

ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖRLERDE YIĞILMA AKIMLARININ HESAPLANMASI ve HARMONİK ANALİZİ

M ZİLE^{1*}

¹ Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Mersin, TÜRKİYE,

Özet: Üç faz transformatörlerde geçici yığılma akımlarının ölçümleri güç sistem işletim ve korumasında önemli veriler sunmuştur. Üç faz transformatörler endüstriyel uygulamalarda tek fazlı transformatörlerden daha geniş bir kullanım alanına sahip olduğundan dolayı, üç fazlı transformatörlerin yığılma akımları incelenmelidir. Bu çalışma ile üç fazlı transformatörlerde yığılma akımlarının detaylı bir şekilde incelenmesi için basit bir yöntem sunulmuştur. Yığılma akımlarının harmonik analizi yapılmıştır. Farklı üç faz yapıları ve farklı sargı bağlantı içeren üç fazlı trafolar farklı işletme şartları, anahtar kapama açıları ve güç faktörleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yığılma akımlarının harmonik analizleri koruma rölelerinin tasarımı için gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Üç Faz Transformatör, Harmonikler, Doyma.

CALCULATION OF TRANSIENT INRUSH CURRENTS AND HARMONIC ANALYSIS IN THREE PHASE TRANSFORMERS

Abstract: Measurements of transient inrush currents in three-phase transformers offer important data for power system operation and protection. Three-phase transformers are more widely used in industrial applications than single-phase transformers, the inrush current of the for three-phase transformer is worthy of investigation. This study proposes a simple method, extended from that for three-phase transformer inrush currents. Harmonic analysis of the inrush currents is carried out. Various structures of three-phase transformers, including winding connections and loading conditions, are discussed. The simulation results are compared with experimental results. The harmonic analysis of inrush currents is useful for protective relay design..

Keywords: Three-Phase Transformer, Harmonics, Saturation.

* Sorumlu yazar

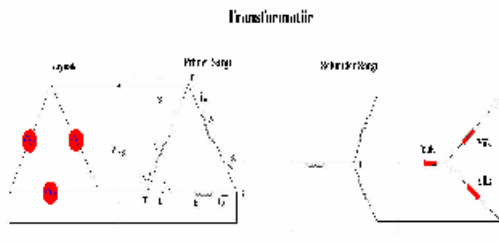
mehmetzile@yahoo.com

GİRİŞ

Elektrik üretimi 13,2 kV'ta veya daha yüksek gerilimlerde üç fazlı olarak yapılır. Enerji iletimi 110, 132, 275, 400 ve 750 kV' luk yüksek gerilimlerde gerçekleşir. Bu nedenle, üretilen gerilimi iletim hattına vermek için gerilim yükselten transformatörlere ihtiyaç duyulur. Bu iletim gerilimleri 6600, 4600 ve 2300 voltluk dağıtım gerilimlerine ve daha sonra 440, 220 veya 120 voltluk kullanma gerilimlerine düşürülür. Daha önceki yıllarda üç fazlı transformatör yerine uygun birbirine bağlanmış tek fazlı üç transformatör kullanılırdı. Fakat günümüzde üç fazlı transformatörler teknolojik gelişmelerden, özellikle üç fazlı iletimde kazanılan tecrübelerden dolayı önem kazanmaktadır. Üç fazlı transformatörler, bir fazlı transformatörler bankı ile karşılaştırıldığında avantajı, eşit sınıfa karşın daha az yer, daha az maliyet ve taşıma ve bağlantı kolaylığı olmasıdır. [1-2-3]

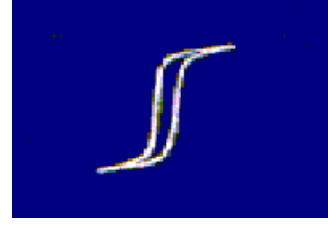
Δ -Y ve Δ - Δ Bağlantılı Üç Faz Transformatörün Histerezis Eğrisi

Bir üç faz transformatör gurubu üç ayrı tek faz transformatörden oluşur.



Şekil 1. Deney devresi.

Her bir trafodaki demir nüvenin manyetik devresi bağımsızdır. Şekil 2 de, Δ -Y bağlantılı üç faz trafo gurubunun A fazındaki histerezis eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç faz geriliminde ölçülen, Δ -Y üç faz transformatörün A fazındaki histerezis eğrisi.

