



## ระบบชาร์จโทรศัพท์ไร้สายด้วยเซลล์สุริยะ

โดย

นายชุต จุมภู รหัสประจำตัว B5401291  
นายพีระสันต์ ทวีภาวิไล รหัสประจำตัว B5404995  
นางสาวหทัยรัตน์ โตนวุธ รหัสประจำตัว B5411054

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2554  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2557

# ระบบชาร์จอโทรศัพท์ที่ไร้สายด้วยเซลล์สุริยะ

คณะกรรมการสอบโครงการ

---

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

---

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภ)

กรรมการ

---

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2557

โครงการ

ระบบชาร์จโทรศัพท์ไร้สายด้วยเซลล์สุริยะ

โดย

1. นายชุต จุมภูรหัสนิจ B5401291
2. นายพีระสันต์ ทวีภาวิไล รหัสประจำตัว B5404995
3. นางสาวหทัยรัตน์ โต้นวุธ รหัสประจำตัว B5411054

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ดร.พิระพงษ์อุทราสกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาคการศึกษาที่

1/2557

---

**บทคัดย่อ**

โครงการนี้ได้นำเสนอชุดอุปกรณ์ในการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือแบบไร้สายโดยอาศัยเซลล์สุริยะเป็นแหล่งให้พลังงาน ซึ่งจะมีขดลวดแบบ Flat spiral 2 ชั้น ชั้นแรกจะทำหน้าที่เป็นภาคส่งและอีกชั้นจะทำหน้าที่เป็นภาครับ ซึ่งจะแนบติดอยู่กับเคสกันกระแทกของโทรศัพท์มือถือ โดยการส่งผ่านพลังงานไร้สายระหว่างขดลวดทั้งสองฝั่งนั้น ใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสนามแม่เหล็กดังกล่าว

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการคือท่านรองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์อุทสารสกุล ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิดการริเริ่มโครงการรวมถึงการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และดูแลเอาใจใส่ติดตามผลงานอย่างใกล้ชิด ซึ่งแนะข้อบกพร่อง ตลอดจนช่วยให้คำแนะนำ ฝึกฝนและการสนับสนุนคณะผู้จัดทำโครงการ ให้มีความสามารถในการทำโครงการจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนและให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำโครงการมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่านอาจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ ผู้เป็นทั้งอาจารย์และนักศึกษารุ่นพี่สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่คอยแนะนำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ทางคณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ โดยสำหรับความสำเร็จของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แด่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาให้แก่คณะผู้จัดทำโครงการซึ่งส่งผลให้การจัดทำโครงการชิ้นนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

นายชุต จุมภู

นายพีระสันต์ ทวีภาวิไล

นางสาวหทัยรัตน์ โต้นวุธ

สารบัญ	หน้า
เรื่อง	
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 เซลล์สุริยะ	3
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์สุริยะ	3
2.2.2 ความหมายของเซลล์สุริยะ	5
2.2.3 การทำงานของเซลล์สุริยะ	6
2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์สุริยะ	8
2.2.4.1 ข้อดีของเซลล์สุริยะ	8
2.2.4.2 ข้อเสียของเซลล์สุริยะ	9
2.3 พลังงานไร้สาย	9
2.4 สนามแม่เหล็ก	10
2.4.1 เส้นแรงแม่เหล็ก	10
2.4.1.1 สมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก	10
2.4.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux)	10
2.4.2.1 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก	11
2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.4.1 สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.4.2 ความยาวคลื่น	13

เรื่อง	สารบัญ (ต่อ)	หน้า
2.6 การสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้น		14
2.6.1 การสูญเสียในอากาศว่าง	14	
2.6.2 การสูญเสียจากการเลี้ยวเบน	14	
2.6.3 ปฏิกิริยาการนำคลื่น	15	
2.6.4 การสะท้อนกลับจากโลหะ	15	
2.7 ตัวเหนี่ยวนำ		15
2.7.1 กฎของ Lenz		16
<b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>		
3.1 การออกแบบขดลวด		17
3.2 การออกแบบวงจรภาคส่งและภาครับ		18
3.2.1 การใช้งานโปรแกรม Circuit Wizard		18
3.3 การเลือกอุปกรณ์ประเภท SMD ( Surface Mount Device)		21
3.3.1 อุปกรณ์ SMD แบบพาสซีฟ		21
3.3.1.1 ตัวเก็บประจุแบบชิป(chip capacitors )		22
3.3.1.2 ตัวเก็บประจุแทนทาลัม ( Tantalum Capacitor)		23
3.3.1.3 อุปกรณ์ MELF (Metal Electrical Leafless Face)		24
3.4 แผ่น PCB (Print Circuit Board)		24
3.5 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆไปที่ใช้ในงาน		25
3.5.1 I.C.7805 หรือ Integrated Circuit เบอร์ 7805	25	
3.5.2 ทรานซิสเตอร์ BD139		26
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>		
4.1 กล่าวนำ		27
4.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง		27
4.3 ผลการทดลอง		29
4.3.1 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ		29
4.3.2 การทดลองวัดค่าสัญญาณขาเข้าและขาออก ณ ตำแหน่งต่างๆ		35
4.3.3 การทดลองวัดค่าเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่		42

เรื่อง	สารบัญญ (ต่อ)	หน้า
4.4 สรุปผลการทดลอง		43
<b>บทที่ 5</b> ข้อสรุปของโครงการ		
5.1 บทนำ		44
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไขปัญหา		44
5.3 ข้อเสนอแนะ		45
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	45	
5.5 บทสรุปของโครงการ	45	
ภาคผนวก		46
บรรณานุกรม		74
ประวัติผู้จัดทำโครงการ		75



สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างโครงสร้างวงจรของภาคส่งและภาครับ	1
รูปที่ 2.1 เซลล์สุริยะแบบ Monocrystalline	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์สุริยะ	6
รูปที่ 2.3 การดูดซึมของแสงเพื่อสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล หรือ เอ็กซิตอน ใดอย่างหนึ่ง	7
รูปที่ 2.4 การแยกต่างหากของตัวขนส่งประจุที่ต่างชนิดกัน	7
รูปที่ 2.5 การสกัดการแยกออกจากกันของตัวขนส่งออกไปยังวงจรรภายนอก	8
รูปที่ 2.6 รูปแสดงฟลักซ์แม่เหล็ก	11
รูปที่ 3.1 Flat Spiral Coil	17
รูปที่ 3.2 การใช้งานโปรแกรม	18
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคส่ง	18
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรภาครับ	19
รูปที่ 3.5 การสร้างลายวงจร	20
รูปที่ 3.6 จำลองลายวงจรภาคส่ง	20
รูปที่ 3.7 จำลองลายวงจรภาครับ	20
รูปที่ 3.8 ลายวงจรสำหรับอุปกรณ์ SMD	21
รูปที่ 3.9 Ceramic Chip Capacitor-SMD	22
รูปที่ 3.10 โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุแบบชิป	22
รูปที่ 3.11 โครงสร้างขั้วโลหะของตัวเก็บประจุแบบชิป	22
รูปที่ 3.12 Tantalum Capacitor Chip	23
รูปที่ 3.13 การมองข้างของอุปกรณ์	23
รูปที่ 3.14 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ Tantalum Capacitor Chip	23
รูปที่ 3.15 แสดงขนาดของ Tantalum Capacitor Chip	24
รูปที่ 3.16 Zener diode	24
รูปที่ 3.17 โครงสร้างโดยทั่วไปของ MELF diode	24
รูปที่ 3.18 Flexible Printed Circuit(FPC)	25
รูปที่ 3.19 IC เบอร์ 7805	25



## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.20 ทรานซิสเตอร์ BD139	26
รูปที่ 3.21 โครงสร้างทรานซิสเตอร์แบบ NPN	26
รูปที่ 4.1 การทำงานของชุดอุปกรณ์	28
รูปที่ 4.2 ภายในชุดอุปกรณ์ภาคส่ง	29
รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ภาคส่ง	29
รูปที่ 4.4 ภายในชุดอุปกรณ์ภาคส่ง	29
รูปที่ 4.5 ชุดอุปกรณ์ภาคส่ง	29
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์เพื่อใช้งาน	29
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 1	31
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 1	31
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 2	33
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 2	33
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 3	35
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 3	35
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตที่ภาคส่ง	36
รูปที่ 4.14 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 0 cm.	36
รูปที่ 4.15 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 0 cm.	37
รูปที่ 4.16 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 0 cm.	37
รูปที่ 4.17 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 2 cm.	37
รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 2 cm.	38

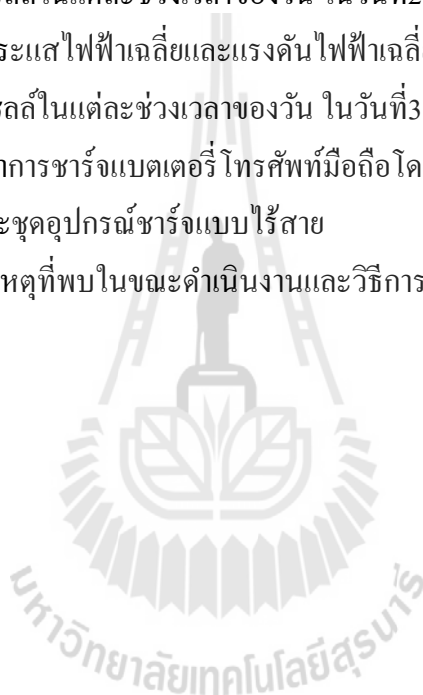
รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 2 cm.	38
รูปที่ 4.20 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 4 cm.	38

### สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.21 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 4 cm.	39
รูปที่ 4.22 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 4 cm.	39
รูปที่ 4.23 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 6 cm.	39
รูปที่ 4.24 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 6 cm.	40
รูปที่ 4.25 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 6 cm.	40
รูปที่ 4.26 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 8 cm.	40
รูปที่ 4.27 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 8 cm.	41
รูปที่ 4.28 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 8 cm.	41
รูปที่ 4.29 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 10 cm.	41
รูปที่ 4.30 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 10 cm.	42
รูปที่ 4.31 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 10 cm.	42
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า(V) กับ ระยะห่าง (cm)	42

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ได้จากเซลล์สุริยะในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในวันที่ 1	29
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ได้จากโซลาร์เซลล์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในวันที่ 2	31
ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ได้จากโซลาร์เซลล์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในวันที่ 3	33
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดเวลาการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือโดยใช้ สายชาร์จปกติและชุดอุปกรณ์ชาร์จแบบไร้สาย	42
ตารางที่ 5.1 ปัญหาและสาเหตุที่พบในขณะที่ดำเนินงานและวิธีการแก้ไข	44

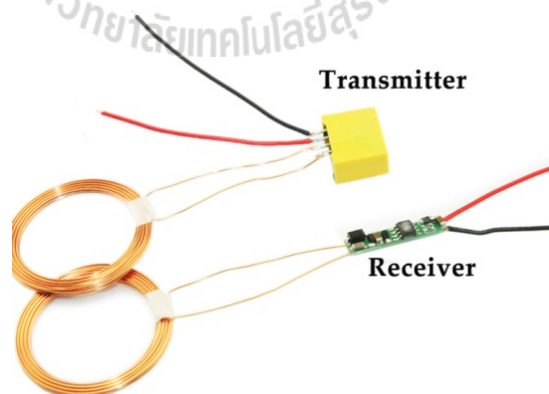


## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากปัจจุบันมีสิ่งอำนวยความสะดวกมากมายที่ช่วยตอบสนองความต้องการต่างๆในการดำเนินชีวิตให้รวดเร็วกว่าและง่ายดายขึ้น และเพื่อตอบสนองความต้องการได้มากยิ่งขึ้น จึงทำให้เกิดแนวคิดในการทำโครงงานชิ้นนี้ขึ้นมา โดยโครงงานชิ้นนี้เป็นชุดอุปกรณ์ชาร์จแบตเตอรี่แบบไร้สายที่ช่วยให้การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือง่ายดายและสะดวกสบายขึ้น ซึ่งผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเสียบสายชาร์จแบตเตอรี่ เพียงแค่วางโทรศัพท์มือถือที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์นี้แล้วลงบนแท่นชาร์จเท่านั้น โดยการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือแบบไร้สายนั้นมีลักษณะโครงสร้างของภาคส่งและภาครับที่ฝังอยู่ในเคสกันกระแทกของโทรศัพท์มือถือใกล้เคียงกับรูปภาพดังแสดงในรูปที่ 1.1 นอกจากนี้แหล่งพลังงานที่นำมาใช้ชาร์จแบตเตอรี่ดังกล่าว เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่ได้จากแสงอาทิตย์ จึงไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถืออีกด้วย อีกทั้งตัวอุปกรณ์นั้นมีขนาดเล็กทำให้สะดวกสบายต่อการพกพา



รูปที่ 1.1 ตัวอย่าง โครงสร้างวงจรของภาคส่งและภาครับ<sup>[1]</sup>

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับขดลวดแบบ Flat spiral
2. เพื่อศึกษาการนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะมาชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ
3. เพื่อศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการถ่ายโอนพลังงานแบบไร้สาย

## 1.3 ขอบเขตโครงการ

1. ใช้เซลล์สุริยะขนาด 12 โวลต์ 100 มิลลิแอมแปร์
2. ใช้ขดลวดแบบ Flat spiral

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการถ่ายโอนพลังงานแบบไร้สาย
2. ศึกษาการใช้โปรแกรมออกแบบวงจร
3. จัดหาอุปกรณ์ที่มีขนาดเหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์
4. สร้างวงจรตามที่ได้ศึกษาและออกแบบ
5. นำอุปกรณ์ที่ประกอบแล้วมาทดสอบใช้งานจริง เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์
6. สรุปผลการทดลอง เขียนรายงาน และนำเสนอโครงการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำตัวโครงงาน ทฤษฎีที่ใช้เป็นหลักการในการออกแบบและโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบวงจร โดยอุปกรณ์หลักที่เป็นจุดประสงค์หลักของโครงงานชิ้นนี้คือการใช้พลังงานสะอาด อุปกรณ์นั้นคือแผงเซลล์สุริยะหรือที่เรารู้จักกันในชื่อเซลล์สุริยะ และทฤษฎีที่ใช้เป็นหลักการในการออกแบบคือทฤษฎีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในขดลวด

#### 2.1 กล่าวนำ

จากในแนวคิดเริ่มแรกของการทำโครงงานครั้งนี้ คือการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถชาร์จพลังงานให้กับแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือได้โดยไม่ต้องคอยเสียบสายชาร์จ นั่นก็คือการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือแบบไร้สายนั่นเอง อีกทั้งยังต้องการให้พลังงานในการชาร์จแบตเตอรี่มือถือนั้นเป็นพลังงานสะอาดจากธรรมชาติ นั่นคือการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์สุริยะ และเมื่อศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีไร้สาย จะเห็นได้ว่าเราสามารถนำทฤษฎีของการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยระบบชาร์จจะประกอบด้วยขดลวดจลลวดตัวนำสองขด วงจรขดลวดขดแรกรับพลังงานงานจากต้นกำเนิดด้วยการนำกระแสจากแหล่งจ่ายพลังงานคือแผงเซลล์สุริยะ กระแสดังกล่าวจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดขดแรก ส่วนขดลวดอีกขดทำหน้าที่รับเส้นแรงแม่เหล็กที่ส่งผ่านมาทางอากาศดังกล่าวแล้วเหนี่ยวนำจนเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับวงจรชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ

#### 2.2 เซลล์สุริยะ

##### 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์สุริยะ<sup>[2]</sup>

ปรากฏการณ์ของโฟโตโวลตาอิกถูกแสดงให้เห็นถึงการทดลองเป็นครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ A.E. Becquerel ในปี 1839 ตอนอายุ 19 เขาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของพ่อของเขา เขาได้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวแรกของโลก ต่อมา Willoughby Smith ได้อธิบายผลของแสงบนซิลิเนียมระหว่างเดินทางของกระแสไฟฟ้าเป็นครั้งแรกในบทความชิ้นหนึ่งที่

ได้รับการตีพิมพ์ในฉบับ 20 กุมภาพันธ์ 1873 เรื่องธรรมชาติ อย่างไรก็ตามมันไม่มีอะไรเกิดขึ้น จนกระทั่งปี 1883 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำด้วย solid state ได้ถูกสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Charles Fritts ผู้เคลือบสารกึ่งตัวนำซิลิเนียมด้วยชั้นที่บางมาก ๆ ของทองเพื่อทำให้เป็นทางเชื่อมอุปกรณ์นี้มีประสิทธิภาพประมาณ 1% เท่านั้น ในปี 1888 นักฟิสิกส์ชาวรัสเซียชื่อ Aleksandr Stoletov สร้างเซลล์แรกที่อยู่บนพื้นฐานของปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกด้านนอกที่ถูกค้นพบโดย Heinrich Hertz ก่อนหน้านั้นในปี 1887

Albert Einstein ได้อธิบายกลไกพื้นฐานของตัวกระตุ้นผู้ขนส่งที่ส่งเสริมด้วยแสง หรือผลของโฟโตโวลตาอิก ในปี 1905 ที่ทำให้เขาได้รับรางวัลโนเบลในสาขาฟิสิกส์ในปี 1921 ต่อมา Russell Ohl วิศวกรเซลล์สุริยะทำด้วยเซมิคอนดักเตอร์ทางเชื่อมในปี 1946 ซึ่งถูกค้นพบในขณะที่เขากำลังทำงานในหลายชุดของความก้าวหน้าที่จะนำไปสู่ทรานซิสเตอร์

เซลล์สุริยะในทางปฏิบัติตัวแรกได้รับการพัฒนาในปี 1954 ที่ Bell Laboratories โดย Daryl Chapin, Calvin Souther Fuller และ Gerald Pearson พวกเขาใช้ซิลิกอนจุดเชื่อม p-n แบบกระจาย ที่ทำประสิทธิภาพได้ถึง 6% เมื่อเทียบกับเซลล์ซิลิเนียมที่พบว่ามีแนวโน้มที่จะไปถึง 0.5% นาย Les Hoffman ซึ่งเป็นซีอีโอของบริษัท ฮอฟแมน อิเล็กทรอนิกส์ได้ให้แผนกเซมิคอนดักเตอร์ของเขาบุกเบิกการผลิตและการผลิตแบบจำนวนมากของเซลล์สุริยะ จาก 1954 ถึง 1960 ฮอฟแมนได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะจาก 2% ให้เป็น 14%. ในตอนแรกเซลล์พวกนั้นถูกพัฒนาสำหรับของเล่นและการใช้งานเล็กๆน้อยๆอื่นๆ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีต้นทุนที่สูงมาก ในแง่การเปรียบเทียบ เซลล์ที่ผลิต 1 วัตต์ของพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงแดดที่สดใสเสียค่าใช้จ่ายประมาณ \$250 เปรียบเทียบกับ \$2 ถึง \$3 ต่อวัตต์ไฟฟ้าจากโรงงานถ่านหิน

อาจจะเป็นเพราะความสำเร็จที่ทำโดยฮอฟแมนอิเล็กทรอนิกส์ เซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำออกจากราคาความสับสนโดยข้อเสนอแนะให้นำพวกมันไปใช้กับดาวเทียม Vanguard I ที่เปิดตัวในปี 1958 ในแผนเดิม ดาวเทียมจะได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่เท่านั้น และเป็นไปตามแผนในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนที่แผนนี้จะถูกพับลงไป โดยการเพิ่มเซลล์ที่ด้านนอกของตัวยาน เวลาสำหรับภารกิจอาจจะถูกขยายออกไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญกับตัวยานอวกาศหรือระบบพลังงานของมัน ในปี 1959 ประเทศสหรัฐอเมริกาส่งยาน Explorer 6. มันใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่คล้ายกับปีก ซึ่งกลายเป็นคุณสมบัติทั่วไปในดาวเทียมในอนาคต อาร์เรย์เหล่านี้ประกอบด้วย 9600 ชุดของเซลล์แสงอาทิตย์ของฮอฟแมน มีความสงสัยในทางลบบางอย่างในตอนแรก แต่ในทางปฏิบัติ เซลล์พิสูจน์แล้วว่าเป็นความสำเร็จอย่างมาก และเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบอย่างรวดเร็วในดาวเทียมใหม่ๆ ที่โดดเด่นก็คือที่เทลสตาร์ของเบลล์

การปรับปรุงเป็นไปอย่างแข็งแกร่งในอีกสองทศวรรษต่อมา และการใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นการใช้ในการใช้งานอวกาศเท่านั้น ในที่ซึ่งอัตราส่วนระหว่างพลังงานกับน้ำหนักของเซลล์เหล่านี้จะสูงกว่าเทคโนโลยีที่แข่งขันกันอยู่ใดๆ อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จนี้ยังเป็นเหตุผลสำหรับความคืบหน้าที่จะก้าวไปอีกด้วยเนื่องจากผู้ใช้ในอวกาศก็เต็มใจที่จะจ่ายเท่าไรก็ได้สำหรับเซลล์ที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ ไม่มีเหตุผลอะไรที่จะลงทุนในการแก้ปัญหาให้ต้นทุนต่ำลงถ้าจะเป็นการลดประสิทธิภาพ แทนที่จะทำอย่างนั้น ราคาของเซลล์จะถูกกำหนดอย่างมากโดยอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ เนื่องจากพวกเขาเข้าไปทำวงจรรวมในปี 1960 ได้นำไปสู่ความพร้อมของผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ในราคาที่ต่ำกว่า ในขณะที่ราคาของวงจรรวมลดลง ราคาของเซลล์ที่เกิดขึ้นก็ลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลกระทบเหล่านี้ถูกจำกัดลง และในปี 1971 ต้นทุนของเซลล์ประมาณว่าได้ลดลงเหลือ \$100 ต่อวัตต์



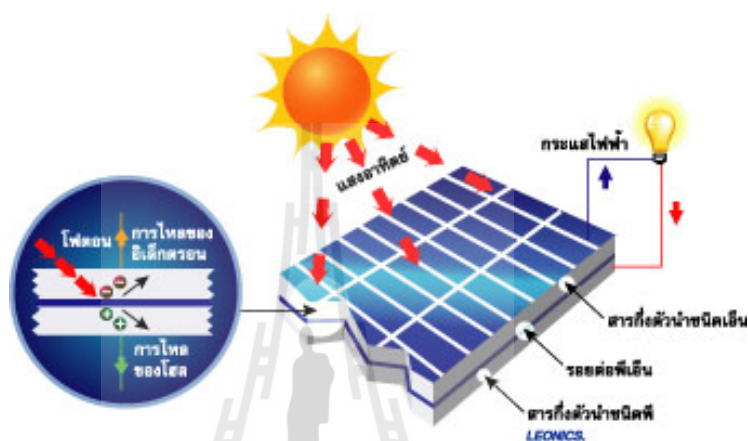
รูปที่ 2.1 เซลล์สุริยะผลิตจากชั้นผลึกคริสตัลชั้นเดียวที่เรียกว่า a monocrystalline silicon wafer ที่มี contact grid ที่ทำจาก busbars (แถบใหญ่) และ fingers (แถบเล็ก) <sup>[3]</sup>

