

Yakıt Pillerinin Darbeli Akım İhtiyacı Duyan Sistemlerdeki Dizayn Prensipleri

Mahmut TURHAN

KOCAELİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAK. ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

mturhan@ekm.tsk.mil.tr

Özet

Bu çalışmada yakıt pillerinin darbeli akım ihtiyacı duyan sistemlerde kullanılması için gerekli olan dizayn prensipleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli fark yakıt pilinin kullanım alanının genişletilebilmesi için darbeli akım ihtiyacı duyulduğu durumlarda darbeli güç ihtiyacının li-ion pillerden sağlanmasının düşünülmesidir. Diğer yapılan çalışmalarda li-ion piller yerine kurşun asit piller kullanılmıştır. Li-ion piller yeni bir teknoloji olup günümüzde hafif olması az yer kaplaması ve hızlı şarj edilebilip yüksek güç yoğunluğu karışın şarj karakteristiğinden dolayı şarjında problem çekilmektedir. Li-ion piller seri ve paralel olarak çalıştırılarak istenilen akım ve gerilim elde edilebilmektedir. Li-ion bataryalar ve yakıt pilleri günümüz teknoloji olup her ikisinin de artısını aynı sistemde toplayarak daha efektif bir sistem elde edilmesi planlanmıştır. Yakıt pilleri sayesinde enerji verimliliğini yüksek sesiz bir enerji elde edilirken li-ion bataryalar ile darbeli akım gereksinimi duyan sistemlerde de yakıt pilini kullanılabilir hale getirilecektir. Günümüz teknolojisinde gün geçtikçe yaygınlaşan bu iki yeni teknoloji, bu çalışma ile nasıl ortak bir şekilde kullanılıp verimli hale getirilebileceği anlatılmıştır.

Anahtar kelimeler; Li-ion pil, DC/DC konverter, yakıt pili, darbeli akım, destek güç sistemi.

ABSTRACT

In this study design principles required for the fuel cells to be used in the systems that need impulse current are disclosed. The most important difference that separates this study from the others is to consider utilizing li-ion batteries to provide power need where impulse current is needed in case there is need for impulse current in order to expand the use of fuel cells. In other studies lead acid batteries were used instead of li-ion batteries. Li-ion batteries are new technology and even though they are light, occupy less space, can be charged quickly and have high power intensity there experienced problems in charging because of their charge characteristics. Desired voltage and current can be obtained through serial and parallel implementation of li-ion batteries. Li-ion batteries and fuel cells are the technology of our day and it is planned to obtain a more effective system by bringing the [2]

advantages of both to the same system. Due to fuel cells, while obtaining a high efficiency and silent energy, li-ion batteries will enable using fuel cells in systems requiring impulse current. In this study, it is described how these two technologies that become more common every day in the present technology can be used in cooperation and become more efficient.

Key words; Li-ion batteries, DC/DC converter, fuel cell, impulse current, support power system.

1. GİRİŞ

Yakıt pilleri, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, rafineri ürünleri, amonyak, metanol gibi kimyasal ürünler, biyogaz gibi alternatif kaynaklardan bir dönüştürücü yardımıyla elde edilen hidrojenin veya doğrudan hidrojenin oksijen ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucunda elektrik üretilen cihazlardır ve geleceğin enerji üretim kaynağı olarak görülmektedir.

Yakıt pilleri, piller ile ilk karşılaştırıldığında, pillere göre daha temiz güç kaynağı, daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ömrü ve fosil yakıtlı ürünlerin fiyatlarının artması, veriminin düşük olması gibi nedenlerden dolayı ön plana çıkmakla birlikte yakıt pili sayesinde yüksek verimli sessiz elektrik enerji üretimi yakıt pilinin askeri alandaki ihtiyaçlarını da karşılaya bileceği değerlendirilmiştir.[1]

Yakıt pillerinin darbeli akım ihtiyacı duyan sistemlerde kullanılması durumunda sistemin darbeli güç ihtiyacını karşılayan batarya yada süper kapasitörlerin kullanım gereksinimi nedeniyle hibrit sistem karışımına çıkmaktadır. Yapılan dizayn çalışmasında nominal güç gereksinimi yakıt pilinden sağlanması planlanmış olup nominal akım fazlası yada sistemin darbeli akım gereksinimi Li-ion bataryalardan sağlanması hedeflenmiştir. Burada hedeflenen yakıt pilinin darbeli güç ihtiyacını sağlayacak kaynak olarak şarj süreleri kısa tepkimelere daha hızlı cevap veren yeni teknoloji Li-ion batarya kullanmaktır.

