

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OTOMOBİLLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR AKÜ KORUMA CİHAZI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayetullah AKAR

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Metin VARAN

Şubat 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİLLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR AKÜ KORUMA CİHAZI
TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

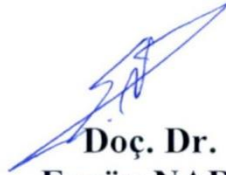
Ayetullah AKAR

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 05/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Ali ÖZTÜRK
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Ergün NART
Üye



Doç. Dr.
Metin VARAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ayetullah AKAR

05/02/2020

TEŞEKKÜR

Yıllar boyunca derste ve ders dışında verdiği destek, rehberlik ve teşvik için danışmanım Doç. Dr. Metin VARAN'a teşekkür ederim. Her zaman sabırlı ve pozitif enerji dolu bir kişilik olmasının yanında yaşadığım sıkıntılar karşısında en olası çözüm önerisiyle benden desteklerini esirgememiş ilham verici birisidir.

Ders dışında da engin bilgilerinden faydalandığım değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KARACA'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Burak Arıcıoğlu'na, teşekkürlerimi bir borç biliyorum.

Bana her zaman inanan ve her kararımı destekleyen hayallerimin peşinden gitmemde beni motive eden, bencil olmayan koşulsuz sevgilerinden dolayı sevgili eşime teşekkür ediyorum.

Bu çalışmamı bu hayattaki en büyük sermayem olan oğullarım Muhammed Salih ve Abdullah Halid 'e atfediyorum...

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
SİMGELER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Enerji Depolama Sistemlerinde Akülerin Yeri	1
1.2. Dünyada Akümülatör Sektörü.....	1
1.3. Türkiye’de Akümülatör Sektörü	2
1.4. Tezin Amacı	2
1.5. Literatür Araştırması	5
1.6. Hipotez	8

BÖLÜM 2.

GENEL BİLGİLER.....	10
2.1. Aküler Hakkında Genel Bilgiler	10
2.1.1. Akünün tanımı.....	12
2.1.2. Akü çeşitleri	12
2.1.2.1. Primer (tek kullanımlık) aküler.....	12
2.1.2.2. Sekonder (tekrar doldurulabilir) piller	12
Metal çeşidine göre	13
Kullanım alanlarına göre.....	19
2.1.3. Akü malzemeleri ve özellikleri	21
2.1.3.1. Plakalar.....	24
2.1.3.2. Seperatörler	25

2.1.3.3. Kutu ve kapaklar	25
2.1.3.4. Kutup çıkışları	26
2.1.3.5. Gaz kapakları (buşonlar)	26
2.1.3.6. Elektrolit	27
2.1.4. Akünün çalışma prensibi	28
2.1.5. Akülerin bakımı	28
2.1.5.1. Kuru şarjlı akülerin bakımı	29
2.1.5.2. Sulu şarjlı akülerin bakımı	29
2.2. Akülerin Yapısı ve Performansı	30
2.2.1. Akülerin kimyasal yapısı	30
2.2.2. Akülerin performans karakterizasyonu	30
2.2.2.1. Akü kapasitesi	31
2.2.2.2. Enerji yoğunluğu	31
2.2.2.3. Güç yoğunluğu	32
2.2.2.4. Verimlilik	32
2.2.2.5. Yüksüz boşalma	32
2.2.2.6. Akü dolma-boşalma sayısı	32
2.2.3. Akülerin performansını etkileyen etkenler	33
2.2.3.1. Boşaltma akımı	34
2.2.3.2. Sıcaklık	33
2.2.3.3. Boşaltma modu	33
2.2.3.4. Polarizasyon kayıpları	34
2.3. Aküler İçin Temel Kavramlar ve Hesaplamalar	35
2.3.1. Şarj	35
2.3.2. Deşarj	37
2.3.3. Gerilim	37
2.3.4. İç direnç	37
2.3.5. Self deşarj	38
2.3.6. Yoğunluk	38
2.3.7. Kapasite	38
2.3.8. Verim	39
2.3.9. Sülfatlaşma	39

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	42
3.1. Osilatörler	42
3.2. Osilatör Çeşitleri	43
3.2.1. Multivibratörler	43
3.2.1.1. Tek kararlı multivibratör (Monostable)	46
3.2.1.2. Çift kararlı multivibratör (Bistable)	51
3.2.1.3. Kararsız (Serbest çalışan) multivibratör (Astable)	53
3.3. Çıkış Birimi	60
3.3.1. Mosfet parametrelerinin ayarlanması	60
3.3.2. Bobin parametrelerinin ayarlanması	62
3.3.3. Kondansatör parametrelerinin ayarlanması	66

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	68
4.1. AKC Nedir?.....	68
4.2. AKC Kullanım Avantajları	68
4.3. AKC Çevresel Beklentiler.....	69
4.4. Akü Koruma Cihazı Devre Bileşenleri	70
4.4.1. Serbest çalışan multivibratör birimi	74
4.4.2. Tek kararlı multivibratör birimi	77
4.5. Akü Koruma Cihazı Sistem Analizi.....	80
4.5.1. Akü koruma cihazı çalışma prensibi	80
4.5.2. Akü koruma cihazı çalışma simülasyonu.....	86
4.5.3. Akü koruma cihazının devre gerçekleştirilmesi.....	90
4.6. AKC'nin Geliştirilebilecek Yönleri	98

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	100
KAYNAKLAR	102
EKLER	108
ÖZGEÇMİŞ	112

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
AGM	: Emdirilmiş Cam Elyaf (Absorbed Glass Mat)
AKC	: Akü Koruma Cihazı
ALABC	: Gelişmiş Kurşun Asit Akü Konsorsiyumu (The Advanced Lead Acid Battery Consortium)
AP	: Aktivasyon Polarizasyonu
CCA	: Soğuk Marş Basma Akımı (Cold Cranking Amper)
DC	: Doğru Akım
DIP	: Çift Hatlı Paket (Dual in-Line Package)
ESR	: Eşdeğer Seri Direnç
I_B	: Akünün üzerinde yazılı olan akım değeri
IC	: Entegre Devre
IGBT	: İzole Edilmiş kapılı, İki Kutuplu Transistor (Integrated Gate Bipolar Transistor)
KP	: Konsantrasyon Polarizasyonu
OICA	: Uluslararası Motorlu Araç Üreticileri Örgütü
PP	: Polipropilen
PVC	: Polyvinyl Chloride
R_B	: Akünün İç Direnci
RoHS	: Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama (Restriction of Hazardous Substances Directive)
V_B	: Akünün üzerinde yazılı olan akım değeri
VRLA	: Valf Yalıtımlı Kurşun Asit (Valve-Regulated Lead-Acid)

SİMGELER

A	: Amper
Ah	: Amper saat
Be	: Asit çözeltisinin bome derecesi
CO₂	: Sülfürik asit
d	: Asit çözeltisinin yoğunluğu
E	: Akü terminal gerilimi
E₀	: Açık devre gerilimi
F	: Farad
F	: Frekans
F_{max}	: Darbe maksimum frekans değeri
GaN	: Galyum nitür
h	: Saat
H₂SO₄	: Sülfürik asit
H₂O	: Su
I	: Akım
I_{tmax}	: Darbe maksimum akım tepe değeri
Pb	: Kurşun
PbO	: Kurşun oksit
PbO₂	: Kurşun dioksit
PbO₄	: Kurşun peroksit
PbSO₄	: Kurşun sülfat
R	: Direnç
SiC	: Silisyum karbür
V	: Volt
V_{tmax}	: Darbe maksimum gerilim tepe değeri
Ω	: Ohm

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1 : Piyasada ticari olarak satılan bazı akülerin teorik ve deneysel değerleri	3
Tablo 2.1 : Farklı türdeki sekonder pillerin/akülerin özellikleri	13
Tablo 2.2 : Akü-araç ağırlık tablosu	20
Tablo 2.3 : Sert kauçuk kasa oto akü bileşenleri.....	22
Tablo 2.4 : PP kasa oto akü bileşenleri	22
Tablo 2.5 : Kurşun asit akü bileşenleri	23
Tablo 2.6 : Izgara metali, kutuplar ve köprüler içindeki bileşenler	23
Tablo 2.7 : Macunun içindeki bileşenler.....	23
Tablo 2.8 : Yoğunluk-Donma noktası tablosu	28
Tablo 2.9 : Farklı türdeki pillerin performans değerleri	31
Tablo 3.1 : Farklı özelliğteli indüktörler	64
Tablo 4.1 : Koruma direnci seçim tablosu	69
Tablo 4.2 : Serbest çalışan multivibratör için farklı R ve C değerleri için Lojik-1, Lojik-0, periyot, frekans ve geçerlilik süresi tablosu.....	75
Tablo 4.3 : Tek kararlı multivibratör için farklı RT2 ve C3 değerleri için periyot ve frekans tablosu	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Kurşun asit akü yapısının ayrıntılı gösterimi.....	14
Şekil 2.2 : Kurşun asit akü sınıflandırma.....	16
Şekil 2.3 : Sulu akünün üretim aşamaları.....	17
Şekil 2.4 : Farklı kapasitelerde şarj edilebilir Ni-Cd aküler.....	18
Şekil 2.5 : Gümüş-çinko akü yapısı.....	19
Şekil 2.6 : Stasyonier akü.....	20
Şekil 2.7 : Maden aküsü.....	21
Şekil 2.8 : Bir otomobil aküsünün yapısı.....	22
Şekil 2.9 : Akü Plakası.....	24
Şekil 2.10 : Seperatör.....	25
Şekil 2.11 : Kutu ve kapak çeşitleri.....	26
Şekil 2.12 : Otomobil aküsü kutupları.....	26
Şekil 2.13 : Elektrolit sıvısı ve elektron akışı.....	27
Şekil 2.14 : Bir akünün hücre yapısı.....	30
Şekil 2.15 : Akü kapasite değişimi.....	33
Şekil 2.16 : Akülerde sıcaklık-kapasite değişimi.....	34
Şekil 2.17 : Üç adet negatif, iki adet pozitif plakalı akü hücresi.....	35
Şekil 2.18 : Sabit potansiyel şarj yöntemi.....	36
Şekil 2.19 : Süngerimsi sülfat.....	40
Şekil 2.20 : Bariyer sülfat.....	41
Şekil 2.21 : Kristalize sülfat.....	41
Şekil 3.1 : Osilatör Devresi.....	42
Şekil 3.2 : NE555 zamanlayıcı blok şeması.....	44
Şekil 3.3 : Temel NE555 multivibratör devresi.....	46
Şekil 3.4 : Transistör ile gerçekleştirilmiş tek kararlı multivibratör devresi.....	47
Şekil 3.5 : Tek kararlı multivibratör tetikleme ve çıkış dalga şekilleri.....	48
Şekil 3.6 : NE555 ile gerçekleştirilmiş tek kararlı multivibratör devresi.....	48
Şekil 3.7 : NE555 ile gerçekleştirilmiş tek kararlı multivibratör devresi çıktısı.....	49
Şekil 3.8 : NE555 ile gerçekleştirilmiş ayarlanabilir tek kararlı multivibratör devresi.....	50
Şekil 3.9 : Tek kararlı nomografi.....	51
Şekil 3.10 : İki transistör ile gerçekleştirilmiş çift kararlı osilatör (flip-flop) devresi.....	52
Şekil 3.11 : İki transistörlü çift kararlı multivibratör dalga formu.....	52
Şekil 3.12 : NE555 ile gerçekleştirilmiş çift kararlı (flip-flop) multivibratör devresi.....	53
Şekil 3.13 : İki transistörle gerçekleştirilmiş temel serbest çalışan multivibratör devresi.....	54
Şekil 3.14 : NE555 ile gerçekleştirilmiş serbest çalışan multivibratör devresi.....	55
Şekil 3.15 : NE555 ile gerçekleştirilmiş serbest çalışan multivibratör devresi dalga formları.....	55
Şekil 3.16 : NE555 Serbest çalışan multivibratör devresi nomogram grafiği (Hz).....	57

Şekil 3.17 : Geliştirilmiş NE555 osilatör görev döngüsü.	59
Şekil 3.18 : Görev döngüsü %50 olan bir serbest çalışan osilatör.	60
Şekil 3.19 : N tipi çoğaltan kanallı (Enhancement) power Mosfet sembolü.	61
Şekil 3.20 : Mosfetlerin paralel bağlanması.	62
Şekil 3.21 : Dört ayaklı toroid bobin.	64
Şekil 3.22 : Kondansatörün eşdeğer devresi.	66
Şekil 4.1 : Akü koruma cihazı simülasyon devre şeması.	71
Şekil 4.2 : Serbest çalışan multivibratör birimi.	74
Şekil 4.3 : Serbest çalışan multivibratör çıkış sinyali 15ms ile 20ms arası.	77
Şekil 4.4 : Serbest çalışan multivibratör çıkış sinyali osilaskop çıktısı (Volt/div=2V, Time/Div=2µsn).	77
Şekil 4.5 : Tek kararlı multivibratör birimi.	78
Şekil 4.6 : Serbest çalışan multivibratör tetiklemeli tek kararlı multivibratör çıkış sinyali 15ms ile 20ms arası.	79
Şekil 4.7 : Serbest çalışan multivibratör tetiklemeli tek kararlı multivibratör osilaskop çıkışı (Volt/div=5V, Time/Div=5µsn).	80
Şekil 4.8 : $V_B=10V$, $R_B=30\Omega$ olan aküye uygulanan gerilim darbeleri.	81
Şekil 4.9 : Şekil 4.8 'teki sinyallerden bir tek sinyalin ayrıntılı incelenmesi.	81
Şekil 4.10 : $V_B=10V$, $R_B=30\Omega$ olan aküye uygulanan akım darbeleri.	82
Şekil 4.11 : Desülfatör çıkış katı devresi.	82
Şekil 4.12 : Mosfetler yalıtımda iken gerilim akışı.	83
Şekil 4.13 : L2 bobinin C10 kondansatörü tarafından şarj ve deşarj grafiği.	83
Şekil 4.14 : Mosfetler iletimde iken gerilim akışı.	84
Şekil 4.15 : L2 doyumda, Mosfetler iken gerilim akışı.	85
Şekil 4.16 : $V_B=10V$, $R_B=2.7m\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	87
Şekil 4.17 : $V_B=10V$, $R_B=27m\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	87
Şekil 4.18 : $V_B=10V$, $R_B=270m\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	88
Şekil 4.19 : $V_B=10V$, $R_B=2.7\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	88
Şekil 4.20 : $V_B=10V$, $R_B=27\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	89
Şekil 4.21 : $V_B=10V$, $R_B=270\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	89
Şekil 4.22 : $V_B=10V$, $R_B=2.7k\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).	89
Şekil 4.23 : Baskı devre üstten görünüm (3d Simülasyon).....	90
Şekil 4.24 : Baskı devre alttan görünüm (3d Simülasyon).....	91
Şekil 4.25 : Baskı devre komponent yerleşimi.....	91
Şekil 4.26 : Devrenin komponent montajının tamamlandıktan sonraki durumu	92
Şekil 4.27 : Deney çalışmasının fiili görüntüsü.	92
Şekil 4.28 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=4m\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.	94
Şekil 4.29 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=4m\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi yakınlaştırılmış tek sinyal osilaskop çıktısı.	94

Şekil 4.30 : $V_B=12V$, $I_B=40A$, $R_B=3.2m\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.....	95
Şekil 4.31 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=24,8\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.....	95
Şekil 4.32 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=24,8\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi yakınlaştırılmış tek sinyal osilaskop çıktısı.	96
Şekil 4.33 : $V_B=12V$, $I_B=42A$, $R_B=13,5\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.....	96
Şekil 4.34 : $V_B=12V$, $I_B=60A$, $R_B=18,9\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.....	97
Şekil 4.35 : $V_B=12V$, $I_B=60A$, $R_B=33,1\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.....	97
Şekil 4.36 : Test için kullanılan akünün test öncesi bir hücredeki durumu ($12V$ $55A$, $R_B=13.5\Omega$).....	98
Şekil 4.37 : Test için kullanılan akünün test sonrası bir hücredeki durumu ($12V$ $55A$, $R_B=13.5\Omega$).....	98

OTOMOBİLLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR AKÜ KORUMA CİHAZI TASARIMI

ÖZET

İlk kurşun asit aküyü 1859 yılında Fransız asıllı bilim insanı Gaston Plante'nin keşfetmesinden bu yana akü teknolojileri yeni malzeme ve teknolojilerin gelişmesi ile büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Kurşun asit aküler modern dünyada günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Telekomikasyon, bilgi teknolojileri taşıma araçları gibi birçok alanda hizmet vermeye devam etmektedir.

Kurşun asit akülerin üretim maliyeti düşük, üretimi ve geri dönüştürülmesi kolay olduğundan enerji depolama sistemlerinde baskın bir durumda kullanılmaktadır. Bu nedenle batarya teknolojileri dünya çapında yıllık on milyarlarca dolarlık ciroya ulaşmıştır.

Kurşun asit aküler içerisinde sürekli olarak gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda dinamik bir sistem olarak tanımlanabilir. Bu yapı kimya, elektrokimya, fizik, metalürji ve korozyon bilimlerinin yasalarına tabidir.

Kurşun asit akülerin en büyük dezavantajı akünün iç direncinin artmasına ve kapasitesinin düşmesine sebep olan sülfatlaşmadır. Sülfatlaşma probleminin en uygun çözümü akünün şarj ve deşarj karakteristiğine uygun elektrokimyasal tepkime kontrolünün sağlanması ile mümkündür. Bu bağlamda akülerin elektrokimyasal tepkime kontrolünün amaca uygun olarak gerçekleştirilmesi, ömürlerinin uzatılması ve verimli kullanılması ile ilgili birçok farklı çalışma yapılmış ve bazıları patent altına alınıp ticari ürün haline getirilmiştir. Farklı elektrolitlere sahip akülerde bu amaçları yerine getirecek farklı tasarımlara sahip birçok şarj düzenleyici sistem geliştirilmiştir.

Kurşun asit akülerin verimli çalışması, çalışma performansında oldukça önemli bir etken olan sıcaklık etkisinin geri besleme olarak kullanıldığı bir tasarım yapılması ile mümkündür. Bu çalışmada tasarımı yapılan akü koruma cihazında (AKC) akünün verimli çalışmasında en önemli etken olan sıcaklık etkisinin geri besleme olarak kullanıldığı bir tasarım yapılarak koruma fonksiyonunun etkin olarak uygulanması sağlanmıştır. Çalışmada, akülerde sülfatlaşma probleminin akü vazife görürken ve beklerken elektrokimyasal tepkime kontrolü yapılarak azaltılması veya kurşun asit akülerde kalıcı sülfatlaşmanın oluşumunun engellenmesi maksadıyla Mosfetlerin sıcaklığına göre ters orantılı olarak akü kutuplarından genliği ve frekansı ayarlanabildiği sinyaller ile akünün uyarılarak elektrokimyasal tepkime kontrolü sağlayabilen bir akü koruma cihazı tasarımı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kurşun Asit Akü, Akü, Sülfatlaşma,

DESIGN OF AN INNOVATIVE BATTERY PROTECTION DEVICE FOR AUTOMOBILES

SUMMARY

The invention of electricity is the greatest achievement that changes and facilitates human life. Since the invention of the first lead acid battery by the French scientist Gaston Plante in 1859, battery technologies have made great progress with the development of new materials and technologies. Lead acid batteries have become an indispensable part of everyday life in the modern world. Batteries have been used in many areas like telecommunication and information technology transportation vehicles.

Lead acid batteries are used widely in energy storage systems since they have low production costs, easy to manufacture and recycle. That's why battery technologies have reached tens of billions of dollars annually worldwide.

Lead acid batteries can be defined as a dynamic system as a result of continuous reactions in them. This structure is dependent to the laws of chemistry, electrochemistry, physics, metallurgy and corrosion sciences.

The main disadvantage of lead acid batteries is the sulphatation, which leads to increased internal resistance and reduced capacity of the battery. The most appropriate solution to the sulphatization problem is by providing electrochemical reaction control in accordance with the charge and discharge characteristics of the battery. In this context, many different studies have been carried out for the purpose of performing the electrochemical reaction control of the batteries, prolonging their life and using them efficiently and some of them have been patented and turned into commercial products. For batteries with different electrolytes, several charge regulator systems with different designs have been developed to fulfill these objectives.

Efficient operation of lead acid batteries is possible with a design in which temperature effect, which is an important factor in operating performance, is used as feedback. In this study, the design of the battery protection device (BTC), which uses the temperature effect, which is the most important factor in efficient operation of the battery, is used as feedback to ensure the effective implementation of the protection function. During the thesis, a battery protection device is designed to reduce the sulfation problem of batteries by electrochemical reaction control for the battery, or to prevent the formation of permanent sulphation in lead acid batteries. For this purpose, a design has been created that can provide electrochemical reaction control by stimulating the battery with signals that the amplitude and frequency can be adjusted from the battery poles in inversely proportional to the temperature of the Mosfets.

Keywords: Lead Acid Battery, Batteries, Sulfation,

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Enerji Depolama Sistemlerinde Akülerin Yeri

Enerjinin birçok farklı tanımı olmakla birlikte fiziksel tanımı şu şekilde yapılabilir; maddelerin iş yapma özelliğine enerji denir. Maddeler buldukları fiziksel konumlarını ya da hallerini ancak enerji sayesinde farklılaştırabilirler [1].

Şu ana kadar enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların azalması, enerjinin en efektif şekilde kullanılmasını mecburiyet haline getirdi. Enerjinin oluşturulması başlı başına bir problem iken, bu oluşturulan enerjinin depolanması da halledilmesi gereken bir önemli mevzudur.

En az kayıpla depolanan enerjinin verimliliği de artmış olur. Böylece fosil kaynaklar daha az kullanılmış ve çevre daha az kirlenmiş olur. Enerji depolama konusunda aküler çok önemli bir yer tutmaktadır.

1.2. Dünyada Akümülatör Sektörü

Küresel ölçekli kurşun asit akü pazarının büyüklüğü 2018 yılı itibarıyla 61.74 milyar dolardır. New York ta 20 Mart 2019 da Globe Newswire da yayınlanan bir rapora göre küresel kurşun asit akü piyasasının 2026 yılına kadar 95.32 milyar dolar seviyelerine ulaşması tahmin edilmektedir. Yükselen telekomünikasyon sektörü ve genişleyen veri endüstrisi yedek güç ihtiyacını sağlamak için bu pazarın gelişimini yönlendirmektedir. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde otomotiv, sağlık, elektrik ve telekom endüstrisi gibi sektörlerden gelen talebin artması, pazarın büyümesini teşvik etmektedir. Kurşun asit aküler rakiplerine göre daha düşük fiyatlara sahip olması dolayısıyla daha yaygın olarak kullanılır ve tercih edilirler [2].

Akü sanayisi farklı ihtiyaçlar için farklı özellik ve yapılarda ürünler geliştirmiştir. Denizaltı aküsünden elektrikli taşıt aracı aküsüne, değişik tür ve modelde ihtiyaca uygun

aküler bulunmaktadır. Bunun en büyük sebebi ağırlığının fazla olmaması ve maliyetinin de düşük olması olarak göze çarpıyor. Otomobil satışları da bu pazarın genişlemesine büyük destek sağlamaktadır. Bir örnek vermek istersek, OICA 'ya göre (Uluslararası Motorlu Araç Üreticileri Örgütü) küresel çapta otomobil satışları 2018'de 95.6 milyon adede ulaşmıştır [3].

1.3. Türkiye’de Akümülatör Sektörü

Ülkemiz, ulusal piyasalarda üretilen ürün çeşitliliği bakımından ve nitelikli ürün üretme bazında yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bununla birlikte uluslararası firmalar ile rekabet edebilecek bir düzeye gelmiştir.

Ülkemizde 2018 yılı itibariyle mevcut teknolojik alt yapı ile farklı özelliklerde yaklaşık 15 milyon adet kurşun asit akü üretilmiş olup bu akülerin parasal değeri 1.5 milyar TL civarındadır. Sektörün yıllık ihraç ettiği akü ve akü parçalarının maliyeti ise 400 milyon dolar civarlarındadır. Bununla birlikte geri dönüşüm tesislerine ulaştırılan yıllık 110 bin ton atık akülerden, 60 bin ton kurşun ve 15 bin ton plastik ekonomiye geri kazandırılmıştır [4].

Ulusal olarak farklı büyüklüklerde akü üretimi yapan 25 civarı şirket bulunmaktadır. Akü üretimi yapan bu firmalar şuanda kapasitenin altında üretim yapmaktadır.

1.4. Tezin Amacı

İnsanlar kurşun-asit aküleri düşündüklerinde, genellikle bir araç aküsünü hayal ederler. Bu aküler motoru çalıştırmak amacıyla kısa bir zaman içinde yüksek bir güç akışı sağlayabilirler.

Ayrıca derin döngü (Deep Cycle)/(VRLA) aküleri de; motorlar, vinçler, tekneler, spot ışıklar vb cihazlara güç sağlamak için kullanılmaktadır. Başlangıç akülerine (starter/otomobil aküsü) nispeten çok daha uzun süre düşük ve sabit bir güç akışı sağlayabilirler.

Kurşun aküler çok sayıda farklı amaç için kullanılır, ancak tüm aküler başlangıç veya derin döngü gücü sağlayabilmektedirler. Tek fark, ne kadar gücün ne kadar süre verilmesi gerektiğidir.

Bir otomobil aküsünün ana amacı marş motorunu çalıştırmak ve ateşleme sistemine güç sağlamaktır. Ayrıca, sistemin elektrik yükü, şarj sisteminden beslemeyi aştığında gerekli olan ekstra gücü sağlamaktır. Aynı zamanda araç elektrik sisteminde gerilim dengeleyici görevi görmektedir. Akü, gerilim yükselmelerini önler ve elektrik sistemindeki diğer bileşenlere zarar verilmesinin önüne geçmektedir.

Piyasada ticari olarak satılan bazı akülerin teorik ve deneysel değerleri Tablo 1.1'de gösterilmektedir. Akü teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, pazarda bazı farklı alternatifler geliştirilmiştir, ancak en yaygın kullanılan akü tipleri, günümüzde kurşun-asit akülerdir. Otomobillerde, endüstriyel ve sabit uygulamalarda kurşun asit aküler tercih edilmektedir [5].

Tablo 1.1 : Piyasada ticari olarak satılan bazı akülerin teorik ve deneysel değerleri.

Akü Tipi	Pozitif	Negatif	Teorik Değerler		Deneysel Değerler		
			Gerilim (V)	Spesifik Enerji (Wh/kg)	Nominal Gerilim (V)	Spesifik Enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/L)
Kurşun - Asit	Pb	PbO ₂	2,1	252	2	35	70
Nikel Kadmiyum	Cd	NiO	1,35	244	1,2	35	100
Nikel - Metal Hidrit	Metal Hibrit	NiO	1,35	240	1,2	75	240
Gümüş Çinko	Zn	AgO	1,85	524	1,5	105	180
Lityum - İyon	Li _x C ₆	Li _{1-x} CoO ₂	4,1	410	4,1	150	400

Kurşun asitli akü, yaklaşık 100 yıldır araçlarda standart elektrik enerjisi depolama aygıtı olarak görev yapmaktadır. Bu süre zarfındaki rolü, motorlu taşıt elektrik sisteminin ihtiyaçlarını karşılayarak, alternatörün yük geçişleri sırasındaki güç çıkışını desteklemeyi de içerecek şekilde orijinal motor kranklama görevinin yerine getirmektir. Önceden kablo veya hidrolik ile çalışan güvenlik açısından kritik sistemler elektrikleştikçe, akülerin güç ve enerji sağlama yeteneğinin belirlenmesi giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu nedenle akü performansının düşmesini önlemek ve akünün sağlık durumunu iyileştirmek ya da korumak amacıyla bazı çalışmalar ortaya çıkmıştır [6].

Güvenilirlikleri, değişken kapasite ve değarj derinlikleri, geniş sıcaklık aralıkları, kısmi şarj durumları, yüksek şarj oranları ve diğer birçok değişken kurşun asit akülerin geniş uygulama yelpazesinde kullanımında tercih sebebi olmasını sağlamaktadır. Hammadde, akü tasarımları ve üretim süreçlerindeki son yenilikler, kurşun akü teknolojisinin üstün güvenilirliğini göstermeye devam etmektedir.

Bir akünün şarjı boşaldığında veya normal çalışma döngüleri sırasında şarj edilmesi gerektiğinde, elektrotlarda yavaş yavaş akan sülfat kristalleri akünün etkin bir şekilde akım vermesini önlemektedir. Gerçekleşen bu kristaller akünün ölümüne sebep olduğu gibi aynı zamanda sülfatlaşma olarak da bilinen bu işlem, akünün erken bozulmasının ana nedenidir. Battery Council International [7] verilerine göre akü arızalarının %84'ü sülfatlaşma kaynaklıdır. Bundan dolayı aküler nominal kullanım sürelerinden çok daha kısa sürede kullanılmaz hale gelmektedir.

Kurşun sülfat, iç direnci artırır ve elektrolitin özgül ağırlılığını azalmasına sebep olur. Bu durum karşısında akünün seperatörlerinin üzerinde sülfat birikmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır. Daha da kötüsü, 3-4 yıl sonra süreç önemli ölçüde hızlanmaktadır.

Sülfürik asit plakalarda çok uzun süre kaldığında gözenekler sülfat kristalleri ile tıkanacaktır. Bu akünün şarj kapasitesini düşürdüğü gibi ani yük çekişlerindeki enerji ihtiyacını karşılama kabiliyetini de kalıcı olarak ortadan kaldıracaktır. Bu değarj süreci ne kadar uzun devam ederse akünün geri kazanılma ihtimalide o minvalde azalacaktır.

Akülerin bakımı düzenli olarak yapılmaz ve disiplinli bir şekilde kullanılmazlarsa aküler tamamen kullanılamaz duruma gelebilir. Bakım için akülerin aralıklarla tam şarj edilmesi, eksilmişse elektrolit ilavesi yapılması gerekmektedir.

Plakalarda oluşan sülfat pozitif ve negatif levhaları izole eder ve akü kapasitesinin düşmesine sebep olur. Akü sülfatlandıkça kurşun plakaların yapısı bozulur, plakalarda kırılma ve delinmeler ortaya çıkmaya başlar. Kırılan bu plaka parçaları hücrelerin altına düşerek hücrenin yapısının tamamen bozulmasına ve kısa devre olmasına sebep olacaktır.

Bu çalışma da genel olarak kurşun asit aküler incelenecek olup, bu akülerin çalışma performanslarının iyileştirilip verimlerinin artırılması adına araştırmalar yapılacaktır.

Hareketli ve sabit güç ihtiyaçlarını karşılamada kullanılan aküler, yüksek güç seviyeleri için daha çok kurşun-asit ve nikel-kadmiyum çözeltilerinden sulu ve kuru tip olarak

üretilmektedir. Günümüzde araç akülerinin %95'i sulu tip akülerdir. Bu akülerin raf ömrü veya araca takılıp son müşteriye ulaştıktan sonra garanti süresi bitene kadar geçen sürecin yönetilmesi araç üreticileri için servis ve garanti süreçlerinde önemli bir role sahiptir. Garanti süreci sonrası için akülerin daha kısa hizmet ömrünün olması ulusal boyutta ekonomik ve çevresel zararlar vermektedir. Araçlarda kullanılan kurşun-asit bazlı akülerde elektrolit yoğunluğu şarj durumunun en temel göstergesidir. Yoğunluk, sülfatlaşma temelli çözelti içindeki asit miktarına bağlı olduğu gibi sıcaklıkla da değişmektedir. Bu durum akülerin çalışma ömrü üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Aküde oluşan kurşun sülfat ince kristal yapıya sahiptir ve hali hazırda şarj akımı ile dönüşümü gerçekleşmektedir. Akü uzun süre şarj edilmediğinde oluşan bu ince kristal yapıdaki kurşun sülfat kalınlaşarak şarj akımı ile reaksiyona giremeyecek duruma gelmektedir. Sülfatlaşma belirli bir sürede giderilemez ise aküde geri döndürülemez ölçüde yıpranma ve arızalar görülecektir. Oda koşullarında $1,14\text{gr/cm}^3$ - 11.5V 'dan küçük veya hücreler arası dengesi kaybolmuş olan akülerin, aracın şarj sistemi ile toparlanıp, dengelenmesi zordur. Bu durum sülfatlaşma önleyici mekanizmanın sürekli devrede kalmasını gerektirmektedir. Akü koruma cihazı ile akünün elektroliz reaksiyonlarının $1,28\text{gr/cm}^3$ elektrolit yoğunluk değerini koruyacak şekilde kontrolünün sağlanması akünün çalışma sürekliliğini sağlamada önemlidir.

Bu çalışmada akülerde sülfatlaşma probleminin akü vazife görürken ve beklerken elektrokimyasal tepkime kontrolü yapılarak azaltılması veya kurşun asit akülerde kalıcı sülfatlaşmanın oluşumunun engellenmesi amacıyla akü kutuplarından, genliği ve frekansı ayarlanabilen sinyaller ile akünün uyarılarak, elektrokimyasal tepkime kontrolü sağlayabilen bir akü koruma cihazı tasarımı yapılmıştır.

Misyonumuz, çevresel etkileri azaltmak, enerji tasarrufuna katkıda bulunmak ve etkin geri dönüşüme rağmen sınırlı doğal kaynaklar ile enerjiden en iyi şekilde faydalanmaktır.

1.5. Literatür Araştırması

Günümüzde, gelişmiş kurşun-asit (VRLA) aküleri basit üretim süreçleri ve hafif çevre kirliliği nedeniyle ulaşım araçlarında, bilgi teknolojilerinde ve enerji depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, VRLA akülerinin ömrü de sülfatlaşma probleminin dolaylı kısıdır [8].

Singh ve Karandikar 'ın yaptıkları karşılaştırmalı analiz ve geleceğe dönük incelemeye göre, gelecekteki desülfasyon sistemlerinin üçten fazla kontrol parametresiyle yapay zekâ desteği benimsenerek yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır [9].

Her ne kadar kimyasal elektrolit yapı iyileştirilmiş olsa da, çalışma prensibi ve akü arızalarına sebep olan temel nedenler değişmeden kalmıştır [10].

Günümüzde elektrikli araç üreticilerinin karşılaştığı en büyük problem akülerin uzun şarj süresi ve zayıf bakım nedeniyle garanti iadeleridir [11]. Çeşitli araştırmalara göre, sahadaki akülerin genellikle kullanım ömrünün sonunda olduğu kabul edilirken yeterli şarjın kapasitenin önemli bir kısmını geri kazandırılabilceğini göstermiştir [12, 13].

ALABC değerlendirmelerine göre asıl amaç sadece aküyü hızlı şarj etmek değil en kısa sürede tam şarj etmektir [14]. Aküleri çok daha kısa sürede şarj edebilmek için darbeli akımlarla şarj cihazı geliştirme ile ilgili kapsamlı araştırmalar yapılmıştır [15, 16]. Kurşun asit akülerin uzun ömürlü kullanımı için yüksek akımlı darbeli şarj tekniği önerilmiştir [17].

Teorik ve deneysel araştırmalar, sıcaklığın aküler için çok kritik parametre olduğunu göstermiştir. Kısa sürede tam şarj, yalnızca yüksek sıcaklıklarda yapılabilirliği ortaya konmuştur [18]. Kurşun asitli akülerde tam şarjın sağlanamaması, akü ömrünün bozulmasının temel nedeni olan sülfatlaşmanın ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [14].

Otomotiv aküleri genellikle 30dk gibi bir süre şarj altında kalmaktadır, 3 saat ve üstünde şarj olmaları ise nadiren olmaktadır. Aslında bu yolculuğun süresi ile değişmektedir. Bununla birlikte her ne kadar gerçek dünya şartlarına göre gerçekçi olmasa da Avrupa Standartlarına göre otomobil akülerinde tam şarjlı hale getirebilmek için standart şarj 24 saat boyunca 16V'luk sabit bir gerilim olarak tanımlanmaktadır [19].

Diniz ve arkadaşları pozitif plakalar için farklı darbeli akım oluşumu koşulları üzerinde çalışmış, sonuç olarak daha uzun oluşum süreleri ve düşük frekansların (kısa oluşum süreleri için) PbO₂ verimi açısından en iyi koşullar olduğu sonucuna varmışlardır [20].

Kısmi şarjlı çalışma ve - maksimum - sporadik tam şarjlı çeşitli uygulamalarda, kurşun-asit aküler, kurşun-asit teknolojisinin gerçek potansiyeline kıyasla hızlı kapasite kaybına ve daha kısa ömre sahiptir. Sülfasyon, bu şartlar altında baskın yaşlanma mekanizmasıdır [21 - 23].

