

Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Kullanılan Güç Elektronikleri Devrelerinde Mikrodenetleyici Giriş Geriliminin Regülasyonu için Kullanılan Tekniklerin Karşılaştırılması

Kerim KARABACAK^{1*}

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Kütahya Teknik Bilimler MYO, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye

*(kerim.karabacak@dpu.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Günümüzde, fosil kaynaklara bağımlı enerji üretiminin sebep olduğu çevre sorunları göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji sistemleri kullanımı ön plana çıkmaktadır. Özellikle güneş enerjisi çevrim sistemleri ve rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri, kolay ulaşılabilir olmaları nedeniyle popüler olarak kullanılmaktadırlar. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde, elde edilen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için çeşitli güç elektronikleri devreleri kullanılmaktadır. Yükseltici konvertör, düşürücü-yükseltici konvertör ve invertör devreleri, yenilenebilir enerji sistemlerinde en çok kullanılan güç elektronikleri devreleridir. Genellikle, güneş enerjisi çevrim sistemlerinde bir veya birkaç adet yükseltici konvertör ve bu konvertör/konvertörlerin çıkışına bağlı bir invertör devresi bulunmaktadır. Buna karşın, rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde ise bir adet düşürücü-yükseltici konvertör ve bu konvertörün çıkışına bağlı bir adet invertör devresi kullanılmaktadır. Bu tür konvertör ve invertör devreleri, çeşitli mikrodenetleyiciler ile güç elektronikleri devre elemanlarının (IGBT, MOSFET, TRISTOR vb.) tetiklenmesi ile güç çevrimi gerçekleştirmektedir. Bu devrelerde kullanılan mikrodenetleyicilerin giriş geriliminin regülasyonu, söz konusu devrelerin düzgün çalışabilmesi için önem arz etmektedir. Bu çalışmada, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi sistemlerinde kullanılan güç elektronikleri devreleri tanıtılmış ve bu devrelerin çalışma prensipleri açıklanmıştır. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde kullanılan mikrodenetleyiciler için çeşitli giriş gerilimi regülasyonu teknikleri sunulmuş ve bu tekniklerin avantajlı ve dezavantajlı durumları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan güç elektronikleri devrelerinde, mikrodenetleyici giriş gerilimi regülasyonu için, dc giriş gerilim aralığının geniş olması ve güç tüketiminin düşük olması sebebiyle, mini-dc/dc düşürücü konvertör kullanımının daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Yenilenebilir Enerji Sistemleri, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Hibrit Enerji Sistemleri, Gerilim Regülasyonu

I. GİRİŞ

Fosil yakıtlar ve kömüre dayalı elektrik üretiminin atmosfer üzerinde yüksek seviyede kirlilik etkileri olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi için kullanımı giderek artmaktadır. 2019 yılında yenilenebilir enerji üretimi, dünyadaki toplam enerji üretiminin (hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyoenerji, dalga ve gelgit dahil) %11,41'ini oluşturmaktadır. 2019 yılında hidroelektrik enerji harici dünyadaki toplam yenilenebilir enerji üretimi 3137,47 TWh'dir. 2020

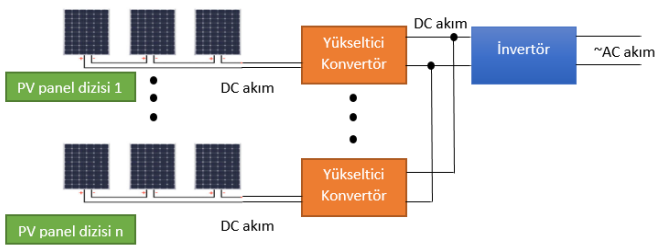
yılında ise bu üretim 3322,94 TWh'ye kadar çıkmıştır. Hidroelektrik enerji harici yenilenebilir enerji üretiminin bir yıllık değişim oranı ise %5,9'dur [1].

