



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 OpenCourseWare

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 18 Yerdeğiştirme Akımı ve Senkronize Motorlar

Bugün, Amper Yasası'nı eleştirel bir gözle ele alacağım.

Daha önce yaptığımız gibi, bir telden bir akım geçireceğim, fakat şimdi ayrıca buraya bir kapasitör koyacağım ve bu kapasitörü yükleyeceğim.

İşte kapasitör bu. Bu da tel. Bir I akımı geçiriyoruz.

Akımı geçirirken, açıkça, kapasitörün içinde değişen bir elektrik alan elde ederiz.

Kapasitörün içindeki elektrik alan, σ_{serbest} bölü $\kappa \epsilon_0$ 'a eşittir; σ_{serbest} de Q_{serbest} bölü alandır.

Bu, dairesel plakalı bir kapasitör.

Büyük R bu kapasitörün yarıçapı; böylece paydada, $\pi R^2 \kappa \epsilon_0$ elde ederiz.

Fakat akım geçirdiğim için, Q_{serbest} zamanla artar; tanım uyarınca akım dQ/dt dir ve şimdi içeride dE/dt şeklinde değişen bir elektrik alanım var. Böylece bu dE/dt eşit, I akımı bölü $\pi R^2 \kappa \epsilon_0$ 'dır. Çünkü basitçe bu denklemin türevini alınca, üstte dQ/dt elde ederim ve dQ/dt , I 'dır.

Ancak akım 0 ise, içeride değişen bir elektrik alanı yoktur.

Böylece bu, manyetik alanı nasıl etkiler?

Telden küçük r uzaklığında, burada bir P_1 noktası alalım. Kapasitörden çok uzaktaysanız, Amper Yasası'nın doğru cevap vermeyeceğine inanmak çok zordur.

Biraz sonra Amper Yasasını uygulayacağız. Amper Yasası, orada tahtada.

Telden aynı uzaklıktaki bu P_2 noktasında olduğunuzu varsayın.

Evet, şimdi bir akım kesintisi olduğunu kabul etmeniz gerekiyor.

Bu boşluktan geçen akım yoktur ve böylece buradaki manyetik alanın, burada olandan belki biraz daha düşük olmasını beklersiniz.

Fakat çok değil.

Şimdi soru şudur: Buradaki ve oradaki manyetik alanı şimdi nasıl hesaplayabiliriz?, şimdi telde bu açıklık var.

Biot-Savart bunu halledebilir; fakat ben onu nasıl yapacağımı bilmiyorum. Çünkü böyle akan bir akım varsa, bu plakalar üstünden geçen bir akım da vardır, ve benzer bir tane, ve ben Biot-Savart'ın nasıl uygulanacağını bilmiyorum.

Prensipte evet, fakat pratikte hayır.

Amper Yasasına ne dersiniz?

Şey, haydi Amper Yasası'na bir şans verelim.

Bu, bir silindirik simetri problemidir; bu yüzden elbette kendisi r yarıçaplı bir daire olan kapalı bir halka seçerim ve – ve bu kapalı halkaya açık bir yüzey iliştiririm.

Bu zorunludur.

Kendimi zahmete sokmam, onu düz bir yüzey olarak alırım.

Artık Amper Yasası'nı uygulayabilirim. Onu oradaki tahtada görüyorsunuz.

Bu kapalı halka üzerinde her yerde, simetriden dolayı, manyetik alan aynı şiddete sahip olacaktır; bu yüzden, B çarpı $2\pi r$ eşittir mü 0 çarpı $I_{\text{geçen}}$ elde ederiz; “geçen” açık yüzeyimden geçen akım anlamına gelir.

Şey, bu I 'dır. I tam bu yüzeyden geçer.

Ve böylece $P1$ noktasındaki manyetik alan, mü 0 çarpı I bölü $2\pi r$ 'dir.

Bunu önceden birkaç kez daha görmüştük.

Şimdi $P2$ 'yi merak ediyorum.

Amper Yasası'nı $P2$ noktasına uygulayabilir miyim?

Şey, evet, deneyebilirsiniz.

Şimdi bu noktadan geçen kapalı bir halka alacağım.

Gene bir çember, küçük r yarıçaplı ve bu düz yüzeyi kullanıyorum ve Amper Yasasını uyguluyorum.

Şok oluyorum; çünkü B çarpı $2\pi r$ değişmiyor, fakat bu yüzeyden geçen akım yok.

Yani I , 0 'dır; böylece $P2$ noktasında manyetik alanın 0 'a eşit olduğu sonucunu çıkarmalıyım, ki bu anlamsız.

Durumu daha kötü bile yapabilirim.

P1 noktasına geri dönerim; kapasitörüm burada ve P1 noktası burası.

Akım bu şekilde akıyor. Kapalı halkam burada.

Amper Yasası'na göre, kapalı halka entegralim B nokta dL .

Neden düz bir yüzey seçmeliyim?

İstediğim yüzeyi almaya hakkım var! Bunun gibi yüzeyleri seviyorum.

Onlar da kapalı bir halkaya tutturulur; bu yüzden bu tür bir yüzey seçeceğim.

Şimdi yüzey böyle gidiyor.

Tam kapasitör plakaları arasından - Amper Yasası'nı uyguluyorum.. Ve burası açık.

B çarpı $2\pi r$; küçük r yarıçaptır.

Mü 0 çarpı I ; fakat bu yüzeyden geçen I yoktur.

Bu yüzeyin hiçbir yerini delip geçen akım yok; çünkü kapasitör plakaları arasında akım geçişi yok. Böylece P_1 'deki manyetik alanın da 0 olacağı sonucuna varırım, ilk sonucumuz da buydu.

