

Dengesiz Şebeke Koşullarında Çalışan 18 Darbeli Doğrultucularda Harmoniklerinin Azaltılması Üzerine Bir Yaklaşım

İbrahim SEFA, Necmi ALTIN
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda yaygın biçimde kullanılan üç fazlı doğrultucuların şebeke akım harmoniklerini azaltmak için en çok başvurulan yöntem doğrultucunun darbe sayısının artırılmasıdır. 18 darbeli doğrultucu, uygun tasarlandığı takdirde ek devrelere ihtiyaç duymadan en düşük darbe sayısı ile uluslararası standartları sağlayabilmektedir. Ancak şebeke geriliminin dengesiz olması ve harmonik içermesi gibi durumlar, 18 darbeli doğrultucunun çektiği akımda karakteristik olmayan harmonik bileşenlerin oluşmasına, böylece toplam harmonik miktarının artmasına ve hatta doğrultucunun standart dışı çalışmasına neden olur. Böyle şebekelerde doğrultucuların çıkışında kullanılan akım dengeleme bobinlerinin (IPT) önemi artmaktadır. Bu çalışmada farklı şebeke şartları için en uygun IPT endüktans değerinin tespit edilmesine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin MATLAB/Simulink'de yapılan benzetimler ve 30kW gücündeki 18 darbeli doğrultucu ile yapılan deney sonuçları ile doğrulandığı görülmüştür. IPT endüktansının uygun değerde seçilmesi ile şebekedeki düzensizliklerin neden olduğu akımdaki harmoniklerin önemli miktarda azaltılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 18 darbeli doğrultucu, akım paylaşım bobini, dengesiz şebeke gerilimi, doğrultucu harmonikleri

An Approach to Reduce the Line Current Harmonics of 18 Pulse Rectifier Under Unbalanced Line Conditions

ABSTRACT

The most popular method applied to reduce the line current harmonic level is to increase the pulse number of the rectifier in three phase rectifiers which are widely used in industrial applications. If the 18 pulse rectifier is designed properly, it is the minimum pulse number rectifier that is in compatible with the international standards without any additional circuits. On the other hand, unbalanced line voltages and voltage harmonics produce non-characteristic harmonics and increase the total harmonic distortion and then the rectifier operates out of the standards. In this line conditions, interphase transformers used at the outputs of the rectifier are become more important. In this study, a method has been developed to determine the optimum value of IPT in different line conditions. Compatibility of the developed method was tested and compared with MATLAB/Simulink simulations and the experimental results of 30kW rectifier test rig. It has been shown that the harmonic currents produced by the distorted line conditions can be reduced by the IPT inductance chosen properly.

Key Words: 18 pulse rectifier, interphase transformer, unbalanced line voltage, rectifier harmonics

1. GİRİŞ

Şebeke frekansında çalışan kontrollü ve kontrolsüz doğrultucular pek çok endüstriyel uygulamada yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu doğrultucular şebekeden harmonik bileşenler içeren akım çekmekte ve ek filtre devrelerinin kullanılmaması halinde, beslediği nokta yakınındaki diğer cihazları olumsuz yönde etkilemektedirler. Doğrultucunun şebekeden çektiği akımın harmonik bileşenlerini azaltmak ve güç faktörünü yükseltmek amacıyla, çeşitli aktif ve pasif filtre yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin toplam maliyeti artırmaları, pasif yöntemlerin sadece belirli yük oranında ve belirli harmonikler için etkin olmaları ve boyutlarını artırmaları, aktif yöntemlerin ise belirli güçlere kadar yapılabilmeleri, elektromanyetik ile radyo

frekansı etkileşime (EMI, RFI) neden oldukları ve doğrultucu çıkış geriliminin çok yüksek değerlere ulaşması gibi uygulama alanlarını kısıtlayıcı özellikleri vardır (1-4).

Doğrultucunun şebekeden çektiği harmonikleri ek devreler tasarlayarak yok etmek yerine, doğrultucuyu şebekeden harmonik içermeyen akım çekecek şekilde tasarlamak daha doğru bir çözümdür. Bu amaçla çok darbeli doğrultucular geliştirilmiştir. Özellikle şebeke ile izolasyon ve regüleli DA geriliminin gerekmediği orta-büyük güçlü uygulamalarda çok darbeli doğrultucuların kullanılması sıklıkla başvurulan bir yöntemdir (5,6). Darbe sayısı arttıkça doğrultucuların şebekeden çektiği akımın harmonik bileşenleri azalmaktadır (1,4). Darbe sayısı ile şebeke akımı harmoniklerinin ilişkisi Eş. 1'de verilmiştir.

