

TRANSFORMATÖR MANYETİK DEVRE YAPISININ BOŞTA ÇALIŞMA AKIMINA ETKİSİ

⁽¹⁾Bora ALBOYACI ⁽²⁾Mehmet Aytaç ÇINAR ⁽³⁾Mehlika ŞENGÜL

alboyaci@kocaeli.edu.tr

aytac@kocaeli.edu.tr

mehlika@kocaeli.edu.tr

⁽¹⁾Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

⁽²⁾Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Kocaeli, Türkiye

⁽³⁾Kocaeli Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Kocaeli, Türkiye

Özet: Transformatörler elektrik enerjisini ihtiyaç duyulan noktalara mümkün olan en düşük kayıp ve en yüksek kalite ile iletmek için kullanılan elektrik makinalarıdır. Transformatörler sekonderinden yük çekilmese dahi şebekeden mıknatıslanma akımını sağlamak için bir akım çeker. Çekilen bu akım boşta çalışma kaybını ortaya çıkarmaktadır. Transformatör nüvesinde oluşan kayıpları azaltmanın en temel yolu düşük kayıplı silisli sac kullanmaktır. Nüve dizaynının da kaybı azaltmada etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, nüve yapısının kayıp üzerine etkileri incelenerek çeşitli ölçüm sonuçları yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Transformatör nüvesi, boşta çalışma kaybı, transformatör

1. Giriş

Transformatörler alternatif akımın gücünü ve frekansını değiştirmeden, gerilimi alçaltmaya veya yükseltmeye yarayan, duran elektrik makinaları olarak tanımlanmaktadır. Bu yönü ile elektrik enerjisinin düşük kayıplı olarak çok uzak noktalara iletilmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanında güç elektroniği ve yüksek frekans uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Transformatör kayıpları yükte ve boşta çalışma kayıpları olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Transformatörler manyetik devrelerinin özelliğinden dolayı sekonder kısımlarından yük çekilmese dahi, primer kısımları şebekeye bağlı iken mıknatıslanma akımlarını karşılayabilmek için bir akım çekerler. Çekilen akımın miktarı manyetik devrenin oluşturulmasında kullanılan malzemeye, tasarım induksiyonuna ve manyetik devrenin tasarım şekline bağlıdır. Bu nedenle, transformatörlerin boşta çalışma kayıpları transformatörün maliyetlerini etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir[1].

Transformatörün yükteki kayıpları çekilen akımın niteliğine ve transformatör sargılarının dizaynına bağlıdır. Boşta çalışma akımları sabit iken, yükte çalışma akımları yüklenme durumuna oldukça bağlıdır[2].

Bu çalışmada özellikle küçük nüvelerde (transformatör ve reaktör) kullanılacak Unicore nüve yapısının uygunluğu hem teorik ve hem de bilgisayar simülasyonu ile gösterilmiştir.

Çalışmalar transformatörlerde kullanılan dört farklı sac malzeme ve beş farklı nüve dizaynı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

2. Manyetik Malzemeler ve Nüve Yapıları

Transformatör manyetik çekirdeklerinin üretiminde kayıpları düşük, geçirgenliği yüksek kaliteli soğuk haddelenmiş silisli sac kullanılmaktadır. Transformatör ve reaktörlerde manyetik nüve, oluşacak olan kayıpları (fuko ve histerisiz) azaltmak amacıyla 0,23 – 0,30 mm kalınlığındaki birer yüzleri yalıtılmış ve yönlendirilmiş silisli saclar paketlenerek oluşturulur. Silisli saclar DIN EN 10 107-2005, IEC 404-8-7-1991, ASTM A 876-92, ASTM A 876M-92, AISI standartlarında sınıflandırılmaktadır[2-3].

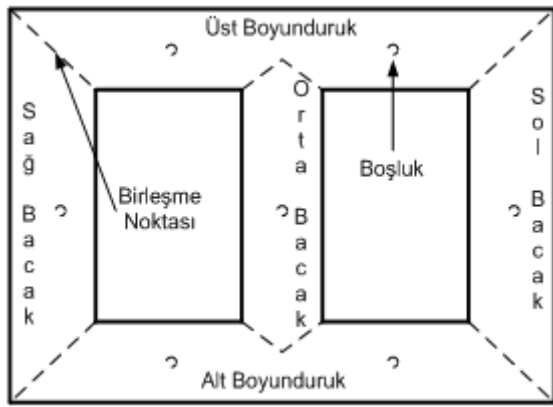
Ancak ülkemizde standartlarda verilen saclar M2(H1), M3(H0), M4, M5, M6 ve MOH saclar olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı silisli saclar için kalınlık ve induksiyona bağlı kayıp değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Tablo 1'den görüleceği üzere sac kalınlığı azaldıkça saçın verilen induksiyondaki kayıp değeri de azalmaktadır[4-5].

