



TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

BİLGİ BELGE MERKEZİ(BBM)

Döküman Bilgileri

EMO BBM Yayın Kodu	: 348
Makalenin Adı	: Fotovoltaik Sistemlerinin Temelleri
Makalenin Yayın Tarihi	: Ocak 2002
Yayın Dili	: Türkçe
Makalenin Konusu	: Fotovoltaik Sistem
Makalenin Kaynağı	: 3E Electrotech Dergisi, sayı:?, Ocak 2002
Anahtar Kelimeler	: Fotovoltaik
Yazar 1	: Murat Aydemir

Açıklama

Bu doküman Elektrik Mühendisleri Odası tarafından açık arşiv niteliğinde olarak bilginin paylaşımı ve aktarımı amacı ile eklenmiştir.

Odamız üyeleri kendilerine ait her türlü çalışmayı EMOP/Üye alanında bulunan veri giriş formu aracılığı ile bilgi belge merkezinde yer almasını sağlayabileceklerdir. Ayrıca diğer kişiler çalışmalarını e-posta (bbm@emo.org.tr) yolu ile göndererek de bu işlemin gerçekleşmesini sağlayabileceklerdir. Herhangi bir dergide yayınlanmış akademik çalışmaların dergideki formatı ile aynen yer almaması koşulu ile telif hakları ihlali söz konusu değildir.

Elektrik Mühendisleri Odası Bilgi Belge Merkezi'nde yer alan tüm bilgilerden kaynağı gösterilerek yararlanılabilir.

Bilgi Belge Merkezi'nde bulunan çalışmalardan yararlanıldığında, kullanan kişinin kaynak göstermesi etik açısından gerekli ve zorunludur. Kaynak gösterilmesinde kullanılan çalışmanın adı ve yazarıyla birlikte belgenin URL adresi (http://bbm.emo.org.tr/genel/katalog_detay.php?katalog=2&kayit=348) verilmelidir.

ENERJİ

Fotovoltaik Sistemlerin Temelleri

Gn. Md. Yrd. Murat Aydemir
Viessmann Isı Teknikleri A.Ş.

Güneş Enerjisi

Güneş Enerjisinden Faydalanma

Güneş, yeryüzünü milyarlarca yıldan beri ışık ve ısı ile beslenmekte ve canlıların yaşamlarına olanak sağlamaktadır. Bu sonsuz enerji kaynağının ne kadar görkemli olduğu aşağıdaki örnekte anlaşılmaktadır:

Yeryüzüne her saatte 1.7×10^{14} kWh'lik ışınım ulaşmaktadır. Bu miktar Almanya'nın yıllık enerji sarfiyatının 240 katına eşittir.

Bizim içinde bulunduğumuz enlemlerde bulutsuz bir yaz gününde toplam ışınım 1000 Wm^2 'dir. Güneşli bir yaz gününde yeryüzüne $8-10 \text{ kWh/m}^2$ ulaşmaktadır. Türkiye'ye her m^2 yüzeye yıllık ortalama 1300 kWh , yaklaşık 130 litre sıvı yakıtın enerjisine eşit enerji miktarı ulaşmaktadır. Anamur'da bu miktar $1510 \text{ kWh} (\text{m}^2 \cdot \text{a})$, Rize'de ise yaklaşık $990 \text{ kWh} (\text{m}^2 \cdot \text{a})$ olmaktadır.

Güneş panelleri ile bu enerjiyi doğrudan kullanma suyu ısıtma veya ısıtma desteği olarak

kullanmak mümkündür. Fotovoltaik sayesinde bu ışınım enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek mümkündür.

Fotovoltaik Sistem

Güneş Pili-Güneş Modülü-Güneş Enerjisi Jeneratörü

Güneş pili bir fotovoltaik sistemin en küçük yapı parçasıdır. Birden fazla güneş pili hücresi birleştirilerek bir güneş modülü devresi oluşturulmaktadır. Bir fotovoltaik sistemde birden fazla, güneş enerjisi jeneratörü olarak da tanımlanan, güneş modülü bulunmaktadır.

