

Tek Faz Bir Transformatörün 2B Sonlu Elemanlar Analizi 2D Finite Element Analysis of a Single Phase Transformer

Burak Esenboğa¹, Kemal Aygül², Tuğçe Demirdelen¹, Mehmet Tümay¹

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi
besenboga@adanabtu.edu.tr, tdemirdelen@adanabtu.edu.tr, mtumay@adanabtu.edu.tr

²Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi
kaygul@cu.edu.tr

Özet

Elektrik enerjisinin en önemli özelliklerinden biri elektrik üretiminin yapıldığı yerlerden başka yerlere transfer edilebilmesidir. Bu transfer sürecinin başlıca elemanlarından biri olan transformatörler elektrik enerjisini bir devreden diğer bir devreye bu iki devreyi birbirinden izole ederek ve gerilim seviyeleri arasında geçiş yaparak aktaran elektriksel cihazlardır. İcadından beri çalışma prensipleri çok değişmese de tasarımları ve malzemeleri üzerindeki gelişmeler devam etmektedir. Sonlu elemanlar yöntemine dayanan ve elektrik, manyeto-statik, girdap akımları gibi problemleri çözmek için kullanılan bir yazılım olan ANSYS bu alandaki uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada tasarlanıp üretilmiş olan tek faz mantel bir transformatörün ANSYS Maxwell yazılımı ile analizi yapılacaktır.

Anahtar kelimeler: Transformatör, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Abstract

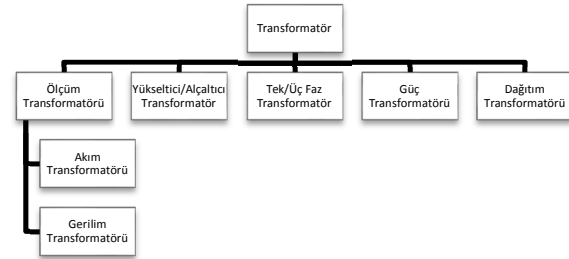
One of the most important features of electrical energy is that it can be transferred from the place of electricity production to other places. Transformers, one of the main elements of this transfer process, are electrical devices which transfer electrical energy from one circuit to another circuit by isolating these circuits and switching between voltage levels. Although the working principles have not changed much since its invention, developments on their designs and materials are still continuing. ANSYS, which is based on finite element method and used to solve problems such as electricity, magneto-static and eddy currents, is widely used in applications in this field. In this study, analysis of a single

phase shell type transformer with the help of ANSYS Maxwell software will be examined.

Keywords: Transformer, Finite Element Method

1. Giriş

Elektrik enerjisinin üretimi alternatif akım veya doğru akım formunda yapılabilmektedir. Uzak mesafelere yüksek gerilim doğru akım ile elektrik iletimi son yıllarda popüler olmasına karşın henüz olgun bir teknoloji seviyesine ulaşmamıştır. Bu nedenle elektrik enerjisinin iletimi daha çok yüksek gerilim alternatif akım formunda yapılmaktadır. Alternatif akım formunda elektrik enerjisinin gerilim seviyeleri arasında geçişini sağlayan cihazlar olan transformatörler elektrik iletiminde en temel parça durumundadır. Şekil 1’de transformatörlerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1. Transformatörlerin Sınıflandırılması [1]

Sonlu elemanlar yöntemi tabanlı, çok amaçlı bir yazılım olan ANSYS birçok çizim programı ile de bağlantı kurup dosya alışverişinde bulunabilmektedir. Bu yazılım yardımı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak AC elektromanyetik, manyetostatik, elektrostatik, eddy akımı problemleri çözülebilmektedir. Bu çalışmada tasarlanıp üretilmiş ancak sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulanmamış olan tek faz bir transformatörün ANSYS

Maxwell yazılımı yardımı ile elektromanyetik transient analizi yapılacaktır. Üretilen mantel tip transformatörün tasarımı gerçek zamanlı veriler kullanılarak yapılacaktır. Analiz sonuçlarıyla transformatörde meydana gelecek anlık değişimler somut olarak gözlemlenecektir. Analiz sonuçlarıyla transformatörün matematiksel analizinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tasarlanan transformatör modeli doğrulanacaktır.

