

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

# BİLİM ve TEKNİK



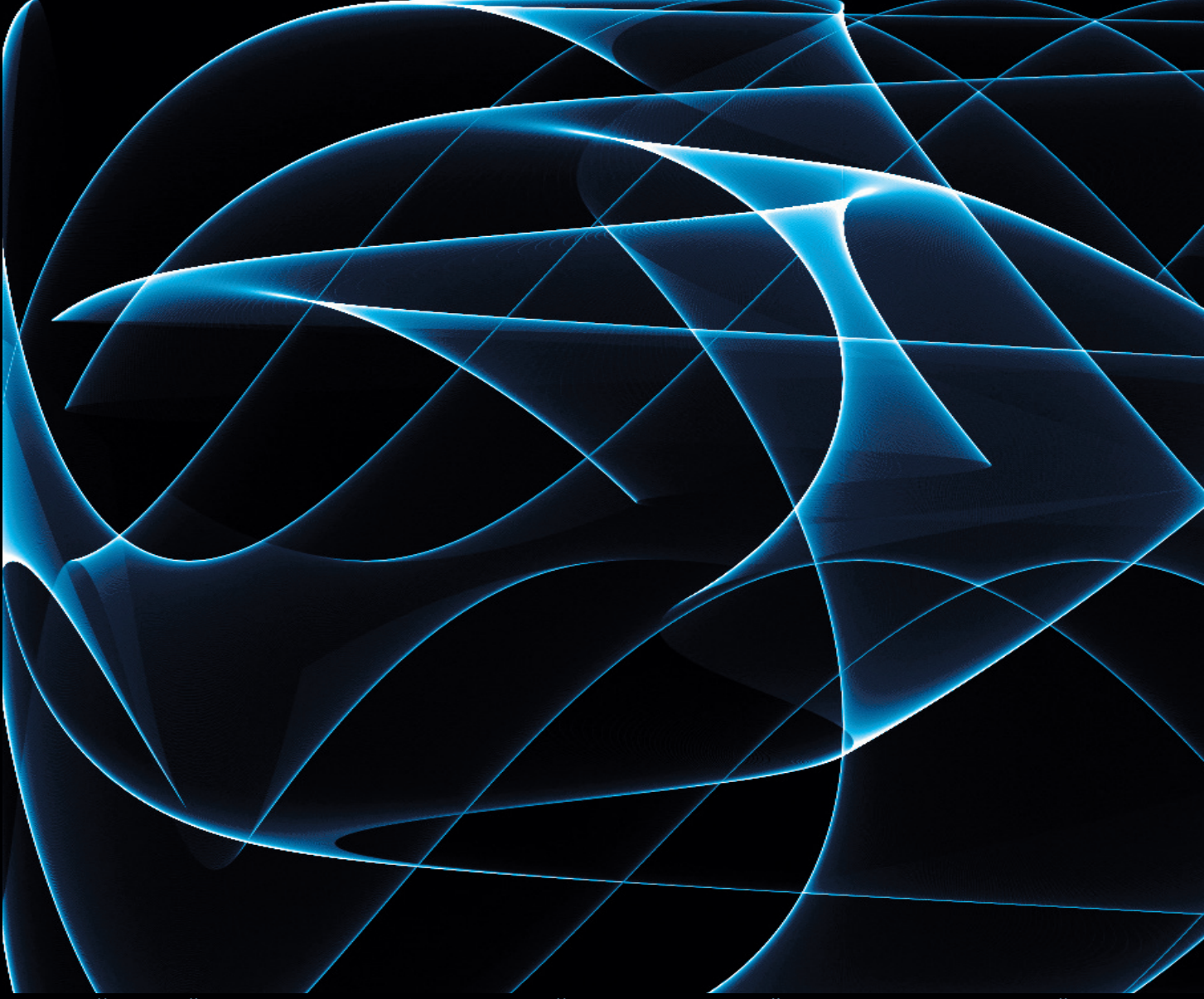
# YENİ UFUKLAR

# ELEKTRİK

MAYIS 2006 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : PROF. DR. VURAL ALTIN  
BTD Yayın Kurulu Üyesi

# ELEK

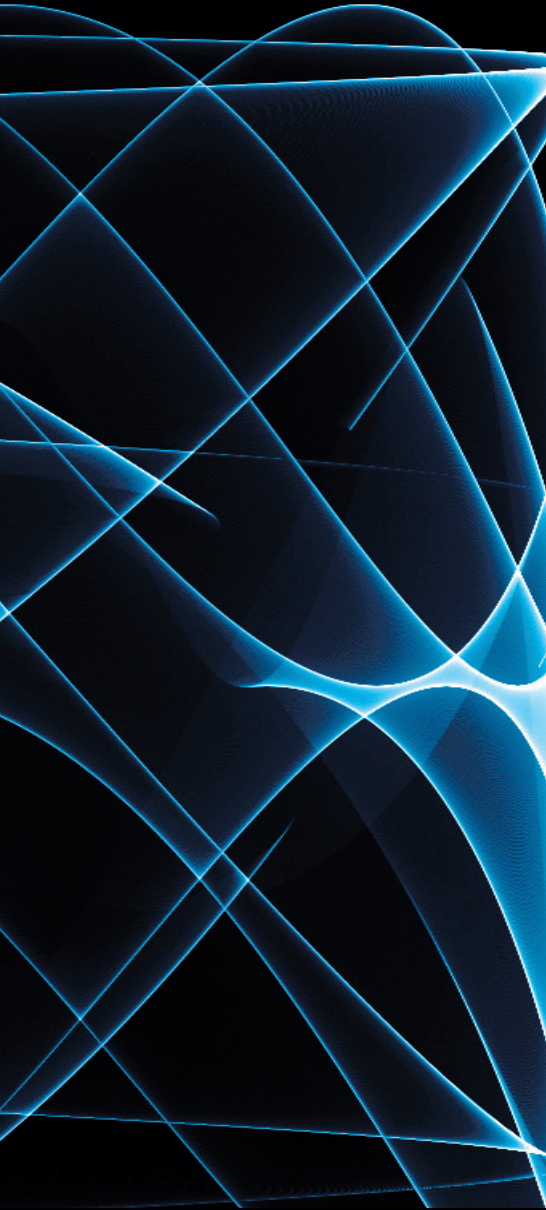


Yerkabuğunun süngerimsi dokulu ve gözeneklerinin suyla dolu olduğunu varsayalım. O kadar ki, adeta bir gölün üzerinde yürüyoruz ve yüzeydeki su basıncı atmosferinkine eşit, diyelim sifıra yakın. Bu suyun yüzeyine bir hidroforun emiş borusunu dayayıp, hid-

roforu çalıştırdığımızda, hidrofor su moleküllerini harekete geçirip, onlara kinetik enerji kazandırmaya çalışır. Emiş borusunun bir yerinde, hidrofora doğru tek yönlü bir sübap ('jak valf') bulunsun. Ki emilen su göle geri kaçmasın. Sürtünme kayıplarını

gözardı edersek, su moleküllerine saniyede kazandırılan kinetik enerji, 'hidroforun gücü' kadardır. Hidroforun gücü, pervanesinin dönme hızıyla kanatlarının sayısına, kanatların yüzey alanına ve geometrisine bağlıdır. Hidroforun çıkışına dikine yükselen bir

# TRİK



hortum takarsak eğer, moleküller hortumda yükselir ve yükseldikçe, kinetik enerjileri 'yerçekimi potansiyel enerjisi'ne dönüşür. Ta ki, hortumun dibindeki statik su basıncı, hidroforun, girişiyle çıkışı arasında sağlayabildiği basınç farkına ( $\Delta p$ ) eşit olun-

caya kadar. Yani; suyun hortumda tırmanabildiği en yüksek düzeye, göl yüzeyi arasındaki yükseklik farkını  $\Delta h$ , suyun özgül ağırlığını da  $\rho$  ile gösterirsek;  $\Delta p = \rho g \Delta h$  oluncaya kadar... Hortumun yüksekliği tam  $\Delta h$  ve ucu da açıksa; su açık olan uçtan dışsarak iş yapabilir ve tıpkı dış yaparken de olduğu gibi, vücudumuza çarparak bizi kamçılabilir. Ancak, hortumun ucu kapalı ya da yüksekliği  $\Delta h$ 'yi aşıyor ise, hidrofor suyu daha fazla yükseğe çıkartamayacaktır. Çalışmasını sürdürüp, çıkışında inşa etmiş olduğu  $\Delta p$  basıncına karşı iş yapmaya devam ettirildiği takdirde, bu iş hemen tümüyle ısıya dönüşür ve hidroforu 'yakar', yani pervaneyi döndüren bobinin sarımlarında erimeye yol açar.

Dolayısıyla, bu hidrofor tasarımında ufak bir değişiklik yapalım ve çıkışındaki hortumu söküp, yerine kapalı bir musluk takalım. Hidroforun girişiyle çıkışında birer basınçölçer bulunsun ve hidrofor, giriş ve çıkıştaki basınçlar arasındaki farka bakıp, daha hızlı ya da daha yavaş çalışabiliyor, hatta gerektiğinde du-

rup kalkabiliyor olsun. Bu, 'mükemmel bir basınç farkı sağlayıcısı'dır. Hatta, girişteki basıncı ölçmeye gerek dahi yok; o zaten, sifıra yakın, atmosfer basıncında. Böyle bir hidrofor, göl yüzeyinden çektiği giriş suyuyla içini bir kez doldurduktan ya da başlangıçta tarafımızca doldurulduktan sonra, musluk kapalı olduğundan, suyu hareket ettiremeyecek ve çıkışındaki basıncı, girişindeki  $\Delta p$  üzerine çıkardıktan sonra durup, basınç farkının bu değer altına düşmesini engelleyecektir. Aslında çoğu hidrofor bu engellemeyi, içi kauçuk bir membranla ikiye ayrılmış küresel bir 'basınçlayıcı' aracılığıyla başarır. Ama biz bunu dikkate almayalım. Girişten başlangıçta çekilen durgun suya; miktarı her ne idiyse; hidroforun kazandırdığı kinetik enerji, çıkışta basınca dönüşmüştür. (Bernoulli denklemi:  $p + \rho v^2 / 2 + \rho gh = \text{sabit}$ .) Ah, pardon! Biz elektrikten bahsedecektik: Çok özür dilerim, hemen şimdi dönerim...

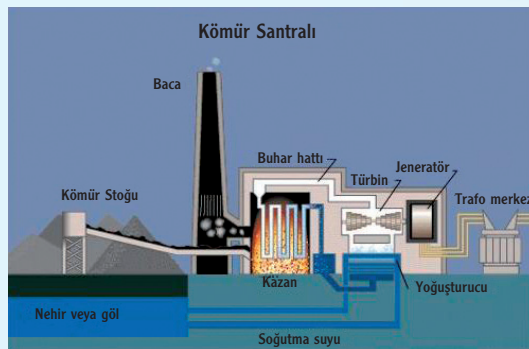
# DOĞRUDAN AKIM (DC)

Her ne kadar akımın yönü artı yüklerin hareket yönü olarak tanımlanmışsa da, çoğu malzemede akım, genelde eksi yüklü elektronlar tarafından taşınır ve yer kabuğu, serbestçe dolaşma özgürlüğüne sahip 'değerlik' ('valens') elektronları açısından, su örneğindeki gölden bile ziyade, engin bir okyanus gibidir. Basıncın benzeri, gerilimdir ve topraktaki elektronların gerilim düzeyi, göl yüzeyindeki suyun basıncına benzer şekilde, başvuru düzeyi kabul edilip, sıfır alınabilir. Bu elektronların sayısı sınırsız sayılabilecek çoklukta olduğundan, insan yapımı akımların toprağa ilave edebileceği ya da topraktan çekebileceği yük miktarı, devrede kullaktır ve yer kabuğunun 'sıfır başvuru gerilim' değerini, hemen hemen hiç değiştirmezler. Bir DC üretici ('jeneratör'), yukarıdaki, çıkışında kapalı bir musluk bulunan hidrofora benzer. (Bknz. Jeneratör.) Nasıl ki böyle bir hidrofor, çıkışıyla göl yüzeyi arasında sabit bir  $\Delta p$  basınç farkı sağlıyorsa; DC üretici de, topraktan çektiği sıfır gerilimli elektronları, gücünün yettiği kadar yüksek bir gerilime çıkartır. Üreteç bunu, bir bobini, örneğin sabit bir mıknatısın manyetik alanı içerisinde döndürerek ve bobinin içinden geçen manyetik akı miktarını sürekli değiştirerek yapmaktadır. Çünkü Faraday yasası gereği, içinden geçen manyetik akı miktarı zamanla değişen N sarımlı bir bobinin uçları arasında, 'elektromotor kuvveti' de denen bir gerilim oluşur ( $\epsilon = -N \cdot d\Phi / dt$ ). Gerilimin zaman üzerinden homojenliği, mıknatısın dönme hızına, büyüklüğüne sağladığı manyetik alanın şiddetine, bobindeki sarımların sayısı ile geometrisine bağlıdır. Gerçi bobin dönerken, sarımları mıknatısın kah kuzey kah da güney kutbuyla bakıyor olduğundan, bobinin içinden geçen manyetik akı  $\Phi$ ; hem yönünü değiştirip durmakta, hem de artıp azalmaktadır. Bu durum aslında, bobinde yönü periyodik olarak değişen bir AC gerilim oluşturur. Bu yüzden, AC gerilim oluşturmak görece kolaydır. Fakat, bobinin uçlarına 'firça'lar aracılığıyla ve gerilimin periyoduna uygun bir sıklıkla, kah bir

kah da diğer yönde bağlanacak olursak; bağlandığımız uçların arasından hep aynı yönde bir gerilim (DC) alırız. Tasarımdaki mıknatısı döndürmenin çeşitli yöntemleri var. Mıknatıs, örneğin bir hidroelektrik santralde olduğu gibi, yüksekte düşürülen suyun katmanlarına çarpmasıyla dönen bir türbinin eksenine sabitlenmiş olup onunla birlikte dönmeye zorlanabilir ya da buhar gücüyle döndürülebilir. Gerekli buhar, gereken basınçta; termik santrallarda olduğu olduğu gibi doğal gaz ya da kömür yakılarak elde edilebilir ya da bu amaçla, kalbinde uranyum çekirdeklerinin parçalandığı bir nükleer santral kullanılabilir. Ya da düşük güç gereksinimleri için, bir akü ya da pil düzeneğinin, iç yapısında depolanmış olan kimyasal enerjiyi dönüştürerek sağladığı DC güçten yararlanılabilir.

