

TRANSFORMATÖRLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ, AMORF NÜVE KULLANIMI

Mehmet Sabri BİLİCİ

ELTAŞ Transformatör Sanayi ve Ticaret A.Ş

sabri.bilici@eltas.com.tr

ÖZET

Teknolojik gelişmelerle dünya üzerinde artan enerji ihtiyacının büyük bölümünün yenilenemeyen ve çevreye zararlı atık salınımına neden olan fosil yakıtlardan karşılanması beraberinde çözüm bekleyen çevre kirliliği ve kaynak yetersizliği gibi yeni sorunları getirmiştir. Elektrik şebekelerinde kullanılmakta olan dağıtım transformatörlerinin verimlerinin artırılması sera gazı salınımı ve kaynak kıtlığı sorunlarını dolaylı yoldan azaltacaktır. Transformatörlerin yüklenme oranları dikkate alındığında nüve kayıplarını büyük oranda düşürecek olan en ileri teknoloji Amorf-Metal nüve uygulaması üzerinde durulması gerekmektedir. Amorf nüvelerde eddy akım kayıpları ile hysterezis kayıplar silisli sacdan üretilmiş konvansiyonel nüvelere göre çok daha düşük, ayrıca yüksek harmonik barındıran şebekelerde kayıp artışı daha azdır. Transformatör seçiminde yalnızca satın alma maliyetleri değil; aynı zamanda saydığımız avantajlar da dikkate alınarak Toplam Kullanım Maliyetleri' ne göre karar verilmesi daha sağlıklıdır.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle birlikte dünya üzerinde enerjiye duyulan gereksinim günden güne artmaktadır. Enerjiye yönelik talep artışı yenilenemeyen fosil kaynaklara dayalı enerji üretimini artırmış ve çevre kirliliği ile kaynak kıtlığı sorunlarını beraberinde getirmiştir. Sosyal altyapımızın önemli bir parçası olan elektrik şebekesinin verimliliği, ortaya çıkan çevre kirliliği ve kaynak kıtlığı sorunları nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Elektrik şebekesinin verimi şebekeden çekilen enerji miktarının şebekeye giren enerji miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla şebekenin verimini belirleyen etken şebekedeki elemanların üzerinde kayıp olarak yitirilen elektrik enerjisidir.

İspanyol ENDESA firmasının “3. Uluslar arası Enerji İnovasyon Konferansı” nda yaptığı sunuma göre Avrupa Birliği’ ne üye 27 ülkede üretilen elektrik enerjisinin 8%’ i şebekelerde kayıp olarak tüketilmektedir. Şebekelerdeki toplam kaybın 30%’ u dağıtım transformatörleri üzerinde, bunun da 70%’ i nüve kaybı

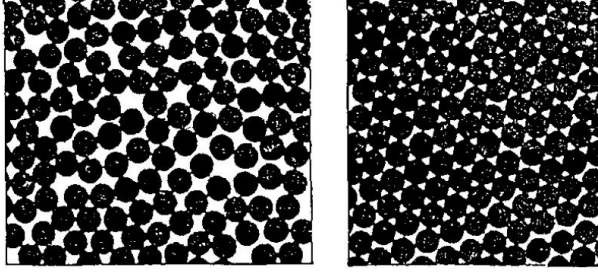
olarak tüketilmektedir.[1] Şebeke kayıplarının çoğunluğunu oluşturması nedeniyle transformatörlerde verimliliği artırıcı çalışmalar genelde nüve kayıplarını (boşa kayıpları) üzerine yapılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmaların şimdiye kadar ulaştığı en son nokta amorf çekirdekli transformatörlerdir. Amorf çekirdekli transformatörler, tanecikli yapıya sahip silisli saclı transformatörlere göre boşa kayıpları 60%-70% oranında düşürmektedirler.

Bu bildirinin amacı yüksek verimli transformatör üretiminde kullanılan amorf (kristal yapıda olmayan) metal nüveleri tanıtmak, transformatör verimine etkilerini açıklamaktır.