Bu çalışmada nominal çıkış gücü 1250W olan Li-ion batarya destekli hibrit sistem dizayn edilmiş olup Ballard MexaMon OEM 2.0 Nexa™ 1.2kW DC Yakıt Pili modülü üzerinde yapılan deneysel çalışmalar neticesinde yakıt pilinin akım-gerilim eğrisi gibi sistem dizaynı ile ilgili önemli bulgular elde edilmiştir. Bu çalışma bir sonraki adımda şarj kayıplarını minimize edilmesini ve sistem entegrasyonun sağlanarak yakıt pilinin kullanım alanını genişletilmesini hedeflemektedir.

Yakıt pillerinden farklı çıkış akım değerleri elde edilebilmekte ve oldukça sınırlı yüklemeye koşulları sağlanabilmektedir. Uygulama koşulları doğrultusunda darbeli akım ihtiyacı olan sistemlerde hibrit yakıt pili sistemleri kullanılması gerektiği değerlendirilmekte olup yakıt pilleri sistem için gerekli ana akımı sağlarken darbeli akım sağlanabilmesi için piller destek güç sistemini oluşturmaktadır.[3]

Son yıllarda taşınabilir cihazların hızla artmakta olup bunların enerji kaynağının sağlanabilmesi amacı ile şarj edilebilir Lityum-iyon ya da Lityum-polimer bataryalar tercih edilmektedir.[4] Şarj edilebilir piller arasında en büyük talep hem yüksek enerji kapasitesi hem de hafifliğinden dolayı Li-ion bataryalardır. Bu tip piller rekabet içinde oldukları nikel-kadmiyum ve nikel-metal hibrid pillere göre daha fazla enerji yoğunluğu sahip olup Li-ion teknolojisi nikel tabanlı sistemlere göre daha yüksek çıkış gerilimleri vardır. Kesin elde edilen sonuçlar neticesinde, düşük enerji tüketimi sağlayan bu bataryalar aracılığı ile cep telefonları ve cep bilgisayarlarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.[5] Fakat bununla birlikte daha yüksek enerji gerektiren uygulamalarda, örneğin dijital kameralar, video kaydediciler ve diz üstü bilgisayarlarda bu bataryaların [Li-ion] paralel ya da seri bağlamaları gerekmektedir. Bataryaların uzun ömürlü olabilmesi amacı ile gerçekleştirilen bu seri bağlama işlemleri, bataryaların şarj edilebilmeleri hususunda mekanik ve elektronik problemlere sebebiyet vermektedir. Seri bağlı bataryalarda her bir bataryanın eşit olarak şarj edilebilmesini sağlamak en önemli noktayı oluşturmakta ve elektrik yükünün eşit miktarlarda dağılması gerekmektedir. Seri bağlı bataryalardan farklı olarak paralel bağlı bataryalarda, elektrik yükünün dengelenmesinin gerektirecek bir durum bulunmamaktadır. Bunun nedeni paralel bağlı devrelerde terminallerin birbirlerine sıkı bir biçimde bağlanması ve potansiyellerinin sürekli olarak sabit kalmasıdır. Eşit şarj edilebilme gerekliliğinin yanında Li-ion bataryalar aynı zamanda şarj aşımına da uğratılmamalıdır. [6]

Li-ion bataryaların şarjı CC-CV [Sabit-Akım ve Sabit-Voltaj Şarjı, Constant-Current and Constant-Voltage] şarj sistemi öngörülmüş ve bugünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. CC-CV şarj stratejisinde pil ilk olarak nominal voltajına ulaşana kadar bir sabit akım uygulanır. Pil nominal voltajına ulaştıktan sonra da sabit voltajda tutulur ve şarj akımı otomatik olarak düştüğü görülür. Şarj akımı sıfıra düştüğünde pil %100 olarak şarj edilmiş olur. CC-CV şarj süresi hala birçok mobil cihazın ihtiyacını karşılamak için çok uzundur. [7]