Böylece Δ -Y bağlantılı trafo guruplarının tek fazlı trafolar gibi davrandığı görülmüştür.

Şekil 3 de, Δ - Δ bağlı trafo gurubunun üç fazlı güç kaynağından beslendiğinde A fazındaki histerezis eğrisi gösterilmiştir. Şekil 2 ile şekil 3 karşılaştırıldığında, Δ - Δ bağlantılı manyetik devrenin tepe değeri Δ -Y bağlantılı manyetik devrenin tepe değerinden daha küçük olduğu açıkça görülmüştür. Δ - Δ bağlantılı transformatör sekonderinde dairesel akım mevcuttur. Bu dairesel akım ana akıyı zayıflatır ve demir nüve doyma riskini azaltır. Doyma bölgesindeki manyetik akımın tepe değeri daha küçük olur ve daha küçük yığılma akımına neden olur.



Şekil 3. Üç faz geriliminde ölçülen, Δ - Δ üç faz transformatörün A fazındaki histerezis eğrisi.

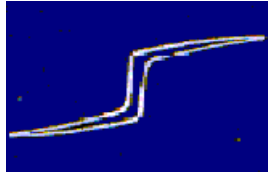
Beş kollu transformatörler

Beş kollu trafonun her bir fazındaki manyetik devrelerin yaklaşık olarak bağımsız olduğu kabul edilir. Fazlar arası etkileşim akımı önemli değildir. Doyma bölgesindeki manyetik akımın tepe değeri diğer fazlardan etkilenmez [4]. Şekil 4 de, A fazında üç faz Δ -Y bağlantılı trafonun histerezis eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4. Üç faz geriliminde ölçülen Δ -Y beş bacaklı üç faz transformatörde A fazındaki histerezis eğrisi.

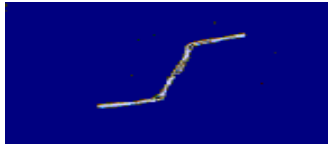
Şekil 5 de ise, tek faz güç kaynağından beslenen A fazının histerezis eğrisi gösterilmiştir. Şekil 4 ve 5 karşılaştırıldığında, üç faz Δ -Y bağlantılı transformatörde histerezis eğrisi bağımsız tek faz transformatörün histerezis eğrisinden daha dar olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, her iki histerezis eğrisindeki manyetik akımın tepe değeri yaklaşık olarak aynıdır.



Şekil 5. Tek faz geriliminde bağımsız olarak ölçülen, beş bacaklı üç faz transformatörün A fazındaki histerezis eğrisi.

Üç kol transformatörler

Şekil 6 da, üç kol Δ -Y bağlı üç fazlı transformatörün A fazındaki histerezis eğrisi verilmiştir.



Şekil 6. Üç faz geriliminde ölçülen, üçgen-yıldız bağlı üç bacaklı üç faz transformatörde, A fazındaki histerezis eğrisi.

Şekil 7'de tek faz güç kaynaklı, bağımsız A fazındaki histerezis eğrisi verilmiştir.

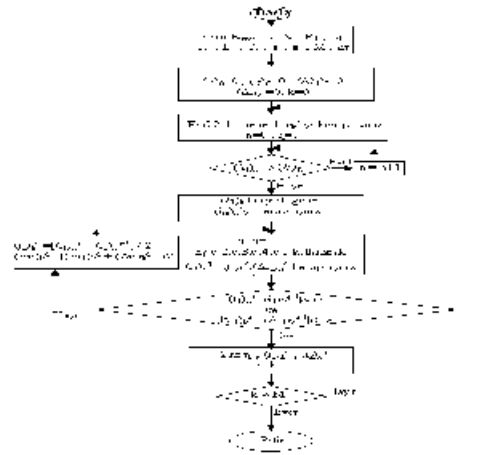


Şekil 7. Tek faz geriliminde bağımsız olarak ölçülen, üç bacaklı üç faz transformatörde A fazındaki histerezis eğrisi.

Şekil 6 ve şekil 7 yi karşılaştırdığımızda, üç fazlı Δ -Y bağlı histerezis eğrisi diğer fazların etkisinde kaldığı görülür. Doyma bölgesindeki manyetik akımın tepe değeri aynı zamanda diğer fazlardan etkilenir ve daha küçük değeri alır.

