

Doğrusal Darbe Genişlik Modülasyonlu IGBT Anahtarlar ile DC Motor Kontrolü

Erol CAN¹

¹ Erzincan Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde Motor Anabilim Dalı, Erzincan, Türkiye

(Geliş Tarihi/Received:26/10/2017 , Kabul Tarihi/Accepted:21/12/2017)

ÖZ

Şimdiye kadar yapılan pek çok çalışmaya bakıldığında, ayarlanabilir hızlı sürüş arzulanan işlemlerde eğer bir motor sistemi tercih edilecekse, DA motor en çok tercih edilen seçenek olduğu görülmektedir. Bu makale DA motorun akım ve tork değişimi doğru akımdan(DA)- doğru akıma(DA) azaltan dönüştürücü ve başlatıcı olmadan parçalı Doğrusal Darbe Genişlik Modülasyon (DDGM) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bundan dolayı Matlab SİMULINK te, ilk olarak doğrusal darbe genişlik modülasyon üretilmekte ve DDGM ler ile doğru akım kaynakları sıralı olarak anahtarlanarak motorun akım tork ve devir ölçümleri yapılmıştır.

Anahtar kelimler: DDGM, DA motor, IGBT, Sıralı kaynak anahtarlama

DC Motor Controlled by IGBT Switches with Linear Pulse Width Modulation

ABSTRACT

Looking at many of the work done so far, it seems that the DC motor is the most preferred option if an engine system is preferred for the desired speed-adjustable operation. This paper has been carried out by using the Partial Linear Pulse Width Modulation (LPWM) method without the current (DC) to direct current (DC) converter and starter in order to control torque , current and speed variation of the DC motor. Therefore, linear pulse width modulation is firstly produced in Matlab SİMULINK. Then, DC current and torque measurements are made after switching the direct current sources with the LPWMs in sequence for DC motor.

Keywords: LPWM, DC motor, IGBT, Sequential source switching

1. Giriş

Geçmişte ve günümüzde güç gerektiren işlerde elektrik motorlarının kullanımı yaygın bir uygulamadır. Motor sistemleri için gereken enerjinin elde edilmesi ve motor yükü üzerinde kontrol edilmesi karmaşık ve zor uygulamalar gerektirmektedir. DA motorlar yenilenebilir ve sabit doğru akım kaynaklarından elde edilen enerjinin dönüşüme uğratılmadan istikrarlı ve

doğrusal özellikleri ile geniş bir aralıkta kontrol edilebilir. Bu nedenle, hem sabit hızlı hem de sabit yük operasyonları için endüstride çokça tercih edilmektedirler (Thadiappan et al 1974; Sheel et al, 2010). Şimdiye kadar yapılan doğru akım motoru kontrol işlemlerinde DA-DA dönüştürücü devreleri kullanılmıştır [Nagarajan et al, 2016; Nagarajan, et al, 2017; Sahin et al, 2017b]. Bu da DA motor kontrol sisteminin

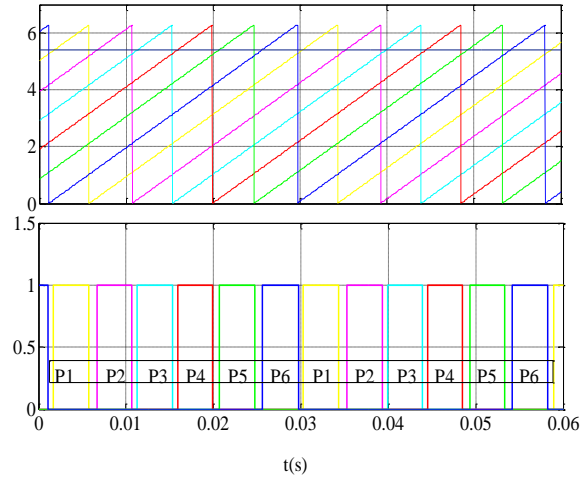
daha karmaşık, düşük performansta ve karşılaştırılmasıyla Şekil 1 de gösterildiği gibi yüksek maliyette olmasını neden olmaktadır. oluşturulur.

