

Elektrik Makinelerini Besleyen Fotovoltaik Sistemlerdeki Geçici Rejimlerin Deneysel Olarak İncelenmesi

İrfan GÜNEY
igüney@marmara.edu.tr

Nevzat ONAT
nonat@marmara.edu.tr

İsmail KIYAK
imkiyak@marmara.edu.tr

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
34722 Göztepe / İSTANBUL

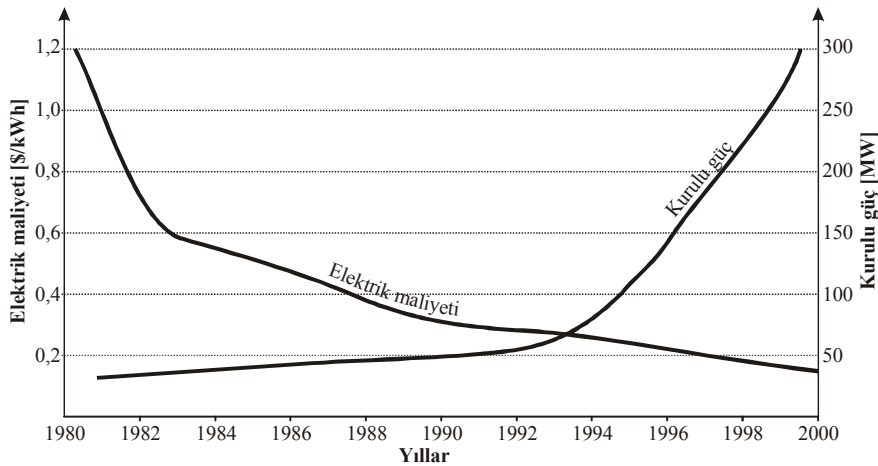
1. Özet

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmede, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklediği bir görev olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler, artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir.

Güneş pilleri çok geniş kullanım alanları içerisinde çoğu zaman bir elektrik makinesi içeren alıcıları besleyebilir. Elektrik makineleri tiplerine göre değişik kalkınma ve geçici rejim özellikleri göstermektedir. Bu çalışmada güneş pillerinden direkt olarak beslenen genel elektrik makinelerinin ilk kalkınma anındaki geçici rejimleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçların fotovoltaik sistem üzerindeki etkilerinin neler olabileceği üzerinde durulmuştur.

2. Giriş

Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi bir hareketli parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi fotovoltaik olayına dayanır. 1970li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları uzay çalışmaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954’lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki birinci petrol bunalımını izleyen yıllarda olmuştur. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu nedenle daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. Ticari anlamda güneş pili endüstrisi 20.yüzyıl sonu itibariyle yıllık 1 milyon \$ satış yapılan bir pazar haline gelmiştir [1], [2].



Şekil 1 Güneş pili teknolojisinin dünya üzerindeki kurulu güç ve birim elektrik maliyetlerinin yıllara göre değişimi.

Şekil 1’de görüldüğü gibi güneş pillerinden elde edilen elektrik enerjisinin birim maliyeti 1980’li yılların başında itibaren hızla düşmeye başlamıştır. Dünya üzerindeki kurulu güç ise 1990’lı yılların başından itibaren büyük artış göstermektedir [3], [4]. Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir. Sera etkisinin oluşturduğu karbondioksit emisyonunu azaltma yönünde artan uluslararası çözüm çalışmaları Milenyum’un ilk yirmi yılı içinde güneş pili endüstrisinin daha da gelişerek maliyetleri düşürme yolunda önemli mesafeler alabileceğini göstermektedir [5].

