

Rüzgâr/Fotovoltaik Karma Sisteminden Beslenen DA Yükler için Üç Çevrim Destekli PID Denetleyici A Three Loop PID Controller for DC Loads Powered from a Wind/Photovoltaic Hybrid System

Emre Özkop¹, İsmail H. Altaş², Adel M. Sharaf³

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
¹eozkop@ktu.edu.tr, ²ihaltas@ktu.edu.tr

³Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
New Brunswick Üniversitesi
³sharaf@unb.ca

Özet

Bu çalışmada, rüzgâr/fotovoltaik karma sistem için çok çevrim destekli PID denetim sistemi önerilmektedir. Önerilen çok çevrimli PID denetleyici ile amaçlanan asıl büyüklüğün denetimi yapılırken sistemde değeri sınırlanması gereken bazı büyüklüklerin de belirli aralıklarda değerler almaları sağlanmaktadır. Önerilen temiz enerji sisteminde, oluşturulan ortak DA güç barasından bir DA motoruna aktarılan gücün denetimi yapılmaktadır. Kullanılan çok çevrimli denetleyici yapısı ile de motorun hızı denetlenirken, hız-akım çarpımı ve akım değerlerindeki değişimler de dikkate alınarak denetleyicinin daha etkin hale gelmesi ve motor akımının aşırı değerlere çıkması önlenmektedir. Matlab/Simulink/Simpower ortamında yapılan simülasyon çalışmaları ile karma sistemin dinamik performansı, işletme koşulları dikkate alınarak irdelenmektedir.

Abstract

This paper proposes a multi-loop supported PID control system for a wind/photovoltaic grid connected hybrid system. The proposed multi-loop control structure is used to control the main variable while ensuring limited variation in some other system variables that may harm the system if they go above operational limits. In the proposed clean energy system, a common DC power bus is established and the power transfer from this bus to a DC motor load is controlled. By using multi-loop control, the motor speed is controlled through the main loop while speed-current product and the motor current loops are added as additional loops in order to prevent overcurrent operations. The dynamic performance of the hybrid system under operational conditions is digitally simulated using MATLAB/Simulink/SimPower software environment.

1. Giriş

Son on yılda yakıtların tüketimi aşırı derecede artmakta ve rezervler süratle tükenmektedir. Çin ve Hindistan gibi büyüyen ekonomiye sahip gelişen ülkelerde ve sanayi devletlerinde enerji ihtiyacındaki hızlı yükseliş, daha fazla enerji üretim kapasite talebini artırmaktadır [1]. Bu yüzden insanlar yenilenebilir enerji kaynak araştırması, kullanımına ve geliştirmesine ağırlık vermekte ve yenilenebilir enerji teknolojilerini geleneksel enerji sistemlerine göre çevresel açıdan sürdürülebilir ve uygun alternatif olarak görmektedir.

Güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerji kaynakları olup hava kirliliği, şebeke güvenilirliği, ithal petrole bağımlılık, iklim değişikliği gibi ulusal ve küresel sorunlarından dolayı önemleri gün geçtikçe artmaktadır. Günümüz şartlarında fotovoltaik sistemden elektrik üretiminin maliyeti yüksek olsa da geçmiş yıllara baktığımızda maliyetlerin düştüğü, ileriki yıllarda geleneksel fosil yakıtlardan elektrik üretim maliyetlerine yaklaşacağı öngörülmektedir [2]. Güneşin zamanla değişir ve çevresel şartlara bağlı (sıcaklık, ışık yoğunluğu..vb.) olması ve rüzgârın gün içerisinde değişkenlik göstermesi, bu yenilenebilir kaynaklardan kesintisiz elektrik enerjisi elde edilmesinde zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, karma sistemler, bu tür noksanlıkları düzeltme potansiyeline sahiptir.

Karma güç sistemi, birden çok türde enerji dönüşüm sistemini içerisinde barındıran bir elektrik güç sistemidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin, geleneksel fosil enerji sistemlerinin ve depolama sistemlerinin (batarya, flywheel, hidrojen/yakıt hücresi... vb.) değişik birleşimlerinden oluşan farklı türleri mevcuttur [3]. Karma güç sistemleri, uygun kontrol ve alt sistemler arasında etkili koordinasyon ile bağlı yükler için gerekli olan gücü sağlayabilir. Yenilenemeyen ve yenilenebilir güç dönüştürme sistemlerinin avantajlarını karma güç sistemlerinde görmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlardan bağımsızlığı ve ayrıca dolaylı olarak yakıt fiyatlarından ve gelecek için sürdürülebilir güç kaynağı sağlar. Yenilenemeyen enerji kaynakları çevresel

koşullardan bağımsızdır (sıcaklık, ışık şiddeti, rüzgar hızı.vb.). Güç kullanım sistem güvenliği ve güvenilirliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel şartlar sebebiyle yetersiz olduğu durumlarda yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılarak kuvvetlendirilebilir.

