

Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu Devresinin Şönt Aktif Filtre ile Histerezis Kontrolü

Yasin BEKTAŞ^{1*}

¹Elektrik-Enerji Bölümü /Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Aksaray Üniversitesi, Aksaray

*(yasinbektas@aksaray.edu.tr)

(Received: 28 July 2023, Accepted: 09 August 2023)

(1st International Conference on Modern and Advanced Research ICMAR 2023, July 29-31, 2023)

.ATIF/REFERENCE: Bektaş, Y. (2023). Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu Devresinin Şönt Aktif Filtre ile Histerezis Kontrolü. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(7), 46-50.

Özet –Bu çalışmanın amacı, şönt aktif filtre kullanarak tek fazlı tam dalga diyot doğrultucunun giriş akımının toplam harmonik distorsiyon (THD) değerini azaltmak ve reaktif güç sorununu ortadan kaldırmaktır. Aktif filtre, reaktif ve harmonik akımları aktif bir şekilde enjekte ederek kaynak akımının harmonik içeriğini azaltır ve şebeke geri akımının harmonik içeriğini sınırlar. Bu sayede güç kaynağının kalitesi artar ve güç faktörü iyileştirilir. Bu çalışmada tek fazlı aktif filtrenin histerezis kontrolü Plexim yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve tek fazlı doğrultucu devresine uygulanmıştır. Filtreli ve filtresiz durumlar için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, filtresiz durumda giriş akımı yüksek derecede düzensiz ve harmonik içeriği yüksek bir dalga formuna sahipti ve THD değeri %30.82 olarak ölçüldü. Ancak, aktif filtre devreye alındığında, giriş akımı çok daha düzenli ve sinüzoidal bir form kazandı ve THD değeri yaklaşık %1.07 olarak ölçüldü. Bu sonuçlar, aktif filtrenin reaktif ve harmonik akımları etkin bir şekilde düzenleyerek güç kaynağının güç kalitesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ancak aktif filtre tarafından enjekte edilen ek harmonik akım nedeniyle yük gerilimi de bir miktar artmıştır. Bu durum, ek gerilim düşürme devresi veya daha karmaşık denetim şemalarıyla gerektiğinde azaltılabilir. Sonuç olarak, şönt aktif filtrelerin harmonik distorsiyon azaltma ve güç kalitesini iyileştirme amacıyla etkili bir çözüm olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan histerezis kontrol yöntemi, filtre performansını artırmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Şönt Aktif Güç Filtresi, Histerezis Kontrol, Toplam Harmonik Distorsiyon (THD), PLECS

I. GİRİŞ

Güç elektroniği bileşenlerinin ilerlemesi, dönüştürücü piyasasının büyümesine önemli katkı sağlamıştır. Özellikle elektrik makinelerinin kontrolünde büyük esneklik sağlayan bu gelişmeler, beraberinde önemli sorunlar getirmiştir [1].

Bu dönüştürücüler, sinüzoidal olamayan akımları emerek, adeta harmonik içerikli akım üreten bir jeneratör gibi davranırlar [2]. Eğer akımın temel frekansı gerilimle aynı fazda değilse, reaktif güç tüketimi söz konusu olur ve tüketilen güç, gerçek aktif gücün üzerine çıkar. Statik dönüştürücüler

tarafından oluşturulan harmonik akımlar, bir uygulama için şebeke gerilimini senkronize etmek gerektiğinde referansların kaybolmasına neden olabilir. Ayrıca, bu harmonik akımların şebekede ek bir ısınma etkisi yaratması söz konusudur. Bu tür bozulmaların önüne geçmek için çeşitli çözümler mevcuttur ve bunlardan biri pasif filtreleme yöntemidir [3]. Pasif filtreleme yöntemi, uzun zamandır bilinmekte olup özellikle yüksek güç ve yüksek gerilim uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, pasif filtreleme yönteminin iki temel dezavantajı bulunmaktadır: a)

