

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMASI
TASARIMI VE UYGULAMASI

ŞAKİR ALTUN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2012

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMASI
TASARIMI VE UYGULAMASI

ŞAKİR ALTUN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. ABDULKADİR BALIKÇI

GEBZE
2012



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.06.2012 tarih ve 2012/22... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13.07.2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Salih ALTUN...ın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Doç. Dr. Abdulkadir Balıkcı, *J.A. Balıkcı*

ÜYE

: Doç. Dr. M. Ali Arslan *M. Ali Arslan*

ÜYE

: Doç. Dr. Serkan Aksoy *Serkan Aksoy*

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMASI TASARIMI VE UYGULAMASI.

YAZAR ADI : ŞAKİR ALTUN

Elektrikli araçların popülaritesi günümüzde artmaktadır. Elektrikli araçların en önemli birimi olan Batarya Yönetim Sistemlerinin (BYS) geliştirilmesi araştırma konularının başında yer almaktadır. BYS'lerin halen daha donanımsal ve yazılımsal olarak geliştirilmesine ve yeni tasarımların oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

Bu tez kapsamında, literatür de yapılmış BYS yazılım algoritmaları incelenmiştir. BYS'nin genel özellikleri ve ihtiyaçları belirlenmiştir. Daha sonra akademik bir çalışma sonucunda donanımı tasarlanan BYS'inin hem ana kart için hem de çocuk kartlar için yazılım algoritmaları tasarlanmıştır. Ayrıca bu tez kapsamında, batarya paketinin daha verimli kullanılması için Enerji Koruma Modu (EKM) algoritması geliştirilmiştir.

SUMMARY

**TITLE OF THE THESIS : ALGORITHM DESIGN AND IMPLEMENTATION
OF BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR
ELECTRIC VEHICLES.**

AUTHOR : ŞAKİR ALTUN

Increasing popularity of electric vehicles today. The most important unit of electric vehicles Battery Management Systems (BMS) is located at the beginning of the development of research topics. BMS is currently developing a hardware and software, and there is a need to create new designs.

In this thesis, BMS software algorithms in the literature were made. BMS identified the general characteristics and needs. Later, as a result of an academic study BMS designed hardware and software algorithms for the main card is designed for both children's cards. Also within the scope of this thesis, the battery pack for more efficient use of Energy Saving Mode (ESM) algorithm was developed.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI'ya, beni teşvik eden Yük. Müh.Celalettin KARAMAN'a, Dr. Murat ERAT'a, teknik bilgi birikimlerini esirgemeyen Yük. Müh. Recep Bayram'a, Ümit Çelikkaya'ya ve eğitim hayatım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve kardeşime teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma TÜBİTAK 110E209 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ	4
2.1. Batarya Yönetim Sisteminin Görevleri	4
2.2. BYS'nin Batarya Yönetiminde Kullandığı Kriterler	5
2.3. BYS Topolojileri	5
2.3.1. Merkezi Kontrol Topolojisi	5
2.3.2. Dağılmış Kontrol Topolojisi	6
2.3.3. Modüler Kontrol Topolojisi	6
2.4. Lityum-İyon Bataryalarda Dengeleme Teknikleri	6
2.4.1. Pasif Dengeleme Tekniği	7
2.4.2. Aktif Dengeleme Tekniği	9
2.4.3. Dengeleme Sistemlerinin Karşılaştırılması	11
3. LİTERATÜR TARAMASI	13
3.1. Sistem Modeli	13
3.2. Batarya Parametreleri	16
3.2.1. Şarj Durumu (SOC)	16
3.2.2. Deşarj Derinliği (DOD)	16
3.2.2. Sağlık Durumu (SOH)	17
4. HABERLEŞME PROTOKOLLERİ	18
4.1. CAN Haberleşme Protokolü	18
4.1.1. CAN Protokolünün Temelleri	19
4.1.2. CAN Haberleşme Katmanları	20

4.1.3. CAN Topolojisi	21
4.1.4. Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection And Collision Resolution (CSMA/CD+CR) ve Arbitration İşlemi	21
4.1.5. Mesaj Tabanlı Haberleşme	23
4.1.6. CAN Mesaj Çerçeveleri	23
4.2. LIN Haberleşme Protokolü	29
4.2.7. LIN Mesaj Çerçevesi	30
5. ALGORİTMA GELİŞTİRİLEN BYS'NİN TASARIM ÖZELLİKLERİ	34
5.1. Sistemin Genel Özellikleri	34
6. TASARLANAN VE GERÇEKLEŞTİRİLEN BYS ALGORİTMASI	36
6.1. Ana Kart	36
6.2. Çocuk Kartı	37
6.3. Şarj Algoritması	37
6.4. Deşarj Algoritması	38
6.5. Pil Dengeleme Yöntemi	40
6.6 Çocuk Kartı Algoritması	42
6.7 Ana Kart Algoritması	49
7. TEST DÜZENEGİ VE ŞARJ-DEŞARJ TEST SONUÇLARI	58
8. SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR	72
KAYNAKLAR DİZİNİ	73
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BMS	: Battery Management System
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
SOH	: State of Health
SOC	: State of Charge
DOD	: Depth of Discharge
CAN	: Controller Area Network
LIN	: Local Interconnect Network
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
I2C	: Inter-Integrated Circuit
SPI	: Serial Peripheral Interface Bus
RS232	: Recommended Standard 232
DVL	: Discharge Voltage Limit
CVL	: Charge Voltage Limit
EKM	: Enerji Koruma Modu
BC	: Bulk Charge
FC	: Fine Charge
CCCV	: Constant Current, Constant Voltage
SPS	: Sample Per Second
ESR	: Equivalent Series Resistance

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Pasif dengeleme sırasında batarya gerilimleri.	8
2.2: Pasif dengeleme genel devre şeması.	9
2.3: Zaman anahtarlama kondansatör tekniği.	10
2.4: PowerPump tekniği blok şeması.	11
3.1: BYS blok şeması.	13
3.2: Çocuk modül blok şeması.	14
3.3: Çocuk modül akış şeması.	15
3.4: Ana modül fonksiyon ağacı.	15
4.1: Örnek arbitration işlemi.	22
4.2: Error/Overload frame.	26
4.3: Bit stuffing.	27
4.4: TEC ve REC sayaçları ve hata modları.	28
4.5: LIN protokolü veri yolu yapılandırması.	30
4.6: LIN mesaj çerçevesi.	30
4.7: LIN byte field.	31
4.8: Identifer field.	32
4.9: Data field.	33
4.10: Checksum field.	33
5.1: BYS'nin basit blok şeması.	35
6.1: Batarya EKM blok şeması.	40
6.2: Bir Li-Ion pilin şarj ve deşarj grafiği.	41
6.3: Çocuk kartı ana akış şeması.	43
6.4: Çocuk kartı fine charge akış şeması.	46
6.5: Çocuk kartı EKM akış şeması.	48
6.6: Ana kart ana akış şeması.	50
6.7: Ana kart CAN haberleşmesi akış şeması.	52
6.8: Ana kart LIN haberleşmesi akış şeması.	54
6.9: Bulk charge akış şeması.	56
7.1: Test düzeneği genel blok şeması.	58

<u>Şekil:</u>	<u>Sayfa</u>
7.2: Akım kaynağı devre şeması.	59
7.3: Pil şarj-deşarj döngüsü, akım-gerilim grafiği.	61
7.4: Test düzeneği.	62
7.5: PC arayüzü ekran görüntüsü.	63
7.6: Hızlı şarj anlık akım ölçüm grafiği.	64
7.7: Hızlı şarj toplam akım ölçüm grafiği.	64
7.8: İnce şarj anlık akım ölçüm grafiği.	65
7.9: İnce şarj toplam akım ölçüm grafiği.	66
7.10: Pil gerilim ölçüm grafiği.	66
7.11: İnce şarj anlık akım ölçüm grafiği.	67
7.12: İnce şarj toplam akım ölçüm grafiği.	67
7.13: Pil gerilim ölçüm grafiği.	68
7.14: İnce şarj anlık akım ölçüm grafiği.	69
7.15: İnce şarj toplam akım ölçüm grafiği.	69
7.16: Pil gerilim ölçüm grafiği.	70
7.17: Deşarj anlık akım ölçüm grafiği.	71
7.18: Deşarj toplam akım ölçüm grafiği.	71

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Farklı pillerin çeşitli parametrelere göre karşılaştırma tablosu.	2
2.1: Aktif ve pasif dengeleme tekniklerinin karşılaştırma tablosu.	11
4.1: CAN mesafe hız tablosu.	19
4.2: Standart veri çerçevesi.	24
4.3: Extended data frame.	25
4.4: Standart remote frame.	25
4.5: Extended remote frame.	25
4.6: Data frame içerisindeki datanın boyutu.	32

1. GİRİŞ

Geleneksel benzinli araçlar insanlar için çok kullanışlı bir teknoloji imkanı sağlamışlardır. Ancak bu teknoloji ilerleyen zamanlarda çevre güvenliğini tehlike altına almıştır (1). Fosil yakıtlı araçların çevreye yaydığı CO₂ gazı küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Bilim adamlarının bu konuda yaptığı araştırmalar dünyamızı kendi ellerimizle daha yaşanmaz bir duruma sürüklediğimizi göstermektedir. Yeryüzü sıcaklığının ortalama 2 °C artması, milyonlarca insanı açlık, sıtma, sel felaketleri ve tatlı su kıtlığıyla karşı karşıya bırakacaktır (2).

Dünyanın ilk aracı elektrikli araçtı ve 1873'te yapılmıştır. İlk içten yanmalı motorlu araç yapımı 1886 yılında gerçekleşmiştir (1). 19. Yüzyılın sonlarında elektrikli araç gelişimi ilk kez zirve yapmıştır. 20. Yüzyılın başlarında ise petrolün dünyanın bir çok yerinde bulunması ile elektrikli araç teknolojisi yerini içten yanmalı motor teknolojisine bırakmıştır. 20. Yüzyılın sonlarına doğru petrol bir dünya krizi haline geldi ve bilim adamları elektrikli araç teknolojisi için uyarıldı. Bu durum elektrikli araçlar için ikinci bahar niteliğindeydi. Fakat orta-doğu'nun sağladığı ucuz yakıt nedeniyle bu durum kısa sürede sona erdi. Böylece elektrikli araç ikinci kez kaybetmişti. Elektrikli araçların kaybetme sebebini şu şekilde sıralayabilir: (1)

- a) Ucuz yakıt fiyatı
- b) Pahalı pil fiyatı
- c) Uzun şarj süresi
- d) Kısa seyahat mesafesi

Günümüzde elektrikli araçlar üçüncü bir şans daha yakaladılar. Tekrar popüler olma sebepleri arasında başlıca şu nedenler bulunmaktadır: (3)

Kısıtlı petrol, yaklaşık 40 yıl içerisinde kullanılabilir rezervelerin tükeneceği öngörülüyor.

- a) Petrol fiyatlarındaki hızlı artış.
- b) Enerji kaynaklarının tasarruflu kullanılması.
- c) Batarya performanslarının gelişen teknolojiyle artması.

Gelişen pil teknolojisi ile pilin performansında iki şey etkin rol oynamaktaydı.

- a) Pilin üretiminde kullanılan malzeme pilin kapasitesini belirlemede çok önemli bir parametredir. (1)
- b) Batarya yönetim sistemi (BYS). Pilin çok daha verimli kullanımında önemli rol oynamaktadır. (1)

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar üç adımdan geçmiştir. İlk olarak Lead-acid piller ardından ikinci olarak Ni-MH piller ve son olarak Lithium piller geliştirilmiştir.

Tablo 1.1 Farklı pillerin çeşitli parametrelere göre karşılaştırma tablosu.

Batarya Tipi	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Güç Yoğunluğu (W/kg)	Çevrim Ömrü (Zaman)
Lead-acid	30~50	200~400	400~600
Ni-MH	50~70	150~300	>800
Lithium	120~140	250~450	1200

Fakat Lityum-İyon piller gibi yeni nesil gelişmiş piller, şarj-deşarj döngülerinde diğer pillere nazaran daha fazla kontrol gerektirir. Bu da bataryalara şarj-deşarj kontrol devreleri eklenmesini ve bu devrelerin birbirleriyle sistematik bir şekilde çalışmasını gerektirir. Bu gereklilik bataryaların kullanımında hayati bir organ olan Batarya Yönetim Sistemlerini (BYS) ortaya çıkartmıştır.

Pil kapasitesi ve pil performansının geliştirilmesinin yanısıra pil yönetim sisteminin geliştirilmeside çok büyük önem arz etmektedir. Bu tezimizde BYS üzerinde araştırmalar yapılacak, geliştirilmiş olan mevcut donanım için uygun algoritmalar geliştirilecek ve gerçekleştirilecektir.

2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

Temel olarak bataryaların şarj ve deşarj işlemleri sırasında akım ve gerilim denetimlerini yapan sistemlerdir. Bataryaların kullanım ömürlerini uzatmak ve verimini arttırmak için tasarlanmışlardır. BYS'ler gerektiğinde bataryaların şarj durumlarını ve sıcaklıklarını raporlayabilir, onları yüksek akımdan, yüksek gerilimden ve düşük gerilimden korur, doğru ve güvenilir bir şekilde şarj edilmelerini ve güvenilir bir şekilde kullanılmalarını sağlar.

2.1. Batarya Yönetim Sisteminin Görevleri

BYS, bataryaların aşağıdaki özelliklerini izler:

- a) Gerilimi: Periyodik olarak toplam batarya gerilimini ve her batarya hücresinin gerilimini izler.
- b) Akımı: Bataryanın şarj olurken ya da kullanılırken her batarya hücresinin ve bütün batarya paketinin üzerinden geçen akımı izler.
- c) Sıcaklığı: Bataryaların ortalama sıcaklığını ve her batarya hücresinin sıcaklığını izler.
- d) Batarya Güç Seviyesini: Bataryanın şarj olurken ya da kullanılırken ki mevcut gücünü (batarya seviyesini) izler.
- e) Bataryanın Ömrünü: Bataryanın o anki sağlamlığını izler. SOH diye ifade edilir ve % olarak hesaplanır. Teoride bir bataryanın fabrika çıkışında SOH değer %100 dür ve zamanla azalır.
- f) Hava Akışını: Hava soğutmalı batarya paketlerinde hava akışını kontrol eder.

BYS, bataryanın maksimum şarj akımını, maksimum deşarj akımını, maksimum sıcaklığını kullanarak sistemi yönetir ve ayrıca bataryadan çekilen toplam güç miktarını ve bataryanın toplam kullanım miktarını hesaplayabilir.

Bir BYS bataryayı yüksek akımdan, şarj olurken yüksek gerilimden, deşarj olurken düşük gerilimden, yüksek sıcaklıktan ve gerekirse de düşük sıcaklıktan korur.

Bir BYS de CAN, UART, RS485, I2C veya kablosuz haberleşme protokolleri bulunabilir. I2C'yi sensörlerle haberleşmek için, CAN ve RS485'i diğer birimlerle haberleşmek için ve UART ile kablosuz haberleşmeyi de genel amaçlı olarak kullanabilir.

2.2.BYS'nin Batarya Yönetiminde Kullandığı Kriterler

BYS'nin en önemli önceliği bataryanın verimini ve ömrünü en iyi şekilde kullanmaktır. Bunun için öncelikli olarak batarya şarj olurken batarya hücrelerini çok şarj etmekten veya az şarj etmekten korur. Şarj esnasında batarya hücrelerinin aynı miktarda şarj olmaları önemlidir. Bunun için BYS'lerde bir dengeleme sistemi bulunmaktadır. Bu dengeleme sisteminin amacı şarj sonucunda her batarya hücresinin eş miktarda şarj edilmiş olmasını sağlamaktır. Bunun için çok şarj olmuş hücrelerdeki enerjiyi boşa harcayabilir ya da fazla enerjiyi bir dengeleyici sistem kullanarak az şarj olmuş hücrelere aktarabilir.

2.3.BYS Topolojileri

Genel olarak üç çeşit BYS topolojisi vardır.

2.3.1. Merkezi Kontrol Topolojisi

Bu topolojide tek bir kontrolör vardır ve bataryalara kablolar yardımıyla bağlanır. Elektronik ünitenin sadece bir adet olması bu topolojinin en ucuz topoloji olmasını sağlar. Fakat çok sayıda kablo kullanıldığından kurulumu zordur.

2.3.2. Dağılmış Kontrol Topolojisi

Bu topolojide her batarya hücresine bir kart bağlanmıştır ve bütün sistem kontrolöre tek bir haberleşme hattı üzerinden bağlıdır. Az sayıda kablo kullanıldığından dolayı kurulumu çok kolay ve yapısı çok esnektir. Çok sayıda kart gerektirdiğinden dolayı diğerlerine göre daha pahalıdır.

2.3.3. Modüler Kontrol Topolojisi

Birkaç sayıda kontrolör vardır ve her biri birkaç batarya hücresini kontrol eder. Diğer iki topolojinin faydalarının toplandığı topolojidir fakat yine de kullanıldığı yere göre diğerlerinden daha kullanışlı ya da daha kullanışsız olabilir.

2.4. Lityum-İyon Bataryalarda Dengeleme Teknikleri

Seri olarak bağlanmış bataryalardan oluşan bir batarya sisteminde, sistemden çekilebilecek toplam enerji miktarını en zayıf batarya belirler (4). Bunun en önemli sebebi bataryanın kullanılmaz hale gelmemesi için konulmuş minimum gerilim sınırıdır. Yani 5Ah'lık şarj edilmiş bir batarya ile 10Ah'lık şarj edilmiş özdeş iki batarya seri bağlanırsa sistemden çekilebilecek toplam Ah miktarı 5Ah'tır ve sistemde kullanılamayan bir 5Ah'lık enerji kalacak demektir. Bu sorunu çözmek için batarya dengeleme yöntemleri geliştirilmiştir. Yukarıda verilen örnekteki özdeş bataryalar üzerinde ideal bir dengeleme sistem çalıştırılacak olursa her iki bataryanın şarj miktarı 7.5Ah yapıp, kullanım sonunda kalacak enerji miktarının sıfıra indirgenmesi amaçlanır.

Bu yüzden seri olarak bağlanmış her batarya sisteminin sahip olması gereken önemli kabiliyetlerden biri batarya dengeleme sistemidir. Batarya dengeleme sistemi, temel olarak her batarya hücresinin bu işlem sonucunda aynı enerji miktarına sahip olmasını hedefler ve bataryaların ömrü ve verimli

kullanılması için batarya sistemlerinde uygulanması gereken önemli bir işlemdir.

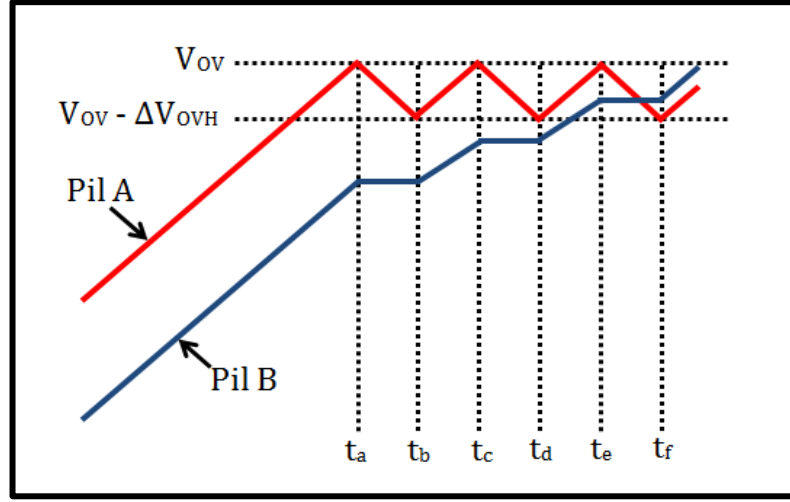
Dengeleme tekniklerinin bir batarya sisteminde uygulanabilmesi için öncelikle her bataryanın sahip olduğu şarj miktarının (SOC) bilinmesi gerekir. Daha sonra ise uygun bir teknikle bütün bataryaların enerjileri eşit hale getirilir.

Temel olarak kullanılan iki çeşit batarya dengeleme tekniği vardır. Bunlar Aktif Dengeleme ve Pasif Dengeleme teknikleridir (5).

2.4.1. Pasif Dengeleme Tekniği

Pasif dengeleme tekniği fazla enerjinin bir direnç üzerinden ısıya dönüştürülerek uzaklaştırılması mantığına dayanır. Bu işlem şarj işlemi bittikten sonra uygulanırsa en düşük enerjiye sahip olan batarya temel alınarak diğer bataryaların enerjilerinin bu seviyeye indirilmesi amaçlanır. Ayrıca bu dengeleme sistemi şarj sırasında uygulanacaksa bataryalardan biri tam şarj olma seviyesine gelmiş fakat bir başka batarya gelmemişse, şarj bir süreliğine durdurulur ve tüm bataryaların enerjisi paketteki en düşük enerjiye sahip olan bataryanın seviyesine çekilir, daha sonra da şarj işlemine devam edilir.

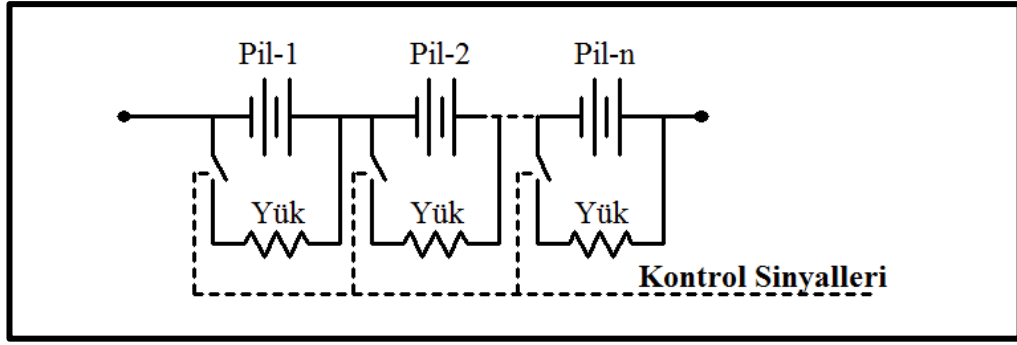
Şekil 2.1’de pasif dengeleme kullanılarak şarj edilmekte olan iki hücreli bir batarya sisteminde bataryaların gerilimlerinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Pasif dengeleme sırasında batarya gerilimleri.

Şekil 2.1’de başlangıçta farklı enerji seviyelerinde olan ve enerji miktarlarının gerilim seviyeleriyle anlaşılabilirdiği türde olan seri bağlanmış iki bataryanın (Cell-A ve Cell-B) şarj edilişi gösteriliyor. Başta daha fazla enerjisi bulunan Cell-A şarj işleminin kesileceği üst noktaya (V_{ov}) Cell-B den daha önce, t_a anında varıyor. Bu noktada Cell-A ile Cell-B arasındaki enerji farkı fazla olduğundan, şarj işlemi kesilerek Cell-A üzerindeki enerjinin bir kısmı bir yük üzerinden boşaltılıyor ve t_b anında şarj işlemi tekrar başlıyor. Şarj işlemi durdurup Cell-A üzerindeki enerjinin bir yük üzerinden boşaltılması işlemi t_c ve t_d arasında ve t_e ile t_f arasında tekrar ediliyor. Şarj işlemi tamamlandığında her iki hücre arasındaki enerji farkı kabul edilebilir bir sınırın altında oluyor.