Bu makalede doğru akım kaynağı DDGM yöntemiyle parçalı bir şekilde motora uygulanarak, modülasyon indeksi değerine bağlı olarak tork akım ve devir kontrolü yapılmaktadır. Böylelikle DA-DA dönüştürücü nün karmaşık devre yapısını ve yüksek akım gerektiği noktadaki kısıtlamalarını yok ederek, hızlı etkin ve yüksek performansta motor sürüş olanağı sağlanmaktadır. Bunun için ilk önce DDGM üretildi ve DA motor modellendi. DDGM ile DA motor kontrolü Matlab SİMULINK' te gerçekleştirildi. Farklı modülasyon indeks değerleri için DA motorun tork, akım ve devir değerleri elde edildi. Sonuçlar, DDGM yöntemiyle DA kaynağın etkin bir şekilde kontrol etmesiyle motor performansının kontrol edilebileceğini göstermektedir.

2.DDGM ve DA Motor

2.1. Doğrusal Darbe Genişlik Modülasyon Yöntemi (DDGM)

Darbe genişlik modülasyon yöntemi motor kontrolü ve enerji dönüşümü çalışmalarında invertör ve kontvertör devreleri için çok sık bir şekilde kullanılmaktadır[Can et al, 2016a; Su et al, 2006; Can et al, 2016b, Sahin et al, 2017a]. Pek çok çalışma için Sinüs Darbe Genişlik Modülasyon Yöntemi (SDGM) ve Uzak Vektör Darbe Genişlik Modülasyon (SVDGM) yöntemi tercih edilmektedir[Xu et al, 2016; Dudrik et al 2006; Can et al, Isik, 2016a. ve b). Bu çalışmada, DA kaynağı parçalı ve etkin bir şekilde DDGM yöntemi ile DA motoru üzerine uygulanmaktadır. Altı parça DGM, altı adet üçgen sinyali ile bir adet doğrusal sinyalin



Şekil 1. Doğrusal Darbe Genişlik Modülasyon Yöntemi

2.2. DA Motor

Bu bölümde, en önemli avantajlarından biri kolay hız ve tork ayarlaması olan

DA makinenin Matlab Simulink modeli ele alınmıştır. Uygulanan DA motorun matematiksel modeli, dışarıdan uyarımlı DA makine uygulamasına aittir. Modelin bazı parametreleri bulunmaktadır. Armatür direnci R_a , birimi ohm dur; Armatür endüktansı L_a , birimi Henry dir. Alan direnci R_f , birimi ohm dur. Alan endüktansı L_f , birimi Henry dir. Alan armatürünün karşılıklı endüktansı L_{af} , birimi Henry dir. DA makinenin toplam eylemsizliği J , $kg.m^2$ cinsinden dir. DA makinenin toplam sürtünme katsayısı B_m , Nm cinsinden dir. DA makinenin toplam Coulomb sürtünme tork sabiti T_f' , Nm cinsinden dir. K_E voltaj sabiti, birimi volt tur; ω makine devri, birimi rad/s ve rpm dir. Armatür akımı I_a birimi amper dir; T_e elektriksel tork, birimi Nm dir;

Alan akımı I_f , birimi amper dir. Alan terminali +F , -F arasında R_f ve L_f ' nin seri bağlanmasıyla elde edilmiştir. Armatür devresi +A ve -A arasında, R_a ve L_a ' nin seri bağlanmasıyla elde edilmiştir ve bu devreye seri olarak bağlı olarak modellenen elektro motor kuvvet E , Eş. 1 deki gibi ifade edilir.

$$E = K_E w \quad (1)$$

K_E , dışarıdan uyarımlı bir DA makine modelinde alan akımı (I_f) ile orantılıdır. K_E , Eş. 2 deki gibi tarif edilebilir.

$$K_E = L_{af} I_f \quad (2)$$

Makine hızı w için, Eş.4 ve Eş.5 yazılabilir.

Mekanik parça Eş. 3 gibi tanımlanmaktadır.

