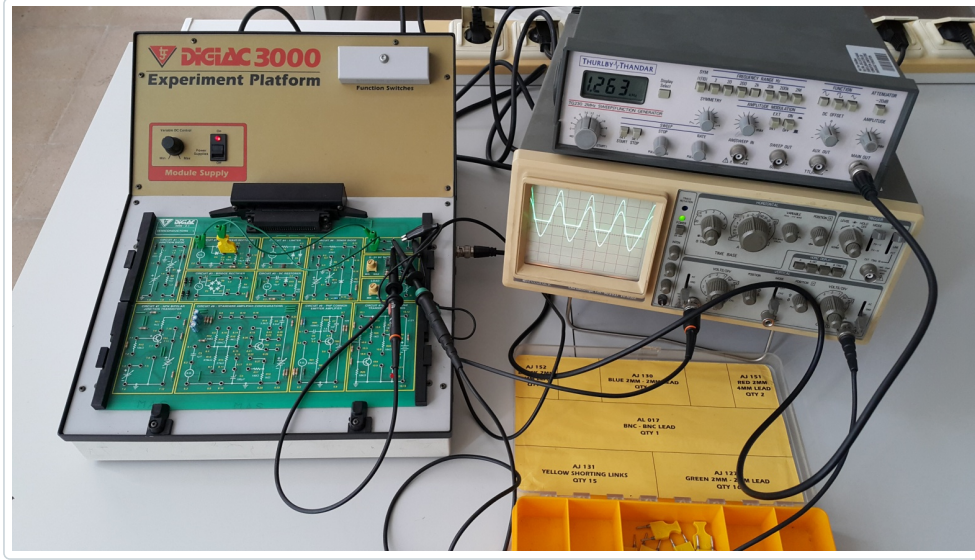




TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ · FİZİK BÖLÜMÜ



FİZ273

ELEKTRONİK I LABORATUVARI

Deney Föyü

Hazırlayan **Öğr. Gör. Fahrettin DOLAŞTIR & Prof. Dr. Selim KARA**

İlk baskı Edirne, 2024

Bu sürüm 2026–2027 Güz



Her deneyin sanal deney tezgâhı, deney başlığındaki QR kodundan açılır.

Sanal laboratuvar

Bilim ve Bilimsel Etik

Bilim; Evrenin ya da olayların bir bölümünü konu olarak seçen, deneysel yöntemlere ve gerçekliğe dayanarak yasalar çıkarmaya çalışan düzenli bilgi sağlamaya yarayan bilgilerin tamamına bilim denir.

Kısaca bilim, doğru düşünme ve sistematik olarak bilgi edinme sürecidir.

“Bilimsel düşünce” bilim çerçevesinde düşünerek yeni fikirler üretmektir. Bilimsel düşünmek “analitik düşünmek” demektir.

Hikmet, kalemle kaimdir (atasözü).

Söz uçar yazı kalır (deyim).

Bilgi paylaştıkça çoğalır (deyim).

Yayınsız bilim ölüdür (Gerald Piel).

Bu sözler yayının önemini belirtirler.

Bir araştırmacının bilgi alırken; neyi, nereden ve nasıl olduğunu belirtmesine kaynak gösterme denir. Bunu yaparken ETİK KURALLARA kesinlikle uyulması gerekir.

“ETİK”, insanlar arasındaki ilişkilerin temelinde yer alan değerleri, ahlaki bakımdan iyi ya da kötü; doğru ya da yanlış olanın niteliğini ve temellerini araştıran felsefe dalı olarak tanımlanmaktadır. Yunanca ethos (töre, gelenek, alışkanlık) sözcüğünden türetilmiştir. Belirli ahlak değerlerinden ya da ilkelerinden oluşan sistemler veya kuramlar için de bu terim kullanılır. Birbiri ile çok yakından ilişkili olan “etik” ve “ahlak” kavramları arasındaki temel ayrım, etik teriminin, genel olarak ahlakı konu alan disiplini belirtmesidir.

Bilimsel düşünce, bilimin genel kurallarına uymanın yanı sıra problemlerin çözümüne yönelirken mutlak doğru sonucu elde etme ve uygulamaya koymada “etik” olmak zorundadır. Bu çerçevede, bilim alanında bilim etiği veya bilim ahlakı kuralları söz konusudur. Etik temellere dayanmayan bir bilimsel çalışma bilimin kurallarına tam olarak uysa bile elde edilen sonuç geçersiz olacaktır.

Yüzyıllar boyunca bilim ve bilimsel düşünce “sahte bilim” ve “karşıt bilim” olarak adlandırabilecek saldırıların hedefi olmuştur. Sahte bilim, bilim yapıyormuş gibi görünme veya bilimi kendi çıkarları için kullanmaya yönelik davranışlar ile karakterizedir. Her iki durumda da özellikle bilimi etik kurallar çerçevesinde uygulamamasıdır. Karşıt bilim ise bilime ve bilimsel düşünceye her koşulda karşı çıkmak, bununla yetinmeyip gerekirse her türlü bilimsel üretimi ve üreticileri olan bilim insanlarını baskı altına almak ve gerekirse hiç çekinmeksizin yok etmek davranışıdır.

Etik Kurallar

Bilimsel bilgi insanın çağdaşlaşması ve refah düzeyinin artması yolunda en etkili güçtür. Günümüz dünyasında gelişmiş olarak nitelendirdiğimiz ülkelerin tümü bilime ve bilimsel araştırmaya büyük yatırım yapmış ülkelerdir. Hatta bu ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ile bilime yaptıkları yatırımın miktarı arasında doğru bir orantı vardır.

Bilimsel araştırma yapmanın amacı bilimsel bilgi elde edebilmektir. Bilimsel bilgi için araştırma yapmak merak ile başlar. Merak varsa çözülmesi gereken bir problem veya yanıt aranan bir soru var demektir. Bilimsel araştırmalar belirli kural ve disiplinler içinde sistematik olarak yürütülüp sonuçlandırılırlar.

Süreç çeşitli aşamalardan oluşur. Problemin veya yanıt aranan sorunun tanımlanması sürecin ilk aşamasını oluşturur. Bu aşamada daha çok konu hakkında bilgisi ve derin sezgisi olan, olay ve konular arasında bağlantı kurabilen kişiler problemi tanımlayabilir veya soruyu sorabilirler. Böylece hedeflenen

amaç da şekillenmiş olur. İkinci aşamada belirlenmiş olan amaca ulaşmak için disiplinli bir çalışma gerekir. Bu süreçte elde edilen verilere şüphe ile yaklaşmak ve sık sık değişik yollarla doğrulamaya gitmek sağlıklı bir sonuca ulaşılabilmesi için uyulması gereken kurallar arasındadır. Bilimsel araştırmanın bu aşaması çoğu zaman yardımcı elemanları veya konu ile ilişkili farklı disiplinlerden farklı araştırmacıları da içeren disiplinler arası veya multidisipliner çalışmayı da gerektirebilir. Üçüncü aşamada ise elde edilen verilerin doğru istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmesi, ulaşılan sonucun hedeflenen amacı doğrulayıp doğrulamadığının test edilmesi ve yayınlanıp yayınlanmayacağına karar verilmesidir. Bilimsel araştırma sürecini kısaca soru sorma veya sorunu tanımlayarak amaç belirleme, uygun yöntemleri kullanarak veri toplama veya veri oluşturma, verilerin analizi ve sonuçların yayınlanması başlıkları altında incelenir. Her bir aşama ile ilişkili etik kurallar farklılık gösterir. Bilimsel araştırma alanı sağlık bilimleri ile ilişkili ise burada deney hayvanları üzerinde gerçekleştirilen deneysel araştırmalar ile insan ekseni klinik araştırmaların etik anlamda bazı noktalarda kendilerine özgü farklılıkları olsa da her iki araştırma grubu için temel etik ilkeler aynıdır.

Bazı etik sorunlar

1. Başkasının fikrinden veya verilerinden esinlenilerek geçerli ve etkili bir hipotez oluşturulup hipotezin doğrudan kendine aitmiş gibi ortaya koyulması.
2. Bilimsel sorunun veya hipotezin o alana özgül yeterli deneyimi ve birikimi olan kişi veya kişilerce oluşturulmaması.
3. Daha önce hiç yapılmamış, ancak yapıldığında elde edilecek sonucun bilimsel anlamda önemli bir gelişme sağlamayacağı açık olan çalışmalar.
4. Örneğin, ilaç ile ilişkili alanda yeterli ve geçerli eğitime sahip olmayan bir sağlık bilimleri alanı çalışanının ilaç araştırmaları ile ilişkili doğrudan hipotez geliştirmesi ve çalışma planlaması.
5. Çalışmanın gerektirdiği etik kurul onayını almadan çalışmaya başlaması.
6. Çalışmanın gerektirdiği koşullara sahip olmayan ortam ve laboratuvarlarda çalışmayı yürütmesi.
7. Çalışmanın yürütüldüğü laboratuvarda yapılan tüm deneysel işlemlerin kayıt edilebileceği resmi bir laboratuvar defterinin bulunmaması.
8. Bir hipotezi sınyarak istatistikçe anlamlı ve geçerli bir sonuç elde etmesine ve bunu yayınlayabilecek durumda olmasına rağmen yayın aşamasında çalışmayı tekrar yapmaya gereksinim duyması.
9. Uygun istatistik kullanıldığında anlamsız çıkan ve hipotezin çürütülmesine neden olan bir sonucun, uygun olmayan bir istatistik kullanılarak anlamlı ve hipotezi destekler şekilde sunulması. Kısaca uygun olmayan istatistik analiz kullanılması.
10. Çalışmayı ucuza mal edebilecek yöntem veya donanımlar var iken daha pahalı olanların tercih edilmesi.
11. Elde edilen bilimsel bilgi sınyanan hipotezi desteklemiyor ve bu durum bilimsel bakımdan özgün bir değer ifade etmiyorsa sonuçların yayınlanması doğru değildir.
12. Bilimcinin insan sağlığını ilgilendiren önemli bir özgün veriyi çeşitli nedenlerle yayın için geciktirmesi veya yayınlamaması da etik değildir.

Araştırma etiğine uymama veya araştırma etiğini önemsememe ülkemiz insanların genel anlamda yasa ve kuralları algılama ve onlara uyma biçimi ile doğrudan ilişkilidir. Trafik kurallarına uyma biçimimiz, fay hattı üzerine bina inşa etme mantığımız ile bilimsel araştırma etiğine uyma biçimimiz ara-

sında temelde bir fark yoktur. Etik kusurlara neden olan davranış kalıbının temelinde şu yaklaşımlar yatmaktadır:

a) Bir şey olmaz abi mantığı Bunun nedeni analitik düşünemememizdir. Analitik düşüncenin ege-men olamamasının nedeni ise eğitim sisteminin ilkokuldan itibaren ezberci ve analitik düşünceden yoksun olmasının yanı sıra bilim felsefesi ve bilim tarihine eğitimimiz içinde fazla yer verilmemesidir. Kaderci ve kolaycı yaklaşımımız ve bu iki yaklaşımdan destek alan kurnazlığımız da bu mantığın olu-şumuna katkı sağlamaktadır.

b) İdare et abi mantığı Kurallara uymama sonucunda yakalanma söz konusu olursa bu mantık dev-reye girer. Ülkemiz bilimcisi yakalansa bile bir yolunu bulunup idare ettirmeyi mutlaka dener. Büyük bir olasılıkla da idare edileceğini bilir. Etik kurulların etik olmayan davranışları görmezden geldiği veya verdiği kararların arasında çelişkiler olduğu yolundadır.

c) Bir defadan bir şey olmaz mantığı Eğer etik ihlali olan kişi nüfuzlu ve önemli biri ise veya etik ihlali olan kişi için araya nüfuzlu ve önemli birileri girmişse bir sefer durumu görmezlikten gelmenin bir sakıncası yoktur. Yasa, yönetmelik, yönerge ve kural vb. nesnelerin bir kere delinmesinden bir şey olmaz.

Çözüm Önerileri

Bilimsel araştırma etiği konusunda ortaya çıkan ve giderek artan sorunların çözümü için yapılması ge-rekenler ve öneriler şöyle sıralanabilir:

- 1) Ülke çapında bilimi ve bilimsel düşünceyi tümüyle özgür kılacak, genç kuşaklara bilim insanı kim-liğini benimsetecek ve bilimsel araştırmaları özendirecek bir eğitim reformu yaparak analitik ve eleştirel düşünceye önem veren bir eğitim sistemi kurulmalıdır.
- 2) Bilime ve bilim etiğine saygılı bir toplum bilinci yerleştirilmelidir. Bunun için etik eğitimi ve bilinci daha ilkokulda vermeye başlanmalıdır.
- 3) Bilimsel araştırma laboratuvarlarına mühürlü ve denetime açık laboratuvar defteri kullanma zo-runluluğu getirilmelidir.
- 4) Etik ihlaller görmezden gelinmemeli, etik kurullar duyarlı ve etik bilinci yüksek üyelere oluşturu-lmalıdır. Etik kurulların verdiği kararlar arasında çifte standart olmamalıdır.
- 6) Yerel etik kurulların çalışmaları sıkı denetlenmeli, çifte standartlı karar alınması veya açık kanıt-lara rağmen etik kusur bulunamaması durumunda şikâyet üzerine bu etik kurullarda çalışanlara yaptırım uygulanabilecek yasal düzenlemeler yapılmalıdır.
- 7) Yeterli ve geçerli hipotez oluşturup uygun yöntemlerle araştırma yapabilecek bilim insanları ye-tiştirilmesine önem verilmelidir. Bunun için ülkemizdeki bilim insanının niteliği ve görüntüsü düzeltilmelidir. Akademik aşamalarda liyakat ve etik değerlere saygı ön plana çıkmalıdır.

Kaynak

Prof. Dr. Tayfun UZBAY

Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı

Laboratuvar Güvenlik Kuralları ve Genel Prensipler

- Acil durumlarda iletişim bilgileri, ilk yardım uygulamaları ve acil çıkış yerleri bilgilerine sahip olun.
- Laboratuvar sorumlusundan izin almadan laboratuvara girmeyin.
- Laboratuvarda mutlaka uzun laboratuvar önlüğü ile önü ilikli olacak şekilde çalışın.
- Saçınız uzun ise mutlaka toplayın veya yanmaz bone içine alın.
- Takı ve aksesuarlarınızı çıkartın.
- Laboratuvar ortamında çalışırken elinizde kesik, yara ve benzeri durumlar varsa bunların üzerini su geçirmez bir bantla kapatın.
- Laboratuvarda yiyecek/içecek tüketmeyin ve gıda malzemelerini bulundurmayın.

Laboratuvarda Çalışırken

- Laboratuvarda ellerinizi yüzünüze sürmeyin, ağızınıza herhangi bir şey almayın.
- Laboratuvar sorumlusunun izni olmadan hiçbir madde ve/veya malzemeyi laboratuvardan dışarı çıkarmayın.
- Laboratuvarda meydana gelen problemleri laboratuvar sorumlusuna bildirin.
- Kullanıldıktan sonra her bir eşya, alet veya cihazı yöntemine uygun biçimde kapatın, temizleyin ve yerlerine kaldırın.
- Atılacak katı maddeleri çöp kutusuna atın.
- Çalışma bittikten sonra ellerinizi sabunla, gerektiğinde de antiseptik bir sıvı ile yıkayın

Elektrikli Cihazlarla Çalışırken

- Elektrikle uğraşırken eller, elektrik düğmeleri ve prizleri kuru olmalıdır.
- Gerektiği durumlar hariç çalışma öncesi elektriksel cihazların güç düğmesinin kapalı ve fişinin prizde olmamasına dikkat edin.
- Elektrik fişlerini kordonundan çekerek çıkarmayın.
- Eğer bir devre elemanı yanarsa ortaya çıkan dumanı teneffüs etmeyin. Özellikle tümleşik devre elemanları toksik malzemeler içerdiğini unutmayın.
- Eğer bir ekipman çalışırken bozulursa, hemen laboratuvar sorumlusuna veya öğretim görevlisine haber verin. Kendinize zarar vermemek için sorunu asla kendiniz çözmeye çalışmayın.
- Yüksek gerilim cihazını çalıştırmadan önce izin alın.
- Uzatma kabloları kullanmaktan kaçının. Eğer mutlaka kullanmanız gerekiyorsa, uzatma kablolarını topraklı ve sigortalı prize takınız. Uzatma kablolarını, kapıların altından ve pencerelerden geçirmeyin, tavana asmayın veya diğer uzatma kablolarına takmayın.

- Bir yüksek gerilim cihazını ayarlarken sadece tek el kullanın. Diğer eliniz cebinizde veya arkanızda olsun. Bu prosedür, yüksek gerilimin bir kolunuzdan vücudunuza ve diğer kolunuza akmasını engeller.
- Elektrikli cihazların topraklanmış olduğundan emin olun.

Kimyasallar ile çalışılırken

- Cilde veya göze kimyasal madde sıçraması halinde bol su ile yıkanmalı
- Giysilerin ateş alması durumunda asla koşulmamalı; yerde yuvarlanarak alev söndürülmeye çalışılmalı ve yardım istenmelidir.
- Laboratuvarda olabilecek kimyasal yanıklar önce bol su ile yıkanmalı, ağrı azalıncaya kadar temiz soğuk su veya dolaylı olarak buz tatbik edilmeli
- Kesik veya kanamalarda; yara ve etrafı temizlenip üzeri gazlı bezle kapatılır. Kanamanın şiddetine göre gevşek ya da sıkı bir tamponla basınç uygulama yoluna gidilir.
- Kimyasallardan kaynaklanan cilt yanıklarında, kimyasal bulaşmış giysiler, ayakkabılar derhal çıkarılmalı; cilt bol suyla en az 15 dakika yıkanmalıdır, yaraya merhem / sprej vb. bir uygulama yapılmamalıdır, yanığın üzerine fazla bastırılmadan sterilize edilmiş bandaj (bulunmuyorsa temiz bir bez) örtülmelidir, Yanığın boyutları büyükse acil yardım çağrılmalıdır.
- Kimyasalın solunum yolu ile alınması sonucu oluşan zehirlenmelerde, bulunulan alan boşaltılıp, yaralının temiz hava alması sağlanmalıdır, sağlık kuruluşu ile temasa geçilmelidir

Elektrik Çarpmalarında İlk Yardım Bilgileri

- Elektriği kesmek için sigortaları kullanın
- Elektrik akımını iletmeyecek kuru bir cismin üzerine çıkın
- Elektrik çarpan kişinin yakınındaki kablo gibi iletkenleri, yalıtkan bir çubukla uzaklaştırın
- Hastayı giysilerinden çekerek bölgeden uzaklaştırın
- Hasta hâlâ nefes alıp vermiyorsa ve nabızı yoksa solunum yardımı ve kalp masajına girişiniz.
- Gerekiyorsa, doktor gelene kadar suni teneffüs uygulanabilir.

Giriş

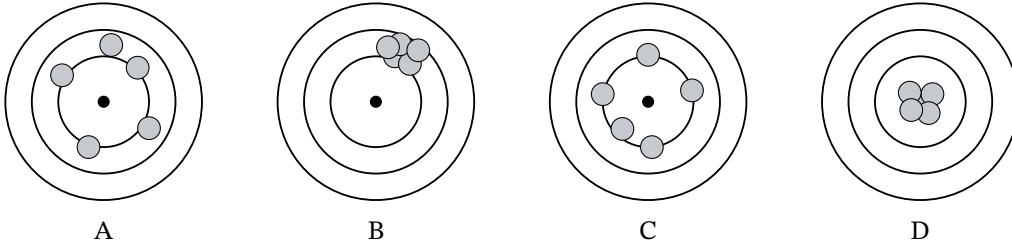
Hata Hesapları, Grafikler ve Raporlar

Ölçmedeki Belirsizlik ve Hata Hesaplamaları

Hiçbir fiziksel nicelik (büyüklük) kusursuz bir kesinlikle ölçülemez. Bu, bir büyüklüğü ölçtüktan sonra ölçümü tekrarladığımızda neredeyse kesinlikle öncekinden farklı bir değer ölçeceğimiz anlamına gelir. O halde fiziksel büyüklüğün “gerçek” değerini nasıl bilebiliriz? Bunun kısa cevabı “bilemeyiz”dir. Bununla birlikte, eğer ölçümlerimizde çok büyük bir dikkat gösterirsek ve daha etkin sonuçlar veren deneysel teknikler kullanırsak, hataları azaltabilir ve bu şekilde ölçümlerimizin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğine dair güvenimizi artırabiliriz. Fiziksel ölçümlerdeki belirsizliklerde kullanılan hata hesaplamaları (analizi) çok geniş kapsamlı bir konudur. Biz burada, ancak bazı temel tanım ve prensipleri öğrenecek ve sonraki deneysel çalışmalarımızda kullanacağız.

Anlamli Sayılar: Ne zaman bir ölçüm yaptığımızda, yazdığımız sonucun anlamli hanelerinin sayısı, ölçümümüzdeki hata sınırları hakkında bir ipucu verir. Örneğin, bir cismin uzunluğunun 3 farklı kişi tarafından ölçüldüğünü ve sırasıyla; 0.428 m, 0.4 m ve 0.42819 m olarak yazıldığını varsayalım. Bu rakamlarda, ölçülen değerlerdeki belirsizlikler, daha sonradan öğreneceğimiz şekliyle açıkça ifade edilmemiştir. Bu durumda, belirsizliğin seviyesini en sondaki (sağ) haneden tahmin ederiz. İlkinde (0.428 m) ölçmedeki belirsizlik 0.001 m civarındadır. Bu belirsizlik, ikincisinde 0.1 m, üçüncüsünde ise 0.00001 m olacaktır. Gerçekte en bilimsel olan, böyle bir sonuç verilirken, anlamli rakam sayısına uygun bir hata tahmini hesaplanıp ayrıca sonucun yanına yazılmasıdır. Örneğin, 0.428 ± 0.023 m gibi. Bu gerçek sonucun 0.405 ile 0.451 arasında bir yerde olacağını belirtir. Buradaki anlamli hane sayısı 3’tür. Eğer yapılan hata hesabı sonucu hata miktarı ± 0.20 m olarak hesaplanabilmiş olsaydı (2 anlamli hane), sonucu yuvarlayarak, 0.43 ± 0.20 m olarak ifade etmemiz gerekirdi. Ayrıca, kabaca bir yaklaşımla, bir aritmetik işleme tabi tutulan 2 veya daha fazla sayının verdiği sonuçtaki anlamli hane sayısı, hesaplamada kullanılan en az sayıda anlamli rakama sahip sayınıniki kadar olabilir. Örneğin kenarları 13.5 ve 4.7 cm olan bir dikdörtgenin alanı için $13.5 \times 4.7 = 63.45 \text{ cm}^2$ kullanmak uygun değildir. Bu sonuç hatanın 0.01 mertebesinde olduğunu belirtir, oysa ki işleme giren sayılardaki hata 0.1 hassasiyetindedir. Yani, ölçüm değerleri 13.4 ve 4.6’dan 13.6 ve 4.8’e kadar değişebilir. Bunlar çarpılırsa, hesaplanan alanın da 61.64’ten 65.28’e kadar değiştiği görülür. Bu yüzden sondaki iki hane anlamsızdır ve sonuç 63 cm^2 olarak ifade edilmelidir.

Ölçmede Hassasiyet (precision) ve Doğruluk (accuracy): Hassasiyet bir ölçümün tekrarlanabilirliğinin ölçüsüdür. Yani, aynı büyüklüğü ardı ardına defalarca ölçtüğümüzde her seferinde birbirine çok yakın sonuçlar çıkıyorsa, bu çalışmadaki hassasiyetin yüksek olduğu anlaşılır. Doğruluk ise, bir ölçümün gerçek değere yakınlığının ölçüsüdür. Aşağıdaki temsili hedef işaretleri gösteriminde, hedefin ortasının, “gerçek değeri” temsil ettiğini düşünün. Bu durumda; hedef A’daki çalışma, hem hassas hem de doğru olmayan bir duruma karşılık gelir. Hedef B, oldukça hassas (tekrarlanabilir) ancak doğruluktan uzaktır. Hedef C’nin ortalaması doğru sonucu vermesine rağmen hassas değildir. D ise, laboratuvar-da elde etmek istediğimiz gibi hem hassas hem de doğrudur.



Hata (error): Bir niceliğin ölçülen değeri ile gerçek değeri arasındaki farktır. Hataların ortaya çıkma nedenleri; kaba hatalar, sistematik hatalar ve rastgele hatalar olarak üç kategoriye ayrılabilir. Ölçülen bir büyüklükteki hatalar, farklı tipteki hataların karışımı olduğu zaman bunları birbirinden ayırmak zordur. Ayrıca, ifade şekillerine göre bunları, mutlak hata ve bağıl hata olarak iki kategoriye de ayırabiliriz: Bir ölçümdeki mutlak hata, ölçülen büyüklüğün değerindeki belirsizliktir ve ölçülen büyüklükle aynı birime sahiptir. Örneğin bir uzunluğun 0.428 ± 0.002 m olarak ifade edilmesi durumunda, buradaki 0.002 m bir mutlak hatadır. Bağıl hata (oransal hata da denir) ise, ölçülen büyüklükteki mutlak hatanın, ölçüm değerine bölünerek sonucun yüzdelik olarak ifade edilmesidir ve birimsizdir. Yani $(0.002/0.428) \times 100 = \%0.467$ değeri önceki uzunluk ölçümünün bağıl hatasıdır. Bağıl hata genellikle mutlak hatadan daha etkilidir. Örneğin, kaykay tekerleğinin çapının ölçümündeki 1 mm'lik hata, kamyon lastiğinin ölçümündeki 1 mm'lik hatadan daha ciddidir. Şimdi, hata nedenlerine ve düzeltmek için neler yapılabileceğine bakalım:

Kaba (Büyük) Hatalar: Deneycinin dikkatsizliğinden ve ekipman arızalarından kaynaklanır. Alınan bir seri ölçümde, ortalamadan çok uzak olan bu tip noktalar elimine edilerek kalan veriler kullanılabilir.

Sistematik Hatalar: Bu tür hatalar deneyde kullanılan aygıtlardan veya gözlemciden kaynaklanır. Aygıt hataları; sistemin ve kullanılan aygıtın kendisinden oluşur. Genellikle bu hata, aynı şekilde yapılan ölçmeleri etkileyen sabit bir hatadır. Artan sıcaklığın veya kötü kalibrasyonun (aletin doğruluk ayarı) etkisiyle sürekli olarak aynı yön ve karakterde gerçek değerinden uzaklaşan sonuçlar alınabilir. Örneğin; kötü bir biçimde ayarlanmış bir hava masası böyle bir hataya sebep olabilir. Bu kategoride, gözlemciden kaynaklanan hatalara ise “kişisel hatalar” denir. Ölçeği yanlış okuma, dikkatsizlik ve araçları kullanma yetersizliği bu tür hatalara örnek olarak gösterilebilir. Sonuçların tekrar gözden geçirilmesi ve deney araçlarının yeniden uygun bir şekilde yerleştirilip kalibre edilmesiyle (ayarlanmasıyla) sistematik hatalar minimuma indirilebilir.

Rastgele (Tahmin edilemeyen) Hatalar: Rastgele hatalar, sistemdeki kontrol edilemeyen dalgalanmalardan ortaya çıkar. Örneğin, öğrencilerin laboratuvar kapılarını açıp kapamaları sırasında meydana gelen hava dalgalanmaları, basınç ölçümü değerlerinde değişimlere yol açabilir. İşaret ve değerleri önceden bilinemez ve herhangi bir doğrudan düzeltme yapılması imkânsızdır. Ancak ölçülecek bir büyüklüğün değeri belirtilirken, rastgele hatanın büyüklüğü tahmin edilebilir. Bir büyüklük için pek çok ölçüm yaptığımız takdirde, ortalama değeri, en iyi sonuç olarak kabul edebiliriz. Ölçmelerin oluşturduğu dağılım ise bize belirsizliğin veya deney hatasının bir ölçüsünü verir. Şimdi bu belirsizliklerin nasıl hesaplanabileceğine bakalım:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ fiziksel bir büyüklük için yapılmış n adet ölçmelerin sonuçları olsun. Bu durumda;

Ortalama Değer (En Olasılıklık Değer):

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$$

ifadesi, bu ölçmelerin ortalamasını yani en olasılıklık değeri verir.

Görünen Hata (Sapma): Bir seri ölçüm içindeki tek bir ölçümün (x_i), ortalama $\bar{x}$ değerinden sapması ise görünen hata olarak adlandırılır ve;

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

şeklinde ifade edilir. Bir başka deyişle, görünen hata, tek bir ölçmenin en olası değere göre düzeltilmesidir. Bir seri ölçüm sonrası her bir ölçüm için elde edilen görünen hataların cebirsel toplamı 0 olmalıdır ($\sum d_i = 0$).

Ortalama Sapma: Görünen hataların mutlak değerlerinin basit aritmetik ortalaması, ortalama sapma olarak adlandırılır;

$$\Delta \bar{x} = \pm \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_n|}{n}$$

Küçük değerli bir ortalama sapma, ölçüm verilerinin iyi bir hassasiyetle ortalama etrafında kümelendiklerine işaret eder.

Bağıl Ortalama Sapma: Ortalama sapmanın ortalama değere bölünerek yüzde şeklinde ifadesidir.

$$r = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \times 100$$

Standart Sapma: Sapmanın “kare ortalama karekök” değeri standart sapma olarak isimlendirilir ve,

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n - 1}}$$

şeklinde sigma (σ) harfi ile ifade edilir. Standart sapma, her bir ölçüm sonucunun ortalama değerden ne kadar saptığının bir göstergesidir. Ölçüm sayısı fazlaysa (5-10 ölçümden daha fazla) sonucu ifade etmek için genellikle ortalama sapma yerine standart sapma kullanılır.

DeneySEL Ölçüm Sonucunun İfadesi: Örneğin, x -büyüklüğünün ölçümüne dayanan bir deneysel çalışma sonrası, elde edilen sonuç iki kısımdan oluşur. Birincisi, elde edilen en iyi sonuçtur ki bu genellikle ortalama değerdir ($\bar{x}$). İkincisi ise, hesaplanan sapma değeridir. Bu da genellikle standart sapma ile ifade edilir. Böylece sonuç;

$$x = \bar{x} \pm \sigma$$

olarak gösterilir.

Bazı deneyler için çok sayıda ölçme yapmak mümkün olmayabilir. Bu durumda oluşabilecek en büyük hatayı tahmin etmek gerekir. Mesela, uzunluk ölçmek için, üzerindeki en küçük ölçek aralığının 1 mm olduğu bir cetvel kullandığımızı ve $L=15.25$ cm’lik bir uzunluk ölçümü yaptığımızı kabul edelim. Bu durumda tahmin edebileceğimiz en küçük aralık ya da oluşabilecek en büyük hata (mutlak hata) $\Delta L=0.5$ mm’dir (iki çizgi arası mesafenin yarısı). Yani, eğer herhangi bir şeyi L olarak ölçtüyseniz ve mümkün olan en büyük hata ΔL ise, L ’nin gerçek değeri ($L + \Delta L$) ile ($L - \Delta L$) arasında bir yerdedir ve bu örnek için sonuç, $L=15.25 \pm 0.05$ cm şeklinde verilmelidir. Burada ayrıca bir de bağıl hatadan söz edilebilir. Tanım olarak, mutlak hatanın ölçülen değere oranı olarak ifade edilir ve boyutsuzdur. Örneğimizdeki bağıl hata $\Delta L/L=0.05/15.25=0.003$ veya %0.3 olacaktır.

Dijital (sayısal) göstergelerdeki okuma hatası, $\pm$ en sağdaki hane / 2 kadar olacaktır. Örneğin, bir dijital voltmetrenin göstergesinde 5.125 V görünüyorsa, sonuç 5.125 ± 0.0005 V şeklinde ifade edilir. Aşağıda, analog ve dijital ölçü aletlerine ait görüntüler ve okunabilecek değerler gösterilmiştir.



Ω değeri: $5.5 \pm 0.5 \Omega$
 DCV değeri: $220 \pm 2.5 V$
 ACV değeri: $44 \pm 0.5 V$
 mA değeri: $8.8 \pm 0.1 mA$
 db değeri: $21 \pm 0.5 db$



1.4 ± 0.05 (birim)

1.58 ± 0.005 (birim)

1.602 ± 0.0005 (birim)

Örnek: Bir L mesafesi 7 kez ölçülmüş ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7
Değer (m)	125.165	125.162	125.166	125.160	125.161	125.163	125.164

Ortalama değer,

$$\bar{x} = \frac{125.165 + 125.162 + 125.166 + 125.160 + 125.161 + 125.163 + 125.164}{7} = 125.163$$

Her bir ölçüm için sapma (görünen hata) değerlerini mm cinsinden tablomuza 3. satır olarak ekleyelim;

Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7
Değer (m)	125.165	125.162	125.166	125.160	125.161	125.163	125.164
$d_i = x_i - \bar{x}$ (mm)	2	-1	3	-3	-2	0	1

Bu değerlerin toplamlarının beklendiği gibi 0 verdiğine dikkat edin, böylece olası bir işlem hatasının önüne geçilebilir. Şimdi, ortalama sapmayı ($\Delta\bar{x}$) bulmak için, önce d_i 'lerin mutlak değerlerini toplayarak 12 buluruz. Böylece, $\Delta\bar{x} = \pm \frac{12}{7} = \pm 1.7$ mm bulunur. Şimdi standart sapmayı hesaplayabiliriz;

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{4 + 1 + 9 + 9 + 4 + 0 + 1}{6}} = \pm 2.16 \text{ mm}$$

O halde ölçülen L mesafesi için en doğru sonuç: $L = 125.163 \pm 2.16 \times 10^{-3}$ m olarak ifade edilecektir.

Çok Değişkenli Fonksiyonlar İçin Hata Hesabı: Eğer bir büyüklüğün ölçülmesindeki hatayı tayin edebilirsek; bu niceliğe bağlı başka bir değişken için, sonuçtaki hatanın değerini hesaplamak kolay bir iş olacaktır. Mesela; x 'i mümkün olabilecek en büyük Δx hatası ile ölçersek, x 'e bağlı bir r fonksiyonundaki $[r = f(x)]$ en büyük hatayı,

$$\Delta r = |f(x + \Delta x) - f(x)| \quad (1)$$

eşitliği yardımıyla kolayca hesaplayabiliriz. Bu eşitlik r 'nin gerçek değerinin $(r + \Delta r)$ ile $(r - \Delta r)$ arasında olduğunu göstermektedir. Eğer sonuç sırasıyla Δx , Δy ve Δz gibi mümkün olabilecek en büyük hatalara sahip x , y ve z değişkenlerine bağlı ise; $r = f(x, y, z)$ ve

$$\Delta r = |f(x + \Delta x, y, z) - f(x, y, z)| + |f(x, y + \Delta y, z) - f(x, y, z)| + |f(x, y, z + \Delta z) - f(x, y, z)| \quad (2)$$

eşitlikleri yazılabilir.

Aşağıda bileşik sonuçlara ait bazı hata formülleri verilmiştir. Burada x ve y ölçmelerinin sırasıyla Δx ve Δy hatalarına sahip olduğu kabul edilmiştir.

Toplama: Eğer $r = x + y$ şeklinde ise, r 'de mümkün olabilecek en büyük hata, $\Delta r = \Delta x + \Delta y$ formülü yardımıyla hesaplanabilir. Bu sonuç denklem (1) ve (2) kullanılarak elde edilebilir.

Çıkarma: Eğer $r = x - y$ şeklinde ise, r 'de mümkün olabilecek en büyük hata,

$$\Delta r = \Delta x + \Delta y$$

formülü yardımıyla hesaplanabilir. Çünkü hatalar birbirini yok etmeyip üst üste eklenirler.

Çarpma: Eğer $r = xy$ şeklinde ise, $\Delta r = (\Delta x)y + x(\Delta y)$ 'dir. Bunun her iki tarafı $1/r$ ile çarpılırsa,

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{(\Delta x)y}{xy} + \frac{x(\Delta y)}{xy} \quad \frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

eşitliği elde edilir. Burada sonucun $r \pm \Delta r$ şeklinde ifade edilmesi gerektiğine dikkat etmek gerekir. $r \pm \Delta r/r$ şeklinde ifade etmek yanlıştır.

Üstel: n 'nin herhangi bir sayı olması şartı ile $r = x^n$ ise r 'deki bağlı hata,

$$\frac{\Delta r}{r} = n \frac{\Delta x}{x}$$

formülünden yararlanarak bulunabilir.

Trigonometrik fonksiyonlar: Eğer $r = \sin x$ ise, r 'de mümkün olabilecek en büyük hata, $\Delta r = \sin(x + \Delta x) - \sin x$ şeklindedir.

Yukarıdaki işlemler sadeleştirildiği takdirde oldukça basit bir hale gelir. Mesela, denklem (2) bu yolla,

$$\Delta r = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z \right|$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bilimsel çalışmalarda mümkün olan en büyük hata yerine k.o.k. (kare ortalaması karekökü) hatası kullanılır. Bu sebeple bilimsel çalışmalarda,

$$\Delta r = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta z \right)^2}$$

eşitliği kullanılır.

Örnekler:

$$1. (2.0 \pm 0.2) - (1.0 \pm 0.1) + (3.0 \pm 0.3) = 4.0 \pm ?$$

$$= (2.0 - 1.0 + 3.0) \pm \sqrt{0.2^2 + 0.1^2 + 0.3^2} = 4.0 \pm 0.4$$

$$2. \frac{(2.0 \pm 0.2) \times (1.0 \pm 0.1)}{(3.0 \pm 0.3)} = \left(\frac{2.0 \times 1.0}{3.0} \right) \pm ?$$

$$\left(\frac{2.0 \times 1.0}{3.0} \right) \pm \left(\frac{2.0 \times 1.0}{3.0} \right) \sqrt{\left(\frac{0.2}{2.0} \right)^2 + \left(\frac{0.1}{1.0} \right)^2 + \left(\frac{0.3}{3.0} \right)^2} = 0.67 \pm 0.12$$

Grafik Çizimi

Deneylerde ölçülen büyüklükler arasındaki ilişkiyi en kolay grafik gösterir. İyi çizilmiş bir grafikten hem ilişkinin biçimi (doğrusal mı, üstel mi) görülür hem de eğim ve kesişim gibi değerlerden fiziksel bir büyüklük (hız, ivme, yay sabiti, zaman sabiti vb.) hesaplanır. Ölçümlerden birinin hatalı olduğu da çoğu zaman ilk kez grafikte fark edilir. Bu bölümde laboratuvarda çizeceğiniz grafikler için uymanız gereken kurallar ve eğim hesabı anlatılmaktadır.