- a) *Şebeke ile rezonans durumu:* Pasif filtrelerin çalışma frekansları, şebeke frekansına yakın olduğunda rezonans etkisi ortaya çıkabilir. Bu durumda, filtre ve şebeke arasındaki rezonans, harmonik frekanslara yakın frekanslarda harmonik akımların güç, şiddet ya da büyüklüğünün artmasına neden olabilir. Bu durum, şebeke geriliminde istenmeyen harmonik bozulmalara yol açabilir ve güç kalitesini olumsuz etkileyebilir.
- b) *Bağlı olduğu şebekenin özelliklerine bağlı performans değişimi:* Pasif filtrelerin performansı, bağlı oldukları şebekenin karakteristiklerine bağlı olarak değişebilir. Şebeke yapısı, rezonans frekansları, harmonik içeriği ve diğer elektriksel özellikler, filtrelerin etkinliğini ve performansını etkileyebilir [4]. Farklı şebekelerde pasif filtrelerin uygun olmayabileceği durumlar mevcuttur ve filtreleme etkinliği düşebilir.

Bu dezavantajlar, pasif filtreleme yöntemlerinin bazı uygulamalarda yetersiz kalabileceği ve alternatif aktif filtreleme çözümlerinin arayışına yönlendirdiği göz önünde bulundurulmalıdır. Aktif filtreleme yöntemleri, bu dezavantajlara karşı daha etkili çözümler sunabilir ve güç kalitesinin daha iyi kontrol edilmesini sağlayabilir [6]. Ancak, aktif filtrelerin tasarımı ve kontrolü de karmaşık olabilir.

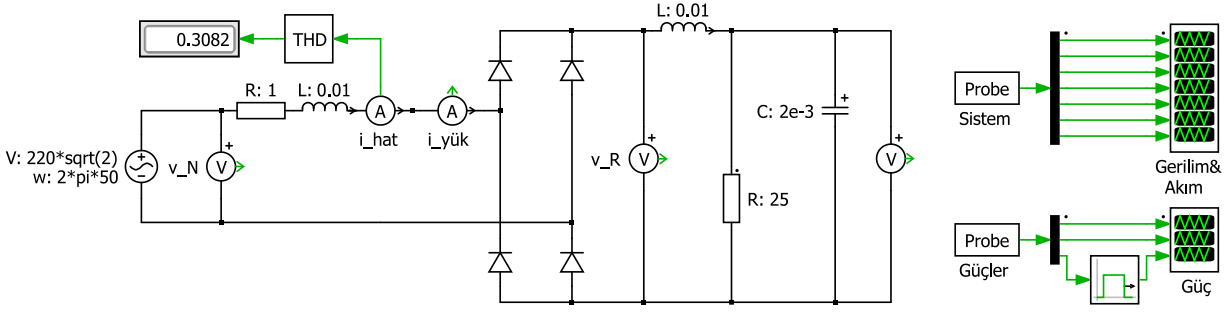
Tamamen kontrol edilebilen güç yarıiletkenlerinin (GTO tiristörler ve IGBT transistörler gibi) geliştirilmesi, aktif paralel filtreleme gibi yeni çözümlerin tasarlanmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmanın amacı, şönt filtrenin histerezis kontrolünün katkısını değerlendirmektir. Sayısal simülasyonlar Plexim [7] yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir.