### 2.2.2 ความหมายของเซลล์สุริยะ

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ เซลล์สุริยะ (Solar cell) หรือ เซลล์สุริยะ หรือ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงหรือโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยตรงโดยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก นั่นก็คือ คุณสมบัติของสารเช่น ค่าความต้านทานแรงดัน และกระแส จะเปลี่ยนไปเมื่อมีแสงตกกระทบโดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และเมื่อต่อโหลดให้ จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน โหลดนั้นได้คำว่า "Photovoltaic" มาจากภาษากรีก  $\phi\omega\varsigma$  (Phos) หมายถึง "แสง" และคำว่า "โวลต์" ซึ่งเป็นหน่วยของแรงเหนี่ยวนำ, คำว่าโวลต์มาจากนามสกุลของนักฟิสิกส์ชาวอิตาลีชื่อ อเลสซานโดร โวลตา ซึ่งเป็นนักประดิษฐ์แบตเตอรี่ (เซลล์ไฟฟ้าเคมี) คำว่า "Photovoltaic" ถูกใช้ใน ภาษาอังกฤษตั้งแต่ปี 1849



โฟโตโวลตาอิกเป็นสาขาของเทคโนโลยีและการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เซลล์สุริยะในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงสว่าง แม้ว่ามันมักจะถูกนำมาใช้เฉพาะเพื่ออ้างถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงแดดก็ตาม เซลล์นั้นๆสามารถถูกอธิบายว่าเป็นเซลล์สุริยะได้แม้ว่าแหล่งกำเนิดแสงไม่จำเป็นต้องเป็นดวงอาทิตย์ (เช่นแสงตะเกียงหรือไฟเทียม ฯลฯ) ในกรณีดังกล่าว เซลล์นั้นบางครั้งจะถูกใช้เป็นตัวตรวจจับ เพื่อตรวจจับแสงหรือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆที่อยู่ในทัศนวิสัย หรือใช้วัดความเข้มของแสง



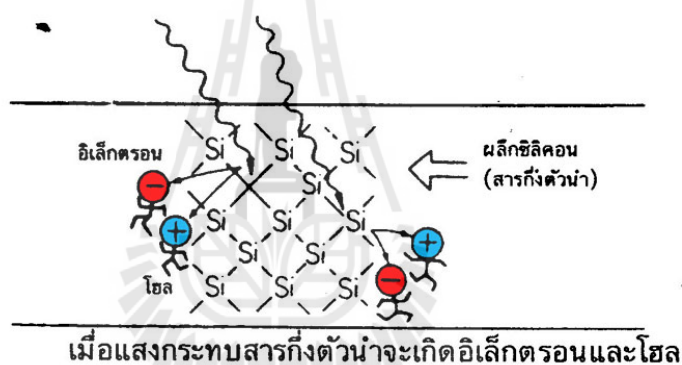
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์สุริยะ<sup>[4]</sup>

### 2.2.3 การทำงานของเซลล์สุริยะ<sup>[5]</sup>

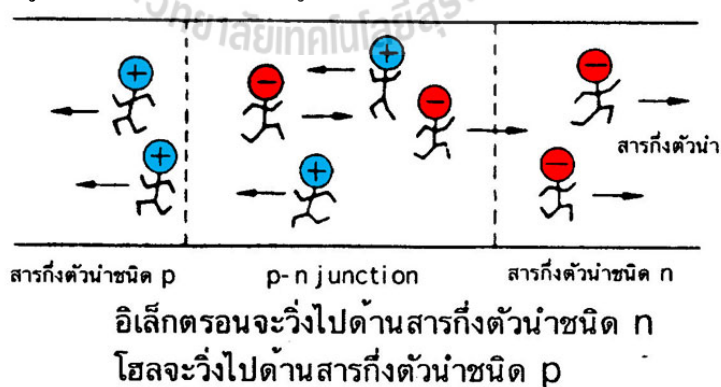
ในการพิจารณาถึงเทคโนโลยีเกี่ยวกับเซลล์สุริยะ ซึ่งมีความสลับซับซ้อนนั้น จะครอบคลุมไปถึงเรื่องของระบบการจัดการเก็บสะสมพลังงานที่ผลิตได้ด้วยจากรูปส่วนประกอบของ Solar Cell ภายในเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีลักษณะซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยมีซิลิกอนอยู่ภายใน แต่มีการโด๊ปสารบางชนิดเพื่อให้ซิลิกอนชั้นบนและชั้นล่างมีประจุต่างกันโดยอะตอมของซิลิกอนจะมีจำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดของอะตอมอยู่ 4 ตัว โดยซิลิกอนชั้นบนนั้นจะมีการโด๊ปฟอสฟอรัส (Phosphorus) เข้าไปเพื่อให้อิเล็กตรอนชั้นนอกสุดของอะตอมซิลิกอนมีจำนวนอิเล็กตรอนอยู่ 5 ตัว ทำให้อะตอมของซิลิกอนที่ถูกโด๊ปมีประจุเป็นลบมากขึ้นจึงมีชื่อเรียกว่าสารกึ่งตัวนำ N-type เป็นขั้วลบ ส่วนของซิลิกอนในชั้นล่างนั้นจะมีการโด๊ปด้วยโบรอน (Boron) ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดของอะตอมซิลิกอน มีอิเล็กตรอนอยู่ 3 ตัวเป็นผลให้อะตอมของซิลิกอนมีประจุบวกมากขึ้น จึงมีชื่อเรียกว่า สารกึ่งตัวนำ P-type เป็นขั้วบวก ดังนั้นจึงเกิดความไม่สมดุลของอะตอมขึ้นโดยอะตอมของซิลิกอนที่ถูกโด๊ปโดยฟอสฟอรัสจะมีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนโปรตรอนทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นหลังการโด๊ป ส่วนอะตอมของซิลิกอนที่ถูกโด๊ปโดยโบรอนจะมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าจำนวนโปรตรอนจึงเกิดช่องว่างขึ้นหลังการโด๊ป ทำให้อะตอมต้องหา

อิเล็กตรอนมาเติมในช่องว่างให้เต็มเพื่อที่จะให้อะตอมมีความสมดุล การที่จะให้อะตอมของซิลิกอนที่ถูกโคปด้วยโบรอนเกิดความสมดุลขึ้นนั้นก็ต้องไปดึงเอาอิเล็กตรอนอิสระของอะตอมซิลิกอนที่ถูกโคปด้วยฟอสฟอรัสโดยการทำให้อิเล็กตรอนอิสระ มีการเคลื่อนที่ข้ามจุดต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำจะทำให้ระยะห่างของจุดต่อของสารกึ่งตัวนำมีขนาดแคบมากจนเกือบชิดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วระยะห่างระหว่างจุดต่อก็จะห่างออกจากกันใหม่อีกครั้ง โดยพื้นฐานอิเล็กตรอนต้องการที่จะเคลื่อนที่ข้ามสิ่งกีดขวางคือจุดต่อจุดระหว่างสารกึ่งตัวนำ p-n แต่มันไม่มีพลังงานพอที่จะทำได้ พอมีแสงสว่างตกกระทบกับผิวซิลิกอนซึ่งถูกอัดเป็นชั้น ในรูปส่วนประกอบ มันจะทำให้อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่อทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้ก็คือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมา

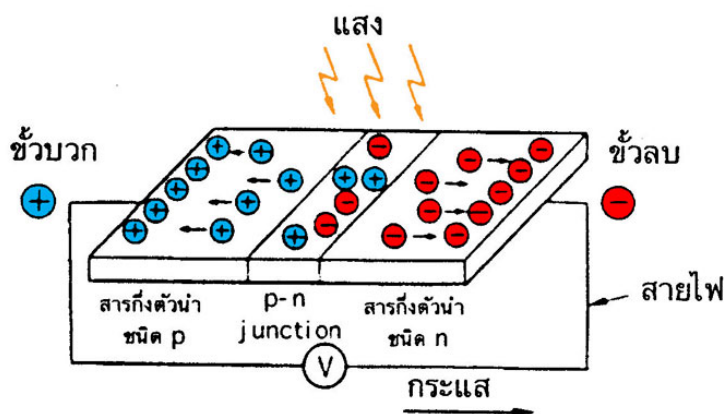
การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์หรือ photovoltaic (PV) cell ต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน 3 อย่างดังนี้



รูปที่ 2.3 การดูดซึมของแสงเพื่อสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล หรือ เอ็กซิตอน อย่างใดอย่างหนึ่ง



รูปที่ 2.4 การแยกต่างหากของตัวขนส่งประจุที่ต่างชนิดกัน



เมื่อต่อชั้นบวกและลบจะมีกระแสไฟฟ้าไหล

รูปที่ 2.5 การสกัดการแยกออกจากกันของตัวขนส่งออกไปยังวงจรภายนอก

## 2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์สุริยะ

### 2.2.4.1 ข้อดีของเซลล์สุริยะ

1. ไม่มีวันหมดแหล่งพลังงานคือดวงอาทิตย์และไม่มีวันหมดแหล่งพลังงานอื่นๆที่เราใช้อยู่หลักๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำมัน ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาตินั้นเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด ในขณะที่ดวงอาทิตย์จะยังอยู่คู่โลกในจักรวาลตลอดไปจนกว่าดวงอาทิตย์จะถึงจุดจบในหลายพันล้านปีข้างหน้า นั่นก็คือไม่มีวันหมด และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายแหล่งพลังงานอื่นๆที่เราใช้งานอยู่ ทั้ง น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้นส่วนแต่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัดต่างจากดวงอาทิตย์ที่จะยังคงอยู่ในจักรวาล

2. เป็นแหล่งพลังงานสะอาด ไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดจากการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่างจากการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต้องเผาไหม้ เผล่า ถ่านหินแล้วปั่นเทอร์ไบน์ด้วยไอน้ำซึ่งก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งมลภาวะทางเสียง

3. สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็ก เพื่อใช้กับเครื่องคิดเลข จนถึงโรงงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ระดับ 100 kW ขึ้นไป ก็สามารถเซลล์แสงอาทิตย์ลักษณะพื้นฐานได้เหมือนกัน ประสิทธิภาพเท่ากันต่างจากโรงงานผลิตไฟฟ้าที่พึ่งพาน้ำ การเผาเชื้อเพลิงพลังงานปรมาณูประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจะขึ้นกับขนาดของระบบ

4. ผลผลิตที่หนักรใช้ที่นั่น ระบบไฟฟ้าปกติที่นั่นแหล่งผลิตไฟฟ้ากับจุดใช้งานมักอยู่คนละที่ ดังนั้นและจะต้องมีระบบทำการส่ง แต่เซลล์แสงอาทิตย์จะต่างจากระบบไฟฟ้าปกติคือสามารถผลิตไฟฟ้าในบริเวณที่จะใช้งานได้ เช่น ติดบนหลังคาบ้านเพื่อสร้างไฟฟ้าใช้เอง

### 2.2.4.2 ข้อเสียของเซลล์สุริยะ

1. ความเข้มของพลังงานขาเข้าต่ำ พลังงานของดวงอาทิตย์ไม่มีวันหมดก็จริงแต่ความเข้มของพลังงานที่มาถึงผิวโลก นั้นไม่สูงทำให้ในกรณีที่ต้องการ พลังงานขาออกสูง จำเป็นต้องใช้จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์มากและพื้นที่ มากตามไปด้วย
2. ปริมาณไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลง แปรผันตามสภาพอากาศ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ขาเข้านั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศพลังงานขาออกจึงแปรผันตามไปด้วย การออกแบบเพื่อใช้งานจึงต้องคำนึงถึงจุดนี้ให้ดีด้วย
3. เก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เหมือนแบตเตอรี่ไม่ได้ ไฟฟ้าจะเกิดก็ต่อเมื่อมีแสงและตัวมันเองไม่สามารถเก็บไฟฟ้าได้ ดังนั้น การออกแบบระบบหากจำเป็นก็จะต้องมีการผสมกับระบบไฟฟ้าปกติหรือแบตเตอรี่เพื่อใช้เวลาที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่จ่ายกระแสไฟ

### 2.3 พลังงานไร้สาย<sup>[6]</sup>

พลังงานไร้สาย คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปสู่โหลดโดยปราศจากการใช้สายตัวนำที่มนุษย์สร้างขึ้น การส่งพลังงานแบบไร้สายนั้นมีประโยชน์มากในกรณีที่ต้องการต่อสายตัวนำในสถานะที่มีอันตราย ไม่สะดวก หรือเป็นไปได้ รูปแบบที่พบมากที่สุดในการส่งผ่านพลังงานแบบไร้สายคือการใช้ขดลวดเหนี่ยวนำในการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กรอบขดลวด รูปแบบอื่นที่พบสำหรับการแผ่แม่เหล็กไฟฟ้าจะอยู่ในรูปแบบของคลื่น ไมโครเวฟหรือเลเซอร์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอยู่รอบขดลวดตัวนำ โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในขดลวดตัวนำ พลังงานจะถูกส่งผ่านจากขดลวดปฐมภูมิที่เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาผ่านอากาศสู่ขดลวดทุติยภูมิที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าว โดยยิ่งกระแสไฟฟ้ามีความถี่สูงก็ยิ่งเกิดการเหนี่ยวนำได้มากแต่ระยะทางในการส่งผ่านสนามแม่เหล็กก็จะลดลงมากเช่นกัน ในการส่งพลังงานไฟฟ้าจะอาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในตัวนำซึ่งต่างจากการใช้งานทางด้านโทรคมนาคมซึ่งจะอาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนอกตัวนำ

## 2.4 สนามแม่เหล็ก<sup>[7]</sup>

สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) คือ บริเวณที่แท่งแม่เหล็กส่งอำนาจการดึงดูดไปถึง ในไฟฟ้าสถิตย์ ประจุไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดของสนามไฟฟ้า แต่ในเรื่องแม่เหล็กไม่มี วัตถุใดที่เป็นจุดโดดเดี่ยวที่จะให้สนามแม่เหล็กออกมาหรือไม่มีขั้วแม่เหล็กเดี่ยว ๆ (magnetic monopole) นั่นคือไม่มีประจุแม่เหล็กที่มีความสัมพันธ์คล้ายกับไฟฟ้าได้ จากการทดลอง พบว่าสนามแม่เหล็กเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ ดังนั้นความสัมพันธ์ ที่คล้ายกับความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้ากับประจุ ได้คือ ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กก็ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ ซึ่งความสัมพันธ์นี้บอกว่าประจุ ที่เคลื่อนที่หรือกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและถ้าประจุเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กหรือวงลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็กจะมีแรงแม่เหล็กกระทำบนประจุหรือลวด

### 2.4.1 เส้นแรงแม่เหล็ก

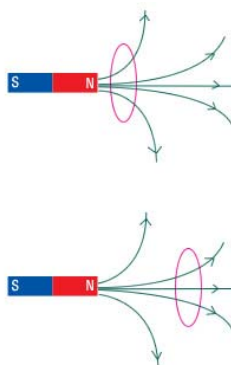
คือ เส้นสมมติเสมือนว่าแท่งแม่เหล็กส่งอำนาจการดึงดูดไปถึงสามารถหาได้โดยใช้ผงตะไบเหล็ก โรยบนกระดาษที่วางทับแท่งแม่เหล็กไว้เมื่อกระดาษ เมื่อเคาะเบา ๆ จะมองเห็นแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือใช้เข็มทิศ แนวการวางตัวของเข็มทิศ คือ แนวของเส้นแรงแม่เหล็กจากวิธีการนี้จะทำให้เห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กมีทิศออกจากขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้เสมอ

#### 2.4.1.1 สมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก

มีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ และมีความหนาแน่นมากบริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็ก ส่วนทิศของเส้นแรงแม่เหล็ก โลกจะมีทิศจาก ขั้วโลกใต้สู่ขั้วโลกเหนือ เพราะแท่งแม่เหล็ก โลกมีขั้วเหนืออยู่ทางทิศใต้ และขั้วใต้อยู่ทางทิศเหนือ

### 2.4.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux)

คือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่ง จากขั้วหนึ่ง ไปยังขั้วหนึ่งของแท่งแม่เหล็กในบริเวณที่มีฟลักซ์แม่เหล็กหนาแน่นมาก เป็นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กที่มีค่ามาก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber, Wb)



รูปที่ 2.6 รูปแสดงฟลักซ์แม่เหล็ก

#### 2.4.2.1 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

หรือ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก มีค่าเท่ากับ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่าน ในแนวตั้งฉาก แท่งแม่เหล็กเมื่อถูกนำมาแขวนไว้กับเชือก เราจะพบว่าแม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือใต้กับสนามแม่เหล็กโลก ปลายที่ชี้ไป ทางทิศเหนือเรียกว่า ขั้วเหนือ ส่วนปลายที่ชี้ไปทางทิศ ใต้เรียกว่าขั้วใต้ ซึ่งคล้าย กับโลกเป็นแท่งแม่เหล็กที่มีขั้วใต้อยู่ทาง ขั้วโลกเหนือ และมี ขั้วเหนืออยู่ทางขั้วใต้ สมบัติความเป็นแม่เหล็กเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งอิเล็กตรอนที่หมุนรอบนิวเคลียสจะประพุดิตัวคล้ายกับว่าเป็นแท่ง แม่เหล็กเล็ก ๆ ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นส่วนสารที่ไม่แสดงอำนาจแม่เหล็กเพราะว่าเมื่อมีอิเล็กตรอนตัวหนึ่งหมุนวนเป็นวงกลมรอบนิวเคลียสก็จะมีอิเล็กตรอนอีกตัวหนึ่งหมุนวนในทิศตรงข้าม ทำให้สนาม แม่เหล็กหักล้างกันหมด พื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น  $\text{Wb/m}^2$  หรือ เทสลา (Tesla, T) จากนิยามจะได้ว่า

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ มีหน่วยเป็น  $\text{Wb/m}^2$  หรือ เทสลา (T)

$\Phi$  คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Wb

A คือ พื้นที่ที่ตัดตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร ( $\text{m}^2$ )

## 2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า<sup>[1]</sup>

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) เป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นวิทยุ (Radio waves) คลื่นไมโครเวฟ (Microwaves)

ปัจจุบันมีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในหลายๆด้านเช่น การติดต่อสื่อสาร (มือถือ โทรศัพท์ วิทยุ เรดาร์ ใยแก้วนำแสง) ทางการแพทย์ (รังสีเอกซ์) การทำอาหาร (คลื่นไมโครเวฟ) การควบคุมรีโมท (รังสีอินฟราเรด)

คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือเป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กตั้งฉากกันและเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ด้วยความเร็ว 299,792,458 เมตร/วินาที หรือเทียบเท่ากับความเร็วแสง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้

สเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็นอัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรศัพท์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคม และทางการแพทย์

### 2.4.1 สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่( บางชนิด )
2. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ 299,792,458 เมตร/ วินาที ซึ่งเท่ากับ อัตราเร็วของแสง
3. เป็นคลื่นตามขวาง
4. ถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง
5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร

6. ไม่มีประจุไฟฟ้า

7. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

#### 2.4.2 ความยาวคลื่น

ความยาวคลื่นคือระยะทางระหว่างส่วนที่ซ้ำกันของคลื่นสัญลักษณ์แทนความยาวคลื่นที่ใช้กันทั่วไปคืออักษรกรีกแลมบ์ดา ( $\lambda$ ) แขนงอนในแผนภูมิแทนระยะทาง และแกนตั้งแทนค่า ณ เวลาหนึ่งของปริมาณหนึ่งซึ่งกำลังเปลี่ยนแปลง (ตัวอย่างเช่น สำหรับคลื่นเสียงปริมาณที่กำลังเปลี่ยนแปลงก็คือแรงดันอากาศ หรือสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปริมาณที่กำลังเปลี่ยนแปลงก็คือสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง

ความยาวคลื่นสัมพันธ์แบบผกผันกับความถี่ของคลื่นนั้น โดยความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่นนั้นหารด้วยความถี่ ถ้าเราพิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศความเร็วนั้นก็คือความเร็วแสงนั่นเอง ความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนได้เป็น

$$\lambda =$$

(2.2)

$\lambda$  = ความยาวคลื่น

$c$  = ความเร็วแสงในสุญญากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 299,792.458 กิโลเมตรต่อวินาที

$f$  = ความถี่ของคลื่น

เมื่อคลื่นแสง (หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใดๆ) เดินทางในตัวกลางใดที่ไม่ใช่สุญญากาศ ความยาวคลื่นจะลดลงด้วยอัตราส่วนเท่ากับดัชนีหักเห  $n$  ของตัวกลางนั้น แต่ความถี่จะยังคงเท่าเดิม ความยาวคลื่นแสงในตัวกลางใดๆ สามารถเขียนได้เป็น

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

(2.3)

เมื่อ  $\lambda_0$  คือความยาวคลื่นในสุญญากาศ

ไม่ว่าคลื่นแสงจะเดินทางอยู่ในตัวกลางใด เมื่อเราอ้างอิงถึงความยาวคลื่น มักหมายถึงความยาวคลื่นในสุญญากาศเสมอ หลุยส์-วิกทอร์ เดอบรอยล์ค้นพบว่าอนุภาคที่มีโมเมนตัมมีความยาวคลื่นซึ่งสัมพันธ์กับฟังก์ชันคลื่นของอนุภาคนั้น เรียกว่าความยาวคลื่นของเดอบรอยล์



## 2.6 การสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้น<sup>[9]</sup>

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้น จะได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศโดยรอบเป็นเสียส่วนใหญ่ และจากสภาพภูมิประเทศนั้นจะทำให้สัญญาณการส่งข้อมูลนั้นกระเจิง สะท้อน เลี้ยวเบนและอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งนั้นก็ขึ้นอยู่กับระหว่างทางภาครับและภาคส่งนั้นจะมีสิ่งใดมาเกิดขวางบ้าง ดังนั้นจึงเป็นเรื่องปกติที่สัญญาณที่ภาครับนั้นจะมีค่าของกำลังสัญญาณที่ลดลงไปโดยจะขึ้นอยู่กับระยะห่างและสภาพโดยรอบของภาครับและภาคส่ง โดยการสูญเสียของสัญญาณนั้นจะยกตัวอย่างมาได้ดังนี้

### 2.6.1 การสูญเสียในอากาศว่าง (Free Space Loss: FSL)

การสูญเสียในอากาศว่าง (Free Space Loss : FSL) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่จะมีผลมากขึ้นเมื่อเป็นการสื่อสารที่ไร้สาย โดยเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณระหว่างภาครับและภาคส่ง เนื่องจากการเดินทางของคลื่นในอากาศพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะลดลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ไป ซึ่งจะสามารถอธิบายได้จากสมการส่งกำลังฟรีส(Friss)

$$P_r = P_t G_t G_r \quad (2.4)$$

เมื่อ  $P_r$  คือกำลังสัญญาณของภาครับ  $P_t$  คือกำลังสัญญาณของภาคส่ง  $G_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศภาครับ  $G_t$  คืออัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง  $r$  คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง และ  $\lambda$  คือความยาวคลื่นของสัญญาณ(แปรผกผันกับความถี่)

