

Ön Şarjlı Gerilim Kaynaklı Dönüştürücü

Yasin BEKTAŞ^{1*}

^{1*}Elektrik-Enerji Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.

<https://orcid.org/0000-0002-3681-0123>

*yasinbektas@aksaray.edu.tr

(Received: 24 September 2025, Accepted: 01 October 2025)

(5th International Conference on Frontiers in Academic Research ICFAR 2025, September 25-26, 2025)

ATIF/REFERENCE: Bektaş, Y. (2025). Ön Şarjlı Gerilim Kaynaklı Dönüştürücü, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(10), 21-25.

Özet – Güç elektroniği sistemleri, enerji dönüşümü ve kontrolü açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu sistemlerin verimliliği ve güvenliği, kullanılan dönüştürücüler ve kontrol tekniklerine doğrudan bağlıdır. Gerilim kaynaklı dönüştürücüler, doğru akım gücünü alternatif akım gücüne dönüştürmek için yaygın olarak kullanılan bir güç dönüştürücüsüdür. Özellikle, ön şarjlı gerilim kaynaklı dönüştürücüler, şebeke bağlantılı sistemlerde veya batarya tabanlı güç sistemlerinde tercih edilir. Bu sistem, devreye giriş sırasında oluşabilecek yüksek akım darbelerini engelleyerek ekipmanları korumak amacıyla tasarlanmıştır. Bu çalışmada, ön şarjlı ve kapalı devre kontrollü 3 fazlı gerilim kaynaklı dönüştürücü devre yapısı Plexim ortamında modellenmiş ve incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler –Güç Elektroniği, Gerilim Kaynağı Dönüştürücü, Ön Şarj Kontrolü, Batarya Tabanlı Sistemler, Plexim Modelleme.

I. GİRİŞ

Güç elektroniği, enerji sistemlerinin verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını sağlayan temel bir alandır. Bu alandaki sistemler, enerjinin doğru bir şekilde dönüştürülmesi ve kontrol edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Dönüştürücüler ve kontrol teknikleri, bu sistemlerin verimliliğini ve güvenliğini doğrudan etkileyen faktörlerdir [1]. Gerilim kaynaklı dönüştürücüler (GKD) [2], özellikle doğru akım (DA) gücünü alternatif akım (AA) gücüne dönüştürmek amacıyla yaygın olarak kullanılan güç dönüştürücüleridir. Bu dönüştürücüler, geniş uygulama yelpazesıyla enerji dönüşümünü sağlayan en önemli bileşenlerden biridir. Özellikle şebeke bağlantılı sistemler ve batarya tabanlı güç sistemlerinde, GKD'lerin rolü daha da belirginleşir [3]. GKD'ler, enerji dönüşümünde sağladığı esneklik ve verimlilik ile sistemlerin performansını artırır ve güvenliğini sağlar.

Ancak, şebeke bağlantılı güç sistemlerinde veya batarya tabanlı sistemlerde, dönüştürücü devreye girmeden önce oluşabilecek ani yüksek akımlar, hem sistemin verimliliğini ciddi şekilde düşürür hem de ekipmanlara kalıcı zararlar verebilir [4]. Bu yüksek akım darbeleri, dönüştürücülerin bileşenleri için tehdit oluşturur ve sistemdeki genel güvenlik seviyesini tehlikeye atabilir. Bu tür olumsuz durumların önüne geçebilmek için ön şarjlı gerilim kaynaklı dönüştürücüler geliştirilmiştir [5]. Ön şarjlı dönüştürücüler, devreye giriş sırasında yüksek akım darbelerinin engellenmesini sağlayarak sistemin güvenliğini ve uzun

ömürlü çalışmasını garanti altına alır. Ayrıca, giriş akımının kontrollü bir şekilde sağlanması, dönüştürücülerin daha verimli bir şekilde çalışmasını sağlar ve enerji kayıplarını en aza indirir.

Ön şarjlı inverterler, özellikle büyük güç sistemlerinde, batarya tabanlı sistemlerde ve yenilenebilir enerji uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu dönüştürücüler, şebeke ile senkronize çalışabilen, yüksek performanslı ve güvenli sistemlerin kurulmasına olanak tanır. Aynı zamanda, batarya depolama sistemlerinde, depolanan enerjinin şebekeye verimli bir şekilde aktarılması için önemli bir rol oynar [6]. Ön şarjlı dönüştürücüler, şebeke bağlantısı olan sistemlerde güç dalgalanmalarını minimize eder ve sistemin istikrarlı bir şekilde çalışmasına yardımcı olur [7].