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimi (hidroelektrik enerji hariç) 2011 yılında 5,75 TWh olarak kaydedilmiştir. 2021 yılında bu değer 61,3 TWh'ye ulaşmıştır. Hidroelektrik enerji harici yenilenebilir enerji üretiminin on yılda 5 kat arttığı görülmektedir. 2014 yılında Türkiye'nin fotovoltaik enerjide toplam

kurulu gücü 0,07 GW'dır. 2015 yılının başından itibaren PV enerji sistemi yatırımları katlanarak arttı. 2020 yılında toplam kurulu PV güç kapasitesi 6,67 GW'a çıkarılmıştır. Bu da güneş enerjisi sistemi yatırımlarının 6 yılda 95,28 kat arttığını göstermektedir [2]. Rüzgâr enerjisi için de benzeri bir durum söz konusudur. Rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri kurulumu özellikle son on yıl içerisinde artan bir ivme ile artış göstermiştir.

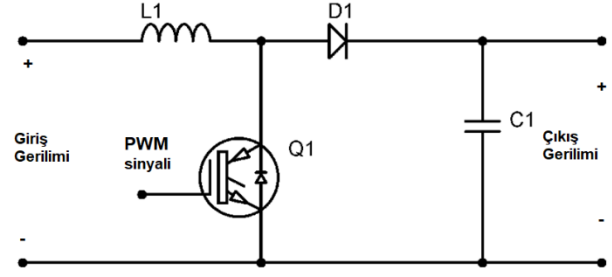
Güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri kurulumlarının dünya üzerinde artması ile birlikte, bu tarz enerji sistemlerinde kullanılan güç elektroniği devrelerinde de çok çeşitli geliştirme ve iyileştirme çalışmaları da yapılmaktadır.

Güneş enerjisi çevrim sistemlerinde, genellikle bir veya birden çok yükseltici konvertör (boost converter) devresi ile bu yapının çıkışına bağlı olmak üzere bir adet inverter devresi kullanılmaktadır. Güneş panellerinin çıkışlarındaki DC gerilim seviyesi, güneş ışınımının az olduğu durumlarda invertör devresi girişi için yeterli seviyede olamayabilmektedir. Bu sebeple, yükseltici konvertör devreleri, bağlı bulunduğu güneş paneli dizisindeki DC bara gerilimini invertör girişi için yeterli seviyeye yükseltmekle görevlidirler. Yükseltici konvertör devrelerinin çıkışlarına paralel olarak bağlanan inverter devresi ise doğru akımı alternatif akıma çevirmektedir. Şekil 1, güneş enerjisi çevrim sistemlerinde kullanılan temel güç devrelerinin genel gösterimini vermektedir.



Şekil 1. Güneş enerjisi çevrim sistemlerinde kullanılan güç elektroniği devrelerinin genel gösterimi.

Burada, her bir yükseltici konvertör devresi, bir adet güç anahtarı (IGBT, MOSFET, TRİSTÖR vb.), bobin ve kondansatör içermektedir. Ayrıca, güç anahtarının tetikleme sinyallerinin oluşturulmasını sağlamak için bir adet mikrodenetleyici de sisteme dâhil edilmelidir. Şekil 2, her bir yükseltici konvertör devresinin iç yapısını göstermektedir [3].



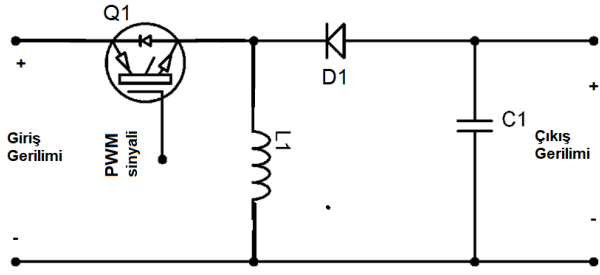
Şekil 2. Yükseltici konvertör şematik gösterimi.

