

## PİLSİZ EL FENERİ TASARIMI

Bu yazı CYBER ELEKTRONİK dergisinin Nisan 2005 sayısında yayınlanmıştır.

El fenerinizi pil kullanmadan çalıştırabilmeniz mümkün olsaydı ne iyi olurdu, öyle değil mi? Bir hayal gibi görünen bu fikrin teorik alt yapısı, yaklaşık iki yüz yıl önce tamamlandı aslında! 1791-1867 yılları arasında yaşamış olan ünlü bilim adamı Michael Faraday'ın, henüz 30'lu yaşlarında iken geliştirdiği indüksiyon yasası ile pilsiz el feneri yapımının önü açılmış oldu. Her ne kadar, pilsiz el fenerinin teorik olarak çalışabileceği kanıtlanmış olsa da, pratik olarak gerçekleştirilebilmesi günümüze kadar mümkün olmadı. Bu yazıda, siz Cyber Elektronik dergisi okurlarına elektromanyetik teorinin en ilginç uygulamalarından biri olan pilsiz el fenerinin tasarımından bahsedeceğim. Verilen detaylı bilgiler sayesinde sizler de kendi pilsiz el fenerinizi yapabileceksiniz.

### Çalışma Şekli

Günümüzde pilsiz el feneri pek çok firma tarafından üretiliyor ve piyasada kolayca bulunabiliyor. Tasarım harikası bu fenerler hem çok sağlam, hem de kırılmaz ve su geçirmez özelliklere sahip. Aşağıdaki resimlerde piyasada satılan çeşitli tip pilsiz el fenerleri görülüyor.



İlk bakışta, fenerin iç kısmında ince telden sarılmış bir bobin ve silindir şeklinde bir mıknatıs göze çarpıyor. Bu bobin ve mıknatıs çifti sayesinde enerji üretimi mümkün oluyor. Üretilen enerji, fenerin iç kısmında bulunan büyük kapasiteli bir kondansatörde depolanıyor ve bir LED yardımıyla bu enerji ışığa dönüştürülüyor. Böylece herhangi bir harici enerji kaynağına gerek olmadan dakikalarca aydınlatma sağlanabiliyor. İşte, fenerin yapısı bu kadar basit.



Pilsiz el fenerini normal el fenerinden ayıran en önemli özelliği, gerekli enerjinin indükleme prensibi ile fenerin içinde üretiliyor olmasıdır. Yeterli miktarda enerji depolayabilmek için öncelikle feneri 30 saniye boyunca yukarı aşağı sallamak gerekiyor. Bu işlem, değişken manyetik alan oluşturmak için gereklidir. Her seferinde bobinin içinden hızla geçen güçlü mıknatıs sayesinde, bobinde yüksek genlikte bir gerilim indükleniyor. Bu gerilim büyük kapasiteli bir kondansatörü şarj ediyor ve LED'in en az 5 dakika boyunca (bazı modellerde ise 15-20 dakika boyunca) parlak bir ışık yaymasını sağlıyor.

### Teori

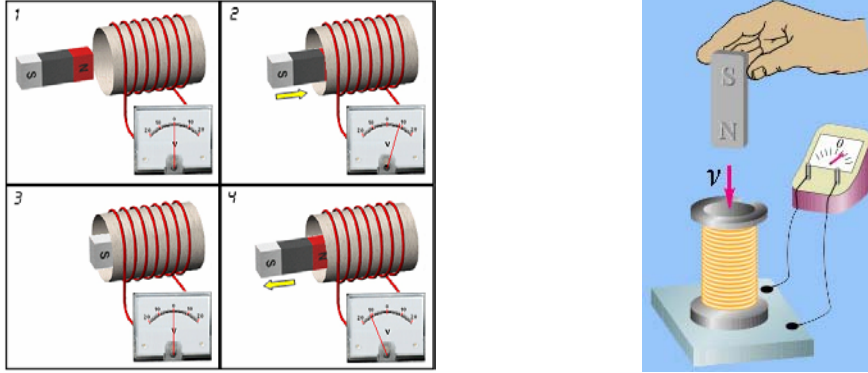
Pilsiz el fenerinin çalışma prensibi Faraday yasasına dayandığından öncelikle bu yasadaki bahsetmek gerekiyor. Faraday indüksiyon yasasına göre, hareketsiz haldeki bir iletken çerçeve, değişken manyetik alan içerisinde bulunursa çerçeve uçları arasında bir gerilim indüklenir. İndüklenen gerilimin değeri manyetik akının birim zamandaki değişim hızına ( $d\phi/dt$ ) ve iletkenin çerçevenin sarım sayısına ( $N$ ) bağlıdır. Eğer iletken çerçeve uçları bir

