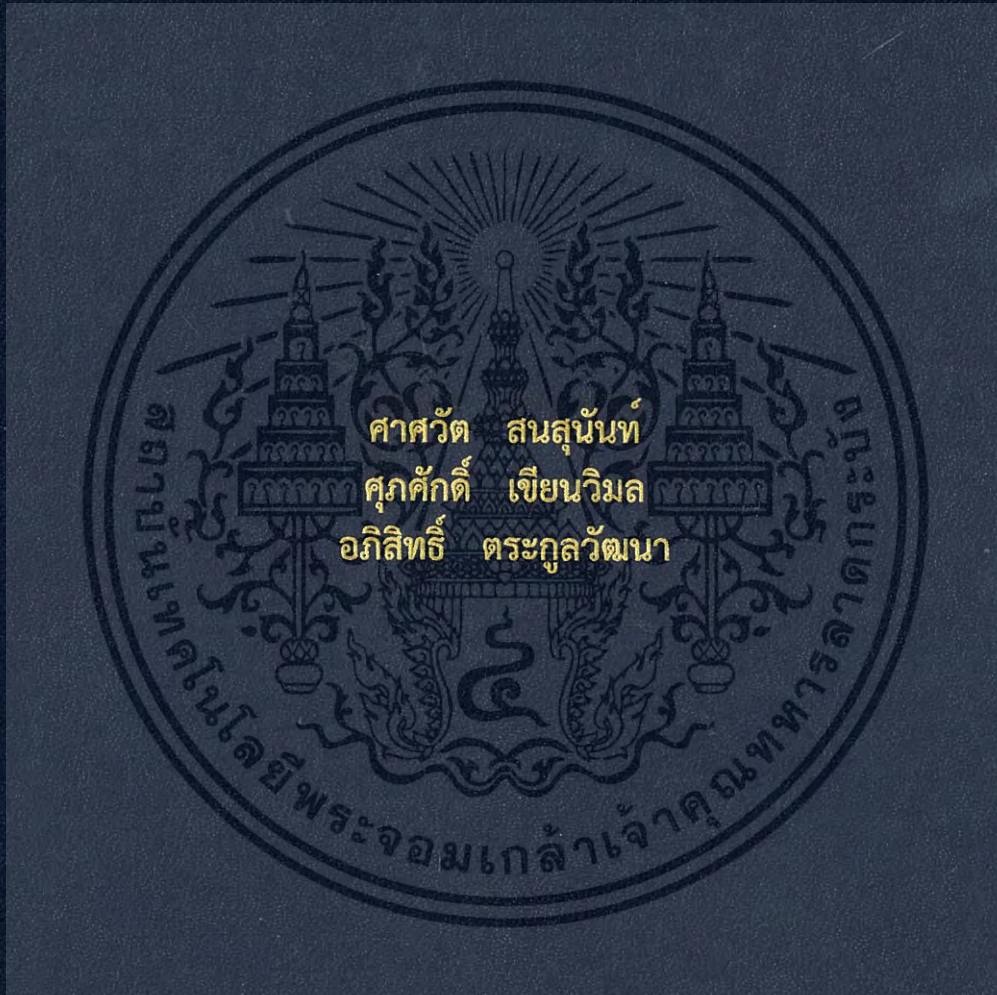


การออกแบบและการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
เพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGH VOLTAGE
DC POWER SUPPLY FOR ELECTROMAGNET EQUIPMENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
เพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGH VOLTAGE
DC POWER SUPPLY FOR ELECTROMAGNET EQUIPMENT

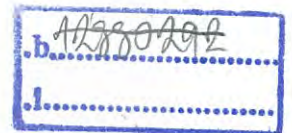


T149245



ศาสตราจารย์ ดร. สมนันท์
ศุภศักดิ์ เขียนวิมล
อภิสิทธิ์ ตระกูลวัฒนา

สพ.
ศ 3677
2558



เลขหมู่.....149245
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี...30...ก.ค....2561

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2558 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGH VOLTAGE DC POWER SUPPLY FOR ELECTROMAGNET EQUIPMENT



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในปี **ACADMIC YEAR 2015** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การออกแบบและการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
เพื่อใช้สำหรับจ่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

Design and Construction of High Voltage DC Power
Supply for Electromagnet Equipment

ชื่อนักศึกษา

นายศาสวัต สนสุนันท์ รหัสนักศึกษา 55051620

นายศุภศักดิ์ เขียนวิมล รหัสนักศึกษา 55051628

นายอภิสิทธิ์ ตระกูลวัฒนา รหัสนักศึกษา 55051670

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์





ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วิฑูรย์ ยืนดีสุข ประธานกรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ กรรมการ	
ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบและการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อใช้สำหรับจ่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	
ชื่อนักศึกษา	นายศาศวัต สนสุนันท์ รหัสนักศึกษา 55051620	นายศุภศักดิ์ เขียนวิมล รหัสนักศึกษา 55051628
	นายอภิสิทธิ์ ตระกูลวัฒนา รหัสนักศึกษา 55051670	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาภาภรณ์ สุกุลภาวะเวก	

บทคัดย่อ

ในการตรวจวัดคุณสมบัติของชิ้นงานสารกึ่งตัวนำโดยใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์ นิยมใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างดีซีฟาวเวอร์ชัพพลายโดยนำวงจร Voltage Control Current Source มาใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและทำการจ่ายให้กับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 โอห์ม ซึ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมากขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่เราจ่ายให้กับขดลวดนี้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการออกแบบและทดสอบวงจรโดยใช้โปรแกรม OrCAD capture PSpice ในการออกแบบและ Simulation วงจรเพื่อดูค่าการไหลของกระแสไฟฟ้า ต่อมาในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรม Altium Designer เพื่อให้ได้ขนาดของทองแดงที่เชื่อมต่อขาของตัวอุปกรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำ และในขั้นสุดท้าย ขั้นตอนที่ 3 จะเป็นการสร้างดีซีฟาวเวอร์ชัพพลาย เพื่อนำมาใช้งานซึ่งพบปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นจากการที่มีกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวฟาวเวอร์มอสเฟตมากจนเกิดความร้อน แนวทางการแก้ไขปัญหาคือนำตัวต้านทานมาต่อที่ขา Source เพื่อให้ตัวต้านทานทำหน้าที่เป็นโหลดดึงกระแสไฟฟ้าให้แบ่งมาตกคร่อมแทน ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นลดลง ภายหลังจากแก้ปัญหาจึงทำการทดสอบดีซีฟาวเวอร์ชัพพลาย สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 15 แอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ 137.7 โวลต์ ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2065.5 วัตต์ โดยการต่อเข้ากับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 โอห์มโดยและทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กผลที่ได้พบว่าขดลวดสามารถให้กำเนิดสนามแม่เหล็กได้มากกว่า 0.4 เทสลา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวอุปกรณ์ทั้งหมดต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ดีซีฟาวเวอร์ชัพพลาย ปรากฏการณ์ฮอลล์

Title	Design and Construction of High Voltage DC Power Supply for Electromagnet Equipment	
Students	Mr.Satsawat Sonsunan	Student ID 55051620
	Mr.Supasak Kianwimol	Student ID 55051628
	Mr.Apisit Trakoonwattana	Student ID 55051670
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Dr.Aparporn Sakulkalavek	

Abstract

Hall effect is a physics phenomena using for electrical property measurement of semiconductor materials. The Hall measurement is done under an applied magnetic field from DC electromagnet. The magnetic field depends on the supply current in electromagnetic coils. In this work, A high current DC power supply with voltage control current source and Hall Effect sensor were designed and constructed. The experimental procedures were divided into three parts. Firstly, circuit and schematic designs were simulated by using OrCAD PSpice and Altium Designer, respectively. DC supply, current source control and Hall Effect sensor circuits were built in second part. Finally, the circuits were tested on DC electromagnet. Current, voltage and thermal stability of the circuits as well as magnetic field were investigated. The maximum power was achieved at 2065.5W (15A/137.7V) with the maximum temperature of 60 °C and the magnetic field of 0.4 T was obtained.

