

Düşük Harmonikli 12 Darbeli Doğrultucu Tasarımı

Designing of A 12-Pulse Rectifier With Low Harmonic Contents

Özgün GİRGIN¹, Mustafa Hadi SARUL¹, Ahmet Faruk BAKAN¹

¹Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

ogirgin@yildiz.edu.tr, sarul@yildiz.edu.tr, fbakan@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, hat komütasyonlu doğrultucuların giriş akım harmonikleri bakımından şebekeye olan etkileri araştırılmıştır. Doğrultucu darbe sayısı ile harmonik içerik arasındaki ilişki farklı çalışma koşulları altında simülasyon programları vasıtasıyla incelenmiştir. Ayrıca incelemeler sonucunda maliyet ve devre karmaşıklığı bakımından daha avantajlı olan bir devre tasarımı ortaya atılmış ve aynı çalışma şartları altında incelenen doğrultucularla kıyaslanmıştır.

Abstract

This paper deals with input current waveform of line comutated rectifiers and comparison of multipulse thyristor rectifiers. In the rectifiers, harmonic contents decreases with increasing number of pulses. The reduction in the harmonic contents in the input currents provided by simulation results. Furthermore, a thyristor rectifier which has low harmonic contents was developed. The performance of the improved system is evaluated via computer simulations and design rules of the system are analyzed.

1. Giriş

Gelişen teknoloji ve yükselen refah düzeyi sayesinde, elektrikli cihazların kullanımı giderek artmakta ve daha fazla enerji tüketilmektedir. Güç elektroniği dönüştürücüleri, elektriksel yüklerin ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Güç elektroniği dönüştürücüleri arasında en çok kullanılan dönüştürücü türü ise doğrultuculardır[1]. Doğrultucular AC gerilimi DC gerilime dönüştüren temel güç elektroniği dönüştürücüsüdür. AC/DC dönüştürücüler yüksek güçlerde genellikle 50 Hz'lik transformatör ve tristörler ile gerçekleştirilmektedir. Klasik doğrultucu sistemleri basit, ucuz ve dayanıklı yapıları nedeniyle tercih edilmektedir. Düşük güçlerde, klasik doğrultucular yerine IGBT güç elemanları ve yüksek frekans transformatörü içeren AC/DC dönüştürücüler kullanılmaktadır[4]. Güç yoğunluğu, verim ve enerji kalitesi açısından çok iyi özelliklere sahip olan bu dönüştürücüler, klasik dönüştürücülere göre oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Modern doğrultucu sistemlerinde arıza oluşma riski tristörlü doğrultuculara göre daha yüksektir. Ayrıca modern

doğrultucu sistemlerinde belirli bir güce kadar çıkılabilmektedir. Bunun ilk nedeni IGBT güç elemanlarındaki sınırlamalardır. İkinci önemli nedeni ise ferit transformatörlerden oluşan yüksek frekans güç transformatörünün yüksek güçlerde gerçekleştirilmesindeki sınırlamalardır. Bu nedenlerden dolayı endüstrideki doğrultucu ihtiyacı genellikle modern doğrultucu sistemleri yerine klasik doğrultucu sistemleri ile karşılanmaktadır[5].

Klasik doğrultucular şebekeden yüksek harmonik içerikli akım çekmektedirler. Bu sebeple giriş akımı toplam harmonik distorsiyonu (THDi) yüksek değerlerdedir. Doğrultucuların toplam harmonik distorsiyon (THDi) değerini düşürmek için literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Genellikle pasif filtre kullanılarak THDi değeri düşürülmektedir. Doğrultucuların THDi değeri ve çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarı darbe sayısının artması ile azalmaktadır. Literatürde doğrultucularda darbe sayısını arttırmak üzere birçok yöntem bulunmaktadır[7]. Son yıllarda yüksek akımlı redresörlerde çok fazlı DC kıyıcı kullanımı dikkat çekmektedir. DC kıyıcı kullanıldığında reaktif güç kompanzasyonu ihtiyacı ortadan kalkmaktadır[8,9]. Harmoniklerin bastırılması için aktif filtre de kullanılabilmektedir[4]. Aktif filtreler yüksek maliyet ve karmaşık yapıları nedeniyle eleştirilmektedir.

