

KÜÇÜK RÜZGÂR TÜRBİNLERİ İÇİN ŞEBEKE BAĞLANTILI 3-FAZLI 3-SEVİYELİ T-TİPİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ DENETİMİ

İbrahim Güneşen¹

Mehmet Uçar²

¹Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Müh. ABD, Konuralp Yerleşkesi, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Konuralp Yerleşkesi, Düzce

gunesen_81@hotmail.com

mehmetucar@duzce.edu.tr

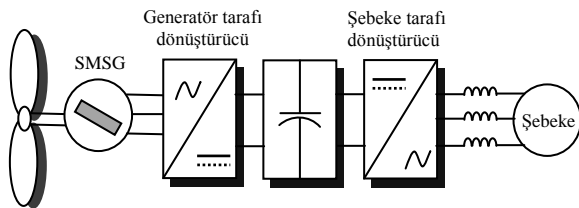
ÖZET

Bir dağıtık üretim ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi ile elektrik üretim alanında son yıllarda özel ilgi boyutları küçük ve çevresel etkileri düşük olduğundan küçük rüzgâr türbinlerine odaklanılmıştır. Küçük rüzgâr türbin çeşitlerinden ise kısmi veya tam kontrollü güç dönüştürücüsü ile Sabit Mıknatıslı Senkron Generatörlerin (SMSG) kullanımı popüler olmuştur. Küçük rüzgâr türbin sistemlerini şebekeye bağlamak için çeşitli güç elektroniği dönüştürücü topolojileri kullanılmaktadır. Bu dönüştürücülerde kayıpları en aza indirerek verimi artırmak amaçlanmaktadır. Bu çalışmada SMSG tabanlı küçük rüzgâr türbinlerinin alçak gerilimde şebeke bağlantısı için yüksek verimli DA-AA enerji dönüşümü sağlayan 3-seviyeli T-tipi nötr noktası bağlantılı (NPC) dönüştürücünün analizi ve denetimi yapılmıştır. Önerilen dönüştürücü denetim sistemi MATLAB/Simulink ortamında tasarlanmış ve elde edilen benzetim sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sabit mıknatıslı senkron generatör, küçük rüzgâr türbinleri, şebeke bağlantısı, 3-seviyeli T-tipi dönüştürücü

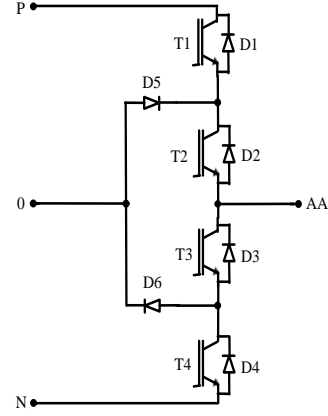
1. GİRİŞ

Rüzgâr enerjisi sistemlerinde son yıllarda küçük güçlü rüzgâr türbinleri (<200kW) oldukça önem kazanmıştır. Bunun nedeni küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin boyutlarının küçük, çevreye olan olumsuz etkilerinin daha az ve montajının daha basit olmasıdır [1]. Küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde ise genellikle Sabit Mıknatıslı Senkron Generatörler (SMSG) kullanılmaktadır. Bu generatörlerin boyutları küçük ve verimleri yüksektir. Şekil 1'de tipik SMSG tabanlı rüzgâr türbin sistemi gösterilmektedir. Burada SMSG şebekeye sırasıyla AA/DA ve DA/AA tam ölçekli gerilim kaynaklı dönüştürücüler ile bağlanmaktadır.