Nümerik Simülasyon

Üç faz transformatörlerin farklı tiplerinin doyma karakteristiğinin analizinde, trafo gurupları ve üçgen-yıldız bağlı beş kollu transformatörler üç bağımsız manyetik devre gibi düşünülür. Takriben tek fazlı transformatörlerinkine benzerdir (Lin, C.E. 1989, 1993). Yığılma akımının harmonik analizi hızlı fourier dönüşümü uygulanarak yapılmıştır.



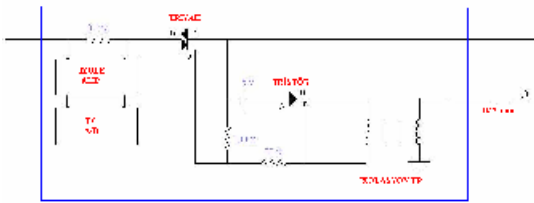
Şekil 8. Nümerik simülasyon için algoritma.

Deneysel Analiz

Üç tane 3 kVA 110V/220V üç faz transformatör, bir transformatör grubu, bir tane beş kollu transformatör ve bir tane üç kol transformatör laboratuvarımızda yığılma akımını ölçmek için kullanılmıştır. Temel veriler çizelge 1 de verilmiştir. Üç faz transformatörlerde anahtar kapama açısı kontrolü için, deneysel devre şekil 9’ da verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan transformatörün verileri

	Beş-bacaklı	Ünite	Üç-bacaklı
Primer/ Sekonder nominalgerilimi	110V /220 V	110V /220 V	110V /220 V
Primer/ Sekonder nominal akımı	10 A/5A	10A / 5 A	10 A / 5 A
Primer /Sekonder sargı direnci	0.13 Ω /0.66 Ω	0.11 Ω /0.36 Ω	0.09 Ω /0.29 Ω
Primer sargı kaçak endüktansı	0.18 mH	0.15mH	0.06mH

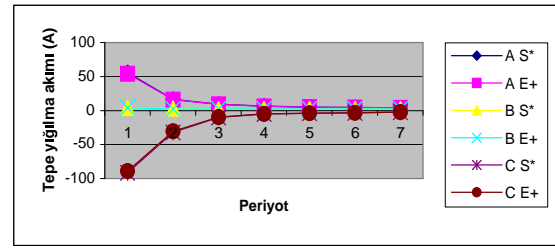


Şekil 9. Üç faz transformatörlerde anahtar kapama açısı için deney devresi.

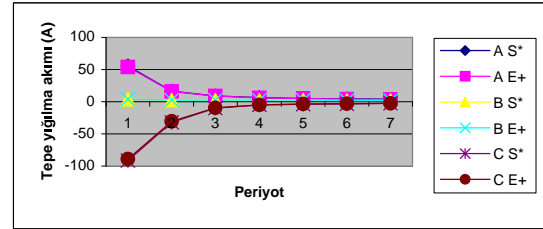
i_a , i_b ve i_c faz akımları örneklenmiştir. Hat akımları ise üç faz akımlarından hesaplanmıştır.

Alınan Sonuçlar

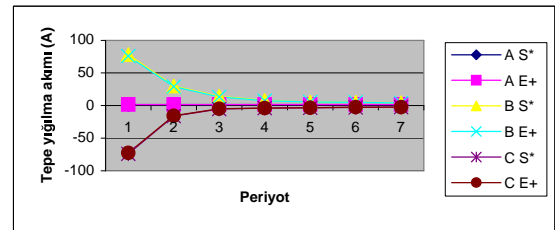
Transformatörün sekonderi açık, artık akının sıfır olduğu durumda, farklı anahtar kapama açılarında yığılma akımları incelenmiştir. Anahtar kapama açıları $\alpha=0^\circ$, 45° ve 90° de simule edilen ve ölçülen yığılma akımları şekil 10 da karşılaştırılmıştır.



a) $\alpha=0^\circ$ için



b) $\alpha=45^\circ$ için



c) $\alpha=90^\circ$ için

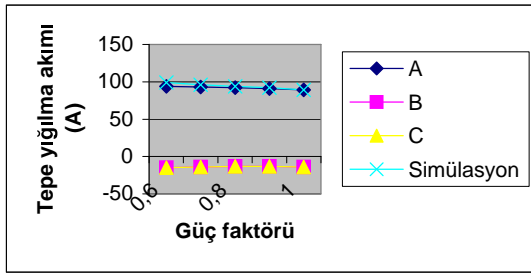
Şekil 10. Beş bacaklı üç faz transformatörlerde tepe yığılma akımında anahtar kapama açısının etkisi.

