



Akımın insan vücudundaki etki süresinin önemi çok büyüktür. Ancak şahıstan şahısa büyük farklar tespit edilmiştir. Kalp üzerinden 0,3 s'den daha uzun süre 80 mA mertebesinde akım geçerse kalp adalelerinin kasılması ve tehlikeli fibrilasyon başlar ve olay çoğu zaman ölümlü sonuçlanır. Kalbin normal çalışma periyodu 750 ms'dir. Eğer akımın kalp üzerinde etki süresi 200 ms mertebesinde ise, bunun zararı yoktur. 750 ms'den daha uzun süre etki eden akımlar özellikle tehlikelidir

Elektrik akımı ile meydana gelen kazalar, etki bakımından üç ana gruba ayrılabilirler:

1- Elektrik akımının doğrudan doğruya sinirler, adaleler ve kalbin çalışması üzerine etkisi

2- Elektrik akımının sebep olduğu ısınmanın yaptığı zararlar, mesela arkin sebep olduğu yanmalar.

3- İnsan için zararlı olmayan çok küçük akımlarda, korku sebebi ile mesela düşme, çarpma vb. gibi mekanik zararlar.

Bu etkilerden en önemlisi, elektrik akımının sinirler ve adaleler üzerine direkt etkisidir. Bunun belirtileri birçok faktörlere bağlıdır; aşağıda bunlar kısaca açıklanacaktır.

belirli bir akım şiddetinden sonra, adalelerin kasılması sebebi ile artık bu cihazı elinden bırakamaz. Fakat elektrik akımının en zararlı belirtisi, kalp adaleleri üzerine olan etkisidir. Bu bakımdan insan vücudundan geçen toplam hata akımı ile bunun kalp üzerinden geçen kısmını etki bakımından birbirinden ayırmak gerekir.

Normal şartlar altında kalp, bir elektriksel dipol gibidir; bunun gerilimi ve dolayısıyla alan şiddeti vücuttan bir akım geçmesine yol açar ve kalbin kumanda sistemini besler.

Onun için insan vücudunda iki nokta arasında bir gerilim farkı meydana gelir; bunun şekli ve de-

Elektrik Akımının İnsan Üzerine Etkisi

Prof. Dr. Mustafa BAYRAM - İsa İLİSU (Elektrik Yüksek Mühendisi)

1. Devreye uygulanan gerilim;

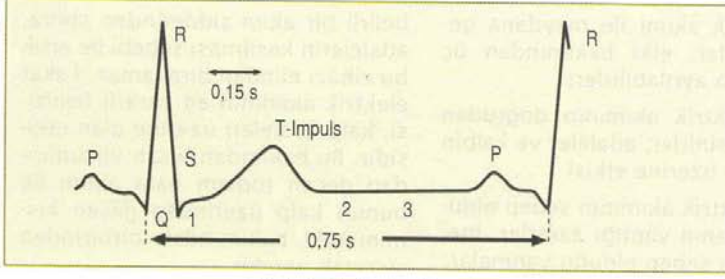
Hata akımı, birinci derecede devreye uygulanan gerilim değerine bağlıdır. Her ne kadar hata evresinden geçen akımın şiddeti, devreye uygulanan gerilime bağlı ise de, hayat tehlikesine yol açan sebep gerilim değil, insan vücudundan geçen akımdır. Alçak gerilim tesislerinde genellikle 380/220V kullanılır. Şebekelerde yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış olduğundan elektrik kazalarında etken olan gerilim ekseriya 220 voltur. Aşağıdaki incelemelerde şebeke geriliminin 380/220 volt olduğu kabul edilecek ve yüksek gerilimin etkisi sonra ayrıca belirtilecektir.

2. Akım şiddeti

Elektrik akımı insan vücudu üzerinden geçtiğinde, sinir yolu ile adalelerin kasılmasına yol açar; bu, bilinen fizyolojik bir olaydır. Mesela eli ile arızalı bir elektrik cihazını tutan bir insan, vücudundan geçen

ğeri seçilen noktaların durumuna bağlıdır. Şu halde kalp kendi çalışması için gerekli gerilimi kendisi üretir ve bunun etkisi ile kalp adaleleri belirli bir sistem içinde ve belirli bir tempoda sıkışıp açılarak, iki devreli bir pompa gibi çalışır ve insan vücudundaki kan dolaşımını sağlar. Elektrokardiyogramda elde olunan eğri, bir gerilim değişimine tekabül eder. Şekil 1'de normal çalışan bir kalbe ait bir elektrokardiyogram gösterilmiştir. Gerilimin mutlak değeri 1-1,6 mV mertebindedir ve frekansı 1,1 Hz ile 1,3 Hz arasındadır.