3. Fotovoltaik Sistem Yapıları

Fotovoltaik sistemler güneş pilleri ile dizayn edilir. Yüksek güç uygulamaları için, tipik bir güneş pili yaklaşık olarak 0,5 Volt doğru gerilimde 2 Watt’tan az güç ürettiğinden, yeterli gücü üretmek için piller seri-paralel konfigürasyonlarda bağlanırlar. Yapılan uygulamanın niteliğine bağlı olarak, 300 Watt’tan yüksek güçlerde modüller birkaç watt hata ile gerekli çıkış gücünü verebilirler. Tipik panel çıkış gücü 100 Watt ile Kilowatt mertebesi arasında değişir. Fakat Megawatt’lık güneş pili sistemleri de mevcuttur [6].

Fotovoltaik paneller gündüz saatlerinde enerji ürettiğinden, bu sistemler genellikle elektrik enerjisini gündüz saatleri dışında da mevcut kılmak için enerji depolayan elemanlar da içerir. Büyük çoğunlukla depolama sistemleri şarj edilebilir bataryalardan oluşur. Bataryalar enerji depolamanın yanı sıra fotovoltaik sistemin kapasitesi aşıldığında geçici durdurma, sistem gerilim regülasyonunu sağlama ve bir akım kaynağı olma gibi ek görevleri de üstlenirler. Eğer sistemde batarya mevcutsa, bu bataryaların fazla şarj veya deşarj olmalarını önleyen bir şarj kontrolörü de kullanılır. Bazen sistemin bir alternatif akım yükünü beslemesi de gerekebilir. Bu durumda fotovoltaik panellerin ürettiği doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştüren inverter devrelerine ihtiyaç duyulur. Fotovoltaik sistemler ulusal bir enterkonnekte şebekeye de bağlanabilir. Yeterli fotovoltaik üretimi varsa, bu sistemlerin ürettiği fazla enerji bu yolla dağıtılabilir. Bu tip sistemlerde ani bir arıza durumunda pilleri korumak için pilleri şebekeden ayıran kesicilerin olması gerekir.

Fotovoltaik sistemler genellikle tek-başına çalışan sistemler olarak tasarlanırlar. Bir çok kullanım alanları vardır. İlk yatırım maliyeti oldukça pahalı ve genellikle bir depolama sistemine ihtiyaç duymalarına karşın tercih edilmelerini sağlayan başlıca avantajları şöyle özetlenebilir:

- Yakıt maliyeti ve yakıt sağlama problemi yoktur. Buna bağlı olarak yakıtın taşınması ve depolanması ile ilgili maliyetler de bulunmamaktadır.
- Güneş pilleri güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren tüm doğrudan enerji dönüştürücüler içinde en yüksek verime sahip olanlardır. (Ticari modüllerde verim %14 – 20 arasında, laboratuvarlarda özel olarak imal edilen deneysel güneş pillerinde ise %30’lara kadar ulaşabilmektedir.
- Güneş pili modüllerinin güvenilirliği, dizel ve rüzgar generatörlerine göre oldukça yüksektir.
- İşletme ve periyodik bakım ihtiyaçları yok denecek kadar azdır ve ömürleri uzundur. Günümüzde ürettikleri güneş pillerine 25 yıl garanti veren firmalar mevcuttur. Bu pillerin ömürlerinin ise garanti süresinin üç katı olduğu hesaplanmaktadır.
- Modüler yapıları nedeniyle güç ve gerilim seviyesi kolaylıkla artırılıp azaltılabilir.
- İletim hattına ihtiyaç göstermez, ihtiyacın olduğu yere kurulabilir.
- Birim ağırlık başına oldukça yüksek çıkış gücüne sahiptirler ve sessiz çalışırlar.

Bunların yanı sıra güneş pili kullanımı ile konvansiyonel yakıtların oluşturduğu sosyal maliyet olarak adlandırılan çevre kirliliği ve sera gazı etkileri neredeyse sıfıra inmektedir. Bu da güneş pili kullanımının teşvik edilmesini sağlayan önemli avantajlardan biridir. Fraunhofer Enstitüsü tarafından Almanya için yapılan ayrıntılı bir çalışmada, fosil kaynaklarından elektrik enerjisi üretmenin getireceği toplam sosyal maliyetin en az $0,27\$/kWh$ olduğu ve nükleer santrallerin getireceği toplam sosyal maliyetlerin ise en az $0,04\$/kWh$ olduğu belirtilmektedir [1], [3].

