



Elektrikli Süpürge Uygulamalarında Triyak Tabanlı AC Kıyıcılarda Bastırma Hücresi Tasarımı

Snubber Cell Design in Triac Based AC Choppers in Vacuum Cleaner Applications

Serdar AKTEKİN¹, Barış ÇARKACI², Erdem AKBOY³

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Beykent Üniversitesi-Okida Elektronik San.ve Tic. A.Ş.
serdar.aktekin@okida.com

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi- Okida Elektronik San.ve Tic. A.Ş.
baris@okida.com

³Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
ekboy@yildiz.edu.tr

Özet

AC kıyıcı devreleri, tristör ve triyak gibi tetiklemeli güç elemanları kullanılarak, girişteki AC gerilim değerinin, çıkışta farklı bir gerilim değerine değiştirildiği uygulamalardır. Triyak tabanlı AC kıyıcı devreleri, endüstriyel alanda aydınlatma ve ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, tek kontrol devresi ve tek soğutucu gibi avantajları sebebi ile, AC Motor uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda, triyak elemanının kesime girmesi sırasında gerilimde salınımlar oluşabilmektedir. Bu salınımlar ancak bastırma elemanlarının kullanılması ile giderilebilmektedir. Bu çalışmada, motor uygulamasında triyak elemanının gerilim salınımları bastırılmıştır.

Abstract

AC chopper circuits are applications where the AC voltage value at the input is changed to a different voltage value at the output by using triggered power elements such as thyristor and triac. Triac based AC chopper circuits are used at lighting and heating applications at industrial areas. Moreover, AC chopper circuits are widely used in AC Motor applications due to their advantages such as single control circuit and single cooler. In such applications, voltage oscillations may occur during the cut-off of the triac element. These oscillations can only be eliminated by the use of damping elements. In this study, voltage oscillations of the triac element were suppressed in the motor application.

1. Giriş

Güç dönüştürücüleri, elektrik enerjisini belirli değerlere sahip bir formdan başka bir forma dönüştüren donanımlardır. Temel

olarak bir güç dönüştürücüsü sistemi, giriş kaynağı ve çıkış yükü ile bu ikisi arasında yer alan dönüştürücü devreden oluşmaktadır. Uygulamalarda, giriş elektrik enerjisi DC veya AC formlarda bulunmaktadır. Giriş olarak DC gerilim olan uygulamalar zorlamalı komutasyonlu, AC olan uygulamalar ise doğal komutasyonlu uygulamalardır. Doğal komutasyonlu uygulamalarda diyot, tristör ve triyak gibi SCR ailesine ait yarı iletken elemanlar kullanılmaktadır. Zorlamalı komutasyonlu uygulamalarda ise MOSFET ve IGBT gibi BJT ailesine ait yarı iletken elemanlar kullanılmaktadır.

AC kıyıcı devreleri, girişte belirli bir gerilim ve frekans değerine sahip AC gerilimi, çıkışta belirli bir AC gerilim ve frekansa çeviren güç dönüştürücüleridir. Endüstriyel alanda, düşük güçlü uygulamalarda ısı ve ışık kontrolü ile orta güçlerde AC motor kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu dönüştürücüler doğal komutasyonlu olup, SCR ailesine ait yarı iletkenler kullanılmaktadır [1-8]

Güç dönüştürücülerinde anahtarlama anlarında, devredeki parazitik elemanlar, yarı iletken elemanlar üzerinde salınımlara, ilave akım ve gerilim streslerine neden olmaktadır. Bu değerlerin artması, devrede kayıpların, maliyetin, boyutların ve Elektro Manyetik Girişimin (EMG, EMI) artmasına neden olmaktadır. Bu sorunlar ancak ilave bastırma elemanlarının kullanılması ile çözülebilmektedir [2].

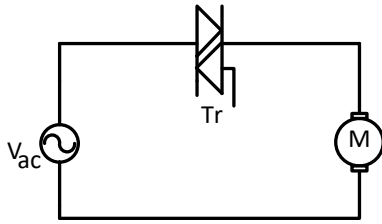
Bir fazlı asenkron motorlar, kontrol kolaylığı ve basit yapısı sebebiyle, elektrikli ev aletlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu motorların hız kontrolünde, literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. IGBT tabanlı kontrol uygulamalarında, anahtarlama frekansının artması ilave kayıplara ve EMI gürültülerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu uygulamalarda şebeke periyodunun algılanması

gerekmekte ve kontrol zorlaşmaktadır. Bu sebeple uygulamalarda, basit yapılı ve faz kontrollü triyak tabanlı AC kıyıcı dönüştürücüler tercih edilmektedir. Burada faz kontrol açısının değiştirilmesi ile motorun hız ayarı yapılmaktadır [3,4].