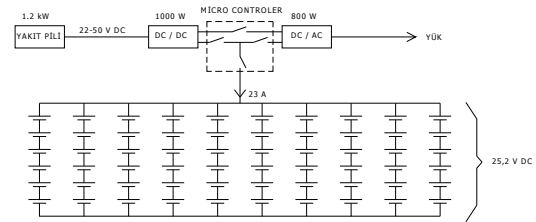
Li-ion pillerde şarj ve güvenlik konularıyla alakalı olmak üzere önemli sorunlar vardır. Tam şarjlı Li-ion pillerde çok yüksek derecede reaktif elektrotların ve susuz elektrolitlerin

varlığı nedeniyle tam şarjlı li-ion pillerin yüksek sıcaklıklarda alev çıkarak delinmesine yola açabilmektedir.[8]

Bu çalışmanın ikinci bölümünde sistem için gerekli gereksinimlerden bahsedilmiş ve sonuçta bu makale ile okuyucuya yakıt pilleri ile ilgili genel değerlendirmeler sunulmuştur.

2. SİSTEM DİZAYN GEREKSİNİMLERİ

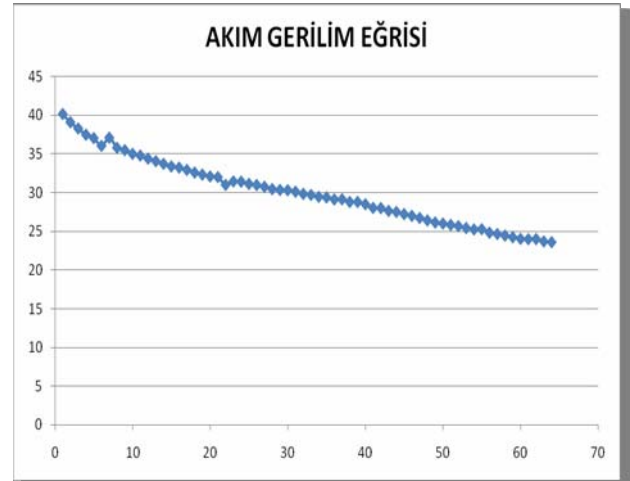
Yakıt pili sisteminin destek güç sistemi için 6 adet seri olan, 10 adet paralel bağlı li-ion pillerden bataryaların oluşturulması, terminal gerilimi 25.2VDC 20 Ah ve maksimum 25.2 VDC çıkış gerilimli batarya grubu elde edilmiş olup Şekil-1 de gösterilmiştir



Şekil-1:1000W nominal gücünde li-ion batarya destekli yakıt pili sistem dizaynı

2.1. Destek Güç Sistem Dizaynı

Şekil-1’de gösterilmiş olduğu gibi 1.2 kW çıkış gücüne sahip BALLART marka yakıt pili Li-ion bataryalı destek güç sistemi için gerekli olan enerjinin sağlanması DC/DC konverter vasıtasıyla sağlanması planlanmış olup yakıt pilinin çıkışı ve batarya grubunun çıkışı AC şebekeye verilebilmesi DC/AC konverter kullanılması planlanmış olup yakıt pilinin güç gerilim eğrisi çıkartılarak Şekil-2 de gösterilmiştir.



Şekil-2: Akım gerilim eğrisi

Bu dizayn sistemine göre, tüm operasyon işlemleri [şarj ve doldurma] mikrokontrol cihazları aracılığı

gerçekleştirilecektir. Bu kontroller aracılığı ile şarj işleminin başlatılması ve durdurulması, geçici şarj elde etme, hücresel voltaj ve denge kontrolü, şarj durumunun gösterilmesi [şarj seviyesi] ve oluşturabilecek hataların ekranda gösterilmesi sağlanacaktır.