Keywords : DC Power Supply, Hall Effect

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้คณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อใช้สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ภายในรายงานเล่มนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์และหลักการทำงานของอุปกรณ์ รวมไปถึงการออกแบบวงจรและการจำลองการทำงานของวงจรก่อนที่จะนำมาสร้างเป็นวงจรที่สามารถใช้งานได้จริงซึ่งโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก และดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ ที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ความช่วยเหลือสำหรับคำแนะนำต่างๆทั้งกรุณาชี้ข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขในการทำโครงการพิเศษ ขอขอบพระคุณ รศ.วิจิต ศิริโชติ และนายณัฐกฤษ สมดอก ที่คอยให้คำปรึกษาในทางปฏิบัติอย่างใกล้ชิด และขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษ คือ ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข และดร.พิศาล สุขวิสูตร ที่ให้ข้อคิดเห็นรวมถึงคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นส่วนหนึ่งของกำลังสำคัญยิ่งในทุกๆด้านเพื่อเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีรวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ศาสตราจารย์ สนสุนันท์
ศุภศักดิ์ เขียนวิมล
อภิสิทธิ์ ตระกูลวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีและหลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.1.1 การเกิดสนามแม่เหล็ก	4
2.1.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux, Φ)	7
2.1.3 ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (B)	8
2.2 DC Power Supply	9
2.2.1 หลักการทำงานของ DC Power Supply	9
2.2.2 สเปคของ DC Power Supply	9
2.2.3 ราคาของ DC Power Supply	9
2.2.4 ทฤษฎี DC Power Supply	10
2.3 ออปแอมป์ (Operational amplifier)	12
2.4 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)	13
2.5 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bridge)	14
2.6 ตัวต้านทาน (Resistor)	15
2.7 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)	17
2.7.1 หลักการทำงานของ	17
2.7.2 โครงสร้าง	18
2.8 มอสเฟต (MOSFET)	19
2.8.1 โครงสร้างของมอสเฟต	19
2.8.2 ประเภทของมอสเฟต (MOSFET)	19
2.8.3 การทำงานของมอสเฟต (MOSFET)	20
2.9 ไดโอด (Diode)	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.10 โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice	24
2.11 โปรแกรม Altium Designer	32
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	39
3.1 อุปกรณ์	39
3.2 วิธีการทดลอง	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	45
4.1 ผลของการ Simulation ด้วยโปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice	45
4.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหาจากการ Simulation	48
4.2.1 ปัญหาความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวอุปกรณ์ Power MOSFET IRFP450	49
4.2.2 ปัญหาความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับอุปกรณ์ ตัวต้านทานไฟฟ้าอ้างอิง	51
4.3 ผลของการสร้างลายวงจรด้วยโปรแกรม Altium Designer	53
4.4 ผลของการสร้าง DC Power Supply	56
4.5 การวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย Hall Sensor	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงระยะเวลาดำเนินงาน	3
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองวัดค่า Vin และ Vout จากหม้อแปลงปรับค่าได้	57
4.2 ตารางแสดงผลการทดลองโดยการใช้ MOSFET จำนวน 4 ตัว	59
4.3 แสดงผลการทดลองเก็บค่า DC Power Supply ที่ได้ทำการสร้างใหม่	63
4.4 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย Hall Sensor โดยใช้ DC Power Supply ตัวเดิม	66
4.5 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย Hall Sensor โดยใช้ DC Power Supply ตัวที่ได้ทำการสร้างขึ้นใหม่	66
4.6 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ DC Power Supply ตัวเดิม และ DC Power Supply ตัวใหม่ที่ได้ทำการสร้าง	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ขดลวดความต้านทาน 8 โอห์ม	2
2.1	เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้	4
2.2	การหาทิศของสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดตรง	5
2.3	สนามแม่เหล็กภายในทอรรอยด์	5
2.4	การหาขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์ (ก.) ขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์ (ข.) การหาขั้วแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา	6
2.5	สนามแม่เหล็กที่ใส่แท่งเหล็กอ่อนไว้ที่แกนกลางของโซลินอยด์	7
2.6	ฟลักซ์แม่เหล็กบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากและน้อย	7
2.7	แสดงแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อพื้นผิวที่มุมต่างๆ	7
2.8	แสดงแผนผังของ DC Power Supply	9
2.9	แสดงตัวอย่างของ DC POWER SUPPLY ในท้องตลาด	9
2.10	แสดงลักษณะการไหลของคลื่นกระแสสลับและคลื่น Full wave	10
2.11	แสดงผลเมื่อ Tc คือคาบเวลาการคายประจุ	11
2.12	แสดงลักษณะของออปแอมป์ (รูปจาก Analog Devices)	12
2.13	แสดงการนำ OP-AMP มาใช้ในทฤษฎี Voltage Control Current Source	13
2.14	แสดงภาพตัวเก็บประจุ	13
2.15	Wheatstone Bridge	14
2.16	แสดงลักษณะไฟตกคร่อมของวงจรบริดจ์	14
2.17	แสดงลักษณะของตัวต้านทาน	15
2.18	แสดงการไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์ในตัวฉนวน	16
2.19	แสดงการไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์ในตัวนำ	16
2.20	โครงสร้างหลักของแม่เหล็กไฟฟ้า	17
2.21	โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า	18
2.22	ตัวอย่างมอสเฟต	19
2.23	แสดงโครงสร้างของมอสเฟต	19
2.24	แสดงสัญลักษณ์ทางดิจิทัลของมอสเฟต	20
2.25	แสดงการทำงานของ MOSFET	20
2.26	ภาพขั้วของไดโอดและลักษณะของไดโอด	21
2.27	แสดงขั้วของไดโอด	21
2.28	แสดงลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าของไดโอดในทางอุดมคติ	22
2.29	แสดงการแพร่กระจายของพาหะ	22
2.30	แสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกระแสและแรงดันไฟฟ้า	23
2.31	แสดง Icon ของโปรแกรม OrCAD Capture	24
2.32	หน้าต่างโปรแกรม Orcad Capture เป็นส่วนที่ใช้ในการร่างส่วนประกอบของวงจร	24

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.33	แสดงการเลือก File แล้วเลือก New Project	24
2.34	เป็นการตั้งชื่อไฟล์และตั้งค่าตำแหน่งของไฟล์	25
2.35	เลือกสร้างแบบหน้าว่างเปล่า	25
2.36	หน้าต่างพื้นที่ว่างเปล่าสำหรับออกแบบวงจรที่ต้องการทดลอง	25
2.37	วิธีการวางพาร์ทตัวอุปกรณ์ของวงจร	26
2.38	เป็นการค้นหาตัวอุปกรณ์ที่ต้องการวางในรูปจะเป็น OP-07	26
2.39	นำอุปกรณ์วางบนหน้าออกแบบวงจร	26
2.40	เป็นการลากสายไฟให้กับตัวอุปกรณ์ต่างๆให้เชื่อมต่อกัน	27
2.41	เป็นรูปตัวอย่างของวงจรอย่างง่ายที่ลากสายไฟเชื่อมโยงเสร็จเรียบร้อยแล้ว	27
2.42	วงจร Power Supply แบบสมบูร์นที่ทำการออกแบบและทดลองโดยการจำลอง	27
2.43	แสดงบริเวณขดลวดตำแหน่งที่เป็น R11 โดยกำหนดให้เป็นขนาด 8 โอห์ม	28
2.44	วิธีการกำหนดค่าให้แกตัวอุปกรณ์ต่างๆ โดยในรูปนี้เป็นการกำหนดค่าของตัวต้านทาน	28
2.45	แสดงวิธีการทดสอบด้วยวงจรที่เราทำการออกแบบ	28
2.46	แสดงการตั้งชื่อของการทดสอบโดยตั้งชื่อว่า Sim_1	29
2.47	เลือกโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบคือโปรแกรม PSpice A/D	29
2.48	หน้าจอการตั้งค่าการทดสอบวงจรที่ออกแบบโดยปกติเลือกเป็นค่าตั้งต้น	30
2.49	เป็นอุปกรณ์ในการวัดกระแสของตำแหน่งต่างๆ	30
2.50	แสดงตำแหน่งที่จะทำการวัดและดูกราฟของกระแสไฟฟ้าที่ไหล	30
2.51	ทำการกด Run PSpice เพื่อทำการทดสอบวงจรโดยจะตั้งรอสักครู่ในการประมวลผล	31
2.52	หน้าจอแสดงผลของการทดสอบวงจรที่ได้ทำการออกแบบ	31
2.53	ลักษณะของกราฟที่เราใช้อุปกรณ์จับกระแสตัวต้านทานเพื่อตรวจวัดกระแสตำแหน่ง	31
2.54	โปรแกรม Altium Designer	32
2.55	การสร้างไฟล์ใหม่	32
2.56	แสดงการเพิ่มส่วนประกอบของ Schematic กับ PCB	33
2.57	แสดงรายวงจร DC Power Supply	33
2.58	แสดงการ Annotate Schematics	34
2.59	แสดงคำสั่งที่ใช้ในการจัดเรียงอุปกรณ์ตามลำดับแบบอัตโนมัติ	34
2.60	แสดงการ Update PCB Document PCB1.PcbDoc	34
2.61	แสดงการจัดวางอุปกรณ์บนแผ่น PCB	35
2.62	การจัดวางอุปกรณ์ลงบนบอร์ด PCB	35
2.63	คำสั่งที่ใช้ในการจำกัดพื้นที่บนบอร์ด PCB	35
2.64	การลากคลุมบริเวณพื้นที่บอร์ดเราต้องการทำการ Route	36
2.65	หน้าต่างการปรับค่าขนาดต่างๆของเส้นก่อนทำการ Route	36
2.66	Place Polygon Plane เป็นคำสั่งที่ใช้กำหนด GND ของบอร์ด	37
2.67	แสดงผลสำเร็จหลังจากใช้คำสั่ง Place Polygon Plane	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.68	แสดงการเลือก Name เป็น Adobe PDF เพื่อบันทึกไฟล์ในรูปของ PDF	38
2.69	สามารถนำไฟล์ PDF นี้ไปกดปริ้นเป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป	38
3.1	แสดงลักษณะของ Power MOSFET	39
3.2	แสดงลักษณะของตัวต้านทานชนิดเซรามิก	39
3.3	แสดงตัวต้านทานปรับค่าได้	39
3.4	แสดงตัวเก็บประจุขนาด CE 85°C 4000uF 400WV	40
3.5	(ก) หม้อแปลงไฟฟ้า 220V to 18V (ข) หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ 250V 12A (ค) หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ 250V 20A	40
3.6	แสดงลักษณะของ Bridge diode สำเร็จรูป	40
3.7	แสดงลักษณะของ Terminal block 7pin	41
3.8	แสดงลักษณะของ OP-AMP	41
3.9	เครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก	41
3.10	เครื่องจับภาพความร้อน	41
3.11	แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานในการออกแบบและสร้าง DC Power Supply	44
4.1	แสดงลักษณะวงจรที่ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม OrCAD Capture	45
4.2	แสดงรูปแบบทฤษฎี Voltage control Current source	46
4.3	แสดงผลการ Simulation โดยโปรแกรม PSpice	47
4.4	แสดงกราฟค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด	47
4.5	แสดงกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์(watt)	48
4.6	ปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์ Power MOSFET IRFP450	49
4.7	แสดงการเพิ่มอุปกรณ์ IRFP450 โดยนำมาต่อขนานเพื่อแก้ไขปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น	49
4.8	(ก) ผลการ Simulation จากการเพิ่มจำนวน IRFP450 ต่อขนานกันของตัวอุปกรณ์ (ข) รูปที่ทำการขยายเพื่อให้เห็นผลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัว IRFP450 ชัดเจนยิ่งขึ้น	50
4.9	ปัญหาความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับอุปกรณ์ตัวต้านทานไฟฟ้า R2	51
4.10	การเพิ่มตัวต้านทานจำนวน 20 ตัว นำมาต่อขนานเพื่อลดปัญหาความร้อนที่เกิด	52
4.11	(ก) ผลการ Simulation จากการเพิ่มจำนวนตัวต้านทานที่ต่อขนานกันของตัวอุปกรณ์ (ข) รูปที่ทำการขยายเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนกำลังไฟฟ้าต่อการเพิ่มตัวต้านทานยิ่งขึ้น	52
4.12	ลายวงจรและส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ IC	53
4.13	ลายวงจรและส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ IC	54
4.14	ลายวงจร Bridge diode ที่มีการจัดเรียงอุปกรณ์ และปรับขนาดของสายไฟแล้ว	54
4.15	แสดงวงจร Bridge diode	54
4.16	ลายวงจร DC Power Supply ที่มีการจัดเรียงอุปกรณ์ และปรับขนาดของสายไฟแล้ว	55
4.17	แสดงลายวงจรของ OP-07	55
4.18	การทดสอบวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ IC ซึ่งได้ค่าไฟบวกและเฟลปที่ต้องการ	56

