

การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่
โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้
Study and Development of Battery Monitoring System
by Detecting Dead Battery Cell

โดย

ชนิภาแต่ย์ ทอมมาลัย

ชวิน ทฤพรพรพงศ์

ชัชชล กระจ่างทอง

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่
โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้

Study and Development of Battery Monitoring System
by Detecting Dead Battery Cell

โดย

ชนิกันต์

หอมมาลัย

ชวิน

หฤทธิพงษ์

ชัชชล

กระต่ายทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

Study and Development of Battery Monitoring System
by Detecting Dead Battery Cell

CHANIKARN HOMMALAI
CHAWIN HARUEHANSAPONG
CHATCHON KRATAITHONG

THIS PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่
โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้

Study and Development of Battery Monitoring System
by Detecting Dead Battery Cell

โดย

นางสาวชนิกานต์ หอมมาลัย

นายชวิน หฤหรรษพงศ์

นายชัชชล กระจ่างทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย

รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสุวรรณ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556


สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่ โดยสามารถตรวจสอบเซลล์
แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้

ผู้จัดทำ

1. นางสาวชนิกานต์ หอมมาลัย
2. นายชวิน ทฤทธิพงษ์
3. นายชัชชล กระจ่ายทอง

.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ประภาช ไพรสุวรรณ)

การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่
โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้

นางสาว ชนิกันต์ หอมมาลัย
นาย ชวิน หฤหรรษพงศ์
นาย ชัชชล กระจ่ายทอง
รศ. ดร. สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. ประภาส ไพรสวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้ นำเสนอการศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่ โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้ ในปฏิญานิพนธ์นี้ ได้ทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสต่างๆ และนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ค่ากระแส แรงดัน อุณหภูมิ ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า มาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ พร้อมทั้งแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบ การรับข้อมูลของแบตเตอรี่จะใช้การสื่อสารแบบ CAN ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการประมวลผล และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ ได้แก่ ค่าแรงดันต่อเซลล์ กระแสขณะอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ ความหนาแน่นทางกำลังไฟฟ้า และความหนาแน่นทางพลังงาน ในการแสดงผลนี้สามารถบอกได้ถึงเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ใกล้เสื่อมสภาพ และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ

**Study and Development of Battery Monitoring System
by Detecting Dead Battery Cell**

Chanikarn Hommalai

Chawin Haruehansapong

Chatchon Krataithong

Assoc.Prof. Dr. Surin Khomfoi Supervisor

Assoc.Prof. Prapart Praisuwanna Supervisor

Year 2013

ABSTRACT

The development of battery monitoring system by detecting dead battery cell is proposed in this paper. The experiment of charging and discharging has been tested in different values of the current. Then, the parameters of battery, which are current, voltage, and temperature are analyzed in order to detect the dead battery cell. The monitoring also shows the parameter of battery during testing. The CAN (Controlled Area Network) Communication is used to transfer all data between the microcontroller and the proposed PLC together with a computer. The outputs showing on the screen are voltage per cell, current of charging or discharging, temperature within battery, power density, and also energy density. The dead battery cells and the efficient of battery can also be indicated by this monitor device.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย และ รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ และ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้อง REAL (Renewable Energy Application Laboratory) ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องตลอดมา ขอขอบคุณ พี่ต้น พี่น็อต พี่นัท พี่เม พี่ตา พี่เตพ พี่เล็ก น้องฮิม และผู้ที่ให้การช่วยเหลือทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ในทุกๆ เวลา ด้วย ความเต็มใจ จนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัยในเรื่องการศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถ ตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การ สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหา อุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดโครงการ	3
1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ประเภทของแบตเตอรี่	7
2.3 ชนิดของแบตเตอรี่	7
2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี (Carbon-zinc battery)	8
2.3.2 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline battery)	9
2.3.3 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-cadmium)	9
2.3.4 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัล-ไฮไดรด์ (Nickel-metal-hydride)	10
2.3.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion)	11
2.3.6 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ (Lithium-ion Polymer)	12
2.3.7 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (Lithium iron Phosphate)	12
2.3.8 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-acid)	13
2.3.8.1 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	14
2.3.8.2 การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	14
2.4 การอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่	14
2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดประจุไฟฟ้า	15
2.4.2 ประเภทของการอัดประจุไฟฟ้า	17
2.5 การใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสม	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 มาตรฐานการทดสอบสภาพแบตเตอรี่	19
2.7 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS)	19
2.8 การสื่อสารแบบ CAN (Control Area Network : CAN Bus)	21
2.8.1 หลักการทำงานของ CAN	22
2.8.2 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบ CAN	22
2.8.3 ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบ CAN	22
2.8.4 ความเสถียรภาพในการทำงาน	22
2.9 การสื่อสารอนุกรม RS-485	23
2.10 สรุป	25
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	26
3.1 บทนำ	26
3.2 การเชื่อมต่อวงจรทดสอบแบตเตอรี่	26
3.3 การออกแบบวงจรกำลัง	28
3.4 การออกแบบวงจรควบคุม	29
3.5 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง	31
3.6 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสาร	31
3.6.1 วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL	31
3.6.2 วงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232	32
3.6.3 วงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB	33
3.7 โปรแกรมที่ใช้แสดงข้อมูลแบตเตอรี่	34
3.8 โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens	35
3.9 สรุป	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 บทนำ	37
4.2 โปรแกรมการตรวจจับค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่	37
4.3 ผลการทดลอง	40
4.3.1 การทดสอบการคายประจุไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าคงที่	40
4.3.2 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าคงที่	43
4.3.3 การทดสอบการอัดประจุแบบกำลังไฟฟ้าคงที่	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ 2 ชนิด	47
4.4.1 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Li-ion และ แบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO) ₄ โดยการอัดประจุไฟฟ้า (Charge)	47
4.4.2 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Li-ion และ แบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO) ₄ โดยการคายประจุไฟฟ้า (Discharge)	49
4.5 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่	52
4.6 สรุป	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์	60
ภาคผนวก ข เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	64
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	66
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน Software REAL Battery Monitoring System	157
ภาคผนวก จ บทความวิชาการ	161
ภาคผนวก ฉ โปสเตอร์นำเสนอผลงาน	166
ประวัติผู้เขียน	168

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานทดแทนในระบบ	1
1.2 ระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ	2
2.1 แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี	8
2.2 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์	8
2.3 แบตเตอรี่ชนิดนิคเกิล-แคดเมียม	10
2.4 แบตเตอรี่ชนิดนิคเกิล-เมทอล-ไฮไดรด์	10
2.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน	11
2.6 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์	11
2.7 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟต	12
2.8 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	13
2.9 แผ่นธาตุของแบตเตอรี่	13
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	15
2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่และเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสต่างกัน	16
2.12 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่	17
2.13 ระบบจัดการแบตเตอรี่ในปัจจุบัน	20
2.14 การรับส่งสัญญาณของคู่สายที่ใช้พันเป็นเกลียวและคู่สายเส้นตรง	23
2.15 คุณสมบัติการสื่อสาร RS-485 เปรียบเทียบกับมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมอื่น ๆ	24
2.16 การเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร RS-485	25
3.1 แผนผังการเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่	26
3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบแบตเตอรี่	27
3.3 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน	28
3.4 วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน	27
3.5 วงจร chipKIT Max 32	29
3.6 แผนภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX795F512L	30
3.7 โครงสร้างวงจรไฟเลี้ยง 3.3 V	31
3.8 โครงสร้างวงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL	31
3.9 วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL	32
3.10 โครงสร้างวงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232	32
3.11 วงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.12	โครงสร้างวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB	33
3.13	วงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB	34
3.14	CAN Bus Analyzer ของบริษัท MICROCHIP	34
3.15	หน้าต่างโปรแกรม CAN Bus Analyzer	34
3.16	หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens	34
3.17	หน้าต่างแสดงโปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens	35
4.1	หน้าจอหลักสำหรับผู้ใช้งาน	36
4.2	หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่ Toshiba	37
4.3	หน้าจอแสดงกราฟแบบเต็มจอ (Full Graph)	38
4.4	หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ภายในของแบตเตอรี่	38
4.5	ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า 1C หรือ 40 A	39
4.6	ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า 2C หรือ 80 A	40
4.7	ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า 3C หรือ 120 A	41
4.8	ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า 1C หรือ 40 A	42
4.9	ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า 2C หรือ 80 A	43
4.10	ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า 3C หรือ 120 A	43
4.11	ผลการทดสอบการอัดประจุด้วยวิธีคงที่กำลังไฟฟ้าที่ 2250 W	44
4.12	เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และกำลังไฟฟ้าคงที่	45
4.13	การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	45
4.14	การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	46
4.15	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ระหว่างการอัดประจุของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	46
4.16	การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	47
4.17	การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	47
4.18	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ระหว่างการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	48
4.19	เปรียบเทียบอุณหภูมิขณะทำการคายประจุไฟฟ้า	48
4.20	เปรียบเทียบอุณหภูมิขณะทำการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างกัน	49
4.21	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ 2 ชนิด	49
4.22	ผลของแรงดันจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ขณะคายประจุไฟฟ้า	52
4.23	วงจรสมมูลแบตเตอรี่ที่ใช้พิจารณาค่าพารามิเตอร์	53
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานภายในและกระแสไฟฟ้า	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.1 หน้าจอหลักสำหรับผู้ใช้งาน REAL Battery Monitoring System	158
ง.2 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่ Toshiba	159
ง.3 แถบเครื่องมือของโปรแกรม REAL Battery Monitoring System	159
ง.4 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ภายในของแบตเตอรี่	160
ง.5 หน้าจอแสดงกราฟแบบเต็มจอ (Full Graph)	160

สารบัญตาราง

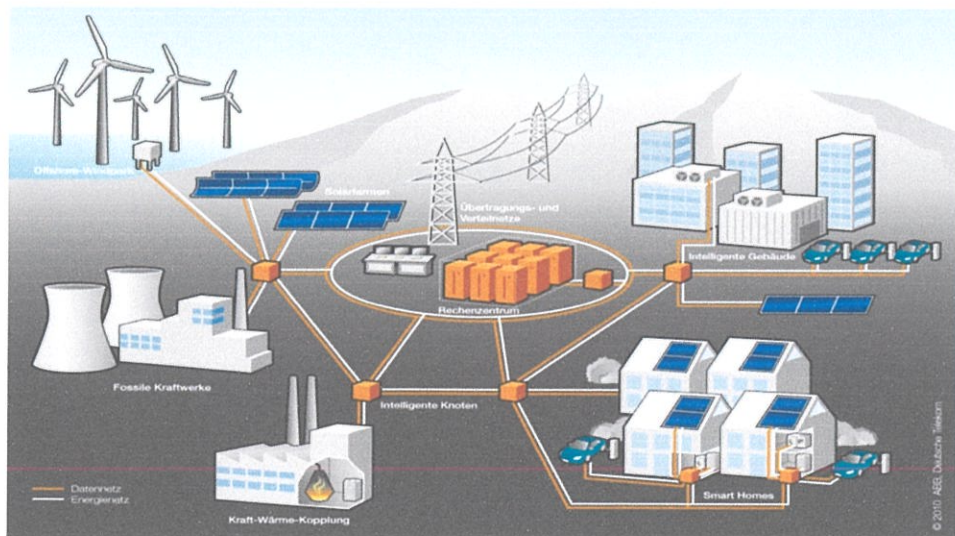
ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	5
2.1 ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ampere hour) กับค่าความต้านทานภายใน	19
4.1 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อทำการคายประจุไฟฟ้า	53
4.2 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้า	53

บทที่ 1

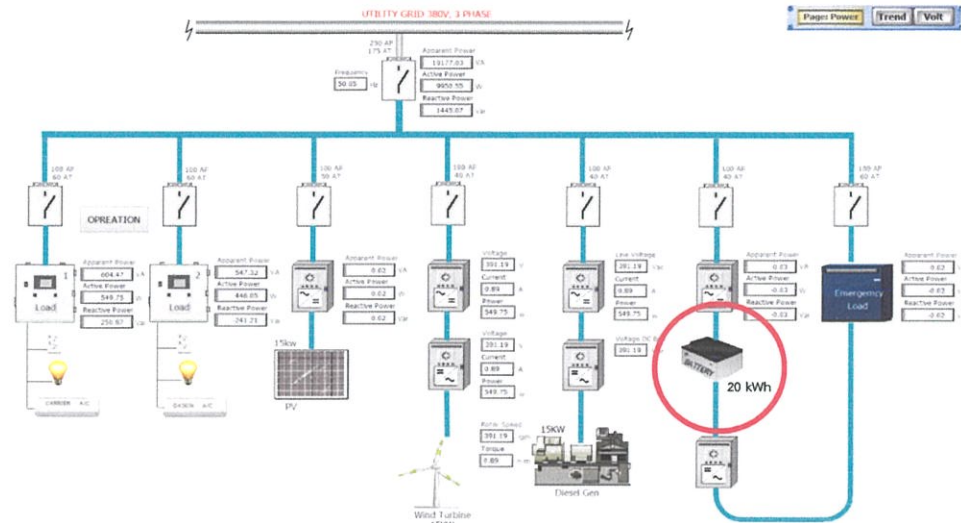
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น แต่พลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ากลับมีทิศทางลดลง และมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการการใช้ไฟฟ้าในระบบ ดังรูปที่ 1.1 ในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ จะไม่สามารถผลิตได้คงที่ และเพียงพอต่อความต้องการตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีระบบจัดเก็บพลังงานเข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า เช่น ระบบไฟฟ้าภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smartgrid Building) ดังรูปที่ 1.2 ที่มีการนำระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามาใช้ควบคู่ไปกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง และการใช้ไฟฟ้าจากการผลิตด้วยพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นส่วนช่วยในการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าภายในอาคาร อีกทั้งยังเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต้องการการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เช่น เซิร์ฟเวอร์(Server) และคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้ายังมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในที่มีภาระทางไฟฟ้าที่สำคัญ เช่น โรงพยาบาล ท่าอากาศยาน โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการใช้ไฟอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดความเสียหายต่อกระบวนการผลิต



รูปที่ 1.1 ระบบไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานทดแทนในระบบ



รูปที่ 1.2 ระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ

ระบบจัดเก็บพลังงานสำรองจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้าให้มีการจ่ายไฟอย่างต่อเนื่องและช่วยลดความเสียหายต่อชีวิต เศรษฐกิจ และทรัพย์สิน ที่เกิดขึ้นจากความไม่ต่อเนื่องของการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยระบบจัดเก็บพลังงานสำรองในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมใช้คือการแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงาน โดยแบตเตอรี่จะเก็บรักษาพลังงานในรูปของพลังงานเคมี และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อนำไปใช้งาน ด้วยการคายประจุไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าในระบบ เพื่อให้ภาระทางไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าใช้อย่างเพียงพอ ด้วยวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และเพื่อให้การใช้งานของระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองด้วยแบตเตอรี่ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีระบบตรวจสอบและแสดงสถานะปัจจุบันของแบตเตอรี่

โครงการนี้ได้นำเสนอถึงระบบตรวจสอบคุณภาพแบตเตอรี่ ที่สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ในสถานะต่างๆ ได้แก่ กระแสไฟฟ้าใช้งาน อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้ารวม แรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ของแบตเตอรี่ ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแบตเตอรี่ได้ทุกชนิด โดยสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาการทำงานร่วมของแบตเตอรี่แบบผสมผสาน (Hybrid Battery) เพื่อหาการทำงานร่วมกันของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุดตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ตรงต่อความต้องการในการใช้งาน นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังได้พัฒนาในส่วนของการตรวจสอบเซลล์ที่เสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ โดยจะทำการแจ้งเตือนและผู้ดูแลสามารถดำเนินการแก้ไขได้อย่างทันที เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับแบตเตอรี่ชุดอื่นๆ ลดความเสียหายต่อระบบสำรองไฟฟ้า ลดความเสียหายต่อชีวิต เศรษฐกิจ ทรัพย์สิน และยังช่วยลดมลภาวะและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะอันตรายประเภทแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะต่างๆของแบตเตอรี่ โดยแสดงข้อมูลผ่านทางหน้าจอแสดงผล
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องมือที่มีคุณสมบัติในการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณภาพได้ถึงระดับเซลล์ย่อยของแบตเตอรี่
3. เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ข้างเคียง เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชุดใดชุดหนึ่ง และลดการกำจัดและทำลายแบตเตอรี่เพื่อรักษาสภาพแวดล้อม
4. เพื่อลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ของระบบ เมื่อใช้แบตเตอรี่ร่วมกับระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์แสดงผลสถานะต่างๆ ของแบตเตอรี่ โดยสามารถแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ แรงดันไฟฟ้ารวมของแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้ โดยการใช้เขียนโปรแกรมการทำงานต่างๆ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งการสื่อสารภายในระหว่างโปรแกรมและเซนเซอร์ตรวจวัดของแบตเตอรี่จะเป็นการสื่อสารในรูปแบบของ CAN Bus นอกจากนี้ยังได้ออกแบบและจัดสร้างระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้ ด้วยการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในเซลล์ของแบตเตอรี่และทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หากเป็นค่าที่ถูกจัดว่าเป็นแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพก็สามารถทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ตัวนั้นก่อน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น แก่แบตเตอรี่ตัวอื่นๆในชุดนั้นหาว่ามีการใช้งานแบตเตอรี่ตัวที่เสื่อมสภาพพร้อมกันต่อไป

1.4 วิธีการใช้ในโครงการ

1. ศึกษาความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทำโครงการ และวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรสมมูลของแบตเตอรี่
2. จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ตลอดจนการศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
3. ทดลองดึงข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดในแบตเตอรี่และนำมาประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์
4. ทดลองหาค่าพารามิเตอร์จากวงจรสมมูลแบตเตอรี่และทำการวิเคราะห์
5. จัดสร้างเครื่องแสดงผลข้อมูลต่างๆจากเซนเซอร์ตรวจวัดของแบตเตอรี่และเครื่องตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวงจรสมมูลของแบตเตอรี่

6. ทดสอบเครื่องแสดงผลข้อมูลต่างๆของแบตเตอรี่และเครื่องตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น
7. บันทึกผลการทดลองเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้ทำงาน เพื่อให้ได้เครื่องตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพ
8. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง
9. รวบรวมข้อมูลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงาน โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ มิถุนายน 2556 ถึง กุมภาพันธ์ 2557 รวมเป็นเวลา 9 เดือน โดยมีแผนการดำเนินโครงการดังนี้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาการทำงานร่วมของแบตเตอรี่แบบผสมผสาน
2. ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ ที่ช่วยให้ระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. โครงการวิจัยนี้สามารถช่วยให้ลดการกำจัดหรือทำลายแบตเตอรี่ โดยช่วยลดมลภาวะ และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
4. ลดความเสี่ยงและความสูญเสียที่เกิดจากแบตเตอรี่เสียไม่สามารถประจุสำรองพลังงานไว้ได้
5. เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการฟื้นฟูได้ทันเวลา เมื่อตรวจพบแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ และแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ โดยจะเน้นการศึกษาข้อมูลของแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิชนิดลิเทียม และยังได้มีการจำแนกวิธีการอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ในลักษณะต่างๆ การใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสม มาตรฐานการทดสอบสภาพแบตเตอรี่ และระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการสื่อสารแบบ CAN ซึ่งเป็นการสื่อสารที่ใช้ในการส่งข้อมูลของแบตเตอรี่ และการสื่อสารอนุกรม RS-485 ที่ใช้สื่อสารภายในระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS)

2.2 ประเภทของแบตเตอรี่

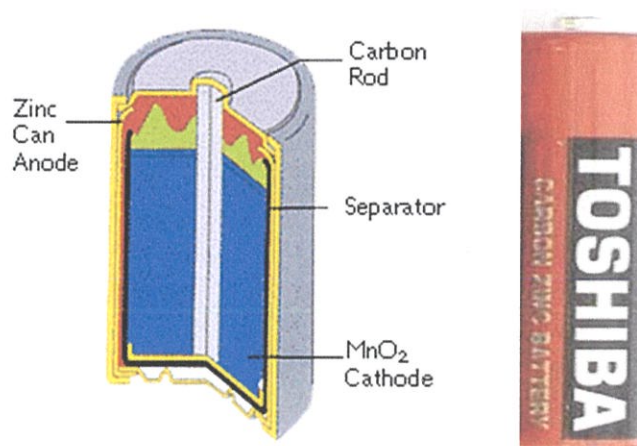
แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อเอาไว้ใช้งาน เนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดและคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถเลือกใช้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการ นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้สะดวกอีกด้วย ในปัจจุบันแบตเตอรี่ก็ยังมีใช้งานอย่างแพร่หลายและยังเป็นที่ต้องการของตลาด โดยหลักการของแบตเตอรี่จะเก็บรักษาพลังงานในรูปของพลังงานเคมี เมื่อนำไปใช้งานแบตเตอรี่จะคายพลังงานดังกล่าวเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่ใช้งาน โดยแบตเตอรี่จะทำการเปลี่ยนพลังงานที่เก็บรักษาในรูปของพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปใช้งาน

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วไม่สามารถนำมาอัดประจุกลับเข้าไปใช้งานใหม่ได้ เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมด พลังงานไฟฟ้าก็จะหมด แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้ไฟน้อยหรือในที่ๆ ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ แบตเตอรี่ชนิดนิคเกิล-แคดเมียม เป็นต้น

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้หลังจากจ่ายไฟหมดแล้ว เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดประจุกลับเข้าไปใหม่ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ เป็นต้น

2.3 ชนิดของแบตเตอรี่

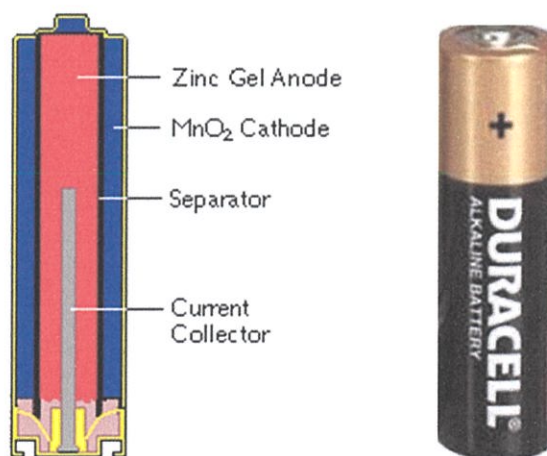
ในปัจจุบันแบตเตอรี่มีหลายชนิด หลายขนาดและมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้แบตเตอรี่ต้องเลือกให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน และจำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติของแบตเตอรี่ในแต่ละชนิด แบตเตอรี่ที่ดีจะต้องออกแบบให้มีขนาดเล็ก มีอายุการใช้งานยาวนาน ความทนทานในการใช้งานตรงกับความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วผู้ผลิตสามารถผลิตได้ แต่ราคาของแบตเตอรี่จะแพงตามไปด้วย จึงไม่เหมาะสมกับผู้ทั่วไป การแยกประเภทแบตเตอรี่สามารถใช้ชนิดของวัสดุที่จัดทำแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบแบตเตอรี่มาแยกประเภทได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี

2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี (Carbon-zinc battery)

แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Battery) ชนิดคาร์บอนสังกะสีมีโครงสร้างภายในคือ ขั้วบวกใช้คาร์บอน และหุ้มด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ จากนั้นเคลือบด้านนอกด้วยสังกะสีซึ่งเป็นขั้วลบ เมื่อมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นจะให้อิเล็กตรอนออกมาและเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่ถ้าปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเกิดการย้อนกลับก็จะทำให้เราสามารถอัดประจุเข้าไปในแบตเตอรี่ใหม่ได้หรือที่เรียกว่า การรีชาร์จ แต่แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสีในประเภทนี้เป็นถ่านไฟฉายรุ่นแรกที่ไม่สามารถอัดประจุกลับเข้าไปได้ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีราคาต่ำ แต่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำได้ไม่ดี ความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ต่ำ และประสิทธิภาพต่ำถ้าใช้งานที่กระแสไฟฟ้าสูง



รูปที่ 2.2 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์

2.3.2 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline battery)

แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์มีใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2501 ซึ่งเมื่อแรกเริ่มนั้นเป็นที่นิยมกันมากเพราะสามารถให้พลังงานได้มากกว่าแบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า แต่ในระยะหลังเริ่มมีการตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากแบตเตอรี่ชนิดนี้ มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบ เมื่อแบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้กันมากจึงทำให้เกิดปัญหาขยะมีพิษเพิ่มมากขึ้นทั่วโลก ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้พยายามที่จะพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ให้ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2523 ได้มีผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์แบบที่มีสารปรอทต่ำลง และในปี พ.ศ. 2533 ก็ได้มีแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์แบบปลอดสารปรอทเกิดขึ้นนั่นคือ แบตเตอรี่อัลคาไลน์ดูราเซล และแบตเตอรี่อัลคาไลน์ เอ็นเนอร์จีเซอร์ ข้อเสียที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์คือจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมากในสภาพอากาศที่หนาวเย็น

ในปี พ.ศ. 2536 ได้มีการคิดค้นแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ที่สามารถอัดประจุไฟเข้าไปได้โดยสามารถให้แรงดันไฟฟ้าที่ 1.5 โวลต์เท่ากับแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์แบบปฐมภูมิ แต่เมื่อมีการอัดประจุใหม่เรื่อยๆ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงตามจำนวนการอัดประจุในแต่ละครั้ง ถึงแม้จะมีการดูแลรักษาและอัดประจุอย่างดีก็ตามเมื่ออัดประจุไปประมาณสิบครั้งประสิทธิภาพจะลดลงเหลือประมาณ 60%

2.3.3 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม (Nickel-cadmium)

แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่ที่มีการอัดประจุที่ง่ายและรวดเร็ว มีจำนวนไซเคิล (cycle) ในการอัดประจุและการคายประจุสูง สามารถอัดประจุและคายประจุได้มากกว่า 1,000 ครั้ง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำ มีความแข็งแรงทนทาน เก็บรักษาง่ายเคลื่อนย้ายสะดวก มีอายุการใช้งานประมาณ 5 ปี หลังจากการอัดประจุครั้งแรก นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังเป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาถูกอีกด้วย

ข้อจำกัดของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ (Lower energy density) มีผลของ Memory effect ซึ่งหมายถึงการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ได้เพียงบางส่วน ไม่สามารถอัดประจุได้เต็มที่ ซึ่งเกิดจากการอัดประจุแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่เดิมยังไม่หมดดี ทำให้การอัดประจุครั้งต่อไปจะใช้เวลาสั้นลงเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้จะเก็บความจำในการอัดประจุที่สั้นที่สุดเอาไว้ และทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดน้อยลง แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม มีผลของการคายประจุด้วยตัวเองสูง (High self-discharge) จำเป็นต้องมีการอัดประจุหลังจากการเก็บรักษา

นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังเป็นแบตเตอรี่ที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เนื่องจากมีส่วนประกอบของสารแคดเมียมซึ่งเป็นสารโลหะหนักที่ใช้มากเป็นพิษต่อร่างกายโดยทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ เกิดอาการระคายเคือง และอักเสบของระบบทางเดิน แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้งานกับวิทยุสองทาง เครื่องมือทางเกษตรกรรม และอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

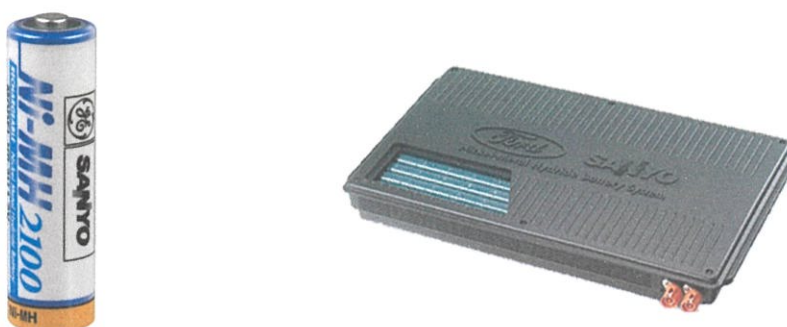


รูปที่ 2.3 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม

2.3.4 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัล-ไฮไดรด์ (Nickel-metal-hydride)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความหนาแน่นของพลังงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม แต่มีความแข็งแรงทนทานน้อยกว่า การเก็บรักษาง่ายและเคลื่อนย้ายสะดวก นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ไม่มีสารพิษ ดังนั้นจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อจำกัดของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานที่จำกัด เมื่อเริ่มใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะเสื่อมลงหลังจากอัดประจุและคายอัดประจุ 200-300 ไซเคิล (cycle) เก็บรักษาได้ไม่นานใช้งานได้ประมาณ 3 ปี การเก็บแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดเวลาการเก็บรักษาได้ มีกระแสไฟฟ้าย่อยประจุจำกัด การจ่ายกระแสไฟฟ้ามากเกินไปจะส่งผลให้การใช้งานลดลง มีผลของการคายประจุด้วยตนเอง (Self- discharge) สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียมประมาณ 50% นอกจากนี้การทำงานของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะเสื่อมลงหากเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งการใช้งานส่วนใหญ่จะใช้งานกับโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัล-ไฮไดรด์



รูปที่ 2.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน

2.3.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีน้ำหนักเบาเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีความปลอดภัยอีกด้วยเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีวงจรป้องกัน (protection circuit) ในการจำกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า โดยวงจรป้องกันจะจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเซลล์ขณะอัดประจุไฟฟ้าและป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำเกินไปขณะคายประจุไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ไม่ให้สูงเกินไปอีกด้วย คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีความหนาแน่นของพลังงานสูงเป็นแบตเตอรี่ที่มีการดูแลรักษาต่ำ ไม่มี memory effect นอกจากนี้ยังมีผลของการคายประจุด้วยตนเอง (Self-discharge) ต่ำอีกด้วย

ด้านการเก็บรักษาแบตเตอรี่ควรเก็บรักษาในสถานที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ควรคายประจุออกจากแบตเตอรี่ให้เหลือประมาณ 40% เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีปัญหาด้านอายุการใช้งานถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใช้งานก็ตาม โดยจะเริ่มเสื่อมสภาพหลังจากการใช้งานไปแล้วประมาณ 1 ปี และแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพภายใน 2-3 ปี แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

สาเหตุการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมนั้นได้แก่ การใช้งานแบตเตอรี่จนถึงจำนวนไซเคิลที่แบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเองตามปกติ หรือแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเองเมื่อถึงเวลาที่แบตเตอรี่เสื่อม โดยเวลาที่ว่าเป็นเวลาที่นับตั้งแต่การผลิต ไม่ใช่เวลาในการใช้งาน นอกจากนี้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ก็ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติได้



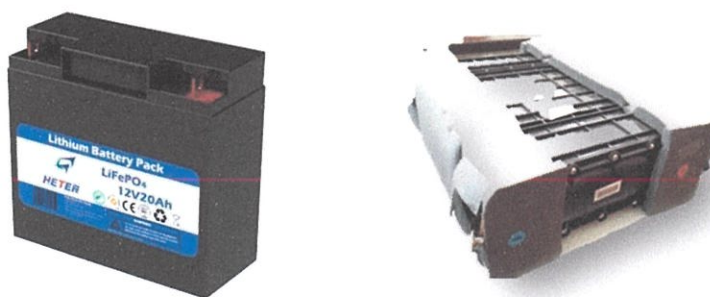
รูปที่ 2.6 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์

2.3.6 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ (Lithium-ion Polymer)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ เป็นแบตเตอรี่ที่พัฒนามาจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีน้ำหนักเบา ไม่มี memory effect เป็นแบตเตอรี่ที่มีการดูแลรักษาต่ำ นอกจากนี้ยังมีผลของการคายประจุด้วยตนเอง (Self-discharge) ต่ำอีกด้วย แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ มีข้อได้เปรียบจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน คือมีความจุไฟฟ้ามากกว่าถึง 20% ในขนาดแบตเตอรี่ที่เท่ากัน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือมีข้อจำกัดเรื่องรูปร่างของแบตเตอรี่น้อยมาก จึงทำให้สามารถสร้างแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ให้มีขนาดเล็กและบางได้ รวมทั้งสามารถสร้างให้มีรูปทรงที่ไม่ใช่ทรงกระบอกหรือทรงสี่เหลี่ยมเหมือนแบตเตอรี่แบบเดิมๆ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ ยังจัดว่ามีต้นทุนสูง ดังนั้นความนิยมจึงยังมีไม่มากเท่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้กับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โทรศัพท์มือถือ รีโมทควบคุมรถบังคับ เป็นต้น

2.3.7 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (Lithium iron Phosphate)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate :LiFePO₄) เป็นแบตเตอรี่ตระกูลเดียวกับลิเทียมไอออน ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อ ปี พ.ศ. 2534 แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตมีข้อดีที่เหนือกว่าลิเทียมไอออนคือ ด้านความปลอดภัย แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้น เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น แบตเตอรี่ก็อาจจะเกิดการระเบิดออกมาได้ ในขณะที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตมีความเสถียรกว่ามาก จึงปลอดภัยกว่า ข้อดีอีกประการคือแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตทนทานกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตมีวงจรอายุสูงถึง 2000 รอบ จึงสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า แต่ข้อเสียของแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตคือมีความจุที่ต่ำกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อยู่ประมาณ 40% นั้นหมายความว่า ถ้าแบตเตอรี่มีขนาดเท่ากันแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตจะมีประจุไฟน้อยกว่า ด้วยเหตุผลนี้แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตจึงไม่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้กับอุปกรณ์ไอทีแบบพกพา ข้อเสียอีกประการของแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเซลล์อยู่ที่ประมาณ 3.2 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งต่ำกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นคือ 3.7 โวลต์ต่อเซลล์ ทำให้ต้องออกแบบวงจรอัดประจุใหม่ ความยุ่งยากนี้ก็เป็นอย่างอื่นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งผู้ผลิตอุปกรณ์ไอทีไม่นิยม ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตจะได้รับความสนใจในงานอื่นมากกว่า เช่น รถยนต์ไฟฟ้า จักรยานไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางงานช่าง



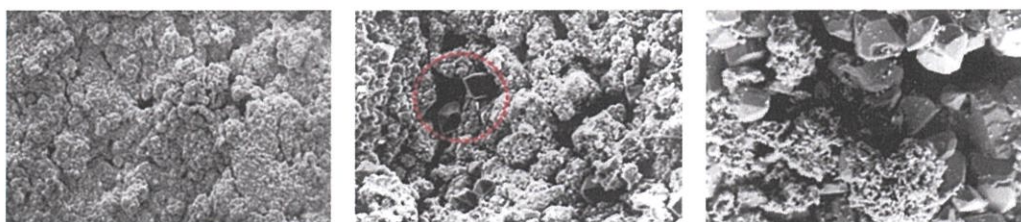
รูปที่ 2.7 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟต

2.3.8 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-acid)

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบอัดประจุได้ที่เก่าที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกันประดิษฐ์ขึ้นมาโดยแกสตันพลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี พ.ศ. 2402 เป็นแบตเตอรี่แบบอัดประจุได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้าและในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุสูง นิยมใช้กับรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ ระบบสำรองไฟฟ้า (UPS) และระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Light) สำหรับอุณหภูมิต่างๆ ระบบในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 8 องศาเซลเซียส จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่แบบ VRLA (Valve-Regulated Lead-Acid) จะมีอายุถึง 10 ปี ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสแต่จะลดลงเหลือ 5 ปี ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสนอกจากนี้อุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้แบตเตอรี่เก็บประจุได้น้อยลง ความจุของแบตเตอรี่จะลดลง 50% เมื่ออุณหภูมิต่ำลง 12 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมตอนเช้ารถยนต์ถึงสตาร์ทที่ติดยาก การคายประจุโดยตัวมันเอง (Self-discharge) น้อยมาก ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเปียกอัตราการคายประจุประมาณ 40% ต่อปี ส่วนแบตเตอรี่แบบแห้งจะมีอัตราการคายประจุน้อยกว่าแบบเปียกโดยเฉพาะแบตเตอรี่ AGM รุ่นใหม่ๆบางชนิด อัตราการคายประจุด้วยตัวมันเองจะไม่เกิน 2% ต่อเดือน



รูปที่ 2.8 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.9 แผ่นธาตุของแบตเตอรี่

(ก) แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ใหม่

(ข) แผ่นธาตุของที่เริ่มมีการสะสมของซัลเฟต

(ค) แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ

2.3.8.1 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด มีทั้งแบบเปียกและแบบแห้งโดยที่แบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรดเรียกว่าแบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวอุดขั้วเรียกว่าแบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของแบตเตอรี่ แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งานโดยจะแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไปหรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์

2.3.8.2 การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด อาจเป็นได้หลายสาเหตุ จากผลการศึกษาข้อมูลพบว่า 80% ของการเสื่อมสภาพเกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟชัน (Sulfation) หรือการสะสมของสารซัลเฟต (SO_4) บนแผ่นธาตุประจุ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่สมบูรณ์ของแบตเตอรี่ กล่าวคือ สารซัลเฟตที่เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุประจุสามารถเกิดปฏิกิริยาคืนกลับไปเป็นสารละลายกรดกำมะถันได้ทั้งหมด แต่เนื่องจากไม่สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้ตรงตามทฤษฎี 100% ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในทางปฏิบัติ สารซัลเฟตจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาคืนกลับไปเป็นสารละลายกรดกำมะถันได้ทั้งหมด เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานไปในระยะหนึ่ง แผ่นธาตุประจุจะเกิดสารซัลเฟตสะสมจนเป็นผลึกขนาดใหญ่ปกคลุมพื้นที่ผิวของแผ่นธาตุประจุ เรียกว่า “ปฏิกิริยาซัลเฟชัน” ดังรูปที่ 2.9 เป็นผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายกรดกำมะถันลดลง พื้นที่สัมผัสของแผ่นธาตุประจุลดลง แบตเตอรี่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลง และแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด

2.4 การอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ทุติยภูมิได้แก่ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid) และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion) สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้หากนำมาอัดประจุไฟฟ้าเข้าไปอีกครั้ง หลังจากการใช้งาน ดังนั้นแบตเตอรี่จึงสามารถจ่ายพลังงานได้หลายๆ ครั้งตลอดอายุการใช้งาน ความสำคัญของการอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ก็คือ การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของแบตเตอรี่ทุติยภูมิอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายจากการอัดประจุที่เกินกว่าขีดจำกัดของแบตเตอรี่

ในการอัดประจุแบตเตอรี่นั้น พลังงานที่เราอัดประจุเข้าไปจะมากกว่าพลังงานที่เราได้รับออกมาจากแบตเตอรี่ นั่นเป็นเพราะว่าพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ส่วนหนึ่งจะสูญหายไป ในแบตเตอรี่ เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่และการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ใช่การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าไปสู่พลังงานเคมี เช่น การเกิดแก๊สใน แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid) ทำให้ประสิทธิภาพของการอัดประจุไม่ถึง 100%

ดังนั้นหากจะต้องการใช้แบตเตอรี่อย่างเต็มประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องทำการอัดประจุจนถึงสถานะการอัดประจุที่กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (overcharge) คือสถานะประจุของแบตเตอรี่ที่อัดประจุ (state of charge) ของแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับ 100% ไม่สามารถรู้ได้ว่า แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุจนเต็มทีเวลาใด การอัดประจุที่สถานะกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (overcharge) นั้นจะทำให้มีความร้อนสูญเสียมากกว่าปกติ รวมไปถึงความดันที่จะเกิดขึ้นจากแก๊สที่ผลิตภายในแบตเตอรี่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้ใช้แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงต้องมีการควบคุมการอัดประจุที่กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (overcharge) เพื่อที่จะป้องกันและควบคุมไม่ให้เกิด

ความเสียหายขึ้น การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ภายใต้ผลของอุณหภูมิและความดันต่างจากการอัดประจุที่กระแสไฟฟ้าคงที่เล็กน้อยก็ถือเป็นการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ กระแสไฟฟ้าอัดประจุจะค่อยๆลดลง เมื่อเข้าสู่สภาวะกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (overcharge) เมื่อกระแสไฟฟ้าลดลง ปฏิกิริยาจะลดลงด้วย ทำให้แก๊สที่เกิดขึ้นก็ลดลงและอุณหภูมิก็ต่ำกว่าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดประจุไฟฟ้า

การอัดประจุที่เหมาะสมเป็นกระบวนการอัดประจุที่จะทำให้การอัดประจุเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการพิจารณาหาจุดอัดประจุที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะทำให้พลังงานที่อัดประจุไม่สูญเปล่าไป ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดประจุมีดังนี้

1. วิธีการอัดประจุ (Charging method)

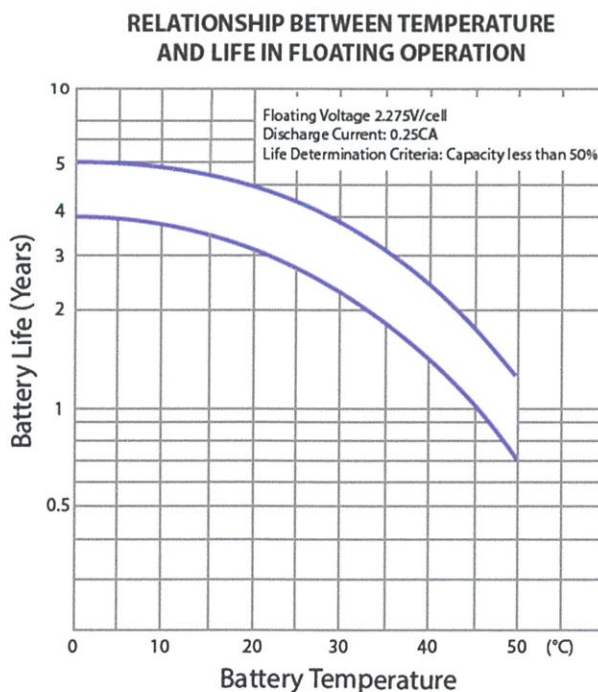
วิธีการอัดประจุนั้นขึ้นกับสภาวะที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุไฟฟ้าด้วยขนาดกระแสไฟฟ้าเท่าใด หากการอัดประจุนั้นใช้ขนาดกระแสไฟฟ้ามาก จะทำให้เวลาในการอัดประจุลดลงแต่อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2. สถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC)

สถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่เป็นตัวบ่งชี้ว่าการอัดประจุนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ในกรณีที่แบตเตอรี่ยังเต็มอยู่จะไม่มีที่เหมาะสมในการอัดประจุ เพราะพลังงานในการอัดประจุไม่ได้ถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมี แต่จะเป็นความร้อนสูญเสีย

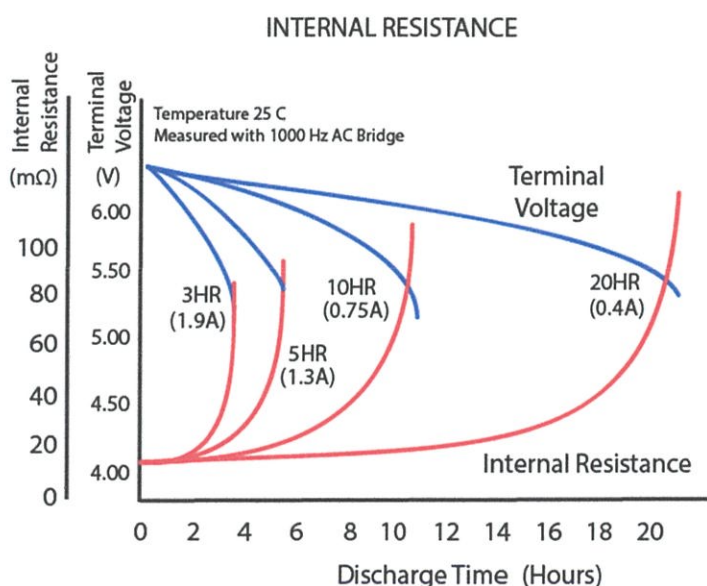
3. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมิผลในการเร่งปฏิกิริยาการอัดประจุให้ดีขึ้น การอัดประจุที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพ ดีกว่าการอัดประจุที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ในการใช้งานแบตเตอรี่แต่ละครั้ง หากใช้งานแบตเตอรี่จนอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายใน หากมีการใช้งานแล้วอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่สูงเกินค่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือมีอายุการใช้งานที่สั้นลงจากที่บริษัทได้ระบุไว้ ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยตรง คือค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งหากค่าความต้านทานภายในมีค่ามากจะส่งผลให้เกิดความร้อนกับแบตเตอรี่ในขณะที่อัดประจุไฟฟ้า และคายประจุไฟฟ้า เนื่องจากความสูญเสียที่ตัวต้านทานภายในเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



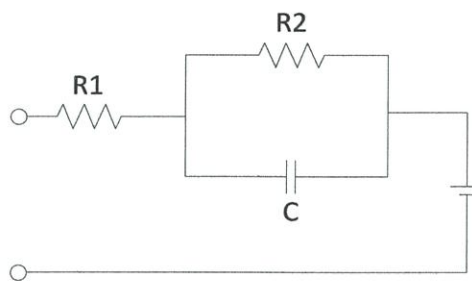
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่และเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสต่างกัน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่และเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสต่างกัน โดยค่าความต้านทานภายในจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อเปรียบเทียบการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความต้านทานจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกันดังรูปที่ 2.11 เส้นกราฟสีแดง

ในการใช้งานของแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในจะเป็นตัวชี้วัดถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของวงจรสมมูลแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 2.12 ที่นำมาพิจารณาคือค่า R_1 เนื่องจากเป็นค่าที่ส่งผลให้เกิดความสูญเสีย โดยค่าความต้านทานภายในที่พิจารณาสามารถหาได้โดยวิธีการอัดประจุไฟฟ้าหรือคายประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จะได้ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งลักษณะของกราฟดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าความต้านทานภายในได้จากกฎของโอห์ม

$$R_1 = (V_1 - V_2) / I$$

2.1



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่

2.4.2 ประเภทของการอัดประจุไฟฟ้า

การอัดประจุแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้นมีอยู่หลายวิธี หลักการของการอัดประจุคือการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการคายประจุ การอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่ก็ยังมีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ใช้อยู่ สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกเครื่องอัดประจุคือการถูกคายประจุ เวลาในการอัดประจุ อุณหภูมิที่สูงขึ้นและจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่

1. การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่หมายถึงการอัดประจุไฟฟ้าโดยคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าอย่างเดียว ไม่คำนึงถึงกระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุไฟฟ้า ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้อัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเครื่องอัดประจุกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นและจะลดลงเมื่อแบตเตอรี่มีสถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC) เข้าใกล้ 100 % เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่สูงขึ้น เครื่องอัดประจุที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ ก็คือ แบบ fast charge จะอัดประจุที่แรงดันสูง กระแสไฟฟ้าที่อัดประจุจึงสูงตาม เวลาที่ใช้อัดประจุจะเร็วแต่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายของแบตเตอรี่ ทำให้อายุการใช้งานลดลง อีกแบบหนึ่งคือการอัดประจุแบบ float charge คือการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เล็กน้อย กระแสไฟฟ้าอัดประจุจึงไม่สูง แต่ก็ใช้เวลาในการอัดประจุค่อนข้างนานในการอัดประจุแบบ float charge นิยมใช้ในการอัดประจุแบบต่อเนื่องเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำรองไฟต่างๆ เช่น ups ไฟฉุกเฉิน จะเห็นได้ว่ามีข้อดีข้อเสียที่ต่างกัน ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ให้การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ให้เป็นแบบ Dual step charging คือเริ่มแรกจะอัดประจุแบบ fast charge ก่อน เพื่อแก้ไขจุดอ่อนในเรื่องเวลาในการอัดประจุเมื่อเวลาผ่านไปเมื่อสถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC) เริ่มสูงขึ้นก็ให้เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบ float เพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่สถานะ overcharge ไม่สูงมากเพื่อยืดอายุการใช้งานให้สูงขึ้น การอัดประจุแบบ Dual step Charging จะมีประสิทธิภาพสูงมาก

2. การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นั้นเป็นวิธีอัดประจุที่ควรที่จะนำมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นวิธีที่คืนพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ได้เร็วโดยไม่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ทำงานได้ดีกับการต่ออนุกรมกันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ไม่สมดุล การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นั้นเป็นการอัดประจุที่ทำการรักษาระดับของกระแสไฟฟ้าคำนึงถึง

กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (overcharge) หรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ความจุในแบตเตอรี่สูงขึ้นและจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่สภาวะกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด ดังนั้นในการอัดประจุรูปแบบกระแสไฟฟ้าคงที่จึงต้องมีการควบคุมการอัดประจุกรณีเกิดกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด การเลือกระดับของกระแสไฟฟ้าอัดประจุนั้นเป็นการตัดสินใจที่สำคัญมากเพราะจะส่งผลไปยังอายุการใช้งานโดยทั่วไป ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดก็จะมีขีดจำกัดของกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ โดยทั่วไปทางผู้ผลิตจะต้องบอกกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุสูงสุดไว้เพื่อใช้ในการออกแบบหรือเลือกระดับกระแสไฟฟ้าอัดประจุ การใช้งานจริงนั้นก็จะมีทั้งแบบกระแสอัดประจุระดับเดียวและแบบกระแสไฟฟ้าอัดประจุหลายระดับ ในแบบหลายระดับนั้นเริ่มแรกก็จะอัดประจุที่ระดับสูง (high charge) หรืออัดประจุนี้อัตราปานกลาง (medium charge) ก่อน เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็ม ก็จะมีการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าอัดประจุเป็นแบบอัดประจุนี้อัตราต่ำ (low charge)

2.5 การใช้งานแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

1. การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge) ควรหลีกเลี่ยงการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด จากการใช้งานเกินพิกัดของแบตเตอรี่จะส่งผลทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง เพราะฉะนั้นควรให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 70-80% ของความจุแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ 24 โวลต์ ควรมีการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 20.4 โวลต์หรือประมาณ 85% ของความจุแบตเตอรี่ โดยความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ที่แห้งและสะอาด จะมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดี

2. การคายประจุของแบตเตอรี่ (Normal Charge) ควรระวังไม่ให้อุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์สูงเกิน 50 °C หรือเกินพิกัดของตัวแบตเตอรี่ ถ้าหากอุณหภูมิสูงเกินไป ควรลดกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของของอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น และต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าในการต่อกับขั้วแบตเตอรี่ต้องแน่นกระชับ ต่อขั้วถูกต้อง ขณะอัดประจุไฟฟ้าห้ามถอดหรือขยับปลั๊กเพราะอาจทำให้เกิดประกายไฟซึ่งจะเป็นอันตรายต่อขั้วต่อ

3. การอัดประจุไฟแบบกระตุ่น (Equalizing Charge) เป็นการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเพื่อกำจัดสารสะสมของสารซัลเฟต (SO₂) บนแผ่นธาตุประจุ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟชัน (Sulfation) หรือซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่สมบูรณ์ของแบตเตอรี่ ควรมีการอัดประจุไฟแบบกระตุ่น (Equalizing Charge) ทุก 6 เดือนหรือหลังจาก 20 ครั้งของการอัดประจุเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับเซลล์ภายในแบตเตอรี่ประมาณ 10 %

4. พยายามหลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่จนหมดแล้วค่อยอัดประจุไฟเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอัตราการคายประจุในอัตราที่สูงซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็ว

5. ในการเก็บรักษาสภาพแบตเตอรี่นั้น ไม่ควรเก็บในที่ๆ อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาเคมีภายในให้ไอออนต่างเคลื่อนที่ไวมากขึ้น มีความไวต่อปฏิกิริยามากขึ้นและส่งผลให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง

6. สำหรับแบตเตอรี่แบบลิเทียม (Lithium) ถ้าจำเป็นจะต้องเก็บแบตเตอรี่ไว้เป็นเวลานานโดยไม่ได้ใช้งาน ให้อัดประจุไว้ที่ประมาณ 40% ของความจุของแบตเตอรี่แล้วเก็บไว้ในที่เย็น

ตารางที่ 2.1 ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ampere hour) กับค่าความต้านทานภายใน

ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (AH)	คอนดักแตนซ์ (G)	อิมพีแดนซ์ (Z)	รีซิสแตนซ์ (R)
แบตเตอรี่มีขนาดความจุน้อย	ต่ำ	สูง	สูง
แบตเตอรี่มีขนาดความจุมาก	สูง	ต่ำ	ต่ำ

2.6 มาตรฐานการทดสอบสภาพแบตเตอรี่

ในมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบแบตเตอรี่ (Std IEEE1188-2005) นอกจากการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิแล้วยังกำหนดให้การทดสอบค่าความต้านทานภายใน (Internal ohmic measurement) ของแบตเตอรี่ซึ่งเป็นขั้นตอนมาตรฐานที่ต้องทำการตรวจวัด ทั้งนี้เพราะว่าค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เป็นค่าที่แสดงถึงสภาพภายในของแบตเตอรี่ เช่น สภาพของแผ่นธาตุ ความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์และสภาพการเชื่อมต่อภายในของแบตเตอรี่ เป็นต้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จึงเป็นตัวชี้วัดถึงการเปลี่ยนแปลง (การเสื่อมลงของแบตเตอรี่) ได้ การทดสอบค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นสามารถทดสอบตามมาตรฐาน (Std IEEE1188-2005) ได้จำแนกวิธีการทดสอบค่าความต้านทานภายใน แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance ; Z ; มีหน่วยเป็น Ohms, Ω)
2. การวัดค่าคอนดักแตนซ์ (Conductance ; G ; มีหน่วยเป็น Siemens, S)
3. การวัดค่ารีซิสแตนซ์ (Resistance ; R ; มีหน่วยเป็น Ohms, Ω)

จากการทดสอบค่าความต้านทานภายใน สามารถรู้แนวโน้มค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 2.1 จากมาตรฐานการตรวจสอบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด พบว่าแบตเตอรี่ที่เกิดการเสื่อมสภาพ จะมีขนาดความจุ (Ampere hour : Ah) ลดลงคือมีค่าคอนดักแตนซ์ (G) ต่ำ แต่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Z) และค่ารีซิสแตนซ์ (R) สูง ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวเราจำเป็นต้องทำการกระตุ้นฟื้นฟูสภาพของแบตเตอรี่โดยการอัดประจุด้วยพัลส์ความถี่ เพื่อให้ค่าความจุของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้น และกลับสู่สภาวะความจุปกติ จึงเป็นการสิ้นสุดกระบวนการกระตุ้นฟื้นฟูสภาพของแบตเตอรี่ สามารถนำแบตเตอรี่ที่ผ่านกระบวนการนี้กลับไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

