



MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimini kullanınız:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002* (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare). <http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu materyalin gerçek tarihini kullanınız.

Bu materyalin alıntı olarak gösterilmesi veya kullanım koşullarımız hakkında daha fazla bilgi için, <http://ocw.mit.edu/terms> web sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

## Transkript – Ders 24

Sınavda sınıfın ortalaması 55'di.

Sınavda üç tane ev ödevi problemi vardı.

Saçak alanı problemine biraz şaşırımdı. O not verilen tek ev ödevi problemiydi.

Ona ödevinizde not verilmişti ve ödev notlarınıza baktım, başarı %90 'dı.

Bu problemi tümünüz son derece iyi yapmıştınız. Ancak sınavda, sadece %40 'tı.

Ve böylece belki de bu size bir şeyler anlatıyor. Belki bana da bir şeyler anlatıyor.

Ev ödevinin gerçek çözümüne dönersek; yaptığınız şeyi anlamazsanız, onun size çok faydası olmaz.

Elbette ki anlamak, ne olursa olsun, öyle ya da böyle, gerçek çözüme ulaşmaktır.

Ödevlerinizi unutarak, sizi sadece birinci ve ikinci ara sınavlarla değerlendirseydim, o zaman 80 ve daha aşağısını alanlar şu an itibarıyla dersten kalırdı.

Fakat şüphesiz ki 80 ve 90 arasında alanlar hiçbir şekilde rahat olmasınlar.

Onlar hala tehlike altındalar.

95 ve hatta 100 alanlar, sizin için de dersten geçmeyi garanti edemeyeceğim.

Elbette ki bu dersten geçmeniz üçüncü sınav ve final sınavında nasıl yapacağınıza bağlıdır.

Bugün sizinle RC devrelerini ele almak istiyorum.

RL devrelerini zaten tartışmıştık. Şimdi RC devrelerine bakacağız.

Burada EMK'sı  $V_0$  olan bir bataryamız var.

Ve burada kondansatöre bağlı bir anahtar var.

Burada da bir direnç. Halkayı kapatıyorum.

Anahtar bu konumdayken, kondansatör şarj olacaktır.

Bu yönde giden bir  $I$  akımı elde ederim.

Burada aynı dalga boyunda olduğumuzdan emin olmak için bu noktaya A, bu noktaya P ve bu noktaya S dersem, kondansatör üzerindeki potansiyele  $V_A$  eksi  $V_P$  derim.

Direnç üzerindeki potansiyel elbette daima  $I$  kere  $R$ 'dir; ayrıca  $V_P$  eksi  $V_S$ 'dir.

Şimdi soru şudur: Kondansatörü yüklerken, zamanın fonksiyonu olarak kondansatör üzerindeki potansiyel nedir ve zamanın fonksiyonu olarak akım nedir?

Sezgileriniz, hiç bir süslü diferansiyel denkleminiz olmaksızın, size büyük ölçüde yardımcı olacak.

$t = 0$ 'da kondansatörün yüklü olmadığı açıktır. Kondansatörde yük yoktur.

Ve kondansatörü yüklemek zaman alacaktır.

Böylece  $t = 0$  da kondansatördeki potansiyelin 0 olmasını beklersiniz.

$t$ 'yi 0'dan birazcık daha büyük yaparsanız, bu kondansatöre biraz yük gelmiş olacak ve kondansatördeki potansiyel artacak ve bu yüzden akım düşecektir.

Ve yeterince uzun beklerseniz – biz buna sonsuza kadar uzun diyoruz – o zaman kondansatör tamamen yüklenmiş olacaktır.

Bataryanın potansiyeli  $V_0$  olacak ve akım sıfıra inecektir.

Kondansatör tamamıyla yüklenince, artık hiç akım geçmez.

Böylece bu kondansatör yüklenmiş olacak; bu pozitif yüklü ve bu negatif yüklü.

Bir grafik oluşturabilirsiniz, buraya kondansatör üzerindeki potansiyeli zamanın fonksiyonu olarak çizersiniz, – henüz hiç bir diferansiyel denklem kullanmadık.

Biliyorsunuz, yeterince uzun beklerseniz, bu  $V_0$  değerine ulaşırsınız.

Eğri bunun gibi gelişecek, asimptotik olarak bu değere ulaşacaktır.

C çok büyükse, o zaman akım bunun gibi daha çok olacak ve C çok küçükse, o zaman da daha çok gidecektir.

Zamanın fonksiyonu olarak akım.

Başlangıçta akım yüksek olacak, ancak kondansatör tamamen yüklendiğinde, akım en sonunda yok olacaktır. Böylece bunun gibi bir şey umut edersiniz.

Bunu hiç diferansiyel denklemsiz yapabilirsiniz.

Şimdi onu doğru yoldan yapalım.

E nokta dL'nin kapalı halka integrali 0 olacaktır; bu da Bay Kirchhoff'u mutlu edecektir. Bu devrede E nokta dL'nin kapalı halka integrali 0'dır.

Bay Faraday mutludur ve Bay Kirchhoff mutludur.

Burada manyetik akı değişimi yoktur; öz indüktansımız yoktur.

Kondansatörün içindeki elektrik alanı bu yönde, artıdan eksiye doğrudur.

Dirençteki elektrik alanı bu yöndedir, akım bu yönde akar.

Ve bu batarya, pozitif taraf olarak buna ve negatif taraf olarak buna sahiptir; bataryanın içinde elektrik alanı bu yöndedir.

Böylece A noktasından başlar ve devre boyunca gidersem; E ve dL aynı yöndedirler. A'dan P'ye gidersem artı  $V_C$  elde ederim. Bu, A'dan P'ye kadar E nokta dL'nin integraline eşittir.