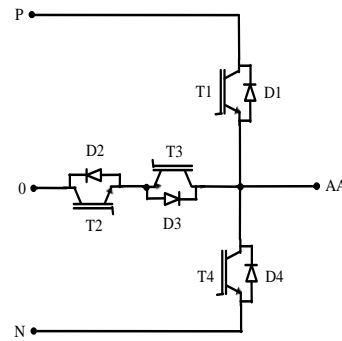


Şekil 1. Tipik SMSG tabanlı rüzgâr türbin sistemi

SMSG'nin tüm çıkış gücü bu dönüştürücüler üzerinden şebekeye aktarılır. Şebeke tarafında bulunan dönüştürücü DA-bara gerilimini sabit tutmak için güç akışını kontrol ederken, generatör tarafında bulunan dönüştürücü generatörün hız ve tork değerlerini kontrol etmektedir. Günümüzde, Çok Seviyeli Dönüştürücüler (ÇSD) yüksek verim ve yüksek güç kalitesi gerektiren uygulamalarda tercih edilen teknolojiler arasında önde gelmektedir. ÇSD'lerde temel olarak nötr noktası bağlantılı (NPC), uçan kapasitör (FC) ve kaskad H-köprü topolojileri bulunmaktadır [2-4]. Bu topolojilerin çok sayıda modifikasyon ve kombinasyonları özel uygulama gereksinimlerini karşılamak için veya işletim performansını artırmak için ileri sürülmüştür. Bunlardan biri de alçak gerilim uygulamaları için avantajlar sağlayan T-tipi NPC ÇSD'lerdir [5-6]. Şekil 2(a)'da klasik NPC ve Şekil 2(b)'de T-tipi NPC topolojisi gösterilmektedir.



a) Klasik NPC topolojisi



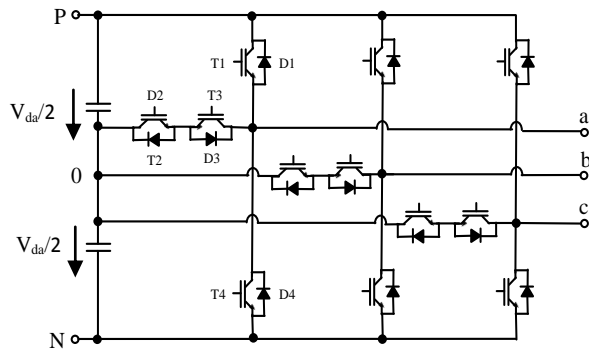
b) T-tipi NPC topolojisi

Şekil 2. 3-seviyeli NPC dönüştürücü topolojileri

3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücüler, klasik NPC dönüştürücünün düşük toplam harmonik bozulumu (THD) avantajlarının yanı sıra, 2-seviyeli dönüştürücünün basit çalışma prensibine sahiptir. 3-seviyeli klasik NPC topolojisi ile karşılaştırıldığında T-tipi topolojide DA-bara gerilimi orta noktasında aktif bir çift yönlü anahtar kullanılır ve kol başına iki diyot daha az bulunur. T-tipi NPC dönüştürücü yapısında kullanılan yarıiletken sayısı azalmakta, bu da yarıiletken kayıplarının azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca T-tipi NPC dönüştürücülerde nötr noktasına bağlanan yarıiletkenler daha düşük gerilime sahip yarıiletkenlerden seçilebilmektedir. T-tipi NPC dönüştürücüler orta anahtarlama frekansına kadar diğer çok seviyeli dönüştürücü topolojilerinden çok daha verimlidir [7]. Ayrıca klasik 3-seviyeli NPC dönüştürücü için kullanılan modülasyon stratejisi T-tipi dönüştürücü için de uygulanabilmektedir. 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücüler genellikle alçak gerilim uygulamalarında tercih edilmektedir [8-10]. Bu çalışmada, küçük rüzgâr türbinleri için şebeke tarafında bulunan yüksek verimli 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücünün analizi ve denetimi yapılmıştır. Ayrıca MATLAB/Simulink yazılımı ile elde edilen benzetim sonuçları sunulmaktadır.

