

ANMA GERİLİMLERİ YÜKSEK, ELEKTRİK MAKİNALARININ KISMİ BOŞALMALARA KARŞI KORUNMALARI

Elk. Yük. Müh. Ekrem ALTINLI*

ÖZET

Bu makalede, anma gerilimi yüksek olan elektrik makinalarının; gerek iç, gerek dış kısmi boşalmalara karşı ne tür önlemler alınarak korunacaklarına ilişkin yöntemler tanıtılacaktır. Oluşabilecek olaylar anlatılacak ve bunlara karşı kullanılacak malzemelerin elektriksel özellikleri belirlenerek, nerelerde ve nasıl kullanılacağına dair bilgiler vermeye çalışılacaktır. Elektrik makinalarının sargılarının yalıtılmasında kullanılan yöntemlerin türüne bağlı olarak kullanılan malzemelerin nasıl fiziksel değişimler gösterdikleri verilmeye çalışılacaktır.

GİRİŞ

Yüzyılımızın başından bu yana elektrik enerjisinin üretimi ve bunların tüketiminde meydana gelen gelişmeler; gerek enerjiyi üreten, gerek ise tüketen elektrik makinalarında gerilim yönünden, hiç de azımsanmayacak büyümelere neden oldu. Gerilim sınırının büyümesi, yanında pek çok sorunu da beraberinde getirdi.

Anma gerilim 5 kV.'un üstündeki elektrik makinalarında, yalıtkan malzemenin zamanla elektriksel olarak delinmesine neden olarak makinalarda tahribata sebebiyet veren elektriksel boşalmalar oluşur (1). Boşalmaya karşı koruyucu malzemeler kullanmak suretiyle yalıtkanın hasar görmesi önlenabilir.

Kısmi boşalmalar genelde iki ana başlık altında toplanabilir: (2)

- İç kısmi boşalmalar.
- Dış kısmi boşalmalar.

Elektrik makinalarında her ikisi de meydana geldiğinden dolayı gerek orta gerilimi, (3 V10 kV.) gerek ise yüksek gerilimli (11 V27 kV.) makinalarda alınacak tedbirler ile hizmet ömürlerinde önemli artışlar meydana gelmektedir.

- İç kısmi boşalmalar.

Bunlar elektrik makinalarının stator sargılarında kullanılan iletkenlerin köşelerinde olması gereken eğrilik yarıçaplarının küçük olmalarından kaynaklanmaktadır. Elektrik makinalarında, oluk içerisindeki iletkenlerde magnetik alan etkisiyle meydana gelen akım yığılmalarını önlemek için, iletkenler çoklu paralel devreye ayrılarak demetler haline getirilirler. İletkenlerin çoklu paralel dev-

reye ayrılması, iletkenlerin kenarlarındaki eğrilik yarıçaplarının da küçülmesine neden olur. Eğrilik yarıçapının küçülmesi sivri uç etkisi oluşturarak, sistemde alan dağılımının düzensizlik derecesini artıracığından, düzgün olmayan alanda eğrilik yarıçapı küçük elektrod çevresinde iç kısmi boşalma olayları oluşacaktır. İşte çok sarımlı veya tek olarak konumu değiştirilmiş, (Reobel tipi konum değiştirme) çoklu paralel devreye ayrılmış demetlerin etrafında ve sadece sargının magnetik devredeki oluk içinde kalan kısmında bir ekran gibi görev yapacak ve sivri uç etkisini ortadan kaldıracak tedbirler alınır. Bu işlem için tekil olarak yalıtılmış ve çoklu demet haline getirilmiş iletkenler üzerinde (sargı çok sarımlı ise sarımlar arası yalıtım yapıldıktan sonra) ana yalıtım yapılmadan önce iletken bir tabaka oluşturulur. Bu iletken tabakalar ya sıvı vernikler ve macunlar şeklinde uygulanır ya da bu sıvı vernik ile emprenye edilmiş şerit şeklinde bantlar kullanılır. Bu verniklere iletken vernik adı verilir. Bu iletken verniklerde iletken bileşeni olarak karbon tozu kullanılmaktadır.