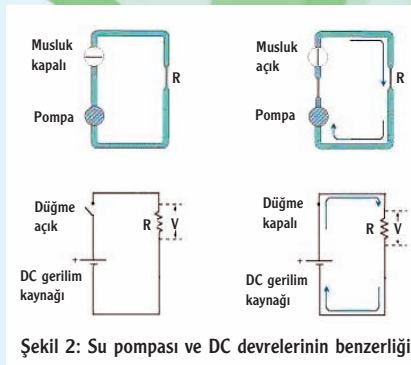
Ancak, gerilim tek başına akım demek değildir ve 'bobin artı firça'nın uçları bu durumda; girişinde tek yönlü bir vana, çıkışında da kapalı bir musluk bulunan hidrofor gibidir. Musluğa bir hortum bağlayıp, serbest ucunu göle uzatalım. Musluğu açtığımızda, hidrofor çalışmaya ve gölden çektiği suyu, yine göle geri pompalamaya başlar. 'Boşuna' çalışmakta, göl suyunu ısıtmaktadır. Musluğu kapatıp, hidroforu durduralım ve hidrofora yararlı bir iş yaptırmak için, hortumun içinde bir yere, bir uskur yerleştirdiğimizi varsayalım. Uskurun dönme eksenini, hortumun çapı boyunca yerleştirilmiş ve uçları dışarıya, sızdırmaz birer conta aracılığıyla çıkarılmış olsun. Uçların dışındaki uzantılarına birer pervane takalım. Musluğu açıp hidroforu çalıştırdığımızda, içteki uskur dönecek ve dıştaki pervaneleri de beraberinde döndüre-

cektir. Pervanelerin havaya aktardığı kinetik enerji, hava moleküllerini ısıtır. Birim zamanda aktarılan ısı kadar enerji, hidroforun gücü tarafından sağlanmaktadır. Çünkü ısı aktarım süreci, uskur sonrasındaki hortum kesitinde basınç düşmesine yol açmakta ve hidrofor, düşen basıncı yükseltmek için sürekli çalışmak zorunda kalmaktadır. Gerçi yüzümüzü yaklaştırdığımızda, havanın konveksiyonuyla buharlaşan ter, cildimize ferahlık verir. Fakat toplam sonuç, bu düzenele birlikte içinde bulunduğumuz odanın havasının giderek ısınmasıdır. "Oda da göl ne arıyor" dersiniz eğer; gölün işlevi su dolu bir kovayla da başarılabilir ve hidrofor, kovadan çektiği suyu, kovaya geri veriyor olur. Oldu mu size 'içi su dolu kovalı vantilatörlü bir ısıtıcı'?... Olmadı mı, beğenmediniz mi: O halde, uskurlu pervaneleri kaldırıp, hortumun içine kum dolduralım. Kum taneleri, hortumun kesitini daraltmıştır. Bu daralmış kesitten ilerleyen suyun basıncı, kum tanelerinin yüzeyinde gerçekleşen sürtünme kayıpları nedeniyle düşecek ve düşen basınç, çalışmak zorunda kalan hidroforun gücüyle yükseltilecektir. Hidroforun harcadığı güç, kum tanelerinin üzerinde ısıya dönüşür. Isınan taneler hortumu, hortum da odayı ısıtır. Oldu mu size 'içi kum dolu hortumlu bir ısıtıcı'?... Aslında hortumun içine kum doldurmak yerine, bir kısmının kesitini yeterince daraltmak da yeterlidir. Çünkü bir tesisatta dolaşan suyun sürtünmeden dolayı uğradığı basınç kaybı; borunun kesit alanıyla ters, uzunluğuyla ve suyun ortalama akış hızıyla da doğru orantılıdır. (Hagen-Poiseuille denklemi:  $\Delta p = 8 \pi \eta v L / A$ .) Gerçi her çaptaki boruda sürtünmeden dolayı bir miktar basınç kaybı vardır. Fakat yarıçapın daraldığı kısımlarda, kesit alanıyla hızın çarpımına eşit olan hacimsel akış hızı hat boyunca korunmak zorunda olduğundan, suyun hızı ve bununla birlikte kayıplar artar. Özellikle hortum kesitinin daraldığı bölgede ciddileşen kayıpları hidrofor telafi etmek zorundadır. Sonuç olarak su, kovadan alınıp kovaya geri boşaltıl-



makta ve hidroforun bunun için harcadığı enerji, ısıya dönüşüp, hortumun çeperinden dışarıya atılarak, odayı ısıtmaktadır. Hatta, düzenek bir kez suyla dolduktan sonra, hortumun serbest ucu hidroforun girişine bağlanıp, kova da devre dışı bırakılabilir. Bu durumda su, 'hidrofor+hortum'dan oluşan kapalı devrenin içinde dolaşmaktadır. Olmadı mı, beğenmediniz mi? Haklısınız, pek alışıldık değil. Verimli ya da kullanışlı bir düzenek de değil... O halde biz, V gerilimini sağlayabilen DC üreticine dönüp, bobinin uçları arasına, içi kum dolu hortum yerine, bu sefer elektronların hareketine karşı koyan atomlarla dolu kötü bir iletkenlerden oluşan bir 'direnç' bağlayalım.

Üreticinin uçları arasındaki direnç, hidrofor çıkışındaki hortumun, kesiti daraltılmış olan kısmı gibi davranır. Kendisi de zaten, içi atomlarla dolu bir silindir şeklinde olup, kum taneleriyle dolu hortuma benzer. Direnci; kesit alanıyla doğru, uzunluğuyla ters orantılı olup, yapıldığı malzemenin özgül direnci  $\rho$  cinsinden  $R=\rho A/L$  kadardır. Üreteç çalıştırılıp devre kapandığında, direncin üzerinden geçen akım, çok kısa zamanda; sıfırdan başlayarak,  $I=V/R$  değerine kadar artar. Akımın artarken, direncin kesiti sabit olduğuna göre, elektronların 'sürüklenme hızı' artmakta, bu da, atomlarla çarpışmaların sıklaşması sonucunda daha fazla ısının açığa çıkması anlamına gelmektedir. Geçiş süresi sonunda direnç,  $P=V.I=V.V/R=V^2/R=R.I^2$  kadar güç tüketmeye ve bu gücün tümünü ısıya dönüştürmeye başlamıştır. Üreticimizi biraz da akıllı duruma getirelim. Şöyle ki, bobinin uçları arasından çekilen akımı ölçerek,  $P=V.I$  gücünü hesaplayıp, dönme hızını buna göre ayarlasın ve aşırı güç üretip de direnci yakmasın. Ya da Şekil 2'de gösterildiği gibi; üreteç olarak, sabit gerilim sağlayan



Şekil 2: Su pompası ve DC devrelerinin benzerliği

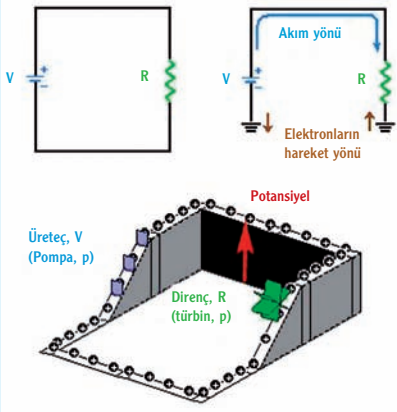


bir akü kullanalım. Oldu mu size bir 'DC ısıtıcı'?... Dikkat edilecek olursa burada akım, üreticinin iki ucu arasına bağlı bulunan dirençten oluşan kapalı bir devrenin içerisinde dolaşmakta ve devre elemanlarının yapısındaki elektronlar, hidrofor örneğindeki kovayı dolduran suyun eşdeğerini oluşturmaktadır. Çünkü, ufak bir iletken parçasında dahi, serbestçe dolaşabilen çok sayıda 'değerlik' ('valens') elektronu, yani "akım taşıyıcı bir yük gölü" vardır. Ancak, elektronların iletken içerisindeki hareketi, hortumun içindeki suyunki kadar kıvrak değildir. Çünkü, elektronlar gerilimin dürtüsüyle hız kazanmakta, fakat sık sık atomlarla çarpışıp durduktan sonra tekrar harekete geçmektedirler. Ortalama sürüklenme ('drift') hızı, saniyede birkaç mikrometre kadar düşük, örneğin, 0,1 amper akım taşıyan 1mm çapındaki bir bakır telde  $9,6 \times 10^6$  m/s kadardır. Dolayısıyla, iletken bir tel içindeki DC akımın ilerleyişini, bir hortumun içindeki suyun akışından ziyade, dibi sıkılan bir tüpün içerisinde saatte birkaç santimetre hızla ilerleyen, yoğun ağırdalı bir macunun hareketi gibi düşünmek gerekir. Akım şiddeti telin her yerinde aynı olmak zorunda olduğundan, kesitin daraldığı yerlerde, elektronların sürüklenme hızı artar. Bu da keza, atomlarla çarpışmaların sıklaşması sonucunda daha fazla ısının açığa çıkması anlamına gelir. Gerilim yol boyunca, bu çarpışmaların sıklığıyla orantılı bir şekilde düşmektedir.

Isıtılacak hacim üreteçten uzaksa, üreticinin uçları birer iletken kablo ilavesiyle, istenilen yere kadar uzatılabilir. Akım taşıyıcı yüklerin ortalama 'sürüklenme hızı' düşük olmakla beraber, birbirlerine etki ettirdikleri elektromanyetik itme ve çekme kuvvetlerinin seyahat hızı, ışık hızına yakındır. Bu; üreteç çalışmaya başlayıp da devrenin kapanmasıyla birlikte bobinin ucundan harekete geçen elektronların biz-

zat dirence ulaşmalarına kadar hayli uzun bir zaman geçmesini gerektirirken, direnç üzerinden geçen akımın hemen anında oluşabileceği anlamına gelir. Bu durum; uzun bir hortumu musluğa bağlayıp musluğu açtıktan sonra, suyun serbest kalan uçtan; hortumun içi başlangıçta boştuysa eğer, uzunca bir süre sonra, oysa başlangıçta zaten su dolu idiyse, anında çıkmasına benzetilebilir. Ya da, içi dolu bir tüpün dibi sıkıldığında, macunun anında ağızından çıkışına... Çünkü hortumdaki su ya da tüpteki macun moleküllerinin hareket hızı sınırlı, fakat birbirlerine uyguladıkları itme kuvvetlerinin hızı; ki bunlar da zaten elektromanyetik kuvvetlerdir; ışık hızına yakındır. Bu nedendir ki, üreteç Keban'da bile olsa, şalter indirildiğinde, Ankara'daki ampulün direnci, hemen hemen anında ısınıp parlamaya başlar. Ya da, içi dolu tüpün sıkılan dibi Keban'da bile olsa, ucu Ankara'da ise, benzer şekilde... Öte yandan, üreteç bu durumda, devre malzemesinin yapısındaki elektronları, kapalı bir devre içerisinde döndürüp durmaktadır. Oysa aslında, bobinin uçlarından direncin uçlarına iki ayrı hat çekmeye gerek dahi yoktur. Bobinin düşük gerilim ucu toprağa verilir, yüksek gerilim ucu direncin bir ucuna bağlandıktan sonra, direncin çıkışı da keza toprağa verilebilir. Üreteç bu durumda, yerkabuğunun bir tarafından çektiği elektronları, uzunluğu diyelim L olan tek bir iletken hat üzerinden pompalayıp, direncin üzerinden geçirdikten sonra, yerkabuğunun bir başka tarafında toprağa geri vermektedir. Hangi kuvvettir onları hareket ettiren?...

Hatta uygulanan V gerilimi nedeniyle, hat boyunca iletken içerisinde, ortalama  $E=V/L$  şiddetinde bir elektrik alanı oluşur ve bu alan, hat üzerindeki herhangi bir elektrona  $F=q.E=e.V/L$  büyüklüğünde bir kuvvet uygular. Yani; hat ne kadar uzunsa, alan ve kuv-



Şekil 3: Gerilim ve potansiyel enerji

vet o kadar zayıf, ne kadar kısaysa o kadar güçlüdür. Ancak, dikkat edilecek olursa; bu kuvvetin, hattı boydan boya kateden bir elektron üzerinde yaptığı iş, 'kuvvet çarpı yol',  $W=F.L=e.V$  kadar olup, hattın uzunluğundan bağımsızdır. Yani, hattı kateden her elektron, üreticinin sağladığı  $V$  gerilimine karşılık gelen elektrik potansiyel enerjisi kadar enerji kazanır. Tıpkı, yüksekliği belli bir yamacın zirvesinden aşağı akan bir su zerresinin, yamacın eğimi ya da yüzeyinden aşağıya katedilen yolun uzunluğu ne olursa olsun, sabit bir yükseklik farkından düşüğü için aynı miktarda enerji kazanmasında olduğu gibi. Elektronlar; yol boyunca kazanıp kazanıp kaybettikleri enerjinin küçük bir kısmını, az da olsa bir dirence sahip olan iletken hattın, fakat en büyük kısmını ısıtıcı di-

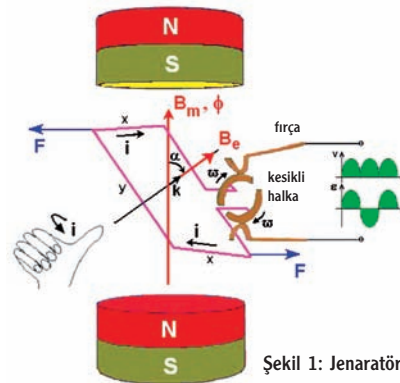
rencin üzerinde kaybettikten sonra toprağa inerler. Buna paralel olarak,  $V$  geriliminin küçük bir kısmı iletken hat üzerinde peyderpey azalır; fakat en büyük kısmı ısıtıcı direncin uçları arasındadır. Hattın boyu uzar da, üzerindeki gerilim kaybı kayda değer düzeylere ulaşırsa eğer; bu gerilimi ısıtıcı dirence vermeden önce, bir 'gerilim denetleyicisi' ('voltaj regülatörü') aracılığıyla, aygıtın talep ettiği düzeye yükseltmek gerekebilir. Hatırlatmak gerekirse, yer kabuğu bir 'yükler okyanusu'dur ve ısıtıcı direncin üzerinden aktıktan sonra toprağa iade edilen elektronların 'ziyan' edilmeleri sözkonusu değildir. Hem de direncin üzerinde oluşan  $V$  gerilimini turmandıktan sonra, bu elektronların kinetik enerji kazanmak ve çarpışmalarla etrafı ısıtmak imkanı kalmamıştır zaten. Gerçi hat boyunca tel kesiti sabitse eğer, hep aynı ortalama hızla seyahat eder ve toprağa, hatta girdikleri hızla inerler. Fakat kullanım açısından önemli olan, onların herhangi bir an için sahip oldukları kinetik enerji değil, atomlarla çarpışarak açığa çıkartabilecekleri ısı miktarıdır. Şurası önemli: Hattın sonuna vardıklarında hala sahip oldukları kinetik enerji, yolda açığa çıkarmak zorunda kalmış oldukları ısıya oranla, gözardı edilebilecek kadar küçüktür. Bu açıdan; kesiti sabit bir dere yatağında akarken şela-

leden düştükten ve bu sırada kazandıkları kinetik enerjiyi birbirlerini ısıtmaya harcadıktan sonra ilk hızlarına dönen su moleküllerine benzerler. Dolayısıyla, atılmalarında bir sakınca yoktur ve bobinin toprağa bağlandığı noktada, hemen hemen benzerleri çoktur. Üreteç bir bakıma, hemen altındaki bir yerden emdiği elektronları, aradaki hat üzerinden dirence doğru üflemede, dirençten geçerken ısı üreten elektronlar, direncin diğer ucundan toprağa girmektedir. Tabii; hattın kendisinin, dirençten farklı olarak, elektron akışına karşı direncinin küçük olması gerekir. Ki, o fazlaca ısınıp da erimesin. Son olarak, "ya üreticinin yüksek gerilim ucunu toprağa verip, düşük gerilim ucunu dirence uzattıysak" derseviz; o da olur. Yalnızca, elektron akışının yönü tersine döner. Başka da bir şey değişmez. Üreteç bu sefer, iletken hatta elektron üfleme yerine hattın elektron emmekte, direncin toprak bağlantısından yukarı çıkan elektronlar, dirençten geçerken enerjilerini kaybettikten sonra, hat üzerinden üretilen ulaşıp, onun altındaki toprağa girmektedir. Tıpkı Şekil 3'te gösterildiği gibi. Tıpkı, içi kum dolu hortumun içinden geçen suyun hangi yönde geçtiğinin sonucu değiştirmemesinde olduğu gibi... Bu da güzel, değil mi?

