

ÜÇ FAZ TRANSFORMATÖRLERDE HARMONİK ANALİZLER İÇİN GELİŞTİRİLEN BİR UYGULAMA PROGRAMI

M ZİLE^{1*}

¹ Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Mersin, TÜRKİYE,

Özet: Bu çalışmada, güç sistemlerinde doğrusal olmayan yük akımlarının neden olduğu harmonik etkilerini tahmin eden bir uygulama programı geliştirilmiştir. Yazılım programı için analitik mantık, basit bir güç sistem şebekesi için geliştirilmiştir. Bu sistem bir transformatör, iki paralel kondansatör, iki iletim hattı, bir güç kaynağı ve doğrusal olmayan yüklerden oluşmuştur. Geliştirilen bu uygulama programı Microsoft Windows temelli bir uygulamadır. Bu uygulama programı harmonik analizler yapmak için, Microsoft Visual C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Benzetim sonuçları geliştirilen programın doğruluğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Üç Faz Transformatör, Harmonikler, Doyma.*

THE ADVANCED APPLICATION PROGRAM FOR HARMONIC ANALYSES IN THREE PHASES TRANSFORMERS

Abstract: In this study, a software application program that estimates the harmonic effect on a power systems due to nonlinear load harmonic currents has been developed. The analytical logic for software program is developed for a sample power system network. The system has a transformer, two shunt capacitors, two cables or lines, a supply source and nonlinear loads. The application program developed is a Microsoft Windows – based application. The application program is advanced using Microsoft Visual C++ programming language for harmonic analyses. Simulation results proves the program's accuracy.

Keywords: *Three-Phase Transformer, Harmonics, Saturation.*

* Sorumlu yazar

mehmetzile@yahoo.com.tr

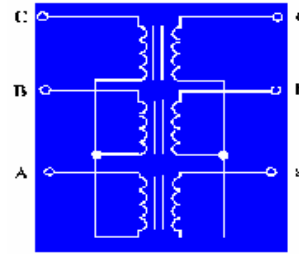
1. Giriş

Arıza olmayan işletmelerde harmonikler çeşitli sebeplerle ortaya çıkarlar. Bunların başında doğrusal olmayan manyetik ve elektrik devreleri gelir. Eğer doğrusal olmayan devre genaratörün manyetik devresi ise genaratörün ürettiği gerilim nonsinüsoidal olması nedeni ile harmonikli olacaktır. Eğer doğrusal olmayan devre transformatöre ait ise bunun sekonder tarafına bağlanan kullanıcı gerilimi de harmonikli olacaktır. Eğer kullanıcının manyetik yada elektrik devresi doğrusal, fakat bu kullanıcıyı besleyen gerilim sinüzoidal değil ise, bu kullanıcının çektiği akımda harmonikli olacaktır. Harmonikler ya kaynak tarafındaki harmonikli gerilim etkisinden yada kullanıcının doğrusal olmayan bir devreye sahip olmasından dolayı meydana gelir. Akım ve gerilim harmonikler paralel ve seri rezonans dolayısıyla harmonik seviyelerinin yükselmesine, elektrik üretim iletim ve tüketiminde verimin azalmasına, elektrik tesislerinde yalıtımı zayıflattığı için tesis elemanlarının ömürlerinin azalmasına, elemanlarda arızalar meydana gelmesine sebep olur. Harmonik akımları yüzünden makineler ve transformatörler ısınır. Ayrıca genaratörlerin amortisman sargıları, bir fazlı veya iki fazlı kısa devrelerde meydana gelen harmonikleri azaltacak ve ortadan kaldıracak şekilde etki ederken kendileri de çok ısınırlar ve genaratörlerde ilave kayıplar meydana gelmesine yol açarlar. [1-2-3]

[1] ve [3] numarayla verilen kaynaktan üç faz transformatörlerin doyma karakteristiklerinin analizinden faydalanılmış, yığılma akımı dikkatle incelenerek analitik çözüm türetilmiş ve nümerik simülasyonlar yapılmıştır. [2] numarayla verilen kaynaktan ideal olmayan gerilim kaynağı işletmeye alınırken sürekli hal boşta çalışmada farklı transformatör bağlantılarının dalga şekillerini hassasiyetle analiz eden bilgi ve deneysel açıklamalar elde edilmiştir.