4. Fotovoltaik Sistemler İle Elektrik Makineleri Uygulamaları

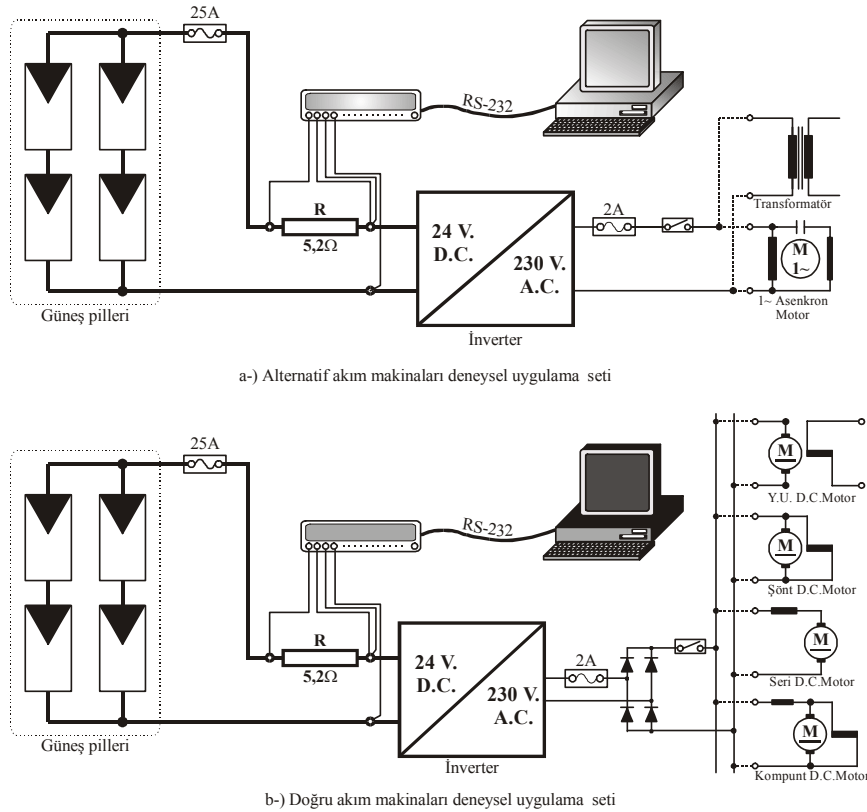
Fotovoltaik sistemler günümüzde çok çeşitli alanlarda geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Güneş pili sistemlerinin beslediği alıcıların özellikleri sistemin güç üreticisi olan pilleri doğrudan etkilemektedir. Özellikle yükün direkt olarak pillere bağlandığı sistemlerde daha belirgin etkiler olabilmektedir. Güneş pillerinin beslediği elektrik makineleri içeren alıcılarda (su pompalama ve depolama sistemleri, soğutma sistemleri, vantilasyon

sistemleri, uydu sistemleri v.b.) kullanılan makinenin özelliğine göre sistem davranışı değişebilir. Literatürde elektrik makinelerinin besleyen güneş pili sistemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Arrouf M., bir ve üç fazlı asenkron (indüksiyon) motorlarının güneş pili ile beslenmesinde çeşitli kontrol sistemleri üzerinde çalışmıştır [7], [8]. Singer, güneş pilleri ile beslenen çeşitli doğru akım makinelerinin kalkınma karakteristiklerini inceleyerek performansın artırılması için çeşitli öneriler getirmiştir [9]. Özellikle doğru akım motorları ulaşım sektöründe de kullanıldığından güneş pili ile çalışan ulaşım araçlarının dizaynında dikkate alınmaktadır. Bu araçlarda kullanılacak doğru akım motorlarından maksimum performansın elde edilmesi için çok çeşitli parametrelerin göz önüne alınması gerekmektedir [10]. Bu çalışmada, fotovoltaiik sisteme doğrudan bağlanan (depolama sistemi ve kontrolör içermeyen) elektrik makinelerinin ilk kalkınmada ve nominal çalışma durumundaki davranışları deneysel olarak gözlenmiştir.

