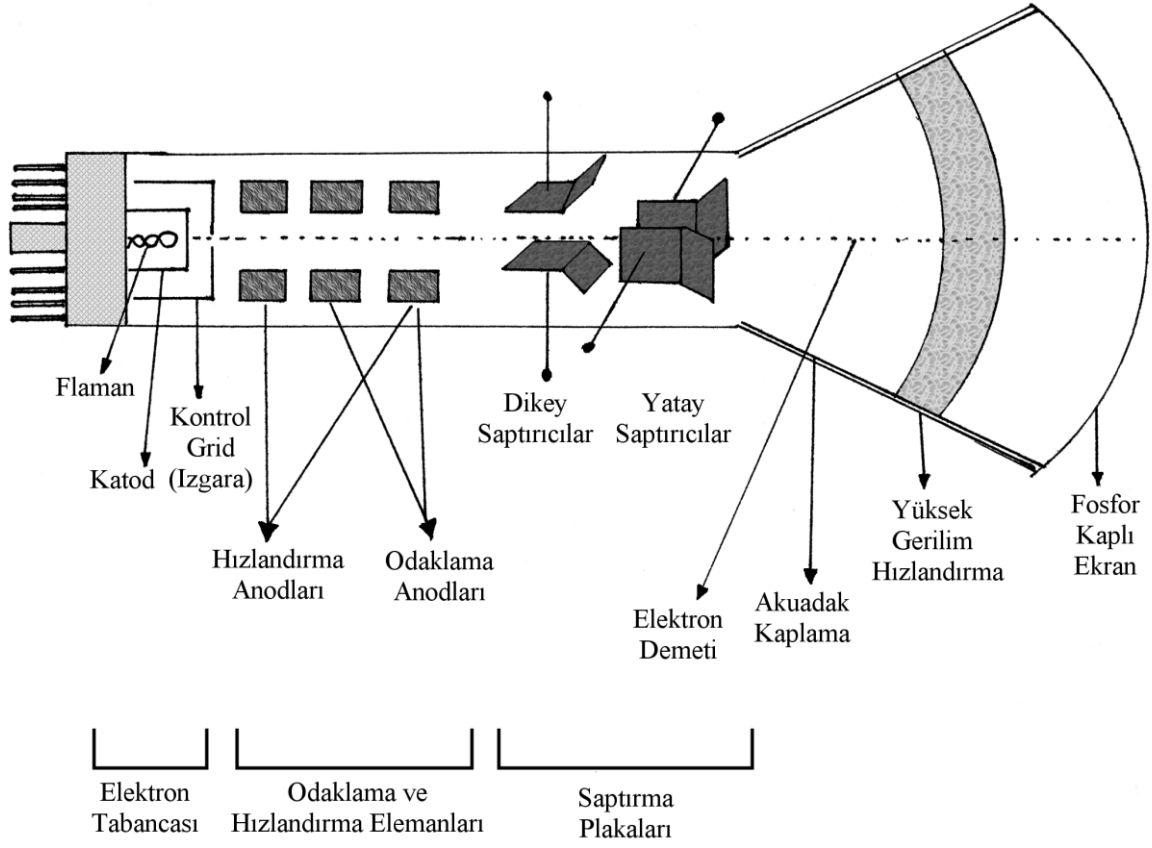
GND: Topraklama terminalidir.

CH1 INV: CH1 sinyalini tersine çevirmek için kullanılır.

CH2 INV: CH2 sinyalini tersine çevirmek için kullanılır.

CH2: CH2'in giriş terminalidir. X-Y işlemi esnasında Y eksenini giriş terminali olarak kullanılır.

Elektronik, elektrik ve bilgisayar devrelerinin çeşitli yerlerinde oluşan dalga şekillerini görmek, ölçmek, zamanlama bilgilerini ölçmek, zamanlama bilgisini elde etmek için kullanılan alete osiloskop denir. Osiloskoplar elektrik biliminin en temel yardımcı elemanlarıdır. Bugün dijitalinden, analoguna, yüksek frekanslı hassaslarına birçok çeşidi bulunan osiloskopların temel parçası katot ışınli tüp (CRT)'tür.

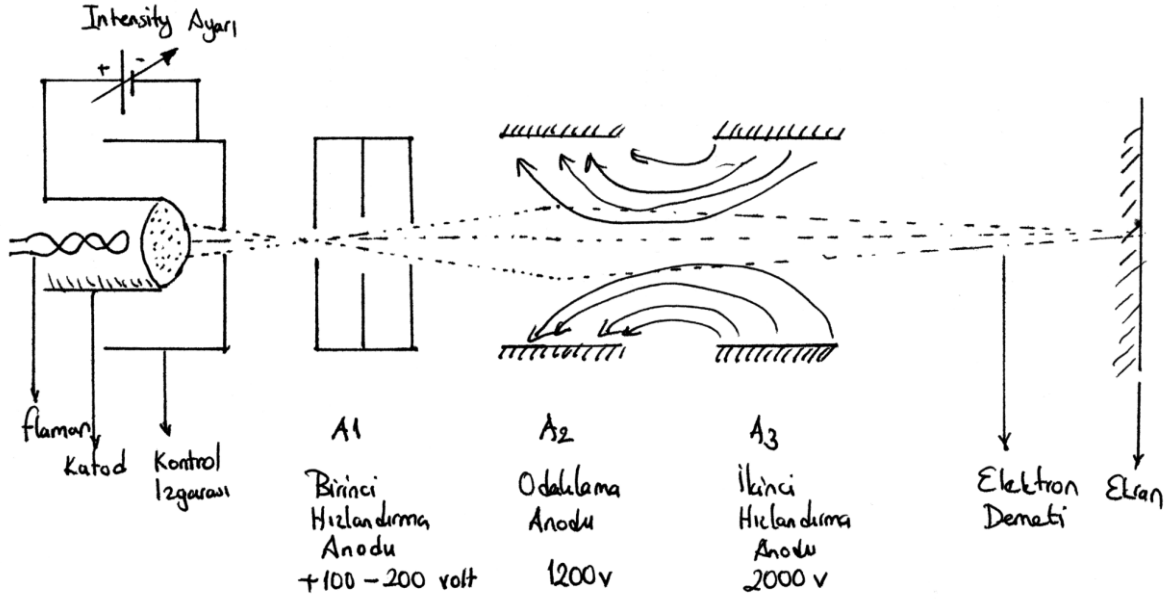


Şekil.5 – Katot ısınlı tüp elemanları

Katot ısınlı tüp osiloskop uygulamalarında sıkça kullanılan bir cihazdır. Günümüzde TV setlerinden, bilgisayar monitörlerine, banka ATM makinalarından, çeşitli reklâm panolarına birçok yerde görsel display olarak kullanılmaktadır. Sekil.1’de görülen katot ısınlı tüp dört ana parçadan oluşur:

- Elektron tabancası
- Odaklama ve hızlandırma elemanları
- Yatay ve dikey saptırma plakaları
- Vakumlanmış cam tüp

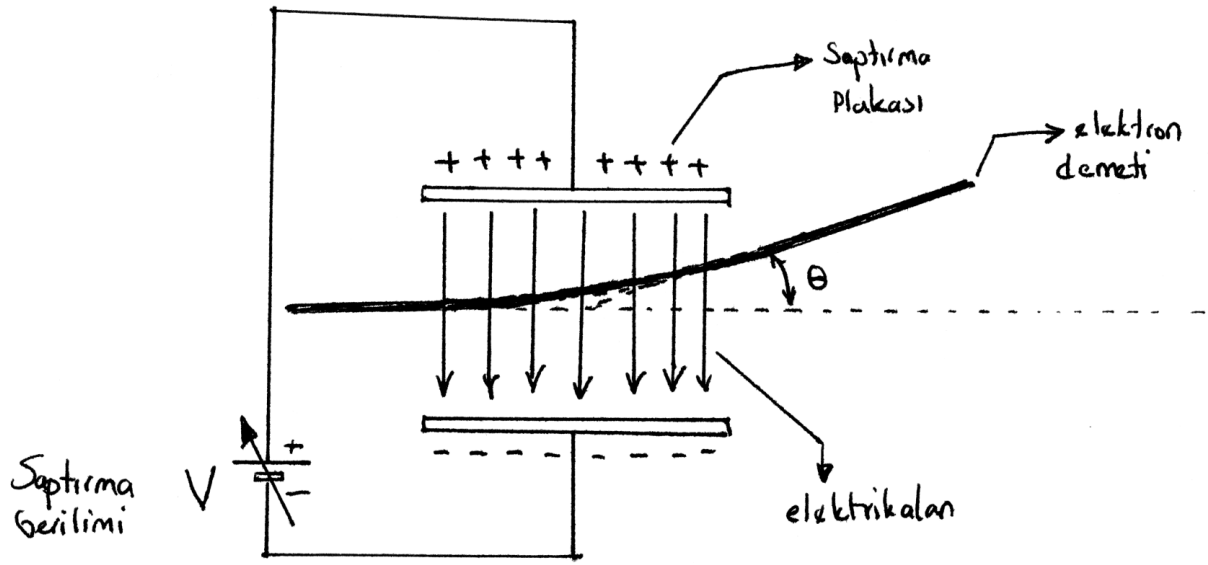
Katot Işınlı Tüp :



Şekil.6 – Elektron tabancası ve odaklama ve hızlandırma elemanlarının yerleşimi ve fonksiyonları

Elektron tabancası: Şekil.6’da görülen elektron tabancası ve odaklama ve hızlandırma parçalarının ana elemanlarından olan katot nikelden yapılmış üzeri baryum veya stronsiyum oksit kaplanmış silindirik şekilde bir parçadır. Bunun içinden tungstenden veya tungsten alaşımlarından yapılmış imal edilmiş bir flaman vardır. Bu flaman bir ısıtma cihazı olarak iş görür ve katodu ısıtır. Bu ısınma ile birlikte oksit tabakadan elektronlar koparak vakuma çeşitli yönlerde ve hızlarda yayılırlar.

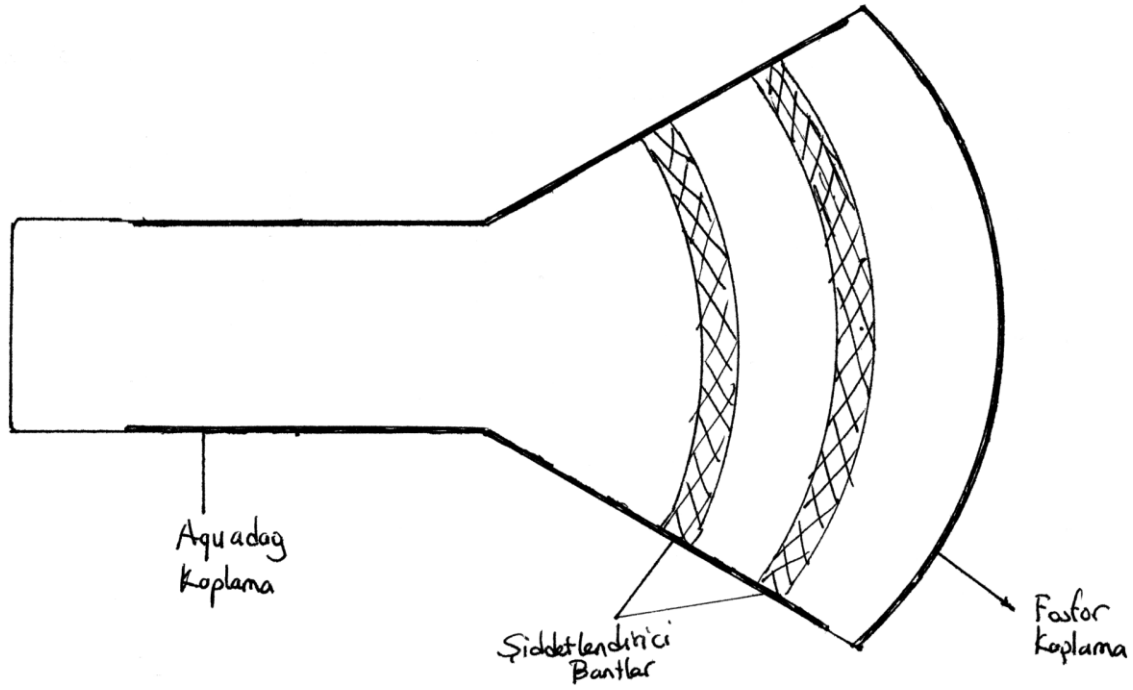
Odaklandırma ve Hızlandırma Elemanları: Katodun önüne kontrol ızgarası denilen ortasında küçük bir delik olan bir eleman konur. Bu eleman elektronların ekranda yoğunlaşmasına yardım ettiği gibi esas görevlerinden biride katottan çıkan elektronların sayısını kontrol etmektir. ızgaraya uygulanan negatif voltajla elektron sayısını azaltılabilir, hatta sıfırlanabilir. Kontrol ızgarasından çıkan elektronlar ilk hızlandırma anodu tarafından hızlandırılır. Bu elektronlar daha sonra ikinci hızlandırma anodu ve odaklama anodu tarafından bir ısın halinde yoğunlaştırılmaya çalışılır. Bu odaklama anodunun kontrolü dışarıdan odaklama (FOCUS) düğmesi ile yapılır. Böylece elektronlardan bir ısın huzmesi halinde odaklama ve hızlandırma elemanlarından ayrılarak ekrana doğru ilerler.