Bu çalışmada, DC bağlantılı, ön şarjlı ve kapalı devre kontrollü üç fazlı gerilim kaynaklı dönüştürücü devresi Plexim [8] ortamında modellenmiştir. Plexim, güç elektroniği simülasyonları için yaygın olarak kullanılan bir yazılım platformu olup, dönüştürücü devrelerinin dinamik davranışlarını analiz etmekte etkili bir araçtır. Modelleme süreci, dönüştürücülerin çalışma prensiplerinin ve performanslarının daha iyi anlaşılmasını hedeflemiştir. Ayrıca, sistemin dinamik özellikleri ve kontrol stratejileri incelenerek, dönüştürücünün verimliliği, güvenliği ve genel performansı hakkında daha kapsamlı bilgiler elde edilmesi amaçlanmıştır.

II. ÖN ŞARJLI GERİLİM KAYNAKLI İNVERTER

Ön şarjlı gerilim kaynaklı inverter, özellikle DA bağlantılı güç sistemlerinde, şebeke bağlantılı dönüştürücülerde ve batarya tabanlı uygulamalarda kullanılan bir güç dönüştürücüsüdür. Bu inverterler, doğru akımı (DA) alternatif akıma (AA) dönüştürerek elektrik enerjisini şebekeye veya yüklerine aktarır. Ancak, inverter devreye girmeden önce oluşabilecek yüksek akım darbeleri hem sistem bileşenlerine zarar verebilir hem de sistemin verimliliğini olumsuz etkileyebilir.

Ön şarjlı gerilim kaynaklı inverterler, devreye giriş sırasında meydana gelebilecek ani akım artışlarını engellemek için tasarlanmış özel bir yapıya sahiptir. Bu dönüştürücüler DA-bara kondansatörünün ilk şarj edilmesi sırasında akımı sınırlamak için ön şarj dirençleri kullanır. Bu sayede, dönüştürücü anahtarları ve diğer bileşenleri yüksek akım darbelerinden korunur, sistemin güvenliği sağlanır.

Bu dönüştürücü yapıları, özellikle yüksek güç sistemlerinde, batarya şarj sistemlerinde, yenilenebilir enerji uygulamalarında ve şebeke bağlantılı güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Ön şarj devresi, enerji kayıplarını minimize ederken, sistemin daha verimli ve güvenli çalışmasını sağlar.

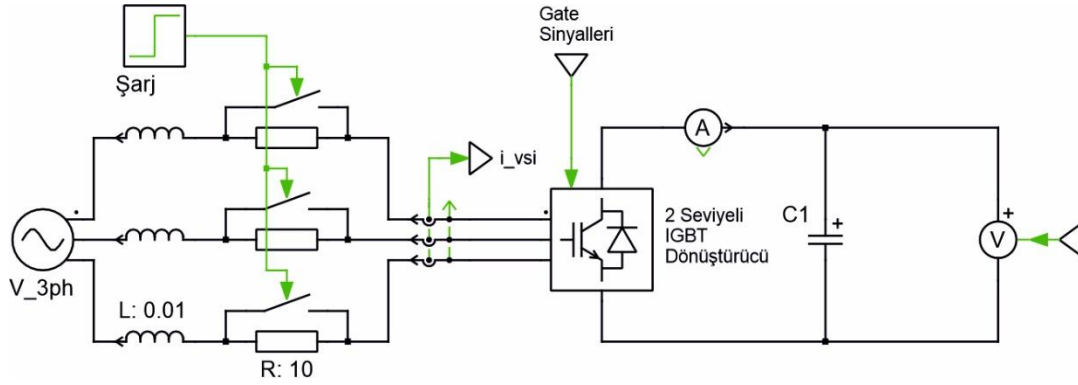
Aşağıda ön şarjlı üç fazlı gerilim kaynaklı inverterin Plexim modeli detaylı bir şekilde incelenmiştir.

A. Güç Devresi

Üç fazlı ön şarjlı gerilim kaynaklı dönüştürücünün Plexim programında oluşturulan güç devresi Şekil 1'de verilmiştir. Üç fazlı bir gerilim kaynağı, hat endüktansı ile birlikte 2 seviyeli IGBT dönüştürücüsünün AA tarafına bağlanmıştır. Bu model, gerilim kaynaklı inverteri, üç fazlı kaynağa bağlanan ön şarj dirençleri ekleyerek oluşturulmuştur. Bu dirençler DA-bara kondansatörünün ilk şarj edilmesi sırasında oluşabilecek yüksek akım darbelerini sınırlamak amacıyla kullanılır.