Grafik Çiziminde Dikkat Edilmesi Gerekenler

Deney grafikleri elde edilen sonuçlara bağlı olarak milimetrik veya logaritmik kağıtlara çizilmelidir. Çizimlerde kesinlikle tükenmez kalem kullanılmamalıdır. Grafik eksenleri, çizimi en açık ve kağıt üzerinde en geniş şekilde gösterecek biçimde ölçeklendirilmelidir. Her bir deneysel veri, kağıt üzerinde ♦ • * + gibi sembollerle işaretlenmelidir. Ancak noktalardan eksenlere çizgilerle taşınmamalıdır. Sadece grafik üzerindeki bazı özel veya anlamlı noktalar çizgilerle yan eksenlere taşınarak değerleri eksenler üzerinde belirtilir. Deney veya hesap verilerini temsil eden noktalar üzerinden geçen ortalama bir eğri ya da düz çizgi çizilmelidir. Her noktadan geçen kırıklı çizgiler kullanılmamalıdır. Grafik eksenlerinin ve çizilen grafik eğrisinin isim ve birimleri bunların yanına yazılmalıdır. Birden fazla eğri içeren grafiklerde farklı renklerde ve/veya sembollerde gösterimler kullanılmalı ve her bir eğrinin kime ait olduğu diğerleriyle karışmayacak biçimde ifade edilmelidir.

Kağıt seçimi

- **Milimetrik kağıt:** Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise ya da uygun bir dönüşümle doğrusal hale getirilebiliyorsa (aşağıya bakınız) kullanılır. Laboratuvardaki grafiklerin çoğu milimetrik kağıda çizilir.
- **Yarı logaritmik kağıt:** Eksenlerden birinde değerler birkaç onluk boyunca değişiyorsa (örneğin frekans 10 Hz'den 100 kHz'e kadar) ya da ilişki üstel ise ($y = A e^{kx}$) kullanılır. Üstel bir ilişki yarı logaritmik kağıtta doğru olarak görünür.
- **Logaritmik (log-log) kağıt:** Her iki değişken de birkaç onluk boyunca değişiyorsa ya da ilişki kuvvet biçiminde ise ($y = k x^n$) kullanılır. Bu kağıtta doğrunun eğimi doğrudan n 'yi verir.

Eksenler ve ölçek

- Bağımsız değişken (deneyde sizin ayarladığınız büyüklük, örneğin zaman) yatay eksene, bağımlı değişken (ölçtüğünüz büyüklük, örneğin konum) düşey eksene yazılır.
- Ölçek, verilerin kağıdın en az yarısını kaplayacağı biçimde seçilir. Bir santimetreye 1, 2 veya 5 birim (ya da bunların 10'un kuvvetleriyle çarpımı) karşılık gelmelidir. 3 veya 7 gibi ölçekler ara değerlerin okunmasını zorlaştırır.
- Eksenlerin sıfırdan başlaması gerekmez. Ancak kesişim noktası (örneğin $t = 0$ anındaki konum) okunacaksa sıfır da ekseninde yer almalıdır.
- Her eksenin yanına büyüklüğün adı ya da sembolü ve birimi yazılır: " x (cm)", " t (s)", " T^2 (s²)" gibi. Kalın çizgilerin yanına okunaklı sayılar konur; her çizgiye sayı yazmak gerekmez.

Veri noktalarının işaretlenmesi

Noktalar ucu sivri bir kurşun kalemle küçük ama belirgin sembollerle işaretlenir. Ölçüm hataları biliniyorsa her noktaya düşey ($\pm\Delta y$) ve gerekiyorsa yatay ($\pm\Delta x$) hata çubukları çizilir. Aynı grafikte birden fazla ölçüm serisi varsa her seri farklı bir sembole gösterilir ve hangi sembolün hangi seriye ait olduğu grafiğin üzerinde belirtilir.

En iyi doğrunun (eğrinin) çizilmesi

Noktalar birbirine kırık çizgilerle bağlanmaz. Doğrusal bir ilişkide, noktaların genel gidişini en iyi temsil eden tek bir doğru çizilir: noktaların yaklaşık yarısı doğrunun üstünde, yarısı altında kalmalı ve doğru hata çubuklarının çoğunu kesmelidir. Bu doğru noktaların hiçbirinden geçmeyebilir; bu bir hata değildir. Diğer noktalardan belirgin biçimde ayrılan bir nokta varsa önce ölçüm tekrarlanır; tekrar edilemiyorsa nokta grafikte gösterilir ama doğru çizilirken dikkate alınmaz ve bu durum raporda belirtilir. Doğrusal olmayan bir ilişkide noktaların arasından geçen düzgün bir eğri çizilir.

Eğim ve kesişimin bulunması

Eğim, *çizdiğiniz doğru üzerinde* birbirinden olabildiğince uzak iki nokta seçilerek hesaplanır. Bu noktalar veri noktaları olmamalıdır, çünkü veri noktaları doğrunun üzerinde olmayabilir. Seçilen noktalar (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) ise

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

olur. Eğimin birimi, düşey eksenin biriminin yatay eksenin birimine oranıdır (örneğin cm/s). Kullandığınız iki nokta grafikte işaretlenmeli ve aralarına eğim üçgeni çizilmelidir. Kesişim (b), doğrunun düşey eksenini kestiği noktadır ve $y = mx + b$ ilişkisindeki sabit terimi verir.

Eğimin belirsizliği: Hata çubukları çizilmişse, bütün hata çubuklarından geçebilen en dik ve en yatık iki doğru da (kesik çizgiyle) çizilir. Bu doğruların eğimleri m_{max} ve m_{min} ise eğimin belirsizliği yaklaşık olarak

$$\Delta m \approx \frac{m_{max} - m_{min}}{2}$$

alınır.

Doğrusallaştırma

Doğrusal olmayan bir ilişki, eksenlerde uygun büyüklükler kullanılarak doğruya dönüştürülebilir. Bir sonucu eğri yerine doğru üzerinden okumak çok daha güvenilirdir. Laboratuvarda sık karşılaşılan durumlar:

İlişki	Çizilecek grafik	Eğim	Kesişim
$x = \frac{1}{2}at^2$	$x - t^2$	$a/2$	0
$T = 2\pi\sqrt{L/g}$	$T^2 - L$	$4\pi^2/g$	0
$F = 4\pi^2mr/T^2$ (F, m sabit)	$r - T^2$	$F/(4\pi^2m)$	0
$A = A_0 e^{-t/\tau}$	$\ln A - t$ (ya da yarı log kağıtta $A - t$)	$-1/\tau$	$\ln A_0$
$y = kx^n$	$\log y - \log x$ (ya da log-log kağıtta $y - x$)	n	$\log k$

Yarı logaritmik veya logaritmik kağıtta eğim hesaplanırken kağıt üzerindeki uzunluklar değil, eksenenden okunan değerlerin logaritmaları kullanılır. Örneğin yarı logaritmik kağıttaki $A - t$ doğrusu için $m = (\ln A_2 - \ln A_1)/(t_2 - t_1)$ yazılır.

En küçük kareler yöntemi

Gözle çizilen doğru kişiden kişiye biraz değişir. Bunun yerine N adet (x_i, y_i) noktasına en uygun doğrunun eğimi ve kesişimi şu bağıntılarla hesaplanabilir:

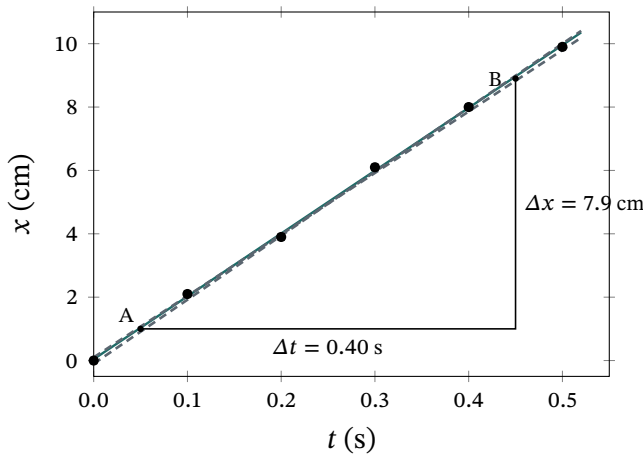
$$m = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad b = \frac{\sum y_i - m \sum x_i}{N}$$

Bu hesap bir hesap makinesiyle ya da hesap tablosu programıyla kolayca yapılır. Grafikten bulduğunuz eğimi bu sonuçla karşılaştırmak, çiziminizi denetlemenin iyi bir yoludur.

Çözümlü örnek

Yatay hava masasında sabit hızla hareket eden bir diskin ark izlerinden (10 Hz) aşağıdaki konum değerleri ölçülmüştür. Konum ölçümlerinin hatası $\Delta x = \pm 0.1$ cm'dir.

t (s)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
x (cm)	0.0	2.1	3.9	6.1	8.0	9.9



Doğru üzerinde seçilen iki nokta A(0.05 s; 1.0 cm) ve B(0.45 s; 8.9 cm) ise

$$v = m = \frac{8.9 - 1.0}{0.45 - 0.05} = \frac{7.9 \text{ cm}}{0.40 \text{ s}} = 19.8 \text{ cm/s}$$

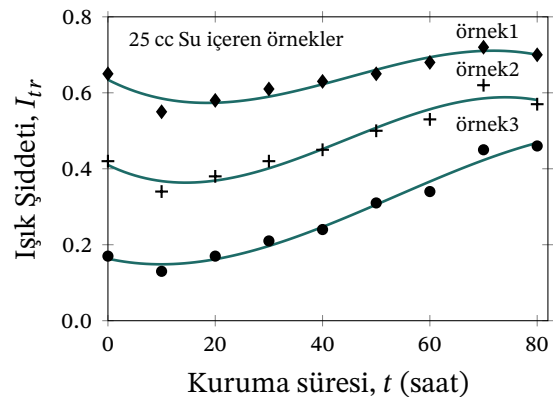
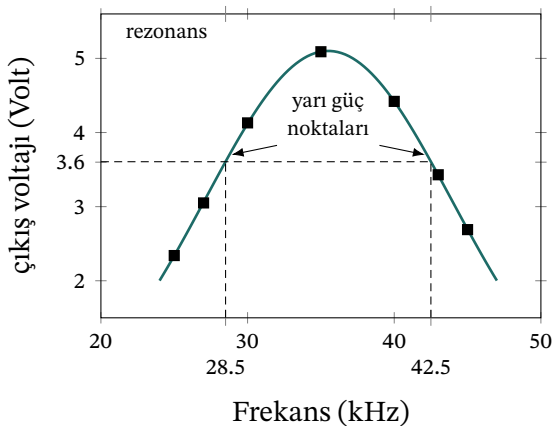
bulunur. Hata çubuklarından geçen en dik ve en yatık doğruların (kesik çizgiler) eğimleri 20.2 cm/s ve 19.4 cm/s olduğundan $\Delta v \approx (20.2 - 19.4)/2 = 0.4$ cm/s'dir. Sonuç

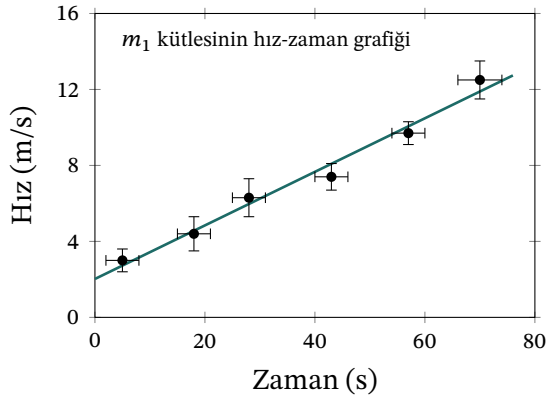
$$v = 19.8 \pm 0.4 \text{ cm/s}$$

şeklinde yazılır.

Aynı verilere en küçük kareler yöntemi uygulanırsa ($N = 6$, $\sum t_i = 1.50$ s, $\sum x_i = 30.0$ cm, $\sum t_i x_i = 10.97$ cm·s, $\sum t_i^2 = 0.550$ s²) $m = 19.83$ cm/s ve $b = 0.04$ cm bulunur. Grafikten bulunan değer bununla uyumludur. Kesişimin sıfıra çok yakın çıkması da beklenen bir sonuçtur, çünkü konum ölçümlerinin başlangıcı olarak ilk nokta seçilmiştir.

Örnek grafikler:





Hata hesapları yapılmış noktalar için düşey ve/veya yatay hata barları (çizgileri) yandaki grafikteki gibi gösterilmeli ve hata barlarının kapladığı alan dikkate alınarak, ortalamayı en iyi temsil eden bir doğru (fit doğrusu) çizilmelidir. Yukarıdaki iki grafikte olduğu gibi, doğrusal (lineer) bir değişimin olmadığı durumlarda bu çizim, belirli bir fonksiyona karşılık gelen bir fit eğrisi şeklinde olacaktır.

Hazırlık Çalışması



Sanal laboratuvar

Bu bölümdeki konular, sanal laboratuvardaki “Ölçüm temelleri” bölümünde etkileşimli olarak çalışılabilir.

Elektronikte Birimlerin ve Büyüklüklerin Uygun Şekilde İfadesi (Anlamlı Sayılar)

Elektronikte kullanılan başlıca birimler: Ω (Ohm), V (Volt), A (Amper), s (Saniye), Hz (Hertz), F (Farad), H (Henry) vs.

10^9	Katı	—	G (giga)
10^6	Katı	—	M (mega)
10^3	Katı	—	k (kilo)
Birimin kendisi			
10^{-3}	Katı	—	m (mili)
10^{-6}	Katı	—	μ (mikro)
10^{-9}	Katı	—	n (nano)
10^{-12}	Katı	—	p (piko)

Bir formülde değerler yerine konularak işlem yapılmak istendiğinde, ilgili büyüklüğün birimi, katları şeklinde değil de, esas halinde yerleştirilmelidir.

Örneğin: Eldeki değerler: $V_1 = 300 \text{ mV}$, $V_2 = 7,5 \text{ V}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$. Burada $1 \text{ k}\Omega$ 'u yerine yazarken 10^3 ile çarparak Ohm'a çevirmeli ve 300 mV 'u da $0,3 \text{ V}$ olarak kullanmalıyız.

$$I = \frac{V_2 - V_1}{R} = \frac{7,5 - 0,3}{10^3} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 7,2 \text{ mA}$$

Eldeki değerler: $L = 4 \text{ mH}$, $C = 10 \text{ nF}$.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 6,28\sqrt{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ s} \approx 40 \mu\text{s}$$

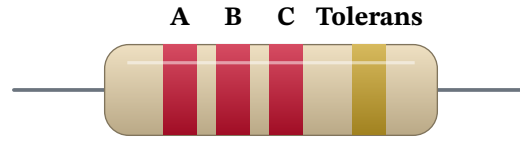
İşlemlerin sonucunda elde edilen değerler örneklerde olduğu gibi *uygun şekilde ifade* edilmelidir.

Örnek ifade ve söyleyişler:

$= 4700 \Omega$	$= 4,7 \text{ k}\Omega$
$= 1200 \text{ mV}$	$= 1,2 \text{ V}$
$= 0,9 \text{ A}$	$= 0,9 \text{ A}$ veya 900 mA
$= 0,03 \text{ V}$	$= 0,03 \cdot 10^3 \text{ mV} = 30 \text{ mV}$
$= 8,2 \cdot 10^{-5} \text{ H}$	$= 82 \mu\text{H}$

Görüldüğü gibi *sonuçlar* 10 üzerili sayılarla ifade edilmez, “,”den sonra 0 ile başlayan rakamlar kullanılmaz ve rakam 1000 ve daha yukarısı ise 1000'e bölünerek birimin başına uygun kat ismi getirilir. Böylece sonuç 1 ile 999 arasında bir sayı ve bir önekle ifade edilir (0,9 A gibi, virgülden sonra sıfırla başlamayan, 1'den küçük yazımlar da kabul edilir).

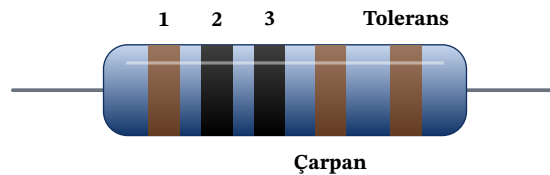
Direnç Renk Kodları



Renk	A	B	C	% Tolerans
■ Siyah	–	0	10^0	–
■ Kahverengi	1	1	10^1	1
■ Kırmızı	2	2	10^2	2
■ Turuncu	3	3	10^3	–
■ Sarı	4	4	10^4	–
■ Yeşil	5	5	10^5	–
■ Mavi	6	6	10^6	–
■ Mor	7	7	10^7	–
■ Gri	8	8	10^8	–
■ Beyaz	9	9	10^9	–
■ Altın	–	–	10^{-1}	5
■ Gümüş	–	–	10^{-2}	10

Direnç şekildeki gibi tolerans çizgisi sağda olacak şekilde tutulur. A ve B renk çizgilerine karşılık gelen değerler yan yana yazılır. Bu iki haneli bir rakam gibi okunarak C'ye karşılık gelen değer ile çarpılır.

Beş bantlı (hassas) dirençler: Toleransı %1 ya da %2 olan hassas dirençlerde beş renk bandı bulunur: ilk üç bant üç basamaklı sayıyı, dördüncü bant çarpanı, beşinci bant toleransı verir. Örneğin kahverengi–siyah–siyah–kahverengi–kahverengi bantlı bir direnç $100 \cdot 10^1 \Omega = 1,00 \text{ k}\Omega (\pm 1\%)$ değerindedir.

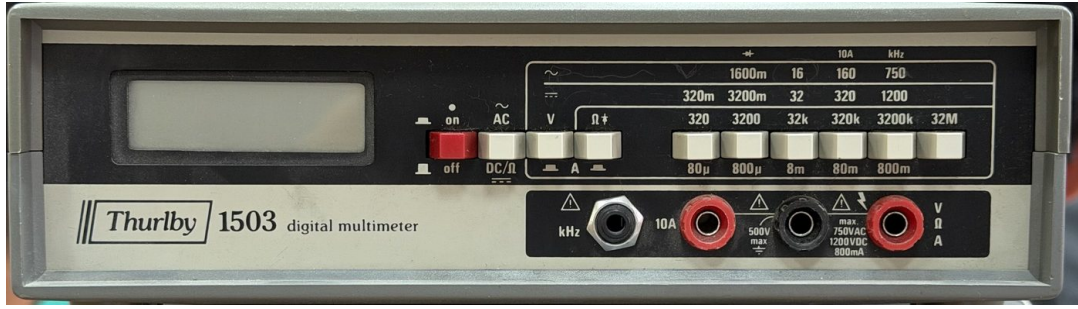


Örnekler

A	B	C	Değeri
Kırmızı	Kırmızı	Kırmızı	$22 \cdot 10^2 = 2200 \Omega = 2,2 \text{ k}\Omega$
Kahverengi	Siyah	Siyah	$10 \cdot 10^0 = 10 \Omega$
Sarı	Mor	Yeşil	$47 \cdot 10^5 = 4,7 \text{ M}\Omega$
Mavi	Gri	Altın	$68 \cdot 10^{-1} = 6,8 \Omega$

NOT: Elektronikteki tüm değer ifadelerinde olduğu gibi direnç için de değerler uygun birimlerle ifade edilmelidir. 12000Ω , $0,056 \text{ K}\Omega$, $0,0082 \text{ M}\Omega$ gibi gösterim ve söyleyişler yanlıştır. Bunlar sırayla $12 \text{ k}\Omega$, 56Ω , $8,2 \text{ k}\Omega$ olarak yazılır ve söylenir.

Multimetre (Avometre) Kullanımı



Şekil H.1. Laboratuvardaki sayısal multimetre: Thurlby 1503

Laboratuvardaki sayısal multimetre gerilim (V), akım (A) ve direnç (Ω) ölçer (Şekil H.1). İşlev tuşları ölçülecek büyüklüğü, aralık tuşları ölçme aralığının tam skala değerini belirler; ölçülen değer tam skalayı aşarsa gösterge OL (aşım) yazar. Kırmızı ölçü ucu (prob) V Ω A, siyah ölçü ucu COM girişine takılır; 10 A girişi yalnızca büyük akımların ölçümünde kullanılır.

Direnç ölçümü (ohmmetre): Ohmmetre, ölçülen dirençten bilinen küçük bir akım geçirir ve direncin uçları arasındaki gerilimi ölçer: $R = V/I$. Bu nedenle ölçüm enerjisiz bir devrede ve direncin en az bir ucu devreden ayrılmışken yapılmalıdır. Ölçü uçlarının metal kısımları parmakla tutulmamalıdır; aksi hâlde vücut direnci ölçülen dirence paralel bağlanır. Ölçüm, OL vermeyen en küçük aralıkta yapılır.

Seri ve paralel bağlı dirençler: Seri bağlı dirençlerin eşdeğeri

$$R_s = R_1 + R_2, \quad \text{paralel bağlı dirençlerin eşdeğeri} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

bağıntısıyla bulunur. Seri bağlamada eşdeğer direnç en büyük dirençten büyük, paralel bağlamada en küçük dirençten küçüktür.

Devredeki bir direncin ölçülmesi: Kart üzerindeki bir dirence başka elemanlar paralel bir yol oluşturuyorsa ohmmetre, ölçülmek istenen direnci değil eşdeğer direnci gösterir. Doğru ölçüm için direncin uçlarından biri devreden ayrılmalıdır.

Gerilim ölçümü (voltmetre): Voltmetre, gerilimi ölçülecek elemanın iki ucuna paralel bağlanır. İç direnci çok büyük (idealde sonsuz) olmalıdır ki devreden kayda değer akım çekmesin ve ölçülen gerilimi değiştirmesin. Aralık, beklenen değere göre seçilir: 3,2 V'tan büyük bir gerilim 3200m aralığında OL verir.

Akım ölçümü (ampermetre): Ampermetre, akımın yolu açılarak araya seri bağlanır ve iç direnci çok küçüktür. Bu nedenle ampermetre hiçbir zaman bir elemana ya da kaynağa paralel bağlanmaz: çok büyük bir akım çeker ve cihazın 800 mA sigortası atar.

Ohm yasası ve belirsizliğin yayılması: Ölçülen V ve I değerlerinden $R = V/I$ hesaplanabilir. Bölmede sonuç, en az anlamlı rakama sahip veri kadar anlamlı rakamla yazılır. Sonucun bağıl belirsizliği, gerilim ve akımın bağıl belirsizliklerinden (Giriş bölümündeki k.o.k. hatası)

$$\frac{\delta R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\delta I}{I}\right)^2}$$

bağıntısıyla bulunur. Örneğin $V = (2,94 \pm 0,02)$ V ve $I = (1,34 \pm 0,01)$ mA ölçülmüşse $R = 2,94 \text{ V}/1,34 \text{ mA} = 2,19 \text{ k}\Omega$, $\delta R/R = \sqrt{(0,02/2,94)^2 + (0,01/1,34)^2} = 0,010$ (%1,0) ve $\delta R = 0,02 \text{ k}\Omega$ bulunur; sonuç $R = (2,19 \pm 0,02) \text{ k}\Omega$ olarak yazılır.

Uygulama: Renk kodunu okuyarak bir direncin nominal değerini bulunuz, ardından ohmmetreyle ölçünüz ve her iki değeri uygun biçimde yazınız. Ölçülen değer nominal değerden en fazla tolerans kadar farklı olabilir.

Alıştırımlar

1. Aşağıdaki değerleri istenen öneke çeviriniz:

$$0,47 \text{ M}\Omega = \text{_____} \text{ k}\Omega \quad 2 \text{ 200 pF} = \text{_____} \text{ nF} \quad 0,025 \text{ A} = \text{_____} \text{ mA}$$

$$1 \text{ 500 } \mu\text{s} = \text{_____} \text{ ms} \quad 0,33 \text{ } \mu\text{F} = \text{_____} \text{ nF} \quad 470 \text{ k}\Omega = \text{_____} \text{ M}\Omega$$

2. Aşağıdaki sonuçları uygun biçimde yazınız:

$$12 \text{ 000 } \Omega \quad 0,0082 \text{ M}\Omega \quad 1 \text{ 200 mV} \quad 0,03 \text{ V} \quad 4 \text{ 700 000 } \Omega \quad 3 \text{ 300 000 Hz}$$

3. Anlamlı rakamlar:

- 0,004700 sayısında kaç anlamlı rakam vardır?
- $V = 2,34 \text{ V}$ ve $I = 1,3 \text{ mA}$ ölçülmüştür. $R = V/I$ nasıl yazılmalıdır?
- $3,9 \text{ k}\Omega$ ve 100Ω 'luk dirençler seri bağlanmıştır. Eşdeğer direnç nasıl yazılmalıdır?
- $12,0 \text{ V} - 9,74 \text{ V}$ işleminin sonucu nasıl yazılmalıdır?
- $P = V \cdot I$; $V = 5,00 \text{ V}$ ve $I = 1,52 \text{ mA}$ ölçülmüştür. P nasıl yazılmalıdır?

4. Aşağıdaki ölçüm sonuçlarını (değer $\pm$ belirsizlik) biçiminde yazınız:

- Okuma $4,72 \text{ k}\Omega$, belirsizlik $0,0283 \text{ k}\Omega$.
- $V = 9,7488 \text{ V}$, $\delta V = 0,034 \text{ V}$.
- $I = 1,8203 \text{ mA}$, $\delta I = 0,0062 \text{ mA}$.

Raporların Hazırlanmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Rapor temiz bir A4 ebadında kağıda kurşunkalem ve renkli kurşunkalemle düzgün ve okunaklı olarak yazılmalıdır. Raporun görünümünü bozacak silinti, kazıntı ve lekeler olmamalıdır. Yapılan deneyle ilgili bazı teorik bilgiler deney föyü haricindeki kaynaklardan araştırılarak özet halinde raporun başına yazılmalıdır. Yapılan deneyle ilgili şekiller düzgün olarak ve özenilerek çizilmeli ve deneyin yapılış aşamaları ve bulunan sonuçlar açık bir şekilde ifade edilmelidir. Sonuçlar ile ilgili yorumlar ve karşılaştırmalar yapılmalıdır. Bir değişim serisi gösteren sonuçlar düzgün tablolar şeklinde sunulmalı ve tablodaki sonuçların sadece 1-2 tanesi için yapılan matematiksel işlemler açıkça gösterilmelidir.

Örnek Rapor

Ad Soyad: _____ No: _____ Grup: _____ İmza: _____

Ön Bilgi: (Deney föyünde verilen bilgiler kesinlikle tekrarlanmamalıdır. Bunun yerine deneyin amacının ve içeriğinin anlaşıldığını gösteren özet bilgi, gerekliyse başka kaynaklara başvurularak sunulmalıdır.)

Deneyel Çalışma: (Aşağıdaki konulara dikkat edilerek hazırlanmalıdır:)

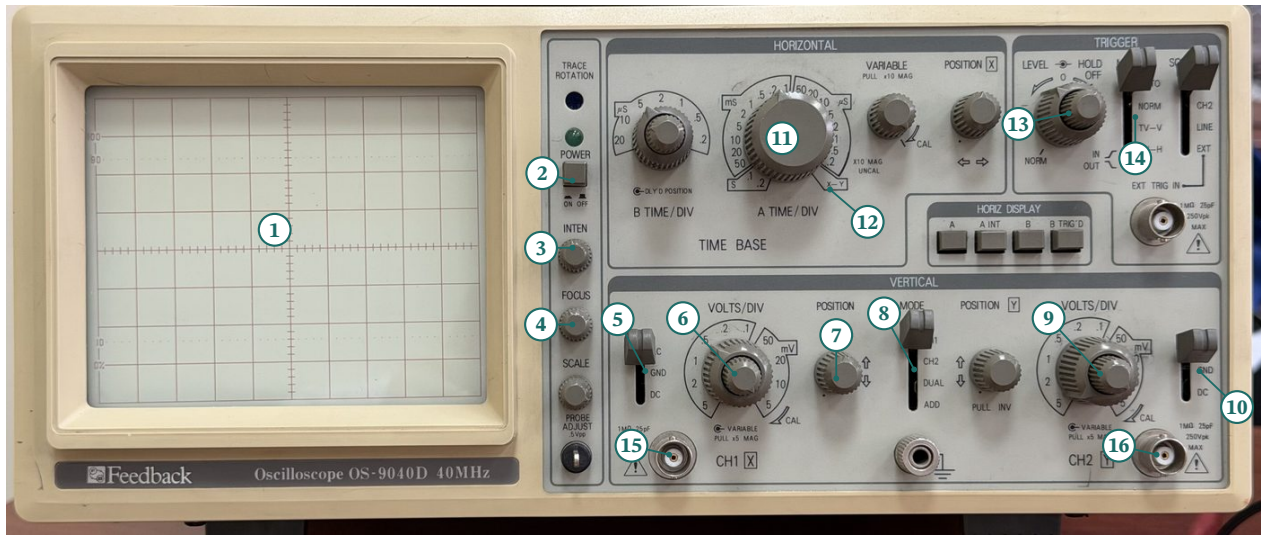
- 1) Genel olarak deney raporu, bu laboratuvar çalışmasına katılmamış ya da bu konu hakkında fazla bilgi sahibi olmayan bir jürinin değerlendireceği tarzda hazırlanmalıdır.
- 2) Deneyin yapılışı, var ise şekiller ile gösterilmeli ve anlatılmalıdır.
- 3) Deney verileri fazla ise, düzenli bir tablo olarak düzenlenmelidir. Sunulan veriler birimler ve bunların katlarına dikkat edilerek uygun biçimde ifade edilmelidir.
- 4) Grafikler ayrı bir milimetrik ya da logaritmik kağıda, grafik çizim kurallarına uygun olarak çizilip rapora eklenmelidir.
- 5) Deney sonuçlarının hesaplanması için gereken işlemler açık ve doğru biçimde gösterilmeli ve yorumlanmalıdır.
- 6) Hesaplanan sonuçlar bir seri halinde ve fazla sayıda ise tablo şeklinde sunulmalıdır. Tablodaki 1-2 sonuç için kullanılan hesaplama tekniğinin ayrıntılı olarak gösterilmesi yeterlidir.
- 7) Raporun hazırlanmasına, kullanılan yazının düzgünlüğüne ve sayfaların düzenlenmesine çok özen gösterilmelidir. Raporun değerlendirilmesinde bilgilerin doğruluğu yanında önemli bir oranda, görünüm ve orijinalliğe de not verilecektir.
- 8) Her rapor mutlaka bireysel olarak hazırlanmalı, başkalarından alıntı yapılmamalıdır.

Osiloskopu Tanıyalım



Sanal laboratuvar

Laboratuvarımızda Feedback OS-9040D 40 MHz iki kanallı osiloskop kullanılmaktadır (Şekil O.1). Bu bölümde osiloskobun denetimleri ve temel ölçüm yöntemleri, sanal laboratuvardaki “Osiloskopu Tanıyalım” rehberiyle aynı sırada anlatılmaktadır. Her başlığın sonundaki uygulama, laboratuvardaki osiloskop ve TG230 işlev üreticiyle yapılabilir.

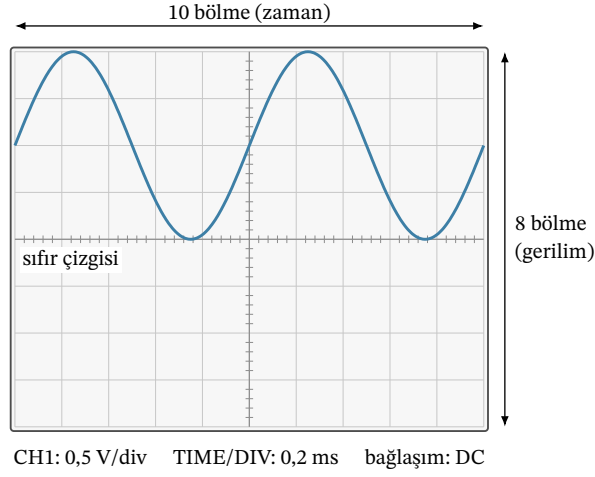


Şekil O.1. Feedback OS-9040D osiloskobun ön paneli

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 Ekran (10 × 8 bölme) | 9 CH2 VOLTS/DIV |
| 2 POWER (açma/kapama) | 10 CH2 bağlaşım anahtarı (AC–GND–DC) |
| 3 INTEN (iz parlaklığı) | 11 A TIME/DIV (zaman tabanı) |
| 4 FOCUS (iz keskinliği) | 12 X–Y konumu (A TIME/DIV’in son konumu) |
| 5 CH1 bağlaşım anahtarı (AC–GND–DC) | 13 LEVEL (tetikleme düzeyi) |
| 6 CH1 VOLTS/DIV | 14 Tetikleme kipi (AUTO, NORM, TV–V, TV–H) |
| 7 CH1 POSITION (düşey konum) | 15 CH1 (X) girişi |
| 8 MODE (CH1, CH2, DUAL, ADD) | 16 CH2 (Y) girişi |

Ekran Izgarası

Osiloskop ekranı yatayda 10, düşeyde 8 bölmeye (div) ayrılmıştır; eksenler üzerinde her bölme ayrıca 5 alt bölmeye ayrılır. Yatay eksen zamanı, düşey eksen gerilimi gösterir. Ölçümler önce bölme sayısı olarak okunur, ardından VOLTS/DIV ya da TIME/DIV ayarıyla çarpılarak fiziksel büyüklüğe dönüştürülür. Şekil O.2’deki sinyal 1 kHz frekanslı, 2 V_{tt} genlikli ve +1 V doğru gerilim bileşenli bir sinüstür.



Şekil 0.2. Osiloskop ekranı ve ölçek ayarları

POWER, INTEN ve FOCUS

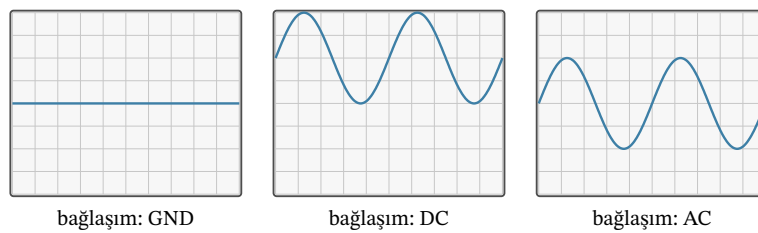
POWER düğmesi cihazı açar; cihaz açıkken yeşil gösterge ışığı yanar. INTEN izin parlaklığını, FOCUS izin keskinliğini (kalınlığını) ayarlar. Katot ışınlı tüpte parlaklığın gereğinden yüksek tutulması ekranın fosfor katmanını yıpratır; bu nedenle iz, rahatça okunabilen en düşük parlaklıkta tutulmalıdır.

Uygulama: Osiloskobu açınız; INTEN düğmesini 6–8, FOCUS düğmesini 5 dolayına getirerek izi ince ve rahat okunur duruma getiriniz.

Giriş Bağlaşımı: GND, DC ve AC

Giriş bağlaşımı (kuplaj) anahtarı GND konumundayken giriş sinyali kesilir ve ekranda yalnızca sıfır gerilim çizgisi görünür. Her ölçümden önce bu çizgi POSITION düğmesiyle referans alınacak konuma, çoğunlukla yatay orta çizgiye, getirilir. DC ölçümlerinin sıfır referansı bu çizgidir.

DC bağlaşımda sinyalin tamamı, doğru gerilim bileşeni de dahil olmak üzere görüntülenir: sinüs +1 V yukarıya kaymış olarak görünür. AC bağlaşımda girişe seri bağlı bir kondansatör doğru gerilim bileşenini engeller ve sinüs sıfır çizgisi çevresinde ortalınır (Şekil 0.3). Doğru gerilim bileşenini ölçmek için DC, büyük bir doğru gerilim üzerindeki küçük dalgalanmayı incelemek için AC bağlaşım kullanılır.



Şekil 0.3. Aynı sinyalin GND, DC ve AC bağlaşımda görünüşü (0,5 V/div)

Uygulama: CH1 bağlaşımını GND konumuna alınız ve POSITION düğmesiyle çizgiyi yatay orta çizgiye getiriniz. İşlev üreticiden 1 kHz, 2 V_{tt} ve +1 V doğru gerilim bileşenli bir sinüs uygulayarak izi önce DC, ardından AC bağlaşımda gözlemleyiniz.

VOLTS/DIV: Düşey Ölçek

VOLTS/DIV ayarı, düşey ekseninde bir bölmenin kaç volta karşılık geldiğini belirler:

$$V_{tt} = (\text{tepeden tepeye bölme sayısı}) \times \text{VOLTS/DIV}$$

İz ekranda ne kadar çok bölme kaplarsa okuma o kadar duyarlı olur; ancak iz ekranın dışına taşmama-
lıdır. Düşmeyi saat yönünde döndürmek bölme başına daha küçük gerilim, dolayısıyla daha büyük bir
iz verir.

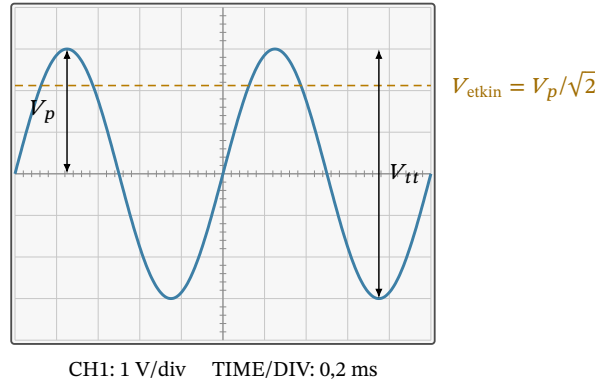
Uygulama: $2 V_{tt}$ genlikli izin tepeden tepeye tam 4 bölme kaplamasını sağlayınız.

Tepe, Tepeden Tepeye ve Etkin Değer

Periyodik bir sinyalin genliği üç biçimde ifade edilir: tepe değeri V_p (sıfırdan tepeye), tepeden tepeye
değer $V_{tt} = 2V_p$ ve etkin (kare ortalamasının karekökü) değer V_{etkin} (Şekil 0.4). Sinüs için

$$V_{etkin} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \approx 0,707 V_p$$

bağıntısı geçerlidir. Multimetreler AC gerilimi etkin değer olarak gösterir (Deney 1, Kuram), osiloskopta
ise doğrudan V_{tt} okunur; iki cihazın sonuçları karşılaştırılırken bu dönüşüm yapılmalıdır.



Şekil 0.4. Tepe, tepeden tepeye ve etkin değer

Doğru Gerilim Bileşeninin Ölçülmesi

Bir sinyalin doğru gerilim (DC) bileşeni, izin sıfır çizgisine göre kaymasından bulunur. Önce bağlaşım
GND konumuna alınır ve sıfır çizgisi bilinen bir yatay çizgiye getirilir; ardından DC bağlaşımına geçilir
ve izin orta düzeyinin bu çizgiden kaç bölme kaydığı okunur:

$$V_{DC} = (\text{kayma, bölme}) \times \text{VOLTS/DIV}$$

Kaymanın yönü bileşenin işaretini verir.