Şekil 2.2’de genel bir pasif dengeleme sisteminin blok şeması bulunmaktadır.



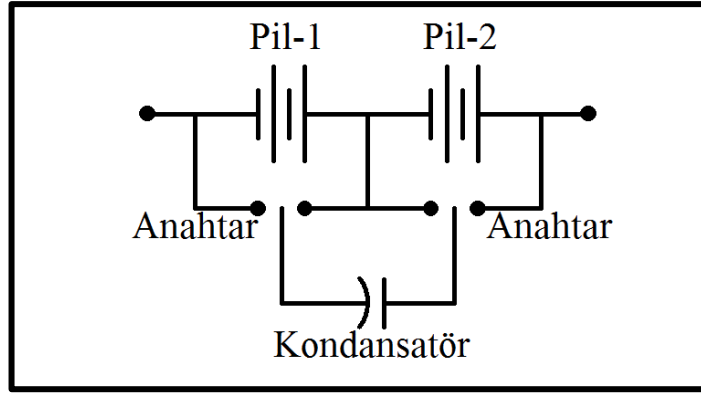
Şekil 2.2 Pasif dengeleme genel devre şeması.

Pasif dengeleme tekniği çok basit olmasına rağmen enerjinin gereksiz yere kullanılmasına sebep olur. Bu sebeple verimi düşüktür. Maliyetinin düşük olmasından dolayı da özellikle, ucuz sistemlerde tercih edilen bir yöntemdir.

2.4.2. Aktif Dengeleme Tekniği

Aktif dengeleme tekniği bir batarya sisteminde fazla enerjiye sahip olan bataryanın enerjisinin diğer bataryalara dağıtılması mantığına dayanır. Pasif dengelemeye göre verimi daha fazladır. Fakat pasif dengeleme tekniğine göre daha fazla eleman ve daha karmaşık bir algoritma gerektirir.

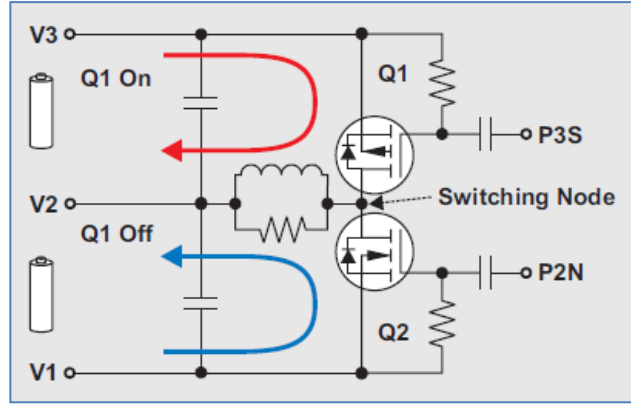
Enerjinin bir bataryadan diğer bataryalara dağıtılması işlevi zaman anahtarlama kondansatör tekniği (Şekil 2.3) gibi bir bataryanın örneklenmesi mantığına dayanan tekniklerle yapılacağı gibi, dengeleme işleminin daha hızlı olmasını sağlayan gerilim yükseltici teknikleri kullanılarak da yapılabilir.



Şekil 2.3 Zaman anahtarlama kondansatör tekniği.

Zaman anahtarlama kondansatör tekniğinde kondansatörün bacaklarının bağlı olduğu anahtarlar, bataryalardan enerjisi yüksek olan bataryanın enerjisini kondansatörün üzerine depolayacak şekilde sola ya da sağa çekilir. Mesela özdeş iki batarya olan B1 ve B2 bataryalarıyla oluşturulmuş bir sistemde, B2 bataryasının enerjisinin B1 bataryasından yüksek olduğunu farz edelim. Bu durumda B2'nin enerjisinin bir kısmını B1'e aktarmamız gerekecektir. Bunun için önce anahtarlar 1 numaralı konuma getirilir ve B2'deki enerjinin bir kısmı kondansatöre aktarılarak kondansatör geriliminin B2'nin gerilimine eşit olması sağlanır. Daha sonra anahtarlar 2 numaralı konuma getirilerek gerilimi yüksek olan kondansatörden B1 bataryasına enerjinin bir miktarının transfer edilmesi sağlanır. Kondansatörden B1 bataryasına enerjinin transferi işlemi tamamlandıktan sonra bu işlem döngüsü iki özdeş bataryanın enerjileri (eğer bataryalar özdeş değilse sadece gerilimleri) eşit olana kadar devam eder.

Zaman ayarlamalı kondansatör tekniğinin diğer tekniklere göre daha kolay olmasına ve daha iyi bir dengeleme sağlamasına rağmen çok yavaş sonuç vermesinden dolayı pek kullanılmamaktadır. Bu yüzden bir başka teknik olan gerilim yükselteçleriyle de dengeleme işlemi yapılabilir. Şekil 2.3'de PowerPump™ (6). tekniği denen bir gerilim yükselteci devresi kullanılarak yapılan dengeleme işleminin blok şeması gösterilmiştir. Bu yöntemde bir pildeki enerji boost regülatör yapısı kullanılarak bir başka bataryaya aktarılmaktadır.



Şekil 2.4 PowerPump tekniği blok şeması.

2.4.3. Dengeleme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Tablo 2.1 Aktif ve pasif dengeleme tekniklerinin karşılaştırma tablosu.

AKTİF Dengeleme Tekniği	PASİF Dengeleme Tekniği
Fazla enerjiyi diğer bataryalar üzerine gönderir.	Fazla enerjiyi ısı ile boşa harcar.
	Sistemin gereksiz yere ısınmasına sebep olur.
Karmaşıktır. Çok sayıda kontrol elemanına ihtiyaç duyar.	Basittir. Az sayıda elemanla gerçekleştirilebilir.
Kullanılan elemanların fazlalığından dolayı uzun süre standby da bekleyen sistemlerde pasif dengeleme daha verimli olabilir.	
Ortalama cell başına 10\$'lık maliyeti vardır (7).	Ortalama cell başına 1\$'lık maliyeti vardır (7).
Standby da harcadığı enerji yaklaşık 50mW (7).	Standby da harcadığı enerji 0mW a çok yakın (7).
Yüksek akımlar transfer edildiğinden pasif dengelemeye göre kısa sürer.	Düşük akımlar transfer edildiğinden aktif dengelemeye göre uzun sürer.

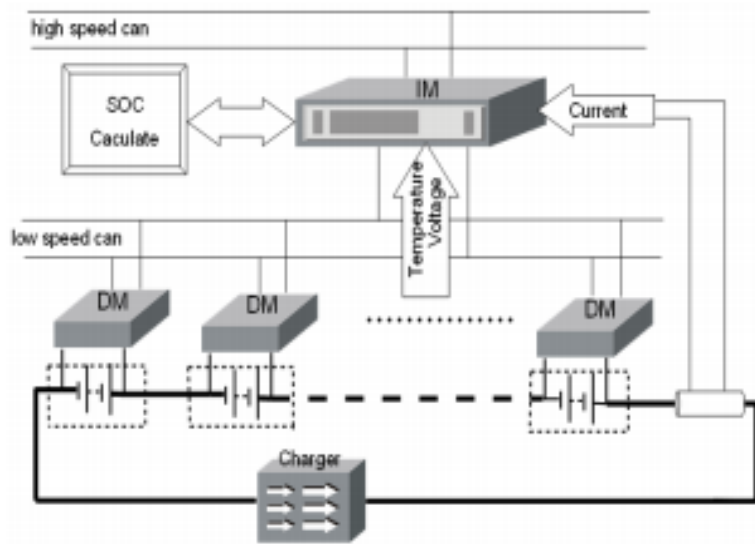
Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti 1000\$ dır (7).	Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti 100\$ dır (7).
--	---

3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde literatür de kabul görmüş ve bizim sistemimize en yakın batarya yönetim sistemlerinin (BYS) algoritmaları incelenmiştir.

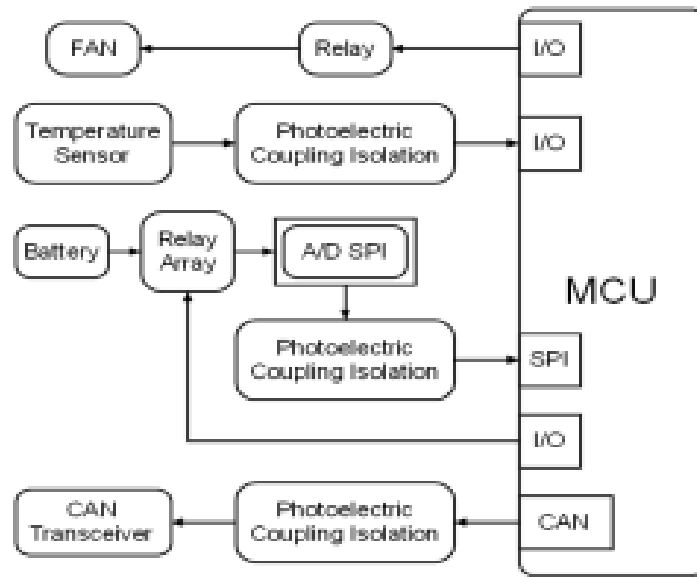
3.1. Sistem Modeli

Sistem iki ana bileşenden oluşmaktadır. Ana modül (kontrol modülü) ve çocuk modüllerinden oluşmaktadır (1). Komple sistemin blok şeması şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 BYS blok şeması.

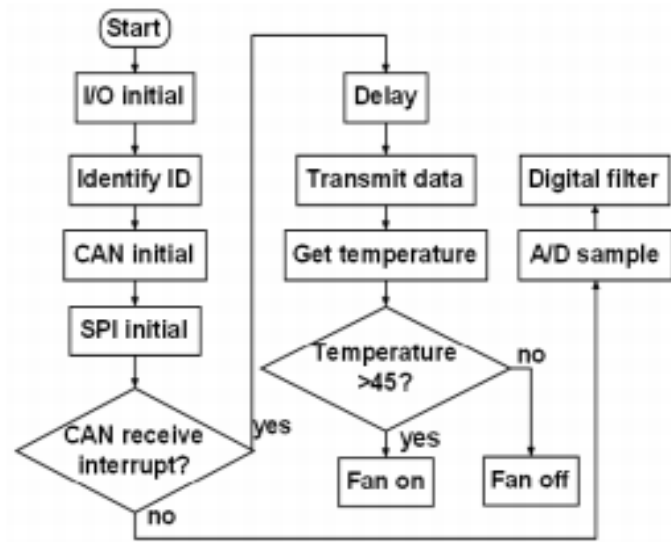
Sistemin çalışması şu şekildedir. Ana modül ile çocuk modülleri kendi aralarında düşük hızlı can haberleşmesini kullanırlar. Ana modül aynı zamanda aracın diğer birimleri ile yüksek hızlı can haberleşme protokolü ile konuşur. Ana modül ile çocuk modülleri arasındaki konuşma soru cevap şeklinde gerçekleşir (1). Batarya akımının hesaplanması ve SOC kestiriminin yapılması ana modül tarafından gerçekleştirilir (1). Ana modül bu hesaplamaları ve SOC kestirimlerini yüksek hızlı can protokolü ile araçtaki merkezi kontrol birimine (CMU) gönderir (5).



Şekil 3.2 Çocuk modül blok şeması.

Sistemdeki her bir çocuk modülü 8 tane bataryanın gerilimini ölçer, 8'li batarya paketinin sıcaklığını ölçer ve soğutma amaçlı fan kontrolü gerçekleştirir (1). Her bir bataryaya bağlı toplam da 8 adet röle bulunmaktadır. Sırasıyla röleleri tek tek aç/kapat yaparak analog digital çeviricinin (ADC) örnekleme almasını sağlar ve ADC entegresi SPI haberleşme hattı üzerinden MCU'ya veri transferini yapar. Ayrıca sıcaklık sensöründen sıcaklık bilgisini toplar. Şayet sıcaklık değeri 45 °C'nin üzerine çıkmış ise fan'ı devreye alır. Fan'ı röle ile MCU'nun IO birimi üzerinden kontrol eder. Her bir çocuk modülünün kendine ait bir ID'si mevcuttur. Ana modül sorgulama yaptığında çocuk modülü gerekli bilgileri gönderir. Can haberleşme yapısı bölüm 4'te daha detaylı anlatılmıştır.

Çocuk modülünün akış diagramı şekil 3.3' te verilmiştir.

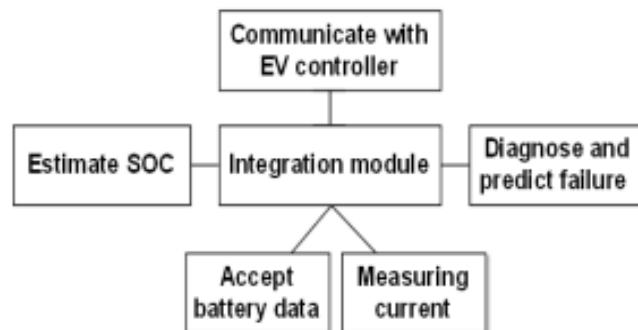


Şekil 3.3 Çocuk modül akış şeması.

Ana modül temel olarak şu görevleri üstlenir:

- Ağa yayın yapar ve çocuk modüllerden gelen verileri kabul eder.
- SOC kestirimini yapar.
- Batarya arızasını tesbit eder.
- Merkezi kontrol birimine bataryanın durumu hakkında bilgi verir.

Ana modül fonksiyon ağacı şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Ana modül fonksiyon ağacı.

3.2. Batarya Parametreleri

Bu bölümde Batarya parametrelerinin anlamı ve kestirimi ele alınacaktır.

3.2.1. Şarj Durumu (SOC)

Şarj durumu (SOC), pilin nominal kapasitesi açısından pilin şarj miktarının bir ölçüsüdür (8). Genellikle pilin kapasitesinin % yüzdesi olarak ifade edilir. Kullanıcıya pilin şarj durumu hakkında bilgi verir. Bataryaların şarj işlemi sırasındaki şarj oranını ifade eder (8).

$$SOC = \left(\frac{EfektifKapasite}{NominalKapasite} \right) \times 100$$

3.2.2 Deşarj Derinliği (DOD)

DOD (Depth of Discharge), bataryaların deşarj işlemi sırasındaki kalan enerji oranını ifade eder.

SOC ve DOD oranlarını hesaplamak için bazı yöntemler mevcuttur. Akım sayma yöntemi, açık devre gerilim yöntemi ve kalman filtresi kullanılan fuzzy lojik yöntemi bu yöntemlerden bazılarıdır (9). Açık devre gerilim yöntemi bataryanın ya devreden çıkarılması ya da bataryadan sürekli sabit akım geçirilmesi prensibine dayanmaktadır. Fuzzy Logic yöntemi bataryaya ait yüksek miktarda geçmiş verilerinin analiz edilmesine dayanmaktadır. Ayrıca yüksek bir işlem yoğunluğu vardır. Akım sayma yöntemi temelde Ah bilgisinin hesaplanmasına dayanır.

3.2.2. Sağlık Durumu (SOH)

SOH (State of Health) bilgisi pilin ömrünü belirtir. Pillerin ömürleri azaldıkça kapasiteleri de azalmaktadır (8).

$$SOH = \left(\frac{AkımKapasitesi}{YeniNominalKapasite} \right) \times 100$$

SOH oranı % 80'in altına düştüğünde artık bataryanın kullanım ömrü çok uzun değildir. Ve pil devreden çıkarılmalıdır (8).

4. HABERLEŞME PROTOKOLLERİ

4.1. CAN Haberleşme Protokolü

CAN (Control Area Network) protokolü, 1980'lerin ortalarında Alman otomotiv sistemleri üreticisi olan Robert Bosch tarafından, otomotiv uygulamalarında güçlü bir seri data iletiminin oluşturulması amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Protokolün çıkış amacı, otomobillerin daha emniyetli, güvenli hale getirilmesi ve yakıt tasarrufunun sağlanabilmesiydi. CAN protokolü, 1993 yılında ISO tarafından uluslar arası bir standart olarak kabul edilmiştir. 1995 yılında SAE (Society of Automotive Engineers) dizel motor uygulamalarında CAN protokolünü standart olarak kabul etmiştir. CAN protokolü ortaya çıkışından bu zamana kadar endüstriyel otomasyon sistemlerinde ve otomobil/kamyon uygulamalarında çok geniş bir popülarite kazanmıştır. Diğer bir çok network çözümleri için güçlü avantajlar getirmiş ve tıbbi ekipmanlar, test cihazları ve mobil makinelerin yapımı gibi alanlarda büyük kolaylık sağlamıştır.

CAN protokolü, asıl olarak otomotiv sistemleri için araçlar içerisindeki elektronik elemanların, seri bir bus üzerinden tek bir merkezi yönetici elemana data göndermesi prensibine göre çalışan bir sistemdir. Mercedes, Bmw, General Motor vs. gibi büyük araba üretici firmaları araçlar içerisindeki elektronik sistemlerin haberleşmesinde CAN protokolünü kullanmaktadırlar. Örneğin, ABS (Antilock Braking System) fren sistemi, araçların yolda kaymasını engelleyen sistemler gibi kritik zamanlı sistemlerin tek bir merkezden yönetilebilmesini sağlar. Ayrıca lambalar, kapılar, camlar, sıcaklık bilgisi gibi kritik olmayan bilgilerin de aynı merkezden kontrolüne olanak tanır. Bir çok sistemin tek bir merkezi yönetici tarafından idare edilmesi doğal olarak sistem içerisinde bir çok kablolu kullanıma sebep olmaktadır. CAN protokolü, kullandığı bus yapısı sayesinde kalabalık kablolu yapıyı ortadan kaldırır. Çift sarmal bir kablo yardımıyla bile birçok elemanın birbirleri ile haberleşmesine olanak sağlar.

CAN protokolü, yüksek hızda bir seri ara yüze sahip olması, ucuz iletim hattını kullanması, kısa data uzunluğuna sahip olması, hızlı etkileşim zamanlarına sahip olması, çoklu master ve peer to peer haberleşme olanağı tanınması gibi üstün özellikleri sebebiyle kullanıcılara büyük avantajlar getirmektedir .

4.1.1. CAN Protokolünün Temelleri

CAN protokolü, OSI (Open System Interconnection) haberleşme modelini kısmen kullanmaktadır. Fakat bu modelin en alttaki iki katmanı sabit olarak aynen CAN tarafından kullanılmakta olup, diğer katmanlar üst seviyeli protokoller yardımı ile kullanılmaktadır (10).

Haberleşme topolojisi olarak Hat, Yıldız, Halka topolojilerinden herhangi birini kullanmasına rağmen, Hat topolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Mesajlaşma işlemlerinde CSMA/CD+CR (Carrier Sense Multiple Access With Collisiion Detection And Collision Resolution) yapısını kullanan CAN protokolü, mesaj çatışmalarında “Arbitration” yöntemini kullanmaktadır. CAN mesajları, sistem içerisinde bağlı olan tüm modüllere gönderilmesi sebebiyle mesaj tabanlı bir protokoldür. CAN protokolü, maksimum 1 Mbit/saniye haberleşme hızına sahiptir. Tabii ki bu hız farklı iletim mesafelerine göre değişmektedir (11) (12).

Tablo 4.1 CAN mesafe hız tablosu.

Bus Uzunluğu (metre)	Maksimum Bit oranı (bit/s)
40	1 Mbit/s
100	500 kbit/s
200	250 kbit/s
500	125 kbit/s
6000	10 kbit/s

4.1.2. CAN Haberleşme Katmanları

Çoğu network uygulamaları, sistem oluşumları için kalıpsal yaklaşımlar izlemektedirler. Bu şematik yaklaşım, farklı üreticilerin farklı ürünleri arasında birbirleriyle çalışabilme özelliğini sağlamaktadır. Bahsedilen bu kalıpsal yaklaşım ISO (International Standards Organization) tarafından bir standart haline getirilmiştir.

CAN haberleşmesi 3 katmandan oluşmaktadır. İlk iki katman OSI referans modelinin aynısıdır. Üçüncü katman ise uygulama katmanıdır. Ancak ilk iki katman kendi içerisinde 3 alt katmana ayrılmıştır.

- a) Fiziksel Katman
- b) Transfer Katmanı
- c) Nesne Katmanı

Fiziksel katman, iletim ortamının elektriksel yapısını, kablolama, sinyal zamanlaması ve CAN modülleri arasında CAN mesajlarının ortamdaki iletilmesi işlemlerini yerine getirmektedir.

Transfer katmanı, hata tespiti, arıza hapsi, arbitration, mesaj çerçeveleme, transfer hızı ve zamanlaması, mesaj onaylama ve kabulü gibi işlemleri yerine getirmektedir.

Nesne katmanı, transfer ve uygulama katmanları arasında haberleşme işleminin sağlanması için tasarlanmıştır. Gerekli olan tüm mesajlar için filtreleme işlemini yapmasıyla beraber, bağlı olan tüm donanımlara uygulama katmanları için bir ara yüz oluşturur.

Son katman olan uygulama katmanı ise uygun haberleşme nesnesi, tesis, konfigürasyon ve CAN tabanlı ağların denetimini kullanarak, CAN

tabanlı elemanların modellenmesi için servis sağlamaktadır. Aynı zamanda katman parametrelerinin tanımlanmasını ve ayarlanmasını sağlamaktadır.

4.1.3. CAN Topolojisi

CAN topolojisi, network üzerindeki CAN modüllerini birbirine bağlayan kablounun yapısıdır. CAN protokolünde kullanılan topolojiler Hat, Halka veya Yıldız topolojilerinden biri olabilir.

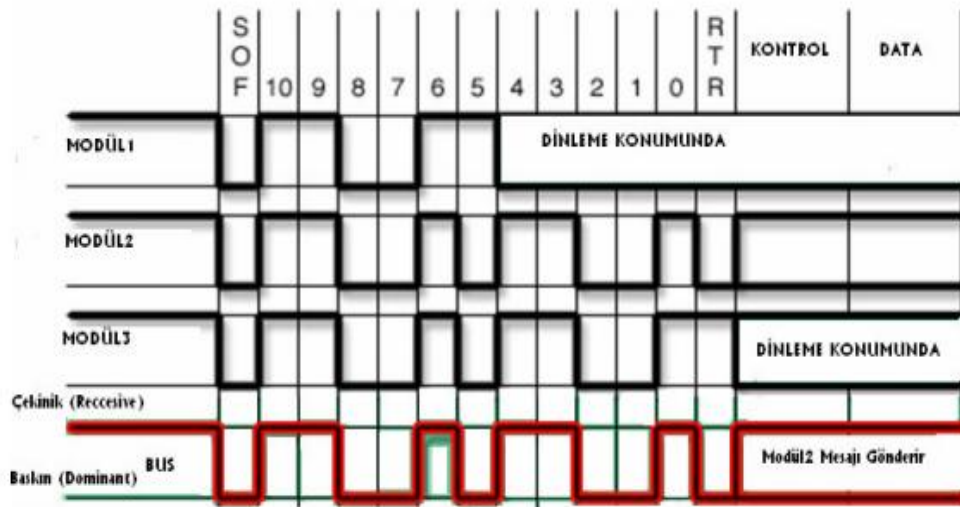
CAN protokolünde kullanılan en yaygın topoloji Hat topolojisidir [12]. Bu topolojide, her modül ağ içerisindeki mesajlaşmayı sağlayabilmek için tek bir seri kablo ile birbirlerine bağlıdır. İstasyonlar arasında CSMA/CD+CR erişim kuralları kullanılır. Bu kurallar, iki modül aynı anda mesaj gönderdiğinde ortaya çıkan çarpışmaları engellemek için kullanılır (13).