### 2.6.2 การสูญเสียจากการเลี้ยวเบน (Diffraction loss)

การเลี้ยวเบนเป็นอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่ทำให้เกิดผลทำให้สูญเสียของสัญญาณที่ภาครับซึ่งจะเกิดจากสองลักษณะคือ ในกรณีที่เส้นทางระหว่างภาคส่งและภาครับมีสิ่งกีดขวาง ทำให้ภาครับและส่งไม่สามารถที่จะเห็นกันได้ หรือเส้นทางที่มองไม่เห็นกัน(Non Line of sight: NLOS) และในกรณีที่เส้นทางระหว่างภาคส่งและภาครับไม่มีสิ่งกีดขวางมากนัก ทำให้ภาคส่งและภาครับเห็นกัน (Line of sight :LOS)

### 2.6.3 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler Effect)

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ หรือบางครั้งเรียกว่า การเคลื่อนดอปเพลอร์ (Doppler shift) เป็นปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่ตั้งชื่อตาม คริสเตียน ดอปเพลอร์ เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นและความยาวคลื่นในมุมมองของผู้สังเกตเมื่อมีการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดคลื่นนั้น พบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันเช่น เมื่อมีรถพยาบาลส่งสัญญาณไซเรนเคลื่อนเข้าใกล้ ผ่านตัวเรา และวิ่งห่างออกไป คลื่นเสียงที่เราได้ยินจะมีความถี่สูงขึ้น (กว่าคลื่นที่ส่งออกมาตามปกติ) ขณะที่รถเคลื่อนเข้ามาหา คลื่นเสียงมีลักษณะปกติขณะที่รถผ่านตัว และจะมีความถี่ลดลงเมื่อรถวิ่งห่างออกไป

คลื่นที่มีการแพร่โดยต้องอาศัยตัวกลาง เช่นคลื่นเสียง ความเร็วของผู้สังเกตกับความเร็วของแหล่งกำเนิดคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับตัวกลางที่คลื่นนั้นแพร่ผ่าน ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์โดยรวมจะเป็นผลจากทั้งการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิด การเคลื่อนที่ของผู้สังเกต และการเคลื่อนที่ของตัวกลางด้วย ปรากฏการณ์ในแต่ละส่วนสามารถวิเคราะห์ได้โดยแยกจากกัน ส่วนคลื่นที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางเช่นคลื่นแสงหรือแรงโน้มถ่วงในทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ จะสนใจเฉพาะความเร็วสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่างผู้สังเกตกับแหล่งกำเนิดเท่านั้น

### 2.6.4 การสะท้อนกลับจากโลหะ

คลื่นไมโครเวฟจัดเป็นคลื่นประเภทหนึ่งที่มีการสะท้อน โดยเฉพาะเมื่อคลื่นนั้นได้เจอกับโลหะ คลื่นจะไม่สามารถที่จะทะลุทะลวงออกไปได้จะเกิดการสะท้อนกลับเกือบสมบูรณ์แบบ ทำให้การที่จะนำคลื่นต่างๆ เช่นคลื่นไมโครเวฟไปใช้กับอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างเป็นโลหะนั้น จะเป็นการทำงานที่ยากเพราะจะต้องมีกำลังส่งที่มากพอเมื่อลบกับการสะท้อนกลับแล้วจะทำให้สามารถใช้งานได้อยู่เช่น ในรถยนต์ที่ต้องการฟังวิทยุนั้นจะต้องมีสายอากาศติดเพิ่มบริเวณนอกตัว เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการขยายของสัญญาณให้ชัดเพิ่มขึ้นจึงจะสามารถฟังวิทยุได้เป็นต้น

## 2.7 ตัวเหนี่ยวนำ<sup>[10]</sup>

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำไฟฟ้าหากนำลวดทองแดงมาขดหลาย ๆ รอบจะเรียกว่า คอยล์ (Coil) แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป เพื่อให้แสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำโครงสร้างประกอบด้วยขดลวดพันรอบแกน ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ, แกนเหล็ก หรือแกนเฟอร์ไรท์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำ ตัวเหนี่ยวนำเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอินดักเตอร์หรือเรียกย่อ ๆ

ว่าตัวแอล (L) หน่วยของการเหนี่ยวนำคือเฮนรี่ (Henry) ตัวเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบค่าคงที่และแบบปรับค่าได้

ในทางทฤษฎีวงจรตัวเหนี่ยวนำจะเป็นอุดมคติเพราะการเชื่อฟังความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ "ตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ" มีการเหนี่ยวนำ แต่ไม่มีความต้านทานหรือการเก็บประจุ และไม่กระจายหรือแผ่พลังงานความร้อนอย่างไรก็ตามตัวเหนี่ยวนำจริงมีผลข้างเคียงที่ทำให้พฤติกรรมของมันออกไปจากรูปแบบง่าย ๆ ของมัน มันมีความต้านทาน (เนื่องจากความต้านทานของลวดและพลังงานสูญเสียในวัสดุที่เป็นแกน) และมีการเก็บประจุประจุ (เนื่องจากสนามไฟฟ้าระหว่างรอบของลวดที่มีศักย์ภาพที่แตกต่างกันเล็กน้อย) ที่ความถี่สูงการเก็บประจุเริ่มต้นที่จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของการเหนี่ยวนำที่บางความถี่ ตัวเหนี่ยวนำจริงจะทำตัวเป็นวงจรเรโซแนนซ์ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ปกติของการเก็บประจุจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของอิมพีแดนซ์ที่ครบวงจร ที่ความถี่ที่สูงกว่า การสูญเสียในตัวต้านทานในขดลวดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจาก skin effect และ proximity effect

ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แกนเป็น ferromagnetic จะมีการสูญเสียพลังงานเพิ่มเติมจากการกระแสด hysteresis และ กระแสไหลวนในแกน ซึ่งจะเพิ่มตามความถี่ ที่กระแสสูง ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กยังแสดงให้เห็นการทยอยออกจากพฤติกรรมในอุดมคติเนื่องจากการไม่เป็นเชิงเส้นที่เกิดจากการอิ่มตัวแม่เหล็กของแกนตัวเหนี่ยวนำอาจแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่โดยรอบและในวงจรและอาจดูดซับการปล่อยแม่เหล็กไฟฟ้าจากวงจรอื่น ๆ ก่อให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI การใช้งานตัวเหนี่ยวนำในโลกแห่งความเป็นจริงอาจจะพิจารณาพารามิเตอร์ปรสิตเหล่านี้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเท่ากับค่าความเหนี่ยวนำ

### 2.7.1 กฎของ Lenz

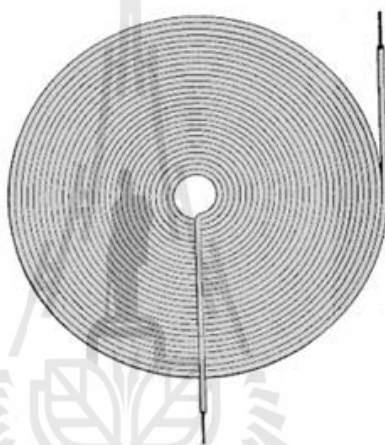
ขั้ว (ทิศทาง) ของแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำจะถูกกำหนดโดยกฎของเลนซ์ที่ระบุว่ามันจะต้าน การเปลี่ยนแปลงของกระแส ตัวอย่างเช่นถ้ากระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นบวกที่ขากระแสเข้าและเป็นลบที่ขาออกพลังงานจากวงจรภายนอกที่จำเป็นในการเอาชนะศักย์เพื่อเขาจะถูกเก็บไว้ในสนามแม่เหล็กของตัวเหนี่ยวนำ; ตัวเหนี่ยวนำบางครั้งก็ถูกเรียกว่า "กำลังซาร์จ" ถ้ากระแสลดลงแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นลบที่ขากระแสเข้าพลังงานจากสนามแม่เหล็กจะถูกส่งกลับไปยังวงจรตัวเหนี่ยวนำจะถูกเรียกว่า "กำลังดิสซาร์จ"

## บทที่ 3

### การออกแบบ

#### 3.1 การออกแบบขดลวด

ผู้ออกแบบได้ใช้วิธีพันขดลวดแบบ Flat spiral coil inductor เพื่อประหยัดพื้นที่ในการนำไปใช้งานร่วมกับ Cases โทรคัพที่มีมือถือเพราะขดลวดแบบ Flat spiral มีลักษณะที่แบนเหมือนแพนเค้กดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 Flat Spiral Coil<sup>[11]</sup>

เนื่องจาก Cases โทรคัพที่มีมือถือที่ได้นำมาใช้ในชิ้นงานมีพื้นที่จำกัด (กว้างประมาณ 5.8 cm สูง 1.1 cm) ดังนั้นการเลือกเส้นลวดทองแดงก็ต้องคำนึงถึงพื้นที่ด้วยเพราะฉะนั้นเส้นลวดที่ดูเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาใช้งานคือเบอร์ 22 ซึ่งไม่หนาเกินไปและไม่เล็กจนเกินไปต่อมาผู้ออกแบบได้ประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกของขดลวดเพื่อให้พอดีกับ Cases โทรคัพที่มีมือถือซึ่งค่าที่ประมาณได้คือ 5.3 cm

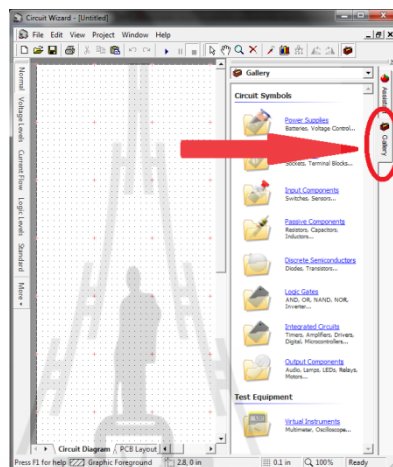
อนึ่ง วงจรในภาคส่งนั้นเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ด้วย ในการออกแบบขดลวดจึงเน้นไปทางรูปแบบทางกายภาพ ไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของขดลวดจากการคำนวณตามสมการเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำแต่อย่างใด เพราะใช้ขดลวดเป็นเพียงตัวเหนี่ยวนำพลังงานเท่านั้นเท่านั้น

### 3.2 การออกแบบวงจรภาคส่งและภาครับ

โปรแกรม Circuit Wizard เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบวงจรระบบชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือแบบไร้สายด้วยเซลล์สุริยะทั้งภาคส่งและภาครับ

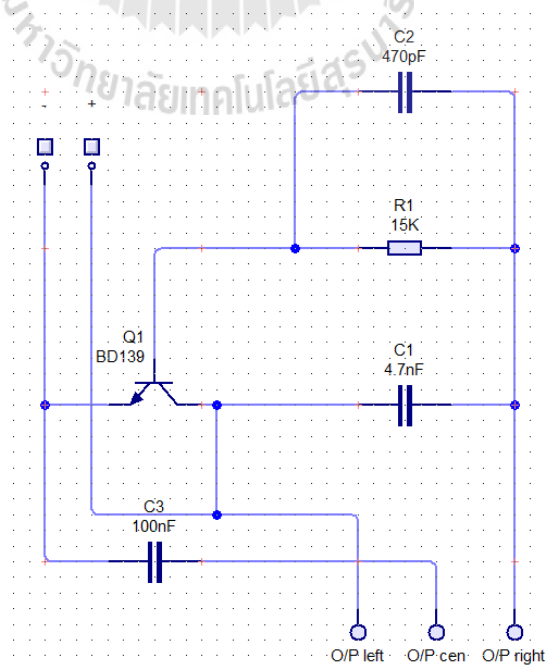
#### 3.2.1 การใช้งานโปรแกรม Circuit Wizard

##### 1. เลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากคำสั่ง Gallery



รูปที่ 3.2 การใช้งานโปรแกรม

##### 2. สร้างแผนภาพวงจรภาคส่ง

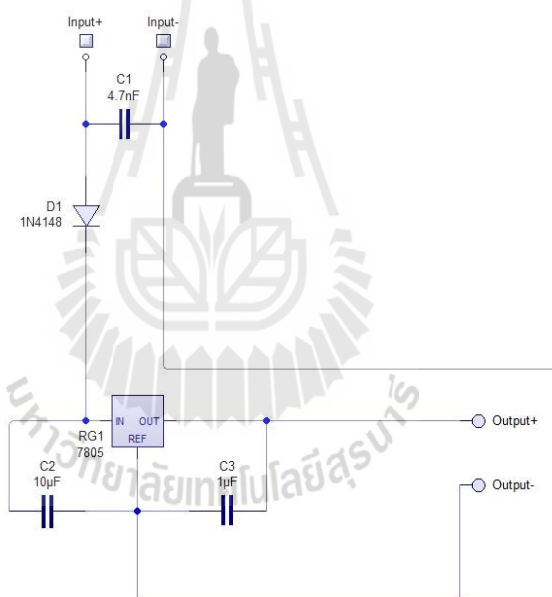


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคส่ง

คำอธิบายหน้าที่ของอุปกรณ์

1. ตัวเก็บประจุ 470pF และตัวต้านทาน 15K $\Omega$ ทำหน้าที่ เป็น RC Constant ซึ่งเป็นตัวกำหนดความถี่ Oscillator หรือเป็นตัวกำหนดเวลาในการ Charge และ Discharge
2. ตัวเก็บประจุ 100nF ทำหน้าที่เป็น Filter ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูง โดยที่ความถี่สูง ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุจะต่ำทำให้ความถี่สูงถูกตัวเก็บประจุดึงลง Ground
3. ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 ทำหน้าที่ขยายกระแสให้สูงขึ้น
4. ตัวเก็บประจุ 4.7nF ทำหน้าที่เป็น Matching ให้กับสายอากาศซึ่งเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ โดยค่าเชิงซ้อนของตัวเก็บประจุที่เป็นลบจะไปหักล้างกับค่าเชิงซ้อนของขดลวด

### 3. สร้างแผนภาพวงจรภาครับ

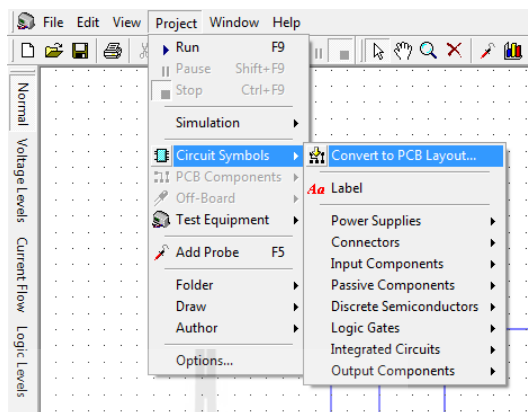


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรภาครับ

คำอธิบายหน้าที่ของอุปกรณ์

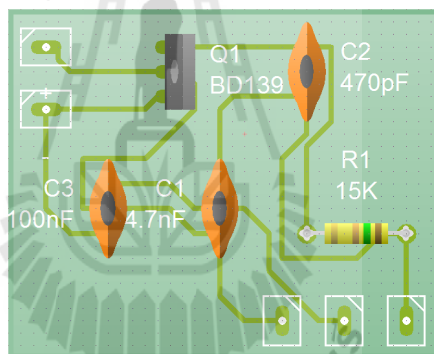
1. ตัวเก็บประจุ 4.7nF ทำหน้าที่เป็น Matching ให้กับสายอากาศซึ่งเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ โดยค่าเชิงซ้อนของตัวเก็บประจุที่เป็นลบจะไปหักล้างกับค่าเชิงซ้อนของขดลวด
2. ไดโอด เบอร์ 1N4148 ทำหน้าที่เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
3. ไอซี เบอร์ LM7805 ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันให้ขาเอาต์พุตเป็น 5V
4. ตัวเก็บประจุ 10 $\mu$ F และ 1 $\mu$ F ทำหน้าที่กำจัดความถี่ไม่พึงประสงค์ที่เป็น Noise

4. เลือกคำสั่ง Project>Circuit Symbols>Convert to PCB Layout



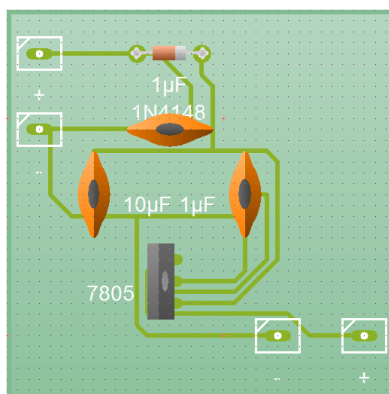
รูปที่ 3.5 การสร้างลายวงจร

5. โปรแกรมทำการจัดเรียงอุปกรณ์บนแผ่น PCB



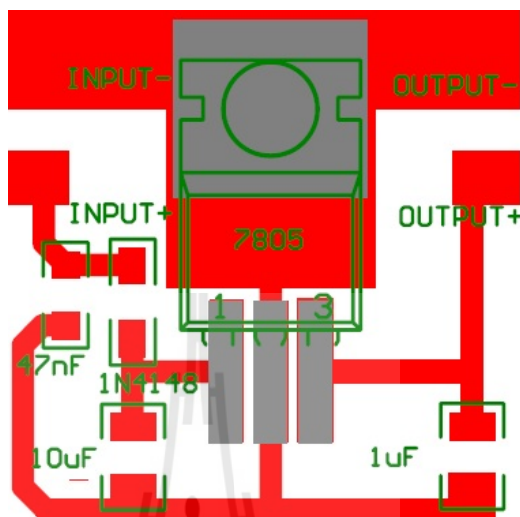
รูปที่ 3.6 จำลองลายวงจรภาคส่ง

6. สร้างวงจรภาครับ



รูปที่ 3.7 จำลองลายวงจรภาครับ

ในการออกแบบวงจรภาครับที่นำไปใช้งานในชิ้นงานผู้ออกแบบจะเลือกใช้อุปกรณ์ประเภท SMD ในการออกแบบลายวงจรภาครับจึงต้องออกแบบใหม่ให้เหมาะสมตามรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ลายวงจรสำหรับอุปกรณ์ SMD

### 3.3 การเลือกอุปกรณ์ประเภท SMD ( Surface Mount Device)<sup>[12]</sup>

อุปกรณ์ SMD เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสามารถยึดอยู่ บนแผ่น PCB ได้โดยไม่ต้องเสียบลงในลายวงจรอุปกรณ์ SMD สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ 1. อุปกรณ์ SMD แบบพาสซีฟ 2. อุปกรณ์ SMD แบบแอกทีฟ ในการออกแบบผู้ออกแบบได้เลือกใช้ใช้งานอุปกรณ์ SMD แบบพาสซีฟ และจะนำอุปกรณ์ SMD ไปใช้ที่ภาครับของวงจรเท่านั้น

#### 3.3.1 อุปกรณ์ SMD แบบพาสซีฟ

เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถขยายกำลังของสัญญาณได้ บางครั้งยังอาจทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในรูปของพลังงานความร้อนอีกด้วย นั่นก็หมายความว่าอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีอัตราการขยายกำลังไม่เกิน 1 เท่า ได้แก่ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุซึ่งอุปกรณ์ SMD ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวต้านทานแบบ chip ,ตัวเก็บประจุแบบ chip ,ตัวเก็บประจุแบบ Tantalum และอุปกรณ์แบบ MELF



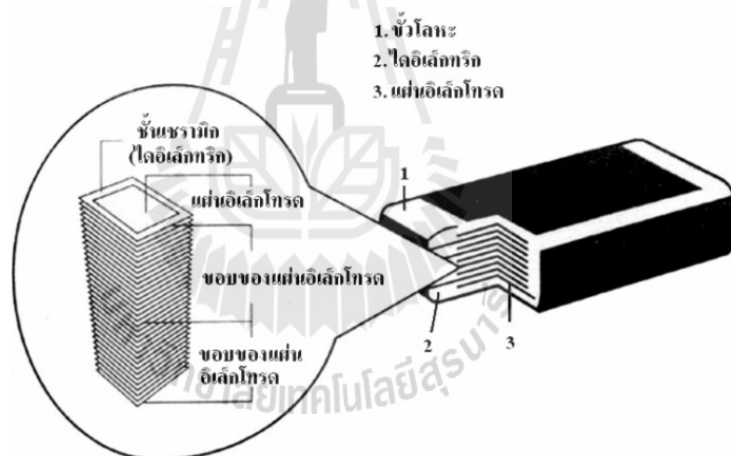
ในการออกแบบวงจรที่ภาครับอุปกรณ์ SMD ที่ได้นำมาใช้คือ 1.ตัวเก็บประจุแบบ chip2. ตัวเก็บประจุแบบ Tantalum 3.อุปกรณ์แบบMELF

3.3.1.1 ตัวเก็บประจุแบบชิป(chip capacitors )

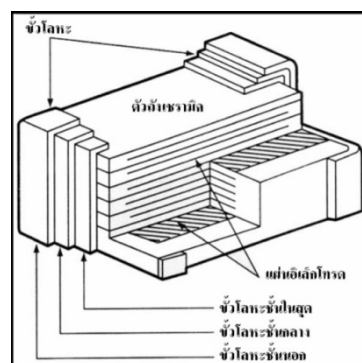


รูปที่ 3.9 Ceramic Chip Capacitor-SMD

เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานกับวงจรความถี่สูงมากเป็นพิเศษ เนื่องจากไม่มีขา โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุแบบชิปแสดงดังรูปที่ 3.11

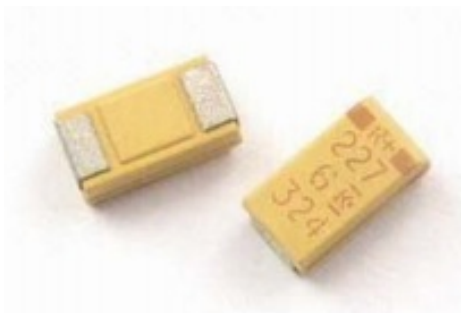


รูปที่ 3.10 โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุแบบชิป

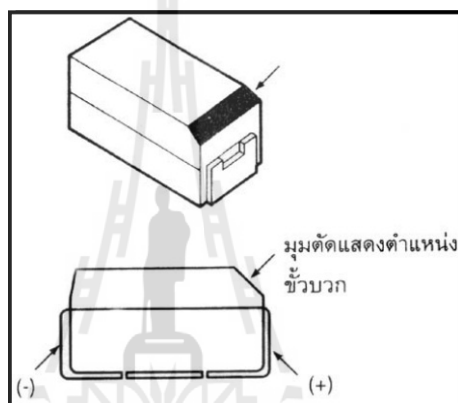


รูปที่ 3.11 โครงสร้างขั้วโลหะของตัวเก็บประจุแบบชิป

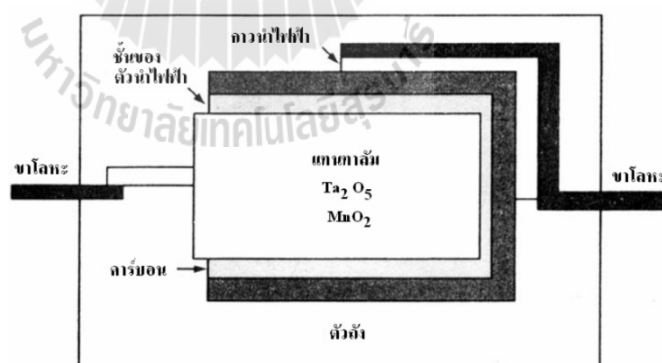
### 3.3.1.2 ตัวเก็บประจุแทนทาลัม ( Tantalum Capacitor)