Jiramoree ve arkadaşları tarafından yazılmış bir raporda akü elektrotlarının üzerindeki sülfat kristalinin neden olduğu sülfatlaşmanın bütün kurşun asit akü arızalarının %80'inden fazlasını oluşturduğunu belirtmiştir [24].

Sülfatlaşmanın akü elektrotlarının aşınmasına neden olabileceği gibi akülerin iç dirençlerini arttırdığını ve ayrıca elektrotların aktif alanını azaltabileceğini belirtmiştir. Bu etkiler akünün şarj işlemi sırasında yüksek miktarda ısı oluşmasına ve elektrolit ile aktif malzeme arasındaki kimyasal reaksiyonun zayıflamasına neden olarak kurşun asit akülerin kapasitesini ve ömrünü etkilediği sonucuna varmıştır [25 - 27].

Sülfatlaşma şarj döngüsünü etkilediği gibi daha uzun şarj süreleri, daha az verimlilik, eksik şarj olma ve daha yüksek akü sıcaklığı ile sonuçlanmaktadır [28].

Şarj sırasında darbeli akımların kullanılması, elektrotlar üzerindeki kurşun sülfatın gelişimini azaltacağı ve hatta akülerin çok daha uzun bir süre boyunca “şarj edilebilirliğini” sürdürebileceği bir yöntem olarak önerilmiştir [29 - 34].

Sülfatlaşma seviyesini ölçen ve bu kristalleri tersine döndüren uygulamalar sürekli geliştiriliyor. Bu geliştirmeleri yapanlar, sülfatlaşma oluşan bir aküde sadece sülfatlaşma giderilene kadar bu uygulamaları gerçekleştirmişlerdir [35 - 38].

Yaptıkları 313 saatlik desülfasyon deneylerinin sonucunda bir VRLA aküsünün bir hücrede %41 kapasite artışı ve akünün genelinde ise %30 kapasite artışı kanıtlanmıştır. Ayrıca elde ettikleri verilere göre bir hücrenin kapasite kaybının %33'ü tüm akünün genelinde ise %25'inden sülfatlaşmanın neden olduğu tanısı konulmuştur [38].

Sülfatlaşma yumuşak sülfatlaşma ve sert sülfatlaşma olarak iki türlüdür. Yumuşak sülfatlaşmadaki bir akü geri döndürülebilir. Fakat sert sülfatlanmış bir akü geri döndürülemez. Aküdeki sülfatlaşma erken farkedilmişse hücrelere yaklaşık 200mA'lik bir akım ve 2.50V–2.66V arası bir gerilim her hücreye yaklaşık 24 saat boyunca uygulanarak giderilebilir [39].

Desülfatör teknolojisi için ilk patent 1989 yılında daha fazla fayda ve ömrü sağladığı gerekçesiyle alınmıştır. Bu teknoloji ile akü tam kapasite çalışacağı gibi daha hızlı şarj olup daha uzun süre kullanılabilmesidir. Sonuçta üretkenlik artırılıp, maliyet azaltılır ve çevresel etki önlenir [10].

Akü yüksek frekanslı bir darbeye şarj edildikten sonra, CCA ve tam akü geriliminin arttığını, yüke daha uzun süre akım ilettiğini ayrıca iç direncin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Sonuç olarak, yüksek frekanslı darbeli şarjın kurşun-asit aküler için bir desülfasyon yöntemi olduğu anlamına gelmektedir [34, 40, 41].

Nattapat ve arkadaşının geliştirdiği darbeli frekans tekniği sülfatlanmayı ortadan kaldırdığı gözlemlenmiş, akünün ömrünün uzadığı ve şarj cihazında verimliliğini arttığını deneysel sonuçlarına göre bildirmekteler [42].

Yüksek frekansta çalışma beraberinde bazı problemleri de getirmektedir. Frekans arttıkça anahtarlama kayıpları artar, devredeki parazitik bileşenlerin etkisi ihmal edilemez boyutlara ulaşır ve bunun sonucunda güç kaynağının verimi azalır [43].

1.6. Hipotez

Akülerin ömür beklentisini ve çalışma performansını arttırmaya yönelik gerek bireysel gerekse kurumsal olarak birçok farklı çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların bazılarında farklı elektrolit bileşenler test edilirken bazılarında ise elektriksel sinyaller ile işlem gerçekleştirilmektedir. Çalışmalar arasında aküye buşonlardan gaz basıncı uygulanarak gerçekleştirilmiş [38] deneyler ve çalışmalar da mevcuttur.

Akünün verimini arttırmak için pratik ve ekonomik çözümler kullanılabilir olduğundan kullanıcılar tarafından kabul görecektir. Bu nedenle genellikle elektrik sinyalleri ile yapılan uygulamalar bilimsel çalışma olarak rağbet gördüğü gibi firmaların da ilgisini çekmektedir. Akü piyasasının ekonomik büyüklüğü düşünüldüğünde bunun ne kadar avantajlı ve değerli bir pazar olduğu kısa sürede anlaşılacaktır [2].

Kurşun asit akülerdeki en büyük problem, hatalı şarj ya da boşalma nedeniyle kolayca sülfatlanmasıdır. Bu nedenle, kükürt giderme devresi veya şarj kontrolörü, uygun şarj için şarj edilebilir kurşun-asit aküler ile birlikte kullanılır ve ardından sülfatlama azaltılır. Kurşun asit aküler için çeşitli tekniklere dayalı olarak kükürt giderme işlemleri yapılmaktadır [9].

Yapılan bazı teorik ve deneysel araştırmalar, sıcaklığın aküler için çok kritik parametre olduğunu göstermiştir. Öyle ki akü tam şarj edebilmek ancak yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu beyan edilmiştir [18].

AKC tasarımı yapılırken, akünün verimli çalışmasında etkin rol oynayan sıcaklığın etkisi geri besleme olarak kullanılarak etkin bir koruma sistemi oluşturulacaktır. Ayrıca sistem bileşenlerinin ve akünün maruz kaldığı sıcaklık değerlerine göre uygulanan elektrik darbelerinin frekans, akım ve gerilim değerlerinin sistem tarafından otomatik olarak optimize edilmesi planlanmaktadır. Bu vesile ile enerji kayıplarının önüne geçilirken hem sistemin hemde akünün korunması hedeflenmektedir.

Yapılması hedeflenen bu çalışma akülerin ömürlerinin uzatılıp verimli bir şekilde kullanılmasını ve bu doğrultuda akünün iç direncinin düşürülüp CCA değerinin artırılıp daha uzun süre kullanılması amaçlanmaktadır.

Bu amaç gerçekleştiğinde ulusal ve uluslararası düzeyde ekonomik ve çevresel faydalar sağlayacaktır. Günümüz dünyasında çevreye verilen değer her geçen gün artarken bu çalışmada duyarsız kalmamız kabul edilemezdi.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Aküler Hakkında Genel Bilgiler

Bu tez çalışmasında akülerin geneli hakkında bilgi verilmesinin yanında yoğun olarak kurşun asit akülere odaklanılacaktır.

Üç parçadan oluşan kurşun asit aküler 1859'dan itibaren üretilip kullanılmaya başlanmıştır. Artı yük tarafında kurşun dioksit (PbO_2), eksi yük tarafında ise metalik kurşun (Pb) ve elektrolit görevi görmesi için de sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılmıştır. Bu tür akülerde kimyasal enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi için sünger kurşun ve kurşun peroksit tercih edilmektedir. Enerji santralleri ve merkezi trafolar bu çeşit akülerin en çok kullanıldığı alanlardan bazılarıdır. Bunun sebebi daha fazla hücre gerilimine ve daha az üretim maliyetlerine sahip olmasıdır. Bununla beraber araçlarda, enerji ihtiyacı olan trafik işaretlerinde ve deniz akülerinde geniş çapta kullanılmaktadır [3].

Akülerin üretimi hakkında kısa bir bilgi vermek gerekirse ilk olarak ızgaraların oluşturulmasından bahsetmemiz gerekmektedir. Bu ızgaralar az yüzdelerde fakat yeterli miktarda metal türleriyle bir araya getirilmiş kurşun alaşımları ile oluşturulur. Bu ızgaralar elektrik akımının akmasını sağlar ve aktif maddenin de tutunması için bir yüzey oluşturur [7].

Sonraki adımda ise, toz kurşun bulunduran kurşun oksit, su ve sülfürik asit eklenerek ızgaraların üzerine yapıştırılır. Toz sülfattan oluşmuş genişletici madde de negatif plakayı oluşturmak amacıyla eklenir [7].

Daha sonra, yapıştırılan plakaların sağlamlaştırılması gerekecektir. Bu işlem orta sıcaklıktan yüksek sıcaklığa çıkarılmasıyla ve nemin değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu işlem 2 veya 4 gün boyunca sürdürülmelidir. Bu süreçte kristalleşme artarak maddelerin ızgaraya daha çok yapışmasını sağlamaktadır. Bu işlem sonrasında plakaların soğutulması ve tamamen kurutulması gerekir [7].

Plakalar hazırlandıktan sonra, aralarına seperatör (ayırıcı) konularak sıkıştırılır. Seperatörler kısa devreyi önler ve plakalar arası elektrik alışverişinin oluşmasına izin verir. Bütün artı plakalar birbirine ve bütün eksi plakalar da birbirine bağlanır. Pozitif plaka, negatif plaka ve seperatörün oluşturduğu bütünlüğe hücre ismi verilir. Daha sonra bu hücreler akünün içine seri şekilde dizilir. Talep edilen kapasite değerine göre hücre sayısı değiştirilip gerekli bağlantılar yapılarak bir akü elde edilebilir [7].

Şu ana kadar anlatılan kısım tamamlandıktan sonra, hepsinin içinde bulunduğu kasa üzeri bir kapakla kapatılır. Artı ve eksi kutuplar akünün dışında kalacak şekilde asit sızdırmayan bir conta yardımı ile kapatılır [7].

Son aşamada kasa sülfürik asit veya elektrolit ile doldurulur ve şarj edilmesi için şarj istasyonlarına gider. Son olarak belirli testlerden geçer ve müşterinin kullanacağı hazır hale gelmiş olur [7].

VRLA akü için en yaygın bozulma mekanizmaları arasında [44 - 51]:

- Pozitif elektrot korozyonu
- Geri dönüşümsüz sert sülfatlaşma
- Su kaybı / kuruması
- Pozitif elektrot yumuşaması ve dökülmesi
- Elektrolit tabakalaşması
- Dâhili kısa devre
- Mekanik hasar (akım konnektörü arızası, kasa hasarı, vb.)
- Diğerleri (pasif kurşun oksit filmi, termal kaçak vb.)

Genellikle bu arızalar birbirlerinden bağımsız değildir ve bir hücrede birden fazla arıza mekanizması oluşabilir. VRLA aküleri bu etkileri olabildiğince en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak çalışma ortamı, akünün üretimdeki ve kullanımından kaynaklanan farklılıklar, farklı bozulma mekanizmalarının kapasite kaybına ve empedans artışına neden olabilir.

2.1.1. Akünün tanımı

Elektrik enerjisini depolayarak kimyasal enerji olarak saklayan ve daha sonra gerektiğinde tekrar eski hali olan elektrik enerjisine çeviren cihazlara akü ismi verilmiştir.

Aküler şarj esnasında hariçten gelen elektriği iç kısmındaki değişiklik ile kimyasal olarak depolar ve tekrar elektrik ihtiyacı olursa içyapısındaki değişikliğin tam tersini oluşturarak tekrar elektrik enerjisinin ortaya çıkmasını sağlar [52]. Aküde kullanılan elektrot çeşidine göre asit veya baz bulunduran aküler üretilir. Daha önce de dile getirildiği gibi bu kısımda genellikle kurşun asit aküler üzerinde durulacaktır.

2.1.2. Akü çeşitleri

Birçok akü sınıflandırma kriterleri bulunmaktadır. Hammaddelerine göre, kullanım alanlarına göre veya farklı özellikler de bu sınıflandırmada yer alabilir. Burada ilk olarak primer ve sekonder olmak üzere yani tekrar şarj edilip edilememeye durumuna göre sınıflandıracğız.

2.1.2.1. Primer (tek kullanımlık) aküler

Bu tür piller içindeki yük bittiğinde yeniden doldurulamazlar ve ömürleri sonlanarak kullanılamaz hale gelirler. Maliyetinin az olması ve hacim olarak da küçük olmalarının avantajı ile çok fazla iş için kullanılabilirler. Yüksek enerji gerektirmeyen elektronik ekipmanlar, saatler, lamba ve fener gibi sıklıkla kullandığımız cihazlar primer pillerin kullanıldığı alanlardan bazılarıdır. Bunlara örnek olarak en tanınan tür olan çinko-karbon pilleri verebiliriz [53].

2.1.2.2. Sekonder (tekrar doldurulabilir) piller

Teknoloji ve yüksek enerji gerektiren cihazlar ile beraber tek kullanımlık piller yetersiz kalmıştır. Böylece tekrar doldurulup kullanılabilen ve çok fazla çeşide sahip sekonder piller üretilmiştir. Her çeşidin kendine ait kapasite, verimlilik, ömür, maliyet bazında özellikleri mevcuttur. Pil (akü) seçilirken kullanım alanına göre bu kriterler göz önünde bulundurularak seçim yapılır. Aşağıdaki Tablo 2.1'de farklı sekonder pillerinin gerilim seviyeleri gösterilmektedir [53].

Tablo 2.1 : Farklı türdeki sekonder pillerin özellikleri.

Batarya Çeşidi	Nominal Gerilim (V)	Açık devre gerilimi (V)	Çalışma gerilimi (V)	Sonlanma gerilimi (V)
Kurşun-asit	2.00	2.10	2.00-1.80	1.75
Nikel-kadmiyum	1.20	1.29	1.25-1.00	1.00
Nikel-metal hibrit	1.20	1.40	1.25-1.10	1.00
Nikel-demir	1.20	1.37	1.25-1.05	1.00
Nikel-çinko	1.65	1.73	1.60-1.40	1.20
Çinko-gümüş oksit	1.50	1.85	1.70-1.30	1.00
Kadmiyum-gümüş oksit	1.20	1.40	1.40-1.00	0.70
Nikel-hidrojen	1.30	1.40	1.30-1.15	1.00
Lityum-iyon	4.00	4.10	4.00-3.00	3.00
Lityum-polimer	3.70	4.20	4.00-3.00	2.70

Metal çeşidine göre

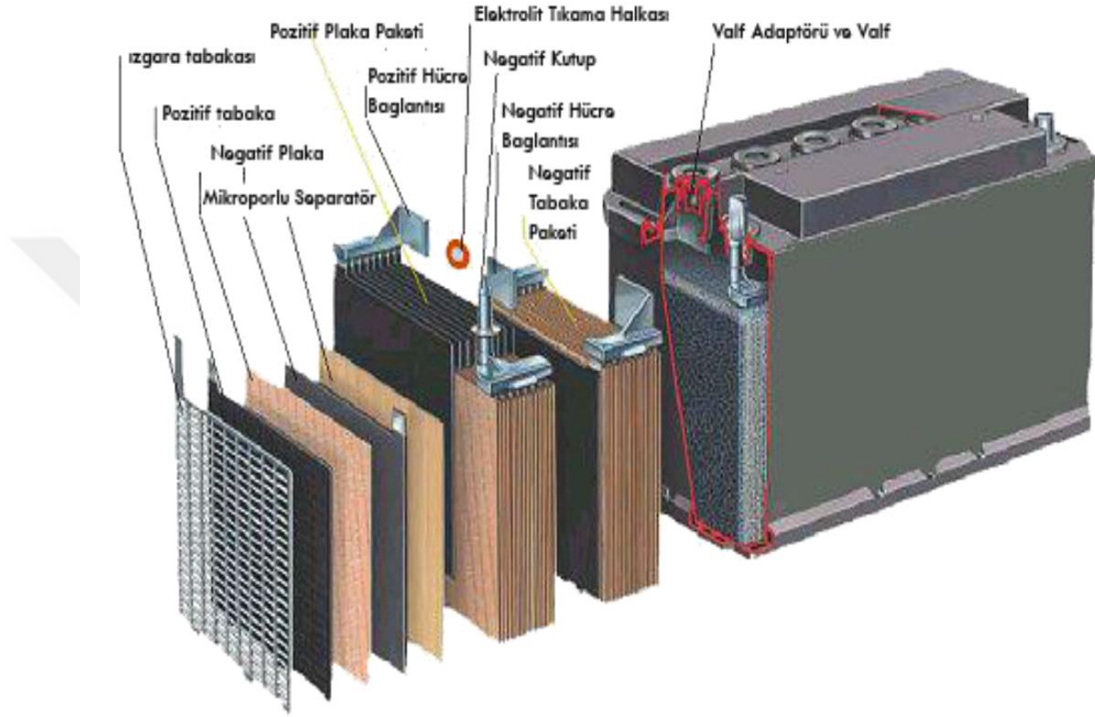
Farklı metaller ile üretilen ve farklı elektrolit sıvısı kullanılan çeşitli piller/aküler bulunmaktadır. Burada daha çok odaklanılacak kısım kurşun asit aküler olacaktır. Bilgi edinilmesi amacıyla farklı türlere de yer verilecektir. Metal çeşidine göre bakıldığında üç başlık altında incelenecektir. Bunlardan farklı olarak titanyum, zirkonyum, mangan, alüminyum, vanadyum, kobalt, demir ve krom elementlerini içeren birçok pil/akü çeşidi mevcuttur [54].

i) Kurşun asit aküler

Kurşun asit aküler, şarj edilebilen piller/aküler arasında en çok tercih edilen ve ilk üretilen tür olarak öne çıkmaktadır. İlk olarak bunu öne süren kişi bilim adamı Gaston Plante'dir. Kurşun asit aküler genellikle yapı olarak aynıdır ve birden fazla hücreden oluşmaktadırlar. Hücreler 3 ana parçadan meydana gelmektedir. Bunlar artı ve eksi yüklü elektrotlar ve ikisinin arasında bulunan seperatördür. Akünün ağırlığının yaklaşık üçte birini elektrolit sıvısı olarak kullanılan sülfürik asit oluşturmaktadır [55].

Akü teknoloji gün geçtikçe gelişiyor. Bu da kurşun asit akünün elemanlarının da farklı madde ve teknolojilerle değiştirildiği anlamına gelmektedir. İlk seperatörlerde ahşap

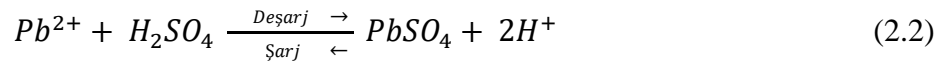
kullanılıyordu. Daha sonra doğal ve sentetik kauçuklara, fiber teknolojisine geçildi. Plakalarda korozyon oluşumunu azaltmak, hidrojen ve oksijen gazı açığa çıkışını azaltmak için saf kurşun yerine kurşunun diğer metaller ile oluşturduğu alaşımlar kullanılmıştır. Teknoloji ile beraber de polipropilen ve PVC tarzı kutulara geçilmiştir [55]. Şekil 2.1’de[56] kurşun asit akü yapısı ayrıntılı olarak görülmektedir.



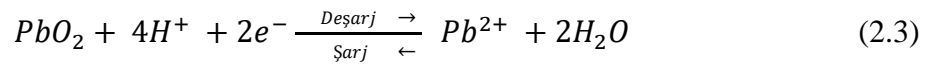
Şekil 2.1 : Kurşun asit akü yapısının ayrıntılı gösterimi.

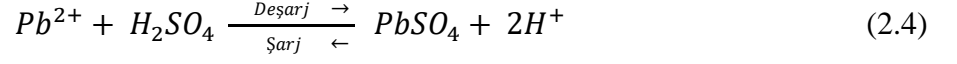
Aşağıdaki denklemlerde kurşun asit akülerin içinde oluşan kimyasal tepkimeler denklem 2.1, denklem 2.2, denklem 2.3, denklem 2.4 ve denklem 2.5’te görülmektedir [57].

Negatif Elektrot;

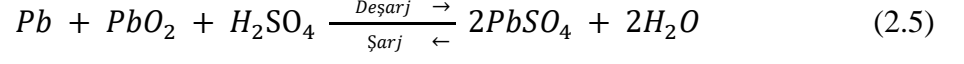


Pozitif Elektrot;





Toplam Tepkime;



Genel hücre potansiyeli denklem 2.6'da gösterilmiştir.

$$E_{cell}^0 = 1.931 \quad (2.6)$$

ancak gerçek hücre potansiyeli E_{cell} , Nernst Equation [58] tarafından tanımlandığı gibi asit konsantrasyonuna bağlıdır ve denklem 2.7'deki gibi hesaplanmaktadır.

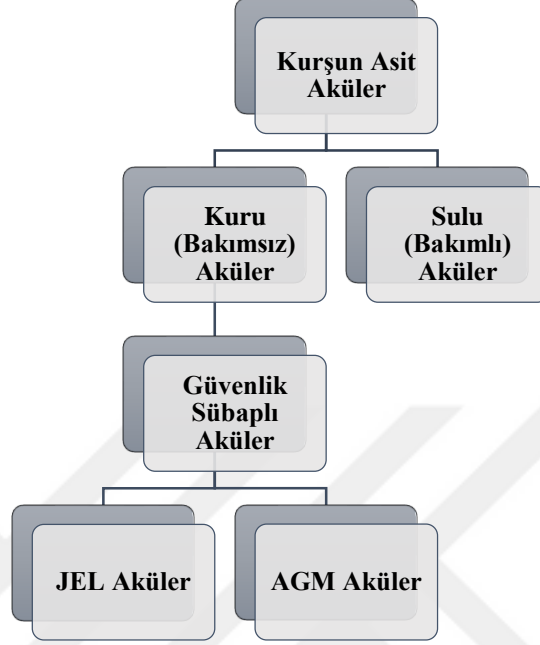
$$E_{cell} = E_{cell}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{a_{H^+} \cdot a_{HSO_4^-}}{a_{H_2O}} \right) \quad (2.7)$$

buradaki $R=8.314J/(K \cdot mol)$, evrensel gaz sabitidir, $F=9.64810 \cdot 10^4 C/mol$, Faraday sabitidir, T kelvin cinsinden sıcaklık, n transfer edilen elektronların mol sayısıdır ve a_{H_2O} , a_{H^+} ve $a_{HSO_4^-}$, reaktan konsantrasyonlarıdır. Bu nedenle, asit üretildiği için şarj edildiğinde hücre potansiyeli her zaman artmaktadır. Hücre fazla şarj edildiğinde, yan reaksiyonlar ve su elektrolizi oluşabilir. Oksijen gelişir anot ve katotta hidrojen yeniden birleşir, oksijen okside edilir ve hidrojen üretilir.

Kurşun asit aküler sulu(bakımlı) ve kuru(bakımsız) olarak iki kısma ayrılmaktadırlar. Kuru aküler aynı zamanda emniyet sübaplı akü olma özelliğini de taşımaktadır. Bu tür akülerin iç kısmında kullanılan metaryal de farklılık göstermektedir. Bu farklılaşma JEL ve AGM akü diye iki alt dalda sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

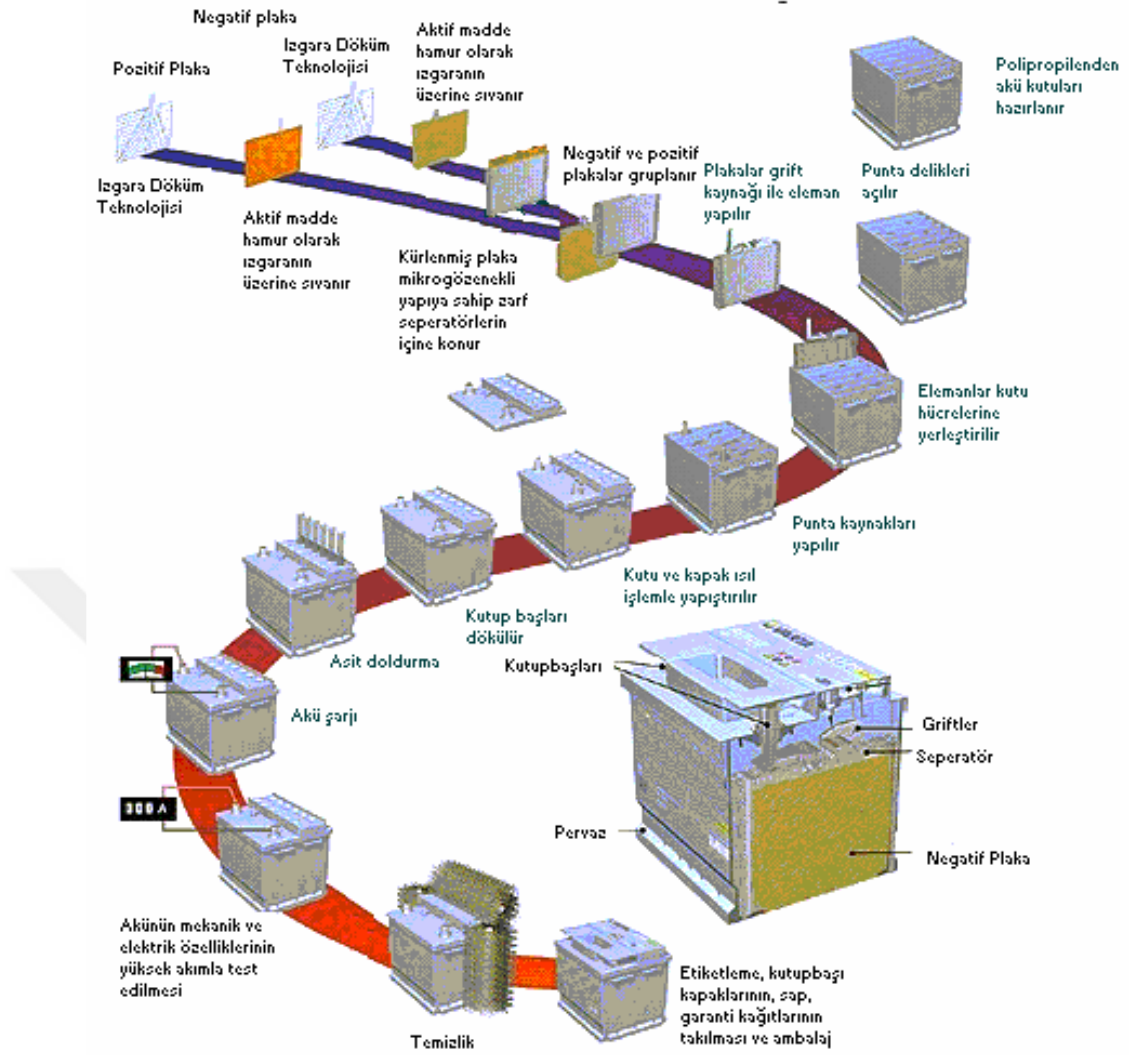
Bakım gerektiren akülerden olan sulu akülerde, artı ve eksi elektrotlar elektrolit sıvısı olan sülfürik asitin içine yerleştirilmektedir. Yüksek miktarda şarj edildiklerinde oksijen ve hidrojen gazları oluşmaktadır. Eğer bu gazların akü dışına atılması söz konusu olursa, akünün içindeki elektrolit miktarının azalması anlamına gelir. Bunun sonucunda plakalar ve elektrolit arasındaki tepkime alanı azalır. Aküde yüksek sıcaklıklara çıkış ve sonrasında da performansta problemler ortaya çıkacaktır. Bu yüzden elektrolit miktarı azaldığında dışarıdan su ve elektrolit ekleme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bahsedilen

bakım gerektiren işlemler zorluk oluşturmakta ve son zamanlarda pek de tercih edilmemesinin ana sebebidir [55].



Teknolojinin de gelişmesiyle beraber kurşun asit akülerde de aşamalar kaydedilmiştir. Varılan son nokta ise emniyet-subaplı kurşun-asit (Valve Regulated Lead-Acid, VRLA) akülerdir. Şu anda farklı sektörlerde çok geniş çapta kullanılmalarının sebeplerinden bazıları bakım gerektirmemesi ve performans düzeyleridir. Sulu akülerde olduğu gibi sülfürik asit serbest sıvı şeklinde değildir. Silika benzeri materyale (JEL) ya da cam elyaf ayırıcılara (AGM) yedirilmiş şekildedir. Son yıllarda iki çeşidin de bir arada kullanıldığı geliştirmeleri de görmekteyiz. VRLA türü akülerde tek yön geçiş sağlayan bir parça ile gazların içeride kalması sağlanır. İçeride kalan hidrojen ve oksijen tekrar su olarak elektrolite dahil olur [55].

Şekil 2.3'te[59] bahsedilen sulu akülerin baştan sona kadar üretim aşamaları gösterilmiştir.

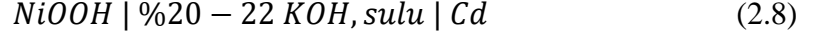


Şekil 2.3 : Sulu akünün üretim aşamaları.

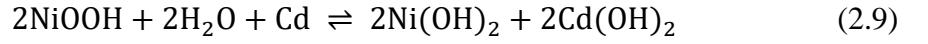
ii) Nikel-kadmiyum (demir) aküler

İlk patenti İsveç araştırmacı Ernst Waldemar Jungner tarafından alınan nikel kadmiyum akülerinin basit kullanım alanları bulunmaktadır. Ni-Cd aküler yaklaşık 1000-3000 şarj/deşarj ömrüne sahiptirler. Ni-Cd bir akü 1,2V'luk bir hücre gerilimine sahiptir. Diğer akü/piller ile kıyaslandığında düşük sıcaklıklarda daha yüksek bir performans ve verim sağlamaktadır. En önemli avantajlarından biri de kısa sürede pil/akü tükenene kadar tam kapasite hizmet sunabilme yetenekleridir. En büyük dezavantajı ise kendiliğindendeşarj olma oranlarının yüksek olmasıdır. Bu akü türündeki geliştirmeler ilk olarak sinterlenmiş poröz nikel ile gerçekleştirilmiştir. 1930'lu yıllarda ise sızdırma konusunda geliştirmeler yapılarak güvenlik sorununda da belli aşamalar kaydedilmiş ve ikinci dünya savaşından

sonra hızlı şekilde piyasaya sürülmüştür. Denklem 2.8’de nikel kadmiyum akülerin gösterimi mevcuttur [55].



Bahsedilen akü çeşitlerinde artı yüklü elektrot olarak nikel oksit hidroksit (NiOOH), eksi yüklü olarak da metalik kadmiyum (Cd) tercih edilmektedir. Elektrolit için kullanılan madde ise potasyum hidroksittir. Aşağıda denklem 2.9’da Ni-Cd akülerin şarj-deşarj tepkimesi gösterilmektedir [55].



Bu tür akülerde artı yüklü elektrotun özellikleri önemlidir. Çünkü maddenin sergilediği davranışa göre akünün performansı etkilenmektedir. Ni(OH)₂ elektrot ortamında normalden yüksek oranda mevcut olması aküyü olumsuz yönde etkilemektedir [55]. Şekil 2.4’te farklı kapasitelerde şarj edilebilir Ni-Cd aküler görülmektedir [60].

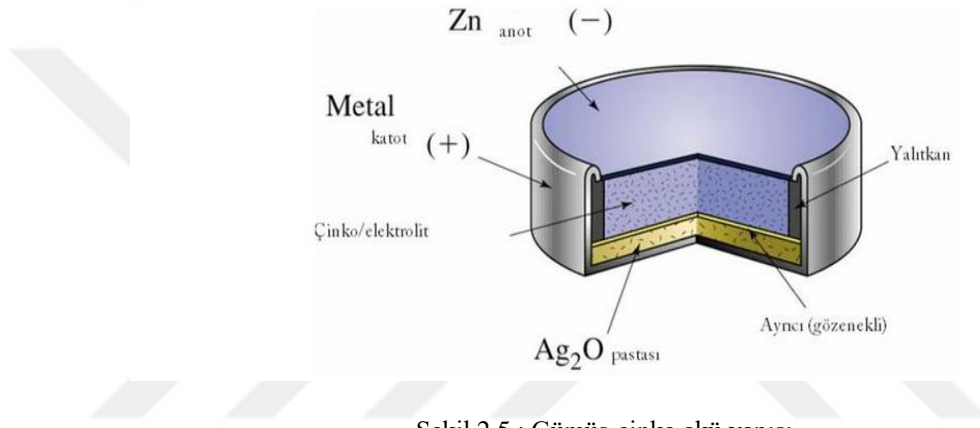


Şekil 2.4 : Farklı kapasitelerde şarj edilebilir Ni-Cd aküler.

İlk nikel demir aküler ise 1900’lü yılların başında Edison tarafından icat edildi. Şu anda kullanılan nikel-demir akülerle küçük oranda değişiklikler olsa da genel yapı, tasarım ve özellikleri hemen hemen günümüzdekilerle benzer şekildedir. Kadmiyum ve nikelden oluşan farklılıktan ötürü performansları farklıdır. Bunun sebebi ise kadmiyumun ve demirin denge potansiyellerinin farklı olmasıdır. Bu da demirin daha hızlı korozyona uğramasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda bu tür aküleri(pilleri) daha kolaydeşarj olmaya yatkın hale getiriyor. Bundan ötürü Ni-Cd ve Ni-Fe aküler karşılaştırıldığında, nikel kadmiyum aküler tercih sebebi olarak göze çarpmaktadır [55].

iii) Gümüş-Çinko aküler

1890’larda akülerde çinko elektrot kullanımını başlanmış olsa bile düzgün şekilde çalışan ilk gümüş-çinko akü Fransız H. André tarafından 1941’te keşfedilmiştir. Bu kişinin akü teknolojisine kattığı iki önemli değer ise seperatörler için kullanılan şişme selefionlu tip malzeme kullanımı ve elektrot miktarının kısıtlanmış olmasıdır. Bu tür akülerin üretim maliyetleri yüksek olmakla birlikte enerji ve performans noktasındaki başarılarından dolayı tercih edilmişlerdir [61]. Şekil 2.5’te bir çeşit gümüş-çinko akünün yapısı görülmektedir [62].



Fakat çinko elektrotların iki sıkıntısı bulunmaktadır. Birincisi akü şarj edildiğinde çinko elementi kristallenerek çökmektedir ve belli süre sonra kısa devreye sebep olmaktadır. Bu ise akünün ömrünü doldurduğu anlamına gelir. İkinci sıkıntı ise çinko aktif metalinin yer değiştirmesidir. Bundan dolayı 30-100 döngü kadar ömürleri vardır [61].

Kullanım alanlarına göre

Daha önce akü malzemesi olarak kullanılan hammaddeye göre bir sınıflandırılma yapılmıştı. Bu kısımda ise aküler, kullanıldığı iş alanına göre sınıflandırılacaktır.

i) Otomobil (starter) aküleri

Bu tarz aküler ile ani enerji ihtiyaçlarını karşılamak amaçlanmaktadır. Doldurma ve boşaltma sayıları yüksek olduğu için otomobillerde daha çok tercih edilmektedirler. Çoğunlukla elektrolitleri sıvıdır ve diğer taşıtlarda da kullanılmaktadır [63].

Taşıtlarda daha çok 6V ve 12V'luk çeşitleri kullanılmaktadır. Sektörde en fazla kullanılan türdür. Araç büyüklüğüne göre kullanılan akünün kapasitesi de değişmektedir. Bununla alakalı bir veri tablosunu aşağıdaki Tablo 2.2'de görebilirsiniz [52].

Tablo 2.2 : Akü-araç ağırlık tablosu.

Taşıt Tipi	Kütle (kg)
Motosiklet	3
Otomobil/Minibüs	15
Kamyon	42
Otobüs	58
Traktör	28

ii) Stasyonere (sabit tesis) aküler

Endüstri tip akü çeşitleridir. Sürekli ve sabit yük çekilen tesislerde kullanılır. Kurşun asit akü olmakla beraber fazla bakım gerektirmez. 25 amperden 5000 ampere kadar farklı alanlarda kullanılabilir [52]. Şekil 2.6'da [64] stasyonere akülerin grup halinde kullanıldığı bir örnek verilmiştir. Stasyonere aküler çoğunlukla kapalı ortamlarda kullanılırlar. Kendi içinde farklı özelliklere sahiptirler ve kullanılacağı alana göre kapasite ve dayanıklılık değerlerine dikkat edilerek seçilmektedirler [52].