4.1.4. Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection And Collision Resolution (CSMA/CD+CR) ve Arbitration İşlemi

CAN protokolü, CSMA/CD+CR yapısında bir protokoldür. CSMA, ağda bulunan tüm modüllerin, bus üzerinden bir mesajı göndermeye çalışmadan önce bir periyotluk boş işlem zamanının izlenmesi anlamına gelmektedir. Boş işlem periyodu olduğu anda, bus üzerinde bulunan tüm modüller, eşit haklara sahip hale gelirler. CD ise, ağda iki modülün aynı zamanda mesaj göndermeye başlaması neticesinde oluşan çatışmanın algılanmasıdır. CR ise, bu çatışmanın çözülmesi anlamına gelmektedir. Çatışmanın çözülmesinde kullanılan yöntem ise “arbitration” yöntemidir (14) (15).

Arbitration işlemi sayesinde yüksek önceliğe sahip olan mesaj gecikmeksizin ve bozulmaksızın gönderilmektedir. Bit seviyesinde arbitration işleminin gerçekleşebilmesi için iki önemli noktanın oluşması gerekmektedir. Birincisi, sistemdeki lojik durumların baskın (dominant) ve çekinik (recessive) olarak tanımlanması gerekir (16). İkincisi ise, bus üzerinde aktuel olarak

görünen gönderme girişimlerinin lojik durumlarının nasıl olduğunun mesaj gönderen modül tarafından gözetlenebilmesidir. CAN protokolü, lojik 0 seviyesini baskın, lojik 1 seviyesini ise çekinik olarak tanımlamaktadır. Baskın bit durumu, her zaman çekinik bit durumunun üzerinde arbitration işlemini kazanacaktır. CAN mesaj çerçevesi (Frame) içerisinde bulunan Message Identifier'deki (arbitration işleminde kullanılan alan) en düşük değerden dolayı, gönderilecek olan mesaj en yüksek öncelikteki mesaj olacaktır. Örnek olarak, aynı zamanda iki modül mesaj göndermeye çalıştıklarında, öncelikle bus üzerindeki aktüel lojik durumu anlayabilmeleri için bus'ı izleyeceklerdir. Bu noktada, bu biti gönderen modül arbitration işlemini kaybedecek ve aniden mesaj gönderme işlemini durduracaktır. Yüksek önceliğe sahip mesaj, gönderme işlemi bitene kadar bus üzerinde istenen yerlere gidecektir (17). Arbitration işlemini kaybeden modül bir sonraki boş işlem periyodunu bekleyecek ve daha sonra mesajını tekrar gönderecektir. Bu durum şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Örnek arbitration işlemi.

4.1.5. Mesaj Tabanlı Haberleşme

CAN protokolü, mesaj tabanlı bir protokoldür. Mesaj gönderme işlemi modüllerin adreslerine göre yapılmamaktadır (18). Mesajın içerisinde içerik ve öncelik bilgisi vardır. Gideceği modülün adresi yoktur. Sistem içerisinde bulunan her modül, bus üzerinden gönderilen her mesajı alır. Bu noktadan sonra, modüller gelen mesaja bakarak kendilerine ait ise kabul ederler, değil ise reddederler (19).

Mesaj tabanlı haberleşmede, sistem içerisine yeni bir modül bağlandığında diğer modüllerin takılan bu modülü tanımları için yeniden programlanmalarına gerek yoktur. Yeni modül, sisteme takılır takılmaz diğer modüllerden gelecek olan mesajları almaya başlar ve kendi üzerindeki programa ve gelen mesajın tanımlama bilgisine göre mesajı kabul eder veya reddeder (19).

4.1.6. CAN Mesaj Çerçeveleri

CAN protokolü içerisinde 4 farklı mesaj tipi bulunur (15). Bunlar;

- a) Data Frame
- b) Remote Frame
- c) Error Frame
- d) Overload Frame

Bu mesaj çerçevelerinden, data frame içerisinde data, diğerlerinde ise kontrol amaçlı mesajlar bulunur.

a) Data Frame

CAN tarafından tanımlanmış olan mesaj hakkında ekli bilgi sağlayan alanları içerir. İki tip data frame bulunur. Bunlar;

- a) Standart Data Frame
- b) Extended Data Frame

Her iki frame içerisinde ortak olarak farklı amaçlar için kullanılan 7 adet alan bulunmaktadır. Bunlar;

- a) Başlangıç Biti (Start of Frame)
- b) Arbitration Alanı (Arbitration Field)
- c) Kontrol Alanı (Control Field)
- d) Data Alanı (Data Field)
- e) CRC Alanı (Cyclic Redundancy Check Field)
- f) ACK Alanı (Acknowledge Field)
- g) Frame Sonu (End of Frame)

Standart data frame içerisinde 12 bitlik arbitration alanı bulunur. Bu 12 bitten 11'i mesajı tanımlamak için, 1 bit ise RTR bitidir. Bu bit data frame'in uzaktaki bir modülden istekte bulunabilmesi için kullanılır. Şekil 4.2'de standart bir data frame gösterilmektedir (20).

Tablo 4.2 Standart veri çerçevesi.

0	11-bit Identifier	0	0	0	LC	data	CRC	ACKN	OF
SOF		RTR	IDE	RES					

Extended data frame içerisinde 32 bitlik arbitration alanı bulunur. 32 bitin 29'u mesajı tanımlamak için kullanılır. 1 bit IDE bitidir. Bu bit data frame'in extended formatta olduğunu göstermek için kullanılır (20). Şekil 4.3'de extended data frame'i gösterilmektedir.

Tablo 4.3 Extended data frame.

0	11-bit Identifier	1	1	18-bit Identifier	0	0	0	DLC	DATA	CRC	ACKN	EOF
SOF		SRR	IDE		RTR	RES	RES					

b) Remote Frame

Data frame içerisinde bulunan RTR biti, bir modülün başka bir modülden bilgi istemesi durumunda kullanılmaktadır. Remote frame içerisinde data alanı bulunmamaktadır. Bir remote frame'in yapısı, standart frame için Şekil 4.4'te ve extended frame için Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Bir modül, remote frame gönderirken istekte bulunduğu data frame'in tanımlayıcı bilgisini koymalı ve RTR bitini lojik 1 yaparak göndermesi gerekmektedir (14). Hem data hem de remote framerinin arbitration alanında bulunan RTR biti, remote frame ile data frame arasındaki farkı oluşturmaktadır. Eğer RTR biti lojik 1 ise bu frame, remote frame, lojik 0 ise data frame olduğu anlaşılır.

Tablo 4.4 Standart remote frame.

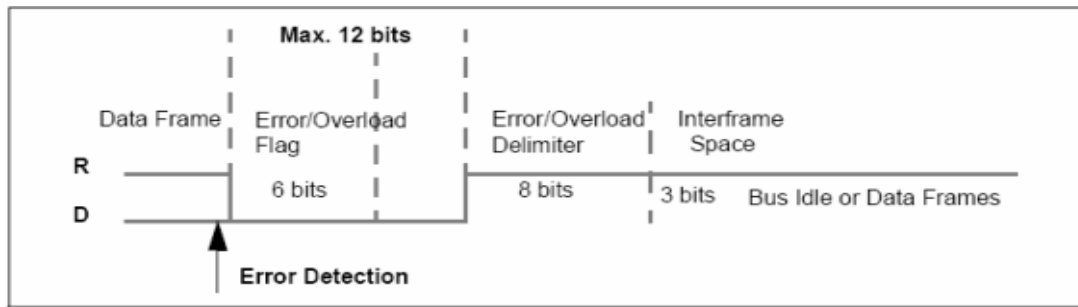
0	11-bit Identifier	1	0	0	DLC	data	CRC	ACKN	EOF
SOF		RTR	IDE	RES					

Tablo 4.5 Extended remote frame.

0	11-bit Identifier	1	1	18-bit Identifier	1	0	0	DLC	DATA	CRC	ACKN	EOF
SOF		SRR	IDE		RTR	RES	RES					

c) Error Frame

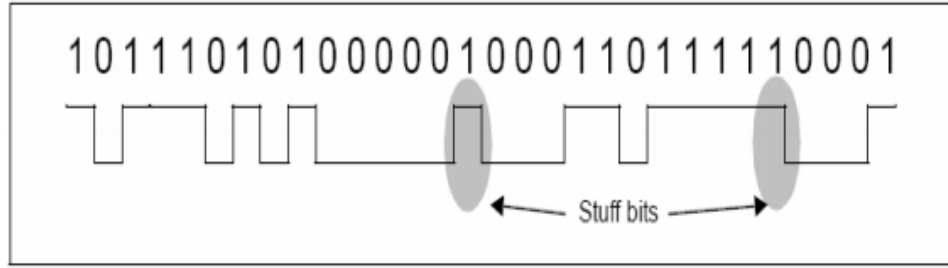
Bu frame, bir mesaj gönderildikten sonra veya gönderim süresince bir hata oluştuğu zaman gönderilen kontrol amaçlı bir framedir. Şekil 4.6'da error frame yapısı gösterilmektedir. Bir hata frame içerisinde 6 veya 12 adet aynı lojik seviyeli bit ve 8 adet hata sınırlama biti bulunmaktadır. Her aynı seviyeli 6 bitlik grup hata bayrağı olarak adlandırılmaktadır. Gönderici yada alıcı modül hata bayrağı gönderdiği zaman diğer modüller bit stuffing kuralının ihlal edildiğini anlar ve hepsi tekrar hata bayrağı gönderirler.



Şekil 4.2 Error/Overload frame.

d) Bit Stuffing Metodu

Bit stuffing metodu, CAN data yada remote frame içerisinde ardı ardına aynı lojik seviyeli 5 bit gönderildiği zaman 6. Bitine ters lojik seviyeli bitin eklenmesidir (21). Bu ters lojik seviyeli bitin eklenmesinin sebebi, örnekleme işlemi için çok fazla sayıda kenar kullanarak frame senkronizasyonunun sağlanmasıdır. Eklenen bu bit, alıcı tarafından ardı ardına aynı seviyeli 5 bitin gözlenmesinden sonra 6. Bitin silinmesiyle kaldırılır. Şekil 4.3' de bit stuffing işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Bit stuffing.

e) Overload Frame

Overload frame, alıcı durumdaki modülün bir sonraki gelecek olan mesaj için dahili çalışma zamanının yeterli olmaması ve Inter-Frame alanı içerisinde dominant (lojik 0) bir bitin bulunması durumunda gönderilir. Şekil 4.2' de overload frame yapısı gösterilmektedir.

f) CAN Hata Yapıları ve Modları

CAN protokolü kullanarak gerçekleştirilen haberleşme ortamlarında genelde karşılaşılabilecek 5 çeşit hata yapısı vardır. Aynı zamanda bu hatalara karşılık tespit edilen hata durumlarının sayısı ve tipine bağlı olarak modüller üzerinde oluşan 3 farklı hata modu mevcuttur. Tespit edilen hata yapıları;

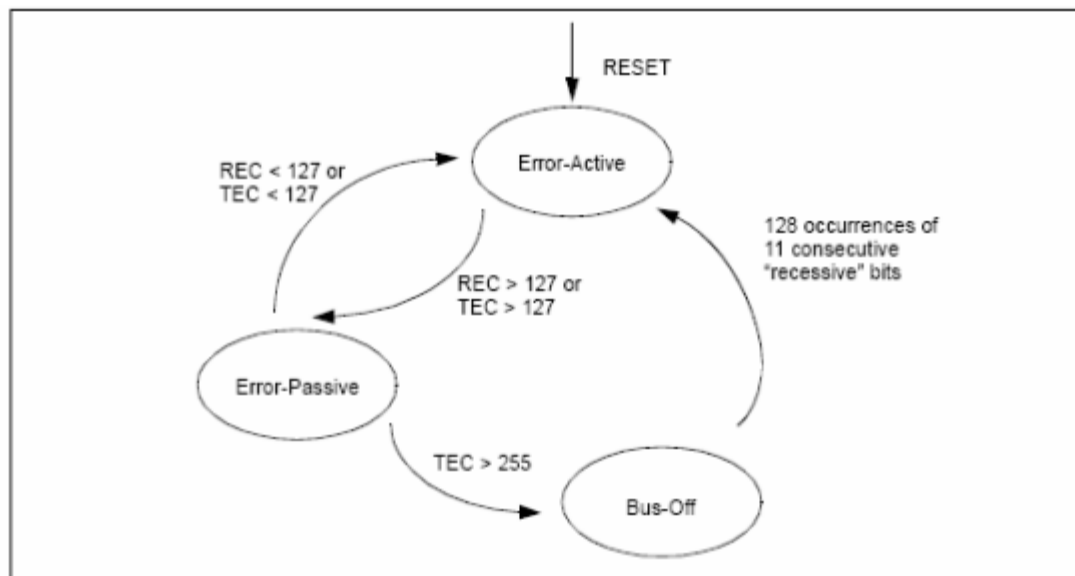
- a) CRC Error
- b) Acknowledge Error
- c) Form Error
- d) Bit Error
- e) Stuff Error

Data frame içerisinde bulunan CRC alanı içerisinde gönderilen mesajın toplam bit sayısı bulunmaktadır. Eğer herhangi bir modül gelen mesajın toplam bit sayısı ile CRC alanındaki sayı arasında farklılık görürse CRC hatası oluşur. Data frame içerisinde bulunan ACK slot biti mesaj gönderilirken

1 yapılır. Eğer herhangi bir modül bu biti 0 olarak görürse acknowledge hatası oluşur. Eğer herhangi bir modül CAN protokolünün içerisinde kullanılan mesaj framelerinin yapısında bir bozukluk tespit ederse form hatası oluşur (13). Eğer gönderici modül lojik 1 biti gönderirken bus üzerinde o biti lojik 0 olarak görürse yada tersi durum da bit hatası oluşur. eğer mesaj frame içerisinde aynı seviyeli 6 bit tespit edilirse stuff hatası oluşur. Oluşan hata durumlarının sayısı ve tipine göre modüllerin üzerinde oluşan hata modları şunlardır;

- a) Error- Active
- b) Error- Passive
- c) Error- Off

Hata modlarının tespiti için oluşan hataları sayan 2 tane sayıcı vardır. Bir tanesi gönderici modül için çalışan TEC (Transmit Error Counter) sayacı, diğeri ise alıcı modül üzerinde çalışan REC (Receive Error Counter) sayacıdır. TEC, mesaj gönderilirken oluşan hataları sayar, REC ise mesaj alınırken oluşan hataları sayar. Şekil 4.4'te şayaçlar ve hata modları gösterilmektedir.



Şekil 4.4 TEC ve REC sayaçları ve hata modları.

Şekilden de anlaşılacağı üzere, sistem resetlendiği andan itibaren aktif hata durumuna geçer. TEC ve REC sayıcılarının gösterdiği değer 127'nin altında ise modül aktif hatalı, üzerine çıkarsa pasif hatalı duruma geçer. TEC sayıcısı 255'in üzerine çıkarsa modül hattan çıkar(bus off) (22).

4.2. LIN Haberleşme Protokolü

LIN (Local Interconnect Network) haberleşme protokolü, Audi AG, BMW AG, Daimler Chrysler AG, Motorola Inc., Volcano Communications Technologies AB, Volkswagen AG, Volvo Car Corporation gibi Avrupalı otomobil üretici firmaların oluşturduğu konsorsiyum tarafından geliştirilmiştir (23).

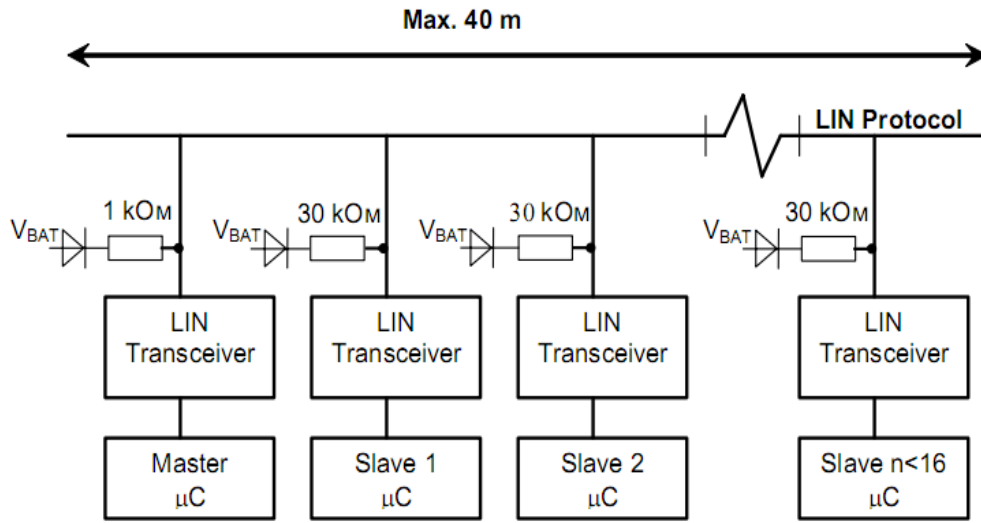
Avrupalı otomobil üreticilerinin oluşturduğu konsorsiyum'un LIN protokolüne yükledikleri başlıca görevler otomobil alt ve düğümlerinin ağ üzerinden yönetilmesidir(kapı kilitleri,cam silecekleri, pencere hareketleri, klima operasyonları vb.). Ayrıca LIN protokolü güvenilir CAN protokolü için ucuz ve tasarruflu bir ek haberleşme protokolü olarak konsorsiyum tarafından teyit edilmiştir (24).

CAN protokol ile LIN protokolü birbirini tamamlar ve otomobil içerisinde kurulu ağ içine tüm elektronik cihazların birleşmesine olanak sağlar (24).

LIN protokolü, cihazların tek kablo üzerinden çift yönlü haberleşmesine olanak sağlar (24). Ucuz ve kullanışlı bir protokoldür. LIN protokolünün özellikleri şu şekilde sıralanabilir ;

- a) Bir tane master cihaz ve 16 taneye kadar slave cihazdan oluşan bir ağ yapısı. Adreslenebilir slave cihazların network'e dahil olmasına izin verir.
- b) Tek bir kablo üzerinden 40 metreye kadar max. 19.2 kbit/s hızlarda çift yönlü haberleşme imkanı sunar.
- c) Gecikme sürelerini garanti eder.
- d) Değişken data çerçeve yapısına sahiptir. (2, 4 ve 8 byte).

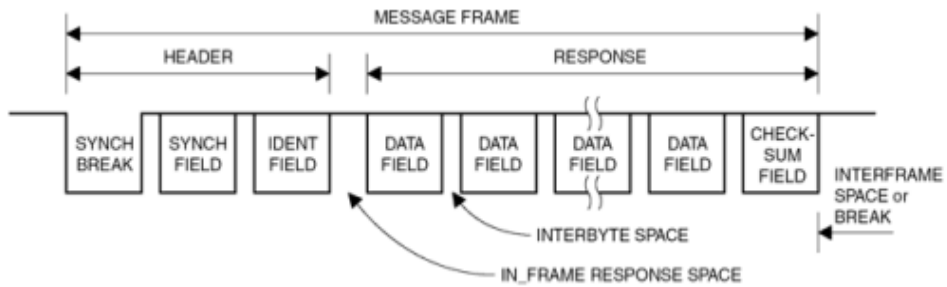
- e) Esnek dizayn yapısı.
- f) Kristal veya seramik rezonatörler olmadan çoklu düğümlerde zaman senkronizasyonunu ayarlar.
- g) Veri güvenliği için checksum ve hata algılama özelliklerine sahiptir.
- h) Ağ içerisindeki aktif olmayan cihazları algılayabilir.
- i) Standart UART/SCI donanımının üzerine uygulanmış silikon teknolojisi sayesinde diğer protokollere göre çok daha ucuzdur.



Şekil 4.5 LIN protokolü veri yolu yapılandırması.

4.2.7. LIN Mesaj Çerçevesi

LIN protokolündeki tüm haberleşmeler Şekil 4.6'da gösterilen formatta yapılmaktadır.



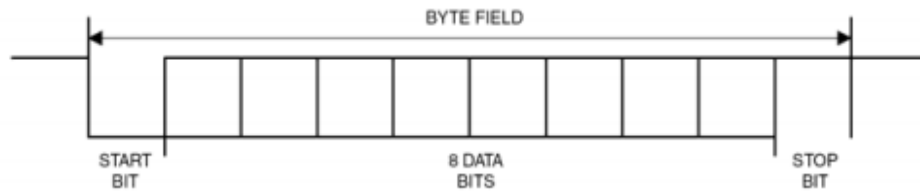
Şekil 4.6 LIN mesaj çerçevesi.

LIN mesaj çerçevesi şunları içerir;

- a) Senkronizasyon Gecikmesi-Beklemesi
- b) Senkronizasyon Alanı
- c) Kimlik Alanı
- d) Veri Alanı
- e) Sağlama Alanı

a) Byte Fields

Byte alanının formatı şekil 4.7’de gösterilmektedir. Data formatı UART seri haberleşmesinin 8N1 formatı ile aynıdır. Bu alan 8 data biti, no parity biti ve bir stop-bit olmak üzere toplam uzunluğu 10 bit’tir. Şekilde de görüldüğü gibi start bit dominant, stop bit ise recessive’dir. Geriye kalan 8 data biti ise dominant veya recessive olabilir (24).



Şekil 4.7 LIN byte field.

b) Synch Break

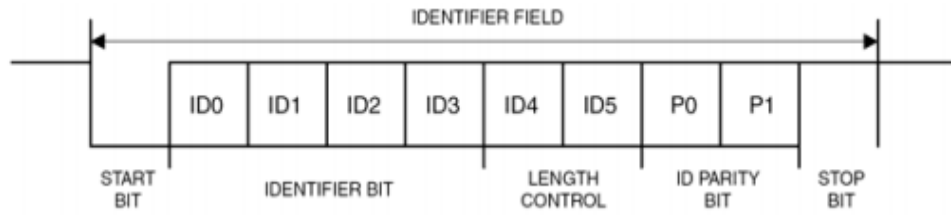
Mesaj çerçevesinin en başında synch break bulunmaktadır. Bu alan her zaman master modül tarafından gönderilir. Bu alan ile LIN ağı içerisindeki slave modüller hattı dinlemeye geçerler ve data almaya hazır bir şekilde beklerler. Synch break, en az 13 bit dominant ve bunu takip eden birkaç tane (1-4 bit-time) recessive olmak üzere iki farklı parçadan oluşmaktadır (24). Bundan sonra dominant seviyede bit gelmesi gerekmektedir. Bu bit senkronizasyon alanının start bitidir.

c) Synch Field

Bu alan master modül ile slave modül arasındaki sinyaller için saat senkronizasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Synch field bir byte'lık "0x55" datasını içerir. Bu data toplamda 5 adet düşen kenar içermektedir. Bu düşen kenarlar master modül ile slave modül arasındaki haberleşme için hız senkronizasyonunun sağlanması için kullanılmaktadır (24).

d) Identifier Field

Bu alan 3 bölümden oluşmaktadır. Start bitinden sonraki ilk 4 bit kimlik için kullanılır. Ardından gelen 2 bit boyut kontrol bitleridir. Daha sonraki 2 bit ise kimlik parity bitleridir. 4 bitlik kimlik ile 16 farklı cihaz ağ içerisinde bulunabilir.