2. AMORF METAL ALAŞIM MALZEMENİN TARİHİ

Amorf kelimesinin sözlük anlamı “kristal yapıda olmayan” dır. Normalde metal alaşımları oluşturacak elementler erime noktasının üzerinde bir sıcaklıkta sıvı karışım halinde düzensiz bir yapıdayken soğutularak kristalleşmiş katı elde edilir. Kristal yapıda olmayan amorf metal

alaşımının elde edilmesi için katılaştırma aşamasındaki eriyik karışıma özel teknikler uygulanarak 10^6 K / s gibi yüksek hızlarda soğutma uygulanmalıdır.

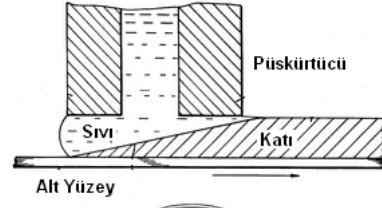


a) Amorf maddenin yapısı

b) Kristal yapı

Şekil.1. Amorf yapı ile kristal yapı görünüşleri.

Kristal yapıda olmayan (amorf) metal alaşımlar (Ni-P) ilk defa 1950 yılında “Ulusal Standartlar Bürosu” nda (National Bureau of Standards) elde edilmiş, fakat pek fazla dikkat çekememiştir. Amorf metallerin keşfi genellikle, 1960 yılında sıvı haldeki $Au_{75}Si_{25}$ alaşımının hızlı katılaştırılmasıyla amorf örnekler üretmiş olan Pol Duwez’ e atfedilir[2]. Önceleri amorf metal alaşımlar altın ve paladyum gibi değerli metallere dayalı üretilirken, 1967’ de Pol Duwez amorf $Fe_{80}P_{13}C_7$ alaşımını üretti. Böylece hem demir (Fe) gibi kolay bulunabilir, ucuz metalik bileşenlerle de amorf metal üretilebileceği hem de ferromanyetik özelliğın oda sıcaklığında amorf malzemeler içerisinde var olabileceği görülmüş oldu. 1975 yılında Narasimhan ergimiş metali tabaka formunda hızlı katılaştırabilen yöntemi (“Planar flow Casting”) geliştirmeden önce ancak birkaç milimetre genişliğinde amorf metal şeritler üretilebiliyordu. “Planar Flow Casting” yöntemiyle piyasada satılabilecek şekilde 210 mm genişliğe kadar amorf metal şeritler üretilmeye başlandı. [3] Günümüzde amorf nüveli dağıtım transformatörlerinde kullanılan malzemeler bu yöntemle üretilmektedir.



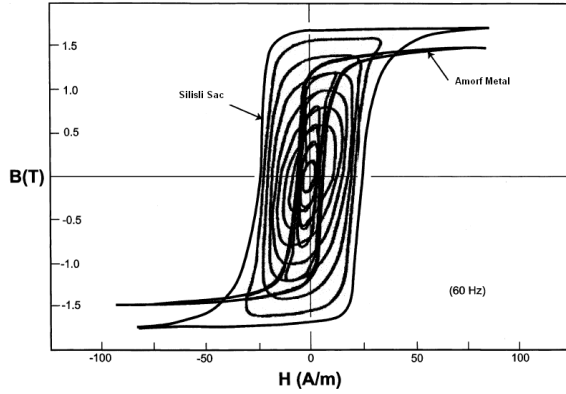
Şekil.2. Düzlemsel Akış Döküm İşlemi gösteren çizimler (Planar Flow Casting Process) [3]

3. AMORF METAL ALAŞIM MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ VE TANECİKLİ YAPIDAKİ SİLİSLİ SACLA KARŞILAŞTIRILMASI

Dağıtım transformatörleri nüvelerinde kullanılan amorf malzemeler Demir (Fe), Silisyum (Si) ve Bor (B) içeren alaşımlardır. Amorf metal saclar yaklaşık 25 μ m kalınlığındadır. Bu değer kristal yapıdaki silisli sacın yaklaşık 10%’ u kadardır.