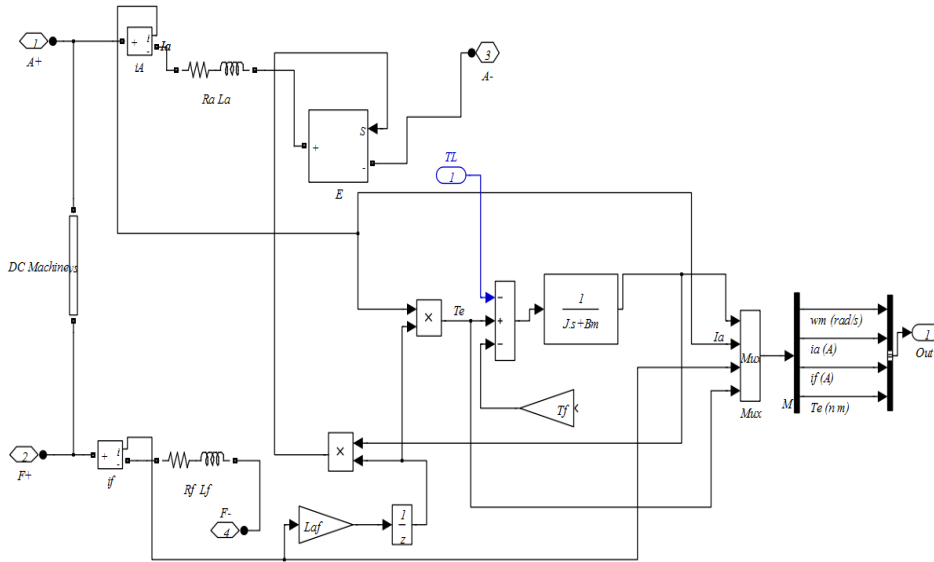
$$J \frac{dw}{dt} = T_e - T_L - B_m w - T_f \quad (3)$$

Makine hızı w için, Eş.4 ve Eş.5 yazılabilir.

$$\frac{J}{B_m} \frac{dw}{dt} - w = T_e - T_L - T_f \quad (4)$$

$$w = \frac{T_e - T_L - T_f}{Js - B_m} \quad (5)$$

Yukarıda oluşturulan matematiksel eşitliklere göre DA motor Matlab Simulinkte Şekil 2 deki gibi modellenenabilir.

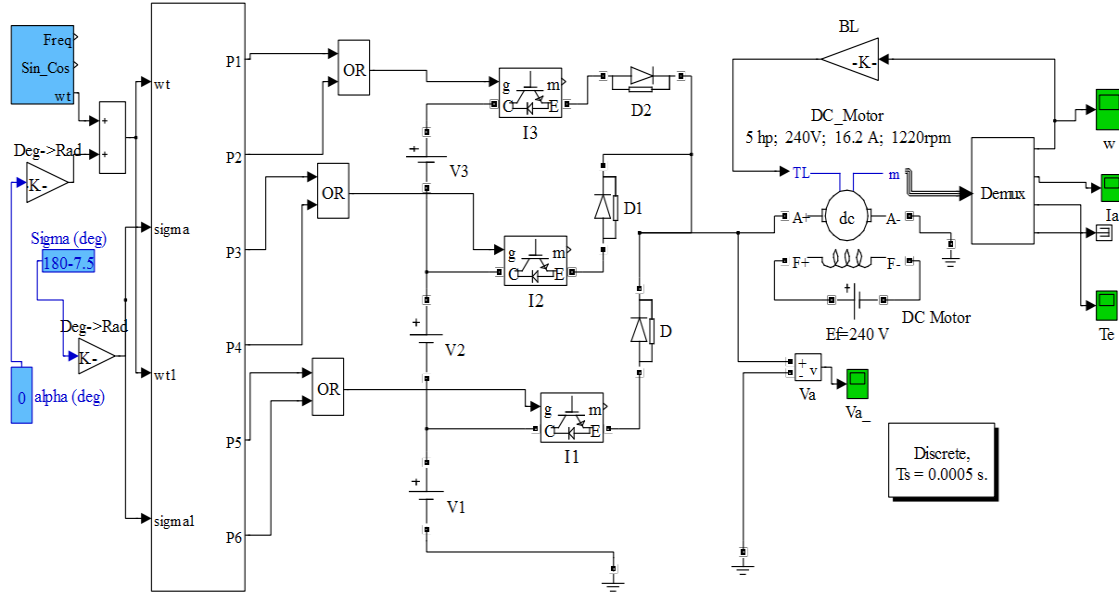


Şekil 2. DA motor modellenmesi

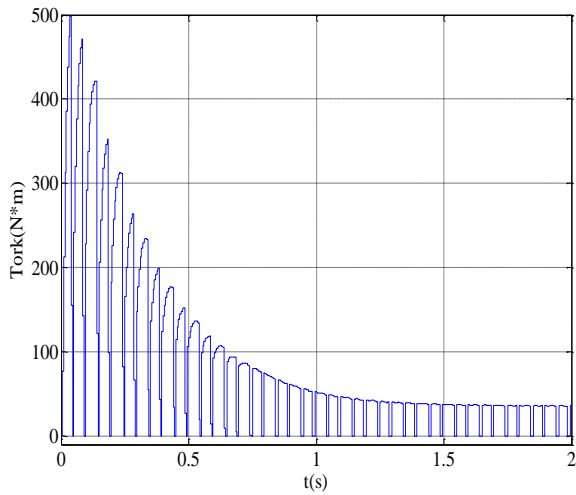
2. DA Motor Simülasyon Çalışması

Benzetim çalışmasında, altı adet DGM' in uygulandığı 3 adet IGBT ile 3 adet eşit değerdeki DA güç kaynağı DA motor üzerinde Şekil 3 deki gibi kontrol etmektedir.