## Jeneratör

Bir jeneratör, örneğin sabit bir mıknatısın manyetik alanı içerisinde döndürülen iletken bir bobinden oluşur. Bobin bir türbin tarafından döndürülür ve ikisi birlikte, bir 'türbin-jeneratör' ya da 'türbin-alternatör' sistemi oluşturur. Şekil 1'de böyle bir düzeneğin alternatör kısmı var. Çizimi basit tutmak amacıyla, bobin tek sarımlı olarak gösterilmiş. Bobin, şekilde görülmeyen türbin tarafından,  $\omega$  açısal hızıyla saat yönünde döndürülüyor. Mıknatısın manyetik alanı  $B_m$ , yön ve büyüklükçe sabit. Sarımın sınırladığı  $A$  yüzeyine dik olan birim vektör  $k$ ,  $B_m$  ile  $\alpha$  açısını yapıyor. Bobin saat yönünde döndürüldüğünden, bu açı, sarım döndükçe büyüyor. Başlangıç değeri 0 olarak alınırsa:  $\alpha = \omega t$ . Manyetik alan  $B_m$ 'nin gördüğü 'etkin sarım alanı'  $A \cdot \cos \alpha$ 'ya eşit ve zamanla değişiyor. Dolayısıyla, sarımdan geçen 'etkin akı' miktarı  $\Phi$ ,  $A \cdot B_m \cdot \cos \alpha = A \cdot B_m \cdot \cos(\omega t)$ 'ye eşit olup, zamanla değişmektedir. Bu durumda bobin, Faraday Yasası gereği, içinden geçen manyetik akı miktarında ki değişime karşı koyan bir tepki oluşturur. Şöyle ki, sarımdan geçen manyetik akı, örneğin şekilde

gösterilen durumda olduğu gibi, yukarı doğruyken azalmakta ise; bobinin uçları arasında; akıdaki bu azalmayı frenlemeye, yani yukarı yöndeki akıyı arttırmaya yönelik bir manyetik alanı üretecek olan akıma yol açacak şekilde bir gerilim oluşur. Gösterilen tepki aslında, bobinin yapıldığı iletkenin yapısındaki taşıyıcı yüklerden kaynaklanmaktadır ve cisimlerin kütleleri nedeniyle ivmelenmeye karşı gösterdikleri tepkiye benzetilebilir. Sonuç olarak endükleme için çalışılan manyetik alan  $B_e$ ,



Şekil 1: Jeneratör

sarımın sınırladığı yüzeye dik olan birim  $k$  vektörünün yönünde olduğundan, bu manyetik alanı üretebilecek olan akım ve dolayısıyla da endüklelenen gerilim, sağ el kuralına göre; sağ elin başparmağı  $B_e$  yönünde dikleştirildiğinde, kıvrılan diğer parmakların işaret ettiği yönde olmak zorundadır. Şekildeki sağ el çizimi, akım yönünü gösteriyor. Fakat bu akım ancak, sarımdan güç çekildiği takdirde oluşacak, aksi halde, bobinin uçları arasındaki gerilim  $\epsilon$ , sarım içerisinde herhangi bir akım dolaştıramayacaktır. Gerilimin büyüklüğü, Faraday Yasası'na göre,  $N$  sarımlı bir bobin için,  $\epsilon = -N \cdot d\Phi / dt$  ifadesiyle verilir. Yani:  $\epsilon = -N \cdot d(A \cdot B_m \cdot \cos \omega t) / dt = N \cdot d(A \cdot B_m \cdot \omega \cdot \sin \omega t) / dt$ . Bu gerilimin yönü, bobinin her turunda iki kez yön değiştiriyor olmakla beraber, bobinin uçlarındaki kesikli halkaya dokunan fırçalar, yarım halkalara kah bir, kah da diğer sırada değdiklerinden, fırça uçlarındaki gerilim, üstteki  $V-t$  grafiğinde görüldüğü gibi hep aynı yönde, yani DC'dir. Dolayısıyla, şekilde gösterilen düzeneğin, bir DC jeneratörü oluşturur. Fırçalar genellikle grafitten yapılmıştır ve yarım halkalarla temas ettikleri yüzeylerde, sık sık elektrik arkları oluşur. Örneğin bir matkapın sır-

# ALTERNATİF AKIM (AC)

Eğer dersiniz ki, “bana ne DC üretçen, benim elektriğim AC”; o halde yine, çıkışında kapalı bir musluk bulunan biraz farklı bir pompa düşünelim. Bu pompanın girişinde de keza, pompaya doğru tek yönlü bir sübap bulunsun, fakat pervanesi hep aynı yönde değil de, periyodik olarak, kah bir kah da diğer yönde dönüyor olsun. Bu durumda pompa, içi bir kez dolduktan sonra, suyu hareket ettiremez. Yalnızca, neredeyse ‘sıkıştırılmaz bir akışkan’ oluşturan suyun içinde, ileriye ve geriye doğru basınç dalgaları oluşturup durur. Basınç dalgaları enerji taşımaktadır ve musluk açıldığı takdirde bu enerjiyle, bir ya da diğer şekilde iş yapmak imkanı vardır. Bir AC jeneratörü buna benzer şekilde çalışır. Bobin manyetik alan içerisinde her tur attığında, uçları arasındaki gerilimin yönü değişir. Dolayısıyla, gerilimin zamana göre grafiği bir sinüs dalgası şeklindedir. Miknatis saniyede n tur atıyor, yani  $\omega=2\pi n$  açısal hızıyla dönüyorsa:  $\varepsilon(t)=\varepsilon_0 \sin \omega t$ . Burada  $\varepsilon_0$  gerilimin genliği olup, tekrarlamak gerekirse; büyüklüğü miknatisin şiddetine, bobindeki sarım sayısına ve sarımlarda kullanılan iletken telin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bobinin uçları arasına bir direnç bağlandığı takdirde,

jeneratör; ‘bobin+direnç’ kapalı devresindeki elektronları, kah bir kah da diğer yönde hareketlendirip durur. Bu durumda elektronlar, DC örneğinden farklı olarak, kapalı devrede dolaşmakta, yalnızca ortalama konumları civarında salınıp durmaktadırlar. Bu yüzden, ‘salınımlı akım’ ya da ‘salınımlı gerilim’ anlamında, ‘alternatif akım ya da gerilim: AC. Fakat elektronlar hala, bu salınımları sırasında, direnci oluşturan atomlarla çarpışmaları sırasında onlara kinetik enerji aktararak, direnci ısıtmaktadırlar. Gerçi,  $\varepsilon(t)=\varepsilon_0 \sin \omega t$  ifadesindeki  $\sin \omega t$ 'nin zaman üzerinden ortalama değeri sıfır olduğundan, gerilimin ortalama değeri de sıfırdır. Fakat, biz biraz farklı bir tanım yapalım ve ‘gerilimin karesinin ortalama değerinin kare köküne’ bakalım...

Yani  $\{[\varepsilon^2(t)]_{ort}\}^{1/2}$  ifadesini, kısaca ‘kök altında ortalama kare’ (‘root mean square’, RMS) değeri olarak tanımlayıp,  $\varepsilon_{RMS}$ ’le gösterebiliriz. Buna göre,  $\varepsilon_{RMS}=[\varepsilon^2(t)]_{ort}^{1/2} = [(\varepsilon_0^2 \sin^2 \omega t)_{ort}]^{1/2} = \varepsilon_0 \cdot [(\sin^2 \omega t)_{ort}]^{1/2}$  olur. Buradaki  $\sin^2 \omega t$ 'yi,  $\sin^2 \omega t = (1 - \cos 2\omega t)/2$  şeklinde yazmak mümkündür. Bu son eşitliğin sağ tarafındaki  $\cos 2\omega t$  teriminin bir periyot üzerinden ortalamasının 0 olduğu dikkate alındığında;  $(\sin^2 \omega t)_{ort} = 1/2$  olduğu görülür. O halde,  $\varepsilon_{RMS} = \varepsilon_0 \cdot [(\sin^2 \omega t)_{ort}]^{1/2} = \varepsilon_0 / \sqrt{2}$ 'dir. Dolayısıyla,  $\varepsilon_{RMS} = \varepsilon_0 / \sqrt{2}$ 'ye kısaca, gerilimin ‘kök altı kare değeri’ denir.

Öte yandan; direncin büyüklüğü R ise, t anında üzerinden;  $I(t) = \varepsilon(t)/R = (\varepsilon_0/R) \sin \omega t$  kadar akım geçmektedir. Bu akımın ‘kök altı kare’ değeri:

$I_{RMS} = [I^2(t)]_{ort}^{1/2} = [(\varepsilon_0^2/R^2) \cdot (\sin^2 \omega t)_{ort}]^{1/2}$ . Ki,  $(\sin^2 \omega t)_{ort} = 1/2$  olduğuna göre:  $I_{RMS} = (\varepsilon_0/\sqrt{2})/R = \varepsilon_{RMS}/R$ . Tüketilen anlık güç:  $P(t) = \varepsilon(t) \cdot I(t) = (\varepsilon_0^2/R) \sin^2 \omega t$ . Bu gücün zaman üzerinden ortalama değeri:  $P_{ort} = \varepsilon_0^2/2R$ . Paydadaki 2’den kurtulmak amacıyla gerilimin ‘kök altı kare’ değeri kullanılırsa eğer, ortalama güç;  $P_{ort} = \varepsilon_{RMS}^2/R$  şeklinde yazılabilir. Ya da, akımın ‘kök altı kare’ değeri  $I_{RMS} = \varepsilon_{RMS}/R$  olduğuna göre,  $P_{ort} = \varepsilon_{RMS} \cdot I_{RMS}$  şeklinde... Tıpkı DC örneğine benzer biçimde...

Bizdeki ve Avrupa’daki AC jeneratörlerin türbinleri 3000 devir/dk hızla döner. Bu, saniyede 50 devir demektir. Dolayısıyla, akımın frekansı 50, açısal hızı  $\omega = 100$  olur:  $I(t) = I_0 \sin \omega t = I_0 \sin 100\pi t$ . Gücün frekansı ise, saniyede 100 döngü, yani 100 Hz’dir:  $P(t) = (\varepsilon_0^2/R) \sin^2 \omega t = (\varepsilon_0^2/2R) \cdot (1 - \cos 2\omega t) = P_{ort}(1 - \cos 200\pi t)$ . Bu; gücün saniyede 100 kere maksimum, 100 kere de minimum değerden geçiyor olduğu anlamına gelir. Her ne kadar bu sıklık yüksek görünüyorsa da; örneğin motorlar gibi bazı donanım, zaman üzerinde daha homojen dağılımlı bir güçle daha verimli çalışır. Bu yüzden, güç santrallerindeki jeneratörlerde, ‘tek fazlı’ değil, ‘üç fazlı’ gerilim üretilir. Bunun

ındaki yarıkların içinde görülen kıvılcıklar bu arklardan kaynaklanmakta ve temas yüzeylerini aşındırmaktadır. DC jeneratörleri bu yüzden, sorunlu ve görece kısa ömürlüdür. Oysa fırçalar kullanılmadığında, bobinin uçları arasında, alttaki  $\varepsilon$ -t grafiğinde görüldüğü gibi AC gerilim elde edilir. Böyle bir AC jeneratörü, yapısı görece basit olduğundan, daha az sorunlu ve daha uzun ömürlü olur. AC gerilimin tercih nedenlerinden birisi budur.

Jeneratörden güç çekilmediği sürece, bobin sarımlarında gerilim var olmakla beraber, akım dolaşmamaktadır. Güç çekildiğinde, bobin sarımlarında akım dolaşmaya başlar. Akım, sarımların iletken yapısındaki elektronlar tarafından taşınmaktadır. Hareket halindeki bu elektronlara, miknatisin sabit alanı tarafından  $F_e = qv \times B_m = ev \times B_m$  kuvveti uygulanır. O zaman şu soru doğuyor: Şekilde bir dikdörtgen olarak gösterilmiş olan sarımın sağ ya da sol kenarları x, ön ve arka kenarları da y uzunluğunda ise, bu kenarlar üzerindeki toplam kuvvetlerin büyüklükleri nedir?... Sarımı oluşturan iletkenin yapısının, uzunluğu boyunca aynı olduğunu varsayalım. İletkenin içerisinde ser-

bestçe dolaşabilen elektronların sayısı, birim uzunluk başına n ve uzunluk boyunca ortalama hareket hızı, yani ‘sürüklenme hızı’ da v olsun. O halde, iletkenin herhangi bir kesitinden saniyede n.v tane elektron geçmektedir ve bu, akım şiddetinin  $I = n.v.e$  büyüklüğünde olduğu anlamına gelir. Öte yandan, iletkenin dL diferansiyel uzunluğunun tümünde, her an için dL.n=dL.I/(v.e) tane elektron vardır. Miknatisin manyetik alanı  $B_m$ ’nin, bu elektronların tümü üzerinde etki ettirdiği kuvvetin büyüklüğü,  $dF = -(I/v.e) \cdot dL \cdot ev \times B_m = -I \cdot dL \cdot (v/v) \times B_m$  kadardır. Sarımın herhangi bir noktasındaki elektronların hızı v, hem sarıma o noktada teğet, yani dL doğrultusunda ve hem de akıma ters yönde olduğundan;  $-v/v$ , hem o noktada sarıma teğet, yani dL doğrultusunda ve hem de akım yönünde bir birim vektör oluşturur. Dolayısıyla,  $dL = dL \cdot (-v/v)$ , alınan noktada sarıma teğet ve akım yönünde bir vektör olur. Ki bu durumda;  $dF = -I \cdot dL \times B_m$  eşitliğini elde ederiz. Dolayısıyla, sarımın herhangi bir parçası üzerindeki kuvveti, o parça üzerindeki diferansiyel kuvvetlerin toplamı, yani bir integral olarak elde etmek mümkündür:  $F = \int I \cdot dL \times B_m$ . I ve  $B_m$  sabit olduklarından, integral  $I \cdot (\int dL) \times B_m$  şeklinde

basitleşir: Örneğin, sağ ya da sol kenar üzerindeki dL’lerin hepsi aynı yönde ve sabit bir  $B_m$ ’ye dik olduklarından;  $\int dL$  bize x uzunluğunu verir. O halde, şekilde mavi oklarla gösterilen kuvvetler,  $F = I \cdot x \cdot B_m$  büyüklüğünde olup, zıt yönlüdürler. Bu iki kuvvet, aynı doğru üzerinde olmadıklarından, öte yandan, iletkenin dL diferansiyel uzunluğunun tümünde, her an için dL.n=dL.I/(v.e) tane elektron vardır. Miknatisin manyetik alanı  $B_m$ ’nin, bu elektronların tümü üzerinde etki ettirdiği kuvvetin büyüklüğü,  $dF = -(I/v.e) \cdot dL \cdot ev \times B_m = -I \cdot dL \cdot (v/v) \times B_m$  kadardır. Sarımın herhangi bir noktasındaki elektronların hızı v, hem sarıma o noktada teğet, yani dL doğrultusunda ve hem de akım yönünde bir birim vektör oluşturur. Dolayısıyla,  $dL = dL \cdot (-v/v)$ , alınan noktada sarıma teğet ve akım yönünde bir vektör olur. Ki bu durumda;  $dF = -I \cdot dL \times B_m$  eşitliğini elde ederiz. Dolayısıyla, sarımın herhangi bir parçası üzerindeki kuvveti, o parça üzerindeki diferansiyel kuvvetlerin toplamı, yani bir integral olarak elde etmek mümkündür:  $F = \int I \cdot dL \times B_m$ . I ve  $B_m$  sabit olduklarından, integral  $I \cdot (\int dL) \times B_m$  şeklinde



in, sabit mıknatısın manyetik alanı içerisinde tek bir bobin yerine; sarım eksenleri arasında 120'şer derecelik açılar bulunan üç bobin birlikte döndürülür. Öyle ki, bobinler dönerken, mıknatısın diyelim kuzey kutbu, üç bobinin sarımlarının önünden sırayla geçmekte, yani bobinlerden her birini, turun yalnızca üçte birlik kısmında indüklemektedir. Sonuç olarak, genlik ve frekansları aynı olmakla beraber, bobinlerdeki gerilimlerin arasında 120'şer derecelik birer faz farkı oluşur. 'Üç fazlı gerilim' diye buna deniyor. Dönelim direncimize...