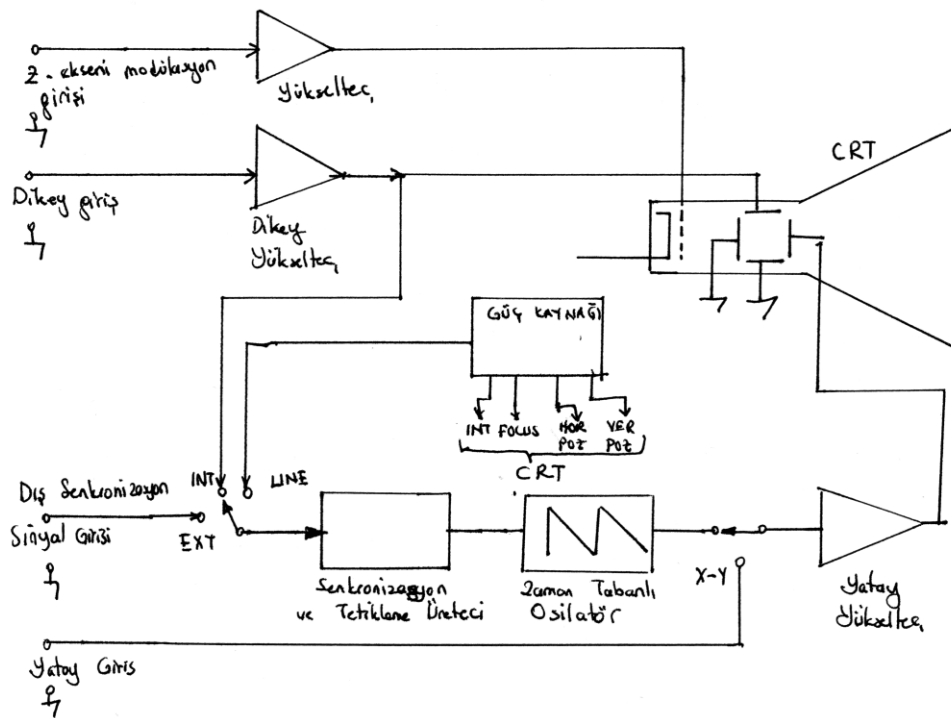
Şekil.7 – Saptırma plakaları

Dikey ve yatay saptırma plakaları: Hızlandırıcı elemanlardan geçen elektronlar, daha sonra Şekil.7’de görülen saptırıcı plakalara gelirler. Bu plakalara uygulanan gerilim ile elektron huzmesi yukarı aşağı ve/veya sağa sola saptırılır. Sapma aşağıdaki şekilde açıklanmıştır. Plakalar arasından geçen elektronlar eksi yüklü olduklarından elektrik alanın etkisi ile elektronlar pozitif yüklü plakaya doğru hareket ederler. Böylece elektronlar saptırma plakalarını terk ettiklerinde normal sıfır eksenlerinden belli bir açıyla sapmış olurlar. Bu sapma miktarı plakalar arasına uygulanan gerilimin değerine ve yönüne bağlı olarak değişir.

Vakumlanmış Cam Tüp: Bütün yukarıda bahsedilen elemanların hepsi Şekil.8’de görülen cam tüpün içinde yer alırlar. Bu elemanlara ek olarak son bir hızlandırma için hızlandırma bantları eklenmiştir. Tüpün ekran kısmı bir çeşit fosfor ile kaplanmıştır. Bu fosfor tabakasına elektronlar çarptığı anda fosfor elektronlardan aldığı enerjiyi ışık enerjisi olarak yayar. Bu da bizim gözümüze ulaşan ve bizim gördüğümüz ışık enerjisidir. Bu çarpma sonucu geri gelen elektronları toplayan ve devreyi tamamlaması için katoda geri dönmesi gereken elektronları toplayan aquadag adı verilen materyal tüpün içine kaplanmıştır. Aquadag elektronları toplayarak hem devreyi tamamlar hem de ekranda elektronların birikmesinin önüne geçerek tüpün normal işleme devam etmesini sağlar.



Şekil.8 – Vakumlu cam tüp ve ek yapılar



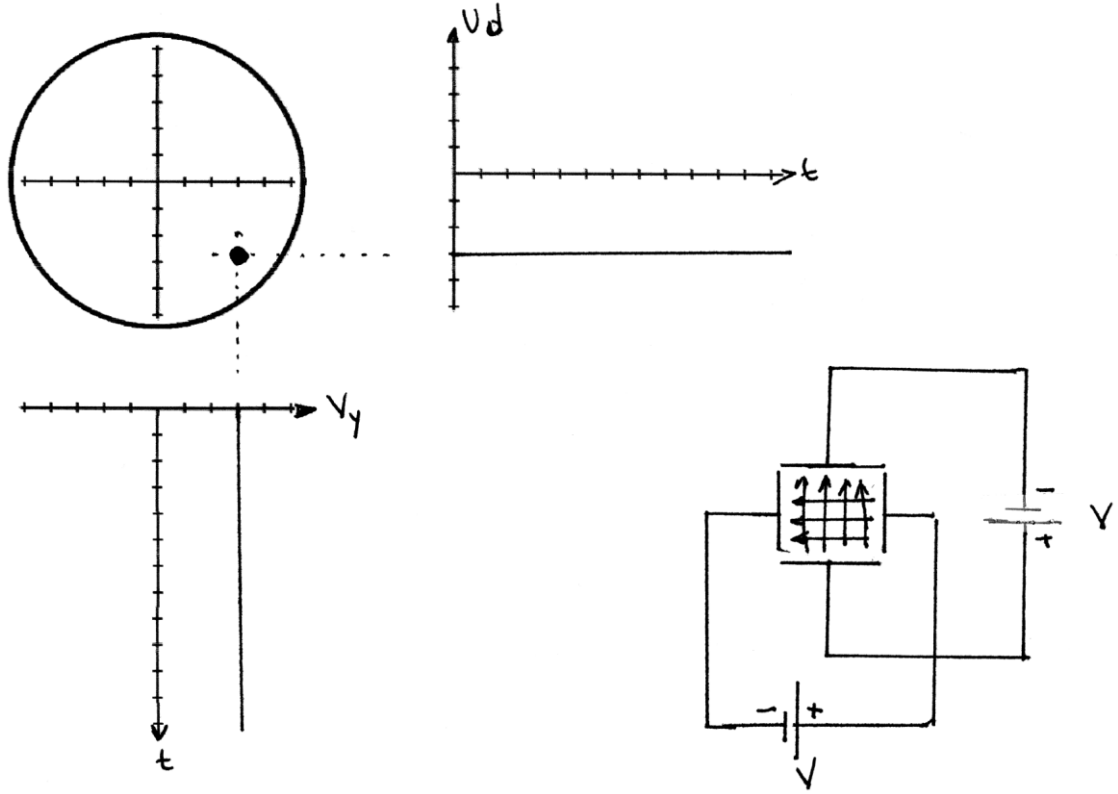
Şekil.9– Basit osiloskop blok diyagramı

Fosfor kaplamaya çarpan elektronlar fosforun bir süre ışımasını sağlarlar. Bu fosfordaki ısıma elektronlar çarpması kesilse bile bir süre devam eder. Bu olaya ısıma kalıcılığı denir. Bu ısıma kalıcılığı fosfor kaplama cinsine göre değişir ve bunun seçimi tüpün çalışma frekansına bağlı

olarak yapılır. Alçak frekanslarda kalıcılık birkaç saniyeye kadar uzarken yüksek frekanslarda birkaç mikro saniye ile sınırlıdır. Buna ek olarak fosfor kaplamanın cinsine bağlı olarak ışımının rengi yeşil, amber rengi, vs. olabilir.

Osiloskop ile Saptırma ve Tarama İşlemi:

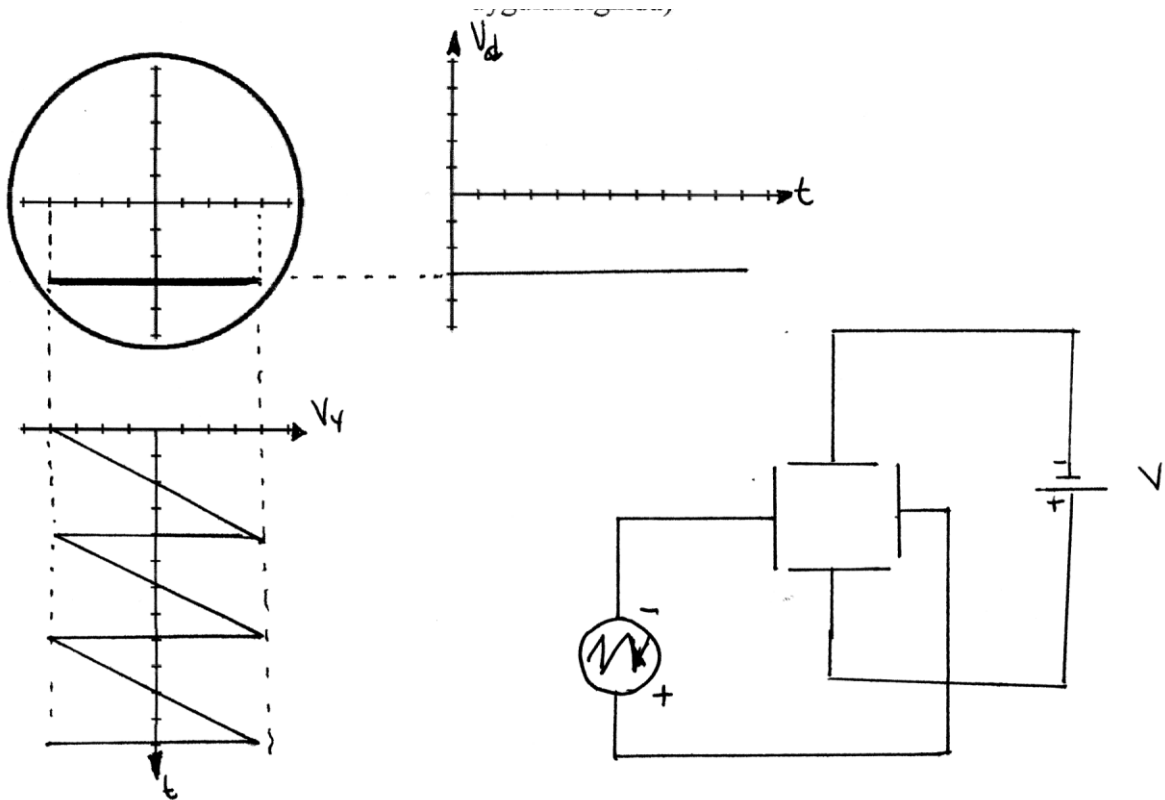
Yatay ve dikey saptırma plakalarına gerilim uygulayarak elektron demetini saptırabileceğimizi önceden not etmiştik. Simdi ise bu durumda ekrana vuran elektronların ekranda nasıl görüntü oluşturduğunu izah etmeye çalışacağız. Eğer dikey plakalara yukarı doğru negatif ve yatay plakalara sağa doğru pozitif gerilim uygulayalım. Bu durumda elektron demeti sağa ve aşağıya doğru sapacaktır. Bu huzme ekranda aşağı sağda görülen Şekil.6'daki noktayı oluşturur.



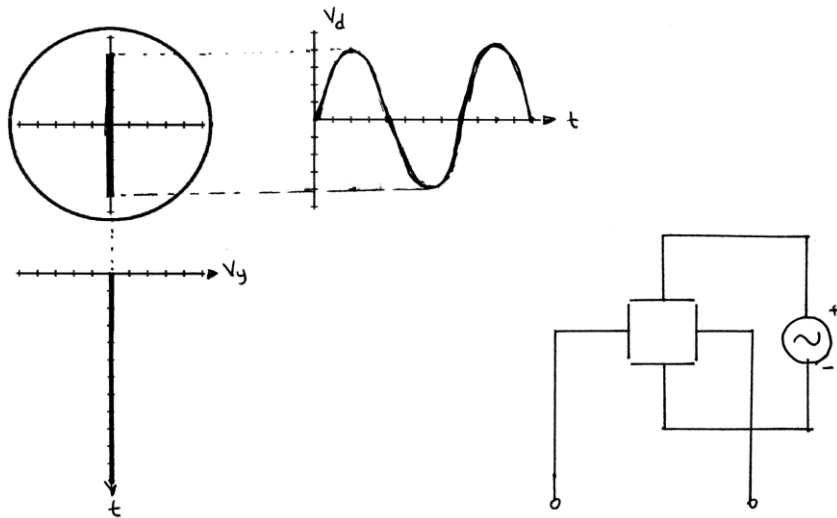
Şekil.10– Osiloskop ekranında sabit noktanın görülmesi (Saptırıcıların her ikisine de sabit DC gerilim uygulandığında)

Eğer yatay saptırıcılara testere dişi şeklinde ki yatay tarama dalgasını uygulanırsa bu durumda bir sonraki şekildeki görülen düz çizgi ortaya çıkacaktır. Bu da aslında eğer y eksenini zaman

ekseni olarak alınır. Şekil.11’de bir DC gerilim kaynağının zamana bağlı ürettiği değişmeyen gerilimi göstermektedir.



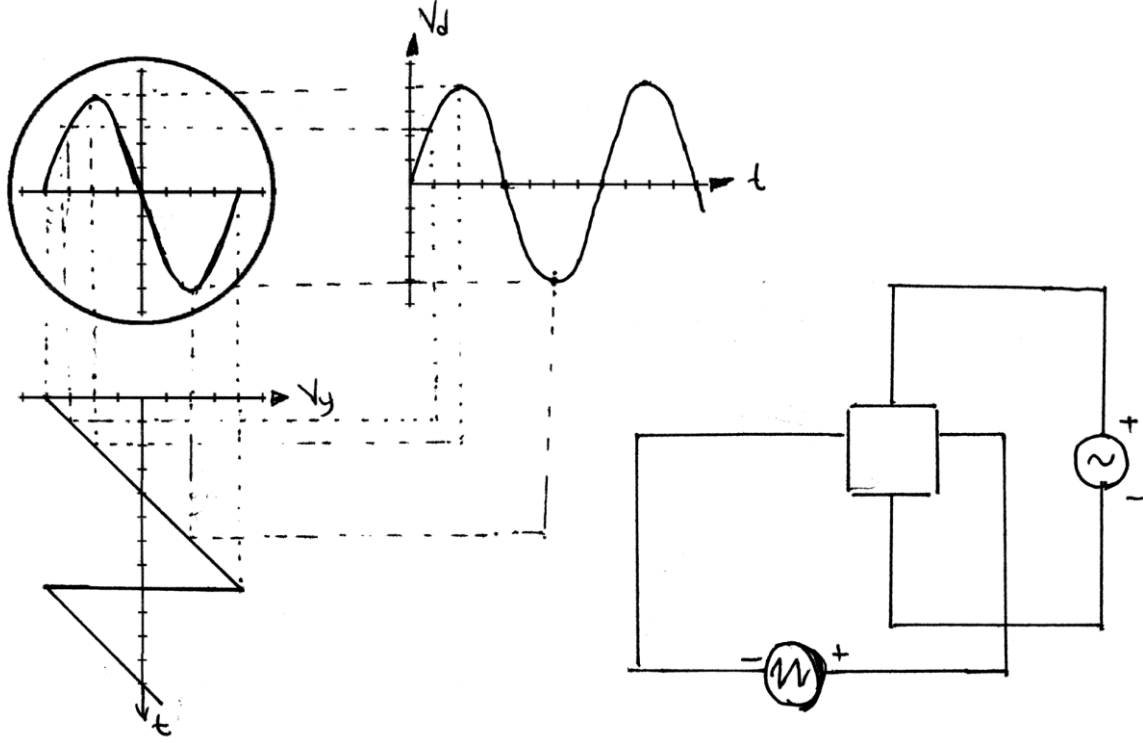
Şekil.11– Osiloskop yatay saptırıcılarına tarama sinyalinin uygulanması



