

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ UYGULAMALAR İÇİN KENDİNDEN UYARTIMLI İNDÜKSİYON GENERATÖRÜNÜN ELEKTRONİK KONTROLLÜ OLARAK UYARTIM KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Remzi SÜERKAN

Faruk ARAS

Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
41300, İzmit, Kocaeli

e-posta: suerkan@kou.edu.tr

e-posta: arasfa@kou.edu.tr

ABSTRACT

This paper presents a simple technique of electronic control to determine the capacitance requirements for self-excitation process in three-phase isolated induction generator using wind and micro-hydro turbines. An induction generator operates in self-excitation mode. It determines its own voltage and frequency. These two quantities depend on the size of the AC capacitor, the induction machine parameters, the electrical load, and the speed of the generator. The terminal voltage of induction generator is reduced by three-phase transformer and the voltage is rectified by AC/DC converter. The test results presented for no-load full load conditions and interpreted graphically

Anahtar sözcükler: Rüzgar Türbini , İndüksiyon Generatör, Uyarım Kapasitesi , Batarya Şarjı

1. GİRİŞ

Günümüzde düşük güçlü elektrik sistemlerinin, elektrik enerjisi gereksiniminin karşılanması için rüzgar türbinleri veya küçük boyutlu su türbinleri kullanılmaktadır. Bu türbinler genellikle 10 kW tan küçük, yerleşim yerlerinden uzak ve enterkonnekte şebekeye bağlı olmayan yerlerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle, haberleşme sistemleri, orman içi gözetleme kuleleri, küçük çiftlikler, boru hatlarının katodik korumasında, su ısıtılması ve arıtılmasında, batarya şarjında, su pompa sistemlerinde kullanımı uygundur.

Küçük güçlü elektrik üretim sistemlerinde generatör olarak DA şönt generatör, Sabit mıknatıslı AA generatör, AA senkron generatör, Roesel generatör ve kendinden uyarımlı indüksiyon generatörü kullanılmaktadır [1].

Bu generatör tiplerinden, kendinden uyarımlı indüksiyon generatör daha ucuz, basit yapılı, daha güvenli ve daha verimli olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motor, klemens uçlarına bağlanan kondansatör grubu yardımıyla kendi kendine uyarım yapabilen ve şebekeden bağımsız çalışan bir generatör olarak kullanılabilir.

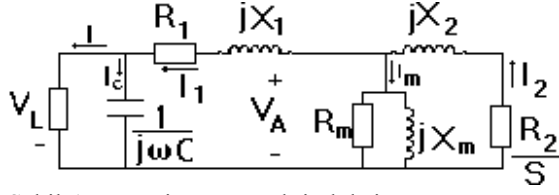
2. KENDİNDEN UYARTIMLI İNDÜKSİYON GENERATÖRÜ

Kendinden uyarımlı bir indüksiyon generatöründe gereken mıknatıslama akımı klemens uçlarına bağlı olan kondansatörlerden sağlanmaktadır. Daha önce şebekeye bağlı olarak çalıştırılmış olan asenkron motorun rotorundaki artık mıknatısiyet, stator sargılarında rotor hızına bağlı olarak küçük bir elektromotor kuvvet indükler ve kondansatörler üzerinden bir akım dolaşır. Eğer kondansatörler boş ve generatör uçlarında hiç yük yoksa veya çok küçük bir yük varsa, stator sargıları ile kondansatör arasında bir tank devresi oluşarak, gerilim, hız ve zamana bağlı olarak yükselmeye başlar. Gerilimin yükselebileceği son değer kondansatör kapasitesi ile stator sargılarının bulunduğu saç nüvenin doyma değerine bağlı olarak değişmektedir.

Kapasite ile yapılan uyarmanın ilk başlangıç hızı rotordaki artık mıknatısiyet değerine bağlıdır[2]. Ancak klemens uçlarına bağlanan kondansatörler artırılarak da uyarmanın olduğu hız değeri azaltılabilir.

Bir indüksiyon generatörünün eşdeğer devresi klasik üç fazlı asenkron motorun eşdeğer devresine benzerlik göstermektedir. Ancak bunlar arasında iki fark vardır. İndüksiyon generatöründe klemens uçlarına paralel bir kondansatör bağlanmaktadır. Ayrıca asenkron motor eşdeğer devresinde bulunan şebeke kaynak gerilimi indüksiyon generatöründe yerini yüke bırakmaktadır.

