

Üç Fazlı Vienna Doğrultucunun Histerezis Kontrolü

Yasin BEKTAŞ^{1*}, Hulusi KARACA²

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

²Elektrik Elektronik Mühendisliği / Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya

*(yasinbektas@aksaray.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

(Geliş Tarihi: 05 Haziran 2023, Kabul Tarihi: 20 Haziran 2023)

(1st International Conference on Pioneer and Innovative Studies ICPIS 2023, June 5-7, 2023)

ATIF/REFERENCE: Bektaş, Y. & Karaca, H. (2023). Üç Fazlı Vienna Doğrultucunun Histerezis Kontrolü. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(5), 88-92.

Özet – Vienna doğrultucu ve histerezis kontrolü, motor sürücüler, yenilenebilir enerji sistemleri ve endüstriyel güç uygulamaları gibi birçok alanda kullanılır. Bu yapının sağladığı güç faktörü düzeltmesi, düşük harmonik bozulma ve verimli güç dönüşümü avantajları, geniş bir uygulama yelpazesinde tercih edilmesini sağlar. Bu çalışmada üç fazlı Vienna doğrultucunun Plexim programı kullanarak histerezis kontrolörü sağlanmıştır. Kontrolör ile Vienna doğrultucu kullanarak 12.5kW gücünde 700VDC çıkış gerilimi elde edilmiştir. Histerezis kontrolör ile 311V ile 390V gerilim değerleri arasında çıkış gerilimini 0.003% den az hata ile kontrol edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Vienna Doğrultucu, Histerezis Kontrol, Dengesiz yük, Plexim, Simülasyon.

I. GİRİŞ

Bugün birçok sistem, güç elektroniği dönüştürücüler aracılığıyla şebekeye bağlanmaktadır. Özellikle enerji endüstrisinde, üç fazlı AA-DA doğrultucu sistemleri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca bu doğrultucular, elektrikli araç şarjı, batarya şarj sistemleri ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi gelişmekte olan uygulamalarda da performansı artırmak için önemli bir rol oynamaktadır. Bu doğrultucu sistemler, enerji transferini optimize ederek verimliliği artırmakta ve güç kalitesini iyileştirmektedir. Genel olarak birçok uygulamada geleneksel iki seviyeli altı anahtarlı yükseltilmiş doğrultucular kullanılmaktadır. Ancak bu doğrultucular harmoniğe sahip giriş akımı ve düşük güç faktörü gibi dezavantajlara sahiptir. Bu durum şebeke güç kalitesi sorununa neden olabilir [1]. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için araştırmacılar güç faktörü

düzeltilmeli, darbe genişlik modülasyonu ve çok seviyeli doğrultucu gibi farklı doğrultucu devre yapıları ve modülasyon yöntemleri geliştirmiştir [2-5]. Özellikle çok seviyeli doğrultucular, anahtar üzerindeki düşük gerilim stresi ve yüksek verimliliği gibi avantajları sayesinde uygulamalarda yoğun olarak tercih edilmektedir [6-8].

Vienna doğrultucu yapısı, özellikle telekomünikasyon sistemlerinin güç kaynaklarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir [9]. Bu doğrultucular, yüksek verimlilik ve güç yoğunluğu, güvenilirliklerinin yüksek olması, azaltılmış anahtarlama elemanı sayısı ve birim güç faktöründe çalışma özellikleri gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle, elektrikli araç batarya şarj sistemleri, esnek alternatif akım iletim sistemi cihazları ve rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri gibi birçok uygulamada tercih edilmektedir [10-12].