direnç üzerinden birleştirilirse, oluşan kapalı devreden bir akım akar. Aşağıda Faraday yasasına ait matematiksel denklemler görülüyor.

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} = -NS \frac{dB}{dt}$$

Aşağıdaki çizimlerde mıknatıs ve bobin kullanarak nasıl gerilim indüklendiği gösteriliyor. Çizimlerden anlaşıldığı gibi, mıknatıs bobine yaklaşırken bobinde pozitif bir gerilim indüklenir, mıknatıs bobinden uzaklaşırken ise negatif bir gerilim indüklenir.



Kısaca, değişken bir manyetik alan kaynağına ve çok sarımlı bir bobine sahipsek elektrik enerjisi üretmemiz mümkün görünüyor. Ancak, pilsiz el feneri yapımında karşılaşılan sorun, enerji üretme aşamasında değil, enerjinin depolanması aşamasında ortaya çıkıyor.

Bilindiği gibi enerji depolama amacıyla kullanılan temel devre elemanı kondansatördür. Faraday yasasına göre enerji üretilebildiğine göre, bu enerji bir kondansatörde depolanabilir. Diğer bir değişle bobinde indüklenen gerilimle kondansatör şarj edilebilir. Bu aşamada sorulacak önemli soru şudur: Acaba kondansatörün kapasitesi ne kadar olmalı?

Eğer, el fenerinin uzun süre ışık yayması isteniyorsa kondansatörde depolanan enerji miktarının da büyük olması gerekir. Doğal olarak, depolanan enerji ne kadar büyük ise kondansatörün kapasitesi de o kadar büyük olmalıdır. Kapasite değeri hakkında fikir vermesi açısından 1000uF (mikro farad) kapasiteli bir kondansatör düşünelim. Bu kondansatörden 5mA akım çektiğimizi varsayalım (Bu küçük değerdeki akım, fenerdeki LED'in parlak bir ışık yayması için yeterlidir). Acaba bu şartlarda kondansatörün deşarj süresi ne kadar olur? Gerekli hesaplar yapılırsa bu sürenin birkaç saniye civarında olduğu görülür. Eğer kondansatörün daha uzun sürede (örneğin 1 dakikada) deşarj olması isteniyorsa, 1000uF kapasiteli kondansatörlerden 50-60 tanesi paralel bağlanarak kapasite değeri arttırılmalıdır. Ortaya çıkan boyutu siz düşünün artık.

Kondansatörleri paralel bağlayarak büyük kapasite değerleri elde etmeye çalışmak, kondansatör grubunun fiziksel boyutunu çok arttırdığından iyi bir fikir değildir. Bu nedenle büyük kapasiteli tek bir kondansatör kullanılmalıdır. Aşağıdaki resimde 100uF, 1000uF, 2200uF, 4700uF ve 300.000uF (0.3F) kapasiteli elektrolitik kondansatörler yan yana dizilmiş halde görülüyor. Görüldüğü gibi kapasite değeri ile kondansatör boyutu doğru orantılıdır. O halde, pilsiz el fenerinde kullanmak üzere büyük kapasiteli ve küçük boyutlu bir kondansatör bulmak gerekiyor. Aksi takdirde, elde taşınabilir boyutta bir pilsiz el feneri yapmak mümkün değildir.