Güneş enerjisi çevrim sistemlerinde, fotovoltaik panellerin maruz kaldıkları güneş ışınımı seviyesi belirli sınırlar dâhilinde düşük ivmeli şekilde gerçekleşmektedir (Havanın bulutlu olması vb. durumlar). Buna karşın, rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde durum biraz farklıdır. Rüzgâr hızı, rüzgâr türbininin kurulu olduğu noktada çok hızlı bir şekilde değişebilmektedir. Hatta rüzgâr hızının aşırı şekilde arttığı durumlarda, rüzgâr türbini, inverter girişinin izin verilen en yüksek değerdeki gerilim seviyesinden daha fazla gerilim seviyesine ulaşabilmektedir. Bu durumda ya yüksek güç kayıplarına neden olan frenleme direnci kullanılmaktadır ya da inverter girişinden önce bir düşürücü-yükseltici konvertör kullanılmaktadır. Şekil 3, rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde kullanılan temel güç devresinin genel gösterimini vermektedir.



Şekil 3. Rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde kullanılan güç elektroniği devrelerinin genel gösterimi.

Düşürücü-Yükseltici konvertörün iç yapısı, temelde yükseltici konvertöre benzemektedir. Devre elemanları aynı olup, sadece devre elemanlarının yerleri değiştirilmiştir. Bu konvertörün özelliği, çıkışta giriş geriliminden daha düşük seviyede veya giriş geriliminden daha yüksek seviyede gerilim elde edilebilmesidir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi, güç elemanının tetikleme sinyalindeki görev zamanının ayarlanması ile mümkün olmaktadır [4]. Şekil 4, düşürücü-yükseltici konvertör devresinin iç yapısını göstermektedir.



Şekil 4. Düşürücü-yükseltici konvertör şematik gösterimi.

Çalışmanın giriş bölümünde, yenilenebilir enerji sistemlerinin günümüzdeki gelişimi ve popülaritesi vurgulanmıştır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemleri ve rüzgâr enerjisi sistemlerinde yaygın olarak kullanılan güç elektroniği devreleri verilmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde ise giriş bölümünde verilmiş olan devrelerdeki güç elektroniği devre elemanlarını sürmek için kullanılan mikrogenetleyicilerin gerilim regülasyonları için çeşitli teknikler verilmiştir. Bulgular bölümünde, farklı yapıdaki regülasyon teknikleri için elde edilen bulgular sunulmuştur. Sonuçlar bölümünde çeşitli regülasyon tekniklerinin karşılaştırmalı analizi ve avantajlı/dezavantajlı yönleri sunulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

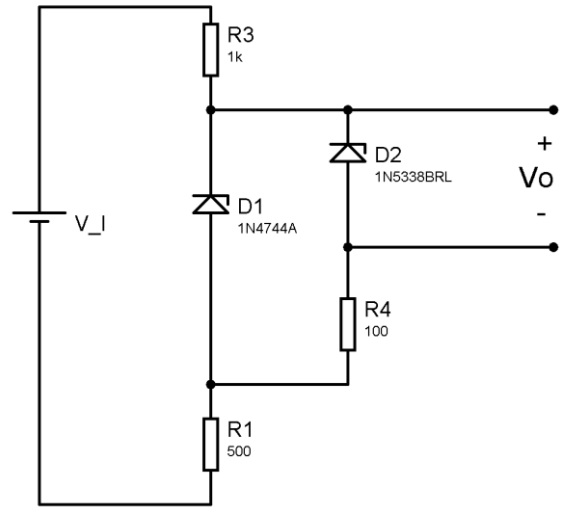
Yukarıda verilmiş olan devre topolojilerinde, güç elektroniği devre elemanını tetiklemek için mutlak suretle bir mikrogenetleyici kullanılmalıdır. Mikrogenetleyicinin çalışabilmesi için sabit bir gerilime ihtiyaç vardır (çoğu zaman 5V, 3.3V gibi). Söz konusu güç elektroniği devrelerinin giriş gerilim seviyeleri çok farklılık göstermekte ve değişken aralıkta olabilmektedir. Bu sebepten, bu tarzdaki devrelerde, mikrogenetleyici için özel bir gerilim regülasyon devresi kullanılmalıdır.