DA motor, 5hp gücüne, 240 volt giriş gerilimine, 30 amper yük akımına, 127 rad/s-1220rpm motor devrine sahiptir. DDGM ile akım, tork ve deviri kontrol edilirken, 2 Khz anahtarlama frekansı kullanılmıştır.



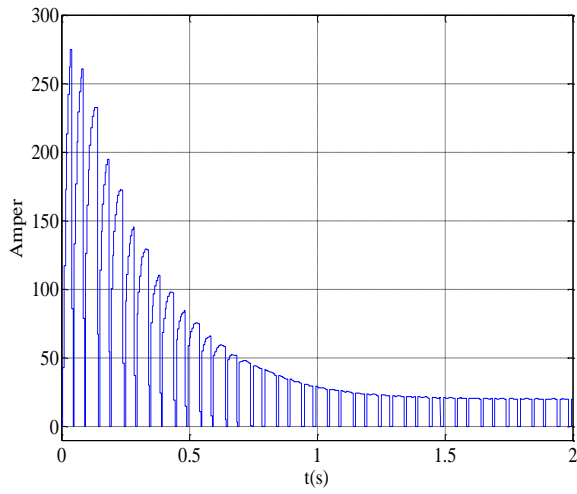
Şekil 3. DA Motor Simülasyon Devre Modeli



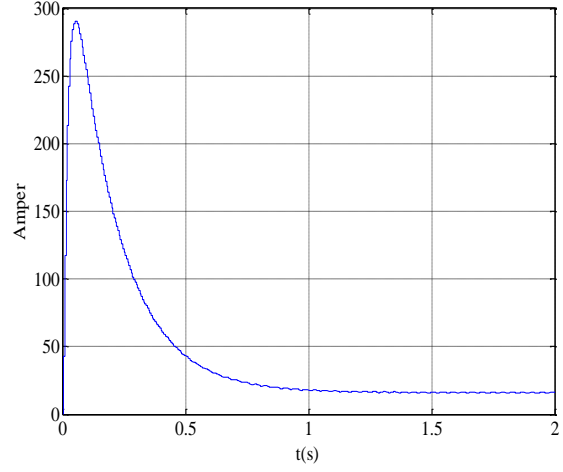
a)

DA motoru kontrol eden anahtarlar 0.9 modülasyon indeks değeri ile çalıştırıldığında akım tork ve devir değerleri Şekil 4 deki gibi olmaktadır. 0.9 modülasyon indeksi ile motor sürüldüğünde, maksimum tork 500 Nm ve maksimum akım 275 amper değerlerine ulaşırken zaman ekseninde modülasyon indeksinden kaynaklanan akım ve tork üzerinde % 10'luk bir azalma

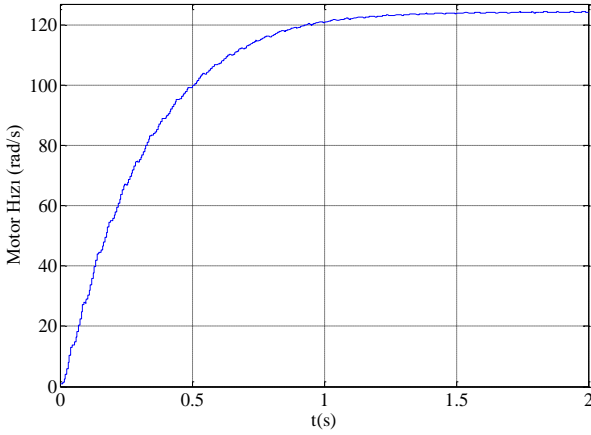
meydana gelmektedir. Akım 35 amper, tork 35 Nm, devir 130 rad/s değerlerinde 1.25s de kararlı hale ulaşmaktadır. Eğer DA motoru kontrol eden anahtarlar 0.99 modülasyon indeks değeri ile çalıştırılırsa, akım tork ve devir değerleri Şekil 5 deki gibi olmaktadır. 0.99 modülasyon indeksi ile DA motor sürüldüğünde maksimum akım 290 amper ve maksimum tork 'ta 530 Nm değerine ulaşırken, modülasyon indeksine bağlı olarak zaman ekseninde tork'ta ve akımda bir azalma meydana gelmemekte, kaynağın tamamı motora uygulanmaktadır. Akım 30 amper, tork 30 Nm, devir 130 rad/s değerlerinde 1.1s de kararlı hale ulaşmaktadır. Farklı modülasyon indeks değerleri için DA motorun devir değerleri Şekil 5 de görülmektedir. $D1= 0.9$, $D2=0.99$, $D3= 0.85$, $D4= 0.6$.