Bu çalışmada elektrikli süpürge uygulamalarında kullanılan, 220V-1144W motor için, triyak tabanlı bir AC kıyıcı dönüştürücü önerilmektedir. Önerilen dönüştürücüde, triyak elemanının kesim ve iletim anlarındaki salınımlar bastırma elemanları kullanılarak bastırılmıştır.

2. AC Kıyıcı Dönüştürücü

Şekil 1’de yük olarak elektrik motoru kullanılan temel AC kıyıcı devre şeması verilmektedir. Burada V_{ac} giriş gerilimi, Tr triyak ve M ise motordur. Triyak elemanı faz kontrol yöntemine bağlı olarak elde edilen sinyaller ile tetiklenmektedir.



Şekil 1: Motor bağlı tek fazlı AC kıyıcı devresi

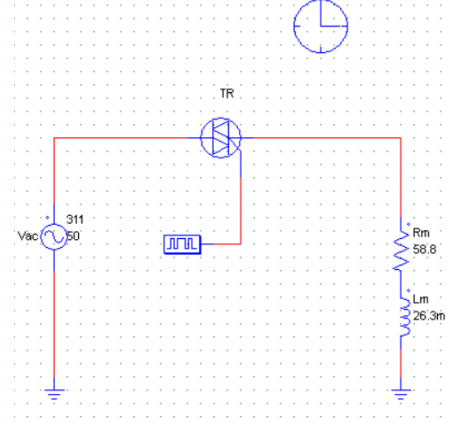
Burada, şebekenin pozitif ve negatif alternanslarında belirli bir açıda tek bir kontrol sinyali, triyak elemanına uygulanmaktadır. Triyak elemanı iletime girdiğinde, kaynaktan motora enerji aktarılır. Motorun endüktansına bağlı olarak, şebeke gerilimi sıfır olsa bile triyak iletimde kalmaya devam eder. Motorun akımı sıfıra indiğinde triyak kesime gider ve diğer alternansa ait kontrol sinyali gelene kadar motordan akım akmaz. Burada motorun efektif gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_m = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\gamma+\pi} V_{ac}^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)} \quad (1)$$

$$V_m = V_{ac} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi + \gamma - \alpha + \frac{1}{2} (\sin 2\alpha - \sin 2\gamma) \right)}$$

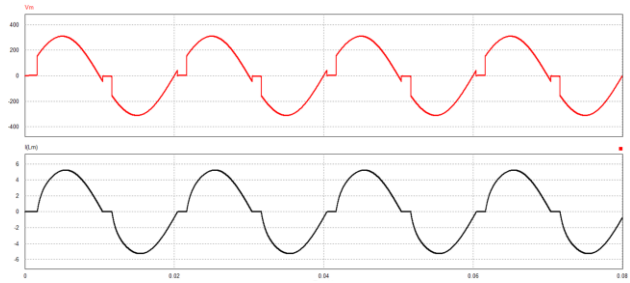
Burada, α kontrol açısı ve γ ise motor endüktansının sönüm açısıdır.

Önerilen AC kıyıcı dönüştürücünün, motor parametreleri dikkate alınarak Şekil 2’de gösterildiği gibi PSIM programında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada, L_m motor endüktansı ve R_m motor iç direncidir.



Şekil 2: AC kıyıcı PSIM devre şeması

Şekil 3’te simülasyon programına bağlı olarak elde edilen, 60° kontrol sinyali için motor akım ve gerilimleri verilmektedir.