Şekil 2.6 : Stasyonere akü.

iii) Traksiyoner (çekici) aküler

Stasyonær akü ile beraber endüstriyel akü diye adlandırılan sınıftan olan traksiyoner aküler, hareket eden cihazlarda kullanılır. Normal akülere göre daha güçlü olan akü çeşididir. Pzs diye tabir edilen plakalar kullanılır. Forkliftler, temizlik cihazları, kaldırma taşıtları gibi iş alanlarında kullanılır. Normal kapasitelerinin %80'ine kadar boşaltılmaya dayanabilirler. Derin deşarj aküleri olarak da anılırlar. Deşarj durumunda akü içinde kurşun sülfat yoğunluğu artar. Akünün şarjı esnasında ise kurşun sülfatlar azalırken, sülfürik asit oranı artar [65].

iv) Maden aküleri

Bu model akülerde de traksiyonerde olduğu gibi Pzs plaka kullanılır. Marş güçleri diğær akü türlerinden genellikle daha fazladır. Kullanıldığı ortamlar göz önünde bulundurularak alev almayan kutu üretilmiş modelleri de mevcuttur. Şekil 2.7'de özelliklerinden bahsedilen maden akü çeşidi gözükmeğtedir [66].

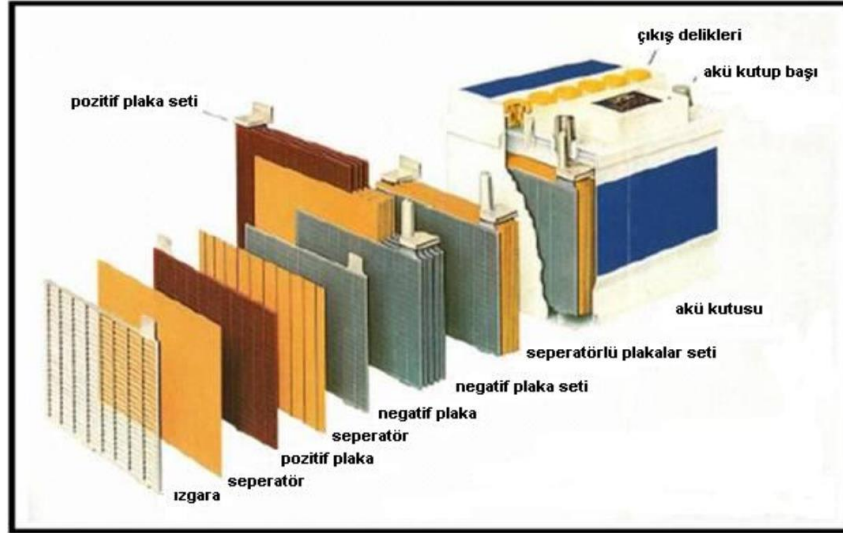


Şekil 2.7 : Maden aküsü.

2.1.3. Akü malzemeleri ve özellikleri

Kurşun asit akülerin iç kısmı iki temel yapıdan meydana gelmektedir. Bu iki yapı elektrot ve elektrolittir. Kurşun ve ondan oluşan bileşikler elektrot olarak, seyreltilmiş sülfürik asit ise elektrolit olarak kullanılmaktadır. Elektrotların hacmi, akünün kapasitesinin

büyükliğüne göre değişir. Hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak sistemdeki plaka miktarı ve büyüklüğü değişmektedir. Bir otomobil aküsünün yapısı Şekil 2.8’de gösterilmiştir [67].



Şekil 2.8 : Bir otomobil aküsünün yapısı.

Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’te ise iki farklı akü yapısının yüzde bileşenlerinin değerleri verilmiştir [67].

Tablo 2.3 : Sert kauçuk kasa oto akü bileşenleri.

Sert kauçuk kasa oto aküsü	% bileşim
Kurşun içeren bileşenler	58.8
Sert kauçuk	12.7
Sülfürik asit	26.2
Seperatörler	2.3

Tablo 2.4 : PP kasa oto akü bileşenleri.

PP kasa oto aküsü	% bileşim
Kurşun içeren bileşenler	63.9
PP bileşenleri	5.0
Sülfürik asit	28.6
Seperatörler (PP, PVC, selüloz)	2.5

Aküde bir bölme için konuşursak elektrotların kapasite ve hacimleri değişse bile gerilimi değişmez ve devamlı 2V olarak hesaplanır. Bundan dolayı farklı gerilimlerde akü üretmek istendiğinde 2V'luk hücreler seri olarak bağlanarak istenilen değer elde edilmiş olur. Otomobiller için 12V değerinde bir akü elde etmek için 2V'luk hücreler seri olarak bağlanarak elde edilir.

Otomobil aküleri genelde büyük değildir. Bundan dolayı hücreler arası geçiş kurşun geçitler ile sağlanır ve hepsi tek kutu içinde düzenlenmiştir. Endüstriyel aküler genellikle 220A olmakla birlikte bazı endüstriyel alanlarda 12.000A sahip akülerde kullanılmaktadır. Bu şekildeki yüksek kapasitedeki aküler tek hücreden oluşur [67].

Tablo 2.5, Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de ise aküde kullanılan kurşun bileşenlerinin yüzdeleri verilmektedir [67].

Tablo 2.5 : Kurşun asit akü bileşenleri.

Madde	% bileşen
Izgara metali, kutuplar, köprüler	44
Macun	56

Tablo 2.6 : Izgara metali, kutuplar ve köprüler içindeki bileşenler.

Madde	% bileşen
Pb	96-98
Sb	2-4
Ca	<0.5

Tablo 2.7 : Macunun içindeki bileşenler.

Madde	% bileşen
PbSO ₄	60
PbO(PbO ₂)	19
Pb	21

2.1.3.1. Plakalar

Aküye enerji sağlayan artı ve eksi bölmeleri birbirinin içine girerek, elektrot adı verilen kısımların oluşmasını sağlayan elemanlara plaka denir [52].

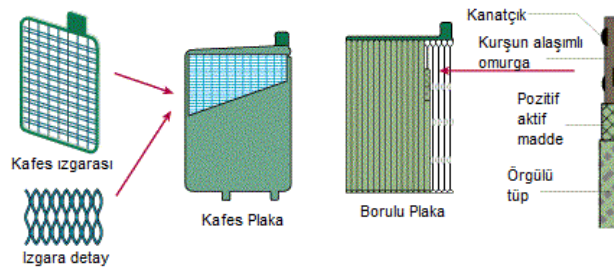
Aktif madde olarak ise artı yüklü plakalar üzerinde kurşun dioksit (PbO_2), eksi yüklü plakalarda ise süngerimsi kurşun bulunmaktadır. Aküde ise iskelet görevini yapan kısımlar kurşun ızgaralardır ve sistemde bu kısımların önemi yüksektir. Bunun sebebi akımı toplayan, aktif maddeyi tutan ve plakalara gerekli dik durma kuvvetini veren bu kısımdır [67]. Kurşunun bileşiğindeki maddeler onun saflık oranını düşürür. Bu saflık oranının azalması iç direnci artırır fakat bunun yanında hızlı deformasyona da sebep olmaktadır. Bunu önlemek için alaşımlarda çok kullanılan antimon elementi kullanılır. Bu ise uzun süre kullanımı sağlaması için fiziksel ve kimyasal sağlamlık sağlar [68].

Aktif maddenin ızgaralar üzerinde durması gerekir, bunun için farklı işlemler bulunmaktadır. Bunlar ise;

- Gözlü ızgara üzerine sıvama
- Petekli ızgara ve plak
- Petekli ızgara üzerine sıvama
- Tüplü plak (Panzer tipi)

Bu yöntemler akünün ömrünün belirlenmesinde kritik rol oynar. Yüksek basınç eşliğinde sıvanan plakalar, eski yöntemlerle sıvamalarla karşılaştırıldığında çok daha uzun süre kullanılabilir. Sıvama yöntemlerinden dolayı artı yüklü plaka, eksilere nazaran daha kısa sürede deformeye uğrar. Bunun sebebi oksidasyon tepkimesi ile sıvanmasıdır, bu ise ömrünü kısaltır [52].

Şekil 2.9'da[69] iki farklı plaka çeşidi gösterilmiştir.

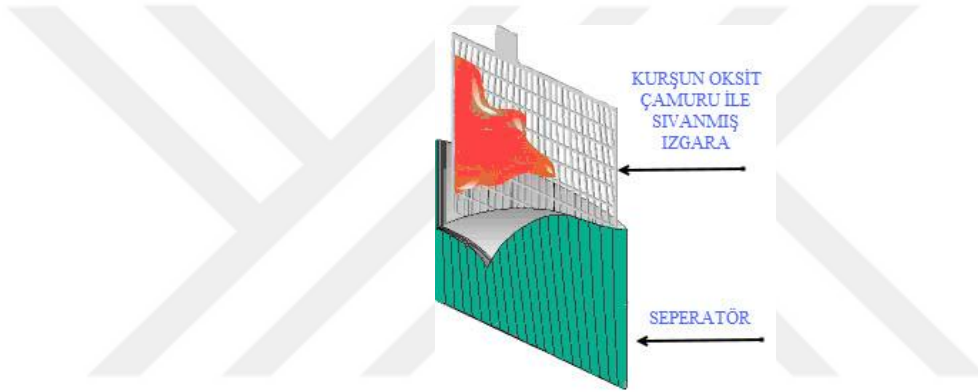


Şekil 2.9 : Akü Plakası.

2.1.3.2. Seperatörler

Artı ve eksi yüklü plakaların birbiri arasında kısa devre olmaması için plakaların arasına levha olarak konulan parçalara seperatör denir [52]. Bu parçaların sadece plakaları ayırma görevinden farklı olarak izolasyonunu sağlayıp plakalar arası artı ve eksi yük geçişini de engellemelidir. Kullanım süresi ve dayanıklılığı da en az plakalar kadar olmalıdır [67].

Bu elemanların kalitesini direnç, su emme, porozite ve fiziksel dayanıklılık gibi özellikler belirler. Seperatörler PVC, kâğıt, kauçuk ve cam elyafı gibi farklı malzemelerden üretilebilir. Şekil 2.10'da plakayı tamamen sararak izolasyon sağlayan bir seperatör detaylı olarak görülmektedir [67].



Şekil 2.10 : Seperatör.

Seperatörler polietilen, polipropilen, PVC ve cam lifi gibi farklı maddelerden üretilebilirler. Delikli yapılara sahiptirler, bu ise artı ve eksi yüklerin geçişini sağlamak için tasarlanmıştır [63].

2.1.3.3. Kutu ve kapaklar

Kuvvetli ebonit ve plastik materyallerden oluşan kutu ve kapaklar, presleme ve enjeksiyon yöntemleriyle üretilmektedir. Otomobillerde genellikle polipropilen maddeden üretilen akü kapakları kullanılmaktadır [67].

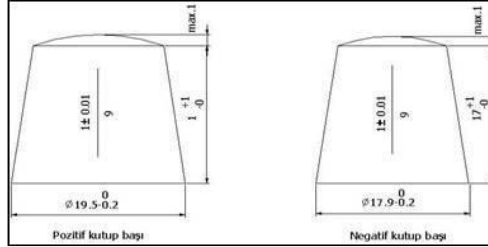
Bu parçaların kullanılma amacı; dışarıyla izolasyonu sağlamak, fiziksel ve kimyasal dayanıklılığı sürdürmektir. Özellikle ebonit olanlar her akü için farklı şekilde tasarlanarak üretilmektedir. Şekil 2.11'de farklı şekil ve özellikte kapak ve kutular görülmektedir [52].



Şekil 2.11 : Kutu ve kapak çeşitleri.

2.1.3.4. Kutup çıkışları

Aküyü şarj etme ve enerji sağlama olaylarında elektriğin aktığı elemanlardır. Akünün hücresi üzerinde artı ve eksi yüklü kutuplar bulunmaktadır. Kutup başlarının yanına, karışmasını önlemek için hangisinin pozitif ve negatif olduğuna dair işaretler konur. Bazı akü çeşitlerine özel farklı şekilde kutup çıkışları da mevcuttur. Otomobil akülerinde ise genellikle ölçüler ve şekiller değişiklik göstermez. Standart diyebileceğimiz bu kutup başları Şekil 2.12’de görülmektedir [52].



Şekil 2.12 : Otomobil aküsü kutupları.

2.1.3.5. Gaz kapakları (buşonlar)

Bu tezin odaklanmış olduğu kurşun asit aküler kullanımı sırasında ortama fazla şekilde H_2 ve O_2 yayar. Bu gazların akü içerisinde sıkışmaması gerekir, aksi takdirde bir patlamaya yol açma ihtimali yüksektir. İç kısımda oluşan basıncın dengelenmesi için dış ortam ile bağlantı kuran gaz kapakları bulunmaktadır. Farklı türde buşonlar da vardır. Buna ortamda bulunan gazı yoğunlaştıran buşonları örnek verebiliriz. Güvenlik amacıyla yine harici ortamdan aküye alev girmesini engelleyen kapaklar da akülerde aktif olarak

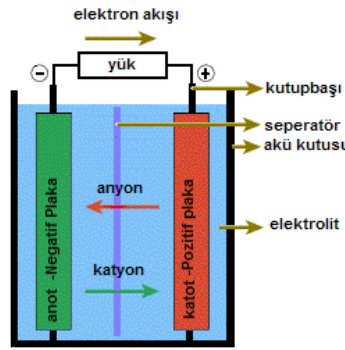
yer almaktadır. Bunun dışında, bahsedilen gazları suya dönüştüren buşonlu aküler de piyasada yoğun şekilde kullanılmaktadır [70].

2.1.3.6. Elektrolit

Artı ve eksi yükleri içinde bulunduran ve elektrik iletkenliğini sağlayan sıvı maddeye elektrolit adı verilmiştir. İlgilendiğimiz tür olan kurşun asit akülerde elektrolit olarak seyreltilmiş sülfürik asit kullanılır [63].

Akü şarjının boşalması esnasında sülfatlar kurşun ile kimyasal tepkime sonucu birleşir ve iletken sıvı olan elektrolit seyrelmiş bir hal alır. Şarj olma esnasında ise sülfatlar tekrar sıvı içinde yayılarak yoğunluğu yükseltirler.

Plakalarda bulunan sülfat bileşiğinin oranına göre elektrolitin derişim oranı seçilir. Yani farklı sülfat yoğunluğuna göre farklı yoğunlukta elektrolit kullanılmış olur. Elektrolit daha yoğun olursa, iletkenlik ve hız da artmış olur. Bunun dezavantajı ise, yüksek orandaki elektrolit yoğunluğu sistemdeki kurşunu çözer. Bunun sonucunda ise plakalar daha hızlı deforme olur ve kullanım süresi kısalmır. Tam tersi durumda ise sistemin gerilim çıkışı çok düşer ve yetersiz kalır. Bundan çıkarılacak sonuç ise bu oranın doğru şekilde ayarlanması gerektiği ve sistemin işleyişinin ona göre belirlenmesidir [67].



Şekil 2.13 : Elektrolit sıvısı ve elektron akışı.

Şekil 2.13'te ise bir elektrolit sıvısı ve iyon akışının pozitif ve negatif plakalar arasında nasıl oluştuğu görülmektedir [63].

Normalde yoğunluk üzerinde bir değerlendirme yapılmaktadır fakat Türkiye'de daha çok "Bome Derecesi" mantığı kullanılmaktadır. Yoğunluk ile Bome arasındaki çevirme formülü ise denklem 2.10'da görülmektedir.

$$Be = 144,38 \times \frac{(d-1)}{d} \quad (2.10)$$

Hava koşulları göz önünde bulundurulursa Türkiye için elektrolit yoğunluğu 1.26 – 1.28g/cm³'tür. İdeal sıcaklık ise 26.7⁰C'dir. Elektrolit sıcaklığı değiştiğinde, yoğunluğu da değişmektedir. Bu oran ise sıcaklık başına 0,0007g/cm³'tür [52].

Elektrolitin yoğunluğuna göre farklı donma noktaları mevcuttur. Üretilmek istenen akü, bunu da dikkate alarak üretilir. Tablo 2.8'de ise yoğunluğa tekabül eden donma noktaları verilmiştir [67].

Tablo 2.8 : Yoğunluk-Donma noktası tablosu.

Yoğunluk (26.7 °C)	Sıcaklık (°F)	Sıcaklık (°F)
1.280	-92	-69
1.265	-71,3	-57,4
1.250	-62	-52,2
1.200	-16	-26,7
1.150	5	-15
1.100	19	-7,2

2.1.4. Akünün çalışma prensibi

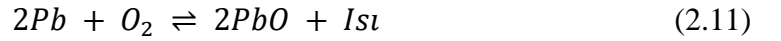
Akülerin deşarjı esnasında oluşan tepkimelerde ortaya enerji çıkar. Bu enerji de örneğin bir otomobilde enerji ihtiyacı olan kısımlar tarafından kullanılır. Gerçekleşen reaksiyonların tersi olduğu zaman da şarj olur.

2.1.5. Akülerin bakımı

Aküler aktif olarak kullanılan ve içinde sürekli olarak tepkimelerin olduğu cihazlar olmakla birlikte, maksimum verim, ömür elde etmek için ideal koşullar sağlanmalı ve bakımları eksik edilmemelidirler. Birçok farklı teknolojinin de gelişmesiyle akülerin bakım ihtiyacı eskiye göre azaldı ve ömürleri de arttı. Fakat yine de dış etkenlerden tamamen bağımsız bir akü sisteminin oluşturulması mümkün değildir. Bahsedilen sebeplerden ötürü akü çeşitlerine göre farklı bakım aşamaları mevcuttur.

2.1.5.1. Kuru şarjlı akülerin bakımı

Kuru aküleri korumanın ilk şartı akünün serin ve rutubetin az olduğu bir mekânda korunmasıdır. Orijinal ambalajı çıkarılmamalı ve onunla beraber kullanılmalıdır. Ekstra olarak ambalaj üzerindeki açıklıkların kapatılarak içerideki havanın alınmasıyla dış ortam korunabilir. Bu işlemlerin yapılma amacı, dışarıdan gelen hava ile teması kesmektir. Çünkü akünün ömrünü kısaltan dış ortamdaki havanın içeriye nüfuz etmesidir. Gerçekleşen tepkime denklem 2.11’te gösterilmiştir [52].



Dışarıdan giren oksijen içerideki kurşun bileşiği ile tepkimeye girer ve kurşun oksit bileşiğini oluşturur. Bu bileşik de sülfürik asit ile tepkimeye girerek elektrolit miktarını azaltır. Bu da akü ömrünü kısaltır ve aküyü verimsizleştirir. Nem ve sıcaklık ise bu tepkimenin daha çabuk gerçekleşmesine sebep olur. Denklem 2.12’ye bu reaksiyon gösterilmiştir [67].



Sağlıklı olmayan ortamlarda kalmış aküler kullanılmadan önce doğru şekilde deşarj ve şarj edilerek tekrar iyileştirilebilir [67].

2.1.5.2. Sulu şarjlı akülerin bakımı

Elektrolit sıvısı kendi bünyesinde bulunan akülere verilen isimdir. Bu tür aküler kullanılmadan beklese bile kayıplar oluşur ve ömrünün kısılması söz konusudur. Bunun en aza indirilmesi için aşağıdaki işlemler yapılabilir [52]:

- Eğer akü bekletilecekse tamamen doldurulmalı ve o şekilde bırakılmalıdır.
- Çevresi kirli ve ıslak olmamalı
- Düzenli olarak takip edilmeli ve şarjı azaldığında tekrar doldurulmalı

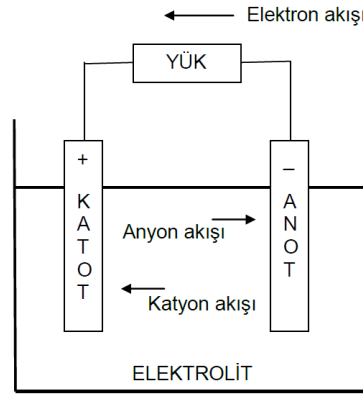
2.2. Akülerin Yapısı ve Performansı

2.2.1. Akülerin kimyasal yapısı

Aküler elektriksel ve kimyasal enerji arasında dönüşüm yapan ve bunları depo eden bir cihazdır. Şekil 2.14’te bir akü hücresinin yapısı gösterilmektedir [53].

Akü hücreleri esas olarak 3 bileşenden oluşur:

- Katot: Artı yüklü elektrottur. Dış devreden elektron alır. Bu kısımda indirgeme reaksiyonları gerçekleşir.
- Anot: Eksi yüklü elektrottur. Dış devreye elektron verir. Bu kısımda oksidasyon reaksiyonları gerçekleşir.
- Elektrolit: Akünün içinde artı ve eksi yüklü atomların alışverişini sağlar.



Şekil 2.14 : Bir akünün hücre yapısı.

2.2.2. Akülerin performans karakterizasyonu

Aküler farklı iş gereksinimlerini karşılamaları için farklı yapıda, şekilde ve performansta üretilmiştir. Aküyü kullanmak isteyen müşteri ise istediği kriterlere uygun aküyü seçmelidir. Akülerin sahip oldukları özellikler belli alt dallara bölünmüştür. Bu ise gerekli akü çeşidinin seçimini kolaylaştıracaktır. Tablo 2.9’da akü çeşitlerinin farklı özellikleri gösterilmektedir. Bu özellikler hakkında kısa açıklamalar yapılacak ve bilgi verilecektir [53].

Şarj-deşarj sayısına bakıldığında öne çıkan pil nikel-hidrojen pillerdir. Enerji yoğunluğuna göre Lityum-İyon piller, güç yoğunluğuna göre ise lityum polimer piller avantajlıdır. Verimlilik oranları yine en fazla bu iki pil türüne aittir.

Tablo 2.9 : Farklı türdeki pillerin/akülerin performans değerleri.

Batarya Çeşidi	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Güç Yoğunluğu (W/kg)	Verimlilik (%)	Yüksüz Boşalma (% / ay)	Şarj-Deşarj Sayısı
Kurşun-asit	30-40	180	70-92	3-4	500-800
Nikel-Kadmiyum	40-60	150	70-90	20	1500
Nikel-Metal Hibrit	30-80	250-1000	66	20	1000
Nikel-Demir	50	100	65	20-40	2000-4000
Nikel-Çinko	60	900	70	<20	100-500
Çinko-Gümüş Oksit	130	>1000	70-90	5	50-100
Kadmiyum-Gümüş Oksit	70	<1000	90	5	300-800
Nikel-Hidrojen	75	<1000	60	Çok fazla	20000
Lityum-İyon	160	1800	99	5-10	1200
Lityum-Polimer	130-200	>3000	99	5-10	500-1000

2.2.2.1. Akü kapasitesi

Kapasite, akü içinde oluşan reaksiyonlardan ortaya çıkabilecek maksimum enerjinin elektriksel olarak amper-saat cinsinden ifade edilmesidir. Örnek vermek gerekirse 10 amper-saat kapasiteli bir aküden, 1 saat boyunca sürekli ve sabit şekilde 10 amper akım çekildiğinde kapasitenin tamamı kullanılmış olur.

2.2.2.2. Enerji yoğunluğu

Enerji yoğunluğu, akünün ortaya çıkardığı enerjinin birim kütle veya birim hacim değerine bölünmesiyle oluşan bir kavramdır. Bu parametrenin birimi Wh/kg veya Wh/l şeklinde gösterilmektedir. Bu parametrenin pratik ve teorik olarak üzere iki alt dalı bulunmaktadır. Teorik enerji yoğunluğu kısmında, reaksiyonların gerçekleşmesinden sorumlu olan üç elemanın(anot, katot ve elektrolit) kütlesi veya hacmi hesaplanır. Pratik enerji yoğunluğu dediğimiz kavramda ise toplam kütle veya hacim akünün tamamı üzerinden hesaplanır ve bu şekilde sonuç bulunur. Bazı çeşitlerinde bu iki kısım arasındaki fark 5 katına kadar çıkmaktadır [53].

2.2.2.3. Güç yoğunluğu

Güç yoğunluğu, akünün ortaya çıkardığı gücün birim kütle veya birim hacim değerine bölünmesiyle oluşan bir parametredir. Birimi W/kg veya W/l'dir. Bir akü için güç çıkışı sadece içinde gerçekleşen reaksiyonuna değil, aynı zamanda fiziksel durumu ve dizaynı ile de ilişkilidir.

Enerji ve güç yoğunluğu ne kadar paralel özellik olarak gözükse de birbirine zıt şekilde davranış gösterdikleri de olmaktadır. Fazla miktarda güç yoğunluğuna ulaşmak için iç direncin ve elektrot polarizasyonun az olması beklenmektedir. Bunun oluşturulması için ayraçlar gibi reaksiyona dahil olmayan yan elemanların sayısının çoğalması anlamına geliyor. Bu artış ise akünün enerji yoğunluğunu azaltıyor ve olumsuz yönde etkilemiş oluyor [53].

2.2.2.4. Verimlilik

Sekonder akülerde verimlilik; akü boşalırken dışarıya verdiği enerji miktarı ile, akünün şarj esnasında dışarıdan aldığı enerji miktarının oranı şeklinde hesaplanır. Bu iki döngü arasında enerji kayıplarından ötürü bazen bu oran 0.6'lara kadar gerileyebilir. Aküdeki boşa giden bu enerjinin sebebi; iç direnç, korozyonlar ya da madde sızıntısı olabilir.

2.2.2.5. Yüksüz boşalma

Aküler aktif olarak kullanılmasa bile durduğu yerde içindeki enerji miktarında azalmalar olmaktadır. Kullanım alanına, ortam sıcaklığına ve aküde kullanılan malzemeye göre bu değer değişiklik göstermektedir. Sürekli olarak kullanılmayacak olan aküler satın alınırken bu parametrenin de dikkate alınması gerekir. Çünkü kullanılmadığı takdirde tamamen boşalması ihtimali de mevcuttur.

2.2.2.6. Akü dolma-boşalma sayısı

Şarj edilebilir akülerde kullanım esnasında enerji kayıpları olduğu gibi; aynı zamanda kullanılan malzemenin de aşınması ve korozyona uğrama durumu da söz konusudur. Akünün kullanım sayısı arttıkça içyapıda bahsedilen enerji kayıpları ve istenmeyen

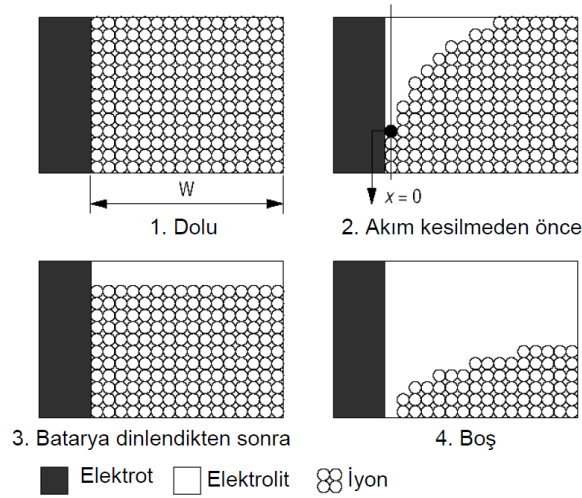
durumlar da artmış olacaktır. Bu da akünün kapasitesinde düşmelere sebep olacaktır. Belli bir dolma-boşalma sayısından sonra akü kullanılamaz duruma gelecektir.

2.2.3. Akülerin performansını etkileyen etkenler

Her akü farklı özelliklere ve farklı performans değerlerine sahiptir. Aynı materyallerle üretilse bile bazen performansta değişkenlikler gösterebilmektedir. Bunun sebebi akü performansını etkileyen çok fazla ögenin bulunmasıdır. Bu etkenler daha çok kullanım sırasındaki davranışla alakalıdır.

2.2.3.1. Boşaltma akımı

Akünün kullanımı esnasında çekilen akım artarsa, bu akünün kapasitesinde azalmaya yol açar. Akü belli bir süre dinlendirildikten sonra tekrar kullanıldığında kapasitesinin yine eski haline geldiğini görebiliriz. Şekil 2.15'te bahsedilen durum gösterilmektedir [53].

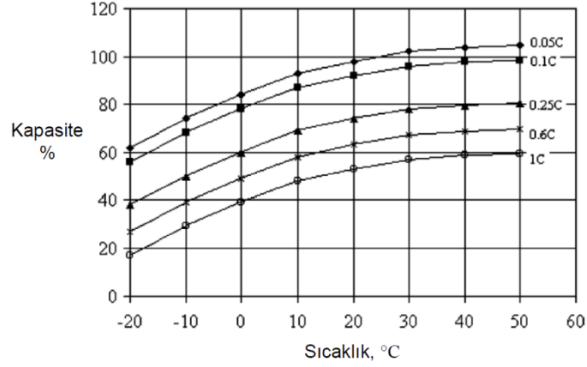


Şekil 2.15 : Akü kapasite değişimi.

2.2.3.2. Sıcaklık

Akünün çalıştığı çevrenin sıcaklığı akü performansını doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık düştüğü zaman akünün performansı da azalmaktadır. Şekil 2.16'da akünün sıcaklığa göre kapasite değişimini görmekteyiz [53]. Bu yüzden her akünün en uygun sıcaklık aralığında kullanılması gerekir. Akülere sıcaklık bazında bakılırsa, en verimli çalışma

aralığı birbirinden farklı olabilir. Üreticinin sağlayıcı bilgilendirme ile ona uygun kullanım sağlanmalıdır.



Şekil 2.16 : Akülerde sıcaklık-kapasite değişimi.

2.2.3.3. Boşaltma modu

Akülerin farklı boşaltma modları vardır. Bu modlara göre bazı değerler değişkenlik gösterir. Bu modları kısaca şu şekilde açıklayabiliriz:

- Sabit yük modu: Akünün gerilimi azaldıkça akım da azalır; bu ise akü ömrünü uzatır.
- Sabit akım modu: Akım değerinin ortalaması fazla olduğundan dolayı, daha hızlı deşarj olur.
- Sabit güç modu: Akü gerilimi azaldıkça akım artar ve daha hızlı deşarj olur.

2.2.3.4. Polarizasyon kayıpları

Polarizasyon kayıpları, akünün performansını önemli ölçüde etkileyen bir sebeptir. Bu kayıplar iki farklı şekilde olabilir:

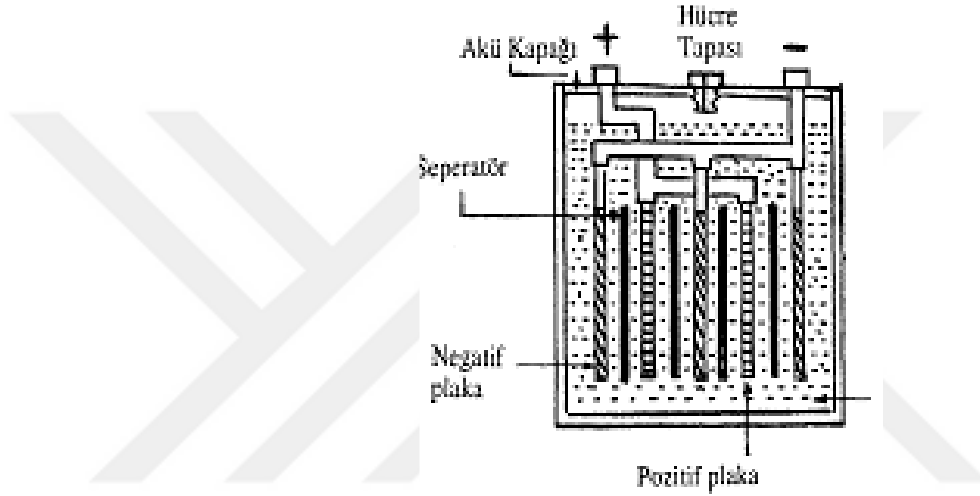
- Aktivasyon polarizasyonu(AP): Elektrot üzerindeki reaksiyonlardan dolayı ortaya çıkar.
- Konsantrasyon polarizasyonu(KP): Elektrot üzerinde ve iyonların alışverişini sağlayan elektrolitteki yoğunluk değişimi sebebiyle ortaya çıkar.

Akü içindeki terminal gerilimi denklem 2.13 ile elde edilmektedir:

$$E = E_0 - (AP) - (KP) - i * R \quad (2.13)$$

2.3. Aküler İçin Temel Kavramlar ve Hesaplamalar

Akü iç ve dış yapısında kullanılan malzemeler ayrıntılarıyla açıklandı. Bu malzemelerin belirlenen şekilde ve ölçüde düzenlenmesiyle akü hücresi ve hücrelerin birleştirilmesiyle de akü meydana gelir. Standart akülerde plaka sayısı olarak baktığımızda eksi yüklü plaka sayısı artı yüklü plakadan 1 adet daha fazladır. Bu da başta ve sonra eksi plaka olduğu anlamına gelir. Şekil 2.17’de birbirinden ayrılar ile ayrılmış 3 adet eksi yüklü plaka ve 2 adet de artı yüklü plakanın bulunduğu bir akü yapısı mevcuttur [67].



Şekil 2.17 : Üç adet negatif, iki adet pozitif plakalı akü hücresi.

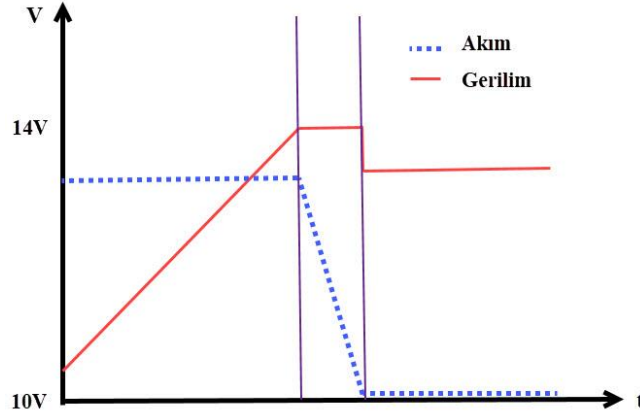
2.3.1. Şarj

Aküye dışarıdan elektrik vererek akünün enerji depolamasına şarj denir. Aküde şarj esnasında sırasıyla şu olaylar gerçekleşmektedir:

- Artı yüklü plakada kurşun sülfat azalır, kurşun peroksit artar.
- Eksi yüklü plakada kurşun sülfat azalır, sünger kurşun artar.
- Elektrolit daha yoğun hale gelir.
- Aküdeki gerilim yükselir.

Normal bir akü şarj cihazında 2 farklı şarj yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi akımı şarj devresinden aküye sabit bir akımla aktararak şarj işlemi gerçekleştiren Sabit Akım Şarj işlemidir. İkincisi ise aküyü sabit bir gerilim fakat değişken bir akım ile şarj eden Sabit Potansiyel Şarj işlemidir [71]. Sabit Potansiyel Şarj yöntemiyle

doldurma işlemi Şekil 2.18’de gösterilmektedir. Şekil 2.18’de de görüldüğü gibi Sabit Potansiyel Şarj yönteminde üç aşama bulunmaktadır.



Şekil 2.18 : Sabit potansiyel şarj yöntemi.

Birinci aşama, Toplu Şarj aşamasıdır. Bu aşamada akım sabit fakat gerilim düşük seviyeden standart gerilim seviyesine doğru lineer olarak artmaktadır. 12V’luk bir akü için gerilimdeki şarj standardı 12.8-14.4V arasındadır. Standart akım akışı ise akü kapasitesinin %10'u kadardır. Akü gerilimi 14.4V standart gerilime ulaştığında, birinci aşama tamamlanacaktır.

İkinci aşama Emilim aşamasıdır. Bu aşamada şarj gerilimi 14.4V’ta sabit olarak uygulanmakta iken şarj akımı aşağı yönlü olarak düşürülmektedir. Standart akım akışının %5 ‘ine ulaşana kadar akım yavaşça düşürülecektir. Bu aşama standart akım akışının altına düştüğünde ise emilim aşaması akü %100 kapasiteye ulaştığı için tamamlanmış olur.

Üçüncü aşama Yüzen (Float Şarj) aşamasıdır. Bu aşamada akü kapasitesini %100 tam dolu tutabilmek için sabit akım ve gerilim uygulanmaktadır. Çünkü akü dinamik bir yapıya sahip olduğundan uçlarında herhangi bir yük olmasa bile deşarj olma eğiliminden kaynaklı olarak bir kapasite kaybına uğrayacaktır. Bu nedenle şarj işlemi tamamlandığında bile aküyü tam dolu tutabilmek için üçüncü aşama sürekli uygulanmaktadır.

2.3.2. Deşarj

Akünün dışarıya elektrik enerjisi aktarmasına deşarj denir. Aküde deşarj esnasında sırasıyla şu olaylar gerçekleşmektedir [68]:

- Artı yüklü plakada kurşun peroksit azalır, kurşun sülfat artar.
- Eksi yüklü plakada sünger kurşun azalır, kurşun sülfat artar.
- Elektrolit daha seyreltik hale gelir.
- Aküdeki gerilim azalır.