Ön şarj dirençleri DA-bara kondansatörüne enerji verilmeden önce, şebeke kaynağı ile kondansatör arasındaki akımı kontrol eder. Bu sayede, kondansatörün ani ve hızlı bir şekilde şarj olmasının önüne geçilir ve ekipmanların zarar görmesi engellenir. Devreye giriş sırasında şebeke kaynağında oluşabilecek yüksek akımlar, özellikle inverterin ana anahtarları ve diğer bileşenlerinde stres oluşturabilir. Ön şarj dirençleri bu yüksek akım darbelerini sınırlandırarak, inverterin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Bu model, sistemdeki akım dalgalanmalarını ve ani yükselmeleri azaltarak inverterin daha stabil bir şekilde çalışmasına olanak tanır. Ayrıca, şarj işlemi sırasında enerji kayıplarını minimize etmek ve şebeke ile senkronizasyonu sağlamak için bu dirençlerin doğru bir şekilde tasarlanması büyük önem taşır.



Şekil 1. Geri besleme kontrollü üç fazlı şebekeye bağlı tristörlü gerilim kaynaklı dönüştürücü [9]

B. Kontrol Devresi

Dönüştürücü, Şekil 2'de gösterildiği gibi, dış bir gerilim kontrol döngüsü ve iç bir akım kontrol döngüsü ile kontrol edilmektedir. DA-bara gerilimi ölçülür ve hedef gerilim ile karşılaştırılır. Hata sinyali, bir PI düzenleyici aracılığıyla d-ekseni akım hedef değerine dönüştürülür. Devre, güç faktörünü birliğe getirmek için d-ekseni akım hedef değerini sıfır yapacak şekilde kontrol edilir. Ardından dq-ekseni akım hedef değerleri, bir akım denetleyicisine beslenir. Üç fazlı akımlar ölçülür ve dq-eksene dönüştürülür. Bir PI düzenleyici, ön besleme terimi ile birlikte kullanılarak, akım hata sinyalini karşılık gelen modülasyon sinyaline dönüştürür. Modülasyon sinyali DA-bara gerilimiyle ölçeklendirilir ve IGBT dönüştürücüsünün tetikleme sinyallerini üretmek amacıyla Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) modülatörüne iletilir.

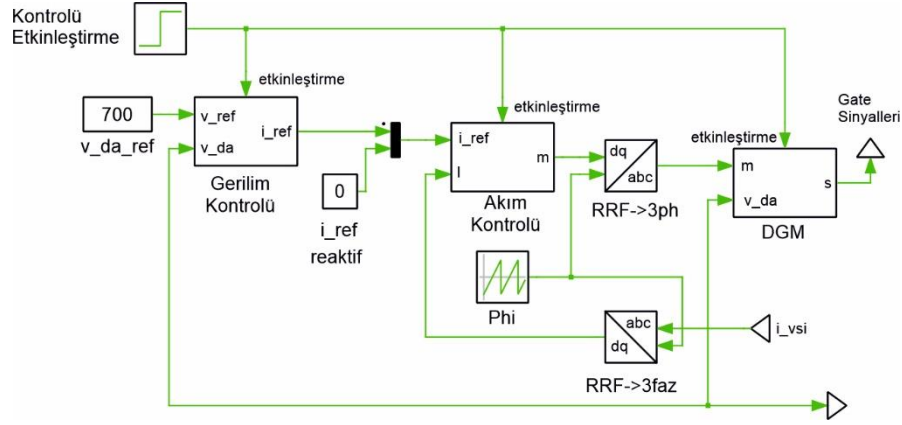
Bu kontrol yapısının amacı, invertörün verimli çalışmasını sağlamak ve çıkış gücünü istenilen seviyede tutmaktır. Dış gerilim kontrol döngüsü DA-bara gerilimini düzenleyerek invertörün çıkışındaki voltaj seviyesinin stabil olmasını sağlar. İç akım kontrol döngüsü ise, invertörün çıkış akımlarının hedef değerlerine ulaşmasını ve bu akımların doğru şekilde modüle edilmesini sağlar.