TIME/DIV: Yatay Ölçek, Periyot ve Frekans

A TIME/DIV ayarı, yatay ekseninde bir bölmenin kaç saniyeye karşılık geldiğini belirler. Periyot ve frekans

$$T = (\text{bir periyottaki bölme sayısı}) \times \text{TIME/DIV}, \quad f = \frac{1}{T}$$

bağıntılarıyla bulunur. Duyarlı bir okuma için ekranda iki ile üç periyot görüntülenmesi uygundur. Pe-
riyot ölçülürken izin aynı fazdaki iki noktası, örneğin art arda iki yükselen sıfır geçişi, arasındaki yatay

uzaklık okunur. Okuma hatasını azaltmak için birkaç periyot birlikte ölçülüp periyot sayısına bölünebilir:

$$T = \frac{(n \text{ periyodun kapladığı bölme}) \times \text{TIME/DIV}}{n}$$

Uygulama: 1 kHz’lik sinüsün bir periyodunun tam 5 bölme kaplamasını sağlayınız.

Tetikleme: LEVEL, SLOPE, AUTO/NORM

Osiloskop her taramayı, sinyal LEVEL ile belirlenen tetikleme düzeyini seçilen yönde (SLOPE: + yükselen, – düşen kenar) geçtiği anda başlatır; böylece ardışık taramalar üst üste düşer ve iz durağan görünür. AUTO kipinde tetikleme koşulu sağlanmasa da tarama sürer (iz kayar, ancak görünür). NORM kipinde tetikleme koşulu sağlanmazsa tarama yapılmaz; tetikleme düzeyi sinyalin genlik aralığının dışına çıkarılırsa iz kaybolur.

Uygulama: NORM kipini seçiniz; LEVEL düğmesini sinyalin genlik aralığının dışına çıkararak izin kaybolduğunu gözlemleyiniz, ardından LEVEL’i yeniden ortaya getiriniz.

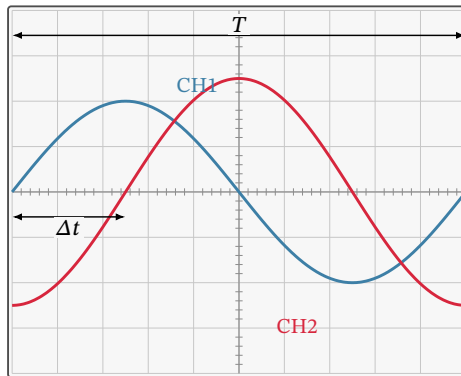
İki Kanal ve Faz Farkı

MODE anahtarı CH1, CH2, DUAL (iki kanal birlikte) ya da ADD (iki kanalın toplamı) görüntülemesini seçer. Her kanalın VOLTS/DIV ve bağlaşım ayarı bağımsızdır; iki kanalda ortak olan yalnızca zaman tabanıdır.

Aynı frekanstaki iki sinyal arasındaki faz farkı, izler arasındaki zaman kaymasından hesaplanır:

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \text{ (radyan)} \quad \text{ya da} \quad \varphi = 360^\circ \frac{\Delta t}{T}$$

Δt , iki izin aynı yöndeki sıfır geçişleri arasındaki yatay uzaklıktan (bölme sayısı $\times$ TIME/DIV) okunur (Şekil 0.5). Duyarlılığı artırmak için TIME/DIV ayarı bir periyot ekranın büyük bölümünü kaplayacak biçimde seçilir ve iki kanalın sıfır çizgisi aynı yatay çizgiye getirilir. Bu yöntem RC devreleri deneyinde (Deney 3) kullanılır.



CH1: 0,5 V/div CH2: 0,2 V/div TIME/DIV: 0,1 ms MODE: DUAL

Şekil 0.5. İki kanallı görüntülemelerde faz farkının ölçülmesi: CH2, CH1’den 90° geride

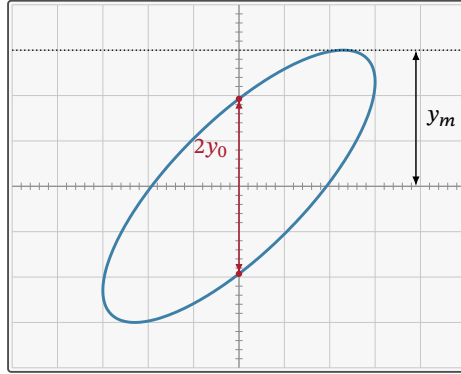
X-Y Kipi ve Lissajous Eğrileri

X-Y kipinde zaman tabanı devre dışı kalır: CH1 yatay, CH2 düşey sapmayı belirler. Aynı frekanstaki iki sinüs bir Lissajous eğrisi oluşturur; faz farkı 0° iken bir doğru, 90° iken eksenleri simetri eksenini olan bir elips (genlikler eşitse daire) görülür. Bu yöntem, faz farkını ölçmenin ikinci yoludur.

$x = A \sin \omega t$ ve $y = B \sin(\omega t + \varphi)$ için $x = 0$ anında $y = \pm B \sin \varphi$ olur. Elipsin düşey eksenle kesiştiği iki nokta arasındaki uzaklığın yarısı y_0 , elipsin en büyük düşey sapması y_m olarak okunursa (Şekil O.6)

$$\sin \varphi = \frac{y_0}{y_m}$$

bulunur. Yöntem faz farkının büyüklüğünü verir; işaretini, yani sinyalin önde mi geride mi olduğunu belirlemez.



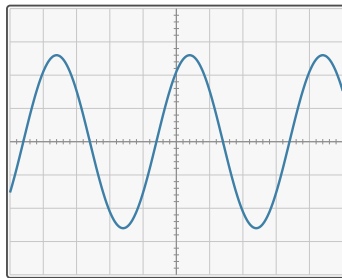
X-Y kipi: CH1 yatay (X), CH2 düşey (Y)

Şekil O.6. X-Y kipinde Lissajous eğrisi ve faz farkı ($\varphi = 40^\circ$)

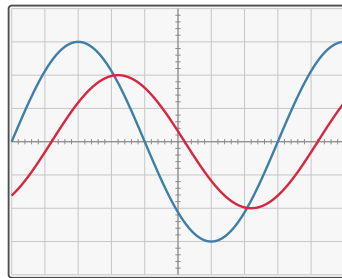
Uygulama Soruları

Şekil O.7'deki ekranları kullanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

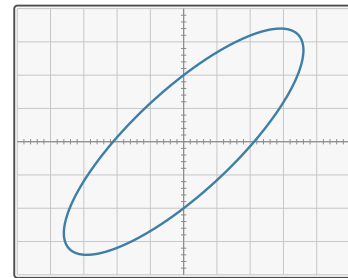
- Sinyalin V_{tt} , V_p ve V_{etkin} değerlerini, periyodunu ve frekansını bulunuz.
- İki sinyalin frekansını ve CH2'nin CH1'e göre gecikmesini Δt , derece ve radyan cinsinden bulunuz.
- Lissajous eğrisinden iki sinyal arasındaki faz farkının büyüklüğünü bulunuz.



(a) CH1: 2 V/div
TIME/DIV: 0,5 ms



(b) MODE: DUAL
TIME/DIV: 0,2 ms



(c) X-Y kipi
(iki kanal aynı V/div)

Şekil O.7. Uygulama soruları için osiloskop ekranları

DENEY 1

Doğru Akım ve Gerilim Ölçümleri



Sanal deney

Kuram

Üzerinde pasif ve aktif devre elemanları olan bir devrede;

Kirchhoff gerilimler yasası: Herhangi bir anda devrenin herhangi bir çevresindeki n tane elemanın gerilimleri toplamı sıfırdır:

$$\sum_{k=1}^n V_k(t) = 0$$

Kirchhoff akımlar yasası: Herhangi bir anda bir düğüme giren ve çıkan n tane akımın toplamı sıfırdır.

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0$$

Devre üzerindeki iki nokta arasındaki potansiyel farkını veya gerilimi ölçmek için voltmetre kullanılır. Voltmetreler ölçülecek noktalar arasına paralel bağlanırlar. Ölçülecek gerilim doğru gerilim ise + ve – kutuplamaya uygun olarak bağlanmalıdır. Voltmetrelerin iç dirençleri çok büyük (idealde sonsuz) olmalıdır. Çünkü paralel bağlantıda kendi iç direnci üzerinden bir akım geçmesi ve bunun bir kayıp yaratması istenmez.

Devrenin herhangi bir noktasından geçen akımın ölçülebilmesi için bu nokta açık devre edilerek bu uçlar arasına ampermetre seri olarak bağlanır. Ampermetrelerin idealde sıfır olması gereken çok küçük bir iç dirençleri vardır. Böylece, hem iki noktayı kısa devre etmiş hem de üzerinden geçen akımın, kendi iç direnci üzerinde bir gerilim düşümü yani kayba neden olması önlenmiş olur.

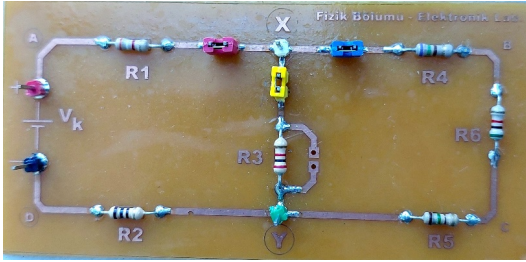
Voltmetre ve ampermetreler, analog (orantılı) olarak adlandırılan ve bir skala ve ibreden oluşan elektro-mekanik aletler olabileceği gibi, tamamen elektronik sayısal (dijital) olarak da üretilirler. Sayısal ölçü aletleri, ayarları (kalibrasyon) iyi yapıldığında daha hassas bir ölçüme izin verir. Her iki tip ölçü aleti de ‘kok’ (kare ortalaması karekökü) veya ‘etkin değer’ olarak adlandırılan türden alternatif gerilim ölçümü yaparlar.

Çevre akımları yöntemi: Bu yöntemde devrenin her bağımsız çevresine bir çevre akımı atanır ve her çevre için Kirchhoff gerilimler yasası yazılır. Şekil 1.2’deki devrede saat yönünde dolaşan iki çevre akımı tanımlanır: I_1 kaynak, R_1 , R_3 ve R_2 ’den oluşan sol çevrede, I_2 ise R_4 , R_6 , R_5 ve R_3 ’ten oluşan sağ çevrede dolaşır. İki çevrenin ortak elemanı olan R_3 ’ten net $I_1 - I_2$ akımı geçer. Buna göre çevre denklemleri

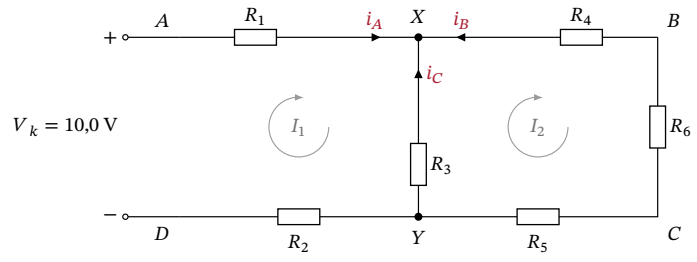
$$\begin{aligned} (R_1 + R_3 + R_2) I_1 - R_3 I_2 &= V_k \\ -R_3 I_1 + (R_3 + R_4 + R_6 + R_5) I_2 &= 0 \end{aligned}$$

olur. Bu iki denklemin çözümünden bulunan I_1 ve I_2 çevre akımları kullanılarak dal akımları ve devredeki noktalar arasındaki gerilimler hesaplanır.

Deneyin Yapılışı



Şekil 1.1



Şekil 1.2

- 1) Şekil 1.1'deki kart üzerinde kurulu olan ve Şekil 1.2'de şeması verilen devredeki direnç değerlerini okuyarak/ölçerek şekil üzerinde not ediniz. Devrenin girişine 10,0 V'luk doğru gerilim uygulayınız.
- 2) Her bir çevredeki eleman uçlarındaki gerilimleri, yönlerine dikkat ederek (aynı yön sırasını takip ederek) voltmetre ile ölçünüz. Bu gerilimler ile Kirchhoff gerilimler yasasının doğruluğunu gösteriniz.
- 3) V_{AC} ve V_{BD} noktaları arasındaki gerilimleri ölçerek daha sonra kullanmak üzere not alınız.
- 4) Devre üzerindeki X düğüm noktası etrafındaki i_A , i_B ve i_C düğüm akımlarını sırasıyla ölçünüz. Ölçüm sırasında ampermetrenin + ve - uçlarını X düğümüne göre hep aynı yönde bağlayınız. Bu akım değerlerini kullanarak Kirchhoff akımlar yasasının doğruluğunu gösteriniz.
- 5) Çevre akımları yöntemiyle devreyi analiz ediniz, i_A , i_B ve i_C akım değerlerini bir de teorik olarak hesaplayarak sonuçları karşılaştırınız.
- 6) Teorik çevre akımları değerleri elde edildiğine göre, V_{AC} ve V_{BD} gerilimlerini teorik olarak hesaplayarak, önceden ölçtüklerinizle karşılaştırınız.

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 1: DOĞRU AKIM VE GERİLİM ÖLÇÜMLERİ**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**1) Ölçülen direnç değerleri:**

R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6

2) Her bir çevredeki eleman uçlarındaki gerilimler:

1. Çevre: _____

2. Çevre: _____

3) Teorik çevre akımları: $I_1 =$ _____ $I_2 =$ _____**4) Ölçülen ve teorik değerler:**

Büyüklik	Ölçülen	Teorik	% Fark
i_A			
i_B			
i_C			
V_{AC}			
V_{BD}			

$$\% \text{ Fark} = \frac{|\text{ölçülen} - \text{teorik}|}{|\text{teorik}|} \times 100$$

DENEY 2

Thevenin, Norton ve Maksimum Güç Aktarımı



Deneyin amacı; Deney 1'deki direnç ağının iki ucu arasındaki Thevenin ve Norton eşdeğerlerini üç ayrı yöntemle ölçmek, eşdeğer devrenin ağdaki bir akımı doğru verdiğini sınamak ve bir yükün çektiği gücün en büyük olduğu koşulu deneysel olarak bulmaktır.

Kuram

Thevenin ve Norton Teoremleri

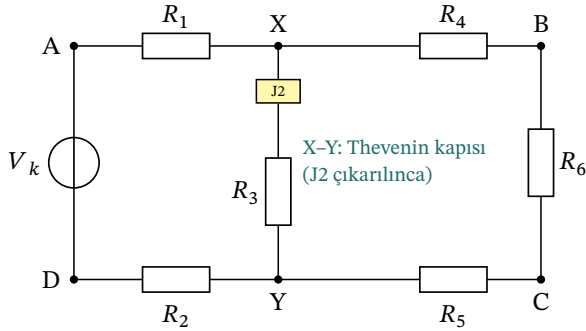
Dirençlerden ve kaynaklardan oluşan doğrusal bir ağ, herhangi iki ucundan bakıldığında tek bir gerilim kaynağı ile ona seri bağlı tek bir direnç gibi davranır (Şekil 2.2(a)). Bu *Thevenin eşdeğeridir*:

- V_{th} , uçlar açık devre iken aralarındaki gerilimdir.
- R_{th} , ağdaki bütün bağımsız kaynaklar sıfırlandığında (gerilim kaynakları kısa devre, akım kaynakları açık devre yapıldığında) uçlar arasında görülen dirençtir.

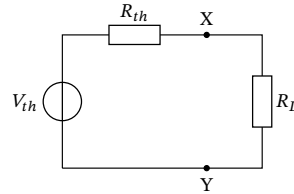
Aynı ağ, bir akım kaynağına paralel bağlı bir dirençle de gösterilebilir (*Norton eşdeğeri*, Şekil 2.2(b)). Burada I_N , uçlar kısa devre edildiğinde akan akımdır ve $R_N = R_{th}$ 'dir. İki eşdeğer arasındaki bağıntı

$$V_{th} = I_N R_{th} \quad (2.1)$$

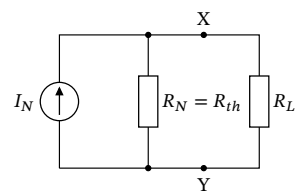
olduğundan, açık devre gerilimi ile kısa devre akımının ölçülmesi R_{th} 'yi de verir.



Şekil 2.1. Deney 1 kartının şeması.



(a) Thevenin



(b) Norton

Şekil 2.2. Thevenin ve Norton eşdeğerleri.

Deney Kartının Eşdeğeri

Şekil 2.1'deki kartta J2 köprüsü çıkarılırsa R_3 devreden ayrılır ve X-Y uçları bir Thevenin kapısı olur. V_k kısa devre edildiğinde X-Y arasında $(R_1 + R_2)$ ve $(R_4 + R_6 + R_5)$ dirençleri paralel görünür:

$$R_{th} = (R_1 + R_2) \parallel (R_4 + R_6 + R_5). \quad (2.2)$$

Açık devrede A'dan D'ye tek bir akım yolu kalır ve

$$V_{th} = V_k \frac{R_4 + R_6 + R_5}{R_1 + R_2 + R_4 + R_6 + R_5} \quad (2.3)$$

bulunur. Kartın değerleriyle ve $V_k = 10\text{ V}$ için $R_{th} \approx 2384\ \Omega$, $V_{th} \approx 5.96\text{ V}$ ve $I_N \approx 2.50\text{ mA}$ 'dir. J2 yeniden takıldığında R_3 , Thevenin eşdeğerine bağlanmış bir yük gibi davranır. Akımı

$$I_{R3} = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_3} \quad (2.4)$$

olur (yaklaşık 1.36 mA). Bu değer, Deney 1'de Kirchhoff yasalarıyla bulduğunuz akımla aynı olmalıdır.

Maksimum Güç Aktarımı

Thevenin eşdeğerine bağlanan bir R_L yükünün çektiği güç

$$P = \frac{V_{th}^2 R_L}{(R_{th} + R_L)^2} \quad (2.5)$$

dir. R_L çok küçükse yükün üzerindeki gerilim, çok büyükse içinden geçen akım küçük olur ve iki durumda da güç azalır. $dP/dR_L = 0$ koşulundan gücün en büyük olduğu yük

$$R_L = R_{th}, \quad P_{max} = \frac{V_{th}^2}{4R_{th}} \quad (2.6)$$

bulunur. Bu durumda yük gerilimi $V_{th}/2$ 'dir ve kaynağın verdiği gücün yalnız yarısı yüke aktarılır (verim %50). Bu, Thevenin direncini ölçmenin bir yolunu daha verir: yük, gerilimi $V_{th}/2$ olacak biçimde ayarlanırsa değeri R_{th} 'ye eşit olur.

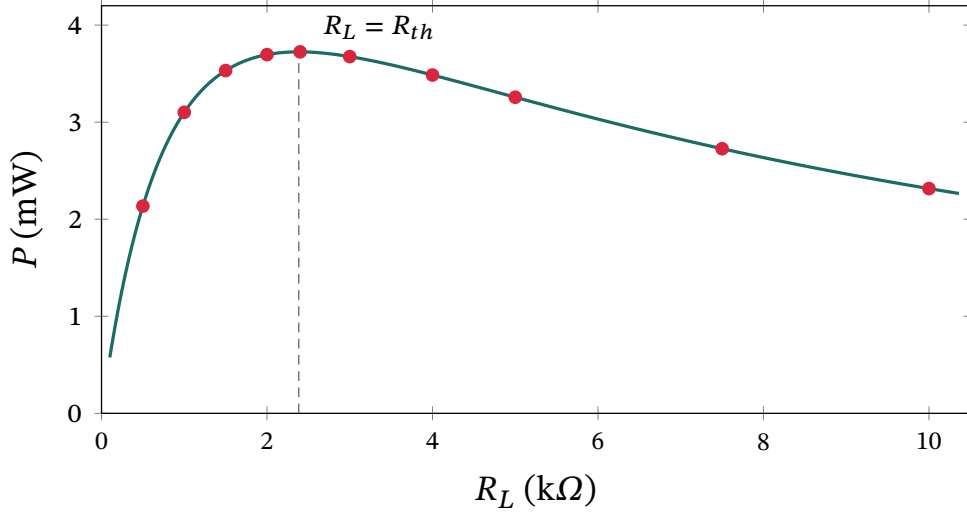
Deneyin Yapılışı

Kullanılan Araç ve Gereçler

Deney 1 kartı, ayarlı DC güç kaynağı (PL320), multimetre (Thurlby 1503, 2 adet), direnç kutusu, 10 k Ω potansiyometre, bağlantı kabloları.

Ohmmetreyle ölçüm yapmadan önce güç kaynağını karttan mutlaka ayırınız. Ampermetreyi hiçbir zaman doğrudan bir gerilim kaynağının uçlarına bağlamayınız; bu deneyde ampermetre yalnız X-Y uçları arasına ya da J2'nin yerine bağlanır.

- a) Kartı Deney 1'deki gibi hazırlayınız ve $V_k = 10\text{ V}$ uygulayınız. J2'yi çıkarıp ampermetreyi (mA kademesi) J2'nin iki pini arasına seri bağlayarak I_{R3} 'ü ölçünüz.
- b) Ampermetreyi çıkarınız; J2 takılmadan kalsın. Voltmetreyle X-Y arasındaki açık devre gerilimini (V_{th}) ölçünüz.
- c) Ampermetreyi doğrudan X ile Y arasına bağlayarak kısa devre akımını (I_N) ölçünüz. (2.1) bağıntısıyla R_{th} 'yi hesaplayınız. Ampermetrenin iç direnci (yaklaşık 0.1 Ω) R_{th} 'nin yanında ihmal edilebilir.
- d) Güç kaynağını karttan ayırınız ve A ile D uçlarını bir kabloyla kısa devre ediniz. Ohmmetreyle X-Y arasındaki direnci ölçünüz. Bu doğrudan R_{th} 'dir. Kısa devre kablosunu çıkarıp kaynağı yeniden bağlayınız.
- e) Direnç kutusunu X-Y uçlarına bağlayınız. Protokoldeki her R_L değeri için yük gerilimi V_L 'yi ölçünüz ve $P = V_L^2/R_L$ gücünü hesaplayınız. P - R_L grafiğini çizip en büyük gücü ve o andaki R_L 'yi bulunuz.
- f) Direnç kutusunun yerine potansiyometreyi bağlayınız. V_L tam $V_{th}/2$ olana kadar potansiyometreyi ayarlayınız. Potansiyometreyi devreden çıkarıp direncini ohmmetreyle ölçünüz.



Şekil 2.3. Beklenen P - R_L eğrisi (kırmızı noktalar: protokoldeki R_L değerleri). Güç $R_L = R_{th} \approx 2.4$ kΩ'da en büyüktür ($P_{max} \approx 3.72$ mW).

Sorular

1. Üç yöntemle (açık devre gerilimi ile kısa devre akımı, ohmmetre, potansiyometre) bulduğunuz R_{th} değerlerini (2.2) bağıntısıyla karşılaştırınız. Hangi yöntem en güvenilirdir? Neden?
2. Ölçtüğünüz I_{R3} 'ü (2.4) bağıntısıyla ve Deney 1'deki sonucunuzla karşılaştırınız.
3. V_{th} 'yi ölçerken voltmetrenin iç direnci (10 MΩ) sonucu ne kadar değiştirir? Hesaplayınız.
4. $R_L = R_{th}$ iken Thevenin eşdeğerindeki kaynağın verdiği güç ve verim nedir? Karttaki V_k kaynağının gerçekte verdiği gücü de hesaplayınız (kaynaktan çekilen akımı ölçebilirsiniz). İki verim aynı mı? Neden? Güç dağıtım şebekelerinde neden $R_L = R_{th}$ koşulunda çalışılmaz?
5. Kartın Norton eşdeğerini çizin ve değerlerini yazınız.

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 2: THEVENİN, NORTON VE MAKSİMUM GÜÇ AKTARIMI**

Tarih: ____ / ____ / 20____

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**1) Thevenin ve Norton eşdeğeri** $V_k = \text{_____ V}$

	V_{th} (V)	I_N (mA)	V_{th}/I_N (Ω)	R_{th} , ohmmetre (Ω)	R_{th} , potansiyometre (Ω)
Ölçülen					
Kuramsal					

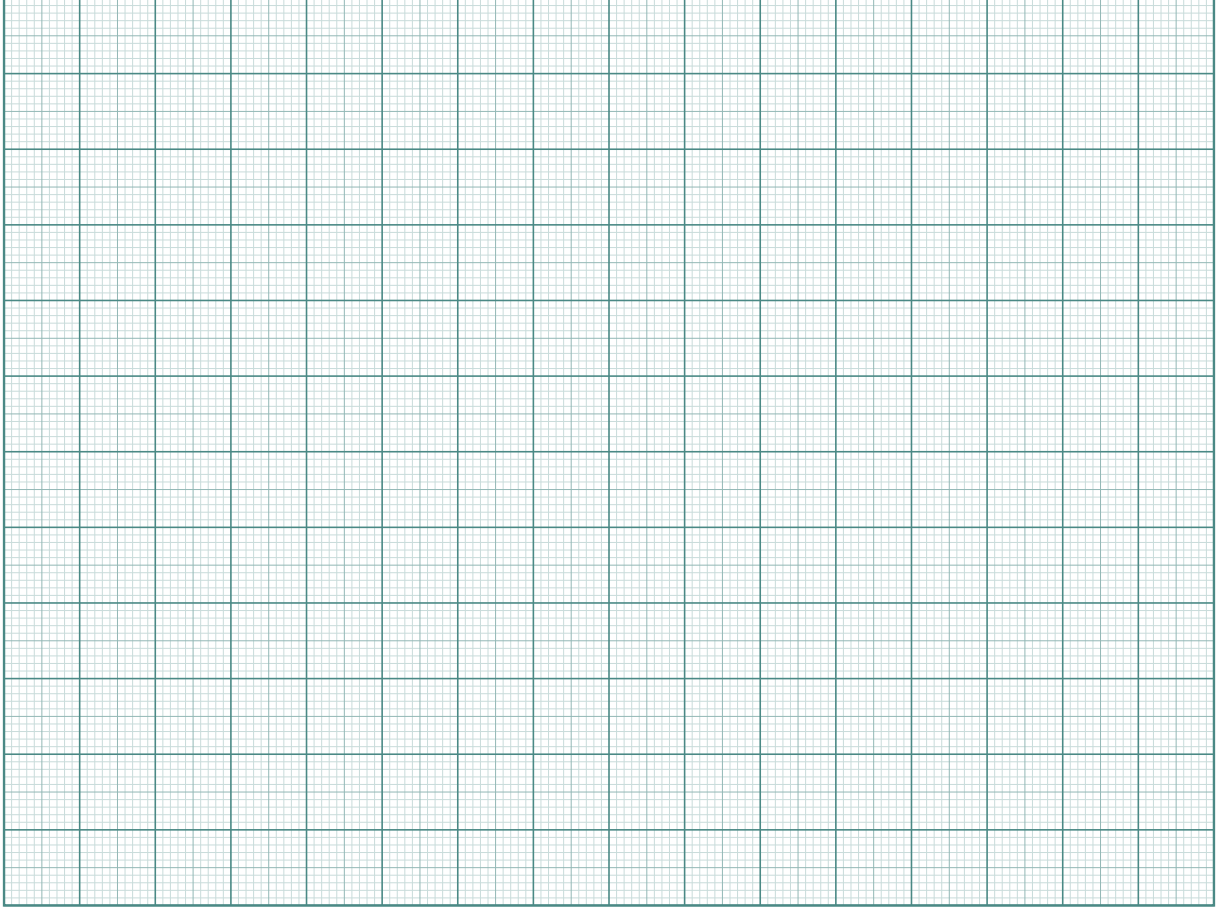
2) R_3 akımı: ölçülen $I_{R3} = \text{_____ mA}$, $V_{th}/(R_{th} + R_3) = \text{_____ mA}$, Deney 1'de: _____ mA

3) Maksimum güç aktarımı

R_L (Ω)	500	1000	1500	2000	2400	3000	4000	5000	7500	10000
V_L (V)										
P (mW)										

Grafikten: $P_{max} = \text{_____ mW}$, $R_L = \text{_____ } \Omega$ Kuramsal $P_{max} = \text{_____ mW}$

4) Potansiyometre yöntemi: $V_{th}/2 = \text{_____ V}$, ayarlanan $V_L = \text{_____ V}$, $R_P = \text{_____ } \Omega$

Grafik 2.1 · $P-R_L$ grafiği*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

DENEY 3

RC Devreleri



Sanal deney

Kuram

İçinden $i(t)$ akımı geçen direnç (R), sığa (C) ve self (L) uçları arasındaki gerilim, elemanların tanım bağıntıları gereği

$$V_R = R i(t), \quad V_C = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + V_C(0^+), \quad V_L = L \frac{di}{dt}$$

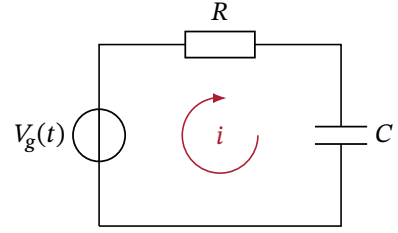
olarak tanımlanır.

RC Devresi

Şekil 3.1'deki devreye $V_g(t)$ giriş gerilimi uygulandığında, sistemi

$$R i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + V_C(0^+) = V_g(t)$$

denklemini tanımlayabiliriz.



Şekil 3.1

Denklemin homojen kısmı

$$R i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + V_C(0^+) = 0$$

denkleminin türevi alınarak, eşdeğer olan

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = 0$$

denklemini elde edilir. $\tau = RC$ gevşeme süresi veya sistemin zaman sabiti olarak ifade edilmek üzere, akım

$$i(t) = i_0 e^{-t/\tau}$$

olarak elde edilir. Buna göre eleman gerilimleri

$$V_R(t) = R i(t) = R i_0 e^{-t/\tau}, \quad V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + V_C(0^+) = R i_0 [1 - e^{-t/\tau}] + V_C(0^+)$$

olarak elde edilir.

A) Basamak Tepkisi

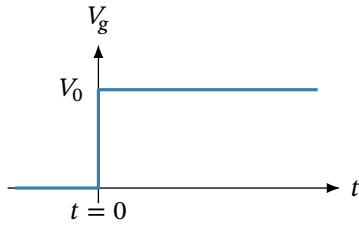
Devreye, kondansatör başlangıçta boşken ($V_C(0^+) = 0$) Şekil 3.2'de görülen bir basamak fonksiyonu uygulanırsa

$$V_0 = R i_0 e^{-t/\tau} + R i_0 [1 - e^{-t/\tau}] \quad \text{ve} \quad i_0 = \frac{V_0}{R}$$

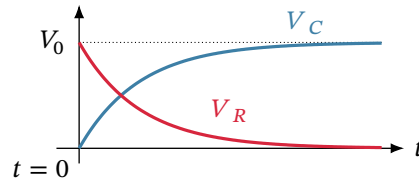
elde edilir. Buna göre

$$V_R = V_0 e^{-t/\tau}, \quad V_C = V_0 [1 - e^{-t/\tau}]$$

olarak bulunur. Bu gerilimlerin davranışları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2



Şekil 3.3

Devreye, kondansatör V_0 gerilimi ile dolu iken ($V_C(0^+) = V_0$) $V_g = 0$ olan bir gerilim uygulanırsa (giriş kısa devre edilirse)

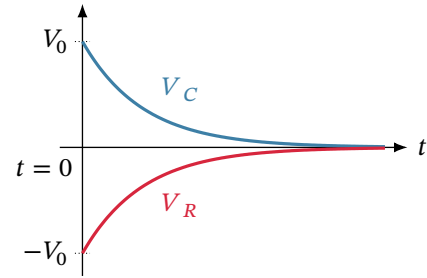
$$0 = R i_0 e^{-t/\tau} + R i_0 (1 - e^{-t/\tau}) + V_0$$

ve

$$i_0 = -\frac{V_0}{R}$$

elde edilir. Buna göre

$$V_R = -V_0 e^{-t/\tau}, \quad V_C = V_0 e^{-t/\tau}$$



Şekil 3.4

bulunur. Bu gerilimlerin davranışları Şekil 3.4'te verilmiştir.

B) Sinüs Tepkisi

$V_g(t) = V_0 \cos(\omega t + \theta)$ giriş geriliminin, $i(t) = i_0 \cos(\omega t)$ akımını akıttığını varsayalım. Kompleks gösterimde

$$V_g = V_0 e^{j(\omega t + \theta)}, \quad i = i_0 e^{j\omega t}$$

olarak ifade edilir. Bu gösterimde kompleks eleman empedansları

$$Z_R = R, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$

devrenin toplam empedansı,

$$Z = Z_R + Z_C = R + \frac{1}{jC\omega} = \frac{1 + jRC\omega}{jC\omega}$$

olarak elde edilir. Sistemin çevre denkleminde,

$$V_0 e^{j(\omega t + \theta)} = \left(R + \frac{1}{jC\omega} \right) i_0 e^{j\omega t}$$

eşitliği elde edilir. Buradan

$$i_0 = \frac{V_0}{|Z|} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + 1/(\omega^2 C^2)}} \quad \text{ve} \quad \tan(\theta) = -\frac{1}{RC\omega}$$

bulunur; yani akım, giriş geriliminden $|\theta|$ kadar ileridedir. Bu durumda sığa üzerindeki gerilimin genliği,

$$V_{C0} = \frac{1}{C\omega} i_0 = \frac{V_0}{\sqrt{1 + R^2 C^2 \omega^2}}$$

olarak bulunur. Sığa gerilimi akımdan $\pi/2$ kadar geride olduğundan, giriş geriliminden $\phi = \pi/2 - |\theta|$ kadar geridedir. Osiloskopta CH1 (V_g) ile CH2 (V_C) arasında ölçülen bu faz farkı için

$$\tan(\phi) = RC\omega \quad \text{ve} \quad V_{C0} = V_0 \cos(\phi)$$

olur.

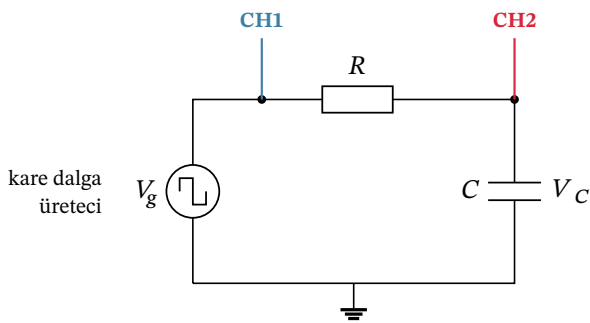
Lissajous yöntemi. Osiloskop X-Y kipine alındığında zaman tabanı devre dışı kalır; CH1'deki gerilim ışını yatay, CH2'deki gerilim düşey saptırır. $x = V_0 \cos \omega t$ ve $y = V_{C0} \cos(\omega t - \phi)$ için ekranda bir elips oluşur. Işın düşey eksenini ($x = 0$) $\omega t = \pi/2$ ve $3\pi/2$ anlarında keser; bu anlarda $y = \pm V_{C0} \sin \phi$ olur. Elipsin düşey eksenini kestiği iki nokta arasındaki uzaklık $2y_0$ ve elipsin toplam düşey genişliği $2B = 2V_{C0}$ ise

$$\sin \phi = \frac{y_0}{B} = \frac{2y_0}{2B} \quad (3.1)$$

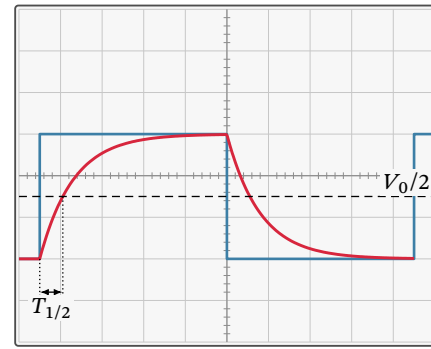
bulunur. Bu oran iki kanalın V/div ayarından bağımsızdır; ancak bölmeler doğru okunabilsin diye elips ekranın büyük bölümünü kaplamalıdır. Lissajous şekli fazın büyüklüğünü verir, işaretini (hangi işaretin önde olduğunu) göstermez.

Deneyin Yapılışı

1) RC Devresinin Basamak Fonksiyonuna Cevabı



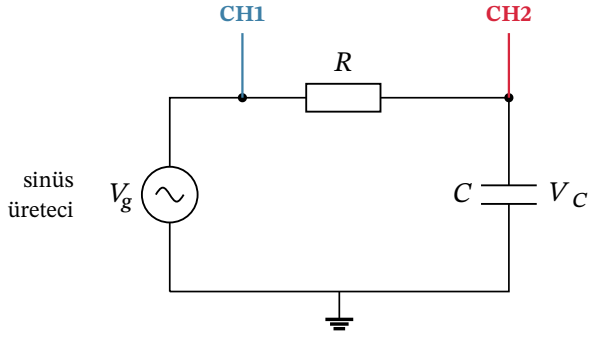
Şekil 3.5



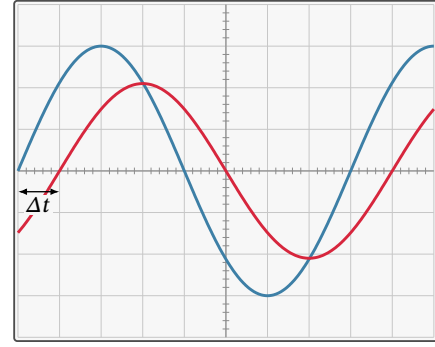
Şekil 3.6

- Şekil 3.5'teki RC devresini verilen uygun direnç ve kondansatör değerlerini kullanarak kurunuz, gerekli ayarlamaları yaparak Şekil 3.6'daki osiloskop görüntüsünü elde ediniz.
- $T_{1/2}^d$ yarılanma süresini ölçerek $T_{1/2}^d = \ln(2) \tau^d$ ifadesinden τ^d 'yi bulunuz.
- $\tau^k = RC$ 'yi hesaplayınız.
- Kuramsal ve deneysel sonuçları karşılaştırarak yorum yapınız.