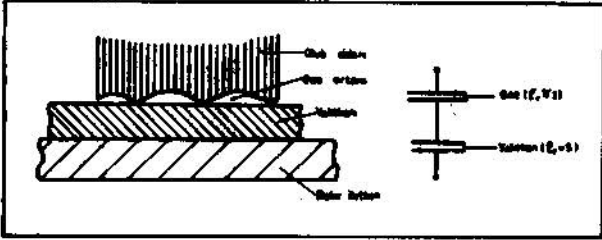
Ayrıca yalıtkanın içerisindeki boşluklarda oluşan iç kısmi boşalmalar ise gerek zengin reçineli sistemde, gerek ise fakir reçineli sistemde (vakumlu-basınçlı emprenye diye de anılır.) dikkatli ve itinalı üretim yapmak suretiyle önlenir.

Sargının, yukarıda bahsedilen her iki yerinde de oluşan iç kısmi boşalmaların seviyesini tesbit etmek için kullanılan tahribatsız kontrol yöntemleri vardır. Bunlar ayrı birer makale konuları oluştursa da biraz bahsetmekte yarar vardır. Bu yöntemlerden ilki sistemin dielektrik kayıp faktörü (tan S ölçülmesi.) ve kapasitesinin ölçülmesidir. Uygulanan gerilimin fonksiyonu olarak ölçülen bu değerler yalıtkanın içerisindeki iç kısmi boşalmalar hakkında detaylı bilgiler sunar. Ama bunların sıhhatli değerlendirilmesi gerekir. İkincisi, uygulanan gerilime bağlı olarak iç kısmi boşalmaların yalıtkan içerisinde meydana getirdiği sızıntı akımlarını ölçmektir. Bu yöntemle de yalıtkanın kalitesi hakkında bilgi sahibi olmamız mümkündür. (3,4) Fakat ilk yöntem bütün dünyada sayılı standart kuruluşları tarafından kabul edilmiş en geçerli yöntemdir. Daha geniş bilgi temin etmek için Batı Alman DIN, Fransız AFNOR ve merkezi İsviçre'de bulunan IEC'nin ilgili standartlarına bakılması yararlı olacaktır.

* TEMSAN A.Ş. Su Türbini ve (Jeneratör Fabrikası - Diyarbakır

b) Dış kısmı boşalmalar.

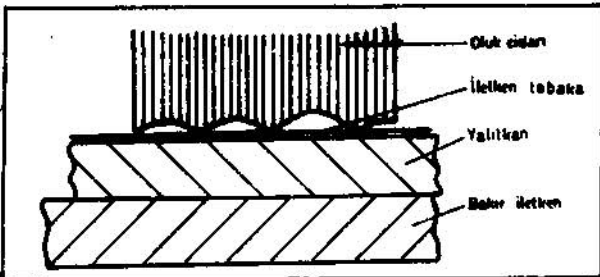
Stator magnetik devresini meydana getiren laminasyon saçlarının hem imalatında hem de onların montajı esnasında, dizilmesinde meydana gelen hatalar sonucunda stator olukları kenarlarında düzgünlükler oluşur. Bu düzgünlükler de içerisine yerleştirilen stator sargısı yüzeyi ile magnetik devre cidarı arasında, içerisinde gaz olan, boşluklar oluşturur. Bu oluşan sistemin görünüşü ve fiziksel eşdeğeri Şekil:1'de gösterilmiştir.



Şekil: 1. Bir stator sargısının oluktaki konumu ve onun fiziksel eşdeğer devresi.