2.3.3. Gerilim

Akü pozitif ve negatif kutupları arasındaki potansiyel enerji farkına gerilim denir. Farklı gerilim kavramları mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Anma gerilimi(nominal): Akünün tamamen dolu haldeki gerilim miktarıdır. Akülerin gerilim değerleri bunun üzerinden konuşulur. Kurşun asit akülerdeki hücre gerilimi 2V 'tur.
- Yavaş şarj gerilimi: Şarj etme esnasındaki güç kaynağındaki gerilimdir. Yaklaşık olarak 2.20V ve 2.23V aralığında olması gerekmektedir.
- Deşarj bitimi gerilimi: Bir akü aktif şekilde kullanılırken hücredeki gerilim belli değer altına düşmemelidir. Aküye zarar verebilir ve hatta akünün bir daha kullanılmaması söz konusu olabilmektedir. Deşarj bitimi gerilimi kurşun asit akü çeşitlerinde hücre başına 1.8V civarındadır.

2.3.4. İç direnç

Elektriğin akım şeklinde akışına karşı koyma görevini üstlenen direncin, bütün akü için hesaplanmış halidir. Aküde kullanılan materyallerin cinsine, hammaddesine, dirençlerine bağlı olarak değişmektedir. Bunlardan farklı olarak bir de akünün şarj miktarına da bağlıdır. Eğer şarjı dolu ise iç direnci minimumdur. Şarj azaldıkça iç direnç de yükselir. İç direnç ve şarj arasındaki ilişki ters orantılıdır [53].

2.3.5. Selfdeşarj

Kullanılmayan akünün durduğu yerde depo ettiği enerjinin azalmasıdır. Bunun nedeni ise, elektrolit ve plakaların birbirine dokunduğu noktada gerçekteşen reaksiyondur [68].

Bu kavramı etkileyen 2 faktör vardır:

- Elektrolitin sıcaklığı yükseldikçedeşarj olma olasılığı da artacaktır.
- Kurşun plakada bulunan antimuan adlı maddenin artması da selfdeşarjı tetiklemektedir.

2.3.6. Yoğunluk

Elektrolit aküler içinde iyon geçişini sağlayan genellikle sıvı bir maddedir. Kurşun asit aküler için bakarsak elektrolit olarak sülfürik asit kullanılır. Sülfürik asit suyla beraber olacak şekilde karıştırılmalıdır. Eğer ekstradan daha da fazla sülfürik asit atılırsa yoğunluk artmış olur. Farklı birimler kullanılmakla beraber en çok “gr/cm³” veya “kg/lt” tercih edilmektedir [68].

2.3.7. Kapasite

Akünün şarj edilerek enerji dolduktan sonra, bu enerjiyi belli süre ve güç şartları içerisinde vermesine kapasite denir. Birimi amper-saat olarak belirlenmiştir. İngilizce baş harflerinden oluşan ‘Ah’ ile gösterilir. Akünün kapasitesinin etkileyen bazı kavramlar aşığıda açıklanmıştır.

- Aküde bulunan plaka ve onun büyüklüğü kapasiteyi etkiler. Bu elemanların büyük olması aktif maddenin fazla olduğu anlamına gelir. Esas kapasiteyi arttıran kısım da budur.
- Aküde bulunan iyon iletimini sağlayan elektrolitin yoğunluğu da kapasiteyi etkileyen başka bir etkidir. Elektrolit yoğunluğu yükseltirse akü kapasitesi artmakla birlikte ömrü kısalır. İkisi arasında denge sağlanacak şekilde elektrolit yoğunluğu belirlenmelidir.
- Bunların haricinde akü ömrü, elektrolit sıcaklığı, boşalma akımı da kapasiteyi etkileyen etkenlerden bazılarıdır.

2.3.8. Verim

Aküye depolanan enerji ile onu kullanarak tekrar kullandığımız enerji arasında fark vardır. Bu farkın az olması, daha az kayıp olduğu ve verimin de yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Akülerde 2 farklı verimlilik kıstası vardır.

- i) Amper-saat verimi (pAh): Kurşun asit aküler için istenen değer %90 civarı olduğu gibi denklem 2.14'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$pAh = \frac{(boşaltma akımı) \times (boşaltma süresi)}{(doldurma akımı) \times (doldurma süresi)} \quad (2.14)$$

- ii) Watt-saat verimi(pWh): Kurşun asit aküler için istenen değer %75 civarı olduğu gibi denklem 2.15'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$pWh = \frac{(boşaltma akımı) \times (boşaltma voltajı) \times (boşaltma süresi)}{(doldurma akımı) \times (doldurma voltajı) \times (doldurma süresi)} \quad (2.15)$$

2.3.9. Sülfatlaşma

Kurşun sülfat uzun süre beklemeye bırakıldığında, başlangıçtaki temiz süngerimsi kurşun sülfat sertleşir ve kristaller oluşturur. Süngerimsi kurşun sülfattan farklı olarak, bu kristaller aktif maddeye (kurşun ve kurşun dioksit) normal şarj yöntemleri ile geri döndürülemez. Ön plakalardaki daha fazla kristal, akünün kimyasal reaksiyonunda kullanılmak üzere daha az aktif maddenin kalması anlamına geleceğinden ve yeterli aktif madde kalmadığından, akü etkin şekilde kullanılamayacaktır. Aynı zamanda sülfatlaşma olarak da bilinen bu işlem, akülerin erken bozulmasının temel nedenidir.

Bir akünün şarjı boşaldığında ve normal çalışma döngüleri sırasında şarj edilmesi gerektiğinde, elektrotlarda yavaş yavaş oluşan sülfat kristalleri akünün etkin bir şekilde akım vermesini önler. Gerçekleşen kristaller akünün ölümüne sebep olur. Kurşun sülfat, iç direnci arttırdığı gibi elektrolitin özgül ağırlığını da azaltır. Akünün seperatörlerinin üzerinde sülfat birikmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır. Daha da kötüsü, 3-4 yıl sonra süreç önemli ölçüde hızlanmaktadır.

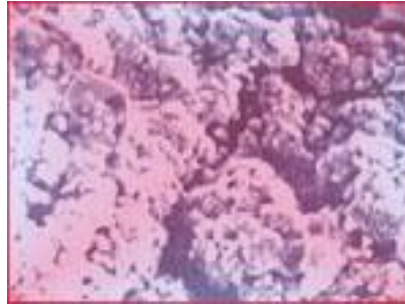
Sülfürik asit plakalarda çok uzun süre kaldığında gözenekler sülfat kristalleri ile tıkanacaktır. Bu akünün şarj kapasitesini düşürdüğü gibi ani yük çekişlerindeki enerji ihtiyacını karşılama kabiliyetini de kalıcı olarak ortadan kaldıracaktır. Bu deşarj süreci ne kadar uzun devam ederse akünün geri kazanılma ihtimalide o minvalde azalacaktır.

Akülerin bakımı düzenli olarak yapılmaz ve disiplinli bir şekilde kullanılmazlarsa aküleri tamamen kaybedebiliriz. Bakım için akülerin aralıklarla tam şarj edilmesi ve eksilmişse elektrolit ilavesi yapılması gerekmektedir.

Plakalarda oluşan sülfat pozitif ve negatif levhaları izole eder ve akünün kapasitesinin düşmesine sebep olur. Akü sülfatlandıkça kurşun plakaların yapısı bozulur ve plakalarda kırılma ve delinmeler ortaya çıkmaya başlar. Kırılan bu plaka parçaları hücrelerin altına düşerek hücrenin yapısının tamamen bozulmasına ve kısa devre olmasına sebep olacaktır.

Aşama 1: Süngerimsi Sülfat

- Kurşun sülfat Şekil 0.19'da görüldüğü gibi hala süngerimsi formdadır [72].
- Akü şarj edildiğinde kurşun, kurşun dioksit ve suya dönüşebilir.
- Çok düşük iç direnç (genellikle $< 6m\Omega$).



Şekil 2.19 : Süngerimsi sülfat.

Aşama 2: Bariyer Sülfat

- Kovalent bağlar oluşur ve kurşun plakalarda küçük kristallenmeler görülmeye başlar (Şekil 2.20) [72].
- Akünün iç direnci artar.
- Araba ilk marşını almayabilir.



Şekil 2.20 : Bariyer sülfat.

Aşama 3: Kristalize Sülfat

- Ön plakalarda Şekil 2.21’de gösterildiği gibi çok güçlü bağları olan büyük kristaller oluşmaktadır [72].
- Kimyasal reaksiyonların oluşabilmesi için yeterli yüzey alanı kalmamıştır.
- Akünün iç direnci maksimum seviyededir.
- Akü artık arabayı çalıştıramayacak bir formdadır.



Şekil 2.21 : Kristalize sülfat.

Sülfatlaşmaya sebep olan en önemli etkenler aşağıda verilmiştir [68];

- Elektrolitin yoğunluğunun anma değerinden fazla olması,
- Akünün çok uzun süre aktif olarak kullanılmaması,
- Akünün çok fazla boşalması (derin deşarj),
- Yanlış şarj cihazı kullanılması,
- Arızalı hücrelerin onarılmaması,
- Akünün çok yüksek / düşük sıcaklıklara maruz kalması,
- Şarj döngülerinin göz ardı edilmesi.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

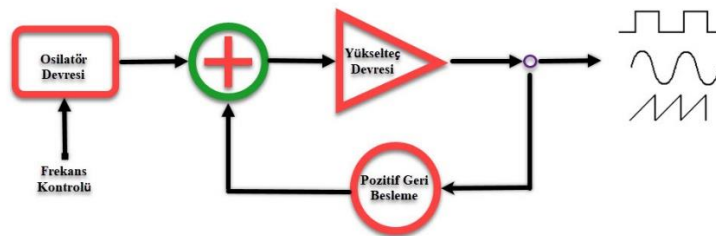
3.1. Osilatörler

Osilatörlere kendi kendine sinyal üretebilen cihazlar tanımlaması yapılabilir. Osilatörler bir kez çalışmaya başladıktan sonra AC çıkış sinyali üretmeye başlarlar. Üretilen bu sinyalin bir kısmı osilatör için geri besleme olarak kullanılır ve tekrardan yükseltilerek çıkışa aktarılır, bu bir döngü halinde sürekli devam eder. Şekil 3.1’de bir osilatörün çalışma sistematığı şematik olarak gösterilmiştir.

Birçok farklı osilatör devresi bulunmaktadır. Bir osilatör devresi seçerken aşağıdaki faktörler önem taşımaktadır.

Bunlar:

1. Çalışma frekansı
2. Çıkış genliği
3. Frekans kararlılığı
4. Genlik kararlılığı
5. Çıkış dalga formunun saflığı
6. İstenmeyen moddaki işaretlerin elde edilebilme olasılığı



Şekil 3.1 : Osilatör Devresi.

Osilatörler, kompleks sistemlerde kullanılan devre elemanlarının her birinin işlevlerini doğru bir şekilde yerine getirebilmesi için farklı sinyallere duyulan ihtiyacı gidermek için

tasarlanmıştır. Örnek vermek gerekirse bir işlemci çevre birimler ile senkron çalışması için kare dalga osilatöre ihtiyaç duymaktadır. Hayatın her alanında, neredeyse her cihazda bir osilatör devresine rastlamak mümkün. Hatta video oyunlarda bile buna rastlamak mümkündür. Osilatörler biz farketmesek bile neredeyse hayatımızın her anında etkili bir şekilde bulunmaktadırlar.

3.2. Osilatör Çeşitleri

Osilatörler, sinüsoidal olmayan (gevşemeli) ve sinüsoidal olan (harmonik) olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Kare ve üçgen dalga üreten osilatörler sinüsoidal olmayan sınıfına girerken, kare dalga üreten osilatöre aynı zamanda "multivibratör" adı verilmektedir.

Bunların dışında özel osilatörler de bulunmaktadır. Armstrong, Colpits, Hartley gibi osilatörlerin yanı sıra köprü osilatör, kristal osilatör gibi çeşitler de mevcuttur. Tüm bu osilatör çeşitlerini tercih ederken ise devreye uyum faktörü göz önünde bulundurulmaktadır.

Basit devrelerde RC ve LC osilatörler tercih edilirken Yüksek frekanslı, hassas devrelerde ise Kristal osilatörler tercih edilmektedir. Bu seçimler aynı zamanda devrenin maliyetini de etkilemektedir.

Bizim çalışmamızın temelinde kare dalga sinyallere ihtiyacımız olduğundan dolayı bundan sonraki bölümde multivibratörlerden bahsedilecektir.

3.2.1. Multivibratörler

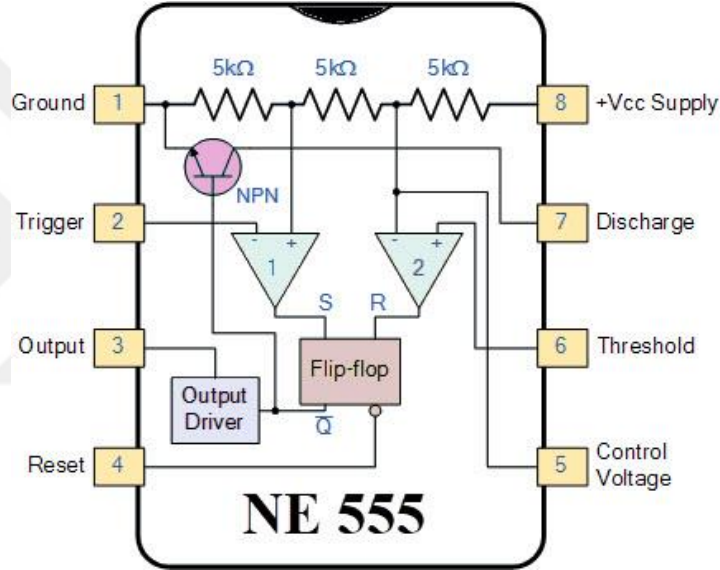
Multivibratörler, senkronize veya asenkronize sıralı rejeneratif devrelerdir ve elektronik zamanlama uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Multivibratörler, simetrik veya asimetrik bir kare dalgaya benzeyen bir çıkış dalgası şekli üretir ve bu nedenle tüm kare dalga üreticilerinde en sık kullanılan türdür. Multivibratörlerin iki farklı elektrik durumu vardır; bunlar çıkış “Lojik - 1” ve çıkış “Lojik - 0” durumudur.

Multivibratörler, temel kare dalga çıkış formları elde etmek için ayırık bileşenlerden kolayca yapılabileceği gibi, birkaç ekstra zamanlama bileşeninin eklenmesiyle de yapılabilir. Gerekli çıkış sinyalini doğru bir şekilde üretmek için tasarlanmış özel IC'ler

de kullanılarak bu kare dalga formuna ulaşılabilir. İlk üretildiği zamandan beri yoğun olarak kullanılan ve endüstri standardı haline gelen bu entegrelerden biri de NE555 zamanlayıcı osilatördür.

NE555 zamanlayıcı yongası adını, iki karşılaştırıcı referans gerilimini üretmek için içerisinde kullanılan Şekil 3.2’de gözüken üç adet $5k\Omega$ dirençten almaktadır. NE555 zamanlayıcı entegresi, tek darbeleri ya da uzun zaman gecikmeleri üretmek için basit bir zamanlayıcıdır. Aynı zamanda %50 görev döngüsüne sahip stabil dalga formları üretebilen bir gevşetici osilatör olarak işlev görebilen çok ucuz, popüler ve kullanışlı bir hassas zamanlamaya sahip bir entegre devredir.



Şekil 3.2 : NE555 zamanlayıcı blok şeması.

NE555 zamanlayıcı yongası farklı uygulamalarda kullanılmak üzere; bir kerelik veya sürekli darbe üretmek için tek kararlı, çift kararlı veya serbest çalışan multivibratör olarak çalıştırılabilen son derece sağlam ve kararlı 8 pinli bir entegre devredir.

Temel formundaki tek NE555 zamanlayıcı yongası, iki karşılaştırıcı, bir flip-flop ve bir anahtardan oluşmuştur. Üzerinde yaklaşık 25 transistör, 2 diyot ve 16 dirençten oluşan bipolar 8-pinli, hem SMD hem de DIP olarak üretilen bir yongadır.

NE555 zamanlayıcı entegresinin bağlantı pinlerinin her birinin kısa bir açıklaması ve nasıl çalıştığını daha iyi anlamaya yardımcı olması için iç devresini temsil eden basitleştirilmiş bir “blok şema” aşağıda Şekil 3.2’de verilmiştir.

- Pin 1 → Toprak

NE555 zamanlayıcının (0V) besleme pinidir.

- Pin 2 → Tetikleme

Birinci karşılaştırıcının negatif besleme pinidir. Bu pine negatif bir darbe uygulandığında, darbe gerilimi, besleme geriliminin(V_{cc}) $1/3$ altına düşerse iç flip-flop'u "SET" eder. Bu da çıkışın "Lojik - 0" durumdan "Lojik - 1" durumuna geçmesine neden olur.

- Pin 3 → Çıkış

$V_{cc} - 1.5V$ değerinde bir çıkış gerilimi ve 200mA'lık bir çıkış akımı sağlayabilir. Çıkış pini herhangi bir TTL devreyi rahatlıkla çalıştırabilir. Böylece küçük hoparlör, LED'ler veya motor doğrudan bağlanabilir.

- Pin 4 → Sıfırlama

Bu pin, çıkışın (Pin 3) durumunu kontrol ederek iç flip-flop'u "Sıfırlamak" için kullanılır. Bu bir aktif-düşük giriştir ve kullanılmadığı zaman çıkışın istenmeyen bir şekilde resetlenmesini önlemek için genellikle beslemenin pozitif ucuna bağlanmaktadır.

- Pin 5 → Kontrol Gerilimi

Bu pin, gerilim bölücü ağın $2/3 V_{cc}$ seviyesini geçersiz kılarak NE555'in zamanlamasını kontrol eder. Bu pine gerilim uygulayarak, RC zamanlama ağından bağımsız olarak çıkış sinyalinin genişliği değiştirilebilir. Kullanımına gerek duyulmadığında osilasyon ve gürültüyü engellemek amacıyla 10nF'lık bir kondansatör ile GND'ye bağlanır.

- Pin 6 → Eşik

2. Karşılaştırıcının pozitif giriş ucudur. Bu pin, uygulanan gerilim $2/3 V_{cc}$ değerini aştığında flip-flop'u sıfırlamak için kullanılır. Çıkışın "Lojik - 1" durumundan "Lojik - 0" durumuna geçmesine sebep olur. Bu pin doğrudan RC zamanlama devresine bağlanır.

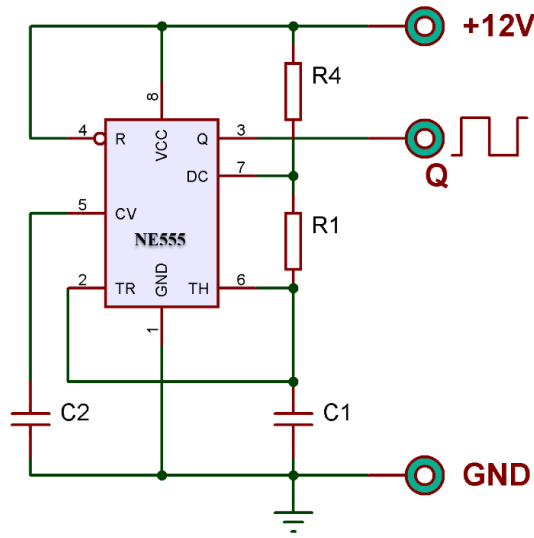
- Pin 7 → Boşaltma:

Çıkış pini (Pin 3) ‘ün durumu “Lojik - 0” olarak değiştiğinde, zamanlama kondansatörünü içindeki NPN transistör üzerinden deşarj etmek için kullanılır.

- Pin 8 → Besleme + Vcc

Bu pozitif besleme pinidir ve genel amaçlı TTL NE555 zamanlayıcıları 4.5V ile 15V arasında bir besleme gerilimine ihtiyaç duyarlar.

Şekil 3.3’te NE555 yongasıyla gerçekleştirilmiş bir multivibratör devresi gösterilmiştir.

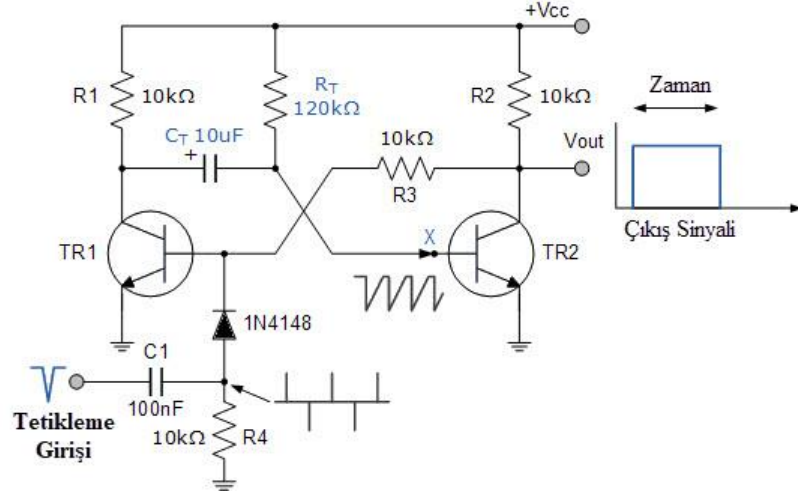


Şekil 3.3 : Temel NE555 multivibratör devresi.

3.2.1.1. Tek kararlı multivibratör (Monostable)

Tek kararlı multivibratörler yalnızca bir kararlı duruma (dolayısıyla isimleri: “Mono”) sahiptir ve harici olarak tetiklendiğinde tek bir çıkış darbesi üretir. Tek kararlı multivibratörler, yalnızca RC birleşik devrenin zaman sabiti tarafından belirlenen bir süreden sonra ilk kararlı durumuna geri döner.

Uygun bir harici tetikleyici sinyal veya darbe T süresi boyunca uygulandığında, “Lojik - 1” veya “Lojik - 0” olarak belirtilen genişlikte tek bir çıkış darbesi üretmek için kullanılır. Bu tetikleyici sinyal, tek kararlı multivibratörün çıktısının zamanlama döngüsünün başlangıcındaki durumunu değiştirmesine neden olan bir zamanlama döngüsü başlatır ve bu ikinci durumda kalır. Şekil 3.4’te iki transistörle gerçekleştirilmiş basit bir tek kararlı multivibratör devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Transistör ile gerçekleştirilmiş tek kararlı multivibratör devresi.

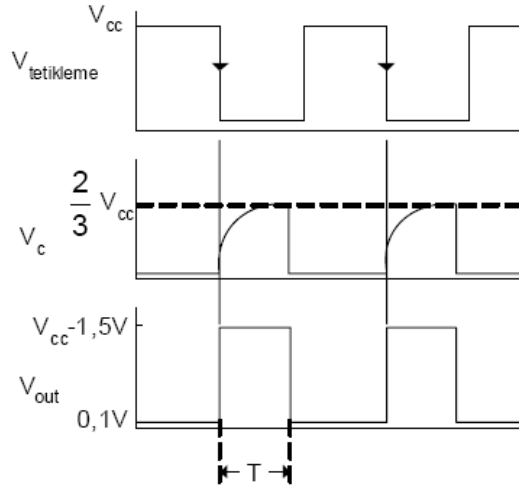
Tek kararlı multivibratör devresi, onu “bir darbe” üretici yapan yalnızca 1 kararlı duruma sahiptir. Harici bir tetikleme darbesiyle tetiklendiğinde pozitif veya negatif değer almaktadırlar.

Bir defa tetiklendiğinde durumunu değiştirir ve kullanılan RC geri besleme zamanlama bileşenlerinin önceden belirlenmiş zaman periyodu tarafından belirlenen bir süre boyunca bu ikinci durumda kalır. Bu süre geçtikten sonra, tek kararlı otomatik olarak kendisini ikinci bir tetik darbesini bekleyen orjinal düşük durumuna geri dönmektedirler.

Bu nedenle, tek kararlı multivibratörler, tetiklenmiş darbe jeneratörleri olarak kabul edilebilir. Devre içinde bir zaman gecikmesi üretmek için kullanılmaktadırlar.

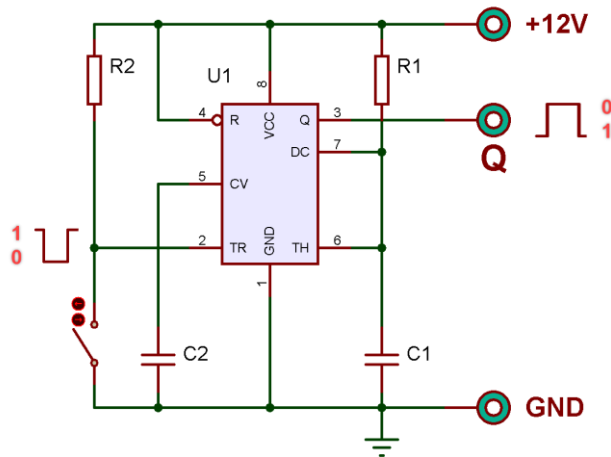
Tek kararlı multivibratörlerin ana dezavantajı, bir sonraki tetikleme darbesinin uygulanması arasındaki sürenin, kapasitörün şarj ve deşarj olmasını sağlamak için devrenin önceden ayarlanmış RC zaman sabitinden daha büyük olması gerektiğidir.

Tek kararlı yapılandırılmış NE555 zamanlayıcı osilatörünün tetikleme girişine (Pin 2) negatif (0V) bir darbe uygulandığında, iç karşılaştırıcı, (Pin 1) bu girişi algılar ve değiştirme floponun durumunu "SET" eder. Böylece “Lojik - 0” durumundan “Lojik - 1” durumuna geçmesini sağlar. Bu etki sırayla Pin 7'ye bağlı deşarj transistörünü “KAPALI” konuma getirir, böylece harici zamanlama kondansatörü C1 ile kısa devreyi kaldırır. Şekil 3.5'te NE555 yongasının tek kararlı multivibratör tetikleme ve çıkış dalga şekilleri ayrıntılı olarak verilmiştir [73].

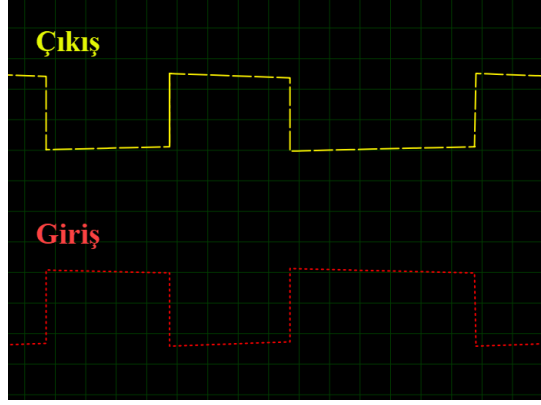


Şekil 3.5 : Tek kararlı multivibratör tetikleme ve çıkış dalga şekilleri.

Bu işlem, zamanlama kondansatörünün, R1 direnci üzerinden, kondansatördeki gerilimin iç gerilim bölücü ağı tarafından ayarlanan $\frac{2}{3} V_{cc}$ 'lik eşik (Pin 6) gerilimine ulaşana kadar şarjın devam etmesini sağlar. Bu noktada karşılaştırıcılar çıkışı “Lojik - 1” olur ve flip-flop'u orijinal durumuna geri döndürür, bu da transistörü “AÇIK” hale getirir ve kondansatörün Pin 7 üzerinden toprağa deşarj olmasını sağlar. Bu, çıkışın durum değiştirmesine neden olur. Böylece zamanlama işlemini tekrar başlatmak için başka bir tetikleme darbesini bekleyen orijinal sabit “Lojik - 0” değerine geri dönmüş olur. Daha önce de bahsedildiği gibi, tek kararlı multivibratör yalnızca “BİR” kararlı duruma sahiptir. Şekil 3.6'da NE555 entegresi ile gerçekleştirilmiş tek kararlı zamanlayıcı devresi ve Şekil 3.7'de çıkış sinyali gözlemlenmektedir.



Şekil 3.6 : NE555 ile gerçekleştirilmiş tek kararlı multivibratör devresi.



Şekil 3.7 : NE555 ile gerçekleştirilmiş tek kararlı multivibratör devresi çıktısı

Tek kararlı NE555, Pin 2'ye negatif olarak devam eden darbe uygulandığında tetiklenir. Bu tetikleyici darbe, çıkışın darbe genişliğinden daha küçük olmalıdır. Bunun sebebi şarj zamanlama kondansatörün dolup sonra tekrardan boşalması içindir. Bir kez tetiklendiğinde; NE555 Tek kararlı, $(R_1 * C_1)$ ağı tarafından belirlenen süre geçene kadar “Lojik - 1” dengesiz çıkış durumunda kalacaktır. Çıkış geriliminin “Lojik - 1” olarak kaldığı veya “1” mantık seviyesindeki kaldığı süre, aşağıdaki denklem 3.1'deki “sabit zaman denklemi” ile verilir.

$$\tau = (R_1 C_1) \ln(3) = 1.1 R_1 C_1 \quad (3.1)$$

NE555 ile tasarlanmış tek kararlı multivibratör örnek;

47 μ F zamanlama kapasitörü kullanılan NE555 entegresi ile yapılmış tek kararlı multivibratör devresi için minimum 100msn çıkış gecikmesi üretmek için gereken direnç değerini hesaplayalım.

100ms, 0.1s ile aynıdır, bu yüzden yukarıdaki denklem 3.1'i yeniden düzenleyerek, R direnci için hesaplanan değeri denklem 3.2'deki gibi elde ederiz:

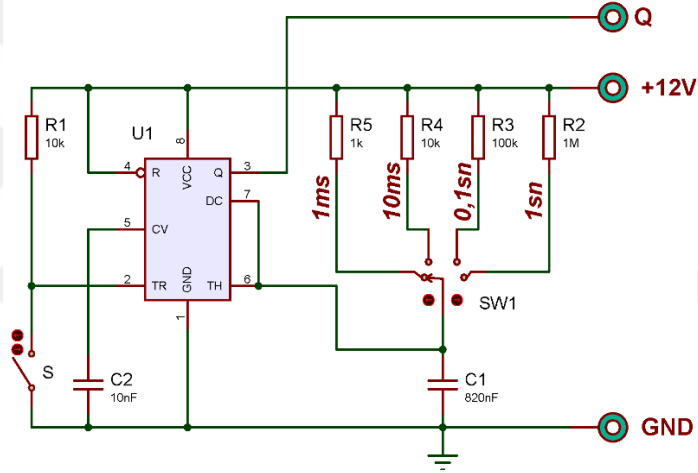
$$R = \frac{t}{1.1 C} = \frac{0.1}{1.1 \times 47 \mu F} = \frac{0.1}{1.1 \times 47 \times 10^{-6}} = 1.934 \text{ k}\Omega \quad (3.2)$$

Bu nedenle, 100ms'lik zaman sabitini üretmek için gereken zamanlama direnci için hesaplanan değer 1.93k Ω 'dur. Bununla birlikte, 1.93k Ω 'lık direnç değeri standart bir değer direnci olarak mevcut değildir. Bu nedenle standart tolerans aralıklarında mevcut

olan en yakın $2k\Omega$ değerinde direnç seçmemiz gerekmektedir. Bu ise bize 103.4ms'lik yeni bir yeniden hesaplanmış zaman gecikmesi verecektir.

Bu zaman farkının 3.4ms (100 – 103.4ms) farkı tek bir zamanlama direnci yerine kabul edilemezse, darbe genişliğini istenen tam değere veya seçilen farklı bir zamanlama kapasitör değerine ayarlamak için seri olarak iki farklı değerde direnç bağlanabilir.

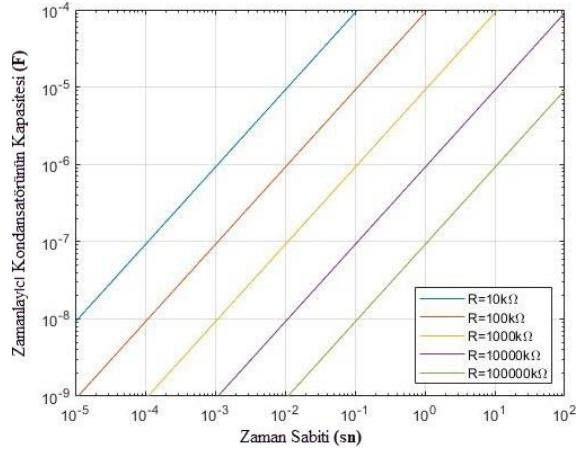
Şekil 3.8'de değiştirilebilir çıkış gecikmesi üretebilecek NE555 multivibratör devresi gösterilmektedir. Yukarıdaki örnekte olduğu gibi gereken bileşenler için R ve C değerlerini manuel olarak hesaplayabiliriz. Bununla birlikte, önceden hesaplanmış değerlerde istenen zaman gecikmesini elde etmek için gereken bileşenlerin komitatör bir anahtar ya da potansiyometre ile ayarlanması mümkündür.



Şekil 3.8 : NE555 ile gerçekleştirilmiş ayarlanabilir tek kararlı multivibratör devresi.

Osilatör çıkış frekansını belirlemeyi kolaylaştırmak amacıyla nomogram denilen grafikler kullanılabilir. Tek kararlı osilatör frekansını ayarlayabilmek amacıyla R ve C'nin farklı değerleri için Şekil 3.9'daki nomogram grafiği hazırlanmıştır. Bu grafik ile hesaplama yapmadan çıkış periyodunu yaklaşık olarak belirleyebileceğimiz gibi hesaplamasını yaptığımız frekansın sağlamasını da kolaylıkla yapabiliriz.

Dolayısıyla, sırasıyla $0.001\mu F$ ile $100\mu F$ ve $1k\Omega$ ila $10M\Omega$ aralığında uygun C ve R değerlerini seçerek, beklenen çıkış frekansını doğrudan nomograf grafiğinden okuyabilir ve böylece hesaplamalardaki herhangi bir hatayı ortadan kaldırabiliriz. Pratikte, tek kararlı NE555 zamanlayıcı için zamanlama direncinin değeri $1k\Omega$ 'dan az veya $20M\Omega$ 'den büyük olmamalıdır.

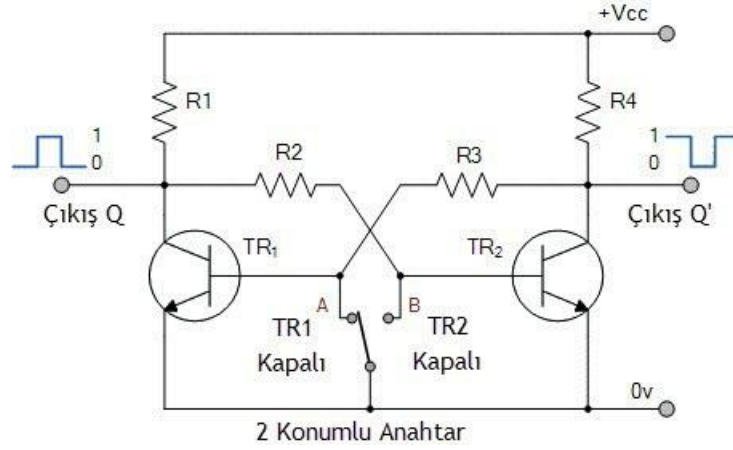


Şekil 3.9 : Tek kararlı nomografi.

3.2.1.2. Çift kararlı multivibratör (Bistable)

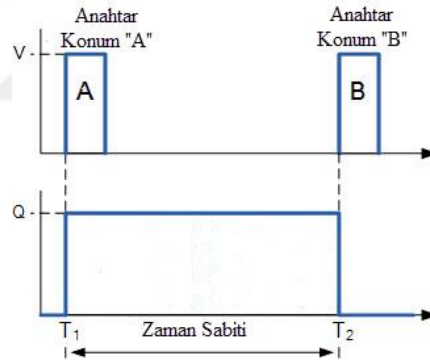
Çift kararlı Multivibratör devresi daha yaygın olarak “Flip-Flop” ismiyle bilinmektedir. Çift kararlı multivibratörler iki kararlı duruma sahiptir ve durumu değiştirmeye zorlayan harici bir tetikleyici uygulanmadığı sürece sahip olduğu durumu sonsuza dek korur. Şekil 3.10’da iki transistör ile gerçekleştirilmiş çift kararlı osilatör (flip-flop) devresi gösterilmektedir.

Çift kararlı multivibratör, bir harici tetikleme darbesi uygulanarak bir kararlı durumdan diğerine geçirilebilir, bu nedenle orijinal durumuna geri dönmeden önce iki harici tetikleme darbesi gerekmektedir. Çift kararlı multivibratörler iki kararlı duruma sahip olduklarından, yaygın olarak sıralı tip devrelerde kullanım için daha uygundur. Şekil 3.11’de iki transistörlü çift kararlı multivibratör dalga formları gösterilmektedir.