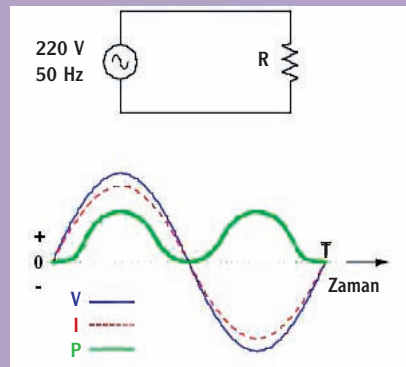
Isıtılması istenen konum jeneratörden uzaktaysa eğer, ki genellikle öyledir; fazlardan birini üreten bobinin iki ucunu oraya kadar uzatıp, 'yük'ü oluşturan direnci bu uçların arasına bağlamak gerekir. Ya da, bobinin bir ucunu toprağa verip, diğer ucunu dirence kadar uzatıp bağladıktan sonra, direncin serbest kalan ucunu da keza toprağa vermek de yeterlidir. Bu durumda bobin, kah topraktan elektron çekip, kah toprağa vermekte ve direnç, ısıtma işlevini hala yapabilmektedir. Nasılsa direnci ısıtan, topraktan çekilen ya da geri verilen elektronların kendileri değil, bunların itip kakması sonucunda, direncin kendi bünyesinde salınıp duran elektronlardır. Sonuç değişmediği gibi, gereksiz yere ikinci bir hat çekmekten de kurtulmuş oluruz. Bu yüzden, üç fazlı gerilim üreten bir jeneratörün bobinlerinin, birer ucu toprağa verilip, diğer uçları, 'faz hatları' olarak tüketim merkezlerine iletilir. Toprak uçlarını ayrı ayrı toprağa iletmek yerine, uçları önce aralarında bağlayıp, sonra tek bir hat üzerinden iletmek daha akıllıcadır. Bu durumda, faz uçlarıyla toprak arasındaki gerilimler; eşit genlikli olup,  $\omega$  açısal hızıyla salınmakta ve aralarında 120'şer derecelik, yani  $2\pi/3$  ve  $4\pi/3$  kadarlık faz farkları bulunmaktadır. Dolayısıyla;  $V_1(t)=\epsilon_0 \sin \omega t$  ise;  $V_2(t)=\epsilon_0 \sin(\omega t - 2\pi/3)$ ,  $V_3(t)=\epsilon_0 \sin(\omega t - 4\pi/3)$  olur. Basit bir trigonometri çalışması olarak, sinüsün açılım formülünü

kullanarak, bu üç gerilimin toplamının, tüm t değerleri için sıfır olduğu gösterilebilir. Nitekim bu üç gerilimi; başlangıç noktaları orijinde bulunan, büyüklükleri aynı, diyelim  $\epsilon$  olup, birbirlerinden hep 120'şer derecelik açılarla ayrılan ve hepsi de  $\epsilon$  açısal hızıyla dönmekte olan üç vektörün x eksenindeki izdüşümleri olarak düşünmek mümkündür. Oysa, böyle üç vektörün toplamı, dolayısıyla da x eksenindeki izdüşümü, daima sıfırdır. Dolayısıyla, bobinlerin toprak uçlarını, topraktan çıkarıp, birbirine bağlı olarak havada bırakacak da olur. Ama genelde, bağlantı noktasından indirilen ortak ve tek bir hatla toprağa verilirler. Buna üç bobinin Y ya da 'yıldız' bağlantısı deniyor. Söz konusu vektörlerin uzunlukları aynı olduğuna göre, her an için; herhangi birinin ucuyla orijin arasındaki uzaklık  $\epsilon_0$  iken, herhangi ikisinin uçları arasındaki uzaklığın  $\sqrt{3}\epsilon_0$  olması gerekir. Bu, Y'nin göbeğiyle herhangi bir ucu arasındaki gerilim  $\epsilon$  genlikli iken; Y'nin herhangi iki ucu arasından  $\sqrt{3}\epsilon_0$  genlikli bir gerilimin alınabileceği anlamına gelir. Fazlardan çekilen güçlerin, yani fazlara bağlanan yüklerin, eşit ve tümüyle dirençten oluşan 'rezistif yük'ler olması halinde; bobinlerdeki akımların arasında da 120'şer derecelik faz farkı bulunacağından, aynı durum akımlar için de geçerlidir. Dolayısıyla üç fazlı gerilim, fazların eşit olan genliğinin  $\sqrt{3}$  katı kadar daha yüksek gerilimlerin kullanılmasına imkan tanır. Bir yararı daha var, ona bakmak üzere, dönelim direncimize...

Fazları tüketim yerine kadar uzatmamız lazımdır. Uzattığımızı ve bu sefer her birine birer R direnci bağladığımızı varsayalım. Fazlardaki gerilimler, birisi  $V_1(t)=\epsilon_0 \sin \omega t$  olarak alınırsa;  $V_2(t)=\epsilon_0 \sin(\omega t - 2\pi/3)$ ,  $V_3(t)=\epsilon_0 \sin(\omega t - 4\pi/3)$  şeklindedir. Dirençlerin çektiği anlık güçler;  $P(t)=V(t)^2/R$  ilişkisinden;  $P_1(t)=(\epsilon_0^2/R) \sin^2 \omega t$ ,  $P^2(t)=(\epsilon_0^2/R) \sin^2(\omega t - 2\pi/3)$ ,  $P_3(t)=(\epsilon_0^2/R) \sin^2(\omega t - 4\pi/3)$  olur.

Toplam gücün anlık değeri;  $P_T(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = (\epsilon_0^2/R)[\sin^2 \omega t + \sin^2(\omega t - 2\pi/3) + \sin^2(\omega t - 4\pi/3)]$  ifadesiyle verilir. Ki buradaki, kareparantez içerisindeki sinüs kareler toplamının, sabit ve  $3/2$ 'ye eşit olduğu gösterilebilir. Yani,  $P_T(t)=3\epsilon_0^2/2R$ 'dir. Dirençlerin toplam gücü her an için aynı olmakla beraber; herhangi birinde ısıya dönüşen anlık güç, zamanla azalıp çoğalarak salınmakta; direnç ısınıp, az biraz da olsa soğuduktan sonra, tekrar ısınmaktadır. Fakat, salınımların frekansı olan 50 Hz, gözün algılayabileceği 24 Hz'in üzerinde olduğundan, biz bunu genelde farkedemeyiz. Ancak floresan lambaların ve sokak aydınlatmalarının 'titreme'lerinden bilinçaltı bir rahatsızlık duyarız. Bazılarımızda, hafif baş ağrısı gibi semptomlar bile oluşur. Oysa dakikada binlerce devir yapan motorlarla matkaplar, anlık güç sıfır değerine yaklaşırken ve sonra da tekrar artarken durakalkayadıklarından; hem zorlanırlar, hem de bu yüzden, görece verimsiz çalışırlar. Bu olumsuzluk, daha büyük hareketli parçalar içeren güçlü ve büyük aygıtlarda daha ciddidir. Çünkü daha büyük kütleler, daha yüksek ataletle sahiptir ve bu, maruz kaldıkları ivmelenme kuvvetlerinin daha büyük olduğu anlamına gelir. Parçalar zorlanır ve aygıtın ömrü kısalır. Oysa böyle bir aygıtın, üç fazdan paralel olarak çekilen ve toplamı sabit olan güçle çalıştırılması halinde, aksırıp tıksırması daha az, ömrü daha uzun olur. Dolayısıyla, üç fazlı gerilim, fazlardan herhangi birinin genliğinin  $\sqrt{3}$  katı kadar daha yüksek gerilimlerin kullanılabilmesinin yanında, gerektiğinde bazı yüklerin, fazların üçünü birden kullanarak, zamanla değişmeyen sabit düzeyde güç çekebilmesine de imkan tanır. Dönelim direncimize...

Fazları tüketim yerine kadar uzattık diyelim. Aradaki mesafe L olsun. İletim hatlarının uzunluğunun birkaç yüz kilometreyi bulduğu olur. Rusya'da 1000 kilometre... Kök altı kare değerleriyle konuşuyor olalım, ama RMS indisini kullanmayalım. Isıtıcının işlevini yerine getirmek için, fazlardan birindeki gerilimi doğrudan kullanabildiğini ve ortalama P kadar güç talep ettiğini varsayalım.  $P=\epsilon \cdot I$  olduğundan, ısıtıcı faz hattından  $I=P/\epsilon$  genlikli bir akım çekecektir. Hat, alüminyum ya da bakır, hangi malzemeden yapılmış olursa olsun, kendisi





nin de bir öz direnci ( $\rho$ ) vardır. Hattın toplam direnci, telinin kesit alanıyla ters, uzunluğuyla doğru orantılı olup,  $R_H = \rho \cdot L / A$ 'ya eşittir. Dolayısıyla, ısıtıcı çalışırken bir yandan da hattın üzerinde;  $P_H = R_H \cdot I^2 = \rho \cdot L \cdot P^2 / (A \cdot \epsilon^2)$  kadar enerji, ısıya dönüşerek ziyan olmaktadır. Yani hattaki kayıpların, hedefe ulaştırılan güce oranı;  $y = P_H / P = \rho \cdot L \cdot P / (A \cdot \epsilon^2)$  kadardır. Tüketiciye ilettiğimiz enerjiyi faturalandıracak, oysa iletim hattındaki kayıpları bundan karşılayacak olduğumuza göre, bu kayıp oranını olası en düşük düzeye indirmeye çalışmamız gerekir. Diyelim, kayıp/iletim oranı y'nin, Batı Avrupa ülkeleri için geçerli olan  $y_{max} = \%2,5$  oranını aşmamasını hedefliyoruz. Yani  $\rho \cdot L \cdot P / (A \cdot \epsilon^2) < y_{max}$  olmak zorunda. Buradaki, L ve P verileri, değiştirme imkanımız olmayan sabitler. Malzemeyi seçtiğimizde,  $\rho$  da belirlenmiş olur. Üzerinde oynayabileğimiz yegane değişken olarak geriye, telin kesit alanı olan A kalır ve onu da,  $A > \rho \cdot L \cdot P / (\epsilon^2 \cdot y_{max})$  olarak seçmemiz gerekir. Bu eşitsizliğin her iki tarafını L ile çarparsak; A telin kesit alanı olduğuna göre, sol tarafta L.A bize, hat için kullanılan iletken telin toplam hacmi için;  $V > \rho \cdot L^2 \cdot P / (\epsilon^2 \cdot y_{max})$  kısıtını verir. Nihayet, her iki tarafı bir de özkütle  $\rho_k$  ile çarpığımızda, telin toplam kütlesi için  $\rho_k \cdot V = M > \rho_k \cdot \rho \cdot L^2 \cdot P / (\epsilon^2 \cdot y_{max})$  kısıtını elde ederiz. Tabii, bu kadar uzun bir hattı, sırf birisi 1kw'lık bir ısıtıcıyla evini ısıtacak diye döşeyemeyiz.

Büyük santrallarda çalıştırılan tipik bir jeneratörün, 33,3kV gerilimle, tümüyle dirençlerden oluşan ('rezistif') bir grup yüke, 15kA akım sağlamakta olduğunu varsayalım. Jeneratör bu durumda,  $P = 500 \text{ MW} = 5 \times 10^8 \text{ J/s}$  güç üretmektedir. Türbindeki mekanik güç %100 verimle elektrik gücüne dönüştürülüyor olsun. Gerçek değer %99'a yakındır. Türbinin sağlaması gereken torkun; dönme hızı  $3000 \text{ devir/dk} = 50 \text{ devir/s} = 100\pi \text{ rad/s}$  olduğuna göre;  $P = \omega T$  ilişkisinden,  $T = (5 \times 10^8 \text{ J/s}) / (100\pi \text{ rad/s}) = 159 \text{ kN.m}$  (kilo Newton-metre) olması gerekir. Bir konutun günlük elektrik enerjisi tüketimi 2,5-3,5 kWh olmakla birlikte, maksimum güç gereksinimi 2,5-3,0 kW kadar olduğundan, diyelim 2'şer kW'tan 250.000 konutluk bir kente elektrik gücü sağlayacağız. Tabii, elektriği kente 33,3 kV'luk gerilimle dağıtırsak, kullanıcılar, akkor tavaya konan sinekler gibi 'çıt çıt' cıtlarlar. Gücü dağıtmadan önce bu gerilimi düşürmemiz lazımdır. İletmeden önce de yükseltmemiz: Nedeni şu...

En iyi iletken metaller, sırasıyla gümüş, bakır ve alüminyum. İlk ikisi pahalı, alüminyum kullandığımızı düşünelim. Alüminyumun öz direnci  $\rho = 2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , özkütlesi  $\rho_k = 2700 \text{ kg/m}^3$ . Bunları,  $L = 100 \text{ km} = 10^5 \text{ m}$ ,  $P = 500 \text{ MW} = 5 \times 10^8 \text{ W}$ ,  $\epsilon = 33 \text{ kV} = 3,3 \times 10^4 \text{ V}$  değerleriyle birlikte kütle kısıtına yerleştirirsek;  $M > 2,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \times 1010 \text{ m}^2 \times 5 \times 10^8 \text{ w} / (0,025 \times 3,3^2 \times 10^8) =$

$2,7 \times 2,82 \times 5 / (0,025 \times 3,3^2) \times 10^5 = 1,4 \times 10^7 \text{ kg}$  buluruz. Yani  $M > 14$  bin ton!... Alüminyumun toplam hacmi

$V > M / \rho_k = 1,4 \times 10^7 \text{ kg} / 2.700 \text{ kg/m}^3 = 5.185 \text{ m}^3$  olur.

Uzunluğu  $L = 10^5 \text{ m}$  olduğuna göre, kesiti

$A > 5.185 \text{ m}^3 / 10^5 \text{ m} = 0,05185 \text{ m}^2 = 518,5 \text{ cm}^2$ ,

çapı ise;  $A = \pi D^2 / 4$  ten,

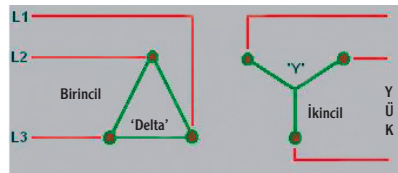
$D > (4A / \pi)^{1/2} = (4 \times 518,5 / \pi)^{1/2} = 25,7 \text{ cm}$ !...