Karma üretim sistemini gerçekleştirmek için sistem, ekonomiklik, güvenilirlik ve fiziksel ve işletimsel sınırlılıklar/stratejilere tabi çevresel önlemleri hesaba katarak uygun bir şekilde tasarlanabilir [4]. Pek çok büyük ölçekli ve uygun maliyetli Rüzgâr/Fotovoltaik ticari ve sanayi enerji kullanımı, su pompalama, iklimlendirme, aydınlatma, haberleşme, soğutma, ev aletleri (TV, karıştırıcı, hava soğutucusu) gibi farklı uygulamalara sahiptir.

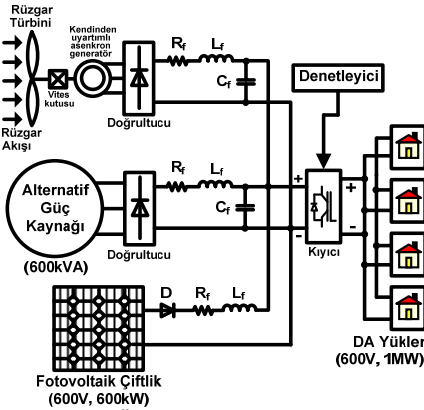
Bu yazı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. İkinci bölüm, önerilen karma sistemin modeli ve düzenini tarif etmektedir. Üçüncü bölüm, Rüzgâr/Fotovoltaik karma güç sistemi denetleyici yapısını göstermektedir. Dördüncü bölüm, önerilen karma sistemin belirtilen çalışma şartında benzetim sonuçlarını tahlil etmektedir. Özgü sonuçlar, beşinci bölümde değerlendirilmektedir.

2. Önerilen Karma Sistem Düzeni

Önerilen karma güç üretim sistem yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. Önerilen sistem, fotovoltaik çiftlik, rüzgâr türbin generatörü, alternatif güç kaynağı, AA/DA doğrultucu, dört bölge darbe genişlik modülasyon denetimli DA/DA çeviricili kıyıcı, denetleyici ve DA yüklerden oluşmaktadır. Bu sistemde DA yükler, karma güç sisteminden elde edilen DA gerilimi ile beslenmektedir.

Güneş enerjisi on yıl önceye göre daha cazibeli durumdadır. Güneş, bol, parasız, çevreye dost ve bölgesel olmayan bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik hücre, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Daha büyük elektrik enerjisi elde etmek için fotovoltaik hücreler birbirlerine paralel ve seri olarak bağlanır. Fotovoltaik sistemden elektrik enerjisi elde ederken, enlem, boylam, hava ve sınırlı gündüz faktörleri göz önünde tutulmalıdır. Rüzgâr ve Fotovoltaik enerji kaynakları aslında sürekli olmayan ve tamamen değişkendir ve güç sistemlerini hava koşullarına yüksek derecede bağlı olması sebebiyle güçteki dalgalanmalar hesaba katılmalıdır.

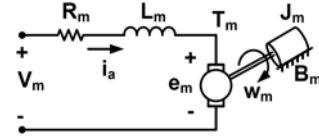
Teknoloji gelişmeler ile paralel olarak elektrik üretimi için fotovoltaik sistemlerin kullanımı yakın gelecekte daha da karlı olabilir. Yenilenebilir, yenilenemeyen ve ayrıca depolama sistemleri gibi farklı enerji sistemleri fotovoltaik düzen ile birleştirilmesi verimi artırabilir.



Şekil 1: Önerilen karma güç sistemi.

2.1. DA Motoru

DA motoru, bir motorda olması arzu edilen birçok özelliğe sahiptir. Bunlardan bazıları, güvenli, dayanıklı, pahalı olmama ve bunların yanında düşük gerilimde çalışabilmesidir. Bunlardan dolayı DA motorları birçok uygulamada tercih edilir. SMDA motoru, DA motor türlerinden biri olup gerilim kaynağından sağlanan elektrik enerjisini manyetik eşleme yöntemi ile dönen rotor vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülür. SMDA motor eşdeğer devresi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: SMDA motor eşdeğer devresi.