รูปที่ 3.12 Tantalum Capacitor Chip

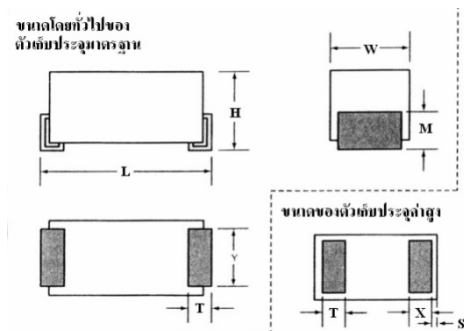


รูปที่ 3.13 การมองขั้วของอุปกรณ์



รูปที่ 3.14 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ Tantalum Capacitor Chip

ลักษณะและขนาดของ Tantalum Capacitor Chip แบบค่าความจุไฟฟ้ามาตรฐานและค่าความจุไฟฟ้าสูงดังรูปที่ 3.16



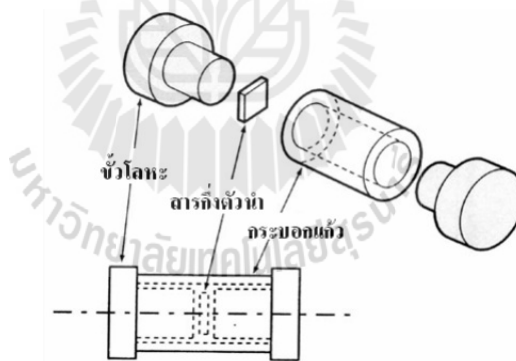
รูปที่ 3.15 แสดงขนาดของ Tantalum Capacitor Chip

3.3.1.3 อุปกรณ์ MELF (Metal Electrical Leafless Face)

อุปกรณ์ MELF ที่ใช้ในการออกแบบคือ Zener diode



รูปที่ 3.16 Zener diode



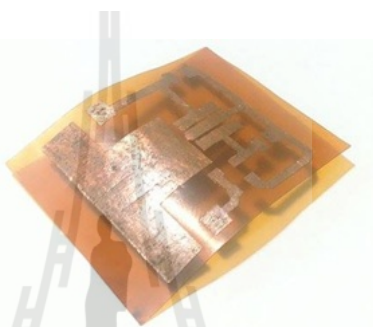
รูปที่ 3.17 โครงสร้างโดยทั่วไปของ MELF diode

3.4 แผ่น PCB (Print Circuit Board)<sup>[13]</sup>

PCB (Print Circuit Board) คือ ส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่อยู่บนแผงวงจร ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่อกันได้ และสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้

PCB ประกอบไปด้วยแผ่นฐานหรือซับสเตรท (substrate) ที่ทำจากแผ่นฉนวนบาง ๆ อัดยัดรวมกันด้วยพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting plastic) เพื่อรองรับแผ่นตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำซับสเตรทที่นิยม เช่น กระดาษชุบฟีนอลิกอัด, อีพ็อกซีไฟเบอร์กลาส เป็นต้น

ในการออกแบบชิ้นงานผู้ออกแบบจะใช้ แผ่น PCB ประเภท Flexible Printed Circuit (FPC) ซึ่งเป็นแผ่น PCB ที่เป็นฉนวนบางมาก สามารถที่จะโค้งงอได้ตามต้องการ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กและเบา แต่ควรต้องระวังอุปกรณ์ SMD ที่ติดอยู่บนแผ่น FPC หากมีการโค้งงอ

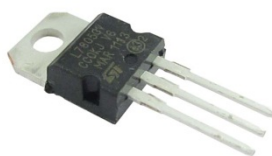


รูปที่ 3.18 Flexible Printed Circuit (FPC)

### 3.5 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปที่ใช้ในงาน

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการไหลของพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ออกแบบวงจร เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี เป็นต้น

#### 3.5.1 I.C.7805 หรือ Integrated Circuit เบอร์ 7805



รูปที่ 3.19 IC เบอร์ 7805<sup>[14]</sup>

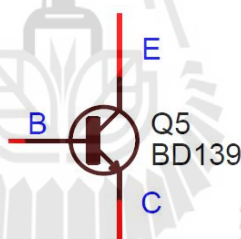
Integrated Circuit (I.C.) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่รวมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่ประกอบเป็นวงจรหรือส่วนของวงจรที่มีขนาดเล็กไว้ในตัวเดียว ชิ้นส่วนต่างๆเหล่านี้ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ไดโอด เป็นต้น

ซึ่งในการออกแบบชิ้นงานได้เลือกใช้ IC เบอร์ 7805 เพื่อทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าขาเข้าให้มีกระแสไฟฟ้าขาออกที่ 5v เพื่อเป็นการป้องกันกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปสำหรับวงจรในภาครับ

### 3.5.2 ทรานซิสเตอร์ BD139<sup>[15]</sup>



รูปที่ 3.20 ทรานซิสเตอร์ BD139



รูปที่ 3.21 โครงสร้างทรานซิสเตอร์แบบ NPN

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขา B หรือเรียกว่า กระแสเบส กล่าวคือเมื่อกระแสเบสเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าในขา E (กระแสอิมิตเตอร์) และกระแสไฟฟ้าในขา C (กระแสคอลเล็กเตอร์)เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งทำให้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิดหรือเปิดวงจร โดยถ้าไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านขา B ก็จะทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านขา E และ C ด้วย แต่ถ้าให้กระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยผ่านขา B จะสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่มากกว่าให้ผ่านทรานซิสเตอร์แล้วผ่านไปยังขา E และผ่านไปยังอุปกรณ์อื่นที่ต่อจากขา C

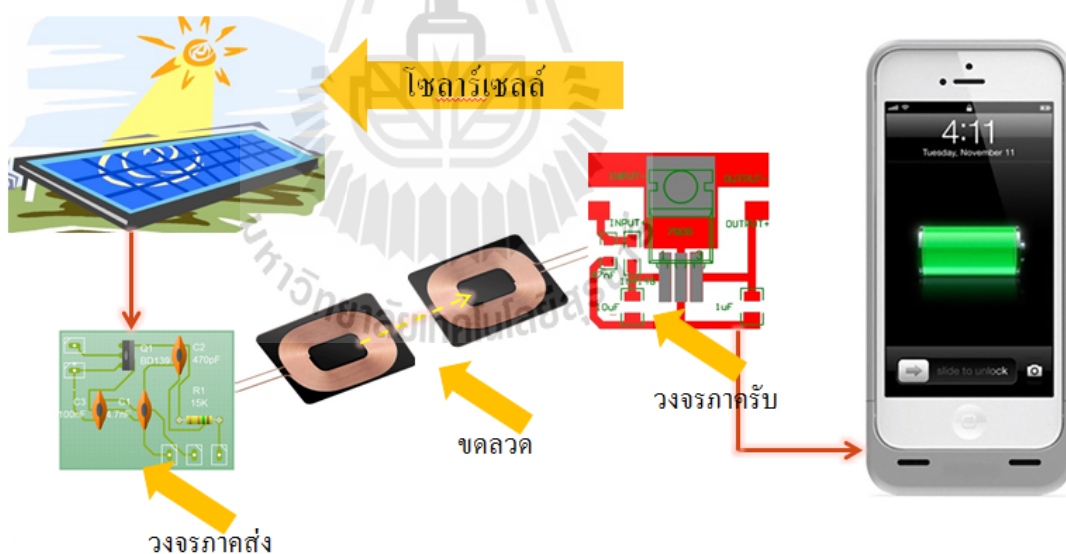
## บทที่ 4

### ผลการทดสอบอุปกรณ์

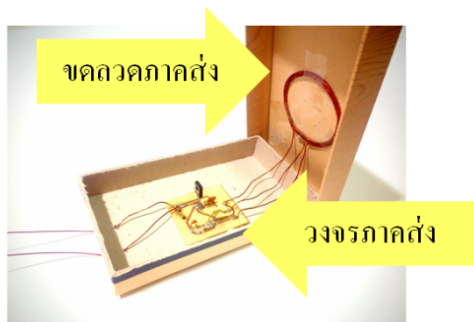
#### 4.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 4 นี้ จะเป็นการวัดผลการทำงานของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ โดยมีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์สุริยะในแต่ละช่วงเวลาของวัน เพื่อให้สามารถทราบถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานชุดอุปกรณ์ต้นแบบ อีกทั้งมีการวัดค่าเปรียบเทียบกับความสามารถในการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ ระหว่างอุปกรณ์สายชาร์จแบบปกติกับชุดอุปกรณ์ชาร์จแบบไร้สายที่ใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะ

#### 4.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 4.1 การทำงานของชุดอุปกรณ์



รูปที่ 4.2 ภายในชุดอุปกรณ์ภาคส่ง



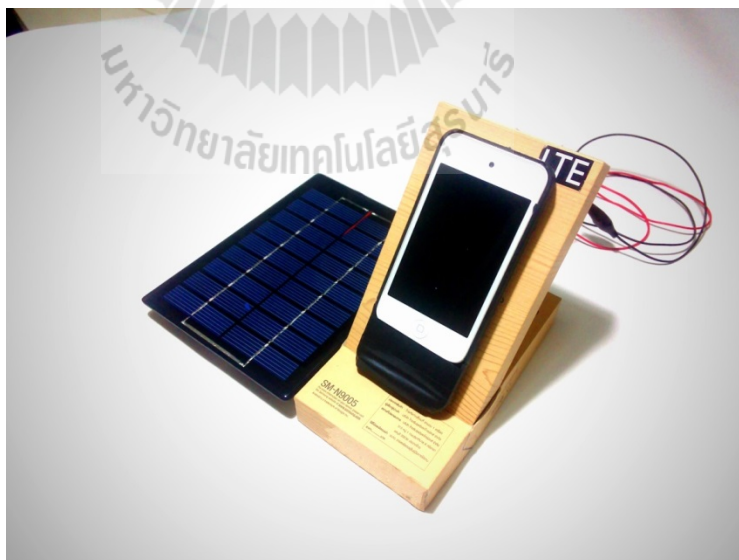
รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ภาคส่ง



รูปที่ 4.4 ภายในชุดอุปกรณ์ภาคส่ง



รูปที่ 4.5 ชุดอุปกรณ์ภาคส่ง



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์เพื่อใช้งาน

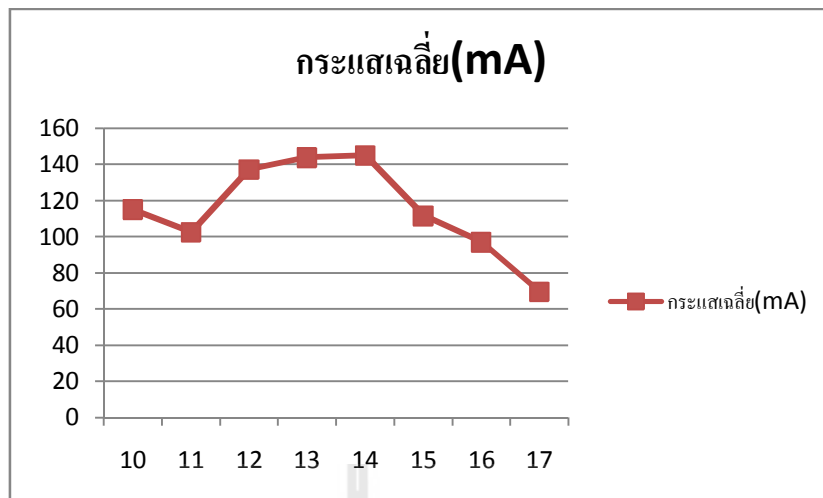
### 4.3 ผลการทดลอง

#### 4.3.1 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ

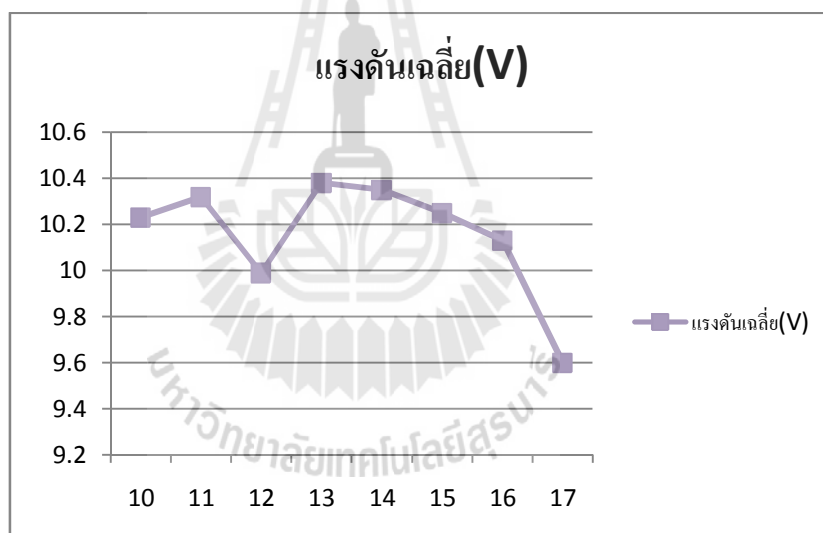
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากเซลล์สุริยะในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในวันที่ 1

เวลา	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)
10.00น.	108.3	10.15	115.0	10.18	122.7	10.37	115.1	10.23
11.00 น.	101.7	10.32	102.9	10.31	103.3	10.32	102.6	10.32
12.00 น.	139.2	10.00	132.1	9.97	140.6	10.01	137.3	9.99
13.00 น.	145.8	10.35	144.0	10.42	141.6	10.38	143.8	10.38
14.00 น.	145.1	10.35	144.8	10.35	145.2	10.36	145.0	10.35
15.00 น.	110.7	10.27	110.9	10.24	113.2	10.24	111.6	10.25
16.00 น.	97.4	10.14	97.4	10.15	96.6	10.11	97.1	10.13
17.00 น.	68.8	9.58	70.1	9.62	70.2	9.59	69.7	9.60





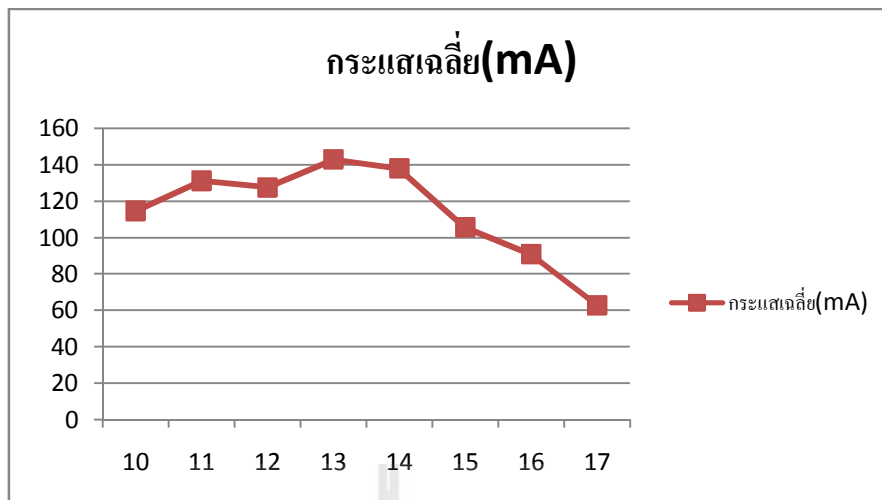
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 1



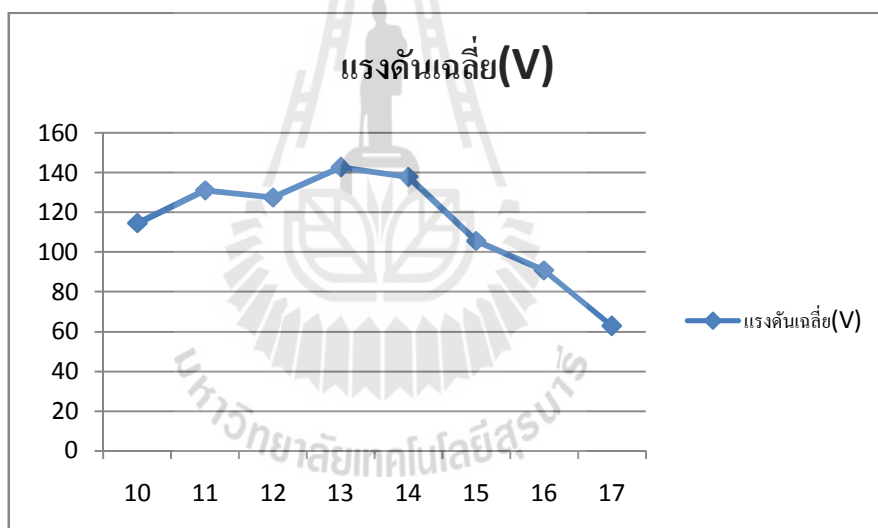
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 1

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากโซลาร์เซลล์  
ในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในวันที่ 2

เวลา	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)
10.00 น.	114.1	10.02	114.5	10.01	115.2	10.02	114.6	10.02
11.00 น.	128.8	10.13	132.1	10.13	132.3	10.14	131.1	10.13
12.00 น.	127.3	10.31	127.8	10.29	127.5	10.32	127.5	10.31
13.00 น.	142.7	10.24	142.8	10.25	142.8	10.24	142.8	10.24
14.00 น.	137.5	10.30	138.7	10.32	137.4	10.31	137.9	10.31
15.00 น.	106.2	10.17	106.3	10.15	104.4	10.17	105.6	10.16
16.00 น.	90.6	9.97	90.7	9.95	91.0	9.94	90.8	9.95
17.00 น.	62.7	9.31	63.0	9.32	63.0	9.28	62.9	9.30



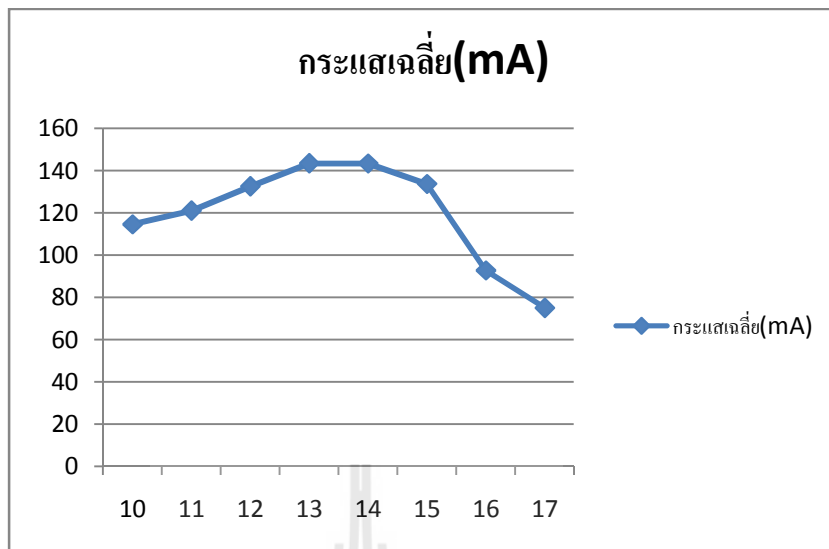
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 2



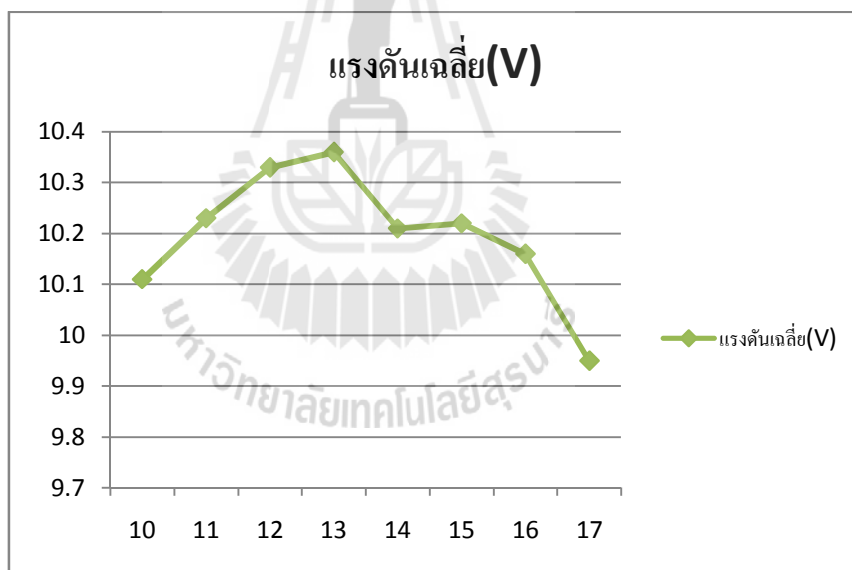
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากโซลาร์เซลล์  
ในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในวันที่ 3

เวลา	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)	กระแส (mA.)	แรงดัน (V.)
10.00 น.	112.7	10.12	115.6	10.12	115.4	10.10	114.6	10.11
11.00 น.	121.2	10.21	119.2	10.23	123.0	10.24	121.1	10.23
12.00 น.	132.5	10.32	133.1	10.34	132.2	10.32	132.6	10.33
13.00 น.	144.7	10.35	143.5	10.35	142.4	10.37	143.5	10.36
14.00 น.	142.1	10.21	143.5	10.21	144.7	10.21	143.4	10.21
15.00 น.	135.1	10.19	132.1	10.23	134.0	10.23	133.7	10.22
16.00 น.	94.1	10.17	91.5	10.16	92.9	10.14	92.8	10.16
17.00 น.	75.7	9.94	74.8	9.96	74.7	9.94	75.1	9.95



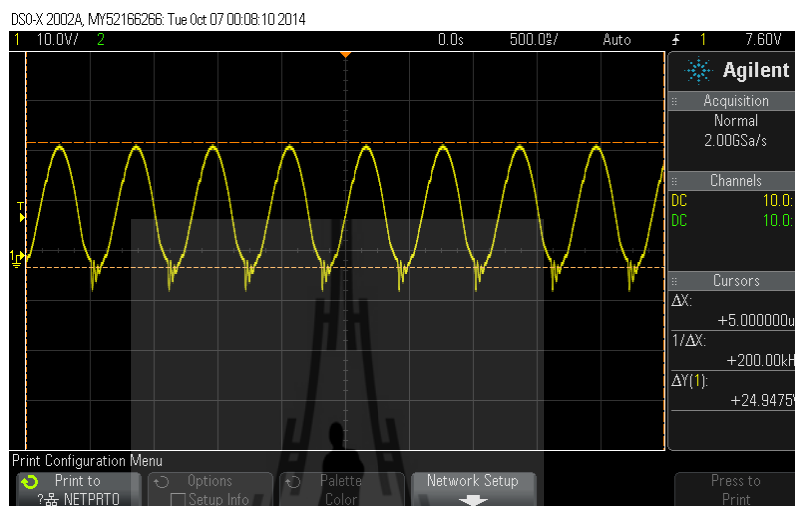
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 3