2. Endüstriyel Doğrultucular ve Harmonik Standartları

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan diyotlu ve tristörlü doğrultucuların şebekeden çektiği akımlar IEEE-519 harmonik standartlarını sağlamamaktadır [1,2]. IEEE-519 standardında güç elektroniği dönüştürücüleri ve lineer olmayan yüklerin şebekeye verebilecekleri harmonik akım limitleri yüzdesel olarak Tablo 1'de gösterilmiştir.

Endüstriyel doğrultucularda(6 darbeli) THDi değeri %30 civarındadır. THDi değerinin düşürülmesi ve çıkış gerilimindeki dalgalanmanın azaltılması amacıyla 12 darbeli doğrultucular kullanılmaktadır.

Tablo 1: IEEE 519 harmonik limitleri

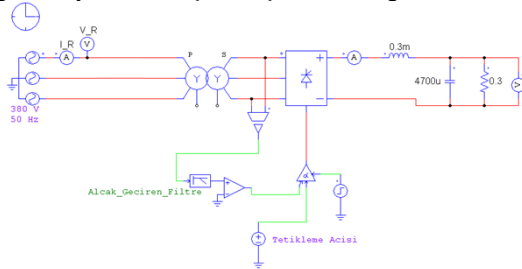
I_{sc}/I_1	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THDi (%)
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

12 darbeli doğrultucularda, aralarında 30° faz farkı olan iki adet üç fazlı gerilim kaynağı ve 12 adet tristör mevcuttur. Bu doğrultucularda THDi değeri %15 civarındadır. Tristörlü doğrultucularda THDi değerini daha da azaltmak için darbe yani faz sayısını dolayısıyla transformatör ve tristör sayısı arttırmak gerekir. Çok fazlı transformatör üretimindeki zorluklar ve tristör sayısındaki artışın sistem maliyet ve karmaşıklığını artırması nedeniyle THDi değerinin azaltılması için faz sayısının artırılması genellikle tercih edilmemektedir. Bunun yerine pasif filtreler kullanılmaktadır. Pasif filtre elemanlarının doğal bir parçası olan kondansatörler ayrıca reaktif güç kompanzasyonuna da katkı sağlamaktadır.

Doğrultucular $n \cdot m \pm 1$ nolu harmonik akımlar üretmektedir. Burada n tamsayı ve m doğrultucudaki darbe sayısıdır. Örneğin 6 darbeli bir doğrultucuda 5, 7, 11, 13, 17, 19... nolu harmonikler bulunmaktadır. 6 darbeli bir doğrultucuda 5. harmoniği filtre etmek için 250 Hz'e ayarlanmış L ve C elemanları kullanılır. Her bir harmonik için ayrı ayrı filtre kullanılabilir. Filtre elemanlarının sayısını azaltmak için özellikle yüksek değerli harmoniklerde örneğin 17 ve 19 nolu harmoniklerin bastırılması için filtrenin merkez frekansı 18. harmoniğe denk getirilerek, 17 ve 19 için tek bir filtre kullanılır. Filtrenin toplam C değerine göre şebekeden çekilen toplam kapasitif güç değişir. Sadece darbe sayısını arttırarak standartları sağlayan bir doğrultucu tasarımı yapıldığında darbe sayısının 48 ve üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu tasarım ise maliyetli ve karmaşık bir kontrol devresine sahiptir.

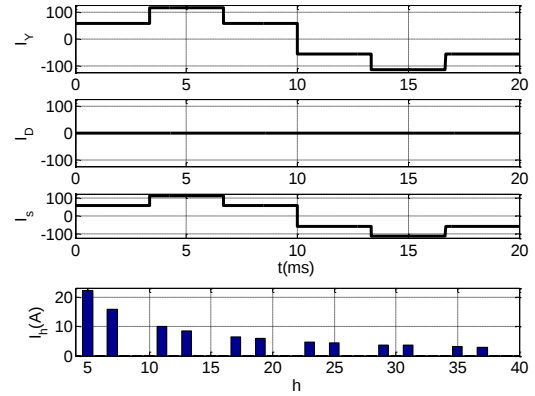
3. Çok Darbeli Doğrultucuların Şebeke Harmonikleri Açısından Karşılaştırılması

Çok darbeli doğrultucuların giriş akım harmoniklerini karşılaştırmak üzere MATLAB ve PSIM programları ile simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlarda giriş gerilimi 220V, frekans 50Hz, çıkış gerilimi 110V ve çıkış akımı 100A seçilmiştir. Transformatör dönüştürme oranı $220V \pm \%10$ giriş geriliminde çalışacak şekilde belirlenmiştir. 6 darbeli doğrultucuda Y/Y transformatör kullanılmıştır. 6 darbeli doğrultucuya ait devre şeması Şekil 1'deki gibidir.