Eğer 45° ve 90° anahtar kapama açıları, A fazında akı doyması küçük olursa oluşan yığılma akımları sırasıyla küçük olur. Aksi halde A fazında anahtar kapama açısı artarken yığılma akımı azalır. Bununla birlikte, üç faz devre için her bir fazın faz açısı 120° civarında değişir. A fazında daha küçük

akımlar elde ettiğimizde, aynı zamanda B veya C fazında daha büyük akımlar gözükür. Anahtar kapama açısının yığılma akımları üzerindeki etkisi düzensiz ve önemsiz bir şekilde gözükür.

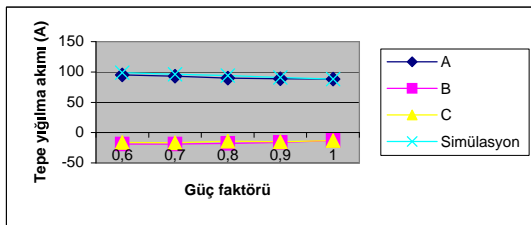
Omik yükleme şartları altında yığılma akımları, yükün değişmesi ile duyarlı bir şekilde değişir.

Endüktif yükleme şartları altında, yığılma akımı yük güç faktörlerine duyarlı olduğu görülmüştür. Şekil 11’de yük güç faktörü ile tepe yığılma akımının değişimi gösterilmiştir. Daha büyük güç faktörü, demir nüve doymasının azalmasına sebep olan tepe yığılma akımının daha fazla olması anlamına gelir.



Şekil 11. Tepe yığılma akımı üzerinde endüktif yükün etkisi.

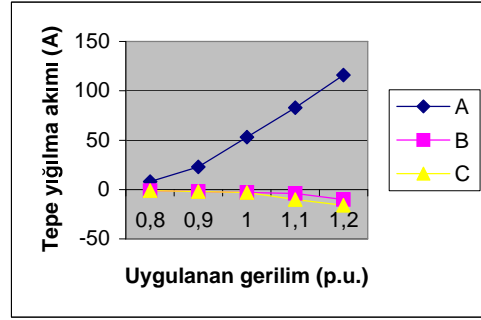
Kapasitif çalışma durumunda, yığılma akımı aynı zamanda güç faktörleri ile kapalı bir ilişkiye sahiptir. Şekil 12 de güç faktörü ile tepe yığılma akımının değişimi gösterilmiştir.



Şekil 12. Tepe yığılma akımı üzerinde kapasitif yükün etkisi.

Güç faktörü 1 olduğunda, tepe yığılma akımı daha küçüktür. Bu endüktif yük durumu içinde aynıdır.

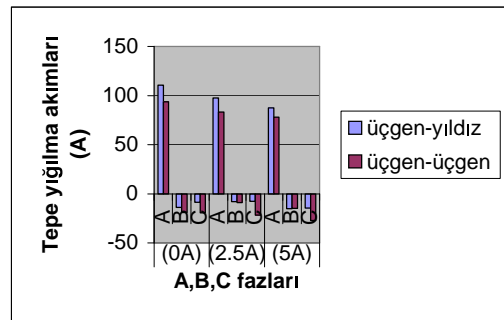
Şekil 13 de, primer geriliminin yığılma akımı



üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Şekil 13. Tepe yığılma akımı üzerinde gerilimin etkisi.