2.2 Şarj Yöntemleri

Şarj yönteminde sabit akım sabit gerilim yöntemi temel alınacaktır. Bu metod doğrultusunda, bataryalar maksimum değeri olan 24.2 VDC'ye ulaşana kadar, sabit akım yöntemi uygulanacaktır. Bu aşamada bataryalar kapasitelerinin %70'ine kadar şarj edilecektir. Bataryaların %100 kapasite ile doldurulabilmesi için, bataryaların 24.2 VDC sabit gerilimde batarya grubu 0.1C olana kadar sabit gerilim altında tutularak bataryanın %100 şarj edilmiş olması sağlanacaktır.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus bataryaların maksimum kapasitesine ulaşması esnasında, bataryaların dengesez biçimde yüklenmesini önlemek için hangi hücrede dengeleme yöntemlerinin kullanılması gerekliliğinin bilinmesidir.

Li-ion bataryaların sınıflarına bağlı olarak bazıları 2,5 V'ten 4,2 V'a kadar geniş bir voltaj aralığı göstererek 3,5 V ve 4,2 V aralığında kalmaktadır. Bu farklılıklar genellikle fabrikasyon ve montaj teknolojilerinden kaynaklanabileceği gibi kullanılan malzemenin farklılığından da kaynaklanabilmektedir.

2.3.Hücrelerin Dengelenmesi

Hücrelerin dengelenmesi işlemine yönelik olarak birkaç çeşit yöntem kullanılmaktadır. Bunlar arasında güç kapatılması, güç bloklanması, güç dağıtma [yayma] resistörleri ve enerji çeviricileri bulunmaktadır. Burada bulunan yöntemlerin hepsinin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu özellikler doğrultusunda kullanılan yerleri de farklılık göstermektedir. Burada aktarılan dizaynda güç bloklatması ve güç dağıtma [yayma] yöntemleri kullanılmaktadır Burada güç bloklayıcı sistemin hücre dengelenmesinde kullanılması sabit-değişken sistemde uygulanmıştır. Bununla birlikte şarj işlemi sonucunda bataryalar henüz dengeli yük dağılımına ulaşmamıştır, bu nedenlerden dolayı sabit-geçici sistemin durdurulması gerekmektedir. Hücrelerin tam olarak dengelenebilmesi için dağıtıcı [yayma] resistörleri kullanılacaktır. Buluşturulan bu kombinasyon sistemin bir diğer avantajı, hücre dengeleme sistemi, sadece bir tek batarya için değil daha fazla batarya sistemleri içinde kullanılabilir olmasıdır.[9]

Li-ion pillerin iç gerilimi [empedens] değeri bilinse dahi, her iki yöntemde de uygun yük dolaşım değerlerinin hesaplanabilmesi için aynı zorluklar bulunmaktadır. Bununla birlikte bu konfigürasyon dahilinde bulunan dirençlerin ve kapasitelerin net karakteristikleri bilinmeden Li-ion pillerin net bir şekilde hesaplanıp, gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Şarj esnasında hücre dengeleyicilerinin etkinliği, maksimum voltaj değerine ulaşması amaçlanmaktadır. Bu durumda daha fazla akımın dengelenmemiş batarya yerine, dirence yönlendirilebileceği anlamına gelmektedir. Akım

saptırıcının etkili olmadığı zamanlarda, yok edici [dissipative] dirençlerinin kullanılması daha etkin olabilmektedir.[10]

Eğer farklılık küçük değerlerde ise, dengeleme zamanı daha uzun tutulabilmektedir. Bununla birlikte voltaj farklılığı az ve uygun olan aralıkta ise, hücre dengelenmesi herhangi bir kesintiye uğramayacaktır. Bu doğrultuda, tüm bataryalar aynı oranda şarj edilebilecektir.

Şarj/dengeleme zamanı için en uygun değer tahmini için bilinen en iyi kontrollerden olan PID veya fuzzy logic kullanılabilmektedir. Fakat bu kontrollerin kullanılabilmesi için ekstra zaman ve çok daha kuvvetli DSP mikrokontroller olmalıdır. Bunların gerekliliğinin sebebi daha ağır matematiksel hesapların yapılabilmesini sağlamaktadır.[11]