Yük olarak frekans ve gerilim değişiminden etkilenmeyecek olan alıcılar kullanılmaktadır. Batarya şarj sistemi, su ve hava ısıtıcıları, su pompaları (Asenkron motor), fanlar, akkor flamanlı aydınlatma elemanları, elektroliz sistemleri bu alıcılardan bazılarıdır[3].



Şekil-1. Kapasite uyarımlı indüksiyon generatörün tek faza indirgenmiş eşdeğer

Devrede, R_1 ve R_2 stator ve rotor devresi omik dirençleri, jX_1 ve jX_2 stator ve rotor kaçak akı reaktansı, R_m ve jX_m mıknatıslama devresine karşılık gelen omik direnç ve mıknatıslama kaçak reaktansıdır. Bu değerler her indüksiyon makinesi için yapılacak deney sonucu bulunabilen değerlerdir.

Klemens uçlarına bağlanan kondansatör ise tek bir grup olabileceği gibi farklı değerlerde birden fazla grup da olabilmektedir. Bağlanan grup sayısına bağlı olarak, her devir sayısında farklı değerde gerilim indüklenebilmektedir. İndüklenen gerilimde bir önemli faktör de yükün çektiği akımdır.

3. DENEY DÜZENEGİ

Oluşturulan deney düzeneğinin blok diyagramı Şekil 2. de görüldüğü gibidir. Burada motor sürücüsü olarak 0-200 Hz, 1.1 kW AA sürücü kullanılmaktadır. Sürücü, 1 kW gücünde üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motoru döndürmekte ve motor miline bağlanan 1HP gücünde 380 V, 2850 devirlik ikinci bir asenkron motor da indüksiyon generatörü olarak kullanılmaktadır.

Asenkron generatör klemens uçlarına yıldız bağlı dört adet kondansatör grubu, uyarım için kullanılmaktadır. Bu kondansatörler sırasıyla, 4 μ F, 8 μ F, 12 μ F ve 24 μ F kapasiteli üç fazlı bağlantı için oluşturulmaktadır. Kondansatör grupları klemens uçlarına röle yardımıyla bağlanmakta ve röleleri de bir kontrolcü denetlemektedir.

Tasarımı gerçekleştirilen kontrolcü, doğru akım devre çıkışından aldığı gerilim değerini bir referans gerilimi ile karşılaştırarak paralel bağlanan kondansatör sayısını arttırıp azaltabilmektedir. Kontrolcü olarak çok bilinen bir LM741 işlemsel yükselteç kullanılmaktadır.

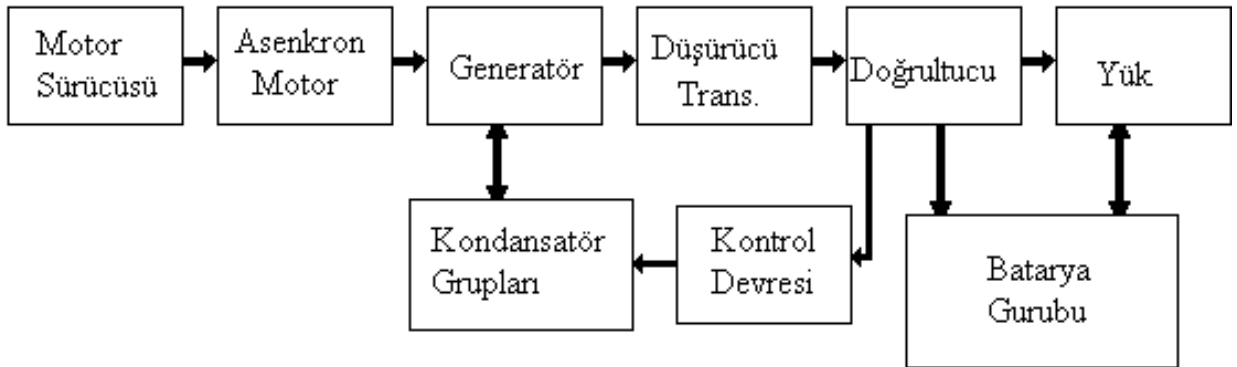
Asenkron generatörden alınan gerilim bir düşürücü transformatör ile doğrultucu gerilim değerine uygun hale getirilmektedir. Bu devrede kullanılan transformatör bir yük olarak görülebilir, ancak özellikle yüksek frekanslarda gerilimi düşürücü özelliği nedeniyle kullanılmaktadır. Ayrıca transformatör sargılarından çıkarılacak farklı uçlar yardımıyla generatör gerilimi istenilen değere dönüştürülebilmektedir.