Şekil.12-Osiloskop dikey saptırıcılarına sinüzoidal sinyalinin uygulanması

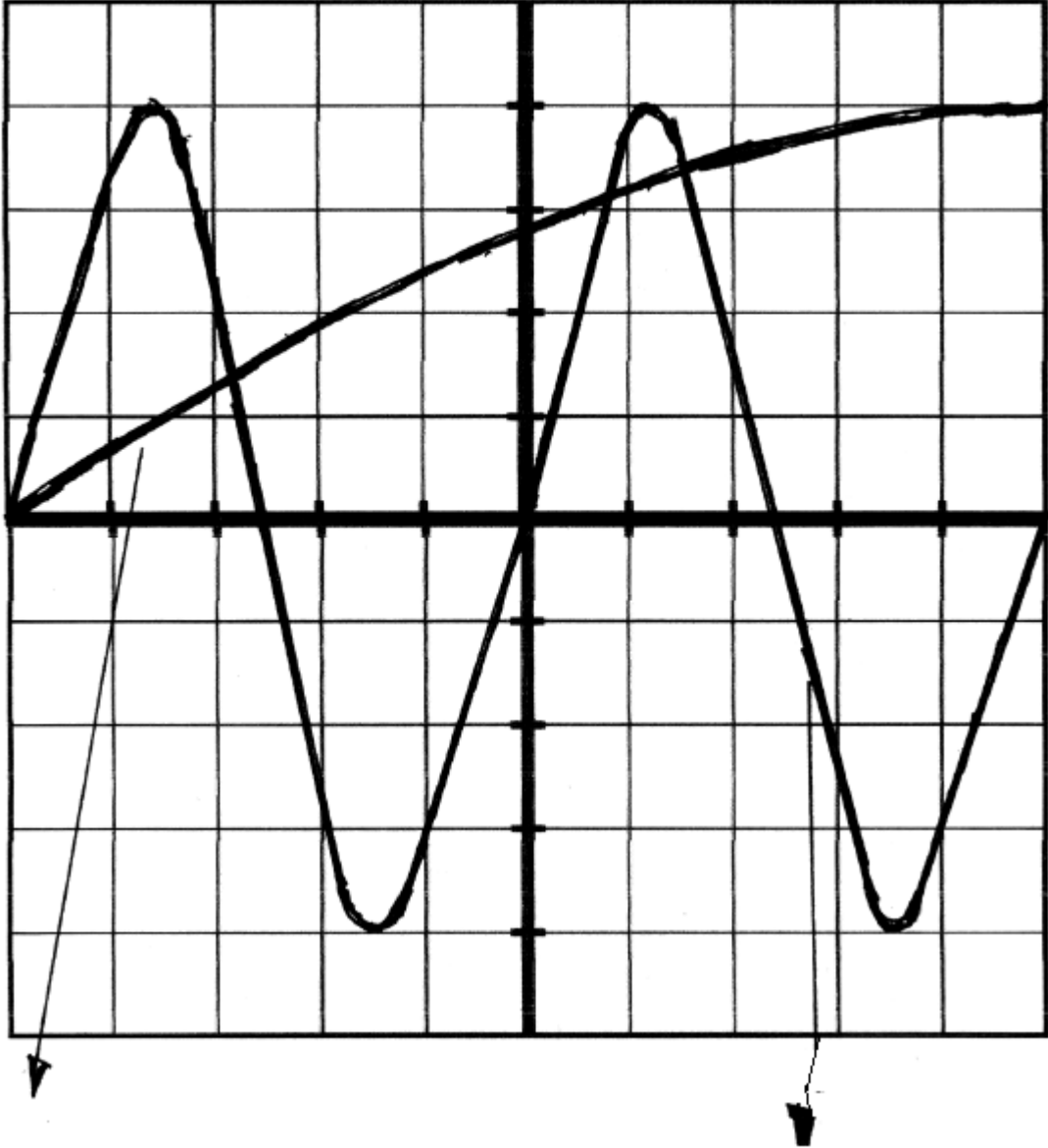
Şimdi tekrar başa dönelim. Eğer bu sefer yatay saptırıcı ya hiçbir gerilim uygulanmaz fakat dikey girişlere bir sinüs dalgası uygulanırsa görüntü sol yukarıdaki gibi dikey bir çizgi olarak karşımıza

çıkacaktır. Bir sonraki aşamada frekansı ve faz açısı yatay testere dişi tarama sinyaline ki bu sinyal aynı zamanda süpürme sinyali olarak da adlandırılır eşit bir sinüzoidal dalgayı dikey girişe uygulanırsa sonuç Şekil.9'daki gibi olur.



Şekil.13-Osiloskop dikey saptırıcılarına sinüzoidal yatay saptırıcılarına testere dişi sinyalinin uygulanması

Böylece bu yöntemi kullanarak, dalga sekli ekrana taşınmış olur. Ekranda Y (Dikey) eksen sinyalin genlik eksen, X (Yatay) eksen sinyalin zaman eksen olarak görülür. Eğer yatay süpürme sinyalinin frekansları farklı olmuş olsa idi ekrandaki şekiller Şekil.10'daki gibi görülecekti. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere frekans ayarı ile oynayarak yatay ekseninde zaman aralığı izafi olarak değiştirilebilir.



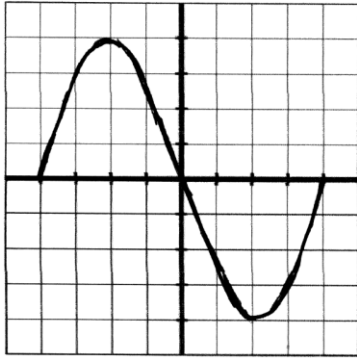
Tarama Frekansı Düşük Tetikleme Yerinde
(Tarama Başlangıç Noktası ile Sinyalin
Başlangıç Noktası Aynı)

Tarama Frekansı giriş sinyalinin iki katı
(Tarama Başlangıç Noktası ile Sinyalin
Başlangıç Noktası Aynı)

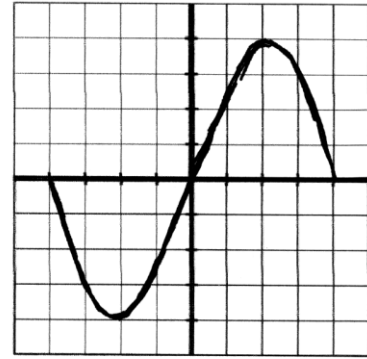
Şekil.14-Tarama frekansının etkileri

Senkronizasyon ve Tetikleme

Osiloskop ekranında durağan bir sinyalin görünmesi için dikey girişe uygulanan sinyalle yatay girişe uygulanan sinyalin senkronize olması gerekir. Bunun sağlanması için özel tetikleme (triggering) devreleri kullanılır. Şimdi giriş sinyali ile yatay tarama sinyalinin senkronize olmaması durumunda ne olduğunu inceleyelim. Eğer senkronizasyon kaybı var ise ekrandaki sinyal durumuna göre sağa veya sola kayabilir. Bazen bu o kadar kötüdür ki ekranda nasıl bir şekil olduğu bile belli olmaz. Senkronize olmamış sinyalde her tarama sinyali giriş sinyalinin bir başka noktasında başlayacak ve kayma görüntüsü ortaya çıkacaktır. Bu nedenden dolayı ekranda durağan bir dalga elde etmek için girişe uygulanan periyodik dalganın hep aynı değerinde taramaya başlanmalıdır. Bunun için tetikleme (triggering) devreleri yapılmış ve TRIGGER ayar düğmeleri ve seçme komütatörleri konmuştur. Osiloskopta taramayı senkronize olarak sağlamak için 3 – 4 adet seçme konumu bulunur. Bunlar genelde INT+ (INT-), LINE ve EXT olarak adlandırılır. INT + ve INT –’de osiloskop kendi içinde tarama sinyalini dikey giriş sinyalinden üretirken, LINE seçeneğinde şebeke gerilimini kullanarak şebeke frekansında, EXT’te ise dışarıdan verilen bir senkronizasyon sinyali kullanılarak tarama sinyali üretilir. INT+ ‘de osiloskop kendi içinde ekrandaki t zaman taksimatına uygun olarak giriş sinyalinin artarken (INT –’de azalırken) başlatılır. Bu durumda görüntü INT + ve INT – için Şekil.11’deki gibi olur.

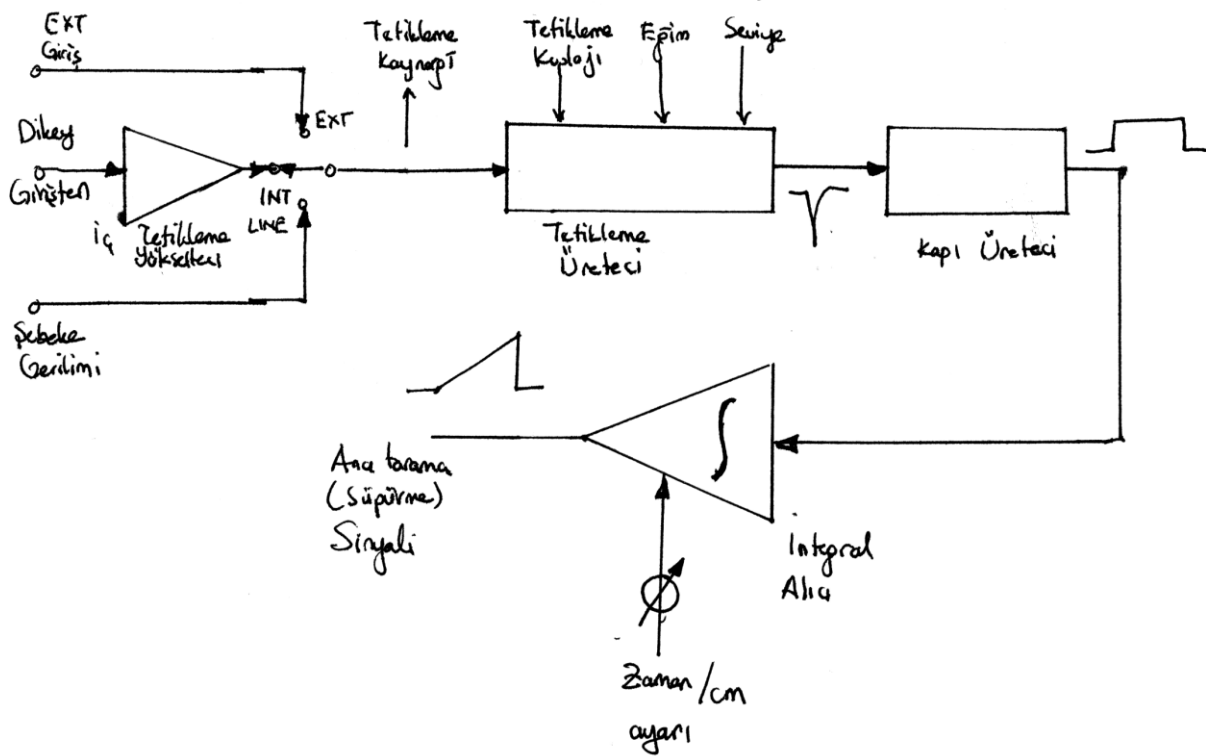


INT +



INT -

Şekil.15-Tetikleme eğim seçimi etkileri

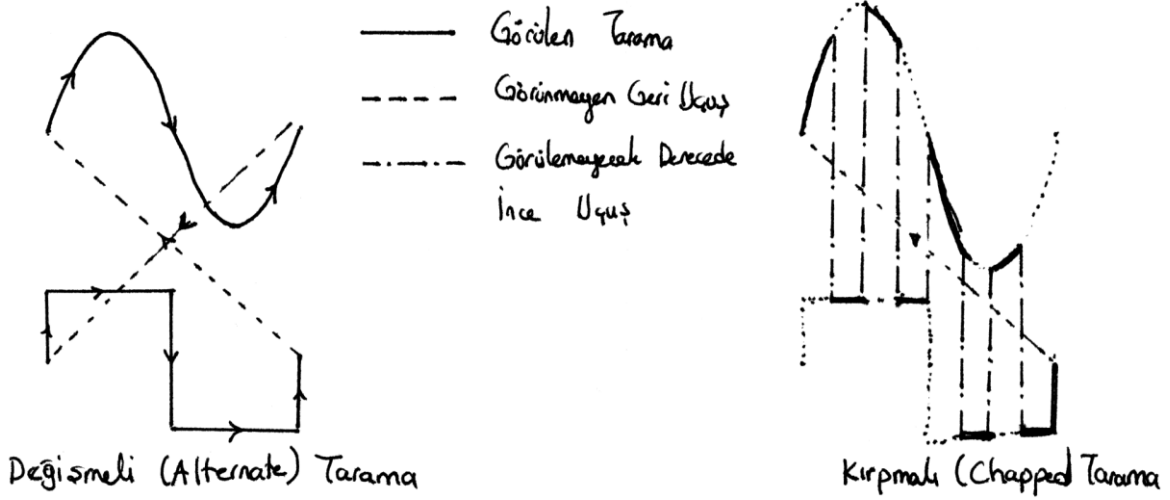


Şekil.16-Örnek bir tetikleme devresi blok şeması

Herhangi bir kaynaktan gelen tetikleme sinyali çeşitli kıstaslara göre (başlangıç noktası, eğim, seviye, vb.) giriş sinyalinin belirli yerinde bir dar vuru üretilir. Bu kapı üreticinde gerekli tarama zamanına uygun geniş bir vuru üretilir. Bu vuru zaman/cm komütatöründeki ayar göz önüne alınarak entegral alıcıdan geçirilerek testere dişli ana tarama sinyali üretilir.

Çok İzli Çalışma

İki adet sinyali aynı anda ekranda görmek için ya iki adet elektron tabancası olan bir tüp ya da bir elektron tabancalı fakat çeşitli devreler vasıtasıyla değişmeli veya kırpmalı yollarla iki sinyali aynı anda göstermeye ayarlanmış bir osiloskop kullanılmalıdır. İlk seçenekteki osiloskop daha önceki yöntemle ayrı kanallar için ayrı elemanlara sahipken ikinci seçenekte çeşitli devreler vasıtasıyla ayarlamalar yapılır. Değişmeli yöntem de ekranda önce birinci sinyal taranır. Daha sonra ikinci sinyal taranır ve sonra tekrar birinci sinyal taranır. Tarama aralarında ekran karartılır. Kırpmalı yöntemde ise giriş sinyalleri tamamen taranmaz. Onun yerine ilk önce birinci sinyalden bir kısım gösterilir, hemen ardından ikinci sinyalden bir kısım gösterilir, daha sonra ilk sinyale geri dönülür. Sinyal parçalı olarak ekranda görünmesine rağmen kırpma hızlı olduğu için bu parçalanma fark edilmez.