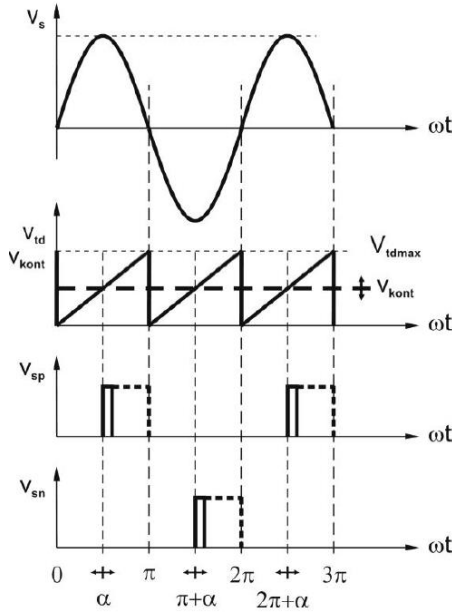


Şekil 3: Motor akım ve gerilimi dalga şekilleri

3. Kontrol Devresi

Tasarlanan tek fazlı triyak tabanlı motor yüklü AC kıyıcı devresinde kontrol olarak, faz kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre testere dişi sinyal ile kontrol gerilimi karşılaştırılmaktadır. Kontrol açısı, testere dişi sinyalin kontrol sinyalinden büyük olduğu anlarda elde edilmektedir. Kontrol açısı aşağıda gibi hesaplanmaktadır. Şebeke gerilimi sıfır geçiş bilgisi transistörlü bir yapı ile mikrokontrolörle aktarılmakta olup, harici sıfır geçiş algılayıcısına ihtiyaç duyulmamaktadır.

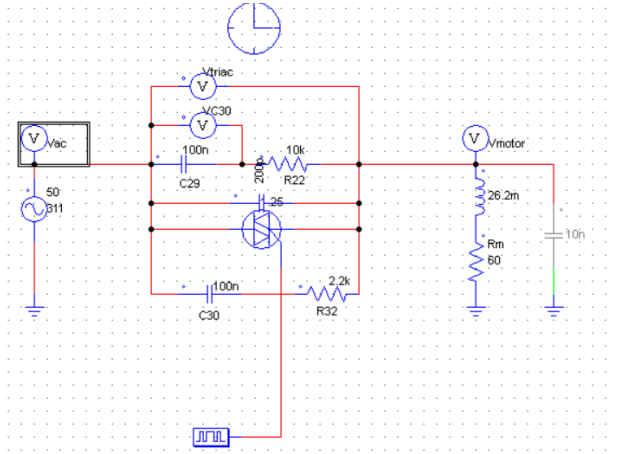
$$\alpha = \frac{V_{kont}}{V_{td}} 180^\circ \quad (2)$$



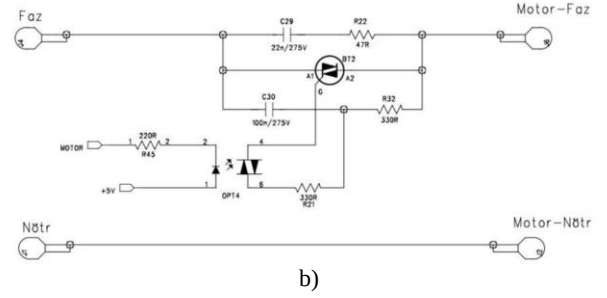
Şekil 4: Faz kontrol yöntemi dalga şekilleri [1]

4. Uygulama Devresi

Tasarlanan tek fazlı triyak tabanlı motor yüklü AC kıyıcı dönüştürücüsüne ait simülasyon ve uygulama şemaları Şekil 5'te verilmiştir. Burada bastırma kondansatörü C29 ve R22'dir. Triyak elemanı, izoleli triyak tetikleme devresi ile tetiklenmektedir. C30 ve R32 ise hem bastırma kondansatörü hem de tetikleme elemanlarıdır. Burada, C29 kondansatörünün büyük değerler alması devrenin dinamik cevap verme süresini yavaşlatmaktadır.



a)



b)

Şekil 5: Tek fazlı motor bağlı triyak tabanlı AC kıyıcı a) Simülasyon ve b) Uygulama devre şeması