Oysa gerilimi 380kV'a çıkartırsak, kütle, hacim ve alan değerleri gerilimin karesiyle ters orantılı olduğundan; kısıtlar,  $(33,3/380)^2 = 7,68 \times 10^{-3}$  faktörüyle azalarak  $M > 107,5$  tona,  $V > 39,8 \text{ m}^3$ 'e ve  $A > 3,98 \text{ cm}^2$ 'ye iner. Telin çapı ise,  $D > 2,25 \text{ cm}$  olmak zorundadır. Kabul edilebilir düzeyler... Ayrıca; kablo incelidikçe, ağırlığını taşıyan iletim hattı kulelerinin maliyeti de ona göre düşer. Dolayısıyla, uzun mesafe iletim hatlarında; hem iletim kayıplarını, hem de şebekenin yatırım maliyetlerini asgaride tutabilmek için, 765kV'a varan yüksek gerilimler tercih edilir. Türkiye'deki üretim birimleri, çoğunlukla güney ve güneydoğuda, tüketim merkezleriyse kuzeybatıda olduğundan, iletim hatları uzundur. Bu yüzden, iletim kayıpları %3.1 düzeyinde olup, %2.5 civarındaki OECD ortalamasının üzerindedir. Mevcut iletim hatlarının yaklaşık 11.600 km'lik kısmı 380 kV, 25.000 km'lik kısmıysa 154 kV'luk olup, bu alandaki iyileşme 380 kV'luk iletim payının artırılmasıyla mümkündür. Neyse...

## Şebeke-Tesisat Bağlatısı

Konut ya da işyerimizdeki elektrik, tek ya da üç fazlı olsun; kent içi dağıtımda kullanılan birkaç bin voltuk alçak gerilim düzeyinden, kullandığımız 220V düzeyine, yakınıımızdaki bir trafo merkezindeki üç fazlı bir trafoda indirilmiştir. Sonra da yeraltından ya da direkler üstünden, kapımızın yakınına kadar getirilmiş... Üç fazlı bir trafo aslında, keza içi yağ dolu bir kutunun içine yerleştirilmiş olan; üç ayrı, bu durumda 'alçaltıcı trafo'dan oluşur. Sarım sayısı yüksek olan birincil bobinlere, yüksek gerilimin üç faz hattı, çoğu kez 'delta' şeklinde, yani bobinlerin uç uca seri olarak bağlanmasıyla oluşan üçgenin köşelerine bağlanır. Düşük sarımlı ikincil bobinlere ise, bağlantı genellikle Y şeklindedir. Bobinlerin birer ucu göbekte bağlandıktan sonra toprağa verilmiştir. Serbest kalan diğer üç uç, düşük gerilimin üç fazını taşımaktadır. Ayrıca, Y'nin göbeğindeki ortak bağlantı noktasından bir de 'nötür' hat çıkartılır. Göbek topraklanmış olduğundan, bu nötür hat da aslında toprağa bağlıdır. Dolayısıyla, trafo merkezinden, üçü faz

ve biri nötür olmak üzere, dört hat çıkmaktadır. Yolda bu dört hattın; birisi nötürden ve diğerleri de gereksinime göre, fazların biri, ikisi ya da üçünden olmak üzere; sokak aralarına, sayısı ikiye dört arasında değişen 'ikincil' hatlar ayrılır. Sonuç olarak, konut ya da işyerleri; bir, iki ya da üç fazlı elektriğe, bu ikincil hatlar aracılığıyla bağlanır. Nötür hat, trafonun göbeğinden toprağa bağlı olduğundan, gerilimi genelde sıfırdır. Fakat, fazlara bağlanan yükler eşit olmayabileceğinden, hem de zaten yüklerin hepsi direnç tipinde ve 'rezistif' olmayıp, bazı 'reaktif' bileşenler de içereceğinden; yük dağılımının dengesiz ya da 'kosinüs çarpmanı'nın 1'den az olduğu durumlarda, zaman zaman gerilim ve akım taşıyor olacaktır. Nötür hat bu yüzden, ayrıca, hatları taşıyan direklerin herbirinin yüzeyinden aşağıya indirilen birer hatla daha toprak-



lanır. Ya da yeraltı kutularında topraklanmış. Sonuç olarak bu hatlardan, konut ya da işyerimize en yakın taşıyıcı direktten ya da yeraltı bağlantı kutusundan, bir nötürle en az bir faz hattı çekilip, elektrik panomuza kadar getirilir. Fazla nötür arası gerilimin RMS genliği  $\epsilon_{RMS} = \epsilon_0 / \sqrt{2} = 220 \text{ V}$  olduğundan, asıl genlik  $\epsilon_0 = 220 \times \sqrt{2} = 311 \text{ V}$ 'tur. İki fazlı elektriğin amacı, nötürle faz arasındaki 220 V'un yanında, gerektiğinde iki faz arasından  $\sqrt{3} \epsilon_0 = 220 \times \sqrt{3} = 381 \text{ V}$  çekebilmektir. Üç fazlı elektrik ise, örneğin güçlü kaynak makinaları, üç fazlı motorlar ve ark ocakları gibi, sabit güçle daha sağlıklı çalışan bazı donanım için gerekir. Biz tek fazlı duruma bakalım. Bu durumda güç panomuza, biri faz ve biri nötür olmak üzere, yalnızca iki hat bağlanmıştır. Şebekenin nötür hattı, son olarak direğin dibinden ve daha önce de trafo göbeğinden toprağa bağlı olduğundan, böyle bir şebeke bağlantısının, 'topraklanmış' anlamında 'T' olduğu söylenir. Şebekeye ait olan kısım bu kadar. Bundan sonrası konuta ait. Geldik mi nihayet evin kapısına?... Sabrınızdan dolayı tebrik ederim.

# TÜKETİM

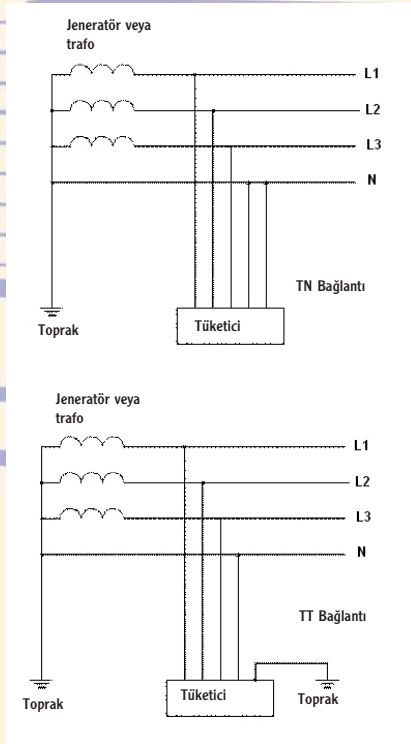
Ev ya da işyerindeki elektrikli aygıtların, birer 'yük' oluşturduğu söylenir. En basit örnek olarak; ısıtıcı bir dirençle, bir ucuna bağlı bir 'açma kapama düğmesi'nden oluşan bir fırının nasıl bağlandığına bakalım. Fırını çalıştırmadan önce, düğme 'kapalı' konumda iken; direncin serbest ucunun panodaki faz ucuna, düğmenin serbest ucunun da panodaki nötr uca birer hatla bağlanması gerekmektedir. Genelde bu hatlar önceden çekilmiş olup, uçları duvardaki bir prizde mevcuttur. Fırının fişi prize takıldığında, direnç; faz ayağına doğrudan, nötr ayağına da düğme üzerinden bağlanmış olur. Düğme kapalı konumdayken 'açık' durumda olan bir 'devre' oluşturulmuştur ve düğme, bu devreyi açıp kapamaya yarayan bir anahtar işlevi görmektedir. Faz ucuna 'canlı uç' da denir. Düğmenin nötr ayağına bağlanmasının nedeni güvenlidir. Çünkü aksi halde faz ayağının, taşıdığı gerilimi, istem dışı bir temas sonucunda aygıtın dış yüzeyine aktarması olasılığı daha yüksektir. Düğme kapalı konumda devreyi açık tutarken, açık konuma getirildiğinde devre kapanacak ve direnç, şebekenin sağladığı  $220 V_{RMS}$ 'lik güç kaynağına paralel bağlı hale geçecektir. Düğme kapalı konumda, yani devre açıkkenki

durum nedir acaba?..

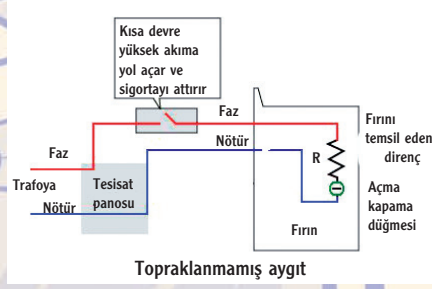
Nötr ayak, panodaki nötr uç kanalıyla dolaylı olarak da olsa toprağa bağlı olduğundan, yerle aynı, yani sıfır gerilimdedir. Faz ayağı ise, panodaki faz ucuna varduktan sonra devamla, direğin üzerinden bobine kadar uzanıyor ve bobin bu hatta,  $V=220V_{RMS}$ 'lik AC gerilim ( $\epsilon(t)=220.\sqrt{2}\sin(\omega t)$ ) uyguluyor; yani içindeki elektronları periyodik olarak itip çekmeye çalışıyor. Fakat, iterken elektronları hareket ettirebilmesi için; direnci de içerip, kapalı konumdaki düğmede biten faz hattının, şimdilik boşta olan bu bitiş ucundaki elektronların en azından bir kısmının, dirençten dışarı fırlayarak, geride artı yüklü atomlar bırakabilmesi gerekir. İşte burası önemli: Elektromanyetik kuvvet o denli güçlü bir kuvvet ki, boş uçtaki atomların en ufak bir kesrinin dahi artı yüklü hale gelmesi; bu artı yükün, fırlayıp kaçmaya kalkışan elektronlar üzerinde, bobinin uyguladığı itme kuvvetinden ( $F_{max}=e.220.\sqrt{2}/L$ ) çok daha büyük bir kuvveti, ters yönde uygulaması anlamına gelir. O kadar ki, küçük bir hesapla görülebileceği üzere; bir bakır telin 1'er mm<sup>3</sup>'lük bitişik iki parçasından birindeki atomların yalnızca birer elektronlarının diğer parçaya geçmesi halinde, iki parça birbirine, Dünya'nın Ay'a uyguladığı kütleçekiminin onda birinden fazlasını uygular. Bu denli büyük karşı kuvvetlerin yenilerek öyle bir 'elektron emisyonu'nun gerçekleştirilmesi, çok yüksek gerilimler ya da sıcaklıklar gerektirdiğinden, bu koşullarda mümkün değildir. Dolayısıyla, elektronlar hareket edemezler. Düğme açılıp da devre kapatıldığında da zaten, elektronlar harekete geçip akım taşımaya başladıklarında, iletkenin bir kesitinden uzaklaşan elektronların hemen arkasından yenilerinin gelip, geride artı yüklü olarak bırakılmış olan atomları nötrleştirilmesi gerekir. Elektrik akımını bu açıdan, elektronların, her an için onların yükünü dengeleyecek miktardaki artı yüklerin arasında bir seyahati olarak düşünmek yerinde olur. Aksi halde, elektron hareketi imkansızdır. Bobin elektronları itmeye çalışırken durum böyle: Peki, çekmeye çalıştığı sırada ne olur? Bobinin diğer ucu, Y bağlantısının göbeğinde aşağı, toprağa bağlı olduğuna göre,

ilk bakışta, faz hattından bir miktar elektron emip toprağa verebilmesi gerekir gibi görünüyor. Fakat bu durumda da; uzunluğunu L olarak aldığımız faz hattının, direnci içerip kapalı konumdaki düğmede biten ucundaki elektronların, en azından bir kısmının bobine doğru hareket ederek, geride artı yüklü atomlar bırakması gerekir. Bu sefer de keza; şimdilik boşta olan bu bitiş ucundaki atomların en ufak bir kesrinin dahi artı yüklü hale gelmesi, bobine doğru harekete geçerek uzaklaşmaya kalkışan elektronlar üzerinde yine, bobinin uyguladığı emme kuvvetinden ( $F_{max}=e.220.\sqrt{2}/L$ ) çok daha büyük bir kuvveti, ters yönde uygulaması anlamına gelir. Dolayısıyla, elektronlar bu yönde de hareket edemezler. Kısacası, bobinin uyguladığı periyodik itme ve çekme kuvvetleri karşısında, faz ayağının yapısındaki serbetçe dolaşabilen elektronlar, itilerek sıkıştırılmadığı gibi, emilerek de genişletilemeyen bir akışkan; ya da  $220 V_{RMS}$  genlikli gerilimin yol açtığı kuvvetleri umursamayan çok 'ideal sert' bir yay gibi bir davranır. Öte yandan faz hattının, bobinden ısıtıcı dirence kadar uzanan kısmının, her ne kadar iletken bir malzemeden yapılmış olsa da, bir miktar direnci vardır ( $R_i$ ). Bu direnç, ısıtıcının direncine ( $R_D$ ) seri bağlı durumdadır. Seri bağlı dirençler, üzerlerindeki toplam gerilimi, büyüklükleri oranında paylaşır.  $R_D \gg R_i$  olduğundan, bobinin sağladığı  $220V_{RMS}$  genlikli  $V(t)$  geriliminin hemen tamamı ısıtıcı direncin üzerindedir ( $V_D(t)=V(t).R_D/(R_D+R_i)$ ). Neyse...

Bu durumda nötr ayağına dokunursak, bize birşey olmaz. Olsa olsa, varsa eğer, üzerimizdeki statik elektrik deşarj olur. Ama faz ayağına dokunduğumuzda; yalıtkan bir çift terlik giymiyorsak eğer; yerle aynı, yani sıfır gerilimde olduğumuzdan; devreyi vücudumuz üzerinden kapatmış oluruz. Vücudumuzun toplam direncini, faz hattının, dokunduğumuz noktadan bobine kadar uzanan kısmının direncine ( $R_F$ ) seri olarak bağlamış olduğumuzdan, üstlendiğimiz gerilim miktarı,  $V_V(t)=V(t).R_V/(R_V+R_F)$  kadardır. Fakat, oluşan akımın tamamı vücudumuzdan geçmektedir. Burada 'geçme' deyimi, 'elektronların geçip gitmesi' anlamında değildir. Çünkü, akım salı-



nımlı olduğundan, vücudumuzdaki elektronlar ve sıvılardaki iyonlar, gerilimin dürtüsüyle; kabaca kah aşağıya, kah da yukarıya; faz ayağının dokunduğumuz noktadan öte kısmındaki elektronlar ise, ileriye ve geriye doğru salınmaktadır. Gerilim sayesinde kazandıkları kinetik enerjiyi, atomlarla çarpışmaları sırasında onlara aktarır ve ilgili ortamların ısınmasına yol açarlar. Dolayısıyla, faz hattıyla birlikte, vücudumuz da ısınmaya başlar. Elektrikle çarpılma sonucundaki yanıklar, bu süreçten kaynaklanır. Vücudumuz açısından daha önemlisi, elektrokimyasal süreçlerle çalışan sinir hücrelerinin olağan çalışma düzeninin bu arada altüst olmasıdır. Sinirler, 'gelişigüzel' ve şiddetli uyarılar üretirek, vücudumuzu sarsmaya başlarlar. En ciddi tehdit, kalbin atış ritmini düzenleyen 'sinüs düğmesi'nin sekteye uğraması ('fibrilasyon') sonucunda kal-



bin durması olasılığıdır. Isıtıcı direncin, çalıştırma düğmesine yakın bir noktana dokunmuşsak eğer, gerilimin daha küçük bir kısmını üzerimize almış olacağız, sonuçlar bu kadar ciddi olmayabilir. Elektrik şokunun olası seyri ve tehlikelerini daha sonra ayrıtılı olarak ele alırız. Şimdi elimizi çekip çalıştırma düğmesini açalım, bakalım o zaman ne oluyor...