Kalbin, hata akım devresi üzerinde bulunması halinde yabancı hata akımının bir kısmı kalp üzerinden geçerse, vücudun diğer adaleleri gibi, kalp adaleleri de kasılırlar ve kalbin kumanda sistemi bozulur. Kalp her ne kadar yine atmağa devam ederse de artık düzenli değildir. Kalbin bu şartlar altındaki anlamsız atışlarına "fibrilasyon" adı verilir. Fibrilasyon halinde kalp artık normal çalışamaz ve kan pompalama görevini ya-



Şekil 1- Elektrokardiyogram
 1 Aort ve pulmonal kapaklar açılır, 2 Aort ve pulmonal kapaklar kapanır,
 3 Trikuspidalis ve mitral kapaklar açılır, 4 Trikuspidolis ve mitral kapaklar kapanır,
 P, Q, R, S, T, U Kalbin çalışma periyodunun belirli bölümlerine verilen işaretler.

pamaz. İnsan vücudu içindeki akım yolunun önemi çok büyüktür; zira insan vücudunun toplam direnci bu akım yoluna bağlıdır. İnsan üzerinden geçen akım ise, insan vücudunun direnci ile ters orantılıdır.

Akımın mesela sağ elden veya sağ ayakta çıkması halinde kalp akım yolu üzerinde bulunur ve hata akımının büyük bir kısmı bunun üzerinden geçer. En tehlikeli durum, akımın sol elden girip göğüsten çıkmasıdır.

Şekil 1a'da verilen elektrokardiyogram'ın birinci periyodu, Şekil 1'de gösterilen normal çalışma periyodunun benzeridir. Burada T ile işaretlenen nokta, kalbin elektrik akımına en duyarlı noktası olup buna "vulnerable periode" (yaralana-bilen period) adı verilir ve bunun süresi 14 ms'dir. Kısa süreli bir elektrik akımının buradan geçmesi fibrilasyona sebep olur. Ventriküler fibrilasyona yol açan akımın en küçük değerine "fibrilasyon eşiği" denir. Fibrilasyon eşiği, insan vücudunun anatomisi, kalbin çalışma durumu, gibi biyolojik parametrelere, akımın etki süresi, yolu, cinsi temas yüzeyi, büyüklüğü gibi elektriksel parametrelere ve nihayet şahsın fizyolojik özelliklerine bağlıdır.

Eğer akımın geçtiği süre bir kalp çalışma periyodunu aşarsa, sinüsoidal alternatif akımda risk önemli derecede artar. 0.1 saniye altındaki şok sürelerinin

de 500 mA'den büyük akımlarda fibrilasyon oluşabilir. Şekil 1a'daki EKG'de S noktasından sonra ok ile işaret edilen eşikten itibaren ventriküler fibrilasyon görülmekte ve aynı zamanda kan basıncı eğrisine göre de tansiyon düşmektedir.

Elektrik tesislerinde çalışan bütün elemanların elektrik çarpması olayını iyi bilmeleri çok önemlidir. Eğer bir kimse tesadüfen elektrik çarpmasından kurtuluyorsa, bu onun elektriğe karşı dirençli olduğu anlamına gelmez. Bu bir şans olayıdır; akıma ne kadar sürede maruz kaldığına ve akımın kalbin periyodunun hassas bölgesinden geçip geçmediğine bağlıdır.

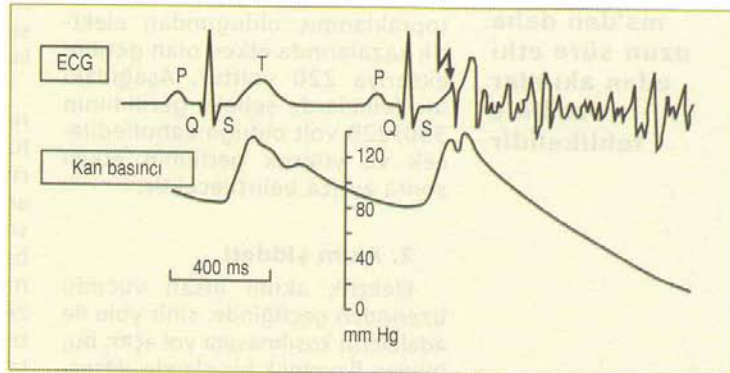
İnsanlar üzerinde yapılan birçok deneyler sonucunda 50Hz'lik alternatif akımın çeşitli değerleri için insanlarda ortalama olarak tespit edilen fizyolojik belirtiler çizelge 1'de veril-

miştir. Burada verilen değerler akımın efektif değerleridir ve akımın etki süresi 1 saniyedir.