Elektrik makineleri doğru akım ve alternatif akım elektrik makineleri olarak iki ana başlık altında toplanırlar. Fotovoltaiik sistemlerle beslenen doğru akım motorları kaynağa doğrudan bağlanabilir. Bazı durumlarda gerilim değerlerinde farklılık olması nedeniyle sisteme bir inverter ve doğrultucu eklemek gerekebilir. Fakat alternatif akım makinelerinin beslenmesi için bir inverter kullanmak zorunludur. Dolayısıyla alternatif akım makinelerinde inverter devresinin davranışı da sistem üzerinde etkilidir ve göz önünde bulundurulması gereklidir.

Elektrik makinelerini çalıştıracak fotovoltaiik sistemlerin tasarım aşamasında bütün elektrik makinelerinin ilk kalkınma anında nominal çalışma akımından yüksek akımlar çektiği dikkate alınmalıdır. İlk kalkınma anında çekilen yüksek akım nedeniyle makinenin güç tüketimi de yüksek olacaktır. Bu akım miktarı makineler arasında farklılık gösterir. Hatta aynı tip makineler farklı bağlantı şekillerinde farklı kalkınma akımları çekebilir. Örneğin, sincap kafesli indüksiyon makineleri yıldız bağlantıda nominal akımlarının 1,7-2 katı akım çekerken, üçgen bağlantıda bu değer 4-5 katına kadar çıkabilir. Sargılı rotorlu indüksiyon makinelerinde ise bu değer 1,3-1,6 katı civarındadır. Doğru akım motorları için de benzer şeyler söylenebilir.