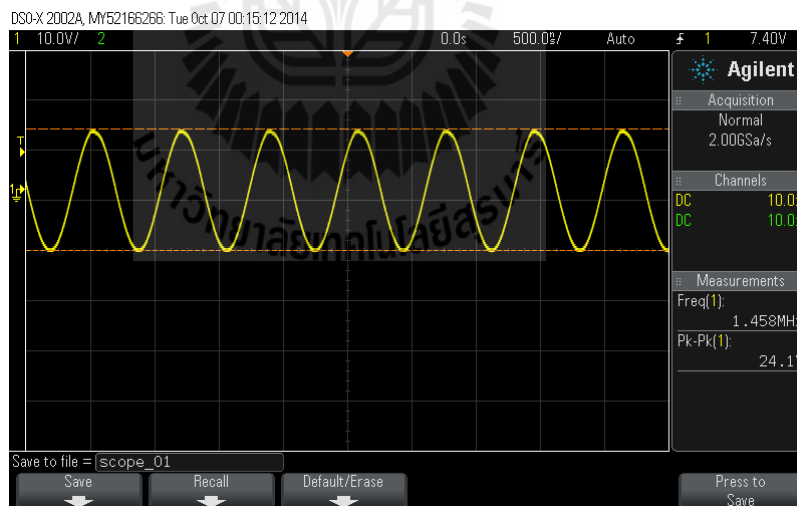
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. – 17.00 น. วันที่ 3

### 4.3.2 การทดลองวัดค่าสัญญาณขาเข้าและขาออก ณ ตำแหน่งต่างๆ

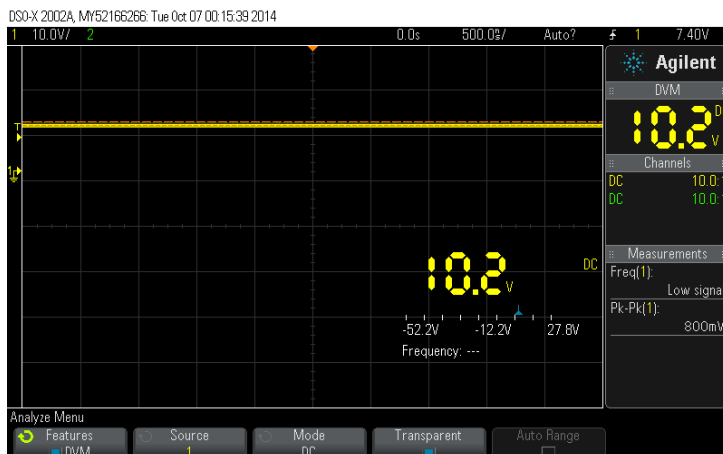
การทดลองนี้ใช้ถ่านAlkaline ขนาด 9V 100mA จำนวน 2ก้อน เป็นตัวช่วยในการจำลองผล เพื่อบันทึกผลการทดลอง



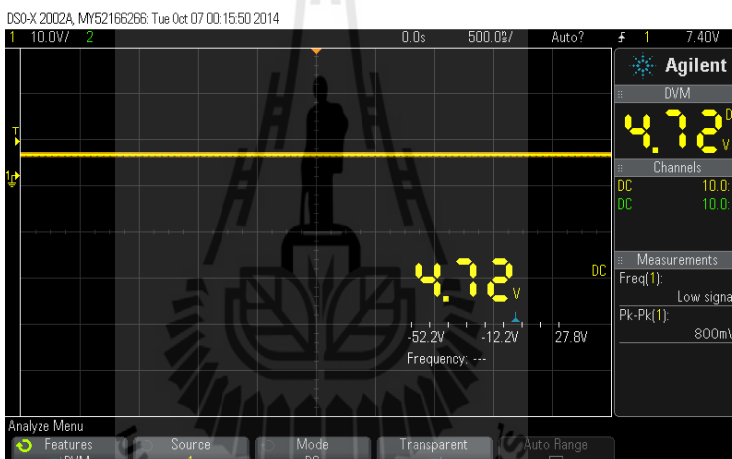
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตที่ภาคส่ง



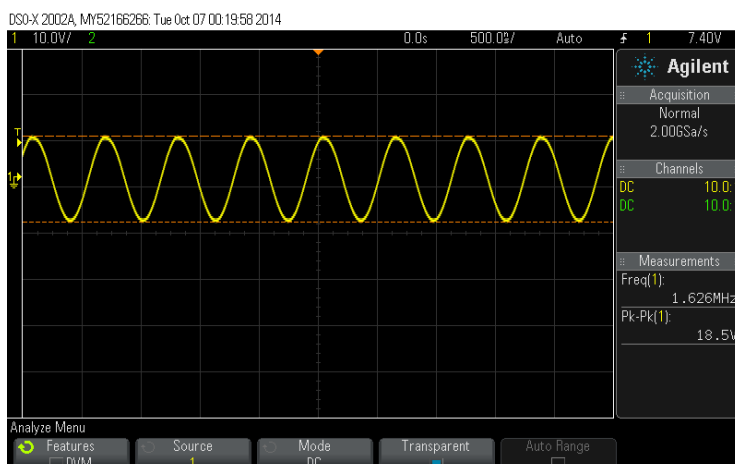
รูปที่ 4.14 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 0 cm.



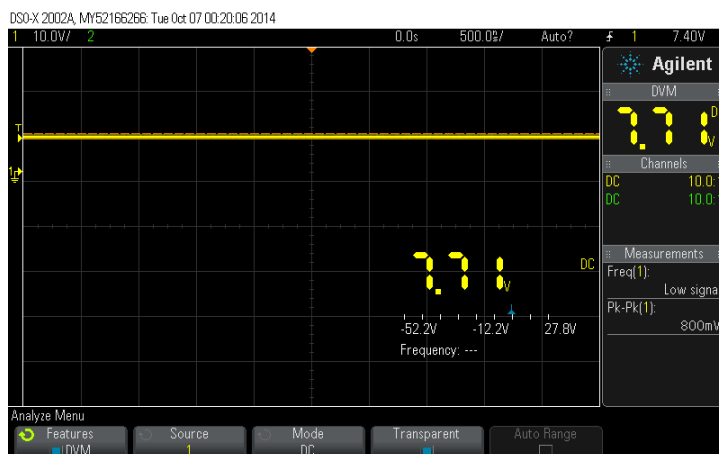
รูปที่ 4.15 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 0 cm.



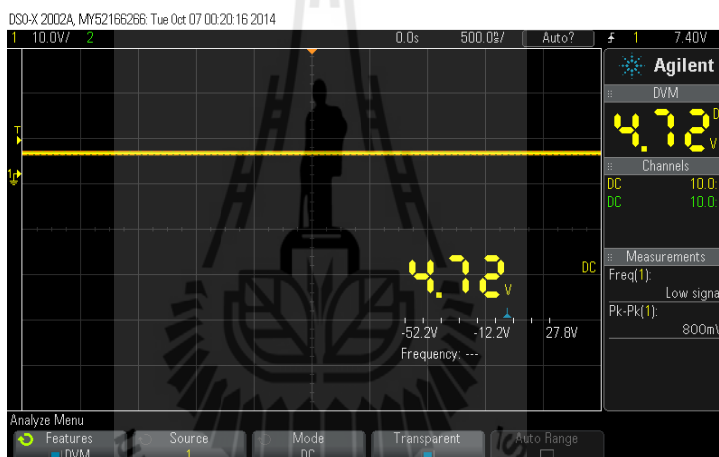
รูปที่ 4.16 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 0 cm.



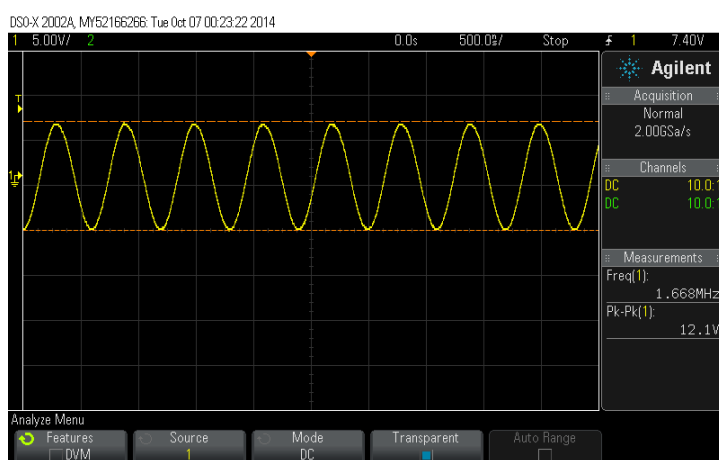
รูปที่ 4.17 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 2 cm.



รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 2 cm.

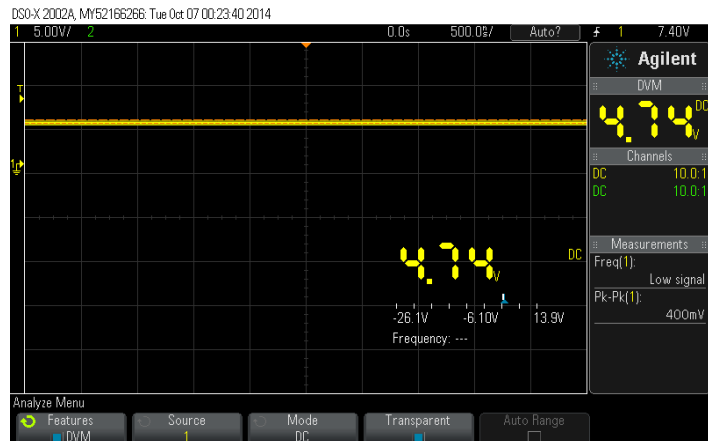


รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 2 cm.

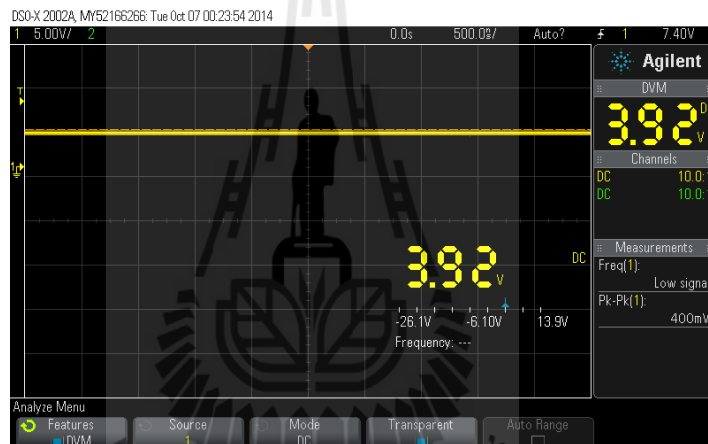


รูปที่ 4.20 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 4 cm.

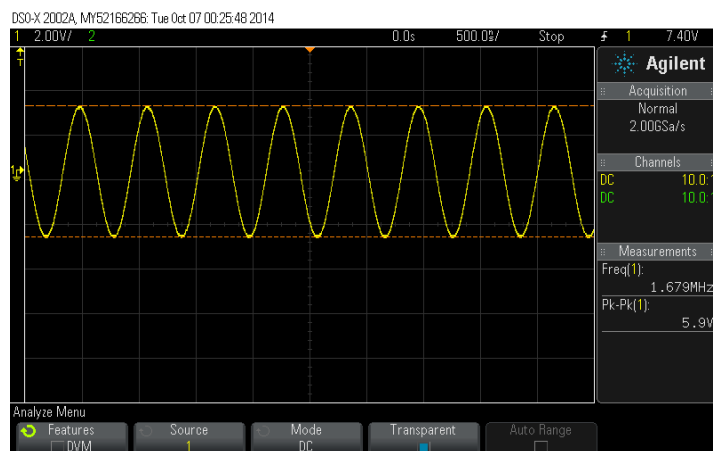




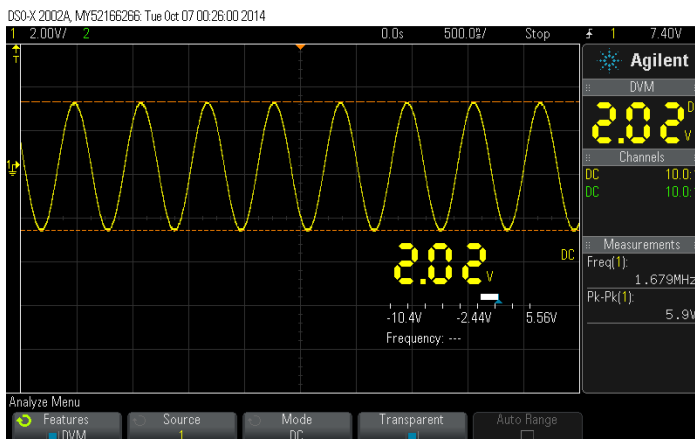
รูปที่ 4.21 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 4 cm.



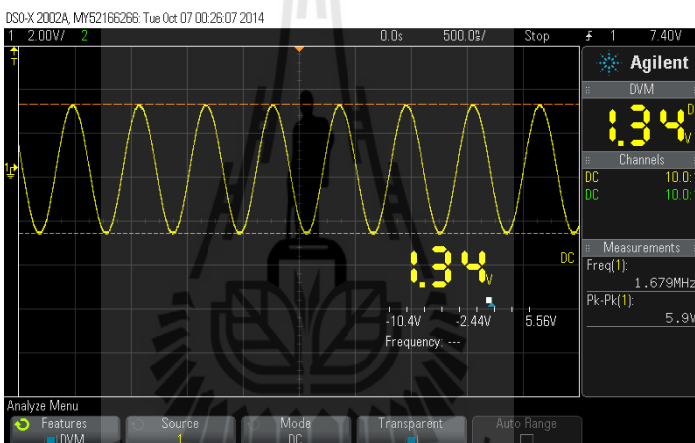
รูปที่ 4.22 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 4 cm.



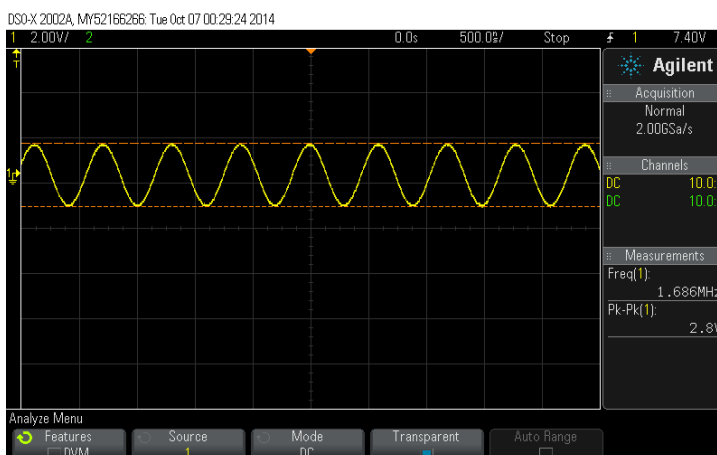
รูปที่ 4.23 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 6 cm.



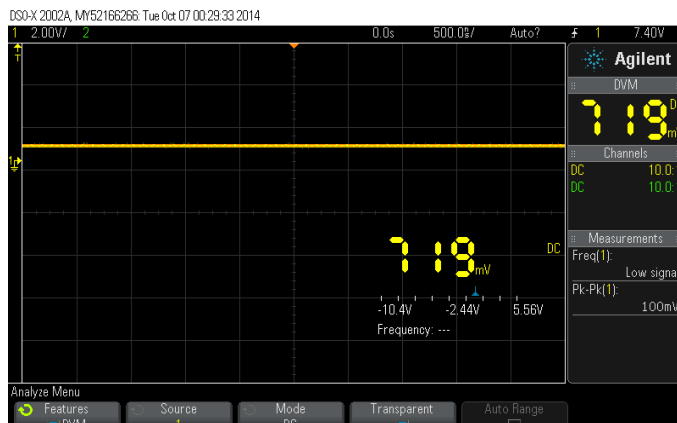
รูปที่ 4.24 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 6 cm.



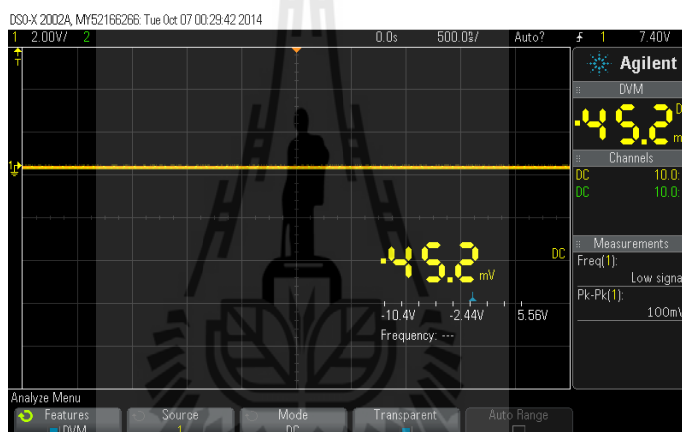
รูปที่ 4.25 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 6 cm.



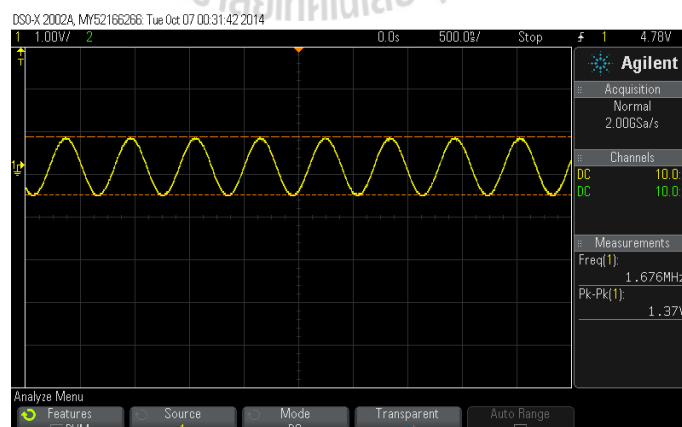
รูปที่ 4.26 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 8 cm.



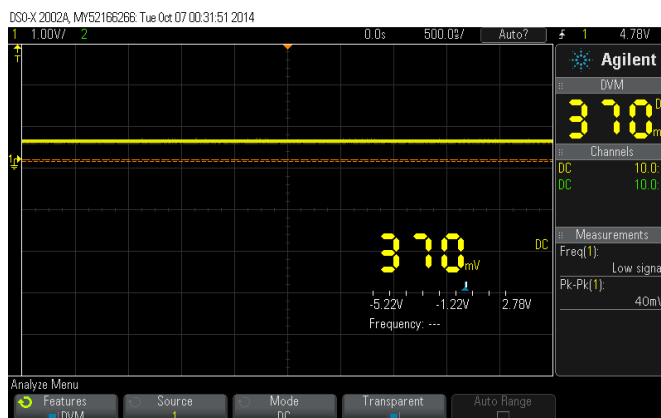
รูปที่ 4.27 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 8 cm.



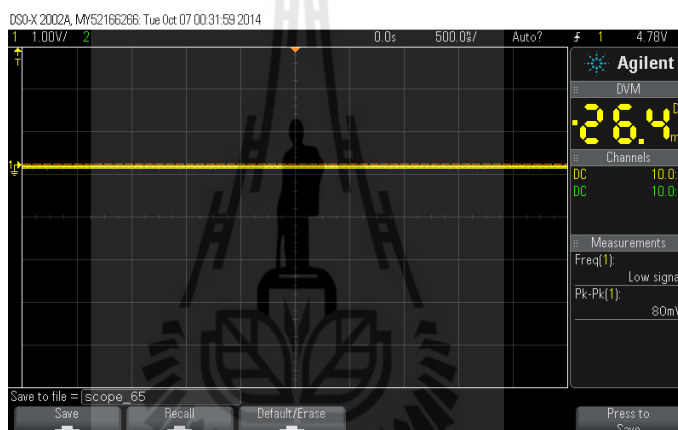
รูปที่ 4.28 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 8 cm.



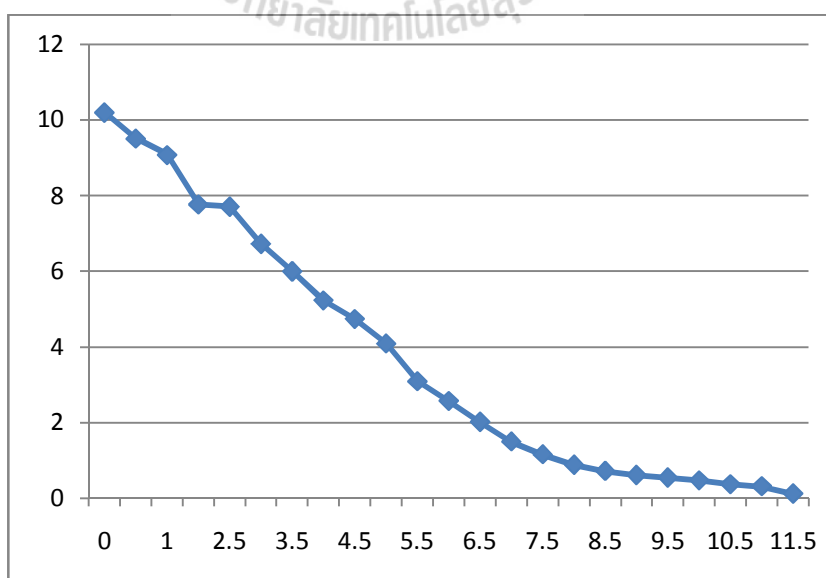
รูปที่ 4.29 สัญญาณอินพุตภาครับ ที่ระยะห่าง 10 cm.



รูปที่ 4.30 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Regulator ที่ระยะห่าง 10 cm.



รูปที่ 4.31 สัญญาณอินพุตเมื่อผ่าน Rectifier ที่ระยะห่าง 10 cm.