Etki tarzı bakımından akım, dört akım şiddeti bölgesine ayrılmıştır, (bkz, Şekil 2).

1. Bölgede akım sadece hissedilir, ölüm tehlikesi yoktur. Yaklaşık 4,5 μ A dilde ve yaklaşık 1,3 mA parmak uçları ile dokunulduğunda hissedilir. Kadınlarda 6 mA ve erkeklerde 9 mA adalelerde kasılmaya sebep olur ve şahıs tuttuğu iletkeni artık kendiliğinden bırakmaz. 20 mA'den büyük akımlarda solunum organlarında kramp başlar.

2. Bölgede tansiyon yükseilir, solunum zorlaşır, kalp düzensiz çalışır. Kısa süreli çarpmalar korku ve şok etkisi yapar, fakat zararlı değildir. Kalpte baş gösteren fibrilasyon reverzibldir. Kısa süre içinde etki ortadan kalkarsa ve gerekirse suni solunum yaptırılarak, kazazede kısa zamanda normal durumuna geri döner. Eğer elektrik çarpmasının süresi uzun olursa, mesela 30 saniyeden sonra hasta şuurunu kaybeder ve bundan sonra ölüm baş gösterebilir. Eğer derhal suni solunum yaptırılamazsa, akımın etkisi kalmasa dahi, kalbin düzensiz çalışması ve fibrilasyon sebebi ile beyin hücrelerinin temiz kanla beslenmesi mümkün olmayacağından, 4 dakika gibi bir zaman içinde ➡



Şekil 1a- Bir EKG'de normal çalışmakta olan bir kalbin elektrik çarpması sonucunda hassas bölgede fibrilasyonun tetiklenmesi ve kan basıncının düşmesi

beyinde hayati merkezler felç olur; ya vücutta kısmi felç veya bitkisel hayat baş gösterir, ya da kazazede ölür. Buna beyin ölümü denir.

3. Bölge, tehlikeli bölgedir, tehlikeli kalp fibrilasyonları bu bölgedeki akım şiddetlerinde meydana gelir. Akımın belirli bir süre etki etmesi halinde kalp bundan zarar görür ve ölüm baş gösterir; buna kalp ölümü denir.

Çoğu zaman bu olay reverzibl değildir; kazazede suni solunumla kurtarmak mümkün olmaz. Bununla beraber, bu bölgelerin sınırları kesin olmadığından ve akımın etki tarzı şahıslara göre çok büyük farklar gösterdiğinden, kazazedelere daima kurtarma tedbirleri uygulanmalıdır. İnsan vücudunun direncinin mesela bin ohm olduğu kabul edilirse, normal 220 mV şebeke geriliminde insan vücudundan 220 mA gibi bir akım geçer ki bu da 3. bölgeye isabet eder. 0.3 saniyeden daha uzun bir süre etki ettiği takdirde bu akım, ölümle sonuçlanan kalp fibrilasyonuna yol açar.

4. Bölge, daha ziyade yüksek gerilim kazalarında söz konusu olur. Yapılan çok sayıdaki

deneyler sonunda görülmüştür ki tehlikeli fibrilasyonlar 3. bölgede baş gösterdikleri halde, 4. bölgede buna her zaman rastlanmamıştır; bu da çok enteresan bir sonuçtur. 6 kV'luk bir yüksek gerilim tesisinde baş gösteren bir kazada insan vücudundan 6 A gibi büyük bir akım geçer; bu değer 4. akım bölgesine girer. Bu akımın sebep olacağı yanma ve benzeri zararların dışında, reverzibl kalp durması sebebi ile bu kazazedenin kurtulma şansı, daha büyüktür.

Kalp üzerinden geçmeyen büyük akımlar kalp üzerine etki etmekten ziyade vücutta yanmalara sebep olabilirler. Mesela ark yüzünden meydana gelen elektrik yanıkları, büyük hayat tehlikesine yol açarlar. Elektrik akımının sebep olduğu yanık yaraları hem çok zor iyileşir ve hem de böbreklerin normal çalışmalarını engeller.