SMDA motor endüvi sargısı, seri olarak bağlanmış endüktans (L_m) ve direnç (R_m) ile gerilim kaynağına zıt indüklenebilir gerilim (e_m) olarak ifade edilebilir. Bu şekilde T_e makine tarafından üretilen moment, T_l yük momenti, i_a endüvi devresi akımı, V_m endüvi devresi gerilimi, J_m rotor kütle moment başlangıç atalet momenti, B_m milin Viscous sürtünme sabitidir.

Endüvi akımı ve açısal hız için diferansiyel denklem takımları durum uzayı biçiminde denklem (1)’deki gibi düzenlenebilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_m}{L_m} & -\frac{K_t}{L_m} \\ \frac{K_t}{J} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_m} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ T_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

Yük momenti aşağıdaki gibidir.

$$T_l = K_0 + K_1 \omega_m + K_2 \omega_m^2 \quad (2)$$

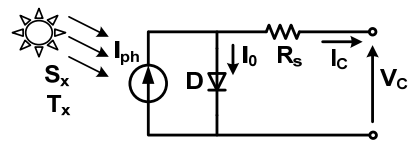
Lineer olmayan eylemsizlik J ve viskoz sürtünme B , lineer olmayan değişken biçimde sırasıyla denklem (3) ve (4)’de verilmiştir.

$$B_m = B_0 + B_1 \omega_m + B_2 \omega_m^2 \quad (3)$$

$$J_m = J_0 + J_1 \omega_m + J_2 \omega_m^2 \quad (4)$$

2.2. Fotovoltaik Sistem

Çok yaygın iki tane fotovoltaik hücre modeli vardır. Bunlar, bir diyot beş parametre eşdeğer devre modeli ve bir diyot dört parametre eşdeğer devre modelidir. Birincisi ikincisinden daha karmaşıktır [5]. Bu çalışmada, güneş ışık şiddeti, yük akımı ve sıcaklığın fonksiyonu olan dört parametre devre modeli gerçekleştirmektedir. Düzenlenmiş eşdeğer devre modeli Şekil 3’de gösterilmiştir [6–7].



Şekil 3: Bir diyot dört parametre eşdeğer devre modeli.

Fotovoltaik sisteme ait denklem takımları ve değerler Ek A kısmında verilmiştir.

2.3. Rüzgâr Türbini Enerji Dönüşüm Sistemi

Rüzgâr enerjisi, geniş çapta hem bağımsız uygulamalarda hem de elektrik santrallerine bağlı modern elektrik sistemlerde kullanılmaktadır. Birçok uygulamada rüzgâr enerji sistemi, fotovoltaik, yakıt hücre sistemleri gibi diğer yenilenebilir enerji sistemleri ile birleştirilir. Çok sayıda rüzgâr türbini genellikle birbirlerine yakın bir şekilde konumlandırılarak rüzgâr çiftlikleri oluşturulur. Günümüzde birkaç elektrik sağlayıcısı uzak yöredeki müşterilerinin ihtiyaç duyduğu gücü sağlamak için rüzgâr çiftlikleri kullanmaktadır.

Bağımsız rüzgâr dönüştürme düzeni, rüzgâr türbini, vites kutusu ve kendinden uyarmalı asenkron generatörden oluşmaktadır.

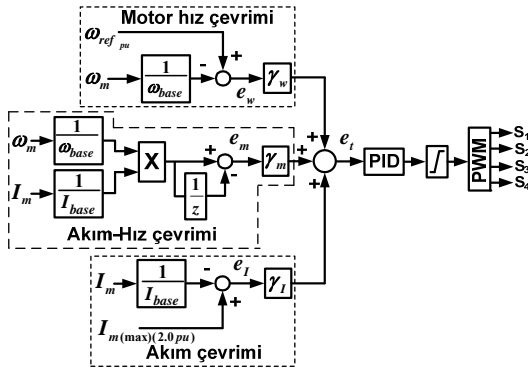
2.4. Alternatif Güç Kaynağı

Alternatif güç sistemi, Rüzgâr/Fotovoltaik karma yenilenebilir enerji sistem gücü DA yüklerinin ihtiyacı olduğu enerjiyi yeteri kadar sağlayamadığı durumda sisteme destek olmak için kullanılır.