Bir güneş pili hücresi ince bir silisyum tabakasından oluşmaktadır. Silisyum atomları, bir atom çekirdeğinden ve bu çekirdeğin etrafındaki yörüngelerde hareket halinde olan elektronlardan oluşmaktadır. Atom çekirdeği pozitif, elektronlar da negatif yük taşırlar. Güneş ışığı, ışık kuantumu (fotonlar) formunda silisyum tabakalara ulaştığında, elektronlar enerji kazanır. Yeterli miktarda enerji absorbe edildiğinde, elektronlar yörüngelerini

terk edecek şekilde hızlanır. Serbest dolaşan elektronlar kısa bir süre sonra tekrar yörüngelerine geri dönecekleri için faydalı değildirler. Bu nedenle elektronlar belirli bir yöne doğru harekete zorlanmalıdır (elektron akışı).

Bunun içi saf olan silisyum bilinçli olarak kirletilir. Silisyum atomuna daha düşük değerde olan bor atomu katılır (p-katkılanmış). Silisyum tabakanın alt kısmında elektron sayısı eksilir (pozitif kutup). Güneş ışığına bakan yüzüne de yüksek değerli fosfor atomları karıştırılır (n-katkılanmış) ve böylece bir elektron fazlalığı sağlanır (negatif kutup). Pozitif yüklü yüzdeki elektron eksikliği nedeniyle, negatif yüklü yüzdeki elektronlar harekete zorlanır ve burada elektron eksikliği meydana gelir. Kutuplara bir tüketici bağlandığında elektrik gerilimi oluşur. Fotonlar tarafından serbest bırakılan elektronlar pozitif kutuptan negatif kutuba yönelirler ve böylece bir elektrik akımı oluşur. Güneş pilinde, mekanik olarak elektrik üreten cihazların (örneğin bir bisiklet dinamosu)

aksine hareketli parçalar mevcut olmadığından, teorik ömürleri sonsuzdur.

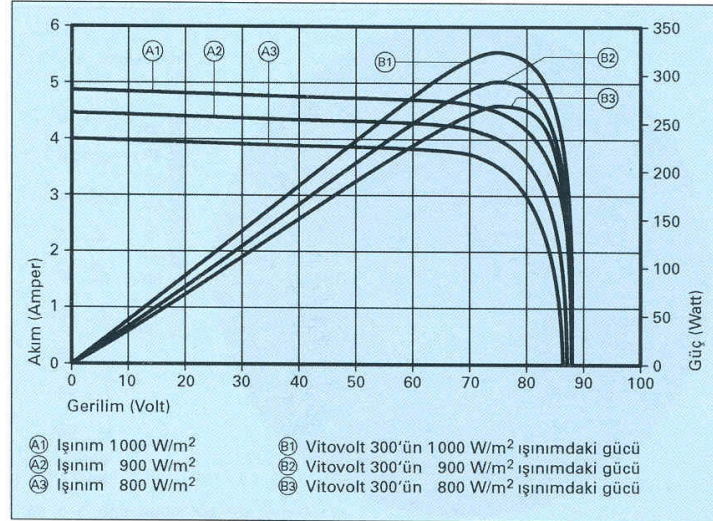
EEG Yöntemi ile Üretilmiş Güneş Pili Vitovolt 300

Edge-defined Film-fed Growth; üstün performanslı kristal güneş pilleri hücrelerinin üretiminde, enerjiden ve malzemeden tasarruf sağlayan yeni bir yöntemdir.

Güneş Modülü

Viessmann Vitovolt 300 güneş modülleri sandviç yapı türünde üretilmişlerdir. Cam tabakaların arasında saydam bir döküm komponent mevcuttur. Bu komponent hücreleri sabitlemekte ve dış etkenlere karşı korumaktadır.