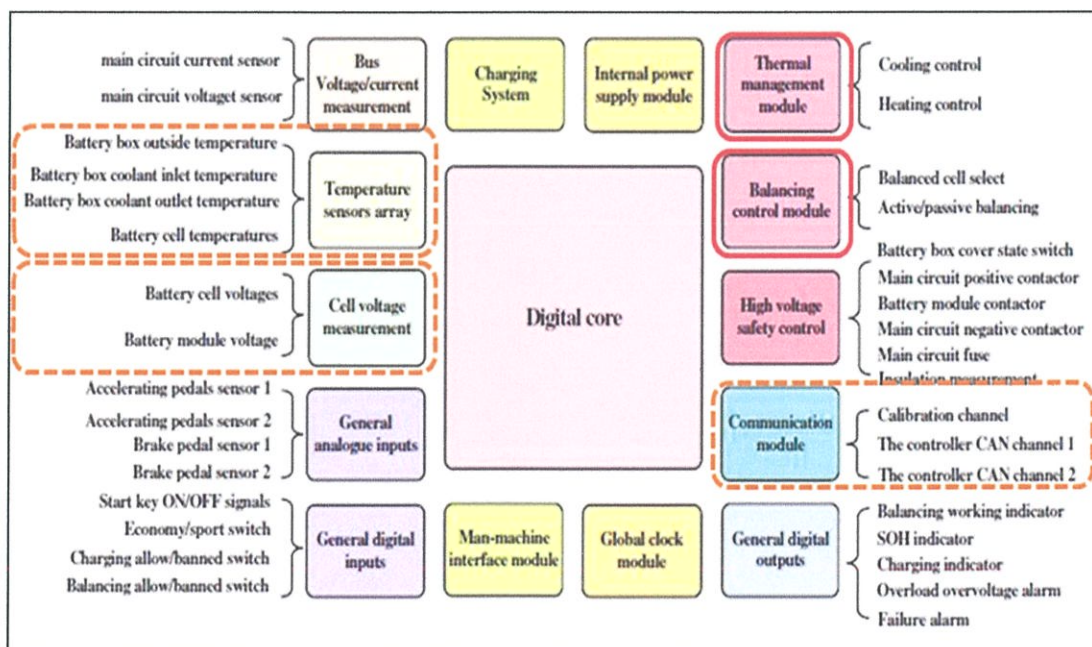
2.7 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS)

ในปัจจุบันระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ดังรูปที่ 2.13 สามารถควบคุมการอัดประจุได้โดยในการควบคุมนี้ เราจะต้องรู้ขอบเขตและศักยภาพของตัวแบตเตอรี่ ตัวนั้นๆ ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีรูปแบบและลักษณะการอัดประจุที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการทำให้เครื่องอัดประจุสามารถที่จะรองรับลักษณะการอัดประจุของแบตเตอรี่ได้ทุกชนิดนั้นเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดข้อตกลงในการสื่อสารหรือที่เรียกว่าโปรโตคอล (Protocol) ระหว่างเครื่องอัดประจุกับแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน

โดยโปรโตคอล จะเป็นส่วนที่ควบคุมเครื่องอัดประจุเพื่อให้สามารถอัดประจุไปยังแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือ เพราะว่าแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีคุณสมบัติพิกัดแรงดันไฟฟ้าและพิกัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป หากเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินหรือ

อุณหภูมิที่สูงเกินไปในขณะที่ทำการอัดประจุจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และจะทำให้การจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ให้กับโหลดลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงควรจะทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาการอัดประจุโดยเราสามารถตรวจสอบและแสดงผลออกโดยระบบ (Battery Monitoring System: BMS) ซึ่งในปัจจุบันสามารถดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้มากมาย ดังรูปที่ 2.13 เพราะฉะนั้น ระบบ (Battery Monitoring System: BMS) จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ โดยจะตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณ และแสดงผ่านผลผ่านทางหน้าจอ LCD สามารถให้ข้อมูลแบบ เรียลไทม์ (ระบบเวลาจริง) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการแสดงผลและแจ้งเตือนไปยัง ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS) ซึ่งค่าที่เราทำการวัดและแสดงผลหลักๆมีดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบ ระบบ BMS จะทำการตรวจสอบค่าสถานะต่างๆของแบตเตอรี่ในขณะนั้น เช่น
 - ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) : แรงดันไฟฟ้ารวม, แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเซลล์
 - ค่าอุณหภูมิ (Temperature) : อุณหภูมิเฉลี่ย, อุณหภูมิในแต่ละเซลล์
 - สถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge: SOC)
 - ความลึกของการคายประจุของแบตเตอรี่ในการอัดประจุแบตเตอรี่ใหม่ในแต่ละครั้ง (depth of discharge : DOD)
- กระแสไฟฟ้า (Current): ทั้งกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่แบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่
- การคำนวณ ค่าพารามิเตอร์ที่ระบบ BMS ได้คำนวณ มีดังต่อไปนี้
 - ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุ (charge current limit: CCL)
 - กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการคายประจุ (discharge current limit : DCL)



รูปที่ 2.13 ระบบจัดการแบตเตอรี่ในปัจจุบัน

- การสื่อสารระบบ BMS จะทำการรายงานข้อมูลต่างๆผ่านวิธีการสื่อสารดังต่อไปนี้
 - การสื่อสารแบบ CAN (Controller area network)
 - การสื่อสารแบบแลนไร้สาย (Wireless LAN)
- การป้องกันระบบ BMS ทำป้องกันแบตเตอรี่โดยสาเหตุดังต่อไปนี้
 - กระแสไฟฟ้าเกินกว่าปกติ (Over-current)
 - อุณหภูมิเกินกว่าปกติ (Over-temperature)
 - แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าปกติ (Over-voltage)
 - อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ (Under-temperature)
 - แรงดันไฟฟ้ต่ำกว่าปกติ (Under-voltage)

2.8 การสื่อสารแบบ CAN (Control Area Network : CAN Bus)

การสื่อสารแบบ CAN (Control Area Network) ถูกพัฒนาโดยบริษัท Bosch และได้รับมาตรฐาน ISO 11898 ในปี 1994 ระบบ Control Area Network (CAN) ถูกนำมาใช้ในการควบคุมและส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ใน เครื่องยนต์ นอกจากนี้ CAN (Control Area Network) สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ช่วยควบคุมระบบเครือข่าย ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การควบคุมระบบบัส (System Bus) ที่อยู่ในเครื่องจักรและอาจมีการควบคุมการทำงานของ เซ็นเซอร์ (Sensor) หรืออุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบ CAN (Control Area Network) แต่ละข้อความ (Message) ที่ส่งออกมาจะมีความชัดเจนในการส่งข้อมูล ในมาตรฐานของ CAN (Control Area Network) จะมีการส่งข้อความ (Message) ออกมาครั้งละ 11 บิตซึ่งจะทำให้เกิดข้อความ (Message) หรือคำสั่งที่แตกต่างกันได้ถึง 2048 ข้อความ (Message) และนอกจากนี้ได้มีการขยายมาตรฐานของ CAN (Control Area Network) ออกมาอีกโดยมีการกำหนดข้อความ (Message) ครั้งละ 29 บิตซึ่งจะทำให้เกิดข้อความ (Message) หรือคำสั่งที่แตกต่างกันได้สูงสุดถึง 536 ล้านข้อความ (Message)

การสื่อสารแบบ CAN สามารถมีตัวควบคุมหลัก (Master) ได้มากกว่าหนึ่งตัว ในกรณีที่มีตัวควบคุมหลักมากกว่าหนึ่งตัว แต่ละตัวจะมีสิทธิเท่าเทียมกันและจะมีหน้าที่การทำงานเหมือนกัน ข้อดีที่สำคัญของการใช้การสื่อสารแบบ CAN แบบตัวควบคุมหลักหลายตัว(Multi-Master) คือ ตัวควบคุมหลักแต่ละตัวจะสามารถทำงานและควบคุมได้ด้วยตัวของมันเอง และสามารถส่งข้อความหรือรับการร้องขอ (Request) ได้ การที่ใช้การสื่อสารแบบ CAN แบบ Multi-Master มีข้อดีต่อระบบเครือข่ายคือในกรณีที่มีการเสียหรือเกิดข้อผิดพลาด (Error) ที่ตัวควบคุมหลักจะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบเครือข่ายและจะไม่ทำให้ระบบบัส (System Bus) ล้มเหลวหรือทำงานไม่ได้

อุตสาหกรรมรถยนต์ใช้ CAN (Control Area Network) ช่วยเพิ่มความสามารถในการประยุกต์ใช้งานและเนื่องจาก CAN (Control Area Network) สามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความสามารถ ในปัจจุบัน CAN (Control Area Network) ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทเพื่อใช้ควบคุมและเนื่องจากจุดเด่นของ CAN (Control Area Network) คือความเร็ว ประสิทธิภาพและความปลอดภัย

2.8.1 หลักการทำงานของ CAN

ข้อมูลจะส่งออกมาจากทุกโหนด (node) บนการสื่อสารแบบ CAN และจะไม่มีตำแหน่ง (address) ทั้งโหนดส่งและโหนดรับ รายละเอียดของข้อความจะถูกกำหนดโดยตัวระบุ (Identifier) ที่มีลักษณะเฉพาะตัวในเครือข่าย ทุกๆ โหนดบนเครือข่ายจะรับข้อความและคำสั่งการทำงานโดยดูจากตัวระบุ และแต่ละโหนดจะตัดสินใจว่าจะรับข้อความหรือไม่โดยดูจากตัวระบุ ถ้าข้อความนั้นตรงกับสิ่งที่โหนดนั้นๆ ต้องการมันจะรับข้อความนั้นมาประมวลผล ถ้าไม่ใช่มันก็จะหลีกเลี่ยงโดยการไม่รับข้อความนั้นมา และถ้ามีหลายๆคำสั่งเข้ามาพร้อมๆ กันมันจะตัดสินใจในการรับข้อความที่เข้ามาโดยการดูว่ามาก่อนหรือหลัง ในบางสถานการณ์ที่มีโหนดมากกว่าสองโหนดที่พยายามจะส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน การสื่อสารแบบ CAN ก็จะมีเทคนิคในการจัดการข้อมูล โดยมีการให้ลำดับก่อน-หลังอย่างชัดเจนซึ่งรับประกันได้ว่าไม่มีข้อมูลใดสูญหายขณะที่ส่งพร้อมกันในเวลาเดียวกัน

2.8.2 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบ CAN

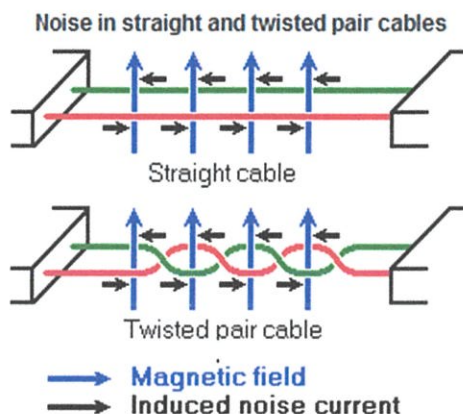
- มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลทำให้การตอบสนองของแต่ละโมดูลมีประสิทธิภาพ สามารถจัดการกับอัตราการขนถ่ายข้อมูลได้สูงสุดถึง 1 เมกะไบต์ต่อวินาที
- สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่างๆแบบทันทีทันใด (Real Time)
- รองรับวิดีโอสตรีมมิ่ง (Video Streaming)
- สามารถใส่โมดูลต่างๆ เข้าไปได้มาก
- มีความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- มีสายไฟน้อยกว่า เพราะใช้ระบบสายเคเบิลเครือข่าย (Network Cable)

2.8.3 ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบ CAN

- จุดต่อของโหนดต่างๆ อาจหลวม หรือ เป็นสนิม ทำให้การติดต่อสื่อสารมีปัญหา
- หากโหนดหรือโมดูลมีการลัดวงจรลงกราวด์ก็อาจทำให้ระบบทั้งหมดล้มเหลวได้
- กรณีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำการติดต่อสื่อสารอาจล้มเหลวได้
- กรณีแบตเตอรี่ไม่เพียงพอหรือมีการถอดออกอาจทำให้ต้องตั้งค่าโมดูลใหม่เพื่อให้ติดต่อกับเครือข่ายได้ หรือเรียกว่าการติดตั้งใหม่ (Re-establish)
- การถอดสายไฟหรืออุปกรณ์บางตัวไม่ทำงาน อาจทำให้ระบบนั้นล้มเหลวได้เช่น ระบบปรับอากาศจะไม่ทำงาน หากมอเตอร์ควบคุมการผสมอากาศเย็นกับเครื่องทำความร้อน (Heater) ไม่ทำงาน พาหนะคันนั้นก็จะใช้ระบบปรับอากาศไม่ได้เลย เป็นต้น

2.8.4 ความเสถียรภาพในการทำงาน

CAN (Control Area Network) สามารถที่จะจัดการกับข้อมูลที่ส่งหรือรับในสถานะที่สถานะแวดล้อมไม่ปกติและมีการขยายการตรวจจับข้อผิดพลาด เพื่อให้แน่ใจว่า การสื่อสารข้อมูลนั้นๆ เสร็จสิ้นสมบูรณ์ ค่าความผิดพลาด (Error) ถูกตรวจพบ ตามมาตรฐาน ISO 11898 ได้กล่าวสนับสนุนว่า Control Area Network (CAN) ยังคงทำงานอยู่ได้เมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้คือ สายสื่อสารระหว่างกันมีปัญหาเกิดการเสียหาย สายสื่อสารมีการช็อตกับไฟชั๊วบกหรือสายสื่อสารมีการช็อตกันกับไฟชั๊วลบ



รูปที่ 2.14 การรับส่งสัญญาณของคู่สายที่ใช้พันเป็นเกลียวและคู่สายเส้นตรง

2.9 การสื่อสารอนุกรม RS-485

RS-485 เป็นหนึ่งในมาตรฐานการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication) ที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดยกลุ่มพันธมิตรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Electronic Industries Alliance (EIA)) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้งานที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายๆ ตัวบนข่ายสายเดียวกัน โดยมีระยะทางการสื่อสารที่ไกลขึ้น และมีความเร็วรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับมาตรฐานการสื่อสาร RS-232 ที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดยกลุ่มพันธมิตรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกัน

เหตุที่การสื่อสาร RS-485 สามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลได้ไกลขึ้นและเร็วขึ้นนั้น เป็นเพราะ RS-485 ใช้เทคนิคสัญญาณรับส่งแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Mode) ขณะที่ RS-232 ใช้เทคนิคสัญญาณรับส่งแบบคอมมอน (Common Mode) สัญญาณรับส่งแบบคอมมอนนั้น จะใช้สัญญาณกราวด์ (Ground Signal) เป็นตัวเปรียบเทียบปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อระดับสัญญาณกราวด์ของตัวรับและตัวส่งไม่เท่ากัน ยิ่งระดับสัญญาณแตกต่างกันมากเท่าไร ก็ยังมีผลต่อความผิดพลาดในการสื่อสารมากขึ้นเท่านั้น เพราะการตีความข้อมูลที่รับเข้ามาว่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งจะดูจากระดับความแตกต่างระหว่างสัญญาณกราวด์กับสัญญาณข้อมูลที่รับเข้ามา และยังเมื่อมีสัญญาณรบกวน สอดแทรกเข้ามาในสายสัญญาณมากเท่าไร ก็ยิ่งทำให้การตีความสัญญาณมีโอกาสผิดพลาดสูงมากยิ่งขึ้น หรือหมายถึงระดับความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลจะสูงขึ้นจนไม่สามารถสื่อสารกันได้ หรือต้องลดระดับความเร็วในการสื่อสารลงมา

ขณะที่สัญญาณรับส่งแบบดิฟเฟอเรนเชียลนั้น จะไม่ใช่สัญญาณกราวด์เป็นระดับอ้างอิงหรือเปรียบเทียบ แต่จะดูที่ความต่างของสัญญาณของคู่สายเป็นสำคัญ ทำให้ปัญหาเรื่องความแตกต่างของสัญญาณกราวด์ระหว่างอุปกรณ์รับและอุปกรณ์ส่งหมดไป เพราะไม่ถูกนำมาใช้อ้างอิง และถ้าหากคู่สายที่ใช้รับส่งสัญญาณพันกันเป็นเกลียวก็จะมีส่งผลให้สัญญาณรบกวนจากภายนอกที่สอดแทรกเข้ามาในคู่สายก็จะถูกกำจัดออกไป ได้โดยง่าย เป็นผลให้การสื่อสาร RS-485 ทนต่อสัญญาณรบกวนภายนอกได้สูง สามารถรับส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นและเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคสัญญาณรับส่งแบบคอมมอน

Characteristics of RS232, RS422, RS423 and RS485

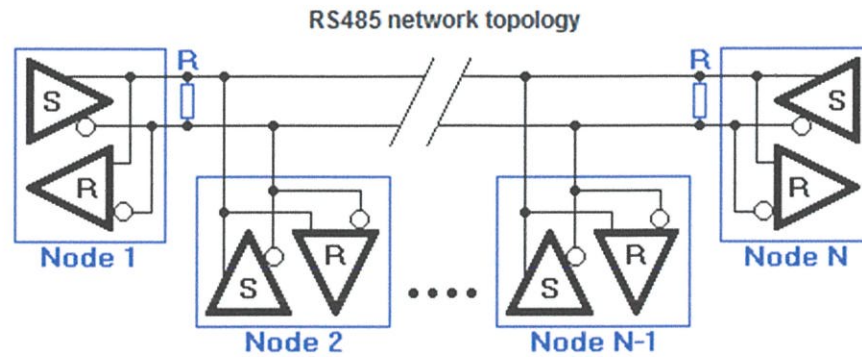
	RS232	RS422	RS485
Differential	no	yes	yes
Max number of drivers	1	1	32
Max number of receivers	1	10	32
Modes of operation	half duplex full duplex	half duplex	half duplex
Network topology	point-to-point	multidrop	multipoint
Max distance (acc. standard)	15 m	1200 m	1200 m
Max speed at 12 m	20 kbs	10 Mbs	35 Mbs
Max speed at 1200 m	(1 kbs)	100 kbs	100 kbs
Max slew rate	30 V/ μ s	n/a	n/a
Receiver input resistance	3..7 k Ω	\geq 4 k Ω	\geq 12 k Ω
Driver load impedance	3..7 k Ω	100 Ω	54 Ω
Receiver input sensitivity	\pm 3 V	\pm 200 mV	\pm 200 mV
Receiver input range	\pm 15 V	\pm 10 V	-7..12 V
Max driver output voltage	\pm 25 V	\pm 6 V	-7..12 V
Min driver output voltage (with load)	\pm 5 V	\pm 2.0 V	\pm 1.5 V

รูปที่ 2.15 คุณสมบัติการสื่อสาร RS-485 เปรียบเทียบกับมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมอื่นๆ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติการสื่อสาร RS-485 กับมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมอื่น ดังรูปที่ 2.15 จะพบว่า RS-422 และ RS-485 มีความเร็วในการสื่อสารสูงกว่า RS-232 เป็นอย่างมาก ขณะที่ RS-232 เป็นมาตรฐาน การสื่อสารอนุกรมเดียวที่สามารถสื่อสารแบบสองทางพร้อมกันได้ (Full Duplex) ขณะที่มาตรฐาน การสื่อสาร อนุกรมอื่น ๆ ทำได้ เพียงแบบสองทางไม่พร้อมกัน (Half Duplex) ทั้งนี้เนื่อง จาก RS-232 เป็นการ สื่อสารแบบเชื่อมต่อจุดต่อจุด (Peer-to-Peer) นั้นเอง ขณะที่มาตรฐานอื่น ๆ เป็นแบบเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งหลายตัวบน สื่อสัญญาณเดียวกัน (Multidrop)

RS-485 มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบหลายจุด (Multi-point) หรือ Multi-drop สายสัญญาณที่ใช้มีทั้งแบบที่เป็น 2 สายและแบบที่เป็น 4 สาย การต่อแบบหลายจุดนี้ทำให้สามารถ มองสายสัญญาณเป็นบัสนำสัญญาณได้ (Signal Bus) จำนวนคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่สามารถอยู่ บน RS-485 บัสหนึ่งถูกกำหนดไว้ที่ 32 อุปกรณ์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มจะต้องมีตัวทวนสัญญาณ (Signal Repeater) หรือใช้ตัวส่ง-รับสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ (ความต้านทานเสมือน) สูงขึ้น ซึ่งเราอาจ เพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อขึ้นได้ถึง 128 จุด ความยาวของสายสัญญาณตามมาตรฐาน RS-485 นี้สามารถ ยาวได้ถึง 1.2 กิโลเมตรเช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422 แต่การสื่อสารจะเป็นแบบสองทางไม่พร้อมกัน (Half Duplex) มีเพียงคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ตัวเดียวเท่านั้นที่สามารถส่งสัญญาณออกได้ ณ เวลาหนึ่งๆ ส่วนที่เหลือจะเป็นผู้รับสัญญาณ หรือผู้ฟัง

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ RS-485 ดังรูปที่ 2.13 เป็นเครือข่าย (network) ได้เป็นอีก หนึ่งเหตุผลที่ทำให้มาตรฐานการสื่อสาร RS-485 เป็นที่นิยมนำมาใช้ในงานในงานควบคุมและตรวจวัด อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ RS-485 โดยทั่วไปนั้นจะสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์บนเครือข่ายได้ 32 อุปกรณ์



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร RS-485

ถ้าความต้านทานขาเข้า (Input Resistance) ของอุปกรณ์ ดังกล่าวมีค่าอยู่ที่ 12 กิโลโอห์ม ปัจจุบันนี้มีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ RS-485 ที่มีความต้านทานสูงสามารถเชื่อมต่อ อุปกรณ์บนเครือข่ายเดียวกันได้ถึง 256 อุปกรณ์ ด้วยอุปกรณ์ทวนสัญญาณ RS-485 เราสามารถเพิ่มจำนวนอุปกรณ์บนเครือข่ายได้ถึงหลายพันตัว

การเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร RS-485 ดังรูปที่ 2.16 จะพบว่าอุปกรณ์ข้างต้น จะเชื่อมต่ออยู่บนสายเครือข่ายเดียวกันในลักษณะพ่วงอยู่บนสายสัญญาณเดียวกัน (Multipoint) ในกรณีรับส่งสัญญาณที่ความเร็วสูง ในระยะทางไกล ๆ การต่อความต้านทาน 100 โอห์ม (Termination Resistor) เข้าที่ปลายสายสัญญาณทั้งสอง ด้านเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดปัญหาสัญญาณสะท้อนกลับ

2.10 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงคุณสมบัติและทฤษฎีการใช้งานในตัวแบริเตอร์แต่ละชนิดโดยจะมีการจัดแยกประเภทของแบริเตอร์ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบของแบริเตอร์ในแต่ละชนิดอย่างละเอียด มีการเปรียบเทียบโครงสร้าง หลักการทำงาน รวมทั้งข้อดีข้อเสียและราคาของแบริเตอร์แต่ละประเภท นอกจากนี้ยังรวมไปถึงวิธีใช้งานแบริเตอร์ การอัดประจุ การคายประจุ ระบบสื่อสารและระบบการจัดการและแสดงผลภายในแบริเตอร์ โดยในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการพัฒนาในเรื่องของระบบการจัดการและแสดงผลภายในแบริเตอร์ โดยข้อดีของระบบนี้คือสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในแบริเตอร์แบบตลอดเวลา (Real-time) สามารถตรวจสอบสถานะของแบริเตอร์ก่อนที่แบริเตอร์จะเกิดการเสื่อมสภาพโดยจะมีการตรวจสอบถึงในระดับเซลล์ของแบริเตอร์ ส่วนในด้านเทคนิคและการสร้างวงจรตรวจสอบจะนำเสนอในบทที่ 3 ต่อไป

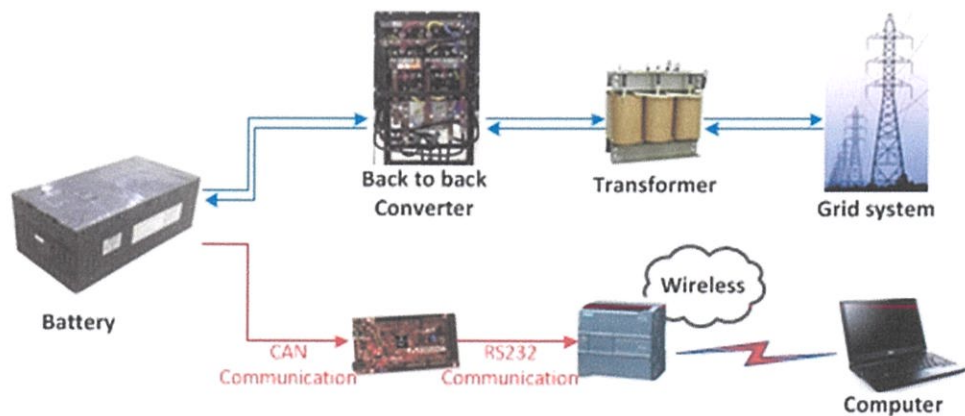
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

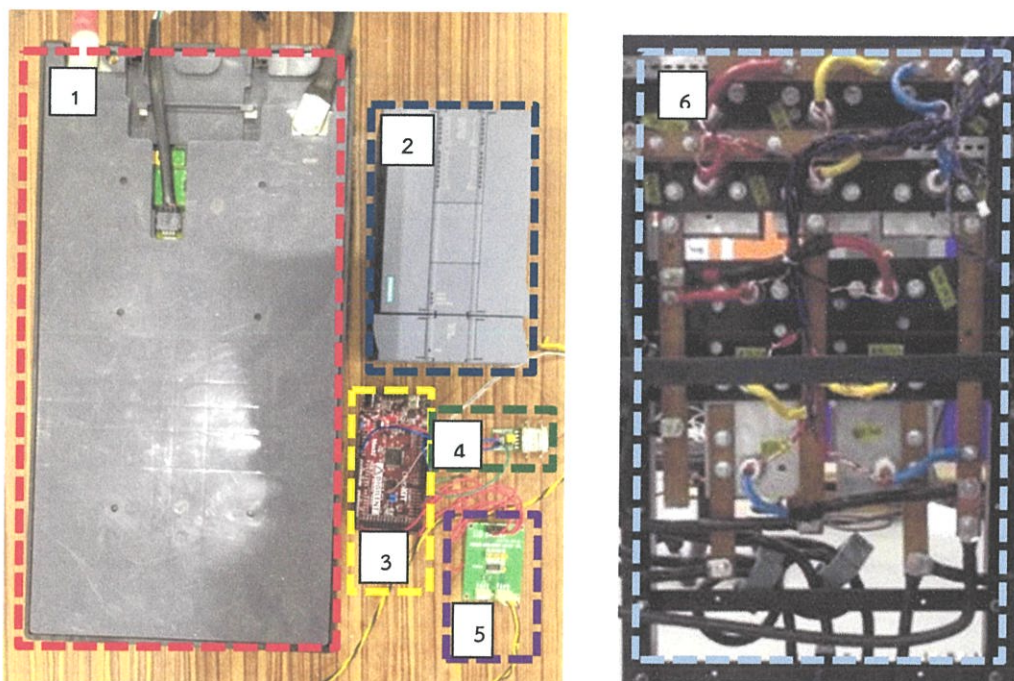
ในปัจจุบันนี้มีการใช้งานแบตเตอรี่อย่างแพร่หลาย นับได้ว่าแบตเตอรี่ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก แต่แบตเตอรี่ยังมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในการใช้งานแบตเตอรี่เราควรที่จะมีการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้อยู่ในพิกัดที่คู่มือกำหนด เพื่อรักษาคุณภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ วิธีหนึ่งที่จะช่วยตรวจสอบการใช้งานแบตเตอรี่ที่เหมาะสมนั้นสามารถทำได้โดยการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรแสดงผลของแบตเตอรี่ ได้แก่ วงจรกำลัง วงจรควบคุม วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN (Controlled Area Network) เป็นสัญญาณ TTL (Transistor-Transistor Logic) วงจรแปลงสัญญาณ TTL (Transistor-Transistor Logic) เป็นการสื่อสารแบบ RS232 (Recommended Standard 232) และวงจรแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่โดยใช้การสื่อสารแบบ CAN (Controlled Area Network) นอกจากนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมที่ใช้ในการนำข้อมูลของแบตเตอรี่ออกมาแสดงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์อีกด้วย

3.2 การเชื่อมต่อวงจรทดสอบแบตเตอรี่

การเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.1 โดยมีการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า (Grid system) กับหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงดันเป็น 50 โวลต์ ก่อนไปเชื่อมต่อกับด้านไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ส่วนทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) จะเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ที่ทดสอบ ในการทดสอบจะสามารถอัดประจุไฟฟ้าโดยดึงกระแสไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าจ่ายให้กับแบตเตอรี่ ส่วนการคายประจุไฟฟ้าจะทำการดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังระบบไฟฟ้า



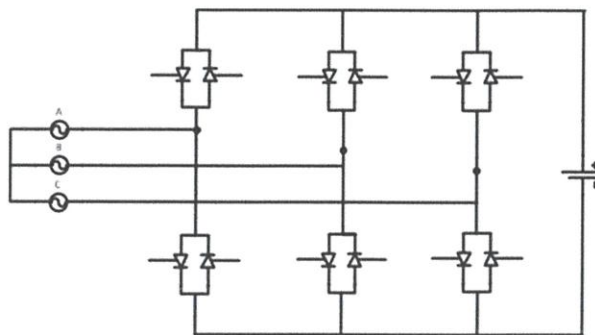
รูปที่ 3.1 แผนผังการเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบแบตเตอรี่

การส่งข้อมูลของแบตเตอรี่เพื่อแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.1 ขณะที่ทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและการคายประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ดังกล่าวจะส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณการสื่อสารแบบ CAN (Controlled Area Network) เป็นสัญญาณ TTL (Transistor-Transistor Logic) เพื่อนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไปทำการประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเสร็จจะส่งสัญญาณไปยังวงจรแปลงสัญญาณ TTL (Transistor-Transistor Logic) เป็นการสื่อสารแบบ RS232 (Recommended Standard 232) ก่อนที่จะส่งข้อมูลแรงดันไฟฟ้าไปที่หน่วยประมวลผล PLC (Programmable Logic Controller) หลังจาก PLC (Programmable Logic Controller) ได้รับข้อมูลของแบตเตอรี่แล้ว จะแสดงข้อมูลของแบตเตอรี่ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ อุปกรณ์ในการทดสอบแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.2 มีส่วนประกอบดังนี้

1. แบตเตอรี่ชนิด Li-ion
2. หน่วยประมวลผล PLC
3. วงจรควบคุม
4. วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL
5. วงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232
6. วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน

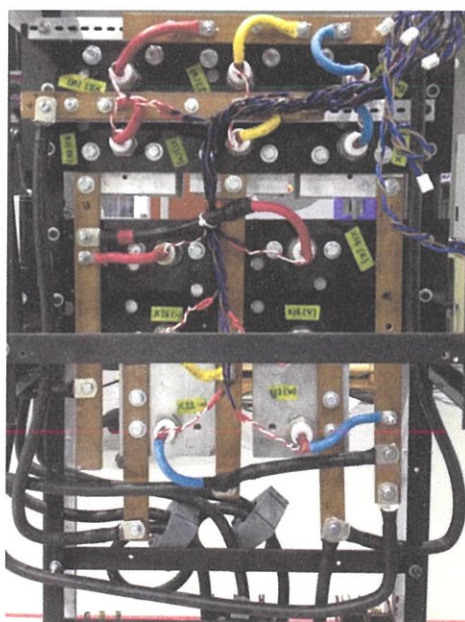


รูปที่ 3.3 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน
(Back to Back Converter)

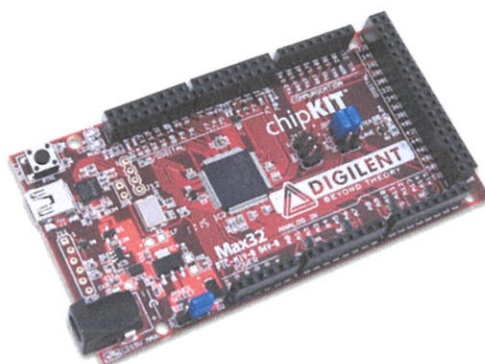
3.3 การออกแบบวงจรกำลัง

ในวงจรกำลังนี้จะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ดังนั้นในการส่งพลังงานไฟฟ้านั้นจึงสามารถทำได้สองทิศทางนั้นคือสามารถทำงานได้ทั้งโหมดจ่ายพลังงานสู่โหลด (Converter Mode) และโหมดจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย (Inverter Mode) โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกันดังรูปที่ 3.3

ในวงจรกำลังที่ออกแบบนี้จะใช้ไอซีอาร์หมายเลข T6071213 จำนวน 12 ตัว พิกัดกระแสสลับสูงสุด 200 แอมแปร์ ต่อวงจรตามแผนภาพดังรูปที่ 3.4 เพื่ออัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองตัวเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) จะต่อเข้ากับระบบกริด ส่วนทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองตัวเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) จะต่อเข้ากับแบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ โดยขนาดกระแสจะกำหนดด้วยมูมทริกของไอซีอาร์ผ่านแผงควบคุม C98043-A7002 ของบริษัท Siemens



รูปที่ 3.4 วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter)

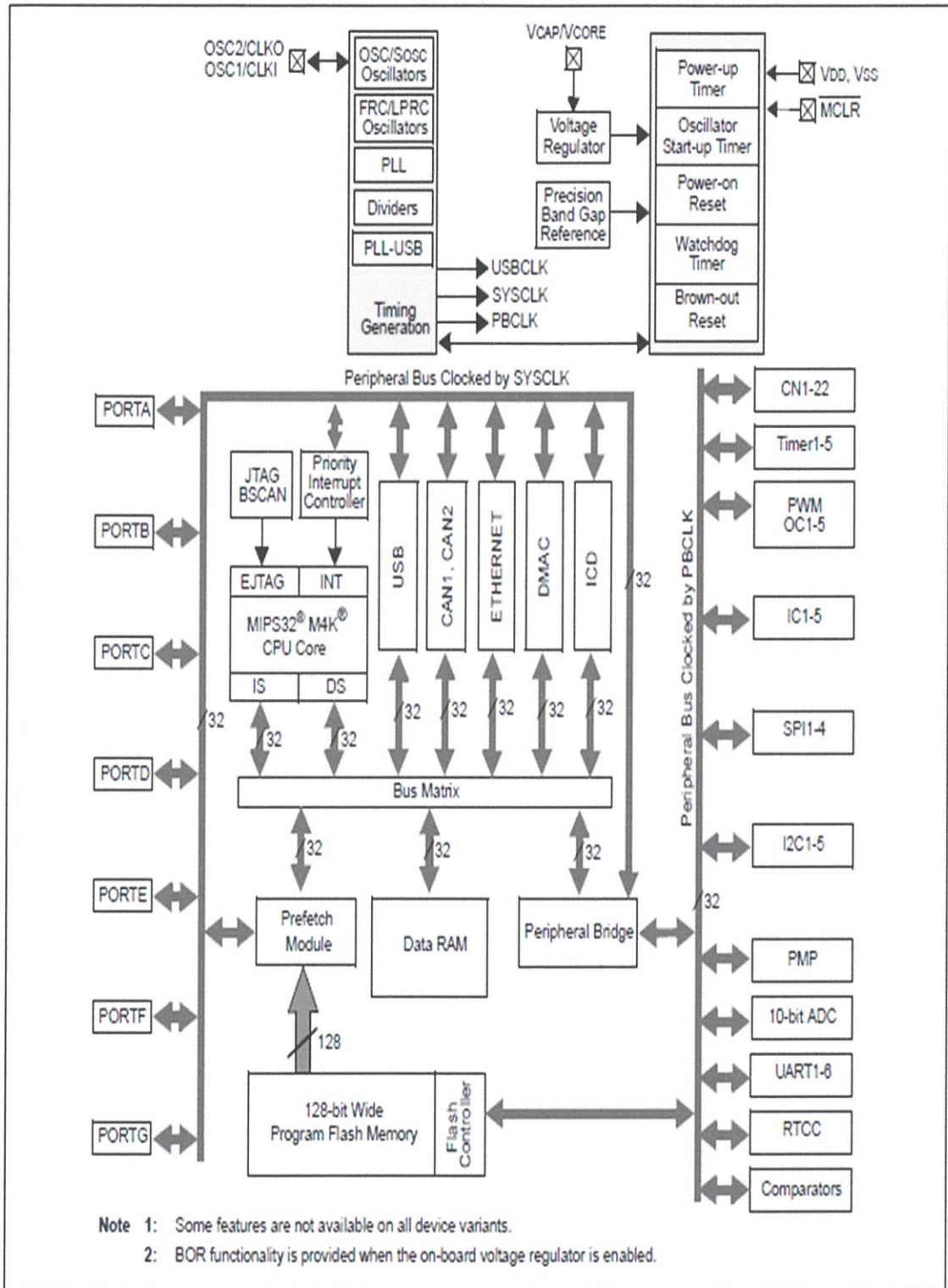


รูปที่ 3.5 วงจร chipKIT Max 32

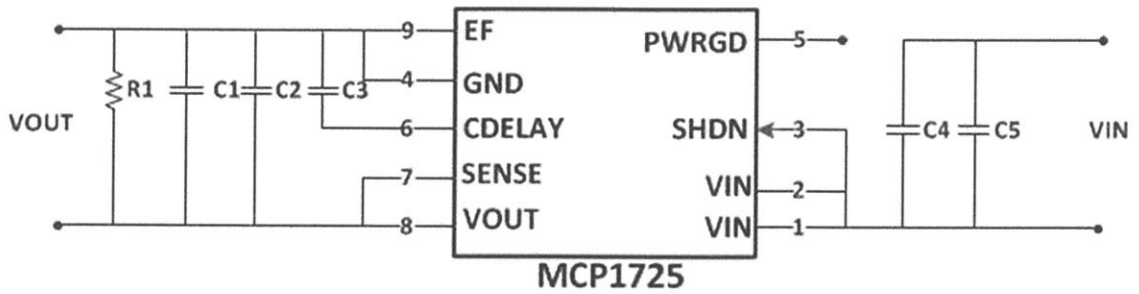
3.4 การออกแบบวงจรควบคุม

ส่วนของวงจรควบคุมใช้วงจร chipKIT Max 32 ในการควบคุมและประมวลผลข้อมูลที่ได้จากแบตเตอรี่ที่ส่งออกมาในรูปแบบของการสื่อสารแบบ CAN โดยข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย แรงดันต่อเซลล์ และอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ ในการออกแบบวงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข PIC32MX795F512L ในการประมวลผลการทำงานของแบตเตอรี่ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีขนาด 32 บิต 100 ขา มีโมดูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Program Memory 512 kB
- Data Memory 128 kB
- USB 1 ช่อง
- Ethernet 1 ช่อง
- Timer 5 ช่อง
- DMA channels 8 ช่อง
- CAN 2 ช่อง
- UART 6 ช่อง
- SPI 4 ช่อง
- I²C 5 ช่อง
- ADC 10 บิต 16 ช่อง
- Comparator 2 ช่อง
- PMP/PSP
- JTAG
- Port I/O 7



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX795F512L



รูปที่ 3.7 โครงสร้างวงจรไฟเลี้ยง 3.3 V

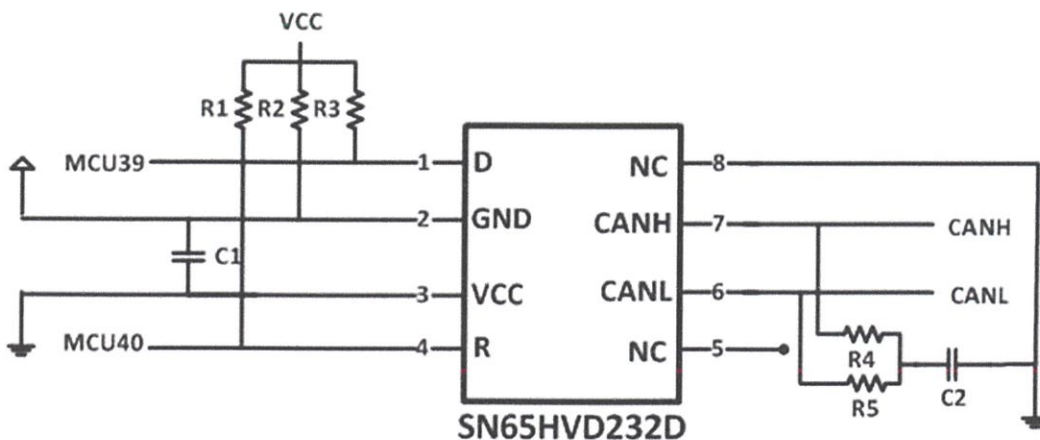
3.5 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง

วงจรไฟเลี้ยงดังรูปที่ 3.7 มีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 24 โวลต์เป็น 3.3 โวลต์ เพื่อใช้ในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX795F512L รวมถึงวงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL และวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB โดยวงจรไฟเลี้ยงนี้ จะใช้ไอซีหมายเลข MCP1725 ในการแปลงแรงดันเนื่องจากมีข้อดีคือ มีความเสถียร สัญญาณรบกวนน้อย และมีขนาดเล็ก

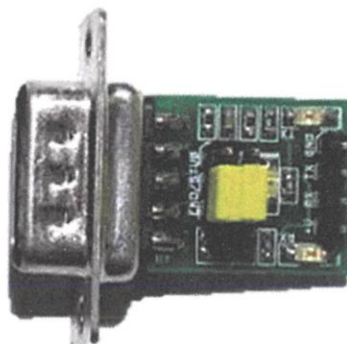
3.6 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสาร

3.6.1 วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL

เนื่องจากการสื่อสารที่แบตเตอรี่ส่งข้อมูลออกมาเป็นการสื่อสารแบบ CAN แต่การประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX795F512L นั้นจะใช้การสื่อสารแบบสัญญาณ TTL ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารจากการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL ดังรูปที่ 3.8 อุปกรณ์รับสัญญาณการสื่อสารแบบ CAN ที่ใช้คือไอซีหมายเลข SN65HVD232D ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่เพื่อรับการสื่อสารแบบ CAN และแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ TTL ก่อนส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลต่อไป



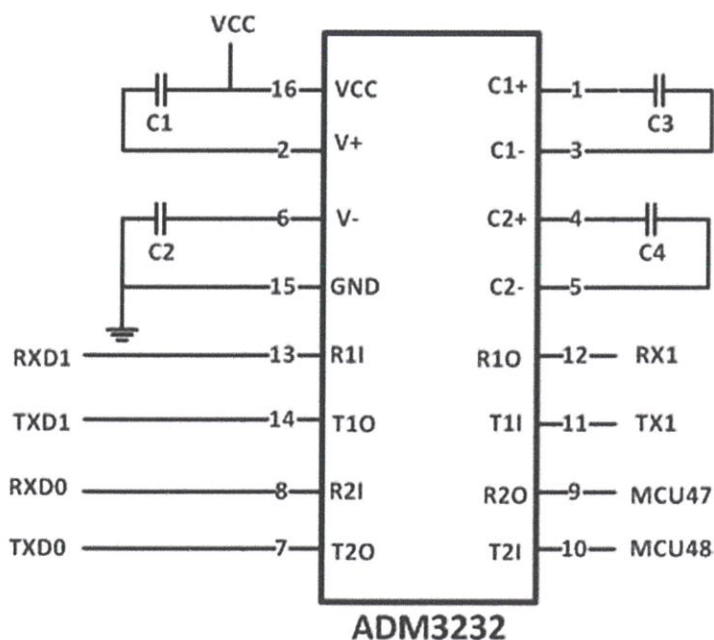
รูปที่ 3.8 โครงสร้างวงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL



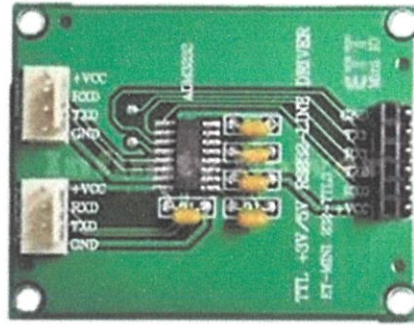
รูปที่ 3.9 วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL

3.6.2 วงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX795F512L ประมวลผลผลข้อมูลที่ได้จากแบตเตอรี่แล้ว จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล ในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX795F512L จะใช้การสื่อสารแบบสัญญาณ TTL แต่ในการรับข้อมูลของคอมพิวเตอร์จะใช้ระบบการสื่อสารแบบ RS232 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสาร ดังรูปที่ 3.10 โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ ADM3232 ดังรูปที่ 3.11 เพื่อใช้แปลงสัญญาณ TTL เป็นระบบการสื่อสารแบบ RS232 แล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์



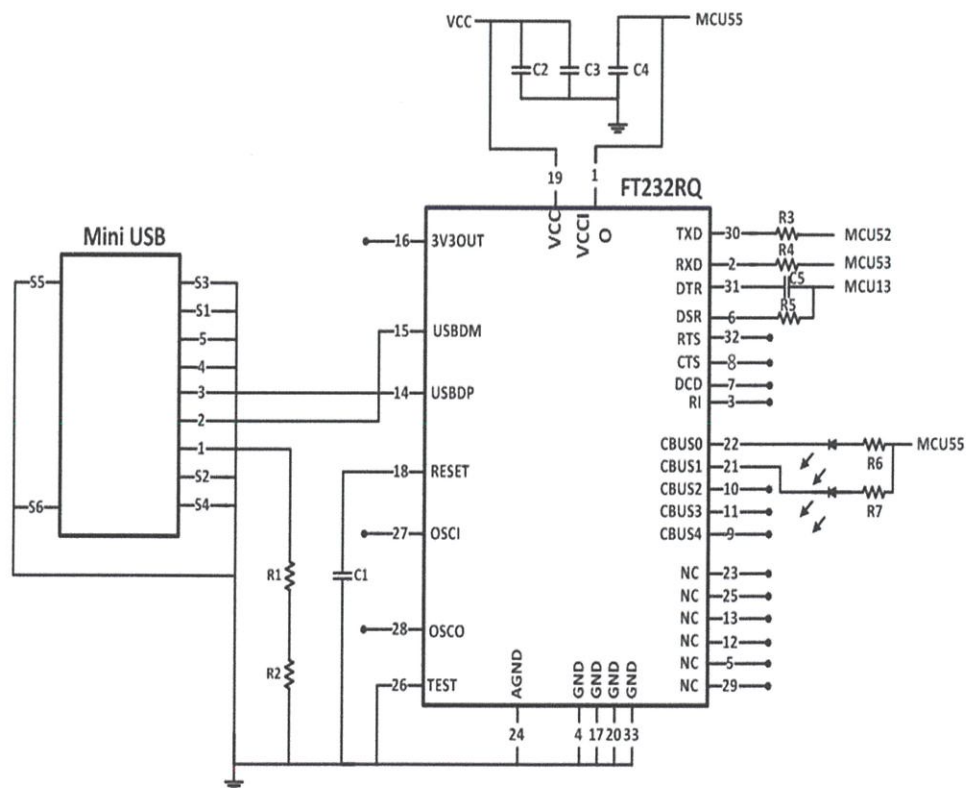
รูปที่ 3.10 โครงสร้างวงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232



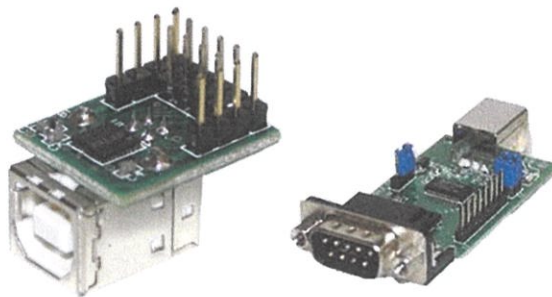
รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232

3.6.3 วงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB

วงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB เป็นวงจรที่รับสัญญาณคำสั่งที่ได้จากการคอมไพล์การเขียนโปรแกรมเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ชื่อหมายเลข FT232RQ ผ่านพอร์ต USB เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำคำสั่งดังกล่าวไปทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากแบตเตอรี่ผ่านโปรแกรมที่เขียนไว้ โครงสร้างวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB



รูปที่ 3.13 วงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB

3.7 โปรแกรมที่ใช้ในการแสดงข้อมูลของแบตเตอรี่

3.3.1 โปรแกรม CAN Bus Analyzer

เนื่องจากข้อมูลที่ส่งออกมาจากแบตเตอรี่เป็นข้อมูลที่ใช้การสื่อสารแบบ CAN ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณการสื่อสารชนิดนี้ได้ โดยอุปกรณ์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็น CAN Bus Analyzer ดังรูปที่ 3.14 เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างและพัฒนาโดยบริษัท MICROCHIP® ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้

- รองรับ CAN 2.0b และมาตรฐาน ISO11898-2
- สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล้วส่งหรือรับค่าข้อมูล
- มีคุณสมบัติในการทำงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ของ MICROCHIP®
- เชื่อมต่อกับสัญญาณ CAN H และ CAN L, CAN TX และ CAN RX เพื่อแก้ไขจุดบกพร่อง
- นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารอื่นได้ เช่น standard DB9
- มีซอฟต์แวร์ในการควบคุมรวมไปถึงไฟแสดงสถานะและไฟแสดงความผิดพลาดของอุปกรณ์

ในการดึงข้อมูลเราจะใช้ซอฟต์แวร์ของตัว CAN Bus Analyzer ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ให้มาพร้อมตัวอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.15 เป็นหน้าต่างแสดงโปรแกรมของ CAN Bus Analyzer ในการดึงข้อมูลจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แต่ละตัวจะส่งข้อมูลออกมา 4 ชุด ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นค่าแรงดันต่อเซลล์ภายในแบตเตอรี่ และอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ในรูปแบบเลขฐาน 16 (HEX)



รูปที่ 3.14 CAN Bus Analyzer ของบริษัท MICROCHIP

CAN BUS Analyzer www.Bandicam.com

File View Tools Setup Help

Rolling Trace

TRACE	ID	DLC	DATA 0	DATA 1	DATA 2	DATA 3	DATA 4	DATA 5	DATA 6	DATA 7	TIME STAMP (sec)	TIME DELTA (sec)
RX	0x8010206x	8	0x00	0x49	0x0A	0x6B	0x0A	0xCB	0x0A	0x55	470 4526	0 102
RX	0x8010506x	8	0x40	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	470 3507	0 305
RX	0x8010506x	8	0x40	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	470 0457	0 001
RX	0x8010206x	8	0x03	0x58	0x0A	0x00	0x00	0x00	0x00	0x55	470 0446	0 102
RX	0x8010306x	8	0x00	0x44	0x44	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	469 4547	0 102
RX	0x8010A06x	8	0x00	0x03	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	469 3927	0 001
RX	0x8010206x	8	0x00	0x4B	0x0A	0x69	0x0A	0xCD	0x0A	0x55	469 3917	0 101
RX	0x8010506x	8	0x40	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	469 2907	0 305
RX	0x8010506x	8	0x40	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	468 9646	0 001
RX	0x8010206x	8	0x03	0x57	0x0A	0x00	0x00	0x00	0x00	0x55	468 9636	0 104
RX	0x8010306x	8	0x01	0x44	0x44	0x44	0x00	0x00	0x00	0x00	468 8797	0 100
RX	0x8010306x	8	0x00	0x44	0x44	0x44	0x44	0x44	0x44	0x44	468 7796	0 001
RX	0x8010206x	8	0x02	0x62	0x0A	0x96	0x0A	0x3D	0x0A	0x55	468 7786	0 104
RX	0x8010306x	8	0x01	0x44	0x44	0x44	0x00	0x00	0x00	0x00	468 6747	0 101
RX	0x8010206x	8	0x01	0x35	0x0A	0x60	0x0A	0x36	0x0A	0x55	468 5736	0 105

Fixed Trace

TRACE	ID	DLC	DATA 0	DATA 1	DATA 2	DATA 3	DATA 4	DATA 5	DATA 6	DATA 7	TIME STAMP (sec)	TIME DELTA (sec)	COUNTER
RX	0x8010206x	8	0x02	0x00	0x0A	0x05	0x0B	0x0C	0x0A	0x55	492 6726	0 205	66758
RX	0x8010A06x	8	0x00	0x03	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	492 3637	0 099	33389
RX	0x8010306x	8	0x01	0x44	0x44	0x44	0x00	0x00	0x00	0x00	492 6737	0 103	50069
RX	0x8010506x	8	0x40	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	492 1627	0 310	33378
RX	0x8010006x	8	0x00	0x55	0x55	0x55	0x55	0x55	0x55	0x55	4002 9412	2 939	3

Tool Connected | 125 Kbps | Signal Mode | Data Logging | TX ERR: 0 | RX ERR: 0 | Termination: ON | Trace Active | Logging Inactive | ID in HEX | DATA in HEX

รูปที่ 3.15 หน้าต่างโปรแกรม CAN Bus Analyzer

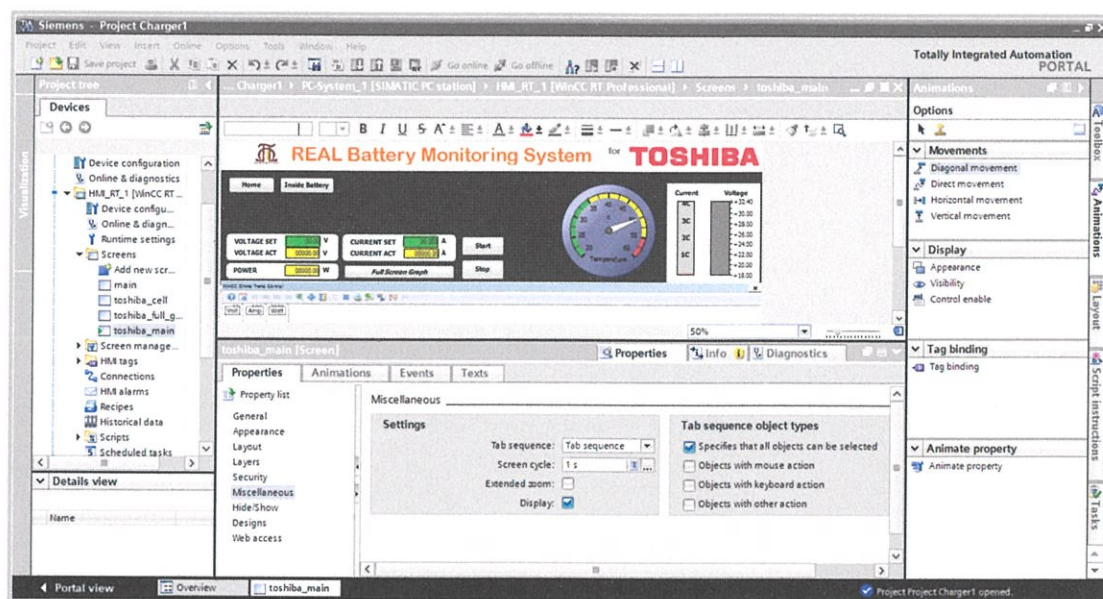
3.8 โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens

หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens ดังรูปที่ 3.16 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการนำข้อมูลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบการสื่อสารแบบ RS232 มาทำการแบ่งประเภทของข้อมูล เพื่อง่ายต่อการแสดงผลในโปรแกรม PLC

ในการออกแบบหน้าจอแสดงข้อมูลของแบตเตอรี่จะใช้โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens ดังรูปที่ 3.17 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้แก่ แรงดันต่อเซลล์ภายในแบตเตอรี่ อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ กระแสขณะใช้งานของแบตเตอรี่ ค่าสถานะ SOC (State of Charge) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลา



รูปที่ 3.16 หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens



รูปที่ 3.17 หน้าต่างแสดงโปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens

3.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรที่ใช้ในการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ วงจรควบคุมที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลจากแบตเตอรี่ วงจรแปลงการสื่อสารได้แก่ วงจรแปลงการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL วงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นการสื่อสารแบบ RS232 และวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารผ่านพอร์ต USB ซึ่งได้แสดงรายละเอียดถึงการเชื่อมต่อวงจรกำลัง โครงสร้างวงจร อุปกรณ์ที่ใช้ รวมถึงข้อเสนอแนะในการใช้อุปกรณ์ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงข้อมูลของแบตเตอรี่ นั่นคือโปรแกรม CAN Bus Analyzer ที่ใช้แสดงข้อมูลแรงดันต่อเซลล์ และอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ผ่านการสื่อสารแบบ CAN และโปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens ที่ใช้ในการแสดง แรงดันต่อเซลล์ภายในแบตเตอรี่ อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ กระแสขณะใช้งานของแบตเตอรี่ ค่าสถานะ SOC (State of Charge) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลา

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเสนอถึงผลการทดสอบแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ขนาดความจุ 40 แอมแปร์-ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 27.6 โวลต์ ด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ที่จัดสร้างขึ้น เพื่อยืนยันถึงคุณภาพของแบตเตอรี่ว่าเป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้หรือไม่ อีกทั้งยังเสนอการผลทดสอบในรูปแบบต่างๆ เพื่อหาค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่เพื่อเป็นตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ และวิเคราะห์ถึงผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบผลการทดสอบของแบตเตอรี่ 2 ชนิด

4.2 โปรแกรมการตรวจจับค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่

โปรแกรม REAL Battery Monitoring System นี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการตรวจจับค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่เพื่อทดสอบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ และตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่ด้วยวิธีการตรวจสอบค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าด้วยการคงที่กระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ซึ่งมีพิสัยการทดสอบได้ถึง 200 แอมแปร์

REAL Battery Monitoring System

Choose Battery

TOSHIBA BYD Other

Note
Device can support Battery Charge Test between 1 to 200 A
and Discharge Test between 1 to 125 A
Voltage 20-50 V

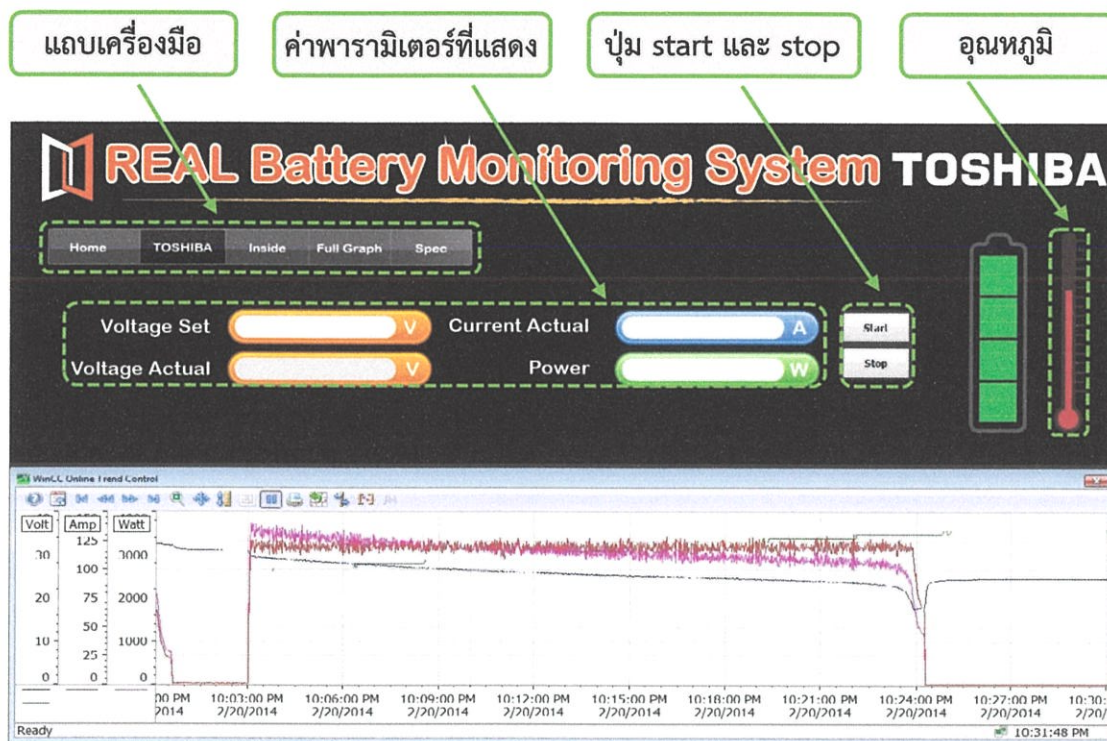
Caution
Check device before click Start

กดเลือกแบตเตอรี่

KMITL Creator : Chanikarn Hommalai, Chawin Haruehansapong, Chatchon Krataithong
Supporter: Pralanan Power

PraiAnant POWER TOSHIBA Energy Policy and Planning Office MINISTRY OF ENERGY RENEWABLE ENERGY APPLICATION LABORATORY at KMITL

รูปที่ 4.1 หน้าจอหลักสำหรับผู้ใช้งาน



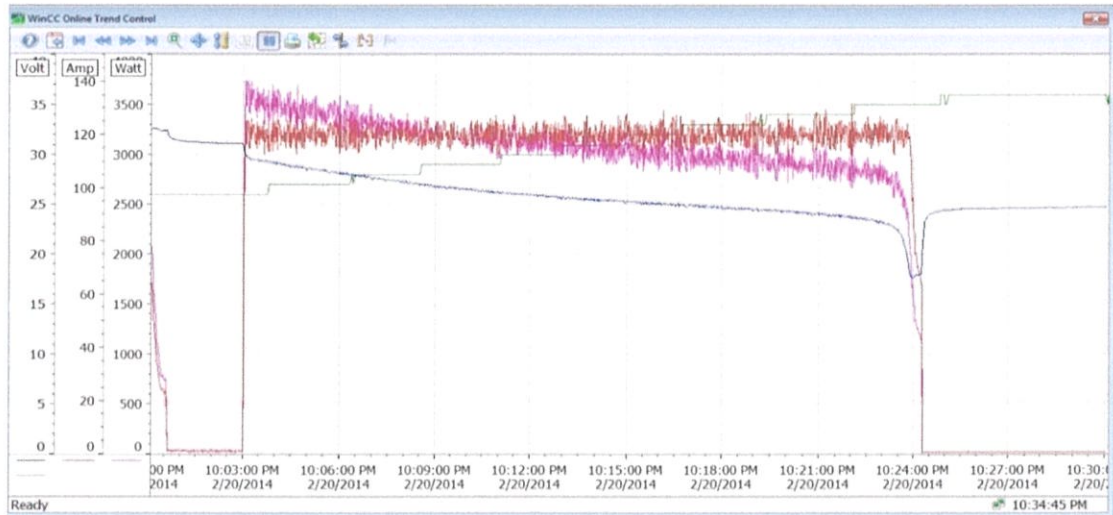
รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่ Toshiba

การใช้งานเครื่องมือทดสอบดังกล่าวต้องใช้ซอฟต์แวร์ REAL Battery Monitoring System เพื่อควบคุมการทำงาน เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะแสดงหน้าจอหลักผู้ใช้งานดังรูปที่ 4.1 โดยในหน้าจอหลักสำหรับผู้ใช้งานจะแสดงสัญลักษณ์เพื่อเลือกแบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบ เมื่อเลือกแบตเตอรี่ที่ต้องการทดสอบจะเข้าสู่หน้าจอควบคุมการทดสอบของแบตเตอรี่ที่เลือกดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะมีรายละเอียดการตั้งค่าการทำงานพร้อมทั้งแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ

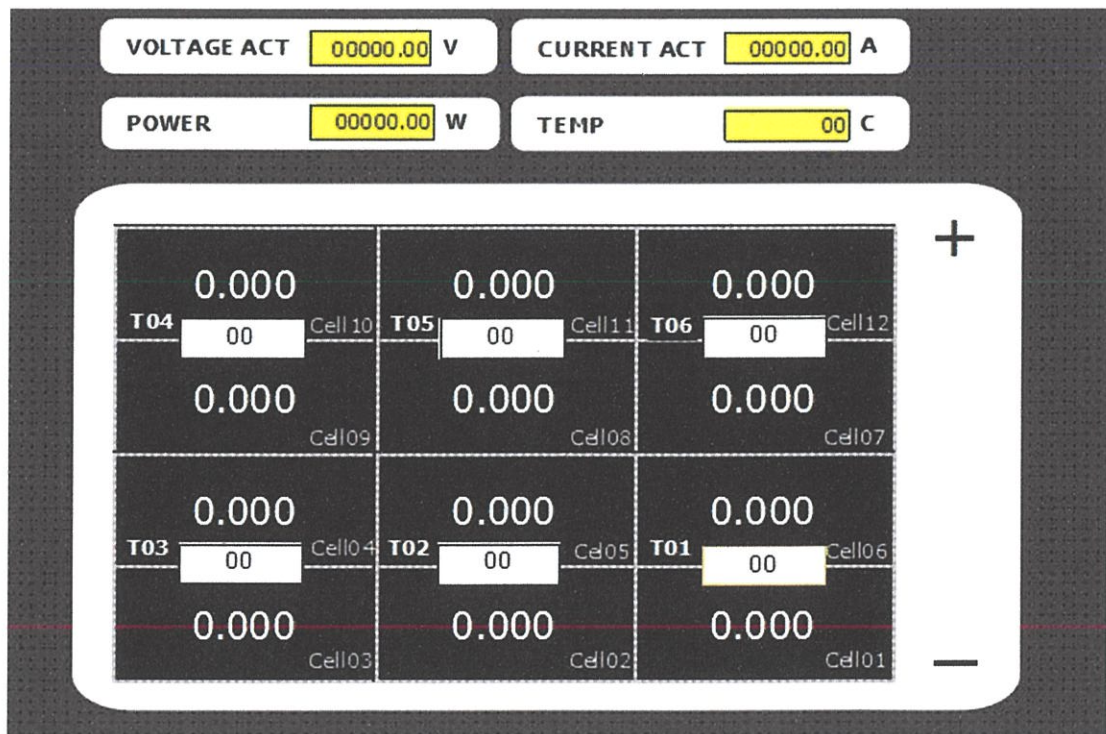
โดยค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจจับได้จากแบตเตอรี่ และนำมาแสดงผลในหน้าจอได้แก่

- ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการตั้งค่า (Voltage Set) หน่วยเป็น โวลต์
- ค่าแรงดันไฟฟ้าปัจจุบันของแบตเตอรี่ (Voltage Actual) หน่วยเป็น โวลต์
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ (Current Actual) หน่วยเป็น แอมแปร์
- ค่ากำลังไฟฟ้า (Power) หน่วยเป็น วัตต์
- ค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ (Temperature) หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมโยงไปยังหน้าจอแสดงกราฟแบบเต็มจอ (Full Graph) ดังรูปที่ 4.3 โดยการกดที่คำว่า “Full Graph” บนแถบเครื่องมือ และสามารถเชื่อมโยงไปหน้าจอค่าพารามิเตอร์ภายในของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 4.4 ที่แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละเซลล์และค่าอุณหภูมิของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งภายในแบตเตอรี่ โดยการกดที่คำว่า “Inside” บนแถบเครื่องมือ



รูปที่ 4.3 หน้าจอแสดงกราฟแบบเต็มจอ (Full Graph)



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ภายในของแบตเตอรี่

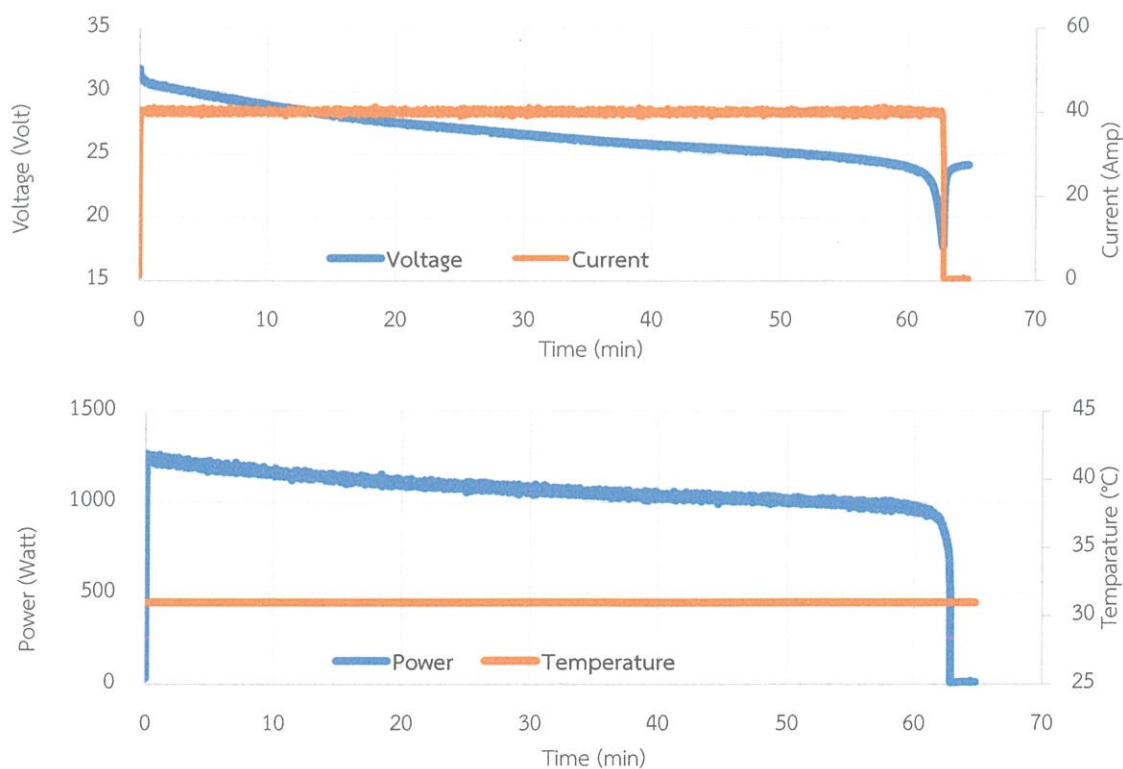
4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 การทดสอบการคายประจุไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าคงที่

ในการทดลองจะเป็นการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ที่ค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 40 แอมแปร์, 80 แอมแปร์ และ 120 แอมแปร์ โดยพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ของบริษัท Toshiba ที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 27.6 โวลต์ ขนาด 40 แอมแปร์-ชั่วโมง อุณหภูมิขณะทำงานอยู่ในช่วง -30 องศาเซลเซียส ถึง 55 องศาเซลเซียส

4.3.1.1 การทดสอบการคายประจุไฟฟ้า (Discharge) เท่ากับ 1C หรือ 40 แอมแปร์

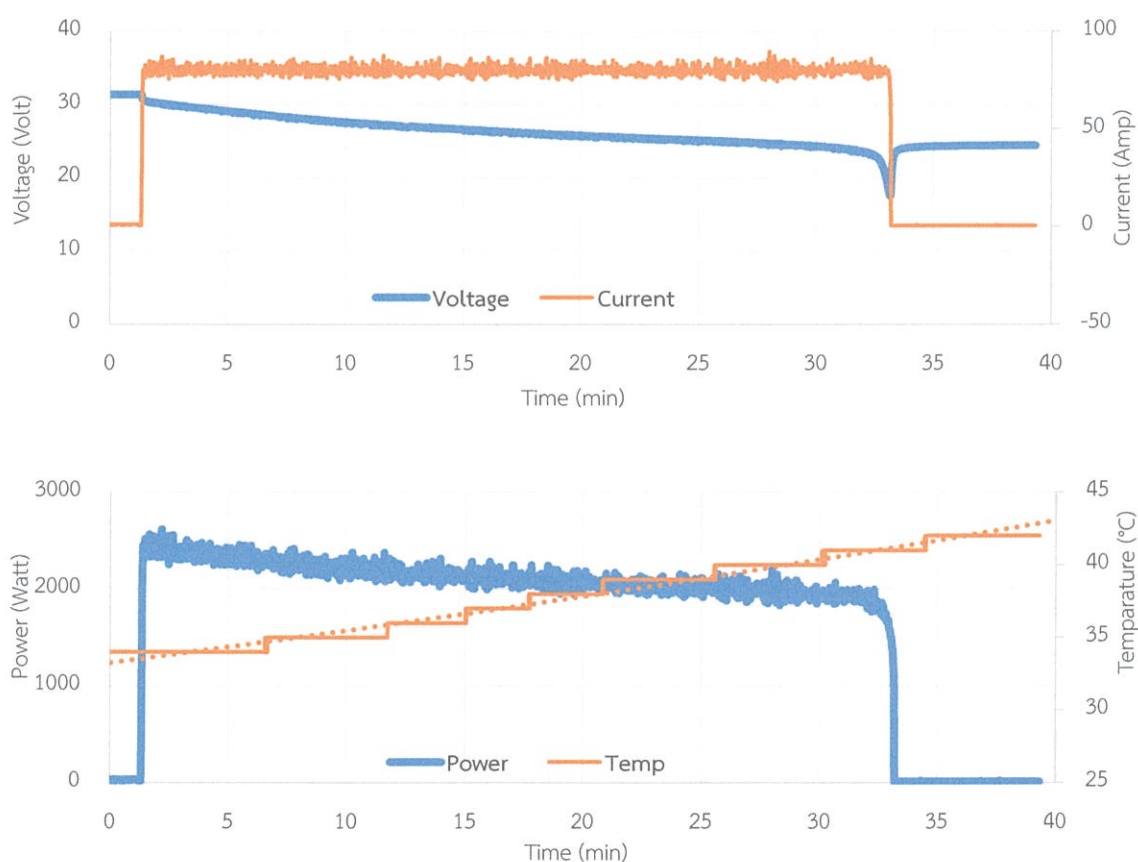
ดังรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เมื่อเริ่มทำการคายประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าจะเริ่มลดลงตั้งแต่ประมาณ 32 โวลต์ จนถึง 18 โวลต์ โดยสามารถหาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 26.75 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 40.18 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 1075.13 วัตต์ ระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 1C หรือ 40 แอมแปร์ ประมาณ 1 ชั่วโมง 5 นาที ค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 31 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า 1C หรือ 40 แอมแปร์

4.3.1.2 การทดสอบการคายประจุไฟฟ้า (Discharge) เท่ากับ 2C หรือ 80 แอมแปร์

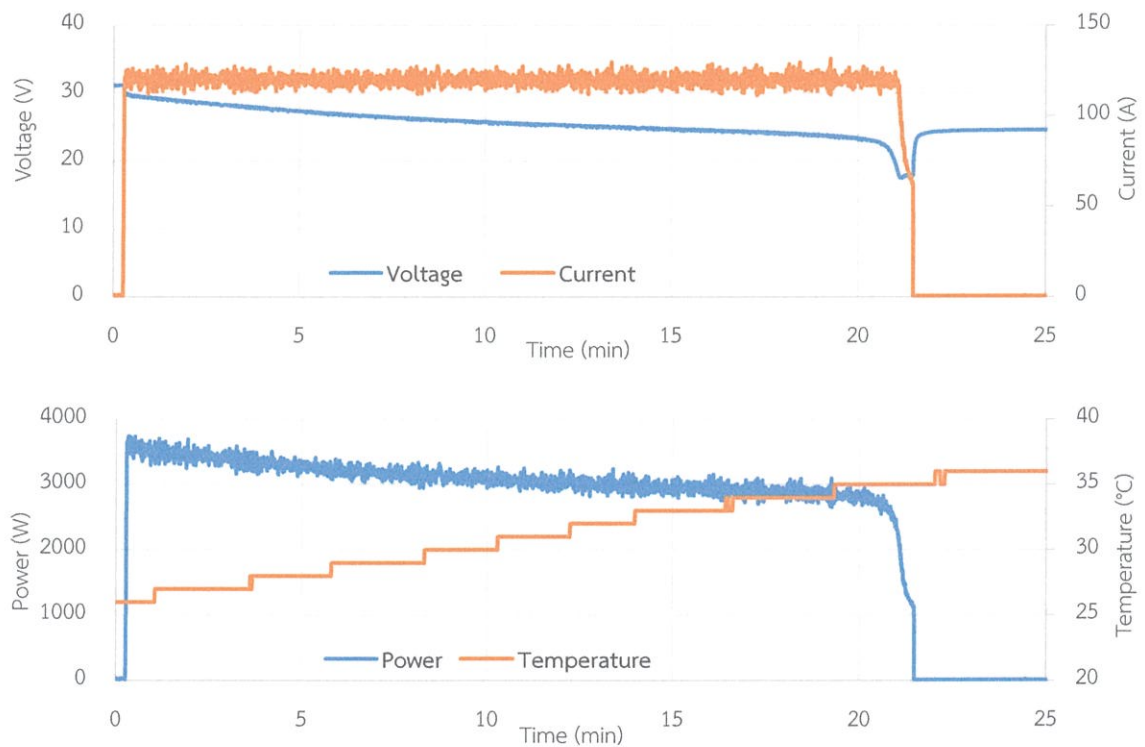
ดังรูปที่ 4.6 แสดงกราฟการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เมื่อเริ่มทำการคายประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าจะเริ่มลดลงตั้งแต่ประมาณ 32 โวลต์ จนถึง 18 โวลต์ โดยสามารถหาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 26.45 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 70.98 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 2101 วัตต์ ระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 2C หรือ 80 แอมแปร์ ประมาณ 33 นาที ค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 8 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 32 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า 2C หรือ 80 แอมแปร์

4.3.1.3 การทดสอบการคายประจุไฟฟ้า (Discharge) เท่ากับ 3C หรือ 120 แอมแปร์

ดังรูปที่ 4.7 แสดงกราฟการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งเริ่มทำการคายประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าจะเริ่มลดลงตั้งแต่ประมาณ 32 โวลต์ จนถึง 18 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 25.75 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 119.28 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 3073 วัตต์ ระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 3C หรือ 120 แอมแปร์ ประมาณ 21 นาที ค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 10 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 26 องศาเซลเซียส



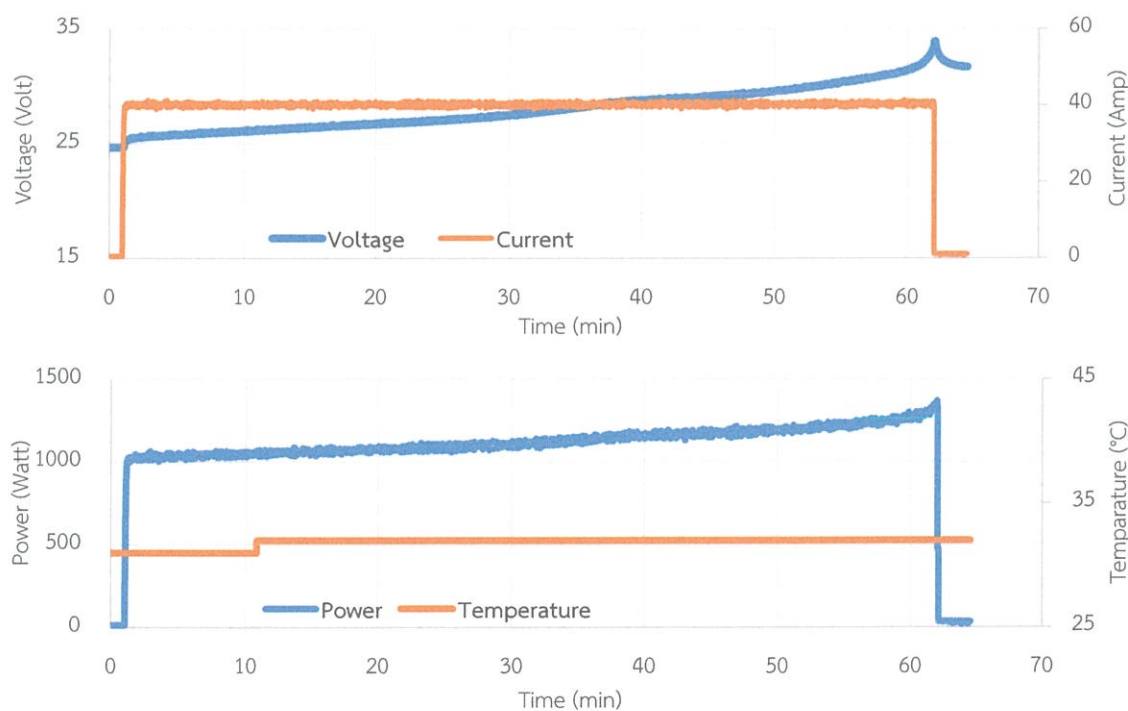
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า 3C หรือ 120 แอมแปร์

4.3.2 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าคงที่

ในการทดลองจะเป็นการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าที่คงที่ที่ค่า 40 แอมแปร์, 80 แอมแปร์ และ 120 แอมแปร์ โดยพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทำทดสอบเป็นแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 27.6 โวลต์ ขนาด 40 แอมแปร์-ชั่วโมง อุณหภูมิขณะทำงานอยู่ในช่วง -30 องศาเซลเซียส ถึง 55 องศาเซลเซียส

4.3.2.1 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า (Charge) เท่ากับ 1C หรือ 40 แอมแปร์

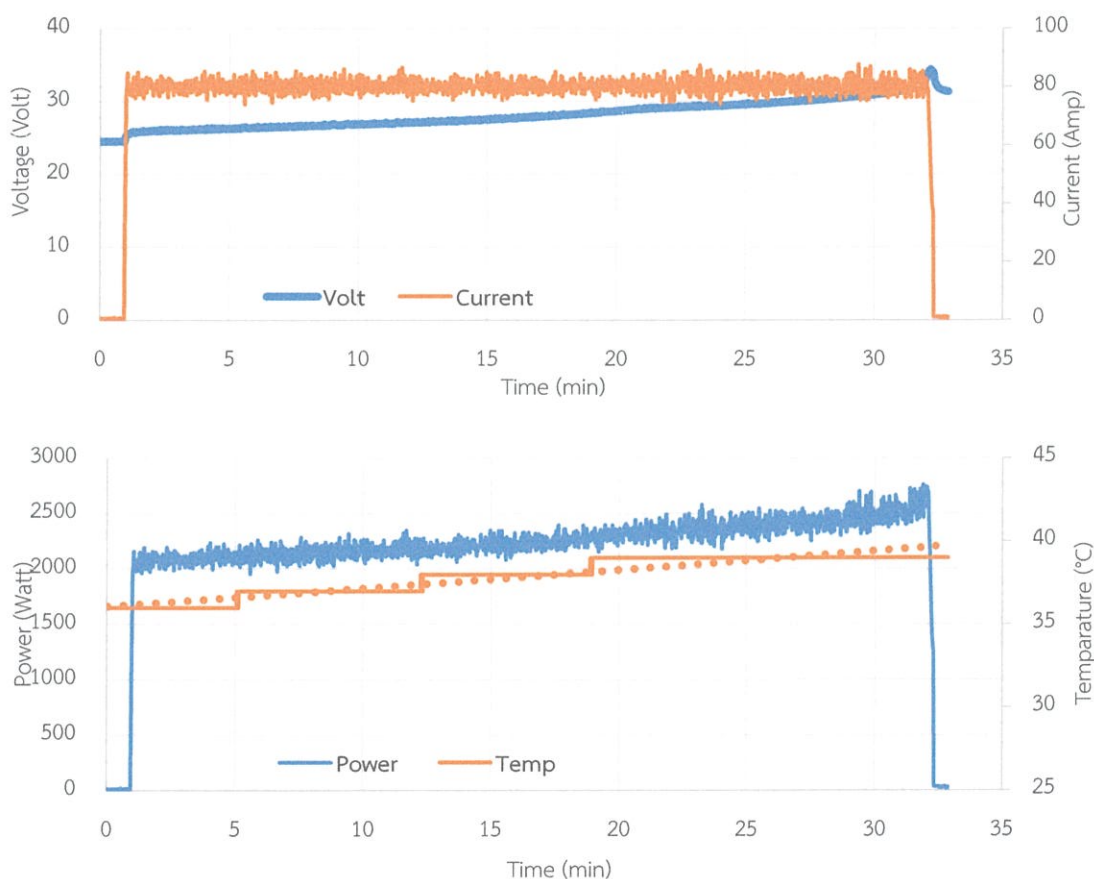
ดังรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงกราฟการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งเมื่อเริ่มทำการอัดประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ประมาณ 24 โวลต์ จนถึง 33 โวลต์ เมื่อแบตเตอรี่เต็ม โดยสามารถหาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้ประมาณ 28.19 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าเท่ากับ 39.61 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบเท่ากับ 1113.26 วัตต์ ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 1C หรือ 40 A ประมาณ 1 ชั่วโมง 3 นาที ค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 1 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 32 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 32 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า 1C หรือ 40 แอมแปร์

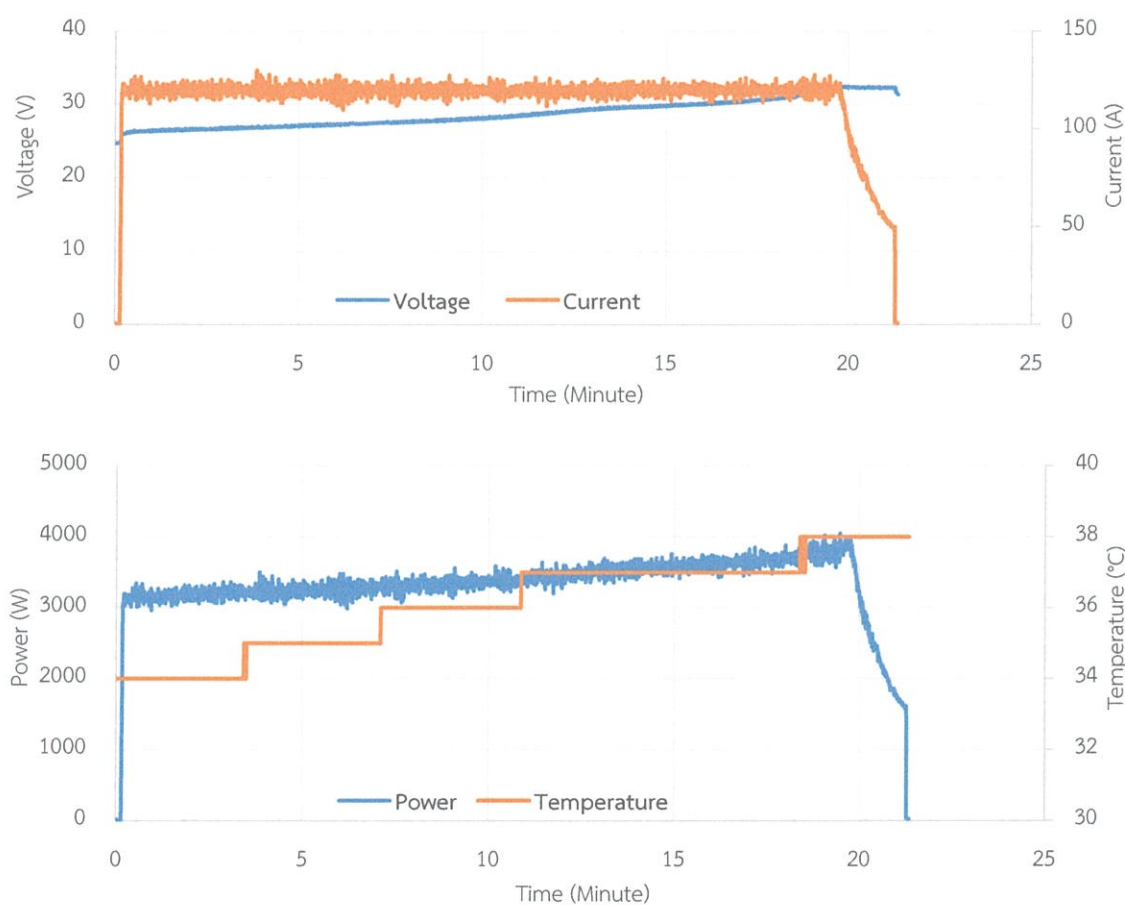
4.3.2.2 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า (Charge) เท่ากับ 2C หรือ 80 แอมแปร์

ดังรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงกราฟการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งเมื่อเริ่มทำการอัดประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ประมาณ 24 โวลต์ จนถึง 33 โวลต์ เมื่อแบตเตอรี่เต็มโดยสามารถหาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้ประมาณ 28.22 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าเท่ากับ 80.11 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 2261.06 วัตต์ ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 2C หรือ 80 แอมแปร์ ประมาณ 33 นาที นอกจากนี้ยังสามารถแสดงค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 4 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 26 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า 2C หรือ 80 แอมแปร์

4.3.2.3 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า (Charge) เท่ากับ 3C หรือ 120 แอมแปร์
 ดังรูปที่ 4.10 เป็นการแสดงกราฟการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่ง
 เมื่อเริ่มทำการอัดประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ประมาณ 24 โวลต์ จนถึง 33 โวลต์ จน
 แบตเตอรี่เต็ม โดยสามารถหาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้ประมาณ 28.76 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการ
 ทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าเท่ากับ 116.6 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 3340 วัตต์ ระยะเวลาใน
 การอัดประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 3C หรือ 120 แอมแปร์ ประมาณ 21 นาที นอกจากนี้ยังสามารถ
 แสดงค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 4 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ
 ขณะทำการทดลอง 34 องศาเซลเซียส



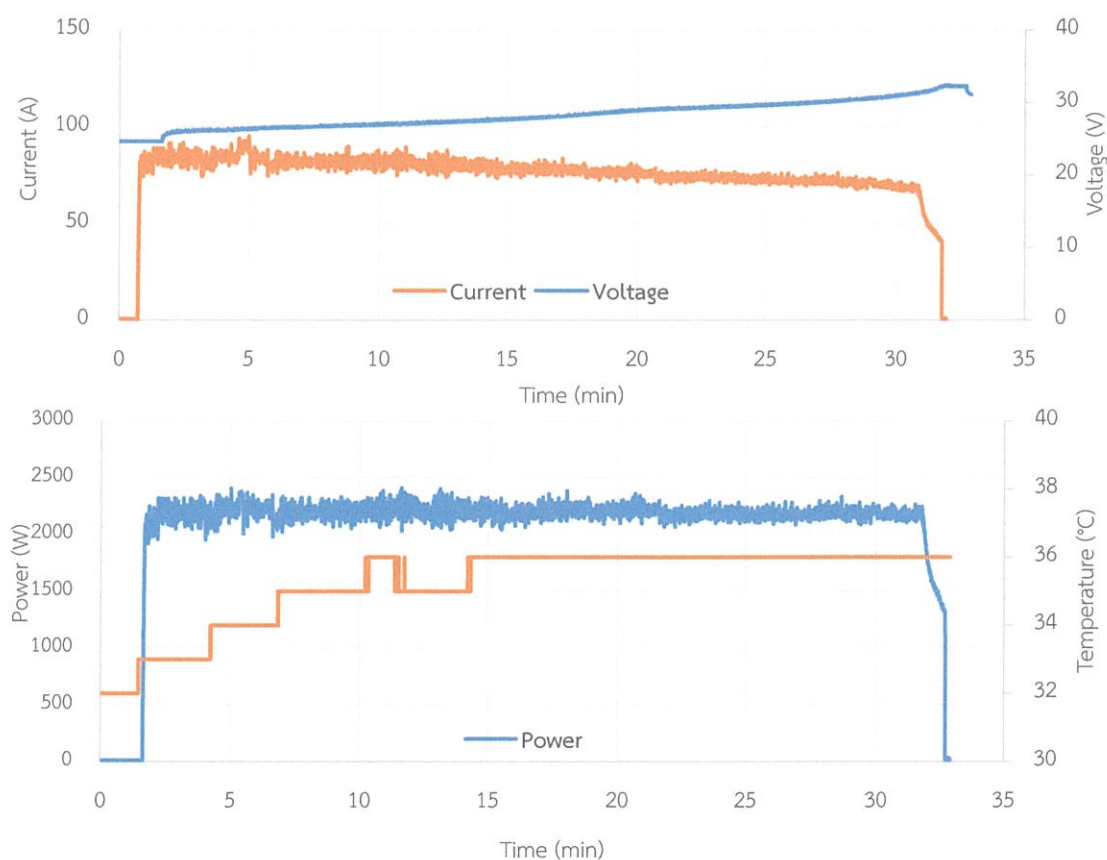
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า 3C หรือ 120 แอมแปร์

4.3.3 การทดสอบการอัดประจุแบบคงที่กำลังไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ

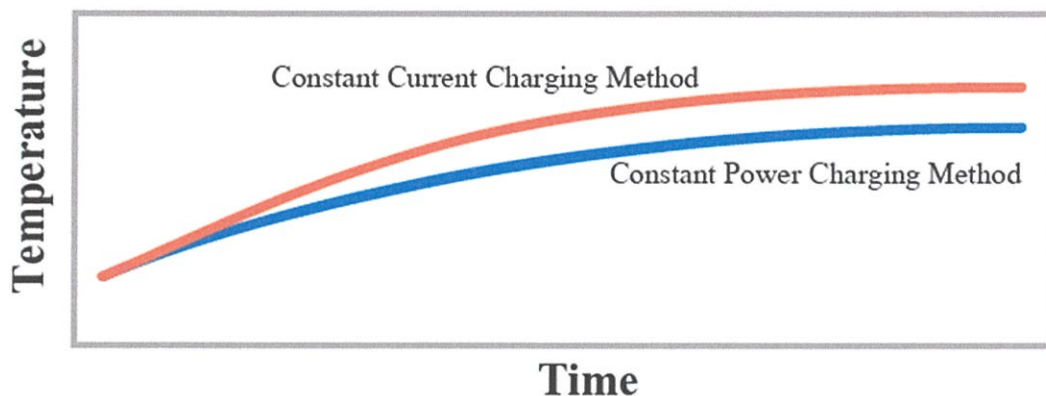
การทดสอบแบตเตอรี่ชนิด Li-ion โดยการอัดประจุไฟฟ้า (Charge) ที่กำลังไฟฟ้าคงที่ การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้า ณ กำลังไฟฟ้าใดๆ ของแบตเตอรี่

4.3.3.1 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า (Charge) ที่กำลังไฟฟ้าคงที่ 2250 W

ดังรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงกราฟการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งเริ่มทำการอัดประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ประมาณ 24 โวลต์ ถึง 33 โวลต์ โดยจะคงที่ กำลังไฟฟ้าไว้ขณะการอัดประจุไฟฟ้าตลอดการทดสอบที่ 2250 วัตต์ หรือเทียบเท่ากับการอัดประจุไฟฟ้าที่ 2C หรือ 80 แอมแปร์ โดยปล่อยให้กระแสไฟฟ้าในช่วงแรกอยู่ที่ประมาณ 90 แอมแปร์ เมื่ออัดประจุไฟฟ้าไปเรื่อยๆ กระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 70 แอมแปร์ เมื่อแบตเตอรี่เต็ม กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่กับแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ แสดง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการอัดประจุด้วยวิธีคงที่กำลังไฟฟ้าที่ 2250 วัตต์



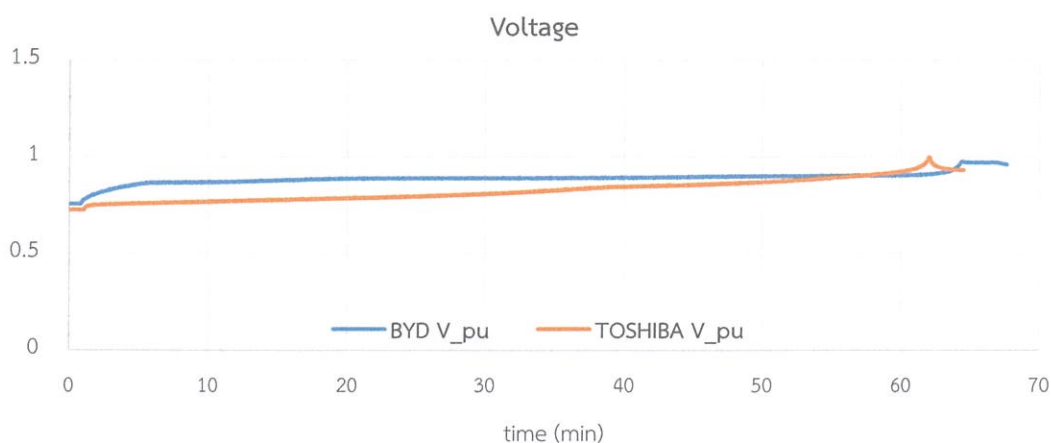
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าคงที่

การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แบบกำลังไฟฟ้าคงที่ที่กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบเท่ากับ 80 แอมแปร์ หรือมีค่าประมาณ 2C ผลที่ได้คือเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าแบบกำลังไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 33 นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับเวลาการอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบเพิ่มจาก 35 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 38 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าการอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 1 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 32 องศาเซลเซียส

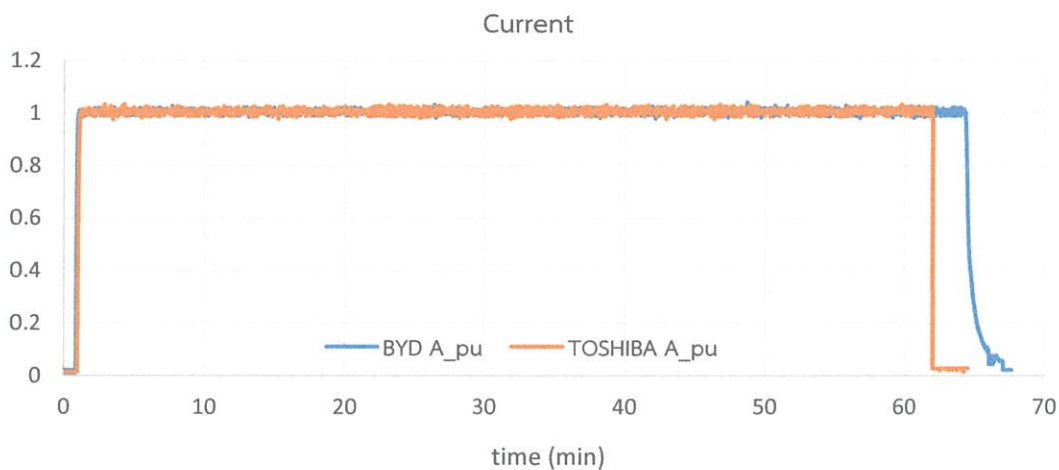
4.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ 2 ชนิด

จากการเปรียบเทียบของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion แรงดันไฟฟ้าขนาด 27.6 โวลต์ และแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 และมีแรงดันไฟฟ้าขนาด 32 โวลต์ สามารถแสดงได้ดังนี้

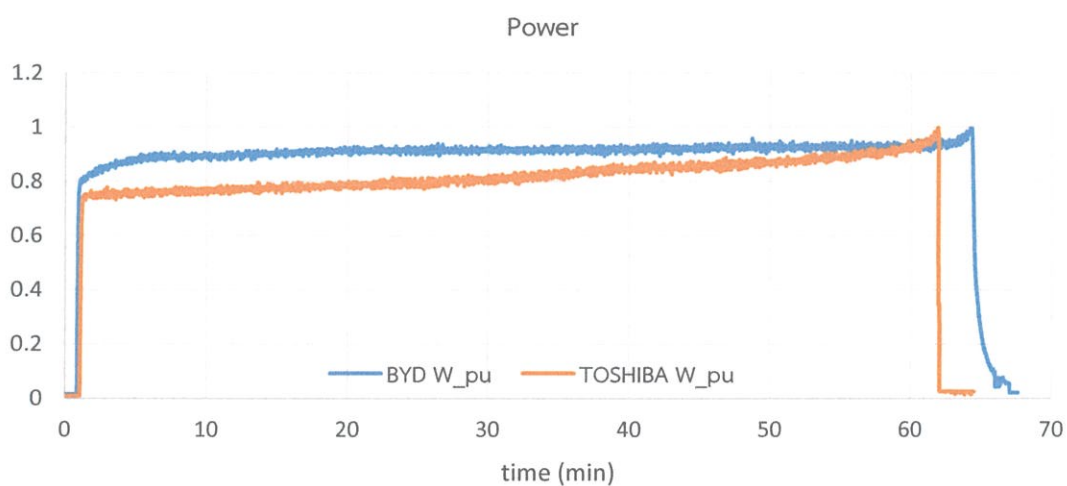
4.4.1 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Li-ion และแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 โดยการอัดประจุไฟฟ้า (Charge)



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด



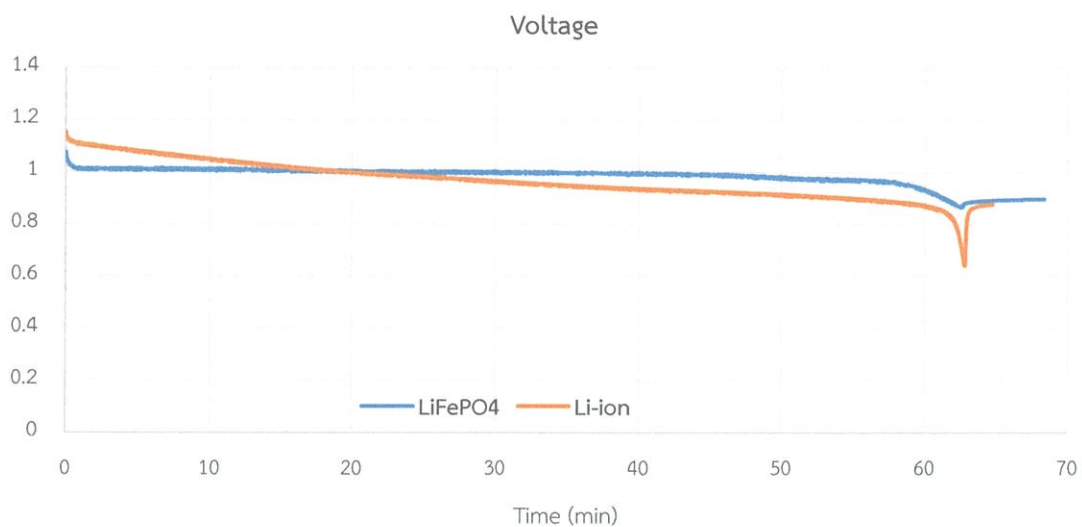
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด



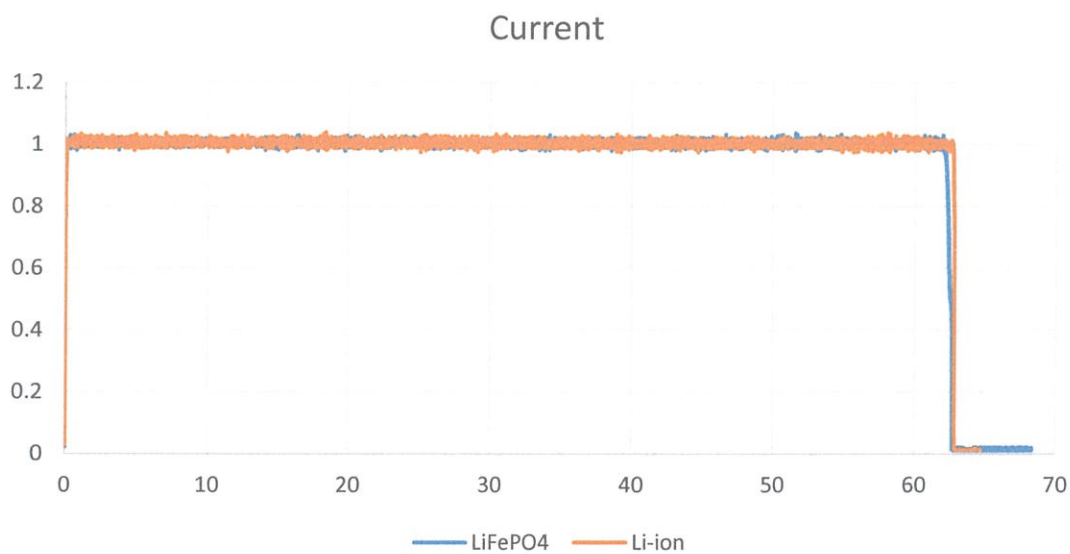
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด

ในการเปรียบเทียบแบตเตอรี่ 2 ชนิด ซึ่งผลของการทดสอบพบว่าเส้นสีส้มซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ของบริษัท Toshiba จะใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าสั้นกว่าแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 ของบริษัท BYD เป็นเส้นสีน้ำเงินอยู่ประมาณ 3 นาที โดยสามารถดูได้ ดังรูปที่ 4.13 , 4.14 และรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าตามลำดับ

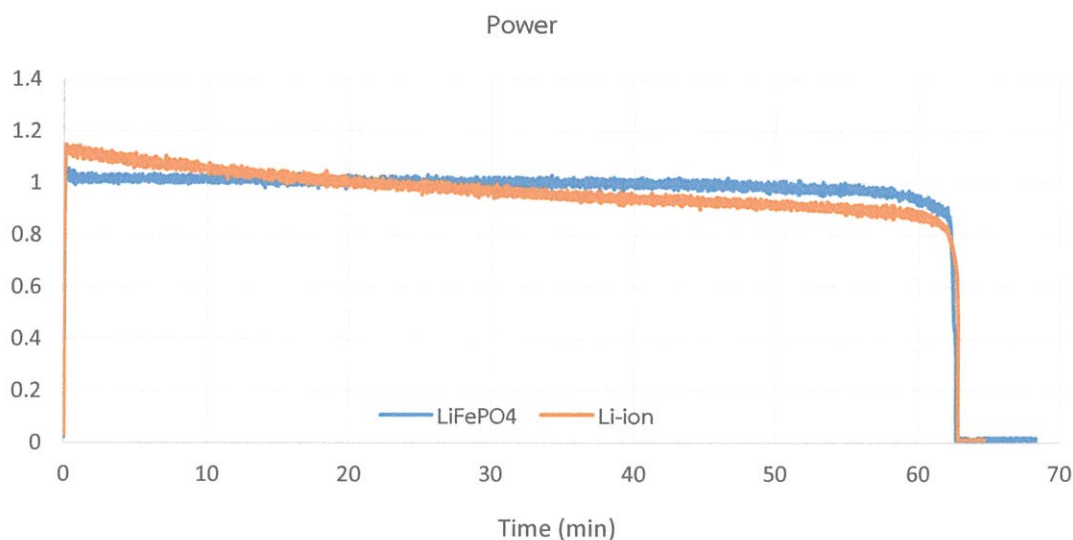
4.4.2 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Li-ion และแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 โดยการคายประจุไฟฟ้า (Discharge)



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด

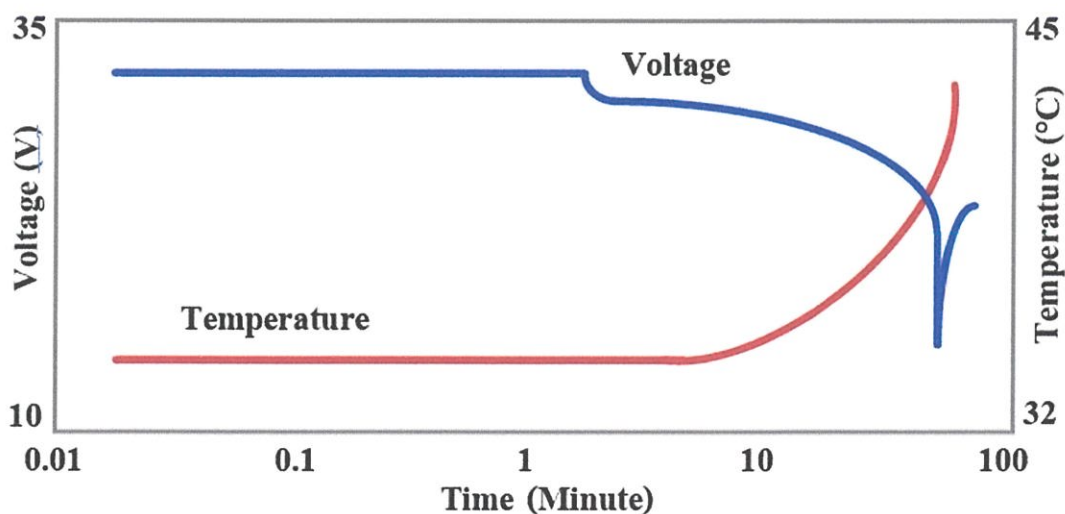


รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบกำลังไฟระหว่างการทำประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิด

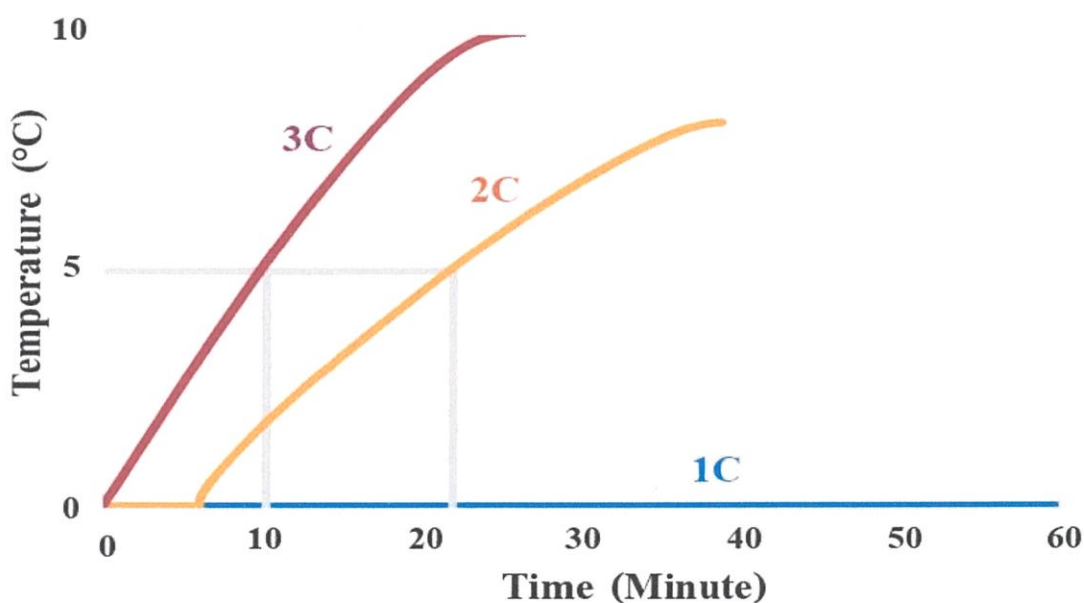
การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ 2 ชนิด ระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Li-ion โดยแทนด้วยเส้นสีส้ม จะให้ระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 ซึ่งแทนด้วยเส้นสีน้ำเงิน โดยสามารถดูได้ ดังรูปที่ 4.16 , 4.17 และรูปที่ 4.18 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิด ตามลำดับ



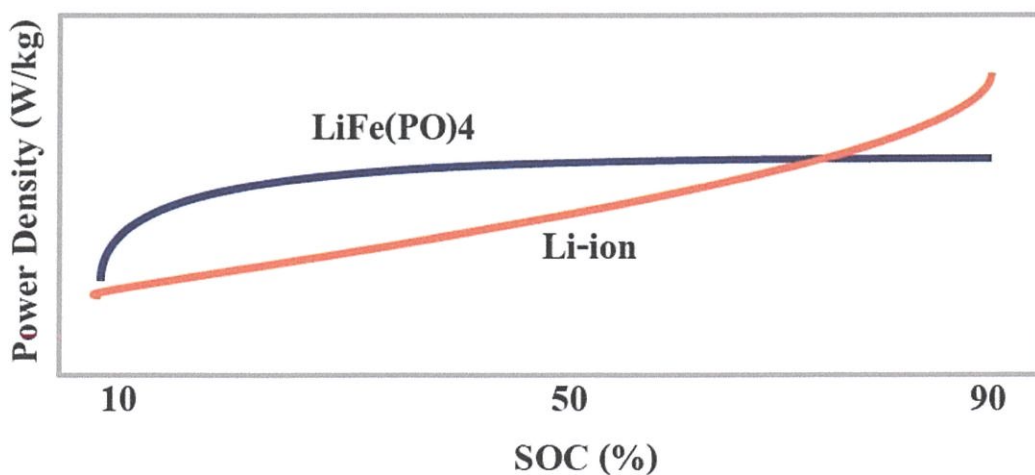
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบอุณหภูมิขณะทำการคายประจุไฟฟ้า

รูปที่ 4.19 เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิขณะทำการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ m โดยกราฟนี้เป็นการคายประจุไฟฟ้าที่กระแส 2C หรือ 80 แอมแปร์ เมื่อทำการคายประจุไฟฟ้า ไฟฟ้าอุณหภูมิก็จะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของ

แบตเตอรี่ ดังนั้นจึงทำการพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิขนาดการคายประจุไฟฟ้าในค่ากระแสต่างๆ โดยจะอ้างอิงค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากเดิม 5 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.20 จะพบว่าการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่กระแส 1C จะยังมีค่าอุณหภูมิกคงที่จึงสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงเวลาในการคายประจุไฟฟ้า แต่ในขณะที่เดียวกันถ้านำแบตเตอรี่ลูกเดิมมาคายประจุไฟฟ้าที่กระแส 2C หรือ 3C อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4.20 จะมองอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส จึงทำให้การคายประจุไฟฟ้าที่กระแส 2C ใช้งานได้เพียง 22 นาทีและการคายประจุไฟฟ้าที่กระแส 3C ใช้งานได้เพียง 10 นาที เท่านั้น



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบอุณหภูมิขนาดการคายประจุไฟฟ้าในค่ากระแสต่างๆ



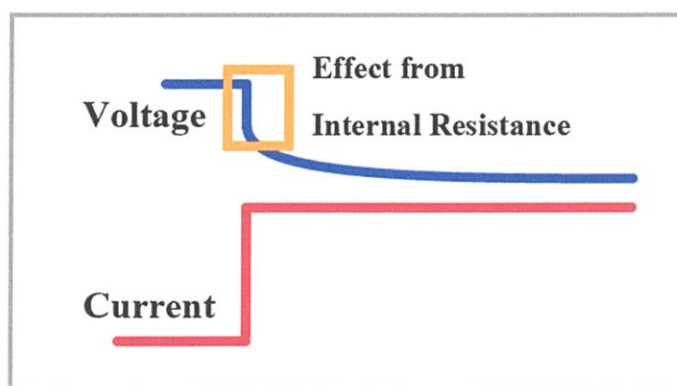
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ 2 ชนิด

จากผลการทดสอบแบตเตอรี่สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้ ดังรูปที่ 21 เป็นการเปรียบเทียบความหนาแน่นพลังงาน (Power Density) และค่า State of Charge (%SOC) ของแบตเตอรี่ 2 ชนิด ได้แก่ชนิด Li-ion (สีส้ม) และชนิด LiFe(PO)_4 (สีฟ้า) จะเห็นได้ว่าที่ SOC สูงแบตเตอรี่ชนิด Li-ion จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานที่สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 ซึ่งตรงข้ามกับ SOC ค่าน้อย ค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 จะมีค่าต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิด Li-ion โดยคุณลักษณะดังกล่าวสามารถนำไปประกอบการพิจารณาการเลือกใช้แบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าที่ใช้งาน เช่น การใช้งานแบตเตอรี่ที่ค่า SOC ไม่สูงมากควรใช้แบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นพลังงานที่มากกว่าแบตเตอรี่ชนิด Li-ion เพราะจะทำให้ได้ระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีน้ำหนักเบา และต้องการการอัดประจุไฟฟ้าขณะเกิดการเบรกได้ดี จำพวกการใช้งานกับรถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น

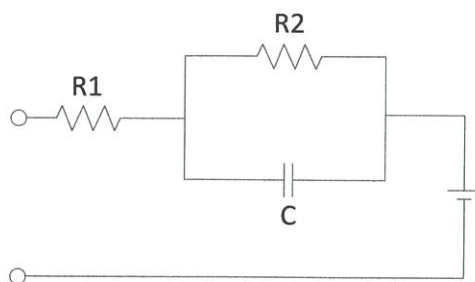
4.5 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จากการทดสอบซึ่งเป็นตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งในการทดสอบหาค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ สามารถทำได้โดยวิธีการอัดประจุไฟฟ้าหรือคายประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ จะได้ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งลักษณะของกราฟดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าความต้านทานภายในได้จากกฎของโอห์ม ดังสมการที่ 4.1

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.22 ผลของแรงดันจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ขณะคายประจุไฟฟ้า



รูปที่ 4.23 วงจรสมมูลแบตเตอรี่ที่ใช้พิจารณาค่าพารามิเตอร์

โดยค่าความต้านทานภายในเป็นค่าที่พิจารณาจากค่า R_1 ในวงจรสมมูลแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.23 เนื่องจากวงจรสมมูลดังกล่าวเป็นวงจรที่นิยมใช้และมีคุณลักษณะที่ตรงกับคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าตามผลที่ได้ทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลองคายประจุไฟฟ้าและอัดประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าแตกต่างกันและนำค่าความต้านทานภายในมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

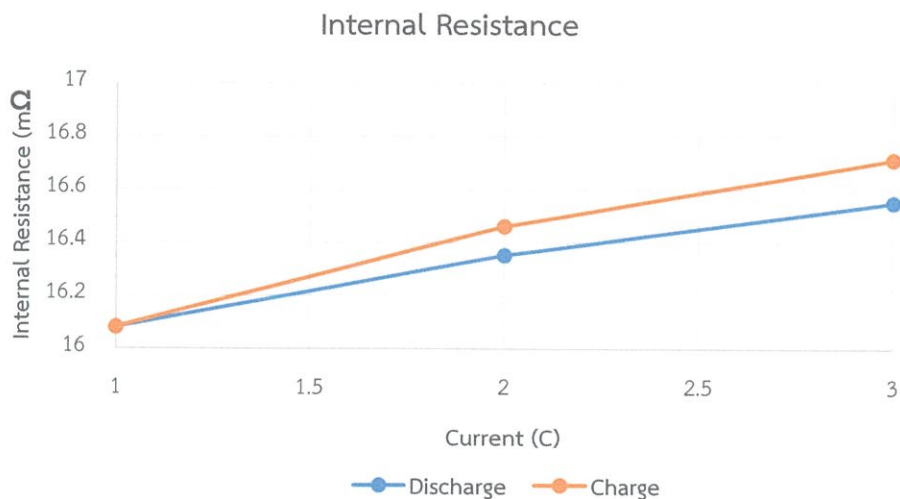
ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อทำการคายประจุไฟฟ้า

ขนาดกระแสไฟฟ้า	ค่าความต้านทานภายใน (มิลลิโอห์ม)
1C	16.0805
2C	16.3521
3C	16.5532

ตารางที่ 4.2 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้า

ขนาดกระแสไฟฟ้า	ค่าความต้านทานภายใน (มิลลิโอห์ม)
1C	16.0806
2C	16.4608
3C	16.7143

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ดังรูปที่ 4.23 ค่าความต้านทานภายในจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าขณะทดสอบมีเพิ่มขึ้น ทั้งการคายประจุไฟฟ้าและการอัดประจุไฟฟ้าซึ่งค่าความต้านทานภายในที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความร้อนต่อแบตเตอรี่ขณะใช้งาน



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานภายในและกระแสไฟฟ้า

4.6 สรุป

ผลการทดลองของปริญญานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า และการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ การตรวจจับค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่เพื่อนำมาแสดงผล อีกทั้งยังทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของแบตเตอรี่ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าและการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ว่าเหมาะสมกับการใช้งานประเภทใด พร้อมทั้งมีการเปรียบเทียบแบตเตอรี่ 2 ชนิดคือ แบตเตอรี่ชนิด Li-ion และแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)_4 เพื่อให้ดูคุณลักษณะของแบตเตอรี่แต่ละชนิดเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้แบตเตอรี่

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้ โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ จากการทดสอบจะพบว่าที่การอัดประจุไฟฟ้าหรือคายประจุไฟฟ้าที่ขนาดกระแสไฟฟ้าเท่ากันจะได้ค่าความต้านทานภายในที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยที่ขนาดกระแสไฟฟ้าที่มากกว่าจะส่งผลให้มีค่าความต้านทานภายในที่มากกว่าขนาดกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า ซึ่งความต้านทานภายในดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน หากค่าความต้านทานภายในมากเกินไปเมื่อนำแบตเตอรี่ไปใช้งานจะเกิดความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกินช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าคุณสมบัติที่ได้รับไว้ ดังนั้นค่าความต้านทานภายในจึง สามารถเป็นตัวชี้วัดได้ว่าแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพมากน้อยเพียงใด จากผลการทดลองของงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ค่าความต้านทานภายในส่งผลอุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยตรงในขณะทำการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าแปรผันตามกำลังสองของกระแสไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า ดังนั้นค่าความต้านทานภายในดังกล่าวจึงเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของแบตเตอรี่ หากค่าความต้านทานดังกล่าวมีค่ามากจะทำให้การใช้งานของแบตเตอรี่ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ที่ได้ไม่ตรงตามที่ต้องการเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานภายใน อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพได้

2. การใช้งานแบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้าแตกต่างกันจะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นต่างกัน ยกตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่ชนิด Li-ion หากใช้งานกระแสไฟฟ้าที่พิกัดแบตเตอรี่อุณหภูมิจะไม่เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ที่กระแสไฟฟ้ามากกว่ากระแสไฟฟ้าพิกัด

3. แบตเตอรี่ชนิด Li-ion กับ LiFe(PO)_4 มีคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันในขณะทำการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า โดยแบตเตอรี่ LiFe(PO)_4 จะให้แรงดันไฟฟ้าที่คงที่มากกว่าแบตเตอรี่ชนิด Li-ion

4. การอัดประจุไฟฟ้าแบบคงที่แรงดันไฟฟ้าจะทำให้อุณหภูมิขณะการอัดประจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นช้ากว่าการอัดประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ด้วยวิธีการคงที่กระแสไฟฟ้า ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัย

1. การทดสอบแบตเตอรี่ที่ต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูง ต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์สวิตช์ที่สามารถรับกระแสไฟฟ้าที่พิกัดได้มากกว่าอุปกรณ์สวิตช์เดิม
2. เพิ่มหน้าจอบททดสอบแบตเตอรี่ที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อรองรับการทดสอบแบตเตอรี่ในหลายๆรูปแบบมากขึ้น
3. กระแสไฟฟ้าในการทดสอบอัดประจุและคายประจุไฟฟ้าของเครื่องมือทดสอบถูกกำหนดไว้ที่ค่าคงที่ แต่การทดสอบจริงอาจมีค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะที่มีค่าที่แกว่งไปมา (Current Spike) อยู่บ้าง เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรมีค่าน้อยเกินไป หากต้องการลดกระแสไฟฟ้าดังกล่าวต้องทำการเพิ่มค่าความเหนี่ยวนำในวงจรให้มากขึ้น
4. การติดตั้งวงจรกรองฮาร์มอนิกส์ ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อเพิ่มคุณภาพของไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jiannan Li; Pengbo Li; Hongyi Liu; Dong Li; Jian Tang, "A contactless battery charging and monitoring system for wireless sensor network nodes," *Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011 International Conference on* , vol.3, no., pp.1923,1926, 24-26 Dec. 2011
- [2] Huayong Liu; Fan Yang; Tao Chen; Wei He; Jingang Wang, "Application of Electric Field Measurement Method in electroscope for ultra-high voltage appliances," *Automation Congress, 2008. WAC 2008. World* , vol., no., pp.1,4, Sept. 28 2008-Oct. 2 2008
- [3] Dahl, Ernest A.; Decorpro, James, "Automatic Battery Monitoring System," *Telecommunications Energy Conference, 1985. INTELEC '85. Seventh International* , vol., no., pp.615,624, 14-17 Oct. 1985
- [4] Cai Wenyu; Zhang Meiyan, "Automatic monitoring system of battery stack for electric vehicles," *Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on* , vol., no., pp.3590,3593, 9-11 Sept. 2011
- [5] Wang HuiJiao; Yu XiaoYong; Hou Jie, "Design and implement of a remote monitoring system of battery," *Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS), 2010 International Conference on* , vol., no., pp.346,348, 22-24 Oct. 2010
- [6] Deshpande, S.; Shaffer, D.; Szymborski, J.; Barling, L.; Hawkins, J., "Intelligent monitoring system satisfies customer needs for continuous monitoring and assurance on VRLA batteries," *Telecommunication Energy Conference, 1999. INTELEC '99. The 21st International* , vol., no., pp.,493 pp., Jun 1999
- [7] Tao Jiang; Xiaobo Huang; Yongming Yang; Jungang Liu; Jingang Wang, "Study on anti-interference of high voltage ultraviolet electroscope," *Automation Congress, 2008. WAC 2008. World* , vol., no., pp.1,4, Sept. 28 2008-Oct. 2 2008
- [8] สุภัทรชัย สิงห์บาง. 2551. “เทคโนโลยีแบตเตอรี่เพื่ออนาคต”. ส่งเสริมเทคโนโลยี. 35(200) : 74-76.
- [9] กฤตณัย โควานิสัยสุขกุล. “การศึกษาวงจรสมมูลย์ของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ = A study of equivalent circuit of secondary battery”. ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.

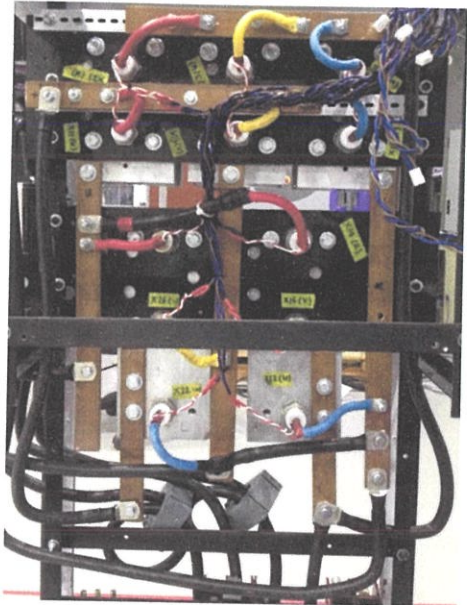
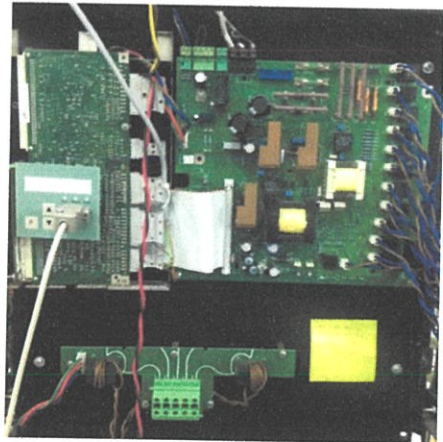
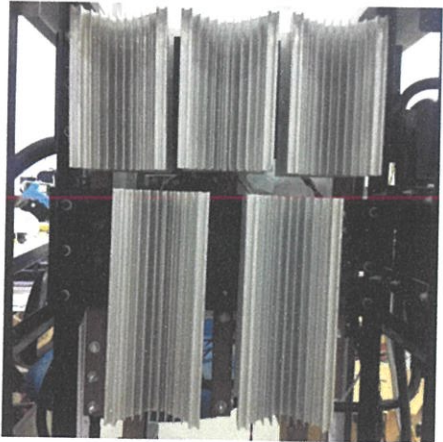
- [10] PEC Technology (Thailand) . 2012. Battery Monitoring System Critical UPS Support. [Slide]. Bangkok : PEC Technology (Thailand)
- [11] Apple Inc. “Lithium-ion Batteries.” [Online]. Available: <http://www.apple.com/batteries>
- [12] วัลลัษักร บัวคำ. “แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-พอลิเมอร์(Lithium-Polymer) VS ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion).” [Online]. Available: <http://xn--12cpab4f5aw1kwa1b3fub.blogspot.com/2011/06/lithium-polymer-vs-lithium-ion.html>
- [13] ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. “การใช้งานและดูแลรักษาแบตเตอรี่ Lithium อย่างถูกต้อง.”[Online]. Available: <https://sites.google.com/site/sosnum/battery-lithium>

ภาคผนวก

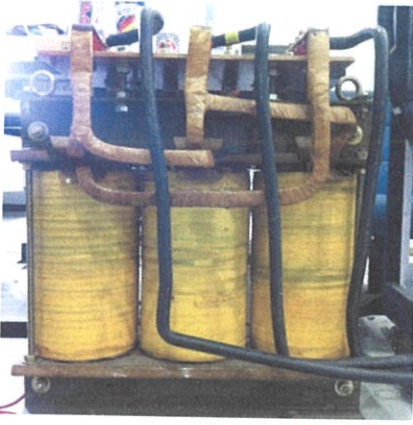

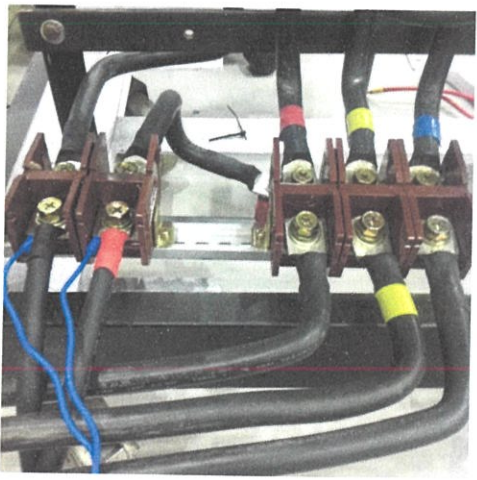
ภาคผนวก ก

เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาโท

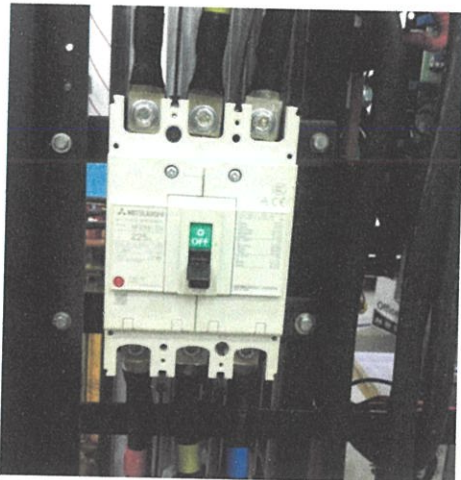
เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาานิพนธ์

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>วงจรกำลังของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่</p>
	<p>วงจรควบคุมของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่</p>
	<p>ฮีทซิงค์ระบายความร้อนของอุปกรณ์สวิชชิงของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่</p>

เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาโท (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 20 kVA แรงดันปฐมภูมิ 400/230 V แรงดันทุติยภูมิ 50 V กระแสปฐมภูมิ 28.867 A กระแสทุติยภูมิ 230.95 A</p>
	<p>หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ขนาด 400/5 A</p>
	<p>ขั้วต่อสายของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่</p>

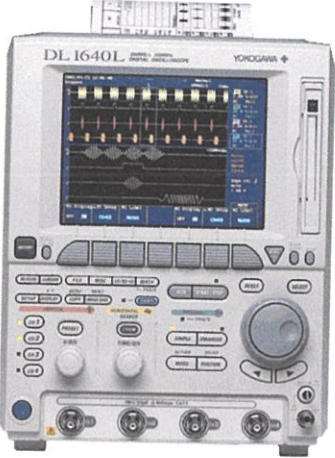


เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	เซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่

ภาคผนวก ข

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท

รูปถ่าย	รายละเอียด
	Digital Oscilloscope YOGOGAWA® DL1640
	Multi meter
	Infrared Thermometer FLUKE® 62 MAX

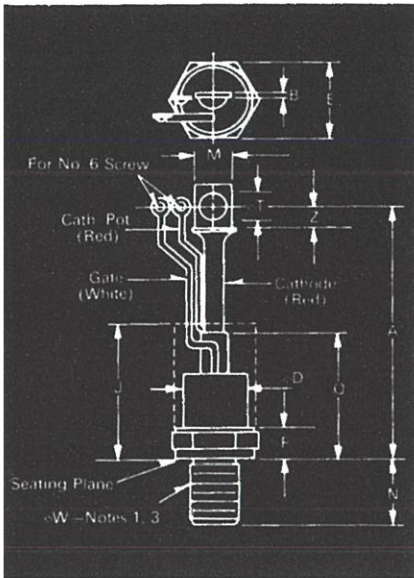
ภาคผนวก ค

ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท

SCR T607121344BT

Fast Switching SCR T607_13

125A Avg.
(200 RMS)
Up to 1200 Volts
10-50 μ s



Conforms to TO-93 Outline

Features:

- Center fire, di/dynamic gate
- High di/dt with soft gate control
- High frequency operation
- Sinusoidal waveform operation to 20 KHz
- Rectangular waveform operation to 20 KHz
- Low dynamic forward voltage drop
- Low switching losses at high frequency
- Westinghouse Lifetime Guarantee

Symbol	Inches		Millimeters	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	7.750	8.100	196.85	205.74
A ₁	7.750	8.100	196.85	205.74
B	.063	.172	1.60	4.37
ϕ D	.980	1.090	24.89	27.69
E	1.212	1.250	30.78	31.75
F	.250	.630	6.35	16.00
J	3.25		82.55	
M	.530	.755	13.46	19.18
N	1.040	1.077	26.42	27.36
Q		2.250		57.15
ϕ T	.260	.290	6.60	7.37
Z	.340		8.64	
ϕ W	3/4-16 UNF-2A			

Creep Distance—.75 in. min. (19.05 mm).

Strike Distance—.69 in. min. (17.53 mm).

(In accordance with NEMA standards.)

Finish—Nickel Plate.

Approx. Weight—8 oz. (227 g).

1. Complete threads to extend to within 2 1/2 threads of seating plane.
2. Angular orientation of terminals is undefined.
3. Pitch diameter of 3/4-16 UNF-2A (coated) threads (ASA B1.1—1960).
4. Dimension "J" denotes seated height with leads bent at right angles.

Applications:

- Inverters for UPS
- AC motor control
- Induction heating
- Cycloconverters
- Choppers

Ordering Information

Type	Voltage		Current		Turn-off		Gate Current		Leads	
Code	V _{DRM} and V _{RRM} (V)	Code	I _{T(av)} (A)	Code	t _q μ sec	Code	I _{GT} (ma)	Code	Case	Code
T607	100	01	125		10		150		TO-93	07
	200	02								
	300	03								
	400	04								
	500	05								
	600	06								
	700	07								
	800	08								
	900	09								
	1000	10								
	1100	11								
	1200	12								

Example

Obtain optimum device performance for your application by selecting proper Order Code.

Type T607 rated at 125A average with V_{DRM} = 1000V, I_T = 150 ma, t_q = 30 μ sec and standard flex lead — order as

or 10 μ sec turn-off, consult factory

Type	Voltage	Current	Turn Off	Gate Current	Leads
T 6 0 7	1 0	1 3	5	4	B T

**125A Avg.
(200 RMS)
Up to 1200 Volts
10-50 μ s**

**Fast Switching
SCR
T607_13**

Voltage

Blocking State Maximums $\textcircled{1}$ ($T_J = 125^\circ\text{C}$)

Repetitive peak forward blocking voltage, V ...
Repetitive peak reverse voltage, V ...
Non-repetitive transient peak reverse voltage,
 $t \leq 5.0$ msec, V ...

Symbol

V_{DRM}	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
V_{RRM}	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
V_{RSM}	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
I_{DRM}	←----- 25 -----→											
I_{RRM}	←----- 25 -----→											

Forward leakage current, mA peak ...
Reverse leakage current, mA peak ...

Current

Conducting State Maximums
($T_J = 125^\circ\text{C}$)

Symbol	T607_13
RMS forward current, A ...	$I_T(\text{rms})$ 200
Ave. forward current, A ...	$I_T(\text{av})$ 125
One-half cycle surge current $\textcircled{2}$, A ...	I_{TSM} 3500
I^2t for fusing (for times ≥ 8.3 ms), A ² ·sec.	I^2t 50,000
Forward voltage drop at $I_{TM} = 625\text{A}$ and $T_J = 25^\circ\text{C}$, V ...	V_{TM} 2.35
Min. repetitive di/dt $\textcircled{3}$ $\textcircled{4}$, A/ μ sec ...	di/dt 200

Switching

($T_J = 25^\circ\text{C}$)

Symbol	
Max. turn-off time, $I_T = 150\text{A}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$, $di/dt = 12.5$ A/ μ sec, reapplied $dv/dt =$ 20V/ μ sec linear to .8V DRM, μ sec $\textcircled{5}$ $\textcircled{6}$	t_q 10 to 50
Typ. turn-on-time, $I_T = 100\text{A}$, $V_D = 100\text{V}$, μ sec	t_{on} 3.5
Min. critical dv/dt , exponential to V_{DRM} , $T_J = 125^\circ\text{C}$, V/ μ sec $\textcircled{7}$ $\textcircled{8}$	dv/dt 300
Min. di/dt non-repetitive, $\textcircled{9}$ $\textcircled{10}$, A/ μ sec	di/dt 800

Gate

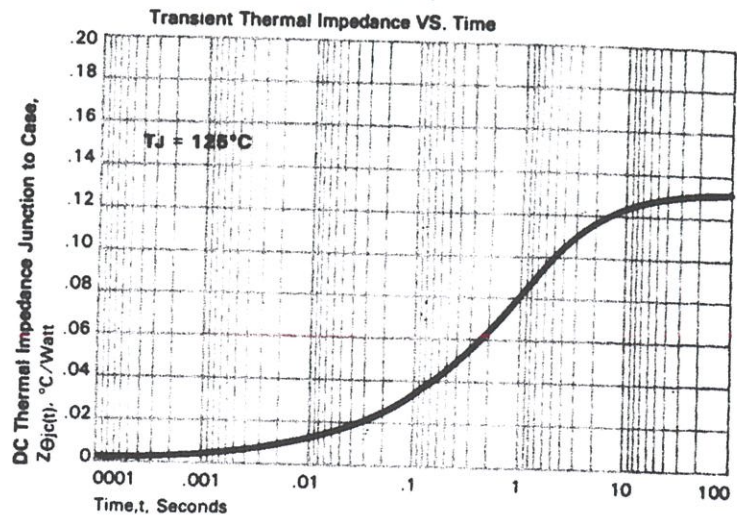
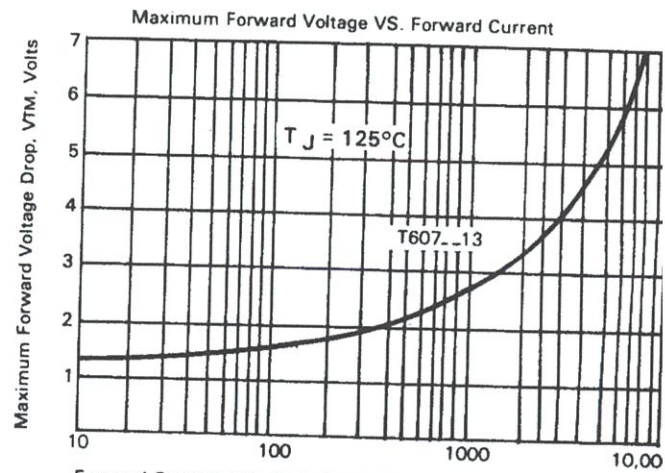
Maximum Parameters
($T_J = 25^\circ\text{C}$)

Symbol	
Gate current to trigger at $V_D = 12\text{V}$, mA	I_{GT} 150
Gate voltage to trigger at $V_D = 12\text{V}$, V ...	V_{GT} 3
Non-triggering gate voltage, $T_J = 125^\circ\text{C}$, and rated V_{DRM} , V ...	V_{GDM} 0.15
Peak forward gate current, A ...	I_{GTM} 4
Peak reverse gate voltage, V ...	V_{GRM} 5
Peak gate power, Watts ...	P_{GM} 16
Average gate power, Watts ...	$P_{G(av)}$ 3

Thermal and Mechanical

Symbol	
Min., Max. oper. junction temp., $^\circ\text{C}$...	T_J -40 to +125
Min., Max. storage temp., $^\circ\text{C}$...	T_{stg} -40 to +150
Max. mounting torque, in lb. $\textcircled{1}$...	300
Max. Thermal resistance \uparrow	
Junction to case, $^\circ\text{C}/\text{Watt}$...	$R_{\theta JC}$.13
Case to sink, lubricated, $^\circ\text{C}/\text{Watt}$...	$R_{\theta CS}$.08

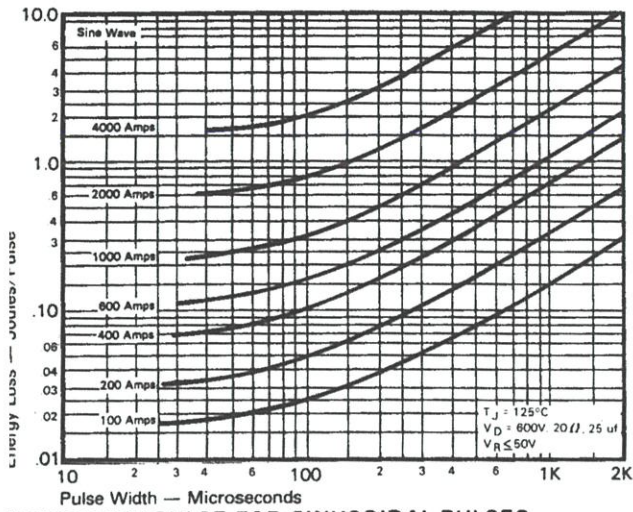
- $\textcircled{1}$ Consult recommended mounting procedures.
- $\textcircled{2}$ Applies for zero or negative gate bias.
- $\textcircled{3}$ Per JEDEC RS-397, 5.2.2.1.
- $\textcircled{4}$ With recommended gate drive.
- $\textcircled{5}$ Higher dv/dt ratings available, consult factory.
- $\textcircled{6}$ Per JEDEC standard RS-397, 5.2.2.6.
- $\textcircled{7}$ For operation with antiparallel diode, consult factory.



Fast Switching SCR T607_13

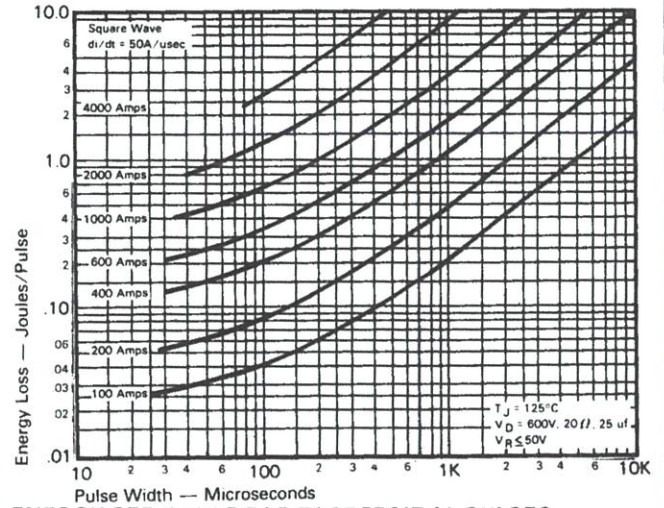
125A Avg.
(200 RMS)
Up to 1200 Volts
10-50 μ s

Sinusoidal Current Data

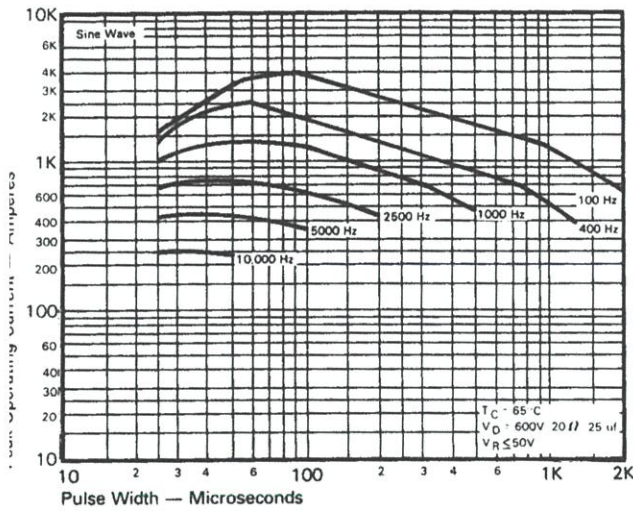


ENERGY PER PULSE FOR SINUSOIDAL PULSES

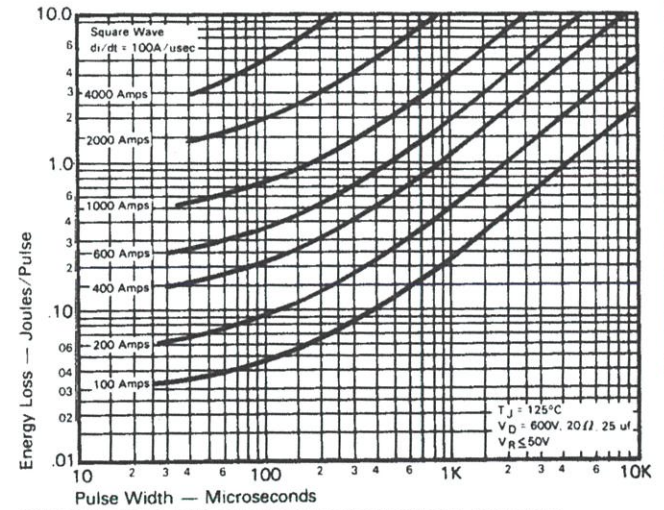
Trapezoidal Wave Current Data



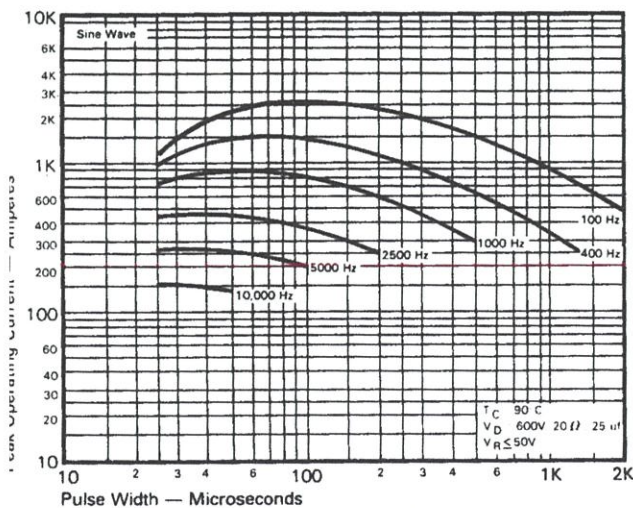
ENERGY PER PULSE FOR TRAPEZOIDAL PULSES
(di/dt = 50A/usec)



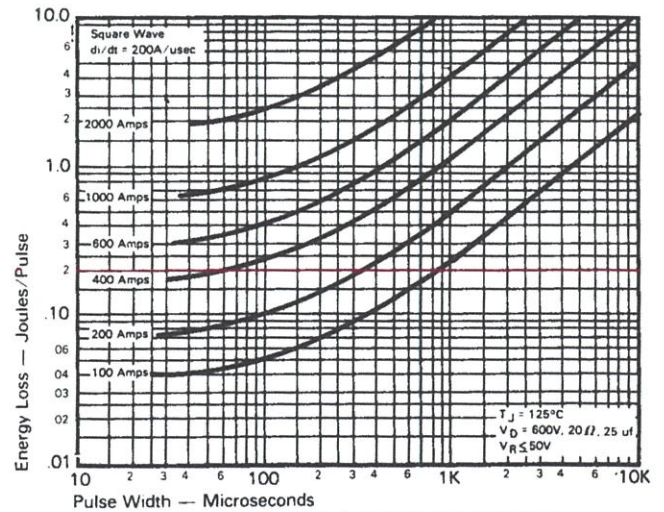
MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT
vs. PULSE WIDTH ($T_C = 65^\circ\text{C}$)



ENERGY PER PULSE FOR TRAPEZOIDAL PULSES
(di/dt = 100A/usec)



MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT
vs. PULSE WIDTH ($T_C = 90^\circ\text{C}$)

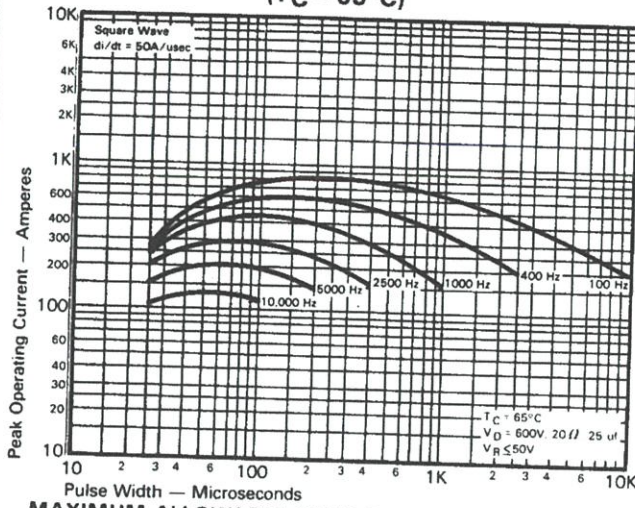


ENERGY PER PULSE FOR TRAPEZOIDAL PULSES
(di/dt = 200A/usec)

125A Avg.
(200 RMS)
Up to 1200 Volts
10-50 μ s

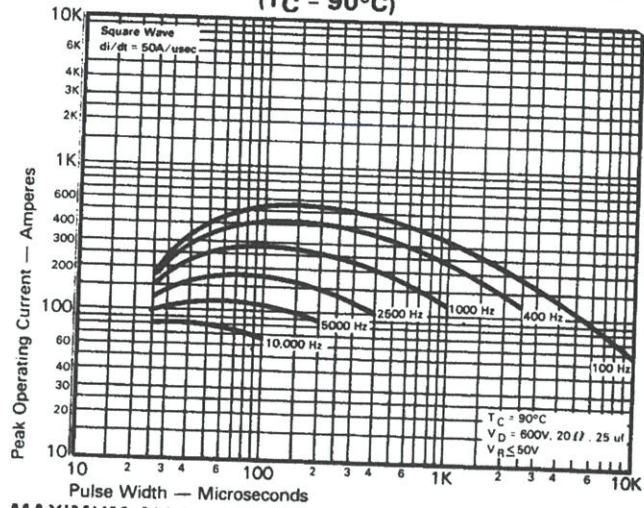
Fast Switching
SCR
T607-13

Trapezoidal Wave Current Data
($T_C = 65^\circ\text{C}$)

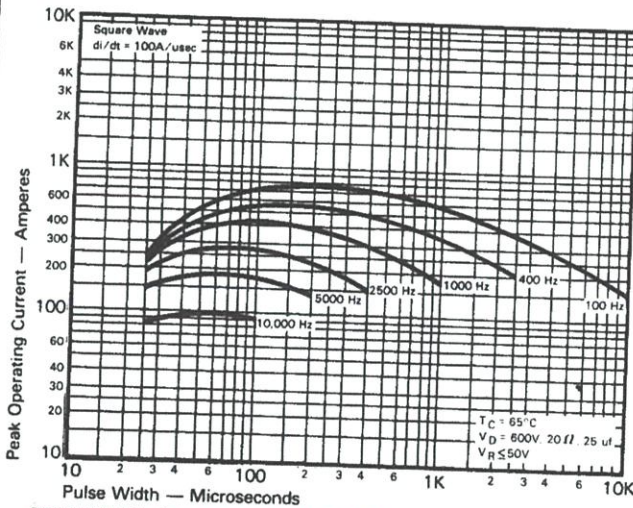


MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT vs. PULSE WIDTH ($di/dt = 50\text{A}/\mu\text{sec}$)

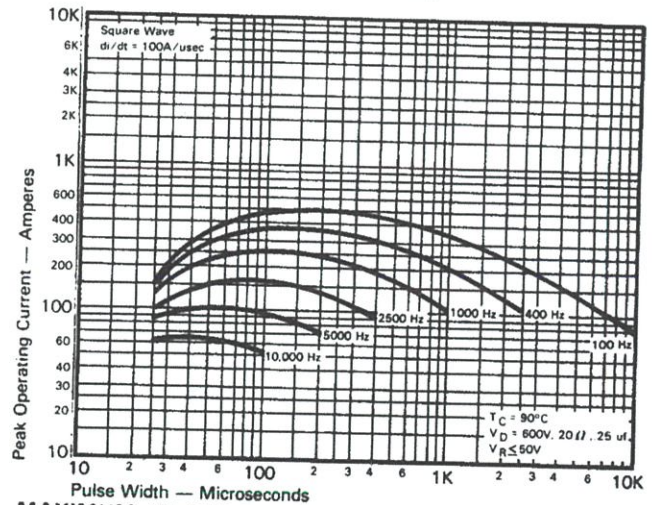
Trapezoidal Wave Current Data
($T_C = 90^\circ\text{C}$)



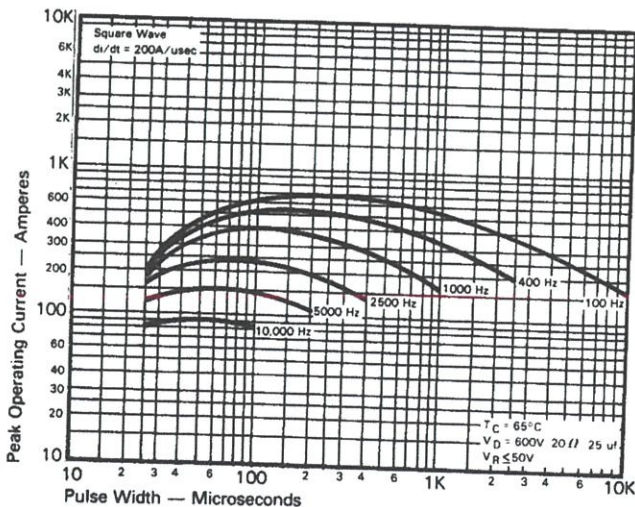
MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT vs. PULSE WIDTH ($di/dt = 50\text{A}/\mu\text{sec}$)



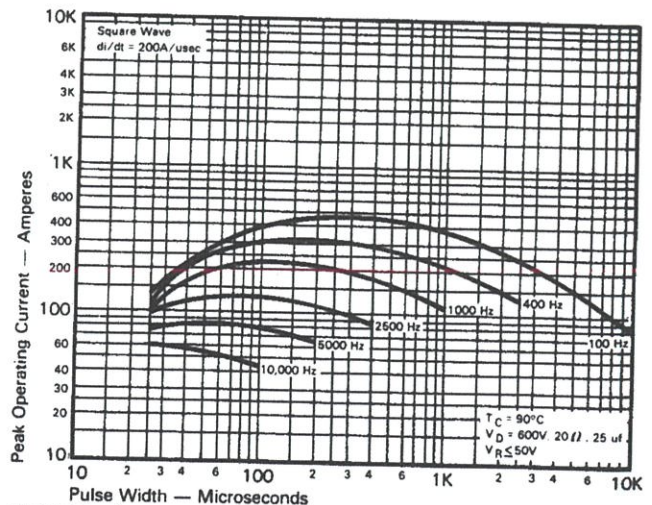
MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT vs. PULSE WIDTH ($di/dt = 100\text{A}/\mu\text{sec}$)



MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT vs. PULSE WIDTH ($di/dt = 100\text{A}/\mu\text{sec}$)

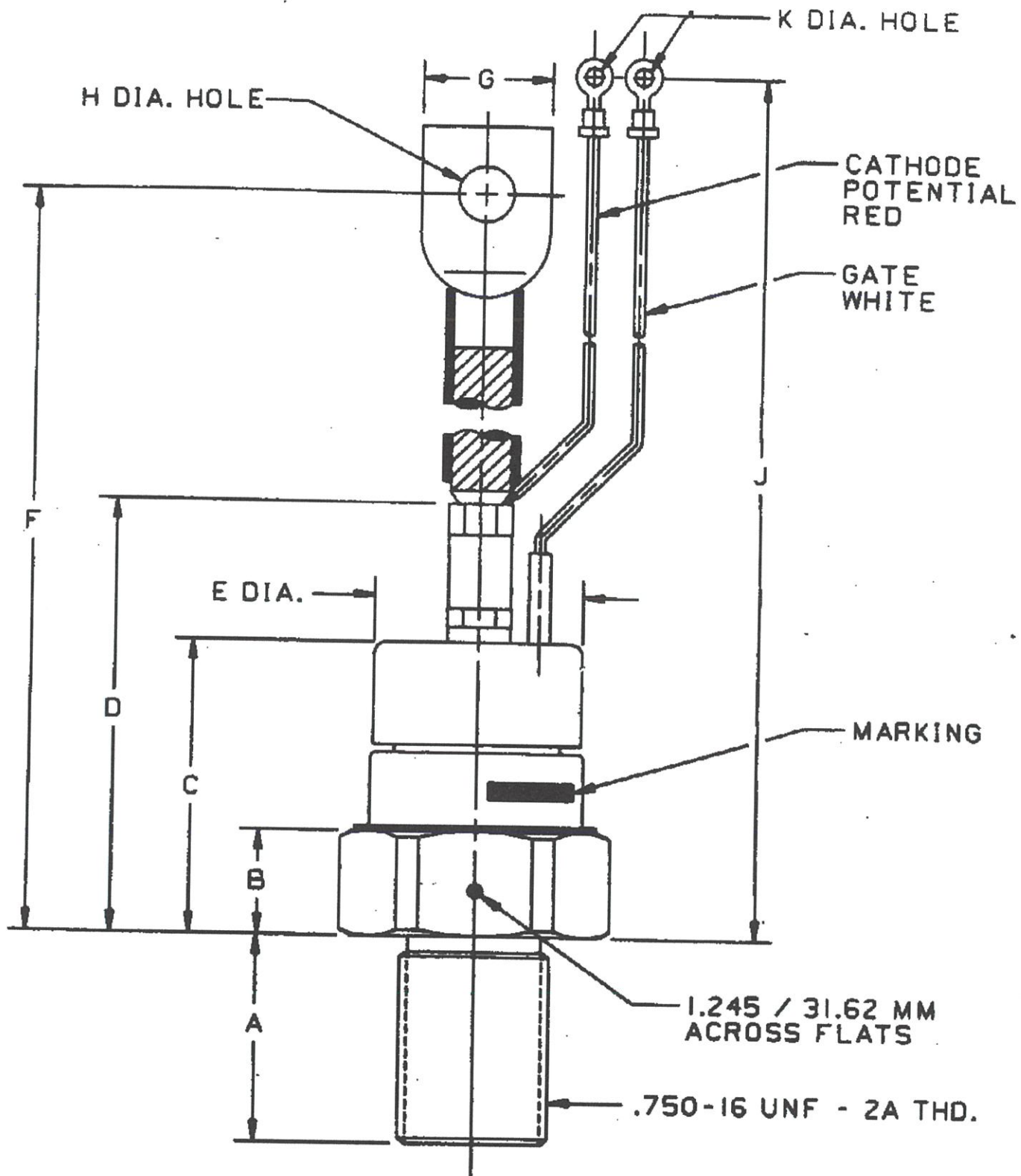


MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT vs. PULSE WIDTH ($di/dt = 200\text{A}/\mu\text{sec}$)



MAXIMUM ALLOWABLE PEAK ON-STATE CURRENT vs. PULSE WIDTH ($di/dt = 200\text{A}/\mu\text{sec}$)

FAST SWITCHING



CASE NUMBER T60
NOMINAL DIMENSIONS

STRIKE DISTANCE = .65 INCH / 16.5 MM MIN.
CREEPAGE DISTANCE = .65 INCH / 16.5 MM MIN.

M.	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
CHES	1.06	.55	1.50	2.25	1.07	7.91	.63	.281	7.91	.146
	26.9	14.0	38.1	57.2	27.2	200.9	16.0	7.14	200.9	3.71

ALL DIMENSIONS ARE REFERENCE

UB232R



Future Technology Devices International Ltd.

UB232R

USB Mini-B FT232R Evaluation Module

Datasheet

Document Reference No.: FT_000055

Version 1.12

Issue Date: 2010-12-07

Future Technology Devices International Ltd (FTDI)

Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park, Glasgow, G41 1HH, United Kingdom

Tel.: +44 (0) 141 429 2777 Fax: + 44 (0) 141 429 2758

E-Mail (Support): support1@ftdichip.com

Web: <http://www.ftdichip.com>

Use of FTDI devices in life support and/or safety applications is entirely at the user's risk, and the user agrees to defend, indemnify and hold harmless FTDI from any and all damages, claims, suits or expense resulting from such use.

Copyright © 2010 Future Technology Devices International Limited

1 Introduction

The UB232R is the smallest USB – serial development module in the FTDI product range. To minimise the size of the module, the UB232R uses a standard USB mini-B connector. It is ideal for new development purposes as well as a platform for adding a USB interface to existing product designs.

The UB232R is based on the FTDI FT232RQ USB to Serial UART IC which handles all the USB signalling and protocols. The FT232R datasheet, **DS_FT232R**, is available at <http://www.ftdichip.com>. The UB232R supports RTS/CTS hardware handshaking and is USB powered. The module supports data transfer rates from 300 baud to 3 Mbaud (RS422, RS485, RS232 and at TTL levels). In addition, two of the configurable CBUS pins of the FT232R are made available on the UB232R connector, allowing the UB232R to provide clock signals to external logic or they can be used to drive signal traffic indicator LEDs.

The UB232R is supplied with two 1x4 turned pin board headers with a standard 0.1" pitch. This aids rapid prototyping and development. All components used, including the FT232R are Pb-free (RoHS compliant).

The UB232R requires USB drivers, available free from <http://www.ftdichip.com>, which are used to make the FT232R on the UB232R appear as a virtual COM port (VCP). This then allows the user to communicate with the USB interface via a standard PC serial emulation port (TTY). Another FTDI USB driver, the D2XX driver, can also be used with application software to directly access the FT232R on the UB232R though a DLL. This is illustrated in the Figure 1.1

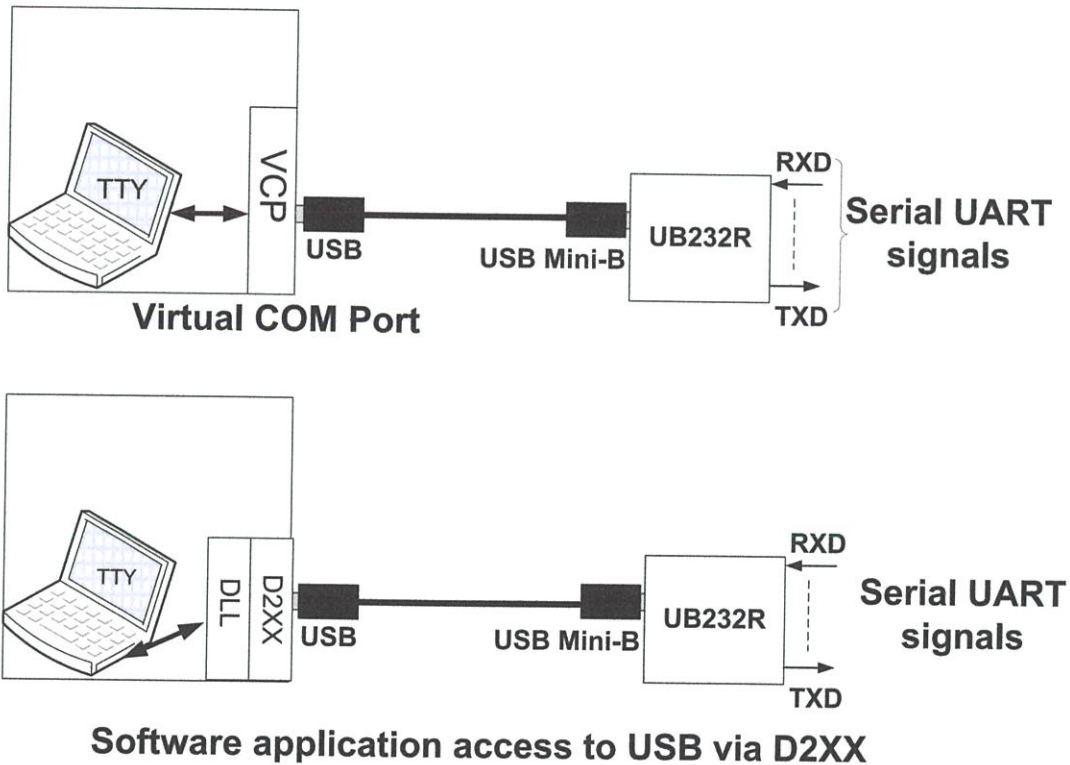


Figure 1.1 Using the UB232R

Drivers for the UB232R are available free from <http://www.ftdichip.com>.