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า(V) กับ ระยะห่าง (cm)

### 4.3.3 การทดลองวัดค่าเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่

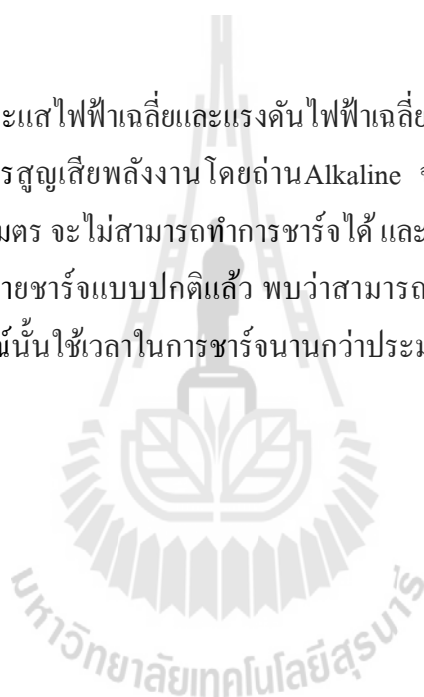
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ โทรศัพท์มือถือ โดยใช้สายชาร์จปกติและชุดอุปกรณ์ชาร์จแบบไร้สาย

จำนวนครั้งของ การชาร์จแบตเตอรี่ 1%	อุปกรณ์	สายชาร์จปกติ (นาที)	ชุดอุปกรณ์ไร้สาย (นาที)
	ครั้งที่ 1	1.39	7.27
	ครั้งที่ 2	1.35	7.13
	ครั้งที่ 3	1.48	7.26
	ครั้งที่ 4	1.42	7.39
	ครั้งที่ 5	1.27	7.14
	ครั้งที่ 6	1.42	7.28
	ครั้งที่ 7	1.24	7.14
	ครั้งที่ 8	1.43	7.21
	ครั้งที่ 9	1.30	7.15
	ครั้งที่ 10	1.43	7.22
	ครั้งที่ 11	1.38	7.40
	ครั้งที่ 12	1.32	7.27
	ครั้งที่ 13	1.39	7.39
	ครั้งที่ 14	1.37	7.20
	ครั้งที่ 15	1.39	7.13
	ครั้งที่ 16	1.23	7.16

ครั้งที่ 17	1.53	7.24
ครั้งที่ 18	1.49	7.14
ครั้งที่ 19	1.39	7.45
ครั้งที่ 20	1.44	7.14
ค่าเฉลี่ย	1.38	7.24

#### 4.4 สรุปผลการทดลอง

ช่วงเวลาที่มีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงที่สุดคือช่วง 13.00 น.- 14.00 น. และจากการจำลองผลการสูญเสียพลังงาน โดยถ่าน Alkaline จะพบว่าเมื่อชุดภาครับอยู่ห่างจาก ภาคล่งเป็นระยะ 3 เซนติเมตร จะไม่สามารถทำการชาร์จได้ และความสามารถของชุดอุปกรณ์แบบ ไร้สายนั้น เมื่อเทียบกับสายชาร์จแบบปกติแล้ว พบว่าสามารถชาร์จแบตเตอรี่ โทรศัพท์มือถือได้ เช่นเดียวกัน แต่ชุดอุปกรณ์นั้นใช้เวลาในการชาร์जनานกว่าประมาณ 5.2 เท่า



## บทที่ 5

### ข้อสรุปของโครงการ

#### 5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นกรกล่าวถึงบทสรุปของโครงการระบบชาร์จโทรศัพท์ไร้สายด้วยเซลล์สุริยะซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาที่พบในขณะดำเนินการ วิธีการแก้ปัญหา ข้อเสนอแนะ และวิธีการพัฒนาโครงการต่อไป

#### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

ในการทำโครงการระบบชาร์จโทรศัพท์ไร้สายด้วยเซลล์สุริยะที่ ปรากฏปัญหาต่างๆดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาที่พบ สาเหตุของปัญหารวมทั้งวิธีการแก้ไข

ตารางที่ 5.1 ปัญหาและสาเหตุที่พบในขณะดำเนินงานและวิธีการแก้ไข

ปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน	สาเหตุและวิธีการแก้ปัญหา
แรงดันไฟฟ้าไม่พอที่จะจ่ายให้กับแบตเตอรี่ เมื่อนำขดลวดภาครับบรรจุลงในเคสกันกระแทกด้านหลังโทรศัพท์มือถือ	สาเหตุ เกิดจากการที่เส้นแรงแม่เหล็กถูกสะท้อนกลับจากเคสของโทรศัพท์มือถือซึ่งเป็นโลหะ สามารถแก้ปัญหาได้โดยเว้นระยะห่างระหว่างเคสกับขดลวดเล็กน้อย
วงจรภาครับมีขนาดใหญ่เกินไป	สาเหตุ เกิดจากแผ่น PCB และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้มีขนาดใหญ่เกินไป สามารถแก้ปัญหาได้โดยเปลี่ยนจากแผ่น PCB เป็นแผ่นทองแดงแบบ FPC (Flexible Printed Circuit) แทน และเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์แบบ SMD (Surface Mount Device) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ามาก

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากแผงเซลล์สุริยะนั้นมีหลายชนิด แต่ชนิดที่ใช้กับอุปกรณ์ชนิดนี้เป็นแบบCrystalline ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่สูงมาก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพจะลดลงหากอยู่ในสภาพอากาศปิด หากผู้ที่สนใจใช้งานต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนของแหล่งจ่าย สามารถเปลี่ยนชนิดของแผงโซลาร์เป็นแบบAmorphous ซึ่งมีความไวต่อแสงสูงกว่ามาก สามารถทำงานได้แม้ในขณะที่มีฝนตกหรือมีหมอก จึงสามารถผลิตพลังงานได้ง่าย และมีความยืดหยุ่นสามารถโค้งงอได้ตามสภาพพื้นผิว

### 5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ประการแรกเนื่องจากชุดอุปกรณ์ชาร์จนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะจะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากแหล่งพลังงานนั้น ได้มาจากแสงอาทิตย์ จึงมีข้อจำกัดในบางช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ และความเสถียรของกระแสไฟฟ้าและแรงดันนั้นค่อนข้างน้อย ดังนั้นในอนาคตจึงสามารถประกอบแบตเตอรี่ขนาดเล็กเข้ากับชุดภาคส่งได้ ประการที่สองสามารถเพิ่มจำนวนและประเภทของอุปกรณ์ภาครับได้ โดยใช้ชุดภาคส่งเพียงชุดเดียวแต่ใช้จำนวนขดลวดมากขึ้น เช่น ติดตั้งชุดอุปกรณ์ภาคส่งไว้ที่โต๊ะทำงาน แล้วติดตั้งอุปกรณ์ภาครับไว้ที่โทรศัพท์มือถือมากกว่าหนึ่งเครื่อง และที่โคมไฟตั้งโต๊ะ เป็นต้น

### 5.5 บทสรุปของโครงการ

โครงการระบบชาร์จโทรศัพท์ไร้สายด้วยเซลล์สุริยะ ได้ทำอุปกรณ์ต้นแบบออกมาและอุปกรณ์นี้สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้จริง โดยใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานสะอาดคือแผงเซลล์สุริยะเพียงอย่างเดียว และสามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายได้ตามวัตถุประสงค์





ตารางแสดงข้อมูลของเส้นลวดทองแดง

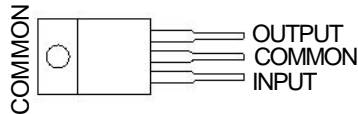
AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm <sup>2</sup> ]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.226	170 kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.182	210 kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.142	270 kHz
31	0.0089	0.22606	0.0404	130.1	426.728	0.113	340 kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.091	430 kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.072	540 kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.056	690 kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.044	870 kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.035	1100 kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.0289	1350 kHz
38	0.004	0.1016	0.00797	659.6	2163	0.0228	1750 kHz
39	0.0035	0.0889	0.00632	831.8	2728	0.0175	2250 kHz
40	0.0031	0.07874	0.00501	1049	3440	0.0137	2900 kHz

Table 1: American Wire Gauge (AWG) Cable / Conductor Sizes and Properties

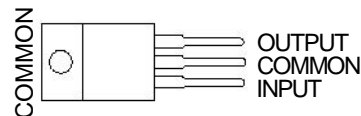
- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection

- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation

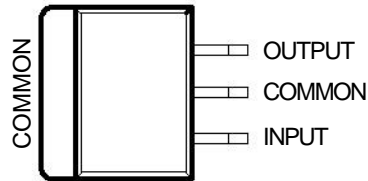
KC (TO-220) PACKAGE  
(TOP VIEW)



KCS (TO-220) PACKAGE  
(TOP VIEW)



KTE PACKAGE  
(TOP VIEW)



## description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

## ORDERING INFORMATION

TJ	VO(NOM) (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C o 125	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	∞A7805CKTER	∞A7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	∞A7805CKC	∞A7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	∞A7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	∞A7808CKTER	∞A7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	∞A7808CKC	∞A7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	∞A7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	∞A7810CKTER	∞A7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	∞A7810CKC	∞A7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	∞A7812CKTER	∞A7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	∞A7812CKC	∞A7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	∞A7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	∞A7815CKTER	∞A7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	∞A7815CKC	∞A7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	∞A7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	∞A7824CKTER	∞A7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	∞A7824CKC	∞A7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



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.

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

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

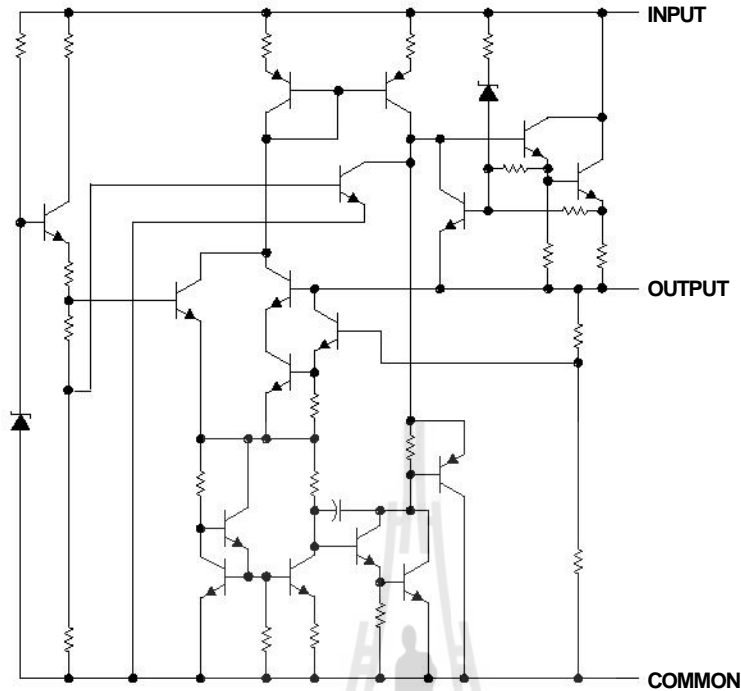
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

# ∞A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J - MAY 1976 - REVISED MAY 2003

## schematic



### absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, $V_I$ : ∞A7824C .....	40 V
All others .....	35 V
Operating virtual junction temperature, $T_J$ .....	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds .....	260°C
Storage temperature range, $T_{stg}$ .....	-65°C to 150°C

† 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.

### package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	$\theta_{JC}$	$\theta_{JA}$
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\max)$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $PD = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# ∞A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J - MAY 1976 - REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 14\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>J</sub> †	∞A7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage Output	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1 A,, VI = 10.5 V to 23 V, PD ≤ 15W	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation Input	VI = 10.5 V to 25 V	25°C	6		160	mV
	VI = 11 V to 17 V		2		80	
Ripple rejection	VI = 11.5 V to 21.5 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	55	72		dB
Output Output voltage regulation	IO = 5 mA to 1.5 A	25°C	12		160	mV
	IO = 250 mA to 750 mA		4		80	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C	0.016			Ω
Temperature coefficient of output voltage	IO = 5 mA	0°C to 125°C	-0.8			mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C	52			∞V
Dropout voltage	IO = 1 A	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3	8		mA
Bias current change	VI = 10.5 V to 25 V	0°C to 125°C	125		1	mA
	IO = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C	450			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-∞F capacitor across the input and a 0.1-∞F capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 17\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>J</sub> †	∞A7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage Output	IO = 5 mA to 1 A,, VI = 12.5 V to 25 V, PD ≤ 15W	25°C	9.6	10	10.4	V
		0°C to 125°C	9.5		10.5	
Input voltage regulation Input	VI = 12.5 V to 28 V	25°C	7		200	mV
	VI = 14 V to 20 V		2		100	
Ripple rejection	VI = 13 V to 23 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	55	71		dB
Output Output voltage regulation	IO = 5 mA to 1.5 A	25°C	12		200	mV
	IO = 250 mA to 750 mA		4		100	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	IO = 5 mA	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C	70			∞V
Dropout voltage	IO = 1 A	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3	8		mA
Bias current change	VI = 12.5 V to 28 V	0°C to 125°C	125		1	mA
	IO = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C	400			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-∞F capacitor across the input and a 0.1-∞F capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# ∞A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J - MAY 1976 - REVISED MAY 2003

**electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 19\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>J</sub> †	∞A7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage Output	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1 A,, PD ≤ 15W	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C			12.6	
Input voltage regulation Input	V <sub>I</sub> = 14.5 V to 30 V	25°C		10	240	mV
	V <sub>I</sub> = 16 V to 22 V			3	120	
Ripple rejection	V <sub>I</sub> = 15 V to 25 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	55	71		dB
Output Output voltage regulation	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	240	mV
	I <sub>O</sub> = 250 mA to 750 mA			4	120	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	I <sub>O</sub> = 5 mA	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C	75			∞V
Dropout voltage	I <sub>O</sub> = 1 A	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3		8	mA
Bias current change	V <sub>I</sub> = 14.5 V to 30 V	0°C to 125°C			1	mA
	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C	350			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-∞F capacitor across the input and a 0.1-∞F capacitor across the output.

**electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 23\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>J</sub> †	∞A7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage Output	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1 A,, PD ≤ 15W	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation Input	V <sub>I</sub> = 17.5 V to 30 V	25°C		11	300	mV
	V <sub>I</sub> = 20 V to 26 V			3	150	
Ripple rejection	V <sub>I</sub> = 18.5 V to 28.5 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	54	70		dB
Output Output voltage regulation	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	300	mV
	I <sub>O</sub> = 250 mA to 750 mA			4	150	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C	0.019			Ω
Temperature coefficient of output voltage	I <sub>O</sub> = 5 mA	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C	90			∞V
Dropout voltage	I <sub>O</sub> = 1 A	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.4		8	mA
Bias current change	V <sub>I</sub> = 17.5 V to 30 V				1	mA
	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C	230			mA
Peak output current		25°C	2.1			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-∞F capacitor across the input and a 0.1-∞F capacitor across the output.



# ∞A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J - MAY 1976 - REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 33\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TJ†	∞A7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage Output	IO = 5 mA to 1 A,, VI = 27 V to 38 V, PD ≤ 15W	25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation Input	VI = 27 V to 38 V	25°C		18	480	mV
	VI = 30 V to 36 V			6	240	
Ripple rejection	VI = 28 V to 38 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation Output	IO = 5 mA to 1.5 A	25°C		12	480	mV
	IO = 250 mA to 750 mA			4	240	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C	0.028			Ω
Temperature coefficient of output voltage	IO = 5 mA	0°C to 125°C	-1.5			mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C	170			∞V
Dropout voltage	IO = 1 A	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.6	8		mA
Bias current change	VI = 27 V to 38 V	0°C to 125°C			1	mA
	IO = 5 mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C	150			mA
Peak output current		25°C	2.1			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-∞F capacitor across the input and a 0.1-∞F capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

APPLICATION INFORMATION

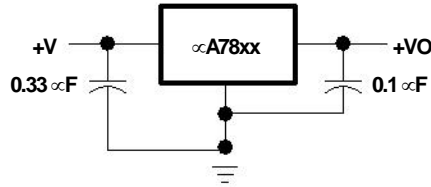


Figure 1. Fixed-Output Regulator

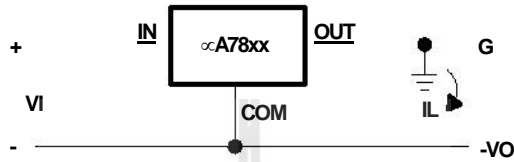
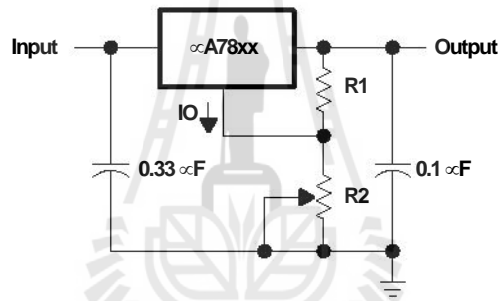


Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration ( $V_I$  Must Float)

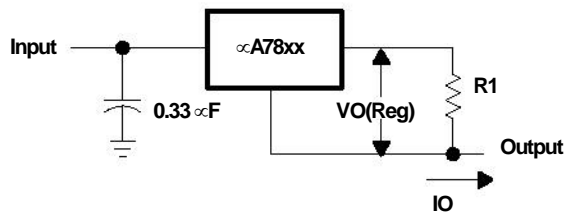


NOTE A: The following formula is used when  $V_{xx}$  is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

xx

Figure 3. Adjustable-Output Regulator

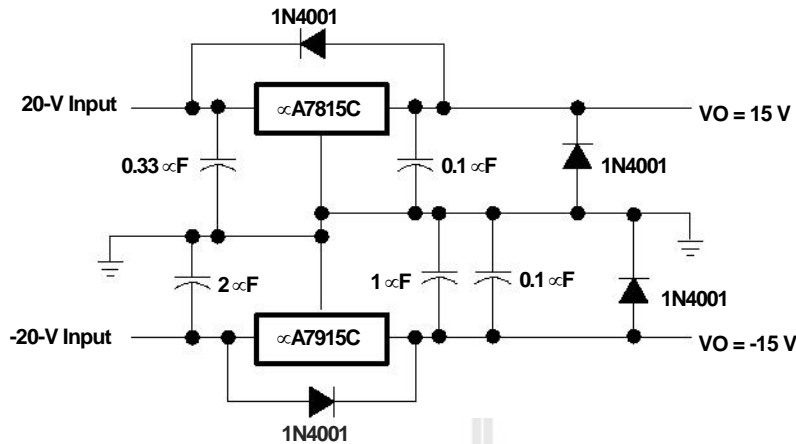


$$I_O = (V_O/R_1) + I_O \text{ Bias Current}$$

Figure 4. Current Regulator



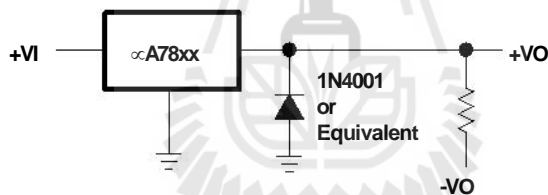
**APPLICATION INFORMATION**



**Figure 5. Regulated Dual Supply**

**operation with a load common to a voltage of opposite polarity**

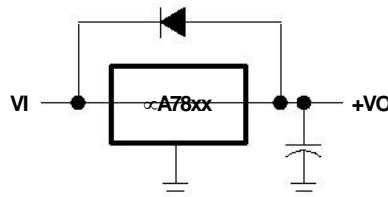
In many cases, a regulator powers a load that is not connected to ground but, instead, is connected to a voltage source of opposite polarity (e.g., operational amplifiers, level-shifting circuits, etc.). In these cases, a clamp diode should be connected to the regulator output as shown in Figure 6. This protects the regulator from output polarity reversals during startup and short-circuit operation.



**Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit**

**reverse-bias protection**

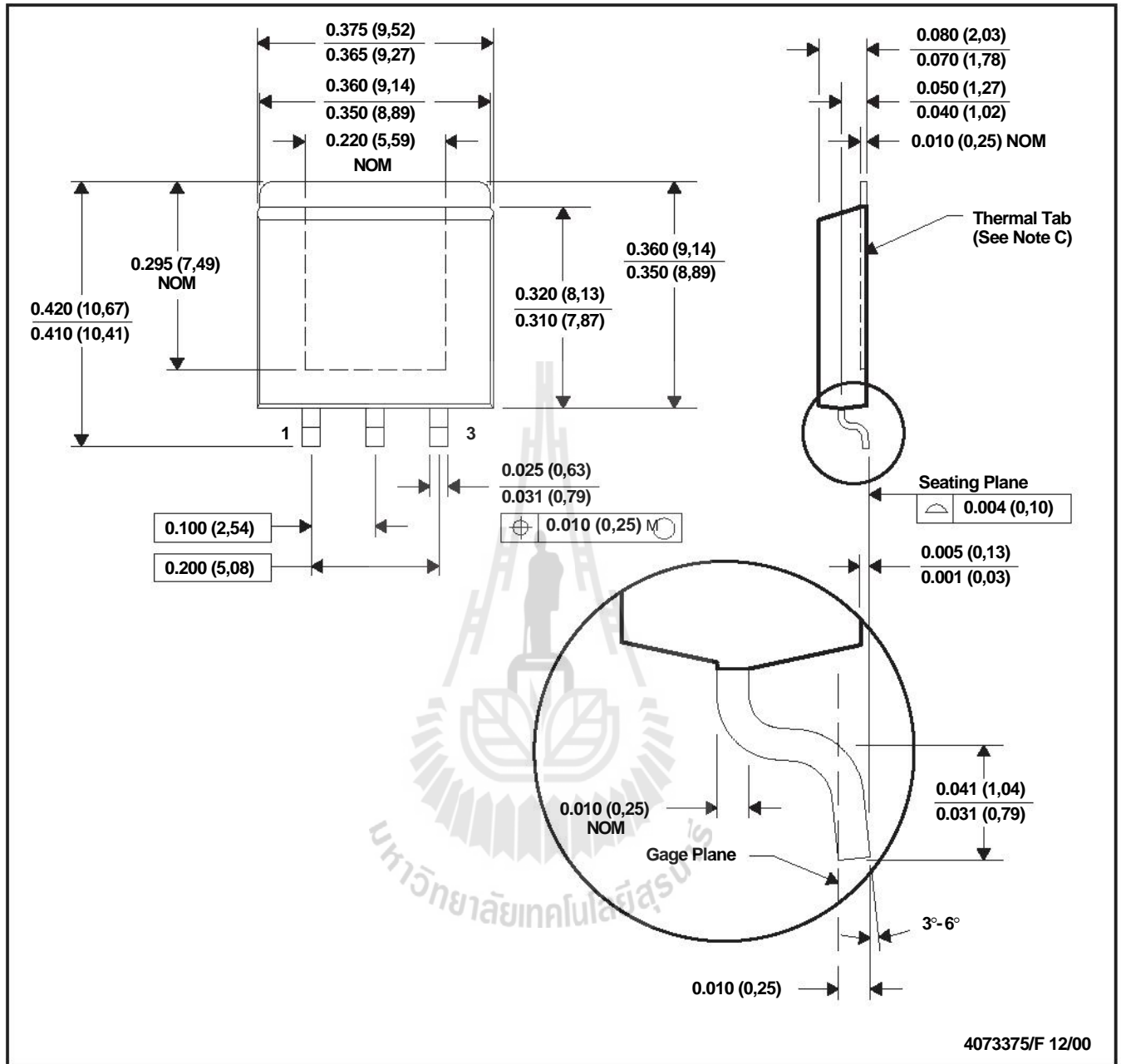
Occasionally, the input voltage to the regulator can collapse faster than the output voltage. This can occur, for example, when the input supply is crowbarred during an output overvoltage condition. If the output voltage is greater than approximately 7 V, the emitter-base junction of the series-pass element (internal or external) could break down and be damaged. To prevent this, a diode shunt can be used as shown in Figure 7.