Bir Viessmann güneş modülü içerisinde toplam 150 adet güneş pili hücresi bulunmaktadır. Bu hücrelerin her birinin kapasitesi 2.13 W'tur. Hücreler seri olarak bağlandığında, bir adet gü-



neş modülünden maksimum 320 W_p kapasite elde edilebilir. Bir güneş modülünün kapasitesi modül tanım eğrisi ile tanımlanmaktadır.

Grafik standart test şartları (STC): 1000 W/m², 25°C) altında elde edilen güç tanıtım eğrisini

göstermektedir. Modül kısa devre yapıldığında, 4.85 A'lık bir kısa devre akımı elde edilmektedir. Boşa çalışma gerilimi 88.8 V'tur. İnverter akıllı bir kontrol sistemi ile kontrol edilerek güneş modülü maksimum gücünü ($P = U \times I$) aktaracak bir çalışma noktasına getirilmektedir. Bu

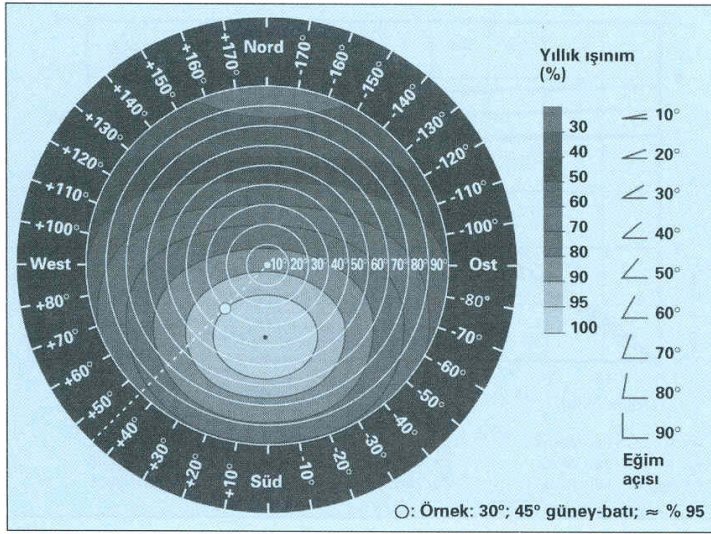
Fotovoltaik Modül Vitovolt 300 için teknik bilgiler

Anma gücü	W _p	320
Kapasite toleransı	%	± 4
Modül verimi	%	12
Hücre tipi	polikristal silisyum hücresi*1	
Gerilim (MPP*2)	V	70,5
Akım (MPP*2)	A	4,53
Boşa çalışma gerilimi (STC*3)	V	88,8
Kısa devre akımı (STC*3)	A	4,85
Boyutlar		
Genişlik	mm	1138
Yükseklik	mm	2385
Derinlik	mm	102
Ağırlık	kg	71
Alt yapıdan ve bağlantıdan istenenler	Çatı konstrüksiyonu rüzgâra karşı dayanıklı olmalıdır.	

*1EEG yöntemi ile üretilmiştir.

*2MPP = Maksimum power point (Maksimum güç noktası) STC'de.

*3STC = Standard test conditions (standart test şartları) – Işınım 1000 W/m², hücre sıcaklığı 25 °C ve atmosferik kütle sayısı AM1,5G.



Güneş jeneratörünün yöne ve eğime bağlı enerji eldesi

maksimum güçteki çalışma noktası MMP (maksimum power point "maksimum güç noktası") olarak tanımlanmaktadır. Modülün maksimum gücü 320 Wp'dir. (p harfi peak için – standart test şartları altındaki pik değeri belirtmektedir). Modülden bu durumda 70.5 V'ta 4.53 akım elde edilmektedir.

