

YEŞİL DAĞITIM TRANSFORMATÖRLERİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ÇEVRE

Kaan SARIOĞLU

ABB Elektrik Sanayi A.Ş.
Dudullu OSB 2.Cadde.No:16 YukarıDudullu Ümraniye / İstanbul
kaan.sarioglu@tr.abb.com

ÖZET

Günümüzde çok sayıda sürdürülebilirlik tanımı mevcut olmakla birlikte en çok kabul edileni, sosyal ve çevresel etki ile toplumun ekonomik ihtiyaçları arasında denge kurma sorumluluğumuzu tanımlayanıdır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından, enerji tasarrufu ve CO₂ salımının azalmasına odaklanılmalıdır. Dünya genelinde atmosferdeki CO₂ salımları yılda 30 milyar tona ulaşmaktadır ve sahip olduğu konsantrasyon sanayi devrimi öncesinden bugüne dek yüzde 140 oranında artmıştır. 2050 itibarıyla dünya nüfusu çok büyük ihtimalle altı ile dokuz milyar arasında olacağından, gezegenimizin kaynaklarını, yenilenmesine izin verecek bir hızla tüketme yollarını bulmamız gerekiyor.

Dünya nüfusu ile birlikte elektrik enerjisi talebi ve maliyetler artmakta olduğundan, CO₂ salımı da artış gösteriyor. Dolayısıyla, elektrik altyapımızın verimliliğini artırmaya yönelik çözümler bulmak, salımları ve maliyetleri azaltmak bakımından önemli bir etkidir. Düşük kayıplar ile sağlanan daha yüksek verimlilik, elektrik altyapısının toplam kullanım maliyetini azaltırken fazladan elektrik üretim maliyeti oluşmasını da önleyebilir.

Dünya çapında hemen hemen bütün otoriteler enerji tasarruf programlarının ve enerji verimlilik gereksinimlerinin önemine ilişkin tavsiye kararları almışlardır. Dağıtım transformatörlerinde yüksek verimlilik zorunluluğu gerektiren bazı mevzuat ve standart örnekleri şunlardır: ABD Enerji Departmanı mevzuatı Ulusal Verimlilik Standartı, Avusturalya'nın Yüksek Verimliliği 2010, Hindistan 4 ve 5 Yıldız programları, Çin SH15 standardı ve Avrupa'da Aka0 standardı. Sonuç olarak önümüzdeki on yılın kritik faktörü enerji verimliliğidir.

GİRİŞ

Değişen ve kirlenen dünyada enerji verimliliği, kaynakları verimli kullanma, çevreye en az zarar verecek çözümleri bulmak ve uygulamak artık bir zorunluluk halinde gelmiştir. Toplumdaki her birey, kurum, kuruluş, topluluk bu konudaki katkılarını ve çabalarını gelecek nesillere bırakacağı bir miras olarak görmelidir. Yazımızda bu ilkeye katkı sağlamak amacıyla elektrik şebekelerinde önemli bir eleman olan transformatörlerin daha çevreci ve verimli çözümlerine değinilmiştir.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE VERİMLİLİK

Verimlilik (yüzde olarak) bir cihazın giriş enerjisinin, çıkış enerjisine ne kadar iyi dönüştürdüğünün ölçüsüdür. Dağıtım transformatörleri yüzde 90'ın üzerinde verimlilik gösterir. Dağıtım transfor-

matörünün verimliliği yük ve boşta kayıplardaki azalmaya bağlı olarak artar. Boşta kayıplar yükten bağımsız olarak sabitken, yük kayıpları yükle birlikte değişir. Çoğu transformatör gün içinde belli aralıklarla kendini gösteren puant yükleri dışında, günün büyük bir kısmında düşük yük altında çalışır. Dolayısıyla, boşta kaybın düşük olması enerji tüketimini düşürür, verimliliği artırır ve işletmecinin tasarrufunu sağlar.

Düşük kayıplı transformatörler elektrik kayıplarını belirgin bir şekilde azaltabilir. Gerçek şu ki, tüm transformatörler en yeni teknoloji olan amorf metal çekirdekli transformatörler ile değiştirilseydi, dağıtım şebekesi kayıpları yüzde 70'e kadar azaltılabilirdi. Bu enerji tasarrufu, en nihayetinde, daha düşük işletim maliyeti ve daha az çevresel etki anlamına gelmektedir.