II. TEK FAZLI TAM DALGA DOĞRULTUCU VE AKTİF FİLTRE

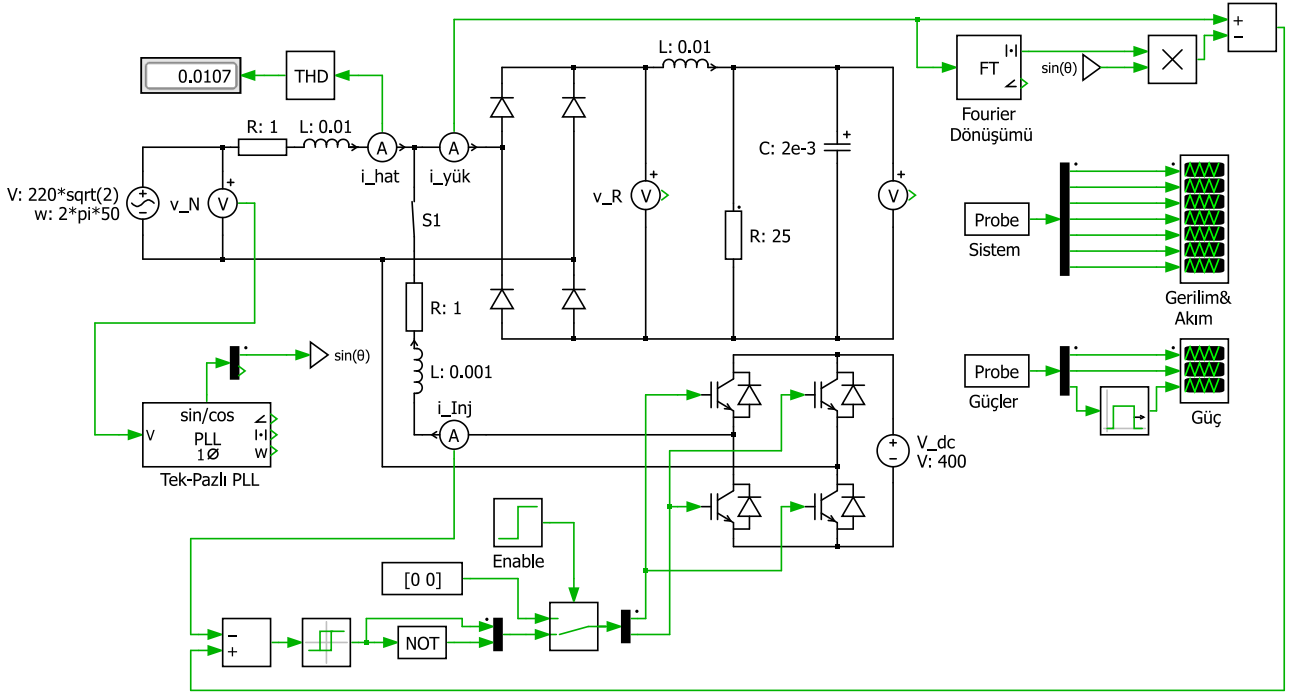
Şekil 1’de, güç elektroniği alanında önemli bir uygulama olan tek fazlı bir diyot doğrultucu devresi Plexim modeli görülmektedir. 220V, 50 Hz frekansında çalışan bir evsel enerji kaynağı, tam dalga diyot doğrultucusu aracılığıyla 25Ω’lik bir doğru akım (DC) yüküne güç sağlamaktadır. Ancak, diyot doğrultucunun kaynak akımı harmonik içeriğe sahiptir, yani kaynağa doğru sinüs dalgasından farklı frekanslarda akımlar oluşturur. Bu harmonik

akımlar şebekeye geri yayılarak güç kalitesini olumsuz etkileyebilir. İşte bu noktada devreye şönt aktif filtre girer. Aktif filtre devresi, reaktif ve harmonik akımları enjekte ederek diyot doğrultucusundan kaynaklanan harmonik içeriğin şebekeye geri yayılmasını engeller. Bu sayede, şebeke kaynağının güç kalitesi artar ve harmonik bozulma azalır. Aktif filtre, istenmeyen harmonik akımları aktif olarak düzeltir ve böylece şebekeye daha düzgün ve temiz bir güç akışı sağlar. Histerezis akım denetleyicisi [5], aktif filtrenin doğru ve hızlı bir şekilde çalışmasını sağlar. Sistemde bulunan histerezis kontrolör, belirli bir akım aralığı içindeki değişimleri algılayarak gerekli reaktif ve harmonik akımları üretir ve aktif filtre devresinin bu akımları şebekeye enjekte etmesini sağlar.

Histerezis kontrolü aktif filtreli tek fazlı diyot doğrultucu devresinin Plexim modeli Şekil 2’de verilmiştir. Bu devrede, bir DC yükü ve diyot doğrultucu, 220V rms evsel enerji kaynağına bağlanmıştır ve bu evsel yükü temsil etmektedir. Diyotların pasif doğrultma işlemi nedeniyle, kaynaktan çift hat frekansında kesilmiş yarı dalga akımlar çekmeleri, yük ile ilişkili olan düşük güç kalitesi oluşturur. Bu bozulmuş akımlar, şebekeden çekilmekte ve genellikle istenmeyen sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca, bu tür akımlar belirli standartları, örneğin IEEE-519’u karşılamayabilir [8]. Bu diyot doğrultucu topolojisinin oluşturduğu harmonikleri azaltmak için birçok strateji mevcuttur ve bunlardan biri pasif filtre yapılarıdır. Ancak, şönt aktif filtre, kontrol edilebilirliği nedeniyle dinamik kompanzasyon avantajına sahiptir. Bu çözüm, yükün paralel olarak eklenen iki seviyeli bir gerilim kaynaklı inverter (VSI) ile uygulanmaktadır ve bu VSI [9], kontrol edilebilir bir akımı şebekeye enjekte edebilir. Böylece yük akımı algılanır ve bu akımın eşit ve zıt harmonik içeriği, şönt kol aracılığıyla yüke geri eklenir. VSI'nin gereksinim duyduğu uygun DC gerilim sağlanmalıdır. Bu çalışmada, VSI çıkışı tamamen reaktif olduğundan, 400V’lik bir sabit DC gerilim kullanılmıştır. Pratikte ise, VSI çıkışı tamamen reaktif olduğu için bir kapasitör daha uygun bir seçenek olabilir. İdeal bir dönüştürücü, durağan durumda çalışırken, bir hat döngüsü boyunca şebekeye sıfır net güç değişimi yapar.