Bir elektrik çarpması olayında insan vücudundan geçen akım şiddetinin çoğu zaman bilinmesine imkan olmadığı gibi kaza anında bu konuda bir araştırmaya girişmenin de zamanı değildir; onun için, hata akımının şiddeti ne olursa olsun, acil olarak kazazedeye ilk

yardım uygulanmalıdır. Kalp ve beyin ölümünün maksimum süresi yaklaşık 4 dakikadır. Elektrik çarpmasından ve çeşitli boğulma olaylarından sonra derhal müdahale ederek suni solunum yaptırılmalıdır. Geçmiş yıllarda bu konuda bir istisnaya rastlanmıştır. İngiltere'de bir kişi günü 4-5 yaşlarında bir çocuk buzla örtülü bir havuza düşmüş ve ancak 20 dakika sonra havuzdan çıkarılabilmştir. Çocuğa gerekli suni solunum yaptırılmış ve çocuk tekrar hayata kavuşmuştur. İkinci enteresan bir olay da Dr. Alp Reel olayıdır. Röntgen mütehassısı olan Alp Reel, bir hastanın filmi çekerken yüksek gerilime çarpılmış, yapılan müdahaleler sonunda ancak bitkisel hayata kavuşmuş ve 8 yıl bu şekilde yaşamı sürmüştür.

IEC'nin 479 sayılı raporuna göre insan vücudundan geçen alternatif akımın yaptığı etkiler, Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu etkiler akımın açma süresine bağlı olarak dört bölgeye ayrılmıştır.

Bu bölgeler bir kere daha aşağıda özet olarak açıklanmıştır.

1. Bölge: Burada hiçbir reaksiyon yoktur.

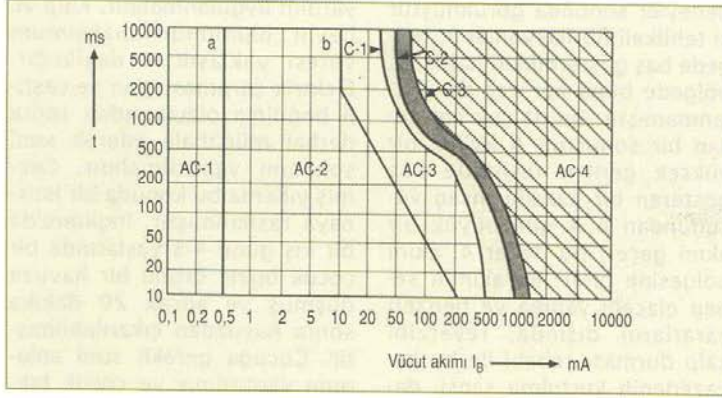
2. Bölge: Burada hiçbir tehlikeli etki yoktur. $I_B = 0,5mA$ değerindeki (a) eğrisi tehlikeli bölge sınırındır.

3. Bölge: Bu bölgenin sınırları kesin olmayıp belirsizdir. $I_B=30mA$, tehlike sınırı olarak kabul edilir. Genelde burada da hiçbir organik zarar olmaz; fakat adale krampı ve nefes alma zorluğu baş gösterir. (b) eğrisi, elde tutulan şeyin bırakılabileme sınırındır. (c1) eğrisi yüzde 5, (c2) eğrisi yüzde 50 ve (c3) eğrisi yüzde 95 olasılıkla fibrilasyonun başladığı bölgelerdir.

4. Bölge: Burada gittikçe artan fibrilasyon baş gösterir ve tehlike had safhaya gelmiştir. Akım şiddetinin ve etki süresinin gittikçe artması ile kal-

Çizelge: 1 - İnsan vücudundan geçen 50 Hz'lik alternatif akımın çeşitli şiddetlerinin fizyolojik belirtileri. (Akımlar efektif değer olup etki süresi 1 s'dir.)