Rezalet birşey.

Demek ki, Amper Yasası yetersiz.

Kuşkusuz, Faraday da, Amper de, bunun farkındaydılar.

Buna yoğunlaşan Maxwell olmuştu; kapalı bir halkaya tutturduğunuz her açık yüzeyin size tam olarak aynı sonucu, aynı cevabı vermesi gerektiğini öne sürmüştü.

Böylece Amper Yasası'nı düzeltmemizi önermiş; kendisine şu soruyu sormuştu: Kapasitör plakaları arasında o kadar özel olan şey nedir?

Evet, kapasitör plakaları arasında var olan özel şey, değişen bir elektrik alanının olmasıdır.

Böylece Maxwell'in vardığı sonuç şuydu: Faraday Yasası, değişen manyetik akının bir elektrik alan vereceğini söylüyordu; belki de değişen elektrik akısı da bir manyetik alan verecektir.

Şimdi size elektrik akısının ne olduğunu hatırlatmak istiyorum.

Φ_E akısı, bu durumda, E nokta dA 'nın açık yüzey entegrali olacaktır. Bu bir elektrik akısıdır.

Orada tahtada gördüğünüz Gauss Yasasında kapalı bir yüzey vardı.

Şimdi açık yüzeyden söz edeceğim. Bu bir açık yüzeydir.

Bu bir açık yüzeydir ve bu bir açık yüzeydir.

Böylece Maxwell elektrik akısının türevini içeren bir terim eklememizi önermişti.

Benim şimdi orada, Amper Yasasında, yapacağım şey budur. Onu Maxwell'in önerdiği şekilde düzelteceğim.

Maxwell buraya bir terim ekler: ϵ_0 , çarpı κ , çarpı şu kapalı halkaya tutturulmuş açık yüzey üzerinden E nokta dA 'nın integralinin d/dt 'si.

Bu akım, hatırlarsanız aralıktaki yüzeyden geçiyor, aslında gerçek bir akımdır.

Maxwell bu terimi “**yerdeğiştirme akımı**” olarak adlandırmıştı.

Yazım hatasından nefret ederim; yazım hatası yapmadığından emin olayım.

Bu kusursuz. Her şey yerli yerinde.

Şimdi bir partiye başlayabileceğimizi düşünebilirsiniz; çünkü dört Maxwell denkleminin tümü şimdi tamam. Tam olarak değil.

Bahar molasından sonra, küçük bir ayarlama yapacağız ve bu ayarlama bunun içinde yapılacak; işte o zaman partimizi vereceğiz.

Böylece şimdi yeni yasayı kullanmak ve tüm bu karışıklığı düzeltip düzeltemeyeceğimizi görmek istiyorum.

Bu nedenle, P_1 noktama geri gideceğim ve yeni yasayı önce buradaki düz yüzey ile uygulayacağım; sonra da şu yüzeyi deneyeceğim.

Aynı cevabı elde etmek istiyorum.

Şunda hem fikir miyiz? Şu yüzeyi kullanırsam, o yüzeyden geçen bir akım var, fakat oradan geçen elektrik akısı yok.

Böylece şu ikinci terim, şu yer değiştirme akımı terimi, bu düz yüzey için 0'dır.

Öyleyse bu cevap tamamen geçerlidir.

Fakat şimdi, bu durumu kovuşturmak istiyorum. Yeni bir çizim yapacağım.

Burada P_1 noktasına sahibiz. Bu yarıçapım küçük r .

Bu, tam buradan geçen yüzeyim.

Burada I akımı var; burada ise değişen bir elektrik alanı.

Böylece B çarpı $2\pi r$, eşit mü 0 , çarpı,

$I_{\text{geçen}}$ akımı 0 dır.

Bu çanta yüzeyinden geçen akım yoktur. Bu, burada açıktır.

Böylece ilk kısım sıfırdır.

Böylece sadece ikinci kısım ilgilieniyorum: ϵ_0 , κ , yerdeğiştirme akımı.

Ve şimdi buraya $d \Phi_E / dt$ 'yi koymalıyım.

Φ_E 'yi hesaplamak çok kolaydır; çünkü E ve dA tam buradadır; bu parçanın düz olduğunu düşünün.

Kapasitörün içinde nerede olursanız olun, saçak alanlarını yok sayarsanız, sadece kapasitörün içinde her yerde aynı olan bir elektrik alanı vardır; dolayısıyla elektrik akısı basitçe E çarpı yüzey alanıdır; E ve dA aynı yöndedir: Böylece akı, elektrik alanı çarpı πR^2 karedir.

Ve türevin ne olduğunu bilmek istersem; onu, yüzey alanı πR^2 kare, kere dE/dt olarak bulurum.

Ve sahip olduğumuz dE/dt , bu I bölü $\pi R^2 \kappa \epsilon_0$ 'dır.

Ben onu $\pi R^2 \kappa \epsilon_0$ 'a bölerim.

Böylece bu A yüzey alanıdır ve bu dE/dt 'dir. Bu ise, kapasitör içindeki, yani akının geçtiği kısmın alanıdır. Buranın dışından akı geçmediği için, oradan katkı gelmez.

Buradan da katkı yoktur. Buradan da katkı yoktur.

Sadece orada elektrik alan vardır. Bu benim varsayımım.

Buradan tüm gelen, $d \Phi_E / dt$ 'dir. Peki, hadi sonuçlarımıza bakalım.

π 'yi sadeleştiririm, R^2 karemi sadeleştiririm, $\kappa \epsilon_0$ 'ımı sadeleştiririm ve ne elde ettiğime bakın.