Şekil 1. Filtresiz Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu Plexim Devresi



Şekil 2. Aktif Filtreli Histerezis Kontrollü Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu Plexim Devresi [7]

III. KONTROL

A. Referans Akım Hesabı

VSI için bir referans akım üretmek için geri besleme akım sinyali hesaplanmalıdır. Bunun için toplam yük akımından temel yük akımı çıkarılır, böylece çıkarılmak istenen istenmeyen harmonik içerik elde edilir. Akımın şebekeyle aynı fazda olması için temel yük akımı sentezlenmelidir. Yük akımının temel bileşeninin büyüklüğünü ölçmek için Fourier Dönüşümü [10] kullanılır, yani $|i_{yük,temel}|$. Şebekeyle aynı fazda olan yük akımının istenen açısını, θ değerini üretmek için, SOGI (ikinci dereceden genelleşmiş integrator) yapısı ile çalışan faz kilit döngüsü (PLL) şebekeye bağlanır.

Bu iki yapı kullanarak VSI yapısının akım enjeksiyon referans sinyali şu şekilde hesaplanır:

$$i_{enj-ref} = i_{yük} - |i_{yük,temel}| \times \sin(\theta) \quad (1)$$

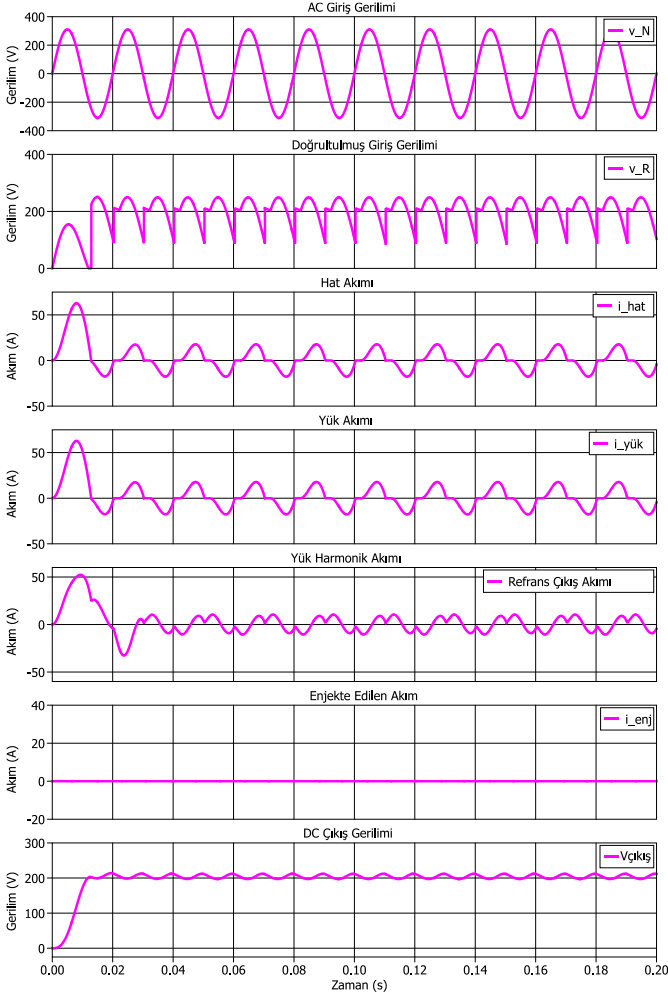
Bu referans akım daha sonra VSI yapısının kontrolörüne giriş olarak bağlanır. VSI, istenen enjeksiyon akımını ürettikten sonra, şebeke etkin bir şekilde yalnızca yük akımının temel bileşenini sağlar ve aktif filtre devresi gerekli harmonik ve reaktif bileşenleri oluşturur.