Akım Bölgesi	Akım Şiddeti	Fizyolojik Belirti
AC-1	0,01 mA	Akımın hissedilme sınırı, elde gıdıklanma olur.
AC-2	1-5 mA	Elde uyuşma hissi, elin ve kolun hareketi zorlaşır.
	5-15 mA	Tutulmuş cisim henüz bırakılabilir, elde ve kolda kramp başlar, tansiyon yükselir.
AC-3	15-25 mA	Tutulmuş cismin kendiliğinden bırakılması mümkün değildir. Kalbin çalışması etkilenmez.
	25-80 mA	Tahammül edilebilen akım şiddeti, tansiyon yükselir, kalp düzensiz çalışmaya başlar, tenefüs zorlaşır, reverzibl kalp durması baş gösterir, genel olarak bilinç yerindedir, bazı kimselerde 50 mA'den sonra bayılma meydana gelir.
AC-4	80-100 mA	Akımın etki süresine bağlı olarak kalpte fibrilasyon baş gösterir, bilinç kaybolur. (0.3 s'den kısa süreli elektrik çarpmalarında fibrilasyon olmaz)
	>3-8 A	Tansiyon yükselir, kalp durur, akciğerler şişer, bilinç kaybolur.



Şekil: 2- Akım şiddetinin etki süresine göre fizyolojik belirtileri. (Akım yolu: Sol el - gövde - sol ayak) a) Tehlikesiz bölge, b) Bırakılabilir sınırı, c1 %5 olasılık, c2 %50 olasılık, c3 %95 olasılık fibrilasyon, AC-1 Genellikle tepki yoktur. AC-2 Zararlı bir fizyolojik etki yoktur. AC-3 Kalp atışlarında aksaklıklar görülür. AC-4 Tehlikeli fizyolojik etkiler, ağır yanıklar, artan fibrilasyon baş gösterir.

bin çalışması ve nefes alma durur ve yanmalar baş gösterir. Fibrilasyon bakımından (c1), (c2) ve (c3) eğrileri vücut akımının, sol el ve sol ayak üzerinden geçtiği esasına dayanırlar.

3. İnsan vücudunun direnci ve insan vücudundaki akım yolu:

İnsan vücudunun direnci hasta akım devresinin en önemli büyüklüğüdür ve insan vücudundan geçen akım, esas olarak bu direncin değerine bağlıdır. İnsan vücudunun direnci, temas yerindeki derinin direnci ile vücudun iç direncinden oluşur. Derinin direnç değeri, temas yerindeki derinin durumuna göre, birkaç yüz ohm ile birkaç milyon ohm arasında değişir. Kuru ve nasırlı derinin direnci çok büyüktür; buna karşılık ince, rutubetli ve sıyrılmış derinin direnci düşüktür. Herhangi bir sebeple temas yerinde derinin delinmesi halinde geçiş direnci birdenbire çok düşer ve geriye sadece vücudun iç direnci kalır. İnsan vücudunun, iç direnci, ayrıca vücut içindeki yoluna da bağlıdır. Elektrik çarpması bakımından önemli olan nokta, kalbin, akım yolu üzerinde bulunması, yahut da insan vücudu üzerinden

geçen akımın, kalp üzerinden yolunu tamamlayan kısmının değeridir. Yapılan çeşitli deneyler ve ölçümler sonunda 220 V'da insan vücudunun direncinin 1000 ohm-3300 Ohm arasında ve 50V'da 1600 Ohm-5 Ohm arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Ortalama olarak bunun 1000 Ohm ile 3000 Ohm arasında değerler aldığı kabul edilebilir.

Burada önemli bir nokta da deri direncinin gerilime bağlı oluşudur. Gerilim arttıkça deri direnci düşer. 70 V ve 100 V arasında genellikle deri delinir ve bu yüzden derinin direnci de pratik olarak sıfıra düşer. Bundan sonra sadece vücudun iç direnci geçerli olur. Ayrıca elektrik çarpmasının sebep olduğu korku, vücudun terlemesine ve deri direncinin düşmesine yol açar.

Aşağıda çeşitli akım yollarına göre insan vücudunun bağlı direnç değerleri ile kalp akımı katsayısı verilmiştir. Burada iki el arasındaki insan vücudu direnci %100 olarak kabul edilmiştir; bu değer ortalama 1200 ohm'dur.

1. Akım yolu:
Sağ el-gövde-sol el
İnsan vücudunun direnci

$$Z_B = \%10 \text{ (1200 ohm)}$$

Kalp akımı katsayısı
 $k = 0,4$

2. Akım yolu:

Sağ el-gövde-ayaklar
 $Z_B = \%75$

$$k=0,8$$

3. Akım yolu:

Eller-gövde-ayaklar
 $Z_B = \%50$

$$k = 1$$

4. Akım yolu: El-göğüs

$$Z_B = \%50$$

$$k = 1,3 \text{ (sağ el için)}$$

$$k = 1,5 \text{ (sol el için)}$$

(Sol el ile göğüs arasında akım geçtiğinde 55 mA'de dahi fibrilasyonun başladığı tespit edilmiştir.)