Devre kapanmıştır: Trafonun göbeğinden inen toprak hattının toprak ucundan başlayarak, bobin üzerinden

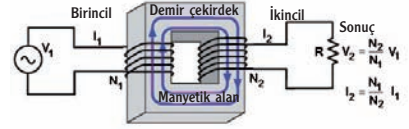
devam edip, dağıtım hattıyla panodaki faz ucuna gelmekte ve faz ayağı üzerinden dirence ulaşıp, onu da içerdikten sonra, açık konumdaki düğmenin üzerinden geçip, nötür ayakla yoluna devam etmekte ve panodaki nötür uca varduktan sonra, direğine tepesinden aşağıya, tekrar toprağa inmektedir. Devrenin, iletken malzemeden yapılmış olan faz ve nötür ayakları da dahil olmak üzere, 'elemanları', bobinin sağladığı AC gerilimden, dirençleri oranında pay almışlardır. Faz ayağının direnci, upuzun hat boyunca homojen dağılmış olduğundan, hattın birbirine yakın iki noktası arasındaki direnç, görece küçük, dolayısıyla gerilimden aldığı pay da çok düşüktür. Örneğin dağıtım ya da iletim hattı üzerine konan bir kuş, vücudunu bu iletken hattın, ayakları arasındaki minik bir kısmına paralel bağlamış olduğundan, o minik kısmın üzerindeki çok düşük ge-

## İletim, Dağıtım

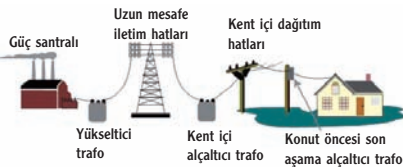
Elektrik iletim ağı, hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Ağlardaki gerilimin düzeyini plastik yalıtımla, canlıların temas halinde zarar görmeyecekleri düzeylere indirmek, ekonomik açıdan imkansızdır. Dolayısıyla, hatların çıplak olarak kullanılması zorunluluğu vardır. O halde bu çıplak hatların, karayla temas halindeki canlıların erişiminden, olabildiğince uzak tutulması gerekir. Hatların, normalde ulaşamayacak yükseklikteki direklerin üzerinden çıplak olarak iletilmeleri bu yüzden. Ağın belkemiğini, 'yüksek gerilim' (YG) ağı oluşturur. Jeneratör çıkışındaki 33,3 kV'luk gerilim, santral çıkışındaki ana trafo istasyonunda, 765 kV'a varan düzeylere yükseltildikten sonra, YG ağına verilir. Bu ağı değişik kısımları farklı gerilimlerle çalışıyor olabilir. Yüksek gerilim hatlarını taşıyan direklerin genellikle üç; ya da iki kolda üçerden altı, hatta altıya kadar oniki hat bile taşıdığı görülür. Bunlar faz hatlarıdır. Ayrıca bir nötür hattı, direklerin en tepesinden uzanmaktadır. Direklerden aşağıya indirilen iletken uzantılarla topraklanmış olan bu sonuncu hattın görevi, yıldırım düşmesi halinde, enerjiyi toprağa aktararak, altındaki faz hatlarını korumaktır. YG ağının amacı, 'orta gerilim' (OG) taşıyan bölgesel ağları beslemektir. İlettiği yüksek gerilim, OG ağlarının giriş noktalarını oluşturan YG/OG trafo istasyonlarında, 100 kV civarındaki, örneğin 66 kV ya da 132 kV'luk OG düzeylerine indirilir. OG ağları, ortalama 100 MW civarındaki güç taşıma kapasiteleriyle, 'düşük gerilim' (DG) ağlarını beslerler. İlettikleri orta gerilim, DG ağlarının giriş noktalarını oluşturan

OG/DG trafo istasyonlarında, 3,3-33 kV arasındaki DG düzeylerine indirilir. Tüketim merkezlerine artık yaklaşılmış demektir ve ortalama 10 MW civarında güç taşıyabilen DG ağları bu gücü, mahalle aralarında gördüğümüz, genelde yeşil boyalı metalle kaplı küçük odalardan oluşan yerel 'alt trafo istasyonları'na dağıtır. Bu yerel istasyonlarda DG, dağıtımın son aşamasındaki küçük ölçekli tüketicilere iletmek üzere, 220 V'a indirilir. Bu sonuncu işlem, yerel dağıtımın havadan yapıldığı yerlerde bazen sokak aralarında gördüğümüz elektrik direklerinin bazılarının altında bulunan kutuların içindeki düşük gerilim trafolarında gerçekleştiriliyor da olabilir. Nasıl bir şey trafo?...

Bir trafo, yan yana duran, aynı demir çekirdek üzerine sarılmış iki bobinden oluşur. Yükseltici bir ('step-up') trafoda, bu bobinlerden ikincinin sarım sayısı birincisinden fazla, diyalim n katı kadardır. Birinci bobinden geçen AC akım, bu bobinde zamanla değişen bir manyetik akı üretmektedir. Bu akı ikinci bobinde, daha fazla sayıda sarım halkasının içinden geçmekte olduğundan, n katı kadar daha büyük bir akı oluşturur. Dolayısıyla, ikinci bobindeki toplam akının zamanla değişim hızı, birincisinden n misli daha büyüktür. Faraday yasası gereği bu durum, ikinci bobindeki gerilimin birincisinden n katı kadar daha büyük olduğu anlamına gelir ( $\dot{A} = N \cdot d\phi/dt$ ). Buna karşılık, ikinci bobindeki akım birincisinden n katı kadar azalmıştır. Öyle de olması gerekir zaten. Ki güç,  $P = V \cdot I$ , trafo kayıplarını da göz önünde bulundurmak kaydıyla, korunmuş olsun. Trafo, içi yağ dolu bir kutunun içine yerleştirilmiştir. Yağın amacı, hem güç aktarımında sorun yaratabilen nemi uzak tutmak, hem de sıçramalara karşı, bobinleri kutu çeperinden yalıtımdır. Trafolarla maliyeti ve ulaşılabilen gerilim düzeylerini belirleyen ana etken, bu yalıtım sorunudur. 'Alçaltıcı' bir ('step-down') trafoda ise, tam tersine, ikinci bobindeki



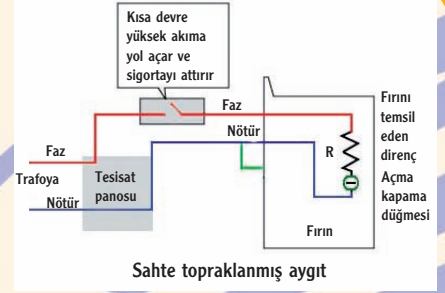
sarım sayısı birincisinden daha azdır. Bu yüzden, gerilimi yükseltmek yerine düşürürler. Trafoların ilk bakışta biraz gizemli görünebilen bir işlevi, bir bakıma dişli çarklarına benzer. Nasıl ki küçük bir çarktan, yarıçapı ve dolayısıyla da diş sayısı, varsayalım n katı kadar büyüğüne aktarılan tork n misli büyür ve fakat bu arada açılma hızı da aynı oranda küçülürken, torkla açılma hızının çarpımı olan güç sabit kalıyor ise; burada da ona benzer şekilde. Eğer dersiniz ki, "hani hidrolik örnek": Hidrolik pompalar ve asansörler. İçi sıkıştırılmaz bir akışkanla dolu kapalı bir kabın yalnızca, biri diğerinin n misli geniş yüzey alanına sahip iki piston çıkışı varsa; küçük pistonu F kuvveti uyguladığımızda, basıncın akışkan içerisinde aynen dağılımı (Pascal Yasası) gereği, büyük pistonun yüzeyinde F'nin n misli kadar bir kuvvet oluşur. Fakat buna karşılık, büyük kuvvete d kadar yol katettirebilmemiz için, küçük kuvvetin uygulama noktasını d'nin n misli kadar hareket ettirmemiz lazımdır. Yani güç ve enerji korunur. Trafoların bu, dişli çarklara ya da hidrolik pompalara benzenen basit ve maliyeti düşük yapısı nedeniyle ki, AC gerilimi yükseltip alçaltmak, bu işlemi DC gerilimle yapmaya oranla çok daha kolaydır. Gerçi şimdi artık DC gerilimi, trafoların AC'de yaptığı gibi, yüksek verimle değiştiren 'katı hal' aygıtları var. Fakat geçen yüzyılın başlarında bu teknoloji yoktu. Edison'un şirketi DC güç dağıtmaya başlamış iken, Tesla'nın geliştirdiği AC geriliminin rakip Westinghouse şirketi tarafından benimsenmesi üzerine iki şirket arasında patlak veren 'akım savaşları'nın AC'nin zaferiyle sonuçlanmış olmasının ana nedeni buydu.



rilimi kendi üzerine almış olur ve çarpılmaz. Kuşu 'kuş'layıp devremize dönecek olursak; devre üzerinde salınan elektronlar; faz ve nötr ayakları oluşturan iletkenleri, onların küçük dirençleri oranında bir miktar ısıtmakta, fakat ısı esas olarak direnç üzerinde açığa çıkmaktadır. Bu durumda ısıtıcı direnç, direnç özelliğini bir şekilde kaybederse ya da her nasılsa, iletken metal bir çubuk, faz ayağının dirence girmeden önceki bir noktasıyla, nötr ayağın dirençten sonraki bir noktasına aynı anda temas ederse, 'kısa devre' olur. Toplam direnç ( $R_T$ ) düştüğünden, oluşan yeni devredeki akım ( $I(t)=V(t)/RT$ ) hızla artar. Üretilen ısı ( $P(t)=RT.I(t)^2$ ) iletken hatları eriterek, devreyi perişan edecektir. Bu olasılığa karşı önlem olarak, devrenin faz ayağına, yani panodaki faz ucuyla priz arasında, 'devre kesici' işlevi gören bir 'sigorta' konur. Devreden geçen akım, örneğin 10, 15, 20 amper gibi olağandışı düzeylere ulaştığında, sigorta atıp, devreyi açar. Tabii, her aygıtın faz ayağına ayrı bir sigorta koymak yerine, birden fazla aygıtın faz ayakları aynı sigortadan geçirilebilir. Aygıtın çalışması için gereken devrenin tamamı bundan ibarettir. Ancak, güvenlik açısından bir de şasinin topraklanması gerekir. Dikkat edilecek olursa, bu devrenin, konuttaki tesisat kısmında, ayrı bir toprak hattı yoktur. Bu durumda, topraklama işlemi, panodaki nötr uçtan direğe, oradan da yere uzanan hat aracılığıyla yapılabilir. Böyle bir konut ya da işyeri tesisatına, "nötr ayak tarafından topraklanmış" anlamında, 'N-tipi' tesisat denir. Oysa devrenin

şebeke kısmı doğrudan topraklanmış, yani 'T' olduğundan; böyle bir şebeke-tesisat bağlantısının 'TN' tipinde olduğu söylenir: İlk harf şebekenin, ikinci harfse konuttaki tesisatın yapısına atıfta bulunmaktadır. Bu devreye parmak ucuyla dokunduğumuz takdirde; dokunduğumuz noktadan başlayarak, nötr ayağına paralel olarak yere ulaşan ikinci bir hat daha oluşturmuş oluruz. Gerilimin, vücut direncimize düşen payını üzerimize alır ve vücudumuzda oluşan akımla 'çarpılırız'. 'Çarpılmak' her ne demekse... Eğer dokunduğumuz nokta faz ayağında ise, ısıtıcı dirençle aynı gerilimi görürken, akımı aramızda paylaşıyoruz. Çünkü dirence paralel bağlanmışızdır. Öte yandan, direncin, çalıştırma düğmesine bakan ucunun ne kadar yakınına dokunursak, gerilimin o kadar küçük bir kısmını üzerimize alır ve 'daha az' çarpılırız. Nötr ayağı tutmamız halinde ise, akım ağırlıklı olarak, direnci çok daha düşük olan nötr ayak üzerinden yoluna devam etmeyi tercih eder ve sonuç olarak, üzerimizden geçen akım çok daha düşük olur. Bu nedenle, şiddetle tavsiye edilmemekle birlikte, nötr ayağı çıplak elle tutmak mümkündür. Peki, bu fırın devresinin, güvenlik açısından eksikliği nedir?...

Kabloların yalıtım malzemesi zamanla, ısınma soğuma döngüleri sonucunda, yalıtkanlığından bir miktar kaybeder ve kullanılan malzemenin kalitesine bağlı olarak, kısa ya da uzun sürede kısmen iletken hale gelirler. Dolayısıyla, faz ayağının yalıtımı, fırının metal parçalarından biriyle temasa geldiğinde, o



parçaya gerilim aktarabilir. Böyle bir kaçak, sözkonusu parçanın normalde sıfır olması gereken gerilimini, faz ayağının gerilimine yükseltir. Fırın ya da diğer elektrikli aygıtların metal parçaları genelde birbirleriyle temas halinde olup, 'şasi' denen bütünü oluşturduğundan, gerilim tüm şasiye yayılır. Şasi sanki, faz hattını oluşturan iletkenin bir parçası, yani 'canlı uç' haline gelmiştir. Gerçi aygıt kapalı konumda ve şasi de bu durumda yalıtılmış olduğundan, ne nötr hattın aşağıya, ne de şasiden öteye bir akım yoktur. Fakat, bu durumdaki şasiye dokunmamız halinde, toprakla aradaki devreyi kapatmış olur ve çarpılmaya başlarız. Gerçi, üzerimizden geçen akım 'sigorta eşiği'ni aşarsa, sigorta atarak devreyi kesecektir. Fakat, genellikle bir metal parçasının ısınıp genişlemesine bağlı olarak atan 'ısı-mekanik' sigortaların tepki süresi uzun olduğundan, devreyi kesme işlemi gerçekleşinceye kadar iş işten geçmiş olabilir. Dolayısıyla, 'kaçak' olasılığına karşı önlem almak lazımdır. Bu amaçla aygıtın şasisi, nötr ayağına bağlanabilir. Buna 'sahte toprak' denir. Sanırım çoğu tesisatta başvuru olan bu kolaya kaçış yöntemi, olağan koşullar altında güvenliği sağlar. Çünkü bu