Sonra direnç boyunca giderim.

Yine E ve dL aynı yöndedirler, böylece artı  $I$  kere R elde ederim.

Sonra bataryadan geçerim.

Şimdi elektrik alanı gittiğim yöne karşı; böylece eksi  $V_0$  elde ederim.

Ve bu 0'dır. İşte bu benim diferansiyel denklemimdir.

Onu farklı bir şekilde yazabilirim, çünkü  $I$  akımının  $dQ / dt$ 'ye eşit olduğunu biliyorum; Q kondansatördeki yüküdür.

Ancak bu sayı (bu Q) değişiyorsa, bu doğrudur; yani kondansatör yükleniyor ya da boşalıyor, akan bir akım vardır.

Ayrıca  $V_C$ 'nin Q bölü C'ye eşit olduğunu biliyorum.

Bu kapasitansın tanımıdır.

Böylece bu  $V_C$  için Q bölü C yazarım.  $I$  için  $dQ / dt$  yazarım.

Böylece  $Q/C$  artı  $R$  çarpı  $dQ / dt$  eksi  $V_0$  eşittir 0 bulurum.

Q için bir diferansiyel denklemdir bu.

Daha önce özdeş bir diferansiyel denklem görmüştük.

O, Q için değildi de,  $I$  içindi ; fakat kuşkusuz tamamen aynı çözüme sahipti.

Bu diferansiyel denklemin çözümleri gerçekten oldukça basittir.

Onu bu tahtaya yazacağım.

Böylece zamanın fonksiyonu olarak bu  $Q$  olacak –  $Q$  eşit,  $V_0 C$  çarpı 1 eksi  $e$  üzeri eksi  $t$  bölü  $RC$  olur.

Bu  $Q$ 'nun türevini alırsam,  $I$ 'yı bulurum; çünkü  $I$  eşit  $dQ / dt$  idi.

Böylece  $dQ / dt$  olan  $I = V_0$  çarpı  $C$ , bir eksi işareti, başka bir eksi işareti daha, sonra bir bölü  $RC$ , ve sonra  $e$  üzeri eksi  $t$  bölü  $RC$  'dir.

Sonuçta, zamanın fonksiyonu olarak akımı,  $V_0$  bölü  $R$  çarpı  $e$  üzeri eksi  $t$  bölü  $RC$  olarak elde ederim.

Bu eğri, en aşağıda görülmekte.

Kapasitör üzerindeki potansiyel çok basittir; çünkü bu potansiyel  $Q / C$ 'dir.

Burada zaten  $Q$  var, böylece basitçe bunu  $C$ 'ye bölerim, olur biter.

Böylece  $V_0$  çarpı 1 eksi  $e$  üzeri eksi  $t / RC$  elde ederim.

Bu, üstteki eğridir.

Böylece küçük bir tablo yapabiliriz ve  $t$  için çeşitli değerlere bakabiliriz.

Belki onu tahtada, burada yapmalıyım; çünkü henüz bir şey silmek istemiyorum.

Bu yüzden burada  $t$ 'miz var,  $I$ 'mız var ve  $V_C$ 'miz var.

$t = 0$  olduğunda,  $I$  denkleminize giderseniz, bu çarpan 1 'dir.

Böylece akım  $V_0$  bölü  $R$  'dir.

Ve  $V_C$ 'niz 0'a eşittir. Böyle olduğunu görebilirsiniz.

$t$ , 0'a eşitse,  $1 - 1$  elde edersiniz – oh, üzgünüm, buraya gitmek zorundayım.

Ve  $1 - 1$  elde edersiniz, böylece gerçekten kapasitans üzerindeki potansiyelin hala 0 olduğunu görürsünüz.

Yeterince beklerseniz, akım 0'a gitmelidir. Yeterince beklerseniz, bu üstel fonksiyon 0'a gider.

Kapasitans üzerindeki potansiyeliniz o zaman  $V_0$ 'a varır, ki bu çözümlerimizle tamamen tutarlıdır.

$RC$  'ye eşit bir süre beklerseniz, ki bu süreye devrenin **zaman sabiti** denir.

Akım durumunda, devrenin “bozunma zamanı” diye de adlandırılır.

Bu süre sonunda, kuşkusuz akımınız bir bölü e çarpı  $V_0 / R$ 'ye eşittir.

Ve bir bölü e kabaca 0,37'dir. Böylece akımınız, başlangıçtaki değerinin %37 'sine düşmüştür.

Ve bir RC zamanından sonra, kapasitördeki potansiyel, (1 eksi bir bölü e) çarpı  $V_0$ 'dır ve şimdi bu potansiyel yaklaşık % 0,73 –oh pardon % 0,63'üdür.

Başka bir deyişle, çizelgeme dönüp RC zamanı için bir sütun çizersem, burada bu değer maksimumun %37'sidir ve o zaman burada bu değer maksimumun %63'üdür.

Böylece çözüm oldukça açıktır, çok sezgiseldir.

Ve RC zamanları, hayal edebileceğiniz gibi, R ve C'nin değerlerine bağlı olarak büyük miktarda değişebilir.

Eğer burada bir R'miz ve bir C'miz varsa ve RC zamanının ne olduğunu bilmek istersek, R ve C'nin çarpımının gerçekten saniye biriminde olduğuna kendinizi inandırın.

Önceden saniye birimine sahip olan L bölü R'miz olduğunu da hatırlayınız.

R C de saniye birimine sahiptir.