Tablo 1. Silisli sacların kalınlığa bağlı kayıp değerleri

Kalınlık (mm)	DIN EN 10 107 2005	50 Hz	
		1,5 T'da W/Kg	1,7 T'da W/Kg
0,23	M 110 - 23 S	0,73	1,10
0,27	M 140 - 27 S	0,89	1,40
0,30	M 150 - 30 S	0,97	1,50

Oluşturulan dizayna bağlı olarak manyetik nüve bacak ve boyunduruk olmak üzere iki parçadan oluşur. Manyetik nüve üzerinde sargıların sarıldığı kısım bacak; ayakları birleştiren kısım ise boyunduruk olarak adlandırılır. Klasik olarak yapılan transformatörler step-lap yapısı ile oluşturulmaktadır[6]. Bu şekilde oluşturulan bir üç fazlı nüvenin yapısı Şekil 1. de gösterilmektedir.

Şekil 1'deki nüve yapısı şu anda hemen hemen tüm üç fazlı-üç bacaklı dağıtım transformatörü ve hava aralığı ile reaktör uygulamalarında kullanılmaktadır. Aşağıdaki nüve kesiti birleşim noktalarından, nüve diziminde kolaylık sağlaması adına açılan deliklerden dolayı azalmaktadır. Hesaplanan kesitteki azalma, çalışma induksiyonun yükselmesine veya bir başka deyişle kaybın artmasına neden olmaktadır.

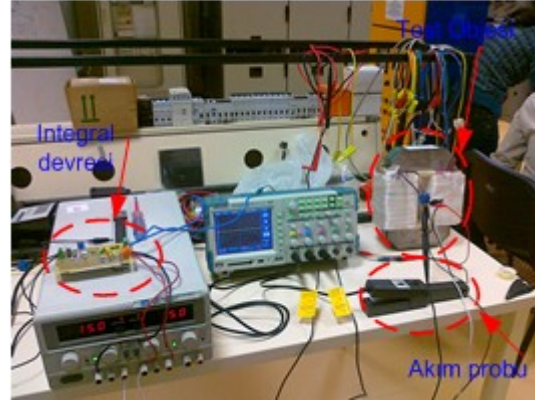


Şekil 1. Klasik üç fazlı transformatör nüve yapısı

Nüve dizaynlarında kaybı en az seviyeye indirecek nüve yapıları üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, klasik nüve yapılarında olduğu gibi yönlendirilmiş silisli saçlar kullanılarak, özellikle 2500 kVA'ya kadar kolay uygulanabilir olduğunu düşündüğümüz sarma nüveye benzer geçmeli nüve yapıları üzerinde durulacaktır. Literatürde bu tür nüvelere UNICORE nüveler de denilmektedir.

3. Kayıpların Belirlenmesi

Kayıpların belirlenebilmesi için laboratuvar ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bunun için transformatörün primerine akı ölçümü amacıyla, giriş geriliminin entegralini alan ve kazancı frekansla değişmeyen bir devre tasarlanmıştır. Bu devrenin çıkış sinyalinin, giriş akımı ile birlikte osiloskoba gönderilerek XY ekseninde çizdirilmesi ile BH eğrileri elde edilmiştir. Alınan veriler Matlab programında işlenerek, induksiyon ve kayıp değerleri bulunmuştur. Şekil 2'de ilgili değerlerin ölçülmesini sağlayan bağlantı yapısı gösterilmektedir.

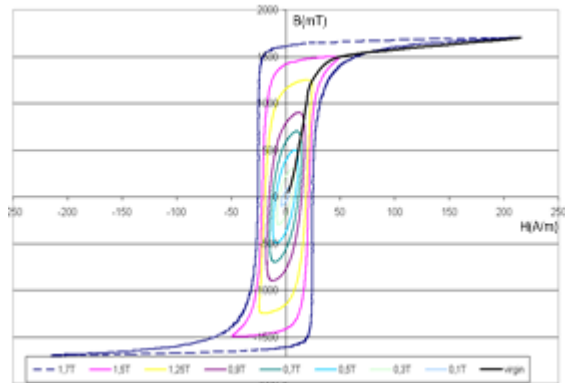


Şekil 2. BH devresi ölçüm düzeneği

Nüve kayıpları (boşta kayıplar), prensip olarak histeresiz ve eddy kayıpları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Histeresiz kaybı; nüve malzemesinin temel manyetik parçacıklarının doğrultuya getirilmesi ve döndürülmesinde kullanılan enerjidir. Eddy kayıpları ise elektriksel olarak iletken manyetik nüvedeki sirkülasyon akımlarından dolayı kaynaklanmaktadır. Transformatörün sekonder sargısında gerilimlerin indüklendiği aynı yolla nüvedeki değişken akı ile indüklenen gerilimlerin sonucu eddy akımları meydana gelmektedir. Eddy akımları manyetik akının yönüne normal dairesel yollar izler[4-5].