İlk olarak DA-bara gerilimi sürekli olarak izlenir ve ölçülür. Bu gerilim, belirlenen bir set noktası ile karşılaştırılır ve bu fark (hata sinyali) bir PI (Orantılı-İntegral) düzenleyici aracılığıyla işlenir. PI düzenleyici, hatayı minimize etmeye çalışarak d-ekseni akım set noktası oluşturur. Bu, sistemin güç faktörünü birliğe çekmek için yapılan bir ayarlamadır.

Daha sonra, dq-ekseni akım set noktaları, iç akım kontrol döngüsüne beslenir. Burada, üç fazlı akımlar ölçülür ve Clarke dönüşümü ile dq-eksene dönüştürülür. Akım hatası, bir PI düzenleyicisi ile işlenir. Bu düzenleyici, hata sinyaline ek olarak bir ön besleme terimi de kullanır. Ön besleme terimi, sistemin daha hızlı yanıt vermesine ve daha hassas kontrol sağlamasına yardımcı olur.

Son olarak, akım hata sinyali modülasyon sinyaline dönüştürülür. Bu modülasyon sinyali, DC-bara gerilimiyle orantılı olarak ölçeklendirilir ve DGM modülatörüne beslenir. DGM modülatörü, IGBT dönüştürücüsünün anahtarlarını kontrol etmek için gerekli tetikleme sinyallerini üretir. Böylece, dönüştürücünün çıkış akımları istenen değerleri takip eder ve invertörün verimli bir şekilde çalışması sağlanmış olur.

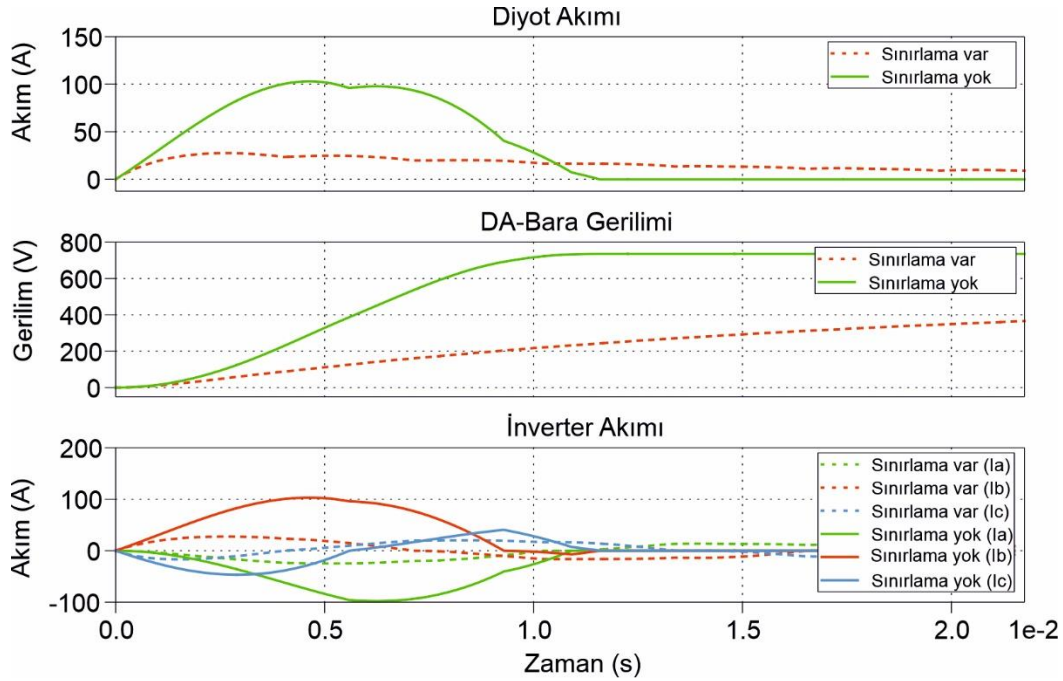
Bu tür bir kontrol yapısı, invertörün çıkış akımlarını ve gerilimini optimize ederek, sistemin verimliliğini artırır ve enerji kayıplarını en aza indirir. Ayrıca, bu sistem, şebeke ile senkronize çalışarak, güç faktörünü birliğe çekmek için gerekli tüm koşulları sağlar.