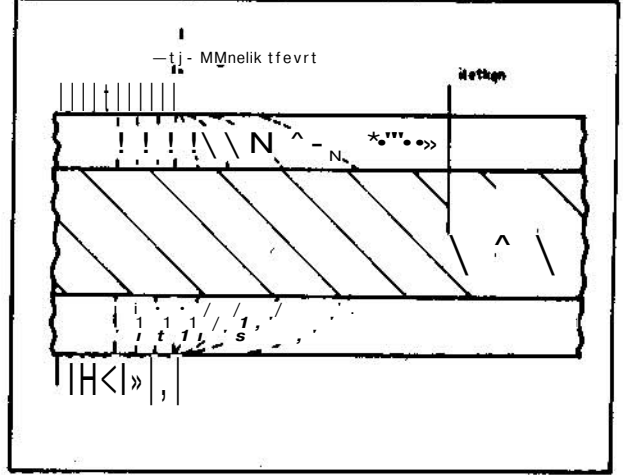
Normal şartlar altında; gazlı ortamda, gayet mümkündür ki elektrik alan şiddeti haklı olarak yalıtkanınkinden daha yüksek değerlere ulaşır. İşte bu değer gaz için gerekli olan dış kısmı boşalma başlangıç değerine ulaşması halinde, boşalmalar başlayacaktır. Generator içerisinde, gazlı ortam olarak hidrolik tahrikli sistemlerde hava, termik kaynakla tahrikli küçük sistemlerde yine hava, fakat büyük güçlü sistemlerde ısı iletim katsayısı yüksek bir gaz olan H₂ basınçlı olarak kullanılır.

Bu dış kısmı boşalmalar zamanla yalıtkanın bozulmaya ve nihayetinde de delinmeye kadar gidecektir. İşte bunlardan korunmak için daha evvel bahsettiğimiz gibi yalıtım sistemine bağlı olarak iletken sıvı malzeme ya da bu sıvı ile emprenye edilmiş şerit bantlar kullanılır. Bu malzemeler, stator sargısının sadece magnetik devredeki oluk içerisinde olan düz kısmına uygulanır. Bu malzemeler yalıtkan yüzeye uygulanarak, magnetik devreye değen ve değmeyen her yerin eşit potansiyele ulaşması sağlanır. Ayrıca montaj esnasında bu tabakanın hasara uğramasından sakınmak için çeşitli kalınlıklarda esnek, bükülebilir; özellikle sistemin yalıtım ısı sınıfına bağlı olarak, pamuk, selüloz, polyester veya cam yününden yapılmış tabakaların iletken sıvı ile emprenye edilmiş olan türleri oluk içerisine, sargı kılıfı olarak uygulanabilir.



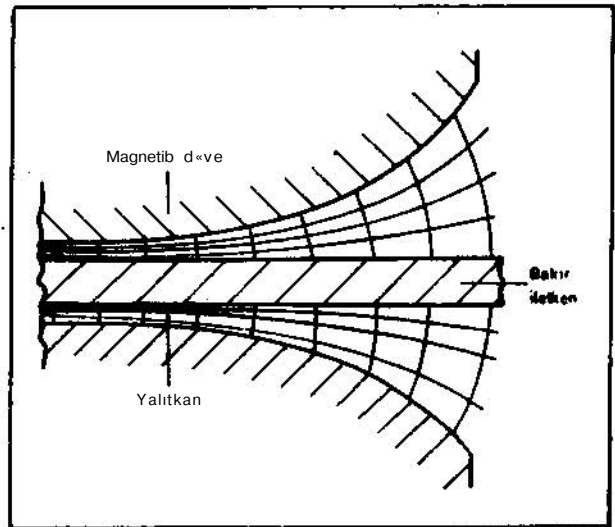
Şekil: 2. Stator sargısının oluk içerisindeki kısmının yalıtkanı üzerine iletken tabakanın uygulanması.

Özellikle iletken tabaka ile yalıtkanın iyi temas halinde bulunması çok önemlidir. Buna kesinlikle dikkat sarfedilmelidir. Şekil: 2 yalıtkan üzerine iletken tabaka uygulanmış sargıyı göstermektedir.