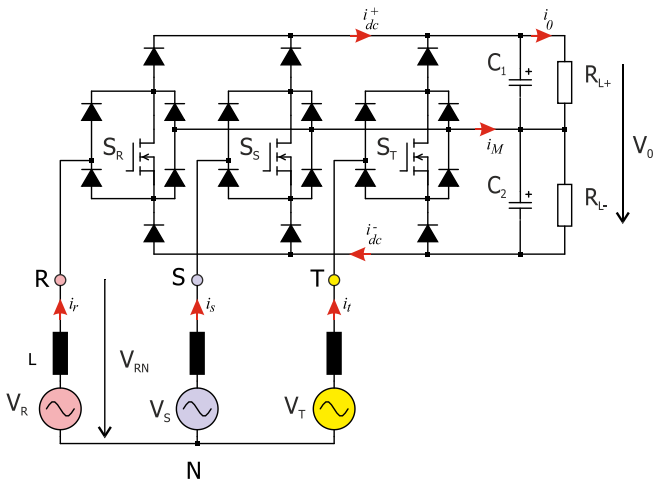
Vienna doğrultucu yapıları, bu alanlarda etkili bir şekilde kullanılarak enerji verimliliğini artırırken, güç kaynaklarının performansını da iyileştirmektedir.

PI kontrol, akım kontrolü, modülasyon kontrolü ve histerezis kontrol, Vienna doğrultucularında kullanılan yaygın kontrol stratejileridir. Uygulama gereksinimlerine ve performans hedeflerine bağlı olarak farklı kombinasyonlar ve optimize edilmiş kontrol yöntemleri kullanılabilir. Vienna doğrultucunun en iyi kontrol yöntemi, genellikle histerezis kontrol olarak bilinen bir kontrol stratejisidir. Histerezis kontrol, akım ve gerilim histerezis bantları kullanarak doğrultucunun çıkış voltajını ve akımını düzenler. Bu yöntem, giriş akımını harmoniklere karşı duyarlı olmayan ve düşük güç faktörü sağlayan bir şekilde kontrol etmeyi amaçlar.

Bu çalışmada Vienna doğrultucunun histerezis kontrolü tasarlanarak Plexim programında Vienna dönüştürücüye uygulanmıştır.

II. VIENNA DOĞRULTUCU DEVRESİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Şekil 1'de gösterilen devre şeması, üç fazlı Vienna doğrultucunun yapısını temsil etmektedir. Bu yapıda, L tipi filtre, altı diyot, üç adet dört diyotlu IGBT anahtar ve DA-bara kapasitörleri kullanılmaktadır. Bu devre yapısı ile giriş akımının sinüzoidal özelliğinin bozulmadan sabit çıkış gerilimi elde edilebilir. Vienna doğrultucusunda, giriş gerilimleri, IGBT anahtarlarının iletim veya kesim durumlarına ve şebeke akımının polaritesine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 1. Üç fazlı Vienna doğrultucu yapısı [9]

Şekil 1'deki Vienna doğrultucunun giriş tarafındaki AC gerilimler denklem (1)'de verildiği gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} V_R &= V \sin(\omega t) \\ V_S &= V \sin(\omega t - 120^\circ) \\ V_T &= V \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

Burada, ω ve V gerilimin açısal frekansı ve genliğidir.

$$\begin{aligned} L \frac{di_r}{dt} &= V_R - Ri_r - u_{rN} \\ L \frac{di_s}{dt} &= V_S - Ri_s - u_{sN} \\ L \frac{di_t}{dt} &= V_T - Ri_t - u_{tN} \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem 2'de V_R , V_S ve V_T şebeke gerilimlerini temsil ederken i_r , i_s ve i_t faz akımlarını temsil eder. L ise giriş kısmında filtre için kullanılan bobindir. Anahtarlama durumunu belirtmek için Vienna doğrultucuyu matematiksel modeli için denklem 3 oluşturulmuştur.

$$u_{rN} = K_r \frac{V_{dc}}{2}, u_{sN} = K_s \frac{V_{dc}}{2}, u_{tN} = K_t \frac{V_{dc}}{2} \quad (3)$$

Burada K her bir faz için anahtar iletim durumunu temsil eder. K_r, K_s ve K_t olarak ifade edilir.

$$\begin{aligned} K_r &= (1 - S_R) \text{sgn}(i_r) \\ K_s &= (1 - S_S) \text{sgn}(i_s) \\ K_t &= (1 - S_T) \text{sgn}(i_t) \end{aligned} \quad (4)$$

Üç fazlı gerilim dalga şekillerinin $-\pi/6$ ile $\pi/6$ aralığında bulunan kısmı için anahtarlama durumları Tablo 1'de verilmiştir. Bu dalga şekilleri, park dönüşümü kullanılarak dq-eksenlerine dönüştürülebilir. Ancak, bu dönüşümlerde kenetlenme etkisi nedeniyle denetleyici tasarımı zorlaşmaktadır. Park dönüşümü yardımıyla dq-eksenlerine dönüştürme işlemi denklem 2 kullanılarak denklem 3'de verildiği gibi yapılır.