Şekil 4.8 Identifier field.

Tablo 4.6 Data frame içerisindeki datanın boyutu.

ID5	ID4	Data Boyutu
0	0	2
0	1	2
1	0	4
1	1	8

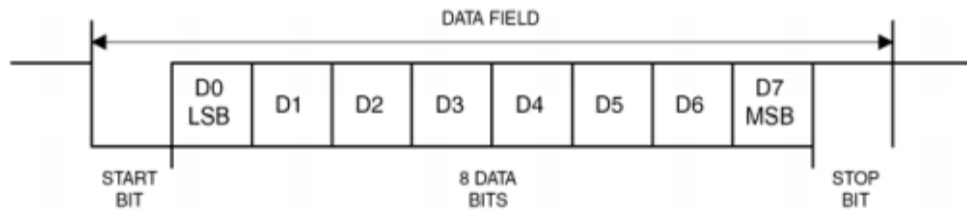
LIN protokolü kimlik alanı doğrulaması için karışık parity algoritması kullanır. Bu algorithmaya göre parity şu şekilde hesaplanır (24);

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4$$

$$\overline{P1} = ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5$$

e) Data Field

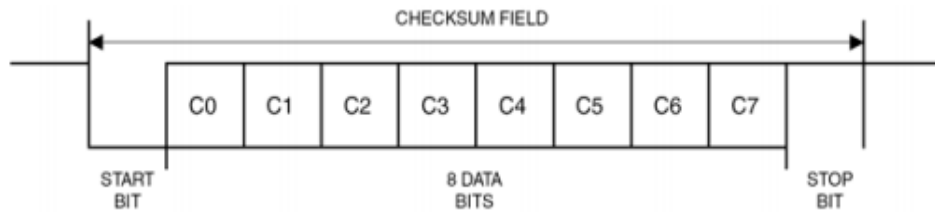
Data frame 2'den 8'e kadar 8 bitlik datalar içerebilir. Haberleşmede en değersiz bit ile data transferi başlar. Bu alanı sadece ilgili slave modül okur.



Şekil 4.9 Data field.

f) Checksum Field

Mesaj çerçevesindeki son alan sağlama alanıdır. Bu byte toplamının 256'ya mod'udur.



Şekil 4.10 Checksum field.

5. ALGORİTMA GELİŞTİRİLEN BYS'NİN TASARIM ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde bu tez kapsamında geliştirilen BYS algoritmasının uygulandığı sistemin tasarım özellikleri anlatılacaktır. Bu tezin kapsamı aşağıda özellikleri anlatılan BYS için yazılım algoritması tasarlamak ve uygulamaktır. Bu yüzden algoritma anlatılmadan önce bu algoritmanın kullanılacağı sistemden bahsedilmiştir.

5.1. Sistemin Genel Özellikleri

Bir batarya paketinde toplam 12 adet pil olacaktır. Her batarya paketleri birbirlerine paralel bağlı bulunmaktadır.

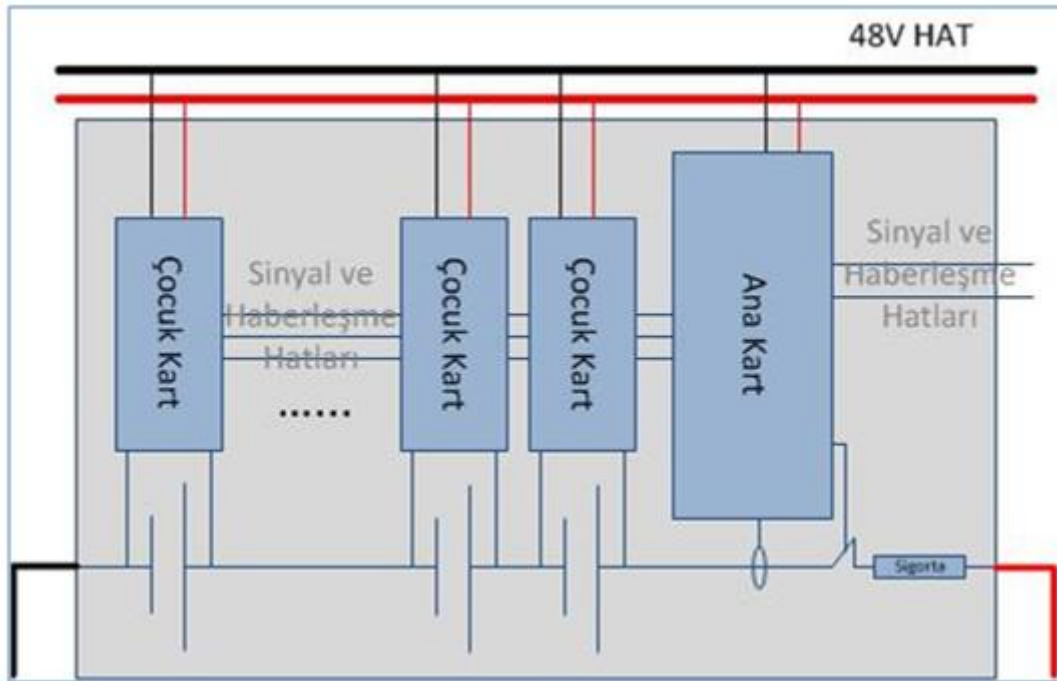
Her batarya paketinde bütün paketi kontrol edecek ve diğer batarya paketleriyle ve sistemle haberleşecek bir ana kart ve her bataryaya bağlı olan ve ilgili pilin gerekli ölçümlerini yapan ve hassas şarj işlemini kontrol eden on iki adet çocuk kartı vardır.

Bataryaların şarj işlemi iki kademeli yapılacaktır. Önce hızlı şarj (bulk charge) için ana hat üzerinden pillere yüksek akım uygulanacak, daha sonra da hassas şarj (fine charge) denilen adımda da pillerin daha hassas şarj edilmesi ve bataryaların dengelenmesi sağlanacaktır. Bu yöntemde piller çocuk kart olarak tanımlanmış olan kartlar tarafından şarj edilecektir. Ayrıca her çocuk kartın pillerin gerilimini ve ısınısını sürekli okuyarak tehlike oluşturabilecek bir koşul oluştuğunda ana kartı ve dolayısıyla da kullanıcıyı uyarması sağlanacaktır.

Şekil 5.1'de bir batarya paketi için sistemin basit blok şeması gösterilmiştir. Şekilde gözüktüğü üzere tüm batarya paketinden geçen akımı ana kart bir akım trafosu üzerinden okuyabilmektedir. Bu sayede bulk charge sırasında ve deşarj sırasında toplam geçen akım miktarını Ah olarak

hesaplanabilmektedir. Ayrıca bir sebepten dolayı batarya paketinin hattan koparılması gerektiğinde normalde kapalı olan röleyi açarak bataryalar hattan koparılır.

Ana kart ve ana karta bağlı olan çocuk kartlar 48V gerilime sahip bir güç hattından beslenirler. Bu hat üzerinde sürekli gerilim vardır. Bu sayede eğer deşarj sırasında pillerden biri bilinmeyen bir sebepten dolayı daha fazla güç kaybeder ve deşarj alt gerilim noktasına diğer pillere göre daha fazla yaklaşırsa ilgili bataryayı kontrol eden çocuk kart devreye girer ve batarya ile birlikte paralel olarak kendisi de hatta akım basarak bataryaya destek olur. Bu sayede batarya paketindeki pillerin enerjilerinin tamamının kullanılması hedeflenir. Bu yöntemle batarya paketleri arasında dahi enerji transferi mümkün hale gelir.



Şekil 5.1 BYS'nin basit blok şeması.

6. TASARLANAN VE GERÇEKLEŞTİRİLEN BYS ALGORİTMASI

BYS sisteminde ana kart ve çocuk kart olmak üzere iki farklı kart bulunmaktadır. Bu kartlar birbirleri ile LIN protokolü ile konuşmaktadır. Ana kart ise araç üzerindeki diğer cihazlarla veya pc ile CAN protokolü üzerinden konuşmaktadır. Bu iki kartın başlıca görevleri bölüm 6.1 ve bölüm 6.2'de anlatılmaktadır.

6.1. Ana Kart

Ana kartın BYS'indeki başlıca görevleri şu şekilde sıralanabilir;

- a) Hızlı şarj (Bulk charge) sırasında bataryaların üzerinden geçen akım miktarını ölçer.
- b) Hızlı şarj sırasında bataryalarda depolanan toplam Ah değerini hesaplar.
- c) Deşarj sırasında bataryalardan çekilen akım miktarını ölçer.
- d) Deşarj sırasında bataryalardan çekilen toplam Ah değerini hesaplar.
- e) SOC değerini hesaplar.
- f) SOH değerini hesaplar.
- g) Tehlike durumunda batarya paketinin bağlantısını ana hattan kopartır.
- h) Batarya paketinin şarj ve deşarj döngülerinin kayıtlarını tutar.
- i) Çocuk kartlarının şarj işlemi yapma durumunu yönetir.
- j) Çocuk kartlarının uyuma/uyanma sürelerini yönetir.
- k) Çocuk kartlarının durumunu merkezi sisteme bildirir.
- l) Çocuk kartlarındaki kayıtların sisteme gönderilmesini sağlar.
- m) Çocuk kartlarından fine charge bilgisini alır ve hesaplamalarında kullanır.

6.2. Çocuk Kartı

Çocuk kartının BYS'indeki başlıca görevleri şu şekilde sıralanabilir;

- a) Batarya gerilimini okur.
- b) Bataryanın sıcaklığını okur.
- c) Fine charge işlemi sırasında bataryanın çektiği akımı okur.
- d) Fine charge işlemi sırasında bataryanın çektiği akımı Ah olarak hesaplar.
- e) Fine charge işlemi yönetir. Gerekğinde akım sınırlamasına gider.
- f) Bataryanın geriliminde, sıcaklığında ya da çektiği akımda kontrol dışı bir durum oluşursa ya da tehlike oluşturabilecek bir durum varsa bunu ana karta bildirir.
- g) Deşarj sırasında çocuk kartın ilgili olduğu bataryanın gerilimi DVL(Discharge Voltage Limit) noktasına diğer bataryalara oranla daha çok yaklaşırsa bataryanın enerjisini koruyabilmek için batarya ile birlikte hatta akım basar ve mümkün olan zamanlarda bataryayı şarj eder. Bu şekilde bataryanın enerji seviyesinin diğer pillere yetişmesini sağlar.
- h) Ölçülen gerilimi, sıcaklığı, akımı ve hesaplanan değerleri zaman tabanlı olarak kaydeder. İstendiğinde bu logları ana kart'a verir.

6.3. Şarj Algoritması

Şarj işlemi, Bulk Charge ve Fine Charge olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Önce batarya paketi Bulk Charge işlemine tabi tutulur. Bulk Charge işlemi tamamlandıktan sonra ise Fine Charge işlemi başlatılır.

Bulk Charge ve Fine Charge işlemlerinin başlamasına ve sonlanmasına ana kart karar verir. Bulk Charge işlemi ile batarya paketi şarj edilir. Fine Charge işlemi ile her bir batarya ayrı ayrı şarj edilir. Fine Charge işleminde, literatürde kabul görmüş CCCV yöntemi kullanılır.

CCCV yöntemi, şarj işlemi hem maksimum bir akıma hem de maksimum bir gerilime sabitlenmiştir. İlk önce batarya maksimum akımda

şarj edilmeye başlar, eğer batarya daha yüksek bir akım çekmeye çalışırsa şarj gerilimi düşürülerek çekilen akım maksimum değere sabitlenir. Batarya şarj oldukça üzerindeki gerilim artar ve bir süre sonra batarya tarafından çekilen akım belirlenen maksimum akımdan daha düşük değerlere iner. Bu durumda da şarj gerilimi belirlenen maksimum gerilim de tutularak bataryaya yüksek gerilim uygulanması engellenir. Bataryanın çektiği akım belirlenen bir değer altına düştüğünde şarj işlemi sonlandırılır. Bu işlem piller tamamen şarj oluncaya kadar devam eder.

Bulk Charge işlemi boyunca batarya paketinde depolanan enerji miktarı ana kart tarafından hesaplanır. Fine Charge işlemi boyunca depolanan enerji miktarı her bir çocuk modül tarafından ayrı ayrı hesaplanır. Bu hesaplanan değerler her bir çocuk tarafından ana karta gönderilir. Ana kart bu bilgileri deşarj işlemi sırasında kalan enerjinin hesaplanması ve pilin sağlık durumunun (SOH) hesaplanması için kullanır.

6.4. Deşarj Algoritması

Çocuk kartları enerji tasarrufu için çalışma sürelerinin büyük bir bölümünü uykuda geçirirler. Bataryanın gerilimini ve sıcaklığını kontrol etme amaçlı ana kart tarafından kurulan bir periyotta uyanıp ölçümlerini yapıp tekrar uyurlar. Ayrıca ana kart çocuk kartlardan ölçüm raporlarını isteyeceği zaman hat üzerinden gönderdiği bir sinyalle çocuk kartları uyandırarak gerekli bilgileri çocuk kartlardan alır. Daha sonra çocuk kartlar tekrar kurulan periyotta uyuyup uyanmaya devam ederler.

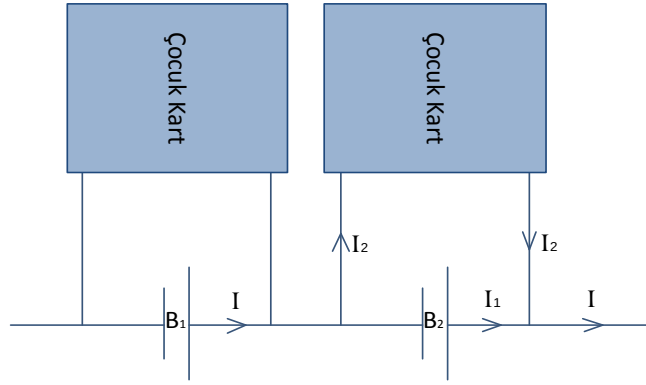
Deşarj esnasında sistemin operasyon yükünün çok büyük bir bölümünü enerji tasarrufu için çocuk kartları uyutulduğundan ana kart üstlenir. Ana kart çocuk kartlarının sorunsuz olarak çalıştığını denetlemek için belli aralıklarla çocuk kartlarla haberleşir ve her şeyin yolunda olup olmadığını kontrol eder. Ana kart deşarj sırasında çekilen akımı hesaplayarak bu bilgiyi SOC (State of Charge – Kalan Enerji Durum Bilgisi) hesabını yapmak için kullanır.

Deşarj işlemi sırasında çocuk kartlarının görevleri arasında; çocuk kartlar ölçümleri sırasında alarm durumlarından birine girerlerse ana kartı uyararak gerekirse batarya paketinin kapatılmasını sağlarlar. Ayrıca eğer bataryalardan biri diğerlerine göre daha fazla enerji kaybetmişse ilgili bataryayı denetleyen çocuk kart bataryayı destekleyerek enerjisinin diğer bataryalarla aynı seviyeye gelmesini sağlar. Çocuk kartlarının bu yeteneğine Enerji Koruma Modu (EKM) denmektedir.

EKM özelliği sayesinde paketteki bataryalar daha verimli bir şekilde kullanılır. Şekil 6.4.1'de basit EKM blok diyagramı verilmiştir.

Şekil 6.4.1'de B₂ bataryasının enerjisinin diğerlerine göre azaldığı düşünülürse, batarya paketinden geçen akım I amper, çocuk kartın sağladığı ek akım I_2 amper, B₂ bataryasından geçen akım ise I_1 amperdir. Akımlar için $I = I_1 + I_2$ bağıntısı vardır. t süresi sonunda batarya paketindeki EKM uygulanmayan bataryalardan çekilen şarj miktarı $t \cdot I$ kadar iken EKM uygulanan B₂ bataryasından çekilen şarj miktarı $t \cdot I_1$ kadardır. $I_1 < I$ olduğundan EKM'nin uygulandığı süre zarfında B₂ bataryasının gerilim seviyesinin DVL noktasına gelmediği farz edilirse bir t_x süresi sonunda B₂ bataryasının enerjisi diğer bataryaların enerjisi ile aynı olur. Bir başka deyişle bataryalar tekrar dengelenmiş olur.

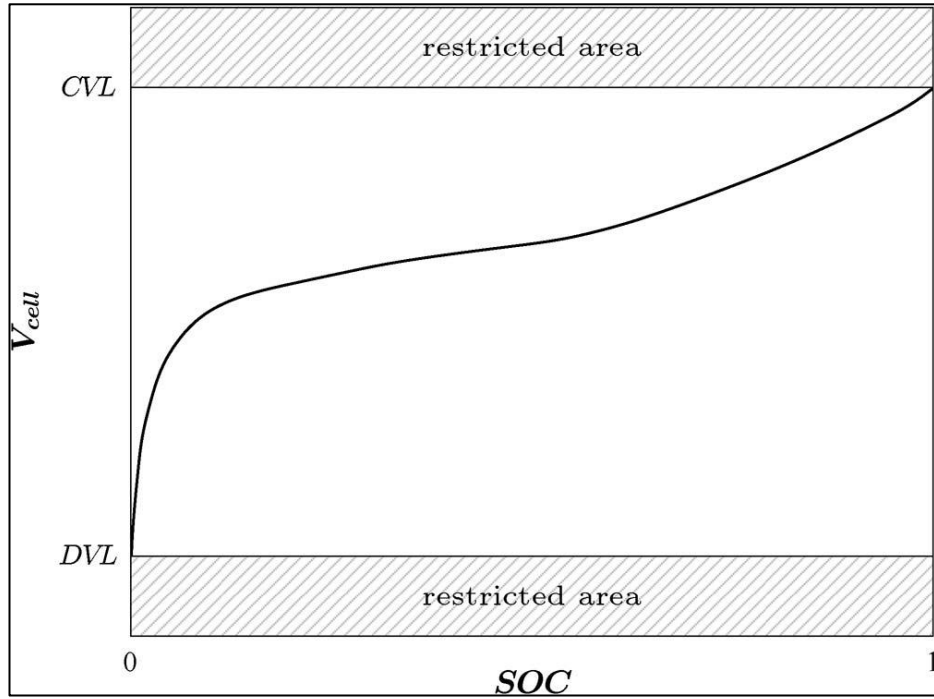
EKM'de kullanılan enerji 48V hattından çekilir. 48V hattındaki enerji deşarj süresi zarfında batarya paketleri tarafından sağlanır. Bir başka deyişle EKM'de bataryaya aktarılan enerji diğer bataryalardan alınır. Bu sebepten EKM sadece bir bataryaya uygulanacağı gibi bütün bir batarya paketine de uygulanabilir. Bu durumda EKM ile enerji bir batarya paketinden başka bir batarya paketine aktarılabilir.



Şekil 6.1 Batarya EKM blok şeması.

6.5. Pil Dengeleme Yöntemi

Bu sistemde pil dengeleme işlemi hassas şarj esnasında yapılacaktır. Normal koşullarda özdeş enerjiye sahip bataryaların, bulk charge işlemi sonrasında da özdeş enerjiye sahip olmaya devam etmesi beklenir. Dengeleme işlemi özellikle özdeş enerjiye sahip olmayan bataryalar kullanılarak bir batarya paketi oluşturulduğunda gerekli olmaktadır. Bu durumda sistem şu şekilde davranacaktır. Önce bulk charge işlemi ile pillerin gerilimlerinin artışı izlenecek ve bataryalardan en az biri belirlenen üst gerilim seviyesine ulaştığında bulk charge işlemi sonlandırılarak fine charge işlemine geçilecektir. Fine charge işlemi ile bataryalara farklı miktarda enerji depolanarak her bir bataryanın eş enerji seviyesine getirilmesi sağlanacaktır. Fakat ilk şarj işlemi sırasında bataryalar üzerindeki enerji miktarı bilinmediğinden bataryaların tamamen dolup dolmadığı gerilimlerine bakılarak anlaşılabacaktır. Şekil 6.2’de bir Li-Ion pilin şarj-deşarj grafiği verilmiştir.

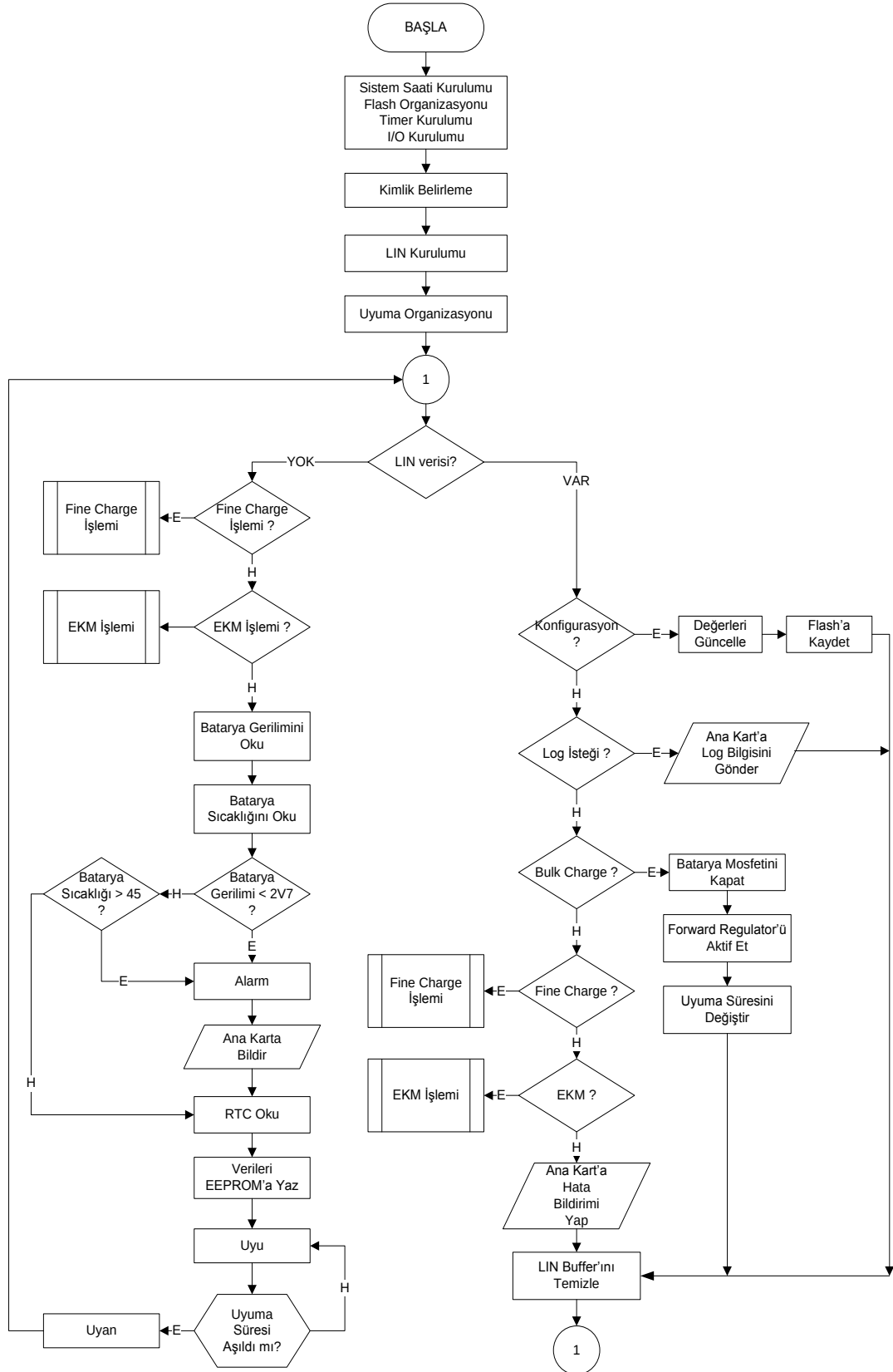


Şekil 6.2 Bir Li-Ion pilin şarj ve deşarj grafiği.