$$h = P \cdot n \mp 1 \quad n=1,2,3,\dots \quad (1)$$

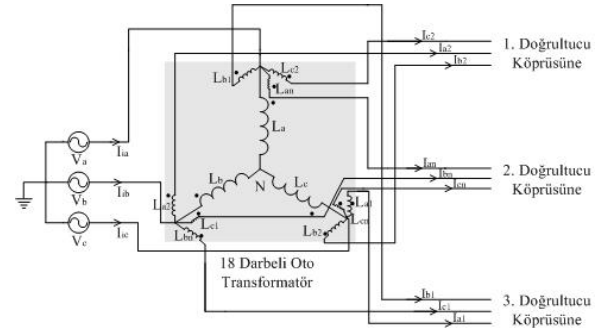
Bu ifadeye; P doğrultucunun darbe sayısını, h ise bu doğrultucunun şebekede ürettiği harmonikleri vermektedir. 18 darbeli doğrultucu, ek filtre devrelerine gerek kalmadan IEEE-519 standardına uyabilen en düşük maliyetli çok darbeli doğrultucudur (4,7). Şebeke ile doğrultucu arasında izolasyonun gerekmediği uygulamalarda, geliştirilen çok darbeli oto transformatörlerin kullanılması ile transformatörün güç oranı, dolayısıyla maliyeti ve boyutları azaltılmıştır (7-10). Ayrıca bu transformatörlere elektriki izolasyonlu bir primer sargısının eklenmesi ile sınırsız dönüştürme oranı elde edilebilir (9). Önceleri motor sürücü uygulamalarında kullanılmaya başlanan 18 darbeli doğrultucular günümüzde havacılık ve haberleşme sektöründe kullanılmaktadır (6, 11-13).

Doğrultucu akım harmoniklerinin, şebeke gerilim kalitesi (gerilim dengesizliği ve gerilim harmonikleri vb.) ve şebeke empedansına bağlı olduğu bilinmektedir (14). Uygulamada dengesiz besleme gerilimi sık karşılaşılan problem olup harmoniklerin artmasına ve 3. harmonik gibi karakteristik olmayan harmoniklerin üretilmesine neden olur (15). Çok darbeli doğrultucularda da şebeke gerilim dengesizliği ve gerilim harmonikleri doğrultuculardan eşit olmayan akım çekilmesine neden olurlar. Çok darbeli doğrultucuların hassas oldukları bu durumlarda karakteristik olmayan harmonikler ürettikleri ve dolayısıyla toplam harmonik bozulma (THD) miktarının arttığı bilinmektedir. Gerilim dengesizliği durumunda akım THD'sinin %3-7 civarında arttığı belirtilmiştir (14,16). Şebeke geriliminin kabul edilebilir miktarda dengesiz olması durumunda dahi doğrultucu akımının önemli miktarda dengesiz olduğu durumlar ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Dengesiz doğrultucu akımları, DA kondansatör akımındaki ripilin etkin değerini artırarak, doğrultucu köprüsünün akım dağılımının bozulmasına ve iletim kayıplarının artmasına ve doğrultucu elemanların bozulmasına neden olabilmektedirler. Ayrıca toplam şebeke akımını ve harmonik bileşenlerini artırarak, üç ve üçün katı olan ve dengeli durumda görünmeyen karakteristik olmayan harmonikler üretirler (17).

Şebekede farklı oranlarda dengesizlik ve farklı değerlerde harmonik bileşen içermesi durumları ile, farklı alternatif akım şok bobini ve akım dengeleme bobininin bütün değerleri için doğrultucunun gerçek şartlarda incelenmesinin çok yüksek maliyetli olacağından önce Matlab/Simulink'te benzetim çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, şebeke gerilimindeki dengesizlik ile gerilimin harmonik bileşenler içermesi durumlarında doğrultucunun tepkisi ve IPT'lerin endüktans değerinin akım harmonikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Düzensiz şebeke şartlarında 18 darbeli doğrultucunun akım harmoniklerinin azaltılması için gerekli olan IPT değerinin tespitine yönelik bir yöntem geliştirilerek benzetim ve deneysel çalışmalar ile test edilmiştir.