Düşürücü transformatör çıkışına bağlanan üç fazlı yarım dalga doğrultucu ile alternatif gerilim, batarya şarjı ve diğer alıcılar için doğru akıma dönüştürülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan kontrolcü, kondansatör gruplarının indüksiyon generatörü uçlarına bağlanan kapasiteyi, belirli bir düzenle arttırarak veya azaltarak farklı devir ve yük değerlerinde çıkış geriliminin istenilen değerde sabitlenmesi veya bu değere çok yakın olmasını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle kondansatör gruplarının ikili sayı sisteminde 1-2-4-8 gibi bir sıra ile 15 farklı kapasite elde edilmesi sağlanmaktadır. Eğer generatör düşük hızlarda döndürülürse kontrolcü daha fazla kondansatör grubunu paralel bağlayarak kendi kendine uyarımın gerçekleşmesini sağlamaktadır.

4. UYARTIM KAPASİTESİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ

İndüksiyon generatörünün uyarımı için klemens uçlarına bağlanacak olan kondansatör kapasitesi şu şekilde belirlenir. Motorun görünür gücü



Şekil-2. İndüksiyon generatör elektrik sistemi blok diyagramı

$$\sum S_o = \sqrt{3}V_h I_h \quad (1)$$

$$\sum Q = \sum S_o \quad (2)$$

$$Q_f = \frac{Q}{3} \quad (3)$$

$$V_f = \frac{V_h}{\sqrt{3}} I_f = \frac{Q_f}{V_f} \quad (4)$$

$$X_c = \frac{V_f}{I_f} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (5)$$

$$\frac{V_f}{I_f} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (6)$$

$$C = \frac{I_f}{2\pi f V_f} \quad (7)$$

Burada, $\sum Q$:İndüksiyon generatörünün toplam reaktif gücü, $\sum S_o$:generatörün boşa görünür gücü, Q_f :Faz başına reaktif güç, V_h :Hat gerilimi, V_f :Faz gerilimi, I_f : Faz akımı, f :Çalışma frekansı, C :Faz başına kondansatör kapasitesidir.

Yukarıda verilen eşitlikler (1-7) kullanılarak 50 Hz. frekans değerinde yapılan deneyde, kullanılan indüksiyon generatörü için $C_f = 24 \mu F$ kondansatör kapasitesi belirlenmiştir[3]. Ancak indüksiyon generatörü sadece 50 Hz. frekansta çalışmamaktadır. Bu nedenle, çalışmada 30-65 Hz aralığında 5 Hz. adımlarla ölçüm yapılmaktadır. Bu frekans değerleri için tekrar yapılan hesaplama sonucunda 30 Hz. çalışma frekansı için $C_f = 41 \mu F$, 65 Hz. çalışma frekansı için $C_f = 11 \mu F$ kapasite değerleri hesaplanmaktadır.

5. KONTROL SİSTEMİ

Deneyde frekans değerleri 5 Hz. adımlar halinde artırılarak, her frekansa karşılık gelen kondansatör kapasite değerleri ayrı ayrı belirlenmektedir. Bu işlemi yapmak yerine, kondansatör gruplarını farklı kapasite değerlerini karşılayacak şekilde, bir kontrol devresi tasarlanmıştır. Bu kontrolcü yardımıyla uyartım kapasitesi geniş bir değer aralığında değiştirilmektedir. Bu amaçla kondansatör değerlerini 4-48 uF aralığında ayarlamak için tasarlanan kontrol devresinde, ikili

sayı sisteminde çalışan ve 0-15 arası sayma yapabilen bir sayıcı devre kullanılmaktadır.