2. Transformatörün Matematiksel Analizi

Kuru tip bir transformatör, başlıca sargı ve demir nüveden meydana gelmektedir. Bu bölümde yapılacak olan hesaplamalarda tek faz kabuk nüve tipi bir transformatör esas alınmıştır. 1 numaralı denklem tek faz bir transformatörün görünür gücünü gösterir. U faz gerilimini, I ise faz akımını ifade etmektedir.

$$S = UxI \quad (\text{VA}) \quad (1)$$

2 numaralı denklemde q_{fe} transformatörün çekirdek demir kesitini gösterir. S görünür gücü, f ise frekansı ifade etmektedir. C sabit sayıdır ve kuru tip transformatörler için 5,9 ile 10,6 arasında alınır.[2]

$$q_{fe} = Cx \sqrt{\frac{1000 \times S}{f}} \quad (\text{cm}^2) \quad (2)$$

3 numaralı denklemde D transformatörün nüve çekirdeğini çevreleyen dairenin çapını gösterir.

$$D = 2x \sqrt{\frac{q_{fe}}{0,667x\pi}} \quad (\text{cm}) \quad (3)$$

4 ve 5 numaralı denklemlerde primer ve sekonder sargı sayıları ifade edilmektedir. 4,44 sabit bir sayı, \emptyset ise transformatörün nüvesinden geçen manyetik akıdır.

$$w_1 = \frac{U_1}{4,44 \times f \times \emptyset \times 10^{-8}} \quad (\text{sipir}) \quad (4)$$

$$w_2 = \frac{U_2}{4,44 \times f \times \emptyset \times 10^{-8}} \quad (\text{sipir}) \quad (5)$$

6 ve 7 numaralı denklemler transformatörün primer ve sekonder sargılarının kesit alanlarını gösterir. s akım yoğunluğunu ifade eder.

$$q_1 = \frac{I_1}{s} \quad (\text{mm}^2) \quad (6)$$

$$q_2 = \frac{I_2}{s} \quad (\text{mm}^2) \quad (7)$$

Tablo 1. A_s değerleri [3]

S (kVA)	0,5	1	2	4	8	10	15	20	25	30
A_s (A/cm)	80	90	100	110	123	127	135	142	147	150

Transformatörün güç değerine göre alacağı özgül amper sarımı (A_s) değerleri tablo 1'de gösterilmiştir.

Yukarıda verilen eşitlikler bir sonraki bölümde sonlu elemanlar yöntemi ile de analizi yapılan transformatöre uygulandığında tablo 2'de gösterilen değerler elde edilmiştir.

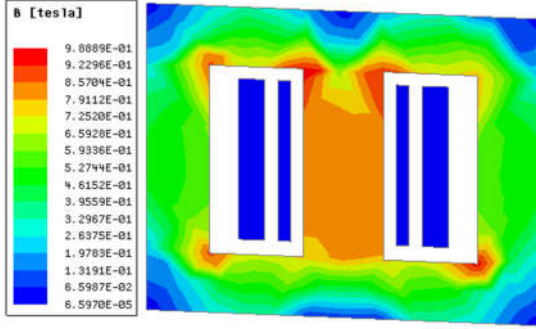
Tablo 2. Tek faz transformatörün hesaplanan parametrelerinin değerleri