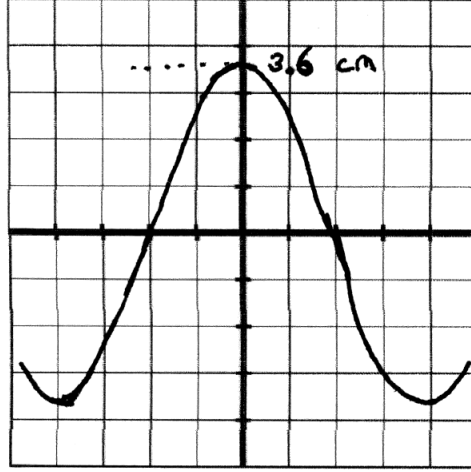
Şekil.17-Tarama modları

Kırpmalı tarama modunda her iki sinyal için aynı tarama sinyali kullanıldığı için her iki sinyal arasındaki faz farkını görmek mümkünken, değişmeli tarama modunda tetikleme devresi her iki sinyal içinde farklı tetikleneceğinden faz farkı görülmeyebilir. Bu yüzden bazı osiloskoplarda herhangi bir kanaldan gelen yalnızca bir sinyal için tetikleme seçme düğmesi vardır. Bu durumda tetikleme yalnızca o kanaldan gelen sinyal için yapılacağından ekranda faz farkını görmek mümkün olacaktır.

Osiloskop ile Gerilim Ölçmek

Kalibrasyonlu osiloskoplarla giriş sinyalinin genliği, frekansı, zamanlama değerleri, faz açıları, DC ve AC bileşenlerinin değerleri gibi ölçmeler kolayca yapılabilir. Osiloskopla genlik ölçerken osiloskobun ekran taksimatından faydalanacağız. Bu ölçmeyi yaparken aynı zamanda kullanılan kanalın (volt/cm) veya (volt/div) komütatörüyle seçtiğimiz değeri de hesaba katacağız.

Örnek.1: V/cm fonksiyon düğmesi 0.1 v/cm konumunda olan sinyalin tepe değerini (V_p) bulunuz.

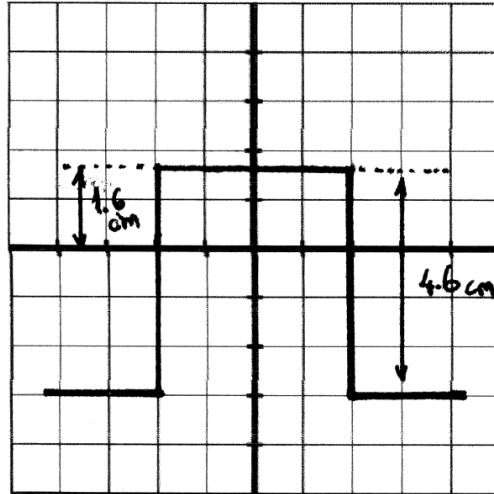


Tepe değeri ekrandan 3.6 cm ölçülmüş olsun. Bu durumda gerçek V_p değeri

$$V_p = \text{Völçülen} \times V/\text{cm değeri} = 3.6 \text{ cm} \times 0.1 \text{ v/cm} = 0.36 \text{ v} = 360 \text{ mv}$$

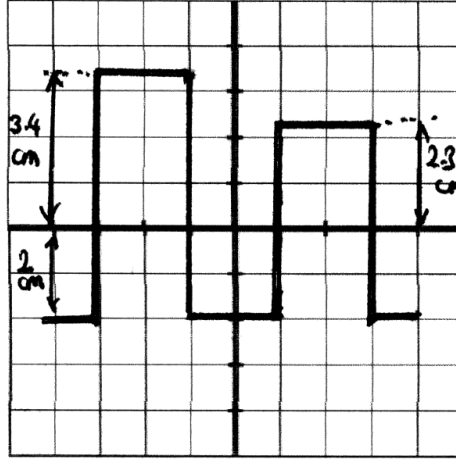
Eğer V/cm komütatörü 1 v/cm ise V_p 3.6 volt olacaktı.

Örnek.2: Vurunun genliğini tepeden tepeye hesaplayınız. (V/cm seçeneği 1 v/cm)



$$V_{p-p} = 4.6 \text{ cm} \times 1 \text{ v/cm} = 4.6 \text{ v}$$

Örnek.3: Birinci ve ikinci vuru genlikleri arasındaki farkı hesaplayınız. (V/cm seçeneği 10 v/cm)



Birinci vuru genliği = $(3.4 + 2) \times 10 = 5.4 \times 10 = 54 \text{ v}$

İkinci vuru genliği = $(2.3 + 2) \times 10 = 4.3 \times 10 = 43 \text{ v}$

Vuru genlikleri farkı = $54 - 43 = 11 \text{ v}$

Örnek .4: Sinüzoidal dalga formu osiloskopta dikey duyarlılık (V/cm) ayarı 5 v/cm’de iken tepeden tepeye 6.4 cm ölçülmüştür. Etkin değeri (V_{rms}) hesaplayınız.

$$V_{p-p} = 6.4 \text{ cm} \times 5 \text{ v/cm} = 32 \text{ v}$$

$$V_p = V_{p-p} / 2 = 16 \text{ v}$$

$$V_{rms} = V_p / \sqrt{2} = 0.707 V_p = 0.707 \times 16 \text{ v} = 11.31 \text{ v}$$

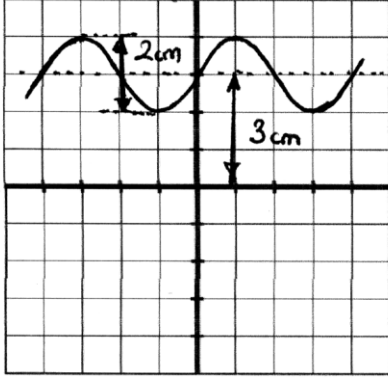
Örnek.5: Sinüzoidal tipli bir sinyalin tepe gerilimi 15v’tur. Bu sinyalin dikey duyarlılık (V/cm) 10 v/cm’de tepeden tepeye kaç cm ölçülmelidir?

$$V_p \text{ okuma} = 15 \text{ v} \times 1 \text{ cm} / 10 \text{ v} = 1.5 \text{ cm}$$

$$V_{p-p} = V_p \text{ okuma} \times 2 = 1.5 \times 2 = 3 \text{ cm}$$

Giriş Modları; DC, AC ve GND

Birçok osiloskopta giriş seçeneği düğmesi DC, AC ve 0 (GND veya GD) olarak işaretlenmiştir. 0 veya GND seçeneğinde girişe otomatikman 0 volt uygulanır ya da diğeri bir manasıyla giriş şaseye bağlanır. Bu izin dikey konumunu kalibre içindir. AC konumunda ise girişten gelen sinyalin DC bileşeni atılarak (sinyalin ortalama değeri sıfıra çekilerek) ekranda görülür. DC konumunda ise giriş sinyalinin DC bileşeni atılmadan ekranda gösterilir.



DC giriş modu (1 v/cm)

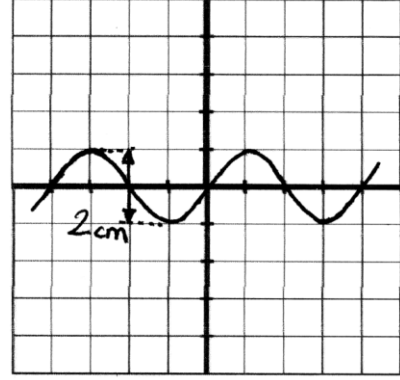
Bu sinyalin DC bileşeni

$$V_{dc} = 3 \text{ cm} \times 1 \text{ v/cm} = 3 \text{ v}$$

Bu sinyalin AC bileşeninin

V_{p-p} değeri

$$V_{p-p} = 2 \text{ cm} \times 1 \text{ v/cm} = 2 \text{ v}$$



AC giriş modu

Bu sinyalin DC bileşeni

$$V_{dc} = 0 \text{ cm} \times 1 \text{ v/cm} = 0 \text{ v}$$

Bu sinyalin AC bileşeninin

V_{p-p} değeri

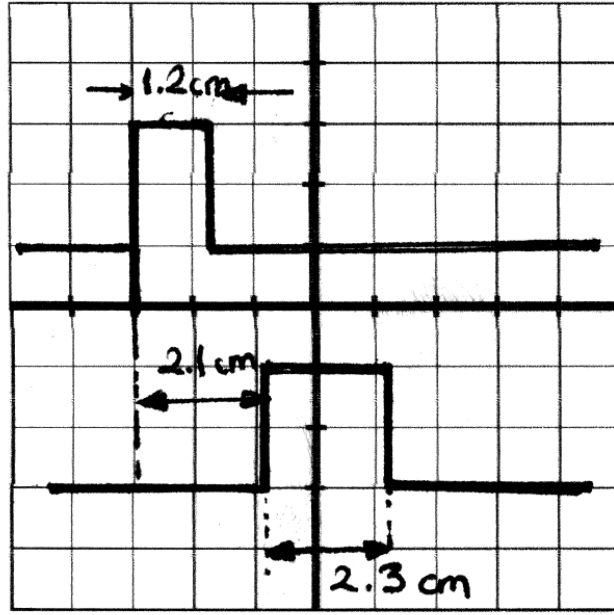
$$V_{p-p} = 2 \text{ cm} \times 1 \text{ v/cm} = 2 \text{ v}$$

Hem DC hem AC bileşeni ölçmek istiyorsak bu sadece AC veya sadece DC girişli bir osiloskop ile yapabileceğimiz bir ölçme değildir. Yalnızca AC girişli bir osiloskoptan DC bileşen ölçmek imkânsızdır. Her ne kadar DC girişli bir osiloskoptan AC bileşen ölçülebilirse de, AC ve DC giriş modlarının farklı olmasının yararı su örnekte açıkça görülebilir. Eğer DC bileşen AC bileşene oranla oldukça yüksek bir değerde ise örneğin DC bileşen 80 v ve AC bileşen 4 v tepeden tepeye ise 20 v/cm konumunda DC bileşeni ölçebiliriz fakat AC bileşeni hassas bir şekilde ölçmemiz mümkün değildir. AC bileşeni ölçmek için giriş seçeneği AC 'ye alınır ve v/cm komütatörü de 1v/cm konumuna getirilirse AC bileşen fark edilerek hassas bir ölçüm yapılabilecektir.

Osiloskopla Zaman Ölçümü

Osiloskobun zaman ölçümlerinde kullanılan komütatörü yatay duyarlılık (Time/div veya Time/cm) komütatörüdür. Bu komütatör ayarları aracılığıyla hassas zaman ölçümleri yapılabilir.

Örnek .6 :

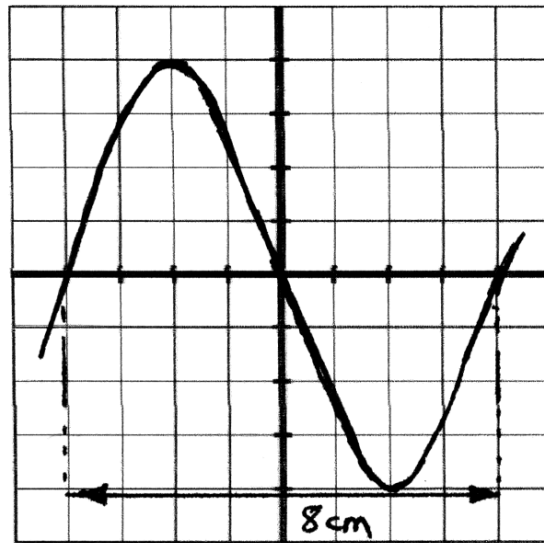


Time/cm 20 msn/cm için ilk vurunun genişliği $t = 1.2 \times 20 = 24$ msn. İkinci vurunun genişliği $t = 2.3 \times 20 = 46$ msn ve birinci ve ikinci vurur arasındaki zaman farkı $t = 2.1 \times 20 = 42$ msn

Frekans Ölçümleri:

Osiloskop ekranında periyodik dalganın bir periyodunun uzunluğu ölçülebilirse buradan $f=1/T$ formülünden sinyalin frekansı hesap edilebilir.

Örnek .7:



20 $\mu\text{sn/cm}$ için periyot

$$T = 8 \text{ cm} \times 20 \mu\text{sn/cm} = 160 \mu\text{sn}$$

$$f = 1 / T = 1 / 160 \mu\text{sn} = 6.25 \text{ KHz}$$

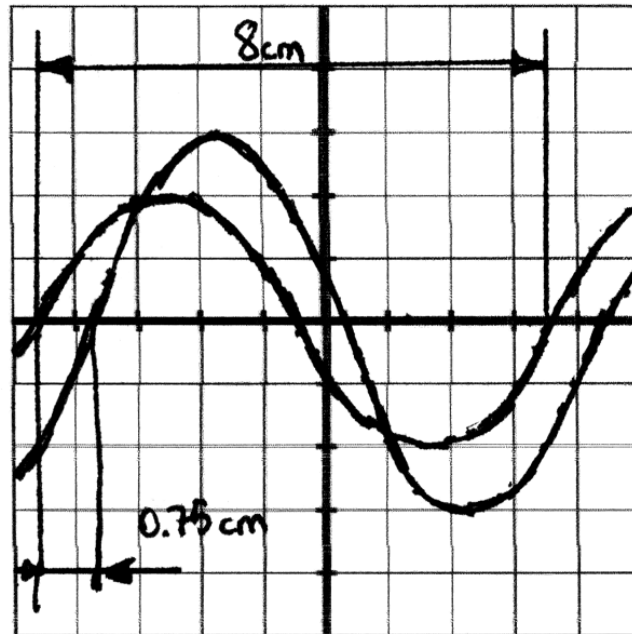
Faz Farkı Ölçümü:

Frekansı eşit olan iki dalganın faz farkı osiloskop ekranından

$$\frac{\text{Bir Periyod için Toplam Uzunluk}}{360^\circ} = \frac{\text{Faz Farkının Uzunluğu}}{\Theta \text{ (Faz Farkı)}}$$

formülünden hesaplanır.