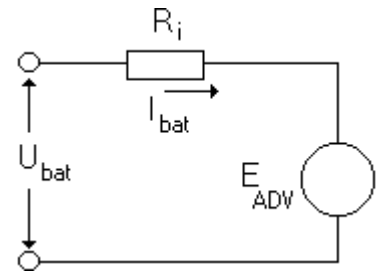
Şekil 2. de görüldüğü gibi kontrol devresi, doğrultucu çıkışından gerilim değeri almakta ve bu değer referans gerilim değeriyle karşılaştırılarak kapasitenin artırılması veya azaltılması için karar vermektedir. Kontrol devresi her çalışma frekansında ve yük akımı değerinde çıkışı belirlenen değerde tutmaya çalışmaktadır. Ancak kondansatörlerin çok sık devreye girip çıkmalarını engellemek için sayıcının sayma aralığı, kondansatörlerin deşarj dirençleri üzerinden boşalma süreleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

Deneyde kullanılan kondansatörler 400 V çalışma geriliminde seçilerek yıldız bağlantı yapılmaktadır. Böylece indüksiyon generatörünün klemens uçlarındaki gerilim değerinin $V_h = 400 * \sqrt{3} = 692$ V değerine kadar ulaşması halinde bile kondansatörlerin zarar görmemesi sağlanmaktadır.

6. BATARYA ŞARJ DEVRESİ

Küçük güçlü, şebekeden yalıtılmış rüzgar türbinlerinde kullanılan indüksiyon generatöründen alınan elektrik enerjisinin sürekli olmaması sebebiyle depolama gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Batarya şarj sistemi, basit ve çok yönlü kullanıma olanak sağlaması nedeniyle depolama için yaygın olarak tercih edilmektedir.

Şekil 3. de temel prensibi verilen batarya şarj sisteminde, bataryanın iç direnci doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bataryanın açık devre gerilimi ve iç devre direnci şarj olayının bir fonksiyonudur [4].



Şekil-3. Batarya Eşdeğer Devresi

Şekil 3. de görüldüğü gibi batarya eşdeğer devresinde bir iç direnç ve bir gerilim kaynağı seri olarak bağlıdır. Devredeki iç direnç değeri eşitlik (8) kullanılarak hesaplanabilir[5].

$$U_{bat} = I_{bat} \cdot R_i + E_{ADV} \quad (8)$$

Burada U_{bat} :Batarya çıkış gerilimi, I_{bat} :Batarya akımı, E_{ADV} :Batarya açık devre gerilimidir.

Eşitliği R_i için tekrar yazarsak;

$$R_i = \frac{U_{bat} - E_{ADV}}{I_{bat}} \quad (9)$$

Yukarıdaki eşitlik (9), seri bağlı bir batarya grubu için aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir;

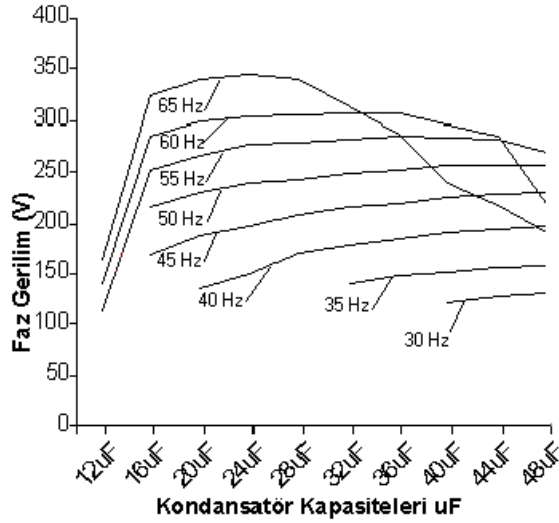
$$nR_i = \frac{U_{bat} - nE_{ADV}}{I_{bat}} \quad (10)$$

Burada n = Seri bağlı batarya sayısıdır.

7. DENEY VERİLERİ VE DEĞERLENDİRME

Şekil 2, de blok diyagramı verilen sistem kurularak yapılan çalışmada, alınan sonuçlardan ve çizilen grafiklerden, hangi frekansta hangi gerilim değerine ulaşmak için ne kadar kapasite gerektiği belirlenmektedir.