2. T-TİPİ NPC DÖNÜŞTÜRÜCÜ

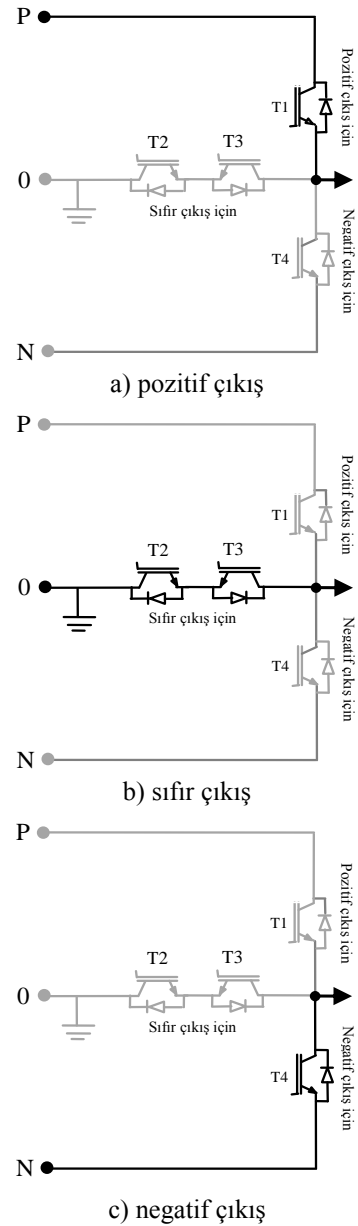
3-fazlı 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücü blok diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir. Geleneksel 2-seviyeli gerilim kaynaklı dönüştürücü topolojisinin DA-bara orta noktası çift yönlü anahtar ile genişletilerek T şeklinde bir yapı oluşturulmakta ve 3 seviyeli çıkış gerilimi elde edilmektedir. 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücülerin düşük anahtarlama kayıpları, düşük iletim kayıpları, eleman sayısının ve çıkış gerilimi THD değerinin az olması gibi üstün özellikleri bulunmaktadır [6].



Şekil 3. 3-fazlı 3-seviyeli T-tipi dönüştürücü blok diyagramı

Üst ve alt taraf anahtarları ile (T1/D1 ve T4/D4) tüm DA-bara gerilimi bloke edileceğinden genellikle 1200V IGBT ve diyotlar kullanılır. DA-bara orta noktasında bulunan çift yönlü anahtar (T2/D2 ve

T3/D3) ise DA-bara geriliminin yalnızca yarısını bloke etmektedir. Burada daha düşük gerilime sahip olan iki adet 600V IGBT ve ters paralel diyotlar kullanılabilir [7]. Ayrıca ortada seri olarak bağlanmış iki eleman olmasına rağmen bloke geriliminin azalması nedeniyle, çok düşük anahtarlama kayıpları ve kabul edilebilir iletim kayıpları görülmektedir. 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücülerde çıkış pozitif (P) ya da negatife (N) bağlı olduğunda, her zaman iki eleman seri olarak bağlanmış klasik NPC topoloji aksine sadece tek bir elemanda iletir gerilim düşümü meydana gelir. İletim kayıplarının önemli ölçüde azaltılması, T-tipi NPC dönüştürücüyü düşük anahtarlama frekansları için bile tercih edilebilir yapmaktadır. Şekil 4'de T-tipi NPC dönüştürücüde farklı seviyeler için anahtarlama geçişleri sırasında oluşan akım komütasyonları görülmektedir.



Şekil 4. Farklı seviyeler için anahtarlama geçişleri sırasında oluşan akım komütasyonları

Tablo 1'de özetlendiği gibi pozitif çıkış için T1 anahtarı, negatif çıkış için T4 anahtarı, sıfır çıkış için T2 ve T3 anahtarları iletimdedir.