Mü $\epsilon_0 \kappa I$ elde ettim.

Bu gerçekten şaşırtıcı! B eşittir mü $\epsilon_0 \kappa I$ bölü $2 \pi r$ 'yi buldum. Önceden bulduğumuz sonucun aynısı !

Yaşasın Mr. Maxwell; çünkü düz yüzeyi mi aldık, yoksa çanta yüzeyini mi; artık bu hiç önemli değil. Aynı cevabı elde ediyorsunuz.

Birinci durumda, yer değiştirme akımı teriminin katkısı yoktur; diğer durumda ise, gerçek akım olan birinci terimden katkı yoktur.

Sonuçlarımdan mutlu muyum, bundan emin olayım. Evet, bence onlar tamam; mutluyum.

Şimdi bir adım daha ileriye gidip, kapasitör içinde herhangi bir yerde manyetik alanın ne olacağını hesaplayabiliriz.

Başka bir kapasitör çizimi yapayım.

Bu E alanım var. Bunu her zaman tekrar etmeyeceğim.

Şimdi $P2$ noktam burada; kapasitörün içinde, merkezden küçük r yarıçaplı.

Ve bu büyük R , dairesel plakalarındaki.

Kapalı halkam işte burada O , küçük r yarıçaplı bir çemberdir.

Şimdi yeni yasamı uyguluyorum: B çarpı $2\pi r$. Ve işte böyle..

Bir mü 0 'ımız var, bir ϵ 0'ımız var, bir κ amız var.

Buradan geçen akım yok. Tartışılmaz bile.

$I_{\text{geçen}}$ 0 'a eşittir, doğru mu? Burada bir sorun yok.

Böylece mü 0 var, ϵ 0 var. κ var.

Fakat şimdi, tam buradaki yüzey alanı π büyük R kare değildir; burada değişen elektrik alan yok; fakat yüzey sadece π küçük r karedir.

Düz bir yüzey aldım.

Böylece şimdi bunu π küçük r -kare ile çarparız ve o zaman tabii ki dE/dt aynı olur. Böylece akımımız, I bölü π büyük R kare, bölü $\kappa \epsilon$ 0 elde ederiz.

Ve şimdi gene çoğunu sadeleştiriyorsunuz.

ϵ 0'ı kaybediyorsunuz, κ 'nızı kaybediyorsunuz.

Bir π sadeleştiriyorsunuz.

Ve bakın, burada bir küçük r 'm var ve orada küçük r karem var.

Böylece şimdi gerçekten tahmin edebildiğiniz gibi, kapasitörün içinde r ile artan bir alan elde ediyoruz; böylece bir sonuç elde ediyorsunuz. Çünkü eşitlersem, yukarıda mü 0 çarpı I 'yı elde ederim, fakat yukarıda bir tane de küçük r elde ederim.

Burada r kareye, burada ise r 'ye sahip olduğumu görüyorsunuz.

Aşağıda 2π var ve bir büyük R kare; bunun doğru olduğuna inanıyorum.

Notlarımı kontrol edeyim. Evet, bundan memnunum.

Bu, küçük r ile orantılıdır; oysaki burası $1/R$ ile azalmaktadır.

Böylece kapasitör plakaları içinde olduğumda, manyetik alanı, küçük r 'nin fonksiyonu olarak çizebilirim.

Küçük r , bunlar manyetik alanlar ve bu kapasitör plakasının yarıçapıdır.

O, bu noktaya kadar düz bir çizgi olacaktır ve sonra $1/r$ ile azalacaktır. Bunun üzerinde kendi çalışmalarınızı yapabilirsiniz. Kapasitörün uçlarının ötesine gittiğinizde, manyetik alanın, tıpkı P1 noktasının yaptığı gibi, aynı şekilde $1/r$ ile azaldığını hesaplamak, göstermek iyice kolaydır.

Şimdi kapasitörleri yüklüyorken, onların içlerindeki manyetik alanı bile hesaplamak için bir aletimiz var; daha önce buna sahip değildik.

Buradaki şiddeti, buradaki maksimum manyetik alanı, oradaki küçük r yerine büyük R 'yi yerleştirerek bulacaksınız.

Ve bunu yaparken, bu büyük R olursa, bu da $1/\text{büyük } R$ olur.

Buradaki küçük r yerine büyük R yazsaydınız, aynı sonucu bulmuş olurdunuz.

Bu kısım kabul edilebilir değildir. Doğru olmayabilir ve sizin için onu doğru yapamam.

Bu kısmın kabul edilebilir olmamasının nedeni, saçak alanlarının olmadığını varsayışımızdandır, ki bu yanlıştır.

Hesaplarımızda elektrik alanının sadece burada ve orada var olduğunu, fakat burada sıfır olduğunu, yani burada hiçbir şey olmadığını, dE/dt olmadığını, değişen elektrik alanı olmadığını kabul ettik. Bu doğru değildir.

Daha açıkçası, kenara yaklaştığınızda, bu doğru değildir.

Saçak alanları kapasitörden kapasitöre değişeceği ve elbette bu hesaplamalar kolayca yapılamayacağı için, bunu düzeltebilmemin hiçbir yolu yoktur.

Maxwell yer-değiştirme akımı terimini ortaya koymuştur.

O çok akıllı bir adamdı.

Radio dalgalarının varlığını bu terimin sonucu olarak tahmin etmiştir.

Radio dalgalarının varlığını bilmediğimiz zamanlar vardı.

Maxwell onların varlığını tahmin etmişti; fakat sadece onların varlığını tahmin etmekle kalmamış, onların hızının ne olacağını da hesaplayabilmişti.