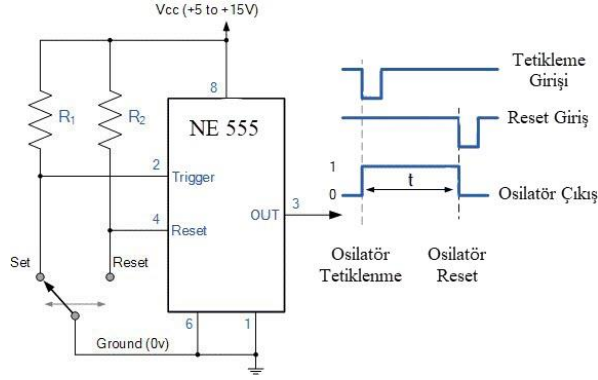
Şekil 3.10 : İki transistör ile gerçekleştirilmiş çift kararlı osilatör (flip-flop) devresi.

Şekil 3.11’de NE555 entegresi ile gerçekleştirilmiş çift kararlı (flip-flop) multivibratör devresinde çıkış dalga formunun değiştirilmesi, R1 ve R2 olmak üzere iki direnç tarafından “Lojik - 1” olarak tutulan NE555 zamanlayıcının tetikleme ve sıfırlama girişlerinin kontrol edilmesiyle sağlanmaktadır.



Şekil 3.11 : İki transistörlü çift kararlı multivibratör dalga formu.

Tetik girişi (Pin 2) “Lojik - 0” konumuna getirildiğinde, ayarlanan pozisyona geçilir. Sonrasında çıkışı “Lojik - 1” durumuna ve sıfırlama girişini (Pin 4) “Lojik - 0” duruma getirerek, sıfırlama pozisyonuna geçilir. Sonrasında çıkış “Lojik - 0” durumuna getirilir.



Şekil 3.12 : NE555 ile gerçekleştirilmiş çift kararlı (flip-flop) multivibratör devresi.

Bu NE555 multivibratör devresi, her iki durumda da süresiz olarak kalacaktır ve bu nedenle çift kararlı olacaktır. O zaman çift kararlı NE555 multivibratör her iki durumda da “Lojik - 1” ve “Lojik - 0” olarak kararlıdır. Normal zamanlama uygulamasında olduğu gibi, eşik girişi (Pin 6) çift kararlı devreyi sıfırlamaması için toprağa bağlanmaktadır. Şekil 3.12’de çift kararlı NE555 multivibratör (flip-flop) devresi gösterilmektedir.

Çıkış frekansı:

$$f_{\text{çıkış}} = \frac{1,44}{(R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C} \quad (3.3)$$

% Görev Döngüsü (Duty Cycle):

$$\% \text{ DC} = \frac{(R_1 + R_2) \cdot 100}{(R_1 + 2 \cdot R_2)} \quad (3.4)$$

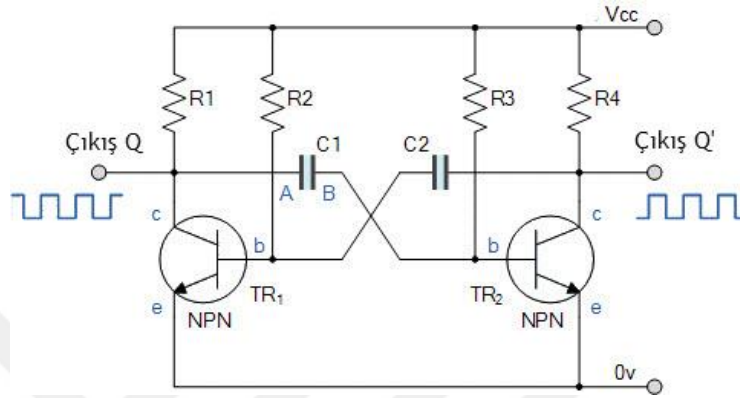
formülleri ile hesaplanabilmektedir.

3.2.1.3. Kararsız (Serbest çalışan) multivibratör (Astable)

Sürekli olarak iki kare dalga, çıkış dalga formu üreten iki durum arasında salınan serbest çalışan osilatörlerdir. Serbest çalışan multivibratörler en yaygın kullanılan gevşeme osilatör tipidir. Çünkü basit, güvenilir ve yapım kolaylığının yanında aynı zamanda sabit bir kare dalga çıkış dalga formu da oluştururlar.

Serbest çalışan multivibratörler, tek kararlı multivibratör ve çift kararlı multivibratör’lerden farklı olarak, operasyonları için “harici” bir tetikleme darbesine ihtiyaç duymamaktadır. Serbest çalışan multivibratör, kendisini iki sabit olmayan durum arasında sürekli olarak tetikleyen otomatik tetikleme özelliğine sahiptir.

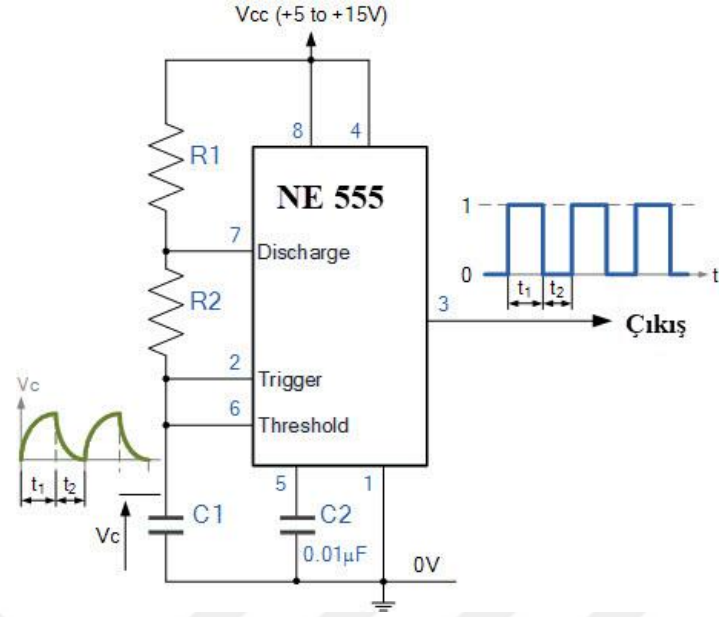
Elektronik devrelerde, serbest çalışan multivibratörler ayrıca salınım yapmak için herhangi bir ek giriş veya harici yardım gerektirmediklerinden Kararsız (Astable) Multivibratör olarak da bilinir. Serbest çalışan osilatörler, çıkışından veya çıkışlarından sürekli bir kare dalga üretirler. Şekil 3.13'te iki transistörle gerçekleştirilmiş temel serbest çalışan multivibratör devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.13 : İki transistörle gerçekleştirilmiş temel serbest çalışan multivibratör devresi.

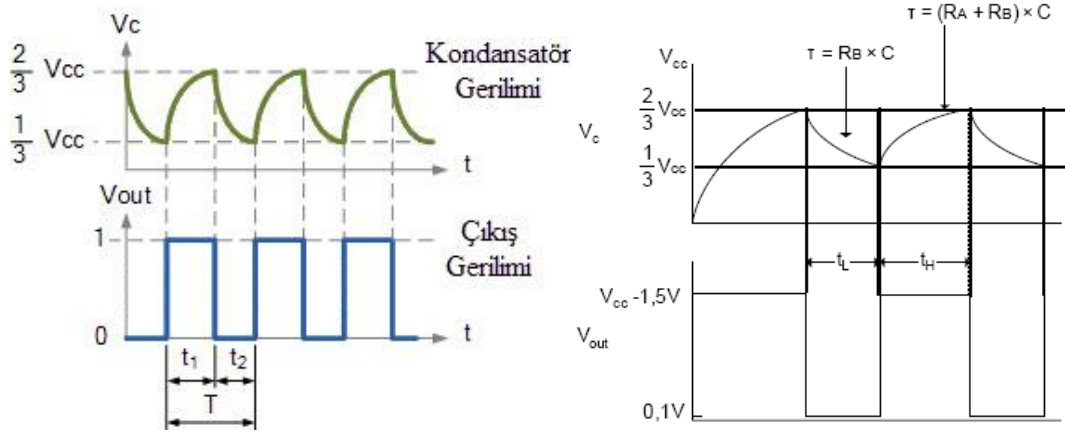
NE555 osilatör; görev döngüsü %50 ile %100 arası değişen, 500KHz'e kadar ayarlanabilir frekansa sahip ve kare dalga çıkışı üreten, gevşetme osilatörün bir türüdür. NE555 Tek kararlı devresi, önceden belirlenmiş bir süre sonunda durur ve bir sonraki tetikleme darbesini bekler. NE555 osilatörünün serbest çalışan multivibratör olarak çalışmasını sağlamak için, her döngüden sonra NE555 entegresini yeniden tetiklemek gerekmektedir.

Bu yeniden tetikleme temel olarak "tetik" girişini (Pin 2) ve "eşik" girişini (Pin 6) birbirine bağlayarak cihazın serbest çalışan osilatör olarak çalışmasını sağlar. NE555 osilatörü bir durumdan diğerine sürekli olarak geçiş yaptığı için kararlı duruma sahip değildir. Aynı zamanda, önceki tek kararlı multivibratör devresinin tek zamanlama direnci R1 ve R2 olmak üzere iki ayrı dirence bölünmüştür. Bölünen bu iki direnç olan R1 ve R2, Şekil 3.14'te gösterildiği gibi "deşarj" girişine (Pin 7) bağlanmıştır. Şekil 3.15 'te tetikleme ve çıkış dalga formları ile ilgili grafikler verilmiştir [74].



Şekil 3.14 : NE555 ile gerçekleştirilmiş serbest çalışan multivibratör devresi.

NE555 osilatörün, her döngüde kendini tekrar tetiklemesi için pin 2 ve pin 6 birbirine bağlanır. Böylece serbest işleyen bir osilatör olarak çalışmasına izin verilmiş olur. Her döngüde kondansatör C1 iki zamanlama direnci olan R1 ve R2 aracılığıyla şarj olur. Fakat sadece “boşaltma” terminali olan pin 7’ye bağlanmış R2 aracılığıyla deşarj olur.



Şekil 3.15 : NE555 ile gerçekleştirilmiş serbest çalışan multivibratör devresi dalga formları.

Daha sonra kapasitör kendini, “ $0,693 * (R1 + R2) * C$ ” kombinasyonu tarafından belirlenen $2/3 V_{cc}$ ’ye kadar (üst karşılaştırıcı sınırı) şarj eder ve “ $0,693 * (R2 * C)$ ” tarafından belirlenen $1/3 V_{cc}$ (aşağı karşılaştırıcı sınırı) değerine kadar boşalır. Çıkış pini gerilim seviyesi yaklaşık olarak “ $V_{cc} - 1,5V$ ” 'a eşit olur. Çıkışı kapasitörle direnç

kombinasyonları tarafından belirlenen “ON” ve “OFF” zaman periyotlarına sahip bir çıkış dalga formu ile sonuçlanır. Bu sinyal döngüsünü elde etmek için gerekli denklemler, denklem 3.5 ve denklem 3.6’da verilmiştir.

$$t_1 = 0.693(R_1 + R_2)C \quad (3.5)$$

$$t_2 = 0.693 \times R_2 \times C \quad (3.6)$$

Burada, R’nin birimi Ω ve C'nin birimi de Farad olarak alınmalıdır.

Serbest çalışan multivibratör olarak bağlandığında; NE555 osilatöründen gelen çıkış, güç kaynağı kaldırılıncaya kadar $2/3 V_{cc}$ ve $1/3 V_{cc}$ arasında süresiz olarak şarj olmaya ve deşarj olmaya devam edecektir. Tek kararlı multivibratörde olduğu gibi, bu şarj - deşarj süreleri ve dolayısıyla frekans, besleme geriliminden bağımsızdır.

Denklem 3.7’de ifade edildiği gibi, bir tam zamanlama döngüsünün süresi, kondansatörün bir araya getirdiği ve boşalttığı iki ayrı zamanın toplamına eşittir.

$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_1 + 2R_2)C \quad (3.7)$$

Salınımların çıkış frekansı, denklem 3.7’de verilen denklemin tersine çevrilmesiyle bulunur. Bu da bir serbest çalışan NE555 osilatörünün çıkış frekansı anlamına gelir ve denklem 3.8’de gösterilmiştir.

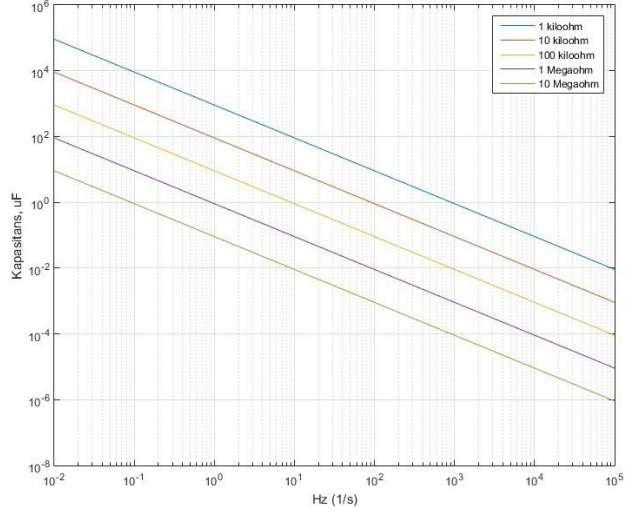
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} \quad (3.8)$$

Sadece RC kombinasyonlarının zaman sabiti değiştirilerek, çıkış dalga biçiminin “Mark-to-Space” oranı olarak da bilinen görev döngüsü değeri daha iyi ayarlanabilir. Bu oran R_2 direncinin R_1 oranı olarak da bilinir. “AÇIK” zamanın “KAPALI” zamana bölünmesiyle NE555 osilatörün görev döngüsü oranı denklem 3.9’daki gibi hesaplanarak bulunabilir.

$$\% \text{Görev Döngüsü (Duty Cycle)} = \frac{T_{ON}}{T_{OFF} + T_{ON}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \% \quad (3.9)$$

Görev döngüsünün birimi yoktur, ancak yüzde (%) olarak ifade edilebilir. Her iki zamanlama direnci, R_1 ve R_2 değer olarak eşitse, çıkış görev döngüsü 2:1 oranında olacaktır. Yani %66 “Lojik - 1” zaman ve %33 “Lojik - 0” zaman olacaktır. Ayrıca

serbest çalışan multivibratör devresinin darbe frekansını ayarlarken kullanacağımız kondansatör ve direnç değerlerini kolaylıkla belirlemek için Şekil 3.16'daki nomogram grafiği kullanılabilir.



Şekil 3.16 : NE555 Serbest çalışan multivibratör devresi nomogram grafiği (Hz).

NE555 ile tasarlanmış serbest çalışan multivibratör örnek;

Bir “Kararsız NE555 Osilatör” aşağıdaki bileşenleri kullanılarak inşa edilmektedir. $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$ ve kondansatör $C=10\mu F$ 'dir. NE555 osilatöründen çıkış frekansını ve çıkış dalga formunun görev çevrimini hesaplayalım.

t_1 – kondansatörün şarj süresi denklem 3.10 yardımıyla hesaplanabilir;

$$t_1 = 0.693(R_1 + R_2)C \quad (3.10)$$

$$t_1 = 0.693(1000 + 2000) \times 10 \times 10^{-6}$$

$$t_1 = 0.021 \text{ s} = 21\text{ms}$$

t_2 – kondansatörün deşarj süresi sırasıyla denklem 3.11 yardımıyla hesaplanabilir;

$$t_2 = 0.693 R_2 C \quad (3.11)$$

$$t_2 = 0.693 \times 2000 \times 10 \times 10^{-6}$$

$$t_2 = 0.014 \text{ s} = 14\text{ms}$$

Toplam periyodik zaman (T) bu nedenle denklem 3.12'deki gibi hesaplanabilir;

$$T = t_1 + t_2 = 21 \text{ ms} + 14 \text{ ms} = 35 \text{ ms} \quad (3.12)$$

Çıkış frekansı (f) denklem 3.13 ile elde edilebilir;

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{35 \text{ ms}} = 28.6 \text{ Hz} \quad (3.13)$$

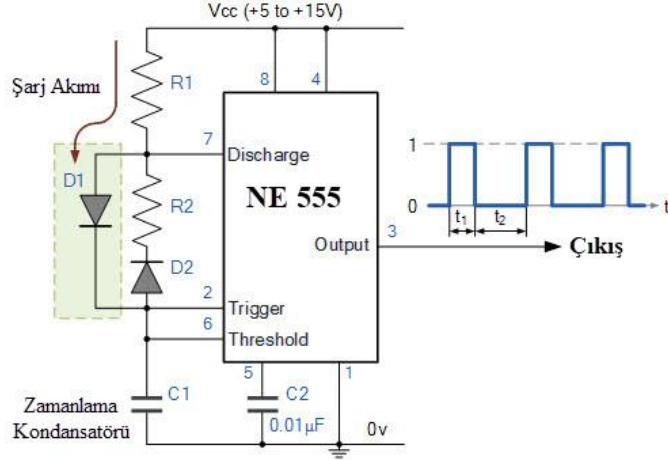
Bu verilerden hareketle görev döngüsü denklem 3.14 ile elde edebilir;

$$\text{Görev Döngüsü} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{1000 + 2000}{1000 + (2 \times 2000)} = 0.6 = \%60 \quad (3.14)$$

C, zamanlama kondansatörü, R1 ve R2 dirençleri üzerinden şarj olur, ancak yalnızca R2 direnci aracılığıyla deşarj olur. R2 direncinin değeri değiştirilerek görev döngüsü %50 ile %100 arasında bir oranda değiştirilebilir. R2 direncinin değeri azaltılarak görev döngüsü %100'e çıkarılabilirken, R2 direncinin değeri arttırılarak görev döngüsü %50'ye düşürülebilir. R2 direnci R1 direncine göre çok büyükse, NE555 kararsız devrenin çıkış frekansı sadece R2*C ile belirlenir.

Bu temel serbest çalışan NE555 osilatör konfigürasyonun sorunu görev döngüsüdür. "Mark-to-space" oranı olarak da bilinen bu değer %50'nin altına asla düşmemektedir. R2 direnci bu değer altına düşmesini engeller. Başka bir deyişle, "(R1+R2)*C" her zaman "(R1*C)" değerinden büyük olacağından, çıkıştaki "AÇIK" süresini "KAPALI" süresinden daha kısa yapamayız. Bu sorunun üstesinden gelmenin bir yolu, Şekil 3.17'de gösterildiği gibi direnç R2'ye paralel olarak diyot bağlayarak sinyal atlatması yapmaktır.

Bağlanan D1 diyotu "tetik" girişi ile "boşaltma" girişi arasında kalmış olur. Böylece C1 zamanlama kondansatörü, R1 aracılığıyla direk olarak şarj olacaktır. Bunun sebebi ise R2'nin diyot tarafından etkili bir şekilde atlatılmasıdır. Kondansatör ise, R2 direnci üzerinden normal şekilde deşarj olacaktır.



Şekil 3.17 : Geliştirilmiş NE555 osilatör görev döngüsü.

Zamanlama kondansatörünün R2 üzerinden değil, yalnızca D1 diyotu üzerinden şarj olmasını sağlamak gerekirse ilave bir D2 diyotu R2 direncine seri olarak bağlanabilir. Bunun nedeni, doldurma işlemi sırasında D2 diyotunun içinden geçen akımın, akışını bloke eden tarafa bağlanmasıdır. Şimdi $t_1 = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$ 'nin önceki şarj süresi, bu yeni şarj devresini dikkate alacak şekilde konfigüre edildiğinde denklem 3.15'a dönüşmüş olacaktır.

$$t_1 = 0.693 (R_1 \times C) \quad (3.15)$$

Devrenin görev döngüsü de denklem 3.16'deki gibi olacaktır.

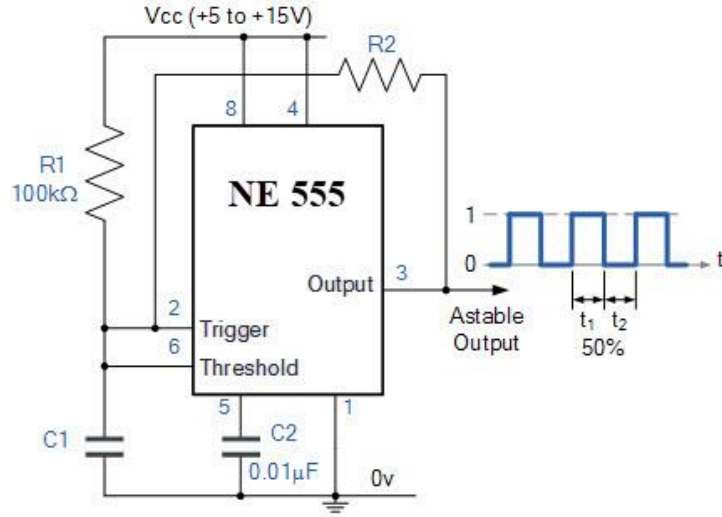
$$DC = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3.16)$$

Daha sonra %50'den az bir görev döngüsü oluşturmak için, R1 direncinin değeri R2 direncinden daha küçük olması gerekmektedir.

Zamanlama kondansatörü C1'in aracılığıyla (R1+D1) kombinasyonu şarj olması, daha sonra R2+D2 kombinasyonu aracılığıyla boşaltılması sağlanarak önceki devredeki görev döngüsü problemi çözülmüştür. Fakat ekstradan iki adet diyot kullanılmıştır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Ekstra eleman kullanımı olmadan bu problemi ortadan kaldırmak için; şarj direnci R2 çıkışa (Pin 3) Şekil 3.18'deki gibi bağlanarak çok kolay bir şekilde ve herhangi bir ekstra

diyot gerektirmeden tam %50 görev döngüsüne sahip sabit bir kare dalga çıkışı üretebiliriz.



Şekil 3.18 : Görev döngüsü %50 olan bir serbest çalışan osilatör.

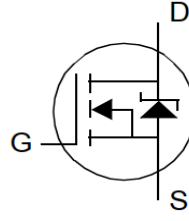
3.3. Çıkış Birimi

3.3.1. Mosfet parametrelerinin ayarlanması

Günümüz teknolojilerinde Mosfet ve IGBT'lerin güç elektroniğine yön veren elemanlar olduğunu söylersek abartmış olmayız. Teknolojik gelişmeler ile SiC ve GaN tipleri bekleniyor olsa da şuan klasik olarak üretilen silikon modelleri de mükemmel bir şekilde işlevlerini yerine getirmektedir.

Güç Mosfetleri BJT transistörlerinden yaklaşık olarak 10 kattan daha hızlı anahtarlama kabiliyeti olduğu için tercih edilmektedir. Gerilim kontrollü bir anahtarlama elemanıdır. N tipi Mosfetler P tipi Mosfetlerden daha hızlıdır, yani N tipi Mosfetlerde P tipi Mosfetlere göre elektron iletme hızı daha yüksektir.

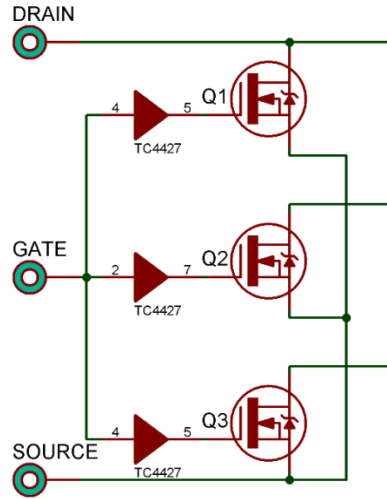
Enhancement Mosfetler azaltan kanallı Mosfetlerin aksine normalde "OFF" durumunda olan Mosfetlerdir. Enhancement Mosfetlerin G ucuna gerilim uygulanmadığı sürece D ve S uçları arasından akım geçmez. Vgs gerilim seviyesi 0V iken Ids akım seviyeside 0A'dır. N Tipi Çoğaltan Kanallı (Enhancement) Power Mosfet Sembolü aşağıda Şekil 3.19 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 : N tipi çoğaltan kanallı (Enhancement) power Mosfet sembolü.

Şekil 3.20’de de görüldüğü gibi Mosfetin drain ve source bacaklarına paralel bir yapıda, drain bacağına ters polarmalandırılmış bir şekilde diyot bulunmaktadır. Mosfetin bacaklarına bağlanan bu diyotun amacı Mosfetin uçlarında oluşabilecek ters gerilimden Mosfeti korumak içindir. Yüksek frekansta çalışan, büyük darbe akımlarını kontrol etmek amacıyla verimliliği yüksek güç sistemlerinde dinamik dengeyi sağlamak için büyük önem arz etmektedir.

Mosfetlerin çıkış kapasitesini arttırmak için Şekil 3.20’de olduğu gibi paralel olarak bağlantıları yapılmaktadır. Mosfetlerin paralel olarak bağlanmasının yanında getirdiği avantajlardan biride Rds direncinin 3’e bölünecek olmasıdır. Rds direnci azaldığı için Mosfet üzerindeki ısı kayıplar da azalacaktır. Paralel bağlanacak Mosfetlerin özdeş olması gerekmektedir. Aynı Mosfetlerin içindeki hücresel yapılar, hem yapısal hem de termal olarak eşleştiği için paralel bağlandığında akımı ve gücü iyi bir şekilde iletirler. Ayrıca Mosfet seçimi yapılırken, kullanılacak Mosfetin akımı eşit paylaşılabilmesi için kolay paralellenebilir bir özelliğe sahip olmalıdır.



Şekil 3.20 : Mosfetlerin paralel bağlanması.

Mosfeti kontrol etmek için multivibratörden gelen çıkış direk kullanılamaz. NE555 yüksek hızlarda doğru anahtarlama için ihtiyacı olan akımı sağlayamayacağından Mosfet sürücü devresi ya da entegresi kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada TC4427 Mosfet sürücüsü yongası kullanılacaktır. Mosfeti iletme ve yalıtıma götürmek için en uygun yöntem olarak tercih edilmiştir.

3.3.2. Bobin parametrelerinin ayarlanması

Sülfat giderici devresindeki indüktörün amacı, enerjiyi depolamanın yanında daha kısa ama daha yüksek bir enerji darbesi üretmek ve bu darbeyi çok hızlı bir şekilde aküye uygulamaktır.

Tipik olarak şarj darbeleri indüktöre Mosfet aracılığıyla, 30 ile 50 mikrosaniye arasında değişen sürelerde uygulanmaktadır. Mosfet kapandığında indüktördeki alan çöker ve bir elektrik enerjisi darbesi oluşturur. Aşağıdaki parametreler, enerji darbesinin büyük mü, küçük mü yoksa direnç nedeniyle mi azaldığını belirlemektedir.

Aşağıdaki formülde de belirtildiği üzere bobin indüktansına bağlı olarak akımın bobinin üzerinde indüklediği gerilim verilmiştir.

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (3.17)$$

Bu denklemden yola çıkarak iki önemli çıkarım yapılmaktadır.

1) Eğer bobinin üzerinden geçen akım sabit ise bobin üzerinde hiç bir gerilim düşmesi olmaz. Yani bobinin üzerinden doğru akım geçirilirse kısa devre gibi davranacaktır.

2) Bobinin üzerindeki akım aniden değiştirilemez, yani zaman aralığı 0 saniye için bobin üzerinde akım değişmesi sıfırdan farklı sonlu bir değer olamaz. Daha da açarsak ani bir akım değişimi için sonsuz gerilim uygulanmalıdır.

Bu büyük bir tasarım problemi olup bobinler üzerinde biriken enerjinin yol açtığı indüksiyon akımı devrelere zarar verebilir. Bir bobinde akımın geçiş yönünde bir değişme olmadığı halde gerilim negatif değer alabilir. Gerilim aniden sıçrayabilmektedir. Gerilimin pozitiften negatife doğru olan akım yönüne ters olduğu anlarda bobin depoladığı enerjiyi devreye geri veriyor demektir. Bobinler üzerindeki düşen akım denklem 3.17 tekrar düzenlenirse denklem 3.18'deki gibi yazılabilir.

$$v = L \frac{di}{dt} \Rightarrow v dt = L di$$

$$di = \frac{1}{L} v dt \quad (3.18)$$

Değişken değiştirerek yeniden yazarsak (denklem 3.19);

$$\int_{i(t_0)}^{i(t)} di = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v dt \Rightarrow i(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v dt + i(t_0) \quad (3.19)$$

$t_0 = 0$ alırsak; bobinin üzerine düşen akım denklem 3.20 elde edilir.

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t v dt + i(0) \quad (3.20)$$

Devre içinde kullanılan bir parçanın tükettiği gücü bulmak için $P = V.I$ formülünü temel (denklem 3.21) olarak kullanırız. Bu formül baz alınarak, bobin için denklem hesaplamalar yapılır.

$$P = v.i = \left(L \frac{di}{dt} \right) i = \frac{1}{2} L \frac{di^2}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} Li^2 \right] \quad (3.21)$$

İdeal bir indüktans sadece endüktansa sahip değildir, bu nedenle $R = 0 \Omega$ olur ve bu nedenle bobin içinde güç dağılmaz, buna dayanarak ideal bir indüktörün sıfır güç kaybına sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Bobin üzerindeki enerji miktarı hesaplanmak istenirse denklem 3.22'deki işlemler dikkate alınmalıdır.

$$P = \frac{dw}{dt} \Rightarrow P dt = Li \frac{di}{dt} dt = dw = Li di \quad (3.22)$$

Enerjinin hesaplanması için denklemde integral alınır ve zaman değerleri yerine konursa (denklem 3.23).

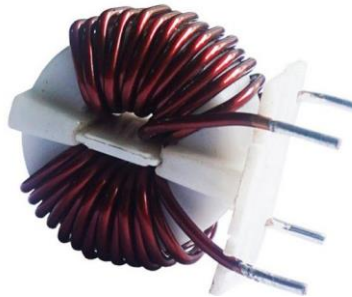
$$\int_{w(t_0)}^{w(t)} dw = L \int_{i(t_0)}^{i(t)} i di \Rightarrow w(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) - \frac{1}{2} Li^2(t_0) + w(t_0) \quad (3.23)$$

Yukarıda denklem düzenlendikten bir indüktörün depoladığı enerji miktarının formülü olan denklem 3.24 elde edilir. [75].

$$w(t) = \frac{Li^2(t)}{2} \quad (3.24)$$

Amacınız yüksek akım darbeleri üretmekse, direnci düşük tutmanız gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse; Tipik bir araba aküsünün iç direnci, 0.03Ω civarındadır. Eğer indüktör Şekil 3.21'deki gibi 4 ayaklı ve 20 tur sarılmışsa, endüktansdaki direnç yaklaşık 0.04Ω olacaktır.

Böylece, akünün iç direnci 0.03Ω ve akım kaynağının iç direnci 0.04Ω olacaktır. Bu "direnç" ilişkisi, indüktördeki sargıların, indüktörün çekirdeği tarafından üretilen enerjinin %57'sini, yalnızca aküden daha yüksek bir dirence sahip olması nedeniyle kendi üzerinde ısıya çevireceği anlamına gelmektedir.



Şekil 3.21 : Dört ayaklı toroid bobin.

Üretilen enerjinin %50'den fazlasının indüktör üzerinde harcanması anlamına geldiğinden bu indüktörlerin ısınmasının ana nedenidir. Bu nedenle indüktör sargılarının

iç direncini düşük tutulacak şekilde sarılması gerekmektedir. AL değerinin yüksek olması faydalı olacaktır. AL değerinin hesaplanması ile ilgili formül denklem 3.25'deki gibidir.

$$AL = \frac{L}{N^2} \quad (3.25)$$

N: Tur Sayısı

L: Bobinin Endüktansı (nano Henry cinsinden)

İndüktörün sarımı kadar üzerine sarıldığı çekirdekte önem arz etmektedir. Çekirdek seçiminde en önemli hususlar genellikle aşağıdaki gibidir;

- Endüktans değeri
- Endüktansın ayarlanabilir olması gerekip gerekmediği
- Frekans kapsamı (Fmax)
- Maksimum akım (Imax)
- İzin verilen kayıplar

Aşağıdaki Tablo 3.1 bu yönde bir kılavuzluk amacıyla hazırlanmıştır [76].

Tablo 3.1 : Farklı özellikte indüktörler.

Çekirdek Tipi	Minimum L	Maximum L	Frekans Sınırı	Ayar Tablosu	Yüksek Akım
Hava Çekirdekli , Kendinden Destekli	20 nano henry	1 mikro henry	1GHz	✓	✓
Hava Çekirdekli, Eski	20 nano henry	100 mikro henry	500MHz	-	✓
'Slug' Açık Sarma Ayarlı	100 nano henry	1 milli henry	500MHz	✓	-
Ferrit Halka	10 mikro henry	20 mili henry	500MHz	-	-
RM Ferrit Çekirdek	20 mikro henry	0.3 henry	1 MHz	✓	-
EC veya ETD Ferrit Çekirdek	50 mikro henry	1 henry	1GHz	-	✓
Demir	1 henry	50 henry	500MHz	-	✓

Tasarımda kullanılacak indüktör demir nüveli olmamalıdır. Çünkü demir nüve enerjii emmektedir. Fakat bizim ihtiyacımız L2 bobinini uzun süre boyunca şarj etmek ve

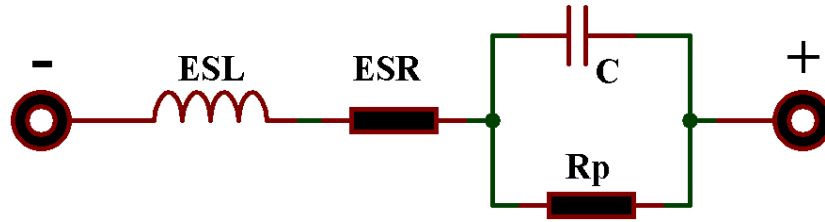
mümkün olan en kısa sürede ise deşarj etmektir. Bunun yanında manyetik alanın sınırlandırılmasını ve yönlendirilmesinde etkin bir bobin türü kullanmak gerekmektedir.

İndüktörü ayarladıktan sonraki en önemli adım indüktörün enerji depolama kabiliyetine en uygun darbe frekansını bulmaktır. Mosfetlerin iletimde olduğu süre L2'ye ne kadar enerji akışı olacağını belirlemektedir.

Düşük ve yüksek dalgalanmalı akım değişimleri olan sistemlerde indüktör seçilirken indüktörün doyum akım seviyesi pik akım seviyesinden yüksek olmalıdır. Aynı zamanda seçilen transistörün pik akımını idare edebilecek bir şekilde seçilmelidir. Ayrıca indüktör RMS değerlerine uygun olarak seçilmelidir [77].

3.3.3. Kondansatör parametrelerinin ayarlanması

Çıkış katındaki kondansatörler oldukça düşük ESR değerine sahip olmalıdır. Çünkü alternatif akım (AC) altında çalışan kondansatörlerde endüktif reaktans (X_L) (denklem 3.27) ve kapasitif reaktans (X_C) (denklem 3.28) frekansa bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim aşağıdaki denklemlerde ifade edilmiştir [78]. Gerekli hesaplamaları yapabilmek için bobinin endüktansı denklem 3.26 ile hesaplanmalıdır. Ayrıca kondansatörün eşdeğer devresi Şekil 3.22 deki gibidir.



Şekil 3.22 : Kondansatörün eşdeğer devresi.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell} \quad (3.26)$$

$$X_L = 2\pi fL \quad (3.27)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3.28)$$

L: Bobin endüktansı, henry (h)

X_L : Endüktif reaktans

X_C : Kapasitif reaktans

ℓ : Tel uzunluğunu, santimetre (m)

μ : Manyetik geçirgenlik henry/metre (h/m)

N: Sarım sayısı

A: Bobin kesit alanı (cm²)

f: Frekans (Hz)

C: Kondansatör kapasitesi

Yüksek frekanslı alternatif (AC) bir gerilim altında çalışan kondansatörün kapasitif reaktansı azalırken endüktif reaktansı artacaktır. Aksi durumda ise kapasitif reaktansı artarken endüktif reaktansı azalmaktadır. X_L ve X_C reaktanslarının empedans değerleri (Z_L ve Z_C) birbirine ters büyüklükler olduğu için eşdeğer empedans değeri hesaplanırken birbirinden çıkarılmaktadır. Rezonans frekansında yani $X_L=X_C$ olduğu durumda iki aynı değer birbirini yok edeceğinden, eşdeğer empedansı sadece ESR olacaktır.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Sülfat çözücü devrenin bilgisayar simülasyonu, akü gerilimi 10V ve akü iç direnci $2.7m\Omega$ ile $2.7k\Omega$ arasında olduğu varsayılan akü grubu üzerinde gerçekleştirilecektir. Ayrıca deneysel uygulamalar yapılacaktır. Devrenin tasarımı, deneysel sonuçları ve analizleri bu bölümde sunulacaktır.

