

Üç Fazlı Transformator Tasarımı İçin Bir Arayüz Programı

Ahmet ALTINTAŞ¹

¹Dumlupınar Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Simav, Kütahya
e-posta: a_altintas@dumlupinar.edu.tr

Özet

Transformatörler, bir elektrik devresinden diğerine manyetik kuplaj ile enerji geçişi sağlayan bir elektrik makinasıdır. Gerilim dönüştürme işlemindeki basitlikleri, güvenilirlikleri ve ekonomiklikleri nedeniyle transformatörler çok iyi bilinen elektrik makinalarından biridir. Yüzyılı aşkındır onun temel yapısı, kullandığı malzemeler ve tasarım prensipleri çok az değişiklik göstermiştir; bununla birlikte transformator tasarım ve malzemelerini geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada, üç fazlı transformator tasarımı için bir grafik kullanıcı arayüz (GUI) programı sunulmuştur. Arayüz programı, MATLAB programının GUIDE bileşeni ve bilgisayar grafikleri teorisindeki lineer dönüşüm matrisleri kullanılarak geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transformator tasarımı, MATLAB, GUI

An Interface Program for Three-Phase Transformer Design

Abstract

The transformer is an electrical device that transfers energy from one circuit to another purely by magnetic coupling. The transformer is one of the well-known electrical devices due to its simplicity, reliability, and economy of conversion of voltages. Its basic design, materials, and principles have changed little over the last one hundred years, yet transformer designs and materials continue to be improved. In this study, a graphical user interface (GUI) program for three-phase transformer design has been presented. The interface program is developed by using the GUIDE tool of MATLAB and linear transformation matrixes of computer graphics theory

Key Words: Transformer design, MATLAB, GUI

1. Giriş

Transformator çağdaş elektrik güç sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Kısaca işlevi, düşük akımlı yüksek gerilimli elektriği, hemen hiç enerji kaybı olmaksızın yüksek akımlı düşük gerilimli duruma (veya tam tersi) dönüştürmektir. Elektrik güç sistemlerindeki rolüne ek olarak, transformatorler elektrikle çalışan birçok aracın tamamlayıcı elemanıdır. Pek çok kullanım yerine sahip transformatorlerin boyutları bezelye iriliğinde küçük olabildiği gibi, 500 ton ağırlığında olanları da vardır. Transformatorün temel işlevini 1831'de elektrik alanında ilk çalışmaları yapmakta olan İngiliz fizikçi Michael Faraday bulmuştur. Elli yıl kadar sonra da çağdaş örneğinin gerekli tüm elemanlarına sahip, kullanışlı transformator

ortaya çıkmıştır. Yüzyılın sonlarında değişken akımlı (a.c.) güç sistemleri tüm dünyada kullanılmaya başlamış ve transformatorler elektrik iletim ve dağıtımında anahtar rolünü üstlenmişlerdir. Bu açıdan bakıldığında transformatorler 100 yıllık bir tarihsel gelişmeye sahiptir. Bu süre içinde transformatorler sürekli geliştirildi ve yenilendi; fakat temel transformator tasarım ve uygulama mantığı esasen aynen süregeldi. Son elli yıldaki çalışmalar, transformatorde kullanılacak çeşitli manyetik malzemeler ve üretim teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Günümüzde ise çalışmalar, transformatorün çalışma koşullarının iyileştirilmesi, geçici durumlardaki tepkisi, oluşabilecek hasarlar ve hasar analizi, ekonomiklik ve bunlara uygun olarak

yapılabilecek yeni tasarımlar üzerinde yoğunlaşmıştır[1-4].

Günümüzde, transformatör tasarımı için geliştirilmiş ticari olan veya olmayan pek çok paket program mevcuttur (Ansoft-PEXprt-PEmag, PI Expert Design Software, Intusoft Magnetics Designer, Despro, Emcod, Magnetics,...). Doğal olarak bu programlar birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Aslında, tüm transformatör tasarım paket programları aynı temel tasarım prensiplerini ve formülüzasyonlarını kullanır; bu benzerlik, yüzyılı aşkın bir bilgi ve teknoloji birikiminin doğal bir sonucudur [5,6]. Paket programların arasındaki fark ise, tasarımcıya sunduğu imkânlar, görsellik ve ekonomiklik ile ilgilidir. Bir program, tasarımda kullanılacak manyetik malzemenin akı değerini kullanıcıdan alırken; diğer program, üretilen standart manyetik malzemelerden birini seçmesini isteyebilir. Bir program, uygulanan gerilime göre sargı katları arası yalıtım miktarını kendi tespit ederken; diğer program, yalıtım miktarını tasarımcıdan isteyebilir. Bu açıdan bakıldığında, tasarım parametreleri bir hayli fazla olan transformatörler hakkında pek çok hazır paket program olması ve yeni paket programlar üzerinde çalışılması gayet doğaldır.