Buna ışık hızı diyoruz. Bunu 8.02 dersinde birkaç hafta içinde kendimiz yapacağız.

Maxwell'in öldüğü yıl olan 1879'da, Alman fizikçi Helmholtz, o zaman 22 yaşında olan genç öğrencisi Hertz'e radyo dalgalarının gerçekten var olduğunu göstermesini istemişti.

Hertz ise bunu, o sıralarda mevcut ekipmanın yeterince iyi olmadığı nedeniyle kabul etmemiştir.

Fakat 7 yıl sonra, yeni ekipmanlar geliştirildiğinde, bu çetin işi kabul etmişti; bu onun 2 yılını almış, fakat sonunda radyo dalgalarının varlığını gerçekten gösterebilmişti.

Bunun ne büyük bir zafer olduğunu hayal edin! Maxwell gibi biri radyo dalgalarının var olması gerektiğini hiçbir şaysız tahmin etmişti ve burada onların varlığını gerçekten gösteren biri çıkıyordu.

Hertz büyük deneyinden 5 yıl sonra öldü. 37 yaşındaydı. Çok gençti.

10 yıl daha yaşasaydı, fizik için Nobel Ödülü ile ödüllendirilmiş olacağından hiç şüphem yok; fakat ilk Nobel Ödülü 1901’de verildi; o çok az bir süre önce ölmüştü.

Maxwell de çok genç yaşta ölmüştür, 48 yaşında.

Neden Maxwell buna tuhaf terim olan “yer-değiştirme akımı” adını vermişti?

Bir dielektriğin varlığında, eğer oraya bir dielektrik koyarsanız, değişen elektrik alanı gerçekten plakalar arasında bir akıma sebep olacaktır, çünkü polarizasyon her zaman değişecektir.

Bu indüklenen yükler yeniden düzenlenirler; böylece gerçekten bir akım vardır; fakat vakumda herhangi bir akım olmamalıdır.

Değişen veya değişmeyen herhangi bir elektrik alan, vakumda bir akıma sebep olmayacaktır.

Fakat Maxwell vakumun bir şekilde bir başka dielektrik gibi davranacağına inanmıştı: sadece κ ’sı eşit 1 olan özel bir dielektrik.

Kuşkusuz şimdi biz böyle bir durumun olmadığını biliyoruz; ama Maxwell plakalar arasından geçen gerçek bir akımın olduğuna sahiden inanmıştı.

“Yer-değiştirme akımı” belki uygun bir isim değildi; fakat bu terim gerekliydi ve bu terim elektrik ve manyetizma teorisini tamamladı.

İsmin elbette bir önemi yok.

Mamafih, Shakespeare, Romeo ve Juliet’te kendi kendine şöyle diyordu: “İsim dediğin nedir ki?”

Hatırlayın “İsim dediğin nedir ki?” “Güle başka isim de verseler, yine bu kadar tatlı kokardı.” Bunlar Shakespeare’in sözleriydi.

Şimdilik yerdeğiştirme akımını bırakacağım; fakat sonra radyo dalgalarıyla ve elektromanyetik radyasyonun yayılımı ile ilgilendiğimizde, ondan gene söz edeceğiz. Şimdi Faraday’ın eski güzel günlerine döneceğim ve ekonomimizi döndüren elektrik jeneratörlerine döneceğim.

Bunu uzun uzadıya tartışmıştık, sizinle ona yine geri dönmek istiyorum.

Hatırlarsanız, manyetik alanların içinde iletken halkalar döndürüyorduk; böylece indüklenmiş EMK'lar, akımlar oluşturuyor ve ekonomimizi desteklemiş oluyor.

Buradaki gene o halkalardan birisidir.

İşte iletken tel. Manyetik alanın yönüne dikkat etmiyorum. Onu bu şekilde istiyorsanız, öyle olsun.

Önemli olan şu: onu bu eksen etrafında döndüreceğiz ve onu bu eksen etrafında döndürdüğümüzde, indüklenmiş EMK elde edeceğiz.

Sanırım geçen derste türetmiştik; zamanın fonksiyonu olarak bu indüklenmiş EMK, sinüsodiyal veya kosinüsodiyal bir eğri olacaktır; dolayısıyla, bunun gibi görünecektir.

Bu halkayı 1 No.lu olarak adlandırıyorum; bu, 1 No.lu halka tarafından üretilmiş EMK'dır.

Fakat şimdi fiziksel olarak ayrı, elektriksel olarak bağlanmamış iki tane daha halka ekleyeceğim.

Eğer bu yönden bakarsanız, aşağıdakini göreceksiniz.

Bu 1 No.lu halkanız olacak; çünkü bu yönde bakıyorsunuz ve iletken teli sadece böyle göreceksiniz.

Şimdi 120 derece döndürülmüş ikinci bir halkaya sahibim; onu bu resimde böyle göreceksiniz. 2 No.luya bakın; bu 120 derecedir. Fiziksel olarak 120 derece döndürülmüştür.

Ve de gene 120 derece döndürülmüş üçüncü bir halkaya sahibim. O da böylesi.

Buradaki bu açı 120 derecedir ve bu açı da 120 derecedir.

Ve bu, 3 No.lu halkanın görünüşüdür.

Onların her biri bu şekle sahip bir EMK verecektir; fakat onlar şimdi 120 derecelik faz farklarına sahiptirler.

Hepsi tamamen aynı şekilde, bunun gibi, döneceklerdir ve kabaca tahmin etmeye çalışırsam, ikincisi bana bunun gibi bir EMK verecektir; bu 2 No.lu halkanın.