Şekil 3'te M4 saçına ait BH eğrisi verilmektedir. Aşağıdaki eğrinin oluşturulması için nominal gerilim %10 'dan %110 a kadar kademe kademe artırılarak ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde çalışma frekansı 50 Hz olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. M4 Saç için histeresiz eğrisi

4. UNICORE Nüve Yapısı

Şekil 4'te verilen nüve yapısı incelendiğinde, klasik dizaynlara nazaran bacak ve boyunduruklarda sadece birer adet birleşme noktasının olduğu görülmektedir. Ayrıca nüve dizme işlemi ve mukavemeti sağlamak için nüve üzerinde delik açmaya gerek kalmamaktadır. Bu bakımdan incelendiğinde manyetik devre akı yoluna daha az zorluk göstermektedir. Yukarıda ele

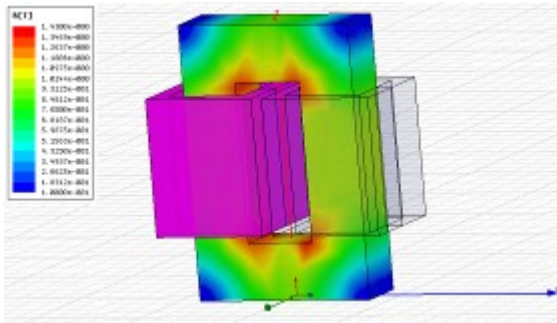
alınan konuları daha detaylı inceleyebilmek için dört farklı transformatör saçı ve beş farklı dizayn üzerinde ölçümler alınmıştır. Bu çalışmada bu dizaynlardan sadece bir tanesinin sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 4. UNICORE nüve yapısı

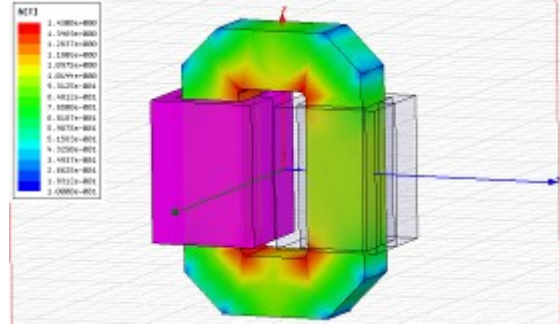
Elektromanyetik analizler, 1 kVA, 220/110V gerilimde, tek fazlı M4 saçından imal edilen, örnek nüveler üzerinde yapılmıştır. Oluşturulan nüveler 1.5 Tesla induksiyonda çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Nüve nominal akım ve gerilimde uyarılarak alan dağılımları çıkartılmıştır.

Verilen çalışma gerilimi ve güce bağlı olarak dizayn edilen, çekirdek tipi nüve 170 adet saçın iki farklı boyda kesilerek üst üste dizilmesi neticesinde elde edilen bir nüve şeklidir. Buna göre çekirdek tipi nüvenin Şekil 5'te verilen manyetik akı yoğunluğu dağılımı incelendiğinde, akı miktarının nüvenin iç bölgelerinde fazla olduğu, dış köşelerden ise akı geçmediği görülmektedir.



Şekil 5. Çekirdek tipi klasik nüve analizi

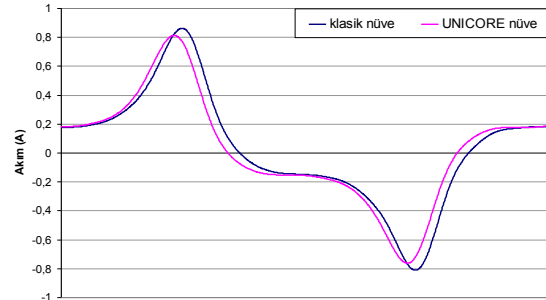
Çekirdek tipi nüve analizine tanımlanan sargılar, Şekil 6'da verilen yeni UNICORE nüve dizaynı üzerine yerleştirilerek analizler tekrar edilmiştir. Bu durumda nüve üzerinde oluşan manyetik akının nüve üzerinde düzgün dağıldığı ve manyetik devredeki her noktanın kullanıldığı gözükmektedir.