5. Akım yolu: Eller- göğüs

$$Z_B = \%25$$

$$k = 1,1$$

Yukarıdaki hallerde kalp üzerinden geçen akımlar

$$I_B = \frac{U}{R'_g + Z_B} k$$

ifadesine göre hesaplanabilirler.

İnsan vücudunun direnci 50 Hz alternatif akım için ortalama olarak 3000 ohm kabul edilir. Onun için ölçmelerde iç direnci 3000 ohm olan voltmetre kullanılmalıdır.

4. Etki süresi

Akımın insan vücudundaki etki süresinin önemi çok büyüktür. Ancak bu bakımdan da şahıstan şahısa göre büyük farklar tespit edilmiştir. Yukarıda açıklandığı gibi, kalp üzerinden 0,3 s'den daha uzun süre 80 mA mertebesinde akım geçerse kalp adalelerinin kasılması ve tehlikeli fibrilasyon başlar ve olay çoğu zaman ölümle sonuçlanır.

Kalbin normal çalışma periyodu 750 ms'dir. Eğer akı-

mın kalp üzerinde etki süresi 200 ms mertebesinde ise, bunun zararı yoktur. 750 ms'den daha uzun süre etki eden akımlar özellikle tehlikelidir

Yapılan araştırmalara göre, etki süresine bağlı olarak tehlikeli akım sınırının değiştiği tesbit edilmiştir. Eğer bir saniyelik bir temas süresinde fibrilasyona sebep olan akım sınırı K ise, t etki süresi için gerekli I_B akım şiddeti şu ifadeye göre hesaplanır:

$$I_B = \frac{K}{\sqrt{t}}$$

Bu ifade ancak, akımın 8 ms-5s süre ile kalp üzerinden geçmesi hali için geçerlidir ve 1 saniye süre ile tehlikeli akım sınırı $K = 80 \text{ mA}\sqrt{s}$ kabul edilir.

Buradan anlaşılır ki, küçük akımların daha uzun ve büyük akımların ise daha kısa süreli olarak kalp üzerinden geçmeleri fibrilasyona yol açar.

En doğrusu, etki süresi ile insan vücudundan geçen akım şiddetini birlikte göz önünde bulunduraktır. Tepe değeri 800 mA olan akımlar, kalbin çalışma periyodundan çok daha kısa süreli olarak etki etseler dahi hayat tehlikesi baş gösterir.

Şekil 2'de 50 Hz'lik alternatif akımın, akım şiddetinin etki süresine bağlı olarak fizyolojik etkileri işaret edilmiştir.

Tehlike sınırı eğrisinin altında hiçbir patolojik etki olmaz, yüzde 50 fibrilasyon sınırında her elektrik çarpmasının yarısında fibrilasyon baş gösterir. Her iki eğri arasında çeşitli tehlikeli durumlar meydana gelebilir.

5. Etki anı

Kalbin çalışma periyodu içinde elektrik akımının etki etmeğe başladığı anın da önemi büyüktür. Yapılan incelemeler göstermiştir ki elektrik akımının etkisinde kalan kalbin çalışması esas itibarıyla Şekil 1a'daki elektrokardiyogramda işaret

edilen "hassas bölge"de sona erer. Hassas bölge, T-impulsu başlamadan evvelki 150 ms'lik süreye isabet eder.

6. Akım şeklinin ve frekansın etkisi

Doğru akımın ve yüksek frekanslı alternatif akımın insan vücudu üzerine etkisi, 50 Hz'lik alternatif akımından daha düşüktür. 50Hz'lik alternatif akımların çizelge 1'de bildirilen etkilerini bunun ancak yaklaşık 2-4 katı katı doğru akım meydana getirir. 10 kHz'lik alternatif akımın yaklaşık doğru akımınki gibidir. 10 kHz'de 50mA'in etkisi, 50 Hz'de 10 mA'ine eşittir.

Deri direnci, ohmik direnç kapasitif direncin paralel bağlanması şeklinde kabul edilebilir. Yüksek frekanslarda derinin kapasitif direnci düşer. Çok yüksek frekanslarda hemen hemen sıfır olduğundan, ohmik direnç kısa devre olur ve geriye sadece vücudun iç direnci kalır.