Mevcut düşük kayıplı, yüksek verimli transformatörlere ilave olarak çevre dostu ve bio çözünür, yanma noktası yüksek trafo yağı seçeneği, düşük kayıplı amorf çekirdekli (AÇ) transformatör çözümleriyle birlikte daha fazla enerji tasarrufu sağlayan çevreci, teknolojik bir üründür.

YEŞİL DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ PROGRAMI

Yeşil transformatör programı ürün seçimi açısından modüler bir yaklaşıma sahiptir. Tasarım özellikleri ve seçenekler şunlardır:

- Kağıt veya emaye yalıtımlı bakır veya alüminyum sargılar
- Kademeli dizme veya Sarma çekirdekler
- M5'den başlayarak çekirdek sacı teknolojisinde son nokta olan amorf metal çözüme kadar giden özel saclar
- Mineral ,silikon yağlara, sentetik ester bazlı sıvılara ilave olarak sıcaklık performansı iyileştirilmiş ve oksidasyon stabilitesi sağlanmış doğal ester bazlı sıvı olan üstün dielektrik yalıtkan sıvısı dahil olmak üzere bir dizi sıvı izolasyon malzemeleri.
- Dalgalı sac duvarlı veya radyatörlü hermetik veya genleşme tanklı kazanlar
- Sert dış hava koşullarına uygun farklı renklerde çevre dostu toz veya su bazlı boya

Amorf metal

Amorf çekirdekli dağıtım transformatörleri en yüksek verimliliği sağlayan çok düşük kayıplara sahiptir. Amorf metal bir demir, silisyum ve bor alaşımıdır ve tanecikli yapıya sahip değildir. Tanecikli yapının olmaması kolay magnetizasyona ve histerezis kayıplarının düşük olmasına sebep olur. Amorf sac kalınlığı, tanecikleri yönlendirilmiş silisli sacın %10'u kadar olduğundan eddy kayıpları da oldukça düşüktür. Amorf sac geri dönüştürülebilmektedir.

Amorf metal tanecikleri yönlendirilmiş silisli sac (konvansiyonel transformatör çekirdek sacı) ile karşılaştırıldığında, tipik

yağlı trasformatör tasarımları için aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi boşta kayıplarda %70'e kadar belirgin bir azalma sağlanabilir.

Güç (kVA)	Boşta Kayıp(W) Standart Silisli Sac	Boşta Kayıp(W) Amorf Çekirdek	Kayıp Düşüşü %
250	780	309	60
630	1450	428	70
800	1750	550	68
1600	2800	935	67
2500	3950	1060	73

TEDAŞ-MYD şartnamesi kayıpları göz önüne alınmıştır.

Tablo1

Lineer olmayan yükler (örneğin döner makineler), akım ve gerilim dalga şekillerinin bozulmasına, bu da transformatördeki kayıpları artıran ve güç kalitesinin azaltan harmoniklere neden olur. Bu harmonik kayıplar amorf metal teknolojisi ile üretilen transformatörlerde azaltılır. Bu azalma, çeşitli direnç ve endüktif yük durumlarında işletim tasarrufuna dönüşür. Amorf çekirdeğin çok daha düşük kayıplı olması, transformatörün ömrü üzerinden belirgin bir enerji ve maliyet tasarrufu sağlar.

Üstün dielektrik yalıtım sıvısı

100 yılı aşkın bir süredir mineral bazlı yağlar transformatörler için seçilen sıvı yalıtım malzemesi olmuştur. Ester sıvıları, 1980'lerden başlayarak, mükemmel yangın güvenliği ve yüksek derecede bio çözünürlüğü birleştiren yeni bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek yanma riski ve kirlilik gibi temel sakıncaları olan petrol bazlı ürünlere alternatif bir ürün olan ve sebze bazlı olan dielektrik yalıtım sıvısı aynı zamanda cihaza daha fazla güvenilirlik kazandırır.