Parametreler	Sembol	Birim	Değer
Demir çekirdeğin çapı	(D)	cm ²	9.882
Demir kesiti uygunluk faktörü	(C)	cm ² * joule ^{-1/2}	9.48
Pencere genişliği	(a)	cm	6.7
Sargılardaki akım yoğunluğu	(s)	A/mm ²	2.2
Primer sarım sayısı	(w ₁)	A*turn	887
Sekonder sarım sayısı	(w ₂)	A*turn	514
Manyetik akı yoğunluğu	(B)	Wb/m ² veya T	1.2
Manyetik alan	(H)	T/m ²	250
Manyetik geçirgenlik	(μ _r)	H/m	3500
Sekonder sargı kesiti	(q ₂)	cm ²	0,031
Primer sargı kesiti	(q ₁)	cm ²	0,01794
Özgül amper sarımı	(As)	A/cm	95

3. Transformatörün ANSYS Maxwell ile Analizi

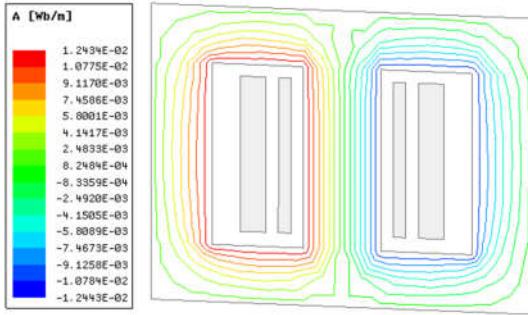
Son dönemdeki literatür incelendiğinde ANSYS yazılımının transformatör analizlerinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ancak tek fazlı mantel tip bir transformatörün ANSYS yardımı ile analizinin yapıldığına rastlanmamıştır. [4] numaralı makalede yazarlar transformatörün 2B çizimini yaparak yüksek gerilim sargılarındaki elektrik alan şiddetinin hesaplamasını ve analizini yapmışlardır. [5] numaralı makalede Maxwell 2D ve Mechanical modülleri kullanılarak üç faz bir güç transformatörünün manyetik ve termal analizleri yapılmıştır. [6] numaralı makalede daha önce tasarımı yapılmış olan 3 faz bir transformatörün Maxwell 3D yardımı ile sonlu elemanlar yöntemi ile analizi ve doğrulaması yapılmıştır.

Bu çalışmada analizi yapılacak olan tek faz transformatör ilgili ölçüleri alınarak ANSYS Maxwell yazılımında 2B olarak çizilmiştir. Transformatörün materyallerinin seçiminde birebir malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca, tek faz kuru tip transformatörün tasarım parametreleri transformatör hesapları ile doğrulanmıştır. Transformatörün elektromanyetik transient analizi çözümüyle Şekil 2 ve 3 de görüldüğü gibi manyetik akı ve manyetik alan şiddeti analizleri yapılmıştır.



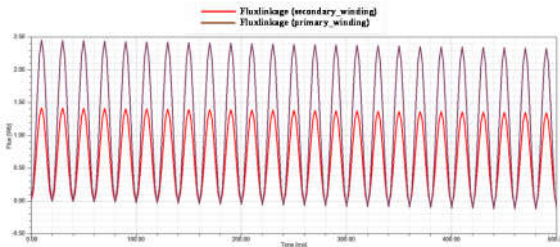
Şekil 2. Transformörün nüvesi üzerindeki Manyetik Alan şiddeti

Şekil 2 de görülen mantel tip tek faz transformörün manyetik alan şiddetinin yoğunlaştığı noktalar sargılardan geçen akım yoğunluğuyla doğru orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.



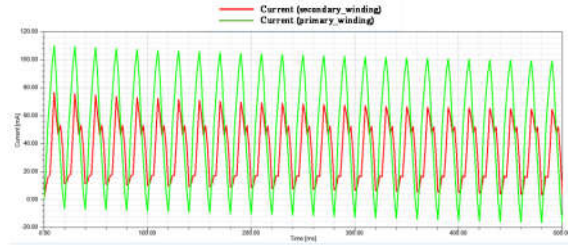
Şekil 3. Transformörün nüvesi üzerindeki akı çizgileri

Transformörün manyetik alan şiddeti ve kesit alanı değişkenlerine bakılarak alınan parametreler ANSYS yazılımında tasarlanan transformörde kullanılarak manyetik akı yoğunluğu ve çizgilerin dağılımı Şekil 3 de görüldüğü gibidir.