4.1. AKC Nedir?

Bir AKC, kurşun sülfatı çözmek için, dâhili akü plakalarını temizleyen ve elektrolit sıvısının yoğunluğunu düzenleyen elektronik bir cihazdır. Kurşun sülfat, akünün iç plakalarında oluşarak akünün şarj kapasitesini azaltacağı gibi uzun süre devam eden sülfatlaşmalarda akünün geri döndürülemez bir şekilde zarar görmesine sebep olabilir. Kurşun sülfatın tekrar asit çözeltisine geri kazandırılmasıyla, akünün ömrünün büyük ölçüde uzatılması sağlanabilir.

AKC akü de sülfatlanmayı önler ve mevcut kurşun sülfat kristallerini tersine tepkimeye girmeye zorlayarak akünün maksimum performans ve kullanım ömrüne ulaşmasını sağlamaktadır.

AKC kurşun sülfat kristallerini bir arada tutan kovalent bağları parçalamak için aküye farklı genliklerde akım ve gerilim darbeleri uygulamaktadır. Bu darbeler akünün şarj edilmesinden sonra geri kazanılmasını sağlamaktadır. Kurşun sülfat kristallerinden temizlenmiş bir akü maksimum verimi sağlayacağı gibi bu işlem sonucunda akünün ömrünün iki belki üç katına çıkması muhtemeldir.

4.2. AKC Kullanım Avantajları

AKC kullanarak, sertleştirilmiş sülfat çözdürülebilir ve aktif madde geri kazanılabilir. Sertleştirilmiş sülfatın giderilmesinde en etkili olan yöntem yüksek frekanslı darbeli akımların kullanılmasıdır.

Desülfasyon işlemi tamamen otomatik olup sıcaklık, gerilim ve frekans kontrollü olarak işlem yapılmaktadır. Bu işlem, elektrolit sıvının yoğunluğunun artmasına, akü iç direncinin azalmasına ve akü kapasitesinin artmasına katkı sağlayacaktır.

Endüstriyel akülerin ortalama ömrünün beş ila yedi yıl arasında olduğu tahmin edilmektedir. Desülfasyon işlemi yapılmış bir akü genellikle iki ila dört yıl daha hizmet verebilmektedir. AKC avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Aküdeki sülfatlanmayı önler.
- Tak çalıştır, herhangi bir ek konfigürasyon ve kurulum gerektirmez.
- Akü seperatörleri üzerindeki mevcut yalıtkan kurşun sülfat kristallerini temizler.
- Akünün kullanım ömrünü beklentilerin ötesine taşır.
- Akünün çalışma performansını optimize eder.
- Akünün ilk kullanılmasıyla beraber kullanıldığında ömrünü iki ya da üç katına çıkarır.
- Yeni bir akü alımına gerek kalmadığı için ekonomik tasarruf sağlar.
- Akünün çalışma sıcaklığını otomatik olarak algılayarak optimize eder.
- Daha yeşil bir dünyaya sahip olmamız için katkı sağlar.

4.3. AKC Çevresel Beklentiler

Akünün ömür beklentisini 2-3 kat arasında arttıracakları ön görüldüğünden yeni akü talebinin ertelenmesini sağlayacaktır. Normal bir akü kullanıcısı ortalama 3 akü alması gereken sürede tek akü ile ihtiyacını karşılayabilecektir. Bu nedenle akülerin optimum kullanımı ile çevresel bir kazanç oluşacaktır.

Akünün elden çıkarma oranının düşürülmesi, tehlikeli olan kurşun, plastik ve sülfürik asidin daha düşük oranda geri dönüştürülmesi anlamına gelir. AKC teknolojisi ile aküler daha uzun süre kullanılabilir olduğundan, çok fazla CO₂ tasarrufu sağlayacaktır. Bu şekilde, AKC daha temiz bir çevre içinde katkıda bulunacaktır.

Dünyada sürdürülebilir olmak için çevreyi ve insan sağlığını tehlikeye atacak yöntemlerden uzak durulması gerekmektedir. Yedek akü satın alınmasının ertelenmesi, bir bireyin/firmanın bir sosyal sorumluluk aldığı gösterdiği gibi ekonomik olarak tasarrufta bulunmasına katkı sağlayacaktır.

Çevreye ve insan sağlığına verdiğimiz değerden dolayı devrede kullanılan tüm komponentlerin RoHS uyumlu olmasına dikkat edilmiştir.

4.4. Akü Koruma Cihazı Devre Bileşenleri

Devre tasarım sürecinde birçok farklı çalışma incelenmiş ve bu çalışmaların eksikleri ve artıları gözlemlenerek yeni bir çalışma ortaya çıkarılmıştır.

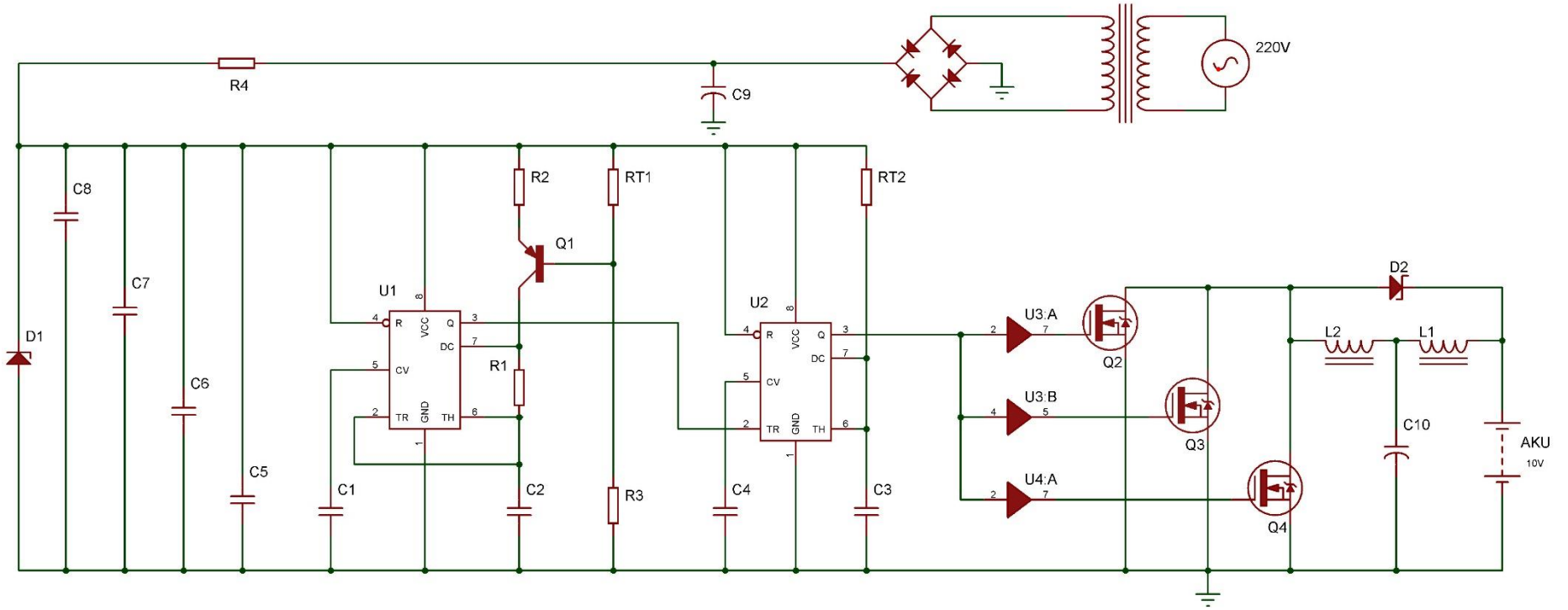
Bu yapılan tasarım sayesinde 12V ile 48V arasındaki tüm adaptörlerle sistem beslenebilir. Bunun için yapılması gereken tek şey R4 direncinin aşağıdaki Tablo 4.1'den uygun değerlerde seçilmesi ve montajının yapılmasıdır.

Tablo 4.1 : Koruma direnci seçim tablosu.

R_4 Direncinin Değeri		
Besleme Gerilimi(V)	Direnç Değeri(Ω)	Direncin Gücü(W)
12	120	0.5
24	240	1
36	480	2
48	720	3

Akü koruma cihazı, serbest çalışan multivibratör, tek kararlı multivibratör, termistör, Mosfet sürücüleri, Mosfet ve güç kapasitörü birimlerinden oluşmaktadır. Akü koruma cihazının malzeme listesi EK-2 'de verilmiştir.

Tasarımı tamamlanmış Akü Koruma Cihazının genel diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Devrenin testleri öncelikle simülasyon ortamında gerçekleştirilmiş sonrasında ise uygulaması yapılmıştır. Yapılan bu testlerde devreye 220V/12V şebeke gerilimi üzerinden adaptör ile besleme sağlanmıştır. Ayrıca devrede kullanılan D1 Zener Diyotu sinyal üretici devrenin olası aşırı gerilimlerden korunması amacıyla kullanılmış, 15V'tan sonraki gerilimler hem NE555 yongasının zarar görmesine sebep



Şekil 4.1 : Akü koruma cihazı simülasyon devre şeması.

olabileceği gibi Mosfet sürücü entegresinin de zarar görmesine sebep olabilir. Bu nedenle aşırı gerilimlerden devreyi korumak amacıyla 12V'luk bir zener diyot ile önlem alınmıştır.

Sistemi oluşabilecek parazitlerden korumak için dekaplaj(bypass) kondansatörleri kullanılmıştır. Paraziti engelleyerek stabil bir gerilim ve frekans kontrolü yapılabilmesi için dekaplaj kondansatörleri çok önemlidir. Bu nedenle devrede C5, C6, C7 ve C8 kondansatörleri 0.1µF dekaplaj kondansatörü olarak tasarlanmıştır. Bu kondansatörler devrede kullanılan entegrelerin besleme girişlerine en yakın noktaya paralel bağlanarak devredeki gerilim üzerinde oluşan parazitliğin entegrelere etki etmesini önlemektedir.

Sıcaklık birçok elektronik cihazın çalışmasında olumsuz etki oluşturduğu gibi sülfat giderici üzerinde de olumsuz etkiler oluşturacaktır. Sıcaklık sülfat giderici devresinin ve akünün çalışmasında büyük sorunlara yol açabilmektedir. Mosfetlerin en önemli dezavantajı da sıcaklıkla artan yüksek bir iç dirence (Rds) sahip olmasıdır. Mosfetlere uygulanan frekans büyüdükçe Mosfetlerde anahtarlama dolaylı meydana gelen sıcaklıklar da artacaktır. Artan bu sıcaklık devrenin çalışmasında stabilizasyon sorunları meydana getirebileceği gibi malzemelerin ve en önemlisi de akünün zarar görmesine sebep olabilir. Bu sorunların üstesinden gelmek için NE555 entegresinin çalışma frekansını değişen sıcaklık ile ters orantılı olarak frekansın değiştirilebilmesi ya da darbelerin otomatik kesilmesi için RT1 ve RT2 dirençleri termistör olarak tasarlanmıştır.

Bu termistörlerden RT1 akünün uygun bir noktasına termal olarak bağlanmaktadır. Bu bağlantı ile aküde meydana gelen sıcaklık değişimlerine göre U1 entegresinin tetikleme darbesi üretmesi ya da üretmemesi akünün sıcaklığına bağlı hale gelecektir. Burada kullanılan termistör PTC tipi bir termistör olmalıdır. Sıcaklık arttığında PTC'nin direnci artarak U1'in darbe sinyali üretimini kesmesi amaçlanmaktadır.

U1'in etrafında bulunan Q1, R3 ve RT1 elektronik komponentler, Akünün sıcaklığını kontrol altında tutmak için bir termistör kullanmaya izin vermek amacıyla kullanılmıştır. RT1 termistörü Aküye termal olarak bağlanır ve akü ısınırken frekans, güç ve sıcaklık arasında bir dengeye ulaşıncaya kadar sistemi dengeler. Başka bir deyişle, bu devre akünün aşırı ısınmasını önleyecek ve akünün zarar görmesinin önüne geçecektir. Bu özellik istenmiyorsa, Q1, R3 ve RT1 'i kullanmayarak devre basitleştirilebilir ve diğer

sülfat giderici devrelerin çoğunda görüldüğü gibi klasik bir NE555 multivibratör sülfat giderici devresi ortaya çıkacaktır.

Bu termistörlerden RT2, kullanılan Mosfetlerin soğutucularına bağlanarak devrenin kararlılığı artırılabilir. Mosfetlerin sıcaklığı arttığında anahtarlama frekansını aşağı çekerek, Mosfetlerde anahtarlama kaynağı olarak oluşan sıcaklığın düşmesini sağlayacaktır. Devreyi korumak amacıyla Mosfetlerin sıcaklığına bağlı olarak değişken bir anahtarlama frekansı uygulanmasını sağlayacaktır.

İkinci NE555 (U2), U1 tarafından tetiklenmektedir. Bu şekilde, iki NE555 entegresi kullanmak, uygulanacak darbenin frekansını darbe genişliğinden ayırır. U2'nin kullanım amacı darbe genişliğini ayarlayabilmektir. Sinyalin darbe genişliği, U1'in frekansı gibi termal olarak kontrol edilebilir. RT2 yerine normal bir direnç bağlanabileceği gibi bir termistör direnç de bağlanabilir. Bu termistörü Mosfetlerin soğutucusuna bağladığımız zaman Mosfetler ısındığında direnci değişeceğinden darbe genişliği de azalacaktır.

Tabii ki, RT1 ve RT2 yerine basit bir direnç ya da potansiyometre montajı da aynı şekilde kullanılabilir. İstenen sabit çıkış darbesi için uygun direnç kondansatör değerlerini seçmek için Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'ten faydalanılabilir.

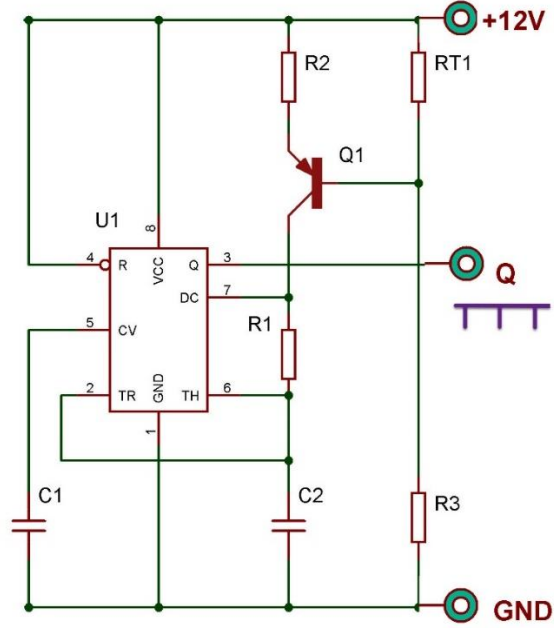
Bu termistörler akünün ve Mosfetlerin sıcaklıklarını kontrol altında tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede sülfat çözücü devresinde esneklik sağlanmakla birlikte daha güvenli bir cihaz haline getirmektedir.

Bu devrede kullanılan osilatörlerden; serbest çalışan osilatör çalışma frekansını ayarlarken, tek kararlı osilatör ise darbe genişliğini ayarlamak için kullanılmaktadır.

Mosfetler yüksek frekanslı devrelerde kullanıldığı için, onları BJT transistörler gibi direk sürmek doğru ve mümkün değildir. Bu nedenle Mosfetleri en verimli şekilde kullanabilmek adına TC4427 entegre devresi ile Mosfetler sürülmüştür. Bu entegre devreler kullanılarak hem devrenin genel olarak çektiği güç aşağı çekilmiş olup hem de devrede bobin kondansatörlü hard switch devrelerinde oluşan sesinde önün geçilmiş olacaktır. Devrenin çıkış gücünü arttırmak için Mosfetler paralel bağlanmıştır.

Akü koruma cihazı; serbest çalışan multivibratör birimi, tek kararlı multivibratör birimi ve çıkış birimi olarak üç başlık altında detaylıca analiz edilip çalışması anlatılacaktır.

4.4.1. Serbest çalışan multivibratör birimi



Şekil 4.2 : Serbest çalışan multivibratör birimi.

3.bölümde bu konu ile ilgili detaylı olarak açıklamalar yapılmıştır. Şekil 4.2’de AKC’nin serbest çalışan multivibratör birimi görülmektedir. Bu devrenin kare dalga çıkış sinyalinin “Lojik - 1”, “Lojik - 0”, “Peryod’u”, “Frekans” ve “Duty Cycle” değişkenleri için kullanılan kondansatör ve dirençler için hesaplamalar yapılacaktır. Bu hesaplamalar yapılırken birim analizine dikkat edilmelidir. Serbest çalışan multivibratörün bu devredeki fonksiyonu devrenin frekansının ayarlanmasıdır. Bu ayarlamalar yapılırken Şekil 3.16’daki nomogramdan ya da Tablo 4.2’den yaklaşık referans değerlerde kullanılabilir. Hesaplamalar $R_1=100\Omega$, $R_2=10k\Omega$, $C_2=10nF$ olarak kabul edilip yapılacaktır. τ_1 ve τ_2 sürelerinin hesaplanması için denklem 4.1 ve denklem 4.2 kullanılacaktır. Devrenin çalışma periyodu denklem 4.3’deki gibidir.

τ_1 =Lojik - 1 süresi:

$$\tau_1 = 0.693(R_2 + R_1)C_2 \quad (4.1)$$

$$\tau_1 = 0.693 * (10000 + 100) * 10 * 10^{-9}$$

$$69,993 * 10^{-6}sn = 69,9\mu sn$$

τ_2 =Lojik - 0 süresi:

$$\tau_2 = 0.693 \times R_1 \times C_2 \quad (4.2)$$

$$\tau_2 = 0.693 * 100 * 10 * 10^{-9}$$

$$6,93 * 10^{-7} \text{sn} = 693 \text{nsn}$$

T=Periyodu:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_2 + 2R_1) C_2 \quad (4.3)$$

$$69,993 * 10^{-6} \text{sn} + 6,93 * 10^{-7} \text{sn} = 76,923 * 10^{-6} \text{sn} = 76,92 \mu\text{sn}$$

Serbest çalışan osilatörün çıkış darbe genişliği tek kararlı osilatörün darbe genişliğinden küçük olmalıdır. Çünkü zaman sabiti sağlayan kondansatörün şarj ve deşarj işlemlerini yerine getirebilmesi için yeterince süre tanınmalıdır.

Salınımların çıkış frekansı, denklem 4.3'de verilen denklemin tersine çevrilmesiyle bulunduğu gibi, bu aynı zamanda serbest çalışan NE555 osilatörünün çıkış frekansı anlamına gelir ve denklem 4.4'de gösterilmiştir. Ayrıca devrenin görev döngüsünün hesaplanması için denklem 4.5 kullanılmıştır.

Devrenin çalışma Frekansı;

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_2 + 2R_1) * C_2} = \frac{1}{76,923 * 10^{-6} \text{sn}} \quad (4.4)$$

$$f = 13000 \text{Hz} = 13 \text{KHz}$$

Görev Döngüsü (Dutty Cycle);

$$\%DC = \frac{T_{ON}}{T_{OFF} + T_{ON}} = \frac{R_2 + R_1}{R_2 + 2R_1} \% \quad (4.5)$$

$$\frac{10000 + 100}{10000 + 2 * 100} \% = \% 99,01$$

Tablo 4.2 serbest çalışan multivibratörün f, T, τ_1 , τ_2 ve %DC değerlerinden herhangi birine göre devredeki R1, R2 ve C değerlerinin atamasını hesaplama yapmaya gerek

kalamadan tesbiti için kullanılmaktadır. Tablo 4.2'nin uygulama mantığının daha da anlaşılabilir olması amacıyla örnek vermek gerekirse; çıkış frekansı 45KHz ve %DC %96,88 olan bir sinyal elde edilmek isteniyor ise, tablodan 45KHz satırına gelinerek bu veriye karşılık gelen $R1=3k\Omega$, $R2=100k\Omega$ ve $C=10nF$ değerleri tablodan elde edilebilir.

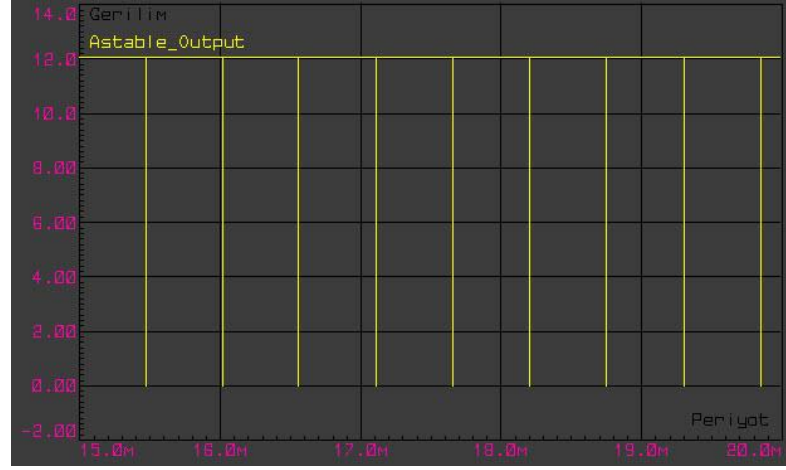
Tablo 4.2 : Serbest çalışan multivibratör için farklı R ve C değerleri için Lojik - 1, Lojik - 0, periyot, frekans ve geçerlilik süresi tablosu.

		C=10nF					C=100nF				
		τ_1 (μsn)	τ_2 (μsn)	T (μsn)	f (KHz)	DC (%)	τ_1 (μsn)	τ_2 (μsn)	T (μsn)	f (Hz)	DC (%)
R1	1k Ω	7,62	0,69	8,32	120,2	91,66	76,23	6,93	83,16	12	91,6
R2	100 Ω										6
R1	3k Ω	21,48	0,69	22,18	45	96,88	214,83	6,93	221,76	4,51	96,8
R2	100 Ω										8
R1	10k Ω	69,99	0,69	70,69	14,1	99,01	699,93	6,93	706,86	1,41	99,0
R2	100 Ω										1
R1	100k Ω	693,69	0,69	694,39	1,44	99,90	6936,93	6,93	6943,86	0,15	99,9
R2	100 Ω										0
R1	142k Ω	992,03	7,97	1000	1	99,20	9920,30	79,70	9999,99	0,1	99,2
R2	1,15k Ω										0

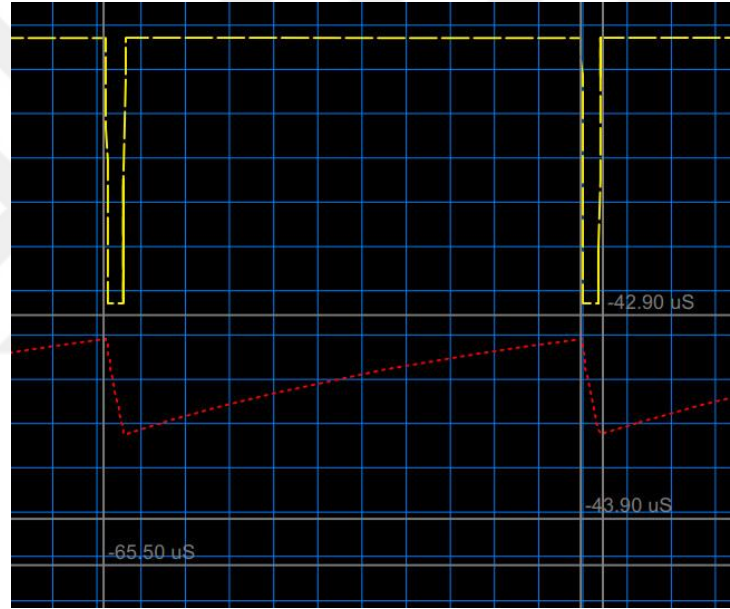
Önceden hesaplanan frekans tabloları, gerekli değerlerin belirlenmesinde çok yararlı olabilir. Farklı R ve C değerleri için tekrardan hesaplamaya gerek kalmadan tablodan ya da nomografiden faydalanılarak frekans tespiti yapılabilir. Bu konu ile ilgili olarak tablo 4.2 ya da Şekil 3.16'dan faydalanılabilir.

Örneğin; yukarıdaki Tablo 4.2'den 10nF'lık bir kapasitör değeri seçersek ve R1 direnci yerine 100k Ω 'luk bir potansiyometre kullanırsak 1.4KHz ile 120KHz arasında değişken bir frekans bandımız olacaktır.

Devremizin çalışma amacında da R1 direnci yerine bir termistör kullanılacağından sıcaklık değişimleri ile frekansta ta değişimler olacaktır. Bu değişimler devrenin tüm çalışma şeklini değiştirecektir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te serbest çalışan multivibratör biriminin çıkış sinyalleri görülmektedir.



Şekil 4.3 : Serbest çalışan multivibratör çıkış sinyali 15ms ile 20ms arası.



Şekil 4.4 : Serbest çalışan multivibratör çıkış sinyali osilaskop çıktısı (Volt/div=2V, Time/Div=2µsn).

4.4.2. Tek kararlı multivibratör birimi

Tek kararlı multivibratörler yalnızca tek kararlı duruma sahip olduğundan her tetikleme sinyali ile çıkış sinyali üretmektedir. Tek kararlı multivibratörler, yalnızca RC devre elemanlarının zaman sabiti tarafından belirlenen bir süreden sonra ilk kararlı durumuna geri dönmektedirler.

T süresi boyunca uygun bir harici tetikleyici sinyal uygulandığında, “Lojik - 1” veya “Lojik - 0” olarak belirtilen genişlikte tek bir çıkış darbesi üretmek için

kullanılmaktadırlar. Bu tetikleyici sinyal, tek kararlı multivibratör çıkışı zamanlama döngüsünün başlangıcındaki durumunu değiştirmesine neden olan bir zamanlama döngüsü başlatır ve bu ikinci durumda kalır.

Tek kararlı NE555, pin 2'ye negatif olarak devam eden darbe uygulandığında tetiklenir. Bu tetikleyici darbe, çıkışın darbe genişliğinden daha küçük olmalıdır. Bunun sebebi şarj zamanlama kondansatörün dolup sonra tekrardan boşalması içindir. Bir kez tetiklendiğinde; NE555 tek kararlı, $(RT_2 * C_3)$ tarafından belirlenen süre geçene kadar “Lojik - 1” dengesiz çıkış durumunda kalacaktır. Çıkış geriliminin “Lojik - 1” olarak kaldığı veya “1” mantık seviyesinde kaldığı süre, aşağıdaki denklem 4.6'daki “sabit zaman denklemi” ile verilir. (Şekil 4.5 için; $RT_2=3k\Omega$, $C_3=10nF$ olarak kabul edilirse)

$$\tau = (RT_2 C_3) \ln(3) = 1.1 RT_2 C_3 \quad (4.6)$$

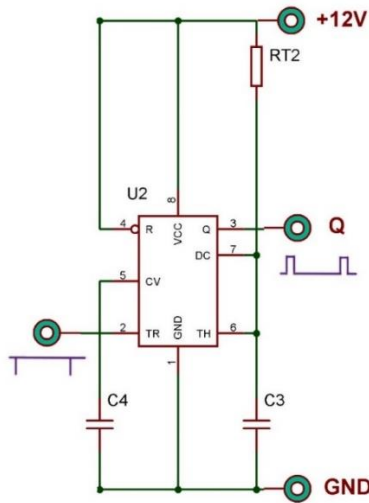
Tek kararlı osilatör devresi (Şekil 4.3) için denklem 4.6'ya göre ($RT_2=3k\Omega$, $C_3=10nF$) değerleri için hesaplandığında devrenin periyodu;

$$\tau = 1.1 RT_2 C_3 = 1.1 * 3000 * 10 * 10^{-9} = 3.3 * 10^{-5} sn = 33 \mu sn$$

olarak elde edilir. Buradan osilatörün çalışma frekansı (denklem 4.7);

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{3.3 * 10^{-5}} = 30.30 kHz \quad (4.7)$$

olarak bulunur.



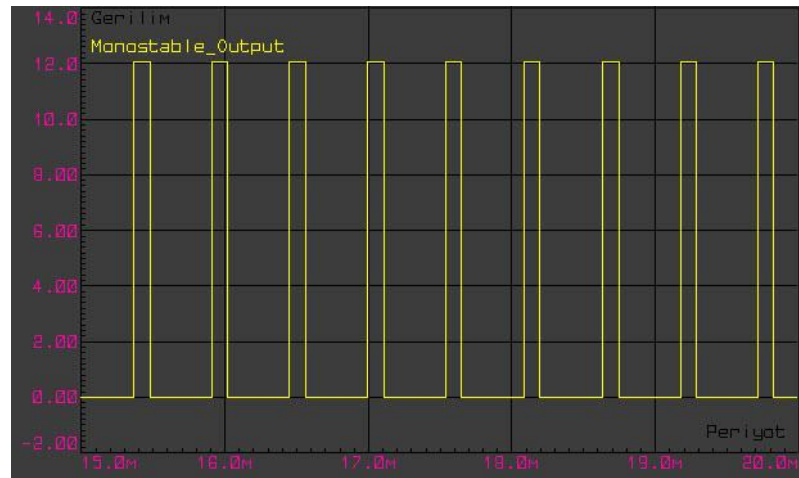
Şekil 4.5 : Tek kararlı multivibratör birimi.

Tek kararlı osilatörün farklı frekans ve periyot değerleri için Tablo 4.3'te hesaplanmış direnç ve kondansatör değerleri verilmiştir. Örneğin; 9.09KHz'lik bir çıkış sinyali elde edilmek isteniyorsa $RT_2=1k\Omega$ alırsa $C=100nF$, $RT_2=10k\Omega$ alırsa $C=10nF$ ya da $RT_2=100k\Omega$ alırsa $C=1nF$ değerlerini alması gerekmektedir.

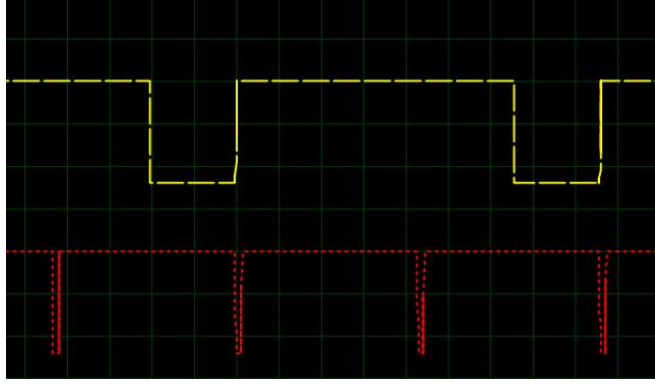
Tablo 4.3 : Tek kararlı multivibratör için farklı RT_2 ve C_3 değerleri için periyot ve frekans tablosu.

C_3	1nF		10nF		47nF		100nF		1 μ F	
	T (μ sn)	F (KHz)	T (μ sn)	F (KHz)	T (msn)	F (KHz)	T (msn)	F (KHz)	T (msn)	F (Hz)
1k Ω	1,1	909,1	11	90,91	0,052	19,34	0,11	9,09	1,1	909,1
3k Ω	3,3	303	33	30,3	0,155	6,45	0,33	3,03	3,3	303
10k Ω	11	90,91	110	9,09	0,517	1,93	1,1	0,91	11	90,91
50k Ω	55	18,18	550	1,82	2,585	0,39	5,5	0,18	55	18,18
100k Ω	110	9,09	1100	0,91	5,17	0,19	11	0,09	110	9,09
470k Ω	517	1,93	5170	0,19	24,3	0,04	51,7	0,02	517	1,93
1M Ω	1100	0,91	11000	0,09	51,7	0,02	110	0,01	1100	0,91

Tablo 4.3 istenen bir frekansın elde edilebilmesi için Şekil 4.5'teki osilatörün hesaplanmış değerler için çıkış sinyalleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.6 daki grafik tek kararlı multivibratörün 15msn ile 20msn arasındaki çıkış sinyali verilmiştir. Şekil 4.7'de ise tek kararlı multivibratörün serbest çalışan multivibratör tarafından hem tetiklenme sinyalinin (kırmızı renk ile çizdirilmiş) hemde çıkış sinyalinin (sarı renk ile çizdirilmiş) grafik çıktısı verilmiştir.



Şekil 4.6 : Serbest çalışan multivibratör tetiklemeli tek kararlı multivibratör çıkış sinyali 15ms ile 20ms arası.



Şekil 4.7 : Serbest çalışan multivibratör tetiklemeli tek kararlı multivibratör osilaskop çıktısı
(Volt/div=5V, Time/Div=5µsn).

4.5. Akü Koruma Cihazı Sistem Analizi

Bu konu ile ilgili yapılmış birçok işe yarar çalışma olsa da doğru bileşen ve doğru parametrelerin seçilmesi verim ve çıktıyı tipik performansın neredeyse on katı kadar arttırabilmektedir. Öncelikle sülfat giderici devresinin Mosfet çıkış katının nasıl çalıştığı incelenip analizleri yapılacaktır.

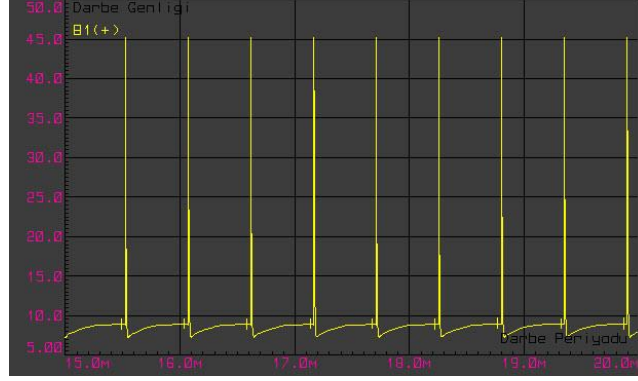
Klasik sülfat giderici devresinde, bir kare dalga osilatör ve sonrasında çıkış katı ile aküye sabit frekanslarda gerilim ve akım darbelerinin uygulanması ile işlem yapılmaktadır. Bu kare dalganın elde edilmesi için genellikle NE555 osilatör yongası kullanıldığı gibi farklı entegre devrelerde kullanılmıştır. Bölüm 3.2’de detaylı bir şekilde osilatörlerin çalışması ve NE555 entegresinin yapılandırılması ile ilgili bilgiler verilmiştir.

4.5.1. Akü koruma cihazı çalışma prensibi

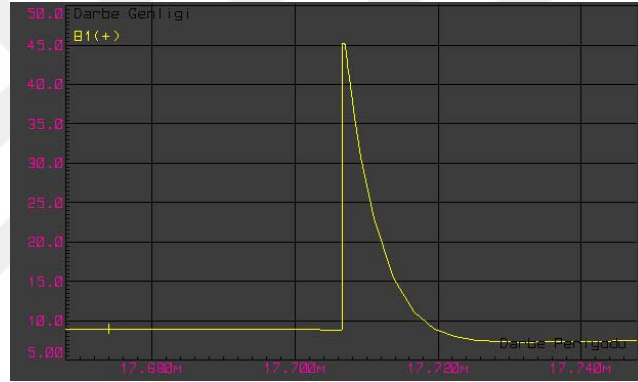
Optimum devre tasarımını yapılabilmesi için, tasarımı üzerinde çalışılan devrenin farklı devre simülatörlerinde analiz edip birçok değişkeni göz önünde tutarak farklı revizyonlar yapılmıştır.

Her bileşen özenle matematiksel ve devre formülleriyle hesaplanarak optimal devre tasarımı yapılmıştır. Öyle ki devrenin frekans ve gerilim cevabı tamamen AKC’nin üzerinde çalıştığı aküye göre otomatik olarak değişmektedir. Farklı iç direnç ve gerilim değerlerine uygun olarak sinyal üretimi yapabilmektedir. Akü kutupları arasındaki gerilimin 10V ve iç direncinin de 30Ω olarak kabul edildiği bir aküye AKC’nin uyguladığı gerilim darbelerinin (Şekil 4.8) ve akım darbelerinin (Şekil 4.10) sinyal

çıktıları verilmiştir. Şekil 4.8’de verilen sinyallerin ayrıntılı tek sinyal analizi Şekil 4.9’da verilmiştir.