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.19	แสดงการต่อวงจรของบริดจ์ไดโอด	57
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับ V_{out}	58
4.21	แสดงภาพโดยรวมของวงจรที่ใช้ในการทดสอบ DC Power Supply	58
4.22	แสดงภาพที่ถ่ายตำแหน่ง Power MOSFET ด้วยกล้องตรวจจับความร้อน FLIR E40	59
4.23	แสดงการต่อเพิ่ม Power MOSFET ด้วยการขนานและ การต่อตัวต้านทานที่ขา Gate และขา Source ของ Power MOSFET	60
4.24	ผลการ Simulation จากการเชื่อมต่อ Power MOSFET ทั้งหมด 12 ตัว และการต่อตัวต้านทานเพิ่มเพื่อเป็นโหลดดึงกระแสไฟฟ้า	61
4.25	ผลการ Simulation จากการเชื่อมต่อ Power MOSFET ทั้งหมด 12 ตัว และ การต่อตัวต้านทานเพิ่มเพื่อเป็นโหลดดึงกระแสไฟฟ้า ที่ทำการขยายเพื่อให้เห็น ความชัดเจน	61
4.26	(ก) แสดงภาพโดยรวมของวงจร DC Power Supply ที่ใช้ MOSFET 12 ตัว (ข) การเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้ 20 แอมแปร์	62
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	63
4.28	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและ การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	64
4.29	แสดงการต่อตัวรับรู้อัลลกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์	64
4.30	รูปแสดงการนำแม่เหล็กเข้าใกล้ active area ของตัวรับรู้อัลล	65
4.31	รูปแสดง Hall Sensor ภายในเคสพลาสติก	65
4.32	เครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำ	67
4.33	การเสียบหัววัดเข้าไปที่เครื่องเพื่อทำการ Reset ค่าความเข้มตั้งต้นให้เป็น 0	67
4.34	การนำแท่งวัดเข้าไปบริเวณตรงกลางตั้งฉากกับขดลวด	68
4.35	แสดงอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆของวงจร DC Power Supply	69

สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ρ	สภาพต้านทานไฟฟ้า
n	ความหนาแน่นของพาหะ
μ	สภาพคล่องของพาหะ
B	ความเข้มของสนามแม่เหล็ก
I	กระแสไฟฟ้า
Φ	ฟลักซ์แม่เหล็ก
μ_0	สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ
S	สัมประสิทธิ์ความไว
n	จำนวนรอบของขดลวด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เป็นวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยสารกึ่งตัวนำสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ 1.สารกึ่งตัวนำประเภท Intrinsic และ 2.สารกึ่งตัวนำประเภท Extrinsic ปัจจุบันสารกึ่งตัวนำถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เนื่องจาก คุณสมบัติที่โดดเด่นของสารกึ่งตัวนำ นั่นคือ สามารถปรับเปลี่ยนสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแสง และคุณสมบัติอื่นๆของสารกึ่งตัวนำได้ โดยการเจือสารชนิดอื่นเข้าไปในโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิด n-type และ p-type

ในการนำสารกึ่งตัวนำมาประยุกต์ใช้ สมบัติทางไฟฟ้าเป็นสมบัติพื้นฐานที่ต้องทำการตรวจสอบ โดยสมบัติทางไฟฟ้าประกอบด้วย สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ), ชนิดของสารกึ่งตัวนำ, ความหนาแน่นพาหะ (n) และความคล่องตัวพาหะ (μ) โดยวิธีที่ได้รับความนิยม เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบสมบัติเหล่านี้คือ วิธีของ Van Der Pauw และปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) โดยทั้งสองเทคนิคจะต้องทำจุดสัมผัส (contact) บนชิ้นงานตัวอย่าง 4 จุด จากนั้นทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่จุด 2 จุด และวัดความต่างศักย์ตกคร่อม 2 จุดที่เหลือ นอกจากนี้การใช้วัดโดยเทคนิคของฮอลล์จำเป็นต้องกระทำในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (B) เพื่อให้เกิดแรงลอเรนซ์ (Lorentz force) กระทำกับพาหะข้างมากในสารตัวอย่าง โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กมี 2 ประเภท คือ 1. แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) และ 2. แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กเนื่องจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้า (Electromagnets) เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปเหนี่ยวนำในขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสามารถคำนวณหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้จากสูตร

$$B = \mu_0 n I \quad (1)$$

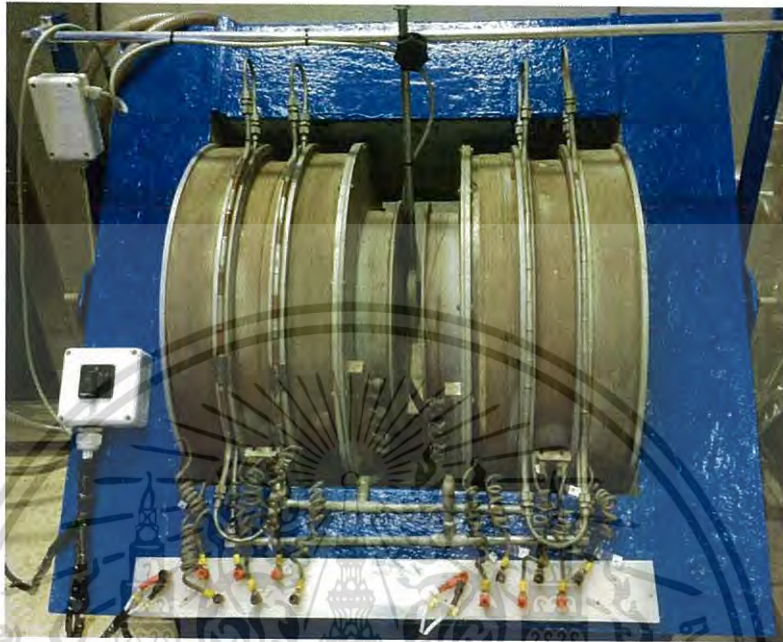
เมื่อ n คือ จำนวนรอบของขดลวด

I คือ กระแสไฟฟ้า

μ_0 คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ

$$\text{มีค่า } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีขดลวดความต้านทานประมาณ 8 โอห์ม เพื่อใช้ในการกำเนิดสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขดลวดความต้านทานประมาณ 8 โอห์ม

จากการทดลองในเบื้องต้นพบว่าเมื่อมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ขนาด 70 โวลต์ 8 แอมแปร์ จ่ายสนามไฟฟ้าให้กับขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสูงสุด 0.215 เทสลา อย่างไรก็ตามในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำที่มีสภาพต้านทานสูง จะต้องใช้ระบบที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีค่ามากขึ้น โครงการพิเศษนี้จึงทำการสร้าง DC Power Supply ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดสร้างสนามไฟฟ้าให้เกิดความเข้ม 0.4 เทสลา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

ประดิษฐ์แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงชนิดกระแสและแรงดันสูงจ่ายให้กับขดลวดความต้านทานประมาณ 8 โอห์ม เพื่อทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็ก 0.4 เทสลา

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1) ออกแบบวงจรจ่ายไฟกระแสตรง ชนิดกระแสและแรงดันสูงโดยใช้โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice

2) ออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรม Altium Designer

3) ประดิษฐ์แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงชนิดกระแสและแรงดันสูงจ่ายให้กับขดลวดความต้านทานประมาณ 8 โอห์ม เพื่อทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็ก 0.4 เทสลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน

ระยะเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
กันยายน – ธันวาคม 2557	ศึกษาวิธีการประดิษฐ์แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงชนิดกระแสและแรงดันสูงเพื่อจ่ายให้กับขดลวดความต้านทานประมาณ 8 โอห์ม เพื่อทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็ก 0.4 เทสลา
มกราคม – มีนาคม 2558	ศึกษาวงจรที่ใช้และออกแบบด้วยโปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice
เมษายน – มิถุนายน 2558	ออกแบบลายวงจรในโปรแกรม Altium Designer
กรกฎาคม – กันยายน 2558	ประดิษฐ์ส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟ
ตุลาคม 2558 – พฤษภาคม 2559	ทดสอบเก็บค่าวิเคราะห์ผลและแก้ไขปัญหา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

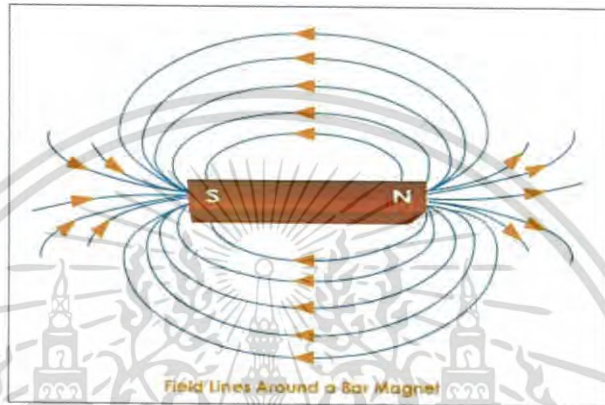
- 1) ความรู้และทักษะในการใช้โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice เนื่องจากต้องเรียนรู้และแก้ปัญหาต่างๆเกี่ยวกับการออกแบบลายวงจรที่ใช้ในโครงงานพิเศษ
- 2) ความรู้และทักษะในการใช้โปรแกรม Altium Designer ในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับโปรแกรม OrCAD Capture and PSpice
- 3) ทักษะการทำงานในการสร้างวงจรจริงๆ บนพื้นฐานการจำลองจากคอมพิวเตอร์ และเรียนรู้เกี่ยวกับลักษณะกระบวนการทำงานและวิธีแก้ปัญหาในแบบต่างๆ
- 4) ความรู้และความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีเมื่อกระแสไฟฟ้าเข้าไปเหนี่ยวนำในขดลวดมากขึ้นทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีค่าความเข้มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง ซึ่ง ณ ตำแหน่งใดๆ มีทิศตามทิศของขั้วเหนือของเข็มทิศ เส้นสนามแม่เหล็กจะเป็นเครื่องบอกทิศของสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ เส้นสนามแม่เหล็กจะวนเป็นวงไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ดังรูปที่ 2.1