Eğer R, 1 ohma ve C, 1 mikroyarada eşitse, bu durumda R C zamanı sadece bir mikro saniyeye eşittir.

Fakat R, 100 mega ohma eşitse ve bunun için 1 milifarada sahipseniz, o zaman bu 10 üzeri 5 saniyedir ki o bir günden daha uzundur.

Bunun anlamı,  $V_0$ 'ın % 95'ine ulaşmanız için, üç gün beklemeniz gerekir demektir.

Üç gün sonra, hala kapasitörün potansiyel farkının maksimum değerinin ancak % 95'ine sahip olacaksınız.

Şimdi yapmak istediğim, burada bir değişiklik yapmak.

Burada bir iletken telim var. Anahtarın bu durumuna 1 konumu diyorum.

Ve anahtarı bu konuma getireceğim: 2 konumuna.

Bunu, hiç tehlike yaratmadan yapabilirim.

Bu kapasitör tamamen yükleninceye kadar beklediğimi hatırlayın.

Hiç akan akım yoktu.

Ve böylece akan akım olmayınca, anahtarı yavaşça tutar ve bu konuma getirebilirim.

Ve şimdi kuşkusuz bu taraf pozitif yüklü ve bu taraf negatif yüklü olacaktır. Böylece şimdi zıt yönde, saatin tersi yönünde akacak bir akım elde edeceksiniz.

Ve şimdi olacak olan, kapasitörün yükünün boşalmasıdır.

Ve direnç kapasitördeki enerjiyi sarfedecektir.

Kapasitörde depolanan  $\frac{1}{2} C V^2$  enerjisi,  $I^2 R$  cinsinden, ısı cinsinden, dirençte harcanacaktır.

Ve yeterince beklerseniz, akım 0 olacaktır. Meydana gelecek şey, apaçık olmalıdır.

Buradaki bu eğrime dönersem, zamanımı yeniden sıfır diye tanımlarsam ve bu, anahtarı 2 konumuna getirdiğim an ise; bu durumda kapasitörün boşalacağını tahmin ederim. Bunun gibi bir eğri elde edersiniz.

Ve şimdi negatif hale gelen akımın yön değiştirmesini beklerim ve bunu negatif olarak adlandırırım. Dolayısıyla akım böyle gelecektir.

Kuşkusuz, yeterince beklediğinizde, akım yeniden 0 olacaktır. Çünkü kapasitörün yükünü boşalttınız.

Böylece formal bir çözüm istiyorsanız, diferansiyel denkleme geri dönmelisiniz.

Bu terimi çıkarırsınız, çünkü o artık yok.

Şimdi iyice basit hale gelmiş olan bu diferansiyel denklemi yeniden çözmelisiniz.

Sizden bu diferansiyel denklemi çözenizi istiyorum. Bundan daha kolayıyla karşılaşmazsınız.

$I$  çözümünü zamanın fonksiyonu olarak vereceğim size ve siz bu parçayı bulacaksınız.

$I$  zamanın fonksiyonu olarak bununla tamamen aynıdır; sadece, buna  $t = 0$  demek kaydıyla, bir eksi işareti dışında. Dolayısıyla,  $t = 0$  anını yeniden tanımlarım.

Böylece  $I$ , zamanın fonksiyonu olarak, buradaki ifadedir, ancak şimdi eksi işaretlidir.

Gene üstel bir değişime sahipsiniz, ancak akım tersine çevrilmiştir.

Bunu size gösterebilirim.

Bir elektronik anahtarım var; böylece bir ve iki arasında gider gelirim – her dört milisaniyede anahtarı açıp kaparım.

Böylece zamanın fonksiyonu olarak sahip olduğum bu şeye, bir **kare dalga** deriz.

Bu benim bataryam. Bu zaman aralığı, buradan buraya, sekiz milisaniyedir.

Bu zamandır. Bu  $V_0$  değeri.

R ve C için seçtiğim değerleri size vereceğim.

Burada  $V_0$  değeri 1 volt ve burada kuşkusuz  $V_0$ , 0'dır.

R için seçtiğim değer 6 kiloohmdur. Sanıyorum ki, C değeri 0,1 mikrofaraddır.

Evet, o kadar.

Ve bunları seçmemin bir nedeni var. Bu, 0,1 mikrofaraddır.

Bunlara göre, R C zamanı 6 çarpı 10 üzeri eksi 4 saniyeye eşittir.

Yani, bu 0,6 milisaniyedir; 4'den oldukça küçük.

Dolayısıyla, bu 4 milisaniyede kapasitörün neredeyse tamamen yüklenmesini bekleyebilirsiniz.

RC zamanını dört milisaniyeden epeyce küçük seçmemin nedeni buydu.

Düzeneyim öyle ki, size bataryanın girdisini, sürücü voltajını gösterebilirim.

Bunu size gösterebilirim.

Sonra da size, zaman sabiti R C ile kapasitörün nasıl yüklendiğini ve nasıl boşaldığını gösterebilirim. Ve sistemden akımın nasıl geçtiğini de gösterebilirim.

Böylece size bu eğriyi de gösterebilirim.

Ve sonra kapasitörü değiştirebilirim, böylece RC zamanı değişir

Direnci de değiştirebilirim.

Paranızla yüksek kalitede bir şeyler elde edebilirsiniz diye, önce ışıkları değiştireyim.

Zaten orada 1 volt ve 0 volt arasında anahtarlama voltajını görüyorsunuz.

Ve şimdi size kapasitördeki voltajı göstereceğim ve diğerini çıkaracağım.

Orada gerçekten tamamıyla tartıştığımız şekli görüyorsunuz.