3. Denetleyici Yapısı

Üç çevrimli sınırlandırılmış akım döngülü geleneksel PID denetleyici kullanılmaktadır. Önerilen üç çevrimli kontrol sistemi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu çevrimler, motor hız çevrim, motor akım çevrimi ve motor akım-hız çevrimidir. Toplam hata işareti (e_t), yük hızı, yük akımı ve yük akım-hız hatalarının ilgili çevrim ağırlık katsayıları ile çarpımlarının toplamına eşittir ($\gamma_w \cdot \gamma_I$ and γ_m):

$$e_t = \gamma_w \cdot e_w + \gamma_I \cdot e_I + \gamma_m \cdot e_m \quad (5)$$



Şekil 4: Sınırlı akım döngülü üç çevrim destekli PID denetleyici.

Çevrim ağırlık katsayıları (γ_w , γ_I and γ_m), yeteri kadar hızlı ve kararlı dinamik çalışma için tayin edilirler. Toplam hata sinyali PID (Oransal-İntegral-Türevsel) bloğunu sürmektedir. Sinyal blok içinde işleme tabi tutulduktan sonra PID denetleyici çıkışı, sınırlayıcı tarafından sınırlandırılır.

Sınırlandırılmış sinyal darbe genişlik modülasyonu (PWM) bloğuna gider ve bu blok dört darbe üretir. Üretilen

darbeler, dört bölgeli kıyıcıyı besler. DA yüklerin gerilimi, kıyıcı anahtarlarının anahtarlanma işlevleri ile ayarlanır.

4. Benzetim Sonuçları

Matlab/Simulink/SimPowerSystem yazılımı kullanılarak önerilen sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem düzeni Şekil 5'de gösterilmiştir. Sistem çıkışları, giriş değişken hız referans yolu iken incelenmiştir. Değişken hız referans yolu sistem girişine uygulandığında, sistem çıkışı Şekil 6-8'deki gibi gözlemlenmiştir. Sistem girilen referans hızla yaklaşmaya çalışırken motorun çıkış gücünü artırmak için akım değeri de nominal değerinin %200 fazlasına zorlamaktadır. Dolayısıyla istenen hızda motoru daha güç çalışmaya zorlamaktadır. İki değişkenin aynı anda belirli değerlerde kalacak şekilde denetlenmesi ancak kullanılan motorun dinamik özelliklerine bağlı olması sebebiyle sonuçların yorumlanmasında ilgili hataların sıfır olmasından çok sıfır civarlarında optimum olmaları önem kazanmaktadır.

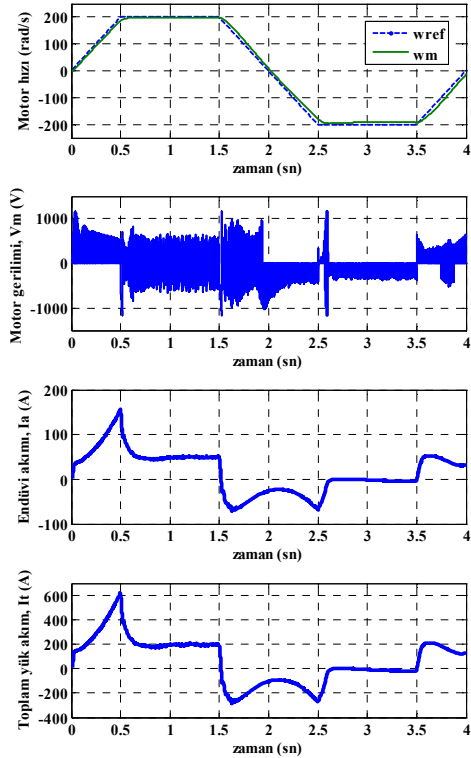
5. Sonuç

Bu çalışmada, DA motor tipi yüklü Fotovoltaik/Rüzgâr karma yenilenebilir güç sisteminin dinamik modeli ve önerilen denetleyici kullanılarak benzetim yoluyla sistemin denetimi gerçekleştirilmiştir.

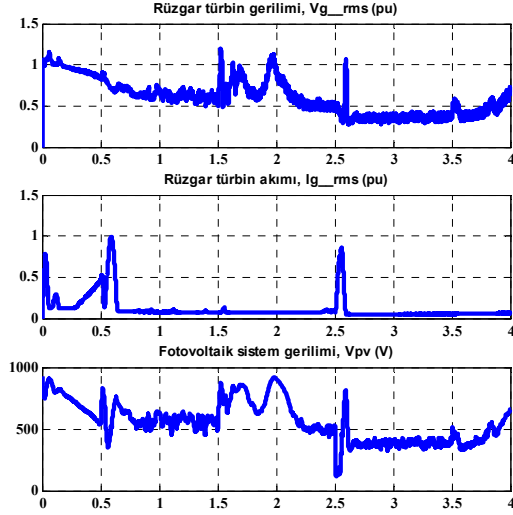
Dinamik denetleyici düzeni, esas olarak kıyıcının çalışmasını düzenlemek için kullanılmaktadır.