Şekil 6.2'deki grafikte DVL (Discharge Voltage Limit) pilin sağlığı için düşmesine izin verilecek minimum gerilim seviyesini, CVL (Charge Voltage Limit) ise pilin sağlığı için çıkmasına izin verilecek maksimum gerilim seviyesini ifade etmektedir. Yaptığımız sistemde CVL gerilimi olarak 4.2V, DVL gerilimi olarak da 2.7V kullanılacaktır. Bu durumda farklı enerjilere sahip bataryalar kullanılarak bir batarya paketi oluşturulduğunda bulk charge sırasında pillerden birinin gerilimi 4.2V olduğunda bulk charge işlemi sonlandırılarak fine charge işlemine geçilecektir. Fine charge işleminde her pilin gerilimi 4.2V seviyesine ulaşınca kadar piller birbirlerinden bağımsız olarak şarj edileceklerdir. Fine charge işlemi tamamlandığında birbirleriyle yaklaşık olarak özdeş enerjiye sahip (enerji dengeleme işlemi tamamlanmış) bataryalardan oluşan bir batarya paketi oluşturulmuş olur.

6.6 Çocuk Kartı Algoritması

Şekil 6.3'te çocuk kartı için tasarlanmış BMS algoritmasının akış şemaları verilmiştir.



Şekil 6.3 Çocuk kartı ana akış şeması.

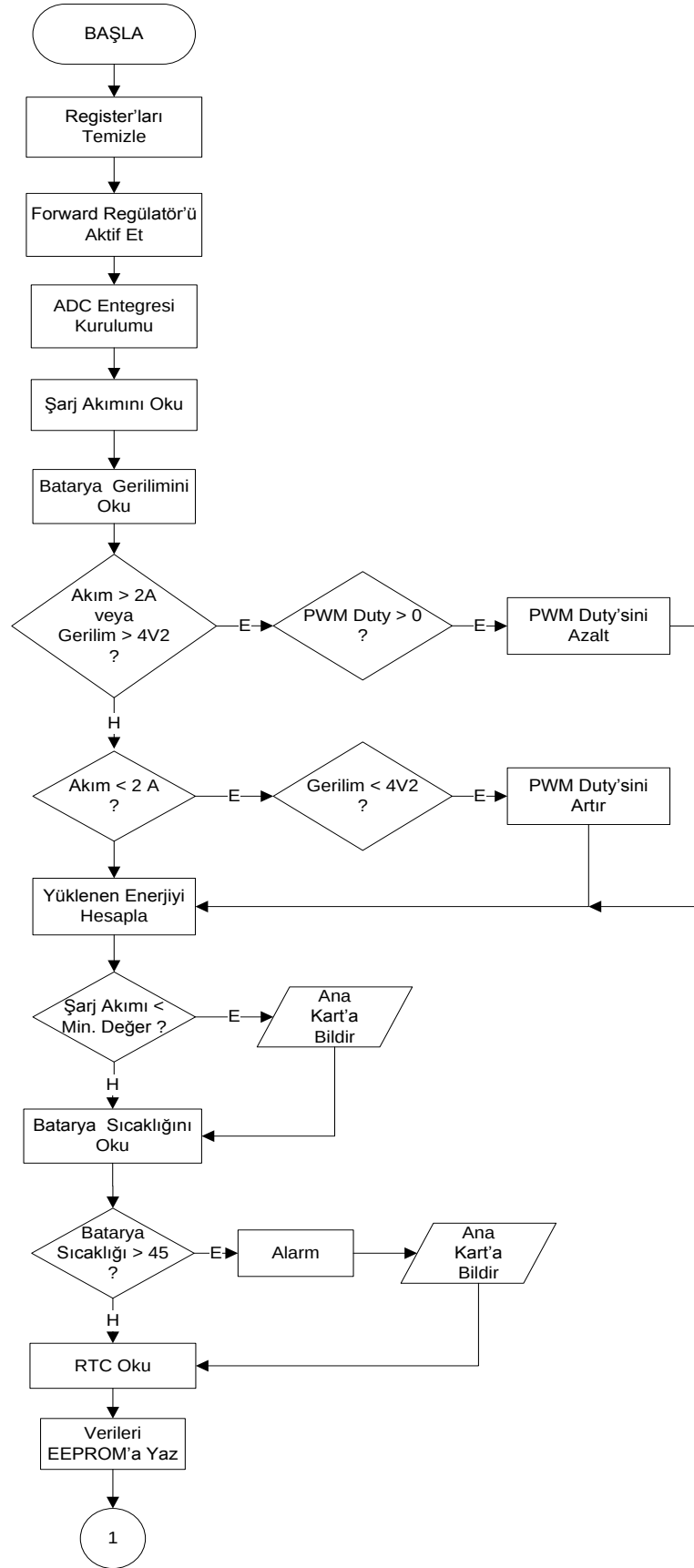
Çocuk kartına besleme verildiğinde öncelikle işlemci için gerekli çalışma frekansı kurulumu, PLL ayarları yapılır. İklendirmeler Random Access Memory (RAM)'de tutulur. Eğer iklendirmelerde bir değişme olursa dahili flash'a kaydedilir. Bu değerler "power on" da flash'tan RAM'a çekilir. Sistem sürekli bir rutinde çalışacağı için base timer kurulur. Regülatör ve mosfet kontrolleri ve kimlik belirleme için gerekli I/O kurulumu yapılır. Çocuk kartının adres birimi okunur ve kimlik belirlenir. Ana kart ile konuşabilmek için LIN seri haberleşmesi kurulur. Güç tasarrufu için çocuk kartının ölçüm ve haberleşme yapmadığı zamanlarda uyutulması gerekir bu özellik için gerekli ayarlamalar yapılır. Çocuk kartı hem belirlenen periyotlar da uyanabilmektedir hem de ana kart tarafından çocuk kartına sinyal gönderilerek uyandırılabilir.

Gerekli kurulumlar ve iklendirmeler yapıldıktan sonra rutin olarak şu işlemler yapılmaktadır. Öncelikle ana karttan gelen herhangi bir veri var mı yok mu kontrol edilir.

Ana karttan veri gelmiş ise, öncelikle gelen veri konfigürasyon verisi mi diye bakılır. Konfigürasyon verisinde gerekli iklendirme değerleri ve ölçümlerde kullanılan parametre değerleri yer alır. Eğer gelen veri konfigürasyon verisi ise eski değerler ve parametreler yenileri ile değiştirilir ve dahili flash'a kaydedilir. Bu sayede değişiklikler sistemin enerjisi kesilse bile korunur. Konfigürasyon verisi değil ise, log isteği mi diye bakılır. Log verisinde geçmişe dönük gerilim, sıcaklık ve fine charge esnasında hesaplanan Ah bilgileri bulunmaktadır. Eğer log isteğinde bulunulmuşsa ana karta mevcut log bilgisi LIN üzerinden iletilir. Log isteği yok ise, bulk charge işleminin başlayacağı haberi mi var diye bakılır. Eğer bulk charge işlemi başlayacaksa öncelikle batarya ile forward regülatörü arasındaki mosfet kapatılır, daha sonra forward regülatörü aktif edilir bu hazırlıklar yapıldıktan sonra ana karta hazırım bilgisi verilir. Eğer bulk charge işlemi de değilse, bu sefer fine charge işlemi var mı diye bakılır. Fine charge işlemi aşağıda detaylıca anlatılmaktadır. Fine charge işleminin başlatılmasında istenmiyorsa, Enerji Koruma Modu (EKM) çalıştırılmak isteniyor mu diye bakılır. Bu modun

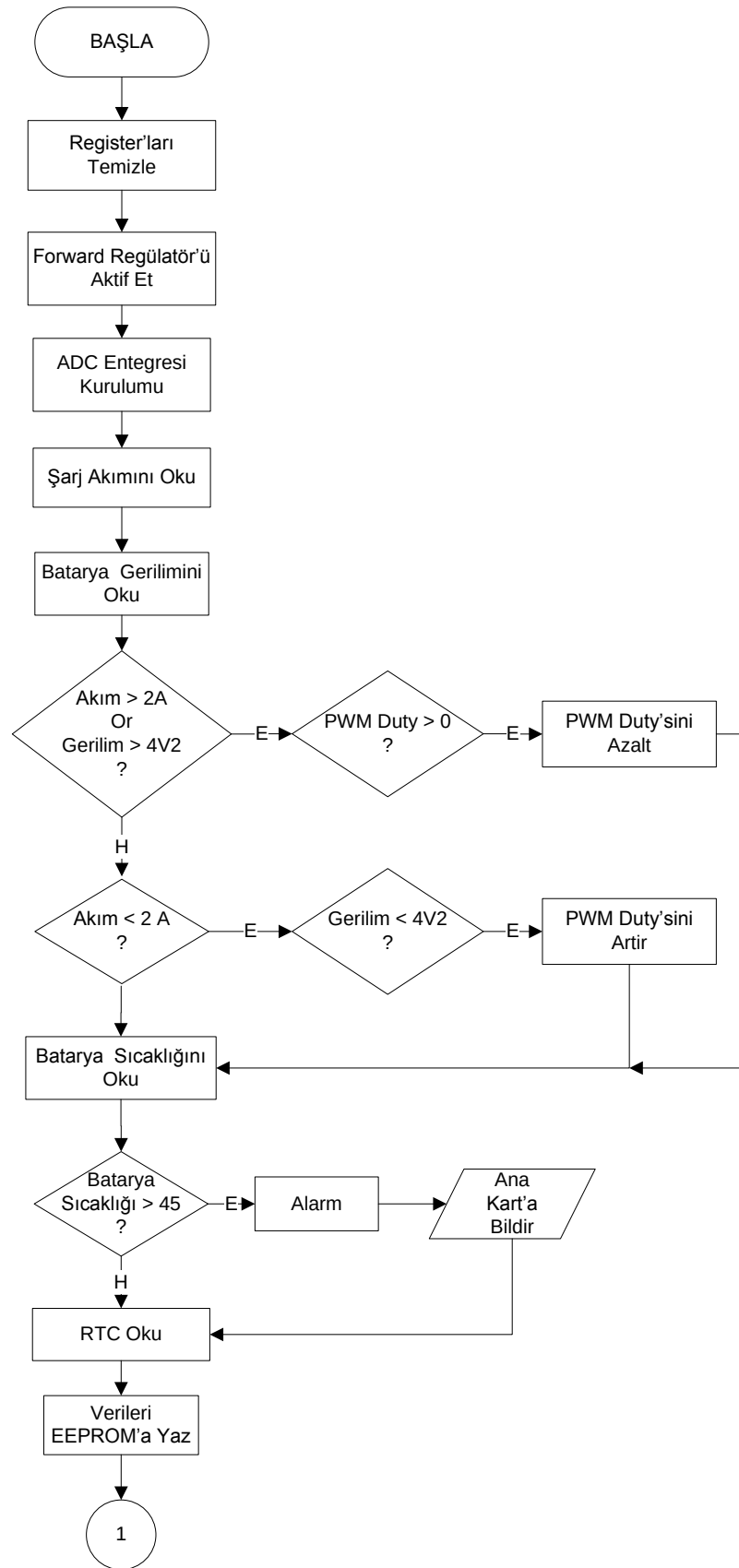
alışması da aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Eğer ana karttan böyle bir istekte gelmemişse, bu sefer ana karta hatalı komut paketi gönderildiğine dair uyarı mesajı gönderilir. Ardından LIN buffer'ı temizlenir.

Ana karttan gelen herhangi bir veri yok ise, fine charge işlemi yapmakla görevlendirilmiş mi diye kontrol edilir. Eğer fine charge işlemi ile görevlendirilmiş ise fine charge işlemine dallanır. Fine charge işlemi aşağıda detaylı anlatılmaktadır. Eğer fine charge görevi yoksa EKM işlemi ile görevlendirilip görevlendirilmediği kontrol edilir. Eğer görevlendirilmiş ise EKM işlemine dallanır. EKM işlemi aşağıda detaylı anlatılmıştır. Eğer EKM görevi yoksa, Batarya gerilimi okunur, ardından batarya sıcaklığı okunur, daha sonra bu okunan bilgiler analiz edilir. Öncelikle batarya gerilimi 2V7 değerinden düşük m diye bakılır. Eğer düşük ise batarya gerilimi belirlenen minimum gerilm değerinden düşük olduğu için alarm oluşturulur ve bu alarm bilgisi ana karta bildirilir. Daha sonra bu okunan veriler log amaçlı olarak EEPROM zerine kaydedilir. Sonra cihaz uyuma moduna geçer. Eğer batarya gerilimi uygun aralıkta ise, bataryanın sıcaklığı okunur. Bu değer 45 derecenin üzerinde ise yine alarm durumu oluşturulur ve ana karta bildirilir. Daha sonra okunan veriler yine EEPROM zerine yazılır. Cihaz uyuma moduna geçer. Belirlen süre sonunda tekrar uyanır ve yine yukarıdaki işlemleri tekrarlar.



Şekil 6.4 Çocuk kartı fine charge akış şeması.

Fine Charge işlemi, pili maximum kapasitede şarj edebilmek için çok önemli bir operasyondur. Bu işleme başlanırken, öncelikle registerlar temizlenir. Ardından forward regülatörü aktif edilir. Hassas akım ölçümü yapabilmek için ADC entegresi aktif edilir. Daha sonra şarj akımı okunur, ardında batarya gerilimi okunur. Okunan bu değerler analiz edilir. Fine charge işleminde literatürde kabul görmüş olan CCCV yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin gerekliliğinden, akım ve gerilim değerlerinin her ikisi de önemlidir ve karar vermekte kullanılır. Bataryanın çektiği akım değeri 2 A'den yüksek olup olmadığına bakılır, aynı zamanda batarya geriliminin 4V2 değerinden büyük olup olmadığına bakılır. Eğer bu iki şarttan bir tanesi bile gerçekleşirse PWM duty'si azaltılır. Eğer bu şartların her ikisinde oluşmuyor ise, bataryanın çektiği şarj akımı 2 A'den düşük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer düşük ise, batarya gerilimi 4V2'den küçük mü diye bakılır. Eğer küçük ise PWM duty'si artırılır. Okunan şaj akımı ve süre kullanılarak bataryaya yüklenen enerji hesaplanır. Daha sonra bataryanın çektiği şarj akımı önceden belirlenen minimum değerden küçük mü diye bakılır. Eğer küçük ise ana kart'a bu durum bildirilir. Ardından batarya sıcaklığı okunur. Batarya sıcaklık değeri 45 derecenin üzerindeyse alarm üretir ve bu alarm bilgisini ana kart'a gönderir. Son olarak yukarıda elde edilen akım, gerilim, sıcaklık verileri ve depolanan enerji bilgisi EEPROM'a kaydedilir. Bu işlemleri sürekli tekrarlar.

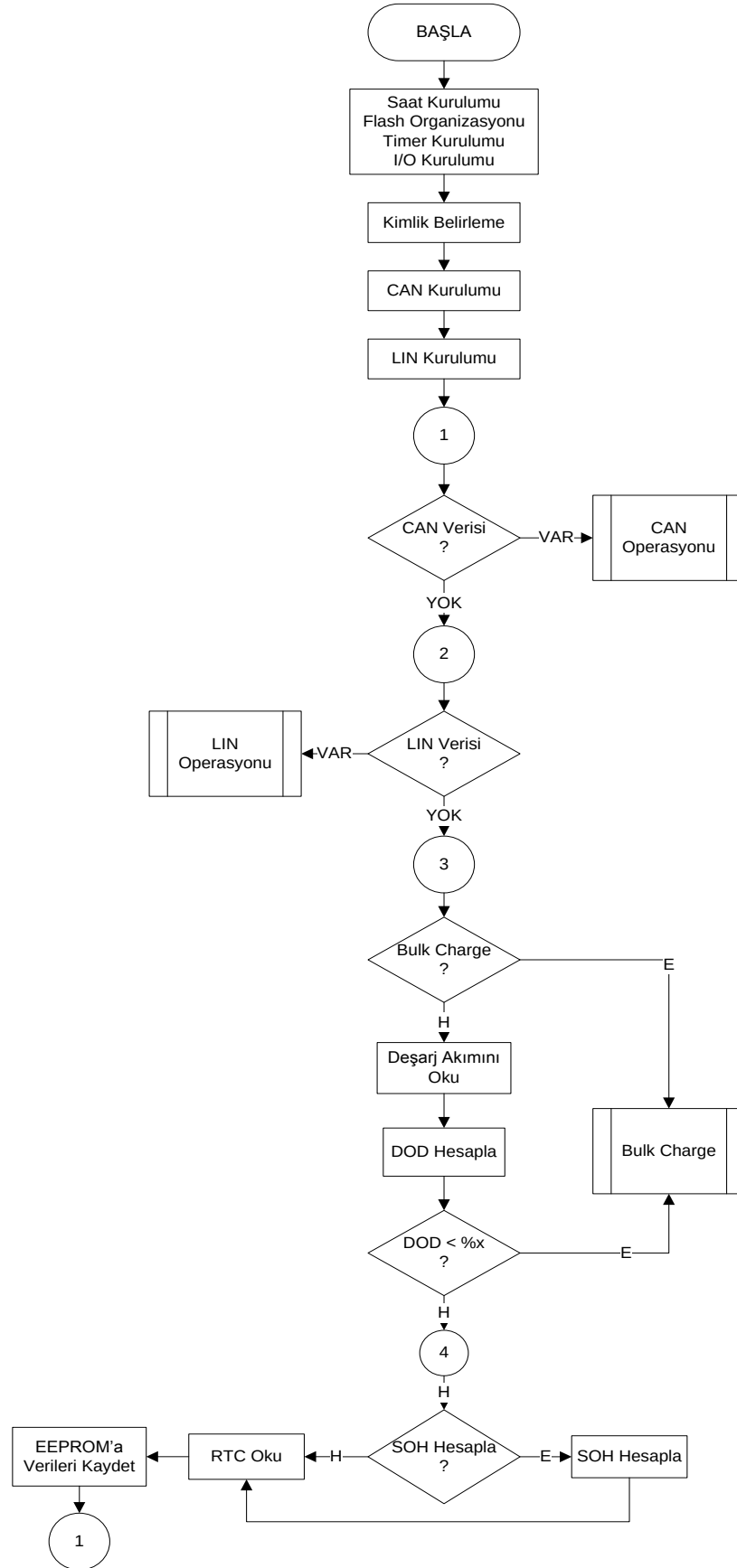


Şekil 6.5 Çocuk kartı EKM akış şeması.

Enerji Koruma Modu (EKM) işlemi bu tez kapsamında geliştirilen en önemli özelliktir. Literatür taramasında böyle bir özellik karşılaşılmamıştır. Tasarlanan donanım böyle bir yönteme olanak verebilecek kabiliyettedir. Bu modun avantajı batarya paketi içerisinde kapasite ve kalite olarak bir birinden farklı bataryalar olduğunda daha da ön plana çıkmaktadır. Bu modun algoritması şu şekildedir. EKM başlatıldığında, öncelikle registerlar temizlenir. Ardından forward regülatörü aktif edilir. Hassas akım ölçümü yapabilmek için ADC entegresi aktif edilir. Daha sonra şarj akımı okunur, ardında batarya gerilimi okunur. Okunan bu değerler analiz edilir. Bataryayı korumak amaçlı CCCV yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin gerekliliğinden, akım ve gerilim değerlerinin her ikisi de önemlidir ve karar vermekte kullanılır. Bataryanın çektiği akım değeri 2 A'den yüksek olup olmadığına bakılır, aynı zamanda batarya geriliminin 4V2 değerinden büyük olup olmadığına bakılır. Eğer bu iki şarttan bir tanesi bile gerçekleşirse PWM duty'si azaltılır. Eğer bu şartların her ikisinde oluşmuyor ise, bataryanın çektiği şarj akımı 2 A'den düşük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer düşük ise, batarya gerilimi 4V2'den küçük mü diye bakılır. Eğer küçük ise PWM duty'si artırılır. Daha sonra bataryanın çektiği şarj akımı önceden belirlenen minimum değerden küçük mü diye bakılır. Eğer küçük ise ana kart'a bu durum bildirilir. Ardından batarya sıcaklığı okunur. Batarya sıcaklık değeri 45 derecenin üzerindeyse alarm üretir ve bu alarm bilgisini ana kart'a gönderir. Son olarak yukarıda elde edilen akım, gerilim, sıcaklık verileri ve depolanan enerji bilgisi EEPROM'a kaydedilir. Bu işlemleri sürekli tekrarlar.

6.7 Ana Kart Algoritması

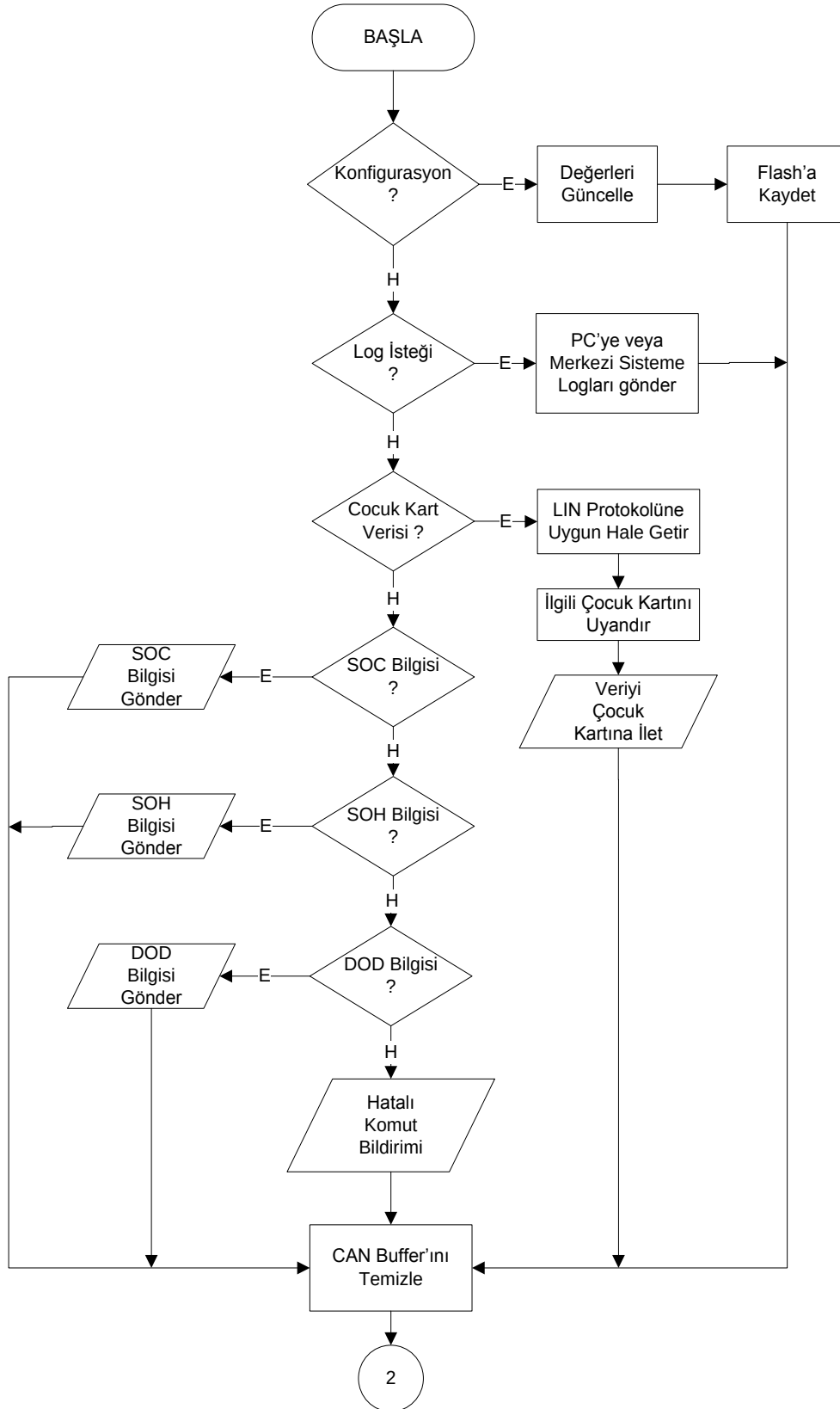
Şekil 6.6'da ana kart için tasarlanmış BMS algoritmasının akış şemaları verilmiştir.