A fazındaki tepe yığılma akımına uygulanan gerilimin doğrusal ilişkisi önemli bir olaydır. Üçgen bağlanan sekonder sargılarında dairesel bir akım mevcut olacaktır. Bu dairesel akımın büyüklüğü yük dengesizliğine duyarlıdır. Daha büyük dairesel akım ve bu akımdan oluşan zıt manyetik akı çizgilerinin azalttığı daha fazla ana akı demektir. Bu yüzden yayılma akımının daha küçük olması beklenir. Üçgen-üçgen bağlantıda yığılma akımları üçgen-yıldız bağlantıdakinden daha küçük

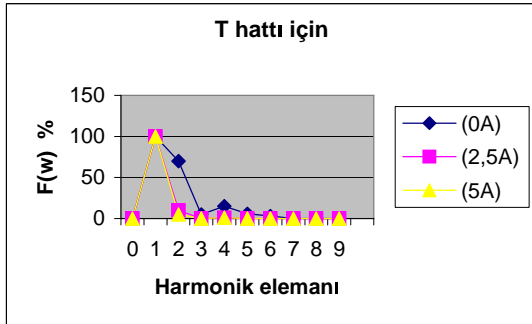
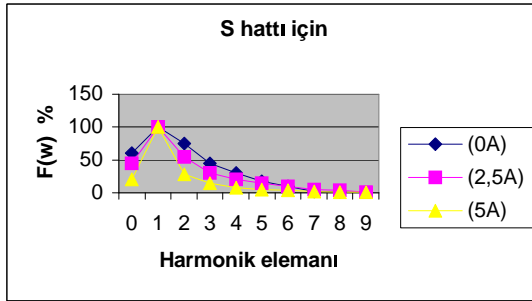
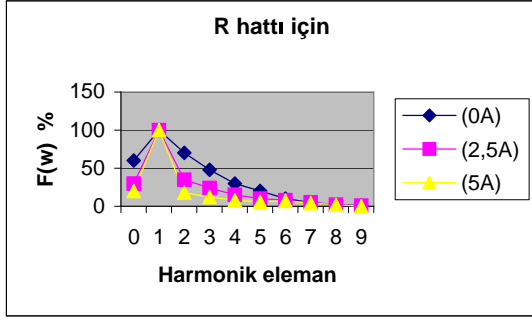


olduğu görülmüştür.

Şekil 14. Üçgen-üçgen ve üçgen-yıldız bağlantıda tepe yığılma akımlarının karşılaştırılması.

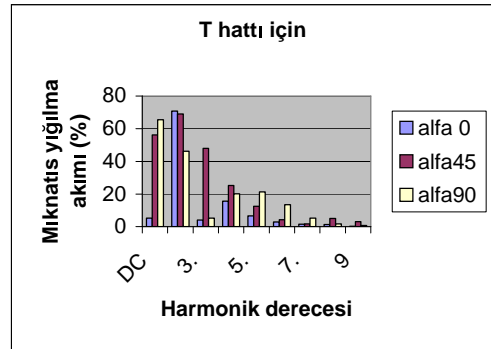
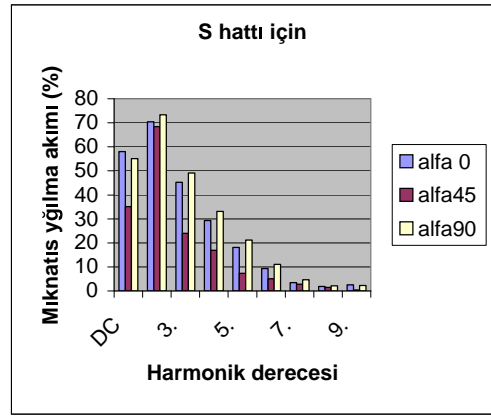
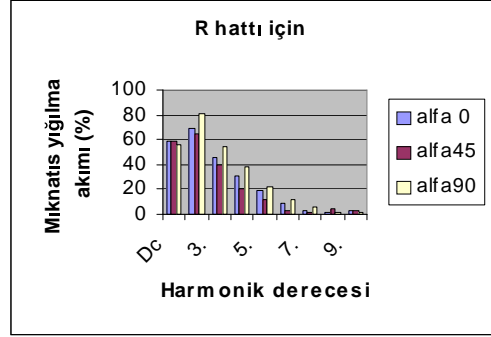
Yığılma Akımlarının Harmonik Analizi

Üç faz transformatörlerde mıknatıslama yığılma akımının detaylı harmonik analizi yapılmıştır.