Şekil: 3. Oluk içerisinde stator sargısı ve yalıtkanın alan çizgilerinin değişimi.

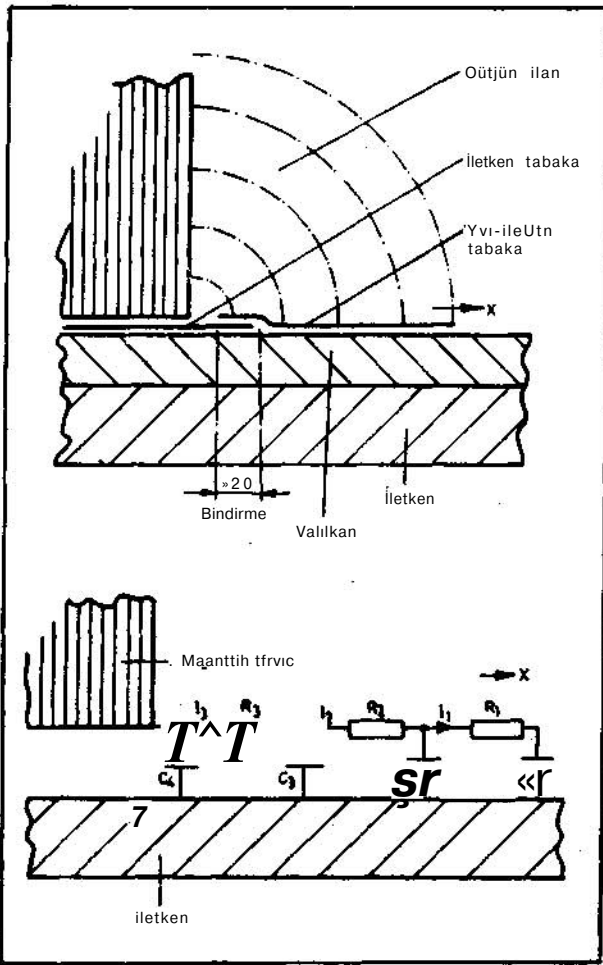
Şekil: 3 içerisinde stator sargısı bulunan bir magnetik devre oluşunu göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere kesik çizgiler, yalıtkan içerisindeki elektrik alanının varlığını göstermektedir. Bakır iletkenler ile stator magnetik devresine (toprak potansiyelindedir.) bir alternatif gerilim uygulandığı zaman, stator magnetik devresinin keskin kenarlarında belirgin bir alan yığılması gözlenecektir. İletkendir gerilim yükseldikçe, stator magnetik devre ile sargı yüzeyinin biraraya geldiği köşede, belirli bir gerilim değerinden sonra boşalmalar meydana gelmeye başlar. Dış kısmı boşalmaların yeri ve şiddeti gerilim arttıkça artar. Alan şiddetinin enine bileşeni o kadar büyür ki artık yalıtkanın yüzeyi boyunca, alan şid-



Şekil 4. Stator magnetik devre oluk kenarlarında alan düzgünlüğünün düzeltilmesi.

detinin enine bileşenin en büyük olduğu yerden, magnetik devreye doğru görüntülü olarak bir ışılı boşalma başlar. (Dış kısmı boşalma koruması tedbiri alınmış normal yüksek gerilimli yalıtım durumunda yaklaşık 3 kV.'da magnetik devrenin kenarından boşalma yayılmaya başlar. Işıltılı boşalma ise 15 V 20 kV.'da görünür.)