1.1 USB Compliant

The UB232R is fully compliant with USB 2.0 specification



Table of Contents

1	Introduction	1
1.1	USB Compliant	2
2	Typical Applications	4
2.1	Driver Support	4
2.2	Features.....	4
3	Electrical Details	5
4	Mechanical details.....	6
5	Schematic Diagram	7
6	Contact Information.....	8
	Appendix A – FT232R EEPROM Configuration	10
	Appendix B – Revision History.....	11

2 Typical Applications

- Rapid USB integration into existing electronic systems.
- Prototyping platform for USB interface on new systems.
- USB Instrumentation integration.
- PCB real estate sensitive designs integrating smallest FTDI USB module available.

2.1 Driver Support

Royalty-Free VIRTUAL COM PORT (VCP) DRIVERS for:

- Windows 7 32, 64-bit
- Windows Vista
- Windows XP 64-bit
- Windows XP Embedded
- Windows 98, 98SE, ME, 2000, Server 2003, XP and Server 2008
- Windows CE.NET 4.2, 5.0 and 6.0
- MAC OS 8 / 9, OS-X
- Linux 2.4 and greater

Royalty-Free D2XX Direct Drivers (USB Drivers + DLL S/W Interface):

- Windows 7 32, 64-bit
- Windows Vista
- Windows XP 64-bit
- Windows XP Embedded.
- Windows 98, 98SE, ME, 2000, Server 2003, XP and Server 2008
- Windows CE.NET 4.2, 5.0 and 6.0
- Linux 2.4 and greater

The drivers listed above are all available to download for free from www.ftdichip.com. Various 3rd Party Drivers are also available for various other operating systems – see www.ftdichip.com for details.

2.2 Features

The UB232R has the following feature:

- Reduced development time.
- Rapid integration into existing systems.
- USB powered – no external power supply needed.
- Based on FT232RQ device.
- Entire USB protocol handled by USB module.
- Small USB Type B connector to minimise PCB real estate usage.
- Data transfer rates from 300 baud to 3 Mbaud at TTL levels
- Lower Operating (15mA) and USB suspend mode current (70µA).
- Supports FT232R FTDIChip-ID™ with a unique USB serial number.
- Support for USB suspend and resume.
- UHCI / OHCI / EHCI host controller compatible.
- USB 2.0 Full Speed compatible.
- -40°C to +85°C operating temperature range.

3 Electrical Details

The electrical details and connections to the UB232R module are shown in Figure 3.1, Table 3.1 and Table 3.2.

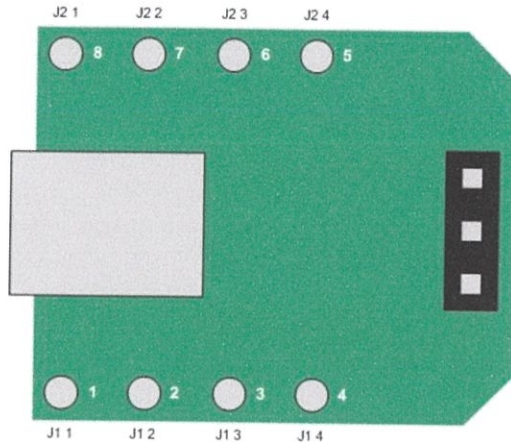


Figure 3.1 UB232R Electrical Connections (Top View)

Silkscreen Pin	Connector Pin	Name	Description
1	J1-1	GND	0V Power pin
2	J1-2	VCC	+5V Power from USB Interface
3	J1-3	CTS#	FT232R CTS pin
4	J1-4	RTS#	FT232R RTS pin
5	J2-4	CBUS1	FT232R CBUS1 pin
6	J2-3	CBUS0	FT232R CBUS0 pin
7	J2-2	RXD	FT232R RXD pin
8	J2-1	TXD	FT232R TXD pin

Table 3.1 UB232R Module Connection

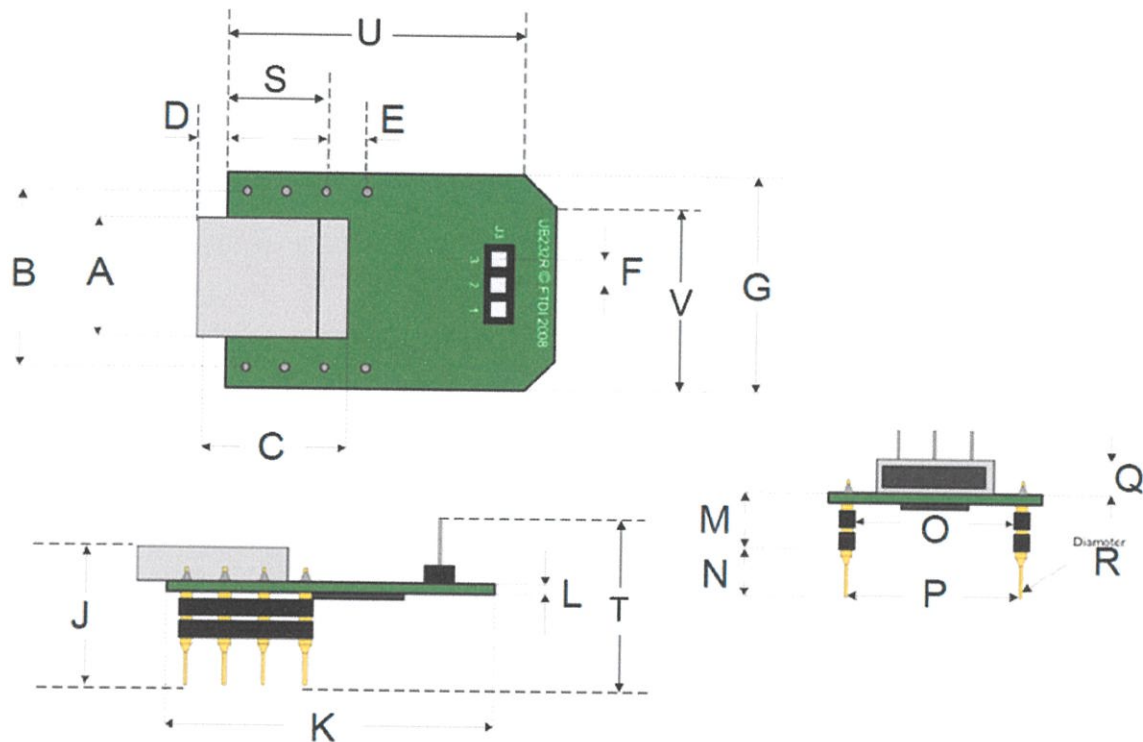
The signal output level on connectors J1 and J2 are controlled by the voltage supplied to the VCCIO pin 4 on the FT232R. The VCCIO is selected between the +5V (VCC from USB) or the output of the FT232R Low Drop Out (LDO) +3.3V regulator. The VCCIO selection is done by fitting a link on connector J3. The selection is shown in Table 3.2.

Connector J3	Function
Link 1-2 connected	VCCIO and RESET# driven connected to VCC (+5V)
Link 2-3 connected	VCCIO and RESET# driven connected to +3.3V output of FT232R LDO regulator

Table 3.2 UB232R Module VCCIO selection

4 Mechanical details

The mechanical details of the UB232R are shown in Figure 4.1:



	Dimensions (mm)		Dimensions (mm)		Dimensions (mm)		Dimensions (mm)
A	7.0 +/- 0.1	F	2.0 +/- 0.005	M	8.0 +/- 0.1	R	0.5 +/- 0.005
B	12.7 +/- 0.1	G	15.24 +/- 0.2	N	5.0 +/- 0.1	S	6.35 +/- 0.005
C	7.0 +/- 0.1	J	17.0 +/- 0.2	O	10.0 +/- 0.1	T	18.90 +/- 0.005
D	2.0 +/- 0.005	K	17.78 +/- 0.2	P	12.7 +/- 0.1	U	15.24 +/- 0.005
E	2.54 +/- 0.005	L	1.60 +/- 0.005	Q	4.0 +/- 0.1	V	12.70 +/- 0.005

Figure 4.1 UB232R Module Dimensions

Figure 4.1 UB232R Module Dimensions

5 Schematic Diagram

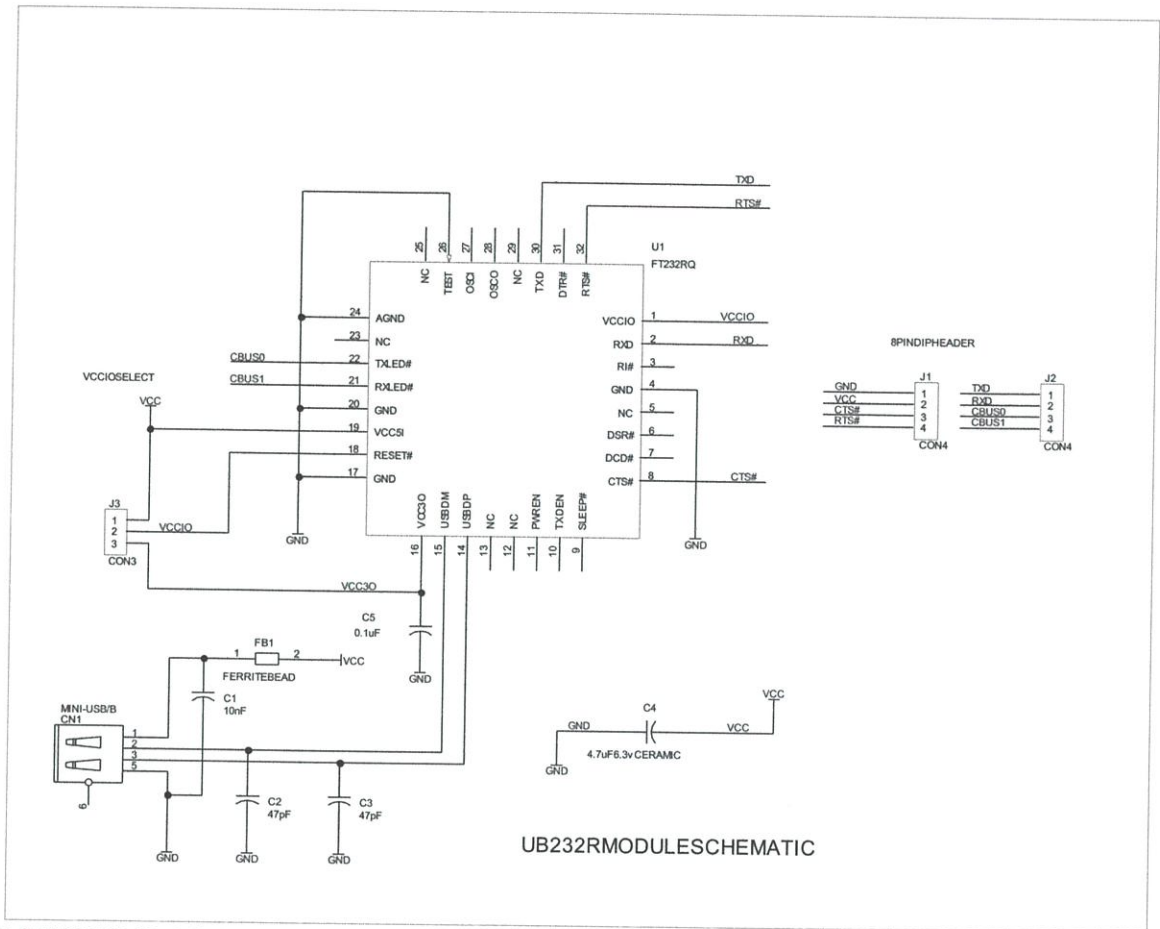


Figure 5.1 UB232R Module Schematic

6 Contact Information

Head Office – Glasgow, UK

Future Technology Devices International Limited
Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park
Glasgow G41 1HH
United Kingdom
Tel: +44 (0) 141 429 2777
Fax: +44 (0) 141 429 2758

E-mail (Sales) sales1@ftdichip.com
E-mail (Support) support1@ftdichip.com
E-mail (General Enquiries) admin1@ftdichip.com
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>
Web Shop URL <http://www.ftdichip.com>

Branch Office – Taipei, Taiwan

Future Technology Devices International Limited
(Taiwan)
2F, No. 516, Sec. 1, NeiHu Road
Taipei 114
Taiwan, R.O.C.
Tel: +886 (0) 2 8791 3570
Fax: +886 (0) 2 8791 3576

E-mail (Sales) tw.sales1@ftdichip.com
E-mail (Support) tw.support1@ftdichip.com
E-mail (General Enquiries) tw.admin1@ftdichip.com
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>

Branch Office – Hillsboro, Oregon, USA

Future Technology Devices International Limited
(USA)
7235 NW Evergreen Parkway, Suite 600
Hillsboro, OR 97123-5803
USA
Tel: +1 (503) 547 0988
Fax: +1 (503) 547 0987

E-Mail (Sales) us.sales@ftdichip.com
E-Mail (Support) us.support@ftdichip.com
E-Mail (General Enquiries) us.admin@ftdichip.com
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>

Branch Office – Shanghai, China

Future Technology Devices International Limited
(China)
Room 408, 317 Xianxia Road,
Shanghai, 200051
China
Tel: +86 21 62351596
Fax: +86 21 62351595

E-mail (Sales) cn.sales@ftdichip.com
E-mail (Support) cn.support@ftdichip.com
E-mail (General Enquiries) cn.admin@ftdichip.com
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>

Distributor and Sales Representatives

Please visit the Sales Network page of the FTDI Web site for the contact details of our distributor(s) and sales representative(s) in your country.



System and equipment manufacturers and designers are responsible to ensure that their systems, and any Future Technology Devices International Ltd (FTDI) devices incorporated in their systems, meet all applicable safety, regulatory and system-level performance requirements. All application-related information in this document (including application descriptions, suggested FTDI devices and other materials) is provided for reference only. While FTDI has taken care to assure it is accurate, this information is subject to customer confirmation, and FTDI disclaims all liability for system designs and for any applications assistance provided by FTDI. Use of FTDI devices in life support and/or safety applications is entirely at the user's risk, and the user agrees to defend, indemnify and hold harmless FTDI from any and all damages, claims, suits or expense resulting from such use. This document is subject to change without notice. No freedom to use patents or other intellectual property rights is implied by the publication of this document. Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in this document, may be adapted or reproduced in any material or electronic form without the prior written consent of the copyright holder. Future Technology Devices International Ltd, Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park, Glasgow G41 1HH, United Kingdom. Scotland Registered Company Number: SC136640

Appendix A – FT232R EEPROM Configuration

This FT232R device within the UB232R module contains an EEPROM which contains the USB configuration descriptors for that device. When the UB232R is plugged into a PC or a USB reset is performed, the PC will read these descriptors. The default values stored into the internal EEPROM are defined in Table 6.1

Parameter	Value	Notes
USB Vendor ID (VID)	0403h	FTDI default VID (hex)
USB Product UD (PID)	6001h	FTDI default PID (hex)
Serial Number Enabled?	Yes	
Serial Number	See Note	A unique serial number is generated and programmed into the EEPROM during device final test.
Pull down I/O Pins in USB Suspend	Disabled	Enabling this option will make the device pull down on the UART interface lines when the power is shut off (PWREN# is high).
Manufacturer Name	FTDI	
Product Description	UB232R	
Max Bus Power Current	90mA	
Power Source	Bus Powered	
Device Type	FT232R	
USB Version	0200	Returns USB 2.0 device description to the host. Note: The device is be a USB 2.0 Full Speed device (12Mb/s) as opposed to a USB 2.0 High Speed device (480Mb/s).
Remote Wake Up	Enabled	Taking RI# low will wake up the USB host controller from suspend.
High Current I/Os	Enabled	Enables the high drive level on the UART and CBUS I/O pins.
Load VCP Driver	Disabled	Makes the device load the VCP driver interface for the device.
Invert TXD	Disabled	Signal on this pin becomes TXD# if enable.
Invert RXD	Disabled	Signal on this pin becomes RXD# if enable.
Invert RTS#	Disabled	Signal on this pin becomes RTS if enable.
Invert CTS#	Disabled	Signal on this pin becomes CTS if enable.

Table 6.1 Default Internal EEPROM Configuration

The internal EEPROM in the FT232R can be re-programmed over USB using the utility program FT_PROG. FT_PROG can be downloaded from the www.ftdichip.com. Users who do not have their own USB Vendor ID but who would like to use a unique Product ID in their design can apply to FTDI for a free block of unique PIDs. Contact FTDI support for this service.

Appendix B – Revision History

Version 1.00	Full datasheet released	July 2008
Version 1.01	Table 3.1 (CTS# and RTS#) Corrected the pin out Contact information Update Added Windows 7 32,64 bit driver support . Added FT_PROG reference.	November 2009
Version 1.02	Edited mechanical dimensions figure 4.1 Released	January 2010 February 2010
Version 1.1	Updated contact information	April 2010
Version 1.11	Added RoHS compliant statement in section 1 Added section 1.1 USB compliant Logo	July 2010
Version 1.12	Edited mechanical dimensions figure 4.1 Added dimension S, T, U and V Updated the disclaimer	Dec 2010

chipKIT™ Max32™ Board

chipKIT™ Max32™ Board Reference Manual

Revision: July 25, 2011



1300 NE Henley Court, Suite 3
Pullman, WA 99163
(509) 334 6306 Voice | (509) 334 6300 Fax

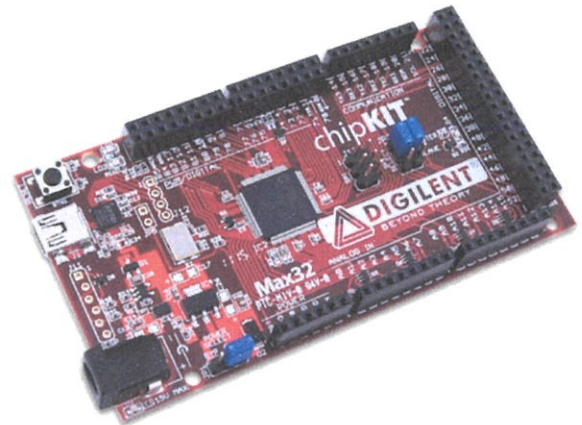
Overview

The chipKIT Max32 is a microcontroller board based on the Microchip PIC32MX795F512L, a member of the 32-bit PIC32 microcontroller family. The chipKIT boards are compatible with the popular Arduino™ microcontroller board shields.

The Max32 is designed to be easy to use and suitable for use by anyone from beginners to advanced users for experimenting with electronics and embedded control systems. The Max32 is intended to be used with the Multi-Platform IDE, (modified Arduino IDE), MPIDE, and contains everything needed to start developing embedded applications.

The Max32 provides 83 I/O pins that support a number of peripheral functions, such as UART, SPI and I²C™ ports and pulse width modulated outputs. Sixteen of the I/O pins can be used as analog inputs or as digital inputs and outputs. The PIC32 microcontroller on the Max32 also provides a 10/100 Ethernet MAC, USB 2.0 Full Speed OTG controller, and two CAN controllers. Use of these advanced peripherals requires an add-on board (for example the Digiilent Network Shield) to provide the additional hardware required.

The Max32 can be powered via USB, an external AC-DC power adapter, or batteries.



Specifications:

Microcontroller: PIC32MX795F512L

Flash Memory: 512K

RAM Memory: 128K

Operating Voltage: 3.3V

Operating Frequency: 80Mhz

Typical operating current: 90mA

Input Voltage (recommended): 7V to 15V

Input Voltage (maximum): 20V

I/O Pins: 83 total

Analog Inputs: 16

Analog input voltage range: 0V to 3.3V

DC Current per pin: +/-18mA

Advanced peripherals:

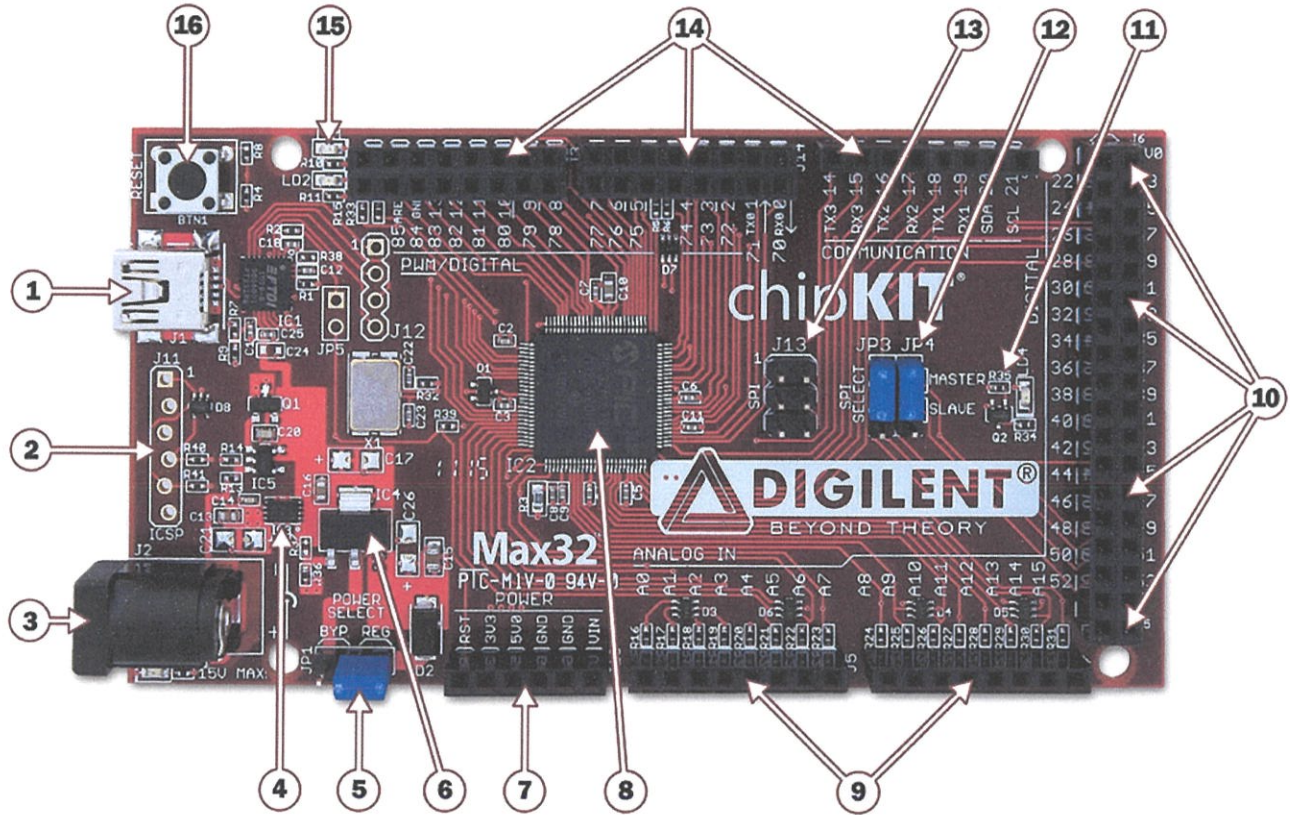
10/100 Ethernet MAC

USB 2.0 Full Speed OTG controller

2 CAN controllers.

chipKIT Max32 Hardware Overview

The Max32 board provides the following hardware features:



1) USB Connector for USB Serial Converter

This connects to a USB port on the PC to provide the communications port used by the MPIDE to talk to the Max32 board. This can also be used to power the Max32 board when connected to the PC.

2) J11 – Microchip Debug Tool Connector

This connector is used to connect Microchip programmer/debugger tools, such as the PICkit™3. This allows the Max32 board to be used as a traditional microcontroller development board using the Microchip MPLAB® IDE.

3) J2 – External Power Connector

This is used to power the Max32 board from an external power supply. This is a 5.5mm x 2.1mm barrel connector. It is wired with the center terminal as the positive supply voltage. The power supply voltage must be in the range 7V to 15V.

4) Power Supply – 3.3V regulator

Voltage regulator for the 3.3V power supply. This power supply can provide up to 500mA of current.

5) JP1 – Power Select Jumper

This jumper is used to route power from the external power connector through the on-board 5V voltage regulator or to bypass the 5V regulator. The REG position routes power through the 5V regulator. The BYP position bypasses the on-board 5V regulator. With this jumper in the BYP position the maximum input voltage that can be applied at the external power connector is 6V.

6) Power Supply – 5V regulator

On-Board 5V voltage regulator. This regulates the input voltage applied at the external power connector to 5V. This is used to power the 3.3V regulator and to provide 5V power to shields. This regulator can provide up to 800mA of current.

7) J2 – Shield Power Connector

This connector provides power to I/O expansion shields connected to the board.

8) PIC32 Microcontroller

This is the PIC32MX795F512L microcontroller that is the main processor for the board.

9) J5, J7 – Analog Signal Connectors

These connectors provides access to analog/digital I/O pins on the microcontroller.

10) J6, J8, J9, J15 – Digital Signal and Power Connectors

These are shown as four connectors in the Max32 schematic. There is a single connector loaded across all four when the board is assembled. These provide 5V power, ground, and access to digital I/O pins on the microcontroller to shields connected to the board.

11) User LED

An LED connected to digital signal pin 13.

12) JP3/JP4 – SPI Master/Slave Select Jumpers

These jumpers are used to switch the SPI signals for use of the Max32 board as an SPI master device or as an SPI slave device. Both jumpers should be switched together. Place the shorting blocks in the MASTER position for master operation and in the SLAVE position for slave operation. Normally, these jumpers are in the MASTER position.

13) J13 – SPI Signal Connector

This connector provides alternative access to the SPI signals. This is used by some shields for access to the SPI bus.

14) J3, J4, J14 – Digital Signal Connectors

These connectors provides access to digital I/O pins on the microcontroller.

15) Communications Status LEDs

These LEDs indicate activity on the USB serial interface.

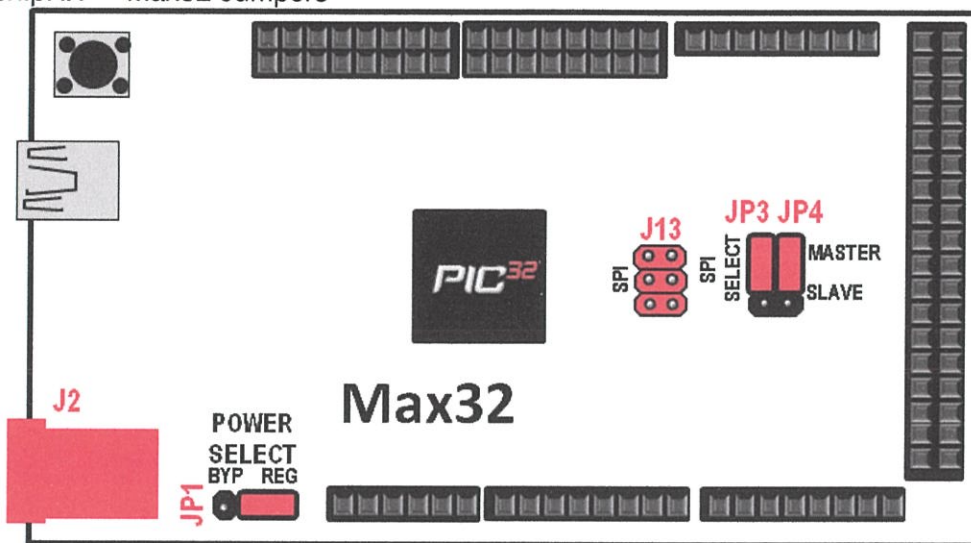
16) Reset Button

This button can be used to reset the microcontroller, restarting operation from the boot loader.

chipKIT Max32 Jumper Settings

The chipKIT™ Development Platforms use a Microchip PIC32 Microcontroller. These are 32-bit products that bring unprecedented features to the Arduino™ community. In order to maintain compatibility with existing hardware/software while maintaining user accessibility to these advanced features, additional jumpers and row headers are provided. This document describes the functionality of the jumpers listed in figure 1.

Figure 1: chipKIT™ Max32 Jumpers



Jumper	Function
JP1	<p>POWER SELECT: Used to connect/bypass on-board 5V regulator when using a power supply connected to J2</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>POWER SELECT BYP REG</p> <p>J4 supply is regulated (i.e. 5V will be present on 5V pin)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>POWER SELECT BYP REG</p> <p>J4 supply bypasses regulator (i.e. Supply voltage will be present on 5V pin)</p> </div> </div> <p><i>Note: A 3.3V on-board regulator will always be enabled regardless of JP1 settings to protect the PIC32 MCU</i></p> <p><i>Not sure what this does? Play it safe and keep JP1 on the two right-most pins. (i.e. J2 supply is regulated)</i></p>
JP3/JP4	<p>SPI SELECT: Used to configure the chipKIT™ as either a Master or Slave when using the SPI (Serial Peripheral Interface). The chipKIT™ board can be connected to another device or even another chipKIT™ through the SPI connector (J13).</p>






chipKIT™ configured as a SPI Master



chipKIT™ configured as a SPI Slave



For more information on SPI, please visit Wikipedia's SPI page at:
http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus#Mode_Numbers

chipKIT Max32 Hardware Description

MPIDE and USB Serial Communications

The Max32 board is designed to be used with the Multi-Platform IDE (MPIDE). The MPIDE development platform was produced by modifying the Arduino™ IDE and is fully backward compatible with the Arduino IDE.

The MPIDE uses a serial communications port to communicate with a boot loader running in the Max32 board. The serial port on the Max32 board is implemented using an FTDI FT232R USB serial converter. Before attempting to use the MPIDE to communicate with the Max32, the appropriate USB device driver must be installed.

The Max32 board uses a standard mini-USB connector for connection to a USB port on the PC.

When the MPIDE needs to communicate with the Max32 board, the board is reset and starts running the boot loader. The MPIDE then establishes communications with the boot loader and downloads the program to the board.

When the MPIDE opens the serial communications connection on the PC, the DTR pin on the FT232R chip is driven low. This pin is coupled through a capacitor to the MCLR pin on the PIC32 microcontroller. Driving the MCLR line low resets the microcontroller, restarting execution with the boot loader.

This automatic reset action when the serial communications connection is opened can be disabled. To disable this operation, there is a cut-able trace on the bottom of the board between the pins of JP5. JP5 is normally not loaded. If the trace between the pins on JP5 has been cut, the automatic reset operation can be restored by loading JP5 and inserting a shorting block across it.

Two red LEDs (LD1 and LD2) will blink when data is being sent or received between the Max32 and the PC over the serial connection.

The header connector J12 provides access to the other serial handshaking signals provided by the FT232R. Connector J12 is not loaded at the factory and can be loaded by the user to access these signals.

Power Supply

The Max32 is designed to be powered either from USB or from an external power supply. There is an automatic switchover circuit that causes the external supply to be used if both supplies are present.

The power supply section in the Max32 uses two voltage regulators. The first regulates the external voltage to 5V to power the VCC5V0 bus. The second regulates the VCC5V0 bus to 3.3V to provide power to the VCC3V3 bus that powers the PIC32 microcontroller.

The 5V voltage regulator is normally an NCP1117. The board is designed to be able to also use an LM1117, but the NCP1117 is the part normally used. The NCP1117 is rated for an output current of 1A (the LM1117 is rated for 800mA). The dropout voltage of the NCP1117 is a maximum of 1.2V at the rated output current (1.3V for the LM1117). There is a reverse polarity protection diode in the external power supply circuit. Considering the diode drop plus the forward drop across the regulator, the minimum input voltage to the regulator should be 7V to produce a reliable 5V output. The absolute maximum input voltage of both the NCP1117 and the LM1117 is 20V. The recommended maximum operating voltage is 15V. For input voltages above 9V, the regulator will get extremely hot when drawing high currents. Both the NCP1117 and the LM1117 have output short circuit protection and internal thermal protection and will shut down automatically to prevent damage.

The 3.3V regulator is a Microchip MCP1725. This regulator is rated for a maximum output current of 500mA. The absolute maximum input voltage for the MCP1725 is 6V. This regulator has internal short circuit protection and thermal protection. It will get noticeably warm when the current consumed by the VCC3V3 bus is close to the 500mA maximum.

The 5V power bus, VCC5V0 can be powered from one of three sources: 1) The USB5V0 bus when the board is operating under USB power; 2) The output of the on-board 5V regulator when operating from an external 7V – 15V supply; or 3) Directly from the external supply when operating from a regulated 5V external supply and jumper JP1 is in the BYP position.

Switchover from USB power to external power is done automatically and the external supply will be used if both are present.

Jumper JP1 is used to route the external power supply voltage through the on-board 5V regulator or directly to the VCC5V0 bus, bypassing the on-board 5V regulator. Normally, JP1 should be in the REG position. This routes the external supply through the 5V regulator. Operation from an externally regulated 5V supply is provided by placing the jumper in the BYP position.

The forward drop across the MCP1725 is typically 210mV (350mV max) at 500mA output. With JP1 in the BYP position, this will allow correct operation of the 3.3V power supply from an input voltage down to 3.5V. This allows powering the board from batteries and other lower voltage power sources. In this case, the VCC5V0 power bus will not be powered at 5V.

NOTE: It is extremely important to observe the MCP1725 maximum input voltage rating of 6V when JP1 is in the BYP position. Applying more than 6V to the external power input with the jumper in the BYP position can destroy the 3.3V regulator and possibly the PIC32 microcontroller as well.

The PIC32 microcontroller is rated to use a maximum of 98mA of current when operating at 80Mhz. This allows up to ~400mA from the VCC3V3 bus and up to 700mA from the VCC5V0 bus to power external devices.

The POWER connector, J10, is used to provide power to shields connected to the Max32 board. The following pins are provided on this connector:

P32_MCLR (pin 1): This connects to the MCLR pin on the PIC32 microcontroller and can be used to reset the PIC32.

VCC3V3 (pin 2): This routes the 3.3V power bus to shields. This pin can provide ~400mA.

VCC5V0 (pin 3): This routes the 5V power bus to shields. This pin can provide up to ~700mA to shields, however the total provided by pins 2 and 3 shouldn't exceed 800mA.

GND (pin 4, 5): This provides a common ground connection between the Max32 and the shields.

VIN (pin 6): This connects to the voltage provided at the external power supply connector. This can be used to provide unregulated input power to the shield. It can also be used to power the Max32 board from the shield instead of from the external power connector.

5V Compatibility

The PIC32 microcontroller operates at 3.3V. The original Arduino boards operate at 5V, and many Arduino shields are designed to operate at 5V.

There are two issues to consider when dealing with 5V compatibility for 3.3V logic. The first is protection of 3.3V inputs from damage caused by 5V signals. The second is whether the 3.3V output is high enough to be recognized as a logic high value by a 5V input.

The digital I/O pins on the PIC32 microcontroller are 5V tolerant. The analog capable I/O pins are not 5V tolerant. To

provide 5V tolerance on those pins, the Max32 contains clamp diodes and current limiting resistors to protect them from 5V input voltages.

The fact that all I/O pins are 5V tolerant means that it is safe to apply 5V logic levels to any pins on the board without risk of damaging the PIC32 microcontroller.

The minimum output high voltage of the PIC32 microcontroller is rated at 2.4V when sourcing 12mA of current. When driving a high impedance input (typical of CMOS logic) the output high voltage will be close to 3.3V. Some 5V devices will recognize this voltage as a logic high input, and some won't. Many 5V logic devices will work reliably with 3.3V inputs.

Input/Output Connections

The Max32 board provides 83 of the I/O pins from the PIC32 microcontroller to pins on the input/output connectors, J3, J4, J5, J7, J8, J9, and J14.

The PIC32 microcontroller can source or sink a maximum of 18mA on all digital I/O pins. However, to keep the output voltage within the specified voltage range (V_{OL} 0.4V, V_{OH} 2.4V) the pin current must be restricted to +/-12mA. The maximum current that can be sourced or sunk across all I/O pins simultaneously is +/-200mA. The maximum voltage that can be applied to any I/O pin is 5.5V. For more detailed specifications, refer to the PIC32MX5XX/6XX/7XX Data Sheet available from the Microchip web site.

Connectors J3, J8, J9, and J14 are 2x8 female pin header connectors that provide digital I/O signals. Connector J4 is a 1x8 female pin header that provides digital I/O signals. Connectors J5 and J7 are 1x8 female pin headers that provide analog inputs as well as digital I/O signals.

Connectors J6 and J15 are two-pin headers that provide power and ground to shield boards. J6 provides two pins connected to the

VCC5V0 bus and J15 provides two pins connected to GND.

Note, that although J6, J8, J9 and J15 are shown as separate connectors on the schematic, a single connector part is loaded across all of them when the board is manufactured.

On connectors J3 and J14, the outer row (closer to the board edge) of pins corresponds to the I/O connector pins on an Arduino Mega or Mega 2560 board. The inner row of pins provides access to the extra I/O signals provided by the PIC32 microcontroller.

The chipKIT/Arduino system uses logical pin numbers to identify digital I/O pins on the connectors. The logical pin numbers for the I/O pins on the Max32 are 0 – 85. These pin numbers are labeled in the silk screen on the board.

The analog inputs on connectors J5 and J7 are also assigned digital pin numbers. Pins A0 – A7 on connector J5 are digital pins 54 – 61, and pins A8 – A15 on connector J5 are digital pins 62 – 69.

Pin numbers 70 – 85 are on the inner rows of connectors J14 and J3.

Peripheral I/O Functions

The PIC32 microcontroller on the Max32 board provides a number of peripheral functions. The following peripherals are provided:

UART port 0: Asynchronous serial port. Pin 0 (RX0), Pin 1 (TX0). These pins are connected to I/O connector J14 and are also connected to the FT232R USB serial converter. It is possible to use these pins to connect to an external serial device when not using the USB serial interface. This uses UART1A (U1ARX, U1ATX) in the PIC32 microcontroller.

UART port 1: Asynchronous serial port. Pin 19 (RX1), Pin 18 (TX1). This uses UART1B (U1BRX, U1BTX) in the PIC32 microcontroller.

UART port 2: Asynchronous serial port. Pin 17 (RX2), Pin 16 (TX2). This uses UART3A (U3ARX, U3ATX) in the PIC32 microcontroller.

UART port 3: Asynchronous serial port. Pin 15 (RX3, Pin 14 (TX3). This uses UART3B (U3BRX, U3BTx) in the PIC32 microcontroller.

SPI: Synchronous serial port. Pin 53 (SS), Pin 51 (MOSI), Pin 50 (MISO), Pin 52 (SCK). These signals also appear on connector J13. Jumpers JP3 and JP4 are used to select whether the Max32 operates as a Master (transmit on MOSI, receive on MISO) or a Slave (transmit on MISO, receive on MOSI) device. The shorting blocks on JP3 and JP4 are normally placed in the Master position for the Max32 to function as an SPI master. This uses SPI2A (SS2A, SDI2A, SDO2A, SCK2A) in the PIC32 microcontroller.

I²C: Synchronous serial interface. Pin 21 (SCL), Pin 20 (SDA). This uses I2C1 (SDA1, SCL1) in the PIC32 microcontroller.

Note: The I²C bus uses open collector drivers to allow multiple devices to drive the bus signals. This means that pull-up resistors must be provided to supply the logic high state for the signals. These pull-up resistors are not on the Max32 board and must be provided externally. The resistance of the pull-up resistor to use depends on the total number of devices on the bus, the length of wire, and the clock speed being used. It essentially depends on distributed capacitance on the bus. The higher the distributed capacitance and the faster the clock speed, the smaller the resistance should be. Values typically used are in the range of 2K to 10K ohms.

PWM: Pulse width modulated output. Pins 3 (OC1), 5 (OC2), 6 (OC3), 9 (OC4), and 10 (OC5).

External Interrupts: Pin 3 (INT0), Pin 2 (INT1), Pin 7 (INT2), Pin 21 (INT3), Pin 20 (INT4)

User LED: Pin 13 (LD4). Pin 13 is shared between a connector pin and the LED. Driving the pin high turns the LED on, driving it low turns it off.

A/D Converter Reference: Labeled A, the left-most outer pin on connector J3. This is used to provide an external voltage reference to determine the input voltage range of the analog pins. The maximum voltage that can be applied to this pin is 3.3V. Note that this signal is duplicated on connector J8 and corresponds to digital I/O pin 44. If the A pin is being used as an analog reference, then pin 44 is not useable.

RTCC: Real Time Clock Calendar. The PIC32 microcontroller contains an RTCC circuit that can be used to maintain time and date information. The operation of the RTCC requires a 32.768Khz frequency source. Pin 75 (SOSCI) is the clock input for the RTCC. A 32.768Khz oscillator should be connected to this pin to allow use of the RTCC.

RESET: A reset button is at the upper left corner of the board. Pressing this button will reset the PIC32 microcontroller.

Advanced Peripheral Devices

The PIC32MX795F512L microcontroller on the Max32 board has several peripheral devices for advanced communications capabilities. These peripheral devices require additional hardware that isn't provided on the Max32 board in order to function. This additional hardware must be provided by a shield board (such as the Digiilent chipKIT Network Shield) connected to the Max32.

These advanced peripheral functions make use of various I/O pins for their operation. Most of the I/O pins used by the advanced peripheral devices are located on connectors J8 and J9. When these pins are being used by the advanced peripheral functions they are not available for other uses.

USB: The USB OTG controller allows using the Max32 board to implement a USB device, USB host or USB OTG host/device. The following pins are used by the USB interface: Pin 27 (D+), Pin 26 (D-), Pin 25 (USBID), Pin 24 (VBUS).

Pin 24 (VBUS) can be used by a self powered USB device to monitor the presence of bus voltage on the USB bus. This pin on the PIC32 microcontroller is an analog input pin used by the USB controller, and is not useable as a user I/O pin even when not using the USB controller.

10/100 Ethernet MAC: The Ethernet MAC requires an external PHY to complete the implementation of an Ethernet network port. The Ethernet MAC constructs the digital format of packets being sent and performs the checking and buffering of packets being received. The PHY provides the physical interface and translates the digital signals used by the MAC into the analog voltages used on the Ethernet cable.

There are two common interfaces used between an Ethernet MAC and the PHY: MII and RMII. The MAC in the PIC32 supports either interface, but the Max32 board is designed to use the RMII interface.

The RMII Ethernet PHY interface uses the following pins: Pin 53 (EREFCLK), Pin 49 (EMDC), Pin 48 (EMDIO), Pin 47 (ETXEN), Pin 46 (ETXD0), 45 (ETXD1), Pin 43 (ECRSDV), Pin 42 (ERXD0), Pin 41 (ERXD1), Pin 40 (ERXERR), and Pin 7 (NRST).

CAN1, CAN2: The CAN controllers allow the Max32 to participate in one or two CAN (Controller Area Network) networks. CAN is a networking standard that was developed for use in the automotive industry and is now also use in building automation and other industrial applications. The CAN controllers in the PIC32 microcontroller require external CAN transceivers to connect to the network wiring.

The CAN1 interface uses the following pins: Pin 15 (AC1RX), Pin 14 (AC1TX). Note that these pins are also used by UART3.

The CAN2 interface uses the following pins: Pin 23 (AC2RX), Pin 21 (AC2TX).

The PIC32 microcontroller is designed to allow one of two sets of pins to be used by the CAN controllers to connect to the transceivers. The Max32 board is designed to use the alternate sets of pins.

Microchip Development Tool Compatibility

In addition to being used with the MPIDE, the Max32 board can be used as a more traditional microcontroller development board using Microchip Development Tools.

Unloaded connector J11 on the left side of the board is used to connect to a Microchip development tool, such as the PICKit™3. The holes for JP3 are staggered so that a standard, 100mil spaced, 6-pin header can be press fit to the board without the need to solder it in place. Any Microchip development tool that supports the PIC32 microcontroller family, and can be connected via the same 6-pin interface as the PICKit3 can be used.

Typically, a right angle male connector will be used in J11 so that a PICKit3 can be attached coplanar with the Max32 board. If the connector is loaded from the top, the PICKit3 will be upright (button and LEDs visible). Alternatively, the connector can be loaded from the bottom. In this case, the PICKit3 will be upside down.

If J11 is loaded from the top, the PICKit3 will interfere with the USB connector and the external power connector. A short six-wire cable can be used between the PICKit3 and the Max32. If J11 is loaded from the bottom, the PICKit3 won't interfere with the USB and external power connectors.

Digilent has a kit available (PICkit3 Programming Cable Kit) that includes all necessary connectors and cable for connecting a PICkit3 to the Max32.

The Microchip MPLAB[®] IDE or the MPLAB[®] X IDE can be used to program and debug code running on the Max32 board. These programs can be downloaded from the Microchip web site.

Using the Microchip development tools to program the Max32 board will cause the boot loader to be erased. To use the board with the MPIDE again, it is necessary to program the boot loader back onto the board. The boot loader source code and compiled image can be found in the MPIDE software download.

chipKIT™ Max32™ Board Reference Manual

Revision: July 25, 2011



1300 NE Henley Court, Suite 3
Pullman, WA 99163
(509) 334 6306 Voice | (509) 334 6300 Fax

Pinout Table by Logical Pin Number

chipKIT Pin #	Connector Pin #	PIC32 Pin	PIC32 Signal	Notes
0	J14-01	52	SDA1A/SDI1A/U1ARX/RF2	
1	J14-03	53	SCL1A/SDO1A/U1ATX/RF8	
2	J14-05	18	AERXD0/INT1/RE8	
3	J14-07	72	SDO1/OC1/INT0/RD0	
4	J14-09	74	SOSCO/T1CK/CN0/RC14	
5	J14-11	76	OC2/RD1	
6	J14-13	77	OC3/RD2	
7	J14-15	19	AERXD1/INT2/RE9	
8	J3-01	79	ETXD2/IC5/PMD12/RD12	
9	J3-03	78	OC4/RD3	
10	J3-05	81	OC5/PMWR/CN13/RD4	
11	J3-07	9	T5CK/SDI1/RC4	
12	J3-09	58	SCL2/RA2	
13	J3-11	59	SDA2/RA3	
14	J4-08	39	AC1TX/SCK3A/U3BTX/U3ARTS/RF13	
15	J4-07	40	AC1RX/SS3A/U3BRX/U3ACTS/RF12	
16	J4-06	50	SCL3A/SDO3A/U3ATX/PMA8/CN18/RF5	
17	J4-05	49	SDA3A/SDI3A/U3ARX/PMA9/CN17/RF4	
18	J4-04	48	AETXD1/SCK1A/U1BTX/U1ARTS/CN21/RD15	
19	J4-03	47	AETXD0/SS1A/U1BRX/U1ACTS/CN20/RD14	
20	J4-02	67	AETXEN/SDA1/INT4/RA15	
21	J4-01	66	AETXCLK/SCL1/INT3/RA14	
22	J9-16	7	T3CK/AC2TX/RC2	

23	J9-15	8	T4CK/AC2RX/RC3	
24	J9-14	54	VBUS	
25	J9-13	51	USBID/RF3	
26	J9-12	56	D-/RG3	
27	J9-11	57	D+/RG2	
28	J9-10	1	AERXERR/RG15	
29	J9-09	11	ECRX/SDA2/SDI2A/U2ARX/PMA4/CN9/RG7	
30	J9-08	5	PMD7/RE7	
31	J9-07	4	PMD6/RE6	
32	J9-06	3	PMD5/RE5	
33	J9-05	100	PMD4/RE4	
34	J9-04	99	PMD3/RE3	
35	J9-03	98	PMD2/RE2	
36	J9-02	94	PMD1/RE1	
37	J9-01	93	PMD0/RE0	
38	J8-16	70	SCK1/IC3/PMCS2/PMA15/RD10	
39	J8-15	82	PMRD/CN14/RD5	
40	J8-14	35	AN11/EREXERR/AETXERR/PMA12/RB11	Also J7-04(65)
41	J8-13	42	AN13/ERXD1/AECOL/PMA10/RB13	Also J7-06(66)
42	J8-12	41	AN12/ERXD0/AECRS/PMA11/RB12	Also J7-05(67)
43	J8-11	12	ERXDV/AERXDV/ECRS DV/AECRS DV/SCL2A/SDO2A/U2ATX/PMA3/CN10/RG8	Also JP3,JP4
44	J8-10	29	VREF+/CVREF+/AERXD3/PMA6/RA10	also J3-15
45	J8-09	87	C1RX/ETXD1/PMD11/RF0	
46	J8-08	88	C1TX/ETXD0/RMD10/RF1	
47	J8-07	83	ETXEN/PMD14/CN15/RD6	
48	J8-06	68	RTCC/EMDIO/AEMDIO/IC1/RD8	
49	J8-05	71	EMDC/AEMDC/IC4/PMCS1/PMA14/RD11	
50	J8-04	11	ECRX/SDA2/SDI2A/U2ARX/PMA4/CN9/RG7	Also JP3,JP4
51	J8-03	12	ERXDV/AERXDV/ECRS DV/AECRS DV/SCL2A/SDO2A/U2ATX/PMA3/CN10/RG8	Also JP3,JP4
52	J8-02	10	ECOL/SCK2A/U2BTX/U2ARTS/PMA5/CN8/RG6	Also J13-03

53	J8-01	14	ERXCLK/AERXCLK/EREFCLK/AEREFCLK/SS2A/U2BRX/U2ACTS/PMA2/CN11/RG9	Also J13-05
54	J5-01	25	PGED1/AN0/CN2/RB0	Also A0
55	J5-02	24	PGEC1/AN1/CN3/RB1	Also A1
56	J5-03	23	AN2/C2IN-/CN4/RB2	Also A2
57	J5-04	22	AN3/C2IN+/CN5/RB3	Also A3
58	J5-05	21	AN4/C1IN-/CN6/RB4	Also A4
59	J5-06	20	AN5/C1IN+/VBUSON/CN7/RB5	Also A5
60	J5-7	26	PGEC2/AN6/OCFA/RB6	Also A6
61	J5-8	27	PGED2/AN7/RB7	Also A7
62	J7-01	32	AN8/C1OUT/RB8	Also A8
63	J7-02	33	AN9/C2OUT/RB9	Also A9
64	J7-03	34	AN10/CVREFOUT/PMA13/RB10	Also A10
65	J7-04	35	AN11/EREXERR/AETXERR/PMA12/RB11	Also A11,J8-14(40)
66	J7-06	42	AN13/ERXD1/AECOL/PMA10/RB13	Also A12,J8-13(41)
67	J7-05	41	AN12/ERXD0/AECRS/PMA11/RB12	Also A13,J8-12(42)
68	J7-07	43	AN14/ERXD2/AETXD3/PMALH/PMA1/RB14	Also A14
69	J7-08	44	AN15/ERXD3/AETXD2/OCFB/PMALL/PMA0/CN12/RB15	Also A15
70	J14-02	17	TMS/RA0	
71	J14-04	38	TCK/RA1	
72	J14-06	60	TDI/RA4	
73	J14-08	61	TDO/RA5	
74	J14-10	69	SS1/IC2/RD9	
75	J14-12	73	SOSCI/CN1/RC13	
76	J14-14	80	ETXD3/PMD13/CN19/RD13	
77	J14-16	84	ETXCLK/PMD15/CN16/RD7	
78	J3-02	89	C2TX/ETXERR/PMD9/RG1	
79	J3-04	90	C2RX/PMD8/RG0	
80	J3-06	91	TRCLK/RA6	
81	J3-08	92	TRD3/RA7	
82	J3-10	95	TRD2/RG14	

83	J3-12	96	TRD1/RG12	
84	J3-14	97	TRD0/RG13	
85	J3-16	28	VREF-/CVREF0/AERXD2/PMA7/RA9	

Pinout Table by Connector Pin

Connector Pin #	chipKIT Pin #	PIC32 Pin	PIC32 Signal	Notes
J03-01	8	79	ETXD2/IC5/PMD12/RD12	
J03-02	78	89	C2TX/ETXERR/PMD9/RG1	
J03-03	9	78	OC4/RD3	
J03-04	79	90	C2RX/PMD8/RG0	
J03-05	10	81	OC5/PMWR/CN13/RD4	
J03-06	80	91	TRCLK/RA6	
J03-07	11	9	T5CK/SDI1/RC4	
J03-08	81	92	TRD3/RA7	
J03-09	12	58	SCL2/RA2	
J03-10	82	95	TRD2/RG14	
J03-11	13	59	SDA2/RA3	
J03-12	83	96	TRD1/RG12	
J03-13			GND	
J03-14	84	97	TRD0/RG13	
J03-15	44	29	VREF+/CVREF+/AERXD3/PMA6/RA10	AREF
J03-16	85	28	VREF-/CVREF0/AERXD2/PMA7/RA9	
J04-01	21	66	AETXCLK/SCL1/INT3/RA14	
J04-02	20	67	AETXEN/SDA1/INT4/RA15	
J04-03	19	47	AETXD0/SS1A/U1BRX/U1ACTS/CN20/RD14	
J04-04	18	48	AETXD1/SCK1A/U1BTX/U1ARTS/CN21/RD15	
J04-05	17	49	SDA3A/SDI3A/U3ARX/PMA9/CN17/RF4	
J04-06	16	50	SCL3A/SDO3A/U3ATX/PMA8/CN18/RF5	
J04-07	15	40	AC1RX/SS3A/U3BRX/U3ACTS/RF12	
J04-08	14	39	AC1TX/SCK3A/U3BTX/U3ARTS/RF13	
J05-01	54	25	PGED1/AN0/CN2/RB0	Also A0
J05-02	55	24	PGEC1/AN1/CN3/RB1	Also A1
J05-03	56	23	AN2/C2IN-/CN4/RB2	Also A2