O, kısa bir süre sonra çıkar; 3 No.lu da gene faz farkına sahip olacak ve buna benzeyecektir. 3 numara.

İşte bunu, “üç fazlı akım” olarak isimlendiririz.

Üç fazlı bir akım, dönen bir manyetik alanla üretilir.

Size ondan bir tane yapacağız; fakat önce bunun nasıl çalışacağını anlatayım.

1 No.lunun periyodu 60 Hertz ise, o zaman 2 Numaranın periyodu da 60 Hertz'dir ve 3 No.lu da 60 Hertz'dir; fakat onlar sadece faz açısıyla ayrılırlar.

Aşağıya yatay bir masanın üstüne baktığınızı var sayın; bu yatay bir masa.

Ve burada bir solenoidim var. Bu birinci ve aynı solenoidtir.

Akım burada saat yönünde ilerlerken, orada da saat yönünde ilerleyecektir.

Fakat burası açıktır. Oraya bir şeyler koyacak.

Bunu 1 numara olarak adlandırırız.

Fiziksel olarak 120 derece döndürülmüş başka bir taneye daha sahibim.

O burada. Ayrıca bobinler var.

2 No.luyu daha sonra akımla besleyeceğim, bu bobinler vasıtasıyla.

Bu, 2 Noludur.

Üçüncü bir selenoide de sahibim ve bunlarla 3 Noluya da akım vereceğim.

İşte bobinler buradadır, bobinler burada; bu 3 numaradır.

Böylece bir, 1 numaralı akımı; iki, 2 numaralı akımı ve üç, 3 numaralı akımı görür,

1 No.daki akım maksimuma ulaştığı anda, 2 ve 3'teki akımlar iki çarpanıyla düşerler.

Bunu kontrol edebilirsiniz,

Bu ders boyunca buraya kadar biraz fazla hızlı geldim; daha iyi anlaşılması için, şimdi biraz daha yavaş gideceğim.

Halka 1'deki akım bir maksimuma ulaştığında, diyelim ki halka 1'in neden olduğu manyetik alan bu yöndedir.

Bundaki akım ve bu halkadaki akım, iki kat daha küçüktür.

Bunu kontrol etmek isteyebilirsiniz.

Fakat tesadüfe bakın ki, halka 2 tarafından ve halka 3 tarafından üretilen manyetik alanların vektörel toplamı bu yönde olur, böylece net manyetik alan bu yöndedir.

Şimdi bir periyodun üçte biri kadar sonrasına bakalım.

Şimdi, 2 No.lu halkada akım maksimuma ulaşır; böylece onun manyetik alanı şimdi bu yöndedir ve o öyle olur ki, diğer iki halka tarafından üretilen manyetik alanların vektörel toplamı da, ne tesadüf ki, şimdi tam bu yönde olur.

Ve şimdi bir periyodun üçte biri sonrasına tekrar bakarsak; 3 Nolu halkadan geçen akım bir maksimuma ulaştığında, manyetik alan bu yönde olacaktır ve diğer iki halkanın manyetik alanlarının vektörel toplamı da bu yönde olacaktır.

Ve şimdi ne olduğuna bakalım:

Bir tam periyotta, manyetik alan böyle başladı.

Bir periyodun üçte biri sonra o bu şekildeydi ve bir periyodun üçte biri sonra da böyleydi.

Böylece şimdi oluşturduğumuz şey, dönen bir manyetik alandır; bu alan, bir periyotta etraftaki tüm yolu, 360 dereceyi, döner.

Tamam, hadi şimdi orijinal derse geri dönelim.

Alternatif akımınızın bir periyodunda, bir kere döner.

Bu 60 Hertz'lik bir akımsa, 60 Hertz ile, yani saniyede 60 kez, dönecektir,

Buraya bir mıknatıs koyarsak, bu mıknatıs onun etrafında dönmek isteyecek---bu dönen manyetik alanı izlemek isteyecektir.

Bunu **senkronize motor** olarak isimlendiririz.

Dolayısıyla böyle bir senkronize motor çarkının kendisi bir mıknatıs olacak ve alternatif akımınızın frekansı ile dönecektir.

Fakat manyetik alanı döndürmek için, üç fazlı bir akıma ihtiyaç duyarsınız.

Buraya da yerleştirebilirim--bu yine yatay bir yüzeydir; o buradadır, onu tam burada yapacaksınız.

O buradadır--- üç-fazlı akımlı şu çılgın halkalar buradadır.

Buraya iletken bir küre de koyabilirsiniz; ben burada iletken bir yumurta kullanacağım.

Ve manyetik alan döndüğünde, iletken kürenin ya da yumurtanın yüzeyinden geçen manyetik akı sürekli olarak değişir ve böylece girdap akımları oluşur.

Etrafta dolanan bir girdap akımı varsa ve bir manyetik alanınız varsa, o zaman bölgedeki manyetik alan akım üzerinde bir torka neden olacaktır.

Benzer şekilde, yapacağınız motoru tartıştığımızda, bir manyetik alan vardı ve bir akım vardı; bu, bir torka neden oluyordu. Aynı şekilde girdap akımı üzerinde de bir tork elde edersiniz ve bu tork, iletken kürenizi döndürmeye başlar.

Her zaman girdap akımı olacaktır, çünkü manyetik alan dönmesini sürdürecektir; böylece daima aynı yönde bir tork söz konusudur ve dolayısıyla bu iletken nesne dönmeye başlayacaktır; işte bunu "**indüksiyon motoru**" olarak adlandırıyoruz.

İndüksiyon motorları sürtünme fırçalarına sahip değildir.