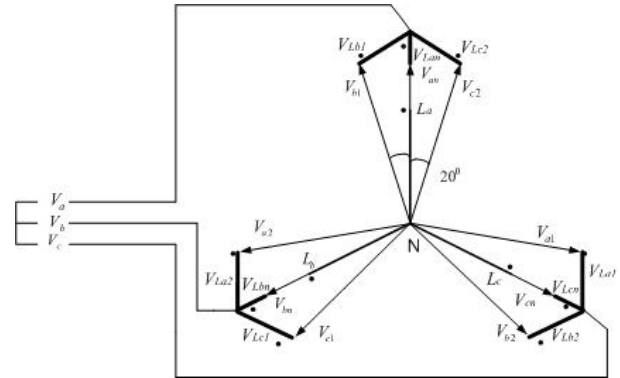
2. 18 DARBELİ OTO TRANSFORMATÖRÜN ANALİZİ

18 darbeli doğrultucu, 20° faz farklı gerilimler ile beslenen üç adet üç fazlı doğrultucunun akım paylaşım bobinleri (IPT) üzerinden bağlanmasıyla oluşur. Şekil 1'de DA uçlarında iki adet akım paylaşım bobininin kullanıldığı, 18 darbeli doğrultucunun temel bağlantı şekli görülmektedir. IPT'ler her bir üç fazlı doğrultucu köprülerinden akım farklılıklarını dengelemek için kullanılır. Böylece yük akımı doğrultucu köprüleri arasında eşit paylaşılabilir ve her doğrultucu köprüsü bağımsız olarak çalışabilir. Şebeke gerilimi eşit ve dengeli, ayrıca transformatör sargıları her faz için tam simetrik ise, akım paylaşım bobini ideal durumda ve minimum etkide demektir. Ancak bu durum gerçekte hiçbir zaman oluşmaz. Doğrultucu köprülerinin çıkış geriliminin ortalama değerlerindeki farklılıklar köprülerin akım paylaşımındaki dengeyi etkiler. Bu durumda akım dalga şeklindeki bozulma olur ve akım harmonikleri artar (18).



Şekil 1. Çatal yıldız bağlı oto transformatörlü 18 darbeli doğrultucu

Şekil 1'de kullanılan çatal yıldız bağlı oto transformatör bağlantısı gösterilmiştir. Oto transformatör primer ve sekonder sargıların dönüştürme oranları kullanılarak, altı darbeli köprü doğrultucuları 20°'er derece faz farkı ile besleyecek özellikte tasarlanmıştır (13). Şebeke ve doğrultucuların besleme gerilimlerinin vektör diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Oto transformatörün L_a , L_b ve L_c primer sargıları yıldız bağlanarak V_a , V_b ve V_c şebeke gerilimleri ile beslenmiştir. L_a , L_b , L_c ve L_{a1} ve L_{a2} sargılarının tamamı nüvenin aynı bacağında ve birbirleriyle manyetik bağa sahiptirler.



Şekil 2. Oto transformatörün vektör diyagramı

Buradan V_{La} , V_{Lan} , V_{La1} ve V_{La2} gerilimlerinin aynı fazda olduğu görülür. Bu durum diğer sargılar içinde geçerlidir. Sekonder sargıların gerilimleri aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$V_{Lb1} = V_{Lc2} = V_a \cdot \frac{\sin(20)}{\sin(100)} = 0,3473V_a \quad (2)$$

20° faz kaymasını sağlayan sargı dönüştürme oranı, (n_2) ise Eş. 3 ile bulunur.

$$n_2 = \frac{V_a}{V_{Lb1}} = \frac{V_a}{0,3473 \cdot V_a} = 2,88 \quad (3)$$

Bu sonuç, sekonder sarım sayısının primer sarım sayısından 2,88 oranında daha az olduğunu göstermektedir. Sanal nötr noktası olan N' 'ye göre sekonder gerilimleri Eş. 4 ile tanımlanır.

$$V_{b1} = V_{c2} = V_a \cdot \frac{\sin(60)}{\sin(100)} = 0,8794 \cdot V_a \quad (4)$$

Eş. 4'den görüldüğü gibi çıkış gerilimlerinin AA değeri giriş geriliminin %88'ine karşılık gelmektedir. Şebeke ile aynı fazda olan çıkış geriliminin değeri de diğer sekonder gerilim değerlerine eşit olan Eş. 5 yazılabilir:

$$V_{Lan} = V_a - 0,8794 \cdot V_a = 0,1206 \cdot V_a \quad (5)$$

Buradan dönüştürme oranı (n_1)'in değeri Eş. 6 ile bulunabilir.

$$n_1 = \frac{V_a}{V_{Lan}} = \frac{V_b}{V_{Lbn}} = \frac{V_c}{V_{Lcn}} = \frac{1}{0,1206} = 8,29 \quad (6)$$

Sekonder terminaleri ile sanal nötr noktası arasındaki gerilim değeri de, Eş. 7 ile hesaplanmaktadır.