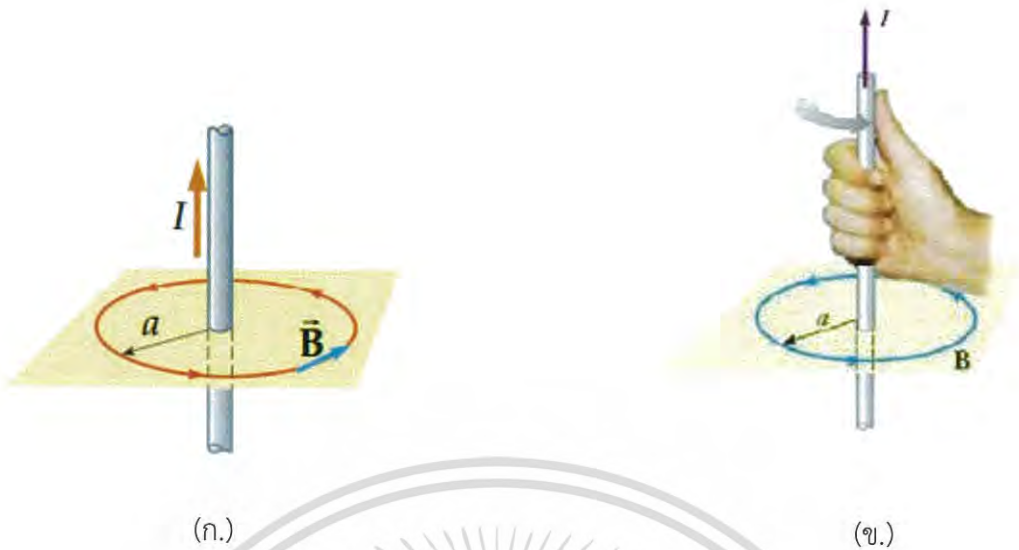
รูปที่ 2.1 เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

2.1.1 การเกิดสนามแม่เหล็ก

ในปี ค.ศ. 1820 Hans Christian Oersted นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์ก พบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในลวดตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆลวดตัวนำ นั้นสามารถแยกพิจารณาตามลักษณะของลวดตัวนำได้ดังนี้

2.1.1.1 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตรง

เมื่อนำเข็มทิศไปวางใกล้เส้นลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน พบว่าแนวของเข็มทิศมีการเปลี่ยนแปลงไปจากแนวเหนือ-ใต้เดิม แสดงว่ารอบๆเส้นลวดมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น ความเข้มของสนามแม่เหล็กแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้า การหาทิศของสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดตรง สามารถหาได้โดยใช้กฎมือขวา ซึ่งหา ได้โดยใช้มือขวากำ รอบเส้นลวดตัวนำ ดังรูปที่ 2.2 ในลักษณะให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตามทิศของกระแสไฟฟ้า ทิศทางการวนของปลายนิ้วทั้งสองชี้จะแสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบๆลวดตัวนำนั้น



(ก.)

(ข.)

รูปที่ 2.2 การหาทิศของสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดตรง

(ก.) กระแสไฟฟ้าและทิศของสนามแม่เหล็ก

(ข.) ใช้กฎมือขวาหาทิศของสนามแม่เหล็ก

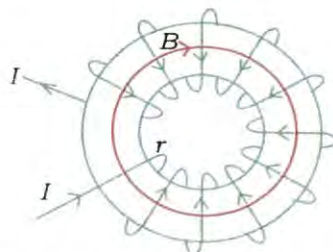
สามารถคำนวณหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้จากสูตร

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi a} I \quad (2.1)$$

เมื่อ μ_0 คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ มีค่า $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$

2.1.1.2 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม

เมื่อนาลวดตัวนำที่มีฉนวนหุ้มมาขดเป็นวงกลมหลายๆรอบเรียงกันเป็นรูปทรงกระบอกแล้วขดเป็นวงกลม ขดลวดที่ได้นี้เรียกว่า ทอรรอยด์ (Toroid) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กภายในทอรรอยด์ ทิศของสนามแม่เหล็กได้โดยการกำมือขวารอบแกนของทอรรอยด์ ให้นิ้วทั้งสี่ส่วนตามทิศของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กภายในทอรรอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงสนามแม่เหล็กภายในทอรรอยด์มีค่าไม่สม่ำเสมอ สนามแม่เหล็กที่ขอบด้านใน จะมีค่าสูงกว่าสนามแม่เหล็กที่ขอบด้านนอก ขนาดของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวด แปรผกผันกับรัศมีของขดลวด แต่จะแปรผันตามจำนวนรอบของขดลวดและปริมาณกระแสไฟฟ้า ขนาดของสนามแม่เหล็ก ณ จุดศูนย์กลางของขดลวดมีขนาด

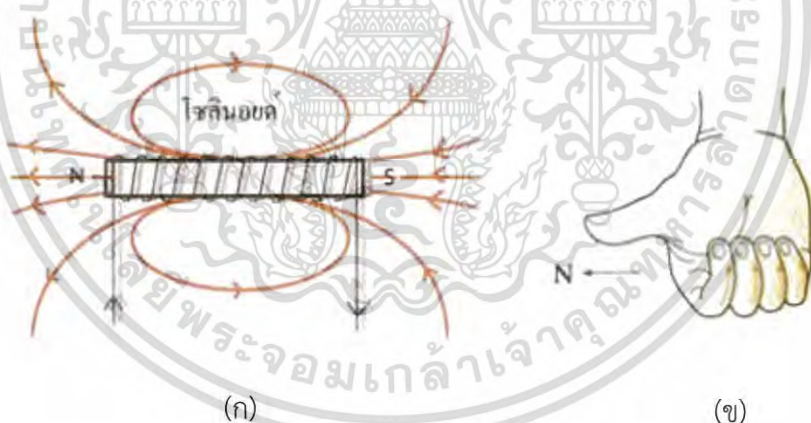
$$B = \frac{\mu_0 n I}{2a} \quad (2.2)$$

เมื่อ μ_0 คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ มีค่า $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

2.1.1.3 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดโซลินอยด์

เมื่อนำลวดตัวนำที่มีฉนวนหุ้มมาขดเป็นวงกลมหลายๆวง ให้เป็นเกลียวคล้ายขดสปริง ขดลวดที่ได้นี้เรียกว่า โซลินอยด์ (Solenoid) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านโซลินอยด์จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น การหาทิศของสนามแม่เหล็กใช้วิธีกฎมือขวาแบบเดียวกับการหาทิศของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำ วงกลม ปลายขดลวดด้านที่สนามแม่เหล็กพุ่งออกจะเป็นขั้วเหนือ และอีกปลายหนึ่งซึ่งสนามแม่เหล็กพุ่งเข้าจะเป็นขั้วใต้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การหาขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์

(ก) ขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์

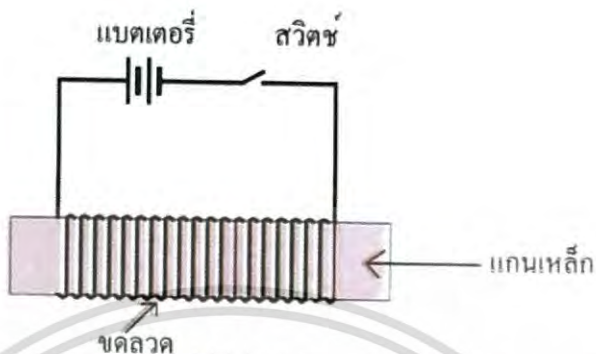
(ข) การหาขั้วแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากโซลินอยด์มีค่าสูงสุดที่บริเวณแกนกลางของโซลินอยด์และขนาดของสนามแม่เหล็กนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือเพิ่มจำนวนรอบของขดลวด ดังสมการ

$$B = \mu_0 n I \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าใส่แท่งเหล็กอ่อนไว้ที่แกนกลางของโซลินอยด์ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านโซลินอยด์ แท่งเหล็กอ่อนมีสมบัติเป็นแม่เหล็กที่เกิดจากวิธีนี้เรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สนามแม่เหล็กที่ใส่แท่งเหล็กอ่อนไว้ที่แกนกลางของโซลินอยด์

2.1.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux, Φ)

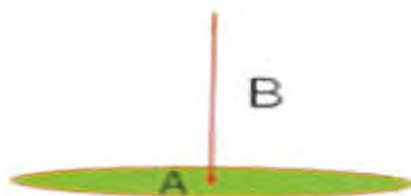
ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux, Φ) คือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งของแท่งแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber, Wb) ในบริเวณที่มีฟลักซ์แม่เหล็กหนาแน่นมากจะเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ฟลักซ์แม่เหล็กบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากและน้อย

การหาค่าฟลักซ์แม่เหล็ก

1. เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กตั้งฉากกับพื้นที่ผิว



$$\Phi = BA$$

(2.4)

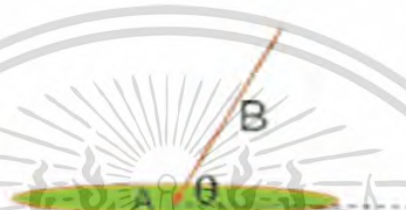
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กทำมุมกับแนวตั้งฉากกับพื้นที่ผิว



$$\Phi = BA \cos \theta \quad (2.5)$$

3. เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กทำมุมกับแนวระนาบของพื้นที่ผิว



$$\Phi = BA \sin \theta \quad (2.6)$$

เมื่อ B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์ต่อตารางเมตร (Wb/m^2) หรือ เทสลา (T)