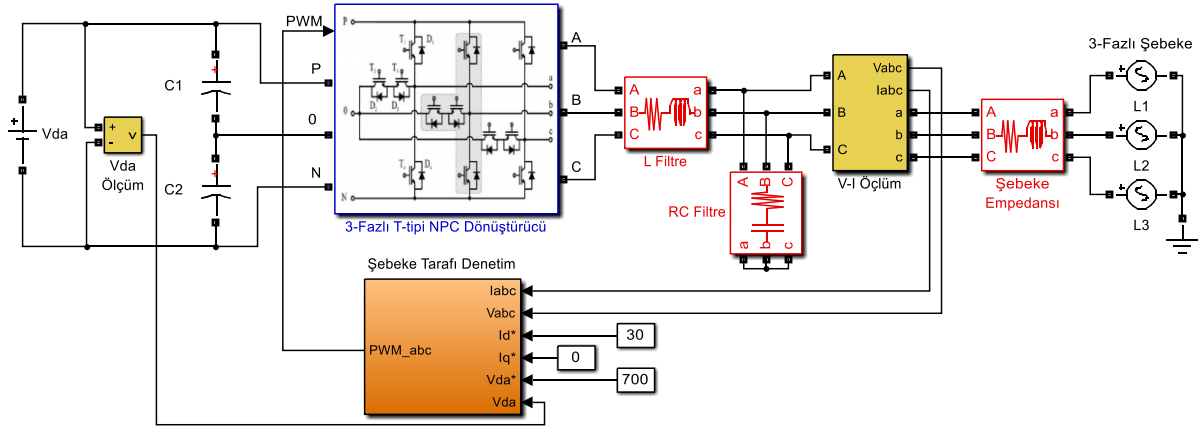
Tablo 1. Anahtarlama durumları

Durum	$V_{\text{çıkış}}$	T1	T2	T3	T4
P	$V_{\text{da}}/2$	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0
N	$-V_{\text{da}}/2$	0	0	0	1

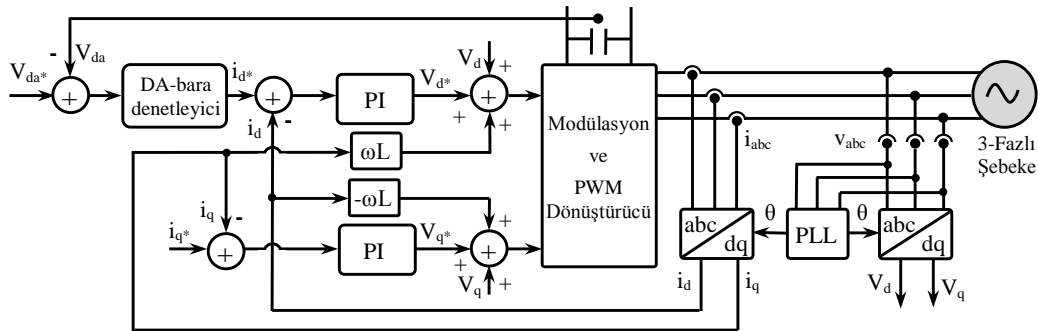
3. ŞEBEKE BAĞLANTILI T-TİPİ NPC DÖNÜŞTÜRÜCÜ DENETİMİ

Bu çalışmada, SMSG tabanlı küçük rüzgâr türbinleri için arka arkaya bağlı dönüştürücü sisteminde DA-