$$V_{an} = 0,8794 \cdot V_a \quad (7)$$

3. IPT ENDÜKTANSININ TESPİTİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

Üç fazlı altı darbeli doğrultucularda, çıkış filtre bobini sonsuz endüktans değerinde iken akım harmoniklerinin minimum ve güç faktöründe maksimum olduğu rapor edilmiştir (19). Bu durum 18 darbeli doğrultucu içinde geçerlidir. İdeal şebeke koşullarında IPT endüktansı ile akım harmoniklerinin değişiminin incelenmesi için MATLAB/Simulink'de benzetimler yapılmıştır. Genel bir yargıya varılabilmesi için benzetim çalışmalarında normalize edilmiş değerleri kullanılmıştır. Normalizasyon işleminde kullanılan referans değerler şunlardır:

$$V_{REF} = V_{an} = V_{a1} = V_{a2} = V_{bn} = V_{b1} = V_{b2} = V_{cn} = V_{c1} = V_{c2} \quad (8)$$

Burada V_{an} , V_{a1} , V_{a2} , V_{bn} , V_{b1} , V_{b2} , V_{cn} , V_{c1} ve V_{c2} faz-nötr gerilimler, V_{REF} ise referans gerilim değeridir. Referans güç değeri:

$$P_{REF} = P_o/9 \quad (9)$$

Eş. 9'da P_o birim güç faktörü için doğrultucu anma gücüdür. Referans frekans değeri:

$$f_{REF} = f_s \quad (10)$$

Yukarıdaki ifadede f_s kaynak frekansdır. Referans akım Eş. 11 ile elde edilebilir:

$$I_{REF} = P_{REF}/V_{REF} \quad (11)$$

Doğrultucu empedansı ise:

$$Z_{REF} = V_{REF}/I_{REF} = V_{REF}^2/P_{REF} \quad (12)$$

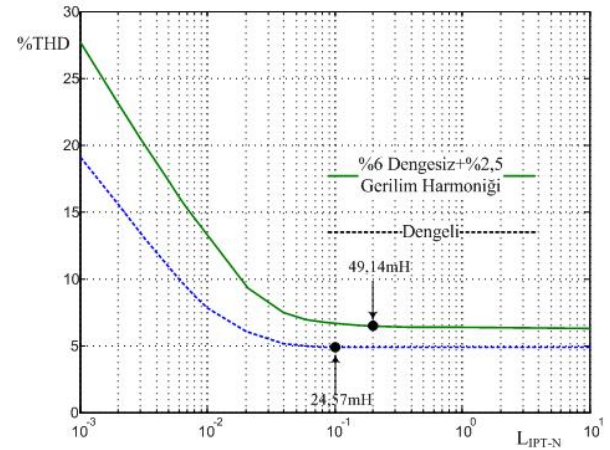
Normalize edilmiş IPT empedans Eş. 12'den hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} Z_{LIPT-N} &= \frac{Z_{LIPT}}{Z_{REF}} = \frac{(2\pi f_{REF})L_{IPT}}{V_{REF}/I_{REF}} \\ &= 2\pi \frac{I_{REF} f_{REF}}{V_{REF}} L_{IPT} = 2\pi L_{IPT-N} \end{aligned} \quad (13)$$

Eş. 13'den normalize edilmiş IPT endüktans değeri Eş 14 ile hesaplanır:

$$L_{IPT-N} = L_{IPT} \left(\frac{I_{REF} f_{REF}}{V_{REF}} \right) \quad (14)$$

$P_o=30kW$, $V_{REF}=202.4V$, $f_{REF}=50Hz$ değerleri için yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen şebeke akımı toplam harmonik bozulumu değerinin benzetim çalışmalarında kullanılan endüktans değerlerinin yukarıdaki değerler için Eş. 8-14 ile elde edilen normalize edilmiş endüktans değerine göre değişimi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. MATLAB/Simulink benzetim sonuçlarından elde edilen L_{IPT-N} değerine göre giriş akımındaki %THD değişim

Şekil 3'den görüldüğü gibi 18 darbeli doğrultucularda IPT endüktansının artması ile akım harmonikleri azalmaktadır. Ancak ideal şebeke şartlarında $L_{IPT-N}=0,1$ değerinden, düzensiz şebeke şartlarında ise $L_{IPT-N}=0,2$ değerinden sonra değişim durmakta ve akım harmonikleri sabit kalmaktadır. Her iki durumda da endüktansın daha büyük değerleri harmonikleri etkilememektedir. Dolayısıyla bu değerlerin sonsuz empedans

değeri ile aynı etkiye sahip olduğu söylenebilir. İşte değişimin durduğu ve sonsuz empedans ile aynı etkiye sahip bu endüktans değerlerine IPT'nin sonsuz eşlenik endüktans değeri denir. Endüktans değeri bu değerden daha küçük IPT'ler kullanılması doğrultucu akım harmoniklerinin artmasına ve güç faktörünün düşmesine neden olurken, daha büyük endüktans değerlerinde IPT kullanmak doğrultucu performansını iyileştirmekten boyutlarını ve maliyetini arttıracaktır.