Bu çalışmada, üç fazlı transformatör tasarımı için bir arayüz programı (graphical user interface - GUI) sunulmuştur. Arayüz programı, kullanıcı ile tasarım programı arasındaki iletişimi sağlamaktadır. Esnek ve çok yönlü olarak tasarlanmış olan program, transformatör tasarımına farklı bir bakış açısı sunmuştur. Arayüz programı, Matlab paket programı kullanılarak GUIDE (grafik kullanıcı arayüz geliştirme brimi) içinde hazırlanmıştır. Kolay kullanımlı bu arayüz sayesinde kullanıcı, transformatör tasarımını istediği parametreler doğrultusunda hızlı bir biçimde gerçekleştirebilecektir. Arayüz programı, transformatör genel tasarım prensipleri ve formülüzasyonlarını kullanarak, tasarım kriterlerine göre hesaplanan transformatörün tüm ayrıntılarını iki ve üç boyutlu ortamda olması

gerektiği şekliyle grafiksel olarak görsellemekte ve aynı tasarımda iyileştirmeye imkân tanımaktadır. Grafikler, bilgisayar grafikleri teorisinde kullanılan pozisyon vektörleri ve homojen olan veya olmayan lineer dönüşüm matrisleri ile oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metod

Üç fazlı transformatör tasarımı için geliştirilen arayüz, Matlab paket programında oluşturulmuştur. Matlab programı, matris tabanlı işlemleri hızlı bir biçimde yapabilen en iyi yazılımlardan bir tanesidir. Kullanıcı ile aktif çalışabilme özelliği, sahip olduğu çeşitli grafik işlemcileri, içermiş olduğu hazır fonksiyonlar ve GUIDE, yeni fonksiyonlar eklenebilme özelliği ve program yazma kolaylığı Matlab programının üstünlüklerindedir. Arayüz programı, hemen tüm bilgisayar kullanıcılarının sıkça kullandığı ve işlevini bildiği butonlar, yazı alanları, kaydırma çubukları ve menüler gibi grafik nesnelere sahiptir [7]. Bu nedenle arayüz programı, transformatör tasarımı hakkında temel bilgiye sahip tüm kullanıcılar tarafından kolaylıkla kullanılabilir.

Transformatör tasarım programında iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) grafikler oluşturmak için pozisyon vektörleri ve lineer dönüşüm matrisleri kullanılmıştır. İki boyutlu grafiklerde kullanılan lineer dönüşüm matrisleri 2×2 veya 3×3 matris boyutunda ve üç boyutlu grafiklerde kullanılan lineer dönüşüm matrisleri 4×4 matris boyutunda olup, grafiği oluşturan pozisyon vektörleri ile çarpılarak istenilen dönüşüm gerçekleştirilir. Bu dönüşümlerde matris işlemlerinin sıkça kullanılması, Matlab programının seçimi için bir tercih sebebi olmuştur.

İki boyutlu uzayda noktalar, koordinatları yardımıyla ifade edilirler. Noktaların koordinatları x ve y olmak üzere iki rakamdan oluşmaktadır. Bu rakamlar satır vektör veya sütun vektör şeklinde ifade edilebilir. Bu çalışmada satır vektör gösterim biçimi tercih edilmiştir. Bir şekli oluşturan bu vektörlere aynı

zamanda pozisyon vektörleri de denilmektedir. İki boyutlu uzayda temel lineer dönüşüm matrisi 2×2 'lik matris boyutundadır. Lineer dönüşüm matrisleri ile (0,0) orijin noktasına göre döndürme, yansıma, eğme ve ölçekleme işlemleri gerçekleştirilebilir. Pozisyon vektörlerinden oluşan matris ile lineer dönüşüm matrisi çarpılarak istenen dönüşüm elde edilir. 2×2 'lik lineer dönüşüm matrisleri ile (0,0) orijin noktasına ve bazı eksenlere göre dönüşümler yapılabilirken, orijin noktasının değişmesi durumunda bu işlemler geçersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda homojen koordinat sistemi bir çözümdür [8].