Φ คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก หรือ เรียกว่า ฟลักซ์แม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์ (Wb)

A คือ พื้นที่ หน่วย ตารางเมตร (m^2)

รูปที่ 2.7 แสดงแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อพื้นที่ผิวที่มุมต่างๆ

2.1.3 ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (B)

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (B) คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

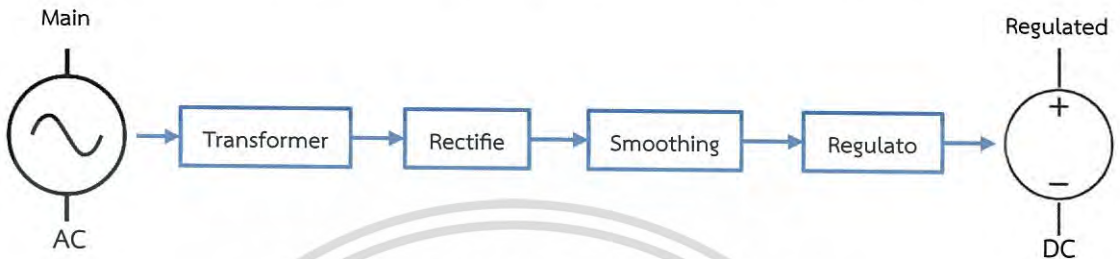
1. จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากจะเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็จะน้อย
2. ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ หากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากสนามแม่เหล็กก็จะเกิดขึ้นมาก และในทางกลับกันหากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กก็จะเกิดขึ้นน้อย
3. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) หรือ สารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็กเฟอร์ไรต์เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น
4. ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 DC Power Supply

2.2.1 หลักการทำงานของ DC Power Supply

แหล่งจ่ายไฟมีหลายชนิด ส่วนใหญ่ออกแบบเพื่อแปลงไฟฟ้าบ้านซึ่งมีแรงดันสูง ไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ให้ได้แรงดันต่ำที่เหมาะสมใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์อื่นๆ แหล่งจ่ายไฟสามารถแบ่งเขียนเป็นบล็อกอนุกรม ซึ่งแต่ละบล็อกมีหน้าที่เฉพาะต่างกัน ดังรูปที่ 2.8



2.8 แสดงแผนผังของ DC Power Supply

ในส่วนโครงการพิเศษของเรานั้นได้ออกแบบวงจร DC Power Supply เพื่อแปลงไฟฟ้าบ้านซึ่งมีแรงดันสูง หรือ ไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นกระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในการจ่ายกระแสให้กับขดลวดแม่เหล็กให้มีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กมากกว่า 0.4 เทสลา

2.2.2 สเปคของ DC Power Supply

โครงการพิเศษของเรานั้นได้ออกแบบวงจร DC Power Supply ให้สามารถจ่ายไฟกระแสตรงชนิดกระแสและแรงดันสูงจ่ายให้กับขดลวดความต้านทานประมาณ 8 โอห์ม เพื่อทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็ก 0.4 เทสลา

2.2.3 ราคาของ DC Power Supply

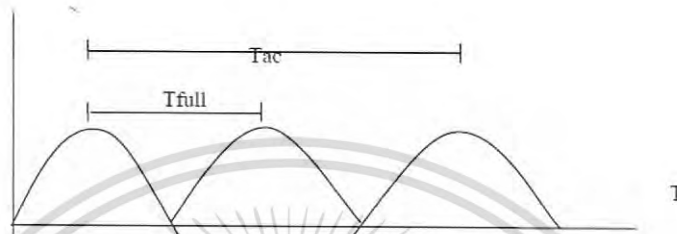
ราคาของ DC Power Supply ในท้องตลาดที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวที่เราได้ออกแบบจะมีราคาประมาณ US \$190 - \$2,000 ซึ่งมีขนาดแรงดัน 200 โวลต์จ่ายกระแส 10 แอมแปร์ และมีกำลัง 2000 วัตต์ จ่ายไฟเป็นกระแสตรงที่แรงดัน 110 โวลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของ DC Power Supply ในท้องตลาด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ทฤษฎีตีชีฟาวเวอร์ซัพพลาย(DC Power Supply)

วงจร DC Power Supply นี้ประกอบด้วยวงจร Rectifier เป็นแบบไดโอดบริดจ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสตรง ซึ่งใช้หลักการของไดโอด ที่ยอมให้กระแสผ่านได้ทิศทางเดียว โดยการนำไดโอด 4 ตัวมาต่อกันแบบบริดจ์ แล้วป้อนไฟกระแสสลับเข้าวงจรบริดจ์ กระแสที่ไหลออกจากวงจรบริดจ์จะไหลในทิศทางเดียว out ที่ออกมาเรียกว่า Full wave ซึ่งค่าความถี่จะเป็นสองเท่าของไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับวงจรบริดจ์



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการไหลของคลื่นกระแสสลับและคลื่น Full wave

$$T_{ac} = \frac{1}{f_{ac}} \tag{2.7}$$

$$f_{ac} = \frac{1}{T_{ac}} \tag{2.8}$$

$$T_{full} = \frac{T_{ac}}{2} \tag{2.9}$$

$$T_{full} = \frac{1}{f_{full}} \tag{2.10}$$

สมการที่ (2.7),(2.10) แทนลงในสมการที่ (2.9)

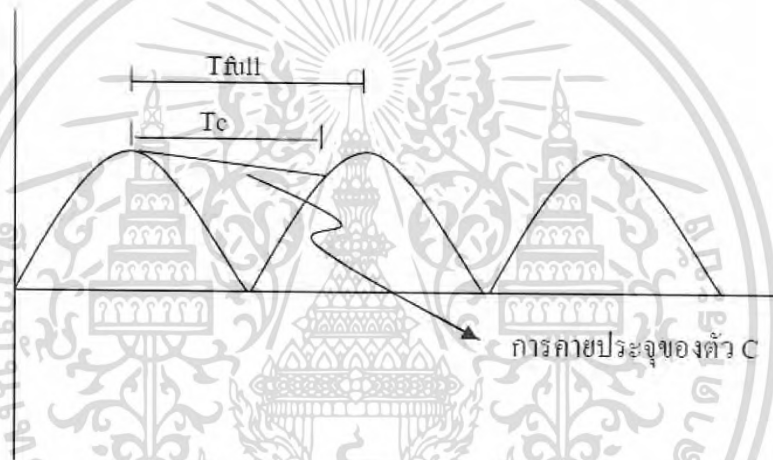
$$\frac{1}{f_{full}} = \frac{1}{2f_{ac}}$$

$$\frac{1}{f_{full}} = \frac{1}{2f_{ac}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{full} = 2fac \quad (2.11)$$

เมื่อ full คือ ความถี่ output ที่ออกจากวงจรบริดจ์ไดโอด fac คือ ความถี่ของไฟกระแสสลับอินพุทของวงจรบริดจ์ Tfull คือ คาบเวลาของ output จากวงจรบริดจ์ไดโอด Tc คือ คาบเวลาของไฟกระแสสลับอินพุทของวงจรบริดจ์ ส่วนที่สองของวงจร DC Power Supply คือวงจรฟิลเตอร์ เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจร rectifier มีลักษณะเป็นลูกคลื่นที่มีลักษณะไม่ราบเรียบจึงต้องใช้วงจรฟิลเตอร์ทำให้สัญญาณมีความราบเรียบ DC Power Supply ที่ทำการออกแบบนี้ใช้วงจรฟิลเตอร์เป็นแบบตัว C ซึ่งต้องต่อแบบ ขนานกับไดโอด โดยอาศัยหลักการของตัวเก็บประจุเมื่อสัญญาณอินพุทเข้ามา ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นสูง ทำให้ค่าสูงสุดนี้มีผลทำให้ตัวเก็บประจุเกิดการเก็บสะสมประจุไฟฟ้า เมื่อค่าแรงดันถึงค่าสูงสุดแล้วจะค่อยๆ ลดลงสู่ค่าเริ่มต้น ในช่วงนี้เองตัวเก็บประจุจะคายประจุที่เก็บสะสมไว้ออกมา ทำให้ยังมีค่ากระแสไฟฟ้าไหลให้กับโหลดอยู่



รูปที่ 2.11 แสดงผลเมื่อ Tc คือคาบเวลาการคายประจุ

จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณยังไม่มี ความราบเรียบซึ่งเรียกว่าการเกิดริบเปิล หากเราต้องการสัญญาณที่เรียบจะได้ว่า $T_c = T_{full}$ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าความจุของตัวเก็บประจุ ประจุที่จะนำมาใช้ในวงจร DC Power Supply ของเราได้

$$C = \frac{Q}{V_c} \quad (2.12)$$

$$i = \frac{Q}{T} \quad (2.13)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าคือ ปริมาณประจุต่อเวลา ในที่นี้เราต้องการหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุจะคายออกมา จึงเป็นค่าปริมาณประจุต่อเวลา Tc และเมื่อ $T_c = T_{full}$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน (2.14)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = i \cdot T_{full} \quad (2.15)$$

แทนค่าสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.12)

$$C = \frac{i \cdot T_{full}}{V_c} \quad (2.16)$$

แทนค่าสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.16)

$$C = \frac{i}{V_c \cdot f_{full}} \quad (2.17)$$

แทนค่าสมการ (2.11) ลงในสมการ (2.17)

$$C = \frac{i}{2V_c \cdot f_{ac}} \quad (2.18)$$

ส่วนที่สามของวงจร DC Power Supply เป็นวงจรเรกูเลเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรที่ทำให้ output มีค่าหนึ่งและเรียบเพื่อจ่ายให้กับโหลด ในวงจรที่ได้ทำการออกแบบนี้ใช้ IC เรกูเลเตอร์สำเร็จรูปที่ขายในท้องตลาด ซึ่งมีทั้งเป็นแบบกำหนดค่าตายตัวและแบบที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