Eş. 14 yeniden düzenlenirse IPT'nin gerçek endüktans değeri L_{IPT} ifadesi elde edilebilir:

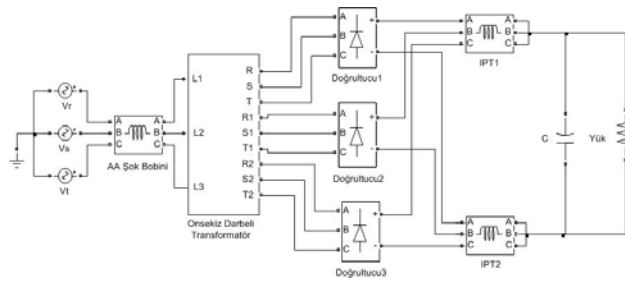
$$L_{IPT} = L_{IPT-N} \left(\frac{V_{REF}}{I_{REF} f_{REF}} \right) \quad (15)$$

Eş. 15'de ideal şebeke şartları için $L_{IPT-N} = 0,1$, düzensiz şebeke şartları için ise $L_{IPT-N} = 0,2$ kullanılarak IPT endüktans değeri sırasıyla 24,57mH ve 49,11mH olarak hesaplanır.

4. BENZETİM ve UYGULAMA SONUÇLARI

Bu çalışmada Matlab/Simulink'de 18 darbeli doğrultucu modellenmiş ve değişik şebeke (şebeke dengeli, şebeke dengesiz, şebeke dengeli ve gerilim harmoniği var) şartlarında AA şok bobini ve akım paylaşım bobini değerinin şebekeden çekilen akımın harmonikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

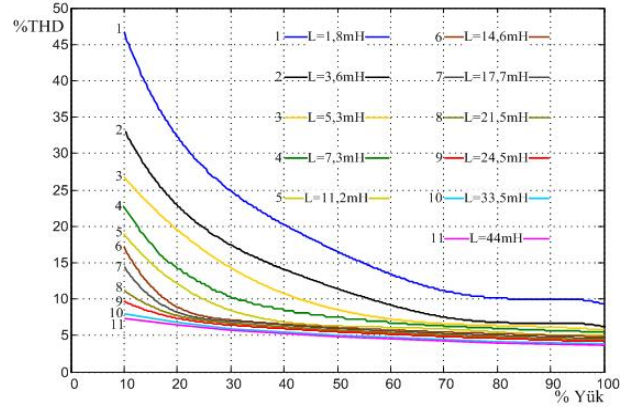
Şekil 4'de benzetim çalışmalarında kullanılan 18 darbeli doğrultucunun Simulink modeli görülmektedir. 18 darbeli ototransformatörünün giriş uçlarına AA şok bobini, doğrultucu köprülerinin çıkış uçlarına ise biri pozitif diğeri negatif uçlarda olmak üzere iki adet IPT kullanılmıştır. IPT'lerin çıkışları 9900µF değerinde bir filtre kondansatörüne paralel bağlı bir omik yük grubuna bağlanmıştır. Seçilen filtre değerleri, gerçek bir kesintisiz güç kaynağının filtre değerleri ile uyumludur.



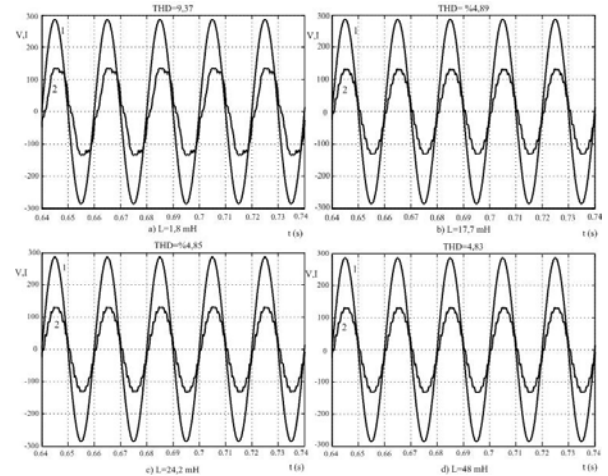
Şekil 4.18 Darbeli doğrultucunun Simulink modeli