Günümüz teknolojisi sayesinde bu isteğimiz çoktan karşılandı aslında. Piyasada 1 Farad kapasiteli kondansatörler kolayca bulunabiliyor artık. Sahip oldukları çok yüksek kapasiteye rağmen bu kondansatörlerin boyutu gerçekten çok küçük. Birim hacme çok büyük miktarda yük depolayabilen teknoloji sayesinde bu kadar küçük boyuta ulaşılmış oluyor. Literatürde, yüksek kapasiteli bu kondansatörler, “super capacitor”, “gold capacitor” veya “memory backup capacitor” olarak adlandırılıyor. Çeşitli firmalar tarafından üretimi yapılan 1F’lık kondansatörleri yurtdışından veya İstanbul Karaköy’deki elektronikçilerden temin edebilirsiniz.

Pilsiz el feneri yapımında büyük kapasiteli kondansatör kadar önemli bir eleman daha var. O da neodyum mıknatıslar. Bu mıknatıslar, sıradan mıknatıslara kıyasla çok güçlü manyetik alana sahipler. Eğer mıknatıslar birbirine yapışmışsa onları elle ayırmak için hayli çaba göstermek gerekir. Pilsiz el fenerinde 3 adet neodyum mıknatıs kullanılıyor. Her biri 11800 Gauss (yani 1.18 Tesla) değerindeki bu mıknatısların dış çapı 20mm ve kalınlıkları 10mm’dir. Orta kısmı delik olan halka tip mıknatıslar kullanılabileceği gibi, silindirik tiptekiler de kullanılabilir. Pilsiz el fenerinde kullanılan bu neodyum mıknatısları [www.miknatis.net](http://www.miknatis.net) internet adresinden temin edebilirsiniz.



Mıknatısların oluşturduğu güçlü manyetik alan nedeniyle kullanırken çok dikkatli olmak gerekiyor. Mıknatıslar her türlü elektronik cihazdan (bilgisayar ekranı, televizyon, kredi kartı, disket, kaset v.s.) en az 1 metre uzakta tutulmalıdır. Ayrıca sağlık açısından göze ve baş bölgesine mıknatısları kesinlikle yaklaştırmamak gerekiyor.

Fenerin diğer önemli elemanı da kondansatörde depolanan enerjiyi ışığa dönüştüren LED’dir. Piyasada pek çok renkte ve parlaklıkta LED bulunabiliyor. Fenerin yayacağı ışığın parlak olması için ışık şiddeti yüksek bir LED seçmek gerekiyor. Örneğin ışık şiddeti en az 5000 mcd (mili kandil) olan beyaz bir LED bu iş için uygundur. Eğer istenirse diğer renklerde parlak LED’ler de kullanılabilir.

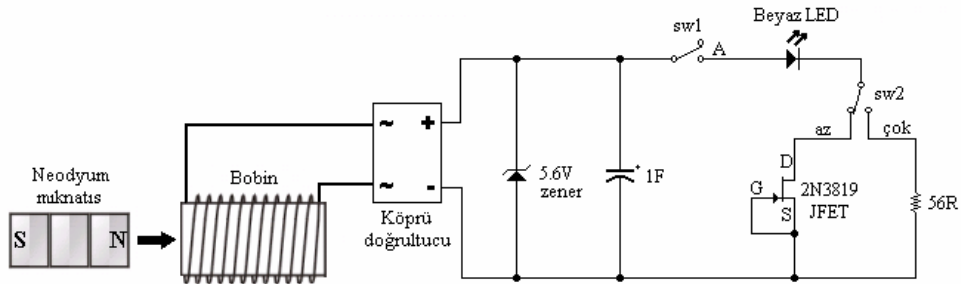


Fenerde kullanılan kondansatör, mıknatıs ve LED'den bahsettik. Şimdi de fenerin dış aksamından ve sarılacak bobinden bahsedelim. Fenerin dış gövdesi için mutlaka plastik bir malzeme kullanmak gerekiyor. Aksi halde mıknatısın hareketini frenleyici bir kuvvet oluşur. Plastik bir boru fenerin gövdesi için uygun bir seçim olacaktır. Tesisat malzemesi satan bir yerden kolaylıkla bulunabilen, dış çapı 32mm ve iç çapı 20mm olan plastik boru tam istenilen ölçüdedir. Bu çapta boru kullanılmasının nedeni, 20mm çaplı neodyum mıknatısların boru içinde rahatça hareket edebilmesini sağlamaktır. Plastik borudan 16cm uzunluğunda bir parça kullanmak fenerin gövdesini oluşturmak için yeterlidir.