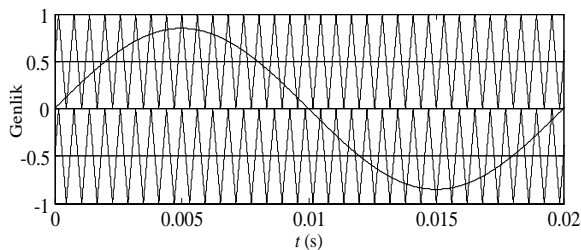
bara geriliminin sabit olduğu varsayılarak şebeke tarafında yer alan dönüştürücüyü kontrol etmek amaçlanmıştır. Şebeke bağlantılı 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücü denetimi MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 5'de görülmektedir. Dönüştürücü denetimi için Şekil 6'da verilen senkron referans çatı denetim yöntemi kullanılmaktadır [8]. Bu denetimde şebeke gerilim ve akım dalga şekilleri dq ekseninde ifade edilmektedir. Modülasyon yöntemi olarak sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) kullanılmıştır. Modülasyon sinyali Şekil 7'deki gibi üretilmiştir. N-seviye çıkış için (N-1) taşıyıcı sinyale ihtiyaç vardır. Gerekli taşıyıcı sinyal iki adet olduğu için çıkış 3-seviyeli olmaktadır. Taşıyıcı sinyal üçgen dalga şeklinde ve referans sinyal sinüzoidal dalganın genliği 0.85'dir. Dönüştürücü çıkışın fazlar arası 3-seviyeli gerilim dalga şekli Şekil 8'de gösterilmiştir.



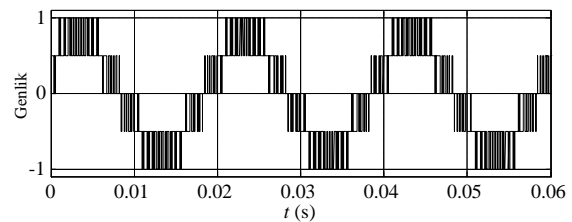
Şekil 5. Şebeke bağlantılı 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücü denetimi blok diyagramı



Şekil 6. Senkron referans çatı denetim yöntemi blok diyagramı

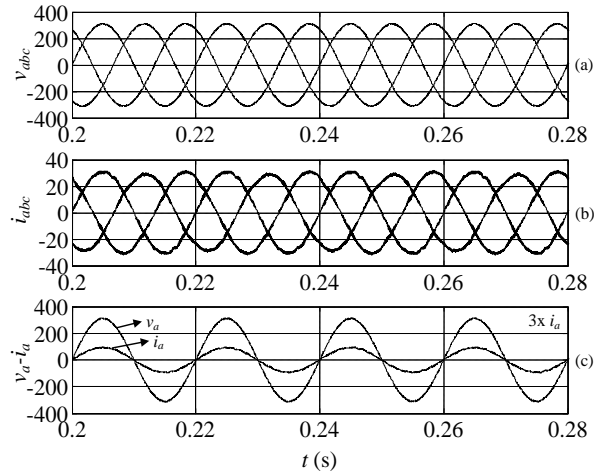


Şekil 7. Dönüştürücü modülasyon sinyalleri (M=0.85)

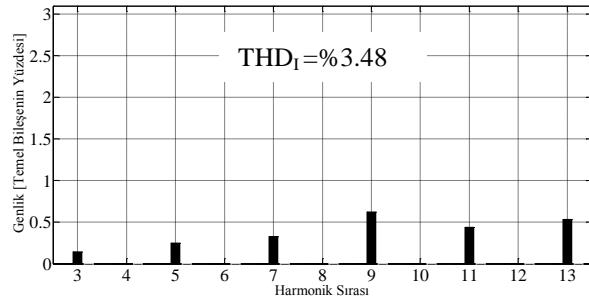


Şekil 8. Dönüştürücü çıkışı fazlar arası 3-seviyeli gerilim dalga şekli

Şebeke bağlantılı 3-fazlı 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücünün MATLAB/Simulink benzetimi ile elde edilen 3-fazlı çıkış gerilimleri Şekil 9(a)'da, şebekeye aktarılan çıkış akımları ise Şekil 9(b)'de verilmiştir. 3-faz şebeke akımlarının sinüzoidal dalga şeklinde ve THD değerinin %3.48 olarak IEEE-519 standardında belirtilen %5 harmonik akım sınırının altında olduğu tespit edilmiştir. Şekil 9c'de a -fazı gerilim ve şebekeye aktarılan akım aynı fazda olduğundan birim güç faktörünün elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, şebekeye aktarılan a -fazı akımı harmonik bar grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. MATLAB/Simulink benzetim çalışmasında kullanılan sistem parametreleri Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 9. 3-fazlı T-tipi NPC dönüştürücünün çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri



Şekil 10. Çıkış akımı harmonik dağılımları (a -fazı)

Tablo 2. Sistem parametreleri

Parametre		Değeri
Kaynak	Gerilimi (V_S)	220V _{rms} /F-N
	Frekansı (f)	50Hz
	Empedansı (R_S, L_S)	10m Ω , 57 μ H
T-Tipi NPC Dönüştürücü	DA-bara gerilimi (V_{da})	700V
	DA kondansatör (C_1, C_2)	4700 μ F
	Anahtarlama frekansı	8.25kHz
	AA tarafı filtre (R_C, L_C) (R_F, C_F)	0.1 Ω , 3mH 2 Ω , 50 μ F

4. SONUÇLAR

Rüzgâr türbin sistemlerini şebekeye bağlamak için birçok topoloji geliştirilmiştir. Özellikle küçük rüzgâr türbinleri gibi dağıtık üretim kaynaklarının alçak gerilimde yüksek verimli enerji dönüşümü çok fazla ilgi görmektedir. 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücüler alçak gerilim uygulamaları için düşük iletim kayıpları, eleman sayısı azlığı ve basit çalışma prensibi olan 2-seviyeli dönüştürücülerin olumlu yönleri ile düşük anahtarlama kayıpları ve yüksek çıkış gerilimi kalitesi sağlan 3-seviyeli dönüştürücülerin avantajlarını birleştirmektedir. Bu çalışmada MATLAB/Simulink ortamında denetimi yapılan şebeke bağlantılı 3-fazlı 3-seviyeli T-tipi NPC dönüştürücü sisteminin alçak gerilimde şebeke bağlantılı rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesine katkı sağlayacağı gösterilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Orlando, N.A., Liserre, M., Mastromauro, R.A., Dell'Aquila, A., "A Survey of Control Issues in PMSG-Based Small Wind-Turbine Systems", *IEEE Trans. on Ind. Informatics*, 9(3) 1211-1218, 2013.
- [2] Rodriguez, J., Lai, J.S., Peng, F.Z., "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 49(4), 724-738, 2002.
- [3] Kouro, S., Malinowski, M., Gopakumar, K., etc., "Recent Advances and Industrial Applications of Multilevel Converters", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 57(8), 2553-2580, 2010.
- [4] Colak, I., Kabalci, E., Bayindir, R., "Review of Multilevel Voltage Source Inverter Topologies and Control Schemes", *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1114-1128, 2011.
- [5] Schweizer M., Kolar, J.W., "Design and Implementation of a Highly Efficient Three-Level T-Type Converter for Low-Voltage Applications", *IEEE Trans. on Power Electronics*, 28(2), 899-907, 2013.
- [6] Staudt, I. "3L NPC & TNPC Topology", Semikron Application Note: AN-11001, 2012.
- [7] Schweizer, M., Kolar, J.W. "High Efficiency Drive System With 3-Level T-Type Inverter", *14th Eur. Conf. Power Electron. Appl.*, 1-10, 2011.
- [8] Teodorescu, R., Liserre, M., Rodriguez, P., "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems", 2011, Wiley.
- [9] Brahmam, P.V., Bharath, D., Dubey, M., "Solar Based Three Level T-Type Converter for Low Voltage Application", *International Journal of ChemTech Research*, 5(5), 2449-2455, 2013.
- [10] Kantar, E., Hava, A.M., "Design of Grid Connected PWM Converters Considering Topology and PWM Methods for Low-Voltage Renewable Energy Applications", *2014 International Power Electronics Conference*, 2034-2041, 2014.