Şekil 2. Kontrolör [9]

III. SİMULASYON

Başlangıçta, tüm kontrol sistemleri devre dışı bırakılmıştır ve 2 seviyeli IGBT dönüştürücüsü pasif bir doğrultucu olarak çalışmaktadır. İlk aşamada, doğrultulmuş üç fazlı gerilim, DC-bara kondansatörünü doğrultulmuş üç fazlı gerilimle şarj eder ve bu şarj akımı, ön şarj dirençleriyle sınırlanır. 30 ms sonunda, ön şarj dirençleri güç hattından çıkarılır. Bu durum, giriş akımının artmasına yol açar. $t = 50$ ms'de ise kontrol sistemleri aktif hale gelir ve kondansatör gerilimi, istenilen 700 VDC çalışma noktasına kadar yükseltilir. Böylelikle, diyot akımı dalga formunu karşılaştırarak, ön şarj uygulamasının bu devre üzerindeki etkisini gözlemlenir.



Şekil 3. Simülasyon sonuçları

Simülasyon sonuçları Şekil 3'te sunulmaktadır. Bu karşılaştırma, ön şarj dirençlerinin devreye girmeden önceki ve sonraki durumlar arasındaki farkları net bir şekilde ortaya koymaktadır. Özellikle, ön şarj dirençlerinin devreye alınmasıyla, devreye giriş sırasında meydana gelen ani akım artışlarının nasıl sınırlandırıldığı ve sistemin güvenli bir şekilde çalışmasının nasıl sağlandığı gözlemlenmiştir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada DA bağlantılı, ön şarjlı ve kapalı devre kontrollü üç fazlı gerilim kaynaklı dönüştürücü devresi Plexim ortamında modellenmiş ve simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları, ön şarjlı sistemlerin devreye girişteki yüksek akım darbelerini sınırlayarak sistemin güvenli çalışmasını sağladığını göstermektedir. Özellikle, ön şarj dirençlerinin devreye alınmasıyla, devreye girişte oluşan ani akım artışları sınırlanmış ve inverter bileşenlerinin korunması sağlanmıştır.

Ön şarj dirençlerinin kullanımı, şarj sırasında oluşabilecek akım dalgalanmalarını azaltarak dönüştürücünün daha stabil ve verimli çalışmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, enerji kayıpları minimize edilerek daha verimli enerji dönüşümü sağlanmıştır.

Simülasyonlar, kontrol stratejilerinin ve sistemin dinamik özelliklerinin dönüştürücünün güvenliği, verimliliği ve genel performansı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Sonuçlar, ön şarjlı gerilim kaynaklı dönüştürücülerin, şebeke bağlantılı sistemler ve batarya tabanlı uygulamalarda güç faktörünü iyileştirerek sistem kararlılığını artırmada büyük avantajlar sunduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Korompili, A., & Monti, A. (2023). Review of modern control technologies for voltage regulation in DC/DC converters of DC microgrids. *Energies*, 16(12), 4563.
- [2] Jing, T., & Maklakov, A. S. (2018, October). A review of voltage source converters for energy applications. In 2018 International Ural Conference on Green Energy (UralCon) (pp. 275-281). IEEE.
- [3] Prakash, K., Ali, M., Siddique, M. N. I., Chand, A. A., Kumar, N. M., Dong, D., & Pota, H. R. (2022). A review of battery energy storage systems for ancillary services in distribution grids: Current status, challenges and future directions. *Frontiers in Energy Research*, 10, 971704.
- [4] Hmad, J., Houari, A., Bouzid, A. E. M., Saim, A., & Trabelsi, H. (2023). A review on mode transition strategies between grid-connected and standalone operation of voltage source inverters-based microgrids. *Energies*, 16(13), 5062.
- [5] Song, Q., Du, S., Liu, J., Wang, Z., & Gu, Y. (2025). A Cost-effective DC-link Pre-charge and Voltage Balance Method for Modular Magnetic-Coupled Converter (MMCC). *IEEE Transactions on Power Electronics*
- [6] Schram, W. L., Lampropoulos, I., & van Sark, W. G. (2018). Photovoltaic systems coupled with batteries that are optimally sized for household self-consumption: Assessment of peak shaving potential. *Applied energy*, 223, 69-81.
- [7] Safaei, S., Ketabi, A., Farshadnia, M., & Shahidehpour, M. (2021). A multi-port MMC topology with reduced capacitor size for use in grid-connected PV systems. *Energy Science & Engineering*, 9(11), 2019-2035.
- [8] Plexim. A HIL Simulator on Every Engineer's Desk.
- [9] Plexim GmbH. (2023). Voltage Source Inverter with Pre-Charge.
https://www.plexim.com/sites/default/files/demo_models_categorized/plecs/voltage_source_inverter_with_pre_charge.pdf