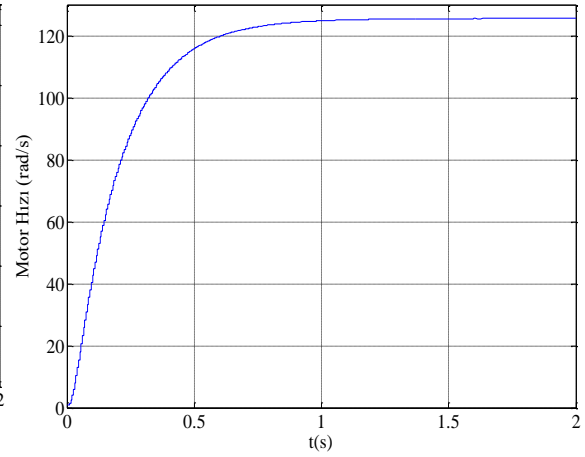
b)



b)



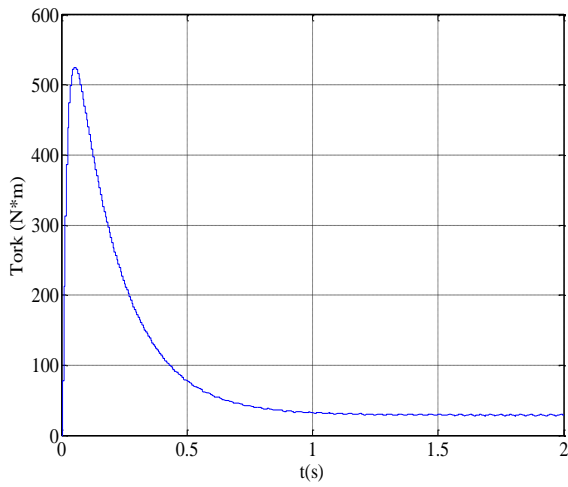
c)



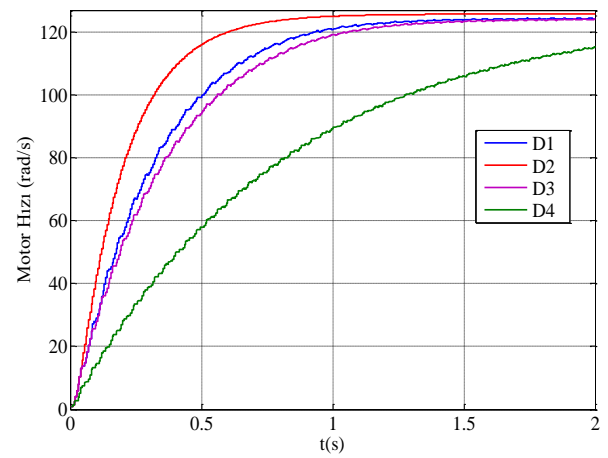
c)

Şekil 4. DA motorun 0.9 modülasyon indeksi için a) torku, b) akımı, c) devri

Şekil 5. DA motorun 0.99 modülasyon indeksi için a) torku, b) akımı, c) devri;



a)



Şekil 6. Farklı modülasyon değerlerinde motor hızları;