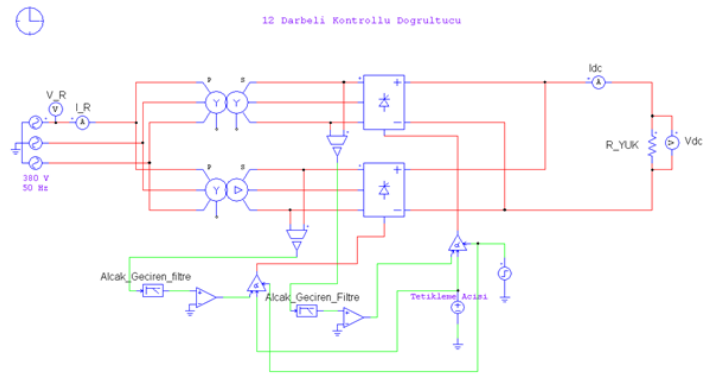
Şekil 1: 6 darbeli doğrultucuya ait devre şeması.

Sistemin şebekeden çekilen akımlar ve harmonikler Şekil 2'de görülmektedir.

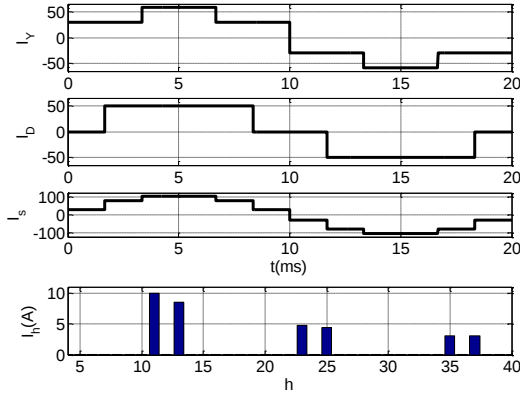


Şekil 2: 6 darbeli doğrultucunun şebekeden çektiği akımlar ve harmonikler.

12 darbeli doğrultucuda Δ/Y ve Y/Y transformatörler ile beslenen iki adet 6 darbeli doğrultucu bulunmaktadır. Doğrultucuları besleyen Y ve Δ transformatör akımları (I_Y , I_D) ile şebekeden çekilen akım (I_S) değişimleri, şebekeden çekilen akımın harmonik spektrumu (I_h) ve THDi değerleri simülasyon ile elde edilmiştir. 12 darbeli doğrultucuya ait devre şeması Şekil 3'te, simülasyon sonuçları ise Şekil 4'de verilmiştir. Ayrıca 6, 12, 24, 36 ve 48 darbeli doğrultuculara ait sonuçların özeti Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3: 12 darbeli doğrultucuya ait devre şeması.



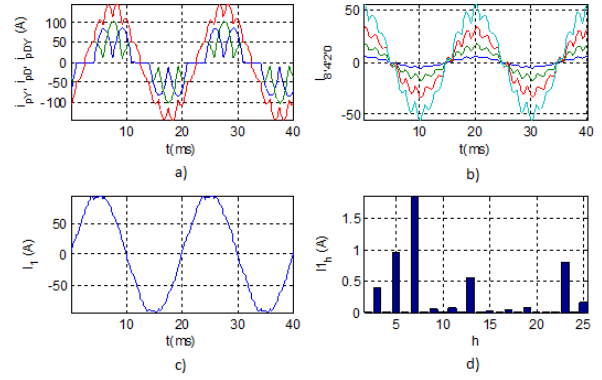
Şekil 4: 12 darbeleri doğrultucunun şebekeden çektiği akımlar ve harmonikler.

Tablo 2’de görüldüğü gibi 6 darbeleri bir doğrultucuda çok yüksek değerlere sahip 5,7,11,13.. nolu düşük harmonikler bulunmaktadır. Bu harmoniklerin bastırılması için gereken pasif filtrenin reaktif gücü oldukça yüksektir. Şekil 2’te görüldüğü gibi 6 darbeleri doğrultucuda bir tristörden geçen akım diğer doğrultuculardaki tristörlere göre iki kat fazladır. 12 darbeleri doğrultucuda 11 ve 13 nolu harmoniklerin değeri oldukça yüksektir. 48 darbeleri doğrultucuda ise harmonik filtre kullanmaya gerek olmadığı görülmektedir.