Motorun doğasında bulunan doğrusal olmazlık ve hem mekanik yük eylemsizliği, viskoz sürtünmesi hem de herhangi bir yük momenti gezinimi, motor hızının doğrusal olmayan fonksiyonları olarak modellenmiştir.

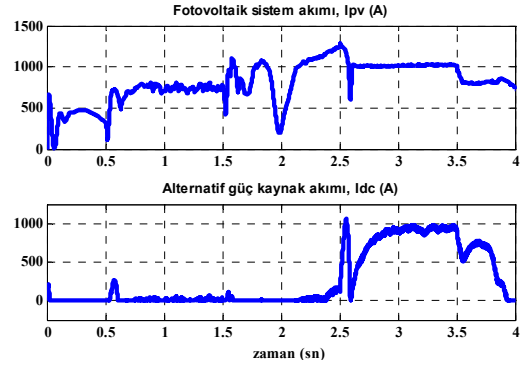
Sistem dinamik performansı, değişken hız referans değeri için gözlemlenmiştir.



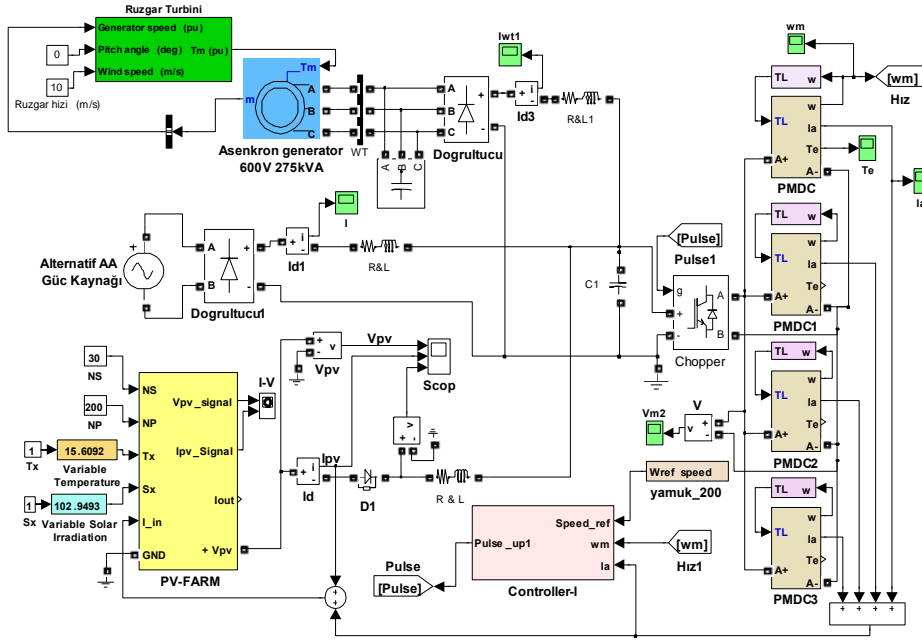
Şekil 6: Sistem çıkışları-I.



Şekil 7: Sistem çıkışları-II.



Şekil 8: Sistem çıkışları-III.



Şekil 5: Önerilen karma yenilenebilir enerji sistemi Simulink blok diyagramı.

6. Kaynaklar

- [1] "Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050", *World Energy Council*, September, 2007.
- [2] "Renewables 2007 Global Status Report", *REN21, 2008 Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*.
- [3] Wang, C., Wang, L., Shi, L. ve Ni, Y., "A Survey on Wind Power Technologies in Power Systems", *IEEE Power Engineering Society General Meeting 2007*, Tampa, FL, USA, 24-28 June 2007.
- [4] Wang, L. ve Singh, C., "PSO-Based Multidisciplinary Design of A Hybrid Power Generation System with Statistical Models of Wind Speed and Solar Insolation", *International Power Electronics, Drives and Energy Systems, 2006, PEDES'06*, 12-15 Dec. 2006.
- [5] Ghoneim, A.A., "Design Optimization of Photovoltaic Powered Water Pumping Systems", *Energy Conversion & Management*, pp.1449-1463, 2006.
- [6] Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., "A Novel GUI Modeled Fuzzy Logic Controller for a Solar Powered Energy Utilization Scheme", *The 13th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems (ICENES2007)*, June 3-8, 2007, Istanbul, Turkey.
- [7] Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., "A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment", *International Conference on Clean Electrical Power, ICCEP'07*, May 21-23, 2007, Capri, Italy.