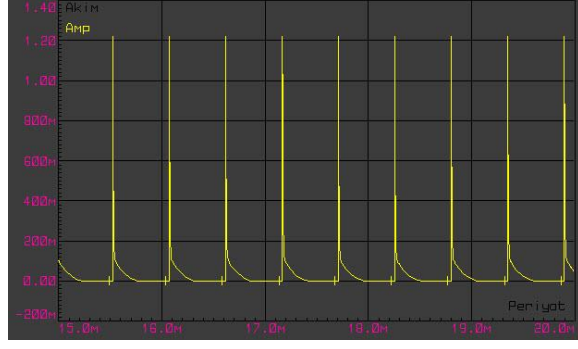


Şekil 4.8 : $V_B=10V$, $R_B=30\Omega$ olan aküye uygulanan gerilim darbeleri.



Şekil 4.9 : Şekil 4.8 ‘teki sinyallerden bir tek sinyalin ayrıntılı incelenmesi.

Etkili bir Kurşun Sülfat dönüştürücü devresinde V_{tmax} çok hızlı yükselme ve düşme zamanlarına sahip olmalıdır. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi darbe sinyali zamanın nano saniyelerinde bir yükselme ve düşme performansı sergilemektedir. Bir kurşun asit akü, bu şekilde çok hızlı yükselip düşen darbeler sırasında bir kondansatör gibi davranacaktır. Bu özellik, sağlığı ne olursa olsun akımı tüm hücrelerde eşit olmaya zorlayacaktır. Oluşturulan yüksek gerilimin amacı akü üzerinden geçecek akımın geçişini kolaylaştırmaktır. Gerilimin tepe değeri bu nedenle önem arz etmektedir. Asıl önemli parametreler I_{tmax} ve F_{max} ‘tır. Gerilimin Kurşun sülfatı giderme gibi bir özelliği yoktur.



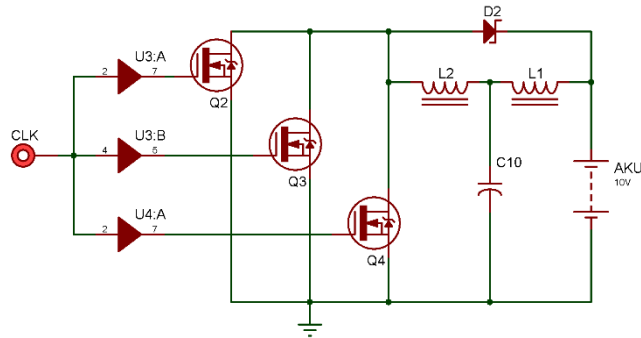
Şekil 4.10 : $V_B=10V$, $R_B=30\Omega$ olan aküye uygulanan akım darbeleri.

Bununla birlikte $V_{t_{max}}$ ile birlikte $I_{t_{max}}$ değeri de maksimum değerlikte olmalıdır. Çünkü sülfatlanmış bir aküde akım geçirilmediği takdirde oluşan yüksek akü iç direnci alt edilemeyecektir. $I_{t_{max}}$ olabildiğince yüksek olması aküdeki kimyasal değişimleri sağlamak için enerji harcayacak ve daha fazla enerji daha hızlı değişime yol açacaktır.

F_{max} aküye ve akünün durumuna özel bir durumdur. Akünün spesifik özelliklerine göre tamamen değişiklik göstermektedir. Yüksek frekanslar aküde yüksek tepe akımlarının ($I_{t_{max}}$) ve tepe genliklerinin ($V_{t_{max}}$) oluşmasına sebep olacaktır. Bu da akünün daha hızlı bir şekilde desülfasyona uğramasına ve kimyasal sürecin tersine işlemesine sebep olacaktır.

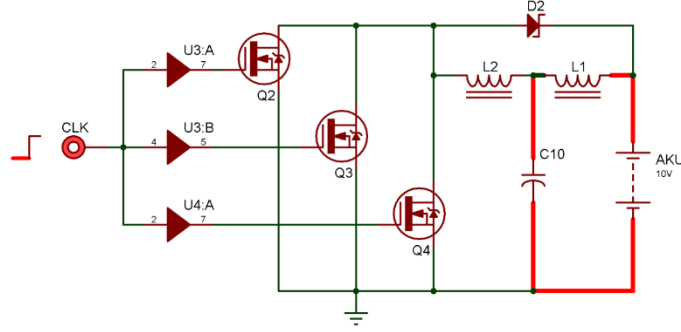
Fakat hasarlı olmayan yeni bir aküde düşük frekanslı 2KHz ve altında desülfasyon işlemi gerçekleştirilebilir ve aküye uzun yıllar ilk günkü performans sağlanabilir.

Yukarıda Şekil 4.11’de sülfat giderici devresinin çıkış katı bulunmaktadır. Bu inceleme için akünün uçlarındaki açık devre gerilimi 10V olarak kabul edilmiş ve bu devrenin bir periyotdaki çalışması Şekil 4.11 temel alınarak incelenmiştir;



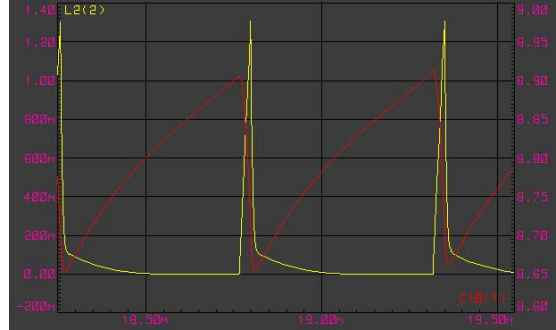
Şekil 4.11 : Desülfatör çıkış katı devresi.

Buna göre; Q2, Q3 ve Q4 Mosfetleri kapalı (yalıtımda) iken aküdeki gerilim C10 ve L1 yolunu izleyecektir. Bu durumda C10 kondansatörü akü gerilimine yani 10V'ta şarj olacaktır. Şekil 4.12'de C10 kondansatörünün L1 üzerinden şarj edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Mosfetler yalıtımda iken gerilim akışı.

Şekil 4.13'te de L2 bobinin C10 kondansatörü tarafından şarj ve deşarj grafiği verilmiştir. Sarı renk ile verilmiş eğriler bobinin deşarj, kırmızı renk ile verilmiş eğriler ise şarj eğrileridir.

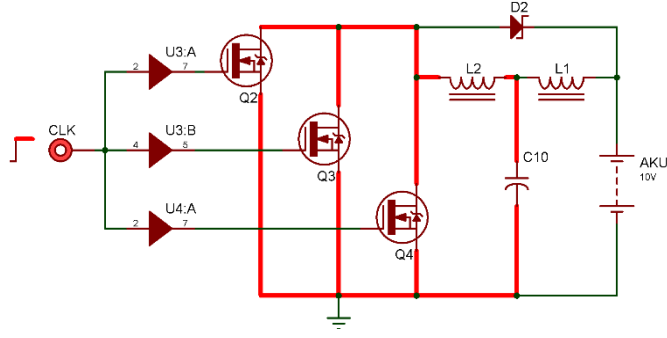


Şekil 4.13 : L2 bobinin C10 kondansatörü tarafından şarj ve deşarj grafiği.

Mosfetler gate girişinden tetikleme aldığı anda anahtarlamayı sağlayarak source ve drain uçları arasında akım geçişine müsaade edecektir. Şekil 4.14'te olduğu gibi C10'dan gelen enerjinin bir kısmı L2 bobininin üzerine akacaktır. Diğer bir deyişle L2, C10 kondansatörü tarafından manyetik olarak şarj edilir. Bu şarj miktarı Mosfetlerin iletimde olduğu süre tarafından belirlenir.

Mosfetler iletimde olduğunda akım, denklem 4.8 ile elde edilebilir.

$$\Delta i = \frac{(V_{in} + V_{Trans})T_{on}}{L} \quad (4.8)$$



Şekil 4.14 : Mosfetler iletimde iken gerilim akışı.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Mosfetler tekrardan kapandığında L2 üzerinde depolanan enerji D2'diyotu üzerinden aküye yönlendirilir. Bu enerji darbesi normalde 100 nano saniyeden daha kısa süreli bir sinyaldir. Diğer bir deyişle Mosfetler yalıtıma gittiğinde L2'deki manyetik alan katlanır ve ters bir gerilim darbesi oluşturur. L2'de oluşan bu darbe D2 diyotu üzerinden aküye uygulanır. Buradaki indüktör yavaş/düşük enerjiyi yüksek/hızlı bir enerjiye dönüştürür. Mosfetler yalıtıma geçtiğinde darbe akımı denklem 4.10 ve 4.11 deki gibi darbe gerilimi ise denklem 4.12 deki gibi hesaplanabilir.

Mosfet yalıtıma geçtiğinde akım denklem 4.9 ile elde edilebilir.

$$\Delta i = \frac{(V_{out} + V_{in} + V_D) T_{off}}{L} \quad (4.9)$$

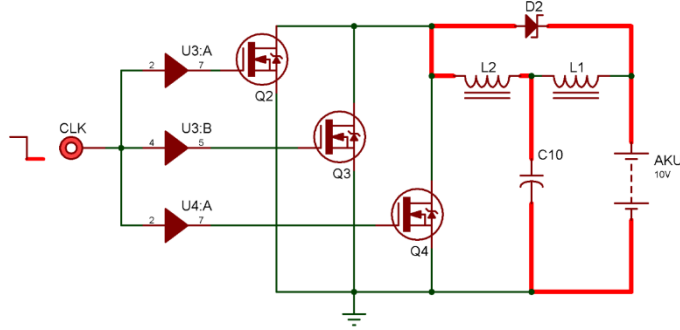
Mosfet ve diyot üzerine düşen gerilimler ihmal edilirse, darbe gerilimi denklem 4.10 ile hesaplanabilmektedir.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (4.10)$$

Buradan çıkan sonuçla Mosfete uygulanan darbelerin görev döngüsünün çıkış gerilimi üzerinde direk bir etkisi olduğunu söylemek mümkündür. Bunu bir örnek ile açıklamak gerekirse eğer; Doğru parametreler ile tasarlanmış bir indüktör, 50 mikrosaniye için 0,5A'e şarj edilmişse ve çıkış deşarj darbesi 50 nanosaniye ise çıkış akımı tepe değeri 50A dolaylarında olacaktır (Kayıplar ihmal edilmiştir).

Sistem bileşenlerinin seçimleri ile ilgili önceki konularda detaylıca yer verilmiştir. D1 diyotu bir yönlendirme diyotu olduğu gibi yeterli akım taşıma kapasitesine sahip hızlı bir

diyot (Schottky) seçilmelidir. C10 kondansatörü oldukça düşük ESR değerine sahip olmalıdır.



Şekil 4.15 : L2 doyumda, Mosfetler iken gerilim akışı

Mosfetler iletimde iken $50\mu s$ için C10'dan gelen enerji L2'ye uygulanır. Eğer L2 doğru yapılandırılmışsa uygulanan tüm enerjisi manyetik olarak depolar. Doğru yapılandırılmaz ise şarj enerjisi boşa harcanacağı gibi deşarj döngüsü gerçekleştiğinde akü sadece enerji kaybına uğrayacaktır. Eğer L2 uygun seçilmez ise üzerindeki enerji ısıya dönüşerek kayıplara hatta devre ve akünün zarar görmesine sebep olabilir.

Mosfetlerin iletimde olduğu süre L2'ye şarj olacak enerji miktarını belirlemektedir. Mosfetlerin iletim zamanını arttırdıkça çıkış sinyali izlendiğinde, iletim zaman genişliği arttıkça çıkış darbesinin bir noktaya kadar yükselme eğilimine gireceğini görebiliriz. L2'nin doymun olan noktaya ulaştığında bobini şarj etmek için ne kadar enerji uygulanırsa uygulansın indüktör doyumda olduğu için enerji alınamayacağı gibi ısı olarak kayıplar yaşanacaktır.

L1 indüktörünün iki ana kullanım nedeni vardır. Bunlar;

- C10 kondansatörünü çok hızlı bir şekilde şarj edilmesini sağlamak,
- Mosfetler iletime geçtiğinde ise yüksek direnç göstermek.

$1000\mu s$ kapanma zamanı $1000mH$ bobini için çok uzun bir zamandır. Bundan dolayı akım bobinin yalnızca DC direncini görecektir ve endüktanstan dolayı herhangi bir reaktansı görmeyecektir. Sadece çok düşük olan kablonun DC direncini okunacaktır. Bu özellik sayesinde C10 kondansatörü maksimum potansiyeline hızlı bir şekilde şarj olacaktır.

Mosfetler 50µs için iletme geçtiğinde, L1 indüktörü yüksek reaktans (direnç) gösterecektir. Bu, L2 ve D2'yi Mosfetlerin iletimde olduğu 50µs süresince aküden izole eder.

Başka bir deyişle, L1 zamana duyarlı bir direnç gibi davranır. Zaman sabiti uzun olduğunda çok düşük bir dirence sahiptir ve zaman sabiti kısa olduğunda ise çok yüksek bir dirence sahiptir. L1'e alternatif olarak basit bir direnç kullanılsaydı sabit bir değere bağlı kalındığı için devre işe yaramayacaktı.

4.5.2. Akü koruma cihazı çalışma simülasyonu

Buraya kadar devrenin tüm bileşenleri ve çalışma yapısıyla ilgili detaylı bilgilere yer verildi. Bu bilgilerin sentezlenmesiyle prototip bir devre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Akü Koruma Cihazının çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

V_{cc} = Besleme gerilimi= 12V ile 48V arasında

f_A = Serbest çalışan osilatör frekansı: 13KHz

t_{1A} = 69.9µsn

t_{2A} = 693nsn

τ_A = 76.92µsn

%DC= %99.01

f_M = Tek kararlı osilatör frekansı: 30.30KHz

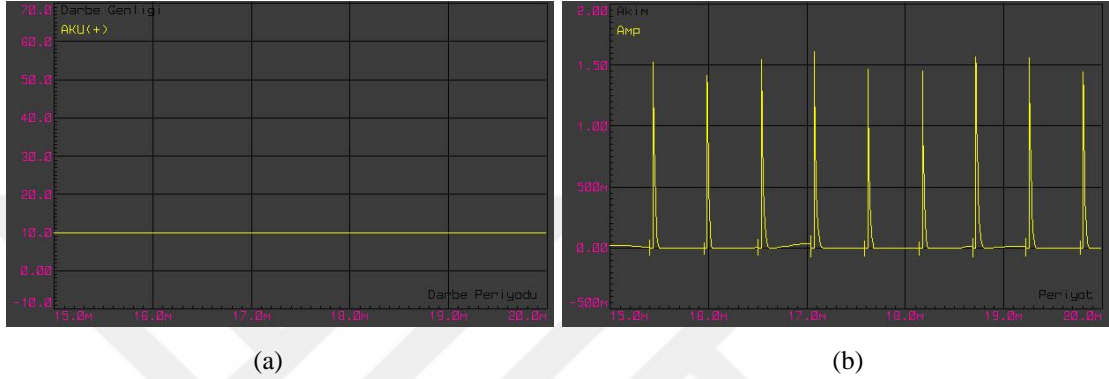
t = Ortam sıcaklığı = 25°C

$I_{O(max)}$ = AKC darbe akımı = 0-6.8A

Yukarıdaki bu değerler 25°C oda sıcaklığı baz alınarak verilmiştir. Aksi durumda sıcaklık ile osilatörlerin frekansı değişeceğinden parametrelerde otomatik olarak değişecektir.

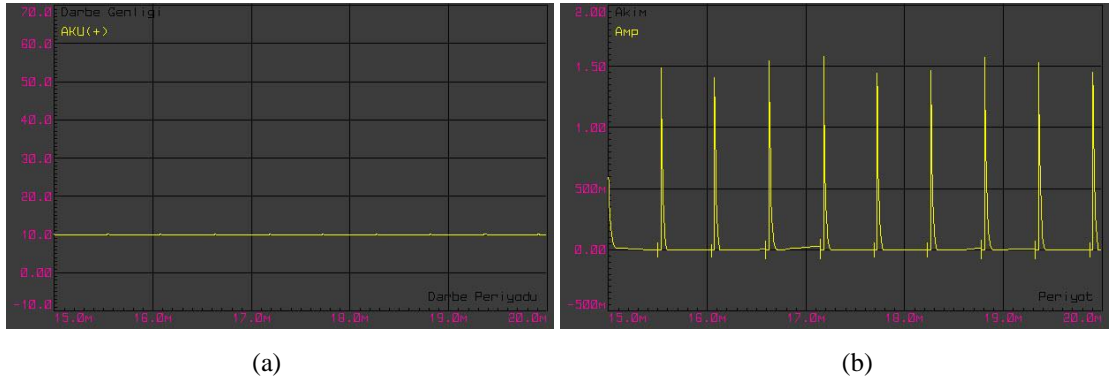
Simülasyon senaryosu şu şekilde tasarlanmıştır. Kutup uçlarındaki gerilim(V_B) 10V olan bir akünün iç direnci(R_B) 2.7mΩ ile 2.7kΩ arasında değiştirilerek sülfat çözücü devrenin aküye uyguladığı akım ve gerilim darbelerinin grafiksel olarak elde edilip izlenmesi amaçlanmaktadır. Bu şekilde akü koruma cihazının iç dirence ve akü gerilimine karşı olan tepkisi ölçülecektir.

$V_B = 10V$, $R_B = 2.7m\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.16 (a) akım grafiği ise Şekil 4.16 (b) de verilmiştir. İç direnç çok düşük olduğu için AKC'nin uyguladığı gerilim darbesi nerdeyse hiç okunamıyor fakat akım darbeleri ise 1.5A dolaylarındadır. Sağlam bir aküde bu akım darbeleri akü sülfatlanmamış olsa bile akünün içinde gerçekleşen dinamik değişimlerin akünün lehine olmasını sağlamaktadır. Bu darbeler dolayısıyla akünün self deşarj olmasını engellemektedir.



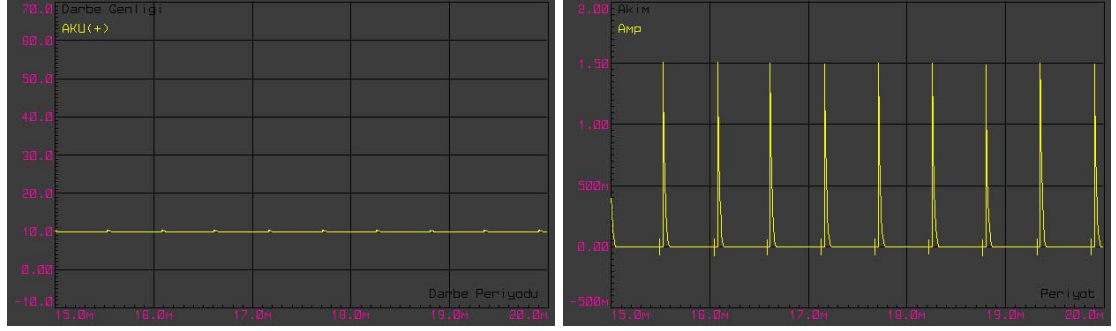
Şekil 4.16 : $V_B=10V$, $R_B=2.7m\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

$V_B = 10V$, $R_B = 27m\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.17 (a) akım grafiği ise Şekil 4.17 (b) de verilmiştir.



Şekil 4.17 : $V_B=10V$, $R_B=27m\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

$V_B=10V$, $R_B=270m\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.18 (a) akım grafiği ise Şekil 4.18 (b) de verilmiştir.

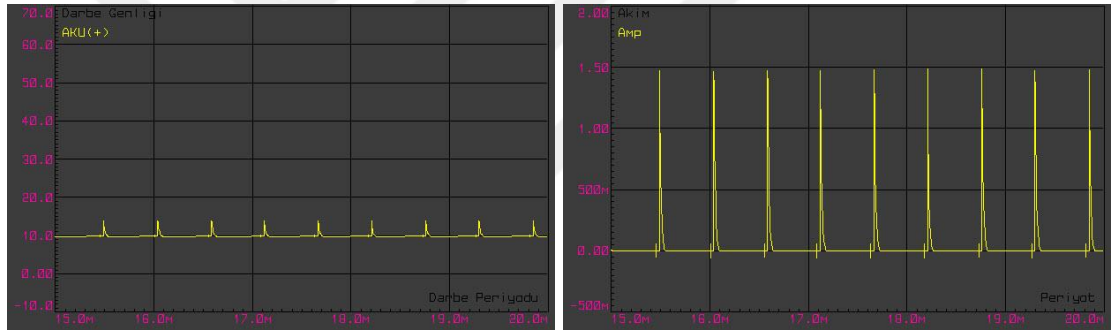


(a)

(b)

Şekil 4.18 : Akü gerilimi 10V, Akü iç direnci 270mΩ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

$V_B = 10V$, $R_B = 2.7\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.19 (a) akım grafiği ise Şekil 4.19 (b) de verilmiştir. Akünün iç diencinin artmasıyla AKC'nin uyguladığı gerilim darbelerinde genliği artmaktadır.

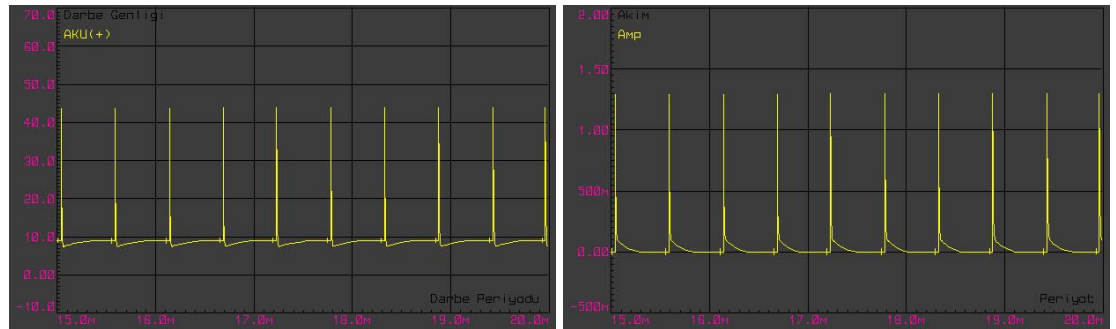


(a)

(b)

Şekil 4.19 : $V_B=10V$, $R_B=2.7\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

$V_B = 10V$, $R_B = 27\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.20 (a) akım grafiği ise Şekil 4.20 (b) de verilmiştir. Akünün iç direnci yüksek olduğu için uygulanan darbelerin genliğide artmıştır. Akünn hücreleri üzerinden akımı geçirebilmek için darbelerin genliği arttığı gibi akımın geçişinde yaşanan dirençten dolayı darbe akımı düşme eğilimindedir.

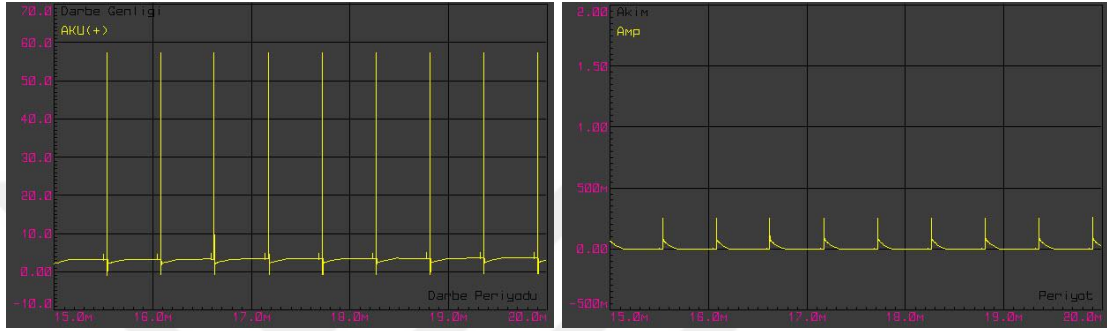


(a)

(b)

Şekil 4.20 : $V_B=10V$, $R_B=270\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

$V_B = 10V$, $R_B = 270\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.21 (a) akım grafiği ise Şekil 4.21 (b) de verilmiştir. Akünün iç direncinin artmasıyla darbe gerilimi 60V dolayına kadar yükselmiş ve miliamperler seviyesinde akım geçişini gerçekleştirebilmektedir.

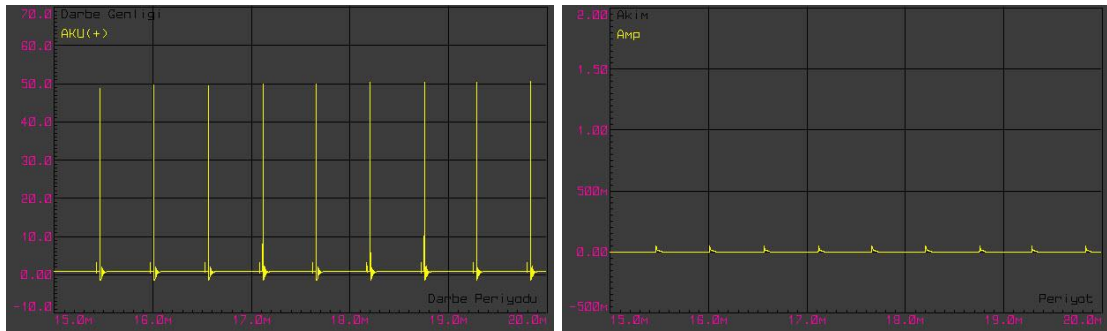


(a)

(b)

Şekil 4.21 : $V_B=10V$, $R_B=270\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

$V_B = 10V$, $R_B = 2.7k\Omega$ için AKC uyguladığı gerilim grafiği Şekil 4.22 (a) akım grafiği ise Şekil 4.22 (b) de verilmiştir. Maalesef bu noktadaki bir akü için yapılabilecek pek bir şey yoktur. Her ne kadar gerilim geçişi ve akım akışı olsa da akünün içindeki hücrelerin fiziksel olarak zarar görmüş olma olasılığı yüksektir. Bu nedenle uygulama yapmanın bir geçerliliği olmayacaktır.



(a)

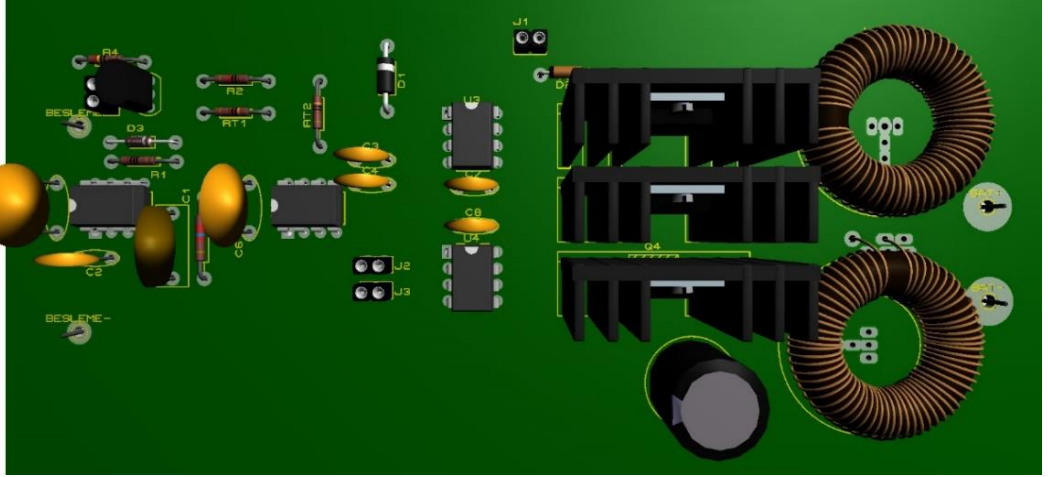
(b)

Şekil 4.22 : $V_B=10V$, $R_B=2.7k\Omega$ iken sülfat gidericinin uyguladığı gerilim grafiği (a) ve akım grafiği (b).

4.5.3. Akü koruma cihazının devre gerçekleştirilmesi

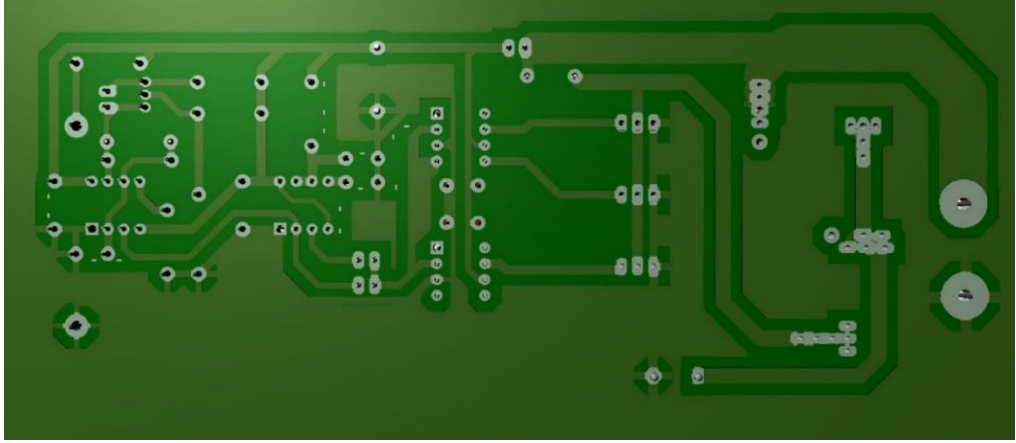
Akü koruma cihazının baskı devresinin oluşturulması, devrenin gerçekleştirilmesi ve gerçek zamanlı testlerinin yapılması konusundaki çalışmalar bu başlık altında sunulacaktır.

Tasarımı tamamlanan devrenin gerçekleştirme testleri için baskı devre, simülasyon programlarının desteği ile hazırlanmıştır. Şekil 4.23'te baskı devrenin üç boyutlu üstten görünümü ve komponentlerin varsayılan yerleşimi gösterilmiş program kütüphanesinde üç boyutlu gösterimi olmayan komponentlerin çizimi cad programları desteği ile yapılmıştır



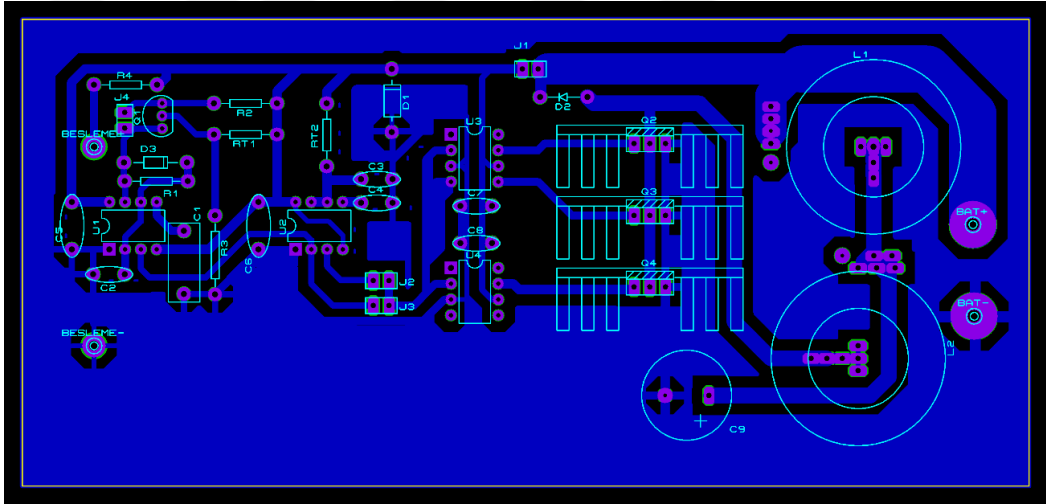
Şekil 4.23 : Baskı devre üstten görünüm (3d Simülasyon)

Şekil 4.24'te devre şemasının alttan görünümü verilmiştir. Bobinler üzerinden yüksek akım geçebileceği için bobin uçlarına giden yollar normalden çok daha kalın çizilmiştir. Ayrıca mosfetler paralel bağlı olduğundan aynı tepkiyi aynı anda gösterebilmeleri için ayakları da birbirine eşit uzaklıkta olacak şekilde bağlanmıştır.



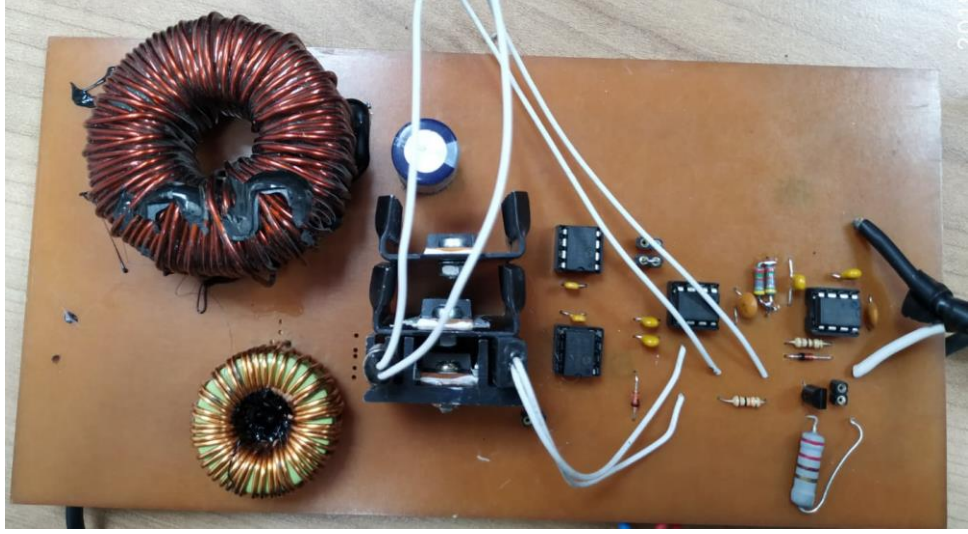
Şekil 4.24 : Baskı devre alttan görünüm

Şekil 4.25'te baskı devrenin üstten gösterimi ve alttan gösterimi birlikte verilmiştir. Bu şekilde devre de yanlış bir durum olup olmadığı kontrol edilebilir.



Şekil 4.25 : Baskı devre komponent yerleşimi

Şekil 4.26'da AKC'nin gerçek devreye aktarımı gösterilmiştir. Burda dikkat edilirse Şekil 4.23'e çok benzer bir malzeme yerleşimi görülmektedir. Nihai durumda termistörler kendi orijinal uzatma kabloları ile devreye bağlanmıştır. Bu sayede termistörler akü ya da mosfetlere istenilen şekilde kolaylıkla bağlanmaları sağlanabilmektedir.



Şekil 4.26 : Devrenin komponent montajının tamamlandıktan sonraki durumu

Devrenin montajı tamamlandıktan sonra farklı aküler üzerinde deneylerin yapılabilmesi için test ortamı hazırlanmıştır. Bu test ortamı Şekil 4.27’de verilmiştir. Bu testlerde 6 adet farklı marka ve özellikte akü kullanılmış olup, test ortamında AKC’ye besleme sağlamak için 1 adet güç kaynağı, aküyü şarj ve deşarj edebilmek için 1 adet invertör ve aküye uygulanan sinyalleri izleyebilmek ve yorumlayabilmek için 1 adet dijital osilaskop kullanılmıştır.



Şekil 4.27 : Deney çalışmasının fiili görüntüsü.

AKC altı farklı akü üzerinde uygulanarak test edilmiştir. Bu testler sonucunda simülasyona yakın verilerin elde edildiği görülmüştür.

Akünün iç direnç ölçümü için aşağıdaki şekilde bir prosedür izlenmiştir.

Akünün boşa çalışma gerilimi multimetre ile ölçülür.

Akünün yükte çalışma gerilimi ve akım değeri multimetre ile ölçülür.

Elde edilen gerilim değerlerinin mutlak farkı alınarak akım değerine bölünür ve akü iç direnç değeri elde edilir.

AKC, akünün iç direncinin değerine göre farklı gerilim ve akım darbeleri uygulamaktadır. Akünün iç direnci düşük ise yani sağlam ya da sağlama yakın ise gerilim darbeleri akü gerilim seviyesinden birkaç on milivolt fazla olmakta iken akım darbeleri amperler seviyesinde gerçekleşmektedir. Eğer akünün iç direnci yüksek ise gerilim darbeleri 50-60V seviyelerinde iken akım darbeleri ise mili amperler seviyesinde uygulandığı izlenmiştir. Yüksek değerli gerilimin amacı yüksek iç dirence sahip olan aküden akım geçişini sağlamaktır.

Simülasyonlarda akım, gerilim ve direnç arasındaki bağıntı OHM kanuna uygun bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu AKC'nin uygulanan sinyal açısından çalıştığını açıkça ifade etmektedir.