Tablo 2: Simülasyonu yapılan çok darbeleri doğrultucularda THDi ve harmonik akım değerleri

Darbe Sayısı (m)	6	12	24	36	48
THDi (%)	31.078	15.213	7.764	5.249	4.005
I_5 (A)	22.127	0	0.196	0.189	0.302
I_7 (A)	15.851	0	0	0	0
I_{11} (A)	10.043	10.007	1.340	1.080	0.964
I_{13} (A)	8.547	8.541	1.167	0.851	0.803
I_{17} (A)	6.489	0	0	0	0
I_{19} (A)	5.856	0	0	0	0
I_{23} (A)	4.789	4.764	4.885	0.461	0.287
I_{25} (A)	4.457	4.460	4.582	0.497	0.332
I_{29} (A)	3.792	0	0	0	0
I_{31} (A)	3.599	0	0	0	0
I_{35} (A)	3.137	3.116	0.409	3.189	0.235
I_{37} (A)	3.020	3.026	0.422	3.105	0.359

Çok darbeleri doğrultucu seçiminde filtre elemanları ile birlikte toplam maliyet ve karmaşıklık kriterleri ön plana çıkmaktadır. Filtre elemanları aynı zamanda doğrultucu sistemin bir parçası olarak düşünülmelidir. Şebeke ile filtre elemanları arasında rezonans oluşması önlenmeli ve tüm çalışma aralığında reaktif güç kompanzasyonu sağlanmalıdır. Çok darbeleri doğrultucunun gerçekleştirme zorluğu (tristör sayısı ve tetikleme devresi sayısı, hacim, kontrol devresi karmaşıklığı v.b.) aynı zamanda güvenilirlik açısından da değerlendirilmelidir. Tüm bu koşullar göz önünde bulundurularak tasarlanan devre yapısı Ek A’da görülmektedir.



Şekil 5: Tasarlanan Sisteme ait a) Y, Δ akımları ve Toplamı b) Kademelere göre Filtre akımları, c) Şebekeden çekilen bir faz akımı, d) Şebekeden çekilen bir faz akım harmonikleri

4. Sonuçlar

Tasarlanan 12 darbeleri doğrultucu ve filtre devresinin simülasyon sonuçları Şekil 5’teki gibidir. Filtre devresi biri sabit olan 4 ayrı koldan oluşmaktadır. Bu durumda 8 farklı kombinasyon ile farklı yüklerde çalışacak durumda sistem tasarlanmıştır. Şebekeden çekilen bir faz akımındaki %THDi değeri %3.63’tür.

Bu çalışmada; şebekeden çekilen akım harmonikleri açısından, çok darbeleri doğrultucular karşılaştırılmıştır. Özellikle 12 darbeleri doğrultucu ile filtre grubunun oluşturduğu bir yapı, çok darbeleri diğer doğrultucular ile karşılaştırıldığında oldukça avantajlı bulunmuştur. Uluslararası standartların sağlanabilmesi için, klasik 48 darbeleri doğrultucuya ihtiyaç olduğu ve 48 adet faz gerilimi ile 48 adet tristöre ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Tasarlanan devre yapısının maliyet, güç yoğunluğu ve devre karmaşıklığı bakımından daha üstün olduğu görülmektedir.