B. VSI Kontrolör

Basit bir histerezis kontrol şeması, ± 0.1 A hata bandına sahip bir röle bloğu kullanılarak uygulanır. Enjeksiyon referans akımı, VSI tarafından sistem içine enjekte edilen gerçek akımdan çıkarılır.

Oluşturulan modülasyon sinyalleri, VSI içindeki dört MOSFET güç elemanını kontrol eder.

Filtre anahtarlama işleminin başlangıçta başlatılan anahtarlama sırasında gerçekleşmesini engellemek için bir etkinleştirme devresi eklenmiştir. Bu sayede filtre anahtarlama işlemi başlangıçta meydana gelen geçici durumlar sırasında geciktirilir.

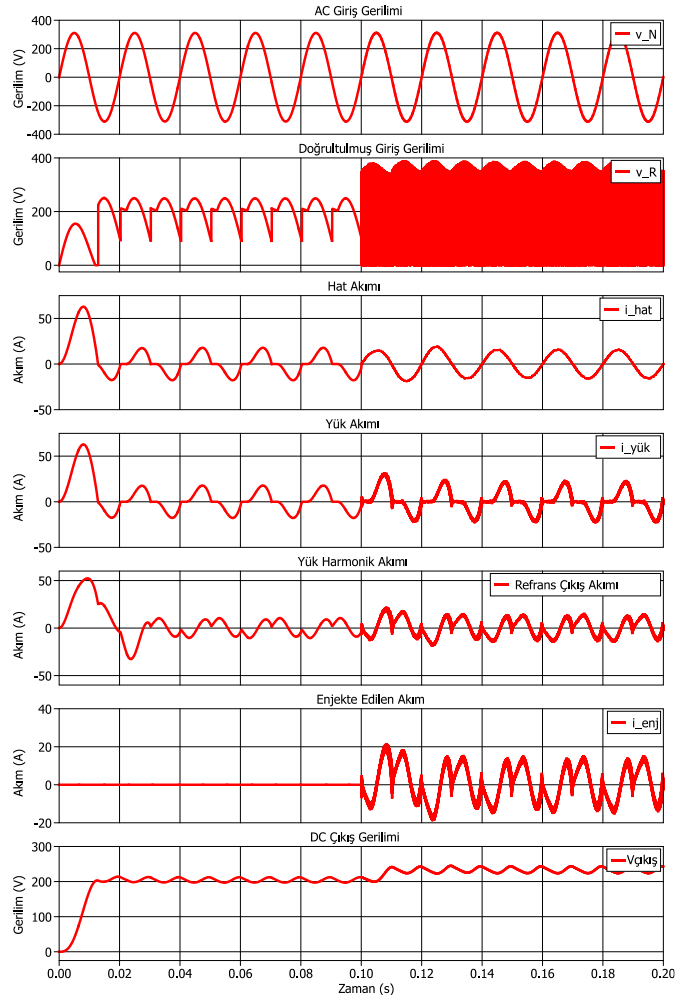


Şekil 3. Gerilim ve akım dalga formları (Filtresiz)

IV. SİMULASYON

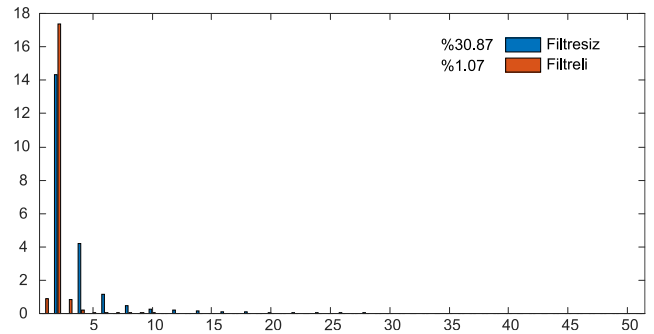
İki farklı senaryo durumunda simülasyon çalışması yapılmıştır. Birinci durumda Şekil 1'de verilen devre herhangi bir filtre olmadan Plexim ortamında uygulanmıştır. Daha sonra ikinci senaryoda Şekil 2'de verilen devre uygulanmış ve S₁ anahtarı ile histeresis kontrollü aktif filtre devreye girmiştir. Birinci senaryoda oluşan akım ve gerilim dalga formları Şekil 3'de verilirken ikinci senaryo için oluşan dalga formları Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 3'de gösterildiği gibi yüksek derecede doğrusal olmayan, harmonik içeriği yüksek olan bir giriş akım dalgası sistemde oluşmuştur. Giriş akımının toplam harmonik

distorsiyon değeri şekilde görüldüğü gibi %30.82 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. Gerilim ve akım dalga formları (Filtreli)