Harmonik akımları çeşitli devre empedansları üzerinde ilave gerilim düşümlerine neden olurlar. Harmonik akımlarının frekansları, normal şebeke frekansı 50 Hz'in katlarına eşit olduğundan, bu akımlar karşısında genaratör, transformatör ve hat reaktansları üzerinde meydana gelen gerilim düşümleri de harmonik frekansları ile orantılı olarak artar ve sonuç olarak gerilimin dalga şekli bozulur. Sinüs şeklindeki gerilim eğrisine eklenen gerilim harmoniklerinin meydana getirdiği iğne ucu şeklinde sivri, çok kısa süreli ani gerilim yükselmeleri, mesela gerilim rezonansı gibi hallerde, makina ve transformatör sargılarının izolasyonu ve kondansatörlerin dielektrik maddesi için büyük bir tehlike teşkil eder ve hatta izolasyonda delinmeye yol açabilirler.

Şekil 1'de üç adet bir fazlı transformatör kullanılarak elde edilen yıldız-yıldız bağlı üç fazlı transformatör verilmiştir.

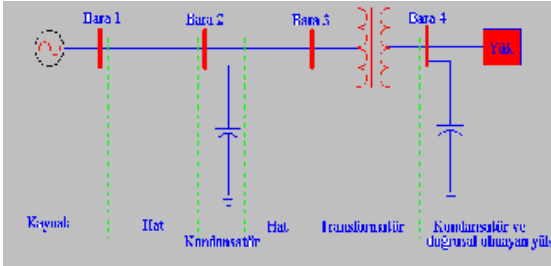


Şekil 1. Yıldız-yıldız bağlı üç fazlı transformatör

2. Uygulama Programı

Microsoft programlarını ve Microsoft Visual C++ dilini kullanarak windows ortamında bir yazılım geliştirilmiştir. Bu uygulamada hem nümerik hem de grafik veriler gösterilmiştir. Microsoft Visual C++ dilinin gelişmiş özelliklerini kullanarak geliştirilen bu programla güç sistemlerindeki harmonikler en iyi bir şekilde anlaşılması ve harmonik dalga şekillerinin gösterilmesi sağlanmıştır. Yazılım programı için analitik mantık birçok elemanı bulunan güç sistem şebekesi için geliştirilmiştir. Bu sistem bir transformatör,

iki kondansatör, hat, besleme kaynağı ve doğrusal olmayan yüklerden oluşur. Çalışmada kullanılan sistemin tek hat şeması Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan sistemin tek hat şeması

Geliştirilen uygulama programında birbirinden bağımsız iki büyüklük temel (baz) büyüklük olarak seçilmiştir. Bunlardan ilki gerilim, diğeri ise güç değeridir. Baz olarak alınan gerilim değeri fazlar arası gerilim değeri, baz alınan güç değeri ise üç fazın toplam gücü olarak alınmıştır. Transformatörün çevirme oranında bu transformatörün primer gerilimi baz değer alınmış ve sekonder gerilimi de baz değer olarak alınmıştır.

Şekil 3'de geliştirilen uygulama programının güç kaynağı paneli verilmiştir. Güç kaynağının pozitif ve sıfır sıralı empedansının birim değerleri belirlenen kutucuklara veri olarak girilir. kVA ve kV değerleri üç faz ve faz-faz olarak girilir. Uygulamada görünür gücün baz değeri olarak 100.000 kVA olarak girilmiştir.

Şekil 3. Güç kaynağı paneli

Şekil 4'de hat veri paneli verilmiştir.

Şekil 4. Hat veri paneli

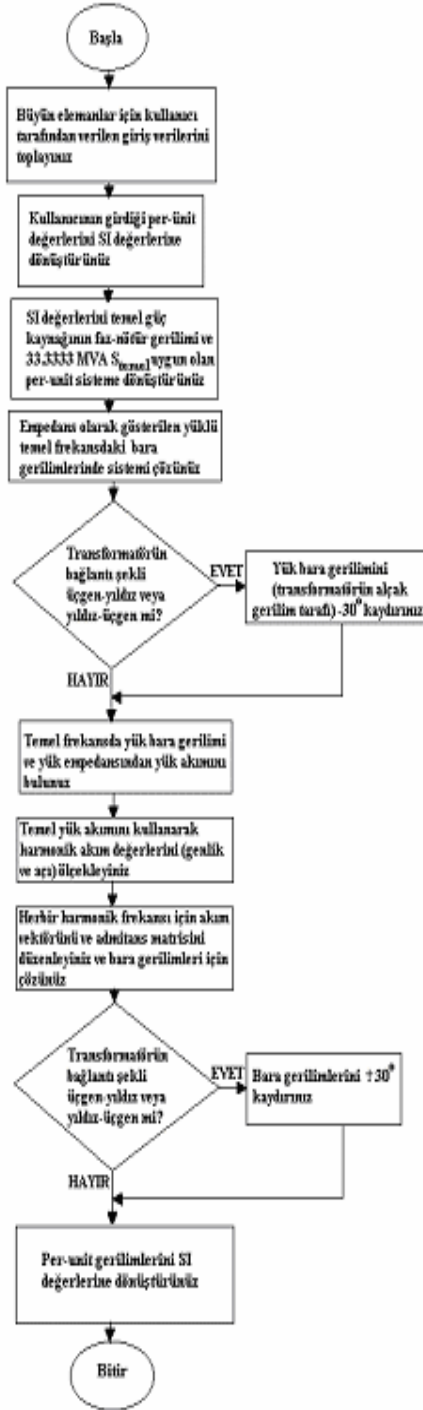
Şekil 5'de paralel kondansatörün veri paneli gösterilmiştir. Üç faz kVAr ve kV(faz-faz) kondansatör reaktif güç ve gerilim değerleri belirlenen kutucuklara veri olarak girilir.