Dielektrik yalıtım sıvısı nitelikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yüzde 99 biyoçözünürdür. Yenilenebilir bitki bazlı doğal bir esterdir. Çevre yönetmeliklerine bağlı olarak, sızıntıları tehlikeli atık olarak işlem görmeyi gerektirmez ve normal yollarla imha edilebilir
- 300°C'nin üzerindeki yanma noktası ile, FM Global ve UL tarafından

“az yanıcı” dielektrik sıvı olarak belirlenmiş olup, K2 yangın tehlike sınıfındadır (IEC 61100)

- Kısa devre arızalarında daha az basınç oluşturmaları ile, transformatör patlaması ve yangın riskini azaltır. Bu nedenle iç mekan ve yüksek güvenlik gerektiren dış alan uygulamalarına uygundur.
- Yüksek nem tutma kapasitesi emdirildiği izolasyon kağıdının yaşlanma hızının çok daha yavaşlamasını sağlar. Standart mineral yağlı transformatör ile aynı potansiyel hizmet süresine sahip olan dielektrik yalıtım sıvısının doldurulduğu bir transformatör, yüksek sıcaklık değerlerinde çalışabilir (aşırı yükleme kapasitesi nedeniyle). Şu an için mevcut olan tüm standart oksidasyon stabilite testlerinde rakiplerini geride bırakan, piyasadaki en kararlı bitki bazlı dielektrik yalıtım sıvısıdır.
- Çevre dostu olması (yüksek biyolojik çözünürlük), güvenlik (üstün yangın dayanımı) ve güvenilirlik (yüksek aşırı yükleme kapasitesi) bileşimi ile transformatör uygulamaları için eksiksiz ve sürdürülebilir bir çözüm sunar.

Dielektrik yalıtım sıvısı ile doldurulmuş amorf transformatörler, çevre açısından en iyi çözümdür

- Amorf metal, üretimden iletme, oradan dağıtıma kadar ağırlık her noktasında toplam kullanım maliyetini azaltıyor.
- Amorf metal ve Dielektrik yalıtım sıvısı, sera gazlarını ve diğer kirleticilerin miktarını azaltıyor.
- Dielektrik yalıtım sıvısı mühendislik aşamasından itibaren çevre dostu olarak tasarlanmıştır.
- Bir dağıtım transformatörü için size en düşük kullanım maliyetini sunar.

Yapılan gerilim dayanımı ve polimerizasyon dayanımı ölçümleri, Dielektrik yalıtım sıvısı emdirilmiş kraft kağıdı ömrünün petrol bazlı transformatör yağı emdirilmiş olan kağıttan iki kat fazla olduğunu göstermiştir. Dielektrik yalıtım sıvısının üstün termal özellikleri ile

birleştirildiğinde bu özellik, transformatörün sargısında yüksek bir sıcak nokta ısını destekleyebileceği anlamına gelir. Bu termal özelliklerden dolayı, transformatör istasyonunun kurulum gereksinimlerinin karmaşıklığı şu açılardan azalır:

- Trafo istasyonu güvenlik duvarları artık gereksiz olur.
- Yangın sigortası maliyetleri azalır.
- Trafo istasyonunda yangın söndürme sistemi gereksinimi optimize edilebilir.
- Transformatör ile civardaki donanım ve/veya binaların arasındaki mesafenin önemi azalır.

Toplam kullanım maliyetinin düşürülmesi

Birçok kullanıcı dünyadaki iklim konularındaki gelişmelere istinaden kısa vadeli yüksek kayıplı ucuz çözümler yerine, düşük kayıplı uzun vadeli transformatör çözümlerinin tercih edilmesi gerektiğinde birleşiyor. Bizler transformatör satın alırken, ürünün satınalma fiyatı ile gelecekteki işletim maliyetini birlikte hesaba katan toplam kullanım maliyeti (TKM) yönteminin kullanılmasını öneriyoruz.

TKM hesabında, transformatöre ait değerlendirilmiş finansal etkileri ile birlikte kayıplar ve kendini geri ödeme süresi değerlendirmeye alınır.