Böylece kapasitörün yüklenmesindeki ilk anları görüyorsunuz; yüklenme etkin bir biçimde maksimum değere ulaşır.

Biliyorsunuz, sonsuza kadar beklemek zorunda değilsiniz.

Daima sonsuza kadar desek de, açıkçası R'nin üç, dört veya beş katı kadar beklerseniz, neredeyse maksimuma ulaşmışsınızdır.



Ve sonra burada anahtarı 2 konumuna geri getireceğim; şimdi onun boşaldığını görüyorsunuz.

Ve sonra o yeniden yüklenir ve boşalır. Ve şimdi size akımı da göstereceğim.

Onu, kapasitörün yüklendiği aynı grafik üzerinde görüyorsunuz, akımın yüksek olduğunu görüyorsunuz.

Fakat kapasitör tamamen yüklenince, artık akım 0'dır.

Fakat anahtarı 2 konumuna çevirdiğim anda, akım yön değiştirir, negatif hale gelir ve sonra kapasitör boşalırken dirençte ısı çıkar ve en sonunda akım yine 0'a iner.

Şimdi yapabileceğim şey, kapasitansımı arttırmak, örneğin beş katına çıkarmaktır.

Fakat bu benim R C zamanımı üç milisaniyeye çevirecektir.

Kapasitörün sahip olduğu dört milisaniyede tamamen dolmasının hiç bir yolu yoktur.

Ve gerçekten göreceksiniz ki, bunu 0,5 mikrofarad yaparsam, kapasitörün tamamen yüklenmesi için yeterli zamanı olmaz ve böylece burada yük boşaltmaya başlarsınız.

Akımın 0'a ulaşmadığına da dikkat ediniz; aynı nedenle kapasitör de tamamen yüklenemez.

Böylece, akımın 0 olduğu noktaya asla ulaşamaz.

Ben zaten burada 2 konumuna dönüyorum; akım da tersine dönüyor, ama asla 0 olmuyor.

Pekâlâ, böylece 0,1 değerine geri gidelim. İşte oldu.

Bu, LR devrelerinden daha kolaydır; nedeni de şu: çünkü Faraday Yasasıyla uğraşmıyoruz. Korunumsuz bir alanımız yok.

Böylece bir şeyleri hayal etmek daha kolaydır; çünkü Kirchhoff Yasası ile uğraşıyoruz.

Böylece potansiyel farklar tek bir şekilde tanımlanmıştır ve yola bağlı değildirler; oysa ki Faraday Yasasıyla onlar yola bağlıydı.

.

Şimdi farklı bir konuya, transformatörler konusuna dönmek istiyorum.

Transformatörler hayatımızda çok önemli bir rol oynarlar.

Transformatörler evde kullandığınız pek çok alette önem arz eder; ancak göreceğiniz gibi, aynı zamanda uzaktaki güç istasyonundan enerji elde etmemizin de temelidir.

Transformatörlerin tam olarak anlaşılması kolay değildir.

Son derece karmaşıktırlar.

O aslında bir fizik probleminden çok, bir mühendislik problemi gibidir.

Ben size, pek çok ayrıntının çıkarıldığı, fakat temel fikri içeren, sadeleştirilmiş bir şeklini vereceğim.

Burada bir bobinim var ve bu bobine birincil yani primer diyorum.

Bu bobin  $N_1$  sarımına ve  $L_1$  öz-indüktansa sahiptir.

Ve buraya  $V_1$  dediğim bir voltmetre koyuyorum. O daima devrededir.

Bir  $I_1$  akımı bobinden geçiyor ve geri dönüyor.

Voltmetreden akan mini minnacık küçük bir  $I_1$  akımı var – oraya küçük bir  $i$  koyarım.

Önemsenecek kadar küçük; böylece ona da  $i_1$  diyorum, çünkü bu  $i_1$  kadar küçük.

Fakat o benim  $V_1$ 'i daima izlememe yarar. Bu birincil bobin.

Bu da ikincil bobinimiz ve öyle sarılmış ki ikisi arasında bir manyetik akı çiftlenimi var.

Bu ikincil.  $N_2$  tane sarıma sahip. Öz-indüktansı  $L_2$ 'dir.

Ve buraya bir voltmetre  $V_2$  'yi koyuyorum. Buradan  $I_2$  akımı akıyor.

Bu  $I_2$ 'dir; tüketici buradadır, belki de sizin olduğunuz yer.

Ve  $I_2$  bobinden geriye akıyor.

Burada mini minnacık küçük bir akım  $I_2$  var; öyle akıyor ki  $V_2$  'nin değerini izleyebiliyorum.

Şimdi yapabileceğim şey, buradaki kapalı devre üzerinden E nokta dL'nin kapalı halka integralini yazmaktır.

Ve elbette Faraday Yasasını uygulayacağım, çünkü şimdi değişen bir manyetik akıya sahibim. Akımlar daima dalgalı akım (AC).

Transformatörler hep dalgalı akıma gereksinirler.

Böylece buradan başlayıp öz-indüktör boyunca gidersem, öz-indüktörde elektrik alanı olmadığını biliyorum, böylece burada E nokta dL'nin katkısı 0'a eşittir.

Böylece burada bana karşı koyan bu akıma varırım.

Bu yönde giderim, ancak E alanı bana karşı koyar; dolayısıyla eksi  $V_1$  elde ederim.

Ve Faraday Yasasına göre, öz-indüktör boyunca akım yönünde gittiğim için, şimdi bu eksi  $L_1 dI_1/dt$  'ye eşittir.