2.4. Şarj Kontrol Algoritmaları

Bataryaların tam olarak ve dengeli bir biçimde şarj edilip, edilmediğinin kontrol edilebilmesi için kontrol algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Burada temel olarak mikro kontroller aktif hale getirildiğinde, bataryalar ile bağlantı oluşturularak toplam voltajın değeri görülebilmektedir. Bataryaların tam olarak şarj edildiği durumda, bağlantı koparak şarj işlemi duracaktır. Bununla birlikte bataryalar tam olarak şarj edilmediğinde, voltaj ve sıcaklık değerleri her bir bataryanın kontrol edilerek, normal şartlar ile karşılaştırılmalıdır. Elde edilen değerler normal olması gereken değerlerin dışında ise operasyon durdurulmalıdır. Bataryalar arasındaki en dengesiz olarak şarj edilmiş batarya tespit edilerek sorun giderilmelidir. Bunlardan sonra sabit-geçici yöntem bir kez daha uygulanmalıdır. Şarj süresi boyunca bataryaya ulaşan akım değeri sürekli olarak ölçülmeli ve karşılaştırılmalıdır. Elde edilen değerler anormal değerler ise operasyon acilen durdurulmalı, eğer değerler normal ise işlem devam ettirilmelidir. Şarj işlemi tamamlandıktan sonra ve akım kesilmeden hemen önce bataryalar ile ilgili bilgiler LCD'ye ya da bilgisayar monitörüne aktarılmalıdır. Şarj için kullanılan elektrik akımı kesildikten sonra, bataryalar kullanıma hazır duruma/dinlenme zamanında ulaşmaktadır. Son olarak her bir bataryanın dolduğu okunduktan sonra aynı prosedürler devam etmelidir.[12]

Bir ya da birden fazla batarya maksimum voltaj değerine ulaştığında, şarj işlemi durdurulmalıdır. Bununla birlikte maksimum voltaj değerine ulaşmış olan bataryalar maksimum ve minimum değerler izin verilen aralığa ulaşmaya kadardeşarj işlemi uygulanmalıdır.

Tüm bataryalar maksimum voltaj değerine ulaştığında voltaj değeri sabit olarak ayarlanmalıdır. Ortalama voltaj değerinin ölçülebilmesi için sabit voltaj işlemi periyodik olarak da uygulanmalıdır. Bu şarj durumu kurullarında, şarj zamanı da tespit edilmelidir. Şarj işlemi sabit akım modu olduğu ile aynı prosedürleri takip etmelidir.[13]

Bataryaların voltaj ve akım değerleri ölçülüp karşılaştırılmalıdır. Şarj işlemi sadece akım değeri 0,1C'a ya da daha alt değere düştüğünde ve Li-ion bataryalar tamamen şarj edildiğinde sona erdirilmelidir.[14]

2.5 Güvenlik ve Koruma

Li-ion bataryalar her ne kadar birçok avantaja sahip olsa da kimyasal içeriğinden dolayı bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Li-ion bataryaların şarj esnasında voltaj değerinin sürekli kontrol edilmesi anlamına gelmektedir. Aynı zamanda kullanılan akımın değeri de izin verilen maksimum aralığın dışına da çıkmamalıdır. Sıcaklık, şarj esnasında dikkat edilmesi gereken bir değer önemli hususlardan birini oluşturmaktadır. Operasyon sıcaklığı oda sıcaklığının 25 °C olduğu durumlarda 40 °C'den düşük olmalıdır. Şarj çevrimi esnasında bataryalarda kısa devre oluşmasını önlemek amacı ile sistem içersinde sigorta ve mekanik araçlarda kullanılmalıdır. Tüm bu uygulamalar, güvenlik ve koruma önlemleri dahilinde uygulanması gereken temel unsurları oluşturmaktadır.[15]

2.6.Cihaz Donanımları [Malzemeleri]

Bu dizaynda kullanılan yakıt pili, batarya şarj ediciler, maksimum 4,2 voltta ve her bir batarya 2 Ah akımı karşılayacak biçimde ayarlanmış olup 6 adet seri bağlı Li-ion bataryanın oluşturduğu 10 lu paralel grubun şarj edilebilmesi için uygundur.