2) RC Devresinin Sinüs Fonksiyonuna Cevabı

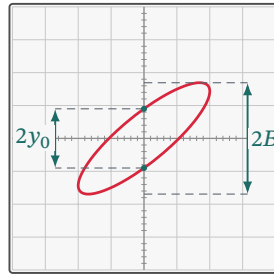


Şekil 3.7



Şekil 3.8

- Şekil 3.7'deki devreyi kurunuz. Dalga üreticiden genliği tepeden tepeye $V_g = 4$ V olacak şekilde giriş gerilimini ayarlayınız ve frekans taraması yaparak protokoldeki Tablo 3.1'i doldurunuz. Giriş gerilimini her ölçümde kontrol ederek sabit tutunuz. V_{C0} 'nun denel ve kuramsal değerlerini aynı yarı-logaritmik kağıda çizin.
- CH1 ve CH2'deki işaretler arasındaki deneysel faz farkını Şekil 3.8'deki gibi Δt 'yi ölçerek $\phi^d = 2\pi \Delta t \cdot f$ eşitliğinden bulunuz ve kuramsal değeri de hesaplayarak protokoldeki Tablo 3.2'yi doldurunuz. ϕ 'nin denel ve kuramsal değerlerini aynı yarı-logaritmik kağıda çizerek karşılaştırınız.
- Kesim frekansı $f_c = 1/(2\pi RC)$ çevresindeki dört frekansta (Tablo 3.2'deki 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz ve 5 kHz) osiloskobu X-Y kipine alınız. İki kanalı aynı V/div'e getirip elipsi ekranın ortasına yerleştiriniz. Elipsin düşey eksenini kestiği noktalar arasındaki uzaklığı ($2y_0$) ve toplam düşey genişliğini ($2B$) ölçünüz. (3.1) bağıntısından ϕ^L 'yi bulup b) şıkında Δt ile bulduğunuz ϕ^d ile karşılaştırınız.

X-Y kipi: CH1 (V_g) yatay, CH2 (V_C) düşey, iki kanal 1 V/div

Şekil 3.9. X-Y kipinde beklenen ekran ($R = 10$ k Ω , $C = 10$ nF, $f = 1$ kHz, $V_g = 4$ V tepeden tepeye). Burada $2y_0/2B = \sin \phi \approx 0.53$, yani $\phi \approx 0.56$ rad'dır.

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 3: RC DEVRELERİ**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİDevre elemanları: $R =$ _____ $C =$ _____**1) RC Devresinin Basamak Fonksiyonuna Cevabı:**

b) $T_{1/2}^d =$ _____ $\tau^d = T_{1/2}^d / \ln 2 =$ _____

c) $\tau^k = RC =$ _____ $\% \text{ Fark} = \frac{|\tau^d - \tau^k|}{\tau^k} \times 100 =$ _____

2) RC Devresinin Sinüs Fonksiyonuna Cevabı:

a)

Tablo 3.1

f (Hz)	100	200	500	1 k	2 k	5 k	10 k	20 k	50 k	100 k	200 k	500 k
V_g												
V_{Co}												

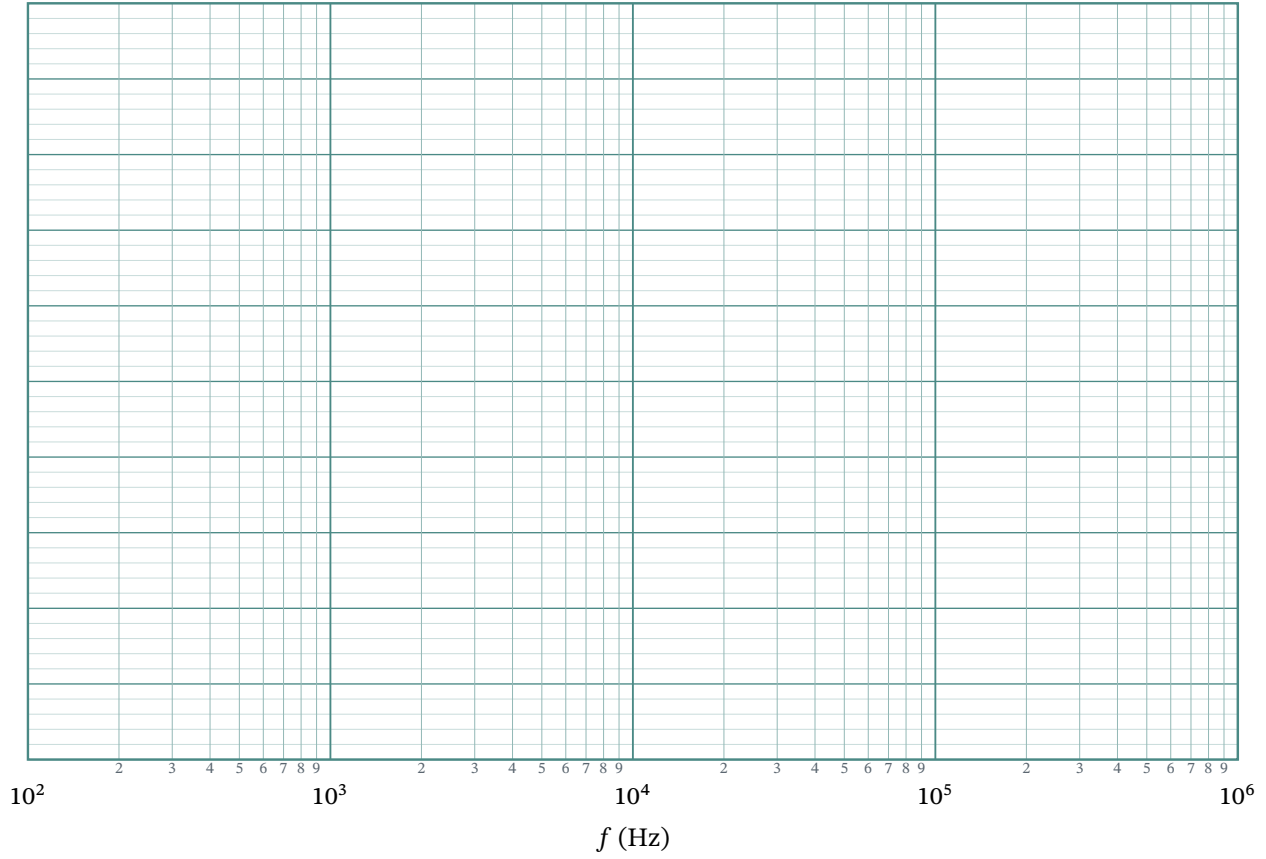
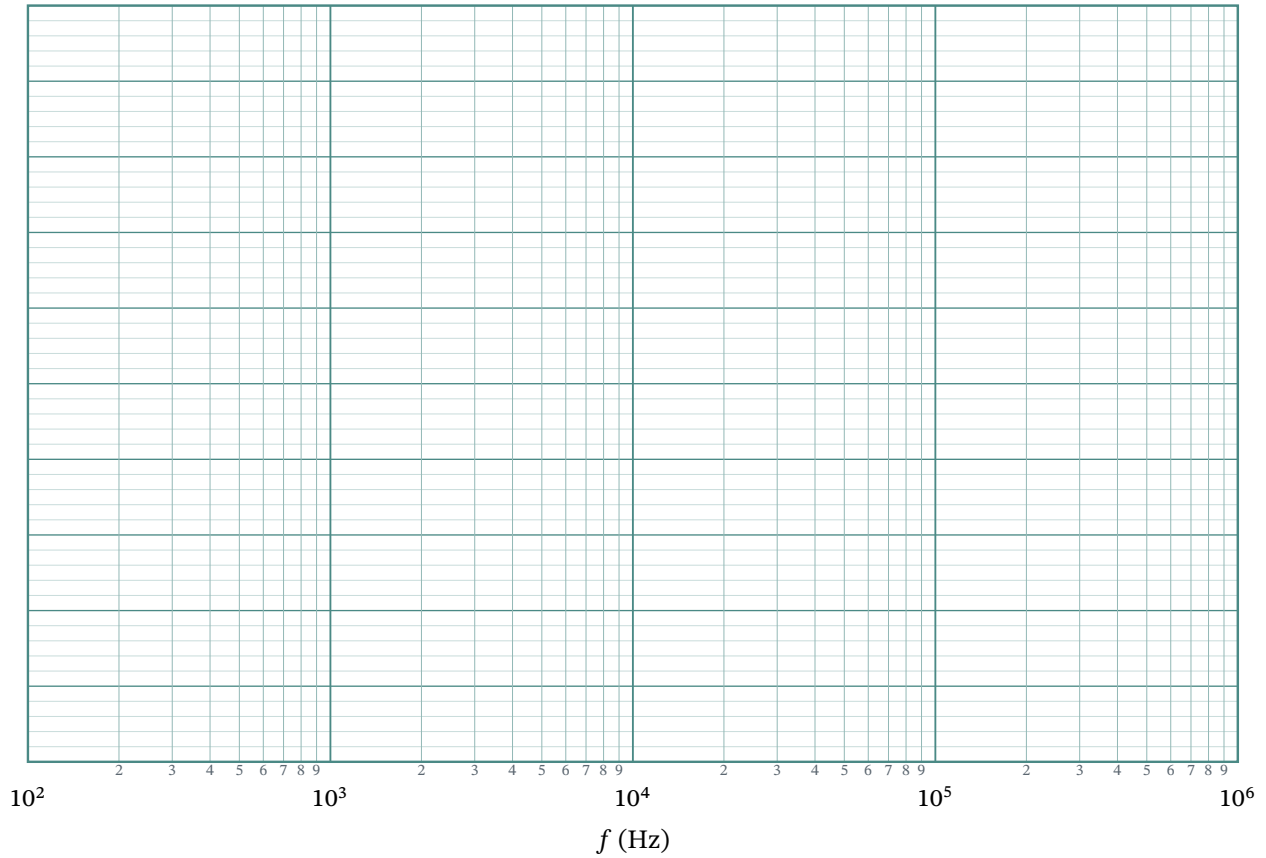
b)

Tablo 3.2

f (Hz)	100	200	500	1 k	2 k	5 k	10 k	20 k	50 k	100 k	200 k	500 k
Δt												
ϕ^d (rad)												
ϕ^k (rad)												

c) Lissajous yöntemi

f (Hz)	500	1 k	2 k	5 k
$2y_0$ (V)				
$2B$ (V)				
$\phi^L = \arcsin(y_0/B)$ (rad)				
$\phi^d, b)$ şıkkından (rad)				

Grafik 3.1 · $V_{Co}-f$ grafiği (denel ve kuramsal)*yarı logaritmik, 4 onluk · %100 ölçekte yazdırınız***Grafik 3.2 · $\phi-f$ grafiği (denel ve kuramsal)***yarı logaritmik, 4 onluk · %100 ölçekte yazdırınız*

DENEY 4

RLC Devreleri



Sanal deney

Kuram

A) RL Devresi

Şekil 4.1'deki devrenin çevre denklemi,

$$V_g = L \frac{di}{dt} + R i$$

olarak elde edilir.

Homojen denklem

$$L \frac{di}{dt} + R i = 0$$

olup bu homojen denklemin çözümü $\tau = L/R$ olmak üzere,

$$i(t) = i_0 e^{-t/\tau}$$

$$V_R(t) = R i(t) = R i_0 e^{-t/\tau}, \quad V_L(t) = L \frac{d}{dt} (i_0 e^{-t/\tau}) = -R i_0 e^{-t/\tau}$$

olarak elde edilir.

1) Basamak Tepkisi $V_g = V_0$, $i(0) = 0$ koşulları ile ikinci taraflı denklemin özel çözümünü aradığımızda $i_0 = V_0/R$ ve $i_0 = -V_0/R$ bulunur. Buna göre eleman gerilimleri,

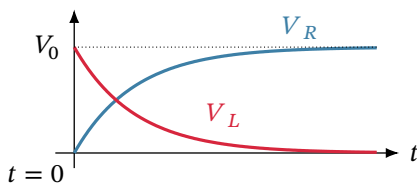
$$V_R = V_0 (1 - e^{-t/\tau}), \quad V_L = V_0 e^{-t/\tau}$$

olarak elde edilir.

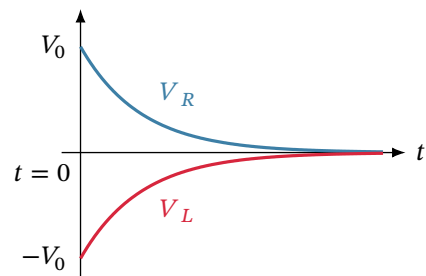
$V_g = 0$, $i(0) = V_0/R$ koşulları ile ikinci taraflı denklemin özel çözümü arandığında $i_0 = 0$ ve $i_0 = V_0/R$ bulunur. Buna göre eleman gerilimleri

$$V_R = V_0 e^{-t/\tau}, \quad V_L = -V_0 e^{-t/\tau}$$

olarak elde edilir. Davranış biçimleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2



Şekil 4.3

2) Sinüs Tepkisi Şekil 4.1'deki devre için $Z_L = jL\omega$ ve $Z = R + jL\omega$ olarak verilir. $V_g = V_0 e^{j(\omega t + \phi)}$ ve $i = i_0 e^{j\omega t}$ için

$$i_0 = \frac{V_0}{|Z|} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}, \quad \tan(\phi) = \frac{L\omega}{R}$$

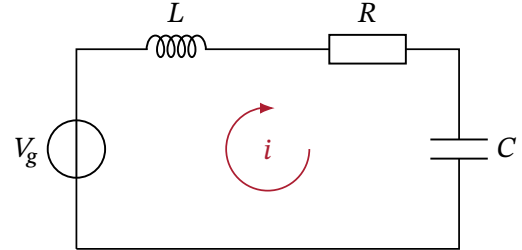
olarak bulunur. $R/L = \omega_1$ olmak üzere Deney 3'ün B bölümündeki analiz aynen tekrarlanabilir.

B) RLC Devresi

Şekil 4.4'teki seri RLC devresinin çevre denklemi,

$$V_g = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + V_C(0^+)$$

şeklinde verilebilir.



Şekil 4.4

Homojen denklem, türev alınarak,

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = 0$$

haline getirilir. Bu denklemin karakteristik denklemi

$$\alpha^2 + 2\left(\frac{R}{2L}\right)\alpha + \frac{1}{LC} = 0$$

dir. Bu denklemin köklerine göre, çözümleri üç tipte incelemek gerekir. $\tau = 2L/R$, $\omega_0^2 = 1/LC$, $\Delta = \sqrt{1/\tau^2 - \omega_0^2}$ olmak üzere,

a) $\alpha_1 \neq \alpha_2$ reel kökler varsa çözüm

$$i = e^{-t/\tau} [A e^{-\Delta t} + B e^{+\Delta t}]$$

biçimindedir. Bu duruma aşırı sönüm durumu denir. Davranış biçimi Şekil 4.5'te görülmektedir. Bu durumda $t = 0$ 'da $i(0) \neq 0$ ise 0 değerini alması için veya $i(0) = 0$ ise maksimum değerini alması için uzun bir zaman geçmesi gerekmektedir.

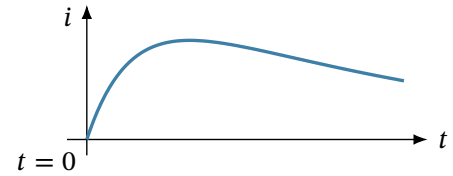
b) $\alpha_1 = \alpha_2$ reel katlı kök durumunda $\Delta = 0$ 'dır. Çözüm

$$i = e^{-t/\tau} [A + B t]$$

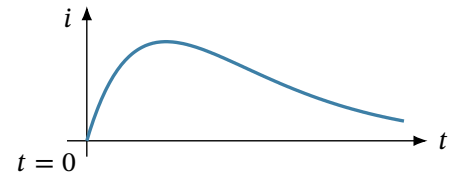
şeklindedir. Bu duruma kritik çözüm durumu denir ve akım maksimum ve minimum değerleri arasında en kısa sürede değişir. Davranış biçimi Şekil 4.6'da görülmektedir. Kritik sönüm oluşma koşulu

$$\Delta = 0, \quad \frac{1}{\tau^2} = \omega_0^2 \quad \text{veya} \quad R_K = 2\sqrt{L/C}$$

olarak ifade edilir.



Şekil 4.5



Şekil 4.6

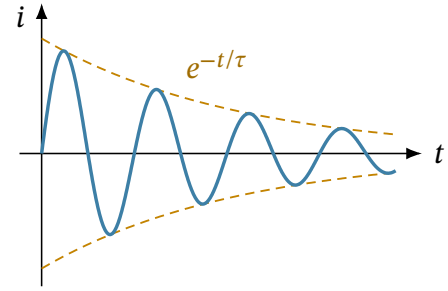
c) $\alpha_1 = \alpha_2^*$ eşlenik kompleks kök durumunda $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 1/\tau^2}$ olmak üzere çözüm

$$i = e^{-t/\tau} [A e^{j\omega t} + B e^{-j\omega t}]$$

veya

$$i = A_0 e^{-t/\tau} \cos(\omega t + \phi)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu duruma sönümlü salınım durumu denir. Davranış biçimi Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7

1) Basamak Tepkisi Şekil 4.4’teki devreye bir basamak fonksiyonu uygulandığında, yukarıdaki a, b, c durumlarından biri oluşur. Bu davranış zaman içinde eksponansiyel olarak azaldığından bunlara geçici rejim adı da verilir.

2) Sinüs Tepkisi Şekil 4.4’teki devreye bir sinüsel gerilim uygulandığında kompleks gösterim olarak

$$V_0 e^{j(\omega t + \phi)} = i_0 (jL\omega) e^{j\omega t} + i_0 R e^{j\omega t} + i_0 \left(\frac{1}{jC\omega} \right) e^{j\omega t}$$

eşitliği elde edilir. Buradan

$$i_0 = \frac{V_0}{|Z|} = \frac{V_0}{\left| R + j \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \right|} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}}, \quad \tan(\phi) = \frac{L\omega - 1/(C\omega)}{R}$$

eşitlikleri elde edilir.

Burada $\omega \rightarrow 0$ için $i_0 \rightarrow 0$, $\phi \rightarrow -\pi/2$ ve $\omega \rightarrow \infty$ için $i_0 \rightarrow 0$, $\phi \rightarrow +\pi/2$ olduğu görülür. Arada bir noktada i_0 maksimum değeri alır; bu frekansa ω_0 rezonans frekansı denir. $\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ için,

$$(i_0)_{\max} = \frac{V_0}{R}, \quad \tan(\phi) = 0$$

dir. Devre saf direnç gibi davranır.

i_0 ’ın ω ’ya bağlı davranış biçimi (frekans tepkisi) Şekil 4.8’de görülmektedir. Akımın maksimum değerinin $1/\sqrt{2}$ katına düştüğü ω değerleri yarı güç frekansları olarak bilinir. Bu koşul,

$$R^2 = \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2$$

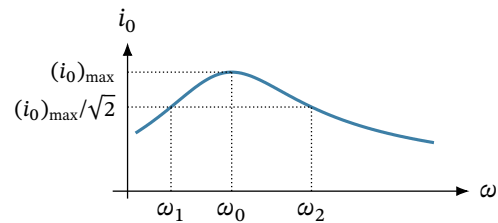
halinde sağlanabilir. Elde edilen sonuçlar

$$\omega_{1,2} = \mp \frac{1}{\tau} + \sqrt{\omega_0^2 + \frac{1}{\tau^2}}$$

dir. Buradan $\omega_1 \omega_2 = \omega_0^2$ ve $\omega_2 - \omega_1 = 2/\tau = R/L$ bulunur; $\omega_0^2 \gg 1/\tau^2$ yaklaşıklığında $\omega_1 \approx \omega_0 - 1/\tau$ ve $\omega_2 \approx \omega_0 + 1/\tau$ olur. Devrenin Q faktörü (kalite faktörü)

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega_0 \tau}{2} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

olarak tanımlanır. Q faktörü büyük olan devrenin, frekans tepkisi sivri olur ve böyle devreler frekans seçici devreler olarak kullanılır.

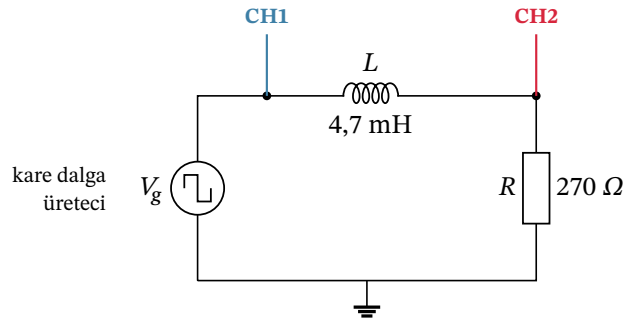


Şekil 4.8

Rezonansın Lissajous ile bulunması. R üzerindeki gerilim $V_R = iR$ akımla aynı fazdadır; bu yüzden V_g ile V_R arasındaki faz farkı, yukarıdaki ϕ açısıdır. Osiloskop X-Y kipinde (CH1: V_g , CH2: V_R) genel olarak bir elips gösterir. Rezonansta $\phi = 0$ olduğundan elips bir doğruya kapanır. Bu, genliğin en büyük değerini aramaktan çok daha keskin bir ölçüttür: genlik f_0 çevresinde yavaş değişirken, elipsin doğruya kapanması gözle kolayca seçilir. Yarı güç frekanslarında $\tan \phi = \pm 1$, yani $\phi = \pm 45^\circ$ 'dir ve elipsin düşey eksenini kestiği uzaklığın düşey genişliğine oranı $y_0/B = \sin 45^\circ \approx 0.71$ olur.

Deneyin Yapılışı

1) RL Devresinin Basamak Fonksiyonuna Cevabı

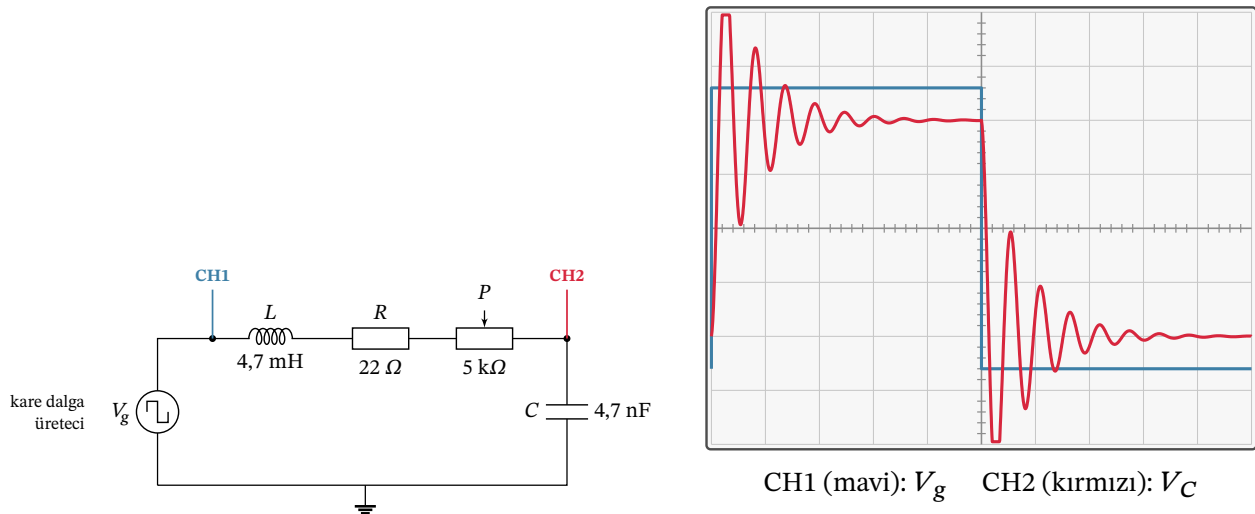


Şekil 4.9

Şekil 4.9'daki RL devresini kurarak, dalga üreticinin frekansını ayarlayarak osiloskop ekranında uygun şekli elde ediniz.

- $T_{1/2}^d$ yarılanma süresini ölçerek $T_{1/2}^d = \ln 2 \cdot \tau^d$ ifadesinden τ^d 'yi bulunuz.
- $\tau^k = L/R$ 'den, L 'nin değerini hesaplayınız.

2) RLC Devresinin Basamak Fonksiyonuna Cevabı



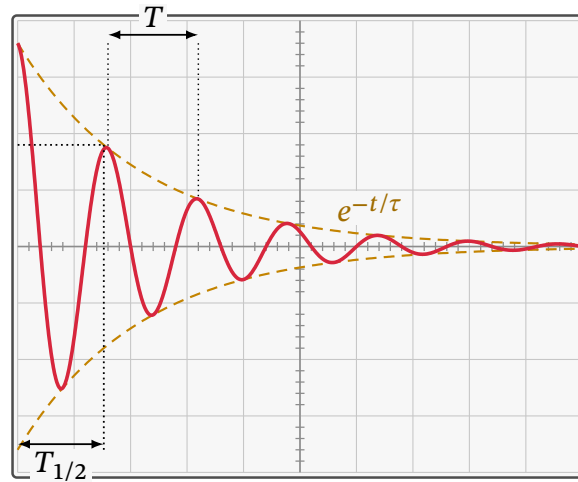
Şekil 4.10

Şekil 4.11

Şekil 4.10'daki RLC devresini kurarak;

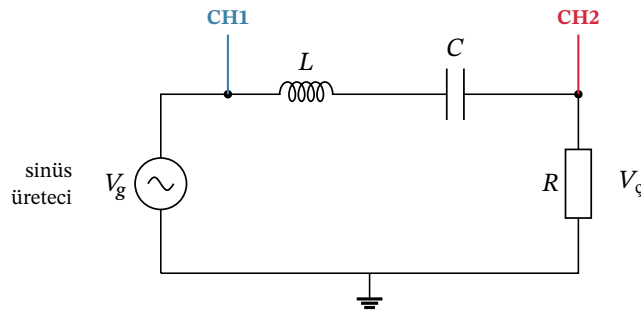
- Potansiyometreyi maksimum açarak aşırı sönümü gözleyiniz.
- Potansiyometreyi ayarlayarak kritik sönüm olayını gözleyiniz ve potansiyometreyi çıkararak değeri- ni ölçünüz. $R_k = 2\sqrt{L/C}$ 'den kuramsal kritik direnci hesaplayarak deneysel değerle karşılaştırınız.

- c) Potansiyometreyi çıkararak devre üzerinde sadece R direncinin kalmasını sağlayınız. Osiloskop ekranındaki sönümlü salınımların birisini (Şekil 4.11), gerekli ayarlamaları yaparak Şekil 4.12'deki gibi büyütünüz. Şekli uygun eksenlere yerleştirerek $T_{1/2}^d$ yarılanma süresini ölçünüz. Buradan $\tau^d = T_{1/2} / \ln 2$ 'yi hesaplayınız. $\tau^k = 2L/R$ 'yi hesaplayarak sonuçları karşılaştırınız.
- d) Sönümlü salınımların periyodunu (T^d) ölçünüz. $T^k = 2\pi\sqrt{LC}$ ifadesinden kuramsal değeri hesaplayınız ($1/\tau^2 \ll \omega_0^2$ olduğundan sönümlü salınının periyodu $2\pi/\sqrt{\omega_0^2 - 1/\tau^2}$ yerine $2\pi\sqrt{LC}$ alınabilir).



Şekil 4.12

3) RLC Devresinde Rezonans

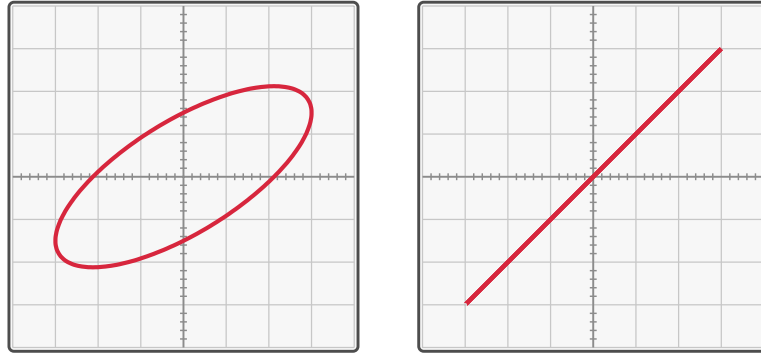


Şekil 4.13

Şekil 4.13'teki devreyi kurunuz ve dalga üreticinin frekans ayarını kullanarak (uygun frekans aralığında), osiloskop ekranındaki sinüsoidal işaretin genliğinin, girişteki frekansla birlikte değiştiğini gözleyiniz.

- Genliğin maksimum olduğu rezonans noktasında, dalga üreticinin frekansını okuyunuz (f_0). Bu noktanın solunda ve sağında genliğin $1/\sqrt{2}$ katına düştüğü yarı güç frekanslarını okuyunuz (f_1 ve f_2).
- Protokoldeki Tablo 4.1'de verilen frekans taramasını yaparak tablonun kalanını doldurunuz.
- Bu tablodan yararlanarak bir milimetrik kağıda $V_ç-f$ grafiğini çizin ve bunun üzerinde yarı güç ve rezonans noktalarını gösteriniz.
- Osiloskobu X-Y kipine alınız ve iki kanalı aynı V/div 'e getiriniz. Frekansı f_0 çevresinde değiştirerek elipsin bir doğruya kapandığı frekansı bulunuz (f_0^L) ve a) şıkkındaki f_0 ile karşılaştırınız. Frekansı

f_1 ve f_2 'ye ayarlayıp elipsin y_0/B oranını ölçünüz.



(a) $f = f_1$ ya da f_2 ($\phi = \pm 45^\circ$) (b) $f = f_0$ ($\phi = 0$)

Şekil 4.14. Rezonans ölçümünde X-Y kipinde beklenen ekranlar (CH1: V_g , CH2: $V_c = V_R$, iki kanal aynı V/div).
 (a) Yarı güç frekanslarında elips, $y_0/B \approx 0.71$; iki frekansta da aynı görünür, çünkü Lissajous şekli fazın işaretini göstermez. (b) Rezonansta doğru.

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 4: RLC DEVRELERİ**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ

Bu protokolde % Fark = $\frac{|\text{deneysel} - \text{kuramsal}|}{\text{kuramsal}} \times 100$.

1) RL Devresinin Basamak Fonksiyonuna Tepkisi:

a) $T_{1/2}^d =$ _____ $\tau^d = T_{1/2}^d / \ln 2 =$ _____

b) $L = \tau^d R =$ _____ (föydeki değer 4,7 mH) % Fark = _____

2) RLC Devresinin Basamak Fonksiyonuna Tepkisi:

b) $R_k^d =$ _____ $R_k^k = 2\sqrt{L/C} =$ _____ % Fark = _____

c) $T_{1/2}^d =$ _____ $\tau^d =$ _____ $\tau^k = 2L/R =$ _____ % Fark = _____

d) $T^d =$ _____ $T^k = 2\pi\sqrt{LC} =$ _____ % Fark = _____

3) RLC Devresinde Rezonans:

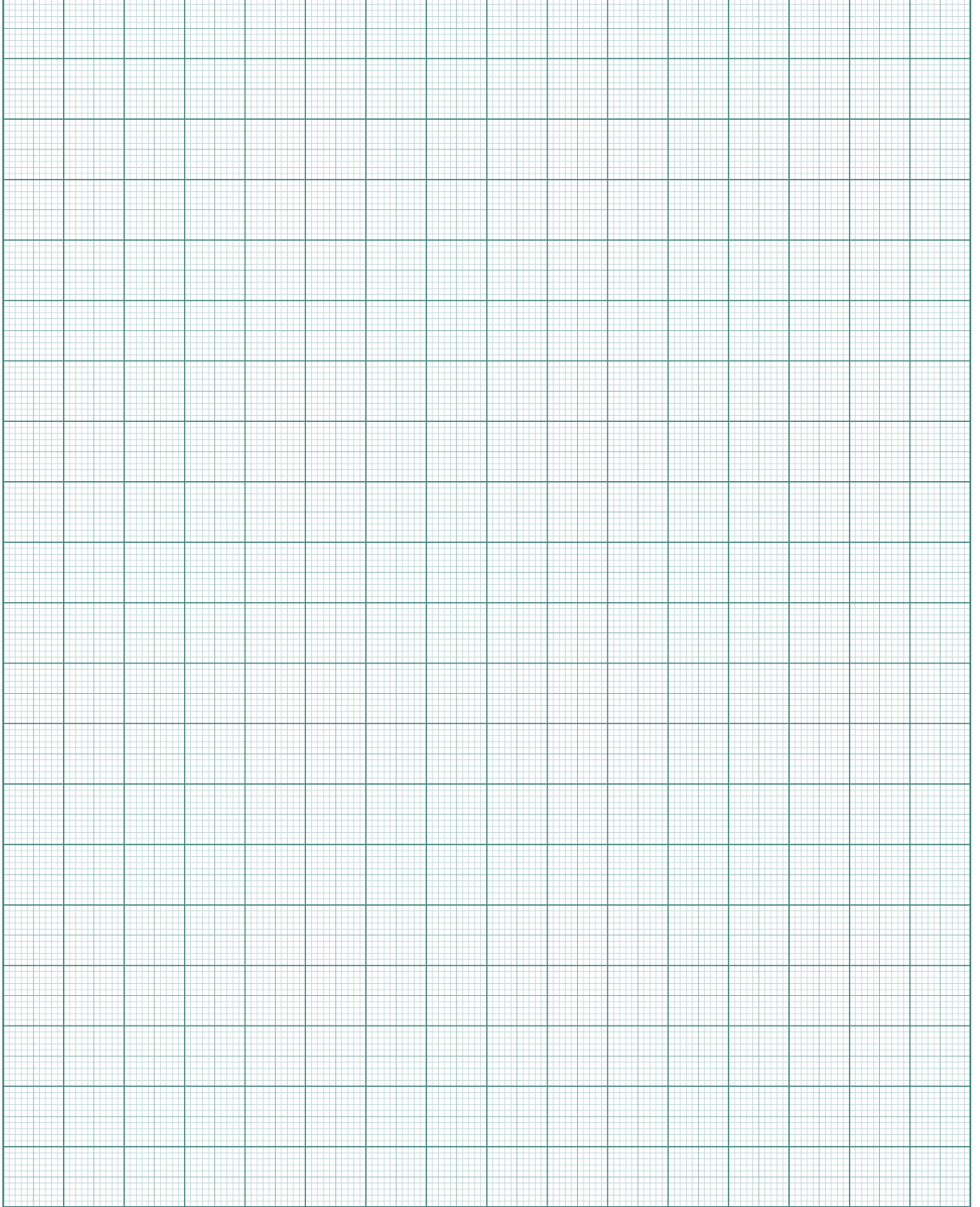
a) $f_0 =$ _____ $f_1 =$ _____ $f_2 =$ _____

b)

Tablo 4.1

			f_1		f_0		f_2		
f (kHz)									
V_{ϕ}									

d) $f_0^L =$ _____ % Fark (f_0 'a göre) = _____ f_1 'de $y_0/B =$ _____ f_2 'de $y_0/B =$ _____

Grafik 4.1 · $V_{\text{ç}}-f$ grafiği (yarı güç ve rezonans noktalarıyla)*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

DENEY 5

P-N Eklem Diyodu Belirtkin Eğrisi



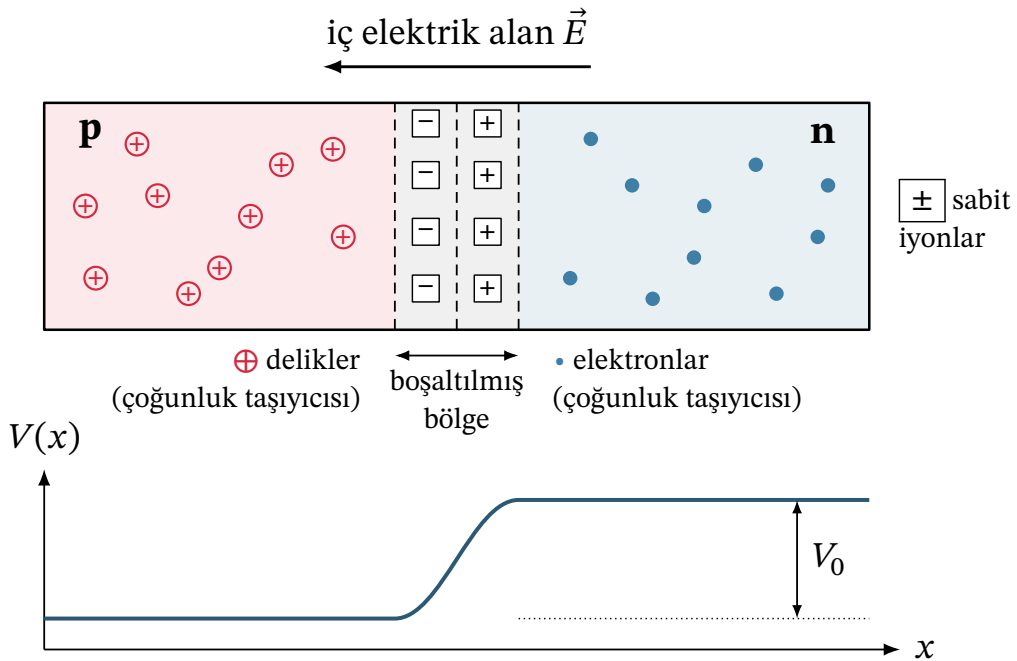
Sanal deney

Kuram

Diyot, üzerinden sadece tek yönde akım geçişine izin veren aktif bir devre elemanıdır. Yarı iletken elemanların en basiti olmasına rağmen, basit bir anahtarinkine benzeyen karakteristikleri ile elektronik sistemlerde çok önemli rol oynarlar. Gerçek bir diyodun yapısını ve karakteristiklerini incelemeden önce, karşılaştırma olanağı vermek amacıyla, ideal diyottan bahsetmekte yarar vardır. Anot (+) ucu, katot (–) ucu ifade eder. Karakteristik eğri eksenlerindeki V_D , diyodun ileri yön polarmasını, V_R ise ters yön polarmasını ifade eder veya bir başka deyişle diyoda doğru veya ters yönlü gerilim uygulanmasını ifade eder. Aynı şekilde I_d diyot üzerinden doğru yönde yani anottan katoda doğru akan diyot akımını, I_s sızıntı akımı ise katottan anoda doğru akan ters yön akımını ifade eder.