Yaptığım basitleştirmenin ne olduğunu söyleyeceğim; çünkü nerede katıyım nerede değilim size karşı dürüst olmak istiyorum.

İşte burada aslında bir ikinci terim var; bu, iki bobin arasındaki karşılıklı indüktans.

Burada gerçekten, karşılıklı indüktans cinsinden büyük  $M$  çarpı  $dI_2/dt$  şeklinde bir terim olmalıdır. Onu burada atıyorum.

Onu atıyorum, çünkü çoğu durumda nihai sonuç bundan etkilenmez.

Fakat kesin konuşursak, bilmenizi istiyorum ki bu denklem basitleştirilmiştir.

Bunun, birinci tarafta indüklenmiş  $E$  olduğunu biliyorum.

Ve şimdi aynı kapalı halka integralini, bobin üzerinden, voltmetre üzerinden bobine geri yapıyorum.

Buradan başlıyorum.  $I_2$  akımı, hareket ettiğim yönle aynı yöndedir.

Böylece artı  $V_2$  elde ediyorum. Sonra öz-indüktör boyunca gidiyorum.

Öz-indüktörde elektrik alanı yoktur, çünkü direnci olmayan bir telde elektrik alanı olmaz. Ve bu, akım yönünde gittiğim için, eksi  $L_2 dI_2/dt$  'ye eşittir.

Gene  $M$  katkısını almıyorum. Ve bu şimdi eşittir ikincilde indüklenen EMK .

Fakat bu da, açıkça, bir eksi işaretiyle,  $N_1$  çarpı  $d\phi B/dt$  'dir.

Bu, birincildeki bir halkadan geçen manyetik akı değişimidir.

Birincilde bir halkanın yüzeyi, içinden geçen ve zamanla değişen bir manyetik akı görür; bu  $d\phi B/dt$  değeri, bir halkadan geçendir.

$N_1$  halka var, dolayısıyla oraya bir  $N_1$  çarpanı geliyor.

Eğer iki bobin arasında mükemmel bir manyetik çiftlenim varsa -- ki her zaman böyle olmaz --, ikincilde  $N_2$  çarpı aynı  $d\phi B/dt$  'ye sahip olurum.

Böylece şimdi  $V_2$  bölü  $V_1$  'in büyüklüğünü alırsam, basitçe  $N_2$  bölü  $N_1$  olduğunu görürsünüz.

Bu çok şaşırtıcı bir sonuçtur !.

Bu, size ikincil tarafta  $V_2$  'yi  $V_1$  'den daha büyük yapabileceğinizi söylüyor.

$N_2$  'yi  $N_1$  'den büyük yapan transformatörlere yükseltici transformatörler adını veririz.

Fakat onu düşürebilirsiniz de --  $N_2$ 'yi  $N_1$ 'den küçük yapan transformatörlere de alçaltıcı transformatörler deriz.

Buraya bir büyük V yazdığında, şunu düşünmelisiniz.

O bir dalgalı akımdır; bu yüzden orada kosinüs omega t'ler veya sinüs omega t 'ler vardır. Bunu belki mümkün olan maksimum değer olarak düşünmelisiniz.

Fakat elbette bu kavramsal olarak önemli değildir. Fakat daima her yerde kosinüs omega t'ler vardır.

Güç istasyonu elektrik hattına, tabiri caizse, 300.000 voltluk elektrik koyar.

Bunu neden bu kadar yüksek voltajlarda yaptıklarını daha önce tartışmıştık.

Onların potansiyeli 300000 volt gibi çok yüksek bir değere yükseltmek için jeneratörlerinde bir transformatör vardır.

O Boston'a vardığında, elektrik gücü 12 kilovolta düşer.

Ve böylece  $N_1$  bölü  $N_2$ 'nin oranı 25 olan devasa transformatörler olduğunu görürsünüz.

Bu yüzden  $N_1$ ,  $N_2$ 'den 25 kez daha büyüktür. Böylece onu 12 kilovolta düşürürüm.

Fakat evde 12 kilovolt istemeyiz. Evde 110, 120 volt isteriz.

Bu nedenle, evlerin dışındaki güç dağıtım merkezlerine baktığınızda, bu merkezlerde yine transformatörleri görürsünüz. Bu transformatörler elektriği 12 kilovolttan yaklaşık 120 volta düşürür.

Oralarda  $N_1$  bölü  $N_2$  oranı yaklaşık 100'dür.

$I_1$  ve  $I_2$  akımlarının oranını hesaplamak, çok daha beceri ister.

Bazı önemli belirsizlikler, koşullar vardır.

Bir önemli koşul, ikincil taraftaki R'nin omega L'den çok çok küçük olmasıdır.

Bu bir koşuldur.

İkinci koşul, girdap akımları ile hiç enerji kaybolmamasıdır.

Genellikle bu iki bobin bir demir çekirdek aracılığıyla çiftlenimlidir ve bu demir çekirdekte girdap akımları elde edersiniz; bu durumda enerjiyi kaybedersiniz.

Ayrıca, her zaman ideal bir akı çiftlenimine sahip değilsinizdir.

Dolayısıyla, birincil bobinden geçen manyetik akının ikincil bobinden geçen akıyla aynı olduğu her zaman doğru değildir.

Fakat bu koşulların tümü sağlanıyorsa; yani R, omega L'den çok çok küçükse, girdap akımlarıyla enerji kaybı yoksa ve mükemmel bir akı çiftlenimi varsa, o zaman birincil tarafta verilen gücün ikincil tarafta tüketileceğini gösterebilirsiniz.

Ve bu doğruysa, yani birincil tarafta verilen güç, ikincil tarafta tüketilen güçle aynı ise, o zaman  $I_1 V_1 = I_2 V_2$  olmalıdır.