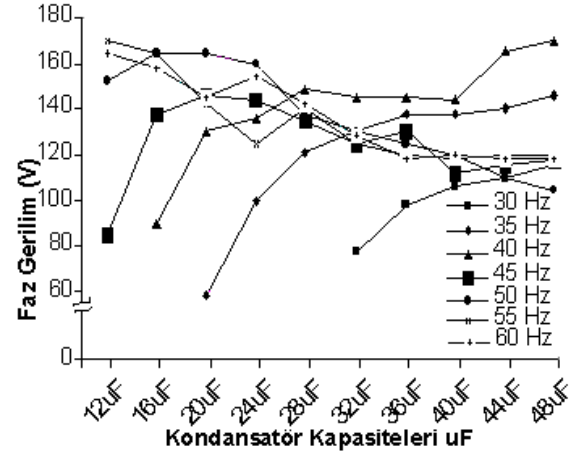
Şekil 4. de indüksiyon generatörünün klemens uçlarında, yük yok iken alınan faz başına gerilim değerleri grafik halinde görülmektedir.



Şekil 4. İndüksiyon generatörünün yüksüz durumdaki $U_f(C,f)$ grafiği

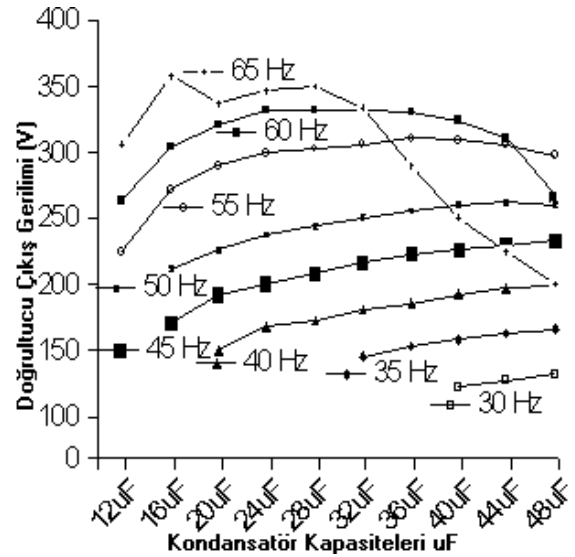
Şekil 4. de 30-50 Hz. aralığındaki çalışmada kapasite arttığında gerilim değeri de arttığı görülmektedir. Ancak 55-65 Hz aralığındaki frekanslarda ise kapasite değeri arttığı halde, gerilim belirli bir değerden sonra düşmeye başlamaktadır. Bu olay stator sargılarının sarıldığı saç nüvenin artık doyuma ulaştığını ve daha fazla uyartılamayacağını göstermektedir. Bu değerden sonra uyartım kondansatörleri bir yük gibi davranmaya başlamaktadır.

Şekil 5. de indüksiyon generatörünün yüklü çalışma durumunda, klemens uçlarından ölçülen faz başına gerilim değerleri görülmektedir. Yüklü çalışma deneyinde 65 Hz. de yapılan ölçümlerde indüksiyon generatöründe aşırı sıcaklık artışı meydana geldiği için ölçüm alınmamaktadır.



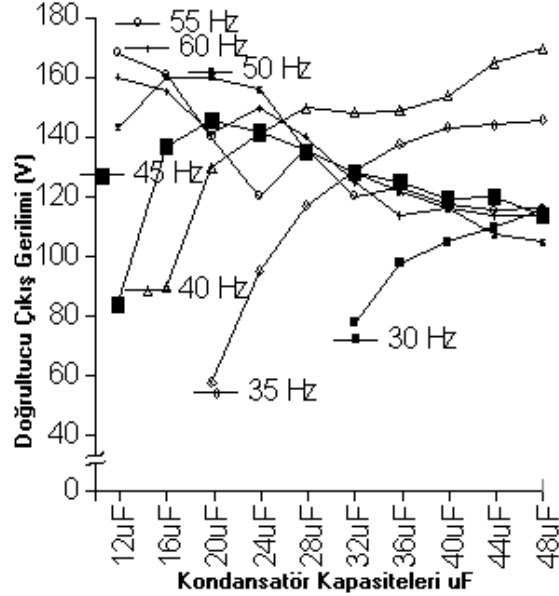
Şekil 5. İndüksiyon generatörünün yüklü durumdaki $U_f(C,f)$ grafiği