P-N Eklemi

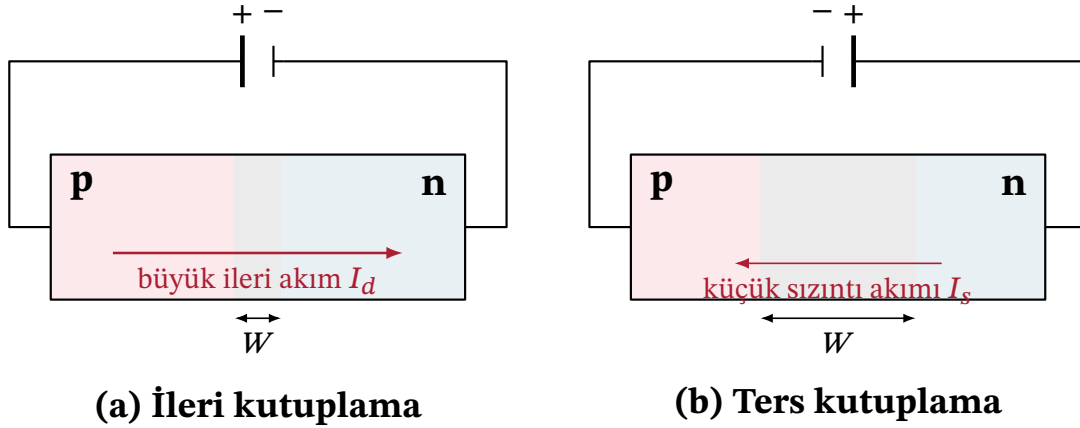
Silisyum gibi dört değerlikli bir yarı iletken, bor gibi üç değerlikli atomlarla katkıldığında çoğunluk taşıyıcıları delikler olan p-tipi, fosfor gibi beş değerlikli atomlarla katkıldığında çoğunluk taşıyıcıları elektronlar olan n-tipi yarı iletken elde edilir. Bu iki bölge aynı kristal içinde bir araya geldiğinde, yoğunluk farkı nedeniyle delikler n bölgesine, elektronlar p bölgesine difüzyonla geçer ve eklem yakınında birbirleriyle birleşir. Geride, p tarafında negatif yüklü alıcı iyonlar, n tarafında pozitif yüklü verici iyonlar kalır. Hareketli taşıyıcılardan arınmış bu ince bölgeye boşaltılmış (fakirleşmiş) bölge denir (Şekil 5.1). Sabit iyonların oluşturduğu iç elektrik alan n bölgesinden p bölgesine doğrudur ve difüzyonu durduran bir V_0 potansiyel engeli doğurur; silisyumda bu engel oda sıcaklığında yaklaşık 0,7 V mertebesindedir.



Şekil 5.1. P-N eklemi, boşaltılmış bölge ve potansiyel engeli

İleri ve Ters Kutuplama

Diyodun anoduna (p) pozitif, katoduna (n) negatif gerilim uygulandığında (ileri kutuplama) dış gerilim iç alana karşı koyar: boşaltılmış bölge daralır, engel $V_0 - V_d$ 'ye düşer ve çoğunluk taşıyıcıları eklemi kolayca geçer; akım gerilimle üstel olarak artar (Şekil 5.2a). Ters kutuplamada dış gerilim engeli $V_0 + V_R$ 'ye yükseltir, boşaltılmış bölge genişler ve yalnızca azınlık taşıyıcılarının oluşturduğu çok küçük bir sızıntı akımı geçer (Şekil 5.2b). Ters gerilim belirli bir değeri aşarsa kırılma gerçekleşir; bu davranış Deney 6'da incelenecektir.



Şekil 5.2. İleri ve ters kutuplamada boşaltılmış bölgenin genişliği

Diyot Denklemi

Bir P-N ekleminin akım–gerilim ilişkisi Shockley diyot denklemiyle verilir:

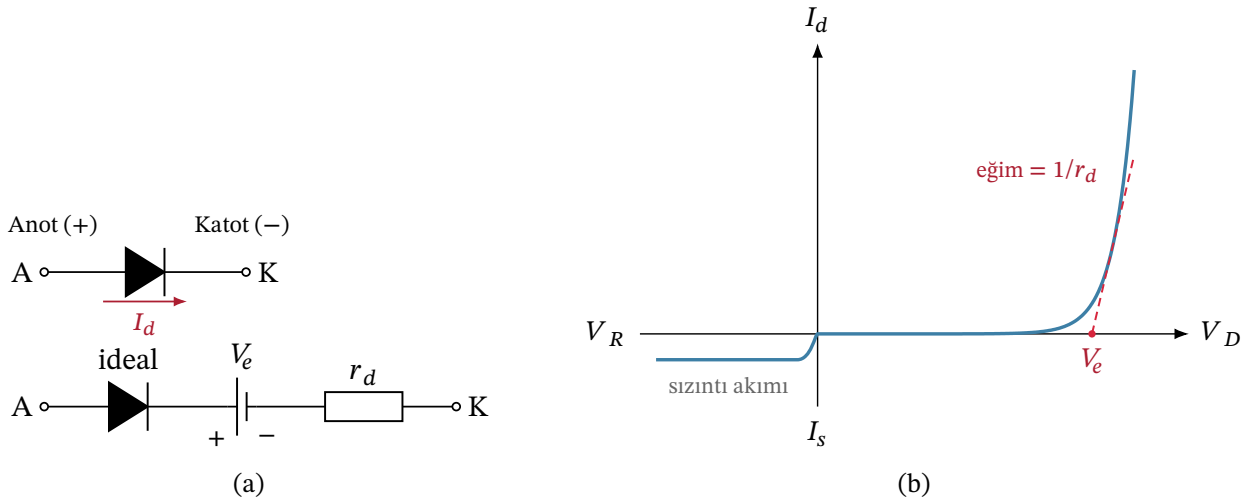
$$I_d = I_s (e^{V_d/(nV_T)} - 1), \quad V_T = \frac{kT}{q} \quad (5.1)$$

Burada I_s ters yöndeki doyma (sızıntı) akımı, n idealite çarpanı (silisyum diyotlarda 1 ile 2 arasında), V_T ısıl gerilimdir; 20 °C'de $V_T \approx 25,3$ mV, 27 °C'de $V_T \approx 25,9$ mV'tur. V_d birkaç V_T 'den büyük olduğunda parantez içindeki -1 ihmal edilebilir; ters kutuplamada ise $I_d \approx -I_s$ olur. Denklemin logaritması alınırsa

$$\ln I_d \approx \ln I_s + \frac{V_d}{nV_T} \quad (5.2)$$

bulunur: $\ln I_d - V_d$ grafiği eğimi $1/(nV_T)$ olan bir doğrudur. Akımın her on kat artışında ileri gerilim $2,303 nV_T$ kadar artar ($n = 1,8$ için yaklaşık 107 mV). Böylece yarı-logaritmik bir grafikten idealite çarpanı bulunabilir.

Eşdeğer Model ve Dinamik Direnç



Şekil 5.3. Gerçek diyodun eşdeğer modeli (a) ve belirtkin eğrisi (b)

Bir pn ekleminden oluşan, “gerçek” bir yarı iletken diyodun eşdeğer modeli ve yaklaşık belirtkin eğrisi Şekil 5.3 (a) ve (b)’de görüldüğü gibidir. V_e diyot eşik gerilimi, r_d diyot dinamik direnci olarak adlandırılır. İletimdeki diyot grafiğinin teğetinin eğimi $1/r_d$, teğetin ekseni kestiği nokta da V_e değerini verir.

Pratikteki birçok uygulamada r_d göz ardı edilir. Ancak kullanılan gerilimler eşik gerilimine göre çok büyük değilse hesaba katılması gerekebilir.

Dinamik direnç, çalışma noktası çevresindeki küçük değişimler için tanımlanır ve diyot denkleminin türevinden bulunur:

$$r_d = \frac{dV_d}{dI_d} \approx \frac{nV_T}{I_d} \quad (5.3)$$

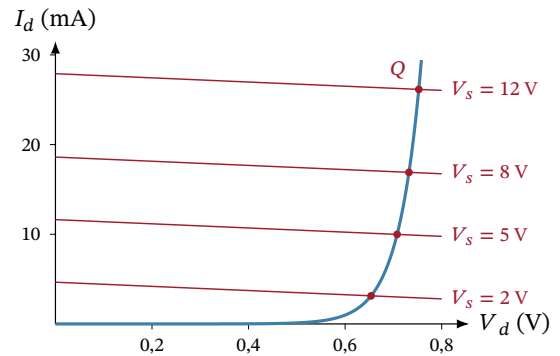
r_d akımla ters orantılıdır: $I_s = 2,5$ nA, $n = 1,8$ olan bir diyotta 27°C ’de r_d 1 mA’de yaklaşık 47Ω , 10 mA’de yaklaşık $4,7 \Omega$ ’dur. Statik direnç V_d/I_d ise bundan çok farklıdır; aynı diyotta 700 mV’ta statik direnç yaklaşık 83Ω iken dinamik direnç yaklaşık $5,5 \Omega$ ’dur. Parçalı doğrusal modelde iletim bölgesi $I_d = (V_d - V_e)/r_d$ ($V_d > V_e$) doğrusuyla temsil edilir.

Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

Şekil 5.5’teki devrede Kirchhoff gerilimler yasası $V_s = I_d R + V_d$ eşitliğini verir. Buna göre

$$I_d = \frac{V_s - V_d}{R} \quad (5.4)$$

yük doğrusudur: I_d eksenini V_s/R ’de, V_d eksenini V_s ’de keser. Diyodun çalışma noktası (Q), bu doğrunun diyot eğrisiyle kesiştiği noktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Yük doğruları ve çalışma noktaları ($R = 430 \Omega$)

R direnci akımı sınırlar; diyot iletime geçtikten sonra kaynak geriliminin büyük bölümü R üzerinde düşer. Bu nedenle V_s ’deki büyük değişimler V_d ’de küçük değişimlere yol açar: yukarıdaki diyotta V_s 1 V’tan 12 V’a çıkarıldığında V_d yalnızca yaklaşık 598 mV’tan 753 mV’a yükselir. Tablodaki en yüksek V_d değerlerine ancak kaynak geriliminin üst sınırına yakın ulaşılabilmesinin nedeni budur.

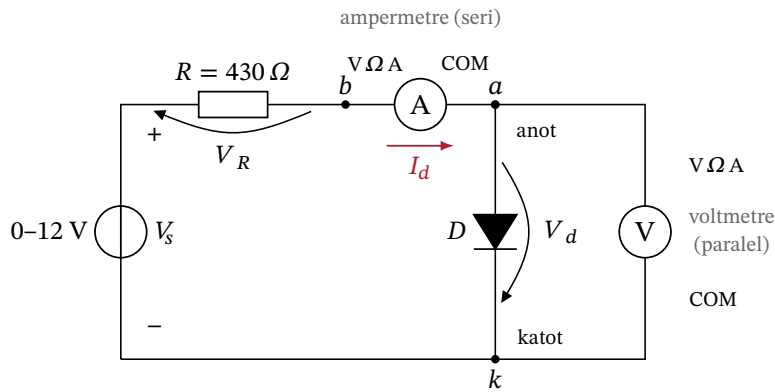
Sıcaklığın Etkisi

Ters doyma akımı I_s sıcaklıkla hızla artar; bu nedenle sabit akımda diyot gerilimi sıcaklık arttıkça azalır. Silisyum diyotlarda bu azalma yaklaşık $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 'tır. Büyük akımlarda diyodun kendi ısınması da okumaların zamanla kaymasına neden olabilir.

Deneyin Yapılışı

Kullanılan Araç ve Gereçler

Ayarlı DC güç kaynağı (0–12 V), diyot ve 430Ω direnç bulunan modül, iki sayısal multimetre (Thurlby 1503; biri ampermetre, biri voltmetre olarak), iki kanallı osiloskop (OS-9040D), yalıtılmış düşük gerilimli AC kaynak (transformatör çıkışı), bağlantı kabloları, milimetrik ve yarı-logaritmik kağıt.



Şekil 5.5. İleri kutuplama ölçüm devresinin şeması

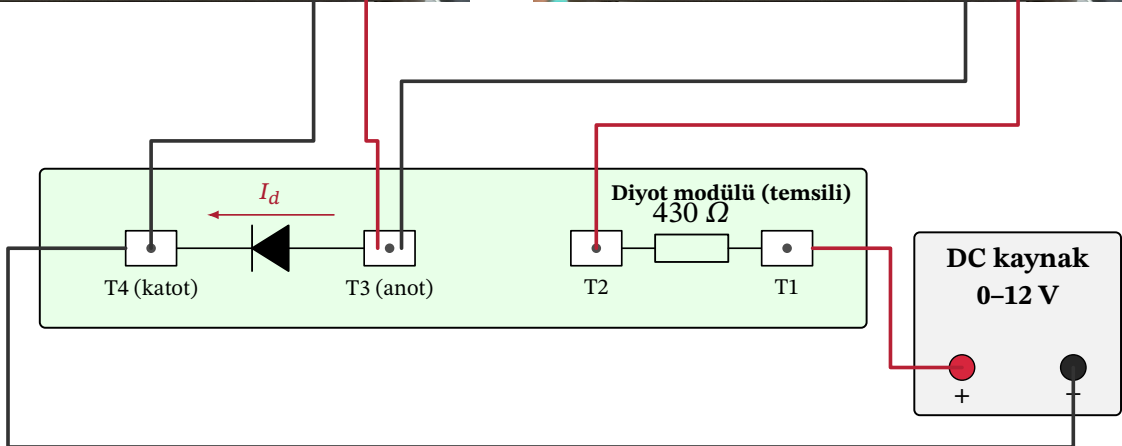
Multimetre 1: voltmetre

V işlevi, DC; 3200m aralığı (1 mV çözünürlük)



Multimetre 2: ampermetre

A işlevi (V ve Ω tuşları bırakılı), DC; 80 μ aralığından başlayınız



Şekil 5.6. Bağlantı şeması (laboratuvardaki multimetreler; modül temsildir)

Devrenin Kurulması

1. Kaynağı kapalı ve çıkış gerilimini sıfırda tutarak devreyi Şekil 5.5'teki şemaya ve Şekil 5.6'daki bağlantı şemasına göre kurunuz.

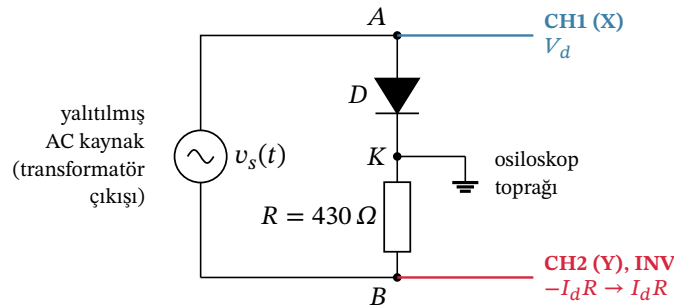
2. Diyodun yönünü denetleyiniz: katot ucu (gövdedeki halka) kaynağın eksi ucuna bağlanmalıdır. Diyodu önceden ohmmetreyle sınavabilirsiniz: bir yönde düşük, ters yönde çok yüksek direnç (OL) okunur.
3. Ampermetreyi hazırlayınız: multimetreyi A işlevine (V ve Ω tuşları bırakılı), DC konumuna ve 80μ aralığına getiriniz. Kırmızı ucu V Ω A, siyah ucu COM girişine takarak R ile diyodun anodu arasına seri bağlayınız. Ampermetreyi hiçbir zaman bir elemana ya da kaynağa paralel bağlamayınız.
4. Voltmetreyi hazırlayınız: ikinci multimetreyi V işlevine, DC konumuna ve 3200m aralığına getiriniz. Kırmızı ucu anoda, siyah ucu katoda bağlayınız.
5. Kaynakta akım sınırı ayarı varsa yaklaşık 30 mA'e ayarlayınız.

Ölçümler

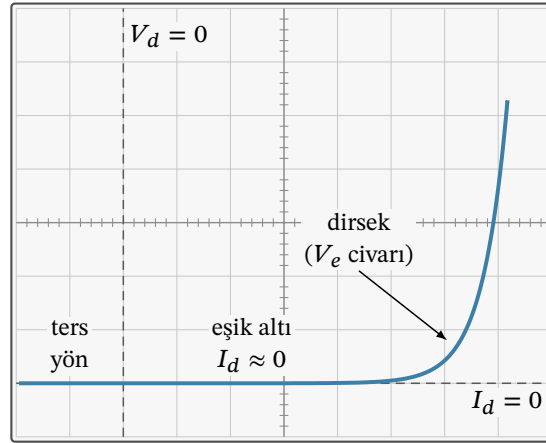
6. Kaynağı açınız ve gerilimi sıfırdan başlayarak yavaşça artırınız. Voltmetrede protokoldeki Tablo 5.1'de verilen her V_d değerini okuduğunuzda ampermetredeki I_d değerini birimiyle birlikte kaydediniz. Düşük gerilimlerde akımlar μA mertebesinde olduğundan 80μ aralığıyla başlayınız ve gösterge OL verdikçe aralığı büyütünüz.
7. 600 mV'tan sonra V_d , kaynak gerilimindeki küçük değişimlere çok duyarlıdır (yük doğrusu); bu bölgede gerilimi yavaş ve ince ayarla değiştiriniz.
8. Kaynak gerilimi 12 V'a ulaştığı hâlde $V_d = 750$ mV'a erişilemezse, 12 V'ta okunan V_d ve I_d değerlerini tablonun son sütununa yazınız.
9. Ölçümler bitince gerilimi sıfıra indirip kaynağı kapatınız.

Belirtkin Eğrinin Osiloskopta Gözlenmesi

Belirtkin eğri, osiloskobun X-Y kipinde doğrudan görüntülenebilir (Osiloskopu Tanıyalım bölümü, X-Y kipi). Diyoda periyodik bir gerilim uygulandığında yatay sapma diyot gerilimiyle, düşey sapma ise seri direnç üzerindeki gerilimle, yani diyot akımıyla orantılı olur; nokta her periyotta eğri boyunca gidip gelir ve ekranda I_d-V_d eğrisi çizilir (Şekil 5.8).



Şekil 5.7. X-Y gözlem devresi



X-Y kipi CH1 (X): 0,1 V/div CH2 (Y): 1 V/div, INV $\Rightarrow$ 1 bölme = 2,33 mA

Şekil 5.8. Osiloskopta görülmesi gereken eğri (örnek: 6 V tepe değerli kaynak)

10. Şekil 5.7'deki devreyi kurunuz. Osiloskobun ortak toprak ucunu diyodun katoduna (K) bağlayınız. Kaynak topraktan yalıtılmış olmalıdır (transformatör çıkışı); topraklı bir işlev üretici kullanılırsa üretcin toprağı osiloskobun toprağıyla birleşir ve R kısa devre olur.
11. CH1'i diyodun anoduna (A), CH2'yi direncin öbür ucuna (B) bağlayınız. CH1 diyot gerilimini (V_d) gösterir. CH2'nin gördüğü gerilim $-I_d R$ olduğundan CH2 POSITION düğmesini çekerek (PULL INV) işareti ters çeviriniz.
12. A TIME/DIV düğmesini X-Y konumuna getiriniz. İki kanalı GND konumuna alıp noktayı POSITION düğmeleriyle ekranın sol alt bölgesine (Şekil 5.8'deki kesikli çizgilerin kesiştiği yere) taşıyınız; ardından iki kanalı da DC bağlaşıma alınız.
13. CH1'i 0,1 V/div, CH2'yi 1 V/div'e ayarlayarak eğriyi gözleyiniz. Düşey ekseninde her bölme 2,33 mA akıma karşılık gelir (1 V / 430 Ω). Eğri ekrandan taşarsa kaynak genliğini ya da CH2'nin VOLTS/-DIV ayarını değiştiriniz.
14. Eğrinin dirseğinin yerinden eşik gerilimini yaklaşık olarak okuyunuz, gözlediğiniz eğriyi ayarlarıyla birlikte protokoldeki boş ekrana çiziniz ve tablodan bulduğunuz V_e ile karşılaştırınız.

Ölçme Hataları

Şekil 5.5'teki bağlantıda voltmetre doğrudan diyodun uçlarına bağlı olduğundan V_d doğru ölçülür; ampermetre ise diyot akımına ek olarak voltmetrenin çektiği $I_V = V_d/R_V$ akımını da okur. Sayısal multimetrelerde R_V tipik olarak 10 M Ω mertebesindedir. $I_s = 2,5$ nA, $n = 1,8$ olan bir diyotta bu fazladan akım 100 mV'ta diyot akımıyla aynı mertebede, 200 mV'ta yaklaşık %10, 300 mV'ta yaklaşık %2'dir; 400 mV ve üzerinde ihmal edilebilir. Bu nedenle düşük gerilim noktalarında

$$I_d \approx I_{ölçülen} - \frac{V_d}{R_V} \quad (5.5)$$

düzeltilmesi yapılabilir. Aynı noktalarda akımlar ampermetrenin en küçük aralığının çözünürlüğüne de yaklaşır; bu iki nokta, ölçümlerin en az güvenilir olanlarıdır.

Verilerin Değerlendirilmesi

- a) Bir milimetrik kağıda $I_d - V_d$ grafiğini çiziniz ve diyot eşik gerilimini gösteriniz: iletim bölgesinde eğriye bir teğet çizerek teğetin V_d eksenini kestiği noktadan V_e 'yi, eğiminden $(1/r_d)$ r_d 'yi bulunuz.

- b) Ölçümlerinizi yarı-logaritmik kağıda (I_d logaritmik ekseninde) çiziniz. Yaklaşık 300–650 mV arasındaki doğrusal bölgeden iki nokta seçerek idealite çarpanını

$$n = \frac{V_{d2} - V_{d1}}{V_T \ln(I_{d2}/I_{d1})}$$

bağıntısıyla hesaplayınız (laboratuvar sıcaklığındaki V_T 'yi kullanınız).

- c) Teğetin değdiği noktadaki I_d için $r_d^k = nV_T/I_d$ değerini hesaplayarak (a) şıkında grafikten bulduğunuz r_d ile karşılaştırınız.

Sorular

1. 430 Ω 'luk direnç devreden çıkarılsaydı ne olurdu? Bu direncin görevini yük doğrusu üzerinden açıklayınız.
2. Diyot ters bağlansaydı ampermetre ve voltmeter ne gösterirdi?
3. Ölçtüğünüz V_e değerini silisyum ve germanyum diyotların tipik eşik gerilimleriyle karşılaştırınız.
4. Laboratuvar sıcaklığı 10 °C artsaydı, aynı akımdaki V_d yaklaşık ne kadar değişirdi?
5. 100 ve 200 mV'ta ölçülen akımlar neden en az güvenilir ölçümlerdir?

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 5: P-N EKLEM DİYODU BELİRTKİN EĞRİSİ**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

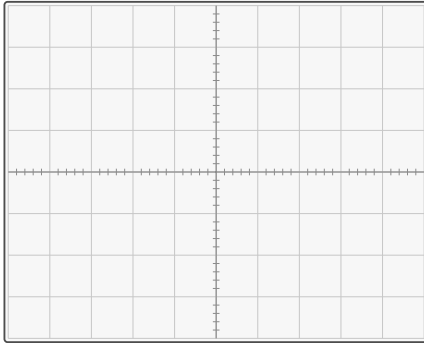
Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**Tablo 5.1**

V_d (mV)	100	200	300	400	500	550	600	650	700	750
I_d										

a) Grafikten (teğet yöntemi): $V_e =$ _____ $r_d = 1/\text{eğim} =$ _____b) Laboratuvar sıcaklığı: _____ °C $V_T =$ _____ $n =$ _____c) Teğet noktasında $I_d =$ _____ $r_d^k = nV_T/I_d =$ _____ % Fark = _____

d) Osiloskopta gözlenen eğri (X-Y):

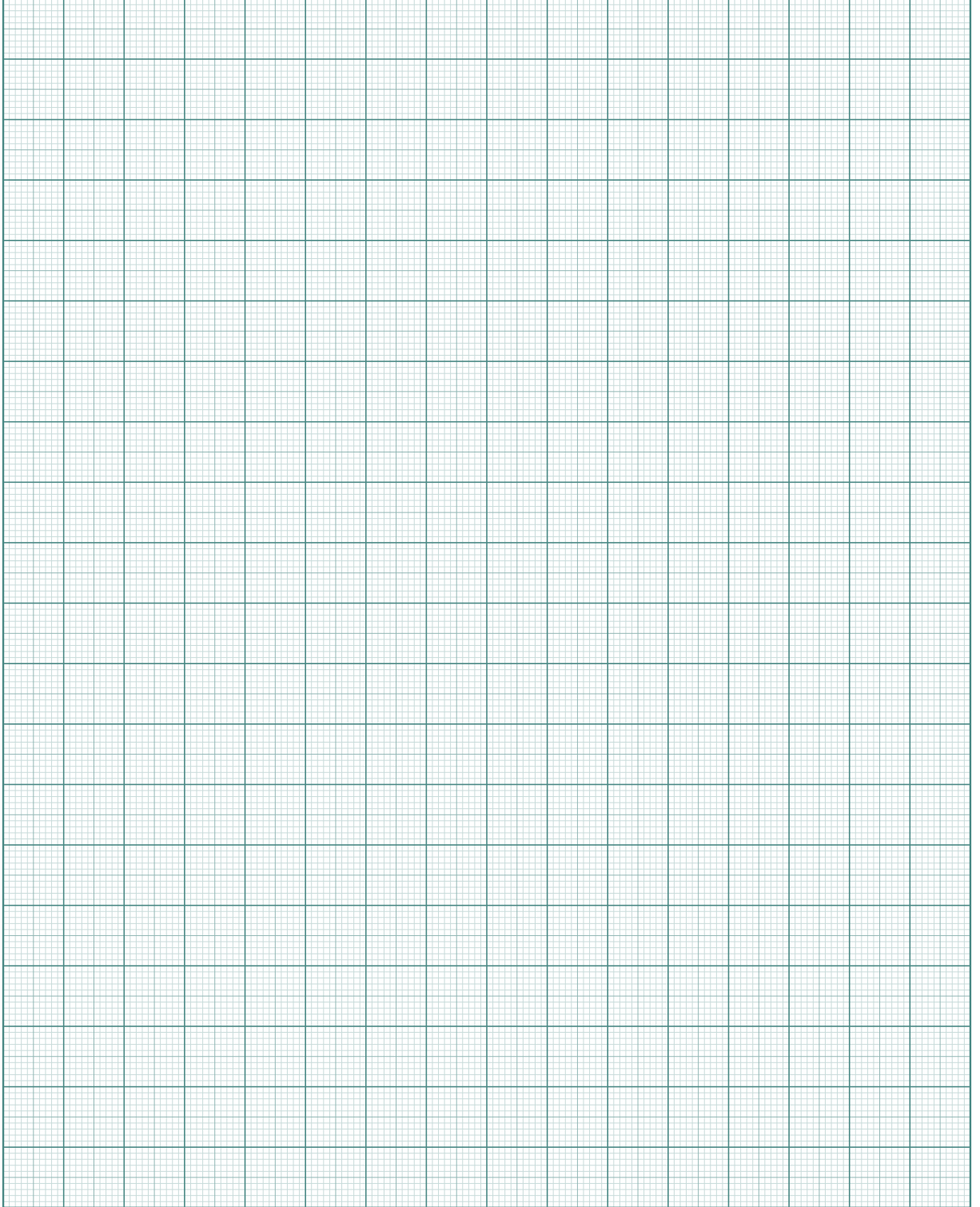


CH1 (X): _____ V/div

CH2 (Y): _____ V/div

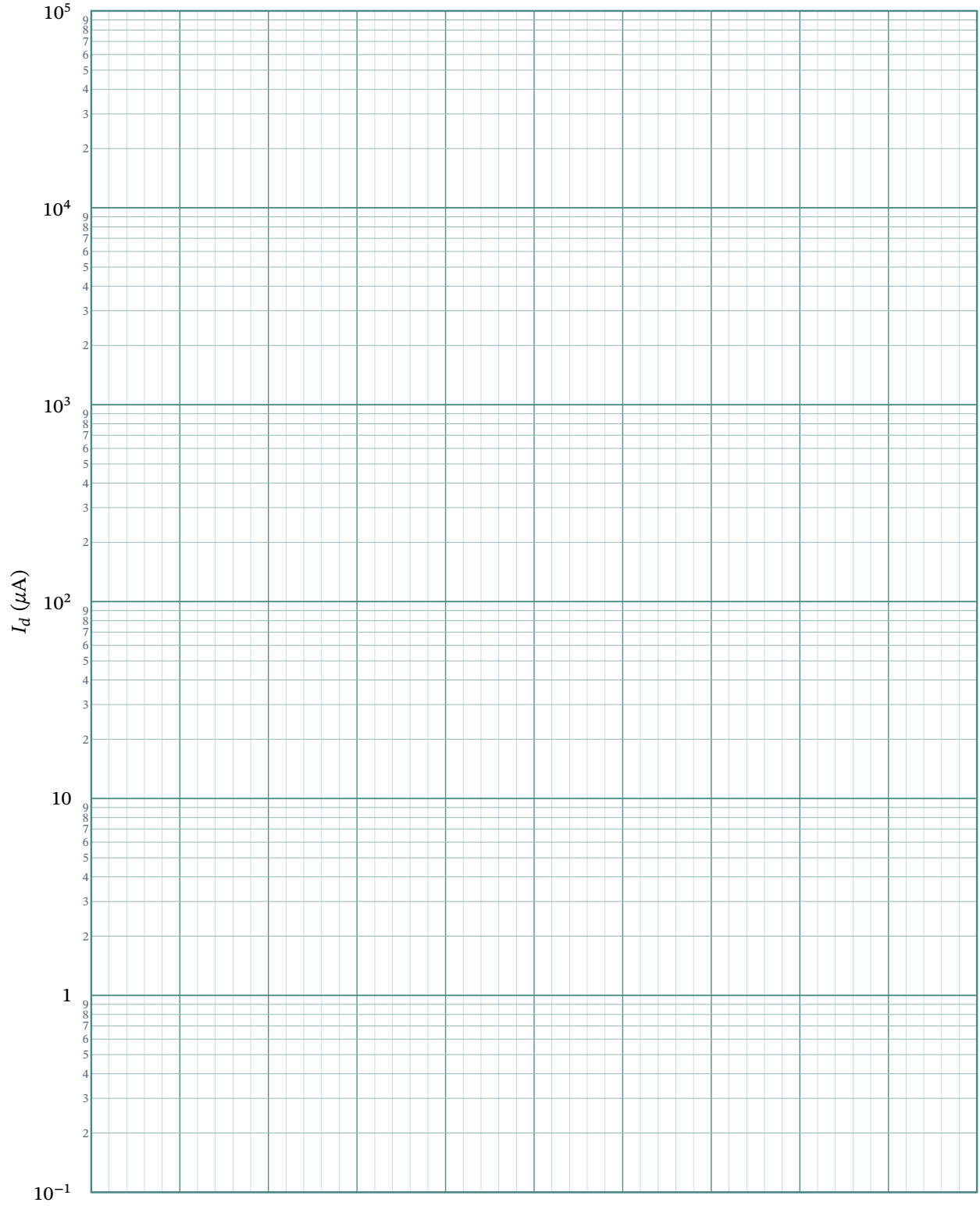
Kaynak genliği: _____

Ekrandan $V_e \approx$ _____

Grafik 5.1 · I_d-V_d grafiği (teğet, V_e ve r_d ile)*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

Grafik 5.2 · I_d-V_d yarı-logaritmik grafiği (idealite çarpanı n)

yarı logaritmik, 6 onluk · %100 ölçekte yazdırınız



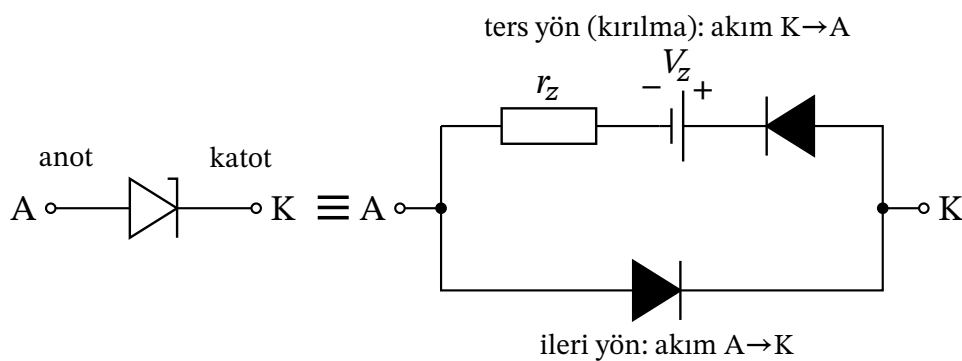
DENEY 6

Zener Diyot



Sanal deney

Kuram



Şekil 6.1. Zener diyot sembolü ve eşdeğer devresi

Zener diyot ileri yönde kutuplandığında, doğrultucu diyot gibi davranır. Ters yönde kutuplandığında ise V_Z Zener gerilimi civarında doğrultucu diyoda göre büyük akımlar çekilmesine rağmen bozulmaz. Zener diyot için Şekil 6.1'deki eşdeğer devre kullanılabilir. Buradaki r_z dinamik direnci akıma bağlıdır; belli bir akımdan sonra yaklaşık sabit kalır.

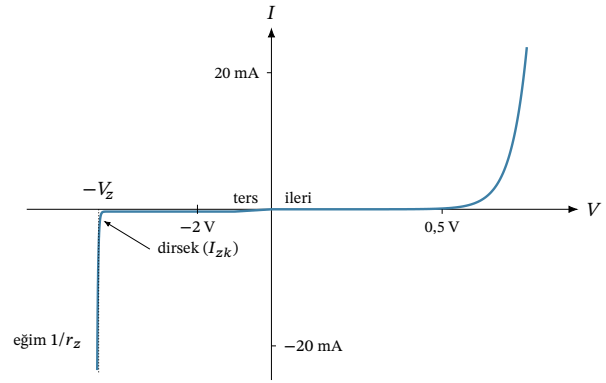
Kırılma Mekanizmaları

Ters kutuplamada boşaltılmış bölgedeki elektrik alan ters gerilimle birlikte artar (Deney 5). Yoğun katkılanmış eklemlerde boşaltılmış bölge çok incedir; birkaç voltluk ters gerilim, elektronların valans bandından iletim bandına doğrudan tünellemesine yetecek büyüklükte bir alan oluşturur (Zener olayı). Daha az katkılanmış eklemlerde ise boşaltılmış bölgede hızlanan taşıyıcılar kristal atomlarıyla çarpışarak yeni elektron–delik çiftleri üretir ve akım çığ gibi artar (çığ olayı). Yaklaşık 5 V’un altındaki diyotlarda Zener olayı, 6–7 V’un üstündekilerde çığ olayı baskındır. İlkinde V_Z sıcaklık arttıkça azalır, ikincisinde artar; aradaki diyotlarda iki etki birbirini büyük ölçüde dengeler.

Belirtkin Eğri ve Dinamik Direnç

Zener diyodun belirtkin eğrisi Şekil 6.2’de görülmektedir. İleri yönde eğri, Deney 5’teki diyodunkiyle aynıdır. Ters yönde $|V| < V_Z$ iken yalnızca küçük bir sızıntı akımı geçer; ters gerilim V_Z ’ye ulaşınca akım hızla artar, gerilim ise neredeyse sabit kalır. Dirsekten sonraki bölgenin eğimi $1/r_z$ ’dir:

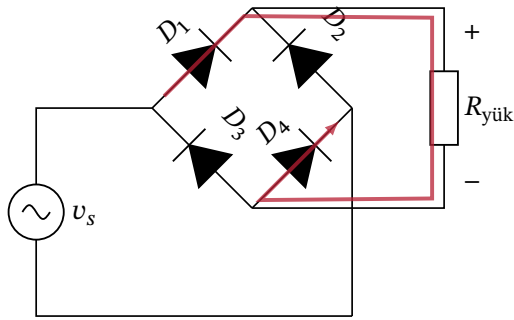
$$r_z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} \quad (6.1)$$



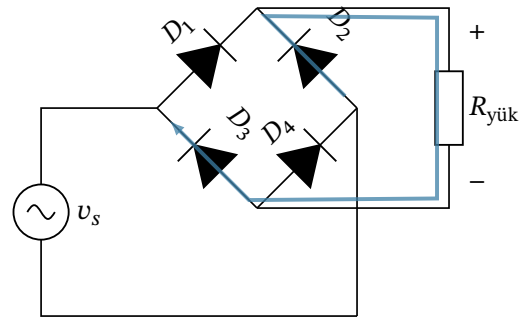
Şekil 6.2. Zener belirtkin eğrisi (iki yarıda ölçek farklıdır)

Örneğin sanal laboratuvarındaki Zener modelinde 5 mA’de $V_Z \approx 4,67$ V ve $r_z \approx 5 \Omega$, 10 mA’de $r_z \approx 2,6 \Omega$ ’dur. Kırılmanın kararlı sürmesi için Zener akımı dirsek akımının (I_{zk}) üstünde tutulmalı, harcanan güç $P_Z = V_Z I_Z$ ise diyodun izin verilen en büyük gücünü aşmamalıdır.

Tam Dalga Köprü Doğrultucu



(a) pozitif yarım periyot: D_1, D_4



(b) negatif yarım periyot: D_2, D_3

Şekil 6.3. Köprü doğrultucuda iki yarım periyottaki akım yolları

Dört diyottan oluşan köprü doğrultucuda kaynağın pozitif yarım periyodunda D_1 ve D_4 , negatif yarım periyodunda D_2 ve D_3 iletimdedir; yükten geçen akım her iki yarım periyotta da aynı yöndedir (Şekil 6.3). Böylece sinüsün negatif yarım periyotları da pozitifte çevrilir ve doğrultulmuş gerilim kaynak frekansının iki katında (50 Hz için 100 Hz) tekrarlanır. Her yarım periyotta iki diyot seri olarak iletimde olduğundan doğrultulmuş gerilimin tepe değeri

$$V_m \approx V_o - 2V_D \quad (6.2)$$

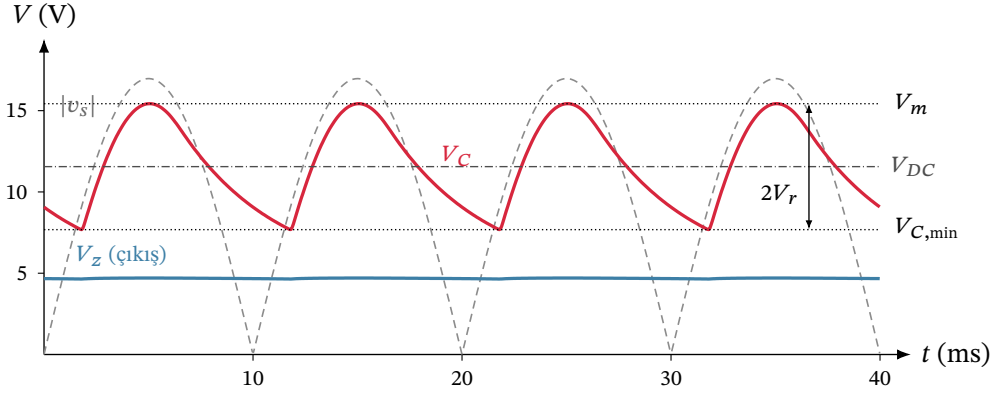
olur; burada V_o transformatör çıkışının tepe değeri, V_D ise iletimdeki bir diyodun gerilimidir.