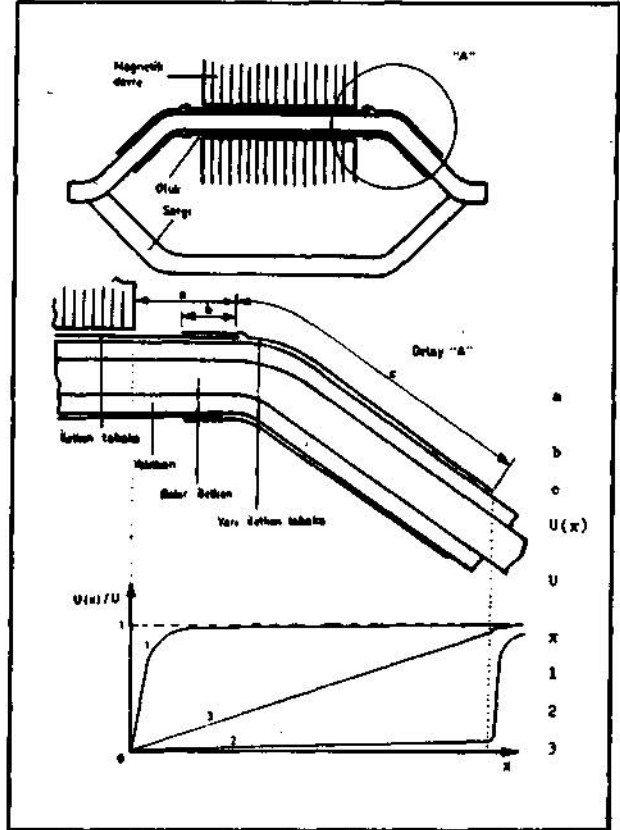
Uygulanabilirlik yönünden söylenecek olursa, bugün magnetik devrenin kenarında alan şiddeti yoğunluğunu azaltmanın yolları vardır. Yukarıda sözünü ettiğimiz iletken tabakayı oluk dışarısına biraz taşımak gerekir. Taşmanın miktarı generatör tasarımcısı tarafından anma geriliminin ve stator magnetik devresinin fiziksel boyutlarının bir fonksiyonu olarak belirlenir. Alan şiddetinin değeri gibi bu kaplamanın iletkenliği ve uzunluğu, hem magnetik devrenin kenarında hem de kaplamanın öteki ucunda, büyük değildir.



Şekil: 5. Stator sargısı boyunduruklarına yan iletken tabaka uygulaması ve onun fiziksel eşdeğeri.

Stator oluşunun hemen dışında elektrik alan şiddeti büyük değerlere yükselir. Yoğunlaşması yalıtkanın kontrol edilmesiyle düzeltilebilir. Bunu Şekil: 4'de görüldüğü gibi magnetik devrenin kenarlarını alan düzgünlüğü ideal olacak şekilde biçimlendirmek ve arasına da yalıtkan yerleştirmek suretiyle gerçekleştirebiliriz. Fakat bu yol uy-

gulama yönünden imkansızdır. Ama sargı boyunduruğunda mesafenin fonksiyonu olarak değişim gösteren bir yarı iletken tabaka meydana getirmek suretiyle yukarıda bahsedilen amaca ulaşmak mümkün olur. Bu uygulama genetik anma gerilimi 10 kV.'un üzerindeki elektrik makinalarında kullanılır. Bu yarı iletken tabakanın şekli ve matematiksel eşdeğer devresi Şekil: 5'de verilmiştir. Bu yöntem, yüzey direnciyle alan denkleştirme denir. Tüm dünyada elektrik makinası imalatçıları tarafından birbirinden ufak tefek farklılıkları olsa da kullanılmaktadır.



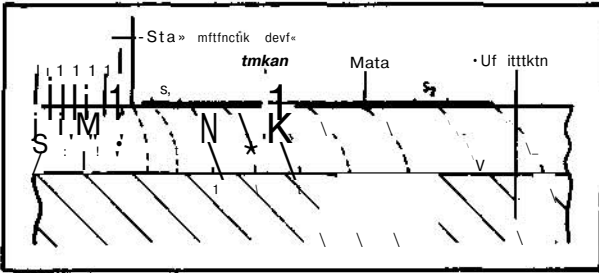
Şekil: 6. Stator sargısının oluktaki yereşimi ve yüzeye uygulanan, iletken ve yan iletken tabakalar ile boyunduruğ boyunca uygulanan gerilimin mesafeye göre değişimi.