Şekil 6.6 Ana kart ana akış şeması.

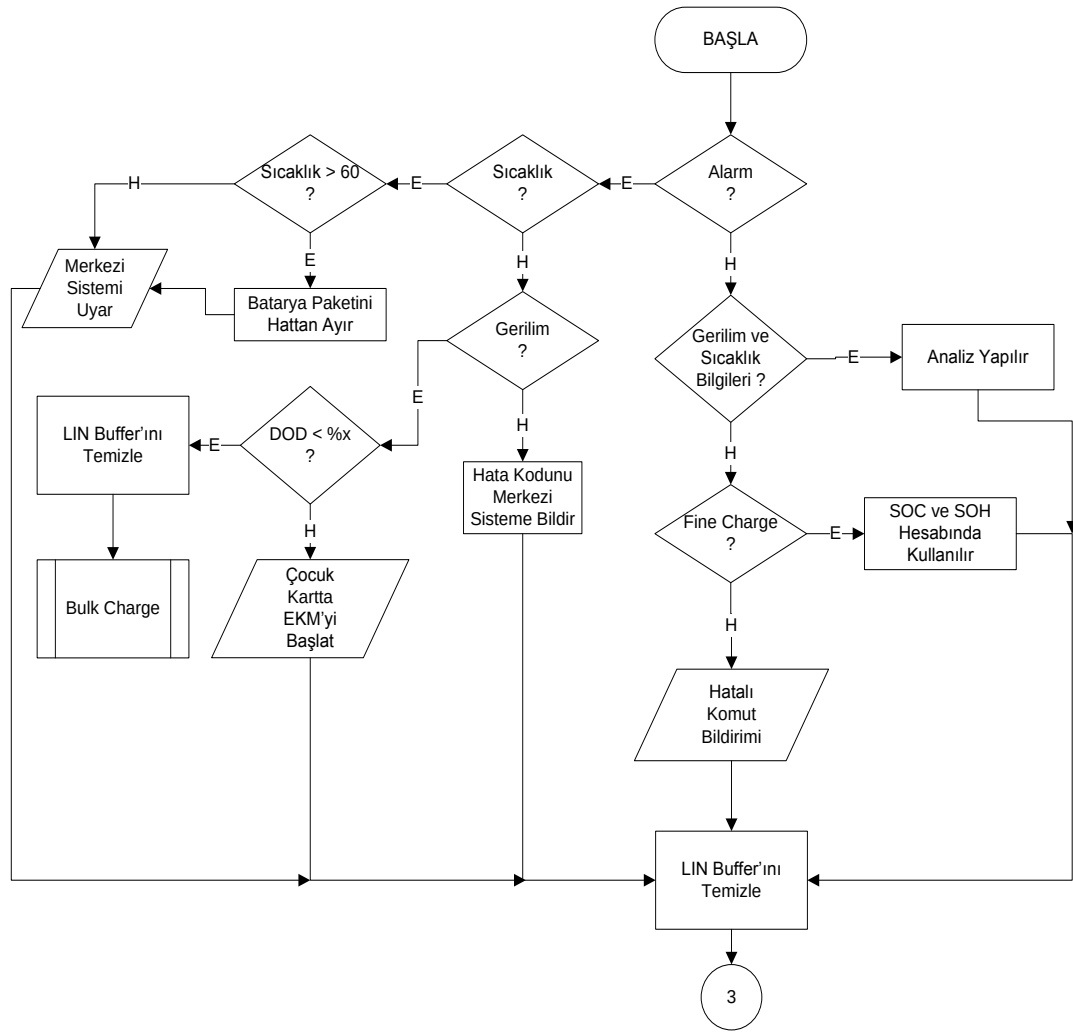
Ana karta besleme verildiğinde öncelikle işlemci için gerekli çalışma frekansı kurulumu, PLL ayarları yapılır. İlklemler Random Access Memory (RAM)'de tutulur. Eğer ilklemlerde bir değişme olursa dahili flash'a kaydedilir. Bu değerler "power on" da flash'tan RAM'a çekilir. Sistem sürekli bir rutinde çalışacağı için base timer kurulur. Regülatör ve mosfet kontrolleri ve kimlik belirleme için gerekli I/O kurulumu yapılır. Çocuk kartının adres birimi okunur ve kimlik belirlenir. PC ile ve/veya merkezi sistem ile ana kartı konuşabilmesi için CAN seri haberleşmesi kurulur. Çocuk kartlar ile konuşabilmek için ise LIN seri haberleşmesi kurulur.

Gerekli kurulumlar ve ilklemler yapıldıktan sonra rutin olarak şu işlemler yapılmaktadır. Öncelikle PC veya merkezi sistemden gelen herhangi bir veri var mı yok mu CAN hattı kontrol edilir. Eğer herhangi bir veri gelmiş ise, aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır. Eğer kenden gelen bir veri yok ise, çocuk kartlardan bilgi toplama periyodu gelmişmi diye bakılır. Eğer çocuk kartlardan bilgi toplanması gerekirse yada belirlenen periyod gelmiş ise çocuk kartları uyandırmak için ana kart sinyal üretir. Daha sonra tek tek çocuk kartlarını tarayarak gerekli bilgileri toplar. Çocuk kartlarından gelen bir veri var mı diye LIN hattını kontrol eder. Eğer herhangi birisinden herhangi bir veri gelmiş ise, bu işlem aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır. Daha sonra sistemde bulk charge işleminin başlatılıp başlatılmadığı kontrol edilir. Eğer sistemde bulk charge işlemi başlatılmış ise, bulk charge işlemine dallanılır. Bu işlem aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır. Eğer bulk charge işlemi yapılmıyor ise, deşarj akımı okunur. Okunan deşarj akımı DOD hesaplamasında kullanılır. DOD hesaplandıktan sonra DOD oranı, daha önceden belirlenen orandan küçük mü diye kontrol edilir. Eğer küçük ise merkezi sisteme bildirilir ve bulk charge moduna geçilir. Eğer DOD oranı uygun aralıkta ise, bataryanın şarj/deşarj döngüleri sayılır ve şarj/deşarj döngülerinde SOH oranı hesaplanır. SOH hesaplaması yapılmalı mı diye kontrol edilir. Eğer SOH oranı hesaplanmalı ise, SOH oranı hesaplanır ve PC'ye bildirilir. Daha sonra bu veriler log amaçlı EEPROM'a kaydedilir. Bu işlemler sürekli olarak tekrar edilir.



Şekil 6.7 Ana kart CAN haberleşmesi akış şeması.

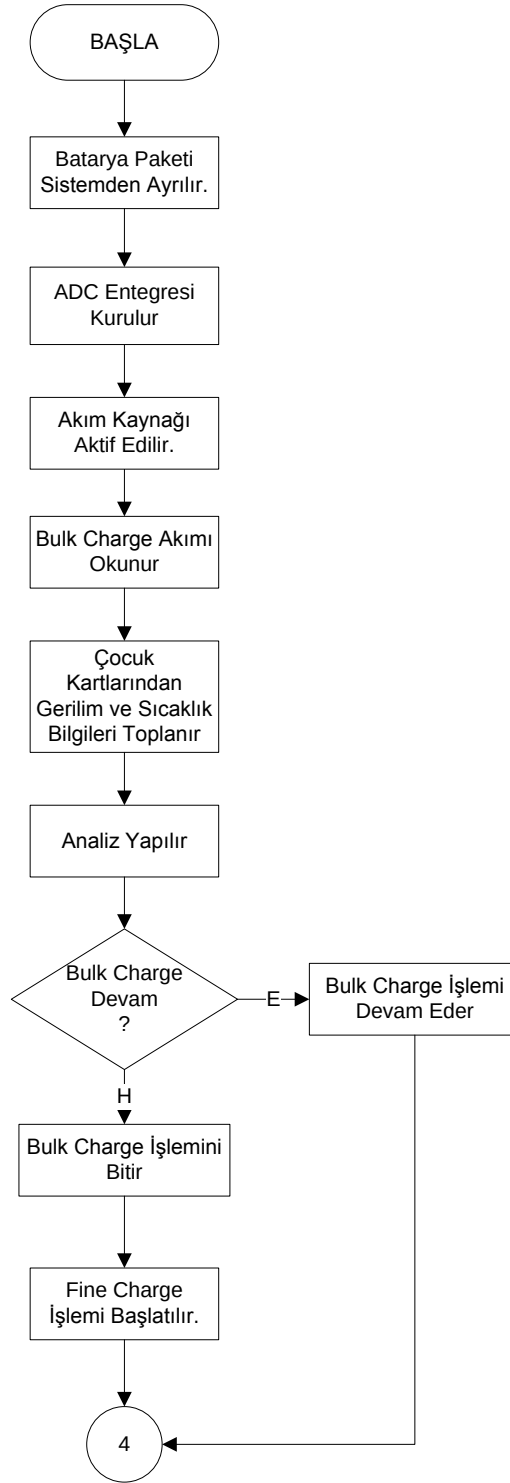
Ana kart, PC ile veya merkezi bir sistem ile yada diğer kartlar ile CAN hattı üzerinden konuşmaktadır. Bu rutinde CAN hattından gelen herhangi bir veri olup olmadığına bakılır. Eğer CAN hattından veri gelmiş ise, konfigürasyon verisi mi diye kontrol edilir. Konfigürasyon verisinde gerekli ilklendirme değerleri ve ölçümlerde kullanılan parametre değerleri yer alır. Eğer gelen veri konfigürasyon verisi ise eski değerler ve parametreler yenileri ile değiştirilir ve dahili flash'a kaydedilir. Bu sayede değişiklikler sistemin enerjisi kesilse bile korunur. Gelen veri konfigürasyon verisi değil ise, log isteği mi var diye bakılır. Log verisinde geçmişe dönük gerilim, sıcaklık, SOC oranı, DOD oranı ve SOH oranı bulunmaktadır. Eğer log isteğinde bulunulmuşsa talepte bulunan birime mevcut log bilgisi CAN üzerinden iletilir. Log isteği yok ise, çocuk kart'a gönderilmek istenen bir veri var mı diye kontrol edilir. Eğer çocuk kartına gönderilmek istenen veri var ise, öncelikle gelen CAN verisi LIN protokolüne uygun hale getirilir. Ardından çocuk kartları uyandırılır. Gönderilmek istenen veri LIN üzerinde çocuk kart'a iletilir. Gelen can verisi SOC bilgisi isteği mi diye kontrol edilir. Eğer SOC oranı talebinde bulunmuş ise, PC'ye yada merkezi sisteme SOC oranı bilgisi gönderilir. Eğer SOC bilgisi istenmiyorsa, SOH oranı isteği var mı diye kontrol edilir. SOH oranı talep edilmişse, SOH bilgisi PC'ye yada merkezi sisteme gönderilir. Eğer SOH bilgisi istenmiyorsa, DOD oranı isteği var mı diye kontrol edilir. DOD oranı talep edilmişse, DOD bilgisi PC'ye yada merkezi sisteme gönderilir. Gelen veri yukarıdaki talep veya işlemlerden herhangi birisi değil ise, PC'ye yada merkezi sisteme hatalı komut uyarısı yapılır. Son olarak, CAN bufferı temizlenir.



Şekil 6.8 Ana kart LIN haberleşmesi akış şeması.

Ana kart, çocuk kartları ile LIN hattı üzerinden konuşmaktadır. Bu rutinde LIN hattından gelen herhangi bir veri olup olmadığına bakılır. Eğer LIN hattından veri gelmiş ise, gelen veri alarm verisimi diye bakılır. Eğer alarm verisi gelmiş ise, sıcaklık alarmı mı diye kontrol edilir. Eğer sıcaklık alarmı gelmiş ise, sıcaklık değeri 60 derecenin üzerinde mi diye kontrol edilir. Eğer 60 derecenin üzerinde ise, sıcaklık değeri tehlikeli bölgeye geldiğinden batarya paketi güvenlik amaçlı hattan kopartılır ve sisteme bilgi verilir. Eğer 60 derecenin üzerinde değil ise, sistem uyarılır. Eğer sıcaklık alarmı oluşmamış ise, gerilim alarmı oluşmuş mu diye bakılır. Gerilim alarmı oluşmuş ise, batarya paketinin DOD oranına bakılır. DOD oranı belirlenen değerin üzerinde ise, çocuk kartına EKM modunda çalışması için emir verilir. DOD oranı belirlenen değerden düşük ise Bulk Charge operasyonu başlatılır.

Eğer oluşan alarm sıcaklık veya gerilim alarmı değil ise tanımsız bir alarm kodu olduğu için hata oluşur ve oluşan bu hata PC'ye veya merkezi sisteme bildirilir. Gelen veri alarm verisi değil ise, gerilim ve sıcaklık verisi mi diye kontrol edilir. Eğer gerilim ve sıcaklık bilgisi ise, değerlendirmeler yapılır. Uygun olmayan bir durum var ise yapılması gereken durumlar çocuk kartına emredilir. Ayrıca bu bilgiler bulk charge işleminin başlamasına ve sonlanmasına karar verilirken kullanılır. Eğer değerler uygun ise log olarak saklanır. Gelen veri gerilim ve sıcaklık bilgisi değil ise, fine charge bilgisi olup olmadığı kontrol edilir. Fine charge bilgisi ise, bu bilgi SOC ve SOH hesaplamasında kullanılır. Eğer bu tanımlamaların dışında bir komut gelmiş ise hata oluşur ve bu hata durumu PC'ye veya merkezi sisteme bildirilir. Son olarak LIN bufferı temizlenir.



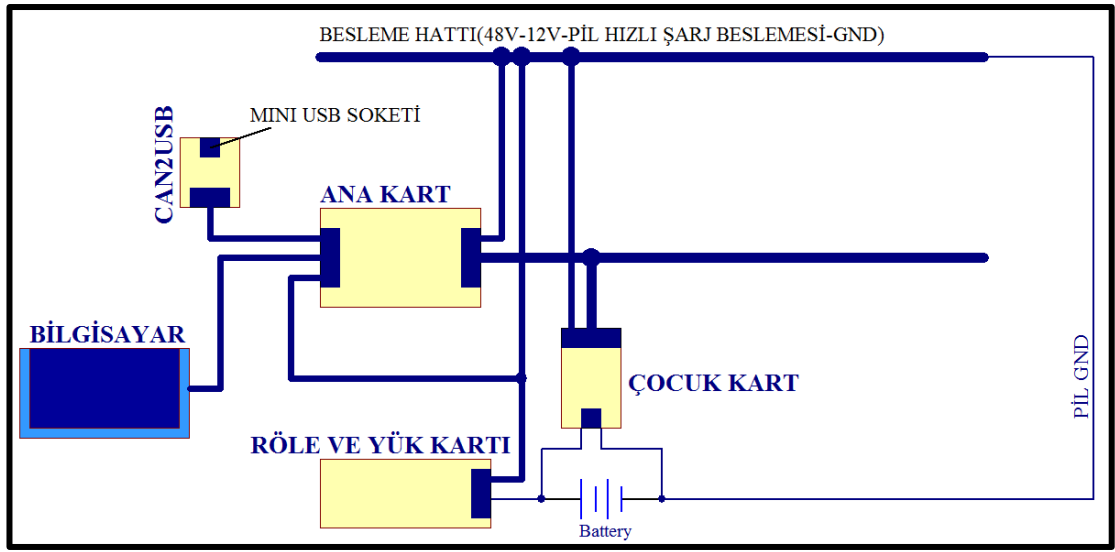
Şekil 6.9 Bulk charge akış şeması.

Bulk charge işlemi, için dikkat edilmesi gereken birkaç husus bulunmaktadır. Bunların en önemlisi, aracın çalışır vaziyette olmaması gerekmektedir. İkinci bir husus ise, sisteme harici enerji sağlanması

gerekmektedir. Eğer bulk charge ihtiyacı oluştuğunda batarya paketi sistemden ayrılmayı sisteme enerji vermeye devam eder ise, pillerin ömründe ciddi bir azalma olur, hatta şarj edilemez hale bile gelebilir. Bu ön bilgilerden sonra algoritmayı anlatacak olursak. Öncelikle batarya paketi sistemden ayrılır. Ardından akım kaynağı aktif edilir. ADC entegresi aktif edilir. Bulk Charge akımı okunur. Bulk charge işleminin bitirilip bitirilmesine karar verebilmek için tüm çocuk kartlarından gerilim ve sıcaklık değerleri periyodik olarak istenir. Gelen değerler analiz edilir. Analiz sonucunda bulk charge işlemine devam edilip edilmeyeceğine karar verilir. Eğer devam edilmeyecekse Bulk charge işlemi bitirilir ve fine charge işleminin başlaması için çocuk kartlara emir verilir.

7. TEST DÜZENEĞİ VE ŞARJ-DEŞARJ TEST SONUÇLARI

Bu bölümde sisteme bağlanan bir pil üzerinde yapılan şarj deşarj testinin sonuçları anlatılacaktır. Bu testi yapmak için önce bir test düzeneği kurulmuştur. Test düzeneğinin genel blok şeması Şekil 7.1’de gösterilmektedir.

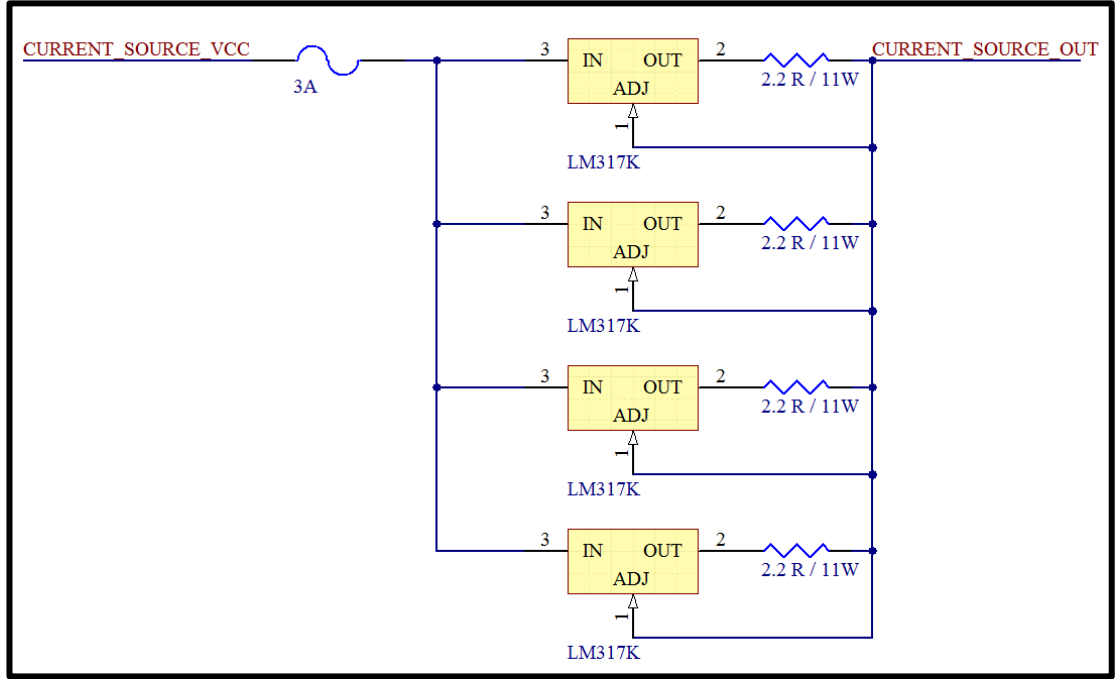


Şekil 7.1 Test düzeneği genel blok şeması.

Test düzeneğinde, hızlı şarj için gerekli olan akım kaynağı, deşarj için gerekli olan yükler ve bağlantının bu iki sistem arasındaki geçişini sağlayacak olan röleler Şekil 7.1’deki diyagramda gösterilen ‘Röle ve Yük Kartı’ üzerinde bulunmaktadır. Hızlı şarj, hassas şarj ve deşarj modları arasındaki geçiş ise ana kart ile kontrol edilmekte ve sisteme ait o anki durum bilgileri haberleşme hattı üzerinden bilgisayara gönderilmektedir.

Sistem, çalışması için 3 farklı besleme gerilimine ihtiyaç duyar. Bunlardan 48V ana kartın ve çocuk kartın çalışması için gerekli olan besleme hattıdır. 12V ‘Röle ve Yük Kartı’ üzerindeki rölelerin enerjilendirilmesi için kullanılmaktadır. Pillere hızlı şarj sırasında uygulanabilecek maksimum

gerilim ise o anda hatta bağlanan pil sayısına göre değişkenlik göstereceğinden ayarlanabilir bir güç kaynağı üzerinden verilmiştir. Hızlı şarj sırasında pillere gönderilecek olan akım basit bir akım kaynağı devresi üzerinden verilmiştir. Akım kaynağı devresi Şekil 7.2’de gösterilmektedir.