Fakat bu, sadece bu koşullar altında geçerliyse ve doğruysa, o zaman elbette  $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$  olur. Olası eksi işareti derdimiz olmasın diye, gene bunların büyüklüklerini alalım.

Buna baktığınızda, isterseniz, sadece büyük bir  $N_1$  bölü  $N_2$  oranı alarak, ikincilde iyice yüksek bir akım üretebileceğinizi görürsünüz.

Gerçekten bu koşulları sağladığınız takdirde, bunu yapabileceğinizi göstereceğim bugün.

$\frac{I_2}{I_1}$ , bu tamamsa,  $\frac{V_2}{V_1}$  bu da tamam.

Böylece iki gösteri deneyi yapacağım.

Göstermek istediğim ilk şey şu ki – oh, bu güzel.

Buralarda bir şeyler silmeliyim -- oh, bir süre şu tahtada anlatayım.

Burada bir gösterim var; burada birincil bobini görüyorsunuz.

Tam önünüzde, onu görüyorsunuz. 220 sarımlı bir bobin.

Böylece  $N_1$ , 220'ye eşit.

Ve  $V_1$ , 110 volta eşit; dalgalı akım olmalı. Frekansı 60 hertz.

Tıpkı burada prizlerimizdeki gibi ve sizin yurtlarınızda olduğu gibi.

Bu, omeganın yaklaşık 377 olduğu anlamına gelir. O, 2 pi çarpı F'ye eşittir.

$V_1$  'in gerçekten doğru ifadesini vermen gerekirse, aslında  $V_1$  eşittir  $V_1$  'in maksimum değeri çarpı kosinüs omega t 'dir.

Aslında bu değer 110 çarpı karekök 2'dir.

Daha önce derslerimde bundan bahsetmişim.

Gene de, bu şekilde tasarlanan voltmetreler size sadece 110'u gösterir.

Ve biz buna 110 volt deriz.

Şimdi ikincili sadece bir tek sarım olarak alayım. Bir kez sarılmış bir tel.

Bu denklem gerçekten geçerliyse, ki geçerli olacak,  $V_2$ 'nin 0,5 volt olmasını beklerim; yani 110 volt bölü 220'dir.

Sonra ikincil bobini 4 sarımlı yapacağım; o durumda  $V_2$ 'yi 2 volt bekleyeceksiniz.

Ve onu orada, tam önünüzde, göreceksiniz.

Burası, herhalde ölçümü göreceğiniz yer. Ben onu göremiyorum.

Dolayısıyla değerleri bana verdiğinizde, size güvenmek zorundayım.

Tamam, böylece bu benim birincil bobinim ve bu da ikincil .

Bu benim ikincil bobinim.

Bu gösteriyi bu şekilde yapacağım; bu tamamen açık.

Dolayısıyla, size hemen  $V_2$  değerini göstereceğim sadece.

Size bu değeri göstereceğim. O devasa bir direnç değerine sahip: birkaç mega ohm.

Böylece bu koşulun sağlanmadığından eminim.

Fakat bu koşul, bunun geçerli olması için gerekli değil.

Bu koşul, bunun geçerli olması için gerekli; bunun geçerli olması için değil.

Böylece sıkıntıya düşeceğim diye bir korkum yok.

Bu çok uzun bir tel. Oraya bir halka koyacağım.

Şimdi bu selonoidi güçlendiriyorum. Orada demir bir çekirdek var. 60 hertz, 110 volt.

Ve başlıyoruz. Onun etrafında bir halka.

0,48 volt ölçüyorum. Bu fena değil.

Şimdi iki, üç ve dört sarım sarıyorum. Şimdi ne görüyorsunuz?

Ben 1,996 görüyorum. Siz 6'yı görmeyebilirsiniz.

2'ye çok yakın.

Şimdi yapacağım şey, onu birazcık yukarı hareket ettirmek olacak ve onu, ikincili, birazcık yukarı hareket ettirdiğim zaman akı çiftlenimi artık ideal değildir ve böylece  $V_2$ 'nin düşmesini beklersiniz.

Onu birincil boyunca yukarıya hareket ettirdiğimizde, değer in düştüğünü görürsünüz.

Çünkü şimdi akı çiftlenimi ideal değil.

Ve eğer onu daha ileri götürürsem, akı çiftlenimi iyice ümitsiz hale gelir.

Ve buraya getirdiğimde akı çiftlenimi iyice zayıflar; ancak yine de hala 0,3 volt elde ederim. Bunun gerçekten doğru olduğunu göstereceğim ilk kısımdı bu.

Şimdi ikinci kısmı yapmak istiyorum; bu daha ilginçtir.

Devasa bir ikincil akım, belki de 1000 amperlik bir akım, elde ettiğime sizi inandırmaya çalışacağım.

Ancak şimdi bazı özel önlemler almalıyım. Deneyi çok farklı bir yoldan yapmak zorundayım.

Şimdi bu deneyi, direncin iyice düşük bir değere sahip olması için özel olarak tasarlanan bir ikincil bobin ile yapacağım. Çünkü bu yaklaşık olarak geçerli olsun diye bu duruma yaklaşmak istiyorum.

Çok kalın bakır bir ikincilimiz var; neredeyse yarım inç kalınlığında.

Bunun gibi bir şey.

Bu bakırdır. Ve buraya bir demir çivi koyuyorum.

Bu demir çivinin direnci yaklaşık 4 çarpı 10 üzeri eksi 4 ohmdur.