Şekil 5. Şönt kondansatör veri paneli

Şekil 6'da transformatör veri giriş paneli gösterilmiştir.

Şekil 6. Transformatör veri giriş paneli

Şekil 7’de sistem cevabını bulmada kullanılan akış şeması verilmiştir.



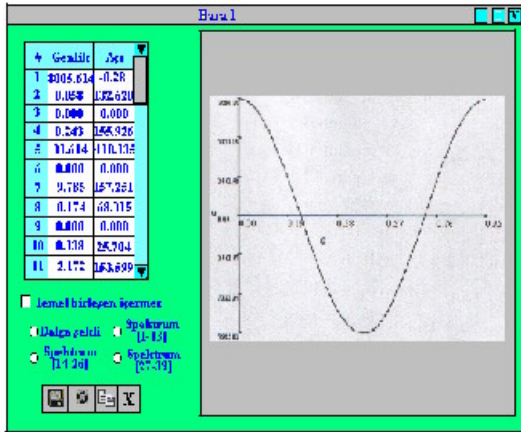
Şekil 7. Sistem cevabını bulmada kullanılan akış şeması

1. adımda: Bütün elemanlar için kullanıcı tarafından verilen giriş verilerini topluyoruz
2. adımda: Kullanıcının girdiği birim değerlerini SI değerlerine dönüştürüyoruz
3. adımda: SI değerlerini temel(baz) güç kaynağının faz-nötr gerilimi ve 33.333 MVA S_{temel} uygun olan birim değer sisteme dönüştürüyoruz.
4. adımda: Empedans olarak gösterilen yüklü temel frekansdaki bara gerilimlerinde sistemi çözüyoruz
5. adımda: Transformatörün bağlantı şekli üçgen-yıldız veya yıldız-üçgen ise
6. adımda: Evet ise; Yük bara gerilimini -30° kaydediyoruz
7. adımda: Hayır ise; Temel frekansda yük bara gerilimi ve yük empedansından yük akımını buluyoruz.
8. adımda: Temel yük akımını kullanarak harmonik akım değerlerini (genlik ve açı) ölçüyoruz
9. adımda: Her bir harmonik frekans için akım vektörünü ve admitans matrisini düzenliyoruz ve bara gerilimleri için çözüyoruz
10. adımda: Transformatörün bağlantı şekli üçgen-yıldız veya yıldız-üçgen ise
11. adımda: Evet ise; Yük bara gerilimini $+30^{\circ}$ kaydediyoruz
12. adımda: Hayır ise; Birim değer gerilimlerini SI değerlerine dönüştürüyoruz.

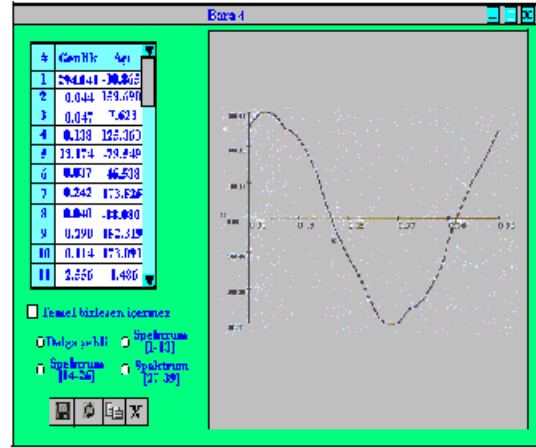
şeklinde sistem cevabını bulmada kullanılan adımlardır.