Süzgeç Kondansatörü ve Dalgalanma

Köprü çıkışına bağlanan kondansatör, doğrultulmuş gerilimin tepelerinde V_m ’ye dolar, tepeler arasında ise yük üzerinden boşalır. Kondansatör üzerinde tepeden tepeye $2V_r$ genlikli bir dalgalanma kalır (Şekil 6.4) ve ortalama doğru gerilim yaklaşık

$$V_{DC} \approx V_m - V_r \quad (6.3)$$

olur. Dalgalanma küçükse ($2V_r \ll V_m$), tam dalga doğrultucu için $2V_r \approx I_{DC}/(2fC)$ yaklaşımı kullanılabilir. Bu deneydeki $10 \mu\text{F}$ 'lık süzgeç ve 50 Hz 'lik kaynakla dalgalanma büyük olduğundan bu yaklaşım geçerli değildir (örnekteki devrede $14,9 \text{ V}$ verir; gerçek değer $7,75 \text{ V}$); V_r osiloskopla doğrudan ölçülür.



Şekil 6.4. Doğrultulmuş gerilim, kondansatör gerilimi V_C ve Zener çıkışı (sayısal çözüm; örnek: 12 V rms , 50 Hz)

Zenerli Gerilim Düzenleyici

Şekil 6.7'deki devrede kondansatör gerilimi V_C , R_s direnci üzerinden Zener diyoda ve ona paralel bağlı R_L yüküne uygulanır. Zener kırılma bölgesindeyken çıkış gerilimi V_z 'de sabit kalır ve

$$I = \frac{V_C - V_z}{R_s}, \quad I_L = \frac{V_z}{R_L}, \quad I_z = I - I_L \quad (6.4)$$

olur. V_C dalgalandıkça I ve dolayısıyla I_z değişir; fazla gerilim R_s üzerinde düşer ve yük gerilimi neredeyse sabit kalır. En büyük, en küçük ve ortalama akımlar, V_C yerine sırasıyla V_m , $V_m - 2V_r$ ve V_{DC} konarak bulunur. Düzenlemenin kesilmemesi için V_C 'nin en küçük değeri bile Zener'i kırılmada tutmalıdır:

$$V_m - 2V_r > V_z \left(1 + \frac{R_s}{R_L}\right) \quad (6.5)$$

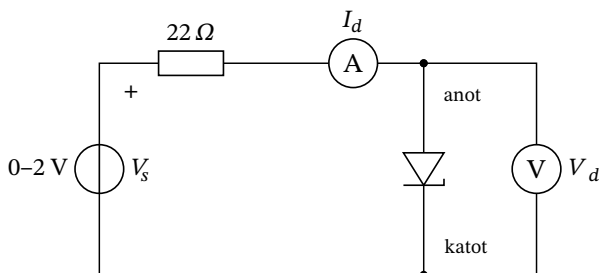
Föydeki değerlerle ($R_s = 470 \Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_z \approx 4,7 \text{ V}$) sağ taraf yaklaşık $6,9 \text{ V}$ 'tur. Transformatör gerilimi bu koşulu sağlamayacak kadar küçükse çıkış, dalgalanmanın çukurlarında V_z 'nin altına iner.

Deneyin Yapılışı

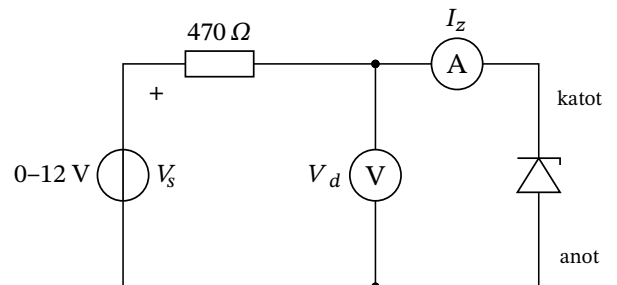
Kullanılan Araç ve Gereçler

Ayarlı DC güç kaynağı, Zener diyot ve düzenleyici elemanlarını taşıyan modül (22Ω , 470Ω , köprü doğrultucu, $10 \mu\text{F}$, $1 \text{ k}\Omega$), iki sayısal multimetre (Thurlby 1503), iki kanallı osiloskop (OS-9040D), düşük gerilimli transformatör, bağlantı kabloları ve milimetrik kağıt.

1) Zener Diyot Belirtkin Eğrisi



Şekil 6.5. İleri kutuplama



Şekil 6.6. Ters kutuplama

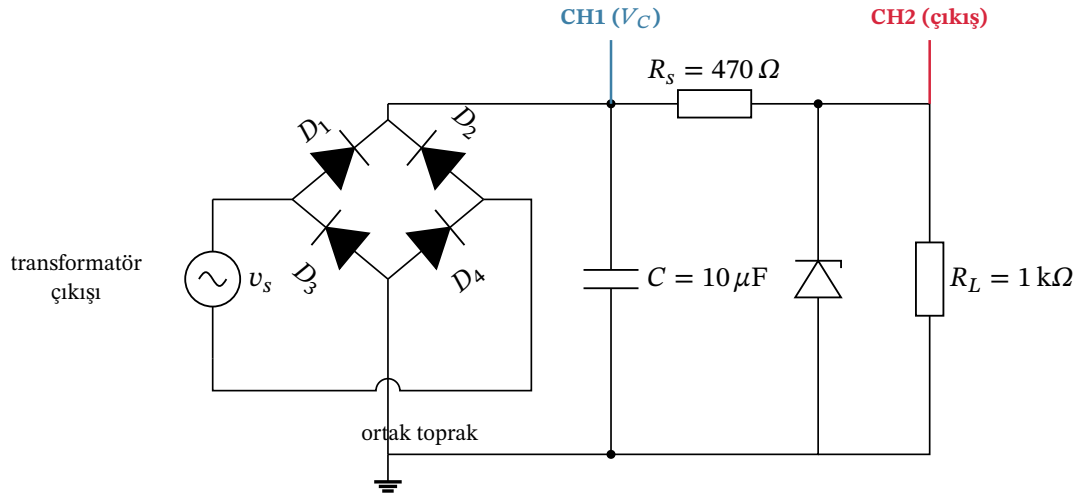
a) İleri yönde kutuplama Şekil 6.5'teki devreyi kaynak kapalı ve çıkışı sıfırda iken kurunuz; Zener'in anodu kaynağın artı ucuna bakmalıdır. Ampermetreyi DC akım işlevinde 80μ aralığından, voltmetreyi DC gerilim işlevinde 3200m aralığından başlatınız. Kaynak gerilimini yavaşça artırarak protokoldeki Tablo 6.1'de verilen gerilimlere karşı gelen akımları ölçünüz; gösterge OL verdikçe ampermetrenin aralığını büyütünüz.

b) Ters yönde kutuplama Şekil 6.6'daki devreyi kurunuz; bu kez Zener'in katodu kaynağın artı ucuna bakmalıdır. Bu devrede voltmetre, ampermetre ile Zener'in toplamına bağlanır; kırılmadan önceki çok küçük ters akım ölçülürken ampermetre voltmetrenin çektiği akımı okumaz. Ampermetrenin iç direnci çok küçük olduğundan üzerinde düşen gerilim (birkaç mV mertebesinde) V_d okumasını önemli ölçüde değiştirmez. Protokoldeki Tablo 6.2'de verilen gerilimlere karşı gelen akımları ölçünüz.

Ardından kırılma bölgesini ayrıntılı incelemek için kaynak gerilimini artırarak Zener akımını Tablo 6.3'teki değerlere getiriniz ve her birinde V_d 'yi okuyunuz. 470 Ω ve 12 V ile Zener akımı en fazla yaklaşık 15 mA'e ulaşır; 15 mA için kaynak gerilimi 12 V'a yakın olmalıdır.

c) Yukarıda elde edilen verilerle Zener diyodun belirgin eğrisini milimetrik kağıda çiziniz (ters yön değerlerini negatif eksanlere işaretleyiniz) ve Zener gerilimini (V_z , 5 mA'deki gerilim) bulunuz. Tablo 6.3'ten iki nokta seçerek (6.1) bağıntısıyla r_z 'yi hesaplayınız.

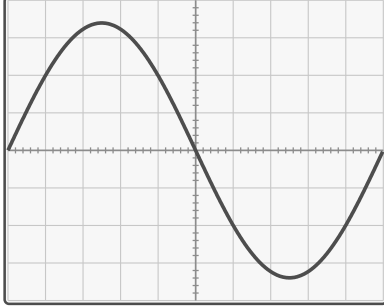
2) Zenerli Gerilim Düzenleyici



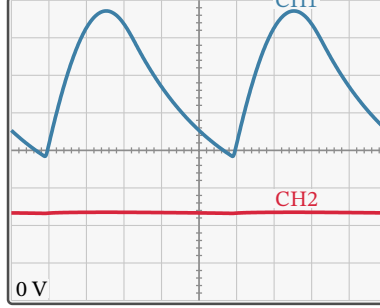
Şekil 6.7. Zenerli gerilim düzenleyici

- Transformatör çıkışını köprüye bağlamadan önce osiloskopla görüntüleyerek tepe değerini (V_0) ölçünüz (Şekil 6.8a). Köprü bağlandıktan sonra transformatör çıkışının iki ucu da osiloskobun toprağına göre salınır; bu nedenle V_0 'yu köprü bağlıyken tek kanalla ölçmeye çalışmayınız. Ardından Şekil 6.7'deki devreyi kurunuz. Osiloskobun ortak toprağını köprünün eksi ucuna, CH1'i kondansatöre (V_c), CH2'yi çıkışa bağlayınız.
- İki kanalı da DC bağlaşımda 2 V/div'e, TIME/DIV'i 2 ms'e ayarlayınız ve iki kanalın sıfır çizgisini ekranın alt çizgisine getiriniz (Şekil 6.8b). Tam dalga doğrultulmuş gerilimin tepe değerini (V_m , CH1) ve Zener gerilimini (V_z , CH2) okuyunuz. Ardından CH1'i AC bağlaşıma alarak dalgalanmayı ekranın ortasına getiriniz ve tepeden tepeye değerini ($2V_r$) ölçünüz (Şekil 6.8c).
- V_0 ve V_m arasındaki farkı açıklayınız.

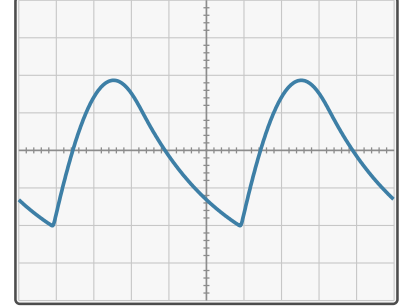
- d) (6.3) bağıntısıyla V_{DC} ortalama doğru gerilimini, (6.4) bağıntısıyla I_{DC} ortalama doğru akımını, maksimum ve minimum akımları hesaplayınız.
- e) Yük direncinden akan akımı ve Zener'den geçen ortalama, minimum ve maksimum akımları hesaplayınız. (6.5) koşulunun sağlanıp sağlanmadığını denetleyiniz.



(a) transformatör çıkışı
5 V/div, 2 ms/div



(b) DC bağlaşım, 2 V/div
CH1: V_C CH2: çıkış



(c) CH1 AC bağlaşım
2 V/div: dalgalanma

şekil 6.8. Osiloskopta görölmesi gereken ekranlar (örnek: 12 V rms transformatör)

Sorular

1. Zener diyot düzenleyicide neden ters yönde bağlanır?
2. R_s direnci olmasaydı ne olurdu?
3. Yük direnci 470Ω 'a düşürölürse (6.5) koşulu ölçtüğölünüz değlerlerle sağlanır mı? Çıkışta ne gözle-nirdi?
4. Süzgeç kondansatörü büyütölürse $2V_z$ ve Zener akımının değışim aralığı nasıl değışir?
5. Ölçtüğölünüz V_z 'nin sıcaklıkla nasıl değışmesini beklersiniz? Neden?

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 6: ZENER DİYOT**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**1) Zener Diyot Belirtkin Eğrisi:**

a) İleri yönde kutuplama:

Tablo 6.1

V_d (mV)	100	200	300	500	550	600	650	700	750
I_d									

b) Ters yönde kutuplama:

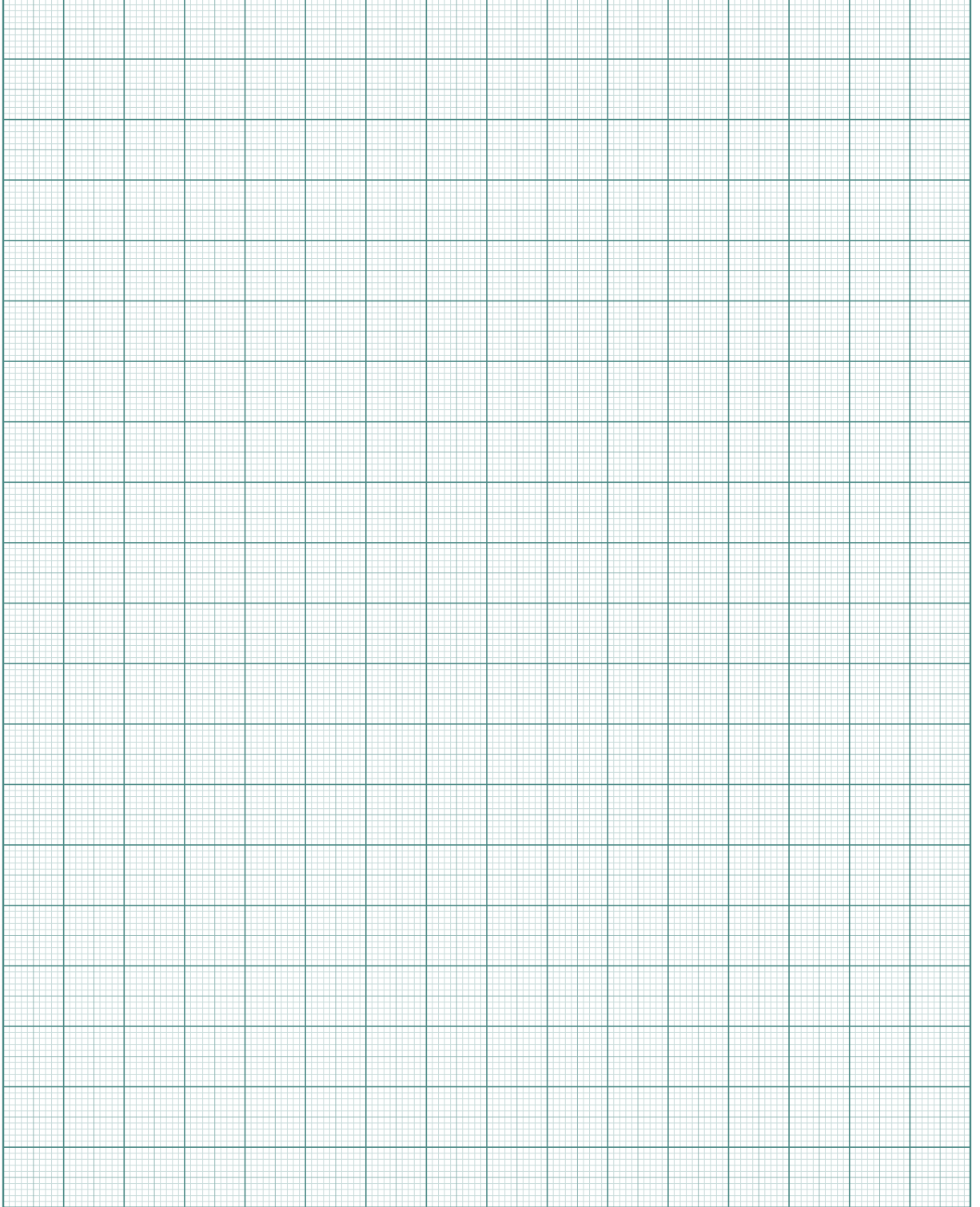
Tablo 6.2

V_d (V)	1,0	2,0	3,0	4,0	4,2	4,4	4,6
I_z							

Tablo 6.3

I_z (mA)	1	2	5	10	15
V_d (V)					

c) V_z (5 mA'de) = _____ r_z = _____**2) Zenerli Gerilim Düzenleyici: transformatör (etiket değeri): _____**b) V_o = _____ V_m = _____ $2V_r$ = _____ V_z = _____d) V_{DC} = _____ I_{DC} = _____ $I_{\max}$ = _____ $I_{\min}$ = _____e) I_L = _____ $I_{z,ort}$ = _____ $I_{z,\min}$ = _____ $I_{z,\max}$ = _____

Grafik 6.1 · Zener diyot belirtkin eğrisi (ileri ve ters yön)*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

DENEY 7

Diyot Uygulamaları

Sanal deney

Deneyin amacı; diyodun kırpıcı, kenetleyici, gerilim katlayıcı ve genlik modülasyonlu (AM) işaretlerin zarf dedektörü olarak kullanıldığı devreleri kurmak ve giriş ile çıkış dalga biçimlerini osiloskopa incelemektir.

Kuram**Diyodun Anahtar Modeli**

Deney 5'te bir silisyum diyodun ileri yönde yaklaşık 0.6–0.7 V'tan sonra ilettime geçtiğini, ters yönde ise pratik olarak akım geçirmediğini gördünüz. Bu deneydeki devreleri çözümlemek için diyodu basit bir anahtar gibi düşünmek yeterlidir: anot–katot gerilimi $V_D \approx 0.6$ V'a ulaştığında anahtar kapanır ve diyodun üzerindeki gerilim bu değerde kalır; daha küçük gerilimlerde anahtar açıktır. Bu değer, Deney 5'te belirtkin eğriden bulduğunuz eşik gerilimi V_e 'ye yakındır. Aşağıdaki devrelerin hepsinde bu kural, kondansatörlerin yük biriktirmesiyle birleşerek farklı bir işlev ortaya çıkarır.

Kırpıcılar

Kırpıcı, giriş işaretinin belirli bir düzeyin üstünde (ya da altında) kalan kısmını keser. Şekil 7.1(a)'daki paralel kırpıcıda çıkış gerilimi V_D 'yi aşmaya çalıştığında diyot ilettime geçer ve fazla gerilim R direnci üzerine düşer; çıkış yaklaşık $+V_D$ 'de kalır. Negatif yarı periyotta diyot kesimdedir ve çıkış girişi izler. Diyoda seri bir V_B kaynağı eklenirse (Şekil 7.1(b)) kırpma düzeyi kaydırılır:

$$v_c \leq V_B + V_D. \quad (7.1)$$

Ters yönlü bağlanmış iki diyot (Şekil 7.1(c)) işareti her iki yönde de $\pm V_D$ düzeyinde sınırlar. Bu devre, hassas girişleri aşırı gerilimden korumak için sık kullanılır.

Kenetleyici

Kenetleyici, işaretin biçimini değiştirmeden ona bir DC düzey ekler. Şekil 7.3'teki devrede girişin ilk negatif tepesinde diyot ilettime geçer ve kondansatör, çıkış $-V_D$ 'de kalacak biçimde yaklaşık $V_0 - V_D$ gerilimine dolar (V_0 : üretcin tepe değeri; Zener deneyindeki gibi kaynağın tepe değeri V_0 ile gösterilmiştir). Diyot bundan sonra kesimde kalır ve kondansatör bir pil gibi davranır:

$$v_c(t) \approx v_g(t) + (V_0 - V_D), \quad -V_D \leq v_c \leq 2V_0 - V_D. \quad (7.2)$$

Bunun için kondansatörün bir periyot boyunca R üzerinden belirgin biçimde boşalmaması gerekir: $RC \gg T$. RC , periyotla karşılaştırılabilir olursa çıkışın üst kısmı eğilir ve dalga biçimi bozulur.

Gerilim Katlayıcı

Şekil 7.4'teki devre, bir kenetleyicinin (C_1 , D_1) ardına bir tepe dedektörü (D_2 , C_2) eklenerek elde edilir. Kenetleyicinin çıkışı $-V_D$ ile $2V_0 - V_D$ arasında salındığından, D_2 üzerinden dolan C_2 bu tepe değerinden bir diyot gerilimi daha düşük bir DC gerilim verir:

$$V_c \approx 2V_0 - 2V_D. \quad (7.3)$$

Çıkışa bir R_L yükü bağlandığında C_2 her periyotta yükün çektiği akım kadar boşalır. Dalganın tepeden tepeye değeri $2V_r$ için bir üst sınır tahmini $2V_r \approx I_L/(f C_2)$ 'dir ($I_L \approx V_c/R_L$, f : giriş frekansı).

Genlik Modülasyonu ve Zarf Dedektörü

Radyo yayınlarında ses gibi düşük frekanslı bir işaret, yüksek frekanslı bir taşıyıcının genliğine yüklenerek iletilir. Genlik modülasyonlu (AM) işaret

$$v(t) = A [1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (7.4)$$

biçimindedir. Burada f_c taşıyıcı frekansı, f_m modüle eden işaretin frekansı ve m modülasyon derinliğidir. Osiloskopta taşıyıcı dolu bir bant gibi görünür; bantın sınırları zarftır. Zarfın en büyük ve en küçük tepe değerlerinden

$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} \quad (7.5)$$

bulunur. Zarf dedektörü (Şekil 7.6), bir tepe dedektöründen başka bir şey değildir: diyot taşıyıcının her pozitif tepesinde C 'yi doldurur, C de iki tepe arasında R üzerinden biraz boşalır. Çıkışın taşıyıcıyı değil zarfı izlemesi için zaman sabiti iki koşulu birlikte sağlamalıdır:

$$\frac{1}{f_c} \ll RC \leq \frac{\sqrt{1 - m^2}}{2\pi f_m m}. \quad (7.6)$$

Sol koşul taşıyıcı dalgalanmasını küçük tutar. Sağ koşul ise kondansatörün zarfın inen kısmını izleyebilecek kadar hızlı boşalmasını sağlar. Bu koşul sağlanmazsa çıkış, inen zarfın üstünde kalıp eğik doğrular çizer; bu bozulmaya *köşegen kırpmaya* denir.

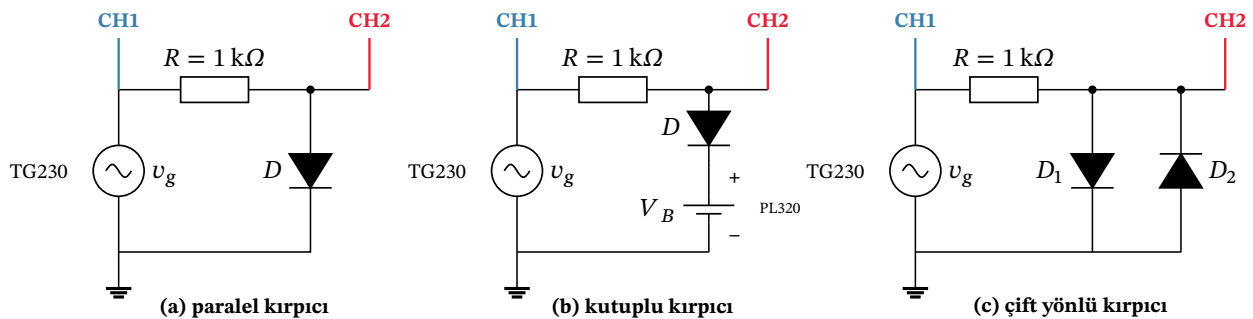
Deneyin Yapılışı

Kullanılan Araç ve Gereçler

İşlev üretici (TG230), iki kanallı osiloskop (OS-9040D), ayarlı DC güç kaynağı (PL320), multimetre (Thurlby 1503), 1N4007 diyot (2 adet), 1 k Ω , 10 k Ω ve 100 k Ω dirençler, 1 μ F (2 adet), 47 nF ve 470 nF kondansatörler, bağlantı kabloları.

1 μ F'lık kondansatörler elektrolitik ise kutuplarına dikkat ediniz: kenetleyicide ve katlayıcıdaki C_1 'de + ucu diyot tarafına, katlayıcıdaki C_2 'de + ucu çıkışa bağlanmalıdır. Bütün ölçümlerde osiloskobun iki kanalının toprak uçları devrenin ortak toprağına bağlanmalıdır.

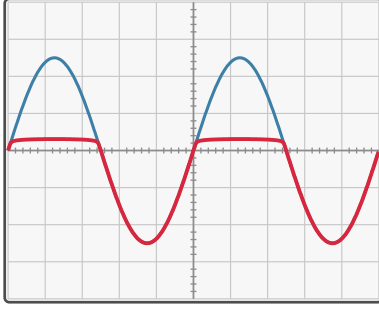
1) Kırpıcılar



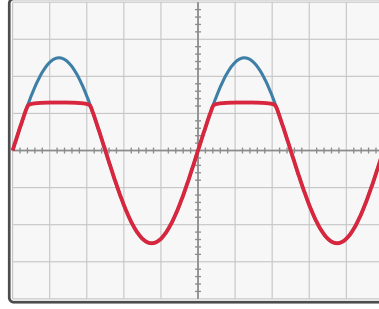
Şekil 7.1. Kırpıcı devreleri: (a) paralel, (b) kutuplu ($V_B = \text{PL320}$), (c) çift yönlü.

- a) TG230'u 1 kHz sinüs, 10 V tepeden tepeye (DC ofset sıfır) olarak ayarlayınız. Osiloskobu iki kanallı (DUAL) kipe, her iki kanalı DC bağlaşıma, 2 V/div ve 0.2 ms/div'e getiriniz. Kanalların sıfır çizgisini GND konumunda ekranın ortasına ayarlayınız.

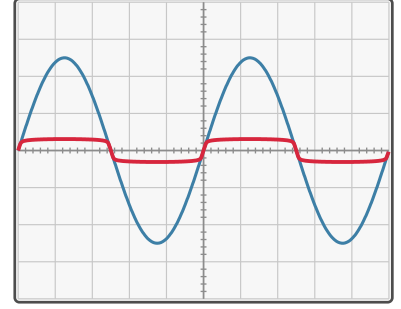
- b)** Şekil 7.1(a)'daki devreyi kurunuz. CH1'de girişi, CH2'de çıkışı gözleyiniz. Kırpma düzeyini ekrandan okuyup protokole yazınız ve dalga biçimini çizim sayfasına çizin.
- c)** Devreyi Şekil 7.1(b)'deki gibi değiştiriniz. PL320'yi $V_B = 2\text{ V}$ 'a ayarlayıp + ucunu diyodun katoduna bağlayınız. Kırpma düzeyini ölçünüz; V_B 'yi 1 V ve 3 V yaparak düzeyin nasıl kaydığını gözleyiniz.
- d)** Şekil 7.1(c)'deki çift yönlü kırpicıyı kurarak üst ve alt kırpma düzeylerini ölçünüz.



(a) paralel kırpicı
2 V/div, 0.2 ms/div



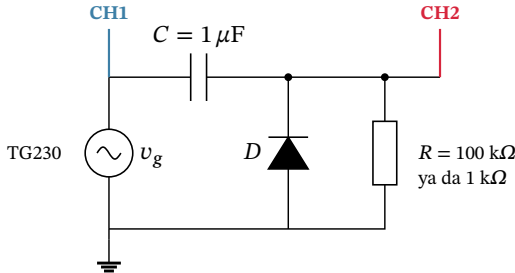
(b) kutuplu, $V_B = 2\text{ V}$
2 V/div, 0.2 ms/div



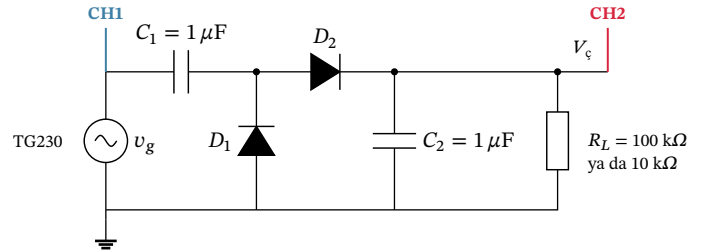
(c) çift yönlü
2 V/div, 0.2 ms/div

Şekil 7.2. Kırpicılarda osiloskopta görülmesi beklenen ekranlar (mavi: giriş, kırmızı: çıkış). Kırpma düzeyleri yaklaşık +0.6 V, +2.6 V ve $\pm 0.6\text{ V}$ 'tur.

2) Kenetleyici ve Gerilim Katlayıcı



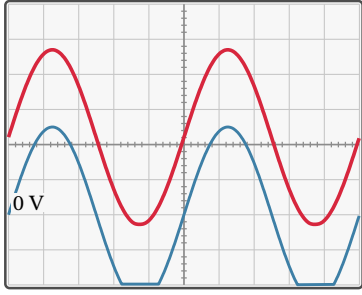
Şekil 7.3. Pozitif kenetleyici.



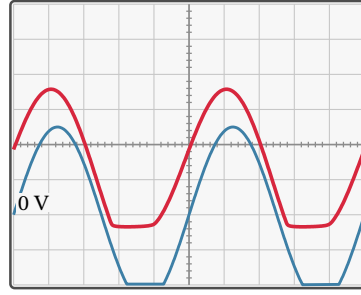
Şekil 7.4. Yarım dalga gerilim katlayıcı.

- a)** Şekil 7.3'teki kenetleyiciyi $R = 100\text{ k}\Omega$ ile kurunuz. Giriş yine 1 kHz, 10 V tepeden tepeye sinüs olsun. Her iki kanalı GND konumuna alıp sıfır çizgilerini ekranın ortasından iki bölme aşağıya getiriniz, sonra yeniden DC bağlaşıma geçiniz. Giriş bu ortak sıfır çizgisinin çevresinde salınırken çıkışın büyük ölçüde onun üstünde kaldığını göreceksiniz (Şekil 7.5(a)). Çıkışın en büyük ve en küçük değerlerini okuyunuz. Multimetreyle DC gerilim kademesinde çıkışa bağlayarak çıkışın ortalama (DC) değerini ölçünüz.
- b)** CH2'yi AC bağlaşıma alınız ve dalga biçiminin nasıl değiştiğini gözleyiniz. AC bağlaşımın neden kenetleyicinin etkisini gizlediğini protokole açıklayınız.
- c)** R 'yi $1\text{ k}\Omega$ yapınız ($RC = 1\text{ ms} = T$) ve çıkıştaki bozulmayı gözleyip en büyük ve en küçük değerleri yazınız.
- d)** Şekil 7.4'teki katlayıcıyı $R_L = 100\text{ k}\Omega$ ile kurunuz. Çıkış gerilimini multimetreyle ölçünüz. CH2'yi AC bağlaşıma ve uygun bir duyarlığa (ör. 50 mV/div) alarak dalgalanmanın tepeden tepeye değerini ölçünüz.

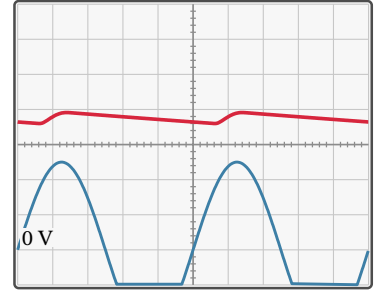
e) R_L 'yi $10\text{ k}\Omega$ yaparak aynı ölçümleri tekrarlayınız.



(a) kenetleyici, $R = 100\text{ k}\Omega$



(b) kenetleyici, $R = 1\text{ k}\Omega$

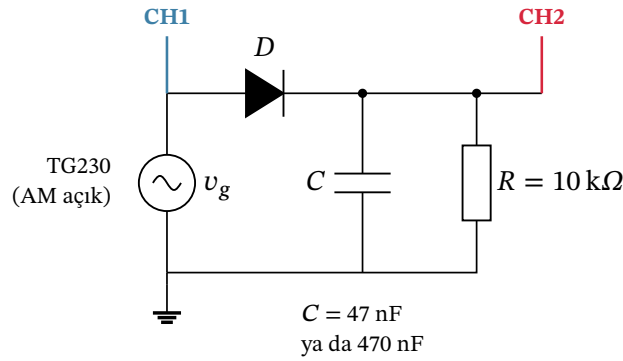


(c) katlayıcı, $R_L = 10\text{ k}\Omega$

DC bağlaşım, 2 V/div, 0.2 ms/div DC bağlaşım, 2 V/div, 0.2 ms/div DC bağlaşım, 2 V/div, 0.2 ms/div

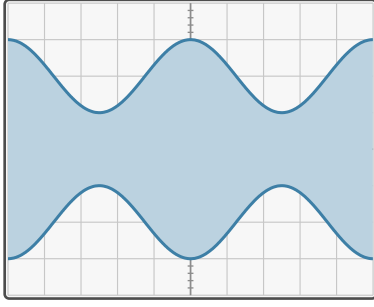
Şekil 7.5. Kenetleyici ve katlayıcıda beklenen ekranlar (DC bağlaşım, sıfır çizgileri işaretli). (a) Çıkış yaklaşık -0.55 V ile $+9.4\text{ V}$ arasında salınır. (b) $RC \approx T$ iken dalga biçimi bozulur. (c) $R_L = 10\text{ k}\Omega$ 'da çıkış yaklaşık 7.5 V 'tur ve 0.6 V kadar dalgalanır.

3) AM Zarf Dedektörü

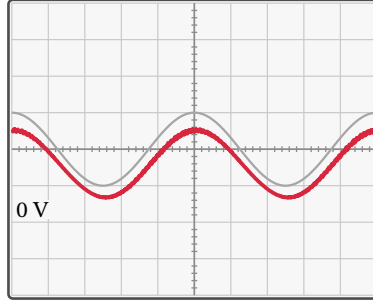


Şekil 7.6. Zarf dedektörü ($R = 10\text{ k}\Omega$; $C = 47\text{ nF}$ ya da 470 nF).

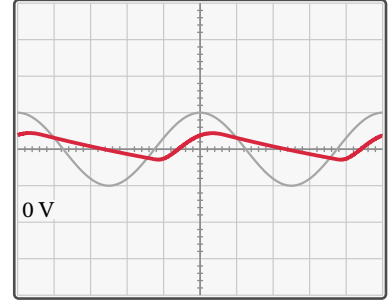
- TG230'u 50 kHz sinüse ayarlayınız. AMPLITUDE MODULATION bölümünde INT ve ON düğmelerine basarak iç modülasyonu açınız. Modülasyon derinliği düğmesini, zarfın en küçük değeri en büyüğünün yaklaşık üçte biri olacak biçimde ayarlayınız ($m \approx 0.5$). Zarfın en büyük tepe değeri yaklaşık 6 V olsun. 1N4007 yavaş bir doğrultucu diyodu olduğundan taşıyıcı frekansını 50 kHz 'in üstüne çıkarmayınız.
- CH1'de AM işaretini 2 V/div ve 0.5 ms/div 'de gözleyiniz. Taşıyıcı dolu bir bant gibi görünecektir. Zarfın V_{max} ve V_{min} değerlerini ve zarfın periyodundan f_m 'yi ölçünüz; (7.5) bağıntısıyla m 'yi hesaplayınız. Taşıyıcı frekansını görmek için zaman tabanını $10\text{ }\mu\text{s/div}$ 'e alınız.
- Ölçtüğünüz f_c , f_m ve m ile (7.6) koşulundaki sınırları hesaplayınız ve $C = 47\text{ nF}$ 'in ($RC = 0.47\text{ ms}$) bu aralığa düşüp düşmediğini denetleyiniz.
- Şekil 7.6'daki devreyi $C = 47\text{ nF}$ ile kurunuz. CH2'de (DC bağlaşım, 2 V/div) çıkışı gözleyiniz. Çıkışın tepeden tepeye değişimini ölçüp zarfınkiyle karşılaştırınız.
- C 'yi 470 nF yaparak çıkışın zarfı izleyemediğini (köşegen kırpma) gözleyiniz.



(a) CH1: AM işareti
2 V/div, 0.5 ms/div



(b) $C = 47 \text{ nF}$
CH2: çıkış, 2 V/div, 0.5 ms/div



(c) $C = 470 \text{ nF}$
CH2: çıkış, 2 V/div, 0.5 ms/div

Şekil 7.7. AM dedektöründe beklenen ekranlar ($f_c = 50 \text{ kHz}$, $f_m = 400 \text{ Hz}$, $m = 0.5$ ile hesaplanmıştır; gri: zarf). (b) Çıkış zarfı yaklaşık 0.8 V aşağıdan izler; tepeden tepeye değişimi 3.8 V'tur (zarfın 4.0 V). (c) Çıkış inen zarfın üstünde kalır.

TG230'un iç modülasyon frekansı cihazın kendi değeridir ve yukarıdaki şekillerde varsayılan 400 Hz'den farklı olabilir. Ölçtüğünüz f_m çok daha büyükse, (7.6) koşulunun sağ tarafı küçülür ve daha küçük bir C seçmeniz gerekebilir.

Sorular

1. Paralel kırpıcıda kırpma düzeyi neden tam 0 V değildir? Ölçtüğünüz değeri Deney 5'te bulduğunuz diyot eşik gerilimiyle karşılaştırınız.
2. Kenetleyicide $R = 1 \text{ k}\Omega$ iken dalga biçimi neden bozuldu? RC ile T 'yi karşılaştırarak açıklayınız.
3. Katlayıcıda yük direnci küçüldükçe çıkış gerilimi ve dalgalanma nasıl değişti? Ölçtüğünüz dalgalanmayı $2V_r \approx I_L / (f C_2)$ tahminiyle karşılaştırınız; tahmin neden ölçümden büyük çıkar?
4. AM dedektörünün çıkışı neden zarftan yaklaşık bir diyot gerilimi kadar aşağıdadır?
5. Bir radyo alıcısında taşıyıcı frekansı 1 MHz, ses frekansı en çok 5 kHz ve $m = 0.5$ ise, $R = 10 \text{ k}\Omega$ için C hangi aralıkta seçilmelidir? (Sol koşulu $RC \geq 10/f_c$ alınız.)