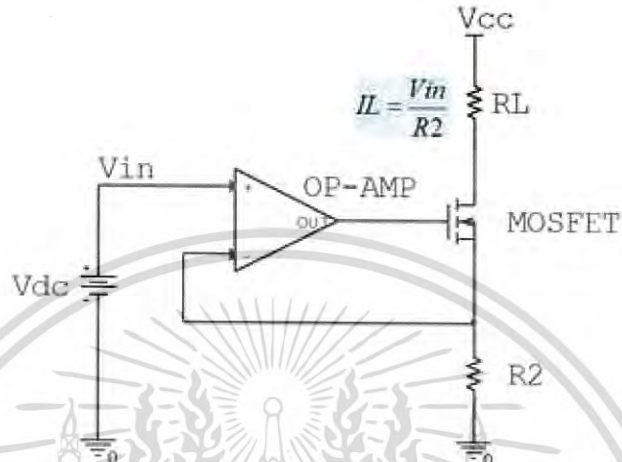
2.3 ออปแอมป์ (Operational Amplifier)



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของออปแอมป์ (รูปจาก Analog Devices)

ออปแอมป์ (Operation Amplifier, Op-Amp) หรือวงจรรขยายเชิงดำเนินการ เป็นอุปกรณ์วงจรรวมหรือไอซีประเภทเชิงเส้น (Linear Integrated Circuit) ซึ่งมีการนำไปใช้ในงานประยุกต์ต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ออปแอมป์ถูกออกแบบครั้งแรกในปี 1948 เพื่อช่วยปฏิบัติการด้านคณิตศาสตร์ในเครื่องอนาล็อกคอมพิวเตอร์ (Analog Computer) ตั้งนั้น จึงใช้ชื่อว่า Operational Amplifier ซึ่งหมายถึง วงจรรขยายดำเนินการ นอกจากนี้ออปแอมป์ยังได้ถูกนำไปใช้ในงานประยุกต์ต่าง ๆ มากมาย ทั้งนี้ก็เนื่องจากเป็นวงจรรขยายผลต่าง (Differential Amplifier) ที่มีอัตราขยายที่สูงมากและการออกแบบและวิเคราะห์วงจรที่ใช้ออปแอมป์ก็สามารถทำได้ง่ายงานประยุกต์ที่ใช้ออปแอมป์จะพบได้ไม่เว้นวาระณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเครื่องวัด, วงจรแสดงผล และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมกระบวนการ, วงจรปรับสัญญาณ, วงจรสื่อสาร, ระบบเตือนภัย, วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์, ด้านวิทยาศาสตร์ และในระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้นจะเห็นได้ว่าออปแอมป์ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงอาจเรียกออปแอมป์ได้ว่า เป็นวงจรขยายเชิงเส้นอเนกประสงค์ สัญลักษณ์แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ภาพแสดงต้นแบบวงจรพื้นฐาน

จากรูปที่ 2.13 แสดงการนำ OP-AMP มาใช้ในทฤษฎี Voltage Control Current Source โดยใช้งานร่วมกับ Power MOSFET ซึ่งเป็นวงจรควบคุมกระแสด้วยแรงดัน

2.4 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)



รูปที่ 2.14 แสดงภาพตัวเก็บประจุ (รูปทรงจาก www.capacitorguide.com)

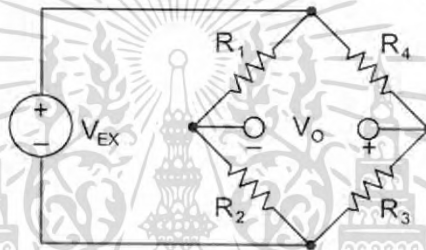
ตัวเก็บประจุ เป็นชิ้นส่วนประเภทเฉื่อยงานที่สะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปของสนามไฟฟ้า ซึ่งมีหน้าที่การทำงาน โดยใช้ต้านทานการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ใช้ควบคุมสัญญาณ (Coupling Element) ระหว่างวงจร หรือใช้ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำสร้างเป็นวงจรเลือกความถี่ (Tuner Circuit) มีส่วนประกอบหลักคือ แผ่นตัวนำสองแผ่นขนานกัน คั่นกลางด้วยฟิล์มฉนวนไฟฟ้า เช่น กระดาษชุบน้ำมัน พลาสติก แก้ว แร่ลึบหิน (Mica) เซรามิก หรือ สารไดอิเล็กตริก (Dielectric Substance) ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่มีความสามารถในการแสดงขั้วไฟฟ้าต่อสนามไฟฟ้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบที่จะใช้เอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกร่อม โดยมีคุณสมบัติคือ มีค่าความจุ (Capacitance) เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่ตกร่อม $C = dQ/dv$ หรือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ มีค่าสัดส่วนโดยตรงกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตกร่อมต่อเวลา ตามความสัมพันธ์ $I = C(dv/dt)$ โดย C เป็นค่าความจุ หน่วยเป็น ฟารัด (F), Q เป็นค่าประจุไฟฟ้าหน่วยเป็น คูลอมป์ (C), v เป็นค่าแรงดันหน่วยเป็นโวลต์(v) i เป็นค่ากระแส หน่วยเป็นแอมป์ (A) และ t เป็นค่าเวลา หน่วยเป็นวินาที (s) ซึ่งตัวเก็บประจุมีหลายชนิดและแบบขึ้นอยู่กับแผ่นตัวนำ ฉนวนที่ใช้ ขนาดความจุและระดับแรงดันที่ใช้งาน

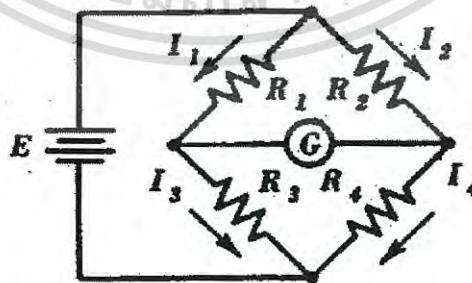
2.5 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bridge)

DC Bridge เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีความถูกต้องสูง ประเภทที่ใช้ในปัจจุบัน คือ วิทสโตนบริดจ์ ดังรูป



รูปที่ 2.15 Wheatstone Bridge (รูปจาก www.ni.com)

ขณะที่บริดจ์อยู่ในสภาพสมดุล จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน กัลวานอมิเตอร์ทำให้เข็มของเครื่องวัดชี้ที่เลข 0 ถ้าต้องการทราบค่าความต้านทาน R_4 จะต้องสับสวิตช์ S_1 และสวิตช์ S_2 แล้วปรับอัตราส่วนของความต้านทาน R_2/R_1 (Ratio adjust) และความต้านทาน R_3 จนกระทั่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรถูกัลวานอมิเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าบริดจ์อยู่ในสภาพสมดุล



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะไฟตกร่อมของวงจรบริดจ์

จากสภาพสมดุลของวงจรบริดจ์ (รูป 2.16) ทำให้ทราบว่าแรงดันไฟตกร่อม R_3 และ R_4 มีค่าเท่ากันตามสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_3 R_3 = I_4 R_4 \tag{2.19}$$

นอกจากนี้แรงดันไฟที่ตกคร่อม R_1 และ R_2 ยังมีค่าเท่ากันด้วย

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \tag{2.20}$$

ขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ (G) แสดงว่า

$$I_1 = I_3$$

และ

แทนค่า I_3 ด้วย I_1 และ I_4 ด้วย I_2 ในสมการ 2.19 จะได้

$$I_1 R_3 = I_2 R_4 \tag{2.21}$$

จะได้

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

หรือ

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} \tag{2.22}$$

2.6 ตัวต้านทาน (Resistor)



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของตัวต้านทาน

ความต้านทาน (Resistance) หมายถึง แรงต้านทานจากวัตถุต่างๆซึ่งทำหน้าที่ต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านไปได้มากหรือน้อย ความต้านทานนี้มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือ เครื่องใช้และระบบการทำงานของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ช่วยให้ระบบการทำงานไม่วุ่นวายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความถูกต้องสมบูรณ์ตามต้องการ ซึ่งวัตถุต่างชนิดกันมีความต้านทานเกิดขึ้นแตกต่างกัน วัตถุที่มีความต้านทานต่ำ เรียกว่า ตัวนำ (Conductor) ส่วนวัตถุที่มีความต้านทานสูง เรียกว่า ฉนวน (Insulator) ดังนั้น เมื่อนำวัตถุต่างชนิดกันมาเปรียบเทียบความต้านทานกัน จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมาก เขียนเป็นสมการตามกฎของโอห์ม ดังนี้

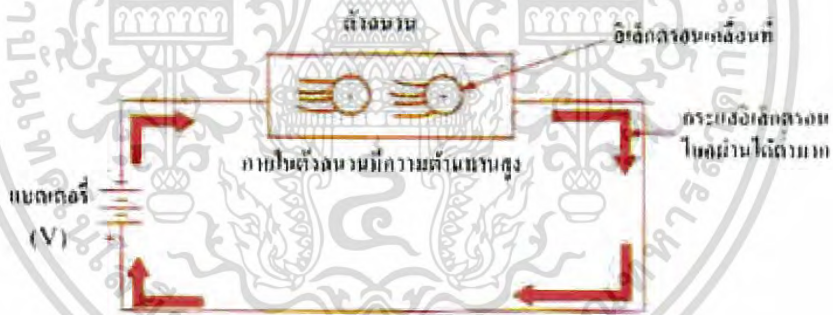
$$R = \frac{V}{I} \tag{2.23}$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

V คือ ค่าความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

วัตถุต่างชนิดกันมีความต้านทานเกิดขึ้นแตกต่างกัน วัตถุที่มีความต้านทานต่ำ เรียกว่า ตัวนำ (Conductor) ส่วนวัตถุที่มีความต้านทานสูง เรียกว่า ฉนวน (Insulator) ดังนั้น เมื่อนำวัตถุต่างชนิดกันมาเปรียบเทียบความต้านทานกัน จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมาก รูปที่ 2.18 และ รูปที่ 2.19 แสดงการไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์ในตัวฉนวนและตัวนำ



รูปที่ 2.18 แสดงการไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์ในตัวฉนวน