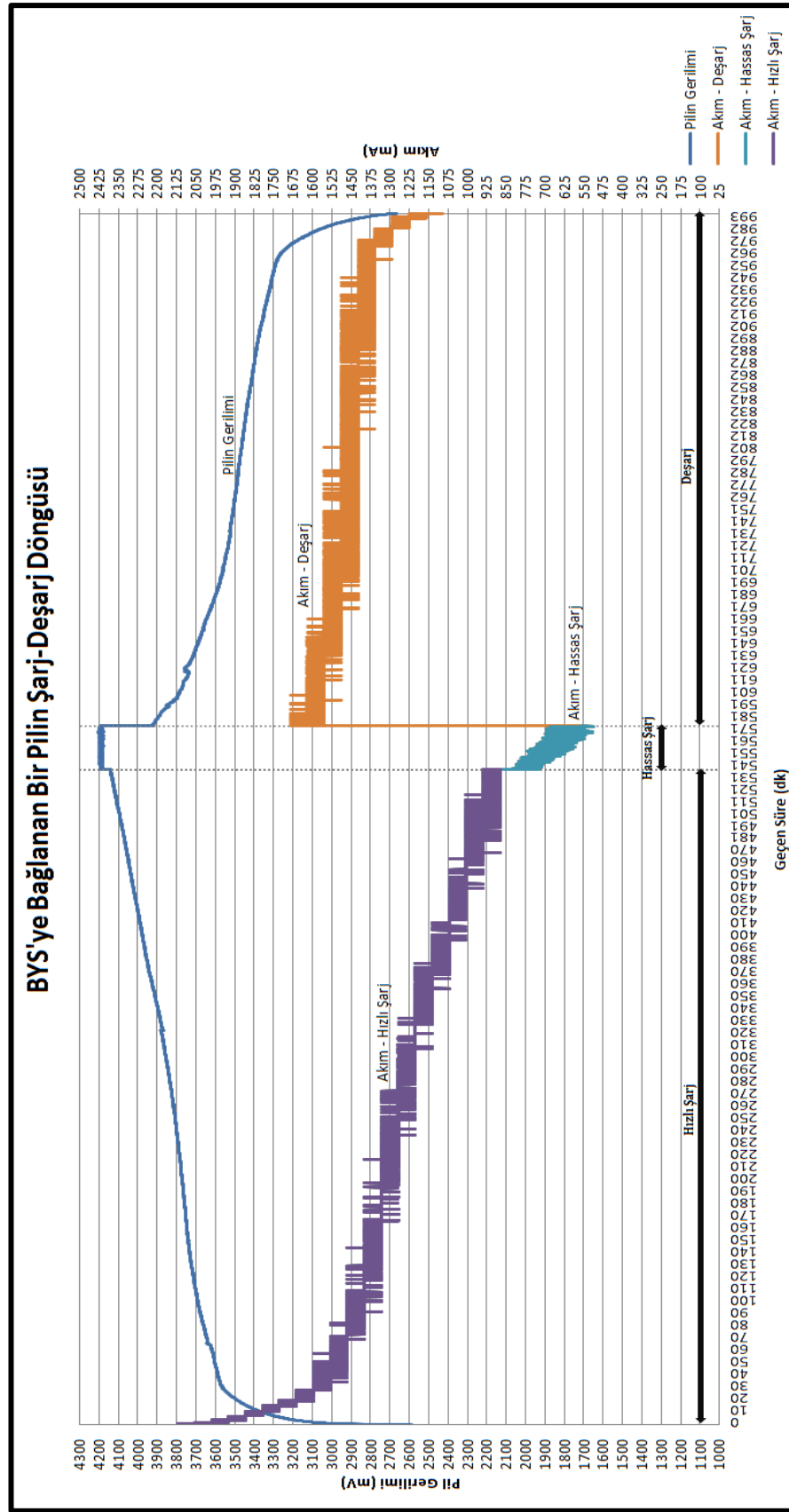
Şekil 7.2 Akım kaynağı devre şeması.

Şekil 7.2’deki devrede geçen LM317’ler çalışma yapısı gereği OUT bacağı ile ADJ bacağı arasındaki gerilimi 1.25V’a sabitlerler. Bu yüzden her bir LM317’den çekilebilecek maksimum akım yaklaşık 0.57A’dır. Daha yüksek akım çekilmeye çalışıldığında devre çıkış gerilimini düşürerek akımın her biri için 0.57A’e düşmesini sağlar.

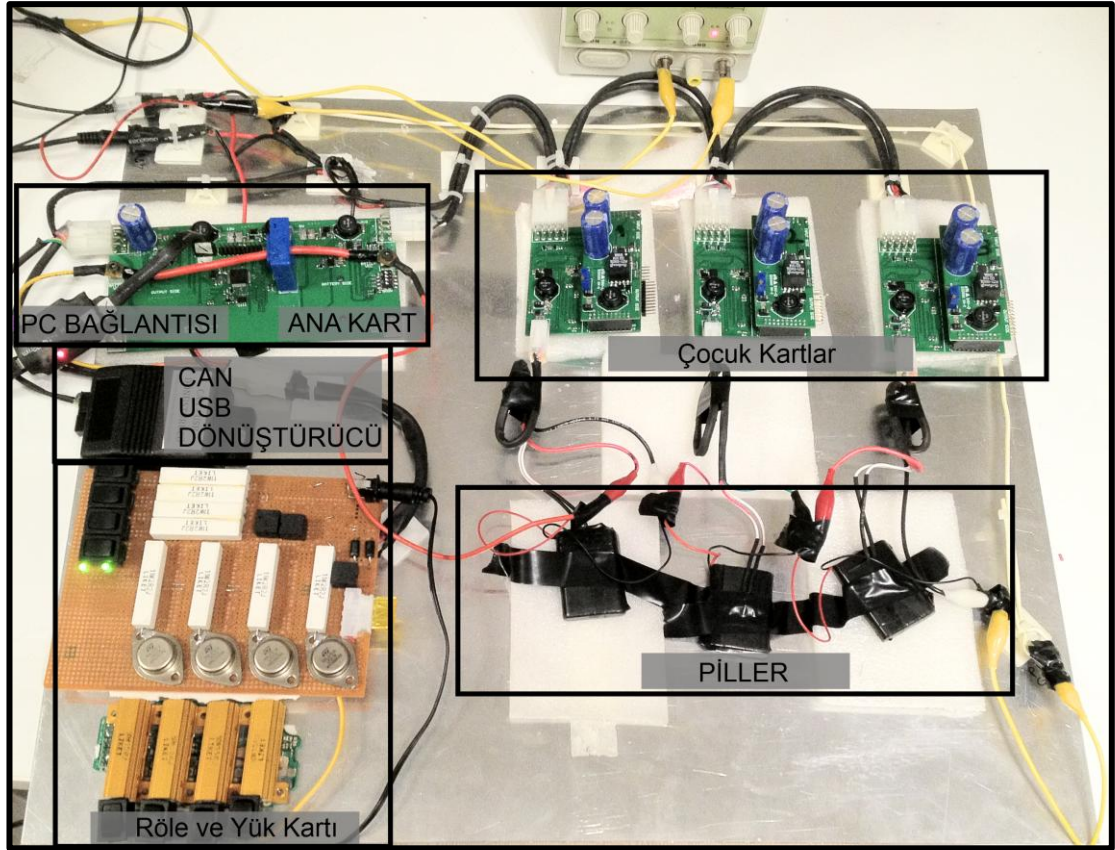
Sisteme 11Ah’lik bir pil takılmış ve önce deşarj işlemi yapılarak pilin boşaltılması sağlanmıştır. Daha sonra ana karta bilgisayar üzerinden şarj-deşarj döngüsüne başlama komutu gönderilmiş ve teste ait çıktılar bilgisayar üzerinde kaydedilmiştir. Hızlı şarj için, şarjın sonlanacağı gerilim 4.190V, şarjın sonlanacağı minimum akım (bu akımdan daha düşük bir akım çekildiğinde hızlı şarj işlemi sonlandırılır) 0.900A, hassas şarj için şarjın sonlanacağı gerilim 4.190V, şarj sırasındaki maksimum akım sınırı 0.800A,

şarjın sonlanacağı minimum akım 0.550A vedeşarj için pilin düşmesine izin verilecek minimum gerilim miktarı ise 2.700V olarak ayarlanmıştır. Bu değerler pile ait teknik bilgi dokümanındaki bilgilere göre oluşturulmuştur.

Döngü tamamlandığında pile yüklenen toplam şarj 11.645Ah, pilden çekilen toplam enerji ise 10.288Ah olarak hesaplanmıştır. Bir döngü sırasında pilin geriliminin ve pilden geçen akımların değişim grafiği Şekil 7.3'te gösterilmektedir.



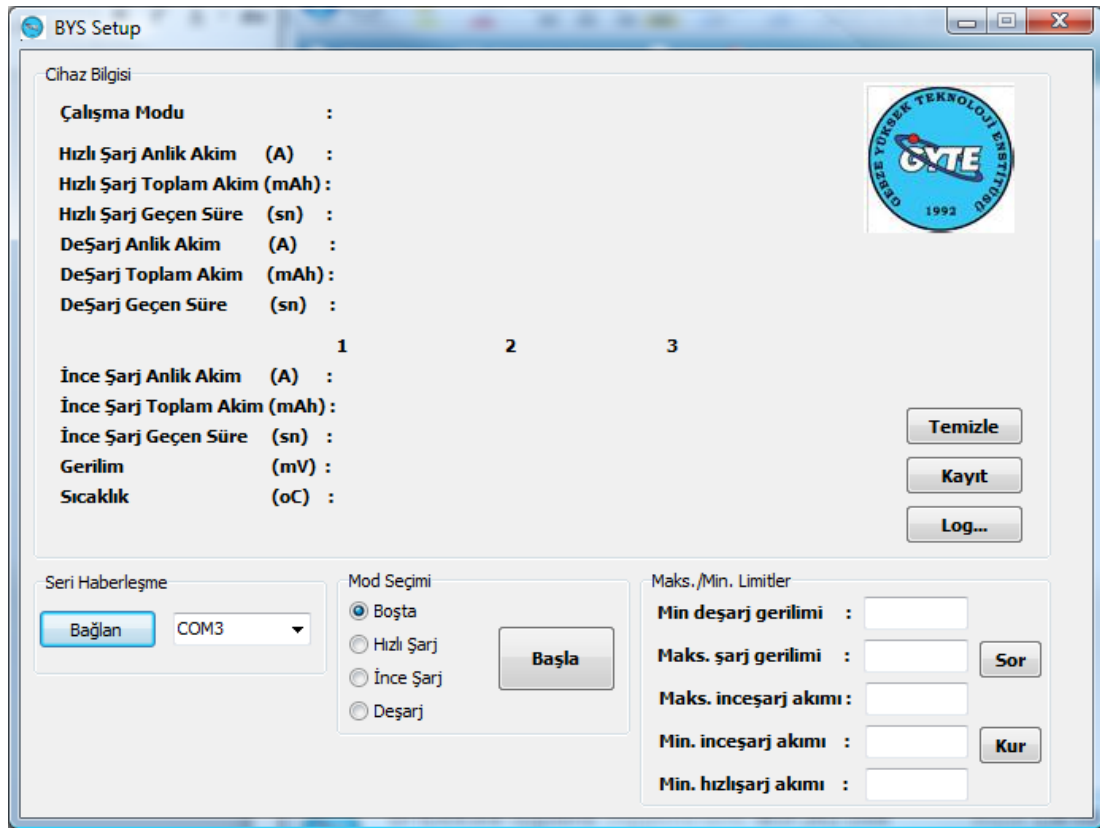
Şekil 7.3 Pil şarj-deşarj döngüsü, akım-gerilim grafiği.



Şekil 7.4 Test düzeneği.

Birden çok batarya ile testler yapılmıştır. 1 adet ana kart ve 3 adet çocuk kartı ile bir test düzeneği hazırlanmıştır. Bu test düzeneği Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Test düzeneğindeki çocuk kartların numaraları sırasıyla 1,2 ve 3 olarak ayarlanmıştır.

Hazırlanan test sistemi için C++ Builder kullanılarak PC arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 7.5'te PC arayüzü ekran çıktısı gösterilmiştir. PC arayüzü sayesinde, min. deşarj gerilimi, maks. şarj gerilimi, maks. ince şarj akımı, min. ince şarj akımı ve min. hızlı şarj akımı gibi limitleri sorgulanabiliyor ve/veya yeni değerleri ayarlanabiliyor. Test düzeneğinin o anki çalışma durumu, hızlı şarj anlık akımı, hızlı şarj toplam akımı, hızlı şarj için geçen süre, deşarj anlık akımı, deşarj toplam akımı, deşarj için geçen süre, her bir pil için ayrı ayrı ince şarj anlık akımı, ince şarj toplam akımı, ince şarj için geçen süre, pil durumu ve sıcaklık bilgisi gözlemlenebiliyor ve istenirse bu bilgiler "*.txt" veya "*.csv" formatında kayıt altında tutulabiliyor.



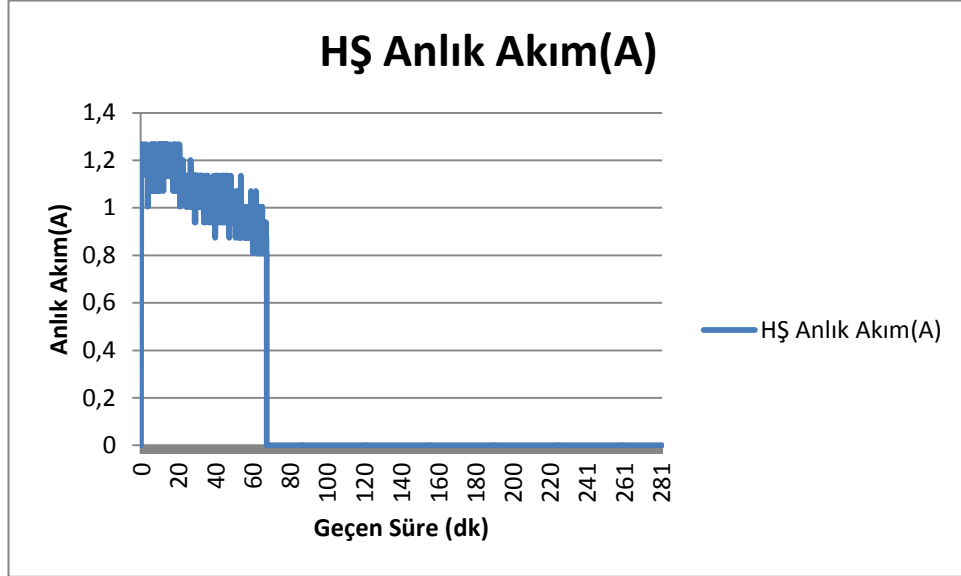
Şekil 7.5 PC arayüzü ekran görüntüsü.

Test düzeneğindeki veriler analiz edildiğinde oluşan grafikler aşağıda verilmiştir. Grafiklerde kullanılan terimler; Hızlı Şarj (HŞ), İnce Şarj (İŞ), Deşarj (DŞ) olarak grafiklerde gösterilmiştir.

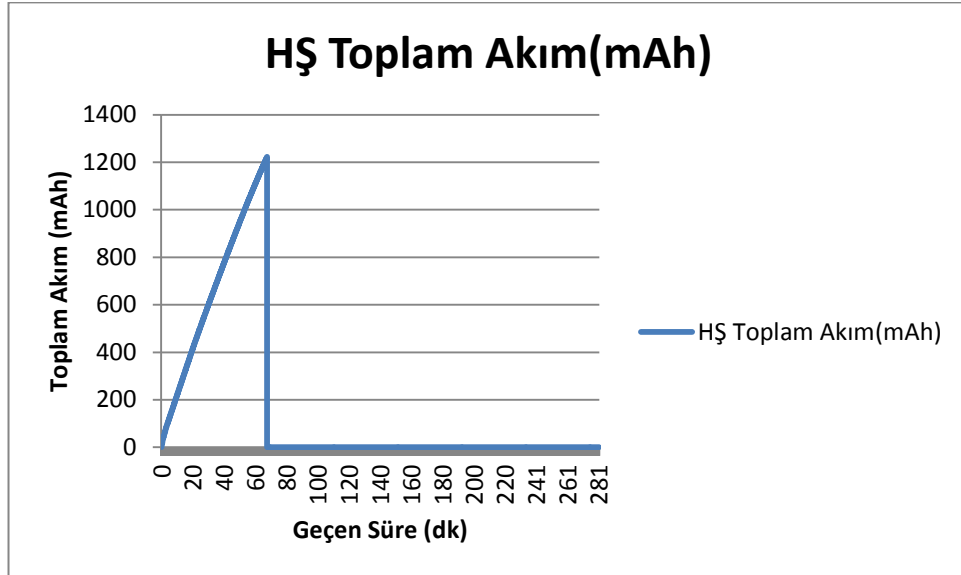
Test düzeneğinde kullanılan bataryaların şarj kapasitesi 1800 mAh, maks. şarj gerilimi 4200 mV, min. deşarj gerilimi 2700 mV değerindedir. Bu veriler göz önünde bulundurularak belirlenen limitler ise, min. deşarj gerilimi 2700 mV, maks. şarj gerilimi 4180 mV, maks. ince şarj akımı 0.600 A, min. ince şarj akımı 0.300 A ve min. hızlı şarj akımı 0.800 A olarak ayarlanmıştır. Ayrıca test düzeneğinde kullanılan akım kaynağı 4200 mV'ta 1300 mA akım verebilme kapasitesindedir.

a) Hızlı şarj esnasında çekilen anlık akım şekil 7.6'da verilmiştir. Bu grafik'ten görüldüğü üzere, batarya paketi, hızlı şarjın ilk zamanlarında akım kaynağının verebildiği maks. akımı (1350mA) çeker. Zamanla

batarya paketinin çektiği akım min hızlı şarj akımı olan 800 mA değerinin altına düştüğünde hızlı şarj işlemi sonlandırılır ve ince şarj işlemine geçilir. Şekil 7.7’de hızlı şarj ile batarya paketinin toplam şarj grafiği verilmiştir. Batarya paketi 1222,717 mAh şarj edilmiştir ve hızlı şarj süresi yaklaşık 70 dk sürmüştür.

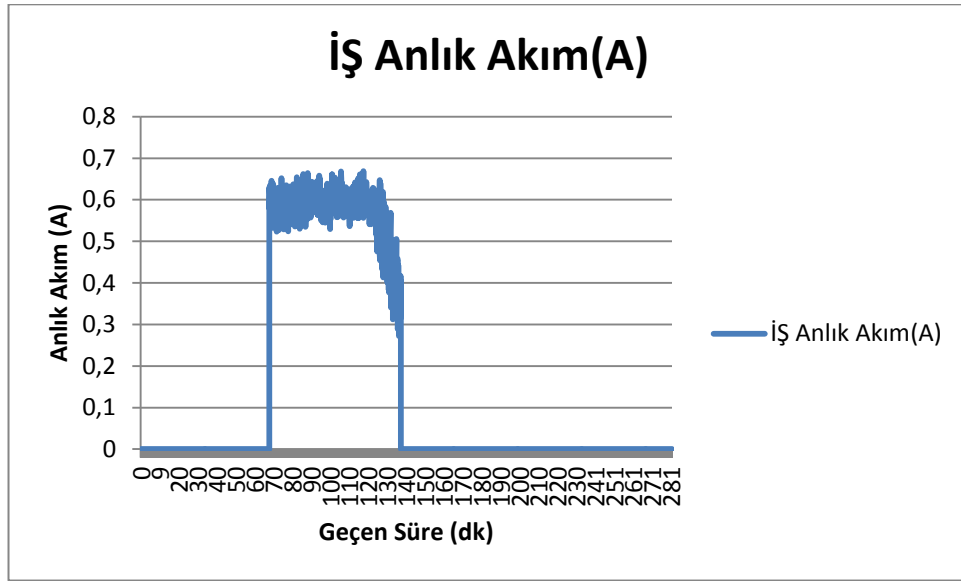


Şekil 7.6 Hızlı şarj anlık akım ölçüm grafiği.

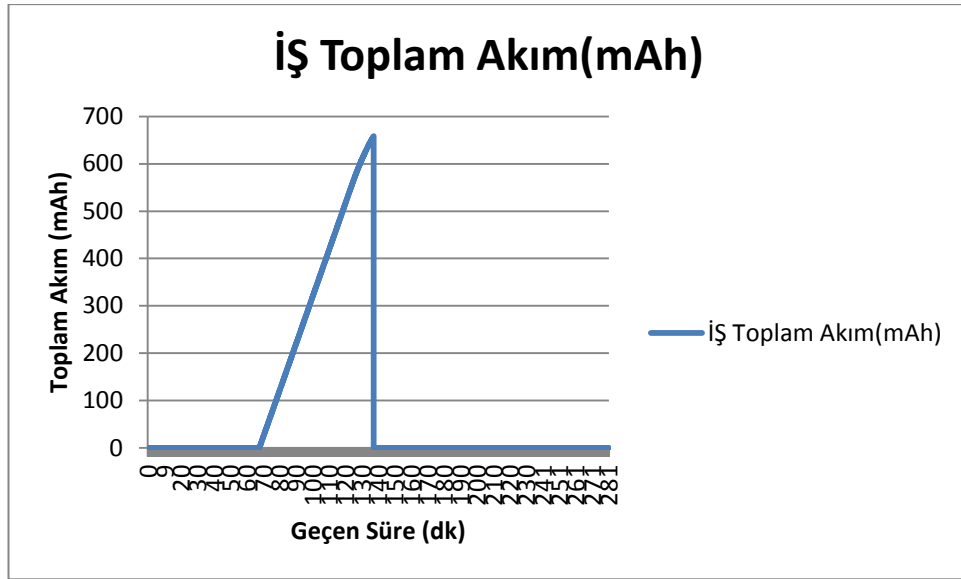


Şekil 7.7 Hızlı şarj toplam akım ölçüm grafiği.

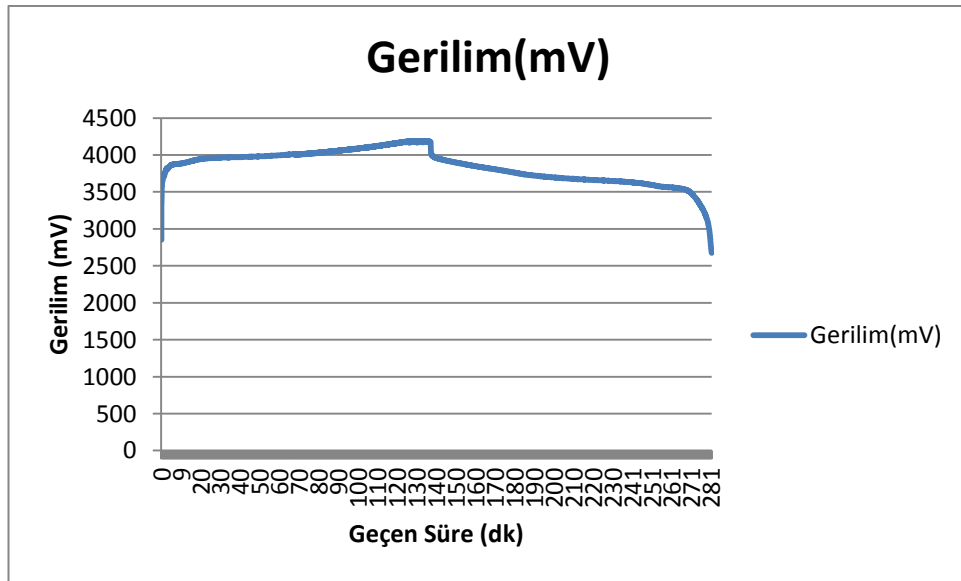
b) Hızlı şarj işlemi tamamlandıktan sonra batarya paketindeki pilleri dengelemek için ince şarj işlemi başlatılır. İnce şarj işlemi batarya paketindeki her bir çocuk kart tarafından ayrı ayrı yapılır. Çocuk kartları tarafından ölçülen ve hesaplanan değerler anakarta bildirilir. Şekil 7.8’de, Şekil 7.9’da ve Şekil 7.10’da 1 numaralı çocuk kartı için ince şarj anlık akım, ince şarj toplam akım ve hızlı şarj, ince şarj ve deşarj döngüleri boyunca pilin gerilim grafikleri verilmiştir. İnce şarj işlemi sırasında literatürde kabul gören CCCV yöntemi kullanılmıştır. Maks. ince şarj akımı 600 mA ve min. ince şarj akımı 300 mA ve maks. ince şarj gerilimi 4180 mV olduğundan pil ince şarj işleminin başlangıcında 600 mA civarında akım çekmektedir. Zamanla bu akım değeri 300 mA’ın altına düştüğünden ince şarj işlemi sonlandırılmıştır. 1 numaralı pil 658,565 mAh şarj edilmiştir. İnce şarj süresi yaklaşık 70 dk sürmüştür.