J05-04	57	22	AN3/C2IN+/CN5/RB3	Also A3
J05-05	58	21	AN4/C1IN-/CN6/RB4	Also A4
J05-06	59	20	AN5/C1IN+/VBUSON/CN7/RB5	Also A5
J05-07	60	26	PGEC2/AN6/OCFA/RB6	Also A6
J05-08	61	27	PGED2/AN7/RB7	Also A7
J07-01	62	32	AN8/C1OUT/RB8	Also A8
J07-02	63	33	AN9/C2OUT/RB9	Also A9
J07-03	64	34	AN10/CVREFOUT/PMA13/RB10	Also A10
J07-04	65	35	AN11/EREXERR/AETXERR/PMA12/RB11	Also A11, J08-14
J07-05	67	41	AN12/ERXD0/AECRS/PMA11/RB12	Also A12,42,J08-12
J07-06	66	42	AN13/ERXD1/AECOL/PMA10/RB13	Also A13, J08-13
J07-07	68	43	AN14/ERXD2/AETXD3/PMALH/PMA1/RB14	Also A14
J07-08	69	44	AN15/ERXD3/AETXD2/OCFB/PMALL/PMA0/CN12/RB15	Also A15
J08-01	53	14	ERXCLK/AERXCLK/EREFCLK/AEREFCLK/SS2A/U2BRX/U2ACTS/PMA2/CN11/RG9	Also J13-05
J08-02	52	10	ECOL/SCK2A/U2BTX/U2ARTS/PMA5/CN8/RG6	Also J13-03
J08-03	51	11	ECRX/SDA2/SDI2A/U2ARX/PMA4/CN9/RG7	Also JP3,JP4
J08-04	50	12	ERXDV/AERXDV/ECRS/DV/AECRS/DV/SCL2A/SDO2A/U2ATX/PMA3/CN10/RG8	Also JP3, JP4, J08-11
J08-05	49	71	EMDC/AEMDC/IC4/PMCS1/PMA14/RD11	
J08-06	48	68	RTCC/EMDIO/AEMDIO/IC1/RD8	
J08-07	47	83	ETXEN/PMD14/CN15/RD6	
J08-08	46	88	C1TX/ETXD0/RMD10/RF1	
J08-09	45	87	C1RX/ETXD1/PMD11/RF0	
J08-10	44	29	VREF+/CVREF+/AERXD3/PMA6/RA10	
J08-11	43	12	ERXDV/AERXDV/ECRS/DV/AECRS/DV/SCL2A/SDO2A/U2ATX/PMA3/CN10/RG8	Also JP3, JP4, J03-15
J08-15	39	82	PMRD/CN14/RD5	
J08-16	38	70	SCK1/IC3/PMCS2/PMA15/RD10	
J09-01	37	93	PMD0/RE0	
J09-02	36	94	PMD1/RE1	
J09-03	35	98	PMD2/RE2	
J09-04	34	99	PMD3/RE3	

J09-05	33	100	PMD4/RE4	
J09-06	32	3	PMD5/RE5	
J09-07	31	4	PMD6/RE6	
J09-08	30	5	PMD7/RE7	
J09-09	29	11	ECRX/SDA2/SDI2A/U2ARX/PMA4/CN9/RG7	
J09-10	28	1	AERXERR/RG15	Also JP3, JP4
J09-11	27	57	D+/RG2	
J09-12	26	56	D-/RG3	
J09-13	25	51	USBID/RF3	
J09-14	24	54	VBUS (note useable as I/O)	
J09-15	23	8	T4CK/AC2RX/RC3	
J09-16	22	7	T3CK/AC2TX/RC2	
J10-01		13	MCLR	
J10-02			VCC3V3	
J10-03			VCC5V0	
J10-04			GND	
J10-05			GND	
J10-06			VIN (external supply voltage)	
J14-01	0	52	SDA1A/SDI1A/U1ARX/RF2	
J14-02	70	17	TMS/RA0	
J14-03	1	53	SCL1A/SDO1A/U1ATX/RF8	
J14-04	71	38	TCK/RA1	
J14-05	2	18	AERXD0/INT1/RE8	
J14-06	72	60	TDI/RA4	
J14-07	3	72	SDO1/OC1/INT0/RD0	
J14-08	73	61	TDO/RA5	
J14-09	4	74	SOSCO/T1CK/CN0/RC14	
J14-10	74	69	SS1/IC2/RD9	
J14-11	5	76	OC2/RD1	
J14-12	75	73	SOSCI/CN1/RC13	

J14-13	6	77	OC3/RD2	
J14-14	76	80	ETXD3/PMD13/CN19/RD13	
J14-15	7	19	AERXD1/INT2/RE9	
J14-16	77	84	ETXCLK/PMD15/CN16/RD7	

Pinout Table by Microcontroller Pin

PIC32 Pin	Connector Pin #	chipKIT Pin #	PIC32 Signal	Notes
1	J9-10	28	AERXERR/RG15	
2			VDD	
3	J9-06	32	PMD5/RE5	
4	J9-07	31	PMD6/RE6	
5	J9-08	30	PMD7/RE7	
6	n/c	n/c	T2CK/RC1	
7	J9-16	22	T3CK/AC2TX/RC2	
8	J9-15	23	T4CK/AC2RX/RC3	
9	J3-07	11	T5CK/SDI1/RC4	
10	J8-02	52	ECOL/SCK2A/U2BTX/U2ARTS/PMA5/CN8/RG6	Also J13-03
11	J9-09	29	ECRS/SDA2/SDI2A/U2ARX/PMA4/CN9/RG7	Also JP3, JP4
12	J8-11	43	ERXDV/AERXDV/ECRS DV/AECRS DV/SCL2A/SDO2A/U2ATX/PMA3/CN10/RG8	Also JP3, JP4
13	J10-01		MCLR	
14	J8-01	53	ERXCLK/AERXCLK/EREFCLK/AEREFCLK/SS2A/U2BRX/U2ACTS/PMA2/CN11/RG9	Also J13-05
15			VSS	
16			VDD	
17	J14-02	70	TMS/RA0	
18	J14-05	2	AERXD0/INT1/RE8	
19	J14-15	7	AERXD1/INT2/RE9	
20	J5-06	59	AN5/C1IN+/VBUSON/CN7/RB5	Also A5
21	J5-05	58	AN4/C1IN-/CN6/RB4	Also A4
22	J5-04	57	AN3/C2IN+/CN5/RB3	Also A3
23	J5-03	56	AN2/C2IN-/CN4/RB2	Also A2
24	J5-02	55	PGEC1/AN1/CN3/RB1	Also A1
25	J5-01	54	PGED1/AN0/CN2/RB0	Also A0
26	J5-7	60	PGEC2/AN6/OCFA/RB6	Also A6

27	J5-8	61	PGED2/AN7/RB7	Also A7
28	J3-16	85	VREF-/CVREF-/AERXD2/PMA7/RA9	
29	J8-10	44	VREF+/CVREF+/AERXD3/PMA6/RA10	Also J3-15
30			AVDD	
31			AVSS	
32	J7-01	62	AN8/C1OUT/RB8	Also A8
33	J7-02	63	AN9/C2OUT/RB9	Also A9
34	J7-03	64	AN10/CVREFOUT/PMA13/RB10	Also A10
35	J7-04	65	AN11/EREXERR/AETXERR/PMA12/RB11	Also A11, J8-14(40)
36			VSS	
37			VDD	
38	J14-04	71	TCK/RA1	
39	J4-08	14	AC1TX/SCK3A/U3BTX/U3ARTS/RF13	
40	J4-07	15	AC1RX/SS3A/U3BRX/U3ACTS/RF12	
41	J7-05	67	AN12/ERXD0/AECRS/PMA11/RB12	Also A12, J8-12(42)
42	J7-06	66	AN13/ERXD1/AECOL/PMA10/RB13	Also A13, J8-13(41)
43	J7-07	68	AN14/ERXD2/AETXD3/PMALH/PMA1/RB14	Also A14
44	J7-08	69	AN15/ERXD3/AETXD2/OCFB/PMALL/PMA0/CN12/RB15	Also A15
45			VSS	
46			VDD	
47	J4-03	19	AETXD0/SS1A/U1BRX/U1ACTS/CN20/RD14	
48	J4-04	18	AETXD1/SCK1A/U1BTX/U1ARTS/CN21/RD15	
49	J4-05	17	SDA3A/SDI3A/U3ARX/PMA9/CN17/RF4	
50	J4-06	16	SCL3A/SDO3A/U3ATX/PMA8/CN18/RF5	
51	J9-13	25	USBID/RF3	
52	J14-01	0	SDA1A/SDI1A/U1ARX/RF2	
53	J14-03	1	SCL1A/SDO1A/U1ATX/RF8	
54	J9-14	24	VBUS	
55			VUSB	
56	J9-12	26	D-/RG3	

57	J9-11	27	D+/RG2	
58	J3-09	12	SCL2/RA2	
59	J3-11	13	SDA2/RA3	
60	J14-06	72	TDI/RA4	
61	J14-08	73	TDO/RA5	
62			VDD	
63			OSC1/CLKI/RC12	X1, system clock oscillator
64			OSC2/CLKO/RC15	X1, system clock oscillator
65			VSS	
66	J4-01	21	AETXCLK/SCL1/INT3/RA14	
67	J4-02	20	AETXEN/SDA1/INT4/RA15	
68	J8-06	48	RTCC/EMDIO/AEMDIO/IC1/RD8	
69	J14-10	74	SS1/IC2/RD9	
70	J8-16	38	SCK1/IC3/PMCS2/PMA15/RD10	
71	J8-05	49	EMDC/AEMDC/IC4/PMCS1/PMA14/RD11	
72	J14-07	3	SDO1/OC1/INT0/RD0	
73	J14-12	75	SOSCI/CN1/RC13	RTCC clock input
74	J14-09	4	SOSCO/T1CK/CN0/RC14	
75			VSS	
76	J14-11	5	OC2/RD1	
77	J14-13	6	OC3/RD2	
78	J3-03	9	OC4/RD3	
79	J3-01	8	ETXD2/IC5/PMD12/RD12	
80	J14-14	76	ETXD3/PMD13/CN19/RD13	
81	J3-05	10	OC5/PMWR/CN13/RD4	
82	J8-15	39	PMRD/CN14/RD5	
83	J8-07	47	ETXEN/PMD14/CN15/RD6	
84	J14-16	77	ETXCLK/PMD15/CN16/RD7	
85			VCAP/VDDCORE	

86			VDD
87	J8-09	45	C1RX/ETXD1/PMD11/RF0
88	J8-08	46	C1TX/ETXD0/RMD10/RF1
89	J3-02	78	C2TX/ETXERR/PMD9/RG1
90	J3-04	79	C2RX/PMD8/RG0
91	J3-06	80	TRCLK/RA6
92	J3-08	81	TRD3/RA7
93	J9-01	37	PMD0/RE0
94	J9-02	36	PMD1/RE1
95	J3-10	82	TRD2/RG14
96	J3-12	83	TRD1/RG12
97	J3-14	84	TRD0/RG13
98	J9-03	35	PMD2/RE2
99	J9-04	34	PMD3/RE3
100	J9-05	33	PMD4/RE4

CAN Transceivers



3.3-V CAN TRANSCEIVERS

 Check for Samples: [SN65HVD230](#), [SN65HVD231](#), [SN65HVD232](#)

FEATURES

- Operates With a 3.3-V Supply
- Low Power Replacement for the PCA82C250 Footprint
- Bus/Pin ESD Protection Exceeds 16 kV HBM
- High Input Impedance Allows for 120 Nodes on a Bus
- Controlled Driver Output Transition Times for Improved Signal Quality on the SN65HVD230 and SN65HVD231
- Unpowered Node Does Not Disturb the Bus
- Compatible With the Requirements of the ISO 11898 Standard
- Low-Current SN65HVD230 Standby Mode 370 μ A Typical
- Low-Current SN65HVD231 Sleep Mode 40 nA Typical
- Designed for Signaling Rates⁽¹⁾ up to 1 Megabit/Second (Mbps)
- Thermal Shutdown Protection
- Open-Circuit Fail-Safe Design
- Glitch-Free Power-Up and Power-Down Protection for Hot-Plugging Applications

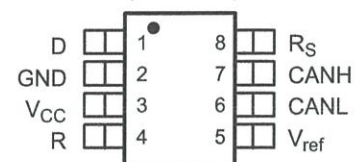
⁽¹⁾ The signaling rate of a line is the number of voltage transitions that are made per second expressed in the units bps (bits per second).

APPLICATIONS

- Motor Control
- Industrial Automation
- Basestation Control and Status
- Robotics
- Automotive
- UPS Control

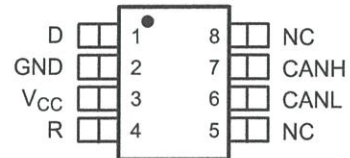
SN65HVD230D (Marked as VP230)
SN65HVD231D (Marked as VP231)

(TOP VIEW)



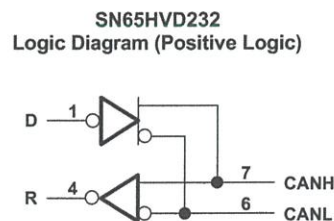
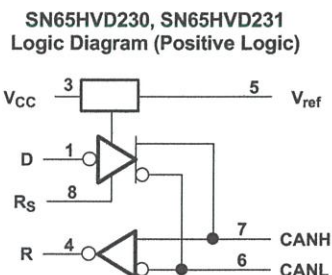
SN65HVD232D (Marked as VP232)

(TOP VIEW)



NC – No internal connection

LOGIC DIAGRAM (POSITIVE LOGIC)



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

TMS320Lx240x is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

© 2001–2011, Texas Instruments Incorporated



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

DESCRIPTION

The SN65HVD230, SN65HVD231, and SN65HVD232 controller area network (CAN) transceivers are designed for use with the Texas Instruments TMS320Lx240x™ ; 3.3-V DSPs with CAN controllers, or with equivalent devices. They are intended for use in applications employing the CAN serial communication physical layer in accordance with the ISO 11898 standard. Each CAN transceiver is designed to provide differential transmit capability to the bus and differential receive capability to a CAN controller at speeds up to 1 Mbps.

Designed for operation in especially-harsh environments, these devices feature cross-wire protection, loss-of-ground and overvoltage protection, overtemperature protection, as well as wide common-mode range.

The transceiver interfaces the single-ended CAN controller with the differential CAN bus found in industrial, building automation, and automotive applications. It operates over a -2-V to 7-V common-mode range on the bus, and it can withstand common-mode transients of ± 25 V.

On the SN65HVD230 and SN65HVD231, pin 8 provides three different modes of operation: high-speed, slope control, and low-power modes. The high-speed mode of operation is selected by connecting pin 8 to ground, allowing the transmitter output transistors to switch on and off as fast as possible with no limitation on the rise and fall slopes. The rise and fall slopes can be adjusted by connecting a resistor to ground at pin 8, since the slope is proportional to the pin's output current. This slope control is implemented with external resistor values of 10 k Ω , to achieve a 15-V/ μ s slew rate, to 100 k Ω , to achieve a 2-V/ μ s slew rate. See the *Application Information* section of this data sheet.

The circuit of the SN65HVD230 enters a low-current standby mode during which the driver is switched off and the receiver remains active if a high logic level is applied to pin 8. The DSP controller reverses this low-current standby mode when a dominant state (bus differential voltage > 900 mV typical) occurs on the bus.

The unique difference between the SN65HVD230 and the SN65HVD231 is that both the driver and the receiver are switched off in the SN65HVD231 when a high logic level is applied to pin 8 and remain in this sleep mode until the circuit is reactivated by a low logic level on pin 8.

The V_{ref} pin 5 on the SN65HVD230 and SN65HVD231 is available as a $V_{CC}/2$ voltage reference.

The SN65HVD232 is a basic CAN transceiver with no added options; pins 5 and 8 are NC, no connection.

Table 1. AVAILABLE OPTIONS⁽¹⁾

PART NUMBER	LOW POWER MODE	INTEGRATED SLOPE CONTROL	V_{ref} PIN	T_A	MARKED AS:
SN65HVD230	Standby mode	Yes	Yes	40°C to 85°C	VP230
SN65HVD231	Sleep mode	Yes	Yes		VP231
SN65HVD232	No standby or sleep mode	No	No		VP232

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

FUNCTION TABLES

DRIVER (SN65HVD230, SN65HVD231) ⁽¹⁾				
INPUT D	R_S	OUTPUTS		BUS STATE
		CANH	CANL	
L	$V_{(RS)} < 1.2$ V	H	L	Dominant
H		Z	Z	Recessive
Open	X	Z	Z	Recessive
X	$V_{(RS)} > 0.75 V_{CC}$	Z	Z	Recessive

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate; Z = high impedance

Table 2.

DRIVER (SN65HVD232) ⁽¹⁾			
INPUT D	OUTPUTS		BUS STATE
	CANH	CANL	
L	H	L	Dominant
H	Z	Z	Recessive
Open	Z	Z	Recessive

(1) H = high level; L = low level; Z = high impedance

Table 3.

RECEIVER (SN65HVD230) ⁽¹⁾		
DIFFERENTIAL INPUTS	R _S	OUTPUT R
V _{ID} ≥ 0.9 V	X	L
0.5 V < V _{ID} < 0.9 V	X	?
V _{ID} ≤ 0.5 V	X	H
Open	X	H

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate

Table 4.

RECEIVER (SN65HVD231) ⁽¹⁾		
DIFFERENTIAL INPUTS	R _S	OUTPUT R
V _{ID} ≥ 0.9 V	V _(Rs) < 1.2 V	L
0.5 V < V _{ID} < 0.9 V		?
V _{ID} ≤ 0.5 V		H
X	V _(Rs) > 0.75 V _{CC}	H
X	1.2 V < V _(Rs) < 0.75 V _{CC}	?
Open	X	H

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate

Table 5.

RECEIVER (SN65HVD232) ⁽¹⁾	
DIFFERENTIAL INPUTS	OUTPUT R
V _{ID} ≥ 0.9 V	L
0.5 V < V _{ID} < 0.9 V	?
V _{ID} ≤ 0.5 V	H
Open	H

(1) H = high level; L = low level; X = irrelevant; ? = indeterminate

Table 6.

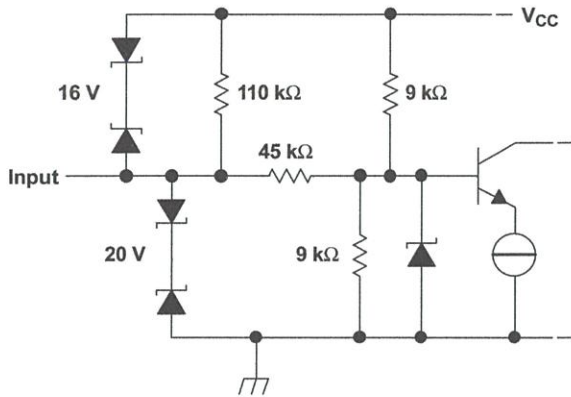
TRANSCEIVER MODES (SN65HVD230, SN65HVD231)	
V _(Rs)	OPERATING MODE
V _(Rs) > 0.75 V _{CC}	Standby
10 kΩ to 100 kΩ to ground	Slope control
V _(Rs) < 1 V	High speed (no slope control)

TERMINAL FUNCTIONS

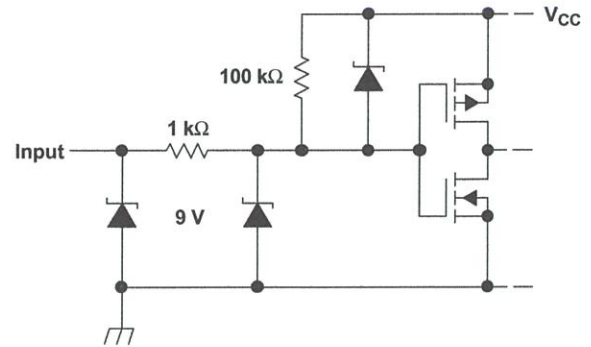
TERMINAL		DESCRIPTION
NAME	NO.	
SN65HVD230, SN65HVD231		
CANL	6	Low bus output
CANH	7	High bus output
D	1	Driver input
GND	2	Ground
R	4	Receiver output
R _S	8	Standby/slope control
V _{CC}	3	Supply voltage
V _{ref}	5	Reference output
SN65HVD232		
CANL	6	Low bus output
CANH	7	High bus output
D	1	Driver input
GND	2	Ground
NC	5, 8	No connection
R	4	Receiver output
V _{CC}	3	Supply voltage

EQUIVALENT INPUT AND OUTPUT SCHEMATIC DIAGRAMS

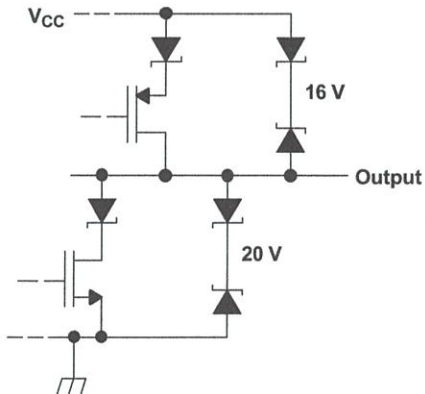
CANH and CANL Inputs



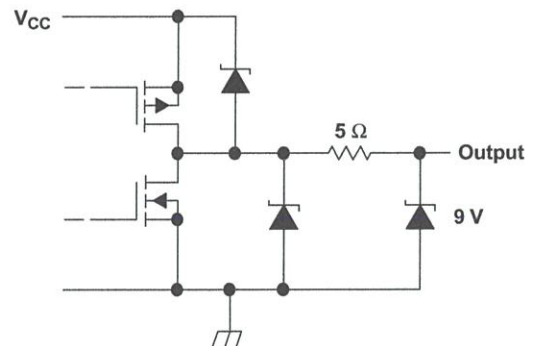
D Input



CANH and CANL Outputs



R Output



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)^{(1) (2)}

			UNIT
Supply voltage range, V_{CC}			-0.3 V to 6 V
Voltage range at any bus terminal (CANH or CANL)			-4 V to 16 V
Voltage input range, transient pulse, CANH and CANL, through 100 Ω (see Figure 7)			-25 V to 25 V
Input voltage range, V_I (D or R)			-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
Receiver output current, I_O			± 11 mA
Electrostatic discharge	Human body model ⁽³⁾	CANH, CANL and GND	16 kV
		All Pins	4 kV
	Charged-device model ⁽⁴⁾	All pins	1 kV
Continuous total power dissipation			See the Thermal Information Table

- (1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, except differential I/O bus voltages, are with respect to network ground terminal.
- (3) Tested in accordance with JEDEC Standard 22, Test Method A114-A.
- (4) Tested in accordance with JEDEC Standard 22, Test Method C101.

THERMAL INFORMATION

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		SN65HVD230	SN65HVD231	SN65HVD232	UNITS
		D (8 Pins)	D (8 Pins)	D (8 Pins)	
θ_{JA}	Junction-to-ambient thermal resistance	76.8	101.5	101.5	°C/W
θ_{JCTop}	Junction-to-case (top) thermal resistance	33.4	43.3	43.3	
θ_{JB}	Junction-to-board thermal resistance	15.3	42.2	42.4	
ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	1.4	4.8	4.8	
ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	14.9	41.8	41.8	
θ_{JCbot}	Junction-to-case (bottom) thermal resistance	n/a	n/a	n/a	

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}		3		3.6	V
Voltage at any bus terminal (common mode) V_{IC}		-2 ⁽¹⁾		7	V
Voltage at any bus terminal (separately) V_I		-2.5		7.5	V
High-level input voltage, V_{IH}	D, R		2		V
Low-level input voltage, V_{IL}	D, R			0.8	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Figure 5)		-6		6	V
Input voltage, $V_{(RS)}$		0		V_{CC}	V
Input voltage for standby or sleep, $V_{(RS)}$		0.75 V_{CC}		V_{CC}	V
Wave-shaping resistance, R_s		0		100	k Ω
High-level output current, I_{OH}	Driver	-40			mA
	Receiver	-8			
Low-level output current, I_{OL}	Driver			48	mA
	Receiver			8	
Operating free-air temperature, T_A		-40		85	°C

- (1) The algebraic convention, in which the least positive (most negative) limit is designated as minimum is used in this data sheet.

DRIVER ELECTRICAL CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT	
V _{OH}	Bus output voltage	Dominant	V _I = 0 V, See Figure 1 and Figure 3	CANH	2.45	V _{CC}	V	
				CANL	0.5	1.25		
V _{OL}	Bus output voltage	Recessive	V _I = 3 V, See Figure 1 and Figure 3	CANH	2.3			
				CANL	2.3			
V _{OD(D)}	Differential output voltage	Dominant	V _I = 0 V, See Figure 1	1.5	2	3	V	
V _{OD(R)}			V _I = 0 V, See Figure 2	1.2	2	3		
V _{OD(R)}	Differential output voltage	Recessive	V _I = 3 V, See Figure 1	-120	0	12	mV	
			V _I = 3 V, No load	-0.5	-0.2	0.05	V	
I _{IH}	High-level input current		V _I = 2 V	-30			μA	
I _{IL}	Low-level input current		V _I = 0.8 V	-30			μA	
I _{OS}	Short-circuit output current		V _{CANH} = -2 V	-250		250	mA	
			V _{CANL} = 7 V	-250		250		
C _o	Output capacitance		See receiver					
I _{CC}	Supply current	Standby	SN65HVD230	V _(RS) = V _{CC}		370	600	μA
		Sleep	SN65HVD231	V _(RS) = V _{CC} , D at V _{CC}		0.04	1	
		All devices	Dominant	V _I = 0 V, No load	Dominant	10	17	mA
			Recessive	V _I = V _{CC} , No load	Recessive	10	17	

(1) All typical values are at 25°C and with a 3.3-V supply.

DRIVER SWITCHING CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
SN65HVD230 AND SN65HVD231								
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _(RS) = 0 V	C _L = 50 pF, See Figure 4	35	85		ns	
		R _S with 10 kΩ to ground		70	125			
		R _S with 100 kΩ to ground		500	870			
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	V _(RS) = 0 V		70	120		ns	
		R _S with 10 kΩ to ground		130	180			
		R _S with 100 kΩ to ground		870	1200			
t _{sk(p)}	Pulse skew (t _{PHL} - t _{PLH})	V _(RS) = 0 V		35			ns	
		R _S with 10 kΩ to ground		60				
		R _S with 100 kΩ to ground		370				
t _r	Differential output signal rise time	V _(RS) = 0 V		25	50	100	ns	
t _f	Differential output signal fall time		40	55	80	ns		
t _r	Differential output signal rise time		80	120	160	ns		
t _f	Differential output signal fall time		80	125	150	ns		
t _r	Differential output signal rise time		600	800	1200	ns		
t _f	Differential output signal fall time		600	825	1000	ns		
SN65HVD232								
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output		C _L = 50 pF, See Figure 4	35	85		ns	
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	70		120				
t _{sk(p)}	Pulse skew (t _{PHL} - t _{PLH})	35						
t _r	Differential output signal rise time	25		50	100			
t _f	Differential output signal fall time	40		55	80			

RECEIVER ELECTRICAL CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
V _{IT+}	Positive-going input threshold voltage	See Table 7		750	900	mV
V _{IT-}	Negative-going input threshold voltage		500	650		
V _{hys}	Hysteresis voltage (V _{IT+} - V _{IT-})		100			
V _{OH}	High-level output voltage	-6 V ≤ V _{ID} ≤ 500 mV, I _O = -8 mA, See Figure 5	2.4			V
V _{OL}	Low-level output voltage	900 mV ≤ V _{ID} ≤ 6 V, I _O = 8 mA, See Figure 5			0.4	
I _I	Bus input current	V _{IH} = 7 V	Other input at 0 V, D = 3 V	100	250	μA
		V _{IH} = 7 V, V _{CC} = 0 V		100	350	
		V _{IH} = -2 V		-200	-30	μA
		V _{IH} = -2 V, V _{CC} = 0 V		-100	-20	
C _i	CANH, CANL input capacitance	Pin-to-ground, V _I = 0.4 sin(4E6πt) + 0.5 V V _(D) = 3 V,		32		pF
C _{diff}	Differential input capacitance	Pin-to-pin, V _I = 0.4 sin(4E6πt) + 0.5 V V _(D) = 3 V,		16		pF
R _{diff}	Differential input resistance	Pin-to-pin, V _(D) = 3 V	40	70	100	kΩ
R _I	CANH, CANL input resistance		20	35	50	kΩ
I _{CC}	Supply current	See driver				

(1) All typical values are at 25°C and with a 3.3-V supply.

RECEIVER SWITCHING CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	See Figure 6		35	50	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output		35	50		
t _{sk(p)}	Pulse skew (t _{PHL} - t _{PLH})			10		
t _r	Output signal rise time	See Figure 6		1.5		ns
t _f	Output signal fall time			1.5		

DEVICE SWITCHING CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _(LOOP1)	Total loop delay, driver input to receiver output, recessive to dominant	V _(RS) = 0 V, See Figure 9		70	115	ns
		R _S with 10 kΩ to ground, See Figure 9		105	175	
		R _S with 100 kΩ to ground, See Figure 9		535	920	
t _(LOOP2)	Total loop delay, driver input to receiver output, dominant to recessive	V _(RS) = 0 V, See Figure 9		100	135	ns
		R _S with 10 kΩ to ground, See Figure 9		155	185	
		R _S with 100 kΩ to ground, See Figure 9		830	990	

DEVICE CONTROL-PIN CHARACTERISTICS

over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
t_{WAKE}	SN65HVD230 wake-up time from standby mode with R_S	See Figure 8		0.55	1.5	μs
	SN65HVD231 wake-up time from sleep mode with R_S			3	5	μs
V_{ref}	Reference output voltage	$-5 \mu\text{A} < I_{\text{(Vref)}} < 5 \mu\text{A}$	$0.45 V_{\text{CC}}$		$0.55 V_{\text{CC}}$	V
		$-50 \mu\text{A} < I_{\text{(Vref)}} < 50 \mu\text{A}$	$0.4 V_{\text{CC}}$		$0.6 V_{\text{CC}}$	
$I_{\text{(RS)}}$	Input current for high-speed	$V_{\text{(RS)}} < 1 \text{ V}$	-450		0	μA

(1) All typical values are at 25°C and with a 3.3-V supply.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

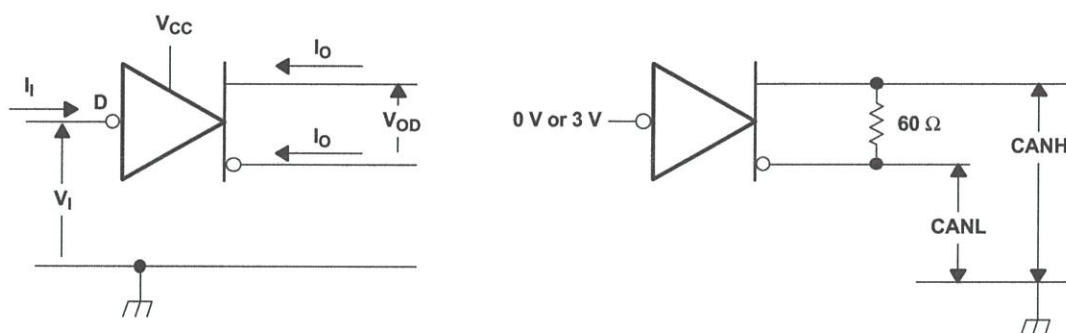


Figure 1. Driver Voltage and Current Definitions

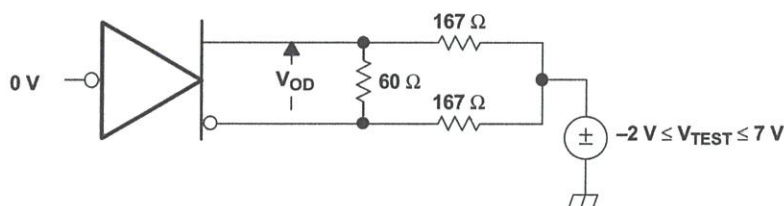


Figure 2. Driver V_{OD}

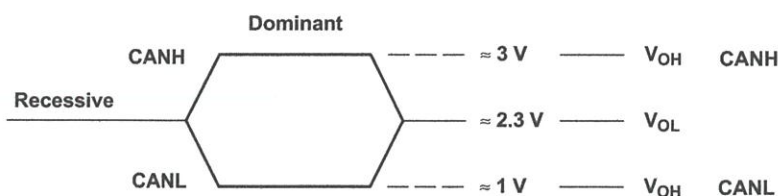
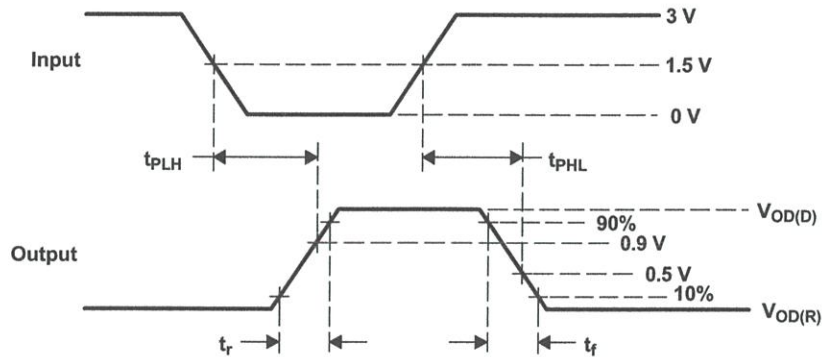
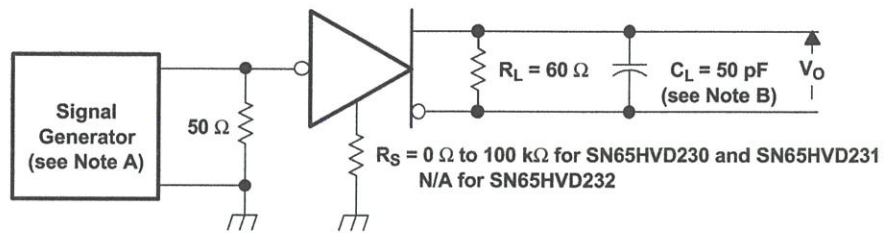


Figure 3. Driver Output Voltage Definitions

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)



- A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR ≤ 500 kHz, 50% duty cycle, $t_r \leq 6$ ns, $t_f \leq 6$ ns, $Z_o = 50 \Omega$.
- B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Driver Test Circuit and Voltage Waveforms

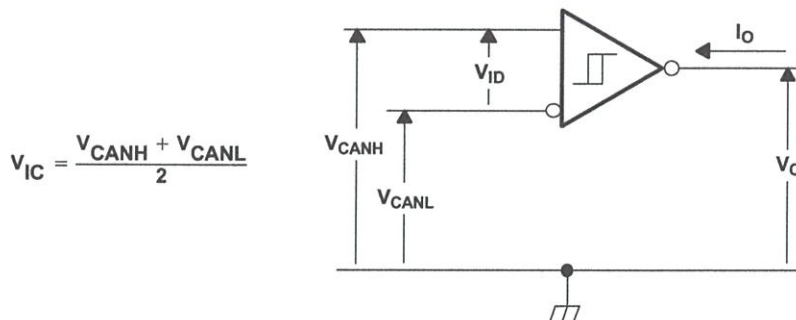
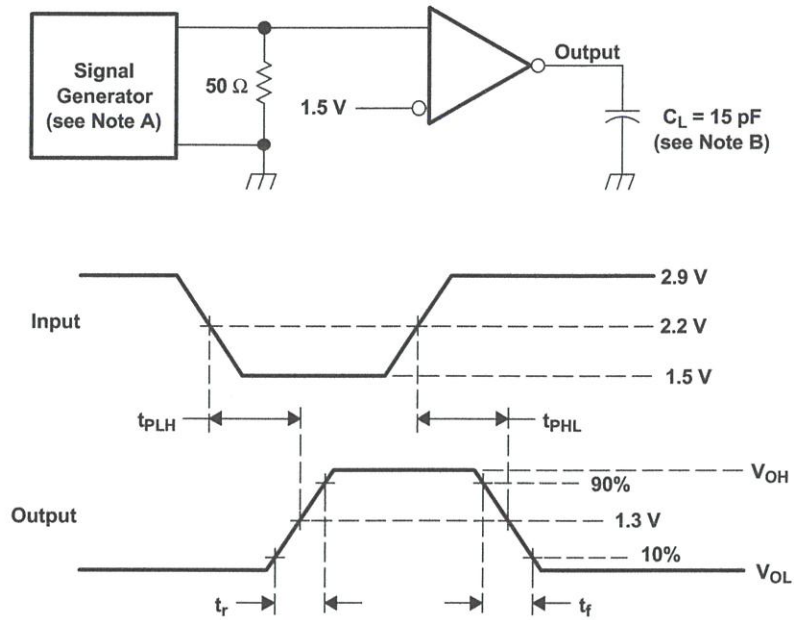


Figure 5. Receiver Voltage and Current Definitions

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)



- A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR $\leq 500 \text{ kHz}$, 50% duty cycle, $t_r \leq 6 \text{ ns}$, $t_f \leq 6 \text{ ns}$, $Z_o = 50 \Omega$.
- B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 6. Receiver Test Circuit and Voltage Waveforms

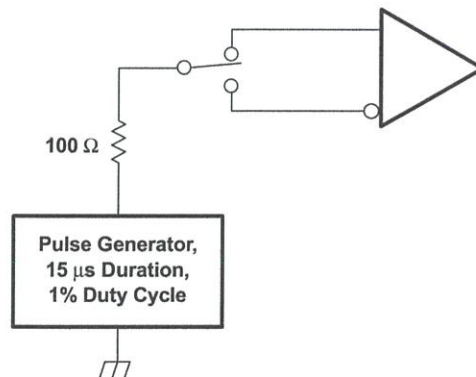


Figure 7. Overvoltage Protection

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)
Table 7. Receiver Characteristics Over Common Mode With $V_{(Rs)} = 1.2\text{ V}$

V_{IC}	V_{ID}	V_{CANH}	V_{CANL}	R OUTPUT	
-2 V	900 mV	-1.55 V	-2.45 V	L	V _{OL}
7 V	900 mV	8.45 V	6.55 V	L	
1 V	6 V	4 V	-2 V	L	
4 V	6 V	7 V	1 V	L	
-2 V	500 mV	-1.75 V	-2.25 V	H	V _{OH}
7 V	500 mV	7.25 V	6.75 V	H	
1 V	-6 V	-2 V	4 V	H	
4 V	-6 V	1 V	7 V	H	
X	X	Open	Open	H	

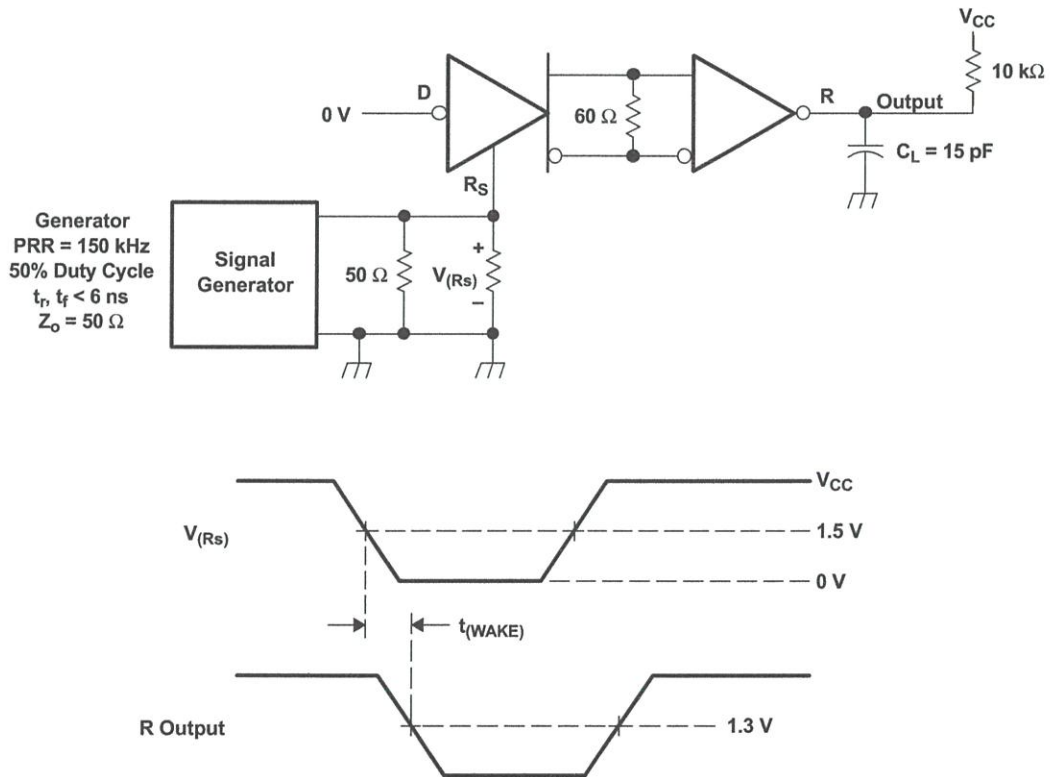
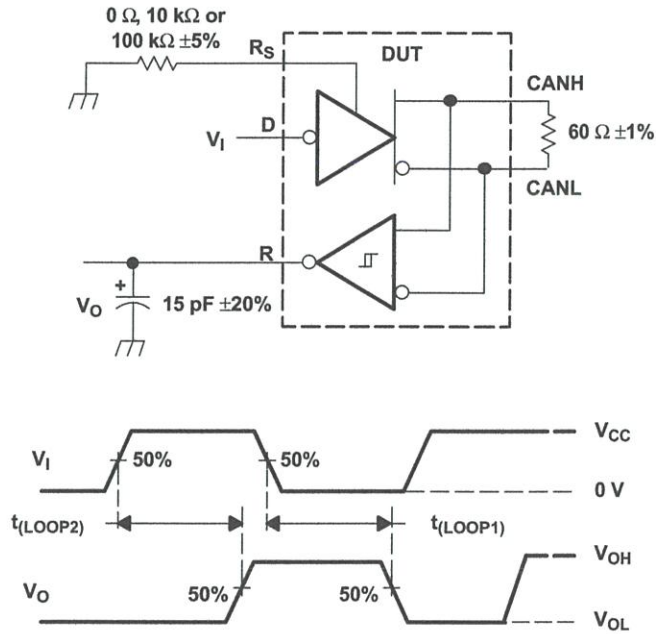


Figure 8. $t_{(WAKE)}$ Test Circuit and Voltage Waveforms



- A. All V_1 input pulses are supplied by a generator having the following characteristics: t_r or $t_f \leq 6$ ns, Pulse Repetition Rate (PRR) = 125 kHz, 50% duty cycle.

Figure 9. t_{LOOP} Test Circuit and Voltage Waveforms

TYPICAL CHARACTERISTICS

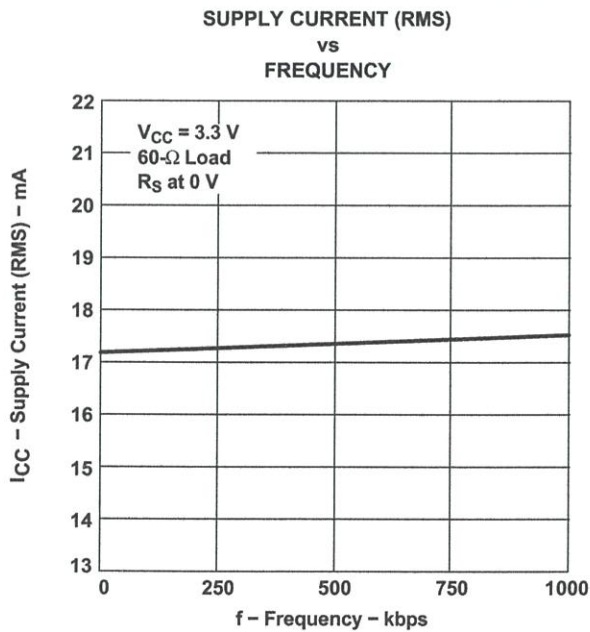


Figure 10.

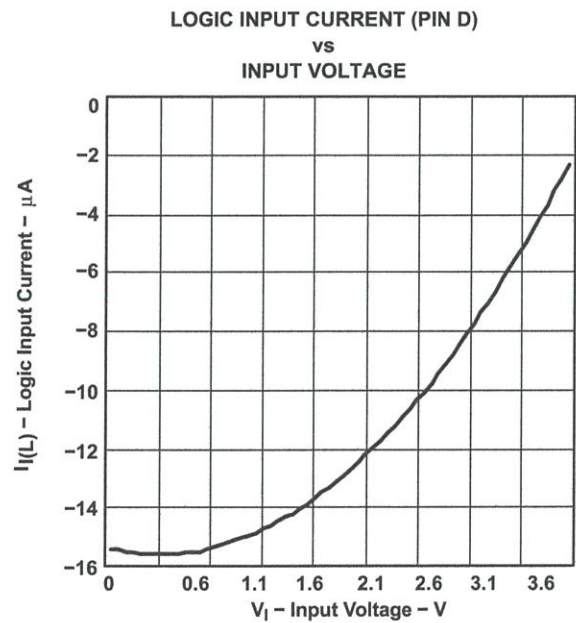


Figure 11.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

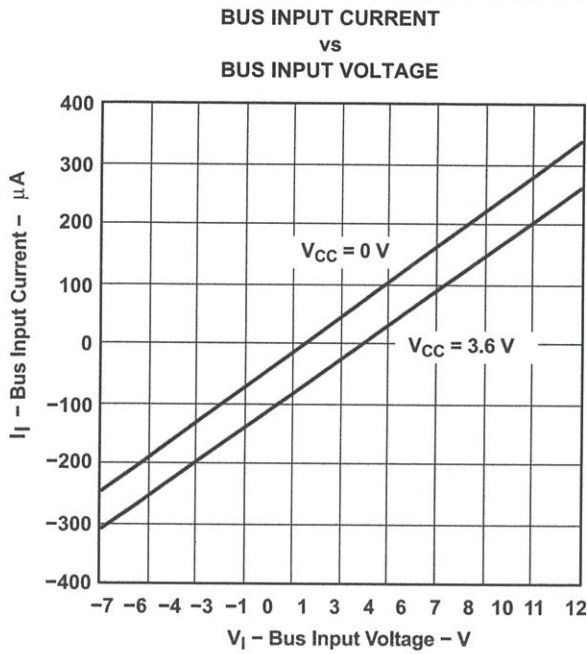


Figure 12.

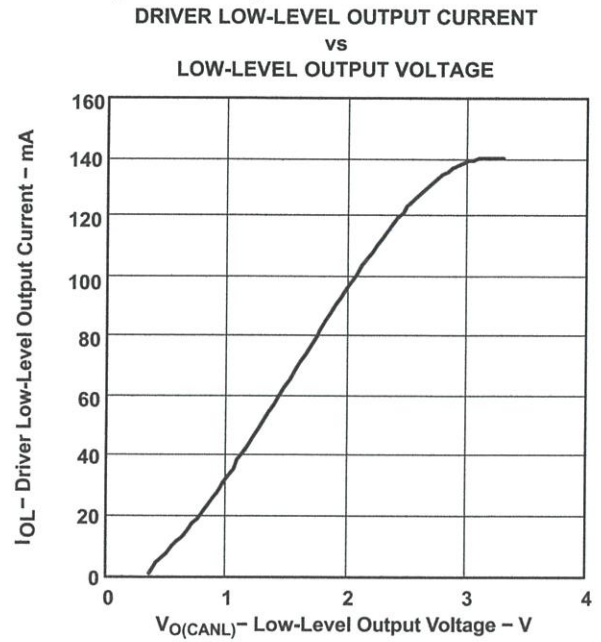


Figure 13.

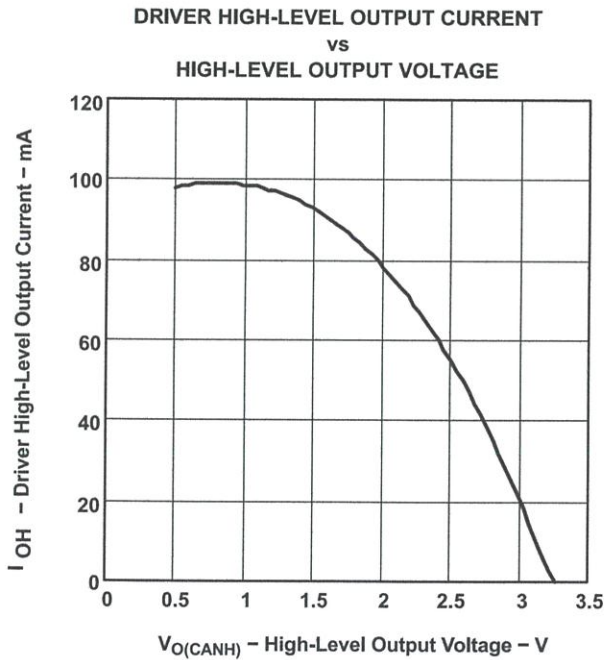


Figure 14.

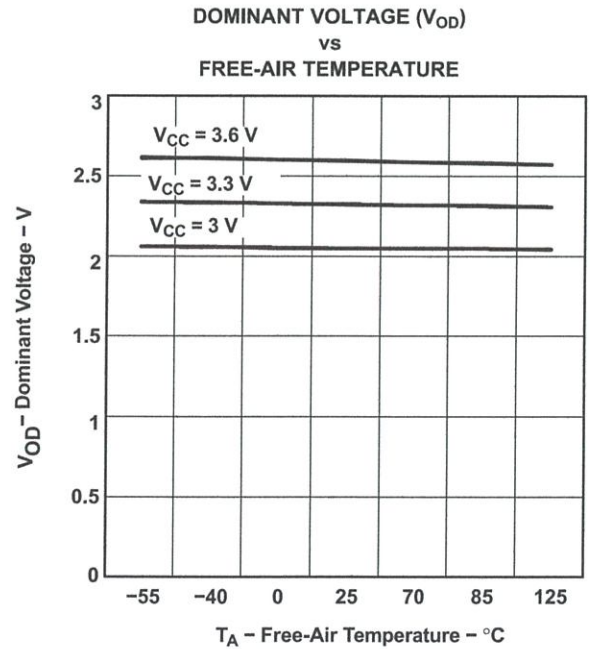


Figure 15.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

RECEIVER LOW-TO-HIGH PROPAGATION DELAY TIME
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

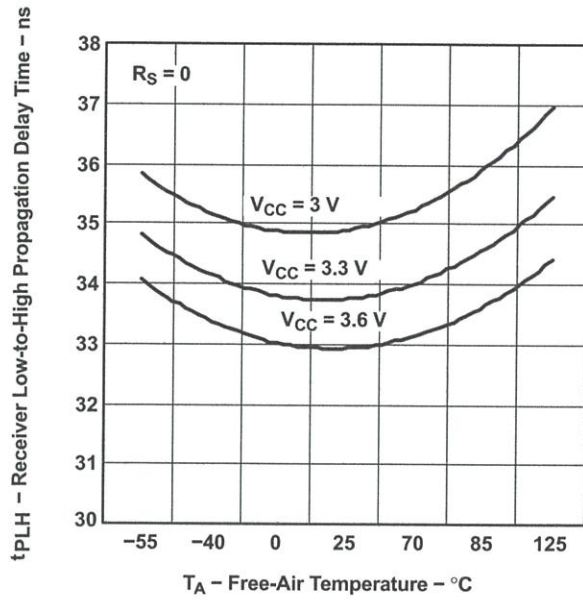


Figure 16.

RECEIVER HIGH-TO-LOW PROPAGATION DELAY TIME
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

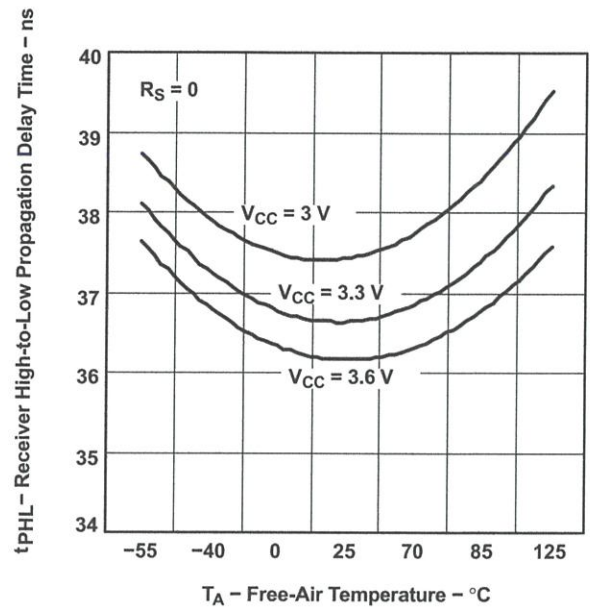


Figure 17.

DRIVER LOW-TO-HIGH PROPAGATION DELAY TIME
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

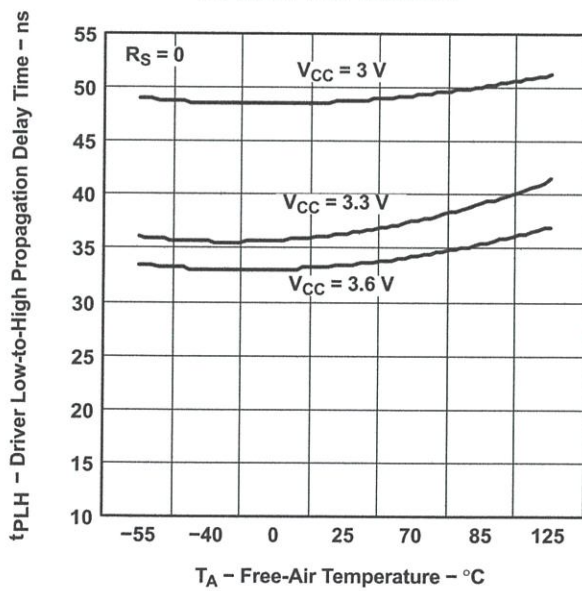


Figure 18.

DRIVER HIGH-TO-LOW PROPAGATION DELAY TIME
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

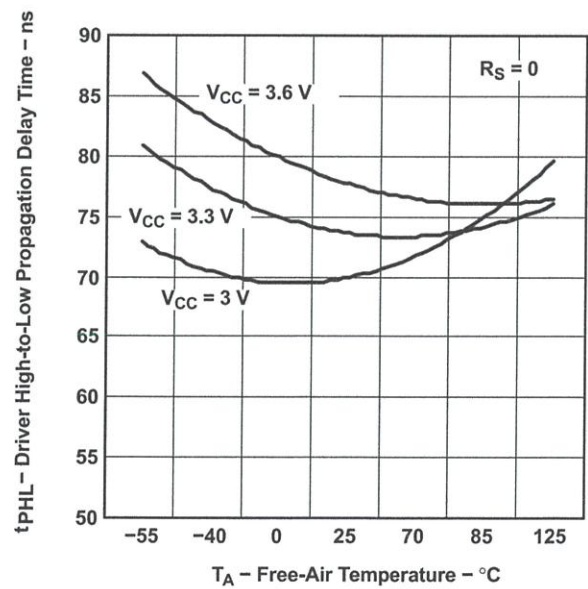


Figure 19.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

DRIVER LOW-TO-HIGH PROPAGATION DELAY TIME
 vs
 FREE-AIR TEMPERATURE

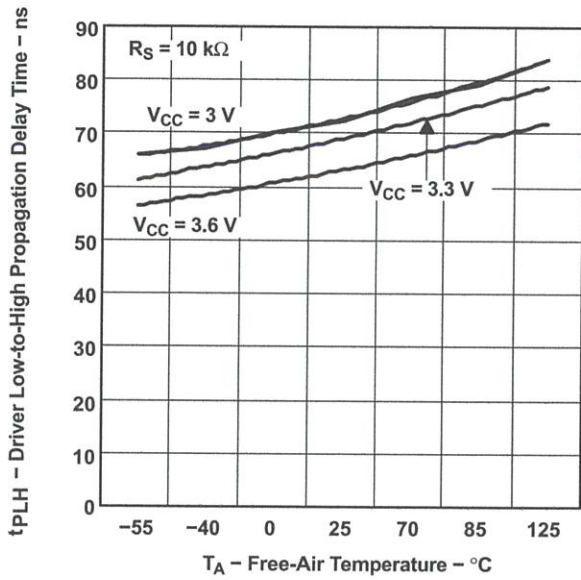


Figure 20.