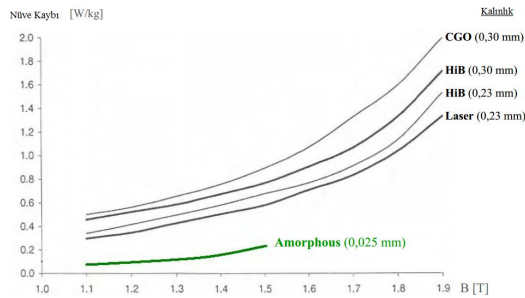
Nüve kaybını oluşturan iki temel öge vardır: Hysterezis kayıpları ve eddy (girdap) akımı kayıpları. Hysterezis kayıpları nüvenin manyetik geçirgenliğiyle

ters orantılıdır. Nüveye enerji verildiğinde mıknatıslanma ne kadar kolay oluyorsa, manyetik koersivite (H_c) ne kadar düşüğe hysterezis kayıp da o kadar azdır. Amorf metal nüvelerde kristalleşme olmadığı için mıknatıslanma kolay gerçekleşir.



Şekil.3. Fe-bazlı amorf alaşım ve tanecikleri yönlendirilmiş silisli saca ait B/H eğrileri [4]

Eddy kayıplarını, nüve saclarında oluşan girdap akımları meydana getirir. Amorf nüve sacının silisli saca göre çok ince ve elektriksel direncinin yüksek olmasından dolayı amorf metal nüvenin eddy kayıpları daha azdır. Sonuç olarak amorf nüvelerin toplam boşta kayıpları en iyi kalitedeki silisli sacdan bile çok daha düşüktür.



Şekil.4. Nüve Kayıpları vs. Manyetik İndüksiyon[1]

Amorf nüvenin kullanımını zorlaştıran dezavantajları düşük manyetik doyma noktası ile düşük doldurma faktörüdür. Tanecikli yapıdaki silisli nüvelerde 2 Tesla civarında olan manyetik doyma noktası amorf nüvelerde 1,6 Tesla civarındadır. Ayrıca yine silisli sacda 0,97 olan doldurma faktörü amorf nüvede 0,86' dır.

Amorf metal malzeme ile silisli sac (CRGO) malzeme arasındaki karşılaştırma için aşağıdaki tablo incelenmelidir:

	Birim	Amorf metal Malzeme	CRGO malzeme
Özgül ağırlık	gr/cm ³	7,15	7,65
Özgül direnç		130	45,00
Doyma endüksiyonu	Tesla	1,59 – 1,64	2,03
Tipik nüve kaybı (50Hz, 1,4T) watt/kg		0,20	0,90
Kalınlık	mm	0,022–0,030	0,27
Doldurma faktörü		0,86	0,97
Tedarik şekli		band/ruło halinde	Rulo
Tavlama sıcaklığı	°C	360	810
Tavlama atmosferi		inert gas	inert gas
Tavlama özelliği		magnetik alanda	-

Tablo.1. Amorf metal malzeme ile CRGO malzeme karşılaştırma tablosu.[5]

Doldurma faktörü ve manyetik doyma noktasının düşük olması amorf nüvelerin konvansiyonel silisli sac nüvelere göre daha büyük kesitli yapılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla amorf nüveli transformatörlerde sargılar ve transformatör boyutları silisli saca göre daha büyüktür.

4. AMORF NÜVENİN PERFORMANSINA HARMONİKLERİN ETKİSİ

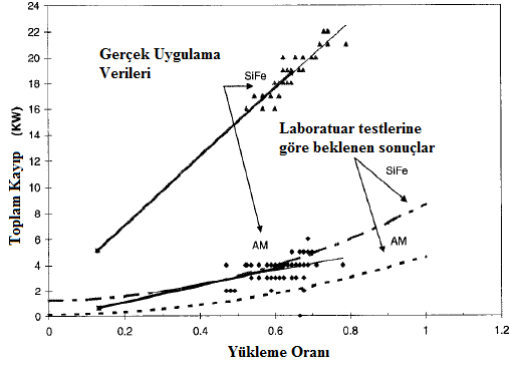
Elektrik şebekelerinde kullanılmakta olan ark ocakları, aydınlatma kontrol cihazları, değişken hızlı motor sürücüleri, bilgisayarlar ve haberleşme cihazları gibi non-linear yük kaynakları akım ve gerilim dalga şekillerinin bozulmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, enerji hatları şebeke frekansında önemli oranda harmonik bileşen barındırmaktadır. Harmonik kirliliğin boyutu sayısal olarak (THD) toplam harmonik bozulma formülüyle ifade edilir. Formülün akıma uyarlanmış şekli aşağıdadır:

$$THD = (\sum i_n^2)^{1/2} / i_1, \quad (1)$$

Burada “ i_1 ” şebeke frekansındaki nominal akım, “ n ” ise harmonik numarasıdır.