- a iletken tabakanın magnetik devreden dışarı çıkan kısmı.
 - b Tabakaların üst üste binmesi gereken kısmı,
 - c Yan iletken tabakanın uzandığı kısmı.
- $U(x)$ Sargı boyunduruğ boyunca x noktasındaki gerilim
 x Sargı boyunduruğ boyunca uzunluk.
 1 Sabit yüzey direnci (yüksek değerli).
 2 Sabit yüzey direnci (düşük değerli).
 3 Gerilime bağlı yüzey direnci.

Tabaka genellikle, iletken bileşeni olarak karbon tozu içeren ve havayla kuruyan bir vernikle veya bu vernik emdirilmiş şerit bant ile elde edilir. Stator magnetik devresine bu tabaka boyunca akan kaçak boşalma akımı uzunluğunun fonksiyonu olarak bir gerilim dağılımı oluşturur. Bu değişim tabakanın yüzey direncini uygun seçmek

suretiyle de kontrol edilebilir. Bu tabaka boyunca gerilim dağılımının yüzey direncine bağlı olduğu ispat edilebilir. Şekil: 6 sargının stator oluğundaki yerleştirilişini ve boyunduruğundaki gerilimin değişimini göstermektedir. Şayet direncin değeri çok yüksek ise eğri T de görüldüğü biçimde gerilim dağılımı elde edilir. Şayet her ne şekilde yapılırsa yapılsın değeri çok küçük ise eğri "2" geçerliliğini korur. Eğri "T"de gerilim stator mağnetik devreye çok yakın yerde hızla yükselir ve boşalmalar da orada gerçekleşir. Eğri "2"de ise tabakanın sonlarına doğru gerilim seviyesi aniden yükselir ve boşalmalar orada görülür. Arzulanan doğrusal değişim ise eğri "3" ile temsil edilmektedir.

Bunun yanı sıra Şekil: 7'ye şöyle bir göz attığımızda: sargı boyunduruğundaki birim uzunluk başına sabit dirençli bir tabakayla, uygun bir gerilim dağılımı elde edilemez. Stator mağnetik devresine yakın S1 bölgesindeki gerilim düşümü tabakanın öbür ucunda, S2 bölgesindeki gerilim düşümünden daha büyük olacaktır. Çünkü tabaka doğrultusunda stator mağnetik devreye yaklaştıkça kaçak akımlarda artış meydana gelecektir.



Şekil: 7. Stator sargı boyunduruğuna sabit dirençli bir tabakanın uygulanması

Bu durumda gerilime bağlı yüzey direnç değişimi ile dış kısmı boşalma koruması yapmak akla daha uygun olacaktır. Bunun nasıl gerçekleştirileceği Şekil 6'daki eğri "3"den görüleceği üzere istenilen alan dağılımından anlaşılabilir. Önemli olan stator mağnetik devreye yaklaştıkça yüzey direncinin düşüş eğilimi göstermesidir. Böylece, stator mağnetik devreye daha yakın olan yerlerde daha büyük akım, tabakanın diğer ucuna doğru daha az akım akarak tüm tabaka boyunca birim uzunluk başına gerilim düşümü aynı kalır.

Uygulama olarak dirençteki bu azalma statorun mağnetik devresine doğru elde edilen tabakanın kalınlığını tedricen artırmak veya kademe kademe stator mağnetik devreye doğru tabakadaki katman sayısını artırmak suretiyle elde edebiliriz. Bu tür işlem gerçekte sıvı malzemelerle yapıldığından stator mağnetik devreye doğru sıvı ile kaplanmış tabaka sayısını artırmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Direncin değeri dışarıdan mağnetik devreye doğru giderek azalır. Yukarıda bahsettiğimiz her iki yöntem de uygulama yönünden elverişli değildir.