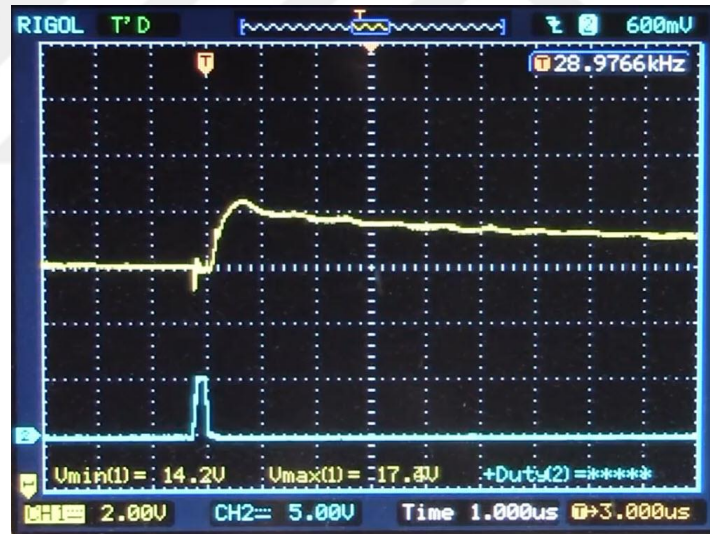
Yüksek seviyeli gerilim aküye uygulandığında akünün içinde büyük bir gaz oluşumuna sebep olmaktadır. Bu gaz oluşumu akü içindeki basıncı da arttırarak kimyasal tepkimelerin daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır.

AKC ile 6 adet farklı marka, model ve özellikte akü test edildi. Bu akülerin osilaskop çıktıları Şekil 4.28 – Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekil 4.28'de $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=4m\Omega$ özelliklerine sahip bir akünün AKC tepkisi görülmektedir. Osilaskopun 2. kanalı mavi renk ile gösterilmiştir. Bu kanala mosfetlerin tetikleme sinyal ucu bağlanmıştır. Yani tek kararlı multivibratörün çıkışı bağlanmıştır. Sinyalin frekansı 28.9360KHz olup Görev döngüsü ise %99.4'tür. Osilaskopun 1. kanalı sarı renk ile ifade edilmiş olup akü kutuplarına paralel bağlanmıştır. Darbelerin genliği 14,6V ile 17.4V arasında değiştiği görülmektedir. Darbenin periyodu ise 1.620 μ s'dir



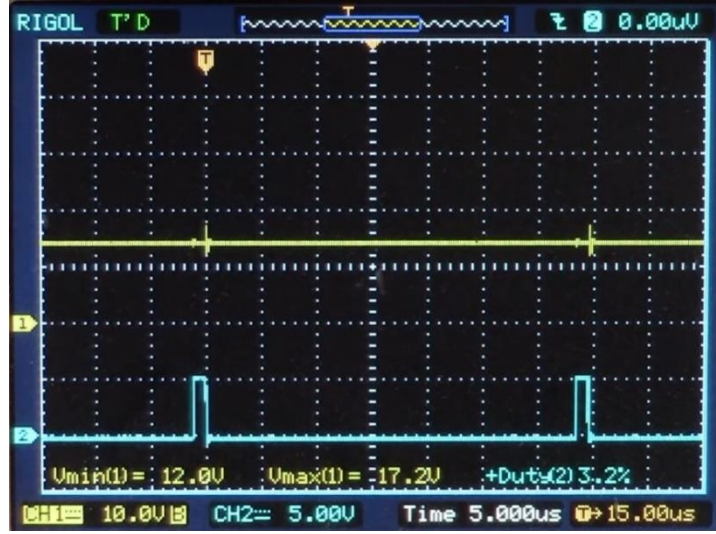
Şekil 4.28 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=4m\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.

Şekil 4.29 da, Şekil 4.28’de elde edilen osilaskop çıktısının yakınlştırılmış tek sinyal analizi verilmiştir.



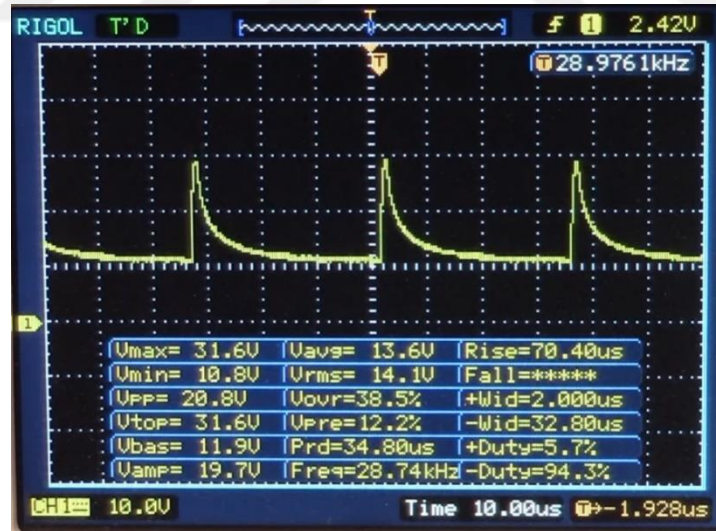
Şekil 4.29 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=4m\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi yakınlştırılmış tek sinyal osilaskop çıktısı.

Şekil 4.30’da $V_B=12V$, $I_B=40A$, $R_B=3.2m\Omega$ özelliklerine sahip bir akünün AKC tepkisi verilmiştir. Dikkat edilirse sinyalin periyodu ve görev döngü oranı değişmiştir. Bunun sebebi mosfetlerin soğutucusuna bağlı olan termistörün direnç değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



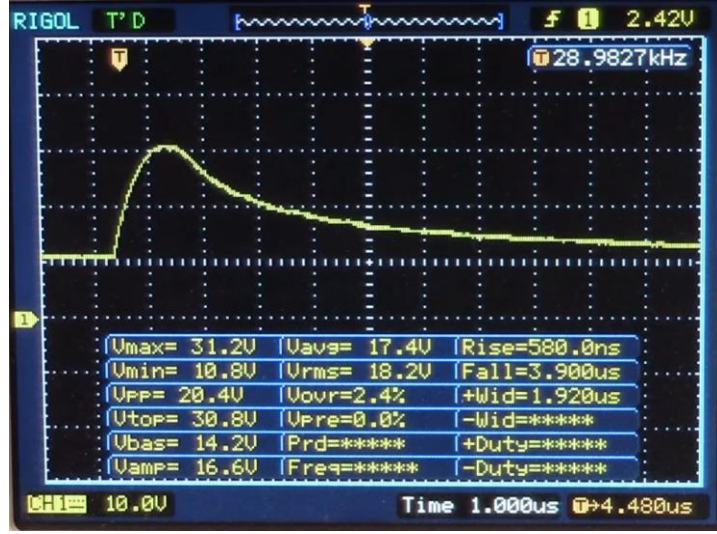
Şekil 4.30 : $V_B=12V$, $I_B=40A$, $R_B=3.2m\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.

Şekil 4.31’de $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=24,8\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi verilmiştir. Dikkat edilirse frekans aynı olmasına rağmen uygulanan darbenin genliği 31.6V’a kadar çıkmıştır. Akünün iç direnci yüksek olduğundan akım geçişini kolaylaştırmak amacıyla gerilim darbelerinin genliği artmıştır.



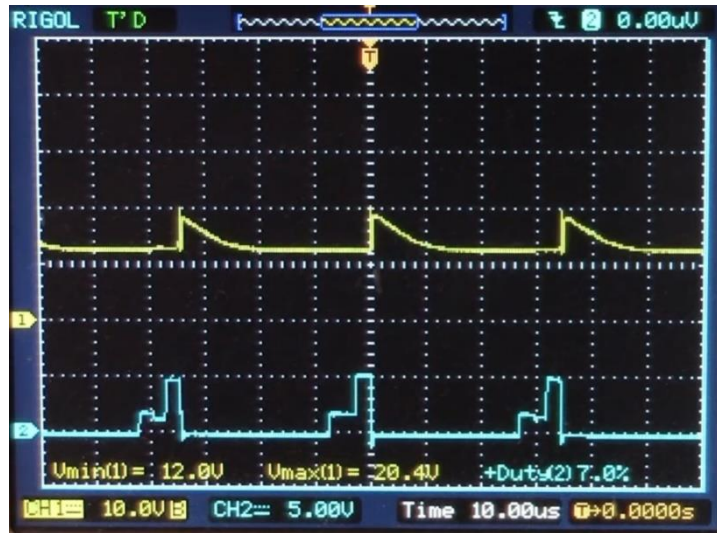
Şekil 4.31 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=24,8\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.

Şekil 4.32’de $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=24,8\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi yakınlştırılmış tek sinyal osilaskop çıktısı verilmiştir. Osilaskopun Time/Div konumu $5\mu sn$ ’den $1\mu sn$ çözünürlüğe çıkarılmıştır. AKC’nin uyguladığı darbelerin genliği iç direnç ile doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.



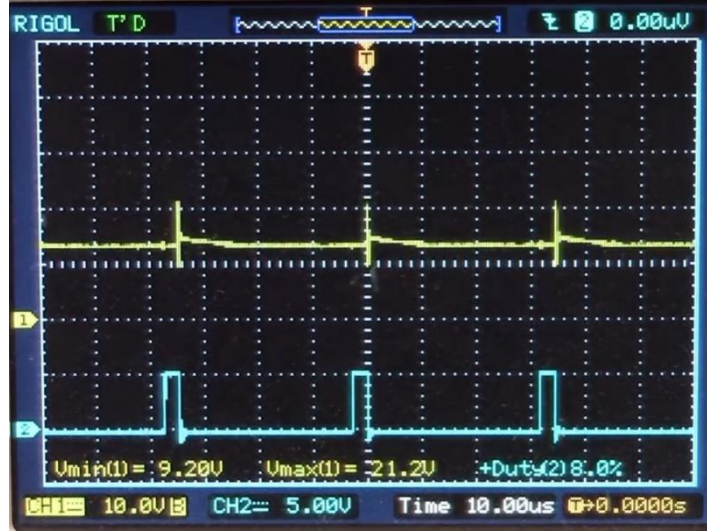
Şekil 4.33 : $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=24,8\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi yaklaşıtırlmış tek sinyal osilaskop çıktısı.

Şekil4.33'te $V_B=12V$, $I_B=42A$, $R_B=13,5\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı verilmiştir. Şekil 4.31'deki akünün yarı iç direncine sahip aküde darbelerin genliği de Şekil 4.31'e göre azalmıştır. AKC'nin darbe genliği 20V dolaylarındadır.



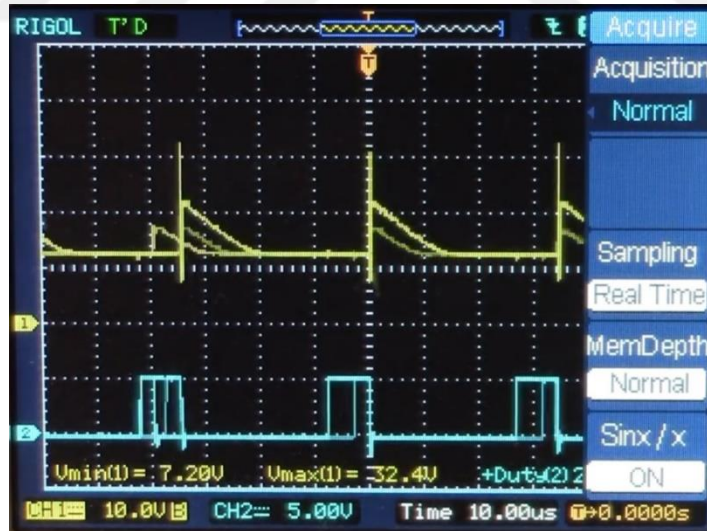
Şekil 4.34 : $V_B=12V$, $I_B=42A$, $R_B=13,5\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.

Şekil 4.34'te $V_B=12V$, $I_B=60A$, $R_B=18,9\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı verilmiştir. Göerv döngüsü %92'lere kadar düşmüş ve darbe genliği ise 21.2V olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.35 : $V_B=12V$, $I_B=60A$, $R_B=18,9\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.

Şekil 4.35'te $V_B=12V$, $I_B=60A$, $R_B=33,1\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi AKC'nin darbe genliği 7.2V ile 32.4V arasında değişmektedir. Darbe frekansı akülerin ve mosfetlerin sürekli sıcaklık değişimlerinden dolayı ise 28KHz civarlarındadır sürekli değişmektedir.



Şekil 4.36 : $V_B=12V$, $I_B=60A$, $R_B=33,1\Omega$ özelliklerine sahip akünün AKC tepkisi osilaskop çıktısı.

Şekil 4.36'da $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=13.5\Omega$ değerlerine sahip akünün uygulama testleri yapılmadan önce bir hücredeki durumu verilmiştir.



Şekil 4.37 : Test için kullanılan akünün test öncesi bir hücredeki durumu ($V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=13.5\Omega$).

Şekil 4.37’de $V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=13.5\Omega$ değerlerine sahip akünün uygulama testleri yapıldıktan sonra bir hücredeki durumu verilmiştir.



Şekil 4.38 : Test için kullanılan akünün test sonrası bir hücredeki durumu ($V_B=12V$, $I_B=55A$, $R_B=13.5\Omega$).

4.6. AKC'nin Geliştirilebilecek Yönleri

Bu tez çalışmasında bahsi geçen akü koruma cihazı tasarımı ve prototip geliştirilmesi cihazın çalışma başarımı akünün sıcaklık geribeslemeli kontrolü, akünün float ve tam şarj karakteristiği, akünün çalışma gerilimi, akünün şarj deşarj karakteristikleri gibi fonksiyonlar göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

İleriki zamanlarda imkânlar dahilinde aşağıdaki revizyonlar cihaza entegre edilmesi cihazın daha fonksiyonel bir çalışma göstermesini sağlayabilir.

- AKC'nin alternatör regülatörü ile birlikte çalışma yapması,
- Bilgisayar arayüzü üzerinden programlama ve veri izleme fonksiyonunun kazandırılması,
- Kablosuz veri transferi ile IoT kabiliyetinin kazandırılması,
- Daha yüksek amperaj seviyeleri için boyutlandırılması,
- Farklı tip ve hibrit tip aküler için çalışma fonksiyonu kazandırılması,
- Sülfat giderici özelliği akünün diğer ömür belirleme fonksiyonları ile birlikte değerlendirilerek daha sağlıklı ömür tespit kabiliyetinin kazandırılması,
- Seri – Paralel bağlı akü sistemlerine uyumlu çalışma kabiliyetinin kazandırılması.



BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Akülerin elektrokimyasal tepkime kontrolünün amaca uygun olarak gerçekleştirilmesi, ömürlerinin uzatılması ve verimli kullanılması ile ilgili birçok farklı çalışma yapılmış ve bazıları patent altına alınıp ticari ürün haline getirilmiştir. Farklı elektrolitlere sahip akülerde bu amaçları yerine getirecek farklı tasarımlara sahip birçok şarj düzenleyici sistem geliştirilmiştir. Bunların bazıları şuan ticari olarak hizmet vermektedir. Bölüm 2’de belirttiğimiz gibi sıcaklık aküler üzerinde doğrusal bir etki oluşturmaktadır. Bu çalışmada tasarımı yapılan akü koruma cihazında (AKC) akünün verimli çalışmasında en önemli etken olan sıcaklık etkisinin geri besleme olarak kullanıldığı bir tasarım yapılarak koruma fonksiyonunun etkin olarak uygulanması sağlanmıştır.

Uzun süre kullanılmamış ya da self deşarjda kalmış bir akü de en iyi sonucu almak için akünün elektrolit sıvısı boşaltılıp uygun miktarda yeni elektrolit sıvı doldurularak AKC desteğiyle akünün uyarılıp şarj edilmesi ile sağlanabilir. Bunun nedeni; 1.bölümde de detaylı bir şekilde bahsettiğimiz gibi akü, içinde sürekli devam eden elektrokimyasal reaksiyonlar altında olduğu için gaz oluşumunun gerçekleşmesidir. Bu gaz oluşumları bazen aküden sızdığı için kimyasal reaksiyon için yeterli aktif materyal miktarının önemli ölçüde azalmasına ve geri kalan yeterince güçlü olmayan elektrolit sıvısı oluşumu ile sonuçlanacaktır. Bu nitelikte bir elektrolit sıvısının iyon yapısı ile akünün eski şarj seviyesine getirilmesi mümkün olmayacaktır. Bu durumda akü ne şekilde şarj edilirse edilsin ya da sülfat çözücü kullanılsa da etki sınırlı olacaktır.

Bu tez çalışmasında tasarımı yapılan akü koruma cihazının diğer alternatiflerine göre en büyük avantajı akünün ve Mosfetlerin sıcaklığına göre darbelerin frekansını, genliğini ve darbe akımını optimize edebilmesidir. Bu sayede cihazda sıcaklık kaynaklı enerji kayıplarında önüne geçilmiş olacaktır. Ayrıca devre elemanları seçilirken RoHs uyumlu komponentler tercih edilerek devre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Aküyü AKC ile şarj etmeden önceki ve sonraki iç dirençler birbirleri ile karşılaştırıldığında, AKC ile şarj edilmeden önceki iç direnci 24.8mΩ iken, AKC ile şarj edildikten sonraki iç direnç 12.72mΩ seviyelerine düştüğü görülmüştür.

AKC ile şarj edildikten sonra akünün açık devre geriliminde de artış olduğu tespit edilmiştir. Akünün açık devre gerilimi 11.43V 'tan 11.97V 'a yükselmiştir.

Simülasyon çalışmalarında, akünün iç direncindeki ve açık devre gerilimindeki değişimlerin darbelerin boyutlarını değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu da uyguladığımız bu tekniğin işlevsel olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, AKC ile şarj edildikten sonra akünün ortalama CCA değerinin arttığı gözlemlenmiştir. CCA değeri 290A 'dan 380A 'e yükselmiştir. Böylelikle akünün yüke akım iletme süresi 25 dakikadan 40 dakikaya ulaşmıştır.

Bu çalışmada testlerde kullanılan akünün AKC ile birlikte şarj edildikten sonra CCA ve açık devre gerilim değerinin arttığı, yüke daha uzun süre akım iletmediği ve dâhili direncin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu da geliştirilen AKC'nin aküler için performans artışı sağladığı, ömürlerinin önemli ölçüde geri kazanılmasına destek olduğu ve en uygun performans ile kullanılmasında etkin rol üstlenebileceğini göstermiştir.

Sonuç olarak günümüzde başta otomotiv ve telekomünikasyon olmak üzere birçok sektörde kullanılan kurşun asit akülerin performanslarının artırılması ve değişik çevre şartlarında kapasite kaybına uğramaksızın çalışma yapabilmesi kararlı elektrokimyasal tepkime kontrolleri sağlanması ile mümkündür. Bu tez çalışmasında tasarımı yapılan ve prototipi geliştirilen akü koruma cihazı bu ihtiyaca katkı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Url-1 <<http://www.necron.com.tr/blog/enerji-nedir>>, erişim tarihi: 12.12.2019.
- [2] Url-2 <<https://www.globenewswire.com/news-release/2019/10/01/1923329/0/en/Global-Lead-Acid-Battery-Market-Share-to-Grow-52-5-billion-by-2024-at-a-CAGR-of-4-7-MarketsandMarkets.html>>, erişim tarihi: 29.11.2019.
- [3] Url-3 <<https://www.kdmarketinsights.com/product/lead-acid-battery-market-2017>>, erişim tarihi: 12.12.2019.
- [4] Kişisel görüşme - AKÜDER(Ek-1 Aküder mail)
- [5] Toy, Ö. (2019). *Modelling and characterization of current density distributions in the lead acid battery electrodes* (Yüksek lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [6] Url-4 <<http://www.openthesis.org/documents/Lead-Acid-Battery-Aging-State-546978.html>>, erişim tarihi: 12.12.2019.
- [7] Url-5 <<http://aboutbatteries.batterycouncil.org/What-is-a-lead-battery>>, erişim tarihi:14.12.2019.
- [8] Pavlov, D. (2011). *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*, First edition. Amsterdam: Elsevier.
- [9] Singh, A. & Karandikar P.B. (2016). A broad review on desulfation of lead acid battery for electric hybrid vehicle, *Microsystem Technologies* 23, 2263–2273.
- [10] Schilling, S. (1999). Ensuring lead-acid battery performance with pulse technology, *Fourteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of the Conference*, (pp. 247-252). USA: California State University, January 12-15.
- [11] Pesaran, A.A., Vlahinos, A. & Burch, S.D. (1997). Thermal performance of EV and HEV battery modules and packs, *Fourteenth International Electric Vehicle Symposium*. USA: Midwest Research Institute, December 2-17.
- [12] Wagner, R. & Sauer, D.U. (2001). Charge strategies for valve-regulated lead/acid batteries in solar power applications, *Journal of Power Sources* 95, 141–152.
- [13] Lam, L.T., Haigh, N.P., Phylant C.G. & Urban, A.J. (2004). *Journal of Power Sources*, 133 (268), 126–134.

- [14] Jackey, R. (2007). A simple, effective lead-acid battery modeling process for electrical system component selection, *SAE World Congress & Exhibition*. doi:https://doi.org/10.4271/2007-01-0778.
- [15] Kim, S.C., & Hong, W.H. (2000). Fast-charging of a lead–acid cell: effect of rest period and depolarization pulse, *Journal of Power Sources* 89(1), 93-101.
- [16] Lam, L.T., Ozgun, H., Lim, O.V., Hamilton, J.A., Vu, L.H., Vella, D.G., Rand, D.A.J. (1995). Pulsed-current charging of lead/acid batteries - a possible means for overcoming premature capacity loss?, *Journal of Power Sources* 53(2), 215-228.
- [17] Kalicinski, S., Tilmans, H.A.C., Wevers, M., & De Wolf, I. (2008). A new method to determine the mechanical resonance frequency, quality factor and charging in electrostatically actuated MEMS, *2008 IEEE 21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*. China: January 13-17.
- [18] Sauer, D.U., Karden, E., Fricke, B., Blanke, H., Thele, M., Bohlen, O., Schiffer J., Gerschler J.B. & Kaiser, R. (2007). Charging performance of automotive batteries—An underestimated factor influencing lifetime and reliable battery operation, *Journal of Power Sources* 168(1), 22-30.
- [19] American National Standards Institute (ANSI). (2006). *Lead-acid starter batteries, Part I: General requirements and methods of test (IEC 60095-1)*.
- [20] Diniz, F.B., Borges, L.E.P. & Neto, B. de B. (2002). A comparative study of pulsed current formation for positive plates of automotive lead acid batteries, *Journal of Power Sources* 109(1), 184-188.
- [21] Jossen, A., Garche, J., Sauer, D.U. (2004). Operation conditions of batteries in PV applications, *Solar Energy* 76(6), 759–769.
- [22] Ruetschi, P. (2004). Aging mechanisms and service life of lead–acid batteries, *Journal of Power Sources* 127 (268), 33–44.
- [23] Tamai, G., Aldrich III, W.L. (2001). System for battery module balancing via variable voltage DC-DC converter in a hybridelectric powertrain, *U.S. Patent No. 6,275,004*. Detroit: General Motors Corporation.
- [24] Jiramoree, T., Paisuwanna, P. & Khomfoi, S. (2011). A multilevel converter charger utilizing superimposed pulse frequency method for prolonging lead-acid battery lifetime, *The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI)*. Thailand: May 17-19.
- [25] Yan, Z., Hou, S., Minami, S., Kozawa, A. (2008). A high current pulse activator for the prolongation of Lead-acid batteries, *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. China: September 3-5.
- [26] Liu, J., Xia, H., Xue, D. & Lu, L. (2009). Doubleshelled nanocapsules of V2O5-based composites as high-performance anode and cathode materials for Li ion batteries, *Journal of the American Chemical Society* 131 (34), 12086-12087.

- [27] Chang, X. Mao, X., Zhao, Y., Feng, S., Chen, H., Finlow, D. (2009). Lead-acid battery use in the development of renewable energy systems in China, *Journal of Power Sources* 191 (1), 176-183.
- [28] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (1998). *Storage Battery Maintenance and Principles*, Facilities instructions, standards, and techniques volume 3-6, Denver, CO.
- [29] Gelbman, A.R. (199). Apparatus for charging and desulfating lead-acid batteries, *U. S. Patent No. 6,184,650*. Huntington, NY: Synergistic Technologies, Inc.
- [30] Man, K.L., Lim, E.G., Leach, M., Lee, J.K., Kim, K.K. (2014). Simulation and Analysis of Desulfator for Smart Battery System, *2014 International SoC Design Conference*, (pp.173-174). South Korea, November 3-6.
- [31] Zhou, Z.M. & Ji, A.H.(2010). *The Repair and recycling of LA Battery*. Beijing, China: Posts and Telecom Press.
- [32] Singh, A. & Karandikar P.B. (2016). Lead-Acid Battery for HEV using HEV using Fuzzy Controller and Utracapacitor, *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy. (PESTSE)*. India, January 21-23.
- [33] Ritanon, N. (2011). *Study of dynamic model of lead-acid battery in small wind turbine application* (Master Thesis). Rajamangala University of Technology, Electrical Engineering Faculty, Electrical Engineering Department, Thanyaburi.
- [34] Douglas, K. & Perujo, A. (2003). *Lead-acid battery charging by current pulses. Does it help to reduce sulphation?*. STORE Conference. France.
- [35] Catherino, H.A., Feres, F.F., Trinidad, F. (2004). Sulfation in lead-acid batteries, *Journal of Power Sources* 129(1),113–120.
- [36] Xu, K. (2014). Electrolytes and interphases in Li-ion batteries and beyond, *Chemical Reviews* 114(23), 11503–11618.
- [37] Zeier, B.E. (2012) Lead acid battery de-sulfation. *U.S. Patent No. 8,330,428*. Romoland, CA, US.
- [38] Shi, Y., Ferone C.A. & Rahn C.D. (2013). Identification and remediation of sulfation in lead-acid batteries using cell voltage and pressure sensing. *Journal of Power Sources* 221,177–185.
- [39] Vetter, J., Novák, P., Wagner, M.R., Veit, C., Möller, K.C., Besenhard, J.O., Winter, M., Wohlfahrt-Mehrens, M., Vogler, C., Hammouche, A. (2005). Ageing mechanisms in lithium-ion batteries, *Journal of power sources* 147(1), 269-281.
- [40] Jamratnaw W. (2017). Desulfation of lead-Acid battery by high frequency pulse, *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Department of Electronics and Computer Technology Faculty of Industrial Technology Rajabhat University, Phuket, Thailand, June 27-30.

- [41] Mehdi, E.L., Filali, E.A. & Zazi, M. (2017). Impact of Pulse Voltage as Desulfator to Improve Automotive Lead Acid Battery Capacity, (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(7), 522-526.
- [42] Praisuwanna, N. & Khomfoi, S. (2013). A Seal Lead-Acid Battery Charger For Prolonging Battery Lifetime Using Superimposed Pulse Frequency Technique. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*. Denver, USA, September 15-19.
- [43] Billings, K. (1989). *Switchmode Power Supply Handbook*, USA: McGraw-Hill.
- [44] Bode, H. (1977). *Lead-acid Batteries*, New York, USA: Wiley.
- [45] Culpin, B. and Rand, D. (1991). Failure modes of lead/acid batteries, *Journal of Power Sources*, 36(4), 415 – 438.
- [46] Hollenkamp, A. (1996). When is capacity loss in lead/acid batteries 'premature', *Journal of Power Sources*, 59(1-2), 87 – 98.
- [47] Rand, D. (1997). The lead/acid battery, a key technology for global energy management, *Journal of Power Sources*, 64, 157–174.
- [48] Schiffer, J., Sauer, D.U., Bindner, H., Cronin, T., Lundsager, P., and Kaiser, R. (2007). Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems, *Journal of Power Sources*, 168(1), 66 – 78.
- [49] Bindner, H., Cronin, T., Lundsager, P., Manwell, J., Abdulwahid, U., & Baring-Gould, I. (2005). Lifetime Modelling of Lead Acid, *Risø National Laboratory*, Denmark.
- [50] Cooper, A. and Moseley, P. (2003). Progress in overcoming the failure modes peculiar to VRLA batteries, *Journal of Power Sources*, 113(2), 200 – 208.
- [51] Moseley, P. (2000). Improving the valve-regulated lead-acid battery, *Journal of Power Sources*, 88(1), 71 – 77.
- [52] Özermiş, M.E. (2013). *Kurşun asit akülerin optimum şarj olmasını sağlayan şarj devresi* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [53] Barlak, C. (2009). *Batarya model parametrelerinin, doluluk durumunun, sağlık durumunun kestirimi ve Ni-MH bataryalara uygulanması* (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [54] Url-6 <http://www.robotiksistem.com/pil_cesitleri_ozellikleri.html>, erişim tarihi: 14.12.2019.
- [55] Gençten, M. (2013). *Kurşun asit akülerin performanslarının artırılması* (Yüksek lisans tezi). Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [56] ABD Enerji Bakanlığı. (1995). *Doe Handbook Primer on Lead-Acid Storage Batteries*. Washington, USA.

- [57] Linden, D. & Reddy, T. B. (2001). *Handbook of Batteries*. USA: McGraw Hill.
- [58] Lam, L., Douglas J., Pillig, R. & Rand, D. (1994). Minor elements in lead materials used for lead/acid batteries 1. Hydrogen- and oxygen-gassing characteristics, *Journal of Power Sources*, 48(1),219-232.
- [59] Url-7 *Akümülatör eğitim kitabı*, Yiğit Akü. (t.y.). erişim tarihi: 19.12.2019, <https://sirinleraku.com/upload/files/tekniktr%282%29.pdf>.
- [60] Url-8 <<http://www.feedforwardz.com/services/alcad/>>, erişim tarihi: 26.12.2019.
- [61] Bagotsky V.S. (2006), *Fundamentals Of Electrochemistry*, Second Edition. USA: John Wiley & Sons.
- [62] Url-9 <<https://slideplayer.biz.tr/slide/14536068/>>, erişim tarihi: 14.12.2019.
- [63] *Akümülatörlerin yapısı, sınıflandırılması*, Aküder. (t.y.). erişim tarihi: 19.12.2019, <http://akuder.org.tr/img/EIbrTKaK.pdf>
- [64] Url-10 <<https://www.sbsbattery.com/products-services/by-application/stationary-standby-power.html>>, erişim tarihi: 14.12.2019.
- [65] Url-11 <<http://blog.inciaku.com/traksiyoner-aku-nedir/>>, erişim tarihi: 14.12.2019.
- [66] Url-12 <<https://www.basaku.com.tr/maden/>>, erişim tarihi: 14.12.2019.
- [67] Tombul, B. (2005). *Akülerin çevreye zararları ve geri kazanılması* (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [68] Torlak, T. (2001). *Batarya atıklarının geri kazanım prosesleri ve akü üretim atıksularından kurşun giderimi* (Yüksek lisans tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [69] Url-13 <<http://elektrikmen.com/kursun-asit-aku/>>, erişim tarihi: 12.12.2019.
- [70] Bauer H., (1996) *Bosch Automotive Handbook*, Stuttgart, 4: 803-807.
- [71] Mahmuddin, F., Yusran, A.M. & Klara, S. (2017). “On the use of an Arduino-based controller to control the charging process of a wind turbine, *AIP Conference Proceedings 1814* (1).
- [72] Url-14 <<https://www.infinitumstore.com/sulfation.html>>, erişim tarihi: 20.12.2019.
- [73] Url-15 <<https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/monostable.html>>, erişim tarihi: 13.12.2019.
- [74] Url-16 <https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html>, erişim tarihi:13.12.2019.
- [75] Url-17 <<http://www.elektrik.gen.tr/2015/08/bobinler/402>>, erişim tarihi: 24.11.2019.
- [76] Url-18 <<http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/>>, erişim tarihi: 24.11.2019
- [77] Url-19 <<https://daycounter.com/LabBook/BoostConverter/Boost-Converter-Equations.phtml>>, erişim tarihi: 09.12.2019.

[78] Url-20 Lepek, P., Prescott, J. & Goings, J. (2011). Optimizing Passive Keyless Entry System Performance. Retrieved December 25, 2019, from http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/article_optimizing_passive_keyless_entry.pdf.



EKLER

EK – 1: Aküder Mail

EK – 2: Malzeme Listesi



EK – 1: Aküder Mail

Merhaba Ayetullah Bey,

Tez çalışmanız için talep etmiş olduğunuz bilgileri mümkün olduğunca vermeye çalıştım. Aşağıda yer alan verilerin çalışmanıza katkı sağlamasını ümit eder; başarılar dilerim.

Akümülatörler, ülkemiz mevcut mevzuatında (Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü-APAK- Yönetmeliği) kurşun asit olan ürünler olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle veriler, kimyasal içeriği yalnızca kurşun asit olan, sülfürik asitli ürünleri kapsamaktadır.

Ülkemizde bugün, mevcut teknolojimiz ile yılda yaklaşık 15 milyon adet kurşun asit akümülatör üretilmektedir. Bu akülerin iç piyasaya sürülen miktarının parasal değeri yaklaşık 1,5 milyar TL'dir. Sektörün yıllık akümülatör ve malzemeleri ihracatı ise yaklaşık 400 milyon dolar civarındadır.

Türkiye'de yenileme piyasasına sürülen akümülatör miktarına paralel olarak yıllık ortalama 110 bin ton atık akümülatör oluşmaktadır. 110 bin ton atık akümülatörün geri kazanımı ile yaklaşık 60 bin ton kurşun 15 bin ton plastik ekonomiye geri kazandırılmaktadır. Yaklaşık 25 bin ton asitli su nötralize edilerek kurşun ve kurşun bileşiklerinin alıcı ortama karışması önlenmektedir.

Atık akümülatörün toplanıp, geri kazanılmasıyla önemli ölçüde kurşun ithalatının önüne geçilerek ülke ekonomisine katkıda bulunulmakta ve çevrenin korunması sağlanmaktadır. Akümülatörün temel maddesi olan kurşun, ülkemizde doğal kaynaklardan sağlanamamaktadır. Diğer taraftan geri kazanımdan elde edilen kurşun akümülatör üretimi için yetersiz kaldığından dışa bağımlılık söz konusudur.

Ülkemizde kapasitesi yaklaşık 200.000 ton/yıl olan 19 adet çevre lisanslı geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Atık akümülatör miktarının yetersiz olması nedeniyle söz konusu tesisler kapasitelerinin altında faaliyet göstermektedir.

2018 Yılı Toplam Akümülatör (TUİK e göre verilen değerler farklı kapasitede, türde ve ağırlıktaki kurşun asit akümülatörleri içermektedir.)

İthalat Mik. : 12.259.195 adet, 52.738.529 kg.

İthalat Ederi : 86.156.471 \$, 890.430.348 TL

İhracat Mik. : 7.895.218 adet, 136.832.489 kg.

İhracat Ederi : 322.152.584 \$, 1.598.747.289 TL

Üretim Mik. : 85.626.630 kg. (TUİK verilerinde 2018 yılı üretime rastlanılmadığından, yalnızca AKÜDER üyeleri tarafından bildirilen miktar verilmiştir.)

(Rakamlar, farklı kapasitede, türde ve ağırlıktaki kurşun asit akümülatörleri içermektedir.)

Saygılarımla,



Müh. Serpil ÖZKAN
Genel Sekreter

Adres : Ali Rıza Gürcan C.Çırpıcı Yolu No:1
Meridyen İş Merkezi K:5 D:504-505
Merter - Güngören / İSTANBUL

İletişim : 0212 482 2340 - 0530 454 2725

www.akuder.com.tr – akuder@akuder.org.tr

EK – 2: Malzeme Listesi

Malzemenin			
Sıra No	Adı	Devre Kodu	Özelliği
1	Direnç	R1	100Ω
2		R2	10kΩ
3		R3	22.6kΩ
4		R4	120Ω
5	Termistör	RT1	3kΩ - NTC
6		RT2	3kΩ - PTC
7	Kondansatör	C1 - C4	10nF
8		C5 - C8	0.1uF
9		C9	470uF/63V
10		C10	100uf/63V - Low ESR
11	İndüktör	L1	1mH - Ferit Halka Bobin
12		L2	220uH - Ferit Halka Bobin
13	Diyot	D1	12V 1.5W Zener diyot
14		D2	Şotky Diyot
15	Entegre	U1 - U2	NE555
16		U3 - U4	TC4427
17	Transistör	Q1	2N3906
18		Q2 - Q4	IRFZ44E

ÖZGEÇMİŞ

Ayetullah AKAR, 25/02/1988 'de Muş'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Muş'ta tamamladı. 2004 yılında Muş Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Ankara Üniversitesi Endüstriyel Otomasyon Bölümü'nü 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektronik Öğretmenliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2017 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde mühendislik formasyonunu 2018 yılında tamamladı. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılından beri Sakarya Büyükşehir Belediyesinde Elektrik-Elektronik mühendisi olarak görev yapmaktadır.