Örnek .8:

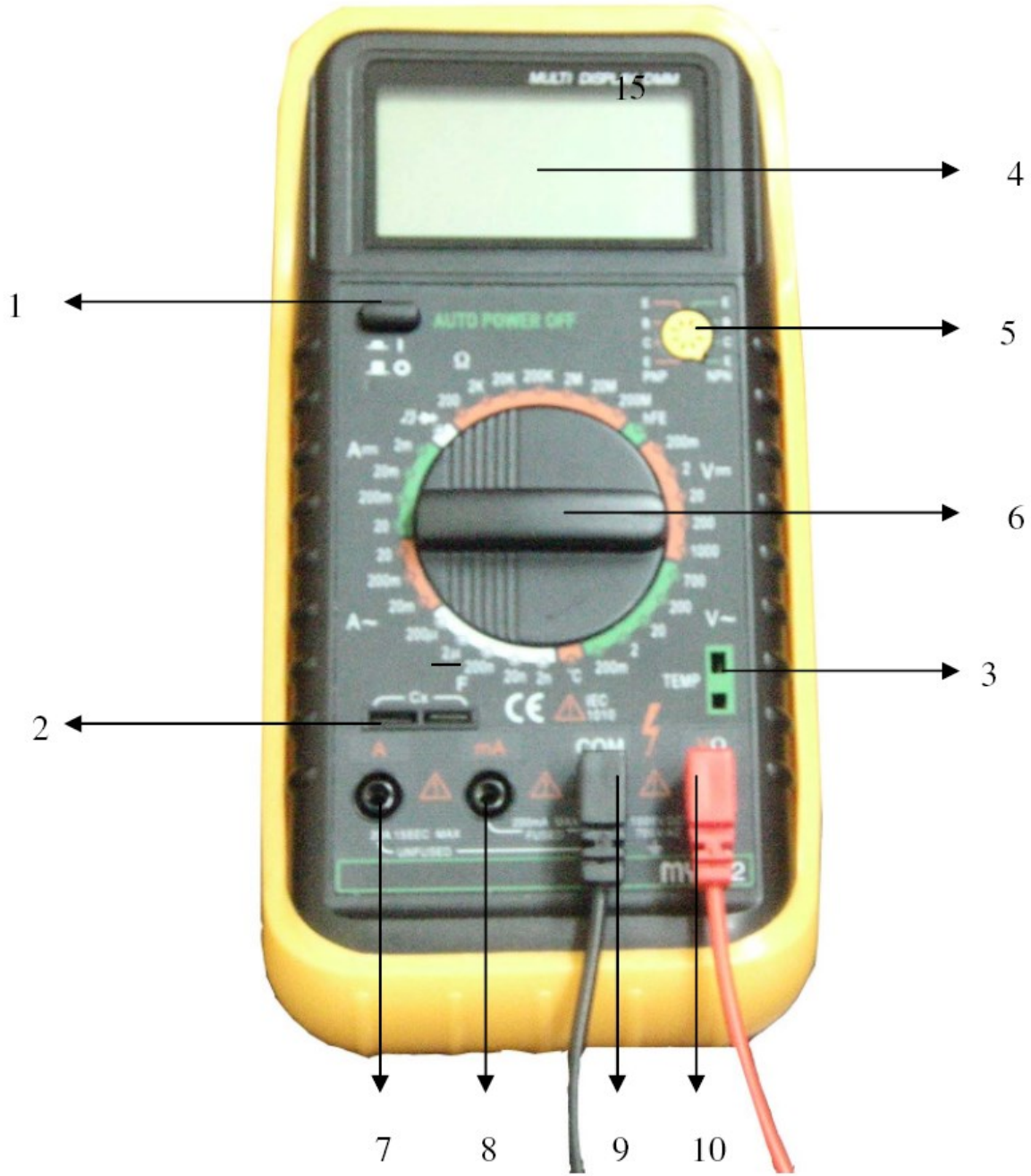


Formülü kullanarak

$$8 \text{ cm} / 360^\circ = 0.75 / \Theta$$

$$\Theta = 360^\circ \times 0.75 / 8 = 33.75^\circ$$

III. DİJİTAL MULTİMETRE



BİRİMLER

- (1) Güç anahtarı
- (2) Kapasite ölçme soketi
- (3) Isı ölçme soketi
- (4) Lcd ekran

(5) Transistör ölçme Soketi

(6) Komütatör

(7) Giriş jakı A

(8) Giriş jakı mA

(9) Giriş jakı com

(10) Giriş jakı V

Power:

Bu butona basıldığında devreye güç verilir ve makine açılır. Batarya ömrünü uzatmak için , Auto power off fonksiyonu vardır. Alet 40 dk içinde otomatik olarak kapanır. Aleti tekrar açmak için iki kez power tusuna basılır.

Kapasite ölçme soketi:

Kondansatörlerin kapasite değerlerini ölçmek için kullanılır.

Isı ölçme soketi:

Ortamin ısını ölçmek için kullanılır.

Lcd ekran :

Yapılan ölçümlerin değerlerini dijital olarak gösterir.

Transistör ölçme Soketi:

Transistörlerin test değerlerini ölçmek için kullanılır.

Komütatör:

Cihazımızda 32 aralık ve farklı fonksiyonları var. Komütatör fonksiyonları ve farklı aralıkları seçmek için kullanılır.

Giriş jakı A:

Ölçüm sırasında akım birimi amper kademesindedir.

Giriş jakı mA:

Ölçüm sırasında akım birimi miliamper kademesindedir.

Giriş jakı com:

Kullanım sırasında siyah prob buraya takılı olmalıdır.

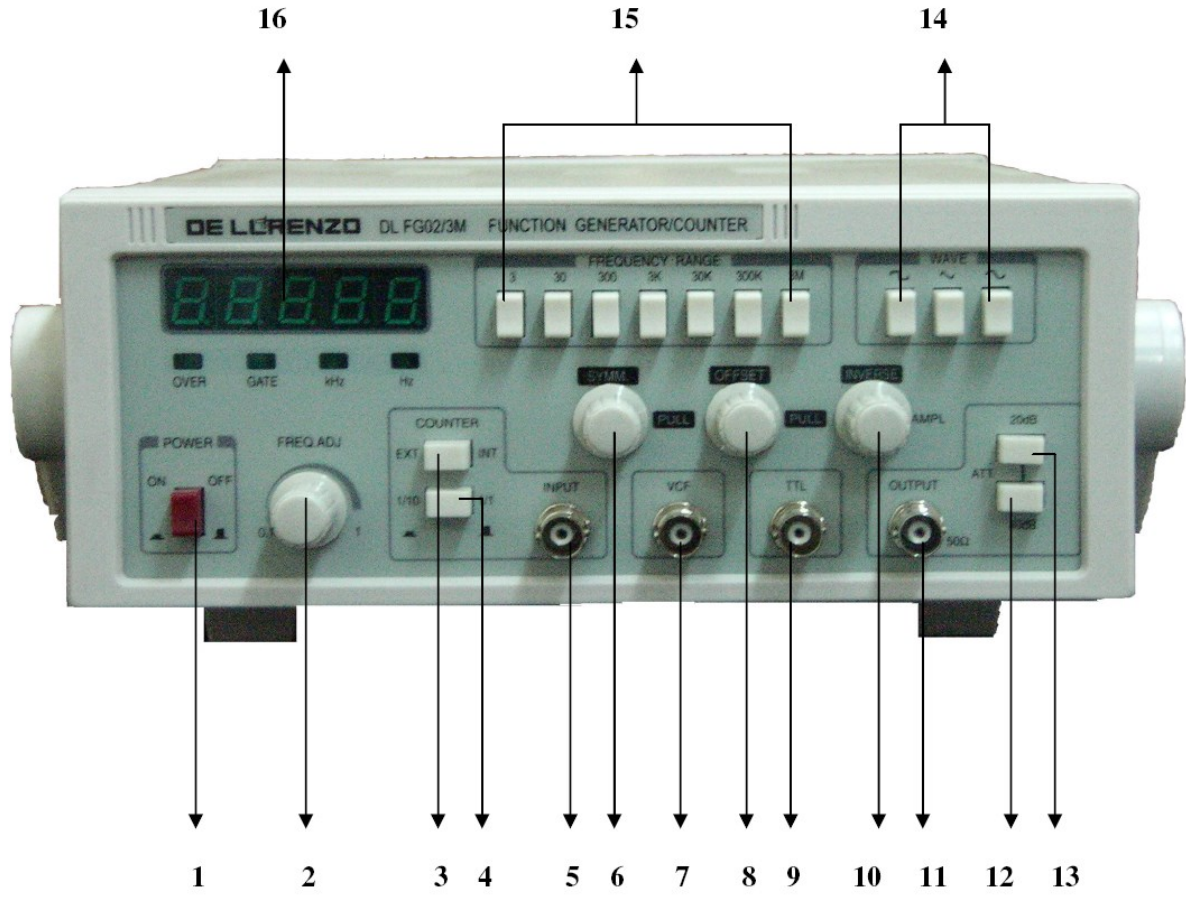
Giriş jakı V :

Seçilen fonksiyona bağlı olarak kırmızı prob buraya bağlanır.

CİHAZIN FONKSİYONLARI:

- DC ve AC VOLTAJ ÖLÇÜMÜ
- DC ve AC AKIM ÖLÇÜMÜ
- DİRENÇ ÖLÇÜMÜ
- KAPASİTE ÖLÇÜMÜ
- DİYOT VE TRANSİSTÖR RESTİ
- SESLİ SÜREKLİLİK TESTİ
- ISI ÖLÇÜMÜ
- FREKANS ÖLÇÜMÜ

IV. FONKSİYON JENERATÖRÜ



BİRİMLER

- (1) Power
- (2) Frekans Düzeltici
- (3) INT/EXT Anahtarı
- (4) Zayıflık
- (5) Giriş Soketi
- (6) SYMM
- (7) VCF Giriş Soketi
- (8) DC Konum Anahtarı
- (9) TTL Çıkış
- (10) Genlik

(11) Çıkış Soketi

(12) Zayıflık

(13) Zayıflık

(14) Dalga Şekli Seçici

(15) Frekans Sıralama

(16) Frekans Sayıcı

Power:

Bu butona basıldığında devreye güç verilir ve makine açılır.

Frekans Düzeltici:

Frekansı 0.03 Hz ile 3MHZ arası düzeltme ayarlama yapar.

INT/EXT Anahtarı :

EXT frekansını ölçer.

Zayıflık :

Giriş sinyalini 20 dB'ye indirir.

Giriş Soketi :

EXT sinyali içindir.

SYMM :

Anahtarı çıkardıktan sonra sinyali simetrik dalga şekline çevirir.

VCF Giriş Soketi :

Ana çıkış sinyalini EXT sinyal ile kontrol etmeye yarar.

DC Konum Anahtarı:

Anahtarı çıkardıktan sonra DC konumunu düzenler.

TTL Çıkış:

TTL çıkış soketi.

Genlik:

Ana çıkışın genliğini ayarlar.

Çıkış Soketi:

Çıkış için kullanılan sokettir.

Zayıflık:

Çıkış sinyalini 40 dB'ye ayarlar.

Zayıflık:

Çıkış sinyalini 20 dB'ye ayarlar.

Dalga Şekli Seçici:

Çıkış dalga şeklini seçer.

Frekans Sıralama:

Frekansı seçer ve ikinci maddedeki gibi düzenler.

Frekans Sayıcı:

Sinyal Frekansını görüntüler.

Ana çıkış:

Güç kaynağı açıldığı anda alet çalışmaya baslar. DC konum anahtarı çıkarılmaz. Frekans sayıcı seçim anahtarı (3.madde) INT konumuna ayarlanır. Dalga şekli seçen anahtar (14. madde) fonksiyon dalga pozisyonunda ve frekans sıralama düğmesi(15. madde) kullanımlı bir sırada olduğu zaman aletin çıkışı dalga şekline uygun hale gelmelidir.

Testere dişli ve pulse dalgalar:

Ne zaman ki dalga sekli anahtarı “triangle wave” veya “square wave” konumunda olursa ve simetri düğmesi çekilirse, potansiyometre testere dişli veya pulse dalgalı bir vaziyet alır. Ters çevirme anahtarı (inversion) çekildiğinde, testere dişli veya pulse dalganın zıtlığı elde edilir.

DC konumu:

Dalga şeklinin genliği 10v pp olduğu ve “DC OFFSET” düğmesi çekilip ayarlandığı zaman, F10V veya F5v değerinden daha güçlü olan DC seviyesi oluşabilir. Eğer dalga şekli genliği 10V pp’den büyük olursa, sınırlandırılır.

VCF:

Sokete (-5v 0v) arası bir giriş sinyali uygulandığı zaman (7. maddedeki soket), ana çıkış (11. maddedeki soket) frekansı giriş sinyali boyunca değişir.

Frekans sayıcı:

EXT butonuna basıldığı zaman (3. madde), alet frekans metre olarak kullanılabilir.

LABORATUAR DENEYLERİ

- DENEY-I** : Seri ve Paralel Bağlı Direnç Devre Uygulamaları
- DENEY-II** : Seri ve Paralel Bağlı Direnç Devre Uygulamaları
- DENEY-III** : Düğüm Noktası ve Çevre Akımları Analiz Yöntemleri
- DENEY-IV** : Thevenin-Norton Teoremleri ve Maksimum Güç Transferi
- DENEY-V** : Süperpozisyon Prensibi
- DENEY-VI** : RL ve RC Devrelerinin Doğal Tepkileri
- DENEY-VII** : RL ve RC Devrelerinin Basamak Tepkileri
- DENEY-VIII**: Paralel R-L-C Devresinin Tabi Tepkisi
- DENEY-IX** : Paralel R-L-C Devresinin Birim Basamak Tepkisi
- DENEY-X** : Seri R-L-C Devresinin Tabi ve Birim Basamak Tepkisi
- DENEY-XI** : Tasarım Deneyi

I. DENEY: Seri ve Paralel Bağlı Direnç Devre Uygulamaları

GİRİŞ: Dirençler devre analizinde kullanılan en temel devre elemanıdır. Ohm Kanunu dirençler üzerinde oluşan potansiyel farkını üzerinden geçen akıma bağlar. Eğer bir direncin akım gerilim grafiği çizilirse ortaya çıkan seklin bir doğru olduğu görülür. Bu doğrunun eğimi ile direnç değeri arasında matematiksel bir ilişki vardır. Gerilim ve akım kaynakları ise devreye güç verebilen devre elemanlarıdır. İdeal gerilim ve akım kaynakları üzerlerinde tanımlı değeri değiştirmezler.