C_t = Transformatör satın alma fiyatı

A = Boşta kayıp için kapitalizasyon faktörü (örn, Para Birimi/W)

B = Yük kaybı için kapitalizasyon faktörü (örn, Para Birimi /W)

P_0 = Boşta Kayıp

P_k = Yük Kaybı

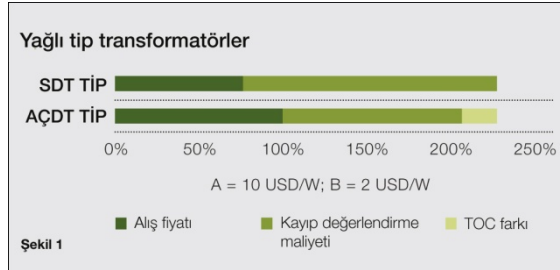
En iyi seçim, en düşük TKM ile tasarım olacaktır. Özetlemek gerekirse, kullanıcı, yatırım ve kazanç arasında pratik bir denge elde edecektir.

TKM transformatör satın alma değerlendirmesinde gerçek ekonomi sağlar.

Düşük kayıplı, yüksek verimlilikli transformatörler için geçerli yüksek malzeme maliyeti normal olarak yüksek bir başlangıç maliyeti gerektirir. Ancak bu, kayıpların azalmasından elde edilecek işletme maliyetlerince dengelenecektir. Belirli bir sürenin ötesine geçildiğinde kayıpların azalması, enerji maliyetlerinin azalmasına neden olarak net mali tasarruf olarak geri dönecektir.

Transformatör verimliliğini artırırken, yüksek alım maliyeti ile hizmet ömrü maliyeti (kayıp değerlendirme) arasında bir dengeleme gereklidir. Yüksek kayıplı transformatörler yeni düşük kayıplı transformatörlerle değiştirildiğinde tasarruf daha da artar. Dahası, kayıplar azalınca gereksiz üretim yapılmaz, iletim ve dağıtım kapasite ilaveleri yapılabilir.

Uygulama örneği – Şebeke hizmet sağlayıcıları için transformatörler



Çizelge 1

1000 kVA değerinde yağlı tip standart silisli saçlı çekirdek ile üretilmiş transformatörler ile yağlı tip amorf metal çekirdekli transformatörlerin (AÇDT) toplam kullanım maliyetleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada kayıp kapitalizasyon faktörleri olarak aşağıdaki değerler alınmıştır:

A=10 USD/kW ve B=2 USD/kW. Toplam kullanım maliyetini de kapsayan çeşitli bileşenler ayrı ayrı vurgulanmıştır. Amorf çekirdekli transformatörlerin başlangıç maliyetleri biraz daha yüksek olmakla birlikte, toplam kullanım maliyeti hesaba katıldığı zaman tercih edilmelidir.

Uygulama örneği – Rüzgar santrallerindeki transformatörler

Rüzgar santralindeki türbinlerden gün boyunca yalnızca kısa süreler için enerji üretilir. Bu nedenle, rüzgar santrali uygulamalarındaki boşa kayıpları en aza indirmek arzu edilir.

Buna benzer uygulamalarda amorf çekirdek (AÇ) transformatörlerin avantajları Şekil 2’de gösterilmiştir. Burada, 1.750 kVA yağlı sıvıya daldırılmış, normal kristalleri yönlendirilmiş (RGO) ve amorf çekirdekli (AÇ) transformatörler bir rüzgar santrali bakımından karşılaştırılmıştır

(A = 8 USD/W ve B = 2 USD/W).



Çizelge 2

Transformatör verimliliğinin hesaplanması

Verimliliği hesaplarken, transformatör anma gücü değeri (kVA_r), yük (kVA_l), güç faktörü (PF) ve transformatör kayıpları mutlaka bilinmelidir. Transformatör kayıpları yük altında (P_k) ve boşa (P_o) kayıplardan oluşur. Yük veya sargı kayıpları doğrudan yük faktörünün (L) karesi ile değişir, yani, transformatör yükü arttıkça kayıplar da artar. Boşa kayıpları yükten bağımsız olarak sabit kalır. Dahası, transformatör hafif yüklü olduğunda, toplam kayıpların belirgin büyük bir yüzdesi boşa kayıp olabilir.

$$\eta\% = \frac{L \times kVA_r \times PF \times 10^5}{(L \times kVA_r \times PF \times 10^5) + (\text{Transformatör Kayıpları})}$$

$$\text{Güç Faktörü (L)} = \left(\frac{kVA_l}{kVA_r} \right)$$

$$\text{Transformatör Kayıpları} = P_o + (P_k \times L^2)$$

Toplam Kullanım Maliyeti (TKM) hesabı

Aşağıda, USD örnek olarak kullanılmıştır.