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 7: DİYOT UYGULAMALARI**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**1) Kırpıcılar**

Devre	Üst kırpma düzeyi (V)	Alt kırpma düzeyi (V)	Beklenen (V)
(a) Paralel			
(b) Kutuplu, $V_B =$ ____ V			
(c) Çift yönlü			

2) KenetleyiciÜretcin tepe değeri $V_o =$ ____ V

	$v_{\zeta, \max}$ (V)	$v_{\zeta, \min}$ (V)	DC ortalama (V)	Beklenen aralık (V)
$R = 100 \text{ k}\Omega$				
$R = 1 \text{ k}\Omega$				

AC bağlaşımda ne gördünüz? _____

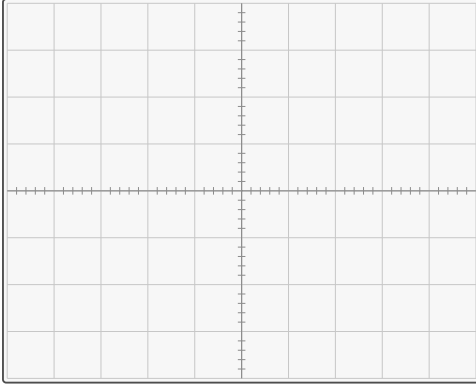
3) Gerilim katlayıcı

	V_{ζ} (DC, V)	Dalgalanma $2V_r$ (V)	$2V_o - 2V_D$ (V)	$I_L/(f C_2)$ (V)
$R_L = 100 \text{ k}\Omega$				
$R_L = 10 \text{ k}\Omega$				

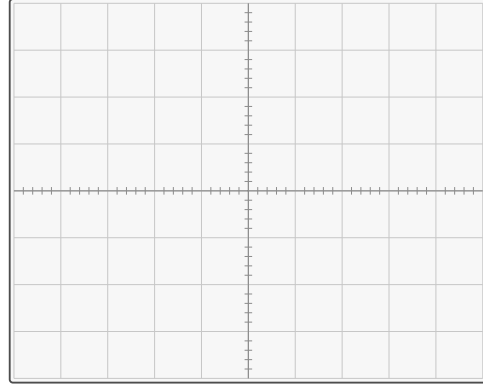
4) AM zarf dedektörü $f_c =$ ____ kHz $f_m =$ ____ Hz $V_{\max} =$ ____ V $V_{\min} =$ ____ V $m =$ ____ $10/f_c =$ ____ ms $\frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi f_m m} =$ ____ ms 47 nF uygun mu? ____ $(v_{\zeta})_{tt} (C = 47 \text{ nF}) =$ ____ V $V_{\max} - V_{\min} =$ ____ V $C = 470 \text{ nF}$ 'ta gözlem: _____

Dalga biçimi çizimleri

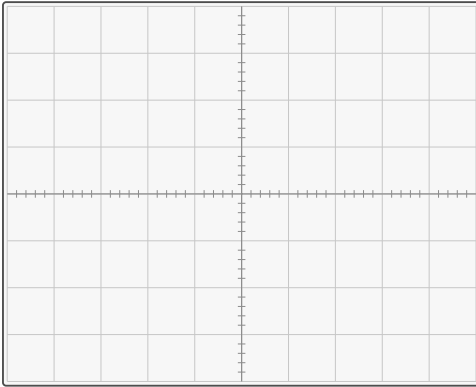
Her ekranın altına kullandığınız ayarları yazınız.

**(a) Paralel kırpıcı**

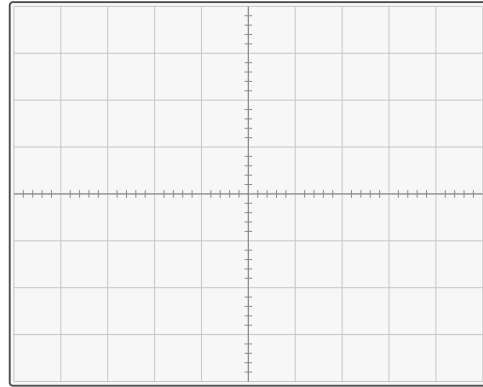
CH1: _____ V/div CH2: _____ V/div
 _____ ms/div

**(b) Kutuplu kırpıcı**

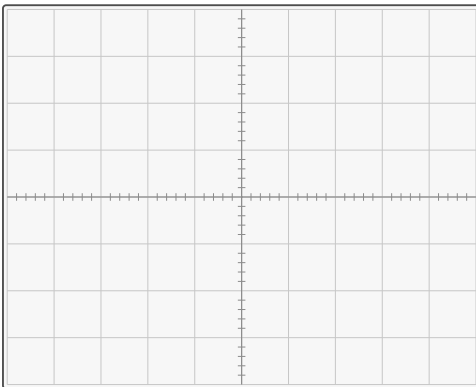
CH1: _____ V/div CH2: _____ V/div
 _____ ms/div

**(c) Çift yönlü kırpıcı**

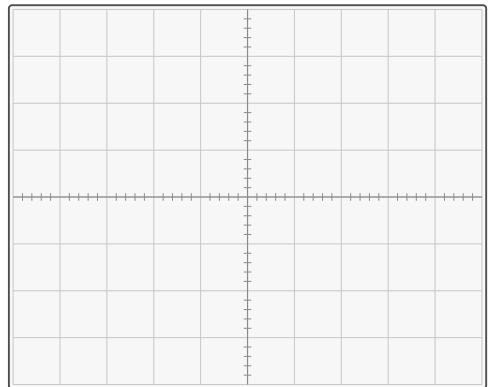
CH1: _____ V/div CH2: _____ V/div
 _____ ms/div

**(d) Kenetleyici, $R = 100 \text{ k}\Omega$**

CH1: _____ V/div CH2: _____ V/div
 _____ ms/div

**(e) Katlayıcı, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$**

CH1: _____ V/div CH2: _____ V/div
 _____ ms/div

**(f) AM dedektörü, $C = 47 \text{ nF}$**

CH1: _____ V/div CH2: _____ V/div
 _____ ms/div

DENEY 8

Transistör Belirtilkin Eğrileri



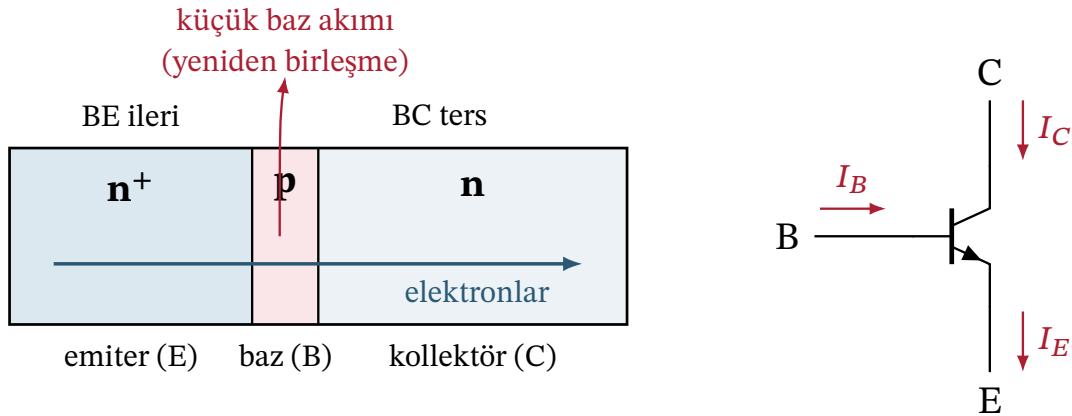
Sanal deney

Kuram

Transistörlerin çalışması için belli bir doğru akımın baz-emiter ve buna bağılı olarak kollektör-emiter arasından akması ve baz-emiter ve kollektör-emiter arasında belirli gerilimler oluşması gerekir. Bu büyüklüklerden sadece ikisi bağımsızdır. Bu noktaya “doğru gerilim çalışma noktası” denir ve bu değerler V_{BE}^Q , I_B^Q , V_{CE}^Q ve I_C^Q ile gösterilir. Bu nokta civarında küçük genlikli alternatif işaretler için ayrıca v_{be} , i_b , v_{ce} ve i_c sembolleri kullanılır.

“h” parametreleri gösteriminde, alternatif gerilim parametreleri h_{ie} , h_{oe} , h_{re} ve h_{fe} ile gösterilir. Doğru akım kazancı $h_{FE} = I_C/I_B = \beta$ ile gösterilir ve h_{fe} ’den biraz farklıdır.

Bipolar Eklem Transistörün Yapısı



Şekil 8.1. npn transistörün yapısı, aktif bölgede taşıyıcı akışı ve sembolü

nnp transistör, yoğun katkılanmış bir emiter (n^+), ince ve az katkılanmış bir baz (p) ve daha geniş bir kollektör (n) bölgesinden oluşur (Şekil 8.1). Aktif bölgede baz–emiter eklemi ileri, baz–kollektör eklemi ters kutuplanır. Emiterden baza enjekte edilen elektronların çok küçük bir bölümü bazda deliklerle birleşir ve baz akımını oluşturur; büyük bölümü ise ince bazı geçerek ters kutuplanmış baz–kollektör eklemine alanıyla kollektöre sürüklenir. Akımlar arasında

$$I_E = I_B + I_C, \quad I_C = \alpha I_E = \beta I_B, \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (8.1)$$

bağıntıları vardır. α birden biraz küçüktür; örneğin $\alpha = 0,995$ için $\beta \approx 199$ ’dur. Küçük bir baz akımı, ondan β kat büyük bir kollektör akımını denetler.

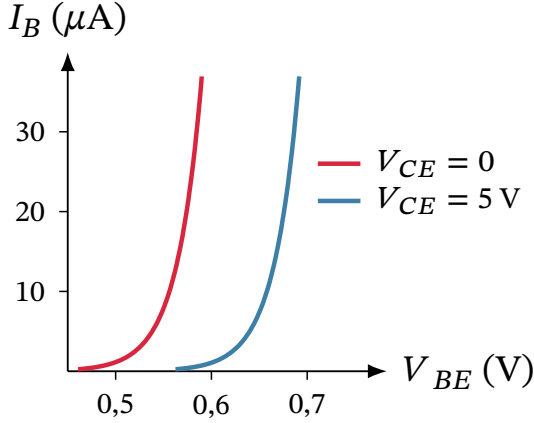
Ortak Emiter Bağlantısında Belirtilkin Eğriler

Bu deneyde emiter, giriş ve çıkış için ortaktır: giriş büyüklükleri I_B ve V_{BE} , çıkış büyüklükleri I_C ve V_{CE} ’dir.

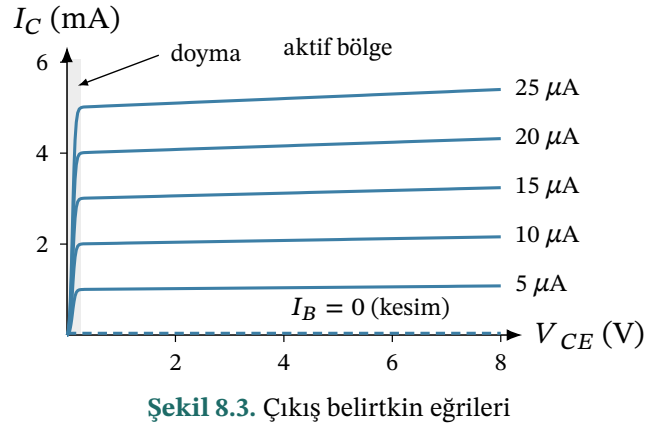
Giriş belirtkin eğrisi. Aktif bölgede baz-emiter eklemi bir diyot gibi davranır:

$$I_B \approx \frac{I_S}{\beta} e^{V_{BE}/V_T} \quad (8.2)$$

$V_{CE} = 0$ olduğunda baz-kollektör eklemi de ileri kutuplanır (doyma); baz akımına bu eklemde gelen bir bileşen eklenir ve eğri, aynı I_B için daha küçük V_{BE} değerlerine kayar. V_{CE} birkaç yüz mV'u aştıktan sonra eğriler neredeyse üst üste düşer (Şekil 8.2). Sanal laboratuvarındaki transistör modelinde bu kayma yaklaşık 100 mV'tur; eğrilerin eğimi ise aynı I_B 'de değişmez.



Şekil 8.2. Giriş belirtkin eğrileri



Şekil 8.3. Çıkış belirtkin eğrileri

Çıkış belirtkin eğrileri. Her I_B değeri için I_C - V_{CE} eğrisi üç bölgeden oluşur (Şekil 8.3). V_{CE} 'nin yaklaşık 0,2 V'un altında kaldığı doyma bölgesinde iki eklem de ileri kutupludur ve $I_C < \beta I_B$ 'dir. Aktif bölgede $I_C \approx \beta I_B$ 'dir ve V_{CE} 'ye çok zayıf bağlıdır. $I_B = 0$ iken transistör kesimdedir ve $I_C \approx 0$ 'dır. Aktif bölgedeki hafif eğim Early etkisinden kaynaklanır: V_{CE} arttıkça baz-kollektör eklemine boşaltılmış bölgesi genişler, etkin baz kalınlığı azalır ve

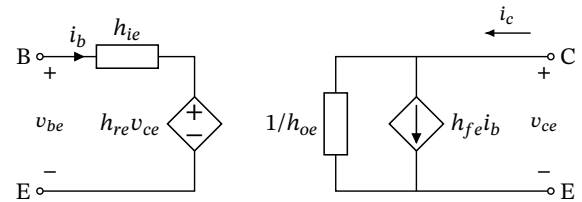
$$I_C \approx \beta I_B \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \quad (8.3)$$

olur; V_A Early gerilimidir (küçük işaret transistörlerinde tipik olarak onlarca ile yüz volt arası).

h-Parametreleri

Çalışma noktası civarındaki küçük işaretler için transistör, Şekil 8.4'teki eşdeğer devreyle temsil edilir:

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}, \quad i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce} \quad (8.4)$$



Şekil 8.4. Ortak emiter h-parametre eşdeğer devresi

Parametreler belirtkin eğrilerin eğimleridir:

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}}, \quad h_{re} = \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial V_{CE}} \right|_{I_B}, \quad h_{fe} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}}, \quad h_{oe} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right|_{I_B} \quad (8.5)$$

h_{ie} (giriş direnci) giriş eğrisinin eğiminin tersinden, h_{fe} (akım kazancı) çıkış eğrileri arasındaki düşey uzaklıktan, h_{oe} (çıkış iletkenliği) çıkış eğrisinin eğiminden bulunur. h_{re} için iki farklı V_{CE} değerinde, aktif bölgede ölçülmüş giriş eğrileri gerekir; bu deneyde ölçülmediğinden h_{re} bulunamaz. (8.2) ve (8.3) bağıntılarından

$$h_{ie} \approx \frac{V_T}{I_B} = \frac{h_{fe} V_T}{I_C}, \quad h_{oe} \approx \frac{I_C}{V_A + V_{CE}} \quad (8.6)$$

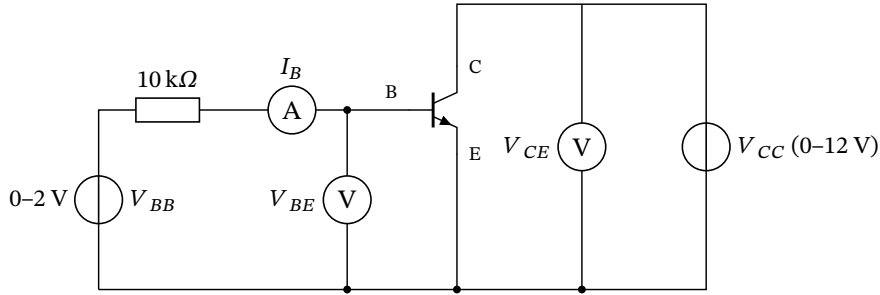
yaklaşımları elde edilir. Örneğin $\beta \approx 200$, $V_A = 100$ V olan bir transistörde $I_C = 6$ mA, $V_{CE} = 5$ V için $h_{ie} \approx 0,9$ k Ω , $h_{fe} \approx 210$ ve $h_{oe} \approx 57$ μ S'dir.

Deneyin Yapılışı

Kullanılan Araç ve Gereçler

İki ayarlı DC güç kaynağı (baz için 0–2 V, kollektör için 0–12 V), npn transistör ile 10 k Ω ve 1 k Ω dirençleri bulunan modül, akım ve gerilim ölçümleri için sayısal multimetreler (Thurlby 1503), bağlantı kabloları ve milimetrik kağıt. Akımlar ampermetrelerin DC işlevinde (I_B için 80 μ A, I_C için 8 mA ve 80 mA aralıkları), gerilimler voltmetrelerin DC işlevinde ölçülür.

1) Giriş Belirtn Eğrisi

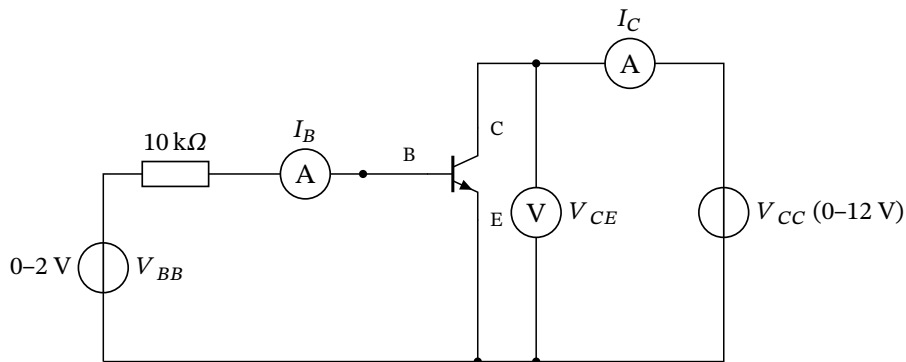


Şekil 8.5. Giriş belirtn eğrisi devresi

Şekil 8.5'teki devreyi iki kaynak da sıfırdan kurunuz. Kollektör kaynağını sıfırda tutarak $V_{CE} = 0$ V olduğunu voltmetreyle denetleyiniz. Baz kaynağının gerilimini yavaşça artırarak I_B 'yi protokoldeki Tablo 8.1'de verilen değerlere getiriniz ve her birinde V_{BE} 'yi okuyunuz.

Ardından baz kaynağını sıfıra indiriniz ve kollektör kaynağını $V_{CE} = 5$ V olacak biçimde ayarlayınız (bu devrede kollektör direnci olmadığından kaynak gerilimi doğrudan V_{CE} 'dir). Aynı I_B değerlerinde V_{BE} ölçümlerini yineleyiniz. Bu kez kollektörden βI_B kadar akım geçer; transistörün ısınmaması için ölçümleri gereksiz beklemeden yapınız. İki eğri arasındaki kaymayı Şekil 8.2 ile karşılaştırınız.

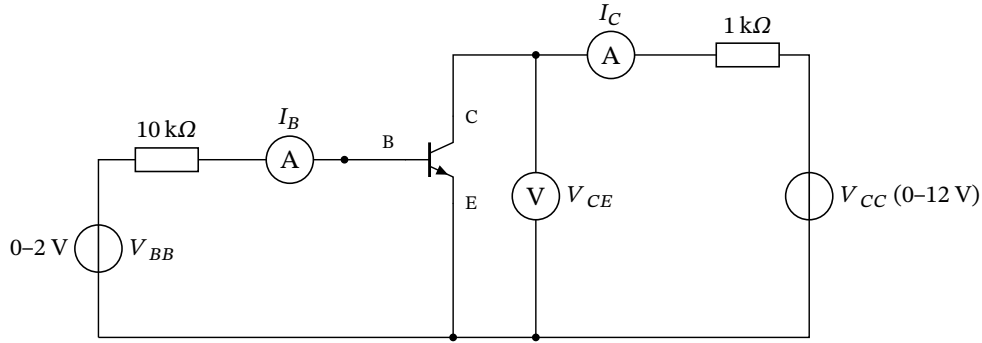
2) Çıkış Belirtn Eğrileri



Şekil 8.6. Çıkış belirtn eğrileri devresi

Şekil 8.6'daki devreyi kurunuz. Baz kaynağıyla $I_B = 10$ μ A'e ayarlayınız; kollektör kaynağını artırarak V_{CE} 'yi Tablo 8.2'deki değerlere getiriniz ve her birinde I_C 'yi okuyunuz. V_{CE} değiştikçe I_B 'yi denetleyiniz ve gerekirse baz kaynağıyla yeniden ayarlayınız. Ölçümleri $I_B = 15, 20$ ve 25 μ A için yineleyiniz. Transistör ısındıkça kollektör akımı artar; ölçümleri gereksiz beklemeden yapınız.

3) β Ölçümü

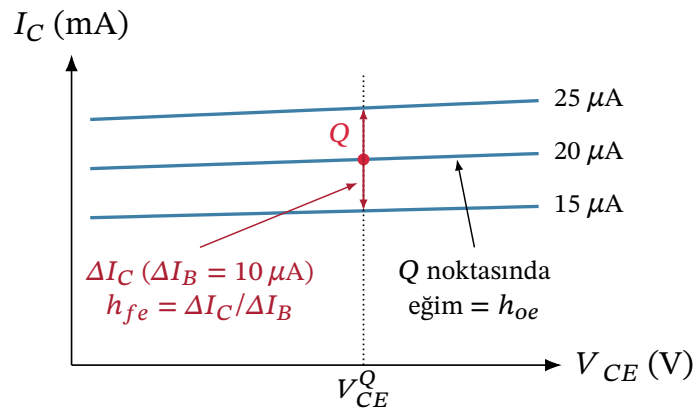


Şekil 8.7. β ölçüm devresi ($V_{CE} = 4$ V)

$V_{CE} = 4$ V iken Şekil 8.7'deki devre üzerinde Tablo 8.3'te verilen I_B değerlerinde I_C 'yi ölçünüz. (1 k Ω 'luk dirençle en büyük I_B 'de bile kollektör kaynağının 12 V sınırını aşmamak için $V_{CE} = 4$ V seçilmiştir.) Kollektör akımı arttıkça 1 k Ω üzerindeki gerilim büyür; her ölçümde kollektör kaynağını ayarlayarak V_{CE} 'yi sabit tutunuz. Her nokta için $\beta = I_C/I_B$ 'yi hesaplayınız.

Verilerin Değerlendirilmesi

- 4) Yukarıda elde ettiğiniz değerlerle milimetrik kağıda giriş (I_B - V_{BE} , iki eğri), çıkış (I_C - V_{CE} , dört eğri) ve I_C - I_B grafiklerini çizin.
- 5) $I_C^Q = 6$ mA, $V_{CE}^Q = 5$ V değerleri için I_B^Q ve V_{BE}^Q değerlerini grafikten bulunuz: I_B^Q 'yu çıkış eğri-leri arasında $V_{CE} = 5$ V doğrusu üzerinde ara değer olarak, V_{BE}^Q 'yu $V_{CE} = 5$ V'ta ölçülen giriş eğrisinden okuyunuz.
- 6) Bu nokta civarında h_{ie} , h_{fe} , h_{oe} parametrelerini grafiklerden hesaplayınız (Şekil 8.8): h_{ie} 'yi giriş eğrisinde I_B^Q çevresindeki $\Delta V_{BE}/\Delta I_B$ 'den, h_{fe} 'yi $V_{CE} = 5$ V'ta komşu iki eğri arasındaki $\Delta I_C/\Delta I_B$ 'den, h_{oe} 'yi çalışma noktasından geçen çıkış eğrisinin eğiminden bulunuz. Sonuçları (8.6) yaklaşımlarıyla, $h_{FE} = I_C^Q/I_B^Q$ ile ve 3. adımda bulduğunuz β ile karşılaştırınız (β 4 V'ta, h_{FE} 5 V'ta bulunduğu-ndan Early etkisiyle aralarında yaklaşık %1 fark beklenir). (Not: Bu yöntemle h_{re} bulunamaz.)



Şekil 8.8. h_{fe} ve h_{oe} 'nin çıkış eğrilerinden bulunması (örnek çalışma noktası)

Sorular

1. Ölçtüğünüz β değerleri I_B ile değişiyor mu? h_{FE} ile h_{fe} neden biraz farklıdır?

2. $V_{CE} = 0$ 'da ölçülen giriş eğrisi ile aktif bölgedeki giriş eğrisi neden farklıdır? Bu fark V_{BE}^Q okumasını nasıl etkiler?
3. Çıkış eğrilerinin aktif bölgedeki eğiminden Early gerilimini (V_A) kestiriniz.
4. Doyma bölgesinde I_C neden βI_B 'den küçüktür?
5. Transistör ısındığında aynı I_B için I_C neden artar?

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 8: TRANSİSTÖR BELİRTKİN EĞRİLERİ**

Tarih: ____ / ____ / 20____

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**1) Giriş Belirtkin Eğrisi: V_{BE} (mV)****Tablo 8.1**

I_B (μ A)	2	10	15	20	25
$V_{CE} = 0$ V					
$V_{CE} = 5$ V					

2) Çıkış Belirtkin Eğrileri: I_C (mA)**Tablo 8.2**

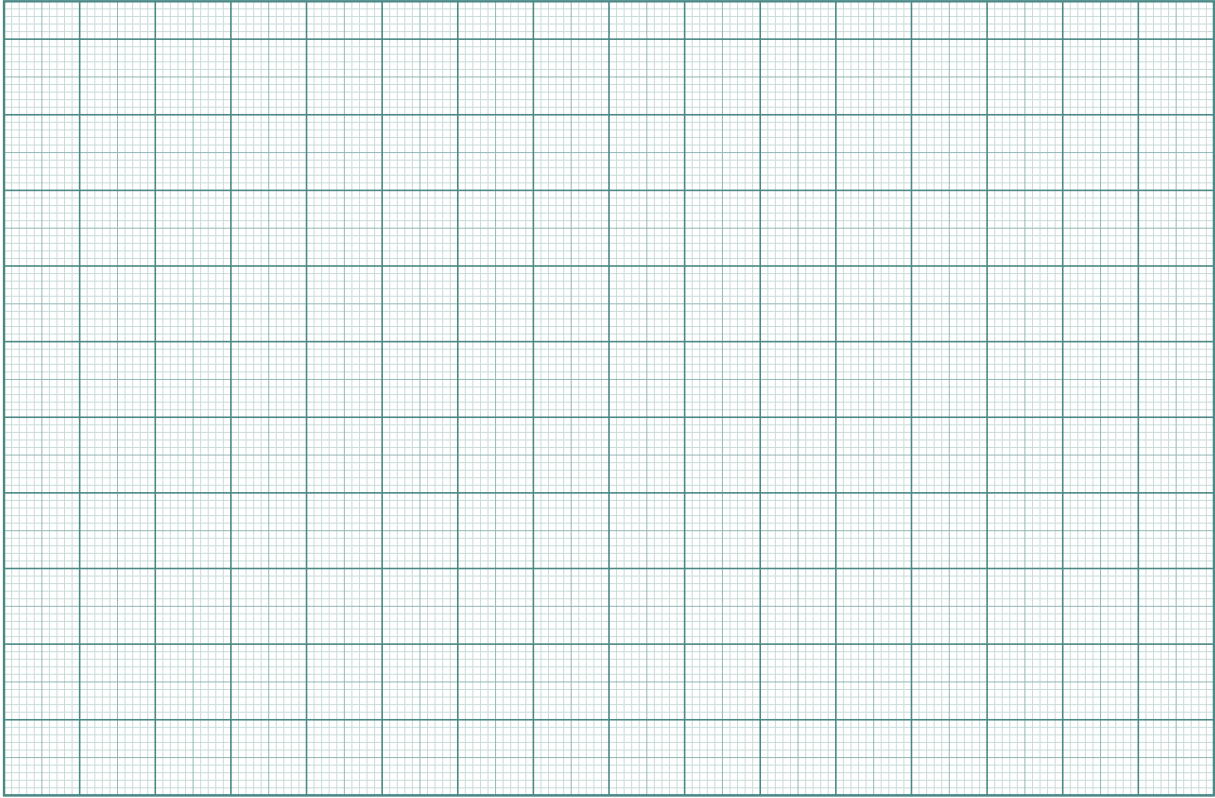
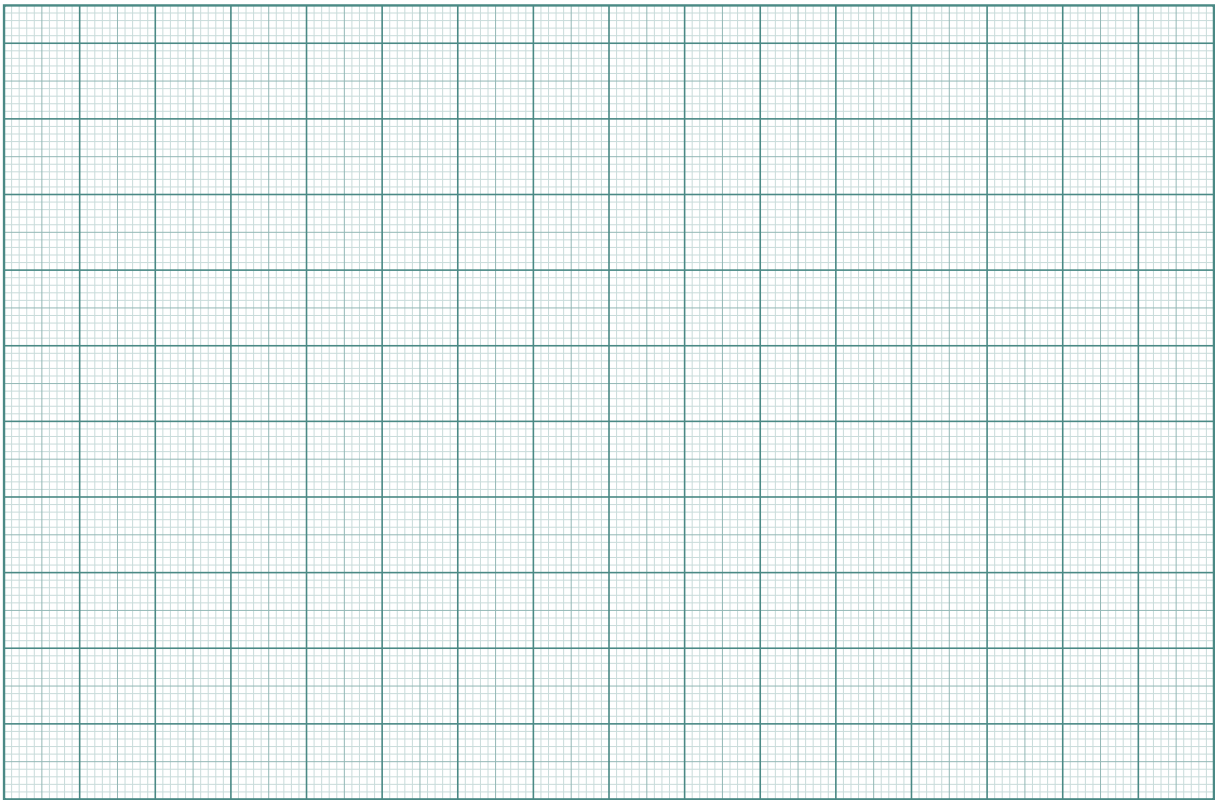
V_{CE} (V)	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0
$I_B = 10$ μ A							
$I_B = 15$ μ A							
$I_B = 20$ μ A							
$I_B = 25$ μ A							

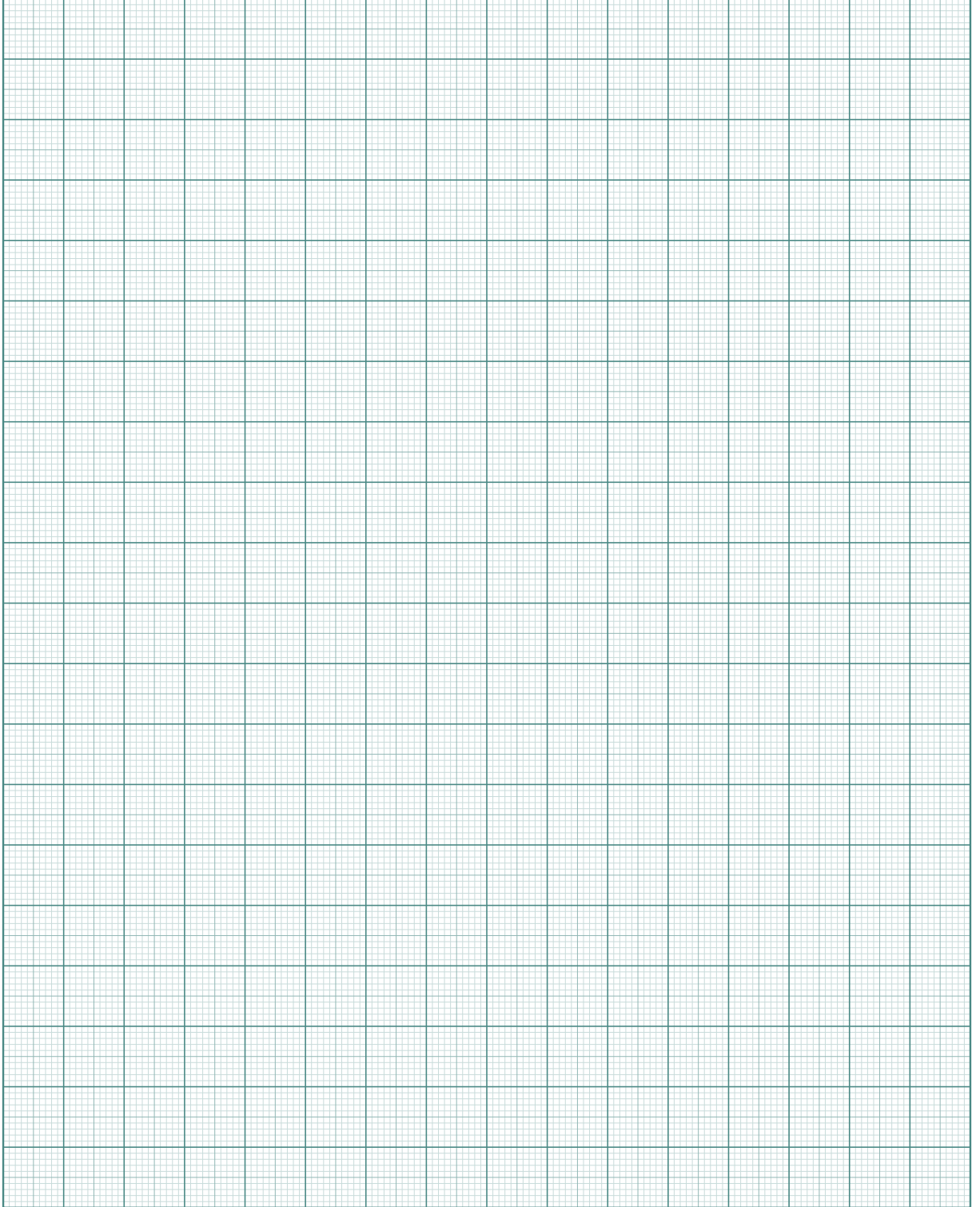
3) β Ölçümü ($V_{CE} = 4$ V):**Tablo 8.3**

I_B (μ A)	2	5	10	15	20	25
I_C (mA)						
$\beta = I_C/I_B$						

5) $I_B^Q =$ _____ $V_{BE}^Q =$ _____

6) $h_{ie} =$ _____ $h_{fe} =$ _____ $h_{oe} =$ _____ $h_{FE} =$ _____

Grafik 8.1 · Giriş belirtkin eğrileri (I_B-V_{BE} ; $V_{CE} = 0$ ve 5 V)*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız***Grafik 8.2 · I_C-I_B grafiği (β)***milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

Grafik 8.3 · Çıkış belirtkin eğrileri (I_C-V_{CE})*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

DENEY 9

Transistör Anahtar ve Astable Multivibratör



Sanal deney

Deneyin amacı; bir transistörün kesim ve doyum bölgeleri arasında anahtar olarak çalışmasını incelemek, doyum koşulunu ölçerek sınamak ve iki transistörlü astable multivibratörün çalışmasını gözlemek, salınım periyodunu ölçmektir.

Kuram

Transistörün Anahtar Olarak Kullanılması

Deney 8’de ortak emiterli bir transistörün belirgin eğrilerinde üç bölge gördünüz. *Kesim* bölgesinde taban–emiter jonksiyonu iletimde değildir ve kolektör akımı yok denecek kadar küçüktür. *Etkin* bölgede $I_C = \beta I_B$ ’dir. *Doyum* bölgesinde ise iki jonksiyon da ileri kutuplanmıştır; kolektör–emiter gerilimi $V_{CE,doy} \approx 0.05\text{--}0.2\text{ V}$ gibi küçük bir değere iner ve kolektör akımını artık taban akımı değil, dış devre belirler. Anahtar uygulamalarında transistör yalnız kesim (anahtar açık) ve doyum (anahtar kapalı) arasında çalıştırılır.

Şekil 9.1’deki devrede giriş gerilimi V_g , taban–emiter eşik gerilimi $V_{BE} \approx 0.6\text{--}0.7\text{ V}$ ’un altında kaldıkça transistör kesimdedir ve $V_{CE} = V_{CC}$ olur. V_g bu değeri aştığında taban akımı

$$I_B = \frac{V_g - V_{BE}}{R_B} \quad (9.1)$$

olur ve transistör etkin bölgeye girer. Bu bölgede

$$V_{CE} = V_{CC} - \beta R_C \frac{V_g - V_{BE}}{R_B} \quad (9.2)$$

yazılır. V_{CE} , V_g ile doğrusal olarak ve $-\beta R_C/R_B$ eğimiyle azalır. Kolektör akımı, dış devrenin izin verdiği en büyük değere ulaştığında transistör doyuma girer:

$$I_{C,doy} = \frac{V_{CC} - V_{CE,doy}}{R_C}, \quad \text{doyum koşulu: } \beta I_B \geq I_{C,doy}. \quad (9.3)$$

(9.1) ve (9.3) bağıntıları birleştirilirse doyuma girişin gerçekleştiği giriş gerilimi

$$V_{g,doy} \approx V_{BE} + \frac{I_{C,doy} R_B}{\beta} \quad (9.4)$$

bulunur. Doyumdaki transistörde I_C/I_B oranına *zorlanmış* β denir ve bu oran β ’dan küçüktür. β aynı tip transistörler arasında bile çok değiştiğinden, anahtar tasarımında R_B genellikle zorlanmış β yaklaşık $\beta/10$ olacak biçimde seçilir. Böylece en düşük β ’lı transistör de güvenle doyuma girer.

Gerçek bir transistör, doyumdan kesime geçerken tabanında birikmiş yükü boşaltana kadar kısa bir süre iletimde kalır (depolama süresi). BC547 gibi küçük sinyal transistörlerinde bu süre mikrosaniyenin altındadır ve bu deneydeki frekanslarda dalga biçimini etkilemez.

Astable Multivibratör

Şekil 9.4’teki devre, birbirini kondansatörler üzerinden süren iki anahtardan oluşur. Q_1 iletime geçtiği anda kolektör gerilimi ΔV kadar düşer. Kondansatörün gerilimi ani olarak değişmeyeceğinden bu

düşüş C_1 üzerinden Q_2 'nin tabanına aynen aktarılır ve Q_2 'nin taban gerilimi

$$v_{B,min} \approx V_{BE} - \Delta V \quad (9.5)$$

gibi negatif bir değere iner. Q_2 kesime gider. Ardından Q_2 'nin tabanı R_B üzerinden V_{CC} 'ye doğru yüklenir. Eşik gerilimi $V_{BE,e} \approx 0.6$ V'a ulaştığında Q_2 ilettime geçer ve aynı olay bu kez Q_1 'in tabanında yaşanır. Bir yarım periyodun süresi, tabanın $v_{B,min}$ 'den $V_{BE,e}$ 'ye yüklenmesi için geçen süredir:

$$t \approx R_B C \ln \frac{V_{CC} - v_{B,min}}{V_{CC} - V_{BE,e}}. \quad (9.6)$$

Simetrik bir devrede periyot $T \approx 2t$ 'dir. Kolektör yükü yalnız bir direnç ise $\Delta V \approx V_{CC}$ olur ve $V_{CC} \gg V_{BE}$ için (9.6) bağıntısı $t \approx R_B C \ln 2$, yani

$$T \approx 2 \ln 2 R_B C \approx 1.386 R_B C \quad (9.7)$$

klasik sonucuna indirgenir. Bu deneyde kolektörlerde LED de bulunduğundan, kesimdeki transistörün kolektörü V_{CC} 'ye değil, LED'in iletim eşiği kadar aşağıya yükselebilir. ΔV küçülür ve periyot (9.7) bağıntısının verdiğinden belirgin biçimde kısa olur.