AMAÇ: Bu deneyin amacı, seri veya paralel bağlı dirençleri gerçek devreler üzerinde denemektir. Bunun için öncelikle uygulanacak devreler için hesaplamalar ön çalışma olarak hazırlanır. Daha sonra bu devreler laboratuarda kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilir. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları bu şekilde karşılaştırılmış olur.

ÖN ÇALIŞMA: Aşağıda deney çalışması olarak verilen devreler için istenen değerlere ait formüller çıkarılacak ve her bir değer hesaplanacaktır. Böylece yapılan hesaplama ile deneyde yapılan ölçümlerden elde edilen değerler karşılaştırılacak ve deney raporunun sonuna bu değerler arasında gözlenen farklılıkların sebepleri ile ilgili yorum yazılacaktır.

DENEY ÇALIŞMASI:

1. Şekil–1 ile şeması verilen devredeki tüm elemanlar için gerilim, akım ve güç değerlerini bulunuz.

R1	R2	V1	I1	V2	I2	Pin	P1	P2
1K	1K							
1K	2K							
2K	1K							
10K	100							
1K	1M							

2. Şekil–2 ile şeması verilen devredeki tüm elemanlar için gerilim, akım ve güç değerlerini hesaplayınız.

R1	R2	V1	I1	V2	I2	Pin	P1	P2
1K	1K							
1K	2K							
2K	1K							
10K	100							
1K	1M							

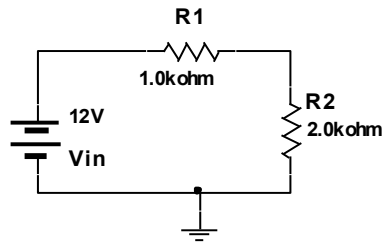
3. Şekil-3 ile şeması verilen devredeki tüm elemanlar için gerilim, akım ve güç değerlerini bulunuz.

R1	R2	V1	I1	V2	I2	Pin	P1	P2
1K	1K							
1K	2K							
2K	1K							
10K	100							
1K	1M							

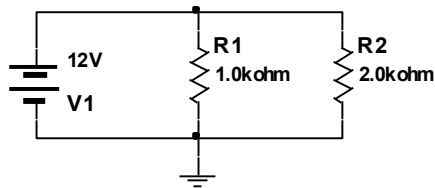
4. Şekil-4 ile şeması verilen devredeki tüm elemanlar için gerilim, akım ve güç değerlerini hesaplayınız.

R1	R2	V1	I1	V2	I2	Pin	P1	P2
1K	1K							
1K	2K							
2K	1K							
10K	100							
1K	1M							

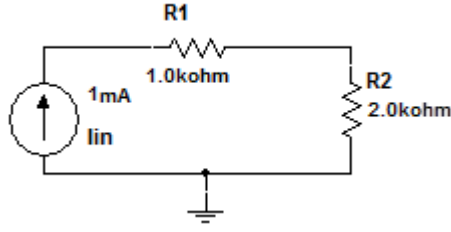
DEVRE ŞEMALARI :



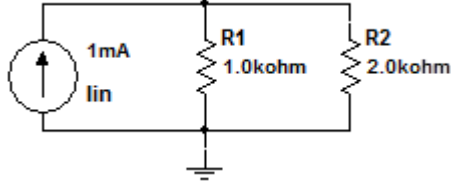
Şekil 1 - Gerilim Kaynağına Seri Bağlı Dirençler



Şekil 2 - Gerilim Kaynağına Paralel Bağlı Dirençler



Şekil 3 - Akım Kaynağına Seri Bağlı Dirençler



Şekil 4 - Akım Kaynağına Paralel Bağlı Dirençler

SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

II. DENEY: Seri ve Paralel Bağlı Direnç Devre Uygulamaları

GİRİŞ: Direk olarak akım çekebileceğimiz bir eleman teoriksel olarak var olsa da pratikte devreye direk akım verebilecek bir eleman bulunmamaktadır. Yani gerçek hayatta bir devreyi kurarken akım kaynağı gerekli olursa bunu direk olarak bir elemandan almayız. Bunun için; bazı devre elemanlarını kullanarak yapılmış ve gerilim kaynağından çekilen gerilimi akıma çeviren basit devrelerden yararlanabiliriz.

AMAÇ: Bu deneyin amacı, gerilim kaynağına karışık bağlı dirençleri gerçek devreler üzerinde denemektir. Bunun için öncelikle uygulanacak devreler için hesaplamalar ön çalışma olarak hazırlanır. Daha sonra bu devreler laboratuarda kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilir. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları bu şekilde karşılaştırılmış olur.

ÖN ÇALIŞMA: Aşağıda deney çalışması olarak verilen devreler için istenen değerlere ait formüller çıkarılacak ve her bir değer hesaplanacaktır. Böylece yapılan hesaplama ile deneyde yapılan ölçümlerden elde edilen değerler karşılaştırılacak ve deney raporunun sonuna bu değerler arasında gözlenen farklılıkların sebepleri ile ilgili yorum yazılacaktır.

DENEY ÇALIŞMASI :

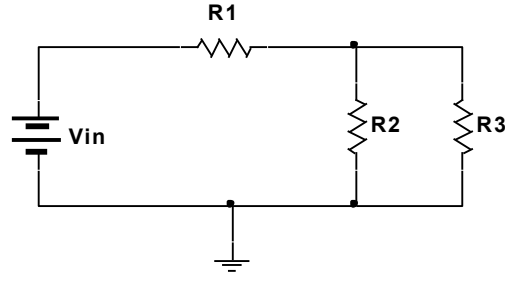
1. $V_{in} = 10$ volt için, aşağıdaki tabloda verilen direnç değerlerine göre I_1 , I_2 , I_3 , V_1 , V_2 ve V_3 değerlerini bulunuz.

R_1	R_2	R_3	V_1	V_2	V_3	I_1	I_2	I_3
1	2	2						
1	2	4						
1	2	2						
4	2	2						
2	2	2						
1	4	2						
4	4	2						

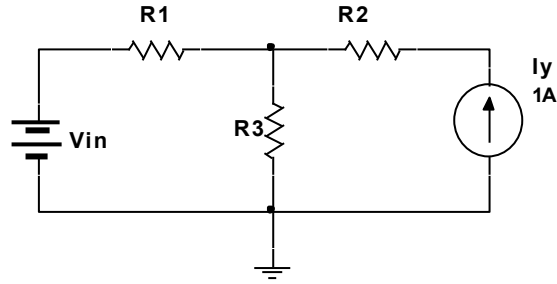
Bu ölçümleri elde edebilmek için gerekli Pspice’da oluşturduğunuz devrenin şeklini çiziniz.

2. Şekil –2’ de verilen devre için $V_{in} = 12$ volt, $I_y = 1A$, $R_1 = 1$ ohm, $R_2 = 1$ ohm ve $R_3 = 2$ ohm değerleri kullanılarak R_3 direnci üzerinde harcanan gücü bulunuz. Bu gücü bulmak için kullandığımız Pspice devre şemasını çiziniz.

DEVRE ŞEMALARI :



Şekil 1- Gerilim Kaynağına Karışık Bağlı Dirençler



Şekil 2 - Gerilim ve Akım Kaynaklarının Birlikte Kullanılması

SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

III. DENEY: Düğüm Noktası ve Çevre Akımları Analiz Yöntemleri

GİRİŞ: Düğüm gerilimleri yöntemi hem düzlemsel hem de düzlemsel olmayan devrelere uygulanabilen bir devre analiz yöntemidir. Kirchoff'un akım ve gerilim kanunundan yola çıkarak devrede temel düğümlere gerilim atanması ile devrenin bütün bilinmeyenlerinin çözülmesi amacı ile kullanılır. Çevre akımları yöntemi ise yalnızca düzlemsel devrelere uygulanabilen bir devre analiz yöntemidir. Kirchoff'un akım ve gerilim kanunundan yola çıkarak devrede çevrelerin bulunması ile devrenin bütün bilinmeyenlerinin çözülmesi amacı ile kullanılır.

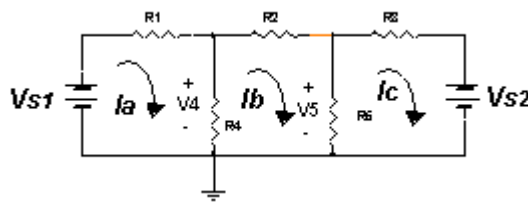
AMAC: Bu deneyin amacı düğüm noktası ve çevre akımları analiz yöntemlerini gerçek devreler üzerinde denemektir. Bunun için öncelikle uygulanacak devreler için hesaplamalar ön çalışma olarak hazırlanır. Daha sonra bu devreler laboratuarda kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilir. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları bu şekilde karşılaştırılmış olur.

ÖN ÇALIŞMA:

- **Düğüm Noktası Analizi Yöntemi**

Şekil 1'de gösterilen devre için düğüm noktası analiz yöntemini uygulayınız. $V_{s1}=20V$ ve $V_{s2}=9.6V$ olsun. Direnç değerleri tabloda verilmiştir.

1. V_4 ve V_5 düğüm noktası gerilimlerini bulunuz.
2. I_1 , I_2 , I_3 , I_4 ve I_5 kol akımlarını birinci adımda bulduğunuz düğüm noktası gerilimleri ve gerilim kaynaklarının değerlerini kullanarak bulunuz.
3. Gerilim kaynaklarının devreye güç verip vermediklerini belirleyiniz.



Şekil 1: 3. Deney Devresi

- **Çevre Akımları Yöntemi**

Şekil'de gösterilen devre için çevre akımları analiz yöntemini uygulayınız. $V_{s1}=20V$ ve $V_{s2}=9.6V$ olsun. Direnç değerleri tabloda verilmiştir.

1. I_a , I_b , ve I_c çevre akımlarını bulunuz.

2. I_1 , I_2 , I_3 , I_4 ve I_5 kol akımlarını birinci adımda bulduğunuz çevre akımları değerlerini kullanarak bulunuz.
3. Gerilim kaynaklarının devreye güç verip vermediklerini belirleyiniz.

DENEY ÇALIŞMASI:

Şekilde gösterilen devre şemasını tabloda verilen direnç değerleri için kurunuz. Devre üzerinden V_4 ve V_5 düğüm noktası gerilimleri ile I_1 , I_2 , I_3 , I_4 ve I_5 kol akımlarını ölçünüz. Teorik hesaplamada bulduğunuz değerler ile deneysel çalışma sonucunda elde ettiğiniz değerleri karşılaştırınız. Farklılıklar varsa, yorumlayınız.

Tablo : Direnç değerleri

Dirençler	Değerler
R_1	$2k\Omega$
R_2	$5k\Omega$
R_3	$2k\Omega$
R_4	$20k\Omega$
R_5	$10k\Omega$

Bu ölçümleri elde edebilmek için gerekli Pspice’da oluşturduğunuz devrenin şeklini çizin.

SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

IV. DENEY: Thevenin-Norton Teoremleri ve Maksimum Güç Transferi

GİRİŞ: Bir elektrik devresi, herhangi iki noktasına göre bir akım kaynağı ve buna paralel bağlı bir dirençle gösterilebilir. Elde edilen devreye Norton Eşdeğeri denir. Devrenin belirlenen iki noktasının kısa devre edilmesi halinde buradan geçecek akım değeri; Norton eşdeğeriindeki akım kaynağındaki akımın değeridir. Eşdeğer devredeki akım kaynağının değeridir. Eşdeğer direnç bulunurken, devredeki gerilim kaynakları kısa devre, akım kaynakları ise kısa devre kabul edilir. Thevenin ve Norton eşdeğer devreleri, devrenin içerisinden çok bir devrenin iki ucu arasında görülen davranış tarzıyla ilgilendiğimiz zaman faydalanabileceğimiz yöntemlerden ikisidir. Thevenin ve Norton eşdeğerleri hiçbir zaman söz konusu devrenin mutlak eşdeğerini vermez. Yalnızca devreye iki ucundan baktığımızda görülen eşdeğerini verir. Bundan dolayı söz konusu devrenin herhangi bir noktasındaki akım ve gerilimlerle ilgilenmekten çok devrenin çıkış uçlarındaki eşdeğeriyle ilgilenir.

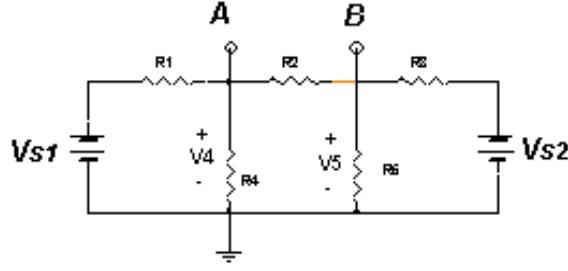
AMAÇ: Bu deneyin amacı Thevenin ve Norton analiz yöntemleri ile Maksimum Güç Transferini gerçek devreler üzerinde denemektir. Bunun için öncelikle uygulanacak devreler için hesaplamalar ön çalışma olarak hazırlanır. Daha sonra bu devreler laboratuarda kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilir. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları bu şekilde karşılaştırılmış olur.

ÖN ÇALIŞMA:

- **Thevenin – Norton Eşdeğer Devreleri**

Şekil’de gösterilen devre için Thevenin ve Norton analiz yöntemlerini uygulayınız. $V_{s1}=15V$ ve $V_{s2}=10V$ olsun. Direnç değerleri tabloda verilmiştir.

1. A – B uçları arasındaki Thevenin eşdeğer gerilimini (V_T) bulunuz.
2. A – B uçları arasındaki Thevenin eşdeğer direncini (R_T) bulunuz.
3. A – B uçlarını kısa devre ederek Norton eşdeğer akımını (I_{KD}) bulunuz.



Şekil 1: 4. Deney Devresi

- **Maksimum Güç Transferi**

Şekil’de gösterilen devre için Thevenin eşdeğer devresini kullanarak A – B uçları arasında takılabilecek olan bir yükü $R_{yük}$ olarak tanımlarsak, $R_{yük}$ direncine aktarılan gücün maksimum değerde olması için gereken $R_{yük}$ değerini bulunuz. $R_{yük}$ olarak ayarlı bir direncin takıldığı varsayılırsa, $1k\Omega$ - $10k\Omega$ arasında $1k\Omega$ ’luk aralıklarla ayarlanacak olan $R_{yük}$ değerleri için $R_{yük}$ direncine aktarılan güç değerlerini bulup bir tablo şeklinde sonuçları yazınız.