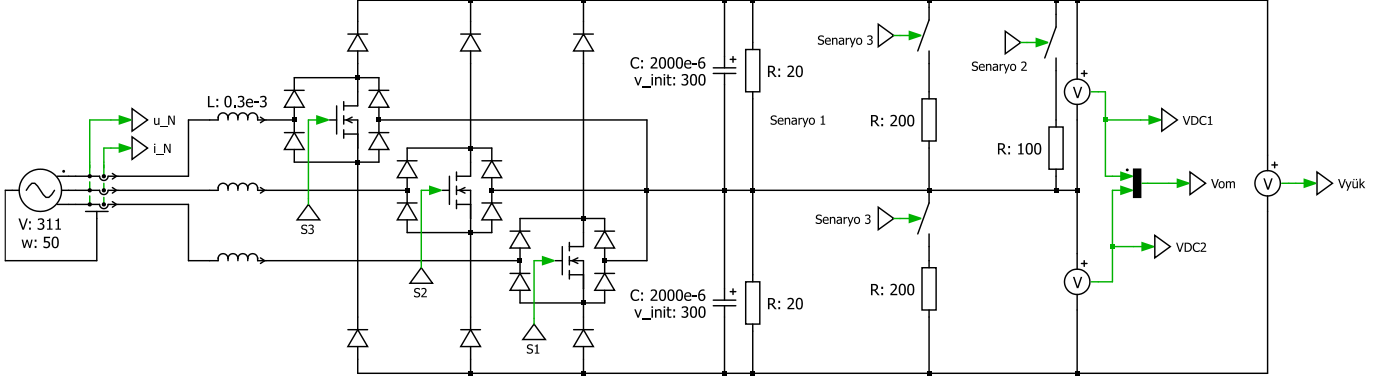
Tablo 1. Vienna doğrultucu anahtarlama durumları

| S_R | S_S | S_T | U_{RN} | U_{SN} | U_{TN} |
|-------|-------|-------|------------|-------------|-------------|
| 0 | 0 | 0 | $V_{DC}/2$ | $-V_{DC}/2$ | $-V_{DC}/2$ |
| 0 | 0 | 1 | $V_{DC}/2$ | $-V_{DC}/2$ | 0 |
| 0 | 1 | 0 | $V_{DC}/2$ | 0 | $-V_{DC}/2$ |
| 0 | 1 | 1 | $V_{DC}/2$ | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | $-V_{DC}/2$ | $-V_{DC}/2$ |
| 1 | 0 | 1 | 0 | $-V_{DC}/2$ | 0 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|-------------|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | $-V_{DC}/2$ |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

$$L \frac{di_d}{dt} = V_d - Ri_d + \omega Li_q - u_d$$

$$L \frac{di_q}{dt} = V_q - Ri_q - \omega Li_d - u_q$$
(5)



Şekil 2. Üç fazlı Vienna doğrultucu Plexim modeli [13]

C1 ve C2 bara kondansatörleri için dinamik denklemler eşitlik 6'da verilmiştir.

$$C_1 \frac{dV_{DC1}}{dt} = i_{dc}^+ - i_0$$

$$C_2 \frac{dV_{DC2}}{dt} = i_{dc}^- - i_0$$
(6)