Bu bölümde, bu amaca uygun şekilde tasarlanan çeşitli regülasyon devreleri incelenmiştir. Öncelikle, giriş gerilim seviyesi 100V-320V arası olan devrelerde kullanılmak üzere zener diyotlu regülötör devresi incelenmiştir. Devamında, doğrusal regülötör kullanılan topoloji incelenmiştir. Son olarak, mini dc/dc konvertör kullanılan devre topolojisi verilmiştir.

A. Zener diyot ile gerilim regülasyonu

Mikrogenetleyici gerilim regülasyonu için, gerilim bölücü devresi ile birlikte zener diyottan oluşan bir yapı kullanılabilir [5]. Şekil 5' deki devre, gerilim bölücü ile zener diyot

kullanılarak yapılan gerilim regülasyonunu göstermektedir.

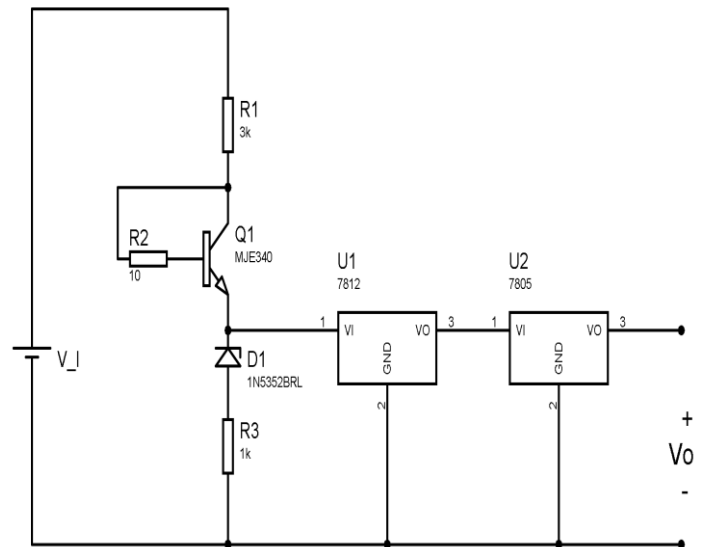


Şekil 5. Zener diyot ile gerilim regülasyonu.

Giriş geriliminin 100V olduğu başlangıç durumunda, regülasyon devresinin toplam güç tüketimi 6.35Watt olarak hesaplanmıştır. Buna karşın, devre çıkışından çekilebilecek akım 5 mA dir. Giriş geriliminin 320V olduğu durumda ise regülasyon devresinin toplam güç tüketimi 63.2Watt olmaktadır. Bu durumda, devre çıkışından çekilebilecek maksimum akım 51 mA dir.

B. Doğrusal regülötör devresi

Mikrogenetleyici gerilim regülasyonu için zener diyot yanısıra doğrusal gerilim regülötörü entegrelerinin kullanıldığı devre Şekil 6' da verilmiştir.

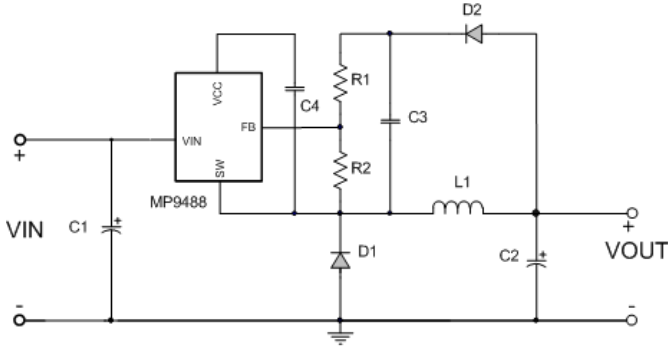


Şekil 6. Doğrusal regülötör kullanımı.