Şebeke gerilimleri dengeli iken doğrultucu çıkışına bağlanan IPT'nin farklı endüktans değerleri için yük ile akım harmoniklerinin değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Buradan IPT endüktans değerinin artırıldıkça şebekeden çekilen akım harmoniklerinin önemli miktarda azaldığı görülmektedir. Tam yük durumunda, 24,2mH değerinden sonra akım harmoniklerindeki azalma yavaşlamaktadır. IPT endüktans değerinin büyük olması, özellikle düşük yük koşullarındaki akım harmoniklerinin azaltılmasında etkilidir. Şekil 6'da 1,8mH, 17,7mH, 24,2mH ve 48mH değerlerindeki

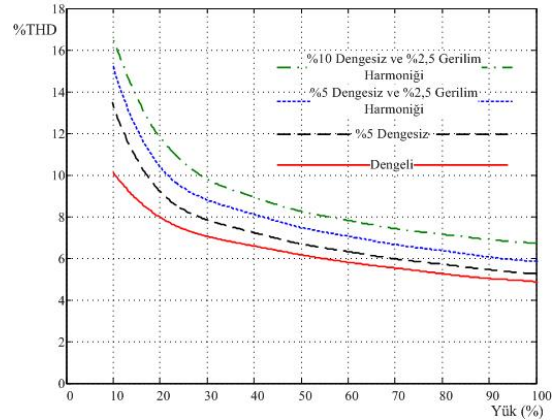
IPT'ler için şebeke gerilimi ve şebeke akımı gösterilmiştir. Daha anlaşılır olması için akımın iki katı çizdirilmiştir. Şekilden IPT'nin 17,7mH değerinden sonra akım dalga şeklinin sinüse yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca doğru gerilim üzerindeki alternatif gerilim bileşeni değeri azalmakta ve daha kaliteli bir doğru gerilim elde edilmektedir (1).



Şekil 5. Dengeli şebeke şartlarında IPT'nin farklı endüktans değerleri için Yük-%THD değişimi

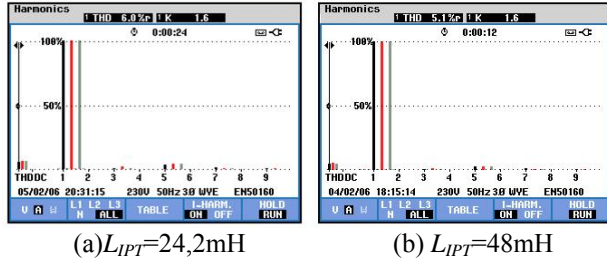


Şekil 6. IPT'nin farklı endüktans değerlerinde şebeke gerilimi (1) ve şebeke akımı (2)



Şekil 7. 24,2 mH'lik IPT için dengeli, %6 dengesiz ile %6 dengesiz ve %2,5 gerilim harmoniği içeren şebeke koşullarında Yük-%THD değişimi

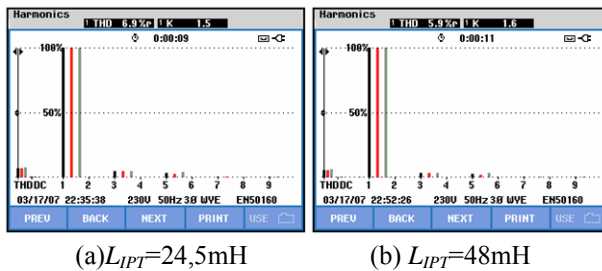
Genellikle şebeke geriliminde %2-%3 değerinde harmonik bileşeni bulunmakta olup, endüstriyel ortamlarda bu değer % 5'e kadar yükselebilmektedir. Benzer şekilde şebeke gerilimindeki dengesizliklerin varlığı da sıklıkla karşılaşılan bir durumdur.



Şekil 8. %1 dengesiz ve %2,5 gerilim harmoniği bulunan şebeke koşullarında doğrultucu akım harmonikleri

24,2 mH'lik IPT için dengeli, %6 dengesiz ile hem %6 ve %10 dengesiz ve %2,5 gerilim harmoniği içeren şebeke koşullarında yük-%THD değişimi Şekil.7'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi dengeli durumda ve anma yükü civarında şebeke akımındaki toplam harmonik bozulum değeri %5'in altında iken, şebeke-deki gerilim dengesizliği ve gerilim harmoniği nedeniyle bu değer aşılmaktadır. IPT endüktansının uygun seçilmesiyle bu durumun etkisi azaltılabilecektir.