Aktif güç filtresinin sisteme dahil edildiği diğer senaryoda Şekil 4'de gösterildiği gibi denetleyici etkinleştirilir ve giriş akımı çok daha sinüzoidal hale gelir ve THD değeri yaklaşık %1.07 olur. Aktif filtre tarafından enjekte edilen ek harmonik akım nedeniyle yük gerilimi de bir miktar artar. Bu istenmeyen durum, ek gerilim düşürme devresi veya daha karmaşık denetim şemalarıyla gerektiğinde azaltılabilir.



Şekil 5. Diyot doğrultucu devresinde filtreli ve filtresiz durumda giriş akımı THD karşılaştırması

Filtreli ve filtresi durum için harmonik karşılaştırma Şekil 5’de verilmiştir. Görüldüğü gibi 50. harmoniğe kadar olan temel harmonik hariç diğer tüm harmonik değerler filtreli durumda daha düşüktür. Temel harmoniğin filtreli durumda daha çok çıkması gerilim değerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum daha önce bahsedildiği gibi ek yöntemler kullanılarak düzeltilir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, diyot doğrultucu devresi ile ilişkilendirilmiş harmonik akım bozulmasını azaltmak için Plexim yazılım ortamında tek fazlı bir aktif filtre uygulaması gerçekleştirilmiştir. Temel PLECS kütüphane bileşenlerinden oluşan ve oldukça basit bir kontrol yapısına sahip olan bu model, tek fazlı aktif filtre için hızlı ve uygulanabilir bir kavramsal modelin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Simülasyonlarla gösterildiği üzere, aktif filtre ile giriş akımındaki toplam harmonik distorsiyon değeri başarılı bir şekilde azaltılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] H. Akagi, Control strategy and site selection of a shunt active filter for damping of harmonic propagation in power distribution systems. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(1): 354-363. <https://doi.org/10.1109/61.568259>.
- [2] A. Arranz-Gimon, A. Zorita-Lamadrid, D. Morinigo-Sotelo, & O. Duque-Perez (2021). A review of total harmonic distortion factors for the measurement of harmonic and interharmonic pollution in modern power systems. Energies, 14(20), 6467.
- [3] R. N. Beres, X. Wang, M. Liserre, F. Blaabjerg, & C. L. Bak, (2015). A review of passive power filters for three-phase grid-connected voltage-source converters. IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics, 4(1), 54-69.
- [4] L. Herman, I. Papic, & B. Blazic, (2014). A proportional-resonant current controller for selective harmonic compensation in a hybrid active power filter. IEEE transactions on power delivery, 29(5), 2055-2065.
- [5] C. T. Pan, & T. Y. Chang (1994). An improved hysteresis current controller for reducing switching frequency. IEEE Transactions on Power Electronics, 9(1), 97-104.
- [6] Ö. A. Karaman, F. Erken, & M. Cebeci (2018). Decreasing harmonics via three phase parallel active power filter using online adaptive harmonic injection algorithm. Tehnički vjesnik, 25(Supplement 1), 157-164.
- [7] PLEXIM. PLECS®.
- [8] W. K. Chang, W. M. Grady, & M. J. Samotyj, (1994). Meeting IEEE-519 harmonic voltage and voltage distortion constraints with an active power line conditioner. IEEE Transactions on Power Delivery, 9(3), 1531-1537.
- [9] M. S. Endiz, & R. Akkaya, (2018). Fotovoltaik uygulamalar için empedans kaynaklı bir mikroinverterin matlab/simulink yardımıyla analizi. Academic Perspective Procedia, 1(1), 654-662.
- [10] R. N. Bracewell (1989). The fourier transform. Scientific American, 260(6), 86-95.