Doğrusal regülatör kullanılan devrede giriş geriliminin 100V olduğu başlangıç durumunda, regülasyon devresinin toplam güç tüketimi 9.24Watt olduğu görülmüştür. Bu durumda, devre çıkışından çekilebilecek akım 37.6 mA dir. Giriş geriliminin 320V olduğu durumda ise regülasyon devresinin toplam güç tüketimi 36.77 Watt olarak görülmüştür. Devre çıkışından çekilebilecek maksimum akım ise 86.6 mA dir.

C. Mini dc/dc konvertör ile regülasyon

Mini dc/dc konvertörler, 500 mA seviyesine kadar gerekli akım ihtiyacı için kullanılabilen, giriş geriliminin 3V ila 15V arasında ayarlanılabildiği düşürücü (buck) konvertörlerdir. Şekil 7, bir mini dc/dc konvertör ile 100V-320V arasında giriş gerilimi olan bir devre için 15V çıkış gerilimi regülasyonu sağlamaktadır.



Şekil 7. Gerilim regülasyonu için mini dc/dc konvertör devresi [6].

Giriş geriliminin 100V olduğu başlangıç durumunda, regülasyon devresinin toplam güç tüketimi 1.3Watt olarak hesaplanmıştır. Buna karşın, devre çıkışından çekilebilecek akım 98 mA dir. Giriş geriliminin 320V olduğu durumda ise regülasyon devresinin toplam güç tüketimi 3.2 Watt olmaktadır. Bu durumda, devre çıkışından çekilebilecek maksimum akım 300 mA dir.

III. BULGULAR

Bu çalışmada önerilen mikrodenetleyici giriş gerilimi regülasyonu devreleri için simülasyon çalışmaları ve deneyler sonucunda elde edilmiş olan maksimum güç tüketimi ve maksimum çıkış akımı verileri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Regülasyon devrelerinin maksimum güç tüketimi ve maksimum çıkış akımları

Regülasyon tekniği	Maksimum güç tüketimi	Maksimum çıkış akımı
Zener diyot regülatör	63.2 Watt	51 mA
Doğrusal regülatör	36.77 Watt	86.6 mA
Mini dc/dc konvertör	3.2 Watt	300 mA

IV. SONUÇLAR

Çalışmada, güneş enerjisi çevrim sistemlerinde ve rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinde kullanılan güç elektroniği devrelerindeki mikro-denetleyicilerin giriş gerilimi regülasyonu için üç farklı devre topolojisi önerilmiştir.

Önerilen regülasyon devresi topolojilerinden, güç tüketimi, maksimum çıkış akımı ve giriş gerilim aralığının geniş olması sebebiyle mini dc/dc konvertör topolojisi diğer iki devre topolojisinden daha başarılı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Our world in data - How much of our primary energy comes from renewables. [cited 2022 10.03.2022]; Available from: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>.
- [2] Karabacak, K. (2022). Economic feasibility analysis of a grid-connected PV energy system: A case study of Kutahya Dumlupinar University, Türkiye . Journal of Scientific Reports-A , (050) , 200-216 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jsr-a/issue/72895/1095014>
- [3] K. -B. Park, G. -W. Moon and M. -J. Youn, "Nonisolated High Step-up Boost Converter Integrated With Sepsic Converter," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 9, pp. 2266-2275, Sept. 2010, doi: 10.1109/TPEL.2010.2046650.
- [4] M. Veerachary and V. Khubchandani, "Control of Fourth-order Buck-Boost Converter," 2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India), Bengaluru, India, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITEC-India48457.2019.ITECINDIA2019-139.
- [5] T. J. Witt, D. Reymann and D. Avrons, "The stability of some Zener-diode-based voltage standards," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 44, no. 2, pp. 226-229, April 1995, doi: 10.1109/19.377817.
- [6] MP9488 datasheet, accessed in 2023, <https://www.monolithicpower.com/en/mp9488.html>