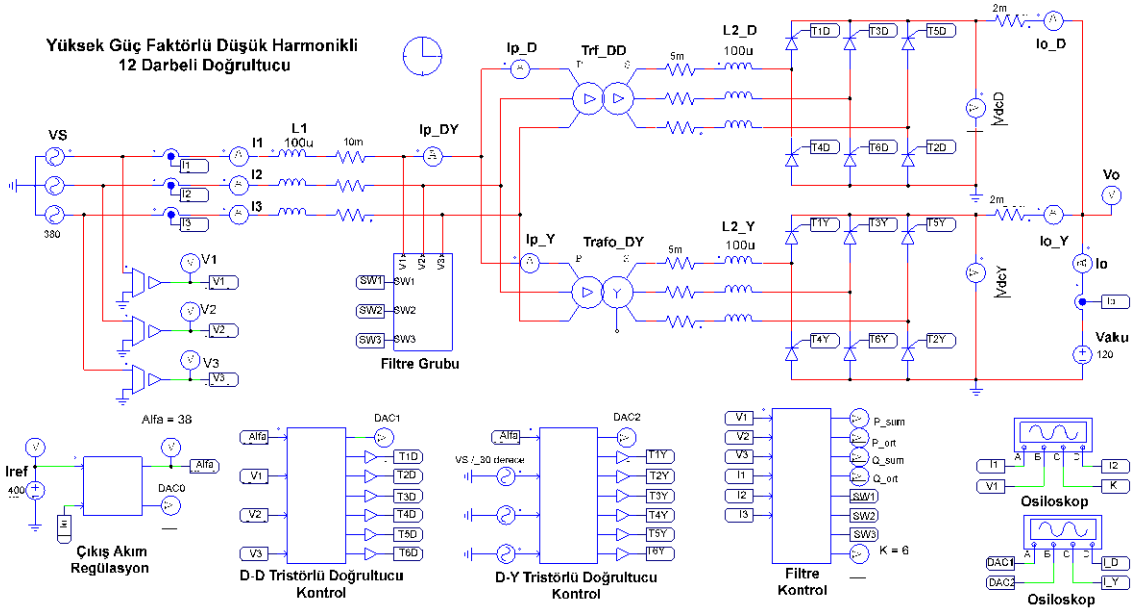
Yapılan incelemeler sonucunda özellikle yüksek enerji kalitesi istenen uygulamalarda tasarlanan filtre grubu ile doğrultucu sisteminin diğer yöntemler içinde tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] D. E. Rice, “A detailed analysis of six-pulse converter harmonic currents,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 30, no. 2, pp. 294–304, Mar./Apr. 1994.
- [2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Standard 519, 1992.
- [3] Kim S., Enjeti P.N., Packbush P., Pitel I.J.: ‘A new approach to improve power factor and reduce harmonics in a three phase diode rectifier type utility interface’, IEEE Trans.Ind. Appl., 1994, 30, (6), pp. 1557–1564

- [4] Raju N.R., Venkata S.S., Kagalwala R.A., Sastry V.V.: 'An active power quality conditioner for reactive power, harmonics compensation'. Proc. IEEE PESC'95, 1995, pp. 209–214.
- [5] J. R. Rodriguez, J. Pontt, C. Silva, E. P. Wiechmann, P. W. Hammond, F. W. Santucci, R. Alvarez, R. Musalem, S. Kouro, and P. Lezana, "Large current rectifiers: State of the art and future trends," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 3, pp. 738–746, Jun. 2005.
- [6] Chi-Jui, W., Jung-Chen, C., Shih-Song, Y., Ching-Jung, L., Jin-Shyr, Y., Tzong-Yih, G., "Investigation and Mitigation of Harmonic Amplification Problems Caused by Single-Tuned Filters", Power Delivery, IEEE Transactions on, Volume 13, Issue 3, July 1998, Page(s):800–806, 1998.
- [7] Choi S., Enjeti P.N., Lee H.H., Pitel I.J.: 'A new active interphase reactor for 12-pulse rectifiers provides clean power utility interface', IEEE Trans. Power Electron., 1996, 32, pp. 1304–1311
- [8] P. S. Maniscalco, V. Scaini, and W. E. Veerkamp, "Specifying DC chopper systems for electrochemical applications," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 37, no. 3, pp. 941–948, May/Jun. 2001.
- [9] M. Mazaheri, V. Scaini, and W. E. Veerkamp, "Cause, effects and mitigation of ripple from rectifiers," in Proc. IEEE PCIC, 2002, pp. 85–91.
- [10] V. Scaini and T. Ma, "High current DC choppers in the metals industry," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 8, no. 2, pp. 26–33, Mar./Apr. 2002.
- [11] 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, Aug. 2004, Page(s):884–891, 2004.
- [12] S. Fukuda and M. Ohta, "An auxiliary-supply-assisted twelve-pulse diode rectifier with reduced input current harmonics," in Proc. IEEE Inst. Aeronaut. Sci. Annu. Meet., Oct. 2004, vol. 1, p. 452.

Ek A



12 darbeli doğrultucuda trafo akımları, şebekeden çekilen akımlar ve harmonikler