Bu halkanın, tamamen geometrik olan, kullandığım malzemenin türüyle ilgisi olmayan öz-indüktansını tahmin etmek kolaydır.

Bir hesabı yaptım ve  $L_2$ 'yi 5 çarpı 10 üzeri eksi 7 Henry buldum.

Bunu 377 ile çarpmalıyım; böylece omega kere  $L_2$  , yaklaşık 2 çarpı 10 üzeri eksi 4 ohmdur.

$R_2$  omega  $L_2$ 'den çok çok küçük olmasa da, şimdi onlar karşılaştırılabilir olmaya başlıyorlar.

Birincilde sürdürdüğüm  $I_1$  akımı, 20 amper olacak.

$I_2$ 'nin  $I_1$ 'den 220 kez daha büyük olacağını beklemiyorum, çünkü bobin için aynı 220 sarımı kullandım ve bu sadece bir tek sarımdır.

Böylece  $N_2$ 'yi 1'e eşit aldığımda, bu deneyde daha önce sahip olduğum aynı  $N_1$  bölü  $N_2$  oranım var.

Bunun, 220 çarpı 20 amper eşittir 4400 amper olacağını ümit etmiyorum. Çünkü aslında  $R$ 'nin omega  $L$ 'den çok, ama çok küçük olacağı bölgede değilim.

Fakat herhalde 500 - 1000 amper elde ederim.

$I_2$  akımı 500 - 1000 amper olursa,  $I$  kare  $R_2$ 'nin ne olduğunu hesaplayabilirsiniz, çünkü  $R_2$ 'yi biliyorsunuz. Bunun hepsi bu çivide.

Ve bu  $I^2 R_2$  'nin, yaklaşık olarak 100 ile 400 watt arasında olduğu ortaya çıkar.

Bu çivinin kıpkırmızı olacağına, ışığına ve belki de eriyeceğine inansanız iyi olur.

İndüksiyon fırınlarının altında yatan fikir işte budur !

Bu, çok yüksek sıcaklık elde etmek için, bilerek yapılır.

Kaynak yapımında çok yüksek akımlar elde etmek için de kullanılır.

Şimdi bu ikinci kısımda, aynı birincil ile olan gösteriyi yapacağım. Bu çivinin parlamasını görebilesiniz diye ortamı biraz karartacağım.

Ve elbette size ilk göstereceğim -- işte bu çivi ve bu ikincil halka.

Bu çok kalın bakır bir tel. Ve burada çiviye görüyorsunuz.

Hiçbir akım olmadığından emin olun.

Tanrım, ben neredeyse onu oraya iteledim.

Şükürler olsun ki, akım olduğunun farkına vardım.

Neyse, şimdi akım solenoidden geçmiyor ve işte ikincil halka.

Onu daha iyi görebilesiniz diye altına bir kaç tahta parçası koydum.

Böylece şimdi birincile akım verirsem, ikincilden geçen akımın ne olduğunu tam olarak size söyleyemem. Fakat o muhtemelen 500 ila 1000 arasında bir yerdedir.

O parlayacaktır. Onun erimesi bir dakika sürebilir. O hiç erimeyebilir de.

Üç saniye de sürebilir.

Önceden tahmin edilemez, çünkü bu çivinin direncini tam olarak bilmiyoruz.

Böylece onu ne zaman yapacağımı size söyleyeceğim.

Sayı sayacağım. ç, iki, bir, sıfır.

Zaten oldu bile. Çok hızlıydı.

Böylece onun parladığını gördünüz ve gerçekten çivinin eridiğini de görebilirsiniz.

Böylece şimdi akımın nerede son derece yüksek olduğunun bir örneğini gördünüz.

Şimdi sizinle bir başka pratik uygulamayı tartışmak istiyorum; ki bunun ivedi sonuçları var, ya da arabalarınızda çeşitli uygulamaları...



Bujiler.

Arabalarda bobinler vardır; bu bobinler bir araba bataryasıyla çalışır; yani dalgalı akımla değil, doğru akımla.

Fakat bujide bir kıvılcım elde etmek için, yüksek voltaja sahip olmak zorundasınız.

Ve bu çok zekice bir şekilde yapılır.

Şöyle ki, bu benim 12 voltluk bataryam. Kuşkusuz her devrede daima biraz direnç olur.

Bir bobininiz varsa, sizin daima sonlu bir direnciniz vardır.

Ve işte bir bobin ve işte bir anahtar.

Bu,  $N_1$  sarımlarına sahiptir, belirli bir öz-indüktansı vardır -- daha önce sahip olduğumuz durumla aynı.

Burada da bir ikincilim var; ki o da  $N_2$  sarıma sahip.  $N_2$ ,  $N_1$ 'den çok çok büyüktür.

Anahtarı kapatıyorum. Bir akım oluşuyor.

Zaman sabiti  $L / R$  saniyedir – bunu daha önce tartışmıştık; bir akım oluşacak.

Ve şimdi son derece gaddarca bir şey yapacağım.

Anahtarı açacağım. Ne yaptığımı düşünün. Derhal akımı kesiyorum.

Akım mutlu bir şekilde gidiyordu, birkaç  $L / R$  saniye sonra maksimum bir değere ulaşıyordu ve şimdi “vızzt” ,devreyi açıyorum.

Böylece  $d I_1 / dT$  için devasa bir değer elde ediyorum.  $I_1$  birincildeki akımdır.

Şüphesiz ki akım,  $R$ 'nin yeni değeri için  $L / R$  zaman ölçeğinde azalıp sıfıra gidecektir. Devreyi açtığım için  $R$  yeni bir değere sahip olacaktır.

Burada direnci sonsuz büyük yapmış olurum.