3×3 'lük lineer dönüşüm matrisi homojen koordinat sisteminde kullanılır. a ve d terimleri sırasıyla x ve y eksenini yönünde bir ölçeklemeyi gerçekleştirecektir. Pozisyon vektörü ve

$$\begin{bmatrix} x^* & y^* & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

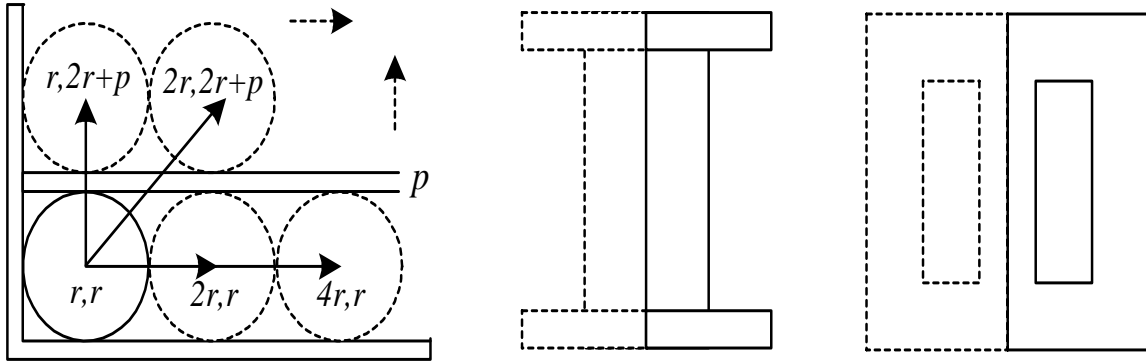
$$\begin{bmatrix} x^* & y^* & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -p(\cos\theta - 1) + q\sin\theta & -q(\cos\theta - 1) - p\sin\theta & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x^* & y^* & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ m & n & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

İki boyutlu düzlemde oluşturulan primer ve sekonder sargı telleri, çember olarak tanımlanmıştır. Çember yarıçapı doğal olarak hesaplamalar sonucunda tespit edilen izoleli iletkenin yarıçapı olarak alınmıştır. r iletken yarıçapı olmak üzere, (r,r) noktasında oluşturulan çemberler bir dizi işlemlerden sonra lineer öteleme matrisleri kullanılarak orijinal yerlerine taşınmıştır. Öteleme işlemleri gerçekleştirilirken, sargı katları arasında kullanılan yalıtım malzeme kalınlığı da hesaba

ölçekleme matrisi ile gerçekleştirilen ölçekleme işlemi Eş.1'de verilmiştir. Genel olarak herhangi bir noktaya göre döndürme işlemi, pozisyon vektörlerinin orijine ötelenmesi, gerekli döndürme işleminin burada gerçekleştirilmesi ve tekrar orijinal yerine ötelenmesi ile gerçekleştirilir. Buna göre, pozisyon vektörünün (p,q) koordinatına göre saat dönüş yönünün tersine θ açısı kadar döndürme işlemi Eş.2'de verilmiştir. m ve n terimleri öteleme işlemi gerçekleştirir. Bir şeklin (m,n) kadar ötelenmesi işlemi, şekli oluşturan her bir (x,y) noktasına (m,n) sayısının ilave edilmesi ile gerçekleştirilir. m sayısı x eksenini boyunca, n sayısı y eksenini boyunca öteleme işlemi yapacaktır. Pozisyon vektörü ve öteleme matrisi ile gerçekleştirilen öteleme işlemi Eş.3'te verilmiştir [9].

(3) katılmıştır (Şekil 1.a). Bir çember oluşturmanın en kolay yolu çemberin parametrik denklemlerini kullanmaktır. Bu yöntem, birçok trigonometrik hesaplama gerektirdiği için yavaş olmakla beraber, ideal bir çember görüntüsü oluşturur. Transformatör nüvesi veya sargı makarası simetrik bir yapıya sahip olduğundan, y-eksenine göre yansıma veya döndürme lineer dönüşüm matrisleri ile kolayca elde edilmiştir (Şekil 1.b.c).



Şekil 1.a) Sargıda kullanılan öteleme işlemi,
b,c) y-eksenine göre yansımaları alınmış makara ve nüve görünüşleri