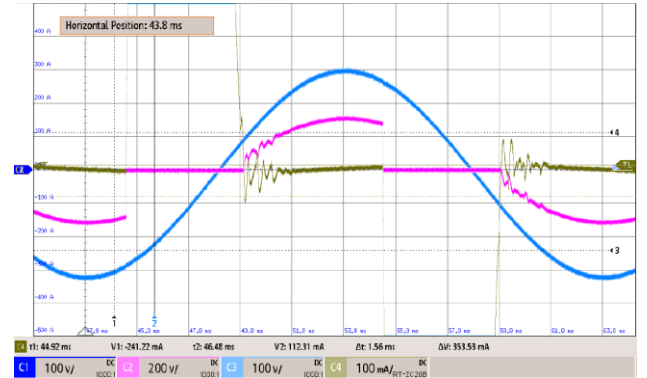
Burada triyak elemanı olarak BTA12-600C kullanılmıştır. Triyaka ait dv/dt değeri $1000V/\mu s$ olarak verilmiştir. Bastırma elemanı değerleri aşağıda verilen formüller dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu çalışmada belirlenen değerler ile farklı değerler için ölçümler alınarak karşılaştırma yapılmıştır. [2] nolu referansa göre kullanılan eleman sayısı oldukça düşüktür.

$$C > \frac{3V_{AC_maks}^2}{\left(L_m \frac{dV}{dt}\right)^2} \quad (3)$$

$$R < \frac{0,8L_m \frac{dV}{dt}}{V_{AC_maks}} \quad (4)$$

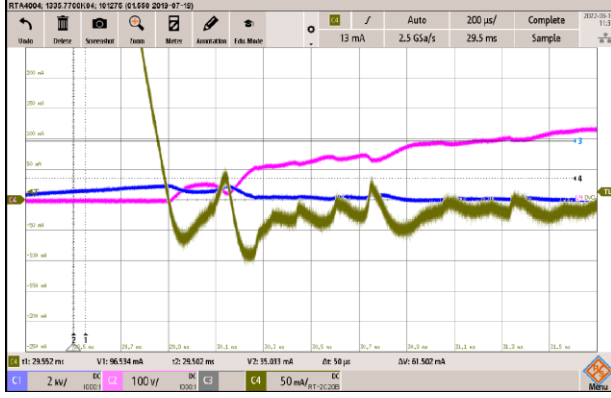
Burada V_{AC_maks} , triyakın maruz kaldığı maksimum giriş gerilimi, C bastırma kondansatörü, R bastırma direncidir.

İlk olarak, dönüştürücüde herhangi bir bastırma elemanı olmadan devre çalıştırılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü üzere, bu durumda triyak gerilim ve akımlarında ciddi anlamda salınımlar olduğu görülmektedir.



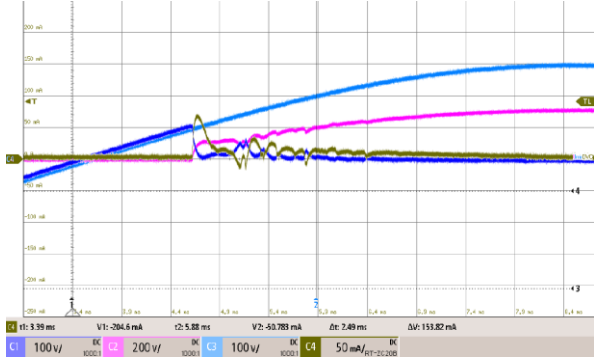
Şekil 6: Triyak gerilim(C2) ve akımı (C4) dalga şekli: Bastırma elemanları yokken

Bastırma hücresi olarak, ilk önce C29 ve C30 kondansatörleri $100nF$, R22 $10k\Omega$ ve R32 ise 330Ω olarak seçilmiştir. Burada gerilim salınımları az da olsa bastırılmıştır. Ancak akım salınımlarının devam ettiği Şekil-7'de görülmektedir.



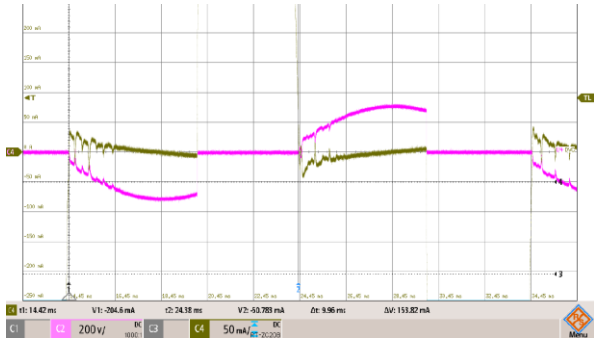
Şekil 7: Triyak gerilim(C2) ve akımı (C4) dalga şekli: C29 ve C30 kondansatörleri 100nF, R22 10kΩ ve R32 ise 330 Ω

Bastırma hücresinde C29 ve R22 elemanları kaldırılarak, sadece C30 ve R32 elemanları kullanılmıştır. C30 kondansatörü 100nF ve R32 direncinin değeri 1kΩ olarak değiştirilmiştir. Burada gerilimin salınımları daha iyi iken akım darbesinin olduğu Şekil-8'de görülmektedir.