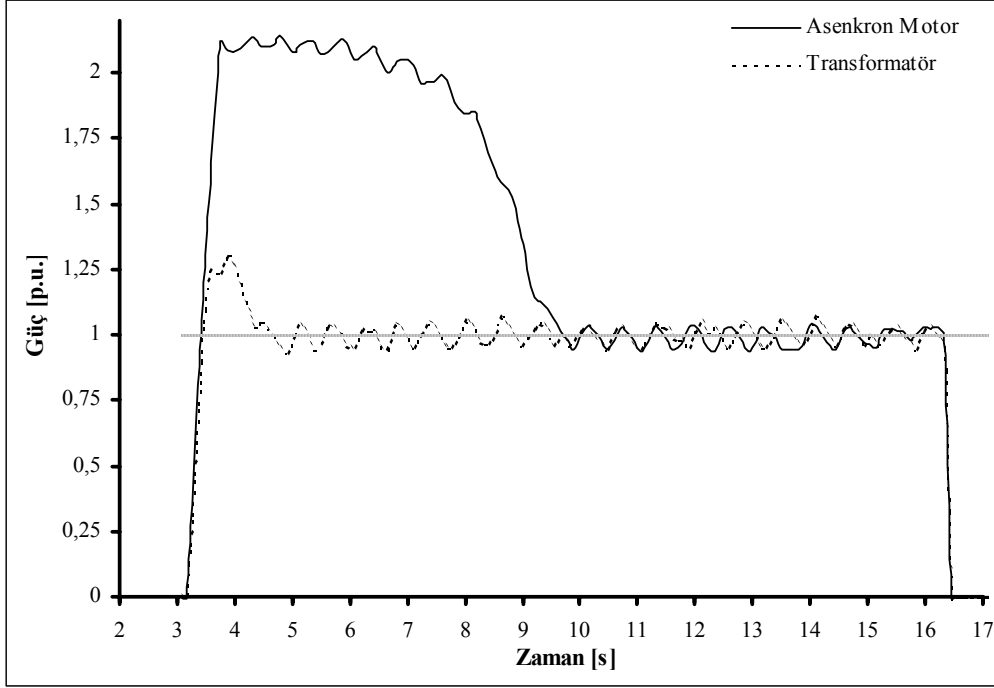
5. Deneysel Uygulamalar



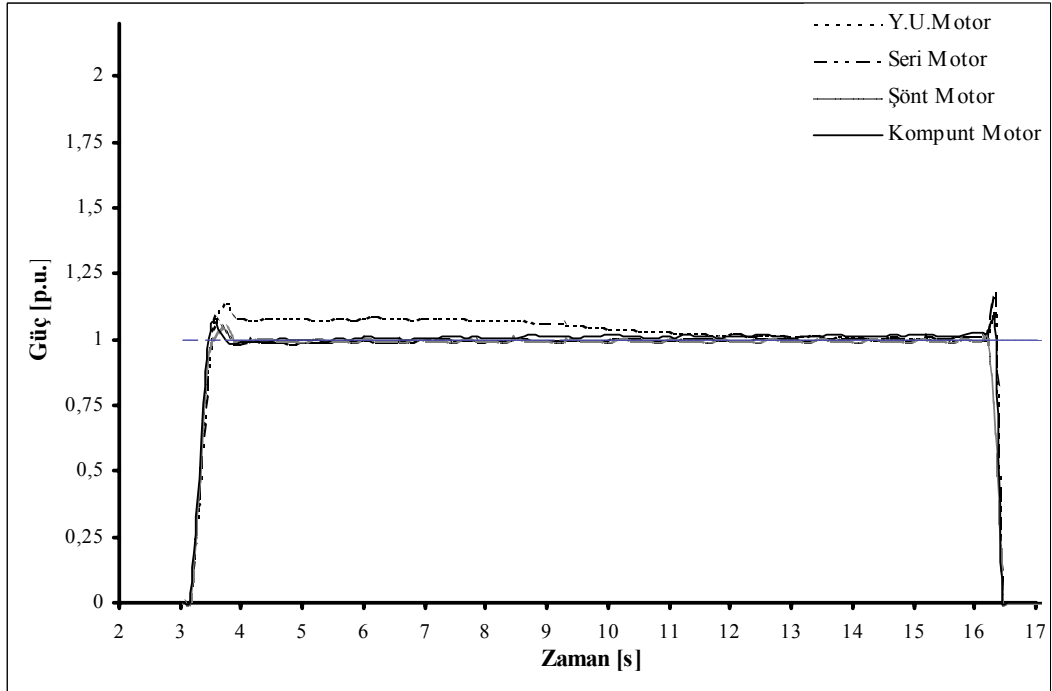
Şekil 2 Deneysel uygulamalarda kurulan deney setleri.

Bir güneş pili santralinden direkt olarak beslenen elektrik makinelerinin davranışını deneysel olarak incelemek amacıyla Şekil 2'de verilen deney sistemi kurulmuştur. Alternatif akım makineleri olarak bir fazlı asenkron

motor ve transformatör seçilmiştir. Yabancı uyarımlı, seri, sönt ve kompunt bağlantılı doğru akım makineleri ile ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır. Ölçümler RS-232 haberleşme sistemi ile bilgisayara bağlanan bir multiplexer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde SCHÜCO firması tarafından üretilmiş $125W$ gücünde 4 adet güneş pili kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda birim değer dönüşümü yapılarak gücün zamanla değişim eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen eğriler alternatif ve doğru akım makineleri için Şekil 3'de ayrı olarak verilmiştir.



a-) Alternatif akım makineleri için alınan ölçüm sonuçları.



b-) Doğru akım makineleri için alınan ölçüm sonuçları.