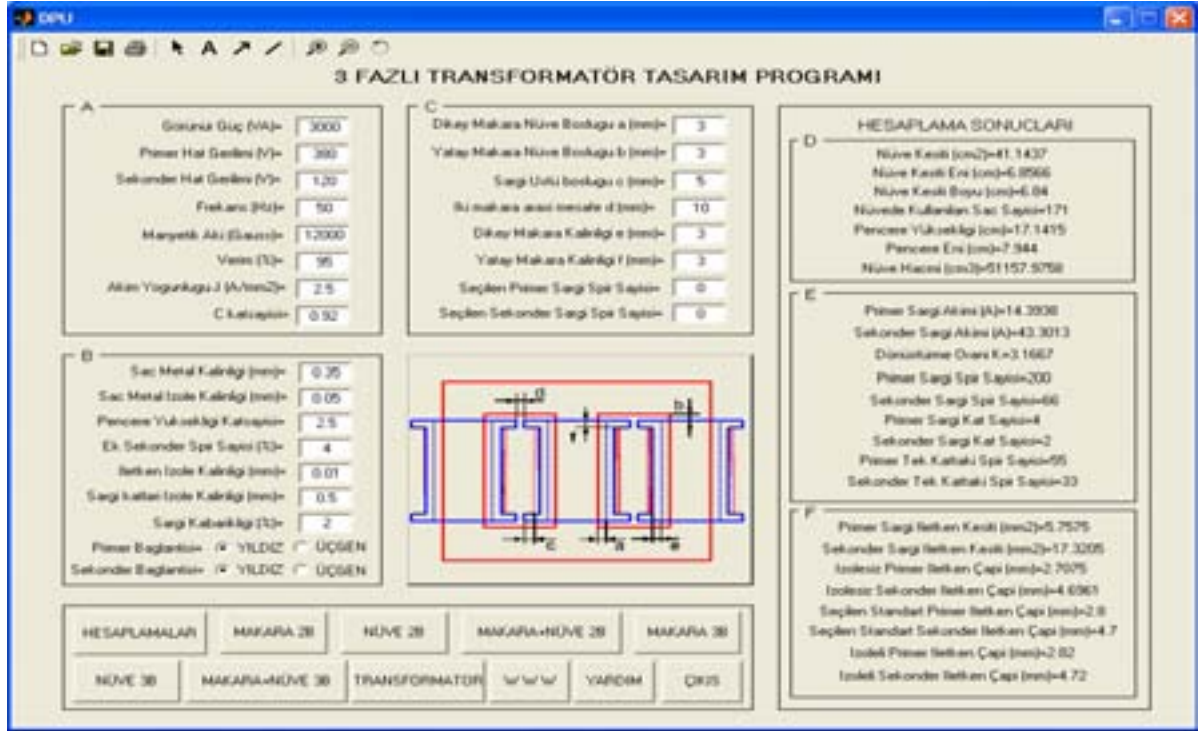
3. Örnek Uygulama

Üç fazlı transformatör tasarımı için geliştirilen arayüz programının giriş ekran görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Giriş ekran görüntüsü temel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, transformatör tasarım parametrelerinin girildiği A, B ve C panellerinden oluşmaktadır; merkezde bulunan üç fazlı transformatör şekli, C panelinde istenilen parametrelerin girilmesi esnasında tasarımcıya yardımcı olmak amacıyla verilmiştir. İkinci bölüm, farklı tür hesaplama sonuçlarının kullanıcıya sunulduğu D, E ve F panellerinden oluşmaktadır. Üçüncü bölüm ise, istenilen parametrelere göre tasarımı yapılacak olan transformatörün iki veya üç boyutlu görüntülerini elde etmek için kullanılacak buton grubundan oluşmaktadır; bu kısma ayrıca tüm programlarda kullanılan standart yardım ve çıkış butonları da ilave edilmiştir.

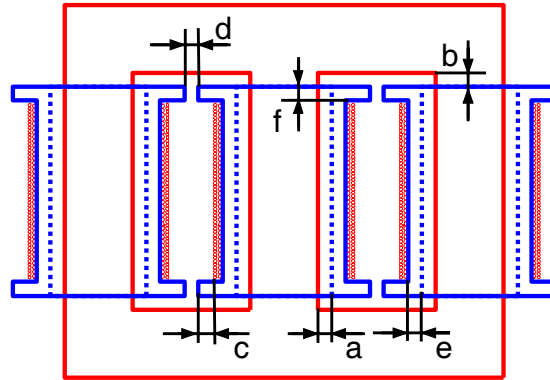
Örnek uygulama olarak, parametreleri Şekil 2’de A, B ve C panellerine girilmiş olan üç fazlı transformatörün tasarımı yapılacak olsun. Farklı uygulamalar için seçilecek olan parametre değerleri, doğal olarak tasarımcının bilgi ve becerisine bırakılmıştır. Bu aşamada tasarımcı, transformatör tasarımı için gerekli olan bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır; giriş parametrelerinin doğru bir şekilde girilmesi, tasarımı etkileyen en önemli etkidir. Tasarımı yapılacak olan transformatörün görünür gücü, primer-sekonder gerilimleri, şebeke frekansı gibi parametreleri tespit etmek sorun olmazken, nüvede kullanılacak sac metallerin kalınlığı ve akı

yoğunluğu, sargı akım yoğunluğu, izole kalınlıkları, sac nüve ve sargılarda oluşacak kabarıklık gibi parametreler bilgi ve tecrübe gerektirir; tasarımda kullanılacak malzemelerin fiziksel özelliklerinin, malzemeyi üretici firmadan alınması en doğru yöntem olacaktır.