## Topraklama

Konut ya da işyerinde TT tipi bir tesisat oluşturmak için, güç panosundaki faz ve nötr uçlarına ek olarak, üçüncü bir toprak ucunun oluşturulması ve bu ucun, yeterince kalın bir kablo ile, toprağa gömülü iletken bir plakaya bağlanması gerekir. İletken plakanın, aksi halde zamanla oksitlenip eriyebileceğinden, örneğin bakır gibi paslanmaz bir metalden yapılmış olması tercih nedeni. Gerçi bakır da oksitlenir, fakat üzerinde oluşan oksit katmanı, bir kez oluştuktan sonra, altındaki metali korur. Fakat bakır bir plaka dahi, topraktaki nemle temas halinde ikenki yük aktarımları sırasında, kesintili ve yavaş olarak da olsa yer alan elektroliz süreçleri nedeniyle zamanla aşınacağından, yeterince kalın olmak zorundadır. Ancak, bakır pahalı bir metal olduğundan, plaka yerine bir çubuk da kullanılabilir. Hem de çubuğu dar bir yere, fazla derin bir çukur açmak zorunda kalmaksızın çakmak mümkündür. An-

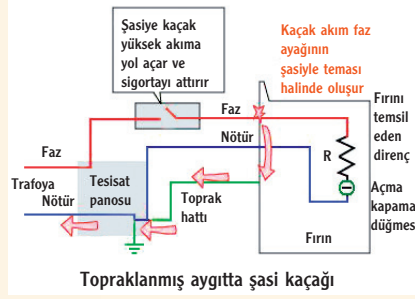
cak, çubuğun iletkenlik yüzeyi daha az olacağından, aynı performans için birim yüzeye düşen aşınma miktarı görece yüksek olacaktır. Bu nedenle, plakayla çubuk arasında bir 'ara çözüm' olarak, birden fazla uca sahip çatal şeklinde bir iletkenin kullanılması tercih edilebilir. İletken çubuk, galvanize demir ya da bir boru da olabilir. Nitekim, tesisat borularının galvanizli demirden yapıldığı dönemlerde, toprak hatları bu borulara bağlanırdı. Fakat demirin yerini plastik alıp da "mertlik" bozulunca, bu imkan ortadan kalktı. Galvaniz katmanın zedelenmesi halinde, yüzeyindeki aşınmayı bir dereceye kadar, yük aktarımı sırasında gerçekleşen galvanik süreçlerle, yani kendi kendine tamir edebilme yeteneği vardır. Ancak, yüzeysel aşınma derinleşip genişledikçe, kendiliğinden tamir hızı yetersiz kalır ve altındaki demir metal paslanmaya başlar. Dolayısıyla, bu çubukların zamanla değiştirilmesi gerekir. Öte yandan, toprak kurudukça iletkenliği azaldığından, iletken çubuk gömülürken, etrafı topra-

ğın iletkenliğini arttıran bir tozla doldurulur. Her olasılığa karşı; topraklama çubuğunun, hangi malzemeden yapılmış olursa olsun, toprağın hemen daima nemli olan bir yerine ya da yeterince derinine gömülmesi lazımdır. Gömü yerini ara sıra sulamakta yarar bile vardır. Çubuk bu kadar...

Konut ya da işyerimizdeki böyle bir TT tipi tesisata bağlı olan bir aygıtın toprak ayağı, güç panosundaki bağımsız toprak ucu aracılığıyla, TT'deki ikinci T'nin kendi topraklama çubuğuna bağlıdır. Nötr ayak ise, önceki TN düzeninde olduğu gibi, panodaki nötr uç üzerinden direğin tepesine çıkıp, oradan toprağa iner. Bu durumda çubuğun topraklama yeteneği direğinki kadar iyi olmadığından; topraklama ayağının (T) genel anlamdaki direncini oluşturan 'empedans'ı, nötr ayağın (N) empedansından daha yüksektir. Dolayısıyla, T ayağıyla topraklanmış olan bir aygıtın faz ayağında bir kaçak olması durumunda, şasi görece büyük bir empedansla karşı karşıya kalır. Bu, toprak hattının şasiden alıp toprağa aktardı-

durumda nötür ayak, aygıt kapalıyken bir kaçak oluşursa, şasiden gelecek akımı, panodaki nötür uca iletir. Kaçağın temas noktası genellikle dirençten önce olduğundan, şasi; devreye sağlanan gerilimin tümünü görür ve direnci düşük olan şasi üzerinden geçen akımın değeri yüksek olur. Hal böyle olunca da, sigorta atarak; hem bizi uyarır, hem de korur. Ancak, aygıt çalışırken bir kaçığın oluşması halinde, nötür ayak, hem direnç üzerinden geçen ve hem de şasiden gelen akımı, keza panodaki nötür uca iletir. Şasiden geçen akım, sigortayı atıracak kadar yüksek değerlere ulaşmazsa, aygıt çalışmaya devam eder ve sigorta atmaz. Böyle, gerilimin tümünü devralmamış olup, 'kısmen canlı uç' haline gelmiş olan bir şasiye dokunduğumuzda, vücudumuz, akım için alternatif bir hat oluşturur ve yine çarpılırız.

Dolayısıyla, şasiye gerçek anlamda topraklamanın yöntemi; şasiden panonun nötür ucuna kadar uzanan, devrenin nötür ayağına paralel ikinci bir hat daha oluşturmaktır. Topraklı bir prizde, bu üçüncü hat zaten vardır. Öte yandan, çamaşır makinası ya da fırın gibi yüksek akım çeken elektrikli bir aygıt, güvenlik şartnameleri gereği, imalattan; üçlü bir fişle donatılmış ve aygıtın şasisi, bu fişin faz ve nötür uçlarının ortasının altındaki ya da üstündeki üçüncü 'toprak ucu'na bağlanmış halde çıkmak zorundadır. Şasinin bu fişin toprak ucuna gerçekten de bağlanmış olup olmadığını anlamak için; şasinin herhangi bir noktasıyla fişin toprak ucu arasındaki direncin, bir dirençölçerle ('ohmmetre')



ölçülmesi yeterlidir. Çünkü bağlantı yapılmamışsa, dirençölçer sonsuz, düzgün yapılmışsa sıfır, kusurluysa arada bir değeri gösterir. Nötür ve faz uçları arasındaki direnç ölçümü ise, bir fırın için; çalıştırma düğmesi kapalı konumdayken sonsuz, açık konumdayken de, ısıtıcı direncin değerini verir. Fiş prize takıldığında; şasiden gelen toprak ucu ile, prizden aşağıya inip panodaki nötür uca ulaşan ve o noktada nötür ayakla buluşan 'topraklama ayağı' arasındaki bağlantı kurulmuş olur. Ki, aygıt çalışırken, devrede dolaşan akım nötür ayak üzerinden ve varsa eğer, şasiye kaçak da toprak hattı üzerinden nötür uca ulaşır, oradan da direğin tepesinden aşağı, yerle bağlantı kurabilsin. Aygıt çalışmaz durumda, yani nötür ayak devre dışıyken de, olası şasi kaçakları yere, toprak hattı üzerinden ulaşabilsin. Bu durumda dahi, faz ya da nötü ayağı oluşturan kabloların bir tadilat sırasında, örneğin duvarlara çivi çakılır ya da matkapla delik açılırken, bir yerden kırılmaları olasılığı vardır. Faz ayağıyla temasta olan bir çivi ya da matkap ucuna dokunmanın tehlikesi malum. Fakat, faz ayağı kırıldıktan sonra, açıkta kalan canlı ucu metal bir nesneye do-

kunmuyorsa, bu tehlikeli bir durum oluşturmaz. Hem de aygıt, düğmesi açıldığında çalışmayacağı için bize uyarıda bulunulmuş olur ve gereğini yaparız. Oysa, kırılan ayak nötür ayak ise, kırılma noktasının yerine bağlı olarak, iki olasılık var. Birincisi, kırılma eğer, aygıtın çalıştırma düğmesiyle panodaki nötür uç arasında bir yerde ise; aygıt çalışma konumuna getirildiğinde, çalışmayıp bizi uyaracaktır. İkinci olasılık nötür ayağın, panodaki nötür ucun ötesinde, yani konutun dışında bir yerden kırılmış olmasıdır. Bu durumda ise; aygıtın hem topraklama, hem de nötür ayağı kesilmiş demektir. Aygıt, çalışma düğmesi açık konuma getirildiğinde çalışmayacağından, durumun farkına varır ve gereğini yaparız. Bu, şebekeye ait bir sorundur ve dağıtım şirketine haber verilmesi gerekir. Ancak, bu arada faz ucundan bir de kaçak oluşmuşsa, şasi canlı uç haline gelerek tehlike yaratır. İşte bu olasılığa karşı, aygıtın toprak hattını panodaki nötür uç yerine, konuttaki ayrı bir topraklama hattına bağlamakta yarar vardır. Bu durumda konut, şebekeden bağımsız bir toprak hattına sahip olur. Böyle bir konut ya da işyeri tesisatına, "ayrıca topraklanmış" anlamında, 'T-tipi' tesisat denir. Şebeke kısmı zaten topraklanmış, yani 'T' olduğundan; böyle bir şebeke-tesisat bağlantısının 'TT' tipinde olduğu söylenir: İlk harf şebekenin, ikinci harfse konuttaki tesisatın yapısına atıfta bulunmaktadır. Şimdi bu bağımsız topraklamanın nasıl yapılacağına bir bakalım...

ğü akımın küçük olacağı anlamına gelir. Nitekim de öyledir, miliamperler düzeyinde. Bu akım, sigortayı atıramaz. Ama 20mA'ı aştığı takdirde öldürücü olabilir. Bu nedenledir ki, T ayağıyla topraklanmış olan aygıtlarda daha sıkı bir güvenlik önlemi olarak, 'topraklamanın kusurlu olması halinde devre kesici' işlevi gören 'kaçak akım röleleri' kullanılır. Kaçak akım rölesi, sigortanın yaptığı gibi faz ayağından geçen akımın tamamını değil, aygıtın faz ve nötür ayaklarındaki akımlar arasındaki farkı ölçer ve bu fark belli bir düzeyi, örneğin 20 mA'ı aştığında devreyi keser. Röle bu işlevini, bir bobin aracılığıyla yerine getirir. Aygıtın faz ayağı bu bobinin içinden bir yönde, nötür ayağı da diğer yönde geçmektedir. Dolayısıyla, iki ayakta geçen akımlar eşitse eğer; bobinin üzerinde oluşturdukları manyetik akılar, zıt yönlü olduklarından, birbirlerini iptal ederler. Sonuç olarak, bobinde oluşan toplam manyetik akı sıfır, yani durum normaldir. Oysa, iki akım arasında bir farkın bulunması halinde, bobinde net bir manyetik akı oluşur. Ki bu du-

rum, faz ayağından şasiye bir kaçak olduğu anlamına gelmektedir ve oluşan manyetik akının şiddeti, kaçak akım miktarına eşit olması gereken 'farkın büyüklüğü'yle doğru orantılıdır. Dolayısıyla, akı şiddeti ölçülür ve bir 'kıyaslayıcı' da, önceden belirlenmiş bir değerle kıyaslanır. Örneğin 10 mA düzeyindeki net akımın yol açacağı akı değeri aşılmışsa eğer, kıyaslayıcı devreyi kesecek olan sinyali üretir. Dikkat edilecek olursa, böyle bir röle sistemi, aygıt çalışır halde olsun ya da olmasın, işlevseldir. Çünkü fazdan şasiye bir kaçak varsa eğer, her iki durumda da; faz ayağındaki akım nötür ayaktağinden, şasi üzerinden toprak hattına yönelen kaçak akım miktarı kadar büyük olmaktadır.

Röle kutusunun üzerinde genellikle bir 'deneme' ('test'), bir de yeniden 'kurma' ('reset') düğmesi bulunuyor. Deneme düğmesiyle röle önceden denenebiliyor, kurma düğmesiyle de, devreyi kestikten sonra yeniden etkin duruma getirilebiliyor. Tipine göre, aygıtta ayrıca bağlanmayı gerektirenleri ya da fişin doğrudan takılabileceği

priz şeklinde olanları var. Birden fazla aygıtı, paralel olarak aynı röleye bağlamak mümkün. Ancak, rölenin duyarlılığı bazen sıkıntı yaratabiliyor. Örneğin, civardaki bir floresan lambanın açılıp kapanması sırasında, denetlenen aygıtın devresinde miliamper düzeyinde akımlar oluşabileceğinden, röle devreyi gereksiz yere kesebiliyor. Öte yandan, garaj ya da balkon gibi dış ortam yüksek olduğu günlerde, özellikle sabahları, iletkenliği artmış olan havaya sızan yük miktarı olanğın olarak arttığından, röle denetlediği devreyi, keza gereksiz yere kesebilir. Bu yüzden daha ziyade, elektrik şoku olasılığının görece yüksek ve sonuçlarının daha ciddi olabileceği banyo gibi ıslak zeminli ortamlarda, örneğin saç kurutma ve çamaşır makinası gibi aygıtların devrelerinde kullanılıyor. Hatta, örneğin bir saç kurutma makinasının, kapalı haldeyken dahi, kuvete düşürülmesi, kuvetteki talihsizin ölümlüyle sonuçlanabileceğinden, bazı ülkelerde bu şart koşulmakta. 'Çarpılmak' ne demek?...

# ELEKTRİK ŞOKU

İnsanı gerilimin değil akımın öldürdüğü söylenir. Bu ifadenin ikinci kısmı doğru olmakla beraber, akıma yol açan etkenin gerilim olduğunu da unutmamak gerekir. Bir elektrik şoku halinde insan vücudundan geçen akımın miktarını vücut direnci belirler. Vücut direncinin büyüklüğü; kişiye, cinsiyete, şoka yol açan temasın hangi vücut noktaları arasında yer aldığına, canlı uçla temasın biçimine, derinin kuru ya da ıslak olmasına ve havadaki nem oranı gibi ortam koşullarına bağlıdır. Dirence en büyük katkısı, genelde ilk temasa konu olan derinin en dış katmanı olan 'epidermis'in ölü hücrelerden oluşan en üst katmanı oluşturur. Ancak, insan vücudu genelde, ağırlıkça %70 oranında sudan oluşmaktadır. Damıtık su iyi bir iletken olmamakla birlikte, hücre sıvıları, başta tuz olmak üzere çözünmüş iyonlar içerdiğinden, hayli iletkenidir. Yağlardan oluşan hücre zarları ise, hücreler arası iletkenliği engeller. Dolayısıyla, dokuların iletkenliği, içerdikleri yağ oranına bağlıdır ve vücut direnci açısından cinsiyetler arasındaki fark, burada kaynaklanır. Hatta bu nedenle, vücut direncini ölçmek, vücuttaki yağ oranını belirlemenin dolaylı bir yöntemini oluşturur. Kan ise, plazması çoğunlukla tuzlu su çözeltisinden oluştuğundan ve başta mineraller olmak üzere iletken kimyasallar içerdiğinden, iletkenliği oldukça yüksek bir 'elektrolit'tir. Sinir ve kas lifleri, elektrokimyasal süreçlerle çalıştıklarından, keza iyi iletkenlerdir...