İndüksiyon motorunun ne kadar hızlı olacağı iletken nesneye bağlıdır.

Bu iletken nesne bir küreyse, dönme frekansı belki de 60 Hertz'e çok yakın olacaktır. Çünkü bir küre, girdap akımlarının dolanabileceği birçok olanağa sahiptir. Oysa bir halka alırsanız – ki bunu deneyeceğiz – dönen manyetik alan içindeki bir halkayı döndürmeye çalışırsanız, bu durumda girdap akımları için mevcut yollar elbette çok sınırlıdır, aslında sadece halka boyunca dolaşırlar.

Atölyelerimizde ve bodrumlarımızda bulunan sabit aletlerin çoğu indüksiyon motorlarıdır. Elektrikli testere ve matkap makineleri, elektrikli çim biçme makinesi de indüksiyon motorlarıdır.

Şimdi size üç-fazlı akımların ne yapabildiklerini göstermek istiyorum; ilkin burada bulunan şu birimi size göstereceğim; bunlar anlattığım bobinler, onların içinden üç-fazlı akımı geçireceğim.

Işıkları uygun hale getirmeliyim. Onu orada görüyorsunuz. Halkalar çok tuhaf bir şekilde sarılmış.

Dersten sonra, biraz daha yakına gelebilirsiniz ve burada dönen bir manyetik alan görebilirsiniz.

60 Hertz kullanıyoruz; saniyede 60 kez dönüyor.

Ve yapacağım ilk şey, sanırım, biraz vahşi tarzda bir şey.

Orada, üste küçük mıknatıslarla kaplı bir mukavva koyacağım.

Onlar rastgele dizilmişlerdir. Onlar asla dönemezler. Onlar, çok sürtünmeli, düz, küçük mıknatıslardır.

Eğer onları dönen bir manyetik alana maruz bırakırsam, o zaman onlar çıldıracaklardır. Size çıldıracaklarını söylemiştim.

Bunun öğrencilere gösterilmesi düşünülmüyor, fakat tamam.

Şimdi burada iletken bir yumurtam var.

Bu nesne girdap akımlarının akması için geniş olanaklara sahiptir; şimdi bu bobinlere uygun bir akım, üç-fazlı bir akım verirsem, manyetik alan girdap akımlarına etki eder ve yumurta dönmeye başlar; ve aslında ben dönme hızını ölçmeye çalışıyorum.

Dönme hızı, dakikada 3600 devirin biraz altındadır.

Dakikada 3600 devir, 60 Hertz demektir. O, buna çok yakındır.

Bu nesneyi manyetik alanın dönmediği yönde çevirirsem, “Üzgünüm, olmaz”, der.

Tam tersine döner; çünkü manyetik alan onu götürmek istediği yönde esir alacaktır.

Böylece orada bir indüksiyon motoruna bakıyoruz.

Burada bir halka var. Bir halka girdap akımlarını geçirecek fazla olanağa sahip değildir.

Girdap akımları sadece bunun gibi gidebilecektir, ya da bunun gibi; değil mi?

Fakat doğru şeyi yaparsam, muhtemelen onu hala döndürebilirim.

Her şeyden önce onu doğru yönde döndürmeliyim, sanırım bu olabilir.

İşte gidiyor. Girdap akımlarının sınırlı yolları nedeniyle, hiç bir yerde yumurta kadar hızlı gitmez. Fakat işte dönüyor.

O yapabileceğinin en iyisiyle bu manyetik alanı izlemeye çalışıyor, fakat olanağı çok sınırlı.

Söylemek bile gereksiz; eğer onu yanlış yönde döndürmeye çalışırsam, elbette duracaktır. Ve özel geometrisinden dolayı, yönünü değiştirecek yumurta gibi bir şekli yoktur.

Büyülü topaç için size bir açıklama borçluyum. Eğer henüz kendiniz bir açıklama bulamadıysanız.

Önce basit bir sonuca varayım ve hepiniz bu sonuca varmak zorundasınız.

Ara sınav esnasında onu size gösterdiğim zaman, şu topaç bir saatten fazla bir zamandır dönüyordu. Aslında, o ertesi güne kadar döndü.

Enerji herhangi bir yerden gelmelidir ve varabildiğimiz tek sonuç, enerjinin bu kutunun içinden geldiğidir; kutunun içinde bir şeyler olmalıdır.

Açıkçası bu kutuda bir batarya olmalıdır ve vardır. Fakat bu, henüz onun nasıl çalıştığını size söylemiyor.

Ve itiraf edeyim ki, onun nasıl çalıştığını tam olarak anlamam çok zamanımı aldı.

Bunu size açıklamak istiyorum ve sonra onu size tekrar göstereceğim.

Onun nasıl görüldüğünü hatırlayın. Topacın içinde bir mıknatıs var.

Böylece, bu topaç. Diyelim ki, bu kuzey, bu güney ve bu da topaç olsun.

Onu döndürüyoruz. Onu çeviriyoruz.

Kutunun içinde, kutunun tam merkezinde, bir solenoid, bir anahtar ve 9 voltluk bir üreteç var. Bu solenoidin içinde de bir parça demir.

Dersimizde bunu tartışmamıştık. Açıklama için bu önemli değil.

Burada neden biraz demir bulunduğunu sonra anlayacaksınız. O manyetik alanı böylece biraz daha kuvvetlendirir.

Bu, topacı döndürdüğüm küçük platformun tam merkezindedir.

O, konkav bir platformdur ve burası küçük plastik bir düğümdür, böylece topaça ona çarptığında, zıplar.