**Figure 7. Reverse-Bias-Protection Circuit**

KTE (R-PSFM-G3)

PowerFLEX™ PLASTIC FLANGE-MOUNT



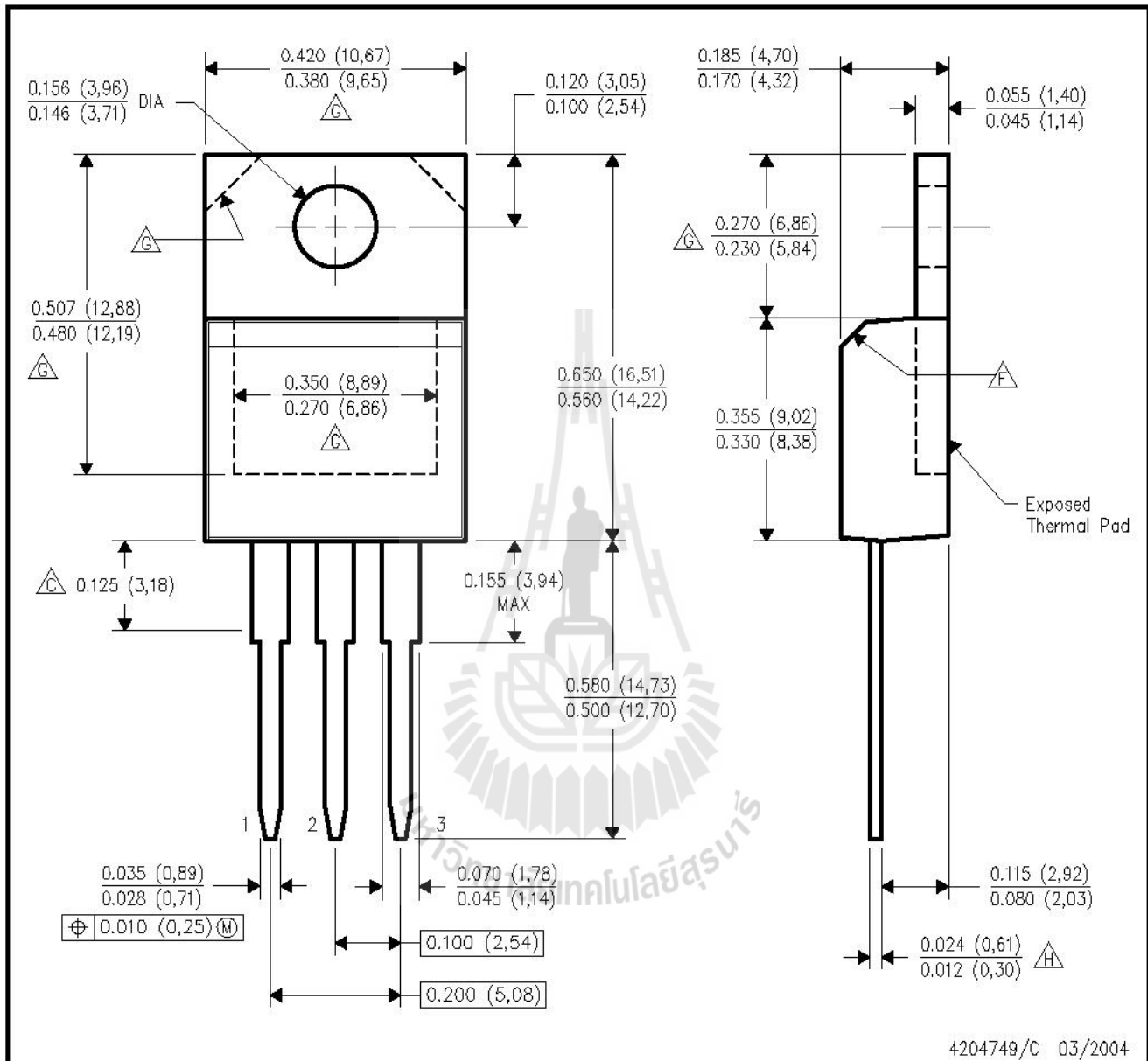
- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. The center lead is in electrical contact with the thermal tab.  
 D. Dimensions do not include mold protrusions, not to exceed 0.006 (0,15).  
 E. Falls within JEDEC MO-169

PowerFLEX is a trademark of Texas Instruments.



KCS (R-PSFM-T3)

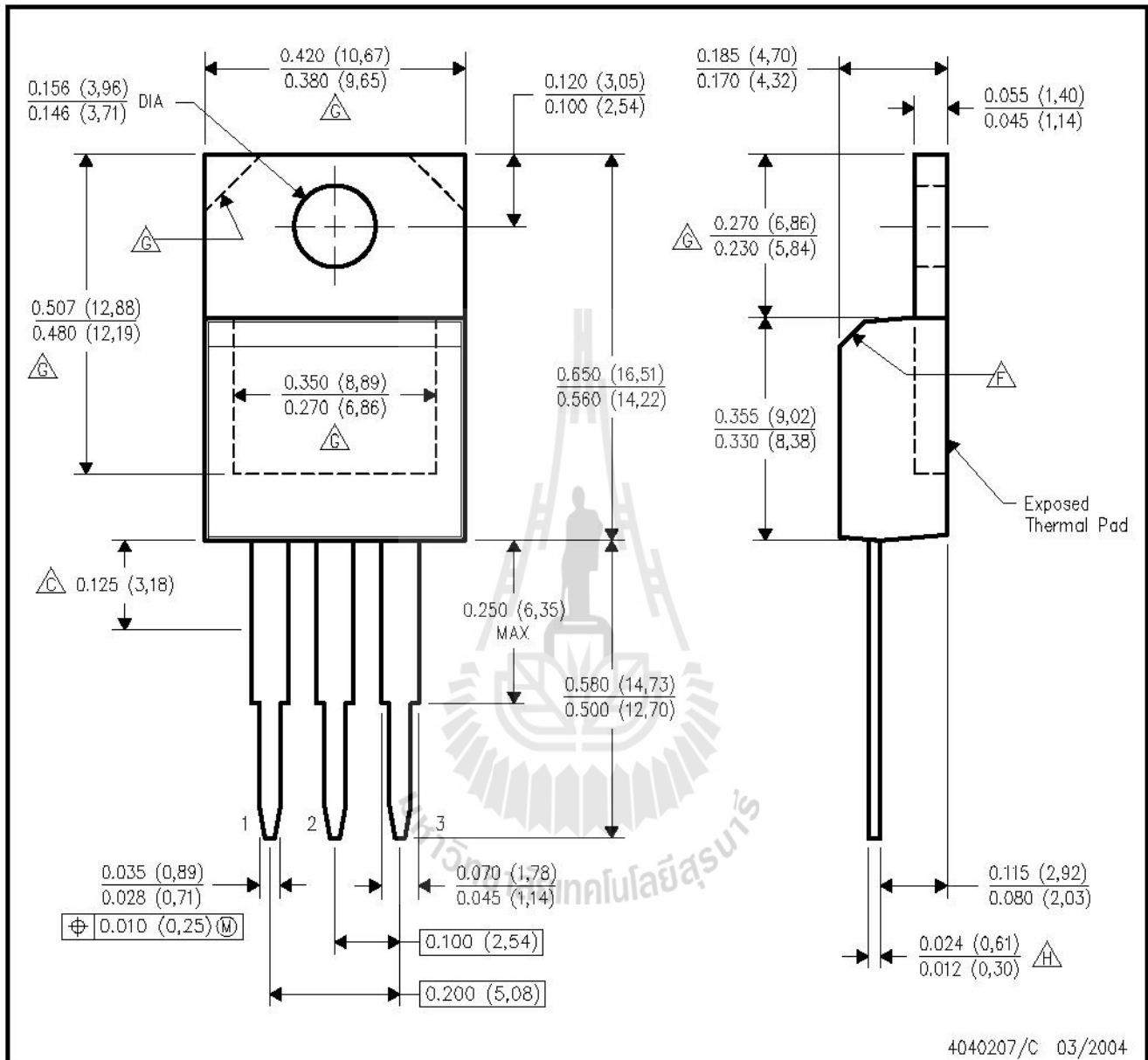
PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Lead dimensions are not controlled within this area.
  - D. All lead dimensions apply before solder dip.
  - E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
  - F. The chamfer is optional.
  - G. Thermal pad contour optional within these dimensions.
  - H. Falls within JEDEC TO-220 variation AB, except minimum lead thickness.

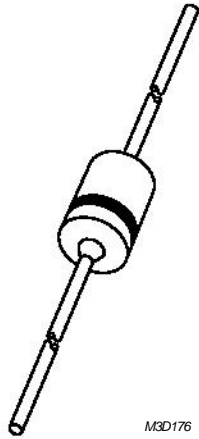
KC (R-PSFM-T3)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Lead dimensions are not controlled within this area.
  - D. All lead dimensions apply before solder dip.
  - E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
  - F. The chamfer is optional.
  - G. Thermal pad contour optional within these dimensions.
  - H. Falls within JEDEC TO-220 variation AB, except minimum lead thickness.

# DATA SHEET



M3D176



## **1N4148; 1N4448** High-speed diodes

Product data sheet  
Supersedes data of 2002 Jan 23

2004 Aug 10

# High-speed diodes

# 1N4148; 1N4448

### FEATURES

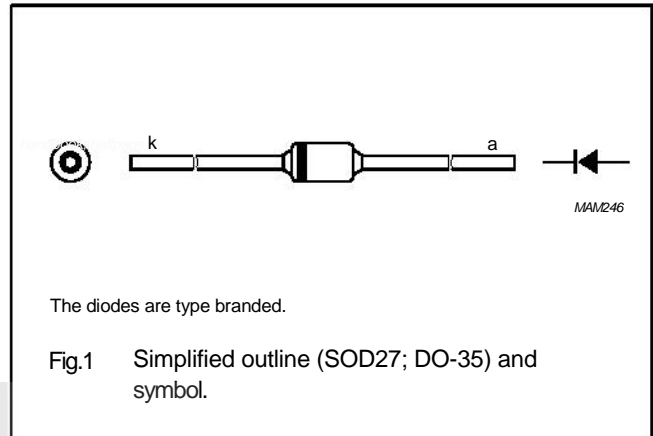
- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 100 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 100 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.

### APPLICATIONS

- High-speed switching.

### DESCRIPTION

The 1N4148 and 1N4448 are high-speed switching diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) packages.



### MARKING

TYPE NUMBER	MARKING CODE
1N4148	1N4148PH or 4148PH
1N4448	1N4448

### ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
1N4148	-	hermetically sealed glass package; axial leaded; 2 leads	SOD27
1N4448			

## High-speed diodes

1N4148; 1N4448

## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{RRM}$	repetitive peak reverse voltage		–	100	V
$V_R$	continuous reverse voltage		–	100	V
$I_F$	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
$I_{FRM}$	repetitive peak forward current		–	450	mA
$I_{FSM}$	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4 $t = 1\ \mu\text{s}$ $t = 1\ \text{ms}$ $t = 1\ \text{s}$	– – –	4 1 0.5	A A A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$ ; note 1	–	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature		–65	+200	°C
$T_j$	junction temperature		–	200	°C

## Note

1. Device mounted on an FR4 printed-circuit board; lead length 10 mm.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_F$	forward voltage 1N4148	see Fig.3 $I_F = 10\ \text{mA}$	–	1	
		V1N4448 0.72	$I_F = 5\ \text{mA}$ V	0.62	
$I_R$	reverse current	$I_F = 100\ \text{mA}$ $V_R = 20\ \text{V}$ ; see Fig.5	–	1	V
		$V_R = 20\ \text{V}$ ; $T_j = 150\text{ °C}$ ; see Fig.5	–	50	$\mu\text{A}$
$I_R$	reverse current; 1N4448	$V_R = 20\ \text{V}$ ; $T_j = 100\text{ °C}$ ; see Fig.5	–	3	$\mu\text{A}$
$C_d$	diode capacitance	$f = 1\ \text{MHz}$ ; $V_R = 0\ \text{V}$ ; see Fig.6	–	4	pF
$t_{rr}$	reverse recovery time	when switched from $I_F = 10\ \text{mA}$ to $I_R = 60\ \text{mA}$ ; $R_L = 100\ \Omega$ ;	–	4	ns
$V_{fr}$	forward recovery voltage	measured at $I_R = 1\ \text{mA}$ ; see Fig.7 when switched from $I_F = 50\ \text{mA}$ ;	–	2.5	V

 $t_r = 20\ \text{ns}$ ; see Fig.8

## THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-tp)}$	thermal resistance from junction to tie-point	lead length 10 mm	240	K/W
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	lead length 10 mm; note 1	350	K/W

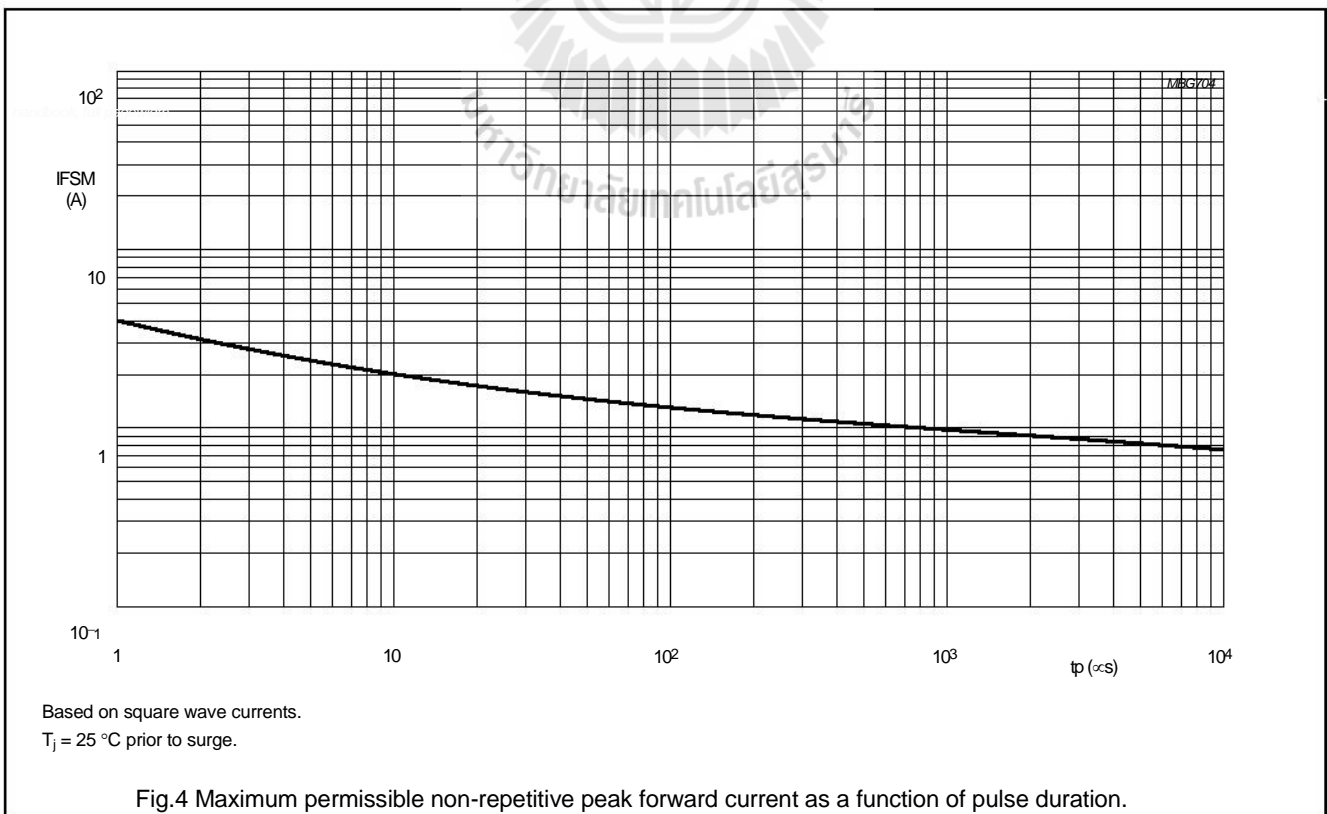
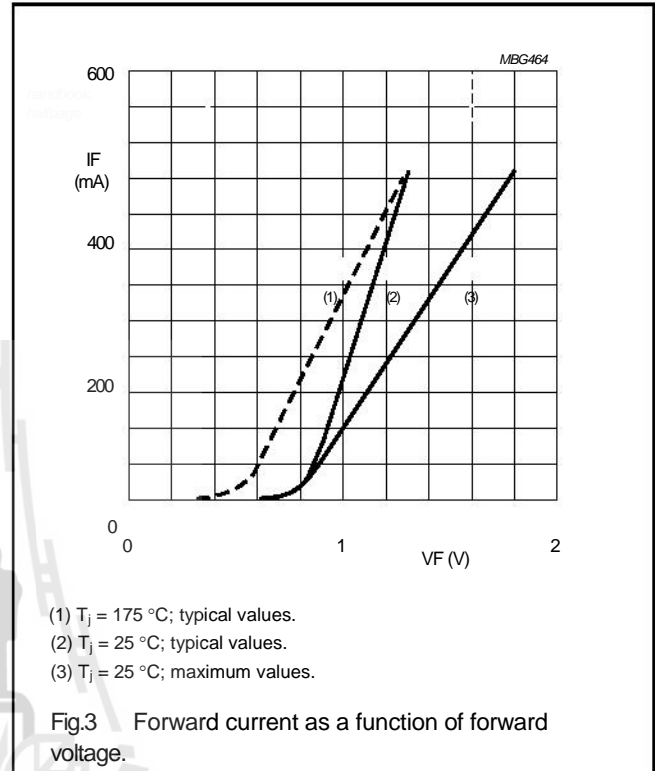
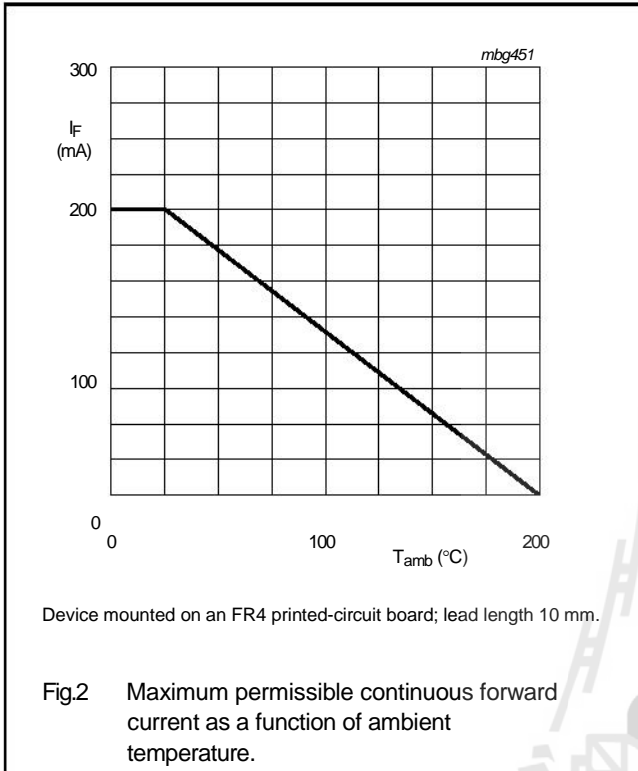
## Note

1. Device mounted on a printed-circuit board without metallization pad.

High-speed diodes

1N4148; 1N4448

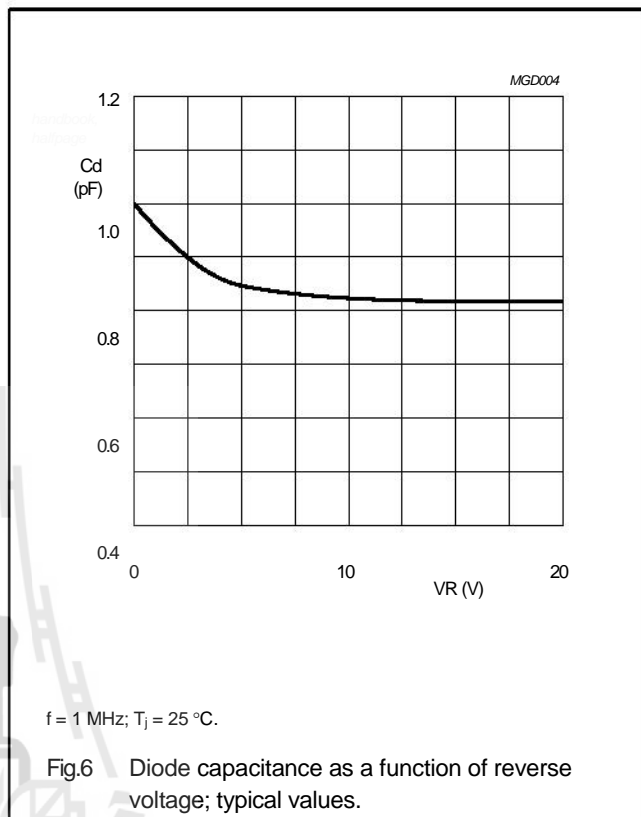
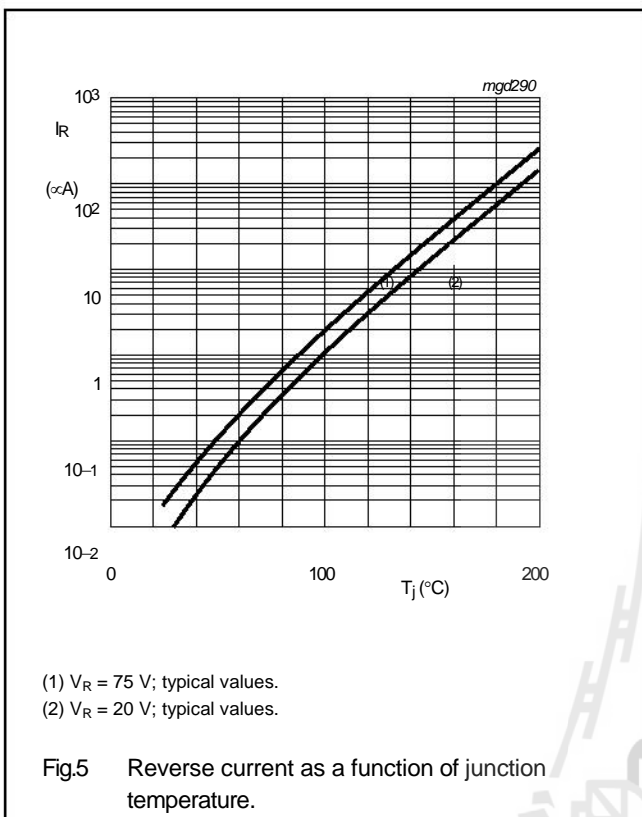
GRAPHICAL DATA