Sinüs şeklinde olmayan alternatif akımda tepe değer, çok zaman sinüs şeklindeki akımlardakinden daha büyüktür; buna karşılık efektif değer aynı kalır. Sinüs şeklinde olmayan akımlarda uyarılma ve korkma reaksiyonları sinüs şeklindeki akımların efektif değerlerinden yüzde 15 kadar daha düşük değerlerde baş gösterir. Buna kar-

şılık kalp fibrilasyonuna sebep olan akımlar, sinüs şeklindeki akımlarda %25 daha yüksektir.

6. Akımın vücuttaki artış hızının etkisi

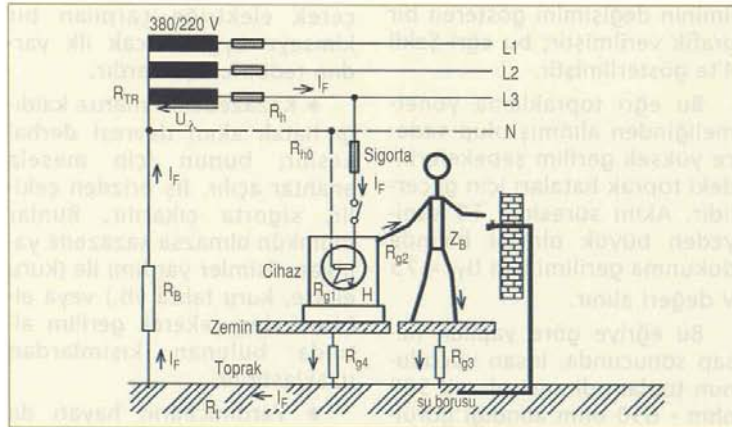
Akımın vücuttaki di/dt artış hızının da etki bakımından önemi vardır. Akımın hızının artış göstermesi, bir şok etkisi yapar. Deneylerle ispatlanmıştır ki, vücuttan geçen akım yavaş artırılırsa adale kasılması gecikir veya hiç olmaz bu da vücudun akıma yavaş yavaş bir nevi alışması şeklinde açıklanabilir.

7. Dokunma gerilimi:

Şekil 3'te verilen hata akım devresine göre insan vücudundan geçen hata akımı denklem 2-5'te gösterilmiştir. Buradaki R_h direnci uzaklığa bağlıdır. R_g geçiş dirençleri ise tamamen belirsizdir. Halbuki insan vücudunun direnci yaklaşık olarak belirli olduğundan, insan vücudundan geçen akım, doğrudan doğruya insan vücuduna uygulanan kısmi gerilim değerinden yararlanarak hesaplanabilir:

$$I_B = \frac{U_T}{Z_B}$$

Burada U_T , insan vücudu üzerinde meydana gelen gerilim düşümdür ve buna "dokunma gerilimi" denir. İnsan vücudunun direncinin yakla-



Şekil: 3- Hata akımı devresi, üç fazlı devre

şik 2600 ohm olduğu ve tehlikeli akım sınırının 20 mA olduğu kabul edilirse, tehlikeli dokunma gerilimi sınırı olarak

$$U_L = 20 \text{ mA} \times 2600 \text{ ohm} = 50 \text{ V}$$

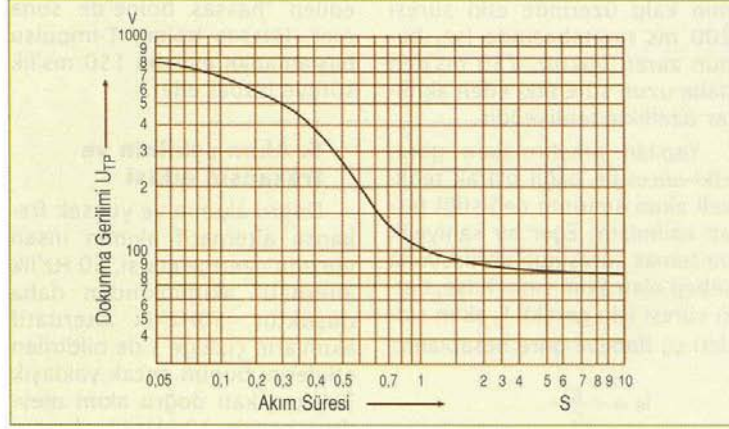
bulunur. Elektrik tesislerinde bir arıza halinde, ölüm tehlikesi baş göstermeden, bir insan vücuduna isabet etmesine ve uzun süreli olarak etkili olmasına müsaade edilebilen gerilim sınırı şu halde 50V'dur. Bu yüzden yönetmelikler, bir hata halinde en çok bu dokunma gerilimi meydana gelecek şekilde tesislerde tedbir alınmasını şart koşturmaktadır.