Çizelge 1. Yüklü durum için sistem verileri

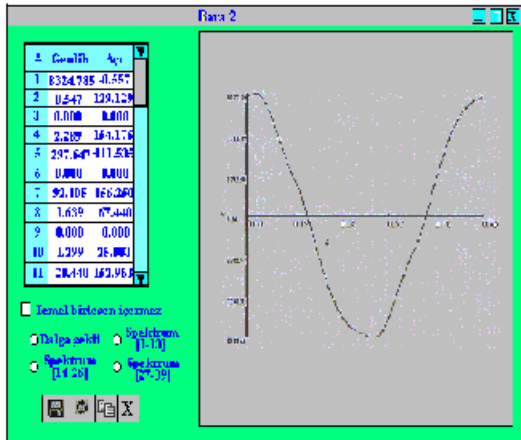
Eleman İsmi	Veriler
Güç kaynağı	1. Üç faz görünür güç (kVA) ; 200.000 kVA 2. Faz-faz gerilimi (kV) ; 13,7 kV 3. birim değer (per-unit) pozitif sıralı; 0,05+j1,0 4. birim değer sıfır sıralı ; 0,0395+j0,895
Bara 1 ve bara 2 arası hat	1. Üç faz görünür güç (kVA) ; 100.000 kVA 2. Faz-faz gerilimi (kV) ; 13,7 kV 3. birim değer pozitif sıralı ; 0,786+j4,206 4. birim değer sıfır sıralı ; 0,556+j4,2165
Bara 2 de şönt kondansatör	1. Üç faz reaktif güç (kVAr) ; 720 kVAr 2. Faz-faz gerilimi (kV) ; 13,7 kV
Bara 2 ve bara 3 arası hat	1. Üç faz görünür güç (kVA) ; 100.000 kVA 2. Faz-faz gerilimi (kV) ; 13,7 kV 3. birim değer pozitif sıralı ; 0,666+j4,206 4. birim değer sıfır sıralı ; 0,557+j4,217
Transformatör	1. Üç faz görünür güç (kVA) ; 1500 kVA 2. Faz-faz gerilimi (y.g. tarafı) ; 13,7 kV 3. Faz-faz gerilimi (a.g. tarafı) ; 0,49 kV 4. Yüzde empedans (%Z) ; %5 5. X/R oranı ; 6 6. Δ-Y bağlı 7. y.g ve a.g tarafı topraklama direnci ve reaktansı sıfır ohm
Bara 4 de şönt kondansatör	1. Üç faz reaktif güç (kVAr) ; 720 kVAr 2. Faz-faz gerilimi (kV) ; 0,49 kV
Yük	1. Üç faz görünür güç (kVA) ; 25 kVA 2. Faz-faz gerilimi (y.g. tarafı) ; 0,49 kV 3. Güç faktörü ; 0,70 geri 4. Harmonik (h=1 den 50 ye kadar)



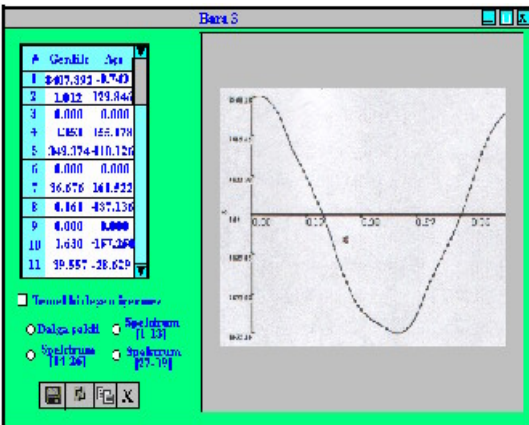
Şekil 8. Bara 1 için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli



Şekil 11. Bara 4 için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli



Şekil 9. Bara 2 için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli



Şekil 10. Bara 3 için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli

Bir nolu bara için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli Şekil 8’ de, iki nolu bara için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli Şekil 9’ da, üç nolu bara için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli Şekil 10’ da, dört nolu bara için harmonik gerilim verileri ve dalga şekli Şekil 11’ de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Tam sinüsoidal gerilim dalga şekline göre en büyük gerilim dalga şekli sapması yükün bağlı olduğu dördüncü bara dır. Dördüncü bara da oluşan gerilim harmonikleri diğer bara gerilimlerine göre daha büyüktür.