Ve eğer burada direnç sonsuz büyükse,  $L$  bölü  $R$  değeri 0'a gider.

Bu,  $d I_1 / dT$ 'nin neden aşırı büyük hale geldiğini anlamanızı sağlar.

12 voltluk bir bataryayla, kolayca birkaç yüz voltluk EMK elde edebiliyorsunuz; çünkü  $d I_1 / dT$  kuşkusuz bu devrede indüklenen bir EMK üretecektir, zira bir  $d \phi / dT$  söz konusudur.

Burada manyetik akıda, akımla doğrudan çiftlenimli olan, devasa bir değişiklik elde edersiniz.

Bu indüklenen EMK birkaç yüz volt olabilir.

Fakat şimdi ikincile bakın. İkincilin  $N_2$ 'si,  $N_1$ 'den çok daha büyük.

Böylece ikincilde indüklenen EMK, çok kabaca  $N_2$  bölü  $N_1$  çarpı birincildeki indüklenmiş EMK'dır.

Bu daha önce sahip olduğumuz orandır ---  $V_2$  bölü  $V_1$ 'in,  $N_2$  bölü  $N_1$ 'e eşit olduğunu hatırlayın. Bu şekilde, ikincilde kesinlikle korkunç büyük bir potansiyel fark elde ederim.

İstersem, bir milyon volta yükseltebilirim.

Arabalarınızda bu gereksizdir. Arabalarınızda buradaki gibi 10 kilovolt gibi bir şey elde etmek yeterlidir.

Ve o bujinizde rahatça bir kıvılcım çıkaracaktır.

Böylece, siz farkına varmazsınız ama, arabanızda açılıp kapanan, açılıp kapanan, açılıp kapanan bir devreniz vardır. O burada sadece bu etkileyici yüksek voltajı oluşturan şeyi açtığınız zaman olur ve kıvılcım uçuşur.

Motorunuzu dakikada 3000 devirde çalıştırırsanız ve dört silindirin varsa, bu saniyede 200 kere olur.

Fakat bunu yapan frenlemedir. Ve bunu size gösterebilirim.

Çok özel bir bujim var. Belki de ona buji bile denmemelidir.

O güzel bir cihazdır. Onu orada sonuna kadar göreceksiniz.

Ve hatta orada  $N_2$  bölü  $N_1$ 'in ne olduğunu bilmediğimiz bir durum söz konusu.

Bu eski bir sanat eseridir; muhtemelen on dokuzuncu yüzyılda, belki de yirminci yüzyılın başlarında yapılmıştır.

$N_2$  bölü  $N_1$ 'in, en azından, birkaç bin olduğunu düşünelim; haydi diyelim ki 10 üzeri 3.

Bundan çok daha yüksek de olabilir, bunu bilmiyoruz.

Onu bir araba bataryasıyla çalıştırırız; arabanızdaki gibi 12 volt ile çalıştırırız.

Buradaki gibi, akımın birincilde oluşmasına izin veririz. Sonra da gaddarca birincili açarız ve ikincilde üç, dört, beş yüz bin volt kadar akım üretiriz.

Ve sonra ne görürsünüz? Burada üç, dört, beş yüz bin voltta bir kıvılcımın uçuştüğünü göreceksiniz.

Kolayca 10 santimetre öteye bir kıvılcım atlatabilirsiniz. Çünkü bütün yapmanız gereken, elektrik alanının çökmesi demek olan, metre başına üç milyon volt'un üzerine çıkmanızdır.

Ve şimdi size göstermek istediğim şey bu.

Bunun için de ortamı biraz karartmalıyım; çünkü kuşkusuz, kıvılcımları görmek istersiniz; evet, biraz daha karartalım. Gösterimi bu şekilde yapacağım.

Belki de önce bu güzel bobine göz atmak istersiniz. O orada.

İşte orada araba bataryasını da görüyorsunuz. Tam 12 volt.

Ve burada ikincili görüyorsunuz.

Bu ikincilin açık ucudur, orada şu iki küçük topum var.

Ve bunun hepsi kapatılmıştır. Çok fazla ölçemeyiz.

Artık ışıkları söndüreceğim.

Tamam, birincilden bir akım geçiriyorum.

Bu akımın ne olduğunu bilmiyoruz. Söyleyemeyeceğim.

Söyleyeceğim tek şey, şimdi birincildeki akımı açacağım; hayır, kendimi öldürmeyi kast etmedim, ancak süreç için akımı açtım.

Tamam, anahtarı açıyorum ve onu her açışında ikincilde bu devasa voltajı görürsünüz.

Bu, arabanızdaki bobini çalıştırmanızın yoludur; böylece bujinizde kıvılcımlar elde edersiniz.

Bu oradaki devasa bir potansiyel farkıdır.

Biz bunu o şekilde düzenleriz ki, onu elimle yapmaksızın o açılır ve kapanır.

Bujinin nasıl çalıştığını anladınız. Fakat onu gösterme nedenim, bu değildi.

Bu, böylesine bir mühendislik harikasıdır.

Yirminci yüzyılın ilk dönemlerinde böyle düzeneklerle pek çok araştırma yapılmıştır.

Ona, onu icat eden kişinin, Ruhmkorff'un adı verilmiştir. Ben öğrenciyken, bu aygıt daima **Ruhmkorff bobini** olarak anılırdı.

Pekiye, onu böyle bırakacağım, dışarı çıkarken ona yakından bakabilirsiniz.

Ancak dikkatli olun. Orada birkaç yüz bin voltla uğraşıyoruz.

Tamam, iyi hafta sonları dilerim.