Fener yapımının bir diğer önemli aşaması, plastik boru üzerine bakır telle yapılan sarım işlemidir. Tabiki plastik boru bu haliyle sarım yapmak için uygun durumda değildir. Bu nedenle, öncelikle plastik borunun tornada işlenmesi gerekiyor. Plastik borunun orta kısmındaki 30mm genişliğindeki kısım tornada inceltilerek, dış çap 23mm'ye kadar düşürülmelidir. Bu işlemin yapılmasının nedeni mıknatısların boru içinde hareket ederken bobine olabildiğince yakın olmalarını sağlamaktır. Böylece mıknatıslar ile bobin arasındaki manyetik etkileşim daha güçlü olur. Aşağıdaki resimde plastik borunun işlenmiş hali görülüyor. Plastik boru istenen şekilde hazırlandıktan sonra boru üzerine 0.25mm çaplı bakır telden yaklaşık 1800 sarım sarmak gerekiyor. Sarım işlemi için gereken tel uzunluğu yaklaşık 160 metredir. Bu uzunluktaki teli boru üzerine sıkıca ve özenli şekilde sarmak saatlerce sürdüğünden bobinajcılarının kullandığı özel sarım makinalarından yararlanılabilir. Böylelikle çok kısa sürede sarım işlemini tamamlamak mümkün olur. Sarım işlemi tamamlandığında bobinin dış görünümü aşağıdaki gibi olmaktadır.



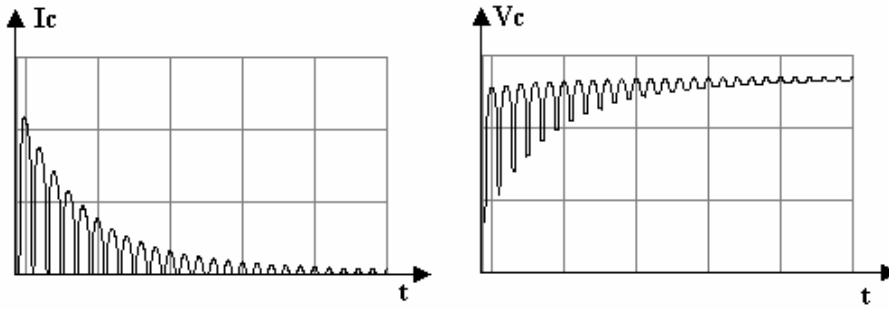
Fenerin mekanik kısmı böylece tamamlanmış oldu. Geriye elektronik devrenin gerçekleştirilmesi ve montaj işlemleri kaldı. Fenerin çalışmasını sağlayan elektronik devre şeması aşağıda görülüyor.



Elektronik devrenin nasıl çalıştığından kısaca bahsedelim. Mıknatısın bobin içerisinde yukarı aşağı hareket etmesiyle bobinde alternatif bir gerilim indüklenir. Bu alternatif gerilim bir

köprü doğrultucu ile doğrultulur ve doğrultucu çıkışına bağlı olan 1F'lık kondansatör şarj edilir. Kondansatöre paralel bağlı 5.6V'luk bir zener diyot ile kondansatör geriliminin belirli bir değeri aşması önlenir. Fenerin çalıştırılması için iki adet anahtara ihtiyaç vardır. Sw1 adlı anahtar, ışığı yakıp söndürmek için kullanılırken, sw2 adlı anahtar ışık şiddetini az veya çok şeklinde ayarlamak için kullanılır. Sw2 anahtarı az kademesindeyken 2N3819 JFET'li akım kaynağı sayesinde LED'den 5mA'lık sabit bir akım geçer. Bu sayede, kondansatör gerilimi zamanla azalsa da LED'in parlaklığı dakikalarca aynı seviyede kalır. sw2 anahtarı çok kademesine alındığında ise LED akımı sadece direnç tarafından sınırlanır. Bu durumda LED'in başlangıç akımı 20mA olur ve kondansatör gerilimi azaldıkça LED akımı da hızla azalır. Eğer, kısa süre boyunca yüksek parlaklıkta ışık gerekiyorsa sw2 anahtarı çok kademesinde olmalıdır.