C panelinde girilmesi istenilen fiziksel ölçüler, transformatör nüvesine göre oluşturulacak makara şeklini tespit etmek amacıyla verilmiştir (Şekil 3); bu ölçüler, manyetik kayıpları mümkün olduğunca azaltmak, gövdeye olabilecek kaçakları engellemek, sac metallerin paketlenmesinden dolayı oluşacak kabarıklığı veya soğutma için konulabilecek boşluğu tolere etmek için kullanılacaktır. C paneline konulan ‘Seçilen Primer ve Sekonder Sargı Spir Sayısı’ parametreleri çok önemli bir görevi yerine getirmektedir. Şöyle ki; tasarımı yapılan bir transformatörün gerek primer ve gerekse sekonder sargısının son katında bir veya birkaç spir bulunabilir; birkaç spirin transformatör tasarımını etkilemeyeceği durumlarda bu spirleri kullanmamak çok akılcı bir yöntem olacaktır; çünkü sargı katının azaltılması neticesinde, nüve hacmi, demir kayıpları ve üretim maliyeti azalacaktır. Seçilen primer ve sekonder sargı spir sayısı kutucukları 0’dan farklı bir rakam içeriyorsa, o rakam spir sayısı olarak değerlendirilmeye alınıp o şekilde tasarım yapılır. Seçilecek olan spir sayısı değeri, E panelindeki hesaplama sonuçları kullanılarak kolayca elde edilebilir ((sargı kat sayısı-1)x(tek kattaki spir sayısı)).



Şekil 2. Üç fazlı transformatör tasarımı için geliştirilen arayüz programının giriş ekran görüntüsü



Şekil 3. C paneli parametreleri

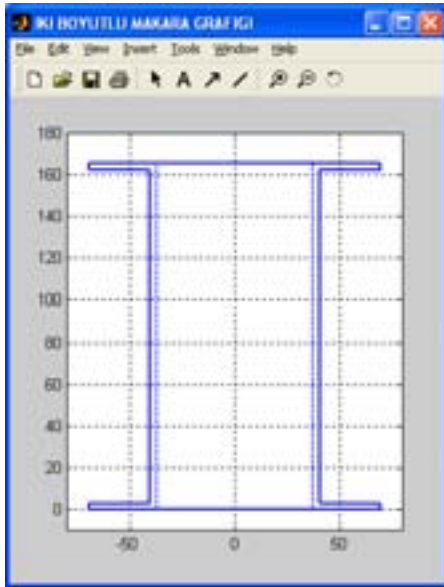
A, B ve C panellerindeki parametreler girildikten sonra 'HESAPLAMALAR' butonuna basılır. Bu buton; D, E ve F panellerindeki hesaplamaları yaparak tasarımcıya sunar. D panelinde hesaplanan orta nüve kesiti, sac malzeme ve izole kalınlıkları da hesaba katılarak en uygun karesel bir kesit oluşturacak şekilde hesaplanmıştır. Nüvede kullanılan manyetik malzemenin hacmi (sac paketler arası yalıtım hariç) hesaplanarak, oluşacak demir kayıplarının hesabında tasarımcıya yardımcı olunmuştur. E panelinde, primer ve sekonder sargı akımları ve

sargı özellikleri (spir sayıları, kat sayıları, tek kattaki spir sayıları) hesaplanmıştır. Sekonder sargı spir sayısı, B panelinde girilen 'Ek Sekonder Spir Sayısı' oranında artırılmıştır. F panelinde ise, sargılara ait iletken tel özellikleri hesaplanmıştır. İletken kesitleri ve iletken çapları hesaplanarak, standart emaye iletken çapları arasından en uygun olanı seçilmiştir. Standart emaye iletken çapları program içine matris formunda depolandığı için tasarımcı tarafından değiştirilebilirliğine sahiptir. B panelinde istenen 'iletken izole kalınlığı', emaye