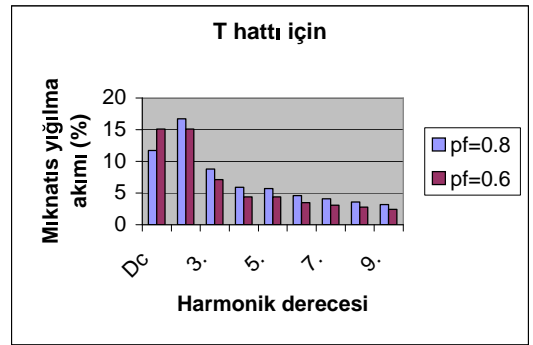
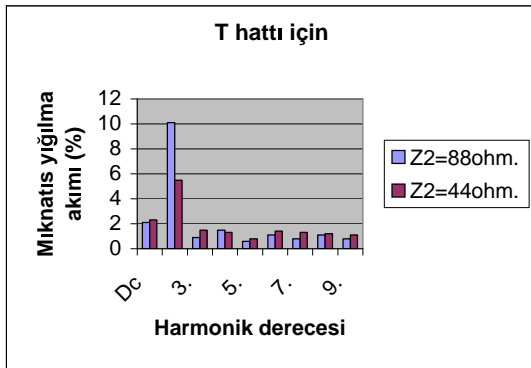
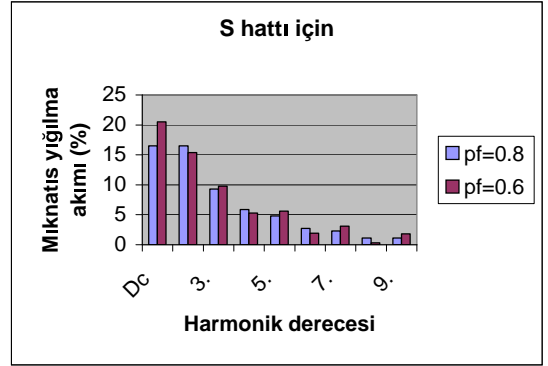
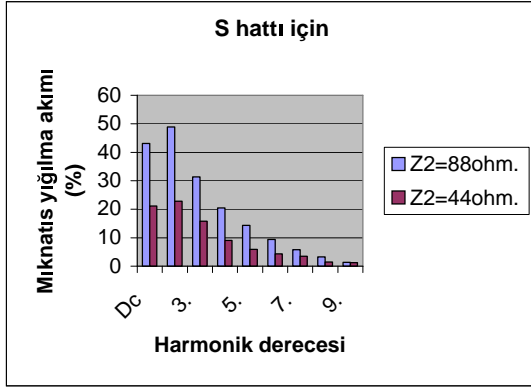
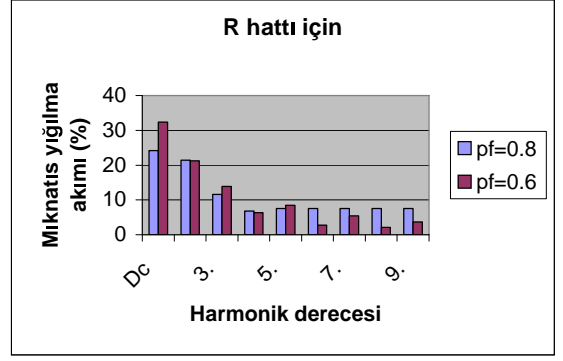
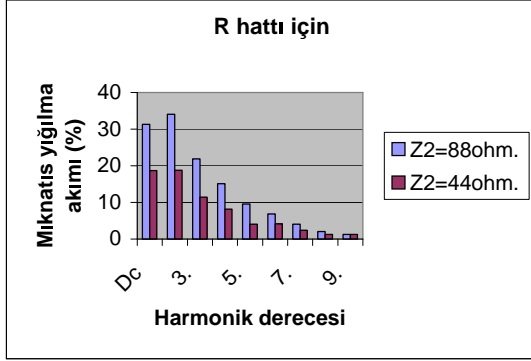


Şekil 15. Üç faz transformatör gurublarında harmonikler üzerinde omik yükün etkisi.

Şekil 16' da, değişik anahtar kapama açıları ve yükleme şartlarında yığılma akımının ilk periyodundaki harmonik içerik verilmiştir.