Bu ifadede verilen i_{dc}^+ ve i_{dc}^- DC bara akımlarını, i_0 ise yük akımını temsil eder. Bara akımları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$i_{dc}^+ = \sum_{i \in \{R, S, T\}} (1 - S_i) \left[\frac{\text{sgn}(i_i) + 1}{2} \right] i_i$$

$$i_{dc}^- = \sum_{i \in \{R, S, T\}} (1 - S_i) \left[\frac{\text{sgn}(i_i) + 1}{2} \right] i_i$$
(7)

Birim güç faktöründe çalışmak için q-ekseni akımının değeri sıfır olarak seçilmelidir ve denetimi büyük önem taşır. Doğrultucu devresinin aktif (P) ve reaktif (Q) güç eşitlikleri aşağıdaki denklemlerle elde edilir.

$$P = \frac{3(e_d i_d + e_q i_q)}{2}$$

$$Q = \frac{3(e_q i_d - e_d i_q)}{2}$$
(8)

III. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Şekil 2'de 700V çıkış voltajı ve 12.25kW çıkış gücüne sahip bir Vienna Doğrultucusunun Plexim modelini göstermektedir. Hem akım hem de gerilim için PI kontrol kullanılmıştır. PI parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Vienna Doğrultucu, tek yönlü, üç fazlı, üç anahtarlı, üç seviyeli bir PWM AC-DC dönüştürücüdür.

Tablo 2. Kontrolör PI parametreleri

| Kontrolör | PI | |
|--------------------------|----------------|----------------|
| | K _p | K _i |
| Bara gerilim kontrolörü | 0.05 | 1 |
| Çıkış gerilim kontrolörü | 5 | 2500 |

Gerilim kontrolü PI parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Akım kontrolü için histerezis bant kontrolü kullanılmıştır. Bant kontrolünün üst sınırı 1.5 ve alt sınırı -1.5 alınmıştır.

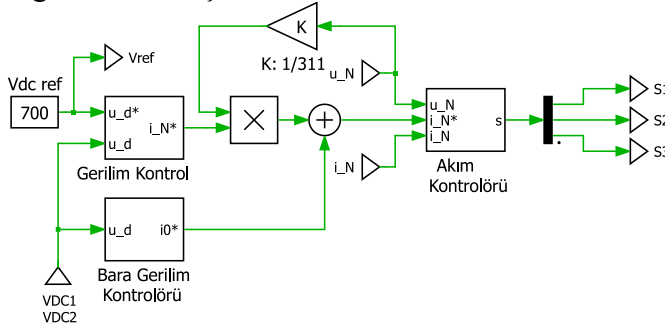
A. Güç Devresi

Histerezis bant kontrollü üç fazlı Vienna doğrultucu simülasyon güç devresi Plexim modeli Şekil 2'de verilmiştir. Simülasyon devresi üç fazlı AC kaynak, Vienna doğrultucu ve yükten oluşmaktadır. Ayrıca sistemde kontrol yapısı da mevcuttur bu yapı kontrol kısmında açıklanacaktır.

B. Kontrol Devresi

Oluşturulan kontrolör şeması Şekil 3'de gösterilmiştir. Kontroller, kademeli alt sistemler olarak modellenmiştir ve bir akım döngüsü,

bir DC bara gerilim döngüsü ve DC gerilim döngüsünden oluşur.



Şekil 3. Kontrol yapısı Plexim modeli

En dıştaki DC gerilim döngüsü, iki kondansatör geriliminin toplamını bir PI denetleyici kullanarak düzenler. Kontrolör çıkışı, I_N^* şebeke akım genliği için referanstır. Bu genlik, temel gerilim ile senkronize edilen üç fazlı sinüzoidal bir sinyalle çarpılır ve üç fazlı ana akım referansı I_N^* değerini elde etmek için kullanılır. Basitlik için, bu sinüzoidal sinyal doğrudan ölçülen ana gerilimden elde edilir.

Temel akım referans sinyali, bir DC akım referansı I_0^* tarafından ayarlanır. Bu DC referansı, iki kondansatör gerilimi farkını düzenleyen bir PI denetleyicisinin çıkışıdır. Son olarak, temel akım referans sinyali histerezis akım denetleyicisi tarafından yarıiletken anahtarlar için kapı sinyallerini oluşturmak için kullanılır.