Non-linear yüklerin yarattığı harmonikler frekansa dayalı nüve ve sargı eddy kayıplarının f^m oranında artmasına neden olur. Katsayıda kullanılan “ m ” amorf

nüveler için ~1,5 iken konvansiyonel nüveler için ~2' dir. Şekil 5' te de görüleceği üzere amorf nüveli transformatörler ile konvansiyonel nüveli transformatörler arasındaki kayıp farkı harmonik ortamda daha da artmaktadır.



Şekil.5. Amorf ve silisli sac nüveli transformatörlerin 60 Hz' de toplam kayplarının karşılaştırılması. [6]

“Hindistan Elektriksel Araştırma ve Kalkınma Derneği” nin (ERDA) hazırladığı rapor aşağıdaki Tablo.2' de özetlenmiştir [7]:

Tablo.2.

Amorf Metal ve SiFe-bazlı nüveyle üretilmiş 250 kVA transformatörlerde kayıp karşılaştırması.

a. Harmoniksiz ortam

Kayıplar (W)	Amorf Metal Bazlı	CRGO Silisli Sac
Histeresis Kayıpları	99	155
Eddy Kayıpları	33	311
Toplam Nüve Kaybı	132	466
Sargı Kayıpları	966	1,084
Yükleme Oranı	55 %	58 %
Toplam Transformatör Kaybı	1,098	1,550

b. Harmonik Ortam (Toplam Akım Harmoniği: 26%)

Kayıplar (W)	Amorf Metal Bazlı	CRGO Silisli Sac
Histeresis Kayıpları	99	155
Eddy Kayıpları	74	698
Toplam Nüve Kaybı	173	853
Sargı Kayıpları	1,553	1,671
Yükleme Oranı	55 %	58 %
Toplam Transformatör Kaybı	1,726	2,524

c. Harmonik Dereceye göre Akımdaki Bozulmalar

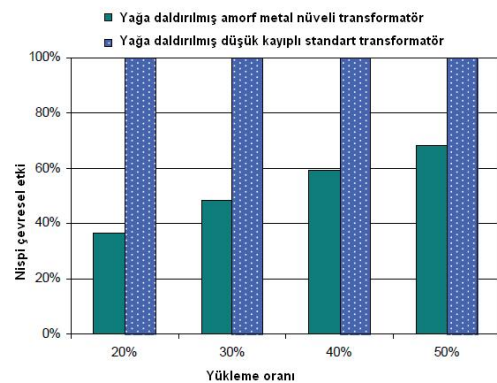
Harmonik Numarası	1	3	5	7	9	11	13	15	17
Harmonik İçerik (%)	100	1	20	10	1	9	6	1	5

Yukarıdaki örnek çalışmada da görüldüğü gibi düşük kayıplı amorf nüveli transformatör ile CRGO silisli sacdan

üretilmiş transformatör toplam kayıpları arasındaki fark, harmonik bozulmaların girdap akımları üzerindeki etkisi CRGO silisli sacda daha fazla olduğu için, artmıştır. Gün geçtikçe şebekedeki kullanımları artmakta olan harmonik bozulmaların en önemli kaynağı non-linear yükler amorf nüveli transformatörlerin önemini de artırmaktadır.

5. AMORF NÜVELİ TRAFOLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Büyüyen dünya nüfusu ve gelişmekte olan ekonomilerin daha fazla enerji tüketme ihtiyacı elektrik enerjisinin kullanımını artırmıştır. Elektrik enerjisinin büyük bölümü petrol, doğalgaz, kömür gibi yenilenemeyen fosil yakıtlardan elde edildiği için ortaya çıkan CO₂ ve diğer zararlı gazlar günümüzde en önemli çevresel sorunlardan olan küresel ısınmayı artırıcı etki yapmaktadır. Düşük kayıplı amorf transformatörlerin kullanımının yaygınlaşması elektrik şebekelerinde boşa giden kayıpların azaltılarak yapılan enerji tasarrufunun yanında kayıp olan enerjinin üretilmesinin azalması suretiyle sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunmaktadır. ABB firmasının yaptığı, amorf transformatörlerin yaşam döngüsü analizinin farklı yüklenme oranlarındaki sonuçları Şekil.6' da görülmektedir.[8]