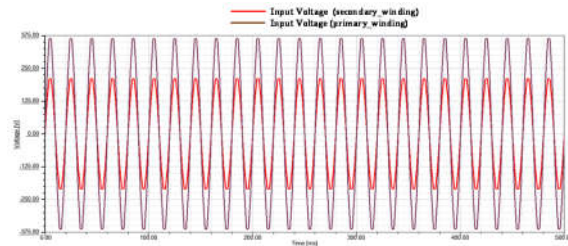
Şekil 4. Primer ve sekonder sargılardaki manyetik akı grafiği

Transformörün primer ve sekonder sargılarından geçen manyetik akı bağı grafiksel olarak alınan verilerle Şekilde 4 de gösterilmiştir.



Şekil 5. Primer ve sekonder sargılardaki akım grafiği

Tasarımı yapılan tek faz transformörün sargılarından geçen akım miktarları ve giriş gerilimleri 0.1 saniyelik aralıklarla ölçülerek gerçeğe yakın saf sinyaller elde edilmiştir.



Şekil 6. Primer ve sekonder sargılardaki gerilim grafiği

Gerçek zamanlı veriler kullanılarak analizi yapılan tek faz transformörün sargılarında ve nüvesinde meydana gelen değişimler analiz sonuçlarıyla gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, transformör matematiksel analiziyle elde edilen veriler analiz sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada tasarımı yapıлып üretilmiş olan tek faz bir transformörün ANSYS Maxwell yazılımı yardımı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elektromanyetik transient analizi yapılmıştır. Tek faz mantel tip bir transformörün matematiksel analizleri yapılarak dizayn parametreleri oluşturulmuştur. Elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılarak dizayn edilen transformörün sargılarında ve nüvesinde meydana gelen manyetik ve elektriksel değişimler analiz sonuçlarıyla gösterilmiştir. Ayrıca, matematiksel analizlerden hesaplanan veriler tasarımı yapılan transformör verileriyle doğrulanarak saf sinyaller ve ölçümler elde edilmiştir. Mantel tip tek faz transformör literatürde ilk olarak dizayn edilerek analiz sonuçları ortaya konmuştur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda gerçek veriler kullanılarak tasarlanan kuru tip transformörlerin detaylı analizleri yapılarak optimum boyut, maliyet ve verimlilikte tasarlanması sağlanacaktır. Böylelikle, transformör tasarımcılarına ve üreticilerine yol göstermesi amaçlanmaktadır.

Kaynaklar

[1] Demirdelen, T. Bal, S. Tumay, M. Cuma, M. U. and Cicibas, A. "The Three-Dimensional Electromagnetic Analysis of Power Transformers Based on ANSYS," pp. 186–189, 2017.

- [2] Boduroğlu, T., Elektrik makineleri Dersleri Cilt 1, Transformatörler, Beta Basım, İstanbul 1981
- [3] Tosun, S. Öztürk, A. Demir, H. and Kuru, L. “Kuru Tip Transformatörün Tabu Arama Yöntemi İle Ağırlık Optimizasyonu” vol. 1, no. 1, pp. 17–26, 2012.
- [4] Ma, A. Q. and Zhang, Z. S. “End Insulation Electric Field Analysis and Design Optimization of 500kV Power Transformer Based on ANSYS,” pp. 2–5, 2012.
- [5] Nicolae, P. M., Constantin, D. and Nitu, M. C. “2D Electromagnetic Transient and Thermal Modeling of a Three Phase Power Transformer,” *IEEE conf*, pp. 1–5, 2013.
- [6] Constantin, D. Nicolae, P. P.-M. and Nitu, C.-M. C. “3D Finite element analysis of a three phase power transformer,” *EUROCON, 2013 IEEE Conf.*, no. July, pp. 1548–1552, 2013.