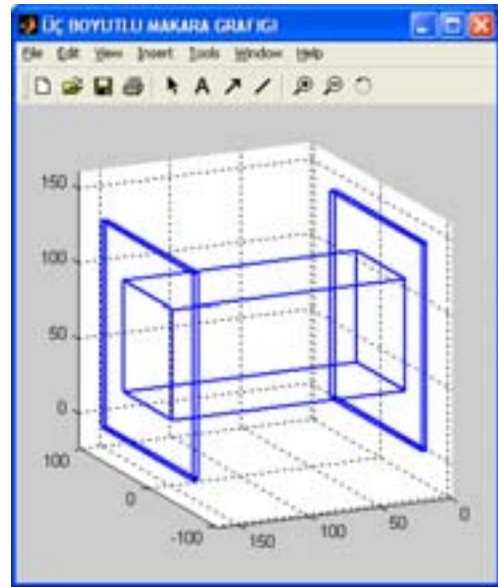
sınıfına göre kalın, orta ve ince olarak her hangi bir değer seçilebilir. İzoleli primer ve sekonder sargı iletken çapları, tasarımda kullanılacak olan en önemli rakamsal değerlerdendir.

Hesaplamalar elde edildikten sonra 'MAKARA 2B' adlı butona basıldığında, tasarımda kullanılacak olan makaranın iki boyutlu görüntüsü ayrı bir grafik sayfasında görüntülenir (Şekil 4). Dikkat edilirse iki boyutlu makara grafiği, orijinde ve y-eksenine göre simetrik olacak şekilde oluşturulmuştur. Makaranın üç boyutlu görüntüsünü ayrı bir grafik sayfasında elde etmek için 'MAKARA

3B' adlı butona basmak yeterli olacaktır (Şekil 5). Tasarımda verilen üç boyutlu görüntülerin tümü tel kafes görünümündedir; grafik sayfasında bulunan standart pencere araç çubukları ile tüm şekilleri saklama, yazdırma, büyütme, döndürme vb. işlemler kolayca yapılabilmektedir. İki ve üç boyutlu görüntülere eşit ölçekli eksenler ve ızgara çizgileri ilave edilerek, şekil boyutlarının daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Grafiklerdeki x, y ve z eksen takımları, milimetre cinsinden gerçek rakamsal değerleri içerir; grafikler, y-eksenine göre simetrik olacak şekilde konumlandırılmıştır.



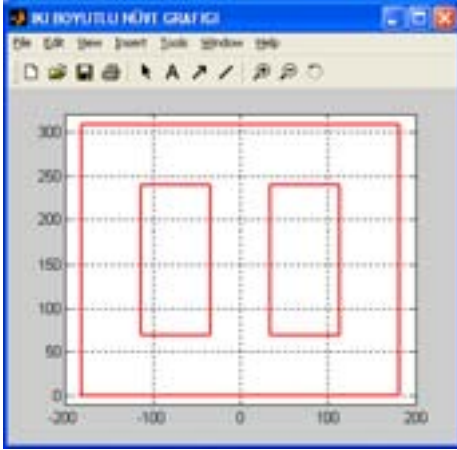
Şekil 4. İki boyutlu makara grafiği



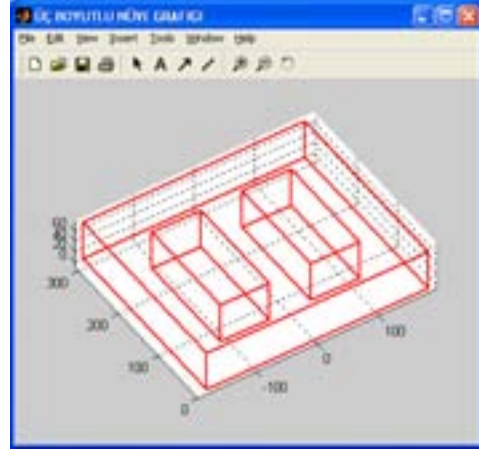
Şekil 5. Üç boyutlu makara grafiği

Aynı şekilde 'NÜVE 2B' ve 'NÜVE 3B' adlı butonlara basıldığında, tasarımda kullanılacak olan nüvenin iki ve üç boyutlu görüntüleri farklı grafik pencerelerinde elde edilecektir (Şekil 6,7). Bu aşamada, nüveyi oluşturan sac paketleri ayrıca görsellemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Aynı şekilde elde edilen iki ve üç boyutlu makara ve nüve görüntüleri yardımıyla, 'MAKARA+NÜVE 2B' ve 'MAKARA+NÜVE 3B' adlı butonlara basılarak her iki tasarım parçasını kapsayan iki ve üç boyutlu grafikler