İki farklı endüktans değerindeki IPT'ler ile sırasıyla, %1 dengesiz ve %2,5 gerilim harmoniği içeren şebeke koşullarında (Şekil 8) ve %10 dengesiz ve %3,4 gerilim harmoniği içeren şebeke (Şekil 9) koşullarında iken doğrultucu çalıştırılmış olup ölçülen akım harmonikleri verilmiştir. Bu endüktans değerleri önerilen yöntem kullanılarak sırasıyla ideal şebeke koşulları ve düzensizlikler içeren şebeke koşulları için tespit edilen IPT endüktans değerleridir. Şekil 8'den de görüldüğü gibi IPT değerinin düzensiz şebeke şartları için hesaplanan değerine yükseltilmesi ile akım harmonikleri önemli miktarda azalmış ve standartlara karşılayacak seviyeye inmiştir.



Şekil 9. %10 dengesiz ve %3,4 gerilim harmoniği bulunan şebeke koşullarında akım harmonikleri

HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD%	5.1	5.5	5.3	53.0
H3%	0.6	1.7	0.5	52.0
H5%	2.5	2.7	2.7	4.4
H7%	1.1	0.7	0.6	6.1
H9%	0.4	0.5	0.2	4.0
H11%	1.2	1.5	1.6	4.0
H13%	1.0	1.4	0.7	1.5
H15%	0.1	0.4	0.3	0.6

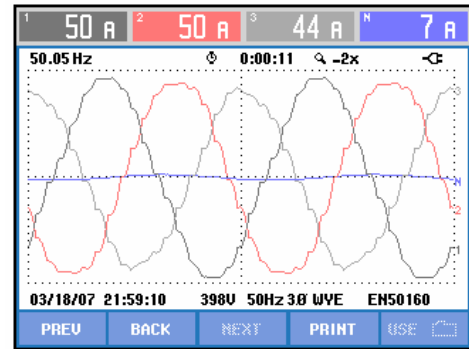
(a) %1 dengesiz şebeke

HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD%	5.9	5.9	6.7	4.9
H3%	3.3	3.3	3.2	4.3
H5%	2.8	2.5	3.2	1.5
H7%	0.7	0.2	0.7	0.4
H9%	0.4	0.5	0.2	0.9
H11%	0.4	0.8	0.8	0.4
H13%	0.5	0.5	0.1	0.1
H15%	1.0	1.2	1.4	0.6

(b) %10 dengesiz şebeke

Şekil 10. Farklı şebeke koşullarında 48mH IPT endüktans değeri için akım harmonikleri

Şekil 10'da sırasıyla %1 ve %10 dengesiz şebeke koşullarında ölçülen akım harmonik bileşenleri verilmiştir. Şebeke gerilimindeki dengesizliğin artması karakteristik olmayan 3 ve 5. harmoniğin artmasına neden olmaktadır. Şebeke gerilimindeki dengesizlik arttıkça harmonik bileşenlerinin değerleri de artmaktadır. Şekil 11'de Şekil 10(b)'de harmonikleri gösterilen şebeke akımının dalga şekilleri verilmiştir. Uygun IPT endüktans değerinde dengesiz şebeke şartlarında dahi şebekeden çekilen akımın sinüsoidal olduğu görülmektedir.



Şekil 11. %10 dengesiz durumda şebeke akımları

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada dengesiz ve harmonik bileşenler içeren şebeke şartlarında çalışan 18 darbeli bir doğrultucunun akım harmoniklerinin azaltılması amacıyla kullanılması gereken IPT'lerin endüktans değerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem bilgisayar ortamında ve deneysel olarak doğrulanmıştır. IPT endüktansının gerilim dengesizliği nedeniyle akım harmoniklerindeki artışı üzerinde etkili olduğu, bu endüktansın uygun değerinde seçilmesiyle harmoniklerdeki artışın sınırlandırılacağı gösterilmiştir. Uygun IPT değerleri ile dengesiz ve harmonik bileşenler içeren şebeke koşullarında ve büyük değerli kondansatör gruplarının bağlı olduğu kesintisiz güç kaynağı ve ayarlanabilir hızlı sürücüler gibi kapasitif yük uygulamalarında dahi 18 darbeli doğrultucu şebeke akımının uluslararası standartlara uygun hale getirilebileceği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