Şimdilik onun, yukarıdan gelirken bu solenoide kuzey kutbundan yaklaşıyor bir şekilde döndüğünü düşünün.

Bu solenoidde, bu bobinde şimdi ne olacak? Bu bobinin yüzeyinden geçen manyetik akıyı değiştiriyorsunuz ve böylece indüklenmiş bir EMK, indüklenmiş bir akım yaratıyorsunuz.

Ve bu akım buraya koymamış olduğum bir transistör tarafından algılanır ve transistör bu anahtarı kapatır ve şimdi bataryadan enerji soğurulur ve bobinden akım, çok yüksek akım geçer, öyle ki topaça güney kutup haline gelir.

Bir bobinin varsa ve ondan akım geçiriyorsanız, böyle bir manyetik alan elde edeceğinizi hatırlayın. Bu durumda, bu kuzey kutup olur ve bu da güney kutup.

Eğer akımın yönünü değiştirirseniz, o zaman bu güneydir ve bu ise kuzey.

Oradan çıkan bu manyetik alan üç-boyutlu olarak tüm yönlerde dışarı yayılıyor.

O, bunun gibi gidiyor ve bunun gibi dışarı yayılıyor.

Böylece o, bu bobine yaklaştığında, manyetik akıda bir değişim vardır.

Ve bu, güney kutup haline gelir. Kuzey kutup güney kutup tarafından çekilmiş olur.

Şimdi sizin buna yukarıdan bakmanızı sağlayayım.

Burası yukarıdan görünen topaça, böylece o bu yönde dönüyor.

Ve diyelim ki burası bu bobindir. Bu kuzey kutuptur ve bu güney kutuptur.

Az önce sizinle bataryadan geçecek olan akımın, bunu bir güney kutup yapacağını tartıştık.

Bu bobinden akım sadece tek bir yönde akabilir. Bu, tıpkı onun tasarlandığı şekildir.

Böylece her ne zaman akım geçerse, bu her zaman bir güney kutup haline gelir.

Kuzey kutup güney kutup tarafından çekilir.

Böylece onun yukarıya tork olacağına dikkat edin. Şu ana kadar her şey yolunda.

Biraz zaman geçtikten sonra, yukarıdan bakınca, kuzey kutup burada olacaktır ve güney kutup orada olacaktır; o biraz daha ileriye döndü, ve bobin buradadır.

Böylece şimdi kuzey kutup ayrılıyor.

O uzaklaşıyor. O yaklaşmıyor, uzaklaşıyor.

Bu güney kutup olarak kalsaydı, güney kutuplar ve kuzey kutuplar birbirlerini çekeceklerinden, bu korkunç olurdu. Bunu istemezsiniz.

Transistor, bobindeki EMK'nın yön değiştirdiğini algılar.

Yön değiştirmek zorundadır; çünkü kuzey kutup içeri gelirse, EMK bir yönde olur, fakat kuzey kutup ayrılırsa, tabi ki EMK diğer yönde gider.

Bir tersine döndürme söz konusu

Ve böylece transistor ne yapar? Anahtarı açar ve böylece burada kuzey kutup yoktur ve burada güney kutup yoktur, bu yüzden bu şey daha ileri dolanmaya başlar.

Güney kutup bu solenoide yaklaştığında ne olur?

Tamam, işte şimdi güney kutbun bu solenoide yaklaşacağı durum.

O bu yönde dönüyor. İşte bobin.

Faraday'ın bakış açısından, kuzey kutbun uzaklaşması ya da güney kutbun yaklaşması arasında hiç fark yoktur.

Kendiniz bunu muhakeme edebilmelisiniz.

Bu tamamen aynı şey ve transistor gerçekten akımın hala yanlış yönde olduğunu bilmektedir. Ve anahtarı açık tutar.

Hiçbir şey yapmaz, güney kutup yaklaştığı sürece bu bobinde akım yoktur.

Çünkü hatırlayın, akım sadece tek yönde gidebilir, sadece bunu bir güney kutup yapabilir. O, akımın her iki yönde de gidebileceği şekilde tasarlanmış olabilirdi.

Bu onu daha pahalı yapardı. Sadece ekonomik bir sorun.

Burada hiçbir şey olmayacak.

Fakat şimdi, güney kutbun ayrılma, uzaklaşma zamanı gelir; şimdi bobinimiz burada olsun.

Bir güney kutbun uzaklaşması Sayın Faraday için bir kuzey kutbun yaklaşması ile tamamen aynıdır.

EMK, burada nasıl idiye, şimdi bobin içinde aynı yöndedir.

Ve şimdi transistor “yaşasın” diyor, “bu iyi”.

“Anahtarı kapatıyorum ve bir akım geçireceğim” diyor; böylece bu güney kutup olur.

Güney kutup ve güney kutup birbirini iter; şimdi bu şey tekrar bir geri tepme veriyor.

Kuzey kutup yaklaştığında, o, güney kutbu çeker; güney kutup uzaklaştığında, o güney kutbu iter.

O, tam dönme başına sadece yarı güçle çalışan, çok ama çok zekice tasarlanmış, bir indüksiyon motorudur.

Ve onu size tekrar göstereceğim.

Şunu görmenizi istiyorum: bu topaç gerçekten merkeze yaklaştığında, onun dönmeye başladığını görebilirsiniz.

Bu bobine yakın duruma geldiğinde, gerçekten enerjisini alıyor.

Hangi yönde döndürdüğünüze bakmaksızın da çalışıyor. Bu harikadır.

Onu saatin yönünde veya saatin aksi yönünde çevirebilirsiniz. Hiç fark etmez.

Ve sanırım, bu topacı burada göreceksiniz. İşte orada.