Şekil 3 Deneysel uygulamalar sonucu elde edilen güç-zaman eğrileri.

6. Sonuçlar

Şekil 3.a'da grldėđđ gibi alternatif akım makinelerinin ilk kalkınma anındaki geçici rejimleri bağlı bulunduėđđ kaynaėđđ oldukça zorlayıcı niteliktedir. Asenkron motorun kalkınma anında nominal gücün 2 katından fazla gücü ektiėđđ ve aŐırı gücü talebinin oldukça uzun bir zaman dilimine yayıldıėđđ gözlenmektedir. Transformatör yükünde ise asenkron motora göre çok daha az olmakla birlikte aŐırı gücü talebi olmaktadır. Doėđđ akım makineleri ise çok daha dŐđk ilk kalkınma akımlarına ihtiyaç duymaktadır.

Fotovoltaik sistemler tasarım aşamasında besleyecekleri alıcının nominal yükü esas alınarak projelendirilir. Yapıları itibariyle ilk kalkınma akımının ykseklėđđ güneş pilleri üzerinde kısa vadede önemli bir etki yapmaz. Fakat özellikle çok sık devreye girip çıkan sistemlerde ilk kalkınma akımı dikkate alınmazsa çekilen aŐırı gücü modüllerin aŐırı ısınmasına ve fotovoltaik sistemin veriminin düŐmesine neden olabilir. Ayrıca özellikle alternatif akım makinelerini besleyen sistemlerde çok yüksek ve uzun süren aŐırı gücü talepleri karŐılanamayabilir. Bu durumda makinenin kalkınma anındaki performansı oldukça olumsuz etkilenecektir. Makine veriminin azalmasına yanı sıra uzun vadede fotovoltaik pillerin veriminin normalden fazla azalmasına ve ömrünün kısalmasına neden olacaktır. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerin tasarımında yükün miktarının yanı sıra niteliėđđinin de dikkate alınması önem kazanmaktadır. Özellikle alternatif akım makineleri içeren sistemlerde gücü tespiti yapılırken yükün nominal alıŐma Őartlarındaki miktarının bir miktar üzerinde alınması ve sistemin bu değere göre boyutlandırılması faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] PERLIN J., "From Space to Earth : The Story of Solar Electricity", AATCC Publications, Ann Arbor, 1999.
- [2] <http://www.youthforhab.org.tr>, eriŐim tarihi : 22.02.2004.
- [3] PATEL M. R., Wind and Solar Power Systems, CRC Press, U.S.A, 1999.
- [4] GREEN M. A., "Photovoltaics: Technology Overview", Energy Policy, Vol.28, p.989-998, Elsevier Science Ltd., 2000.
- [5] MESSENGER R., VENTRE J., Photovoltaic System Engineering", CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2000.
- [6] GREEN M. A., "Silicon Solar Cells" Centre for Photovoltaic Devices and Systems, University of South Wales, Sydney, 1995.
- [7] ARROUF M., GOEDEL C., "Photovoltaic Pumping System for Induction Machine with Hysteresis Array Current Control", IEEE AFRICON 4th, Vol.2, s.853-855, 24-27 Sept 1996.
- [8] ARROUF M., BOUGUECHAL N., "Vector Control of an Induction Motor Fed by a Photovoltaic Generator", Applied Energy Vol.74, s.159-167, Elsevier Science Ltd., 2003.
- [9] SINGER S., APPELBAUM J., "Starting Characteristic of Direct Current Motors Powered by Solar Cells", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.8, No.1, s.47-52, March 1993.
- [10] LOYATT H. C., RAMSDEN V. S., MECROW B. C., "Design of an In-Wheel Motor for a Solar-Powered Electric Vehicle", IEE Proceedings-Electric Power Applications, Vol.145, Iss.5, s.402-408, September 1998.