รูปที่ 2.19 แสดงการไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์ในตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 และ 2.19 แสดงถึงค่าความต้านทานภายในตัวฉนวนและตัวนำ จะมีผลต่อปริมาณการไหลของกระแสอิเล็กตรอนภายในวงจรไฟฟ้าแตกต่างกัน ตัวต้านทานแต่ละตัวภายในวงจรต่างๆไป จะมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ คือ เป็นตัวควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า และ กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าตามจุดต่างๆที่ได้ทำการออกแบบไว้ภายในวงจร ซึ่งค่าของความต้านทานจะมีหน่วยในการวัดเป็นโอห์ม และอาจเขียนแทนด้วยตัวโอเมก้า จากการที่ความต้านทานมีความสำคัญ และมีบทบาทต่อการทำงานของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จึงมีการผลิตตัวต้านทาน (Resistor) ขึ้นมาใช้งาน ตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาสามารถให้ค่าความต้านทานที่แตกต่างกัน และมีค่าหลากหลายให้เลือกใช้งาน ช่วยอำนวยความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้น ตัวต้านทานจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญตัวหนึ่งในงานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีบทบาทมากต่อการทำงานและการใช้งานของวงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.7 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)



รูปที่ 2.20 โครงสร้างหลักของแม่เหล็กไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดัน ไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำ หน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดัน ไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้าหม้อแปลงไฟฟ้าจึงนับ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ อย่างหนึ่งในบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลายการขัดข้อง หรือการชำรุดเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้ามักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า หรือกระบวนการผลิตอย่างมากและเป็นเวลานาน ดังนั้น หม้อแปลงนอกจากจะต้องถูกออกแบบผลิต ติดตั้งอย่างถูกต้องและมีคุณภาพแล้ว การใช้งานและการดูแลรักษาก็เป็นปัจจัยสำคัญ ที่จะหลีกเลี่ยงการขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายดังกล่าวได้

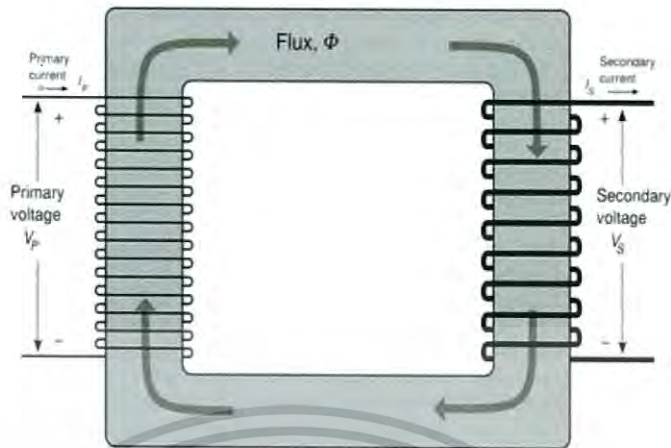
2.7.1 หลักการทำงาน

กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) กล่าวว่าไว้ว่า เมื่อขดลวดได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสสลับ จะทำให้ขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้า กระแสสลับ และทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดนี้ การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ เส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด ตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัว และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ตัวนำ โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ จะสัมพันธ์กับ ความเข้มของ

เอกสารนี้สงวนแม่เหล็กและความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็กญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า



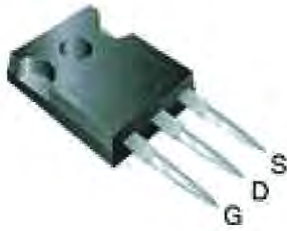
รูปที่ 2.21 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงแบ่งออกตามการใช้งานของระบบไฟฟ้ากำลังได้ 2 แบบคือ หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟสแต่ละชนิดมีโครงสร้างสำคัญประกอบด้วย

1. ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
 2. ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
 3. ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด
 4. แผ่นป้าย (Name Plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง
 5. อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวด เช่น อากาศ, พัดลม, น้ำมัน หรือใช้ทั้งพัดลมและน้ำมันช่วยระบายความร้อน เป็นต้น
 6. โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็กรวมทั้งการติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับหม้อแปลงขนาดใหญ่
 7. สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุม (Switch Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า และมีอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ รวมอยู่ด้วย
- วัสดุที่ใช้ทำขดลวดหม้อแปลงโดยทั่วไปทำมาจากสายทองแดงเคลือบน้ำยาฉนวน มีขนาดและลักษณะลวดเป็นทรงกลมหรือแบนขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง ลวดเส้นโตจะมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่าลวดเส้นเล็ก ซึ่งหม้อแปลงขนาดใหญ่มักใช้ลวดถักแบบตีเกลียวเพื่อเพิ่มพื้นที่สายตัวนำให้มีทางเดินของกระแสไฟมากขึ้น สายตัวนำที่ใช้พันขดลวดบนแกนเหล็กทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอาจมีแทปแยก (Tap) เพื่อแบ่งขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ในหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้การเปลี่ยนแทปด้วยสวิตช์อัตโนมัติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

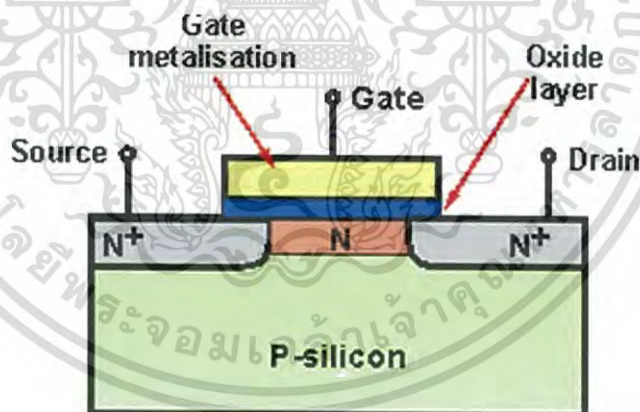
2.8 มอสเฟต (MOSFET)



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างมอสเฟต (รูปทรงของ Vishay)

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า คือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้สนามไฟฟ้าในการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารกึ่งตัวนำเพื่อให้เกิดการนำกระแสเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยทั่วไปมักเรียกชื่อย่อว่า "เฟต" เฟตแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบรอยต่อ (Junction Field Effect Transistor) หรือ เจเฟต (JFET) และ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบโลหะ-ออกไซด์-สารกึ่งตัวนำ (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) หรือ มอสเฟต (MOSFET) มอสเฟตจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ดีพลีชัน (Depletion) และ เอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement) แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแชนแนล n และ แบบแชนแนล p

2.8.1 โครงสร้างของมอสเฟต (MOSFET)



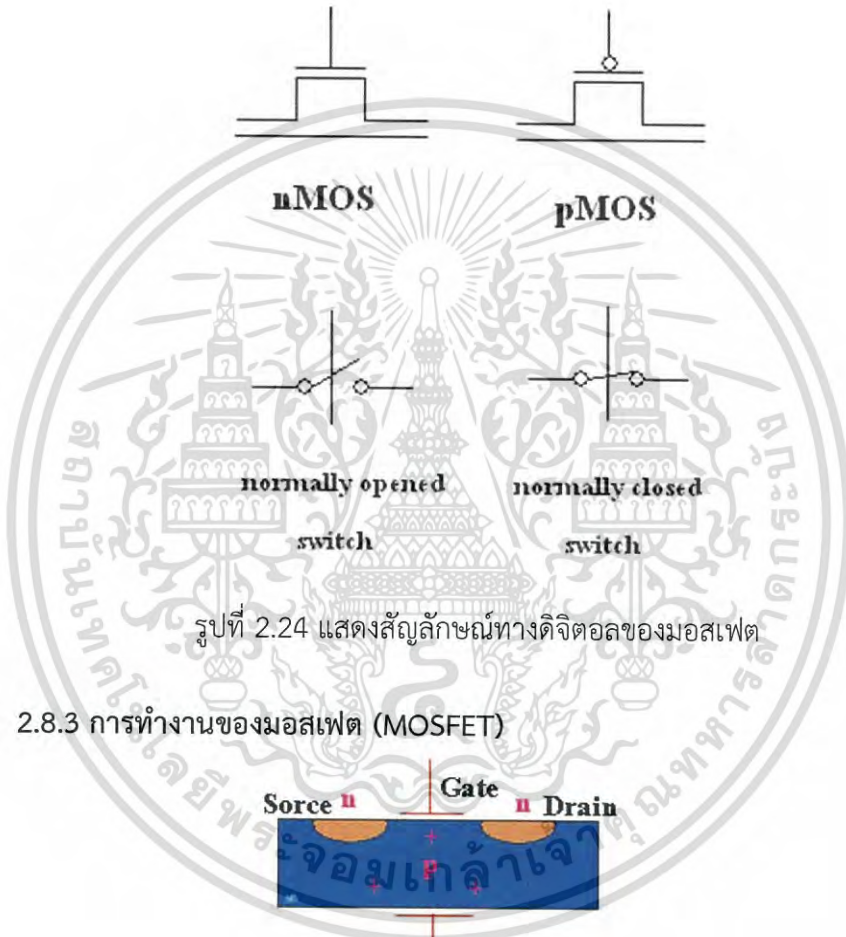
รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างของมอสเฟต

MOSFET ประกอบด้วยสามส่วน คือ GATE เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า SOURCE เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ และ DRAIN เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ

2.8.2 ประเภทของมอสเฟต (MOSFET)

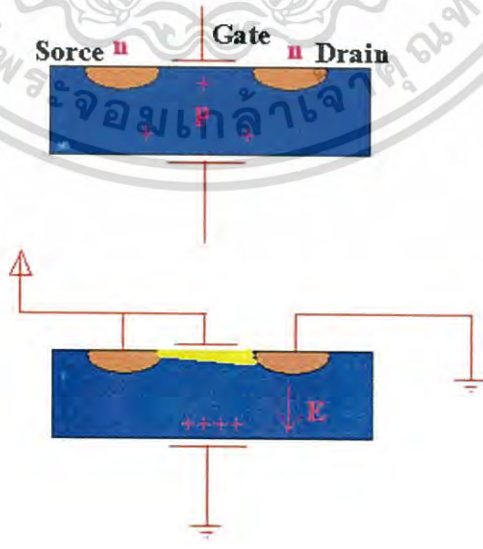
nMOS (negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท NPN เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก (สนามไฟฟ้าแรง) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก Source ไป Drain ได้ pMOS (positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท PNP เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ (สนามไฟฟ้าอ่อน) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก source ไป drain ได้ ซึ่งโดยปกติ MOSFET ในทางดิจิทัลถูกมองว่าเป็นสวิตช์ โดย nMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็ยังคงเปิดอยู่ (Normal opened switch) ส่วน pMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะเปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็จะปิดอยู่ (Normal closed switch) และสัญลักษณ์ทั่วไปจะมีสามขา ขากลางเป็น gate ส่วนอีกสองขาคือ Source และ drain โดยใช้ใน nMOS เป็นหลักเพื่อสื่อสัญลักษณ์เดียวกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ ไฟขา base ไหล ขา Collector จะต่อกับ Emittor ส่วน pMOS ก็จะมี bubble ที่ขา Gate จะมีสัญลักษณ์ดังรูป