Şekil 8: Triyak gerilim(C2) ve akımı (C4) dalga şekli: C30 kondansatörü 100nF ve R32 1k Ω

C30 kondansatörü 100nF ve R32 direncinin değeri 2.2kΩ olarak değiştirilmiştir. Burada gerilimin salınımları ile akım salınımlarının oldukça düştüğü Şekil-9'da görülmektedir. Bu değerler, (3) ve (4) denklemlerinde verilen formüller ile hesaplanan değerler ile uyumludur.



Şekil 9: Triyak gerilim(C2) ve akımı (C4) dalga şekli: C30 kondansatörü 100nF ve R32 2.2k Ω

Böylece bastırma elemanlarının RC çarpımı 2,2ms olduğunda devredeki salınımlar büyük ölçüde bastırılmıştır. Böylece bu

uygulamada, RC çarpımının şebeke periyodunun 1/10'u olduğunda, salınımların minimize edildiği görülmektedir.

5. Sonuçlar

AC kıyıcı devreleri, girişte belirli bir gerilim ve frekans değerine sahip AC gerilimi, çıkışta belirli bir AC gerilim ve frekansa çeviren güç dönüştürücüsüdür. Bu dönüştürücüler, orta güçlerde AC motor kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Güç dönüştürücülerinde anahtarlama anlarında, devredeki parazitik elemanlar, yarı iletken elemanlar üzerinde salınımlara ve ilave akım ve gerilim streslerine neden olmaktadır.

Bu çalışmada elektrikli süpürge uygulamalarında kullanılan, 220V-1144W motor için, triyak tabanlı bir AC kıyıcı dönüştürücü uygulaması gerçekleştirilmiştir. Farklı bastırma hücresi yapıları ile en düşük salınımlı uygulama şebeke periyodunun 1/10'u kesim frekansında elde edilmiştir. Salınımların bastırılması ile elektrikli süpürge gürültü kaynaklı seslerde azaltılmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Bodur, H., Güç Elektroniği, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2010.
- [2] Bodur, H., Sarul M.H. ve Bakan, A.F., "A Passive Lossless Snubber Cell Design for An Ohmic Load PWM IGBT Chopper Fed by a Diode Bridge From AC Mains", International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'99), 1999, 440-444.
- [3] Bodur, H., Sarul M.H. ve Bakan, A.F., "Universal Motor Speed Control with Current Controlled PWM AC Chopper by Using a Microcontroller", The International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2000, 394-398.
- [4] Duranay, Z.B. ve Güldemir, H., "AA Kıyıcı Beslemeli Bir Fazlı Asenkron Motor Hız Kontrolü", Science and Eng. J of Fırat Univ, 30, 111-119, 2018.
- [5] Shrivastava, P., Banerjee, M. ve Kaur, H., "Improvement of AC Chopper Circuit for EV Operation", International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), 2022, 1-4.
- [6] İda, S. ve Miyairi, S. "Effects of PWM Applied in Single Phase AC Chopper Control", Trans. of JIEEE, 103-B1, 7-14, 1983.
- [7] Saracoglu, B., Kale, M. ve Ozdemir, E., "A Novel Technique for Optimal Efficiency Control of Induction Motor Fed by PWM IGBT AC Chopper", IEEE Annual Power Electronics Specialist Conf. , 2004, 3353-3358.
- [8] Bilgin, M.Z. ve Kılıcarslan, U. "Voltage Harmonic Elimination of PWM AC Chopper Using Artificial Neural Network", ELECO'2020, 2020,173-178.
- [9] Deib, D. A. ve Hill, H.W., "Optimal Harmonic Reduction in AC/AC Chopper Converters", The Proceedings of the IEEE Conference PESC'91, 1991, 1055-1060.