DRIVER HIGH-TO-LOW PROPAGATION DELAY TIME
 vs
 FREE-AIR TEMPERATURE

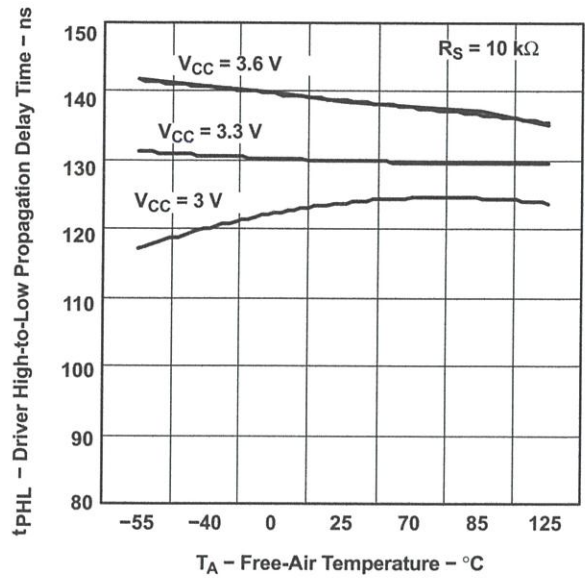


Figure 21.

DRIVER LOW-TO-HIGH PROPAGATION DELAY TIME
 vs
 FREE-AIR TEMPERATURE

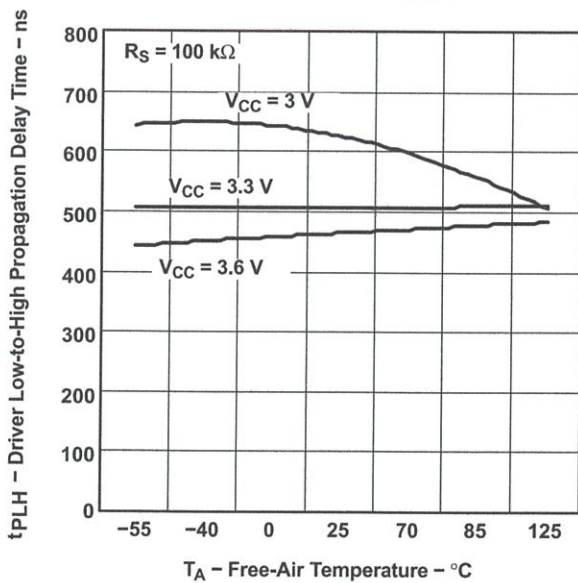


Figure 22.

DRIVER HIGH-TO-LOW PROPAGATION DELAY TIME
 vs
 FREE-AIR TEMPERATURE

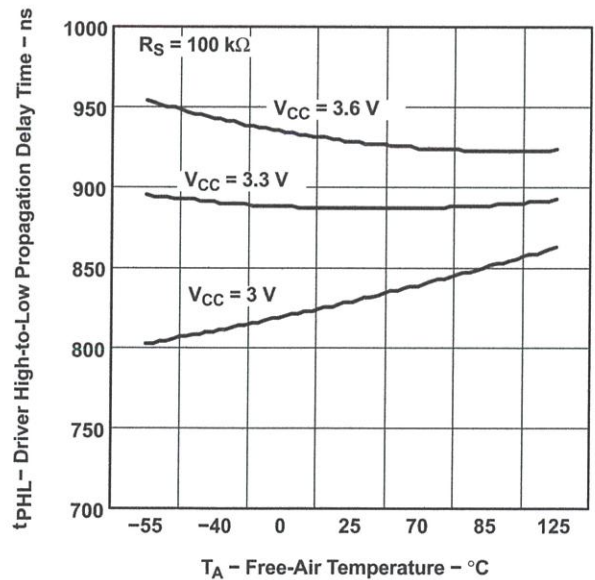


Figure 23.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

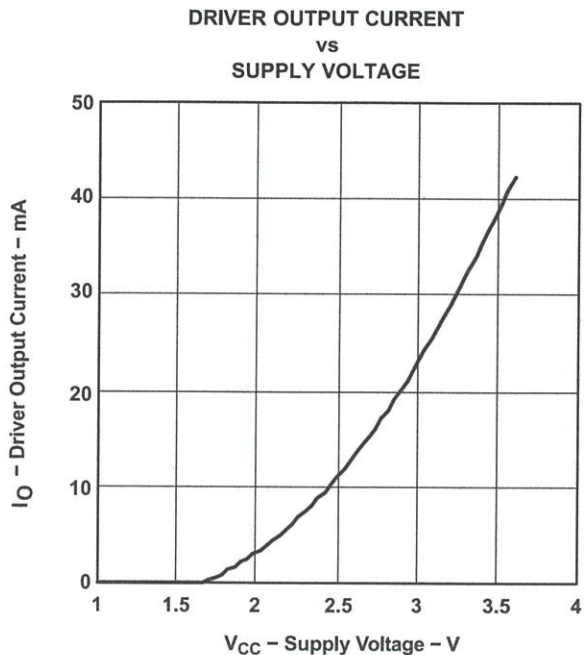


Figure 24.

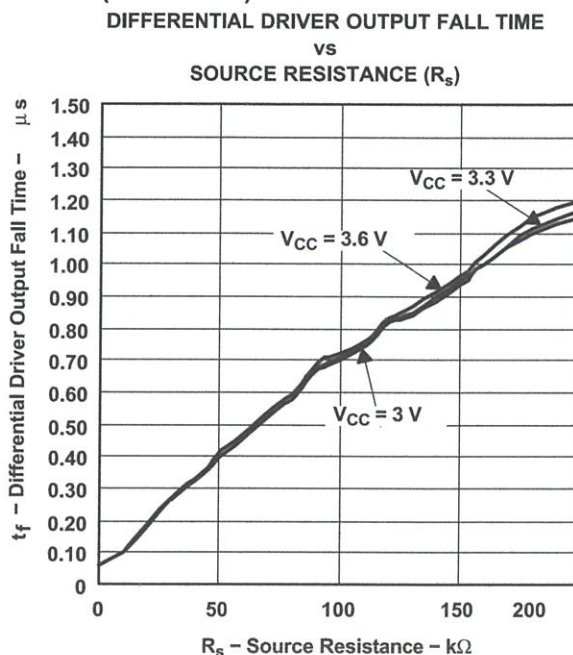


Figure 25.

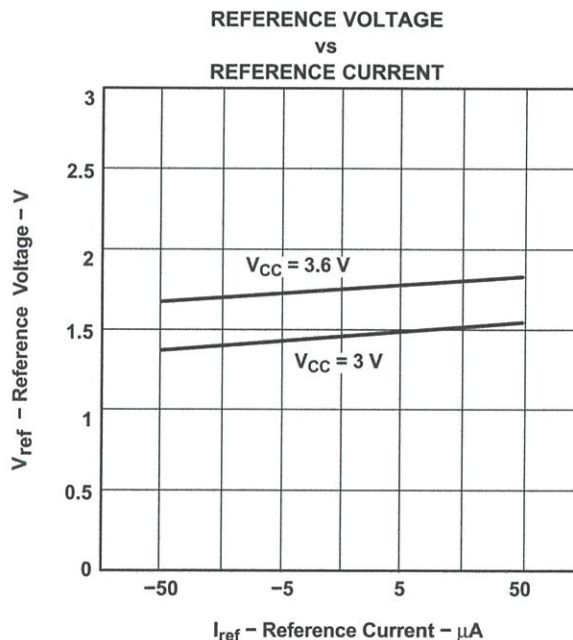


Figure 26.

APPLICATION INFORMATION

This application provides information concerning the implementation of the physical medium attachment layer in a CAN network according to the ISO 11898 standard. It presents a typical application circuit and test results, as well as discussions on slope control, total loop delay, and interoperability in 5-V systems.

INTRODUCTION

ISO 11898 is the international standard for high-speed serial communication using the controller area network (CAN) bus protocol. It supports multimaster operation, real-time control, programmable data rates up to 1 Mbps, and powerful redundant error checking procedures that provide reliable data transmission. It is suited for networking *intelligent* devices as well as sensors and actuators within the rugged electrical environment of a machine chassis or factory floor. The SN65HVD230 family of 3.3-V CAN transceivers implement the lowest layers of the ISO/OSI reference model. This is the interface with the physical signaling output of the CAN controller of the Texas Instruments TMS320Lx240x 3.3-V DSPs, as illustrated in Figure 27.

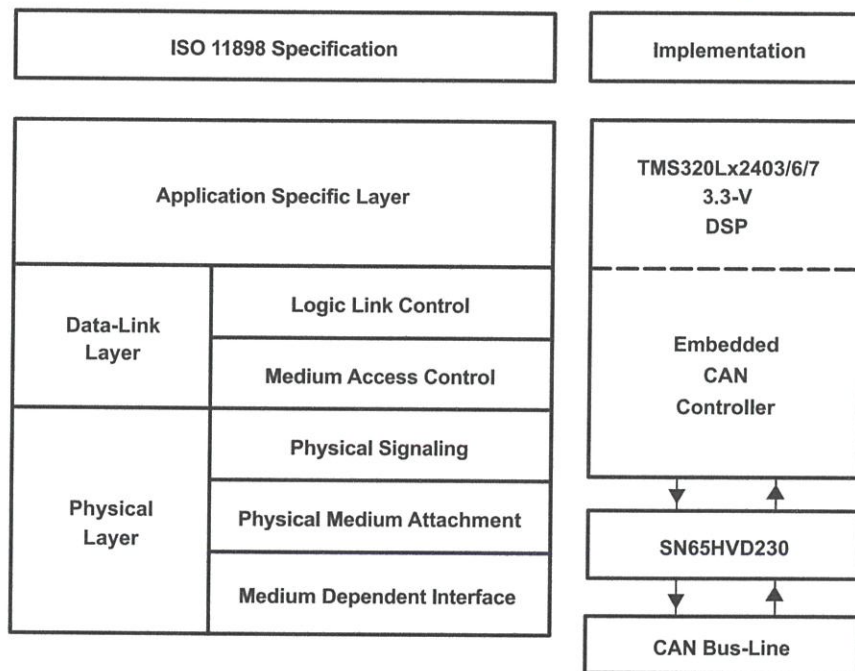


Figure 27. The Layered ISO 11898 Standard Architecture

The SN65HVD230 family of CAN transceivers are compatible with the ISO 11898 standard; this ensures interoperability with other standard-compliant products.

APPLICATION OF THE SN65HVD230

Figure 28 illustrates a typical application of the SN65HVD230 family. The output of a DSP's CAN controller is connected to the serial driver input, pin D, and receiver serial output, pin R, of the transceiver. The transceiver is then attached to the differential bus lines at pins CANH and CANL. Typically, the bus is a twisted pair of wires with a characteristic impedance of 120 Ω , in the standard half-duplex multipoint topology of Figure 29. Each end of the bus is terminated with 120- Ω resistors in compliance with the standard to minimize signal reflections on the bus.

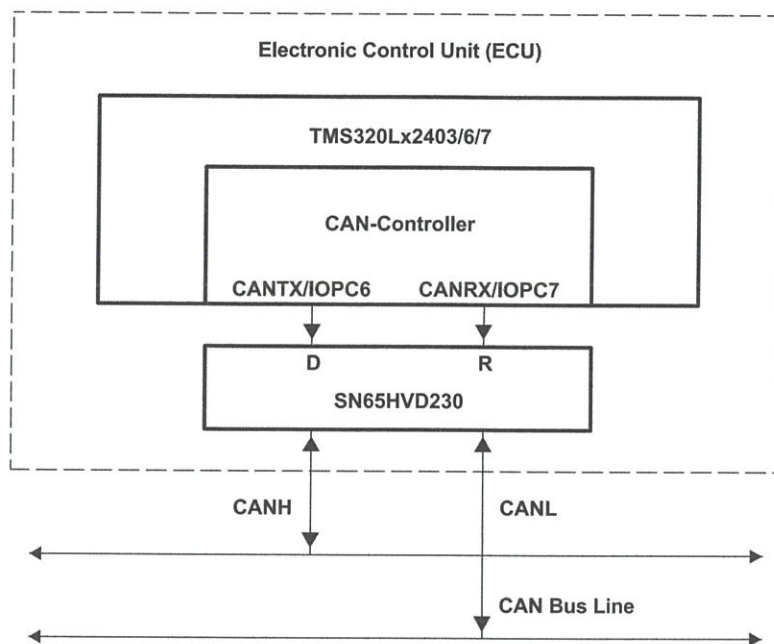


Figure 28. Details of a Typical CAN Node

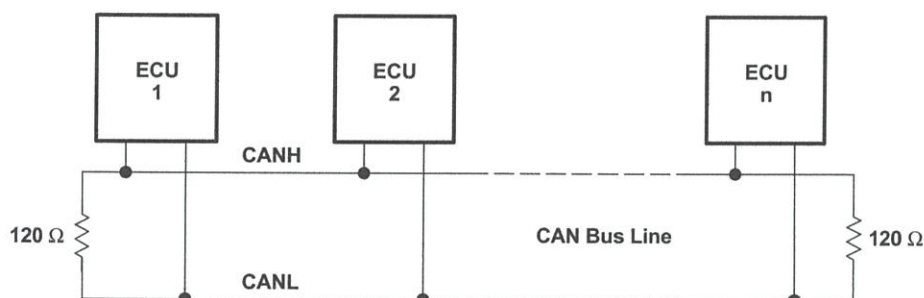


Figure 29. Typical CAN Network

The SN65HVD230/231/232 3.3-V CAN transceivers provide the interface between the 3.3-V TMS320Lx2403/6/7 CAN DSPs and the differential bus line, and are designed to transmit data at signaling rates up to 1 Mbps as defined by the ISO 11898 standard.

FEATURES of the SN65HVD230, SN65HVD231, and SN65HVD232

The SN65HVD230/231/232 are pin-compatible (but not functionally identical) with one another and, depending upon the application, may be used with identical circuit boards.

These transceivers feature 3.3-V operation and standard compatibility with signaling rates up to 1 Mbps, and also offer 16-kV HBM ESD protection on the bus pins, thermal shutdown protection, bus fault protection, and open-circuit receiver failsafe. The fail-safe design of the receiver assures a logic high at the receiver output if the bus wires become open circuited. If a high ambient operating environment temperature or excessive output current result in thermal shutdown, the bus pins become high impedance, while the D and R pins default to a logic high.

The bus pins are also maintained in a high-impedance state during low V_{CC} conditions to ensure glitch-free power-up and power-down bus protection for hot-plugging applications. This high-impedance condition also means that an unpowered node does not disturb the bus. Transceivers without this feature usually have a very low output impedance. This results in a high current demand when the transceiver is unpowered, a condition that could affect the entire bus.

OPERATING MODES

R_S (pin 8) of the SN65HVD230 and SN65HVD231 provides for three different modes of operation: high-speed mode, slope-control mode, and low-power mode.

High-Speed

The high-speed mode can be selected by applying a logic low to R_S (pin 8). The high-speed mode of operation is commonly employed in industrial applications. High-speed allows the output to switch as fast as possible with no internal limitation on the output rise and fall slopes. The only limitations of the high-speed operation are cable length and radiated emission concerns, each of which is addressed by the slope control mode of operation.

If the low-power standby mode is to be employed in the circuit, direct connection to a DSP output pin can be used to switch between a logic-low level ($< 1\text{ V}$) for high speed operation, and the logic-high level ($> 0.75\text{ V}_{CC}$) for standby. Figure 30 shows a typical DSP connection, and Figure 31 shows the HVD230 driver output signal in high-speed mode on the CAN bus.

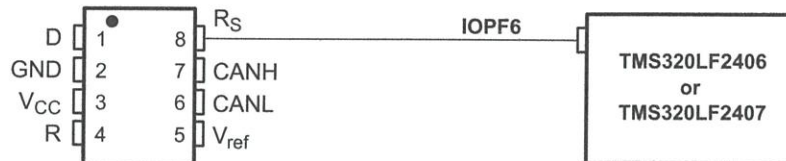


Figure 30. R_S (Pin 8) Connection to a TMS320LF2406/07 for High Speed/Standby Operation

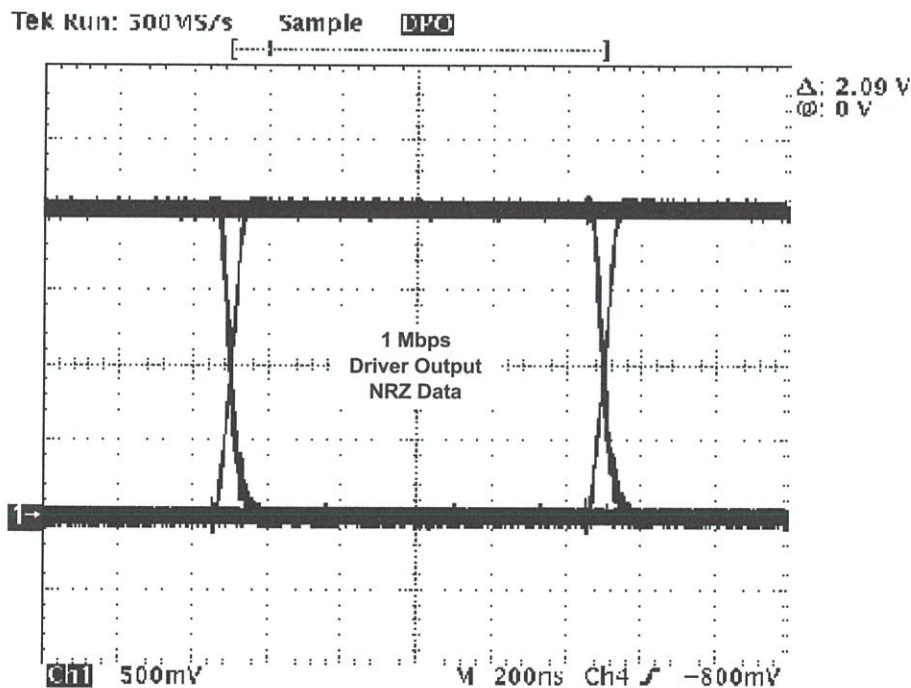


Figure 31. Typical High Speed SN65HVD230 Output Waveform Into a 60- Ω Load

Slope Control

Electromagnetic compatibility is essential in many applications using unshielded bus cable to reduce system cost. To reduce the electromagnetic interference generated by fast rise times and resulting harmonics, the rise and fall slopes of the SN65HVD230 and SN65HVD231 driver outputs can be adjusted by connecting a resistor

from R_S (pin 8) to ground or to a logic low voltage, as shown in Figure 32. The slope of the driver output signal is proportional to the pin's output current. This slope control is implemented with an external resistor value of 10 k Ω to achieve a ≈ 15 V/ μ s slew rate, and up to 100 k Ω to achieve a ≈ 2.0 V/ μ s slew rate as displayed in Figure 33. Typical driver output waveforms from a pulse input signal with and without slope control are displayed in Figure 34. A pulse input is used rather than NRZ data to clearly display the actual slew rate.

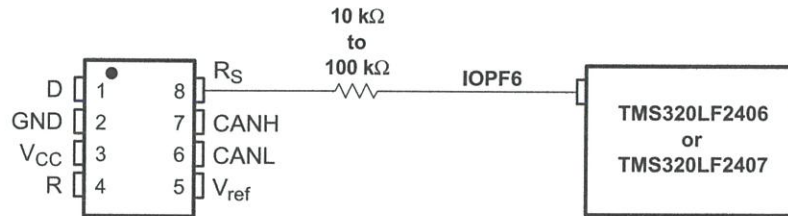


Figure 32. Slope Control/Standby Connection to a DSP

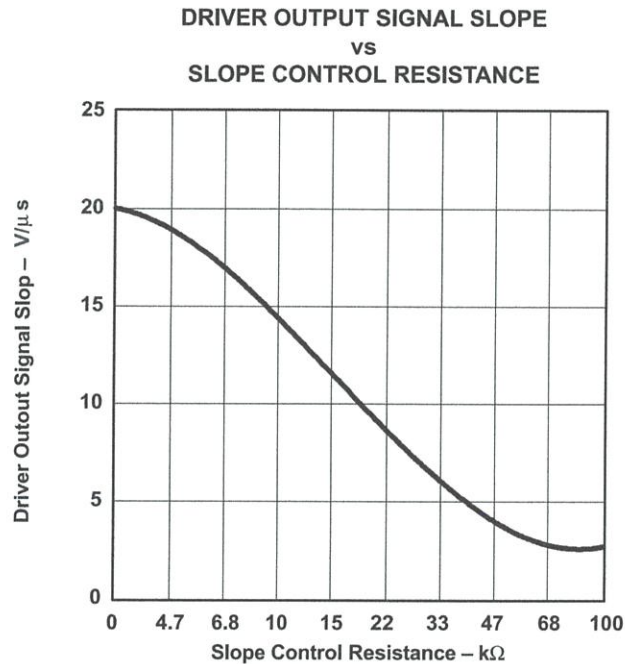


Figure 33. HVD230 Driver Output Signal Slope vs Slope Control Resistance Value

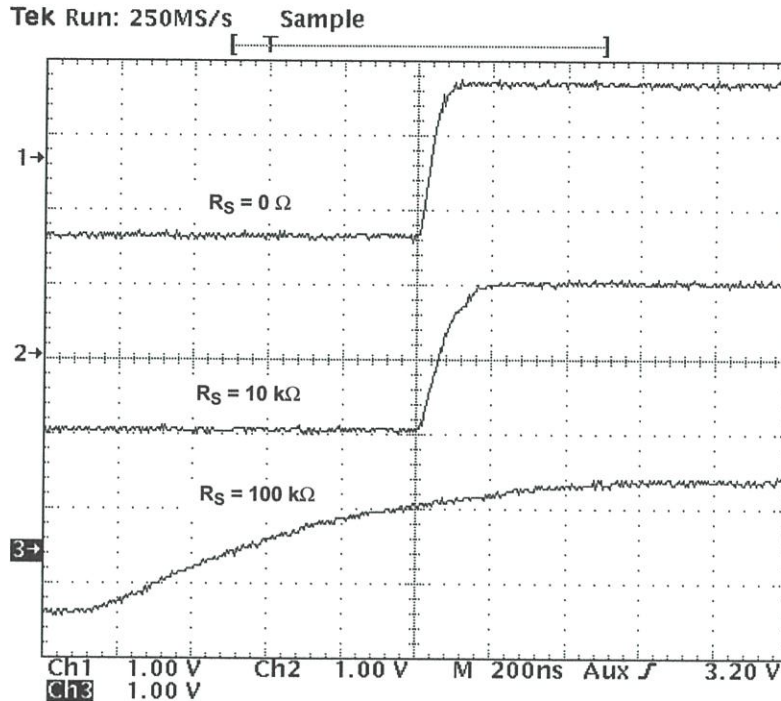


Figure 34. Typical SN65HVD230 250-kbps Output Pulse Waveforms With Slope Control

Standby Mode (Listen Only Mode) of the HVD230

If a logic high ($> 0.75 V_{CC}$) is applied to R_S (pin 8) in Figure 30 and Figure 32, the circuit of the SN65HVD230 enters a low-current, *listen only* standby mode, during which the driver is switched off and the receiver remains active. In this *listen only* state, the transceiver is completely passive to the bus. It makes no difference if a slope control resistor is in place as shown in Figure 32. The DSP can reverse this low-power standby mode when the rising edge of a dominant state (bus differential voltage > 900 mV typical) occurs on the bus. The DSP, sensing bus activity, reactivates the driver circuit by placing a logic low (< 1.2 V) on R_S (pin 8).

The Babbling Idiot Protection of the HVD230

Occasionally, a runaway CAN controller unintentionally sends messages that completely tie up the bus (what is referred to in CAN jargon as a babbling idiot). When this occurs, the DSP can engage the *listen-only* standby mode to disengage the driver and release the bus, even when access to the CAN controller has been lost. When the driver circuit is deactivated, its outputs default to a high-impedance state.

Sleep Mode of the HVD231

The unique difference between the SN65HVD230 and the SN65HVD231 is that both driver and receiver are switched off in the SN65HVD231 when a logic high is applied to R_S (pin 8). The device remains in a very low power-sleep mode until the circuit is reactivated with a logic low applied to R_S (pin 8). While in this sleep mode, the bus-pins are in a high-impedance state, while the D and R pins default to a logic high.

LOOP PROPAGATION DELAY

Transceiver loop delay is a measure of the overall device propagation delay, consisting of the delay from the driver input to the differential outputs, plus the delay from the receiver inputs to its output.

The loop delay of the transceiver displayed in Figure 35 increases accordingly when slope control is being used. This increased loop delay means that the total bus length must be reduced to meet the CAN bit-timing requirements of the overall system. The loop delay becomes ≈ 100 ns when employing slope control with a 10-k Ω resistor, and ≈ 500 ns with a 100-k Ω resistor. Therefore, considering that the rule-of-thumb propagation

delay of typical bus cable is 5 ns/m, slope control with the 100-k Ω resistor decreases the allowable bus length by the difference between the 500-ns max loop delay and the loop delay with no slope control, 70.7 ns. This equates to (500-70.7 ns)/5 ns, or approximately 86 m less bus length. This slew-rate/bus length trade-off to reduce electromagnetic interference to adjoining circuits from the bus can also be solved with a quality shielded bus cable.

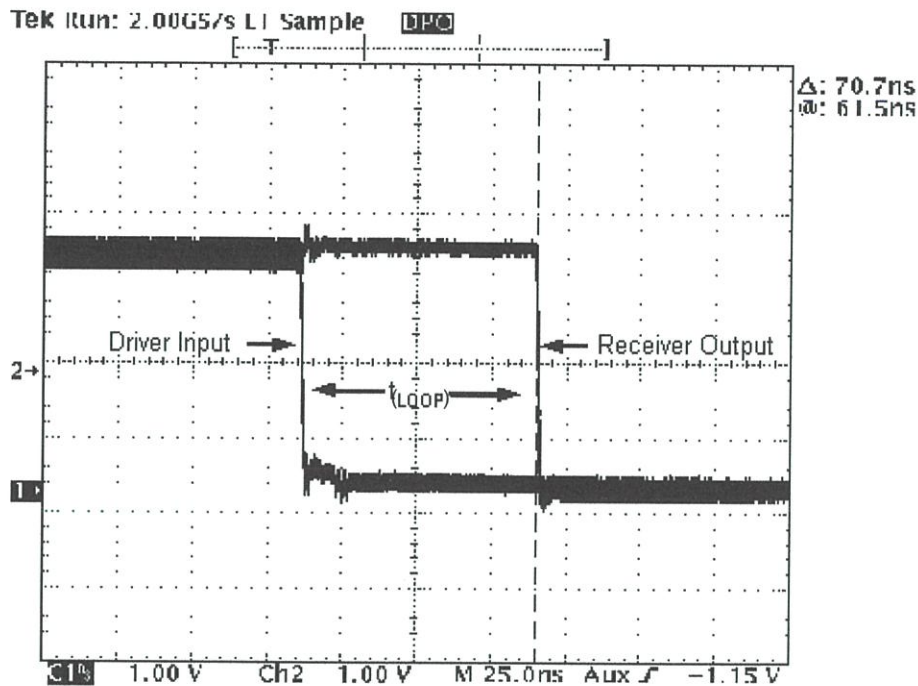


Figure 35. 70.7-ns Loop Delay Through the HVD230 With $R_S = 0$

ISO 11898 COMPLIANCE OF SN65HVD230 FAMILY OF 3.3-V CAN TRANSCEIVERS

Introduction

Many users value the low power consumption of operating their CAN transceivers from a 3.3 V supply. However, some are concerned about the interoperability with 5-V supplied transceivers on the same bus. This report analyzes this situation to address those concerns.

Differential Signal

CAN is a differential bus where complementary signals are sent over two wires and the voltage difference between the two wires defines the logical state of the bus. The differential CAN receiver monitors this voltage difference and outputs the bus state with a single-ended output signal.

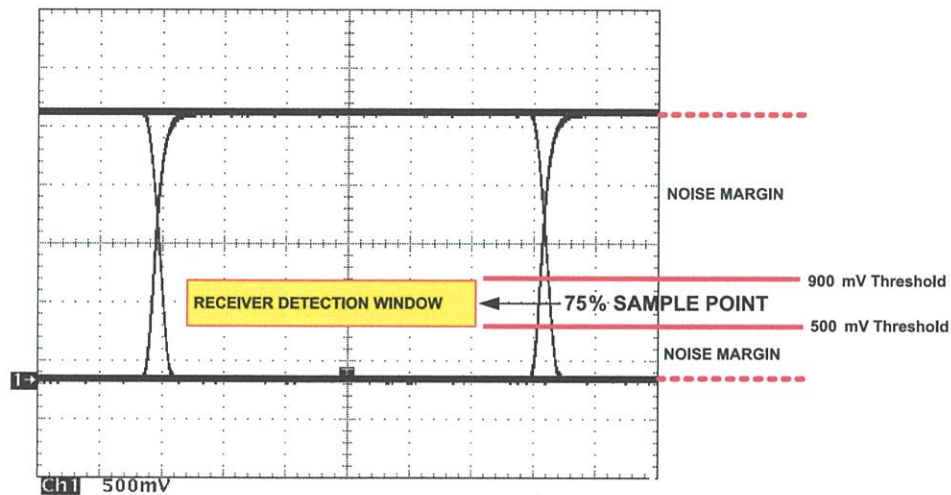


Figure 36. Typical SN65HVD230 Differential Output Voltage Waveform

The CAN driver creates the difference voltage between CANH and CANL in the dominant state. The dominant differential output of the SN65HVD230 is greater than 1.5 V and less than 3 V across a 60-ohm load. The minimum required by ISO 11898 is 1.5 V and maximum is 3 V. These are the same limiting values for 5 V supplied CAN transceivers. The bus termination resistors drive the recessive bus state and not the CAN driver.

A CAN receiver is required to output a recessive state with less than 500 mV and a dominant state with more than 900 mV difference voltage on its bus inputs. The CAN receiver must do this with common-mode input voltages from -2 V to 7 volts. The SN65HVD230 family receivers meet these same input specifications as 5-V supplied receivers.

Common-Mode Signal

A common-mode signal is an average voltage of the two signal wires that the differential receiver rejects. The common-mode signal comes from the CAN driver, ground noise, and coupled bus noise. Obviously, the supply voltage of the CAN transceiver has nothing to do with noise. The SN65HVD230 family driver lowers the common-mode output in a dominant bit by a couple hundred millivolts from that of most 5-V drivers. While this does not fully comply with ISO 11898, this small variation in the driver common-mode output is rejected by differential receivers and does not effect data, signal noise margins or error rates.

Interoperability of 3.3-V CAN in 5-V CAN Systems

The 3.3-V supplied SN65HVD23x family of CAN transceivers are electrically interchangeable with 5-V CAN transceivers. The differential output is the same. The recessive common-mode output is the same. The dominant common-mode output voltage is a couple hundred millivolts lower than 5-V supplied drivers, while the receivers exhibit identical specifications as 5-V devices.

Electrical interoperability does not assure interchangeability however. Most implementers of CAN buses recognize that ISO 11898 does not sufficiently specify the electrical layer and that strict standard compliance alone does not ensure interchangeability. This comes only with thorough equipment testing.

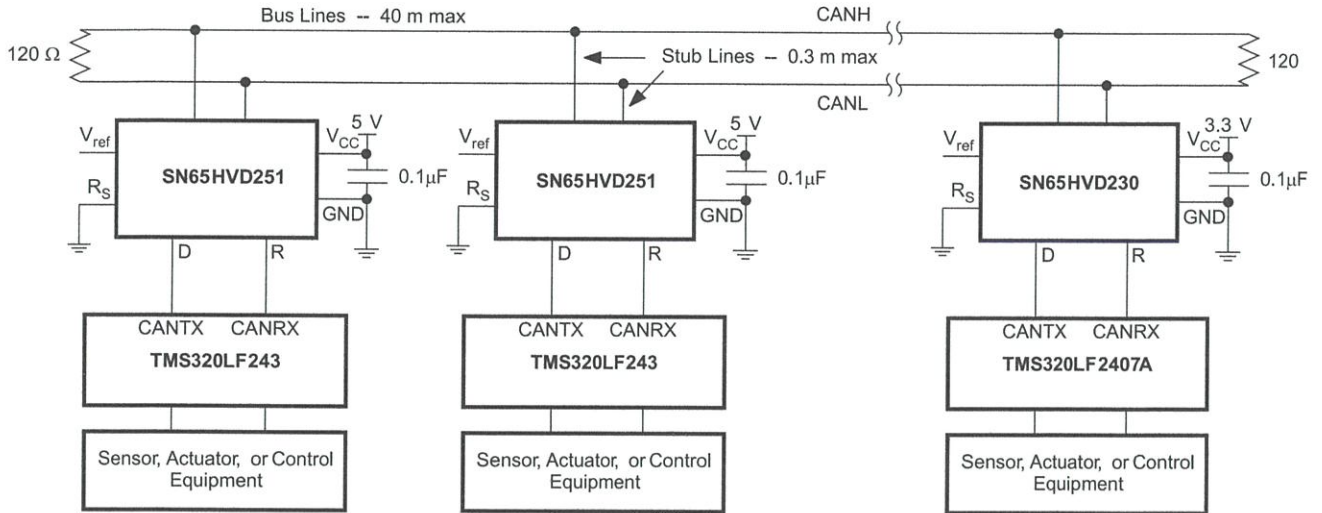


Figure 37. 3.3-V and 5-V CAN Transceiver System

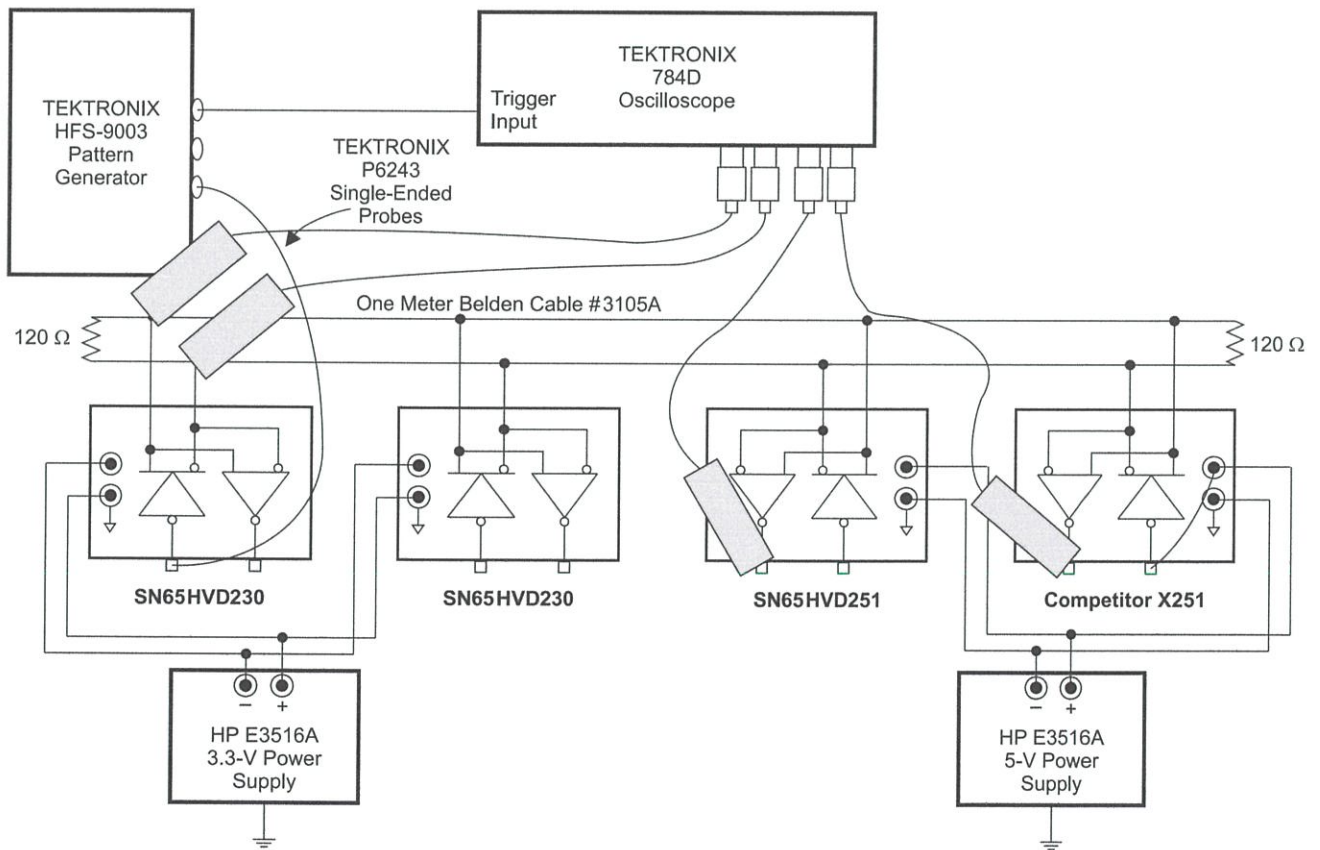


Figure 38. 3.3-V and 5-V CAN Transceiver System Testing

REVISION HISTORY

Changes from Revision I (October 2007) to Revision J		Page
• Deleted Low-to-High Propagation Delay Time vs Common-Mode Input Voltage Characteristics		17
• Deleted Driver Schematic Diagram		17
• Added Figure 37		25
• Added Figure 38		25

Changes from Revision J (January 2009) to Revision K		Page
• Replaced the DISSIPATION RATING TABLE with the Thermal Information table		6

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾	Samples (Requires Login)
SN65HVD230D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Purchase Samples
SN65HVD230DG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Purchase Samples
SN65HVD230DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Request Free Samples
SN65HVD230DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Request Free Samples
SN65HVD231D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Request Free Samples
SN65HVD231DG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Request Free Samples
SN65HVD231DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Purchase Samples
SN65HVD231DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Purchase Samples
SN65HVD232D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Request Free Samples
SN65HVD232DG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Request Free Samples
SN65HVD232DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Purchase Samples
SN65HVD232DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	Purchase Samples

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

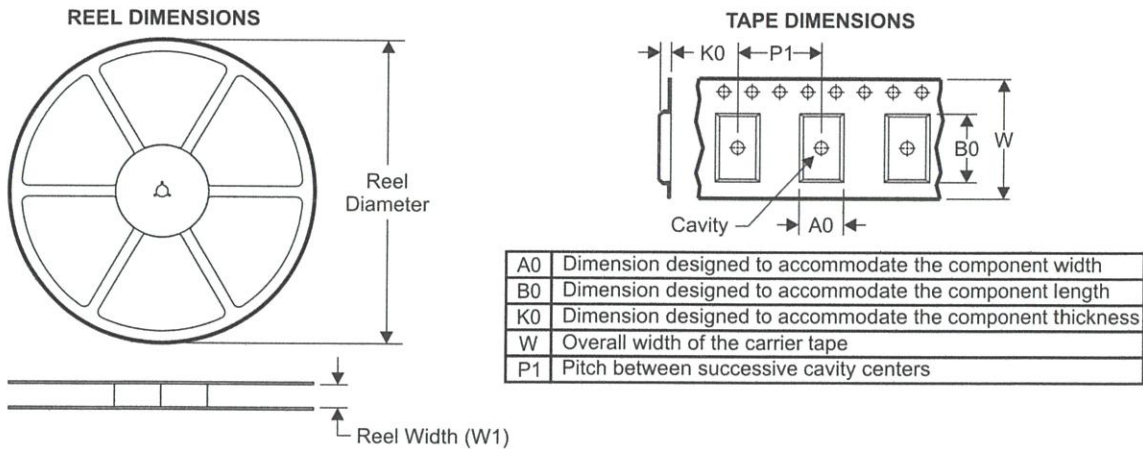
Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

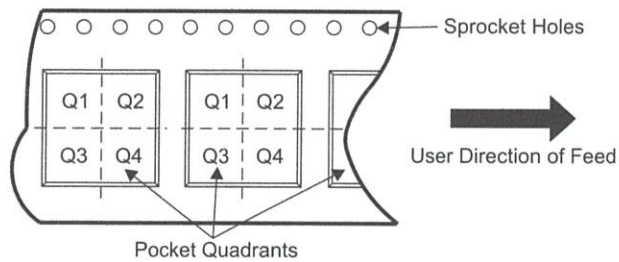
Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

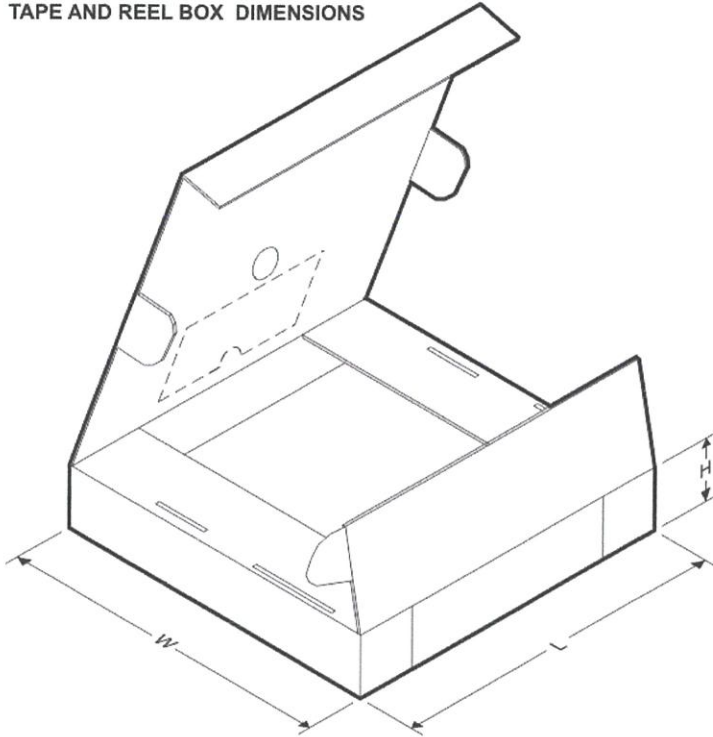


QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
SN65HVD230DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
SN65HVD231DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
SN65HVD232DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

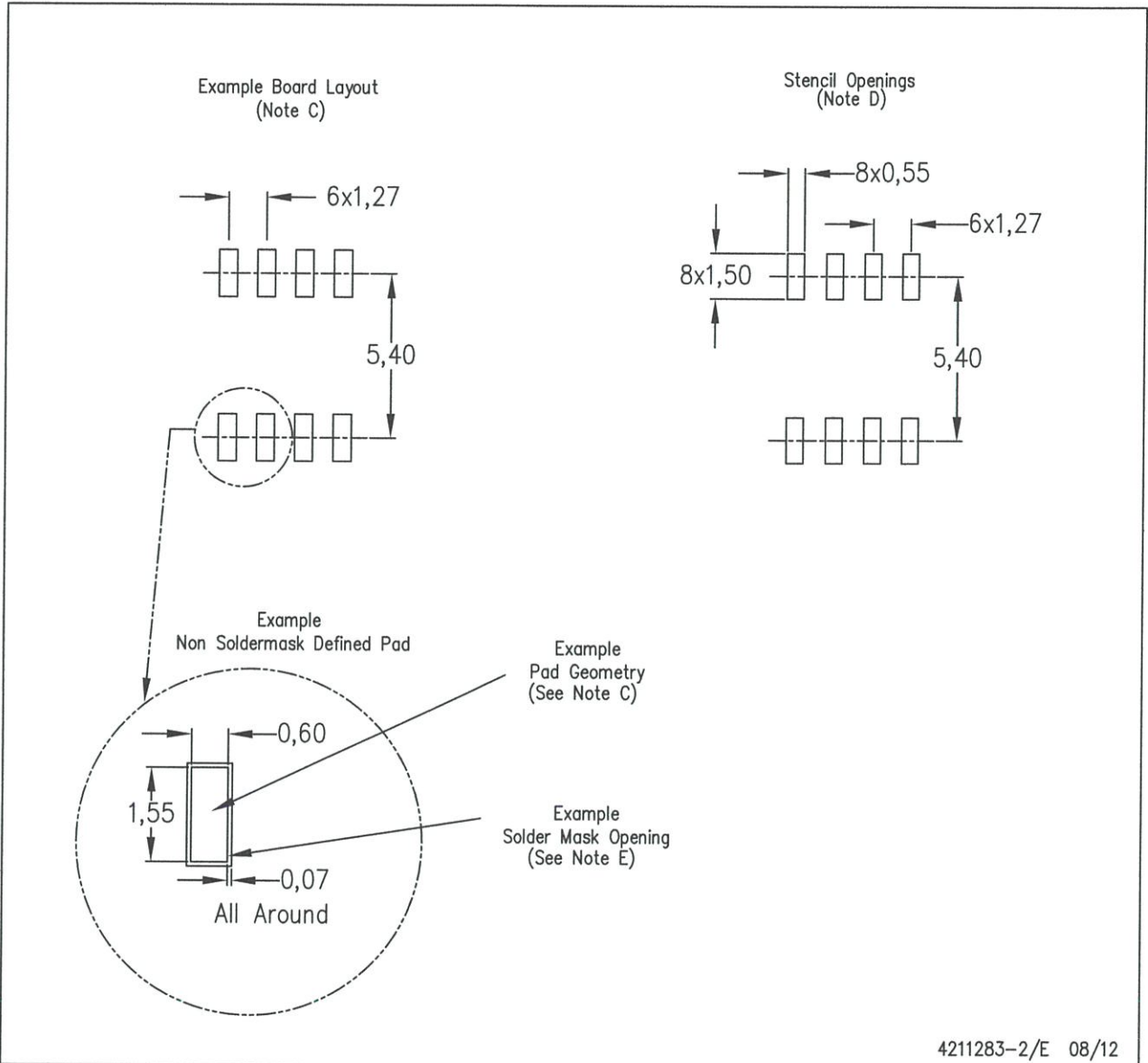
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
SN65HVD230DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
SN65HVD231DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
SN65HVD232DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46C and to discontinue any product or service per JESD48B. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have *not* been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components which meet ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. Components which have not been so designated are neither designed nor intended for automotive use; and TI will not be responsible for any failure of such components to meet such requirements.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Mobile Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2012, Texas Instruments Incorporated

RS-232 Drivers/Receivers

ADM222/ADM232A/ADM242

FEATURES

- 200 kB/s Transmission Rate
- Small (0.1 μ F) Charge Pump Capacitors
- Single 5 V Power Supply
- Meets All EIA-232-E and V.28 Specifications
- Two Drivers and Two Receivers
- On-Board DC-DC Converters
- ± 9 V Output Swing with 5 V Supply
- ± 30 V Receiver Input Levels
- Pin Compatible with MAX222/MAX232A/MAX242

APPLICATIONS

- Computers
- Peripherals
- Modems
- Printers
- Instruments

GENERAL DESCRIPTION

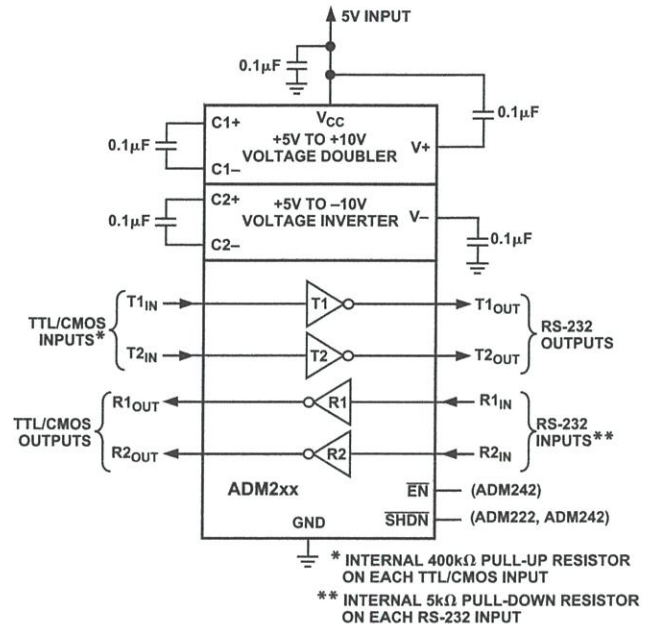
The ADM222, ADM232A, ADM242 are a family of high-speed RS-232 line drivers/receivers offering transmission rates up to 200 kB/s. Operating from a single 5 V power supply, a highly efficient on-chip charge pump using small (0.1 μ F) external capacitors allows RS-232 bipolar levels to be developed. Two RS-232 drivers and two RS-232 receivers are provided on each device.

The devices are fabricated on BiCMOS, an advanced mixed technology process that combines low power CMOS with high-speed bipolar circuitry. This allows for transmission rates up to 200 kB/s, yet minimizes the quiescent power supply current to under 5 mA.

The ADM232A is a pin-compatible, high-speed upgrade for the AD232 and for the ADM232L. It is available in 16-lead DIP and in both narrow and wide surface-mount (SOIC) packages.

The ADM222 contains an additional shutdown ($\overline{\text{SHDN}}$) function that may be used to disable the device, thereby reducing the supply current to 0.1 μ A. During shutdown, all transmit/receive

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



functions are disabled. The ADM222 is available in 18-lead DIP and in a wide surface-mount (SOIC) package.

The ADM242 combines both shutdown ($\overline{\text{SHDN}}$) and enable ($\overline{\text{EN}}$) functions. The shutdown function reduces the supply current to 0.1 mA. During shutdown, the transmitters are disabled but the receivers continue to operate normally. The enable function allows the receiver outputs to be disabled thereby facilitating sharing a common bus. The ADM242 is available in 18-lead DIP and in a wide surface-mount (SOIC) package.

REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

ADM222/ADM232A/ADM242—SPECIFICATIONS (V_{CC} = 5 V ± 10%. C1–C4 = 0.1 μF; all specifications T_{MIN} to T_{MAX} unless otherwise noted.)

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions/Comments
RS-232 TRANSMITTERS					
Output Voltage Swing	±5	±9		V	All Transmitter Outputs Loaded with 3 kΩ to Ground
Input Logic Threshold Low, V _{INL}		1.7	0.8	V	T _{IN}
Input Logic Threshold High, V _{INH}	2.4	1.7		V	T _{IN}
Logic Pull-Up Current		12	40	μA	T _{IN} = 0 V
Data Rate	200			kB/s	
Output Resistance	300			Ω	V _{CC} = V ₊ = V ₋ = 0 V, V _{OUT} = ±2 V
Output Short Circuit Current (Instantaneous)		±10		mA	
RS-232 RECEIVERS					
RS-232 Input Voltage Range	-30		+30	V	
RS-232 Input Threshold Low	0.8	1.2		V	
RS-232 Input Threshold High		1.6	2.4	V	
RS-232 Input Hysteresis	0.2	0.4	1.0	V	V _{CC} = 5 V
RS-232 Input Resistance	3	5	7	kΩ	T _A = 0°C to 85°C
TTL/CMOS Output Voltage Low, V _{OL}		0.05	0.4	V	I _{OUT} = 3.2 mA
TTL/CMOS Output Voltage High, V _{OH}	3.5			V	I _{OUT} = -1.0 mA
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	-2	-85		mA	Source Current (V _{OUT} = GND)*
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	10	35		mA	Sink Current (V _{OUT} = V _{CC})*
TTL/CMOS Output Leakage Current		±0.05	±10	μA	$\overline{\text{SHDN}} = \text{GND}/\overline{\text{EN}} = \text{V}_{\text{CC}}$ 0 V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}
$\overline{\text{EN}}$ Input Threshold Low, V _{INL}		1.4	0.8	V	
$\overline{\text{EN}}$ Input Threshold High, V _{INH}	2.0	1.4		V	
POWER SUPPLY					
Power Supply Current		4	8	mA	No Load
		13		mA	3 kΩ Load on Both Outputs
Shutdown Power Supply Current		0.1	10	μA	
$\overline{\text{SHDN}}$ Input Leakage Current			±1	μA	
$\overline{\text{SHDN}}$ Input Threshold Low, V _{INL}		1.4	0.8	V	
$\overline{\text{SHDN}}$ Input Threshold High, V _{INH}	2.0	1.4		V	
AC CHARACTERISTICS					
Transition Region Slew Rate	3	8	30	V/μs	C _L = 50 pF to 1000 pF, R _L = 3 kΩ to 7 kΩ Measured from +3 V to -3 V or -3 V to +3 V
Transmitter Propagation Delay TTL to RS-232		0.85	3.5	μs	t _{PHLT}
		1.0	3.5	μs	t _{PLHT}
Receiver Propagation Delay RS-232 to TTL		0.1	0.5	μs	t _{PHLR}
		0.3	0.5	μs	t _{PLHR}
Receiver Output Enable Time		125	500	ns	t _{ER}
Receiver Output Disable Time		160	500	ns	t _{DR}
Transmitter Output Enable Time		250		μs	$\overline{\text{SHDN}}$ Goes High
Transmitter Output Disable Time		3.5		μs	$\overline{\text{SHDN}}$ Goes Low
Transmitter + to - Propagation Delay Difference		150		ns	
Receiver + to - Propagation Delay Difference		200		ns	

*Guaranteed by design, not production tested.