Şekil 6. UNICORE tek fazlı nüve analizi

Yapılan çalışmalar M4, M5, MOH-023 ve MOH-027 olmak üzere dört farklı saçtan oluşturulan nüveler üzerinde tekrar edilmiştir. Her durumda yukarıda belirtilen analiz sonuçlarının benzerleri elde edilmiştir. Dolayısıyla aynı çalışma induksiyonu için uncore kullanımında bir malzeme tasarrufunun olduğu alan dağılımlarından görülmektedir.

Manyetik analizlerin yanında, nüvelerin boşta çalışma akımları ölçülmüştür. M4 saçından imal edilen iki nüveye ait bir sayıklık ölçüm değerleri Şekil 7'de verilmektedir. Her durumda boşta çalışma akımları, malzeme cinsine ve nüve oluşturma tekniğine bağlı olarak %2 ile %6 arasında değişen oranlarda daha az ölçülmüştür.



Şekil 7. Boşta çalışma akımlarının karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Enerji sistemlerinde kaybı azaltmaya yönelik bütün çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Transformatörler, elektrik tesislerinde tesis ömrü boyunca devrede kalan vazgeçilmez bir elemandır. Bu nedenle bu elemanın boşta çalışma akımlarının azaltılmasına yönelik olarak yapılan bir çalışma burada sunulmuştur. Tek fazlı klasik nüve yapılarında saçları üst üste getirebilmek için muhakkak boyunduruk ve bacalarda en az dört adet bağlantı noktası oluşturulmaktadır. Küçük nüvelerde özellikle bu bağlantı noktaları 45° yerine 90° açıyla yapılmaktadır. Fakat bu durumda akı geçiş yönüne daha fazla zorluk göstermektedir. Ayrıca klasik yapılarda nüve gücü arttıkça bacak ve boyundurukları bir arada tutabilmek için nüveye delikler açmak gerekmektedir.

Önerilen tek fazlı yapıda sadece iki adet bağlantı noktası oluşturularak transformatör nüvesi oluşturulabilmektedir. Ayrıca boyunduruk ve bacaların birleşmesi esnasında bir bağlantı noktası olmadığı için akiye zorluk gösterilmemektedir. Nüve, etrafına sarılacak bir sıkma kelepçesi ile tutturulduğundan nüve kesitinde azalma da söz konusu olmamaktadır. Bu haliyle dördüncü bölümde verilen simülasyon çalışmaları ve laboratuvar testlerinden, bu tür nüvelerin özellikle 2500 kVA ya kadar olan trafolarla boşta çalışma akımında yaklaşık %5'lik bir iyileştirme sağlayacağı görülmektedir.

İmalat süreci sırasında ise, klasik üst üste dizme tekniğiyle oluşturulan nüvelerde, sargıların boyunduruğa geçirilmesinin ardından üst bacağıın tekrar bir operatör tarafından toplanması gereklidir. Ancak UNICORE yapıda kılavuzlar sayesinde hızla nüve toparlanabilmektedir. Ancak bu avantaj, transformatör gücünün 2500 kVA'lık üst değeri ile sınırlıdır. Bu gücün üzerine çıkıldığı durumda transformatörün toplam boyutu ve ağırlığı arttığından dolayı ortadan nüveyi birleştirme aşamasında zorluklar ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında manyetik nüvelerin sağlanmasındaki katıklarından dolayı MKS Transformatör San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne, bobinlerin sarılmasından dolayı STS Sönmez Transformatör Sanayine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- [1] R. M. Del Vecchio, B. Poulin, P. T. Feghali, D. M. Shah, R. Ahuja, Transformer Design Principles, with Applications to Core-Form Power Transformers, CRC Press, 2010.
- [2] S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde, Transformer Engineering: Design and Practice, Marcel Dekker Inc., 2005.
- [3] J. J. Winders, Power Transformers Principles and Applications, MARcel Dekker Inc., 2002.
- [4] D. Ionel, M. Popescu, S. J. Dellinger, T. J. E. Miller, R. J. Heinemann, M. I. McGilp, Computation of core losses in electrical machines using improved models for laminated steel, Conf Rec of IEEE IAS 2006, 2 (2006) 827-835.
- [5] D. Ionel, M. Popescu, S. J. Dellinger, T. J. E. Miller, R. J. Heinemann, M. I. McGilp, On the variation with flux and frequency of the core loss coefficients in electrical machines, IEEE Trans. Ind. Appl., 42 (2006) 658-667.
- [6] S. E. Zirka, Y. I. Moroz, P. Marketos, A. J. Moses, Evolution of the loss components in ferromagnetic laminations with induction level and frequency, J. Magn. Magn. Mater., 320 (2008) 1039-1043.