C. Simülasyon

Histerezis kontrolünün çıkış geriliminin aniden asimetrik bir yüklenme durumunda denetleyicinin nasıl tepki verdiğini göstermek için bir simülasyon yapılmıştır. Simülasyonda, sinüzoidal temel gerilim, histerezis kontrollü ana akım ve iki çıkış kondansatörünün DC gerilimleri Scope üzerinde görüntülenmektedir. Simülasyon başlangıcında, kondansatörlerin gerilimleri 300V'den başlayarak nominal seviyeleri olan 350V'a kadar şarj edilir.

Histerezis kontrolün çalışması üç farklı senaryoda test edilmiştir. Birinci senaryoda sistem dengeli şekilde yüklenmiştir (20ohm). İkinci senaryoda sistem $t=0.5$ 'inci saniyede bara noktasına göre dengesiz bir şekilde yüklenmiştir (100ohm). Üçüncü senaryoda ise $t=0.7$ 'inci saniyede sistem yükü dengeli bir şekilde (200ohm).

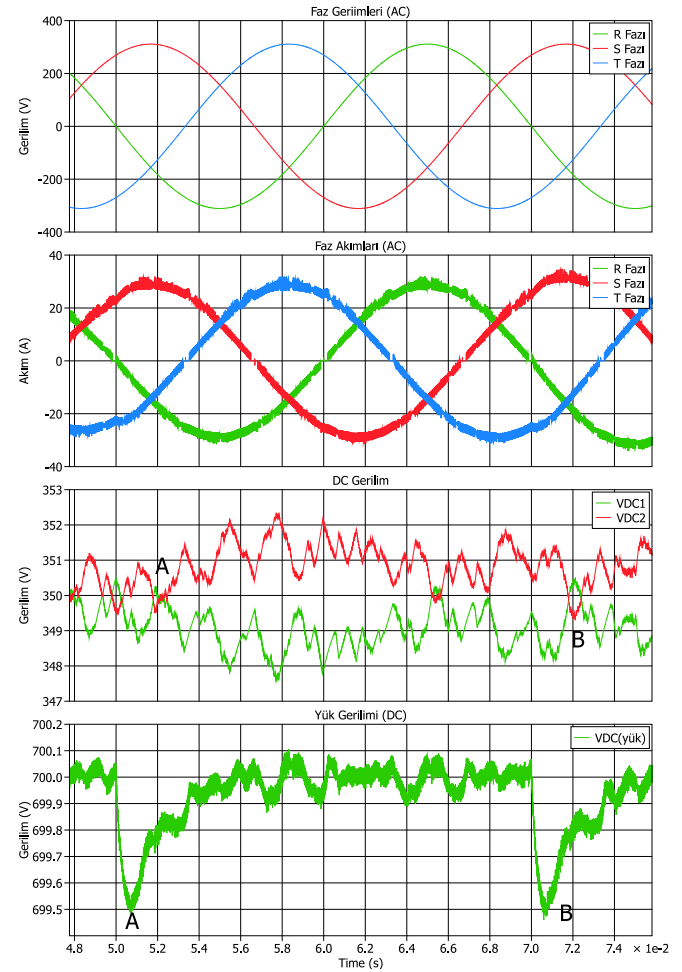
Senaryolar için Plexim programı çıkış grafikleri Şekil 4'de verilmiştir. Değişim durumları A ve B notları ile işaretlenmiştir. Görüldüğü gibi değişim

ardında ufak dalgalanmaların ardından yaklaşık 0.1 saniye sonra histerezis kontrol bloğu kondansatörleri tekrar denge durumuna getirmiştir. Bu üç durum için simülasyon çıkış değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Yük durumuna göre Vienna doğrultucu DC-bara ve DC çıkış gerilimleri

| Senaryo | Yük | V _{DC1} (V) | V _{DC2} (V) | V _{DC} (V) |
|---------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 1 | 20Ω (Dengeli) | 349.985 | 350.934 | 699.921 |
| 2 | 100Ω (Dengesiz) | 348.787 | 351.042 | 699.974 |
| 3 | 200Ω (Dengeli) | 349.103 | 349.103 | 699.953 |