Ve bu, onu görebilmeniz için belki de en iyi yoldur.

İşte bu çok basit devrenin bulunduğu kutu burada; ve topaç da işte burada.

İçinde küçük bir çubuk mıknatıs var.

Onun gerçekten döndüğünü görmenizi sağlamak için, onu sadece birazcık döndürmeye çalışacağım.

Onu görebilmeniz çok da kolay olmayabilir; fakat şimdi gerçekten döndüğünü görmenizi sağlayabilirim.

Ve o zaman sürtünmesini kaybeder.

Yüzey konkav olduğu için o daima merkeze geri döner ve sonra burada merkeze gider ve tekrar geri teper, yukarı doğru döner.

Ve bataryanız çalıştığı sürece, ki yaklaşık birkaç gün çalışır, bu devam edebilir.

Onu saatin tersi yönünde de döndürebilirim. Bu o kadar kolay olmaz; ama eğlenceli.

Topacı hiç saatin tersi yönünde çevirmeyi denediniz mi?

Bu çok zordur! Bunun nedenini bilmiyorum, ama herhalde sağlam olduğum içindir.

Deneyeceğim. Görüyorsunuz, beceremedim.

Ah, bu hoş bir tane.

Ona küçücük bir spin verdim.

Ondan hoşlanmıyor. Merkezin yakınında kalıyor.

Oh, bundan hoşlanmıyor.

Merkezden biraz uzak olmak zorunda.

Ah, sanırım oldu.

Oh, hayır, çok iyimser. Bir insan için bir şeyi saatin tersi yönünde döndürmenin zor olması tuhaf, değil mi? Tamam, onu becerdim.

Yavaşça içeri giriyor, şimdi sürtünme. Ve merkeze yaklaştığında, orada bir tepme yiyor.

Şimdi yukarı dönüyor. Ah, şimdi onu gerçekten görebilirsiniz.

Yukarı dönmeye başladı.

Bunu gördünüz mü? Geçekten döndü.

Sizin için müthiş başka bir oyuncağa sahibim; o da bir indüksiyon motoru.

Ve bunlardan birini orada göreceksiniz, ilk olarak size bunun nasıl çalıştığını açıklamak istiyorum.

Bu gerçekten güzeldir. İki-fazlı akımla çalışan bir indüksiyon motoru.

Burada solenoidimiz var.

O, bu, bu bebek burada, kocaman.

Ve oradan 60 Hertz'lik dalgalı akım geçireceğiz; burada bir tane var; ondan da 60 Hertz alternatif akım geçecek.

İşte bobin burada. Bir tanesini göstermek kolay. Diğer, çok ağır.

Bu iki akımın faz farkı 90 derece. 120 değil, fakat 90.

Böylece o iki-fazlı bir akım.

Akım bunlardan birinde maksimum olduğunda, diğerinde 0 dır.

Bunlardan birinde maksimum olduğunda, diğerinde 0 dır.

Akımın bunlardan birinde maksimum olduğu ana bakalım.

Bu bobin tarafından oluşturulan manyetik alan, diyelim ki, bu yönde olsun.

O zaman burada akım yok.

Fakat çeyrek periyot sonra, bunda akım yoktur fakat diğerinde vardır.

Şimdi bunun ürettiği manyetik alanın bu yönde olduğunu varsayalım.

Ve şimdi gene, böyle gitmekte olan dönen bir manyetik alana sahip olduğumuzu göreceksiniz

Buraya bir kap, bir boya kabı koyarsanız, - kahve kabı kullanacağız, işte tam burada - kabın yüzeyinde, böylece kabı buraya çiziyorum, fakat o gerçekte orada.

Evet, kabın yüzeyinde girdap akımları oluşacak, çünkü her zaman manyetik akı değişimine sahipsiniz; ve bu girdap akımları manyetik alanla kabın üzerine bir tork uygulayacaklar.

Ve tork daima aynı yönde olacak ve cisim dönecektir.

Bir indüksiyon motorunun başka bir örneği. Çok zarif bir motor.

Ve sizin bunu görmeyi istiyorum; orada onu göreceksiniz.

Kabın çok özel bir kap olduğunu söylemek gereksiz: Maxwell House kahvesi.

Elbette.

Ve bunu görüyorsunuz? Maxwell House.

Tamamdır; şimdi bunu çalıştırabilir miyiz, bakalım. İşte çalışıyor.

Hoş bir indüksiyon motoru örneği. Şimdi sizi sınavacağım.

Bu bobini buraya alırsam, ki alırım, ve buradan buraya çevirirsem ne olur diye size soracağım.

Kim hiçbir şey olmayacaktır diye düşünüyor?

Ve şimdi hepiniz benden korkuyorsunuz, doğru mu?

Kim onun gıcırtyla duracağını düşünüyor?

Gıcırdayarak durma.

Kim motorun yönünün değişeceğini düşünüyor?

Sizin için iyi.

Bunu çevirdiğimde, manyetik alanın bu yönde dönmeyeceğini, fakat bu yönde döneceğini kendiniz kolayca çıkarabilirsiniz; böylece motor yönünü değiştirecektir.

Şimdi bunu yapacağım. Onu izleyin.

Şimdi o, zıt yönde döndürme uygulamaktadır.

Bu gıcırdayarak durmaya yol açıyor.

Haklıydınız.



Diğer kişiler de haklıydı, çünkü şimdi onun yönü değişecek.

Ve bunun olduğunu orada görüyorsunuz.

Bir indüksiyon motorunun dikkat çeken başka bir örneği.

Gelecek ders, bir kadını havaya kaldıracağım.