1. Sefa, İ., Altın, N., “Kesintisiz Güç Kaynakları İçin 18 Darbeli Bir Doğrultucu”, Politeknik Dergisi, Cilt:9, Sayı:3, Sayfa:147-152, 2006.
2. Oguchi K., Maeda G., Hoshi N., Kubata T. Coupling rectifier systems with harmonic cancelling reactors. IEEE Industry Applications Magazine ;7:Page(s):53–63, 2001
3. Chern-Lin Chen, Guo-Kiang Horng, A New Passive 28-Step Current Shaper for Three-Phase Rectification, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 47, Issue 6, Page(s):1212–1219, 2000
4. Alexa, D., Sirbu, A., Dobrea, D. M., “An Analysis of Three-Phase Rectifiers with Near-Sinusoidal Input Currents”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 51, Issue 4, Page(s):884–891, 2004.
5. De Seixas, F.J.M., Barbi, I., “A 12 kW Three-Phase Low THD Rectifier With High-Frequency Isolation and Regulated DC Output”, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.19, No.2, Page(s):371-377, 2004.
6. Kamath, G. R., Benson, D. and Wood, R., 2002, “A Novel Autotransformer based 18 Pulse Rectifier Circuit”, June, IEEE Transactions on Power Electronics, 10(5): 325-337, 2002.
7. Skibinski, G., Guskov, N., Zhou, D., “Cost Effective Multi-Pulse Transformer Solutions for Harmonic Mitigation in AC Drives”, Industry Applications Conference, 2003, 38th IAS Annual Meeting, Conference Record of the Volume 3, Page(s):1488–1497, 2003.
8. Kamath, G. R., Runyan, B. and Wood, R., “A Compact Autotransformer Based 12 Pulse Rectifier Circuit”, IECON’01, The 27th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society, Colorado, 1344-1349, 2001.
9. Kang, M., Woo, B. O., Enjeti, P. and Pitel, I. J., “Autoconnected–Electronic–Transformer–Based Multipulse Rectifier for Utility Interface of Power Electronic Systems”, IEEE Transaction on Industry Applications, 35(3): 646-656, 1999.
10. Oguchi, K.; Kubota, T.; Hoshi, N., “Asymmetrical Nine-Phase Voltage Step-up/down Diode Rectifiers with 18-Step Input Currents”, Industry Applications Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005, Volume 1, Page(s):177-184, 2005.
11. Burgos, R.P., Uan-Zo-li, A., Lacaux, F., Roshan, A., Wang, F., Boroyevich, D., “Analysis of New Step-up and Step-down 18-Pulse Direct Asymmetric Autotransformer - Rectifiers”, Industry Applications Conference, Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005, Volume 1, Page(s):145-152, 2005.
12. Zhu, H., Burgos, R.P., Lacaux, F., Uan-Zo-li, A., Lindner, D.K., Wang, F., Boroyevich, D., “Average Modeling of Three-Phase and Nine-Phase Diode Rectifiers with Improved AC Current and DC Voltage Dynamics”, Industrial Electronics Society, IECON 2005, 32nd Annual Conference of IEEE, 6-10 Nov. 2005 Page(s):6 pp.2005.
13. De Seixas, F.J.M., Barbi, I., “A New 12 Kw Three-Phase Impulse High Power Factor AC-DC Converter With Regulated Output Voltage for Rectifier Units”, Telecommunications Energy Conference, INTELEC '99, The 21st International, Page(s):8 pp, 1999.
14. Asiminoaei, L., Hansen, S., Blaabjerg F., “Development of Calculation Toolbox for Harmonic Estimation on Multi-Pulse Drives”, Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE, Volume 2, Page(s):878-885, 2004.
15. Katic, V., Graovac, D., Knezevic, J., “Line Side Harmonics of Unbalanced AC/DC Converter in Transient and Steady State”, Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE '95, Volume 1, Page(s):127-132, 1995.
16. Hink, K. M., “18 Pulse Drives and Voltage Unbalance”, MTE Corporation Report, www.mtecorp.com
17. Seung-Gi Jeong, Ju-Yeop Choi, “Line Current Characteristic of Three-Phase Uncontrolled Rectifiers Under Line Voltage Unbalance Condition”, Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume 17, Issue 6, Page(s):935-945, 2002.
18. Yii -Shen Tzeng, Nanming Chen, Ruay-Nan Wu, “Modes of Operation in Parallel-Connected 12-Pulse Uncontrolled Bridge Rectifiers Without an Interphase Transformer”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 44, Issue 3, Page(s):344-355, 1997.
19. Kelley A.W., Yadusky W.F. “Rectifier Design for Minimum Line-Current Harmonics and Maximum Power Factor”, Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume 7, Issue 2, Page(s):332-341, 1992