Gerilim düşümü tabaka boyunca doğrusal değişim isteminin en etkili yöntemi tabaka direncini gerilime bağlı kılmaktır. Örneğin yüzey direnci, aşağıdaki denklem ile verildiği gibi değişim gösterebilir:

$$P_s = kU - a$$

Burada, k: sabit bir katsayı, U: gerilim, (v), a: belirli bir gerilim aralığında sabit bir sayı. Böylece gerilim arttıkça direnç düşecektir. Bu yolla Şekil 6 eğri "3"deki gibi arzu edilen gerilim değişimi elde edilmiş olur. Birim uzunluk başına gerilim düşümünün büyük olduğu, stator mağnetik devreye yakın bölgelerde direnç küçük değerlere düşecek, oradan uzaklaştıkça gene birim uzunluk başına gerilim düşümü aynı kalarak, direnç tedricen azalacaktır. Bunun sonucu olarak akım azalacaktır. Uygun gerilime bağlı direnci bulunan bir tabakanın etkilenmesi, onu meydana getiren kimyasal terkinin yüzdesinden bağımsızdır. Bu özellik geniş bir gerilim aralığında etkin bir gerilim denkleştirici rolü oynar.

Zamanımızdan yirmi yıl öncesine kadar sabit dirençli sıvı malzemeler kullanılırken, ondan sonra bu malzemeler yerine, gerilime bağlı direnç değişimi olan sıvı malzemeler geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur (5, 6, 7). Bu sıvı yeni malzemeler çoğunlukla, içerisinde yarı iletkenlik özelliği olan silikon-karbit içerikli alkali tabanlı verniklerdir. Ağır silikon-karbit parçacıklarının çökmesinin önlenmesi için vernik haiff peltemsi yapılar ve çalkalanarak, fırçayla uygulanır. Herhangi bir inceltici gerektirmeksizin fırçayla sargı yüzeyinin gerekli bölgelerine kolayca sürülebilir. Kuruma zamanında sıcaklığında yaklaşık 6 saattir. Sürülen tabakanın herhangi bir hasara uğramaması için yüzeyi bir yalıtkan şerit ile örtülebilir. Bu malzemeler, genellikle ısı kararlılık yönünden oldukça iyi olup (F ısı sınıfı için bile kullanılabilirler), yağa karşı mukavemetli olduklarından, onlardan etkilenmezler. Bu yarı iletken verniğin, iletken vernik üzerine bindirilmesi gereken uzunluğu ve sonra boyunduruğundaki uygulama mesafeleri, bu malzemeleri üreten firmalardan, elektrik makinasının anma gerilimine bağlı olarak temin edilebilir. Artık stator sargısının düz kısmında iletken, boyunduruğunda yarı iletken vernik kullanarak, elektrik makinalarının yalıtkanlarında yaşanmayı geciktirmek mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Engineering Dielectrics. Corona Measurement and interpretation. Bartnikas. Mc. Mahon. ASTM, Baltimore, 1979.
2. Elektriksel kısmi boşalmaların değişik yöntemlerle ölçülmesi ve ölçü sonuçlarının karşılaştırılması. Necati Ergen, Doktora tezi, İTÜ, 1982.
3. An Introduction To High-Voltage Experimental Technique. Dieter Kind. Vieweg, 1978.
4. Dış Kısmi Boşalmalar. Ekrem Altınel, MMLS Tezi. İTÜ, 1983.
5. Isola, The catalogues of insulation systems. 1983, Breitenbach, Swiss.
6. ASEA's pamphlets. No OK Ö0-104E, Vasteras, Sweden, 1976.
7. REMISOL Catalogue, type programme II, 1984, Wien, Austria.