Şekil 7.8 İnce şarj anlık akım ölçüm grafiği.



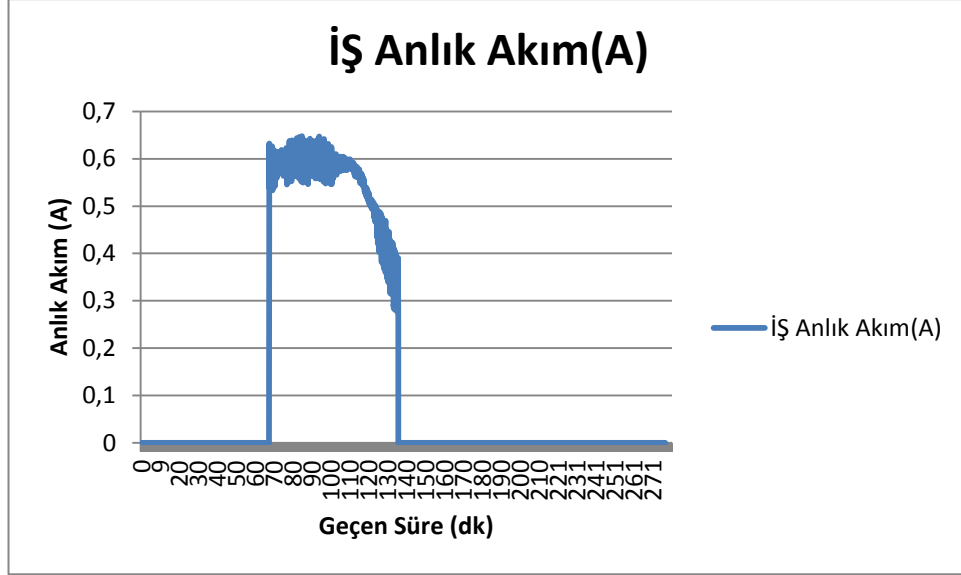
Şekil 7.9 İnce şarj toplam akım ölçüm grafiği.



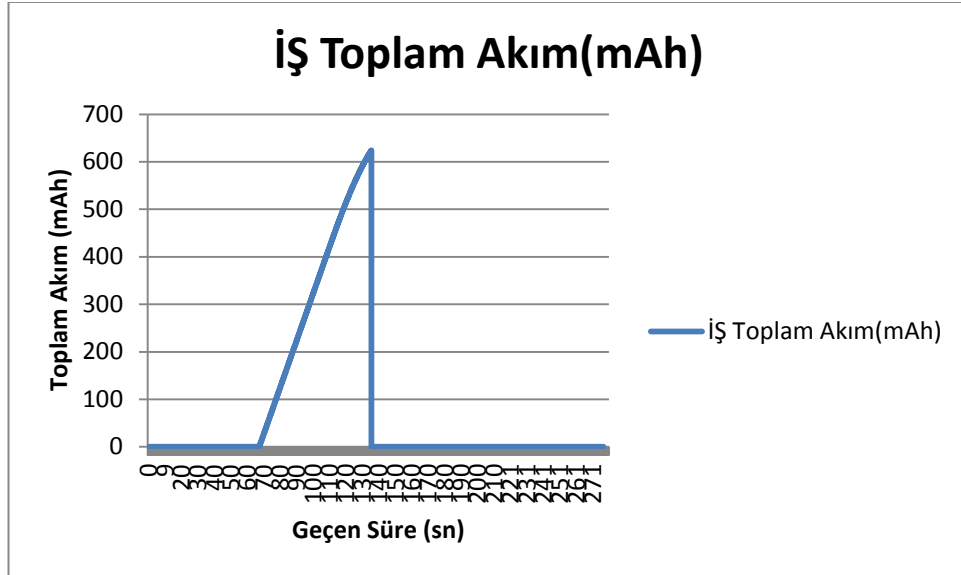
Şekil 7.10 Pil gerilim ölçüm grafiği.

- c) Şekil 7.11'de, Şekil 7.12'de ve Şekil 7.13'de 2 numaralı çocuk kartı için ince şarj anlık akım, ince şarj toplam akım ve hızlı şarj, ince şarj ve deşarj döngüleri boyunca pilin gerilim grafikleri verilmiştir. İnce şarj işlemi sırasında literatürde kabul gören CCCV yöntemi kullanılmıştır. Maks. ince şarj akımı 600 mA ve min. ince şarj akımı 300 mA ve maks. ince şarj gerilimi 4180 mV olduğundan pil ince şarj işleminin başlangıcında 600 mA

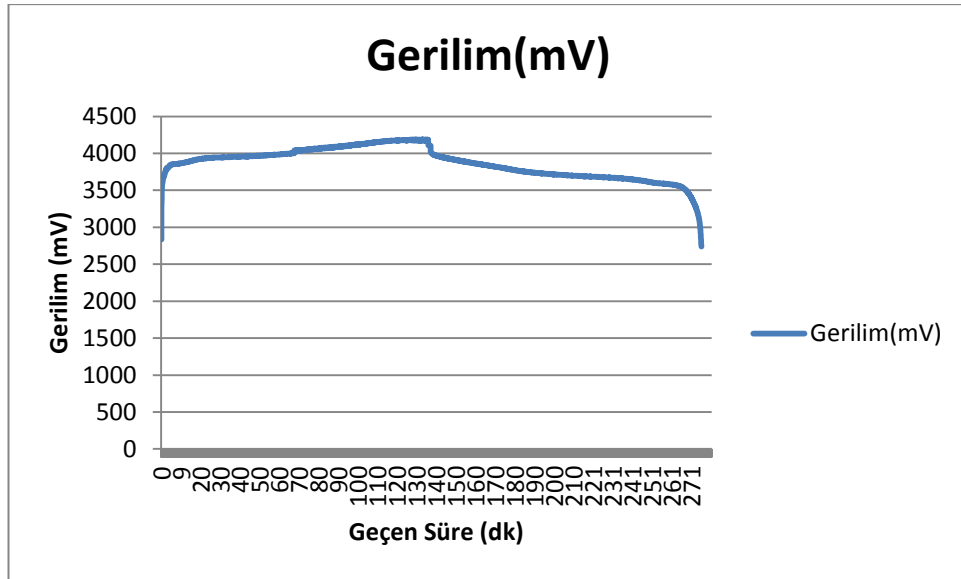
civarında akım çekmektedir. Zamanla bu akım değeri 300 mA'in altına düştüğünden ince şarj işlemi sonlandırılmıştır. 2 numaralı pil 624,226 mAh şarj edilmiştir. İnce şarj süresi yaklaşık 70 dk sürmüştür.



Şekil 7.11 İnce şarj anlık akım ölçüm grafiği.

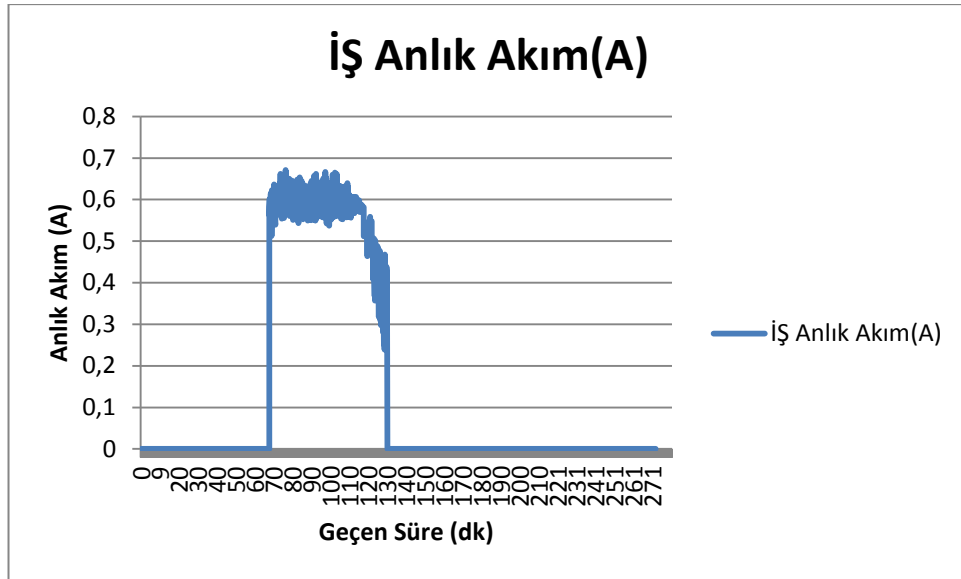


Şekil 7.12 İnce şarj toplam akım ölçüm grafiği.

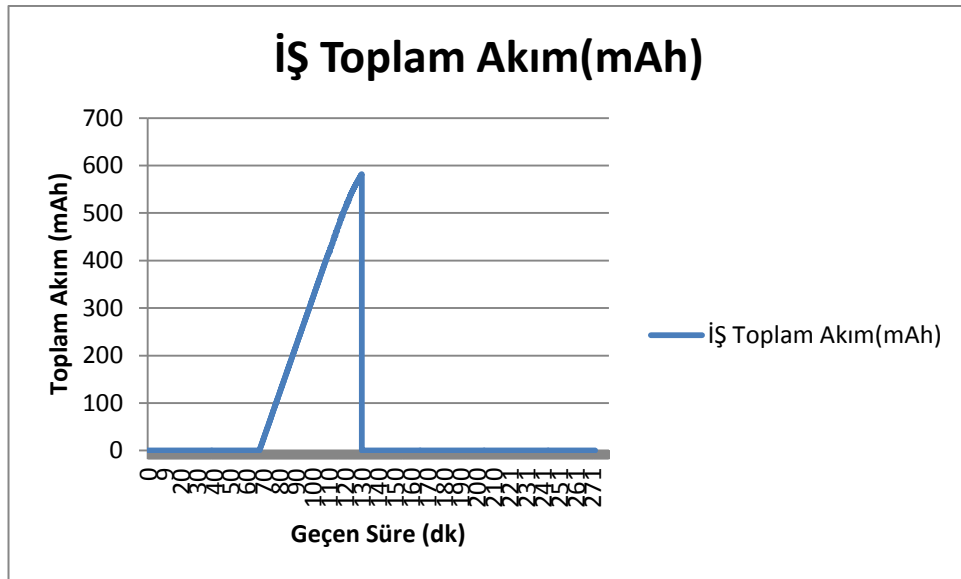


Şekil 7.13 Pil gerilim ölçüm grafiği.

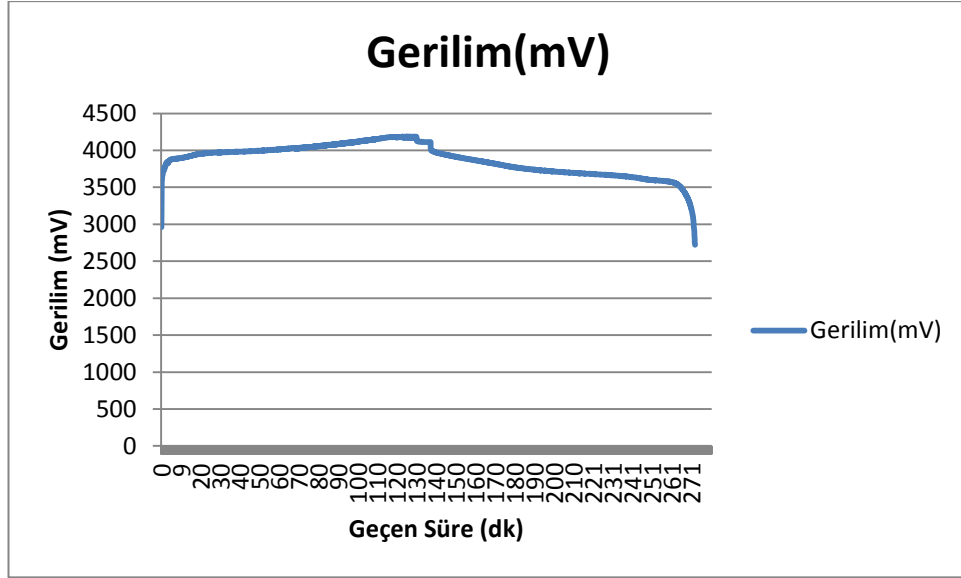
- d) Şekil 7.14'te, Şekil 7.15'te ve Şekil 7.16'da 3 numaralı çocuk kartı için ince şarj anlık akım, ince şarj toplam akım ve hızlı şarj, ince şarj ve deşarj döngüleri boyunca pilin gerilim grafikleri verilmiştir. İnce şarj işlemi sırasında literatürde kabul gören CCCV yöntemi kullanılmıştır. Maks. ince şarj akımı 600 mA ve min. ince şarj akımı 300 mA ve maks. ince şarj gerilimi 4180 mV olduğundan pil ince şarj işleminin başlangıcında 600 mA civarında akım çekmektedir. Zamanla bu akım değeri 300 mA'in altına düştüğünden ince şarj işlemi sonlandırılmıştır. 3 numaralı pil 582,091 mAh şarj edilmiştir. İnce şarj süresi yaklaşık 62 dk sürmüştür.



Şekil 7.14 İnce şarj anlık akım ölçüm grafiği.

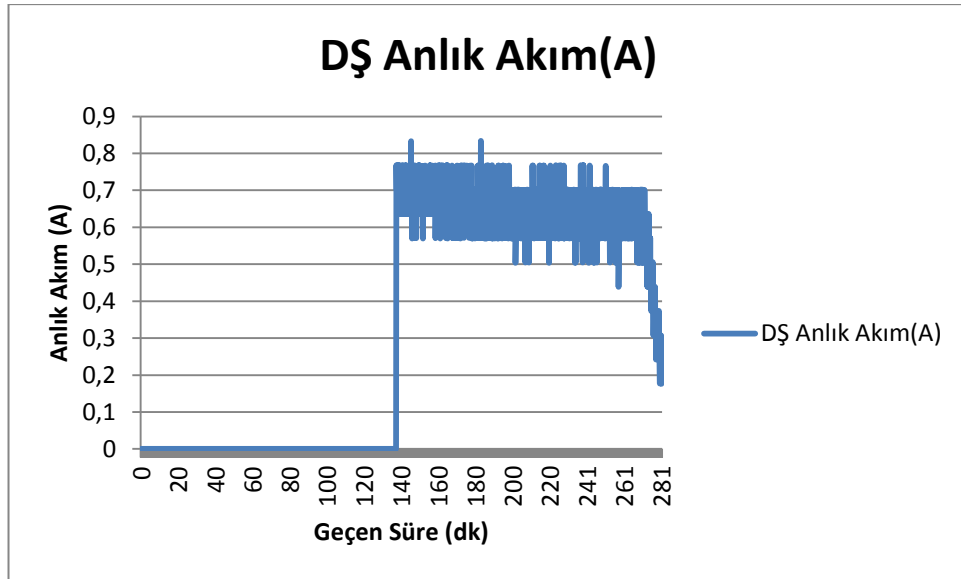


Şekil 7.15 İnce şarj toplam akım ölçüm grafiği.

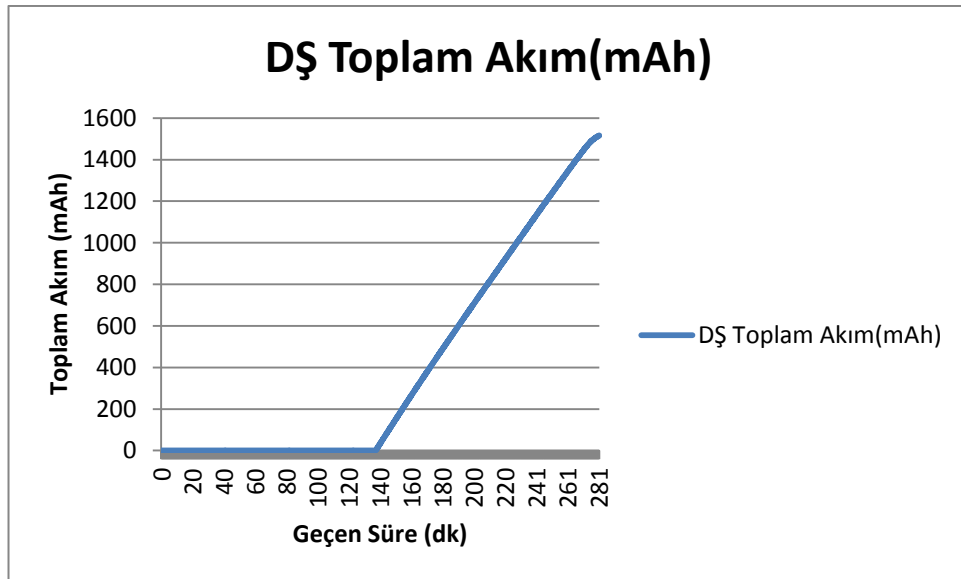


Şekil 7.16 PİL gerilim ölçüm grafiği.

- e) İnce şarj işlemi tamamlandıktan sonra batarya paketindeki pilleri boşaltmak için deşarj işlemi başlatılır. Yük olarak 15 ohm kullanılmıştır. Batarya paketinde toplam 3 adet batarya olduğu için yük üzerinden yaklaşık 650 mA akım boşalmaktadır. Şekil 7.17’de ve Şekil 7.18’de sırasıyla anlık deşarj akımı ve toplam deşarj akımı grafikleri verilmiştir. min. deşarj gerilimi 2700 mV olduğundan bataryalardan her hangi birisi bu gerilim seviyesinin altına düştüğünde deşarj işlemi sonlandırılır ve bir döngü tamamlanmış olur. Batarya paketi toplamda yaklaşık 1800 mAh şarj edilmiştir. Deşarj sonucunda ise toplam yaklaşık olarak 1520 mAh deşarj edilmiştir. Arada yaklaşık 280 mAh’lik bir fark oluşmuştur. Bunun sebebi ise, batarya paketindeki pillerin sadece bir tanesi bile 2700 mV’un altına düştüğünde deşarj işleminin sonlandırılmasıdır.



Şekil 7.17 Deşarj anlık akım ölçüm grafiği.



Şekil 7.18 Deşarj toplam akım ölçüm grafiği.

8. SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, daha önce akademik olarak geliştirilmiş olan BKS donanımı için yazılım algoritmaları geliştirilmiştir.

Tasarlanan ve geliştirilen algoritmalar, donanım üzerinde gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda hesaplanan SOC, DOD ve SOH oranlarının teorik sonuçlara uygun olduğu görülmüştür. Her birim ayrı ayrı ve tümleşik olarak test edilmiştir. Testler sonucunda uygunsuzluk görüldüğünde tasarlanan algoritma güncellenerek uygun sonuçlar elde edilene kadar geliştirilmiştir. Tasarlanan donanım araç içerisinde test edilmediğinden dolayı, araç içi testleri yapılarak algoritma geliştirilmeye devam edilebilir.

Tasarlanan algoritmanın gerçek uygulamada yükü biraz daha hafifletilerek hesaplamaların ve analizlerin daha doğru sonuçlar üretmesi sağlanabilir. Ayrıca donanımda kullanılan akım okuma birimlerindeki salınımlar azaltılarak çok daha doğru hesaplamalar yapmak mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. *Study on Battery Management System and Lithium-ion Battery.* **Siguang, Li ve Zhang, Chenging.** March 2009. IEEE DOI 101109/ICCAE.
2. *Global Climate Change and Health: Recent Findings and Future Steps.* **R.S., Kovats ve A., Haines.** 2005.
3. *Requirements for Future Automotive Batteries - a Snapshot.* **Karden, Eckhard ve Shinn, Paul.** 2005.
4. *Improved Performance of Serially Connected Li-Ion Batteries With Active Cell Balancing in Electric Vehicles.* **Markus, Einhorn ve Werner, Roessler.** 2011.
5. *A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems.* **W.Moore, Stephen ve Schneider, Peter J.** 2001.
6. *PowerPump™ Balancing.* **Moran, James.** 2011.
7. *Battery Management Systems for Large Lithium Battery Packs.* **Andrea, Davide.** 2010.
8. *Battery Management System for E-Bike: A Novel Approach to Measure Crucial Battery Parameters for a VRLA Battery.* **Chandratre, Abhijeet, et al., et al.** 2011.
9. *A New BMS Architecture Based on Cell Redundancy.* **Manenti, Antonio, et al., et al.** 2011.
10. *A CAN Physical Layer Discussion”, Microchip Technology Inc.* **Richards, P.** 2002.

11. *Calculating Controller Area Network, (CAN) Message Response Time, Control Engineering Practice.* **Tindell, K., Burns, A. ve Wellings, A.** 1995.

12. *Comparison of Event-Triggered and Time-Triggered Concepts with Regard to Distributed Control Systems.* **Albert, A. ve Bosch, Robert.** 2004.

13. *Controller Area Network (CAN) Basics.* **Pazul, K.** 1999.

14. *CAN System Engineering : From Theory to Practical Applications.* **Lawrenz, W.** 1997.

15. *Controller Area Networks.* **Hopkins, A.** 2003.

16. *Analysing Real - Time Communications : Controller Area Network (CAN).* **Tindell, K.W. ve Wellings, A.J.** 1994.

17. *A Web based Multi - User Remote Microcontroller Labaratory for Engineering Education.* **Kutlu, A.** 2004.

18. *An Overview of Control Area Network, IEEE Computing and Control Engineering Journal.* **Farsi, M., Ratcliff, K. ve Barbosa.** 1999.

19. *Performance Analysis of a CAN / CAN Bridge, International Conference on Network Protocols.* **Ekiz, H., Kutlu, A. ve Baba, M.D.** 1996.

20. *Non – Preemptive Scheduling of Messages on Control Area Network for Real – Time Applications, In Proc. Of the IEEE Real Time Applications Symposium.* **Zuberi, H. ve Shin, K.** 1995.

21. *Using Bit - Stuffing Distributions in CAN Analysis.* **Nolte, T., et al., et al.** 2001.

22. *Fault Confinement Mechanisms on CAN: Analysis and Improvements.* **Gaujal, B. ve Navet, N.** 2005.

23. *LIN Protocol Implementation Using PICmicro MCUs.* **Butler, Dan, Schmidt, Thomas ve Wacławzyk, Thorsten.** s.l. : Microchip Technology Inc.

24. *Microcomputer Protocol Implementation at Local Interconnect Network.* **Krastev, Georgi.** 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Şakir Altun, 1985 yılında Konya'da doğdu. Liseyi Akşehir Anadolu lisesi'nde ve lisans eğitimini Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde okudu. Ekim 2008'de Gebze'de bir mühendislik firmasında GSM/GPRS ve 2.4GHz RF tabanlı kablosuz sistemler alanında çalışmak üzere Ar-Ge mühendisi olarak işe başladı. Halen bu iş yerinde devam etmektedir. Eylül 2009'da GYTE'de Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitime başladı.