Histerezis kontrolörün hangi giriş değer aralığında doğru çalıştığını göstermek için giriş gerilimleri 311V, 350V ve 390V olarak değiştirilmiştir (50Ω dengeli yük için). Verilen giriş gerilimlerine göre simülasyon çıkış değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Senaryo 1,2 ve 3 için Vienna doğrultucu akım ve gerilim grafikleri

Tablo 4. Farklı AC giriş gerilimi için DC-bara ve çıkış gerilimleri

| Giriş Gerilimi | V _{DC1} (V) | V _{DC2} (V) | V _{DC} (V) |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 311 | 349.546 | 349.546 | 699.990 |
| 350 | 350.708 | 350.708 | 700.012 |
| 390 | 350.079 | 350.079 | 699.978 |

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, üç fazlı Vienna doğrultucu yapısının DC bara geriliminin dinamik cevabını iyileştirmek için histerezis kontrolcü tasarlanmıştır. Oluşturulan kontrolörle asimetrik yüklerde Vienna doğrultucunun istikrarlı bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Kontrolör 311V ile 390V aralığında herhangi bir giriş gerilimi değer için çıkış gerilimini 700V civarlarında dengede tutmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Bueno, E. J., C'obreces, S., Rodr'iguez, F. J., Hern'andez, A. Espinosa, F., (2008). Design of a back-to-back NPC converter interface for wind turbines with squirrel-cage induction generator, IEEE Trans. Energy C
- [2] Rodriguez, J. R., Dixon, J. W., Espinoza, J. R., Pontt, J., Lezana, P., (2005). PWM regenerative rectifiers: state of the art, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 52, 1, 5-22.
- [3] Baev, S., Shtessel, Y., Sheffield, M., (2008). Sliding Mode Control of a Unity Power Factor 3-Phase AC/DC Boost Converter, IEEE Southeast Conference, 491-496.
- [4] Acikgoz, H., Kececioglu, O. F., Gani, A., Yildiz, C., Sekkeli, M., (2016). Improved control configuration of PWM rectifiers based on neuro-fuzzy controller, SpringerPlus, 5, 1, 1142.
- [5] Coteli, R., Acikgoz, H., Ucar, F., Dandil, B., (2017). Design and implementation of Type-2 fuzzy neural system controller for PWM rectifiers, International Journal of Hydrogen Energy, 42, 32, 20759-20771.
- [6] Zhang, X., Wang, Q., Burgos, R., Boroyevich, D., (2015). Discontinuous pulse width modulation methods with neutral point voltage balancing for three phase Vienna rectifiers, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 225-232.
- [7] Friedli, T., Hartmann, M., Kolar, J. W., (2014). The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems - Part II, IEEE Transactions on Power Electronics, 29, 2, 543-560.
- [8] Kolar, J. W., Friedli, T., (2013). The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems - Part I, IEEE Transactions on Power Electronics, 28, 1, 176-198.
- [9] Kolar, J.W., Zach, F.C., (1997). A novel three-phase utility interface minimizing line current harmonics of high-power telecommunications rectifier modules, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 44, 4,
- [10] Liu, J., Wang, B., Zhao, H., Yang, D., Chen, Z., Yi, B., Li, M., (2018). A wind energy conversion system based on full scale VIENNA rectifier and small-scale STATCOM, 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 1431-1436.
- [11] Anderson, J. A., Haider, M., Bortis, D., Kolar, J. W., Kasper, M., Deboy, G., (2019). New Synergetic Control of a 20kW Isolated VIENNA Rectifier Front-End EV Battery Charger, 20th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 1-8.
- [12] Reddy, D., Ramasamy, S., (2018). Design of RBFN Controller Based Boost Type Vienna Rectifier for Grid-Tied Wind Energy Conversion System, IEEE Access, 6, 3167-3175.
- [13] Vienna Rectifier with Hysteresis Current Controller, //www.plexim.com/support/application-examples/293