DENEY ÇALIŞMASI :

1. Şekilde gösterilen devre şemasını tabloda verilen direnç değerleri için kurunuz.
2. A – B uçları arasındaki açık devre gerilimini voltmetre kullanarak ölçünüz. (V_T)
3. A – B uçları arasına ampermetre takarak kısa devre akımını ölçünüz. (I_{KD})
4. Devredeki gerilim kaynaklarını kısa devre ve akım kaynaklarını açık devre yaparak A – B uçları arasındaki direnci ohmmetre kullanarak ölçünüz. (R_T) Bu şekilde bulduğunuz eşdeğer direnç değerinin (V_T) / (I_{KD}) olduğunu gözlemleyiniz.
5. A – B uçları arasına değeri ayarlanabilir bir direnç takınız. Bu direnç değerini $1k\Omega$ ile $10k\Omega$ arasında değerler vererek A – B uçları arasındaki gerilimleri ölçünüz. Bulduğunuz gerilim değerleri ile kullandığınız direnç değerlerini kullanarak bu direnç değerlerine aktarılan gücü hesaplayınız.
6. Direnç değerlerine karşılık gelen güç değerlerine göre direnç – güç grafik çizimini yapınız.
7. Teorik hesaplamada bulduğunuz değerler ile deneysel çalışma sonucunda elde ettiğiniz değerleri karşılaştırınız. Farklılıklar varsa, yorumlayınız.

Tablo: Direnç değerleri

Dirençler	Değerler
R ₁	4.7 k Ω
R ₂	20 k Ω
R ₃	10 k Ω
R ₄	36 k Ω
R ₅	5.1 k Ω

8. Bu ölçümleri elde edebilmek için Pspice’de oluşturduğunuz devrenin şeklini çizin.

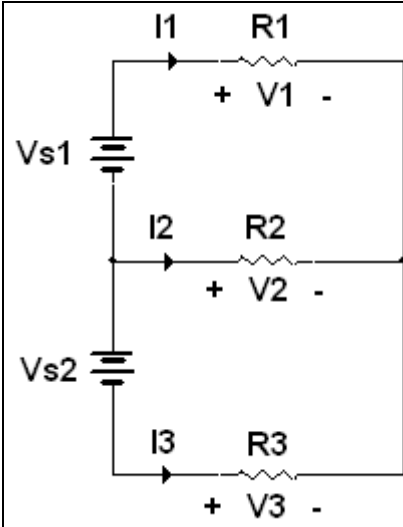
SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

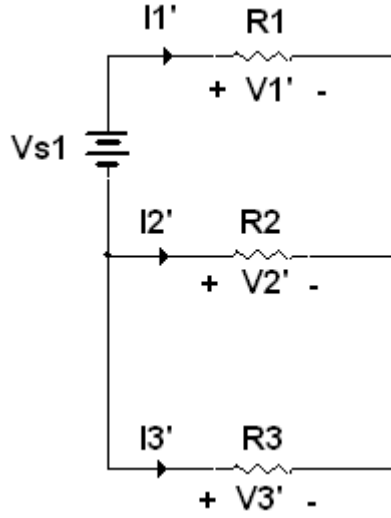
V. DENEY: Süperpozisyon Prensibi

AMAÇ: Bu deneyin amacı süper pozisyon prensibi uygulanarak devre analizi yapmayı görmektir. Bunun için öncelikle uygulanacak devreler için hesaplamalar ön çalışma olarak hazırlanır. Daha sonra bu devreler laboratuarda kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilir. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları bu şekilde karşılaştırılmış olur.

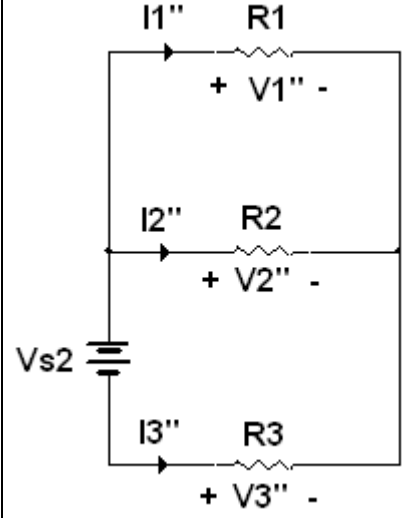
ÖN ÇALIŞMA:



Şekil 1 - 5. Deneyin Devresi



Şekil 2 - Vs2'nin Olmadığı Devre



Şekil 3 - Vs1'in Olmadığı Devre

Tablo: Direnç değerleri

Dirençler	Değerler
R_1	5 k Ω
R_2	10 k Ω
R_3	30 k Ω

Şekil-1'de gösterilen devre için süper pozisyon prensibi uygulanacaktır. $V_{s1}=15V$ ve $V_{s2}=10V$ olsun. Direnç değerleri ise tabloda verildiği gibi alınacaktır.

1. Şekil-1'de verilen devre için V_1 , V_2 ve V_3 gerilimleri ile I_1 , I_2 ve I_3 akımlarını hesaplayınız. Bu hesaplamalar için süper pozisyon prensibini uygulamadan düğüm noktası veya çevre akımları analizi yöntemlerinden istediğinizi kullanabilirsiniz.

2. Şekil-1’de verilen devredeki V_{s2} gerilim kaynağını kısa devre ediniz. Şekil-2’de verilen bu devre için V_1' , V_2' ve V_3' gerilimleri ile I_1' , I_2' ve I_3' akımlarını hesaplayınız.
3. Şekil-1’de verilen devredeki V_{s1} gerilim kaynağını kısa devre ediniz. Şekil-3’te verilen bu devre için V_1'' , V_2'' ve V_3'' gerilimleri ile I_1'' , I_2'' ve I_3'' akımlarını hesaplayınız.
4. İkinci ve üçüncü adımda bulduğunuz değerlerin toplamı ile birinci adımda bulduğunuz değerleri karşılaştırınız. ($X = X' + X''$)

DENEY ÇALIŞMASI :

Uygulama Devresi

1. Şekil-1’de gösterilen devre şemasını tabloda verilen direnç değerleri için kurunuz. V_{s1} ve V_{s2} gerilim kaynaklarının değerlerini ön çalışmada belirtilen değerleri giriniz.
2. V_1 , V_2 ve V_3 gerilimleri ile I_1 , I_2 ve I_3 akımlarını ölçünüz.

V_{s2} ’nin Olmadığı Uygulama Devresi

1. Şekil-2’de gösterilen devre şemasını tabloda verilen direnç değerleri için kurunuz. V_{s1} gerilim kaynağının değerini ön çalışmada belirtilen değer olarak giriniz.
2. V_1' , V_2' ve V_3' gerilimleri ile I_1' , I_2' ve I_3' akımlarını ölçünüz.

V_{s1} ’in Olmadığı Uygulama Devresi

1. Şekil-3’te gösterilen devre şemasını tabloda verilen direnç değerleri için kurunuz. V_{s2} gerilim kaynağının değerini ön çalışmada belirtilen değer olarak giriniz.
2. V_1'' , V_2'' ve V_3'' gerilimleri ile I_1'' , I_2'' ve I_3'' akımlarını ölçünüz.

Analiz

1. Ölçümler sonucu B adımımda elde edilen değerler ile C adımımda elde edilen değerlerin toplamının A adımımda elde değerlere eşit olduğunu gözlemleyiniz.

2. Teorik hesaplamada elde edilen toplam değerler ile ölçümlerden elde edilen toplam değerleri karşılaştırınız.
3. Uygulama sonucunda süper pozisyon prensibinin devre analizi için uygulanıp uygulanamayacağını yorumlayınız.
4. Bu ölçümleri elde edebilmek için Pspice’da oluşturduğunuz devrenin şeklini çiziniz.

SONUÇLAR ve YORUMLAR

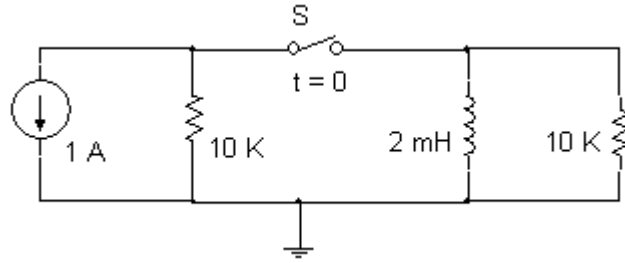
1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

VI. DENEY: RL ve RC Devrelerinin Doğal Tepkileri

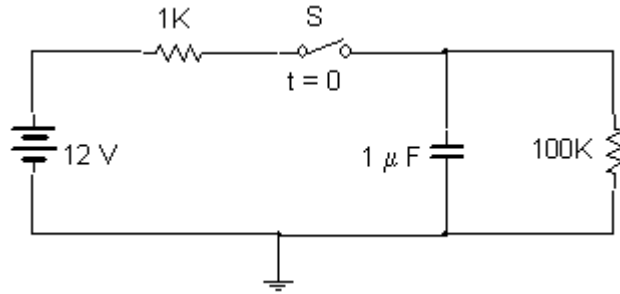
GİRİŞ: RL ve RC devrelerinin doğal tepkileri bulunurken, önce kapasitör veya endüktör bir akım veya gerilim kaynağına bağlanarak şarj edilir daha sonra kaynak devreden çıkarılarak enerji depo eden devre elemanı bir direnç üzerinden deşarj edilir.

AMAÇ: Bu deneyin amacı RL ve RC devrelerinin DC gerilim altında davranış şekillerini incelemektir. Bu deneyde bilinmeyen devre parametrelerinin tespiti için uygulamaya yönelik tekniklere giriş yapılacaktır.

ÖN ÇALIŞMA:



Şekil 1 – RL Uygulama Devresi



Şekil 2 – RC Uygulama Devresi

Şekil-1 ve Şekil-2’de gösterilen devrelerdeki S anahtarlarının çok uzun zamandır kapalı konumda oldukları ve ($t = 0$) anında anahtarların açıldıkları varsayılmaktadır.

- RL devresi için,
 1. ($t = 0^-$) için bobin üzerindeki gerilim ve akım değerlerini bulunuz.
 2. ($t > 0$) için zaman sabitini hesaplayınız.
 3. ($t > 0$) için bobin üzerindeki gerilim ve akım ifadelerini yazınız.

- RC devresi için,
 1. ($t=0^-$) için kondansatör üzerindeki gerilim ve akım değerlerini bulunuz.
 2. ($t > 0$) için zaman sabitini hesaplayınız.
 3. ($t > 0$) için kondansatör üzerindeki gerilim ve akım ifadelerini yazınız.

DENEY ÇALIŞMASI :

RL Devresi

1. Şekil-1’de gösterilen devre şemasını kurunuz. Kurduğunuz Pspice devre şemasını çiziniz.
2. Bobin üzerindeki gerilim değişimini osiloskop kullanarak ve akım değişimini ampermetre kullanarak gözlemleyiniz.
3. Osiloskop ekranında gördüğünüz gerilim-zaman grafiğini milimetrik kağıda çiziniz.
4. Elde ettiğiniz akım değerlerini akım-zaman grafiği olarak milimetrik kağıda çiziniz.
5. Zaman sabitini gerilim grafiğinden bulunuz ve teorik değeri ile karşılaştırınız.

RC Devresi

6. Şekil-2’de gösterilen devre şemasını kurunuz. Kurduğunuz Pspice devre şemasını çiziniz.
7. Kondansatör üzerindeki gerilim değişimini osiloskop kullanarak ve akım değişimini ampermetre kullanarak gözlemleyiniz.
8. Osiloskop ekranında gördüğünüz gerilim-zaman grafiğini milimetrik kağıda çiziniz.
9. Elde ettiğiniz akım değerlerini akım-zaman grafiği olarak milimetrik kağıda çiziniz.
10. Zaman sabitini gerilim grafiğinden bulunuz ve teorik değeri ile karşılaştırınız.

SONUÇLAR ve YORUMLAR

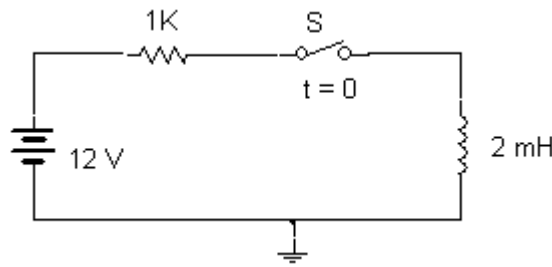
1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

VII. DENEY: RL ve RC Devrelerinin Basamak Tepkileri

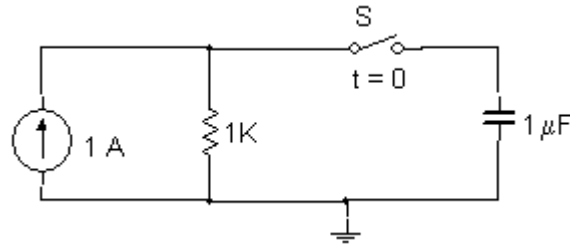
GİRİŞ: RL ve RC devrelerinin basamak tepkileri, DC gerilim veya akım kaynağının ani olarak devreye verilmesiyle elde edilen tepkidir.

AMAÇ: Bu deneyin amacı RL ve RC devrelerinin DC gerilim altında davranış şekillerini incelemektir. Bu deneyde bilinmeyen devre parametrelerinin tespiti için uygulamaya yönelik tekniklere giriş yapılacaktır.

ÖN ÇALIŞMA:



Şekil 1 – RL Uygulama Devresi



Şekil 2 – RC Uygulama Devresi

Şekil-1 ve Şekil-2’de gösterilen devrelerdeki S anahtarlarının çok uzun zamandır açık konumda oldukları ve ($t = 0$) anında anahtarların kapalı konuma getirildikleri varsayılmaktadır.

1. RL devresi için,

- ($t = 0^-$) için bobin üzerindeki gerilim ve akım değerlerini bulunuz.
- ($t > 0$) için zaman sabitini hesaplayınız.
- ($t > 0$) için bobin üzerindeki gerilim ve akım ifadelerini yazınız.

2. RC devresi için,

- ($t = 0^-$) için kondansatör üzerindeki gerilim ve akım değerlerini bulunuz.
- ($t > 0$) için zaman sabitini hesaplayınız.

- f. ($t > 0$) için kondansatör üzerindeki gerilim ve akım ifadelerini yazınız.