Uluslararası kabul edilen IEC yayını 60364-41'de alternatif akımda sürekli olarak müsaade edilen en yüksek dokunma gerilimi için $U_L = 25 \text{ V}$ ve doğru akımda $U_L = 120 \text{ V}$ kabul edilmiştir. Yapılan araştırmalara göre hayvanlar ve tehlikeli yerler için bu değerler alternatif akımda $U_L = 25 \text{ V}$, doğru akımda $U_L = 60 \text{ V}$ kabul edilebilir.

Yukarıda açıklandığı gibi, insan vücudundan geçmesine müsaade edilen akım şiddeti, etki süresine ve insan vücudunun en düşük direncine bağlı olarak tayin edilir. Ohm kanununa göre buradan, etki süresine bağlı olarak, müsaade edilen dokunma gerilimi hesaplanabilir. IEC 60364'te etki süresine bağlı olarak dokunma geriliminin değişimini gösteren bir grafik verilmiştir; bu eğri Şekil 4'te gösterilmiştir.

Bu eğri topraklama yönetmeliğinden alınmış olup sadece yüksek gerilim şebekelerindeki toprak hataları için geçerlidir. Akım süresinin 10 saniyeden büyük olması halinde dokunma gerilimi için $U_{TP} = 75 \text{ V}$ değeri alınır.

Bu eğriye göre yapılan hesap sonucunda, insan vücudunun toplam direnci olarak 500 ohm - 650 ohm alındığı görülmektedir. Bu direnç değerleri



Şekil: 4- IEC 364'e göre etki süresine bağlı olarak dokunma geriliminin değişimi. (Yüksek gerilim tesislerinde kullanılacaktır.)

daha ziyade iç dirence tekabül ettiğinden, burada deri üzerindeki dirençlerin ihmal edildiği anlaşılmaktadır.

Şekil 3'te işaret edildiği gibi, yalıtım hatasının baş gösterdiği işletme aracının metal gövdesi ile referans toprağı (gerçek toprak) arasındaki gerilim hata gerilimi olup

$$U_E = I_F (Z_B + R_{C4})$$

değerine eşittir. Genellikle $U_E > U_T$ dir. Eğer zeminin toprağına karşı geçiş direnci sıfır ise $U_E = U_T$ olur.

9. Elektrige çarpılan kimseye yapılacak ilk yardım:

Üzerinden elektrik akımı geçerek elektrige çarpılan bir kimseye uygulanacak ilk yardım tedbirleri şunlardır.

◆ Kazazedenin maruz kaldığı hatalı akım devresi derhal kesilir; bunun için mesela anahtar açılır, fiş prizden çekilir, sigorta çıkarılır. Bunlar mümkün olmazsa kazazede yalıtkan cisimler yardımı ile (kuru elbise, kuru tahta vb.) veya elbisesinden çekerek gerilim altında bulunan kısımlardan uzaklaştırılır.

◆ Yardımcıların hayatı da tehlikeye düşmeyecek şekilde

kazazede tehlike alanından uzaklaştırılır.

◆ Suni teneffüs yaptırılır. Son yıllarda ağızdan ağıza veya ağızdan buruna nefes verme metodu tercih edilmektedir. Nefes verme, dakikada yaklaşık 12 defa tekrarlanır. Kalbin durması halinde suni teneffüsle birlikte derhal dışardan kalp masajı yapılmalıdır; bunun için göğüs üzerine basılıp bırakılır. Gerekli hallerde suni teneffüs uzun zaman uygulanmalıdır.

◆ Bu arada kazazedeyi bir hastaneye nakletmek için ambulans çağırılır; hastanın nakli esnasında da suni teneffüse devam olunur, eğer varsa oksijen verilir.

Kalp normal çalışmaya başlayıp kazazede kendiliğinden normal nefes alıp verirse, suni teneffüs başarı ile sonuçlanmış sayılır.

◆ Yangın başlangıcı varsa, kazazede yere yatırılır ve ilkin yangın söndürülür.

◆ Yanık yaraları mikropsuz, temiz bezle örtülür. Yaraya pudra, yağ veya merhem sürülmez.

◆ Kazazede derhal hastahaneye kaldırılır.

Not: Bu makale yazarların "Elektrik Tesislerinde Güvenlik ve Topraklama" adlı kitabından alınmıştır. ●