$$TKM = C_1 + (A \times P_o) + (B \times P_k)$$

C_1 (USD) transformatör satın alma fiyatı, A ve B ise (USD/W) ile gösterilen sırasıyla boşa kayıp (P_o) ve yük kaybı (P_k) için kapitalizasyon faktörleridir. A ve B faktörleri çeşitli yöntemlerle hesaplanabilir. Basit bir yöntem kullanarak,

$$A = (12 \times C_d + h \times C_e) \times F_c \quad (\text{USD} / \text{W})$$

$$B = C_e \times h \times L^2 \times F_c \quad (\text{USD} / \text{W})$$

$$F_c = \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n}$$

Bu denklemlerde, C_d (USD/W), talep fiyatı, üretim kapasitesi uzantısına (Müessese) ait maliyet veya pik gücün aylık oranıdır (ticari ve endüstriyel tüketiciler), C_e (USD/Wh) enerji maliyetidir ve müşteri uygulaması olup standartlara bağlıdır, h transformatörün yıllık kullanım saatidir (bütün yıl = 8760 saat) ve F_c indirim oranı kullanılarak n yıl için hesaplanan mevcut değer faktörüdür.

Salım maliyeti

TKM'da salımların maliyetini hesaplamak üzere genel geçer bir yöntem halihazırda bulunmamaktadır çünkü bu, yerel düzenlemelere ve politikalara çok bağlıdır. Kullanılacak faktörler yalnızca ekonomik değil aynı zamanda değerlendirmesi zor sosyal etkileri de hesaba katmalıdır.

TKM hesaplaması içerisindeki salımlara ait ekonomik maliyetler, salım maliyetlerinin (C_{em}) enerji maliyetine (C_e) eklenmesi ile elde edilen toplam enerji maliyeti (C_E) şeklinde hesaplanabilir ve bu da önceki denklemdeki C_e 'nin yerini alır.

$$C_E = C_e + C_{em} \quad (\text{USD/Wh})$$

$$C_{em} = E_p \times E_c \quad (\text{USD/Wh})$$

E_p (ton/Wh), belli bir miktar elektrik üretilirken her bir kirleticisi için salımların bilinen miktarından hesaplanan toplam salımları karakterize eder ve E_c (USD/ton) kirleticilere ait piyasa değeridir.

A ve B faktörlerinin periyodik olarak gözden geçirilmesini önerir. Gözden geçirilmesi gereken diğer faktörler şunlardır:

Enerji maliyeti (C_e ve C_{em}); efektif yük (L) ve indirim oranı.

SONUÇ

Gelişmiş yeni malzemelerin geliştirilmesi ve kullanımı transformatör teknolojisinde belirgin bir ileri adımdır. Bu aynı zamanda, müesseselerin eski transformatörleri yükseltebileceği ve güvenlik artışı, bakım azalması ve ürün ömrünün uzaması, çevre koruması gibi geliştirme ödülleri alabileceği anlamına gelir. İyi koordine edilmiş geliştirme işbirliği projeleri aynı zamanda enerji endüstrisi ve bir bütün olarak toplum için fayda sağlanmış olur.

Bu iyi gelişmelere rağmen gelecek için yapılması gereken daha çok şey var. Geleceğin trafo istasyonu tasarımı daha fazla basitleştirme ve iyileştirme yolları bulma çabası, mühendisleri uzun bir süre daha meşgul edecektir. Bu hedefe doğru ilk adım, günümüzün trafo kurulum standartlarını ve yerel mevzuatları gözden geçirmek olabilir.

KAYNAKLAR

1. Mendes, J. C. et al, On Site Repair of HV Power Transformers. CIGRÉ, 12-114, Paris, Session 2002.
2. Rocha, A. C. O., Mendes, J. C., Assessment of An EHV Shunt Reactor Insulating and Mechanical Performance by Switching Surge Analysis. CIGRÉ, A2-301, Paris, Session 2006.
3. Oommen, T. V., Claiborne, C. C., "Biodegradable Insulating Fluid from High Oleic Vegetable Oils" CIGRÉ, 15-302. Paris, 1998.
4. ABB. Transformador No. de Série 54831 – CEMIG. Relatório de Ensaio 1ZBR 06-0150, São Paulo, 2006-05-29, 112 pag.