Panellerin Yönünün, Eğiminin ve Üzerlerine Düşen Gölgenin Enerji Eldesine Etkisi

Optimum Yön ve Eğim

Güneş jeneratörü ile Türkiye'de güney yönde ve yatay düzleme 30 ile 40 derece eğimde en yüksek yıllık ortalama elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu şartlardan belirli miktarda sapmalar olsa bile (yönü güney-Batı ile güney-doğu arasında, eğim 25-55 derece) fotovoltaik güneş enerji-

si sisteminin kullanılması oldukça tasarrufludur.

Kışın daha dik bir açı gerekse bile, sistemden alınan enerjinin üçte ikisi yaz aylarında elde edilmektedir. Buna karşılık eğimin 20 dereceden az olmamasına dikkat edilmelidir. Bu durumda güneş jeneratörünün yüzeyi daha fazla kirlenir.

Gölgeler Enerji Kazancını Azaltmaktadır

Güneş jeneratörü, ağaç vb. nesnelerin gölgelerinin etkisinin düşük olduğu bir yere yerleştirilmeli ve buna göre boyutlandırılmalıdır. Komşu binalar, ağaçlar veya elektrik direkleri bu engeller arasında sayılabilir. Montajda, komşu arazilere önümüzdeki yirmi yıl zarfında bina inşaat yapılabileceği veya bu alanların ağaçlandırılabilceği dikkate alınmalıdır.

Modül yüzeyleri ile güneye bakan çatılarda bulunan baca vb. gölge düşürücülere mesafe bırakılmalıdır. Anten vb. hareketli engeller çatının diğer tarafına monte edilmelidir.

Güneşin konumuna göre güneşi izleyen jeneratör düzeneklerin pek verimli olmadığı pratikte ve çeşitli deneylerle ispatlanmıştır. Yanda bulunan grafik, güneş jeneratörünün optimum olarak yerleştirilmediği durumlarda meydana gelecek olan kaybı göstermektedir. Güneş jeneratörünün güneye yönlendirilemediği durumlarda, düşük bir eğimin daha uygun olacağı grafikte görülebilir. 30° eğimli bir fotovoltaik sistemden 45° güney-batı yönünde dahi optimum kazancın %95'ini elde etmek mümkündür. Çatının eğimi 25° ile 40° arasında ise, doğu ve batı yönlerde dahi %85 enerji eldesi sağlanabilir. Fotovoltaik sistemler için büyük alanlara gerek olduğundan, bazı durumlarda jeneratör yüzeyini çatıda farklı yerlere yerleştirmek gerekebilir. Bu alanların eğimleri ve güneşe olan yönleri farklı ise, optimum bir uyum ve verim sağlamak için her güneş jeneratörünün kendisine ait şebeke besleme cihazı bulunmalıdır. Bu durum sadece eğimler bile farklı ise, mutlaka şarttır.

Hot-Spot Etkisi

Güneş modülünün tüm hücreleri seri olarak bağlanmıştır. Hücrelerden birine gölge düştüğünde, örneğin kirlenme veya ağaç gölgesi, bu hücre bir omik direnç gibi davranır. Böylece "hot-spot" olarak adlandırılan bir etki oluşur. Tüm sistemden alınabile-

cek akım, gölgelenmiş hücrenin ürettiği akımla sınırlıdır. Aşağıdaki nedenlerden "hot spot" etkisinin oluşması kesinlikle önlenmelidir.:

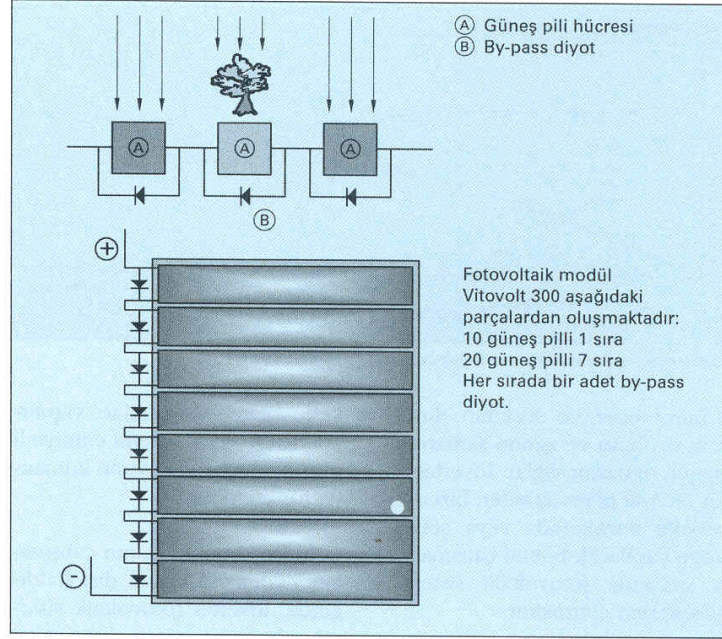
- Sistemin kapasitesinin düşmesi için
- Gölge altında kalan hücrelerin aşırı ısınma ile hasar görmeleri için.

Bu nedenle, Vessmann güneş modüllerinde 8 by-pass diyot bulunmaktadır. Bir hücre gölge altında kaldığında by-pass diyot açılır ve akım bu hücre atlanarak iletilir. Böylece sistem arızasız olarak çalışmaya devam eder ve hücrelerin hasar görmesi önlenmiş olur.

Üretilen Akımın Kullanılması

İnverterin Çalışma Şekli

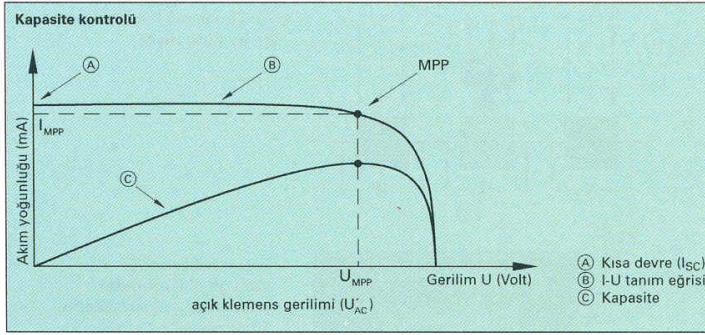
Fotovoltaik modüller doğru akım üretmektedir. Gerekli olan ise alternatif akımdır. Bir inverterin en önemli görevlerinden biri



PV ile üretilen doğru akımı şebekeye uyumlu alternatif akıma çevirmektir. Bu proses mümkün oldukça yüksek bir verimde ger-

çekleşmelidir. İnverter bunun dışında fotovoltaik sistemin işletme noktasını (MPP-maksimum power point) sürekli olarak

Şebekeyi besleme cihazının (inverter) teknik bilgileri			
Sunny Boy tipi		1100E	2000
Anma gücü			
DC	kW	1,1	1,9
AC	kW	1,0	1,8
Besleme		4'ten itibaren	7'den itibaren
Stand-by tüketim			
■ Gündüz işletmesinde	W	< 4	< 7
■ Gece işletmesinde	W	0,1	0,1
MPP-Alanı DC		150-400	125-500
Verim			
■ Avrupa verimi	%	91,3	95,0
■ Maksimum	%	> 93,0	96,0
Boyutlar			
Genişlik	mm	322	434
Yükseklik	mm	320	295
Derinlik	mm	180	214
Ağırlık		20	25
Donanım			
■ Transformatör yok		hayır	evet
■ ENS-Fonksiyonu*1		evet	evet
*1 Elektrik kesinti durumunda veya bakım çalışmalarında Vitovolt 300 sistemini şebekeden ayırma fonksiyonu.			