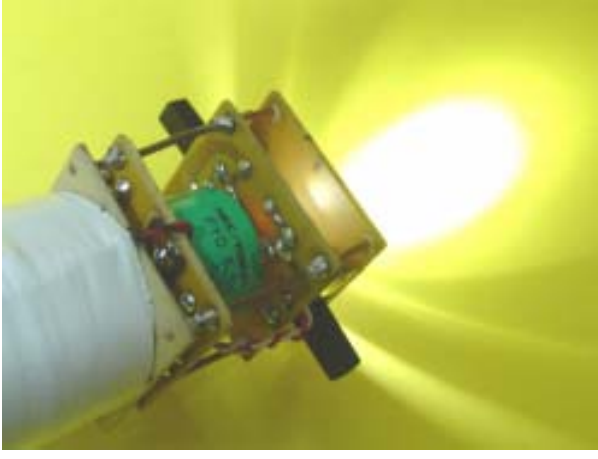
Aşağıda, pilsiz el feneri devresine ait EWB simülasyonu sonuçları görülüyor. İlk şekilde, kondansatörü şarj eden akımın, ikinci şekilde ise kondansatör geriliminin zamana bağlı değişimi görülüyor. Simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi kondansatörden geçen sinüsoidal akım darbeleri sayesinde kondansatör yavaş yavaş şarj olmaktadır.



Fener yapımının son aşaması devre şemasında görülen elemanların uygun büyüklükteki bir bakır plaket üzerine yerleştirilmesidir. PCB yapımı tamamlandıktan sonra, devre şemasında görülen köprü doğrultucunun iki ucu, bobinin boşta kalan 2 ucuna lehimlenir. Ardından neodyum mıknatıslar, hazırlanan plastik boru içine yerleştirilerek borunun alt ve üst kısmı uygun bir şekilde kapatılır. PCB kart plastik boruya monte edildikten sonra fenerin yapımı tamamlanmış olur. Aşağıda, pilsiz el fenerinin tamamlanmış hali görülüyor.



Artık, gerçekleştirdiğimiz fenerin nasıl çalıştığını test edebiliriz. Kondansatörün yeteri kadar şarj olması için feneri en az 30 saniye boyunca sallamak gerekiyor. Fakat, ilk kullanımda kondansatör tamamen boş olduğu için daha uzun süre sallamak gerekir. Sallama işleminin ardından sw1 anahtarı A konumuna alınarak fener çalıştırılır. Aşağıdaki resimlerden de görüldüğü gibi pilsiz el feneri parlak bir ışık yaymaktadır.



Fener açık kaldığı sürece LED'in yaydığı ışığın şiddeti zamanla azalacaktır. Ancak yapılan testler sonucunda, fener 10 dakika açık kaldıktan sonra bile ortamı aydınlatacak kadar ışık yaydığı görülmüştür. Eğer ışık şiddetinin hep aynı kalması isteniyorsa, feneri birkaç dakikada bir 5-10 kez sallayarak kondansatörü yeniden şarj etmek gerekir. Böylece kesintisiz bir ışık kaynağı elde edilebilir.

Kullanım alanı oldukça geniş olan pilsiz el feneri, pil temin etmenin kolay olmadığı zamanlarda ve her türlü karanlık ortamda rahatlıkla kullanılabilir. Cyber Elektronik dergisi okuyucularına faydalı olması dileklerimle, herkese çalışmalarında başarılar dilerim.

Arş. Gör. Yavuz EROL  
Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü  
yerol@firat.edu.tr