Bu sistem dahilinde tamamlanması gereken iki ana bölüm bulunmaktadır. İlk bölüm sabit-akım/sabit-voltaj kaynağı kullanılarak elde edilen yüksek güç kontrolü, dolaşım dengelenmesi ve yedek dolaşımdır. Bu karşın ikinci bölüm, düşük güç kontrolü [kontrol dolaşımı için] bilgi kontrol dolaşımı ve sistemi oluşturan malzeme çevrimidir. Bu iki bölüm ve koruma sistemi özellikle oluşabilecek kısa devrelerden korumak amacı ile oluşturulmuştur. [16]

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışma ile yakıt pilinin kullanım alanını genişletilmesindeki temel basamak olan darbeli güç gereksinimi duyan sistemlerde kullanılabilmesi için gerekli olan sistem dizaynı yapılmış yakıt pilinin akım gerilim eğrisi, çektiği güce göre yakıt tüketimi üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sistem dizaynı tamamlanmasına müteakip deney çalışmaları Li-ion bataryaların şarj-deşarj karakteristiği ortaya çıkartılarak dizaynın geliştirilmesi sağlanacaktır. İlerideki çalışmalar Li-ion bataryayı şarj eden DC/DC konverter ile mikroişlemciler üzerinde yapılan çalışmalar geliştirilerek kontrol çevrimi, dengeleme çevrimi gibi sebeplere bağlı olarak oluşan güç kaybı ve güç harcanması dikkate alınarak sistem verimliliğinin artırılması planlanarak yakıt pilinin etkinliği genişletilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Extending the Lifetime of Fuel Cell Based Hybrid Systems, J. Zhuo, C. Chakrabarti, N. Chang, S. Vrudhula, DAC 2006, July 24-28, 2006 San Francisco, California, USA
- [2] Development of the Lithium ion battery system for space, T.Gonai, T.Kiyokawa, H.Yamazaki, M. Goto, IEICE/IEEE INTELEC'03, Oct.19-23, 2003

- [3] Advanced EV and HEV Batteries, R. Spotnitz, IEEE 2005

- [4] Fuel Cells and Portable Electronics, C.K. Dyer, 2004 Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers

- [5] Design of Smart Charger for Series Lithium-Ion Batteries, M.F.M. Elias, K.M. Nor, A.K. Arof, IEEE PEDS 2005

- [6] New Li-ion Battery Charger Based on Charge-Pump Techniques, Y. Hwang, S. Wang, F. Yang, J. Chen, W. Lee, IEEE 2006

- [7] A Design of a Digital Frequency-Locked Battery Charger for Li-ion Batteries, L. Chen, C. Chou, G. Han, H. Chang, Y. Lin, IEEE ISIE 2005, June 20-23, 2005, Dubrovnik

- [8] Cost/Benefit Analyses of a New Battery Pack Management Technique for Telecommunication Application:Future Directions with Fuel Cell/Battery Systems, W. A. Adams, J.D. Blair, K.R. Bullock, C.L. Gardner, L.W. Li, IEEE 2004

- [9] Fast-Charge in Lithium-Ion Batteries for Portable Applications, J.Lopez, M.Gonzalez, J.C. Viera, C.Blanco, IEEE 2004

- [10] Hysteresis-Current Controlled Buck Converter Suitable for Li-ion Battery Charger, F. Yang, C. Chen, J.Chen, Y. Hwang, W. Lee, IEEE 2006

- [11] The Research of Smart Li-ion Battery Management System, T.L. Chern, P.L. Pan, IEEE 2007

- [12] Assessment of Rechargeable batteries for high power applications P. Butler, F. Delnick, R. Ripple, F. Peterkin, IEEE 2004

- [13] A modular Fuel Cell, Modular DC-DC Converter Concept for High Performance and Enhanced Reliability, L. Palma, P. Enjeti, IEEE 2007

- [14] A Variable Frequency Pulse Charge Strategy for Li-ion Battery, L. Chen, R. Hsu, C.Liu, W. Yen, N. Chu, Y. Lin, IEEE ISIE 2005, June 20-23, 2005, Dubrovnik

- [15] Methods of Energy Conservation and Management for Commercial Li-ion Battery Packs of Mobil Phones, K.Takeno, M.Ichimura, J.Yamaki, IEICE/IEEE INTELEC'03, Oct.19-23, 2003

- [16] Li-ion Battery Charger with Three-Parameter Regulation Loop, E. E. Potanina, V.Y.Potanin, IEEE 2005