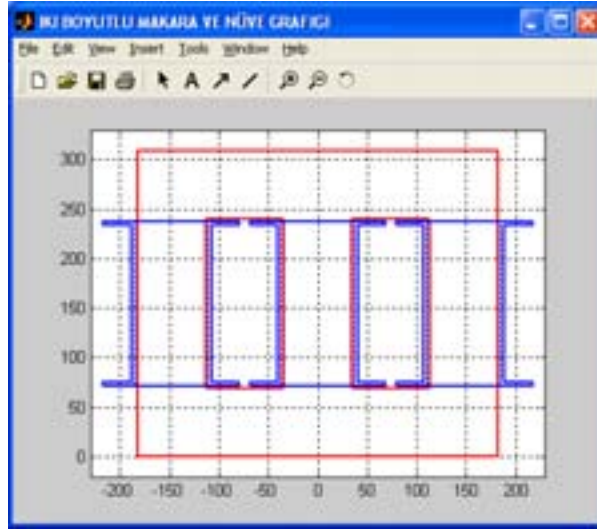
elde edilmiştir (Şekil 8,9). Bu görüntüler, makaralar ile nüve arasındaki fiziksel bağlantıyı ve tasarım hacmini en iyi şekilde gösteren grafiklerdir. B panelinde girilmesi istenilen 'Pencere Yüksekliği Katsayısı', pencere yüksekliği ile nüve kesit eni arasındaki orandır. Bazı durumlarda, tasarlanan transformatörün boyutları pencere yüksekliği katsayısına bağlı olarak istenmeyen ebatlarda oluşabilir. Bu durumda tasarımcı 'Pencere Yükseklik Katsayısı' nı değiştirerek tasarımı tekrarlayabilir.



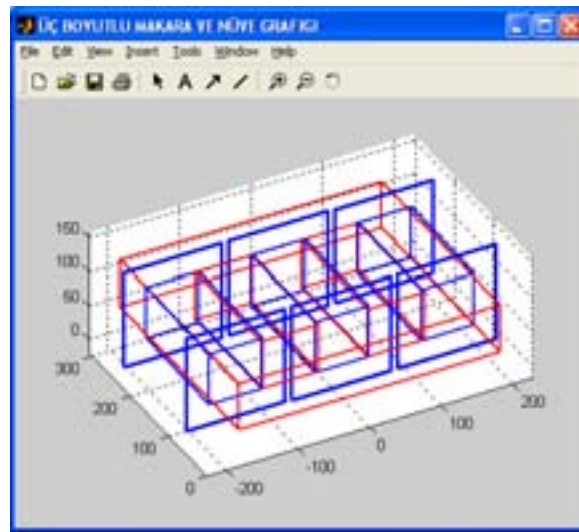
Şekil 6. İki boyutlu nüve grafiği



Şekil 7. Üç boyutlu nüve grafiği



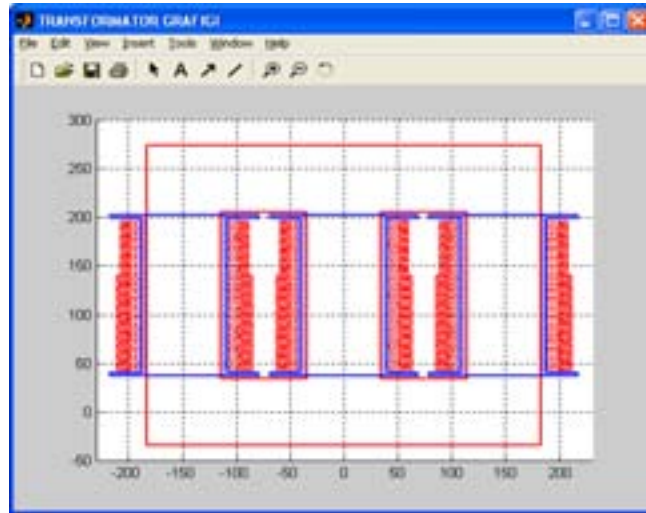
Şekil 8. İki boyutlu makara ve nüve grafiği



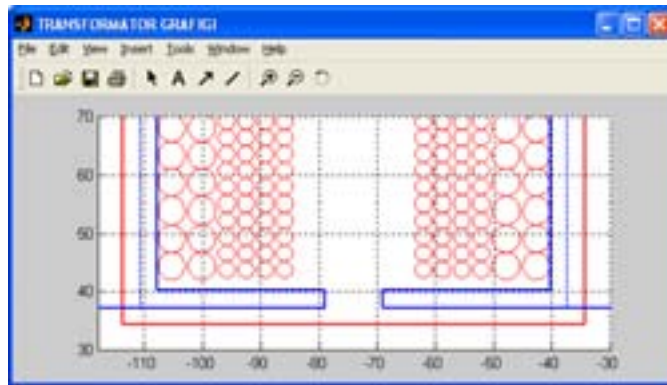
Şekil 9. Üç boyutlu makara ve nüve grafiği