DA motora uygulanan gerilimin değeri 0.6 modülasyon indeks değerli DDGM ler ile % 40 değerinde azaltıldığında 2 saniyede motor devri 114 rad/s olmaktadır. Motor'a uygulanan gerilimin değeri 0.9 modülasyon indeks değerli DDGM' ler ile % 10 değerinde azaltıldığında 1.25 saniyede 124 rad/s olmaktadır. 0.99 modülasyon indeksi ile motor sürüldüğünde devir, 1.1 saniyede 127 rad/s ile kararlı hale gelerek maksimum hıza ulaşmaktadır. Kaynak 0.85 modülasyon indeksli DDGM ler ile kontrol edilirse motor devri 1.35 saniyede 124 rad/s olmaktadır. Bu sonuçlara göre dönüştürücü devrelerinin karmaşıklığına ve kısıtlılıklarına gerek kalmadan daha kolay ve etkin bir şekilde DA motorunu devir, tork, akım kontrolü yapılmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada DA motor DDGM ler ile kontrol edilerek tork akım ve devir kontrolü yapılmıştır. DGM ler üçgen sinyaller ile bir düz sinyalin karşılaştırılması ile elde edilmektedir. DA motor matematik modeli MATLAB Simulink'de modellenmektedir. DGM ler 3 adet IGBT anahtar üzerinden DA kaynakları motora uygulamaktadır. Bu sayede kaynak gerilimi üzerinde modülasyon indeksine bağlı olarak azalmalar oluşturulmakta ve motor akım tork ve devir seviyelerinde farklılıklar oluşturulmaktadır. 0.9 modülasyon indeksi ile motor sürüldüğünde % 10 değerinde akımda ve tork 'ta azalma meydana gelmektedir. Devir, tork ve akım 1.5 saniye de kararlı hale gelerek devir maksimum hıza ulaşmaktadır. 0.99 modülasyon indeksi ile motor sürüldüğünde

akımda ve tork'ta bir azalma meydana gelmemekte, kaynağın tamamı motor üzerine uygulanmaktadır. Devir, tork ve akım 1.1 saniye de kararlı hale gelerek devir maksimum hıza ulaşmaktadır. Bu duruma göre de dönüştürücü devrelerinin karmaşıklığına ve kısıtlılıklarına gerek kalmadan daha kolay ve etkin bir şekilde DA motor devir, tork akım kontrolü yapılmaktadır.

5. Kaynaklar

- Can, E., ve Sayan, H.H. 2016a. PID and fuzzy controlling three phase asynchronous machine by low level DA source three phase inverter/PID i neizrazito upravljanje Trofaznim asinhronim motorom pomocu trofaznog izmjenjivaca slabe istosmjerne struje. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, 23(3), 753-761.
- Can, E., ve Sayan, H. H. 2016b. SSDGM three phase eviricidesign and experimented on unbalanced loads/Konstrukcija SSDGM trofaznog izmjenjivaca i primjena kod nestabilnih potrosaca. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, 23(5), 1239-1245.
- Can, E., ve Sayan, H.H. 2016c. A novel SSDGM controlling eviricirunning nonlinear device. Electrical Engineering, 1-8.
- Dudrik, J., ve Oetter, J. 2006. Soft-switching DGM DA-DA converter for high power applications. In Power Electronics and Motion Control

- Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International , 739-744.
- Isik, M.F. 2016a. Design and implementation of a training set for distributed system and mechatronic applications:project based learning. *Tehnički vjesnik*, 23(6). doi:10.17559/TV-20141218095138.
- Isik M.F., 2016b. Synchronous Real Time Control of Distributed Servo Drive Systems *Journal of Current Research*, 8, (03), 27513-27516
- Nagarajan, D. R., Sathishkumar, S., Balasubramani, K., Boobalan, C., Naveen, S., ve Sridhar, N. 2016. Chopper Fed Speed Control of DA Motor Using PI Controller. *IOSR-Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSJEEE)*, 11(3), 65-69.
- Nagarajan, R., Sathishkumar, S., Deepika, S., Keerthana, G., Kiruthika, J.K. ve Nandhini, R. 2017. Implementation of Chopper Fed Speed Control of Separately Excited DA Motor Using PI Controller. *International Journal of Engineering And Computer Science (IJECS)*, 6(3), 20629-20633.
- Sheel, S., Chandkishore, R., ve Gupta O., 2010. Speed control of DA drive using MRAC technique, *International Conference on Mechanical and Electrical Technology*, Singapore, 10-12 , 135-139.
- Sahin, Y., Ting, N. S., & Aksoy, I. 2017a. A highly efficient ZVT–ZCT PWM boost converter with direct power transfer. *Electrical Engineering*, 1-11.
- Sahin, Y., & Ting, N. S. 2017b. Soft switching passive snubber cell for family of PWM DC–DC converters. *Electrical Engineering*, 1-12.
- Su, G. J. 2006. March. Pulse-width-modulation schemes for an integrated traction and compressor drive system. In *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC'06. Twenty-First Annual IEEE* (pp. 6-pp). IEEE.
- Xu, S., ve Ji, Z. 2016. A Study of the SDGM High-Frequency Harmonic Circulating Currents in Modular Inverters. *Journal of Power Electronics*, 16(6), 2119-2128