Yapılan deneyde, indüksiyon generatöründen alınan gerilim, düşürücü transformatör ve doğrultucu ile batarya şarjında veya diğer yükleri beslemekte kullanılmaktadır. Bu nedenle transformatör ve doğrultucu cihazlarının da çıkış gerilimine olan etkilerini gözlemlemek için doğrultucu çıkışından alınan gerilim değerleri, boş çalışma için Şekil 6. da ve yüklü çalışma için de Şekil 7. de verilmektedir.



Şekil 6. İndüksiyon generatörünün yüksüz durumdaki $U_{DA}(C,f)$ grafiği

Şekil 6. da görüldüğü gibi 30-50 Hz. aralığındaki frekanslarda doğrultucu çıkışındaki gerilim değerinde artış görülmektedir. Ancak 55-65 Hz aralığındaki frekans değerlerinde ise 24-32 uF uyarım kapasitesinden sonra gerilim düşmeye başlamaktadır. Bu olay, daha önce açıklandığı gibi statör sargılarının sarıldığı saç nüvedeki doymaya bağlı olarak meydana gelmektedir.



Şekil 7. İndüksiyon generatörünün yüklü durumdaki U_{DA}(C,f) grafiği

Şekil 7. de ise indüksiyon generatörünün yüklü çalışma durumunda doğrultucu çıkışından alınan gerilim değerleri görülmektedir. Burada gerilim 100-180 V aralığında değişmektedir. Boş çalışmada ise bu değişim aralığı 150-300 V aralığında değişim göstermektedir.

8. SONUÇ

Rüzgar türbinleri ve küçük boyutlu su türbinleri tarafından döndürülen indüksiyon generatörleri ile elektrik enerjisi üretilebilmekte ve bu enerji çeşitli sistemler aracılığı ile değişik yükler için uygun hale getirilebilmektedir. Bu çalışmada bir indüksiyon generatörü kullanılarak batarya şarjı gerçekleştirilmiştir. Sistemin çıkış gerilimini, batarya gerilimine yakın tutmak için bir kontrol sistemi tasarlanarak indüksiyon generatörünün doğrultucu çıkış gerilimi kontrol edilmektedir. Bu gerilim değeri bataryaların uygun şartlarda şarjı için kullanılmaktadır. Ancak başka alıcıları da beslemek için kullanılabilir. Gerçekleştirilen sistemden elde edilen çıkış değerlerinden, indüksiyon generatörün şarj için gerekli devir sayısı ve uyarım kapasitesi basit ve güvenilir bir şekilde belirlenmektedir. Bundan sonraki çalışmada bu sistem bir rüzgar türbini veya küçük boyutlu su türbini ile,

haberleşme ve orman gözetleme kulelerinin elektrik enerjisi gereksinimlerini karşılamak amacıyla kullanılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Johnson, G.L., Wind Energy Systems, Electronic edition, pp 6-1,6-22., Manhattan, KS, 2001
- [2] Muljadi, E. , Sallan, J. ,Sanz, M., Butterfield, C.P. , Investigation of Self-Excited Induction Generators for Wind Turbine Applications, IEEE Ind. App. Conf. 3- Oct. 1999, Arizona, USA.
- [3] Smith, N., Motors As Generators For Micro-Hydro Power, pp 23-27, 1999.
- [4] Muljadi, E. , Drouilhet, S. , Holz, R. ,Gevorgian, V. , Analysis Of Wind Power For Battery Charging, NREL/TP-441-8170. Presented at 15th ASME Wind Energy Symposium, Houston, Tx, Jan. 28-Feb. 2,1996
- [5] Gevorgian, V. ,Corbus, A. D. , Drouilhet, S. , Holz, R. , Thomas, K. E. , Modelling, Testing And Economic Analysis Of A Wind-Electric Battery Charging Station, Presented at Windpower '98 Bakersfield, CA, USA, April 27-May 1, 1998