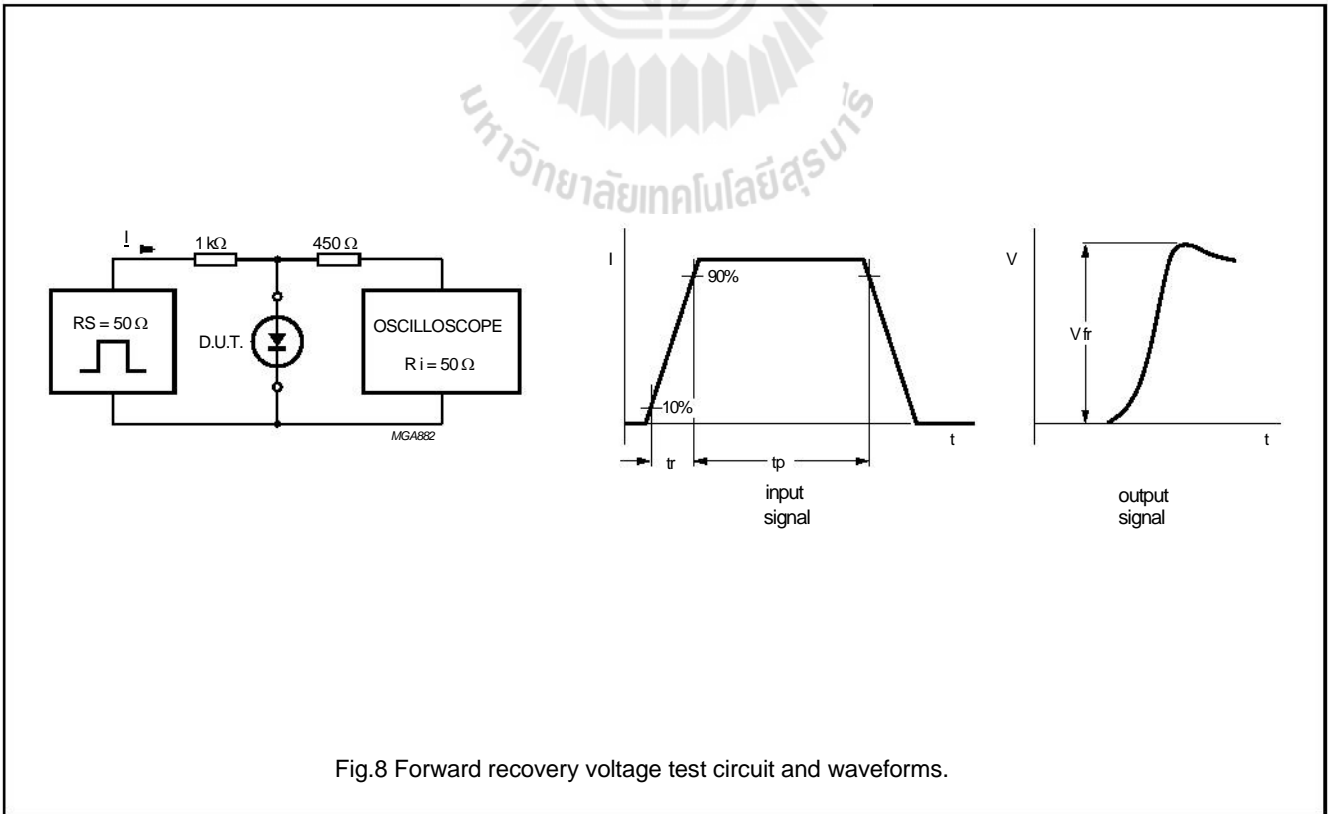
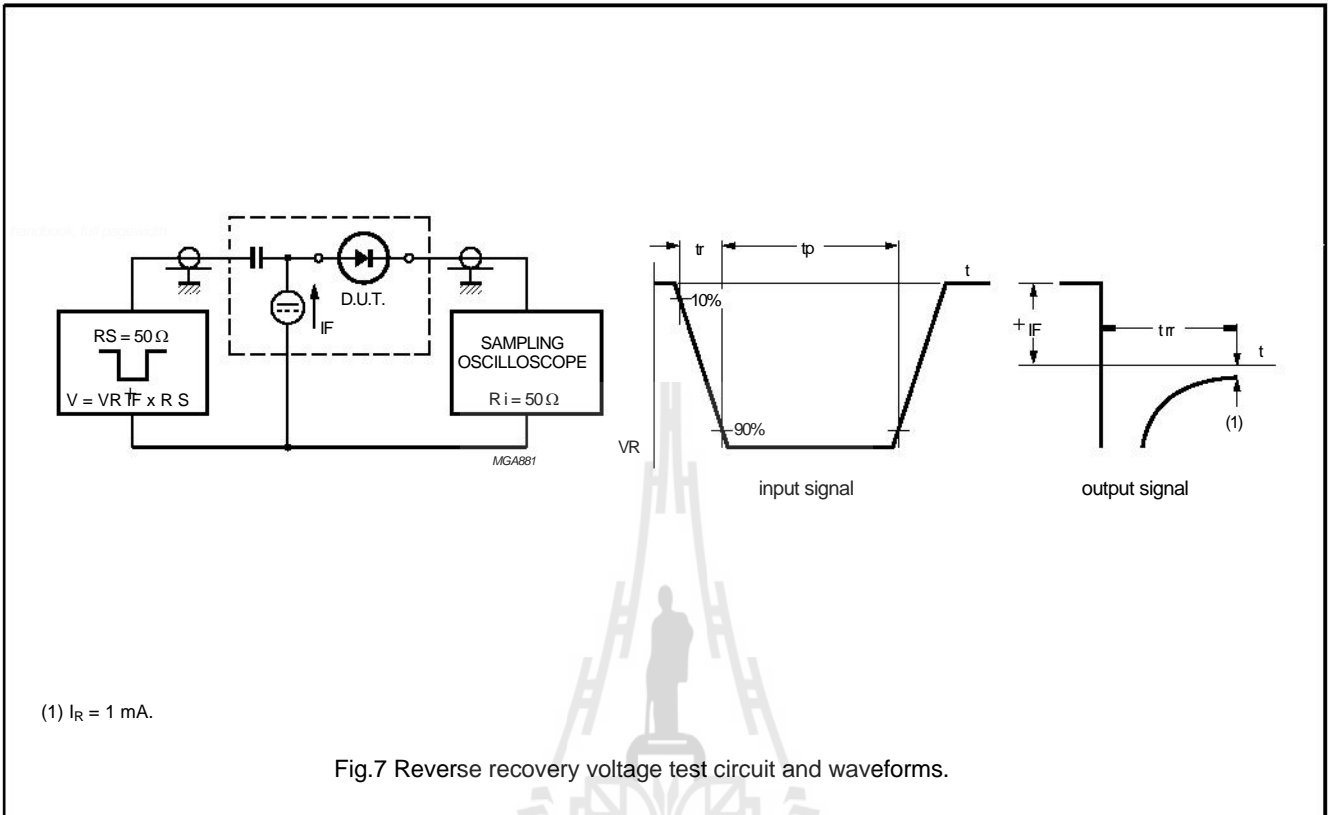
High-speed diodes

1N4148; 1N4448



High-speed diodes

1N4148; 1N4448



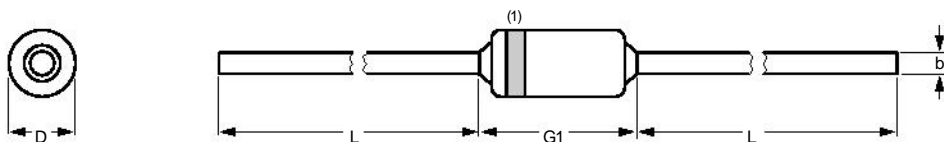
High-speed diodes

1N4148; 1N4448

PACKAGE OUTLINE

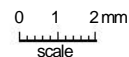
Hermetically sealed glass package; axial leaded; 2 leads

SOD27



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	b max.	D max.	G1 max.	L min.
mm	0.56	1.85	4.25	25.4



Note

1. The marking band indicates the cathode.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOD27	A24	DO-35	SC-40		97-06-08 05-12-22



## High-speed diodes

1N4148; 1N4448

## DATA SHEET STATUS

DOCUMENT STATUS <sup>(1)</sup>	PRODUCT STATUS <sup>(2)</sup>	DEFINITION
Objective data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification. This
Product data sheet	Production	document contains the product specification.

## Notes

1. Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.
2. The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the Internet at URL <http://www.nxp.com>.

## DISCLAIMERS

**General** – Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information.

**Right to make changes** – NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

**Suitability for use** – NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in medical, military, aircraft, space or life support equipment, nor in applications where failure or malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

**Applications** – Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

**Limiting values** – Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) may cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and operation of the device at these or any other conditions

above those given in the Characteristics sections of this document is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

**Terms and conditions of sale** – NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nxp.com/profile/terms>, including those pertaining to warranty, intellectual property rights infringement and limitation of liability, unless explicitly otherwise agreed to in writing by NXP Semiconductors. In case of any inconsistency or conflict between information in this document and such terms and conditions, the latter will prevail.

**No offer to sell or license** – Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

**Export control** – This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from national authorities.

**Quick reference data** – The Quick reference data is an extract of the product data given in the Limiting values and Characteristics sections of this document, and as such is not complete, exhaustive or legally binding.

## Complementary low voltage transistor

### Features

- Products are pre-selected in DC current gain

### Application

- General purpose

### Description

These epitaxial planar transistors are mounted in the SOT-32 plastic package. They are designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi-complementary circuits. The NPN types are the BD135 and BD139, and the complementary PNP types are the BD136 and BD140.

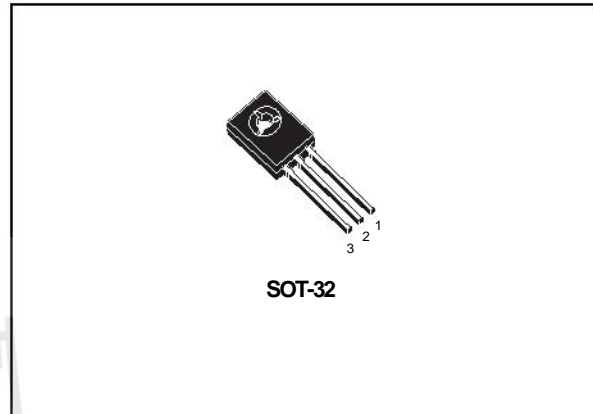


Figure 1. Internal schematic diagram

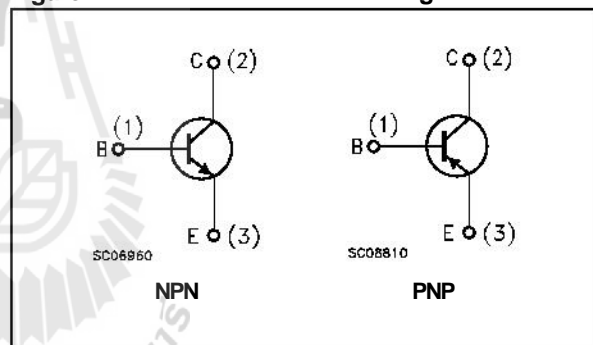


Table 1. Device summary

Order codes	Marking	Package	Packaging
BD135	BD135	SOT-32	Tube
BD135-16	BD135-16		
BD136	BD136		
BD136-16	BD136-16		
BD139	BD139		
BD139-10	BD139-10		
BD139-16	BD139-16		
BD140	BD140		
BD140-10	BD140-10		
BD140-16	BD140-16		

# 1 Electrical ratings

**Table 2. Absolute maximum ratings**

Symbol	Parameter	Value				Unit
		NPN		PNP		
		BD135	BD139	BD136	BD140	
$V_{CBO}$	Collector-base voltage ( $I_E = 0$ )	45	80	-45	-80	V
$V_{CEO}$	Collector-emitter voltage ( $I_B = 0$ )	45	80	-45	-80	V
$V_{EBO}$	Emitter-base voltage ( $I_C = 0$ )	5		-5		V
$I_C$	Collector current	1.5		-1.5		A
$I_{CM}$	Collector peak current	3		-3		A
$I_B$	Base current	0.5		-0.5		A
$P_{TOT}$	Total dissipation at $T_C \leq 25^\circ\text{C}$	12.5				W
$P_{TOT}$	Total dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	1.25				W
$T_{stg}$	Storage temperature	-65 to 150				$^\circ\text{C}$
$T_j$	Max. operating junction temperature	150				$^\circ\text{C}$

**Table 3. Thermal data**

Symbol	Parameter	Max value	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal resistance junction-case	10	$^\circ\text{C/W}$
$R_{thj-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	100	$^\circ\text{C/W}$

## 2 Electrical characteristics

( $T_{\text{case}} = 25\text{ °C}$  unless otherwise specified)

**Table 4. On/off states**

Symbol	Parameter	Polarity	Test conditions	Value			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
$I_{\text{CBO}}$	Collector cut-off current ( $I_{\text{E}}=0$ )	NPN	$V_{\text{CB}} = 30\text{ V}$ $V_{\text{CB}} = 30\text{ V}, T_{\text{C}} = 125\text{ °C}$			0.1 10	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
		PNP	$V_{\text{CB}} = -30\text{ V}$ $V_{\text{CB}} = -30\text{ V}, T_{\text{C}} = 125\text{ °C}$			-0.1 -10	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
$I_{\text{EBO}}$	Emitter cut-off current ( $I_{\text{C}}=0$ )	NPN	$V_{\text{EB}} = 5\text{ V}$			10	$\mu\text{A}$
		PNP	$V_{\text{EB}} = -5\text{ V}$			-10	$\mu\text{A}$
$V_{\text{CEO(sus)(1)}}$	Collector-emitter sustaining voltage ( $I_{\text{B}}=0$ )	NPN	$I_{\text{C}} = 30\text{ mA}$ BD135 BD139	45 80			V V
		PNP	$I_{\text{C}} = -30\text{ mA}$ BD136 BD140	-45 -80			V V
$V_{\text{CE(sat)(1)}}$	Collector-emitter saturation voltage	NPN	$I_{\text{C}} = 0.5\text{ A}, I_{\text{B}} = 0.05\text{ A}$			0.5	V
		PNP	$I_{\text{C}} = -0.5\text{ A}, I_{\text{B}} = -0.05\text{ A}$			-0.5	V
$V_{\text{BE}(1)}$	Base-emitter voltage	NPN	$I_{\text{C}} = 0.5\text{ A}, V_{\text{CE}} = 2\text{ V}$			1	V
		PNP	$I_{\text{C}} = -0.5\text{ A}, V_{\text{CE}} = -2\text{ V}$			-1	V
$h_{\text{FE}(1)}$	DC current gain	NPN	$I_{\text{C}} = 5\text{ mA}, V_{\text{CE}} = 2\text{ V}$ $I_{\text{C}} = 150\text{ mA}, V_{\text{CE}} = 2\text{ V}$ $I_{\text{C}} = 0.5\text{ A}, V_{\text{CE}} = 2\text{ V}$	25 40 25		250	
		PNP	$I_{\text{C}} = -5\text{ mA}, V_{\text{CE}} = -2\text{ V}$ $I_{\text{C}} = -150\text{ mA}, V_{\text{CE}} = -2\text{ V}$ $I_{\text{C}} = -0.5\text{ A}, V_{\text{CE}} = -2\text{ V}$	25 40 25		250	
$h_{\text{FE}(1)}$	$h_{\text{FE}}$ groups	NPN	$I_{\text{C}} = 150\text{ mA}, V_{\text{CE}} = 2\text{ V}$ BD139-10 BD135-16/BD139-16	63 100		160 250	
		PNP	$I_{\text{C}} = -150\text{ mA}, V_{\text{CE}} = -2\text{ V}$ BD140-10 BD136-16/BD140-16	63 100		160 250	

1. Pulsed: pulse duration = 300  $\mu\text{s}$ , duty cycle 1.5%

## 2.1 Electrical characteristics (curves)

Figure 2. Safe operating area

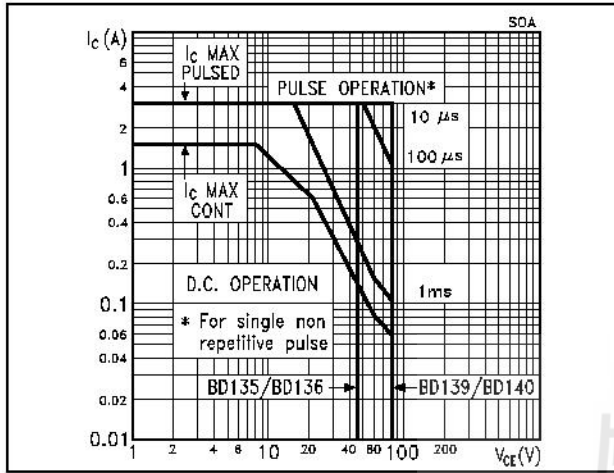
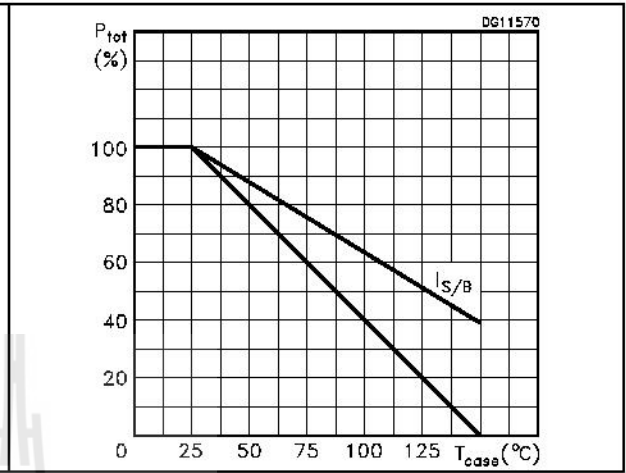


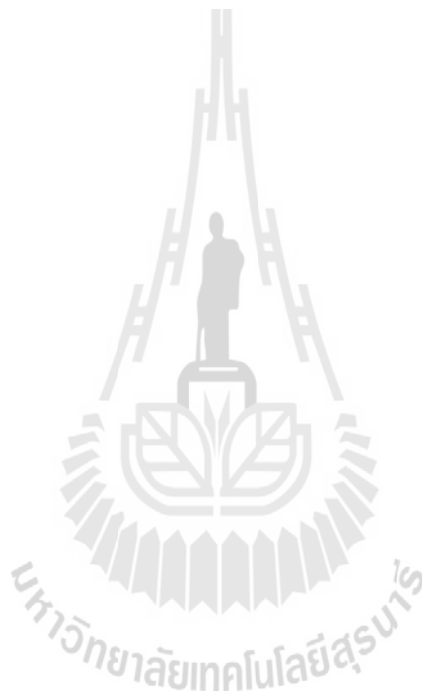
Figure 3. Derating





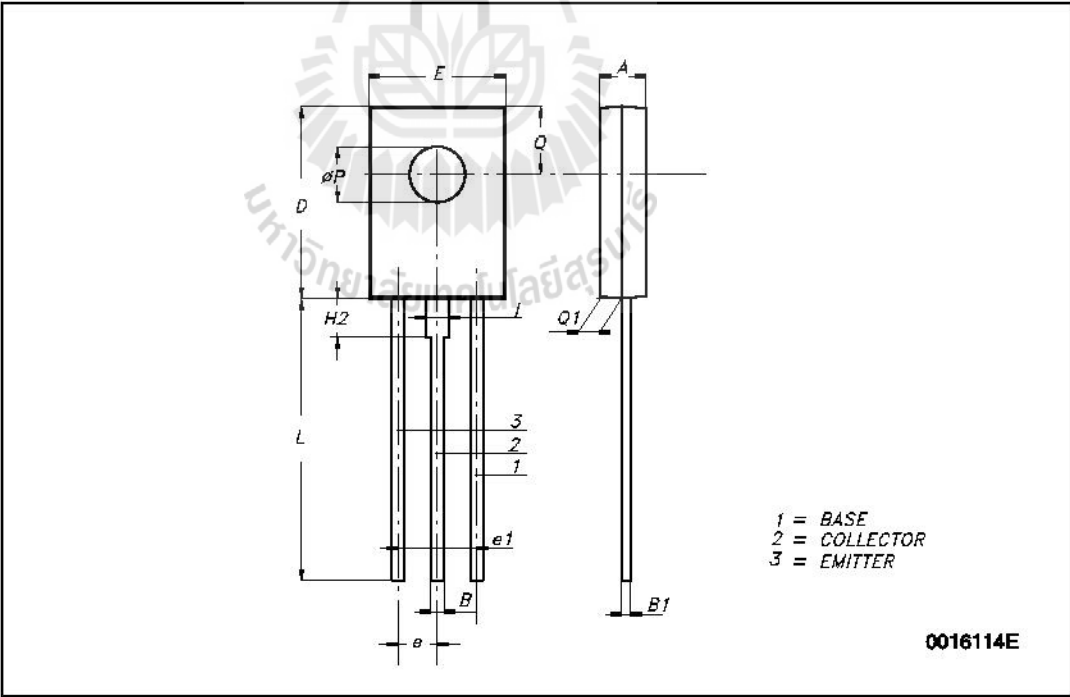
### 3 Package mechanical data

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in ECOPACK® packages. These packages have a lead-free second level interconnect. The category of second level interconnect is marked on the package and on the inner box label, in compliance with JEDEC Standard JESD97. The maximum ratings related to soldering conditions are also marked on the inner box label. ECOPACK is an ST trademark. ECOPACK specifications are available at: [www.st.com](http://www.st.com)



**SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA**

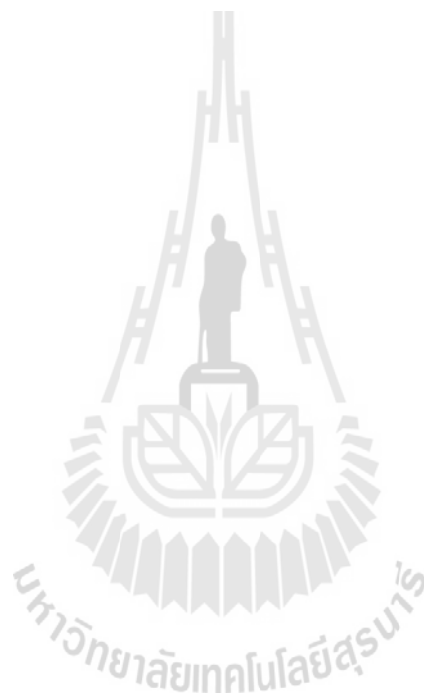
DIM.	mm.		
	MIN.	TYP	MAX.
A	2.4		2.9
B	0.64		0.88
B1	0.39		0.63
D	10.5		11.05
E	7.4		7.8
e	2.04	2.29	2.54
e1	4.07	4.58	5.08
L	15.3		16
P	2.9		3.2
Q		3.8	
Q1	1		1.52
H2		2.15	
I		1.27	



## 4 Revision history

Table 5. Document revision history

Date	Revision	Changes
16-Sep-2001	4	
22-May-2008	5	Mechanical data has been updated.



## บรรณานุกรม

- [1] [http://file.siam2web.com/elecshop/product/201438\\_64093.jpg](http://file.siam2web.com/elecshop/product/201438_64093.jpg)
- [2] <http://th.wikipedia.org/wiki/เซลล์แสงอาทิตย์>
- [3] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar\\_cell.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_cell.png)
- [4] <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway12.php>
- [5] <http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/solarcell/howworking.htm>
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_power)
- [7] [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub\\_lesson/8\\_2.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub_lesson/8_2.htm)
- [8] <http://th.wikipedia.org/wiki/คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า>
- [9] เจนจิราวรรณ ศรีปัญญา ยุทธพล อินม่วงไทย ระบบเตือนการมาถึงของรถโดยสารโดยใช้ X-Bee ปริญญาณิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2556
- [10] <http://th.wikipedia.org/wiki/ตัวเหนี่ยวนำ>
- [11] [http://www.circuits.dk/calculator\\_flat\\_spiral\\_coil\\_inductor.htm](http://www.circuits.dk/calculator_flat_spiral_coil_inductor.htm)
- [12] <http://netra.lpru.ac.th/~chaloempong/files/SMD.pdf>
- [13] <http://www.electcircuitz.com/pcb.html>
- [14] <http://www.embeddedmarket.com/products/IC-7805/>
- [15] <http://elecuthai.ete29.com/forum/index.php?topic=82.0>

## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

นายชฤตจุมภู เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบล บ้านหลุม อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร.08-8706-0126

นายชฤตจุมภู เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบล บ้านหลุม อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร.08-8706-0126

นางสาวหทัยรัตน์ โต้นวุธ เกิดเมื่อวันอังคารที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลหนองกี่ อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้ากบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร.08-2154-0828