Ana harmonik (birinci harmonik) dışında kalan harmoniklerin ana harmoniğe olan oranların toplamına Toplam harmonik bozulması (THB) olarak ifade edilir. IEEE 519 da belirlenen harmonik gerilim sınırları 69 kV dan düşük gerilimlerde %5, 69 ile 161 kV arası gerilimlerde %2.5, 161 kV dan büyük gerilimlerde %1.5 olarak belirlenmiştir. Birinci bara için toplam harmonik bozulması THB₁ %0.65, ikinci bara için toplam harmonik bozulması THB₂ %0.90, üçüncü bara için toplam harmonik bozulması THB₃ %1.10 ve dördüncü bara için toplam harmonik bozulması THB₄ %1.40 olarak elde edilmiştir.

3. Sonuçlar

Enerji tesislerinde en önemli harmonik üreten eleman transformatörler, bobinler v.b gibi demir çekirdeği bulunan sargılardır. Bunların harmonik üretme özelliği, demir çekirdeğin mıknatıslama karakteristiğinin doğrusal olmamasından ileri geldiği görülmüştür. Üç fazlı transformatörler şebekeden sinüs şeklinde bir gerilim ile beslendiklerinde, şebekeden bir mıknatıslama akımı çeker. Demir çekirdeğin manyetik karakteristiği doğrusal olmadığından, bu mıknatıslama akımı sinüzoidal değildir. Dört nolu bara için harmonik gerilim verileri ve dalga şeklinden anlaşıldığı üzere, doyma arttıkça harmonik genliklerinin büyüdüğü görülmüştür. Harmonik akımları transformatörün primer reaktansı üzerinden geçtiğinden, bunlar üzerinde harmonikli gerilim düşümleri meydana gelir. Transformatörlerin mıknatıslama akımları da, nominal akımların %1- %10'u kadardır. Buna rağmen seri bağlı generatör, hat ve transformatör reaktansları frekansla orantılı olarak arttıklarından, özellikle düşük yüklerde yüksek harmonik akımlarının bunlar üzerinde sebep oldukları reaktif gerilim düşümleri büyük değerler alır. Mıknatıslama akımındaki harmoniklerin şebekeye geçip geçmemesi transformatör sargılarının bağlantı şekline, primerdeki yıldız bağlı sargılarda yıldız noktasının ve şebekenin nötr hattına bağlanıp bağlanmamasına, transformatörde mıknatıslamanın serbest veya zorunlu olmasına bağlı olduğu görülmüştür. Akım şiddeti bakımından en önemli harmonik üçüncü harmoniktir.

Geliştirilen algoritmalar ve modellemeler ile bilgisayar simülasyonları oluşturulmuştur. Farklı bağlantı şekillerinde, üç sargılı üç adet tek faz transformatör kullanarak bir üç faz transformatör oluşturularak, farklı uygulama devrelerinin simülasyon sonuçları elde

edilmiştir. Microsoft programlarını ve Microsoft Visual C++ dilini kullanarak Windows ortamında bir yazılım geliştirilmiştir. Bu uygulamada hem nümerik hem de grafik veriler gösterilmiştir. Microsoft Visual C++ dilinin gelişmiş özelliklerini kullanarak geliştirilen bu programla güç sistemlerinde harmoniklerin en iyi bir şekilde anlaşılması sağlanmıştır.

[4] numaraya verilen kaynaktan alınan deneysel sonuçlarla bu çalışmada gerçekleştirilen uygulama programından elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırıldığında, farklı verilerde ve farklı çalışma durumlarında iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Bu geliştirilen uygulama programı ile güç sistemlerinde oluşacak harmonikler ve davranışları önceden bilgisayar ortamında tahmin edilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu uygulama programının kullanılması ile güç sistemlerinde hazırlama zamanları ve alan testleri azaltılmaktadır.

İleriki çalışmalarda, bu uygulama programı daha gelişmiş ve daha karmaşık güç sistemlerinde harmonik analizler yapmak için geliştirilecektir.

Kaynaklar

- [1] Dommel, H.W., Yan, A., ve Wei, S., (1986), " Harmonics from Transformer Saturation ", IEEE Trans on Power Systems, PWRD-1, 209-214.
- [2] Electrical Transmission and Distribution, (1996) Westinghouse, 116-120
- [3] Lin, C. E. , (1993) . " Investigation of Magnetizing Inrush Current İn Transformers. Part II – Harmonic Analysis" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol:8, No:1, 255-263
- [4] Zile, M., (2005). " Üç Fazlı Transformatörlerin Harmonik Analizi" I. Uluslararası Mesleki ve teknik eğitim Kongresi, MTET 2005, İstanbul, 610-618

Geliş Tarihi: 15/01/2007

Kabul Tarihi: 23/05/2007