Son olarak, giriş ekran görüntüsünde bulunan 'TRANSFORMATÖR' butonuna basıldığında, tasarımı yapılmış olan üç fazlı transformatörün iki boyutlu en son şekli ayrı bir grafik penceresinde görüntülenecektir (Şekil 10.a). Bu şekil sayesinde tasarımcı, girilen parametreler doğrultusunda elde edilecek olan transformatörün gerçek boyutlarını, nüve, makara ve sargıları ile birlikte elde etmiş olacaktır. Primer ve/veya sekonder sargı katları arasındaki yalıtım malzemesi (presbant) tek tip olarak (aynı malzeme kalınlığı) seçilmiştir; bu değer, B panelindeki 'Sargı Katları İzole Kalınlığı' parametresi ile tespit edilmektedir. Sargı katları arası yalıtım malzemesi, iki boyutlu görüntüde şekilsel karmaşaya meydan

vermemek için görsellenmemiştir. Doğası gereği transformatörler birçok spir sayısına sahiptir. Genelde, sargılarda kullanılan iletken tel çapları, transformatör boyutlarına göre çok küçük ölçekte kalacağından, ilk bakışta sargılar net bir biçimde görülmeyebilir. Bu durumda, pencere üstünde bulunan standart pencere araç çubukları yardımıyla istenilen sargı bölgesi büyütülerek inceleme yapılabilir. Bu şekilde elde edilen bir görüntü örneği Şekil 10.b'de verilmiştir. Üç fazlı transformatör tasarımı Şekil 10'a göre, 2 kat - 66 spir sekonder sargı ve 4 kat - 200 spir primer sargıdan oluşmaktadır. Sargıların etrafında bulunan boşluklar, sargı kabarıklıklarını tolere etmek için B panelindeki 'Sargı Kabarıklığı %' parametresine göre bırakılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 10. a) Tasarımı gerçekleştirilen transformatör grafiği,
b) Transformatörün büyütülmüş bir kesiti

4.Sonuçlar

Transformatörler günümüz enerji sistemlerinin vazgeçilmez bir unsurudur. Transformatörler, elektrik makinaları içinde üzerinde en çok çalışılmış ve bu yüzden en çok bilgiye sahip olunan bir elektrik makinasıdır. Transformatör tasarım mantığı esasen yerleşmiş bir konu olduğundan onlarca yıldır aynen süregelmiştir. Bu konuda yapılan yeni çalışmalar, yeni teoriler üretmekten ziyade transformatör verimini arttırmak, maliyetini düşürmek, yüksek yoğunluklu kompozit manyetik malzeme üretmek, çalışma koşullarının iyileştirmek, tasarım hızını arttırmak vb. konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, Matlab paket programı kullanılarak, üç fazlı transformatörlerin tasarımı için arayüz programı geliştirilmiştir. Arayüz programı, windows bileşenlerini içerdiği çok kolay bir kullanım biçimine sahiptir; temel transformatör tasarım bilgisine sahip olan bir tasarımcı için tercih edilebilecek bir arayüz programıdır. Tercih sebepleri arasında şunlar sayılabilir: Tasarım için gerekli tüm girdileri alarak esnek bir tasarıma imkân tanınması, gerekli tüm hesaplamaları yaparak rakamsal sonuçları tasarımcıya sunması, tasarımı oluşturulan parçaların iki ve üç boyutlu görüntülerini

oluşturması, aynı tasarımda kayıpları ve maliyeti azaltmak için parametre değişikliklerine imkân tanınması ve ekonomik olması şeklinde sıralanabilir.

Kaynaklar

1. Mergen, A.F., Zorlu S., 2005. Elektrik Makinaları, Transformatörler, Birsen Yayınevi.
2. Fitzgerald, A.E., 1990. Electric machinery, McGraw-Hill, Inc.
3. Wildi, T., 2002. Electrical Machines, Drives and Power Systems, Prentice-Hall, Inc.
4. Paul, J.P., 2006. Back to Transformer Basics-Economic Diagnostic Maintenance, Transformer Consulting, (TCI), p:51-57, IEEE.
5. McLyman, C.W.T., 1988. Transformer and Inductor Design Handbook, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc.
6. Pearman, R.A., 1994. Electric Machinery and Transformer Technology, Fort Worth, Saunders College Publications.
7. 2006. Creating Graphical User Interfaces, Version 7, Mathworks, Inc.
8. Rogers, D.F., 1985. Procedural elements for computer Graphics, McGraw-Hill Pub., New York.
9. Rogers, D.F., 1990. Adams J.A., Mathematical Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill.Pub.