DENEY CALIŞMASI:

RL Devresi

1. Şekil-1’de gösterilen devre şemasını kurunuz. Kurduğunuz Pspice devre şemasını çiziniz.
2. Bobin üzerindeki gerilim değişimini osiloskop kullanarak ve akım değişimini ampermetre kullanarak gözlemleyiniz.
3. Osiloskop ekranında gördüğünüz gerilim-zaman grafiğini milimetrik kağıda çiziniz.
4. Elde ettiğiniz akım değerlerini akım-zaman grafiği olarak milimetrik kağıda çiziniz.
5. Zaman sabitini gerilim grafiğinden bulunuz ve teorik değeri ile karşılaştırınız.

RC Devresi

1. Şekil-2’de gösterilen devre şemasını kurunuz. Kurduğunuz Pspice devre şemasını çiziniz.
2. Kondansatör üzerindeki gerilim değişimini osiloskop kullanarak ve akım değişimini ampermetre kullanarak gözlemleyiniz.
3. Osiloskop ekranında gördüğünüz gerilim-zaman grafiğini milimetrik kağıda çiziniz.
4. Elde ettiğiniz akım değerlerini akım-zaman grafiği olarak milimetrik kağıda çiziniz.
5. Zaman sabitini gerilim grafiğinden bulunuz ve teorik değeri ile karşılaştırınız.

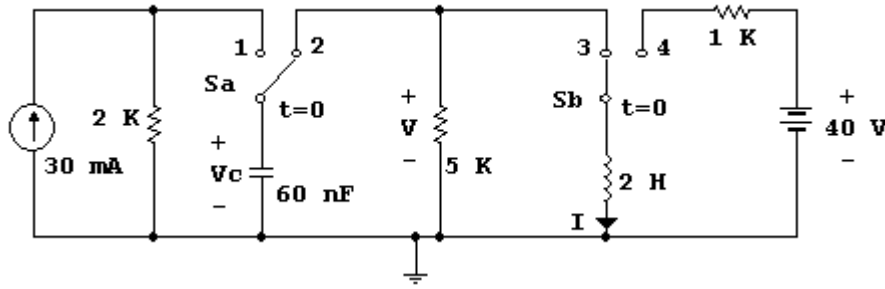
SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

VIII. DENEY: Paralel R-L-C Devresinin Tabi Tepkisi

AMAÇ: Bu deneyin amacı RLC devrelerinin DC gerilim altında tabi tepkilerini incelemektir. Bu deneyde bilinmeyen devre parametrelerinin tespiti için uygulamaya yönelik teknikler kullanılacaktır.

ÖN ÇALIŞMA:



Şekil 1– RLC Uygulama Devresi

Şekil 1’de gösterilen devredeki anahtarlardan çok uzun zamandır Sa anahtarının “1” konumunda ve Sb anahtarının “4” konumunda olduğu varsayılmaktadır. ($t = 0$) anında Sa anahtarının “2” ve Sb anahtarının “3” konumuna getirildiği varsayılmaktadır.

1. V_c , I nın başlangıç değerlerini bulunuz. ($t = 0^-$)
2. $t > 0$ için karakteristik fonksiyonun köklerini bulunuz.
3. Devrenin tepki türünü bulunuz.
4. $v(t)$ fonksiyonunu bulunuz. ($t \geq 0$)

DENEY ÇALIŞMASI:

1. Ön çalışmanın 1 ve 4 nolu basamaklarını gerçekleştiriniz.
2. Kurduğunuz Pspice devre şemalarını çiziniz.

AÇIKLAMA :

Tüm grafikler milimetrik kağıtlara çizilecektir.

SONUÇLAR ve YORUMLAR

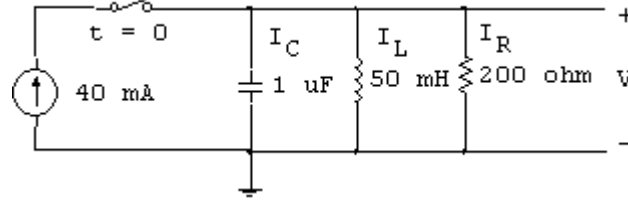
1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.

2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

IX. DENEY: Paralel R-L-C Devresinin Birim Basamak Tepkisi

AMAÇ: Bu deneyin amacı RLC devrelerinin DC gerilim altında birim basamak tepkilerini incelemektir. Bu deneyde bilinmeyen devre parametrelerinin tespiti için uygulamaya yönelik teknikler kullanılacaktır.

ÖN ÇALIŞMA:



Şekil 1– RLC Uygulama Devresi

Şekil 1’de gösterilen devredeki anahtarın çok uzun zamandır açık konumda olduğu ve ($t = 0$) anında anahtarın kapalı konuma getirildiği varsayılmaktadır.

1. I_C , I_L ve I_R akımlarının başlangıç değerlerini bulunuz. ($t = 0^+$)
2. Karakteristik fonksiyonun köklerini bulunuz.
3. V , I_C , I_L ve I_R fonksiyonlarını bulunuz ve grafiklerini çiziniz. ($t \geq 0$)
4. Devrenin tepkisinin türünü bulunuz.

DENEY ÇALIŞMASI:

1. Ön çalışmanın 1 ve 3 nolu basamaklarını gerçekleştiriniz.
2. Kurduğunuz Pspice devre şemalarını çiziniz.

AÇIKLAMA :

Tüm grafikler milimetrik kağıtlara çizilecektir.

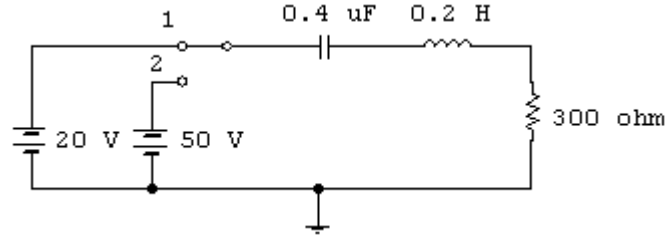
SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

X. DENEY: Seri R-L-C Devresinin Tabi ve Birim Basamak Tepkisi

AMAÇ: Bu deneyin amacı RLC devrelerinin DC gerilim altında tabi ve birim basamak tepkilerini birlikte incelemektir. Bu deneyde bilinmeyen devre parametrelerinin tespiti için uygulamaya yönelik teknikler kullanılacaktır.

ÖN ÇALIŞMA:



Şekil 1– RLC Uygulama Devresi

Şekil 1’de gösterilen devredeki anahtarın çok uzun zamandır “1” konumunda olduğu ve ($t = 0$) anında anahtarın “2” konumuna getirildiği varsayılmaktadır.

1. V_C , V_L ve V_R gerilimlerinin başlangıç değerlerini bulunuz. ($t = 0^+$)
2. Karakteristik fonksiyonun köklerini bulunuz.
3. I_C , V_C , V_L ve V_R fonksiyonlarını bulunuz ve grafiklerini çiziniz. ($t \geq 0$)

DENEY ÇALIŞMASI:

1. Ön çalışmanın 1 ve 3 nolu basamaklarını gerçekleştiriniz.
2. Kurduğunuz Pspice devre şemalarını çiziniz.

ACIKLAMA:

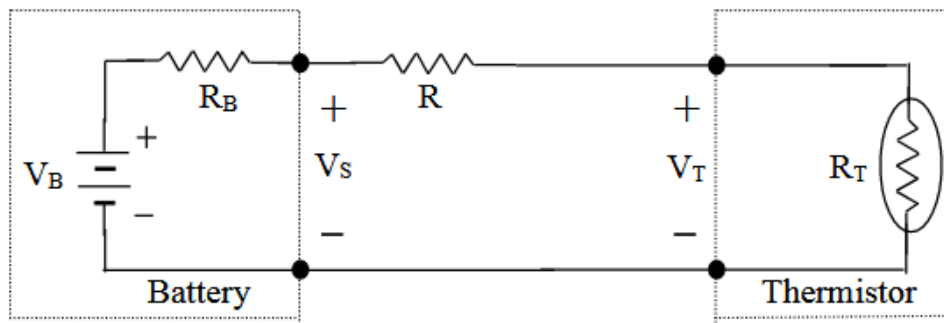
Tüm grafikler milimetrik kağıtlara çizilecektir.

SONUÇLAR ve YORUMLAR

1. Deney bölümünde yaptığınız bütün işlemleri ve ölçümleri rapor ediniz. Yorumlarınızı ekleyiniz.
2. Devrenin teorik hesaplarını yaparak ölçümlerle karşılaştırınız.

XI. DENEY: Tasarım Deneyi

Uçucu sıvıların depolanması amacıyla kullanılan bir tankın sıcaklığını ölçmek için termistörlü basit bir devre tasarlanmak isteniyor. Ölçümün 0°C ila 50°C sıcaklık aralığında yapılabilmesi gerekir. Ayrıca sıcaklık, depolama tankından güvenli bir mesafede bulunan bir enstrümantasyon odasında ölçülebilir olmalıdır. Termistör, Şekil 1'de gösterildiği gibi, işlevsel olarak termistör sıcaklığı T ile ilişkili bir çıkış voltajı V_T elde etmek için bir voltaj bölücü devrede kullanılabilen, sıcaklığa duyarlı bir dirençtir.



Şekil 1– Termistör Devresi

Negatif sıcaklık katsayılı termistörler tipik olarak sıcaklığa karşı eşitlik (1.1)'deki gibi bir dirence sahiptir:

$$R_T = R_0 e^{-\alpha(T-T_0)} \quad (1.1)$$

Termistörlere ait elektronik katalogta $T_0 = 25^\circ\text{C}$ 'dir, yani $R_0 = R_T(25^\circ\text{C})$.

Resistance Ratio (RR)	$R_T(\Omega)$ @ 25° C.
9.0	2.2K
9.0	6.8K
7.2	12K
7.2	22K
9.2	33K
9.4	47K
9.9	68K
9.9	100K
10.0	150K
12.0	470K

Tabloda gösterilen Direnç Oranı (RR), (0°C'de R_T)/(50°C'de R_T), yani,

$$RR = R_T(0)/R_T(50) \quad (1.2)$$

şeklindedir. Ölçümler;

- Tank sıcaklığını ölçmek için yukarıdaki tablodan 47K Ω 'lık bir termistörün depolama tankına bağlandığı ve bu bağın yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu dolayısıyla termistör sıcaklığının tank sıcaklığı ile aynı olduğu,
- Termistörün akım nedeniyle elektriksel ısınmasının ihmal edilebilir olduğu ve enstrümantasyon odası bileşenlerini termistöre bağlayan kabloların, dirençlerinin ihmal edilebilecek kadar büyük olduğu,
- Kaynak olarak ise 6 Voltluk bir kurşun asit pilin mevcut olduğu ve pilin 6.3 voltluk nominal terminal açık devre voltajına (V_B) ve 3 ohm'luk bir iç dirence (R_B) sahip olduğu,

varsayımları ile yapılmaktadır. Ayrıca, pil 1 amper-saat değerine sahip olmalıdır, devrenin pil değiştirilmeden 1 yıl boyunca çalışması gerekmektedir ve seri direnç R, Standart Direnç Değer Çarpanlarında gösterildiği gibi %5 dirençler için standart değerlerden seçilmelidir. Bununla birlikte V_S ve V_T 'nin ölçülmesinde 1M Ω giriş direncine sahip, taşınabilir, pille çalışan bir voltmetre kullanıldığı varsayılmaktadır. Analizinizde, bu voltmetrenin devre üzerindeki etkisinin dahil edilebilmesi için Thevenin eşdeğer devresini kullanabilirsiniz.

Devreyi tasarlarken, örneğin V_T 'ye karşı T_T grafiğinin 0°C ila 50°C sıcaklık aralığında doğrusallıktan nispeten küçük bir sapmaya sahip olacağı şekilde bir seri direnç R seçin. Tasarımınızın sıcaklığa karşı yeterince hassasiyet sağladığından emin olun; yani tüm sıcaklıklardaki voltaj aralığı, bunun doğru bir şekilde ölçülmesine olanak sağlayacak şekilde olsun. %50'lik bir voltaj salınıminin yeterli olduğu kabul edilebilir.

Tasarım oluşturulduktan sonra, ölçülen tank sıcaklığı (T_T) 'den (V_T) değerinin hesaplanmasında akü voltajındaki herhangi bir değişiklikten kaynaklanan hataların en aza indirilmesi için (1.3)'te verilen eşitlik kullanılabilir:

$$T_T = T_1 + K_V V_T / V_S \quad (1.3)$$

Standart Direnç Değer Çarpanları

Tablodaki çarpan değerleri tüm $\pm$ %5 toleranslı dirençler için geçerlidir. $\pm$ %10 toleranslı dirençler yalnızca * ile işaretlenen değerlerde mevcuttur. Çarpanlar:

1.0*	1.5*	2.2*	3.3*	4.7*	6.8*
1.1	1.6	2.4	3.6	5.1	7.5
1.2*	1.8*	2.7*	3.9*	5.6*	8.2*
1.3	2.0	3.0	4.3	6.2	9.1

Tablodaki çarpanlar $10n\Omega$ nominal direnç değerleri için geçerlidir. Örneğin, 1.1 çarpanını kullanarak 11Ω , 110Ω , $1.1k\Omega$, $11k\Omega$, $110k\Omega$, $1.1M\Omega$ vb. değerlerinde standart %5 dirençler elde edebilirsiniz. Ayrıca, 10Ω ($1.0*10\Omega$) veya 11Ω ($1.1*10\Omega$) veya 12Ω ($1.2*10\Omega$) nominal değerlerine sahip %5'lik dirençleri seçebilirsiniz de, nominal değere sahip %10'luk bir direnci seçemezsiniz. Bu değer hem 10Ω hem de 12Ω dirençlerin tolerans sınırı dahilinde olduğundan 11Ω ($1.1*10\Omega$) değeri alınmalıdır.

Tasarım raporunuz aşağıdakileri içermelidir:

1. Seri R direnci için seçilen değeri ve nasıl belirlendiğini açıkça tanımlayınız.
2. T_T 'yi hesaplamak için doğrusal denklem (1.3)'te kullanılan T_1 ve K_V 'yi açıkça tanımlayınız.
3. Tasarım problemine çözüm bulmak için yaptığınız işlem adımlarını kısaca tanımlayın. Çözüme ulaşırken yapılan ek varsayımları belirtiniz.
4. Nihai tasarımınız için nominal bileşen değerlerini kullanarak $V_T - T_T$ grafiğini çizdiriniz. Ayrıca V_T 'deki sapma grafiğini de çizdiriniz. Bu grafikleri oluşturmak için Excel, MATLAB veya başka herhangi bir matematiksel bilgisayar programını kullanınız.
5. Sıcaklık aralığında ölçülen gerilim değeri V_T 'deki maksimum sapmayı ve maksimum hata değerini belirleyiniz.