Şekil.6. Farklı yüklenme oranlarında amorf nüveli transformatör ile düşük kayıplı (B_kA₀) standart transformatörün küresel ısınma potansiyellerinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi tipik dağıtım transformatörleri yüklenme oranlarında amorf transformatörlerin çevreye etkileri standart nüveli transformatörlerin 40%' ı kadardır. Yani genel kullanım aralıklarında amorf transformatörlerin neden olduğu dolaylı çevre kirliliği standart nüveli transformatörlerin yaklaşık 40%' ı kadardır.

Avrupa Bakır Enstitüsü' nün yönettiği "LEONARDO Energy" programı kapsamında yürütülen bir projeye göre dünya tüketiminin 70%' ini temsil eden ve elektrik şebeke verimleri dünya ortalamasının üzerinde olan 6 ekonominin enerji tasarruf potansiyeli ile bu potansiyele bağlı sera gazı salınım miktarlarını gösteren tablo aşağıdadır. [9]

Ülkeler	Yıllık Transformatör Kayıpları (TWh)	Yıllık Tasarruf Potansiyeli (TWh)	Seragazı Salımlarındaki Yıllık Azalma (milyon ton CO ₂)
EU-25	55	22	9
ABD	141	84	60
Avustralya	6	3+	3
Hindistan	6	3	3
Çin	33	18	13
Japonya	44	31	12
Toplam	285	161	100

Tablo.3. Yüksek verimli trafolarla enerji tasarruf potansiyeli.

Yukarıdaki tabloda olası yük artışları, harmonik etkilerin getirdiği ek kayıplar dikkate alınmamış ve verimlilik seviyelerine birebir uyulduğu varsayılmıştır. Bu durumda bile kayda değer bir azalma mevcutken pratikte kazanım daha fazla olacaktır.

6. AMORF NÜVELİ TRAFİ KULLANIMININ EKONOMİK BOYUTLARI

Amorf metal nüveli transformatörler yüksek verim, harmonik ortamlarda daha az kayıp artışı gibi özellikleriyle günümüz şartlarında yüksek talep alması beklenen ürünlerdir. Ancak standart nüveli transformatörlere göre daha maliyetli olmaları nedeniyle tüketici talepleri

açısından henüz istenen seviyede değildirler. Amorf metal nüvelerin manyetik doyma noktaları ile doldurma faktörleri eskiye göre daha iyi durumda olmalarına rağmen standart nüvelere göre düşüktür. Bu özellik transformatör tasarımında kullanılacak nüvenin kesitinin artmasına, dolaylı olarak da sargı ve kazan boyutlarını büyütürken kullanılan malzeme miktarının artmasına neden olmaktadır. Amorf nüve malzemesinin özel üretim yöntemleri ve üretimini henüz istenilen seviyelere ulaşmaması da yukarıdaki özelliklere ek olarak bir başka maliyet artırıcı etmendir. Transformatör maliyeti hesaplanırken sadece satın alma maliyetini dikkate almak sakıncalıdır. Transformatörler görece uzun ömürlü cihazlardır (~ 30 yıl). Özellikle uzun kullanım ömürleri nedeniyle satın alma aşamasında seçenekler değerlendirilirken satın alma maliyetleri yanında gelecekteki işletim maliyetleri de dikkate alınarak Toplam Kullanım Maliyeti yöntemi kullanılmalıdır. Toplam Kullanım Maliyetini belirleyen birçok etmen vardır. Başta gelenleri transformatörlerin nüve ve sargı kayıplarıdır. Genel Toplam Kullanım Maliyeti formülü aşağıdaki gibidir:

$$TKM= C + [A \times P_o (W)] + [B \times P_{cu} (W)] (2)$$

Yukarıdaki formülde "C" satınalma maliyeti, "A" ve "B" ise sırasıyla nüve ve sargı kayıplarının maddi etkilerini hesaplamaya yarayacak katsayılarıdır. Kayıplarla ilgili katsayılar ülkelere hatta bölgelere göre farklılık gösterir. Üretilen enerjinin maliyeti, transformatörün yüklenme oranları, şebekedeki harmonik bozulmalar, olası faiz oranları vb. bu katsayıları etkilemektedir. Özellikle amorf transformatörlerde Toplam Kullanım Maliyetleri hesaplanırken satın alma bedeli ve kayıplar dışında transformatörün verimliliği artacağı için gelecekte yapılması planlanan ancak kayıplardaki azalmayla yapılacak tasarruf sayesinde daha ileriye ötelenecek enerji yatırımlarının getirisi de dikkate

alınmalıdır. Ayrıca çevre duyarlılığının artmasıyla ülkelerin yapacağı antlaşmalar, alacağı yatırım kararları ve uygulayacağı ilave çevre vergileri de toplam kullanım maliyetine ilave edilmesi gereken etmenlerdir. Transformatör tercihinde dikkate alınması gereken etmenlerin etki katsayıları transformatörün bağlanacağı şebekenin özellikleri ve ülke koşullarıyla biri bir ilişkilidir.

7. SONUÇ

Enerji verimliliğinin öneminin artmasıyla enerji iletim ve dağıtım şebekelerindeki elemanlar üzerinde yitirilen kayıplar daha çok önem kazanmıştır. Yapılacak teknolojik yatırımlar ve geliştirmelerle şebeke verimini en çok etkileyecek elemanlar olan dağıtım transformatörlerinde verim açısından ulaşılan en ileri nokta amorf çekirdek teknolojisidir.

Amorf çekirdekli transformatörler gerek yüksek maliyetleri gerekse üretimlerinin tekel konumunda olup yaygınlaşmaması nedeniyle hak ettikleri ilgiyi görememektedirler.

Yapılacak yeni araştırma-geliştirme çalışmalarıyla amorf malzemelerin dezavantajlı özellikleri olan doldurma faktörü ve manyetik doyuma noktası gibi özelliklerinin iyileştirilmesi halinde malzeme satın alma ve kullanım maliyetlerinin azalacağını düşünüyorum.

Çevre kirliliğinin ülke sınırlarını aşması ve sera gazı etkisinin Dünya'nın bütününün sorunu olması nedeniyle ülkeler arası antlaşmalar ve konulan kurallarda enerji verimliliğine vurgu yapılmaktadır. Belli başlı ülkelerde uygulanmakta olan minimum verimlilik standartları, karbon vergileri vb. düzenlemelerin daha da yaygınlaşmasıyla amorf transformatör teknolojisine eğilim uzun vadede artacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Joan Frau, Energy Efficiency and Security, Endesa distribution, Project Effitrafo, 2008.
- [2] N. DeCristofaro, Amorphous Metals in Electric-Power Distribution Applications, MRS Bulletin Vol. 23, (1998), s. 51
- [3] M. Narasimhan, U.S. Patent No. 4 142 571, (1979)
- [4] R. Hasegawa, Applications of Amorphous Magnetic Alloys, Material Science and Engineering, Elsevier, (2004), s. 92
- [5] S. Yürekten, Trafo Üretiminde İnovasyon Çevreci-Yeşil Trafolar için (Fe Bazlı) Amorf Metal Nüveler, 3E Electrotech, (Kasım 2010), s. 30
- [6] A. E. Emanuel, J. A. Orr, D. Cyganski ve E. M. Gulachenski, "A Survey of harmonic voltages and currents at distribution substations", IEEE Trans., Power Delivery, vol. 6, ss. 1883-1890, (1991)
- [7] ERDA Raporu "Transformer performance under harmonic conditions in industry", Electrical Research and Development Association, Vadodara, India, (2000)
- [8] A. Eliasson, H. Elvfing, V. R. Ramanan, Amorphous Metal Core Material Shows Economic and Environmental Benefits when Pre-existing Transformers are to be Replaced within Vattenfall Group's Distribution Network, IEEE PES, (Ekim 2010)
- [9] R. Targosz, The Potential for Global Energy Savings from High Efficiency Distribution Transformers, European Copper Institute- LEONARDO Energy Programme, (2005), s. 13