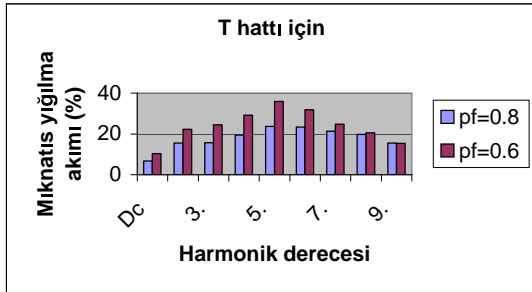
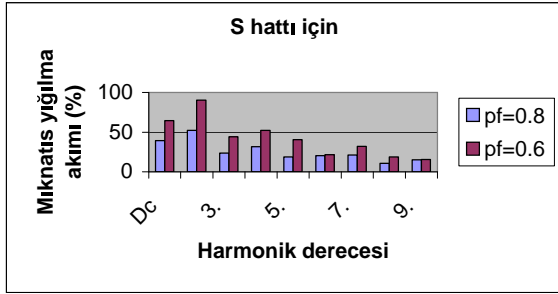
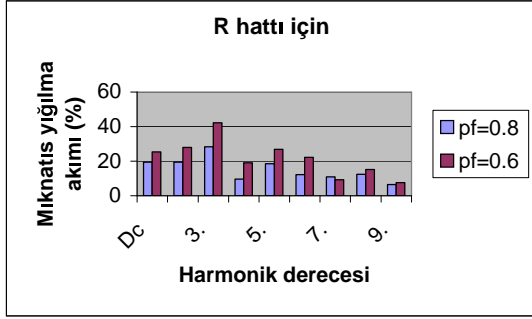


Şekil 16. $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ anahtar kapama açıları için R, S ve T hattı için mıknatis yığılma akımı (α değişimli).



Şekil 17. $\alpha = 0^\circ$, güç faktörü=1, $Z_2=88 \Omega$ ve 44Ω için R, S ve T hattı için mıknatıs yığılma akımı (R değişimli).

Şekil 18 $\alpha = 0^\circ$, $Z_2=44 \Omega$, güç faktörü=0.8 ve 0.6 için R, S ve T hattı için mıknatıs yığılma akımı (L değişimli).



Şekil 19. $\alpha = 0^\circ$, $Z_2 = 44 \Omega$, güç faktörü=0.8 ve 0.6 için R, S ve T hattı için mıknatis yığılma akımı (C değişimli).

Başlıca çıkarılan sonuçlar şunlardır: Şekil 16, 17, 18, 19' de R, S, ve T hattın her biri için harmonik içerik ve anahtar kapama açısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. $R_2 = 44 \Omega$, 88Ω omik yükler altında ve açık devredeki, sonuçlar karşılaştırıldığında daha büyük yük akımlarının daha küçük harmonik oluşturduğu görülmüştür.

1, 0.8 ve 0.6 geri güç faktörlerinde endüktif yüklerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, harmonik değişim gözükmemiştir. 1, -0.8 ve -0.6 ileri güç faktörlerinde kapasitif yüklerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, harmoniklerin güç faktörü değişimlerine duyarlı olduğu görülmüştür. Daha düşük güç faktöründe, harmonik içeriğindeki artımın daha büyük olduğu görülmüştür.

SONUÇ

Bu çalışmada, yığılma akımının harmonik analizi yapılmıştır. Yükler ve güç faktörleri artırarak ana harmoniklerin önlenebileceği sonucu çıkartılmıştır. Dolayısıyla, üç faz trafolarında yığılma akımlarının daha detaylı olarak bilinmesi bu çalışma vasıtasıyla gerçekleşmiştir. Bu geliştirilen yöntem kullanılarak hazırlama zamanı ve alan testleri azaltılabilir.

KAYNAKLAR

- [1]Baghzouz, Y., Gong, X.D., (1992), " Voltage-Dependent Model for Teaching Transformer Core Nonlinearity ", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 2, 746-752.
- [2]Electrical Transmission and Distribution, Westinghouse, 116-120
- [3]Lin, C. E., (1993). "Investigation of Magnetizing Inrush Current In Transformers. Part II – Harmonic Analysis" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol:8, No:1, 255-263
- [4]Lin, C. E., (1993). "Investigation of Magnetizing Inrush Current In Transformers. Part II – Harmonic Analysis" IEEE Ttransaction on Power Delivery, Vol:8, No:1, 255-263