Kapasite eğrisi ve maksimum kapasite noktası (MPP)

kontrol eder ve sistemin dinamik dış hava ve ışıınım şartlarına uygun olmasını sağlar. İnverterin en önemli görevlerinden biri de, şebeke arızalarında veya şebekede yapılacak bakım çalışmaları sırasında fotovoltaik sistemi şebekeden ayırmaktır.

İnverterin Verimi

İnverterler, güneş ışıının yoğunluğuna bağlı olarak farklı kapasite alanlarında çalışmaktadır. Bu sebepten kapasite değerlendirmesinde inverterin sadece maksimum verimini dikkate almak yeterli değildir. Bunun için, Avrupa'ya düşen ortalama ışıını dikkate alan "Avrupa verimi" tanımlanmıştır. "Avrupa verimi" böylece farklı inverterlerin birbirleriyle karşılaştırılmasında bir baz oluşturmaktadır. Maksimum kapasite işletme noktası MPP'nin (maksimum power point) hava şartlarına bağlı olarak değişmektedir. İnverter sürekli kontrol ile, en yüksek enerji eldesinin mümkün olduğu MPP'yi bulmaya çalışır.

ENS Fonksiyonu

Bir şebeke arızasında veya şebe-

kede bakım çalışmaları yapılırken fotovoltaik sistemi emniyetli olarak şebekeden ayıran kumanda fonksiyonudur.

Örneğin şebeke, bakım çalışmaları nedeniyle devre dışı kaldığında, inverter fotovoltaik sistemi şebekeden ayırmalıdır. Aksi takdirde, şebeke fotovoltaik sistemden elektrik akımı ile beslenir ve bakım çalışması yapan elemanlar için tehlike potansiyeli oluşur. İnverterlerin kapama şartlarına uygun olup olmadığı, ilgili VDEW Yönetmelikleri ve ENS Talimatı tarafından kontrol edilmektedir.

Bunun dışında inverter tarafından sağlanan elektrik akımı belirli bir kaliteye de sahip olmalıdır. EN 60555 tarafından tesbit edilen harmonikler oranı sınır değeri geçilmemelidir. Cihazların Elektromanyetik Uyumlulukları Yasası tarafından istenen şartlar da inverterler tarafından yerine getirilmelidir.

Viessmann tarafından kullanılan "Sunny Boy" inverterler ENS fonksiyonu ile EN 60555 ve

elektromanyetik uyumluluk ile ilgili şartları yerine getirmektedir.

İnverterlerin Elektrik Bağlantısı

"Sunny Boy" inverterler şebekeye üç damarlı olarak bağlanmalıdır. (L, N, PE)

ENS fonksiyonu ile ilgili şartların yerine getirilebilmesi için inverterin empedans değeri daima 1 Ω 'dan daha düşük olmalıdır. Bu empedans değeri, ev tesisatındaki şebeke empedansından ve invertere kadar olan diğer kabloların ve klemenslerin direnç değerlerinin toplamıdır.

Elektrik kablolarının direnç değerleri;

- 1.5 mm², 20m uzunluğunda $\approx$ 0.48 Ω
- 2.5 mm², 35 m uzunluğunda $\approx$ 0.50 Ω

İnverterin şebeke bağlantı klemensleri maksimum 2.5 mm² damarlara uygundur.

Sigorta İle İlgili Uyarılar

Tüm akım devrelerinin sigortaları (kablo koruyucu eleman) için 16 A (gerekğinde 10 A de olabilir) eriyen sigortalar önermekteyiz. Firma Lindner ürünü NEOKIT ile D veya K karakteristikte otomatik bir sigorta. Bu akım devresine herhangi bir tüketici bağlanmamalıdır. İlgili talimatlar yerel şartlara bağlı olarak dikkate alınmalıdır. İnverter içine bir hatalı-akım koruyucusu devresi entegre edildiğinden, şebeke kablosuna ayrıca bir Fİ-koruyucu anahtar monte edilmesine gerek yoktur. ●