Specifications subject to change without notice.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

V_{CC}	6 V
$V+$	$(V_{CC} - 0.3 \text{ V})$ to +13 V
$V-$	+0.3 V to -13 V
Input Voltages	
T_{IN}	-0.3 V to $(V_{CC} + 0.3 \text{ V})$
R_{IN}	$\pm 30 \text{ V}$
Output Voltages	
T_{OUT}	$(V+, +0.3 \text{ V})$ to $(V-, -0.3 \text{ V})$
R_{OUT}	-0.3 V to $(V_{CC} + 0.3 \text{ V})$
Short Circuit Duration	
T_{OUT}	Continuous
Power Dissipation N-16	400 mW
(Derate 7.5 mW/ $^\circ\text{C}$ above 70°C)	
θ_{JA} , Thermal Impedance	80 $^\circ\text{C}/\text{W}$
Power Dissipation R-16N	400 mW
(Derate 7 mW/ $^\circ\text{C}$ above 70°C)	
θ_{JA} , Thermal Impedance	80 $^\circ\text{C}/\text{W}$
Power Dissipation R-16W	400 mW
(Derate 7 mW/ $^\circ\text{C}$ above 70°C)	
θ_{JA} , Thermal Impedance	80 $^\circ\text{C}/\text{W}$
Power Dissipation N-18	400 mW
(Derate 7 mW/ $^\circ\text{C}$ above 70°C)	
θ_{JA} , Thermal Impedance	80 $^\circ\text{C}/\text{W}$

Power Dissipation R-18W	400 mW
(Derate 7 mW/ $^\circ\text{C}$ above 70°C)	
θ_{JA} , Thermal Impedance	80 $^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating Temperature Range	
Industrial (A Version)	-40 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	-65 $^\circ\text{C}$ to +150 $^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300 $^\circ\text{C}$
Vapor Phase (60 sec)	215 $^\circ\text{C}$
Infrared (15 sec)	220 $^\circ\text{C}$

*This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

Test Circuits

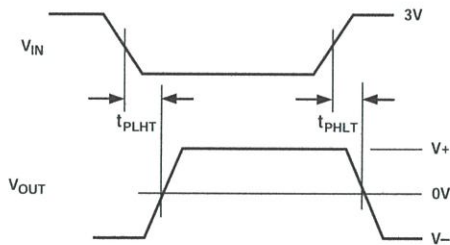


Figure 1. Transmitter Propagation Delay Timing

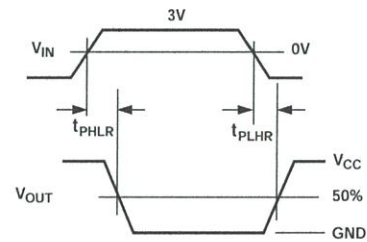


Figure 3. Receiver Propagation Delay Timing

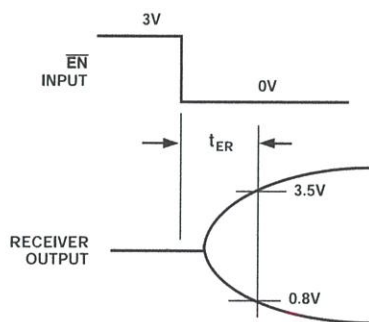


Figure 2. Receiver Enable Timing

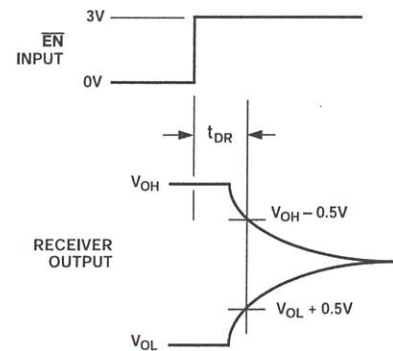


Figure 4. Receiver Disable Timing

ADM222/ADM232A/ADM242

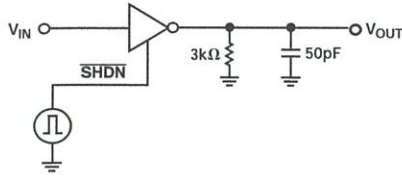


Figure 5. Shutdown Test Circuit

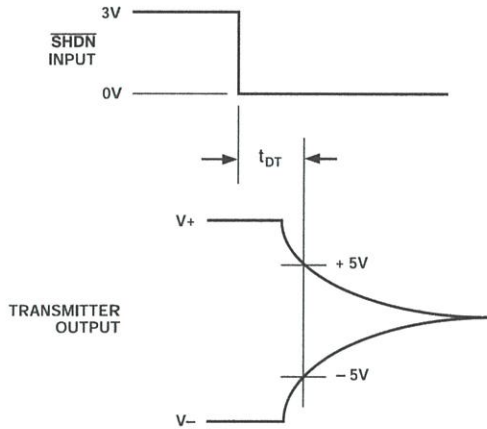


Figure 6. Transmitter Shutdown Disable Timing

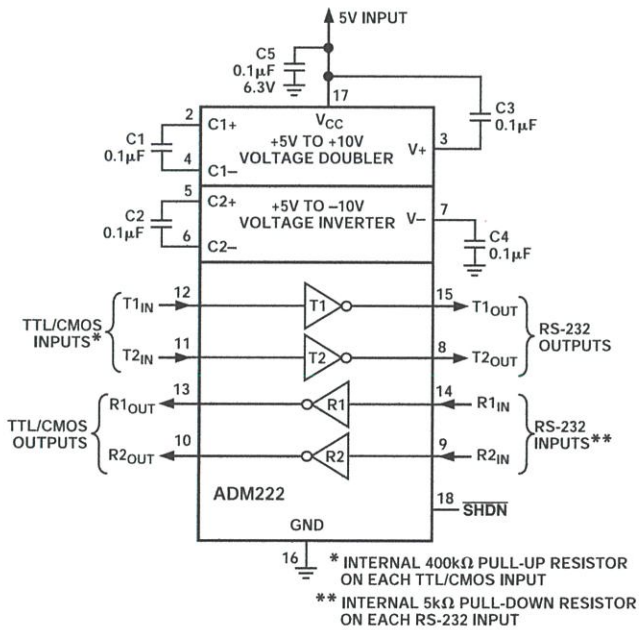


Figure 7. ADM222 Typical Operating Circuit

PIN FUNCTION DESCRIPTION

Mnemonic	Function
V _{CC}	Power Supply Input, 5 V ± 10%.
V+	Internally generated positive supply (+10 V nominal).
V-	Internally generated negative supply (-10 V nominal).
GND	Ground Pin. Must be connected to 0 V.
C1+	External capacitor 1, (+ terminal) is connected to this pin.
C1-	External capacitor 1, (- terminal) is connected to this pin.
C2+	External capacitor 2, (+ terminal) is connected to this pin.
C2-	External capacitor 2, (- terminal) is connected to this pin.
T _{IN}	Transmitter (Driver) Inputs. These inputs accept TTL/CMOS levels. An internal 400 kΩ pull-up resistor to V _{CC} is connected on each input.
T _{OUT}	Transmitter (Driver) Outputs. These are RS-232 levels (typically ±9 V).
R _{IN}	Receiver Inputs. These inputs accept RS-232 signal levels. An internal 5 kΩ pull-down resistor to GND is connected on each of these inputs.
R _{OUT}	Receiver Outputs. These are TTL/CMOS levels.
NC	No Connect. No connections are required to this pin.
$\overline{\text{EN}}$	(ADM242 Only) Active Low Digital Input. May be used to enable or disable (three-state) both receiver outputs.
$\overline{\text{SHDN}}$	(ADM222 and ADM242) Active Low Digital Input. May be used to disable the device so that the power consumption is minimized. On the ADM222 all drivers and receivers are disabled. On the ADM242 the drivers are disabled but the receivers remain enabled.

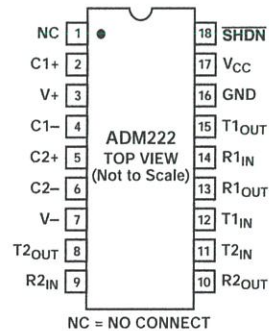


Figure 8. ADM222 DIP and SOIC Pin Configurations

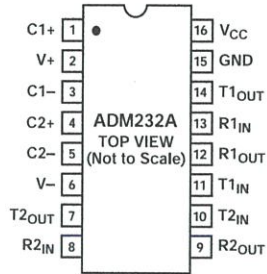


Figure 9. ADM232A DIP/SOIC Pin Configuration

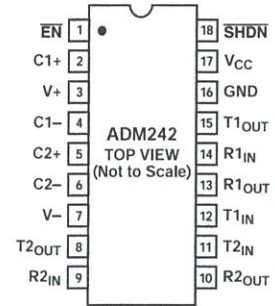


Figure 11. ADM242 DIP/SOIC Pin Configuration

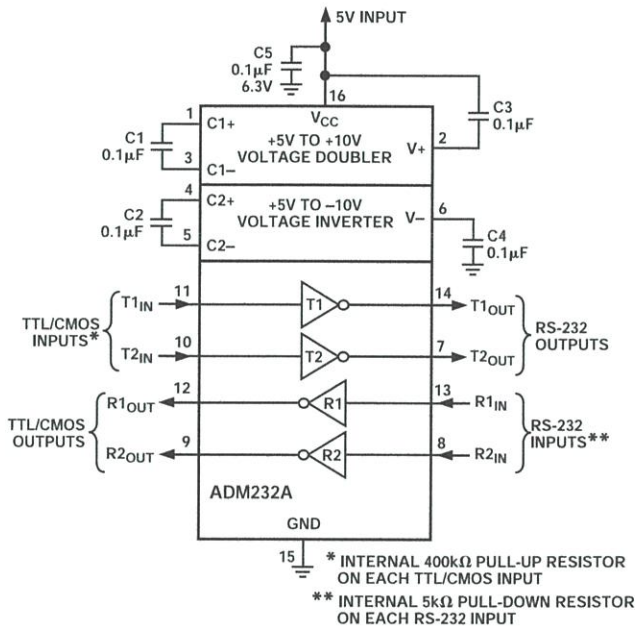


Figure 10. ADM232A Typical Operating Circuit

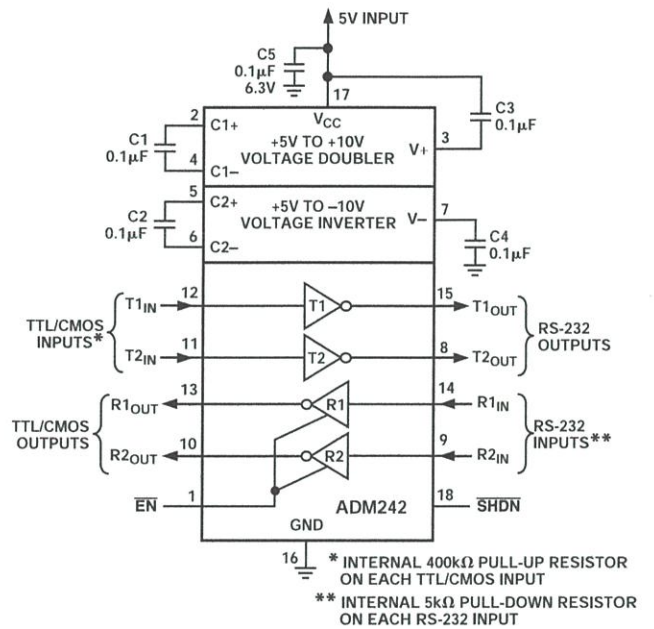
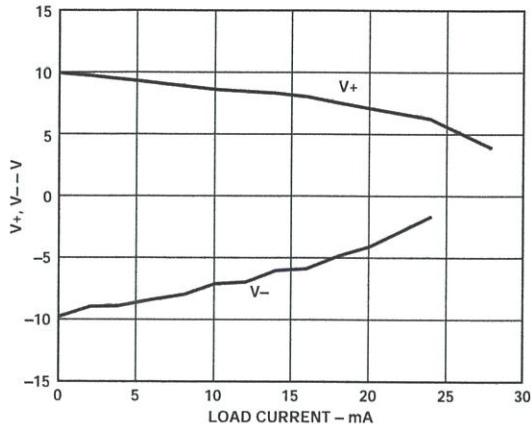
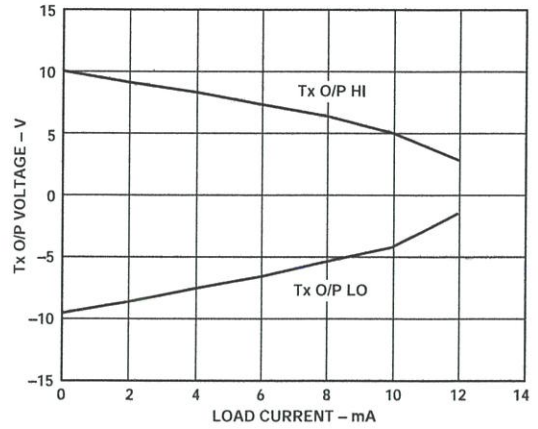


Figure 12. ADM242 Typical Operating Circuit

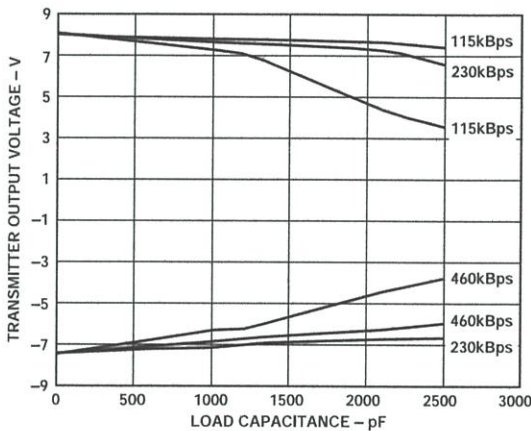
ADM222/ADM232A/ADM242 – Typical Performance Characteristics



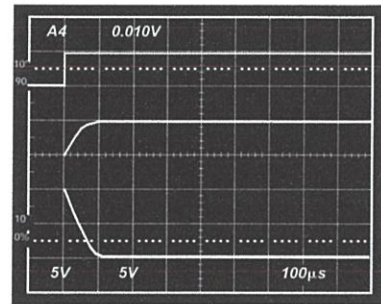
TPC 1. Charge Pump V+, V- vs. Current



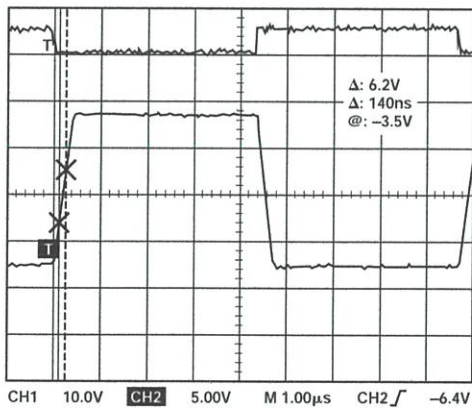
TPC 4. Transmitter Output Voltage vs. Current



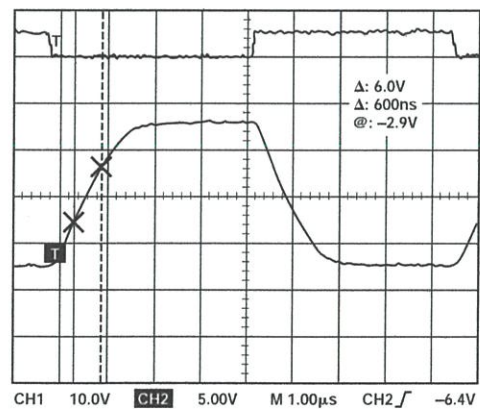
TPC 2. Transmitter Baud Rate vs. Load Capacitance



TPC 5. Charge Pump V+, V- Exiting Shutdown



TPC 3. Transmitter Unloaded Slew Rate



TPC 6. Transmitter Fully Loaded Slew Rate

GENERAL INFORMATION

The ADM222/ADM232A/ADM242 are high-speed RS-232 drivers/receivers requiring a single digital 5 V supply. The RS-232 standard requires transmitters that will deliver ± 5 V minimum on the transmission channel and receivers that can accept signal levels down to ± 3 V. The parts achieve this by integrating step-up voltage converters and level-shifting transmitters and receivers onto the same chip. CMOS technology is used to keep the power dissipation to an absolute minimum. All devices contain an internal charge pump voltage doubler and a voltage inverter that generates ± 10 V from the 5 V input. Four external 0.1 μF capacitors are required for the internal charge pump voltage converter.

The ADM222/ADM232A/ADM242 is a modification, enhancement and improvement to the AD230-AD241 family and derivatives thereof. It is essentially plug-in-compatible and does not have materially different applications.

CIRCUIT DESCRIPTION

The internal circuitry consists of four main sections. These are:

- Charge Pump Voltage Converter
- TTL/CMOS to RS-232 Transmitters
- RS-232 to TTL/CMOS Receivers
- Enable and Shutdown Functions.

Charge Pump DC-DC Voltage Converter

The Charge Pump Voltage converter consists of an oscillator and a switching matrix. The converter generates a ± 10 V supply from the input 5 V level. This is done in two stages using a switched capacitor technique. The 5 V input supply is doubled to 10 V using capacitor C1 as the charge storage element. The -10 V level is also generated from the input 5 V supply using C1 and C2 as the storage elements.

Capacitors C3 and C4 are used to reduce the output ripple. Their values are not critical and can be reduced if higher levels of ripple are acceptable. The charge pump capacitors C1 and C2 may also be reduced at the expense of higher output impedance on the V+ and V- supplies.

The V+ and V- supplies may also be used to power external circuitry if the current requirements are small. Please refer to the typical performance characteristics which shows the V+, V- output voltage vs. current.

In the shutdown mode the charge pump is disabled and V+ decays to V_{CC} while V- decays to 0 V.

Transmitter (Driver) Section

The Drivers convert TTL/CMOS input levels into RS-232 output levels. With $V_{CC} = 5$ V and driving a typical RS-232 load, the output voltage swing is ± 9 V. Even under worst-case conditions the drivers are guaranteed to meet the ± 5 V RS-232 minimum requirement.

The input threshold levels are both TTL- and CMOS-compatible with the switching threshold set at $V_{CC}/4$. With a nominal $V_{CC} = 5$ V, the switching threshold is 1.25 V typical. Unused inputs may be left unconnected, as an internal 400 k Ω pull-up resistor pulls them high forcing the outputs into a low state.

As required by the RS-232 standard, the slew rate is limited to less than 30 V/ μs without the need for an external slew limiting capacitor, and the output impedance in the power-off state is greater than 300 Ω .

Receiver Section

The receivers are inverting level-shifters that accept RS-232 input levels (± 3 V to ± 15 V) and translate them into 5 V TTL/CMOS levels. The inputs have internal 5 k Ω pull-down resistors to ground and are also protected against overvoltages of up to ± 30 V. The guaranteed switching thresholds are 0.8 V minimum and 2.4 V maximum, which are well within the ± 3 V RS-232 requirement. The low level threshold is deliberately positive as it ensures that an unconnected input will be interpreted as a low level.

The receivers have Schmitt trigger input with a hysteresis level of 0.5 V. This ensures error-free reception for both noisy inputs and for inputs with slow transition times

Enable and Shutdown Functions

On the ADM222, both receivers are fully disabled during shutdown.

On the ADM242, both receivers continue to operate normally. This function is useful for monitoring activity so that when it occurs, the device can be taken out of the shutdown mode.

The ADM242 also contains a receiver enable function ($\overline{\text{EN}}$) which can be used to fully disable the receivers, independent of $\overline{\text{SHDN}}$.

APPLICATIONS INFORMATION

A selection of typical operating circuits is shown in TPCs 1-6 and Figure 13.

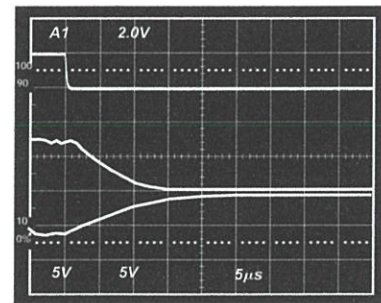
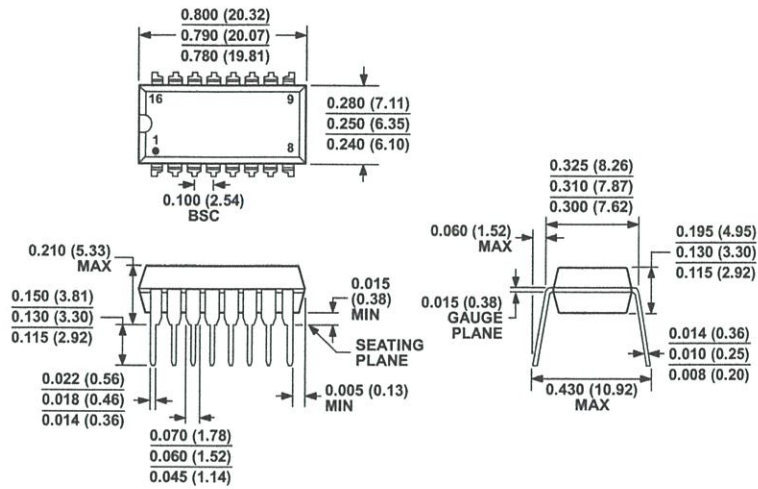


Figure 13. Transmitter Output Disable Timing

ADM222/ADM232A/ADM242

OUTLINE DIMENSIONS

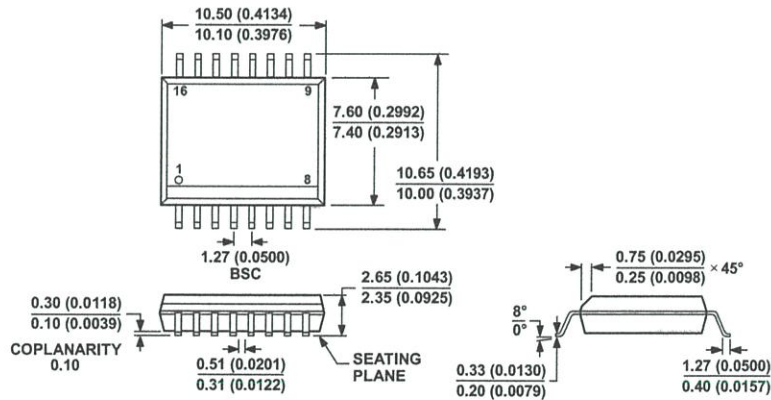


COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-001-AB
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF INCH EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN. CORNER LEADS MAY BE CONFIGURED AS WHOLE OR HALF LEADS.

Figure 14. 16-Lead Plastic Dual In-Line Package [PDIP] Narrow Body (N-16)

Dimensions shown in inches and (millimeters)

073106-B

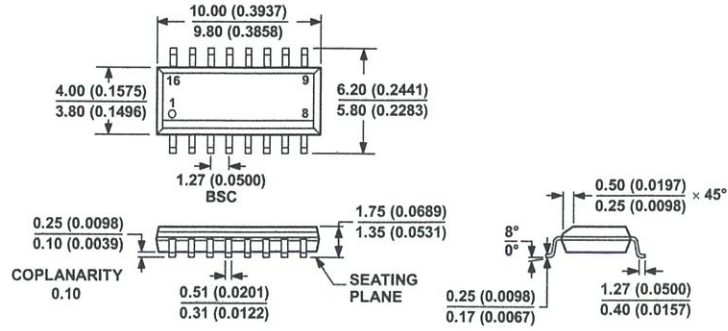


COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-013-AA
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 15. 16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W] Wide Body (RW-16)

Dimensions shown in millimeters and (inches)

032707-B

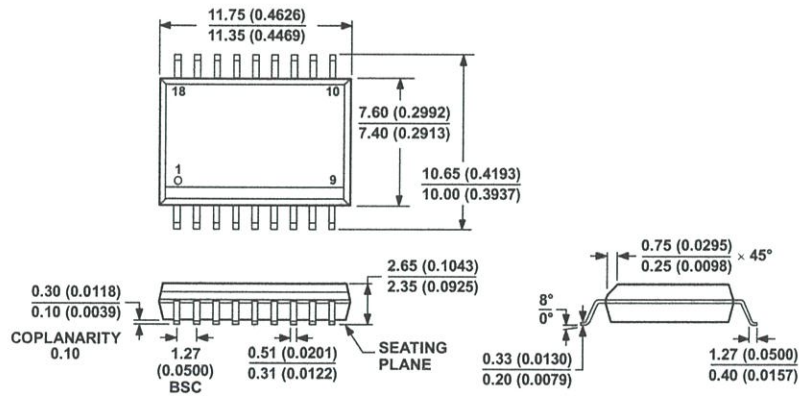


COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012-AC
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS
 (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR
 REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 16. 16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_N]
 Narrow Body
 (R-16)

Dimensions shown in millimeters and (inches)

060606-A



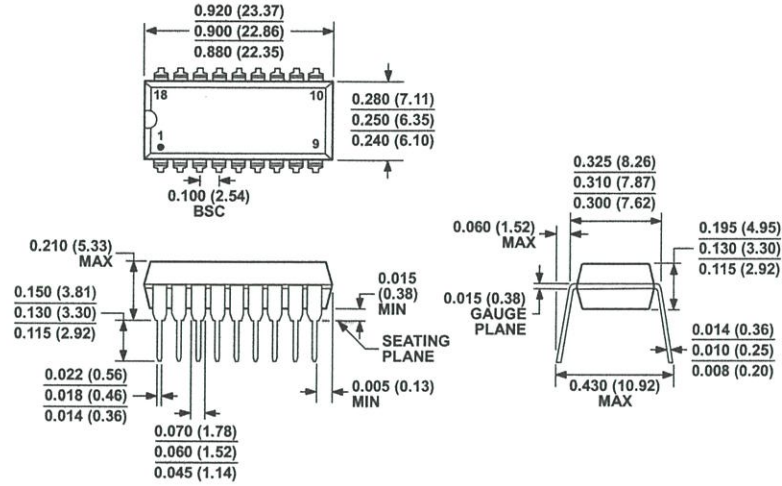
COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-013-AB
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS
 (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR
 REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 17. 18-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]
 Wide Body
 (RW-18)

Dimensions shown in millimeters and (inches)

060706-A

ADM222/ADM232A/ADM242



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-001
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS
 (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF INCH EQUIVALENTS FOR
 REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.
 CORNER LEADS MAY BE CONFIGURED AS WHOLE OR HALF LEADS.

Figure 18. 18-Lead Plastic Dual In-Line Package [PDIP]
 Narrow Body
 (N-18)

Dimensions shown in inches and (millimeters)

07/096-A

ORDERING GUIDE

Model ¹	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADM222AN	-40°C to +85°C	18-Lead PDIP	N-18
ADM222ANZ	-40°C to +85°C	18-Lead PDIP	N-18
ADM222AR	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18
ADM222ARZ	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18
ADM222ARZ-REEL	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18
ADM232AAN	-40°C to +85°C	16-Lead PDIP	N-16
ADM232AANZ	-40°C to +85°C	16-Lead PDIP	N-16
ADM232AARN	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_N	R-16
ADM232AARN-REEL	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_N	R-16
ADM232AARN-REEL7	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_N	R-16
ADM232AARNZ	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_N	R-16
ADM232AARNZ-REEL	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_N	R-16
ADM232AARNZ-REEL7	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_N	R-16
ADM232AARW	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_W	RW-16
ADM232AARW-REEL	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_W	RW-16
ADM232AARWZ	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_W	RW-16
ADM232AARWZ-REEL	-40°C to +85°C	16-Lead SOIC_W	RW-16
ADM242AN	-40°C to +85°C	18-Lead PDIP	N-18
ADM242ANZ	-40°C to +85°C	18-Lead PDIP	N-18
ADM242AR	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18
ADM242AR-REEL	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18
ADM242ARZ	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18
ADM242ARZ-REEL	-40°C to +85°C	18-Lead SOIC_W	RW-18

¹ Z = RoHS Compliant Part.

REVISION HISTORY

11/10—Rev. A to Rev. B

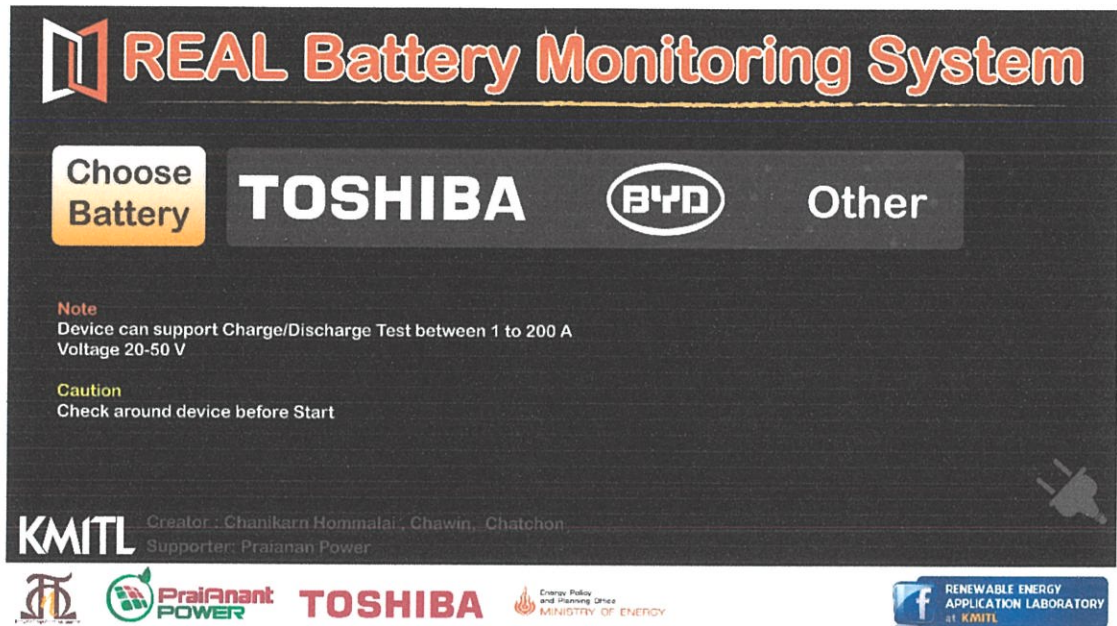
Updated Outline Dimensions 9
Changes to Ordering Guide 10

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งาน Software REAL Battery Monitoring System

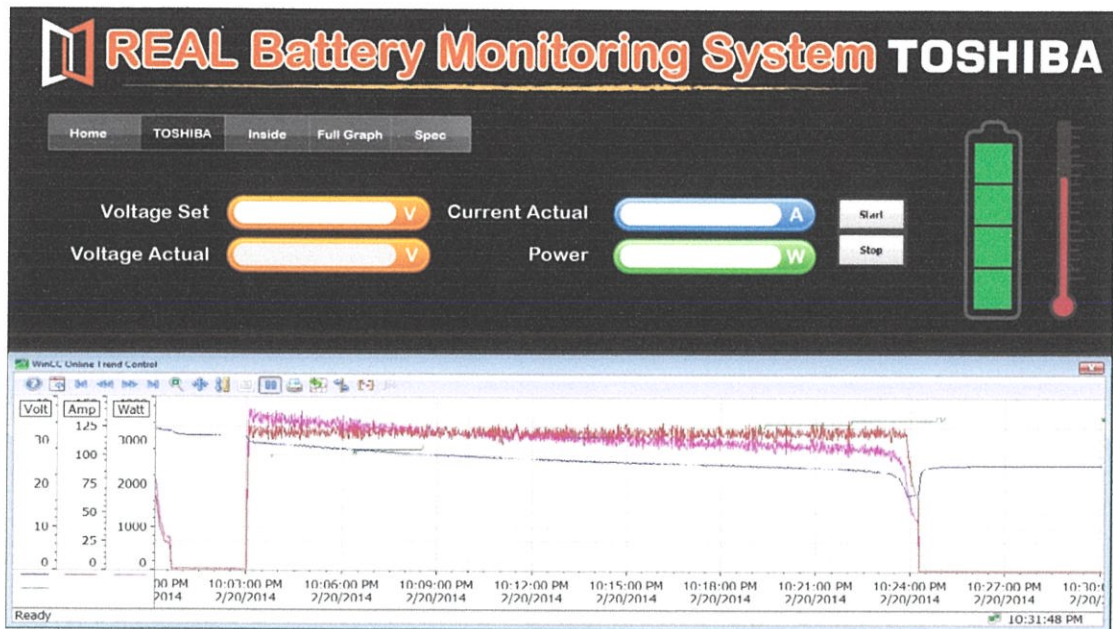
คู่มือการใช้งาน Software REAL Battery Monitoring System

1. เปิดแกรม REAL Battery Monitoring System



รูปที่ ง.1 หน้าจอหลักสำหรับผู้ใช้งาน REAL Battery Monitoring System

2. เลือกแบตเตอรี่ที่ต้องการทำการทดสอบโดยการคลิกที่บนไอคอน
 - a. คลิก เพื่อทำการทดสอบแบตเตอรี่ TOSHIBA MODEL
 - b. คลิก เพื่อทำการทดสอบแบตเตอรี่ BYD
 - c. คลิก เพื่อทำการทดสอบแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ
3. ใส่ค่าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าหรือค่าแรงดันที่ต้องการคายประจุไฟฟ้าตามที่ต้องการในช่อง Voltage Set แล้วกดปุ่ม Enter
 - a. หากต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้ใส่ค่าแรงดันที่มากกว่า Voltage Actual
 - b. หากต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้ใส่ค่าแรงดันที่ต่ำกว่า Voltage Actual
4. กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการทดสอบ ถ้าหากต้องการหยุดการทดสอบให้กดปุ่ม Stop



รูปที่ ง.2 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่ Toshiba

การส่งออกข้อมูล (Export)

หากต้องการ Export ข้อมูลให้กดปุ่ม  โดยไฟล์ที่ Export ออกมาได้จะเป็นไฟล์ .csv

หน้าจออื่นๆ

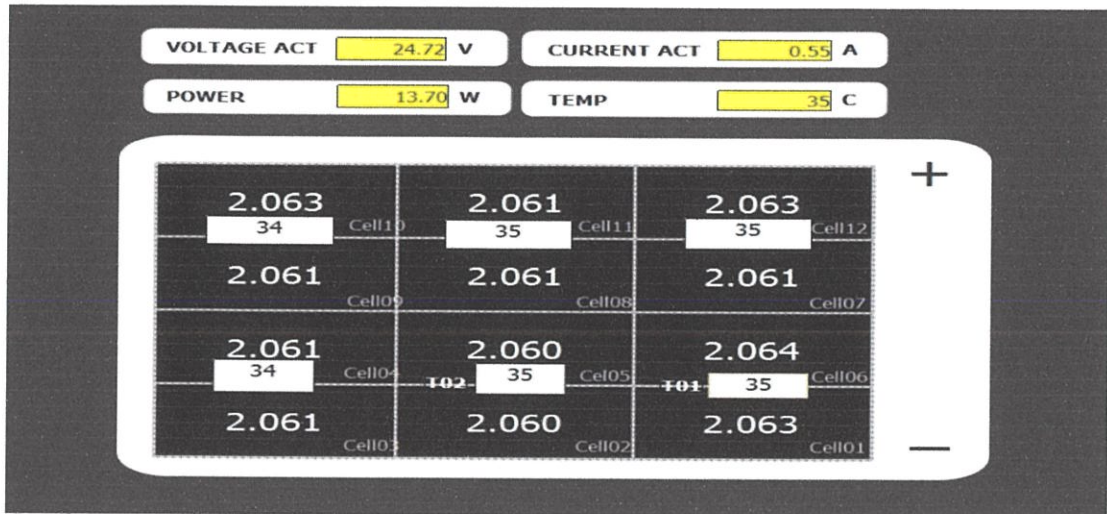


ง.3 แถบเครื่องมือของโปรแกรม REAL Battery Monitoring System

กด Home หากต้องการกลับสู่เมนูหลัก

กด Inside หากต้องการดูข้อมูลแรงดันแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่และอุณหภูมิภายใน ดังรูป

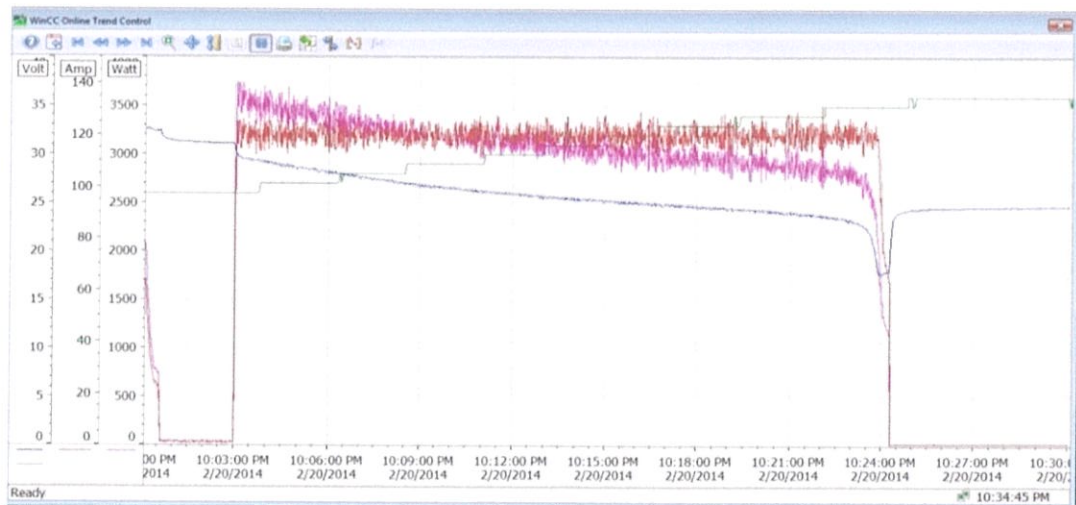
ง.4



จ.4 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ภายในของแบตเตอรี่

กด Full Graph หากต้องการดูกราฟแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ แบบ Full Screen ดังรูปที่ จ.5

กด Spec หากต้องการทราบข้อมูลเบื้องต้นของแบตเตอรี่ที่ทดสอบ



รูปที่ จ.5 หน้าจอแสดงกราฟแบบเต็มจอ (Full Graph)

ภาคผนวก จ
บทความวิชาการ

ระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ

Battery Monitoring System by Detecting Dead Battery Cell

ชนิกานต์ หอมมาลัย ชวิน หฤหรรษพงศ์ และชัชชล กระต่ายทอง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-739-2478 E-Mail: chatchon003@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้ ในปริภูมิงานนี้ ได้ทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสต่างๆ และนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ค่ากระแส แรงแค่น อุณหภูมิ ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า มาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ พร้อมทั้งแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบ การรับข้อมูลของแบตเตอรี่จะใช้การสื่อสารแบบ CAN ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการประมวลผล และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ ได้แก่ ค่าแรงแค่นต่อเซลล์ กระแสขณะอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ ความหนาแน่นทางกำลังไฟฟ้า และความหนาแน่นทางพลังงาน ในการแสดงผลนี้สามารถบอกได้ถึงเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ใกล้เสื่อมสภาพ และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ

คำสำคัญ: แบตเตอรี่, ตรวจสอบเซลล์เสื่อมสภาพ, ทดสอบแบตเตอรี่

Abstract

The development of battery monitoring system by detecting dead battery cell is proposed in this paper. The experiment of charging and discharging has been tested in different values of the current. Then, the parameters of battery, which are current, voltage, and temperature are analyzed in order to detect the dead battery cell. The monitoring also shows the parameter of battery during testing. The CAN (Controlled Area Network) Communication is used to transfer all data between the microcontroller and the proposed PLC together with a computer. The outputs showing on the screen are voltage per cell, current of charging or discharging, temperature within battery, power density, and also energy density. The dead battery cells and the efficient of battery can also be indicated by this monitor device.

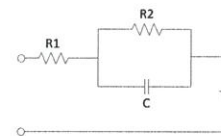
Keyword: Battery, Dead Cell Detection, Battery Test

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงมีการนำพลังงานทดแทนเข้ามาช่วยในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งพลังงานทดแทนไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและคงที่ ระบบจัดเก็บพลังงานสำรองจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในระบบไฟฟ้า นอกจากช่วยในการจัดเก็บพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแล้ว ยังเป็นส่วนช่วยในการเพิ่มความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า ในสถานที่ที่มีภาระทางไฟฟ้าที่สำคัญ เช่น โรงพยาบาล ท่าอากาศยาน โรงงานอุตสาหกรรมในกระบวนการที่ต้องมีการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง

ระบบจัดเก็บพลังงานสำรองมีส่วนช่วยในการเพิ่มความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้าให้มีการจ่ายไฟอย่างต่อเนื่องและช่วยลดความเสี่ยงต่อชีวิต เศรษฐกิจ และทรัพย์สิน ที่เกิดขึ้นจากความไม่ต่อเนื่องของการส่งจ่ายไฟ โดยระบบจัดเก็บพลังงานสำรองในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมใช้คือการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถนำไปจ่ายภาระทางไฟฟ้าได้ทันที และเพื่อให้การใช้งานของระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองด้วยแบตเตอรี่ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีระบบตรวจสอบและแสดงสถานะปัจจุบันของแบตเตอรี่

บทความนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้ โดยนำค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่มาแสดงผลผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ ได้แก่ค่าแรงแค่นไฟฟ้ารวม แรงแค่นไฟฟ้าต่อเซลล์ กระแสไฟฟ้าขณะใช้งาน อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อทำการวิเคราะห์หาช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่ทดสอบ นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังสามารถตรวจสอบเซลล์ที่เสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ โดยจะทำการแจ้งเตือนและผู้ดูแลสามารถดำเนินการแก้ไขได้อย่างทันที เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดกับแบตเตอรี่ชุดอื่นๆ และก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบสำรองไฟฟ้า และช่วยขจัดมลภาวะและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะอันตรายประเภทแบตเตอรี่อีกด้วย



รูปที่ 1 วงจรสมมูลแบตเตอรี่ที่ใช้พิจารณาค่าพารามิเตอร์

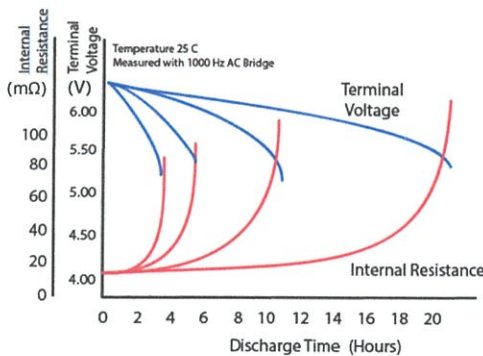
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่

มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบแบตเตอรี่จะต้องมีการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังกำหนดให้มีการทดสอบวัดค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Internal Resistance) โดยความต้านทานภายในจะมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาและกระแสไฟฟ้าใช้งานของแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งค่าความต้านทานภายในเป็นตัวชี้วัดถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมลงของแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของวงจรสมมูลแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่นำมาพิจารณาคือค่า R_1 เนื่องจากเป็นค่าที่ส่งผลให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากความต้านทาน ขณะใช้งานแบตเตอรี่

โดยค่าความต้านทานภายในที่พิจารณาสามารถหาได้โดยวิธีการอัดประจุไฟฟ้าหรือคายประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ จะได้ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งลักษณะของกราฟดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าความต้านทานภายในได้จากกฎของโอห์ม ดังแสดงในสมการที่ 1

$$R_1 = (V_1 - V_2) / I \quad (1)$$

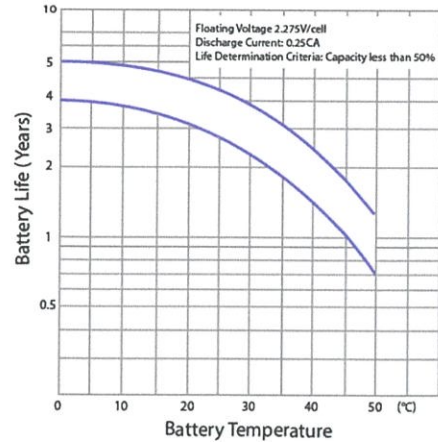


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานภายในและเวลาในการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3 หากมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิสูง จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือมีอายุการใช้งานที่สั้นลงจากที่บริษัทได้ระบุไว้

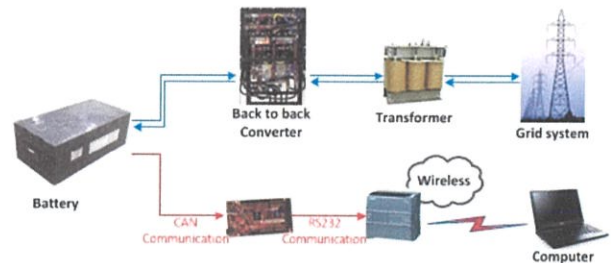
ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยตรง คือค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งหากค่าความต้านทานภายในมีค่ามากจะส่งผลให้เกิดความร้อนกับแบตเตอรี่ในขณะที่อัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า เนื่องจากความสูญเสียที่ตัวต้านทานภายในจากกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิใช้งานและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

3. การออกแบบวงจร

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรแสดงผลของแบตเตอรี่ ได้แก่ วงจรกำลัง วงจรควบคุม วงจรแปลงการสื่อสาร



รูปที่ 4 แผนผังการเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่

การเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4 เริ่มจากการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงดันเป็น 50 โวลต์ก่อนไปเชื่อมต่อกับด้านไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ส่วนทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกันจะเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ

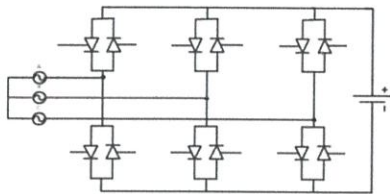
ส่วนของการส่งข้อมูลแบตเตอรี่ใช้วงจร chipKIT Max 32 ในการประมวลผลข้อมูลแบตเตอรี่ โดยข้อมูลจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณการสื่อสารแบบ CAN เป็นสัญญาณ TTL ก่อนเข้าสู่บอร์ดดังกล่าว เมื่อบอร์ด chipKIT Max 32 ทำการประมวลผลข้อมูลของแบตเตอรี่แล้ว จะทำการส่งข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณ TTL ไปยังวงจรแปลงสัญญาณ TTL เป็นสัญญาณการสื่อสารแบบ RS232 ก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ PLC เพื่อแสดงผลในคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 5 การทดสอบแบตเตอรี่ภายในห้องปฏิบัติการ

3.1 วงจรกำลัง

วงจรกำลังนี้ ใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรถูกเชื่อมต่อบนหลังชนกัน ดังรูปที่ 6 ดังนั้นในการส่งพลังงานไฟฟ้านั้นจึงสามารถทำได้สองทิศทาง ทำให้การสามารถทดสอบได้ทั้งการอัดประจุไฟฟ้าและการคายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้จากวงจรนี้



รูปที่ 6 วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรถูกเชื่อมต่อบนหลังชนกัน (Back to Back Converter)

3.2 วงจรควบคุม

ส่วนของวงจรควบคุมใช้วงจร chipKIT Max 32 ในการควบคุมและประมวลผลข้อมูลที่ได้จากแบตเตอรี่ ในการออกแบบวงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข PIC32MX795F512L ในการประมวลผลข้อมูลของแบตเตอรี่

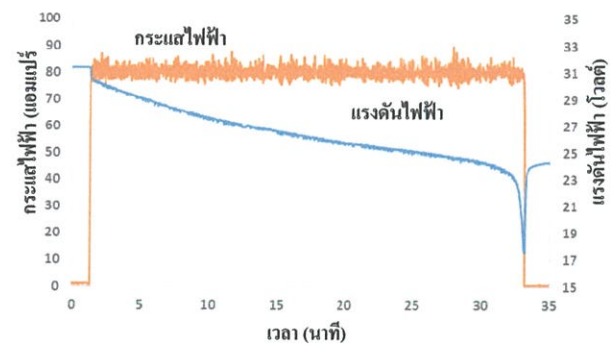
4. ผลการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า (Charge) และการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า (Discharge) ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ และพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อหาค่าความต้านทานภายใน โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ทดสอบเป็นแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ขนาดความจุ 40 Ah แรงดัน 27.6 Volt ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7 เป็นการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้า 80 A (2C) จะพบว่าในช่วงเริ่มการทดสอบที่กระแสไฟฟ้าเริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 80 A จะส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงอย่างทันที ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต้านทานภายใน ซึ่งผลดังกล่าวสามารถนำมาพิจารณาหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่เป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของแบตเตอรี่ได้ และจากการทดลองซ้ำกับค่ากระแสไฟฟ้าต่างกัน สามารถหาค่าความต้านทานภายในได้ดังตารางที่ 1

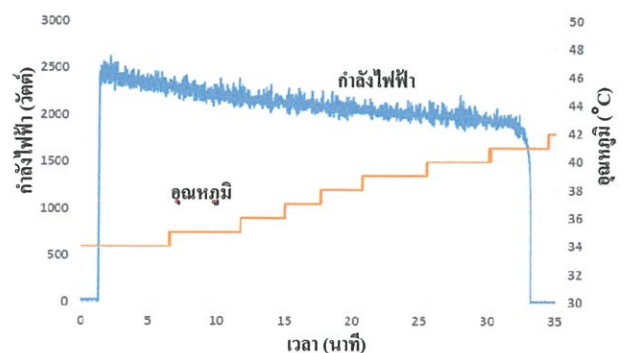
ตารางที่ 1 ค่าความต้านทานภายในจากการทดสอบ

ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อทำการคายประจุไฟฟ้า	
ขนาดกระแสไฟฟ้า	ค่าความต้านทานภายใน (มิลลิโอห์ม)
1C	16.0805
2C	16.3521
3C	16.5532
ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้า	
ขนาดกระแสไฟฟ้า	ค่าความต้านทานภายใน (มิลลิโอห์ม)
1C	16.0806
2C	16.4608
3C	16.7143

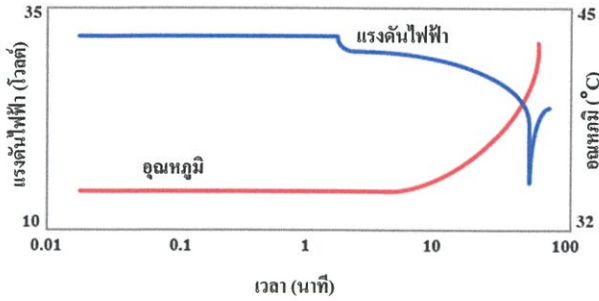
เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลา ในขณะที่การคายประจุไฟฟ้าหรืออัดประจุไฟฟ้า โดยคงที่กระแสไฟฟ้านั้น จะพบว่าเมื่อเวลาทำการคายประจุที่กระแสไฟฟ้า 40 A (1C) อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการคายประจุไฟฟ้าหรืออัดประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 80 A(2C) และ 160 A(3C) ดังตัวอย่างในรูปที่ 8 เป็นการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าที่ 80 A(2C) จะเห็นว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้งานจากอุณหภูมิโดยรอบประมาณ 8 องศาเซลเซียส



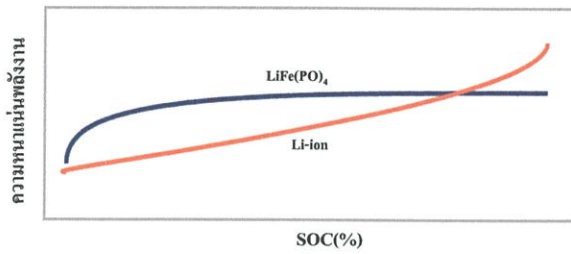
รูปที่ 7 ผลการทดลองของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 8 ผลการทดลองของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ



รูปที่ 9 เปรียบเทียบอุณหภูมิขณะทำการคายประจุไฟฟ้า



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ 2 ชนิด

การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เพื่อประกอบการพิจารณาคุณลักษณะของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 9 เป็นการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 80 A(2C) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่(สีแดง) ในขณะทำงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่(สีน้ำเงิน) มีแนวโน้มลดลง

จากผลการทดสอบแบตเตอรี่สามารถเปรียบเทียบคุณลักษณะของแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้ ดังรูปที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบความหนาแน่นพลังงาน(Power Density) และค่า State of Charge (SOC) ของแบตเตอรี่ 2 ชนิด ได้แก่ชนิด Li-ion (สีส้ม) และชนิด LiFe(PO)₄ (สีน้ำเงิน) จะเห็นได้ว่าที่ SOC สูงแบตเตอรี่ชนิด Li-ion จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานที่สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)₄ ซึ่งตรงข้ามกับ SOC ค่าน้อยค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)₄ จะมีค่ามากกว่าแบตเตอรี่ชนิด Li-ion โดยคุณลักษณะดังกล่าวสามารถนำไปประกอบการพิจารณาการเลือกใช้แบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าที่ใช้งาน เช่น การใช้งานแบตเตอรี่ที่ค่า SOC ไม่สูงมากควรใช้แบตเตอรี่ชนิด LiFe(PO)₄ เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นพลังงานที่มากกว่าแบตเตอรี่ชนิด Li-ion เพราะจะทำให้ได้ระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีน้ำหนักเบา และต้องการการอัดประจุไฟฟ้าขณะเกิดการเบรกได้ดี จำพวกการใช้งานกับรถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่ที่สามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าหรือการคายประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ที่ขนาดกระแสไฟฟ้าเท่ากันจะได้ค่าความต้านทานภายในที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าหรือคายประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น ซึ่งความต้านทานภายในดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิและแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะใช้งาน หากค่าความต้านทานภายในมากเกินไปสามารถบ่งบอกได้ว่าแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ เมื่อนำแบตเตอรี่ไปใช้งานจะเกิดความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดความสูญเสียในตัวต้านทาน ซึ่งอาจเกินช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ อีกทั้งอุณหภูมิยังเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าคุณสมบัติที่ได้รับอนุญาต เนื่องจากแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานภายใน ทำให้แรงดันที่ภาระทางไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าปกติ ดังนั้นค่าความต้านทานภายในจึงเป็นตัวชี้วัดได้ว่าแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพมากน้อยเพียงใด

นอกจากนี้ระบบดังกล่าวสามารถนำมาพิจารณาถึงคุณลักษณะต่างๆของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้ เพื่อประกอบการพิจารณาการเลือกใช้แบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าได้ และยังสามารถหาวิธีการอัดประจุไฟฟ้าที่ลดอุณหภูมิลงที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ได้เบื้องต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) การตรวจพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2556 ของชอบคุณ รศ.ดร.สุรินทร์ คำผอย และ รศ.ประภาษา ไพธสุวรรณารวมถึงทุกท่าน ในห้องปฏิบัติการ Renewable Energy Application Laboratory (REAL) ที่คอยช่วยเหลือ จนการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. B. Reddy, *Linden's handbook of batteries*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [2] J. Li, M. S. Mazzola, J. Gafford, B. Jia, and M. Xin, "Bandwidth based electrical-analogue battery modeling for battery modules," *Journal of Power Sources*, vol. 218, pp. 331-340.
- [3] C. Liang-Rui, "Design of Duty-Varied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 480-487, 2009.

ภาคผนวก จ
โปสเตอร์นำเสนอผลงาน

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวชนิกานต์ หอมมาลัย
 วัน เดือน ปีเกิด 27 กันยายน 2534
 ที่อยู่ 59/28 หมู่บ้านโชคประชา ตำบลบางตลาด
 อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีนนทบุรี

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) ฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล
 ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม 2556



ชื่อ-นามสกุล นายชวิน ทศวรรษพงศ์
 วัน เดือน ปีเกิด 1 มีนาคม 2325
 ที่อยู่ 111 ถนนจุลจอมเกล้า ตำบลท่าข้าม อำเภอพนัสนิคม
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน Tokai University, Japan (Kanagawa)

ระหว่างวันที่ 22 เมษายน ถึง 18 พฤษภาคม 2556



ชื่อ-นามสกุล นายชัชชล กระจ่างทอง
 วัน เดือน ปีเกิด 9 สิงหาคม 2534
 ที่อยู่ 19/1 หมู่ 3 ตำบลบ้านเลือก อำเภอโพธาราม
 จังหวัดราชบุรี 70120

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี
- ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) ฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล
 ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม 2556