(9.5) bağıntısına göre taban, kolektör salınımı kadar negatife iner. BC547'nin taban-emiter jonksiyonu ters yönde yaklaşık 6 V'ta kırılır. Bu yüzden bu devrede V_{CC} 6 V'u geçmemelidir.

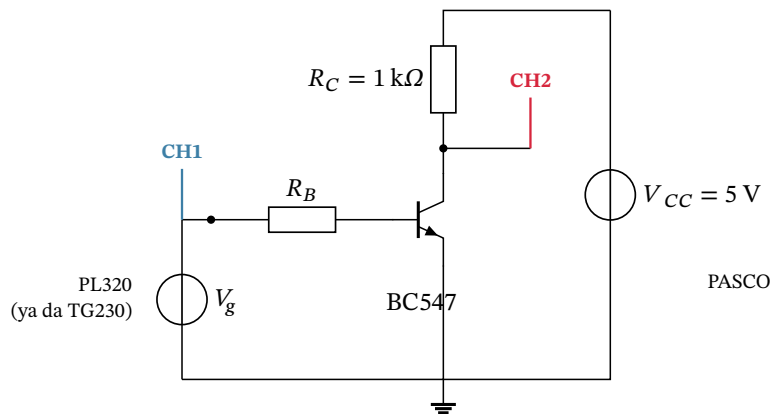
Deneyin Yapılışı

Kullanılan Araç ve Gereçler

Ayarlı DC güç kaynağı (PL320), ikinci DC güç kaynağı (PASCO SF-9584), işlev üretici (TG230), iki kanallı osiloskop (OS-9040D), multimetre (Thurlby 1503, 2 adet), BC547 transistör (2 adet), 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω ve 470 k Ω dirençler, 470 Ω ve 47 k Ω dirençler (ikişer adet), kırmızı LED (2 adet), 10 nF ve 10 μ F kondansatörler (ikişer adet), kronometre, bağlantı kabloları.

Transistörün bacak bağlantısını (E, B, C) Deney 8'deki gibi denetleyiniz. 10 μ F'lık kondansatörler elektrolitik ise + uçlarını kolektörlere bağlayınız. Astable devrede V_{CC} 'yi 6 V'un üstüne çıkarmayınız.

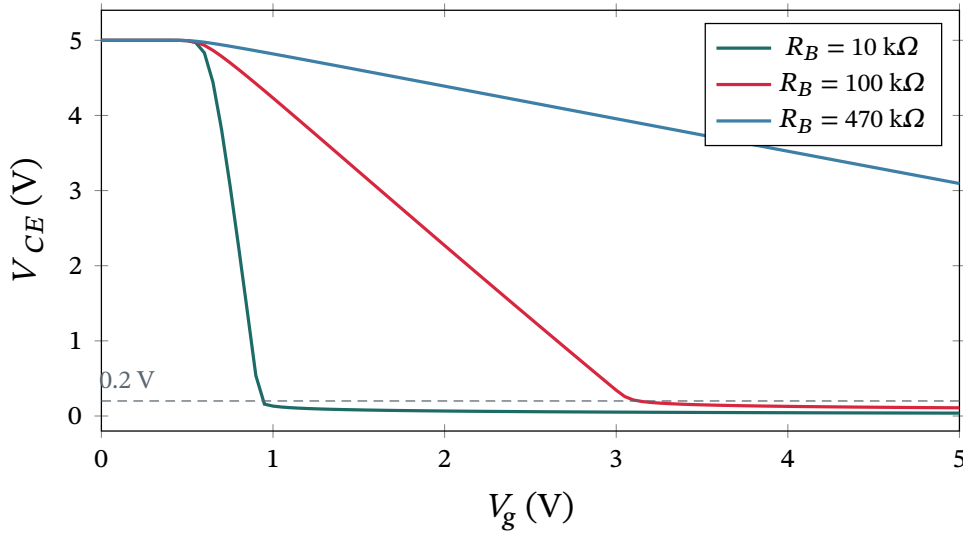
1) Anahtarın DC Aktarım Eğrisi



Şekil 9.1. Transistör anahtar ($V_{CC} = 5$ V, $R_C = 1$ k Ω).

- a) Şekil 9.1'deki devreyi $R_B = 10$ k Ω ile kurunuz. $V_{CC} = 5$ V'u PASCO kaynağından, V_g 'yi PL320'den alınız (sanal laboratuvarıda bunlar *kolektör kaynağı* ve *baz kaynağı* olarak görünür). Birinci multimetreyi V_{CE} 'yi, ikincisini V_{BE} 'yi ölçecek biçimde bağlayınız.

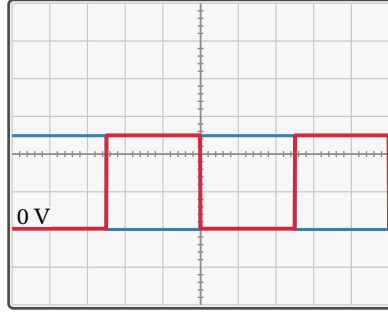
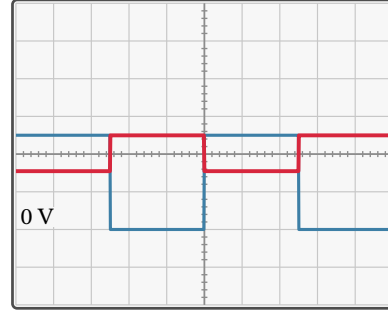
- b) V_g 'yi protokoldeki değerlere ayarlayarak V_{CE} 'yi ölçünüz. V_{CE} 'nin hızla düştüğü 0.6–1 V aralığında ölçümleri dikkatle alınız. $V_g = 5$ V'ta V_{BE} 'yi de yazınız.
- c) $R_B = 100 \text{ k}\Omega$ ile ölçümleri tekrarlayınız.
- d) $R_B = 470 \text{ k}\Omega$ için yalnız $V_g = 5$ V'ta V_{CE} ve V_{BE} 'yi ölçünüz.
- e) İki eğriyi aynı milimetrik kağıda çiziniz. Her eğriden doyuma giriş gerilimini (V_{CE} 'nin 0.2 V'un altına indiği V_g) ve etkin bölgenin eğimini bulunuz.



Şekil 9.2. Beklenen aktarım eğrileri. Doyuma giriş $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ 'da yaklaşık 0.95 V'ta, $100 \text{ k}\Omega$ 'da yaklaşık 3.15 V'tadır; $470 \text{ k}\Omega$ 'da transistör 5 V'ta bile doyuma ulaşmaz ($V_{CE} \approx 3.1 \text{ V}$).

2) Kare Dalgayla Anahtarlama

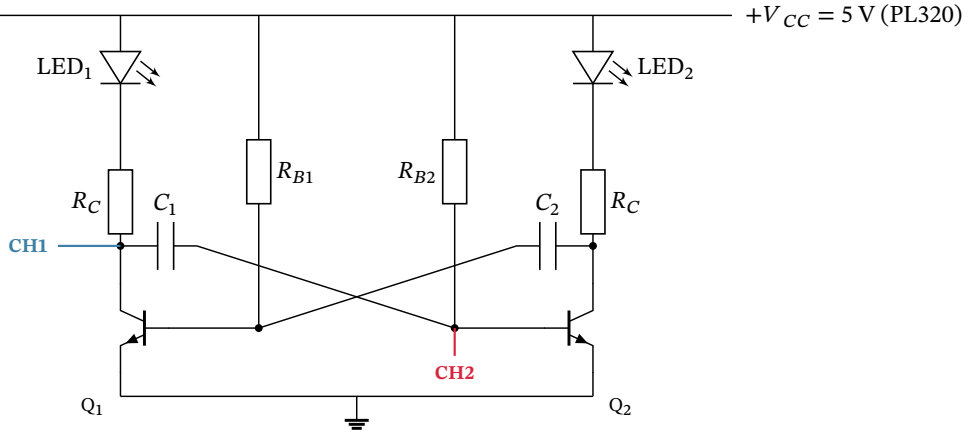
- a) PL320'yi çıkarıp yerine TG230'u bağlayınız. Üretici 1 kHz kare dalgaya ve 5 V tepeden tepeye genliğe ayarlayınız. CH1'i DC bağlaşımında girişe bağlayıp DC OFFSET düğmesiyle dalganın 0 V ile 5 V arasında salınmasını sağlayınız.
- b) Her iki kanalın sıfır çizgisini (GND konumunda) ekranın ortasından iki bölme aşağıya alınız; 2 V/div ve 0.2 ms/div kullanınız. $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ iken CH2'de kolektörü gözleyiniz. Çıkışın girişin tersi olduğunu görünüz ve alt ve üst düzeylerini ölçünüz.
- c) R_B 'yi $470 \text{ k}\Omega$ yaparak ölçümü tekrarlayınız.

(a) $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ (b) $R_B = 470 \text{ k}\Omega$

DC bağlaşım, 2 V/div, 0.2 ms/div DC bağlaşım, 2 V/div, 0.2 ms/div

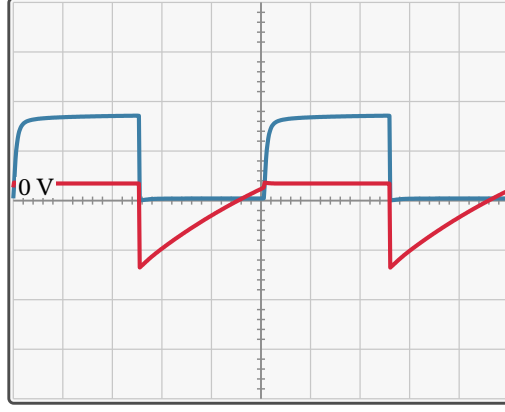
şekil 9.3. Kare dalgayla anahtarlamada beklenen ekranlar (mavi: giriş, kırmızı: kolektör). (a) Çıkış 0.04 V ile 5 V arasında anahtarlanır. (b) Transistör doyuma ulaşamadığı için alt düzey yaklaşık 3.1 V'ta kalır.

3) Astable Multivibratör



şekil 9.4. LED'li astable multivibratör ($R_C = 470 \Omega$, $R_B = 47 \text{ k}\Omega$, $C_1 = C_2 = C$).

- şekil 9.4'teki devreyi $C = 10 \mu\text{F}$ ile kurunuz ve PL320'den $V_{CC} = 5 \text{ V}$ veriniz. LED'lerin sırayla yanıp söndüğünü gözleyiniz. Kronometreyle 10 tam periyodun süresini ölçüp T 'yi bulunuz.
- Kondansatörleri 10 nF ile değiştiriniz. CH1'i Q_1 'in kolektörüne, CH2'yi Q_2 'nin tabanına bağlayınız (DC bağlaşım, 2 V/div, 0.1 ms/div; sıfır çizgileri ortada). Periyodu, kolektörün en yüksek ve en düşük değerini ve tabanın en düşük değerini ($v_{B,min}$) ölçünüz.
- Ölçtüğünüz $v_{B,min}$ ile (9.6) bağıntısından ($V_{BE,e} = 0.6 \text{ V}$) T 'yi hesaplayınız. Ölçtüğünüz periyodu bu sonuçla ve (9.7) bağıntısıyla karşılaştırınız.



CH1: Q_1 kolektörü, CH2: Q_2 tabanı
DC bağlaşım, 2 V/div, 0.1 ms/div

Şekil 9.5. $C = 10$ nF için beklenen ekran (mavi: Q_1 kolektörü, kırmızı: Q_2 tabanı). Periyot yaklaşık 0.51 ms'dir; kolektör yaklaşık 0 ile 3.4 V, taban -2.7 V ile 0.7 V arasında salınır.

Sorular

1. $R_B = 10$ k Ω ve 100 k Ω için ölçtüğünüz doyuma giriş gerilimlerini (9.4) bağıntısıyla karşılaştırınız (β için Deney 8'de ölçtüğünüz değeri kullanınız).
2. $R_B = 470$ k Ω 'da transistör neden doyuma ulaşmadı? $V_g = 5$ V'ta doyumu sağlayan en büyük R_B nedir? Zorlanmış β 'yı $\beta/10$ alırsanız hangi R_B 'yi seçerdiniz?
3. Öldüğünüz etkin bölge eğimlerini $-\beta R_C/R_B$ ile karşılaştırınız. $R_B = 10$ k Ω 'da fark neden daha büyüktür?
4. Öldüğünüz astable periyodu neden (9.7) bağıntısının verdiği kısıdır? LED'lerin rolünü açıklayınız.
5. $V_{CC} 12$ V yapılsaydı tabanın en düşük gerilimi ne olurdu? Bu, transistör için neden sakıncalıdır?

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 9: TRANSİSTÖR ANAHTAR VE ASTABLE MULTİVİBRATÖR**

Tarih: ____ / ____ / 20____

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİ**1) DC aktarım eğrisi** $V_{CC} = \text{____ V}$, $R_C = \text{____ k}\Omega$

V_g (V)	0	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	3.0	5.0
V_{CE} (V) $R_B = 10 \text{ k}\Omega$										
V_g (V)	0	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
V_{CE} (V) $R_B = 100 \text{ k}\Omega$										

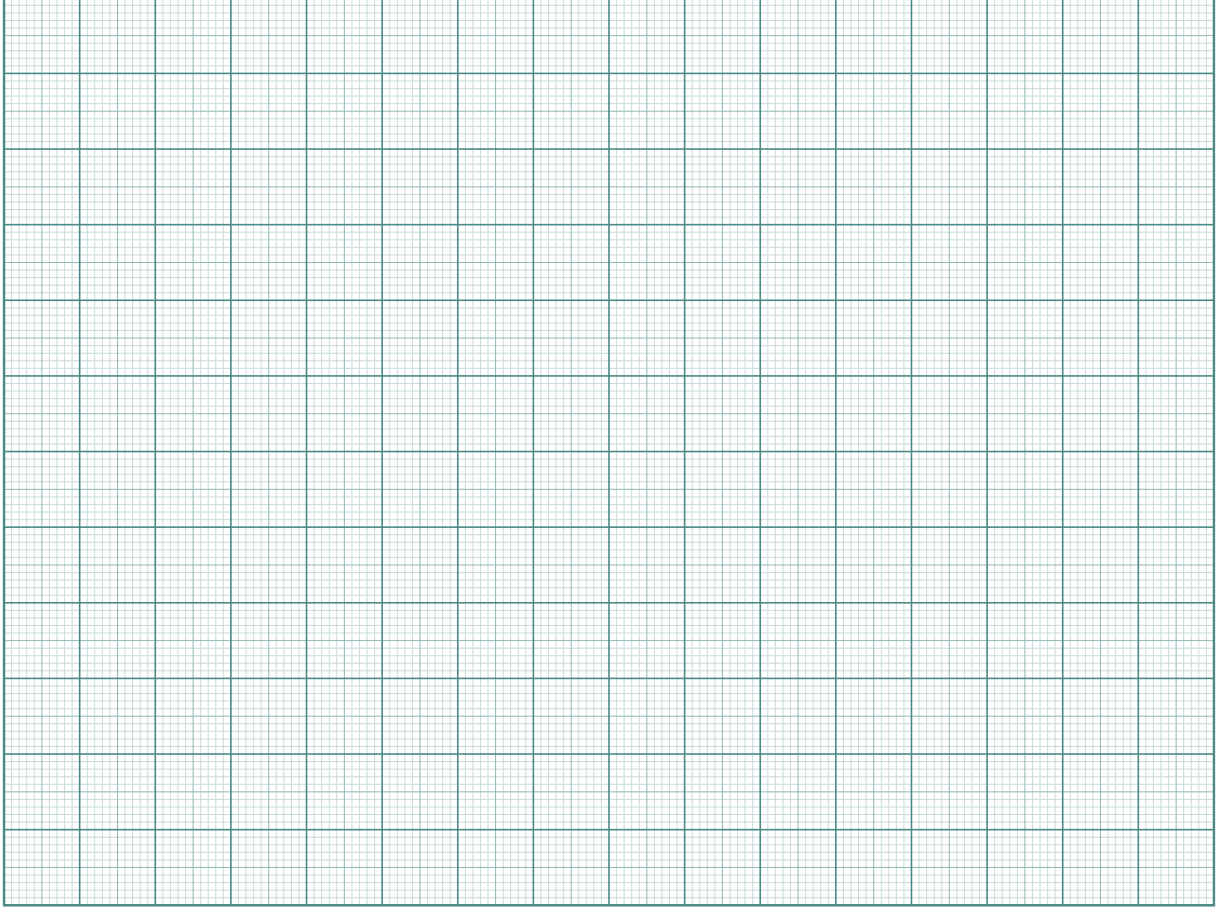
 $V_g = 5 \text{ V}$ 'ta

R_B	V_{CE} (V)	V_{BE} (V)	I_B (μA)	I_C (mA)	I_C/I_B	Bölge
10 k Ω						
100 k Ω						
470 k Ω						

Doyuma giriş: 10 k Ω : ____ V, 100 k Ω : ____ VEğim: 10 k Ω : ____, 100 k Ω : ____**2) Kare dalgayla anahtarlama**

	Çıkış alt düzeyi (V)	Çıkış üst düzeyi (V)
$R_B = 10 \text{ k}\Omega$		
$R_B = 470 \text{ k}\Omega$		

3) Astable multivibratör $C = 10 \mu\text{F}$: 10 periyot = ____ s $T =$ ____ s $C = 10 \text{ nF}$: T (ölçülen) = ____ ms Kolektör: ____ ... ____ V $v_{B,min} =$ ____ V $T, (9.6)$ ile = ____ ms $1.386 R_B C =$ ____ ms

Grafik 9.1 · $V_{CE}-V_g$ aktarım eğrileri ($R_B = 10\text{ k}\Omega$ ve $100\text{ k}\Omega$)*milimetrik, 1 kare = 1 mm · %100 ölçekte yazdırınız*

DENEY 10

Transistörlü Kuvvetlendirici



Sanal deney

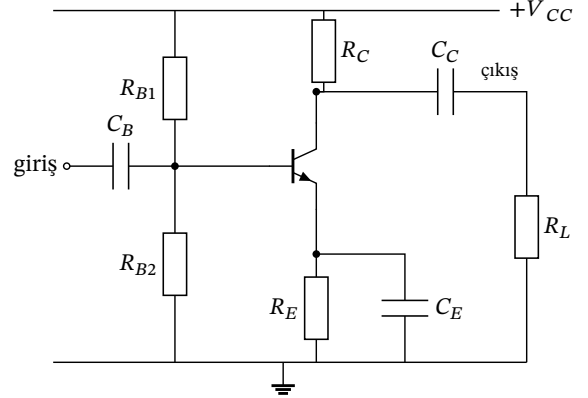
Kuram

Şekil 10.1'deki devre için doğru gerilim koşulları:

$$\left(\frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \right) V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} + V_E \quad (10.1)$$

$$\frac{I_C}{I_B} = \beta, \quad h_{IE} = \beta \frac{25 \text{ (mV)}}{I_C \text{ (mA)}} \quad (10.2)$$

Burada $R_B = R_{B1}R_{B2}/(R_{B1} + R_{B2})$ 'dir.



Şekil 10.1. Ortak emiter kuvvetlendirici

Alternatif gerilim koşulları:

a) $C_E = 0$ için,

$$R_g = \frac{R_B [h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E]}{R_B + h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E}, \quad K_v = \frac{h_{fe}}{h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E} \left[\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right] \quad (10.3)$$

b) $C_E \neq 0$ için,

$$R_g = \frac{R_B h_{ie}}{R_B + h_{ie}}, \quad K_v = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} \left[\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right] \quad (10.4)$$

olarak verilir.

Ortak Emiter Kuvvetlendirici

Şekil 10.1'deki devrede giriş işareti, bir kuplaj kondansatörü üzerinden baza uygulanır; çıkış kollektörden alınır. Kuplaj kondansatörleri (C_B , C_C) doğru gerilimi engelleyip alternatif işareti geçirerek çalışma noktasının üreteç ve yük tarafından bozulmasını önler. Emiter direncine paralel bağlı C_E köprüleme kondansatörü, alternatif işaret için R_E 'yi kısa devre eder. Baz akımındaki küçük bir artış kollektör akımını h_{fe} kat artırır ve R_C üzerindeki gerilim düşümü büyüdüğü için kollektör gerilimi azalır: ortak emiter kuvvetlendiricinin çıkışı girişle ters fazlıdır.

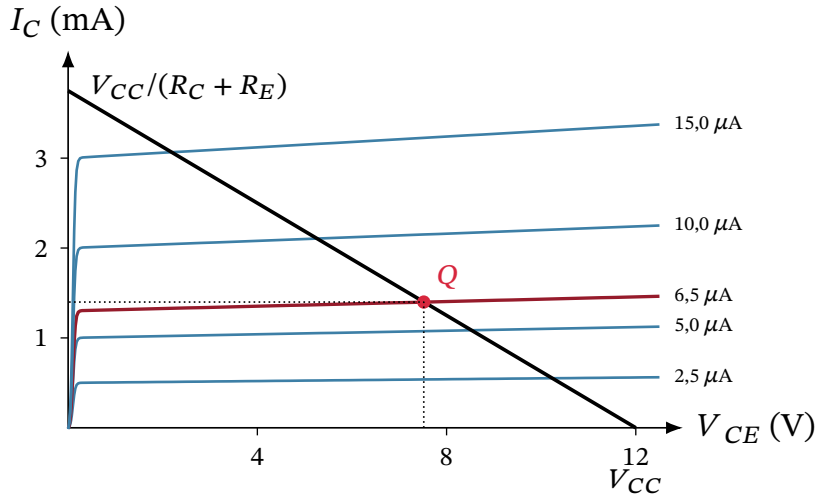
DC Çalışma Noktası ve Kararlılık

Baz gerilim bölücüsü, Thevenin eşdeğeriyle $V_{BB} = V_{CC}R_{B2}/(R_{B1} + R_{B2})$ kaynağı ve R_B direnci olarak düşünülebilir; (10.1) bağıntısı bu eşdeğer devre için Kirchhoff gerilimler yasasıdır. $I_E = (1 + \beta)I_B$ kullanılarak

$$I_C \approx \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B/(\beta + 1)}, \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \quad (10.5)$$

bulunur. $R_B/(\beta + 1) \ll R_E$ olduğunda $I_C \approx (V_{BB} - V_{BE})/R_E$ olur ve çalışma noktası transistörün β 'sından neredeyse bağımsızdır. Bunu sağlayan R_E 'nin oluşturduğu negatif geri beslemedir: I_C artarsa V_E artar, V_{BE} azalır ve artış sınırlanır. Örneğin $R_{B1} = 47 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$

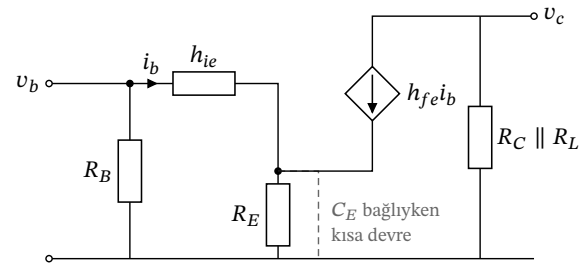
ve $V_{CC} = 12\text{ V}$ değerleriyle $V_{BB} \approx 2,11\text{ V}$, $R_B \approx 8,25\text{ k}\Omega$, $I_C \approx 1,40\text{ mA}$ ve $V_{CE} \approx 7,5\text{ V}$ bulunur; β 150'den 300'e çıksa I_C yalnızca yaklaşık %3 değişir. Çalışma noktası, çıkış belirtkin eğrileri üzerinde DC yük doğrusunun ($V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$) ilgili I_B eğrisiyle kesişimidir (Şekil 10.2).



Şekil 10.2. DC yük doğrusu ve çalışma noktası (örnek değerler)

Küçük İşaret Çözümlemesi

Küçük işaretler için h_{re} ve h_{oe} ihmal edilerek Şekil 10.3'teki eşdeğer devre kullanılır. Bazdan bakıldığında emiterdeki R_E , $(1 + h_{fe})$ kat büyümüş görünür: $v_b = i_b [h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E]$. Çıkışta $v_c = -h_{fe} i_b (R_C \parallel R_L)$ olur. Bu iki bağıntıdan ve $R_g = R_B \parallel [h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E]$ 'den (10.3) bulunur; C_E bağılyken R_E yerine sıfır konarak (10.4) elde edilir.



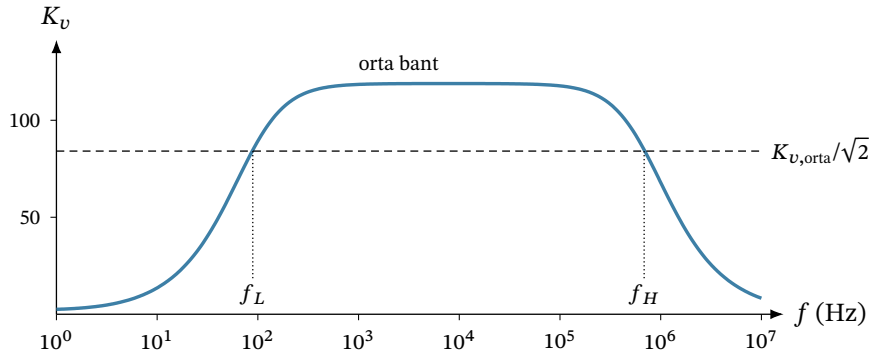
Şekil 10.3. Küçük işaret eşdeğer devresi

$C_E = 0$ iken $(1 + h_{fe})R_E \gg h_{ie}$ olduğundan $K_v \approx (R_C \parallel R_L)/R_E$ olur: kazanç küçüktür ama β 'dan ve sıcaklıktan neredeyse bağımsızdır, giriş direnci de büyüktür. C_E bağılyken kazanç $h_{fe}/h_{ie} \approx I_C/V_T$ ile orantılıdır ve çok büyüktür. Yukarıdaki örnek değerlerle (R_L bağıly değilken) C_E bağılyken $K_v \approx 119$ ve $R_g \approx 2,7\text{ k}\Omega$, $C_E = 0$ iken $K_v \approx 2,15$ ve $R_g \approx 8,0\text{ k}\Omega$ 'dur.

Giriş direncinin ölçülmesi. Baza seri bağlanan $270\text{ k}\Omega$ 'luk direnç R_g 'den çok büyük olduğundan üreteç, baza neredeyse sabit genlikli bir akım sürer. Bu direnç üzerindeki etkin gerilim V_1 ölçülerek giriş akımının tepeden tepeye değeri $(i_g)_{tt} = 2\sqrt{2} V_1/270\text{ k}\Omega$ olarak bulunur ve $R_g = (v_b)_{tt}/(i_g)_{tt}$ hesaplanır.

Doğrusallık. Kollektör akımı V_{BE} ile üstel olarak değiştiğinden, baz-emiter gerilimindeki değişim V_T ile karşılaştırılabilir olduğunda çıkış bozulur. C_E bağılyken 20 mV tepeden tepeye girişte bu değişimin tepe değeri 10 mV 'tur ve çıkışta yaklaşık %10'luk ikinci harmonik oluşur: çıkışın negatif yarı periyodu pozitif yarı periyodundan belirgin biçimde büyüktür. $C_E = 0$ iken R_E 'nin geri beslemesi bozulmayı $(1 + g_m R_E)$ kat (örnekte yaklaşık 55 kat) azaltır.

Frekans Yanıtı



Şekil 10.4. Gerilim kazancının frekansla değişimi (temsili; $C_E = 100 \mu F$)

Kazanç ancak orta frekans bandında (10.4) ile verilen değerdedir (Şekil 10.4). Düşük frekanslarda C_E 'nin empedansı büyür, R_E yeniden etkili olur ve kazanç düşer; çok düşük frekanslarda $C_E = 0$ değerine yaklaşır. C_E 'nin belirlediği alt kesim frekansı yaklaşık

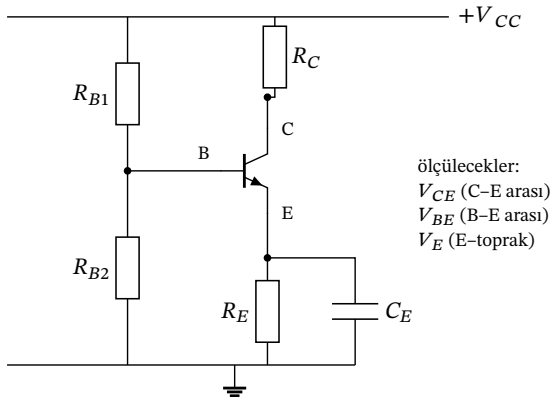
$$f_L \approx \frac{1}{2\pi C_E R_{eş}}, \quad R_{eş} = R_E \parallel \frac{h_{ie} + R_s \parallel R_B}{1 + h_{fe}} \quad (10.6)$$

dir; R_s üreticinin iç direncidir. Örnek değerlerle $R_{eş} \approx 18 \Omega$ ve $f_L \approx 87$ Hz bulunur. Yüksek frekanslarda kazancı transistörün iç sığaları (özellikle Miller etkisiyle büyüyen baz-kollektör sığası) ve kollektöre bağlı osiloskop kablusunun sığası düşürür; örneğin kollektördeki yaklaşık 100 pF'lık sığa ile $R_C = 2,2$ k Ω yaklaşık 700 kHz'lik bir üst kesim frekansı (f_H) verir. Kazancın orta bant değerinin $1/\sqrt{2}$ 'sine düştüğü frekanslar f_L ve f_H , aralarındaki fark bant genişliğidir. Kazanç desibel olarak $20 \log_{10} K_v$ biçiminde de ifade edilir.

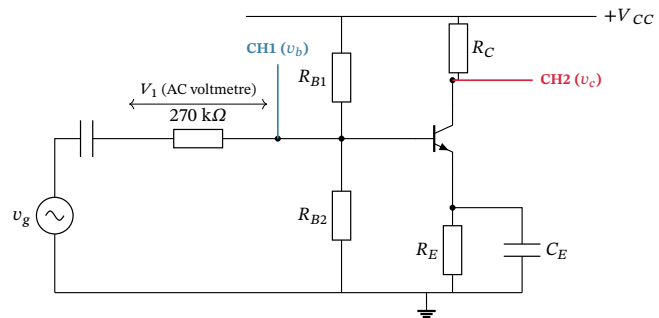
Deneyin Yapılışı

Kullanılan Araç ve Gereçler

DC güç kaynağı ($V_{CC} = 12$ V), işlev üretici (TG230), iki kanallı osiloskop (OS-9040D), sayısal multimetre (DC ve AC gerilim), kuvvetlendirici modülü (R_{B1} , R_{B2} , R_C , R_E , $100 \mu F$ 'lık C_E , kuplaj kondansatörleri, 270 k Ω), bağlantı kabloları ve yarı-logaritmik kağıt. Modüldeki direnç değerlerini protokoldeki ilgili satıra yazınız.



Şekil 10.5. DC ölçüm devresi



Şekil 10.6. Giriş direnci ölçüm devresi

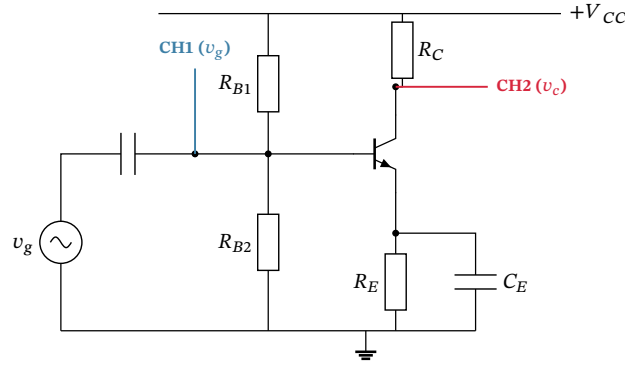
- 1) Şekil 10.5'teki devrede $V_{CC} = 12$ V için V_{CE} , V_{BE} ve V_E değerlerini DC voltmetreyle ölçünüz ve buradan $V_E/R_E = I_C$ 'yi bulunuz. R_B 'yi hesaplayarak (10.1) bağıntısından I_B 'yi bulunuz.

- 2) Bulduğunuz değerler yardımıyla β ve h_{IE} 'yi hesaplayınız.
- 3) Şekil 10.6'daki devrede $f = 1$ kHz, $(v_b)_{tt} = 20$ mV olacak şekilde ayarlayınız (v_b 'yi CH1'de okuyunuz; 270 k Ω nedeniyle üreteç genliğinin yaklaşık 2 V_{tt} olması gerekir). 270 k Ω üzerindeki etkin gerilimi (V_1) AC voltmetreyle ölçünüz ve

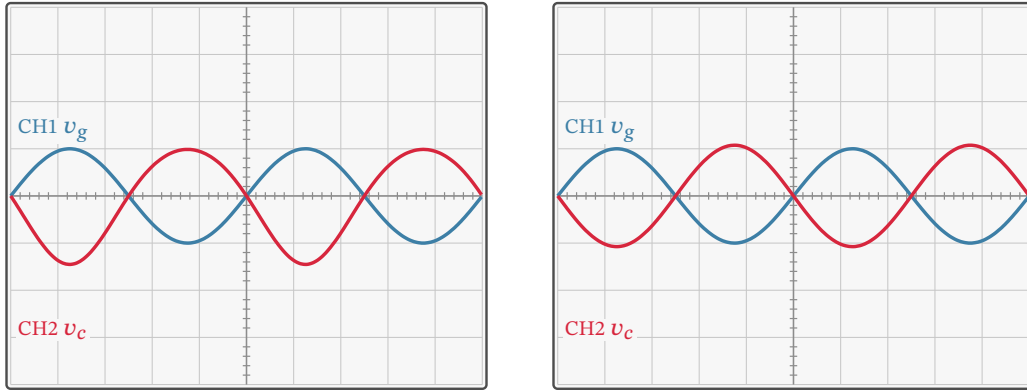
$$(i_g)_{tt} = \frac{2\sqrt{2} V_1}{270 \cdot 10^3}$$

olarak hesaplayınız. $R_g = (v_b)_{tt}/(i_g)_{tt}$ 'yi hesaplayınız.

- 4) Hesapladığınız R_g 'yi kullanarak (10.4) bağıntısından $h_{ie} = R_B R_g / (R_B - R_g)$ 'yi bulunuz.
- 5) C_E 'yi çıkararak ($C_E = 0$) aynı yöntemle R_g 'nin deneysel değerini bulunuz.



Şekil 10.7. Gerilim kazancı ölçüm devresi



(a) $C_E = 100 \mu\text{F}$
CH1: 10 mV/div CH2: 1 V/div

(b) $C_E = 0$
CH1: 10 mV/div CH2: 20 mV/div

Şekil 10.8. Osiloskopta görülmesi gereken ekranlar (örnek değerler, 1 kHz, 0,2 ms/div)

- 6) Şekil 10.7'deki devrede $f = 1$ kHz için $(v_g)_{tt} = 20$ mV olacak şekilde ayarlayınız. CH1'i 10 mV/div'e, TIME/DIV'i 0,2 ms'ye getiriniz; çıkış girişi ters fazlı görünmelidir (Şekil 10.8).
- a) $C_E = 100 \mu\text{F}$ için $(v_c)_{tt}/(v_g)_{tt} = -K_v$ 'yi bulunuz ve buradan $h_{fe} = K_v h_{ie}/R_C$ 'yi hesaplayınız. Çıkışın iki yarı periyodu farklı genlikteyse (doğrusallık) K_v 'yi tepeden tepeye değerlerden hesaplayınız.
- b) $C_E = 0$ için aynı yöntemle K_v 'yi bulunuz (CH2'yi 20 mV/div'e alınız).
- c) $C_E = 0$ için, deneysel yolla bulunan h_{fe} ve h_{ie} 'yi kullanarak K_v ve R_g 'nin deneysel ve kuramsal değerlerini karşılaştırınız.

- 7) Şekil 10.7'deki devrede, $C_E = 100 \mu\text{F}$ için protokoldeki Tablo 10.1'deki frekanslarda ölçümleri yapınız ve K_v 'nin frekansla değişimini yarı-logaritmik kağıda çiziniz. Her frekansta giriş genliğini denetleyerek sabit tutunuz. Grafikten f_L , f_H ve bant genişliğini bulunuz.

Sorular

1. C_E 'nin kazanç ve giriş direncine etkisini fiziksel olarak açıklayınız.
2. $C_E = 0$ iken K_v neden yaklaşık R_C/R_E 'dir ve β 'dan neden neredeyse bağımsızdır?
3. Giriş ve çıkış işaretleri arasındaki faz farkı nedir? Neden?
4. Çıkış işaretinin iki yarı periyodu neden farklı genlikte olabilir? Bu bozulmayı azaltmak için ne yapılabilir?
5. Kuvvetlendiricinin alt ve üst kesim frekanslarını hangi elemanlar belirler? Ölçtüğünüz f_H değerini yorumlayınız.

ELEKTRONİK I LABORATUVARI · DENEY PROTOKOLÜ**Deney 10: TRANSİSTÖRLÜ KUVVETLENDİRİCİ**

Tarih: ____ / ____ / 20__

Grup No: _____

Ad Soyad	No	İmza

DENEY VERİLERİDevre elemanları: $R_{B1} =$ _____ $R_{B2} =$ _____ $R_C =$ _____ $R_E =$ _____

1) $V_{CE} =$ _____ $V_{BE} =$ _____ $V_E =$ _____

$I_C = V_E/R_E =$ _____ $R_B =$ _____ $I_B =$ _____

2) $\beta =$ _____ $h_{IE} =$ _____

3) $(v_b)_{tt} =$ _____ $V_1 =$ _____ $(i_g)_{tt} =$ _____ $R_g =$ _____

4) $h_{ie} =$ _____

5) $C_E = 0$: $V_1 =$ _____ $(i_g)_{tt} =$ _____ $R_g =$ _____

6) a) $(v_c)_{tt} =$ _____ $K_v =$ _____ $h_{fe} =$ _____

b) $C_E = 0$: $(v_c)_{tt} =$ _____ $K_v =$ _____

c) $C_E = 0$, kuramsal: $K_v =$ _____ $R_g =$ _____

7) ($C_E = 100 \mu F$)

Tablo 10.1

f (Hz)	10	20	50	100	200	500	1 k	10 k	100 k	200 k	500 k	1 M	2 M
V_g (mV)													
V_c													
K_v													

$f_L =$ _____ $f_H =$ _____ bant genişliği = _____

Grafik 10.1 · K_v - f grafiği ($C_E = 100 \mu\text{F}$)*yarı logaritmik, 6 onluk · %100 ölçekte yazdırınız*