Ek A

DA motor parametreleri

Gerilim kaynağı	V_m	600V
İndüktans	L_m	3mH
Direnç	R_m	1.19 Ω
İndüklenen gerilim	e_m	V
Gerçek nominal hız	$w_{a-rated}$	500 rad/s
Zıt emk sabiti	K_e	0.2 V.s/rad
Elektromanyetik moment	T_e	Nm
Motor hızı ağırlık katsayısı	γ_w	1
Motor akımı ağırlık katsayısı	γ_I	0.001
Motor akım-hız ağırlık katsayısı	γ_m	0.1
PID denetleyici katsayıları $K_P=10, K_I=2, K_D=15$		
Giriş filtresi $R_f=0.05 \Omega, L_f=0.05H, C_f=20*10^{-6}F$		
Yük moment katsayıları $K_0=0.9, K_1=3.9*10^{-3}, K_2=66*10^{-6}$		
Viskoz sürtünme katsayıları $B_0=5.7*10^{-3}, B_1=25*10^{-6}, B_2=0.423*10^{-6}$		
Rotor eylemsizlik momenti katsayıları $J_0=14.44*10^{-3}, J_1=62.6*10^{-6}, J_2=1.06*10^{-6}$		

Fotovoltaik panel model denklem takımları

$$V_{pv} = V_c * C_{TV} * C_{TI} * N_s$$

$$V_c = \frac{AKT_c}{e} \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_c}{I_0} \right) - R_s I_c$$

$$I_c = I_{pv} / N_p, I_{pv} = C_{TI} * C_{SI} * I_{sc}$$

$$C_{TV} = 1 + \beta_T (T_c - T_x), C_{SV} = 1 + \beta_T \alpha_S (S_x - S_c)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_c} (S_x - S_c), C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_c} (T_x - T_c)$$

Burada,

V_{pv} : Fotovoltaik Model çıkış gerilimi (V)

V_c : Hücre çıkış gerilimi (V)

C_{TV} : Sıcaklık-gerilim katsayısı

C_{SV} : Işık şiddeti-gerilim katsayısı

N_s : Seri bağlı hücre sayısı

A : Diyot kalite faktörü (6.2)

K : Boltzman sabiti ($1.38*10^{-23}J/K$)

T_c : Fotovoltaik hücre işletme sıcaklığı (K)

I_{ph} : Fotehücre akımı (A)

I_0 : Diyot ters doyma akımı D (0.01 A)

I_c : Hücre çıkış akımı (A)

e : Elektron yükü ($1.6*10^{-19} C$)

R_s : Fotovoltaik hücre seri direnci (0.002 Ω)

I_{pv} : Fotovoltaik modül akımı (A)

N_p : Paralel bağlı hücre sayısı

C_{SI} : Işık şiddeti-akım katsayısı

C_{TI} : Sıcaklık-akım katsayısı

I_{sc} : Hücre kısa devre akımı (A)

β_T : Sıcaklık sabiti 1 (1/K)

T_x : Ortam sıcaklığı (K)

γ_T : Sıcaklık katsayısı 2 (1/K)

α_s : Işık şiddeti katsayısı

S_x : Ortam ışık şiddeti (%)

S_c : Fotovoltaik hücre işletme ışık şiddeti (%)

Rüzgar türbin modeli

$$T_w = \frac{1}{2\lambda} \rho A R C_p V_w^2 = \frac{1}{2\omega_w} \rho A C_p V_w^3 = k \frac{V_w^3}{\omega_w}$$

Burada,

ρ : Belirtilmiş hava yoğunluğu (1.25kg/m²)

A : Pervanelerin süpürdüğü alan

R : Rotor pervanesi yarıçapı

C_p : Güç dönüştürme katsayısı

λ : Uç hız oranı

ω_w : Rüzgâr türbin hızı (rpm)

k : Eşdeğer katsayı (0.745pu)

Asenkron generatör

3 faz, 2 kutuplu, $V_g=600$ kV (faz-faz), $S_g=400$ KVA, $C_{self}=150\mu F/faz$

$R_s = 0.016, L_{ls} = 0.06, R_r' = 0.015, L_{lr}' = 0.06$

$L_m = 3.5, H = 2, F = 0, p = 2$