1 mA	Güçlkle farkedilebilir
16 mA	Bırakabilme eşiği
20 mA	Solunum kaslarında yetenek kaybı veya geçici felç
100 mA	Ventrikül kasılmalarında düzensizlik (fibrilasyon) eşiği
2 Amps	Kalp durması ve iç organ hasarı
15/20 Amps	Sıradan sigortaların devreyi kesme eşiği *

Şokun etkisi ve sonuçları; vücuttan geçen akımın büyüklüğüne ve etkinlik süresine, dolayısıyla aktardığı enerji miktarına ve bunun yanında, hangi patikayı izlediğine, kişinin şok öncesi sağlık durumuna, vücudun o anki kim-



yasal bileşimine ve kalp atışı döngüsünün hangi aşamasında bulunduğuna göre değişir. İnsan vücudunun direnci, cildin kuru olması halinde, 0,1-1 'milyon ohm' (M $\Omega$ ) arasındadır. Gerçek değer, gerilimin hangi iki nokta arasına uygulandığına bağlıdır. Örneğin iki elin parmakları arasındaki direnç, elle ayaklar arasındakinden daha düşük olduğundan, elektrikle çalışırken tek eli kullanmak daha güvenlidir. Ayrıca, canlı uca iki elle birden dokunmak, temas yüzeyini artırır ve vücut direncini, paralel bağlı iki direnç haline getirdiğinden, yarı değerine indirir. Hem de göğüs kısmında bulunan, başta diyaframinkiler olmak üzere solunum kasları ve kalp, akımın izleyeceği patika üzerinde kalır. Güvenlik açısından, canlı ucun elle nasıl tutulduğu da önemlidir. Örneğin avuçla kavrama, parmak ucuyla dokunmaya oranla daha düşük direnç anlamına gelir. Öte yandan parmaktaki bir yüzük, hem temas yüzeyini genişletip, hem de daha sıkı bir temas sağlayacağından tehlikelidir. Her durumda, 220 V'luk gerilim, 0,22-2,2 miliamper (mA) arasında akıma yol açar. Yandaki tablodan da görüldüğü üzere, 1mA civarındaki akımı, insan güçlkle farkedebilir. Oysa cildin ıslak olması halinde, vücut direnci kilo ohm (k $\Omega$ ) düzeyine iner. Bu yüzden, giysiler ıslakken elektrikle çalış-

mak, çok daha tehlikelidir. Hele ıslaklık ter biçiminde ise, suda çözünmüş tuzun iletkenliği arttırması nedeniyle, direnç 1 k $\Omega$ 'a kadar düşer. Bu durumda, 220 V'luk gerilimin aktardığı elektrik enerjisi,  $P=V.I=V^2/R=48,4$  W hızıyla ısıya dönüşmektedir ve yol açtığı akım 220 mA kadardır. Oysa, koldan geçen akım 16 mA'ı aştığında, elin açılmasını sağlayan 'uzatıcı' ('extensor') ve kapanmasını sağlayan 'bükücü' ('flexor') kaslarda istem dışı kasılmalar oluşmaya başlar. Canlı uç elle tutulmuşsa eğer, daha güçlü olan 'bükücü' kaslar baskın çıkacak ve şoka uğrayan kişi, elindeki canlı ucu bırakamayacaktır. Bu yüzden, 16 mA'den sonra, 'bırakabilme eşiği' aşılmış olur. Ancak bu, daha düşük akımların tehlikesiz olduğu anlamına gelmez. Çünkü, irkilme sonucunda insan, bulunduğu yerden düşerek bir yerini kırabileceği gibi, rastgele tutunmaya çalışırken daha yüksek gerilimli başka yerlere dokunabilir. 20 mA'de, solunum kasları yetenek kaybına uğrar. Ayrıca, istem dışı kas gerilmeleri, kasların bağlı olduğu kemikleri kırabilir. 100 mA, kalbin atışlarını düzenleyen 'sinüs düğmesi'nin etkilenmeye başladığı ve kalbin üst yarısındaki kan pompalayan 'atar' odacıkların ('ventrikül') çalışma düzeyinde aksamaların ('fibrilasyon') başgösterdiği eşiktir. Beyne giden oksijen

miktarını azaltan bu durum, elektrik şokuyla ölümlerde başlıca nedeni oluşturur. Vuku bulduğunda, ilk yardım gelene kadar geçici önlem olarak, yavaş solunum uygulanarak, beyne giden oksijen miktarının artırılmasına çalışılır. İlk yardımda, bir kapasitörün yüklenmesiyle sağlanan 200 ile 1.700 V arasındaki gerilim atımı ('puls'), iki elektrot aracılığıyla göğüs üzerine uygulanır. Amaç, çalışma düzeni bozulmuş olan kalpteki tüm etkinlikleri bir an için durdurmak ve kalbin yeniden, kendi sinüs düğümünün doğal uyarılarına uyarak atmaya başlamasını sağlamaktır. Neyse...

Elektrikle çalışırken, şoka uğranması halinde akımın izleyeceği patikayı kalpten uzak tutabilmek amacıyla; çoğumuzun kalbi solda bulunduğundan, çoğumuz da zaten sağ eli olduğumuzdan; genelde sol eli cepte tutup, sağ elle çalışmak tercih edilir. Gerilim, derideki bir yarık üzerinden canlı hücre dokusuyla doğrudan temas geldiği takdirde, vücut direnci 500 Ω'a inerken, 220 V'luk gerilimin uyardığı akım 0,44 ampere çıkar. Gerilim yeterince yüksek, örneğin 1000 V civarındaysa eğer; uyardığı akım, sağlam deriyi bile aşındırır. Ki bu durumda, direnci 500 Ω'a inen vücut, 2 amper akımla karşı karşıya kalır. Oysa 2 amper ve üzerindeki akım, kalbin durmasına yol açabileceği gibi, enerji aktarım hızının yüksekliği nedeniyle, iç organlarda hasar yaratır. Çünkü, elektrik enerjisinin ısıya dönüşme hızı, ( $P=V.I=R.I^2$ ), 2000 W'a ulaşmıştır ve hasar, ısının yol açtığı yanıklardan dolayıdır. Bu sırada ciltte, gerilim kaynağıyla deri arasında oluşan elektrik arkları yüzünden 'flaş yanıkları', alev alan giysiler yüzünden de 'alev yanıkları' oluşabilir. Bu nedenle, 600 V'un üstü, elektrik şoku açısından yüksek gerilim sayılmaktadır. Yüksek gerilimin yol açtığı yanıklar genelde, yüzeyde aldatıcı bir şekilde dar kapsamlı, oysa iç organlarda derindir. İçteki damarlardan bazıları pıhtılaşma sonucunda tıkanmış, temas noktası civarındaki sinir uçları tahrip olmuş olabilir. Sinirler üzerindeki olumsuz etkinin şiddeti, gerilimin büyüklüğü yanında frekansına da bağlıdır. Örneğin bazı ülkelerde kullanılan 60 Hz'lik frekans, biyolojik bir raslantı olarak, insan vücudundaki sinirlerin doğal çalışma periyoduna karşılık geldiğinden,

bu frekanstaki AC gerilim, sinirlerde rezonans sonucu, daha güçlü tepkiler uyarır. Bizde ve Avrupa'da kullanılan 50 Hz'lik frekans, bu açıdan biraz daha güvenlidir. Fakat diğer yandan, AC gerilimle çalışan bazı aygıtlar, 60 Hz'lik frekansta daha yüksek verimle çalışır. Hayatta çoğu zaman olduğu gibi; artılar ve eksiler. "Peki bu 220 V, 60 Hz nereden çıktı?" dersiniz...

Üç fazlı alternatif akıma (AA) dayalı elektrik üretim ve dağıtımı, 19. Yüzyıl'da Nikola Tesla adındaki bir dahi tarafından geliştirildi. Tesla AA sisteminin, güç dağıtımı açısından kayıpları yüksek olan doğru akım sistemine göre üstün olduğunu belirlemişti. Yaptığı özenli araştırma ve dikkatli hesaplamalardan sonra, AA güç üretimi için en uygun frekansın saniyede 60 salınım, yani 60 Hz olduğu sonucuna vardı. Bu frekansla birlikte 240V'luk gerilim düzeyini öneriyordu. Fakat bu durum, 110V'luk doğru akım (DA) sistemlerini devreye sokmuş bulunan ve düşük gerilimin daha güvenli olduğunu savunan Thomas Edison'la ters düşmelerine neden oldu. Sonuç olarak, elektrik kullanımı yaygınlaştıkça, daha uzak mesafelere güç iletebilmek amacıyla DA'dan AA'ya geçildi. Bu yapılırken, Tesla'nın 60Hz önerisi benimsenmişti. Fakat Edison'un yerleştirmiş olduğu 110V'luk gerilim düzeyi korundu.

Avrupa ise, Alman AEG firması Avrupa'daki ilk güç üretim tesisini inşa ettiğinde, işe 110V'luk gerilimle başlamıştı. Oysa bu, pek de isabetli bir seçim değildi. Çünkü, düşük gerilim bazı sıkıntılara yol açıyordu. Aynı güçle çalışan iki aygıttan; 110V'luk olanı, 220 V'luk olanına oranla, iki misli akım çekmek zorundadır. Örneğin 1.5kW'lık bir elektrik süpürgesi 220V'ta 13.5A, 110 V'taysa 6.8A kadar akım gerektirir. Sonuç olarak, düşük gerilim tercihi halinde; kablo kesitlerinin daha kalın olması gerekir ve bir prizden çekilebilecek güç miktarı daha düşüktür. Ayrıca, bu güç düzeyinin aşılması olasılığı; çoğu aygıtın, başlatma sırasında normal çalışma haline göre daha fazla güç çekmesi nedeniyle yüksektir ve güvenlik amacıyla, prizlere giden dağıtım hatlarına devre kesicilerin konması gerekir. Dolayısıyla, bu sıkıntıları aşabilmek ve aynı bakır tel kesitinden daha az kayıpla daha fazla güç çekebilmek için gerilimi arttırmak

gerekiyordu. Nitekim, zamanla 220V standardına yönelindi.

AEG mühendisleri frekans seçiminde de 'hata' yapmış ve 60, onlu sayı sistemine ve metre standardındaki birimler dizilimine uymadığı için, frekans 50 Hz olarak seçmeyi tercih etmişlerdi. Oysa 50Hz, üretimde %20 daha az etkin, iletimde %10-15 daha verimsizdir ve trafo üretiminde, %30'a varan oranda daha büyük sarımların ve manyetik çekirdek malzemesinin kullanımını gerektirir. Öte yandan, elektrik motorları düşük frekanslarda daha verimsiz çalışır ve elektrik kayıplarıyla, bu kayıpların yol açtığı ek ısıya dayanıklı olmaları için, daha sağlam yapılmaları gerekir. Ancak, AEG o sıralarda bu alanda bir tekel oluşturduğundan, benimsediği frekans standardı tüm kıtaya yayıldı. İngiltere'de ise, ta ki II. Dünya Savaşı'ndan sonra 50Hz standardı benimsenene kadar, her iki frekans da kullanıldı. Bugün ülke olarak yalnızca; Peru, Ekvator, Guyana, Filipinler ve Güney Kore, Tesla'nın 60Hz frekans önerisini, 220-240V gerilimle birlikte kullanıyor. Avrupa düşük frekans tercihinin doğurduğu ek maliyetleri üstlenirken, ABD ve Japonya düşük gerilimin sıkıntılarını yaşıyor. Bu nedenle olsa gerek, devre kesiciler ABD'de, Avrupa'dan çok daha önceleri yaygınlaşmış bulunuyor. Ancak, ABD'deki yeni inşa edilen binalar artık, nötür uçla arasında 115V gerilim bulunan iki faz ucuna ayrılmış halde, 230V'luk gerilim alıyor. Böylelikle fırın gibi fazla güç kullanan ana aygıtlar, 230V'a bağlanıyor. Avrupa'dan sağlanan elektrikli aygıtlar, frekans farkını kabul ettikleri takdirde bu prizlere bağlanabiliyor.

Son olarak, elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımındaki kayıplar, iyi yapılandırılmış ve iyi yönetilen şebekelerde %6-7 gibi düşük görünebilen oranlarda gerçekleşiyor olmakla beraber, kaybedilen gücün ekonomik değeri yüksek miktarlara ulaşıyor. Bu kayıpları azaltmak için, iletimde kullanılan gerilimlerin, milyon volt düzeylerine yükseltilmesine çalışılmakta. Süperiletkenlerle bunu başarmak mümkün. Öte yandan, sifıra yakın dirençli süperiletken bobinler, elektrik enerjisinin ısı kayıplarına uğramaksızın depolanabileceği 'elektromanyetik depolama sistemleri' için ümit ışığı oluşturuyor.

# 1 YILLIK ABONELİK

e-dergi:

**25** YTL (25 milyon TL)

Yurtdışı: 15 Euro - 18 USD



Basılı dergi:

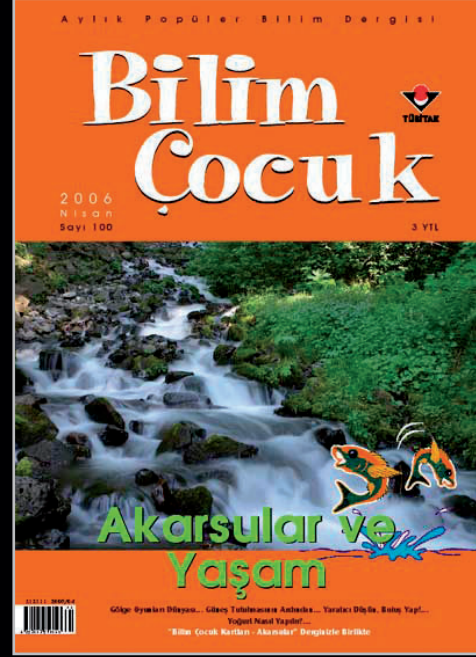
**35** YTL (35 milyon TL)

Yurtdışı: 40 Euro - 50 USD

e-dergi:

**20** YTL (20 milyon TL)

Yurtdışı: 12 Euro - 14 USD



Basılı dergi:

**30** YTL (30 milyon TL)

Yurtdışı: 40 Euro - 50 USD

## Değerli Bilim ve Teknik / Bilim Çocuk okurları

Hem bize daha kolay, daha çabuk ve daha ucuza erişebilmenizi sağlamak, hem de daha geniş kitlelere ulaşabilmek için yeni bir hizmetle karşınızdayız. Artık "e-dergi" aboneliği seçeneğini kullanarak dergilerinizi İnternet üzerinden de izleyebileceksiniz. Bu seçenek de, tıpkı basılı dergiye abonelik gibi sizleri şimdiye kadar çıkmış tüm dergilerimize erişme hakkına kavuşturuyor. Ama, o taze mürekkep kokusundan vazgeçemeyen, dergiyi koltuğuna kurularak okumanın tadına alışmış, koleksiyonlarının kesintiye uğramasını istemeyen okurlarımız da basılı dergi seçeneğini tıklayarak aynı ayrıcalıklara sahip olacaklar.

e-dergi uygulamasını aynı zamanda, posta maliyetlerinin yüksekliği ve iletim süresinin uzunluğu nedeniyle yeterince ulaşamadığımız yurtdışındaki büyük vatandaş kitlemiz ve Türk Cumhuriyetleri'ndeki soydaşlarımıza da erişebilmek için başlattık.

Dergilerimize abone olmak isteyen okurlarımız <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/> adresindeki e-dergi sembolü üzerine tıklayacaklar. Ulaştıkları sayfadaki seçeneğin üzerine tıkladıklarında karşlarına çıkan formları doldurup gönderecekler ve kendilerine birer kullanıcı adı ve şifre verilecek. Bunlarla dergilerimizin yeni sayılarına ve arşivine ulaşacaklar.

Ailemizin yeni üyelerini sevgiyle kucaklıyoruz...

Abonelik işlemleri ile ilgili sorunlarınızı e-posta yoluyla [bteknik@tubitak.gov.tr](mailto:bteknik@tubitak.gov.tr) adresine ya da 0(312) 467 32 46 no'lu telefona iletebilirsiniz