รูปที่ 2.24 แสดงสัญลักษณ์ทางดิจิทัลของมอสเฟต

2.8.3 การทำงานของมอสเฟต (MOSFET)



รูปที่ 2.25 แสดงการทำงานของ MOSFET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nMOS เมื่อปล่อยความต่างศักย์สูง จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศลงอย่างแรง โหลใน p-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง (ตามรูปที่ประกอบข้างบน) ประกอบกับมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีอิเล็กตรอนอิสระมากจนเป็น n-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น n-type เหมือนกับ drain และ source ได้โดยใช้อิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะ

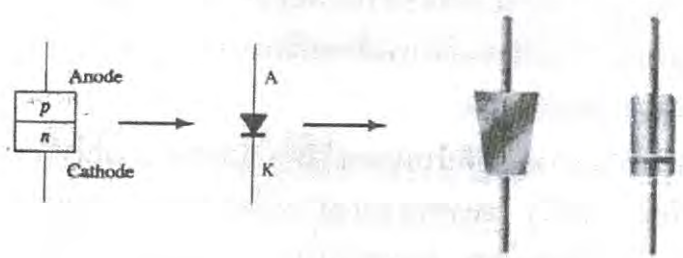
pMOS จะทำงานกลับกับ nMOS โดยเมื่อปล่อยความต่างศักย์ต่ำ (โดยมากมักจะติดลบ) จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศขึ้นอย่างแรง อิเล็กตรอนอิสระใน n-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีโฮลบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีโฮลมากจนเป็น p-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น p-type เหมือนกับ drain และ source ได้โดยใช้โฮลเป็นพาหะ

2.9 ไดโอด (Diode)



รูปที่ 2.26 ภาพซ้ำของไดโอดและลักษณะของไดโอด

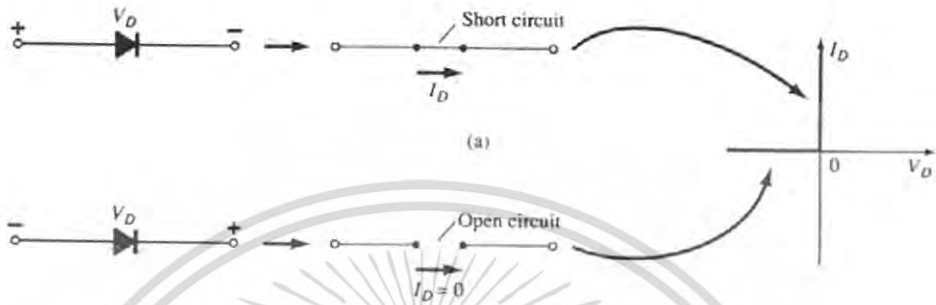
ไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p-n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode ; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode ; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n ดังรูป ที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงซ้ำของไดโอด

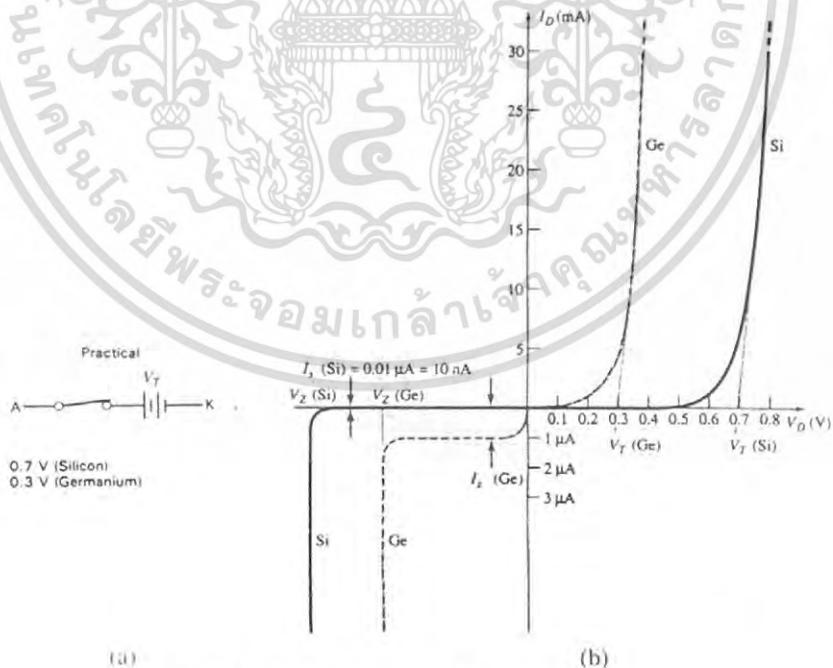
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode) ไดโอดในอุดมคติมีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว จากรูปที่ 2.28 ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ให้เป็นแบบไบอัสตรงไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนกับสวิตช์ที่ปิด (Close Switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short Circuit) I_D ไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนสวิตช์เปิด (Open Switch) หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ทำให้ I_D เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าของไดโอดในทางอุดมคติ

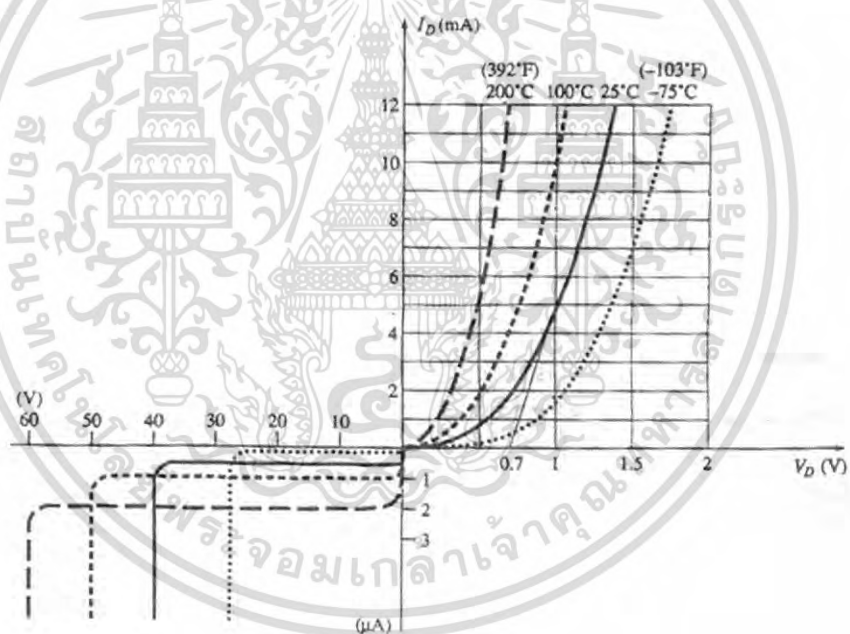
ไดโอดในทางปฏิบัติ (Practical Diode) มีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน ($V_T \approx 0.3V$; $V_T \approx 0.7V$) ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงการแพร่กระจายของพาหะ

ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบอกจุดทำงาน ดังนั้น จึงเรียก แรงดันเสมือน อีกอย่างหนึ่งว่า แรงดันในการเปิด (Turn-on Voltage ; V_t) กรณีไบอัสกลับ เราทราบว่า Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse Saturation Current ; I_s) แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) และถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้ เราเรียกว่า แรงดันพังทลายซีเนอร์ (Zener Breakdown Voltage ; V_Z) ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า V_Z จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เราเรียกว่า แรงดันพังทลายอวาแลนซ์ (Avalanche Breakdown Voltage) ดังนั้น การนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น ซึ่งผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effects) จากการทดลองพบว่า I_s ของ Si จะมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า ทุกๆ ครั้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ขณะที่ Ge มีค่า I_s เป็น 1 หรือ 2 micro-amp ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่ 100 องศาเซลเซียสจะมีค่า I_s เพิ่มขึ้นเป็น 100 micro-amp ระดับกระแสไฟฟ้าขนาดนี้จะเป็นปัญหาต่อการเปิดวงจรเนื่องจากได้รับการไบอัสกลับ เพราะแทนที่ I_d จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่กลับนำกระแสได้จำนวนหนึ่งตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice

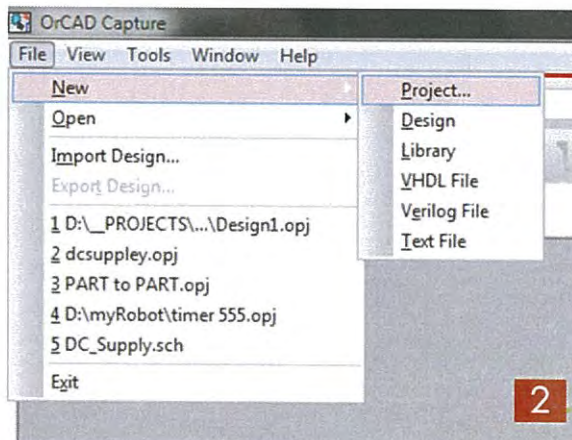
เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ยังสามารถใช้ทดสอบวงจรต่างๆได้ดี เมื่อกดใช้เครื่องมือโวลต์มิเตอร์เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆของวงจรและทำการปรับอุปกรณ์เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ค่าที่เราต้องการ



รูปที่ 2.31 แสดง Icon ของโปรแกรม OrCAD Capture



รูปที่ 2.32 หน้าต่างโปรแกรม Orcad Capture เป็นส่วนที่ใช้ในการร่างส่วนประกอบของวงจร



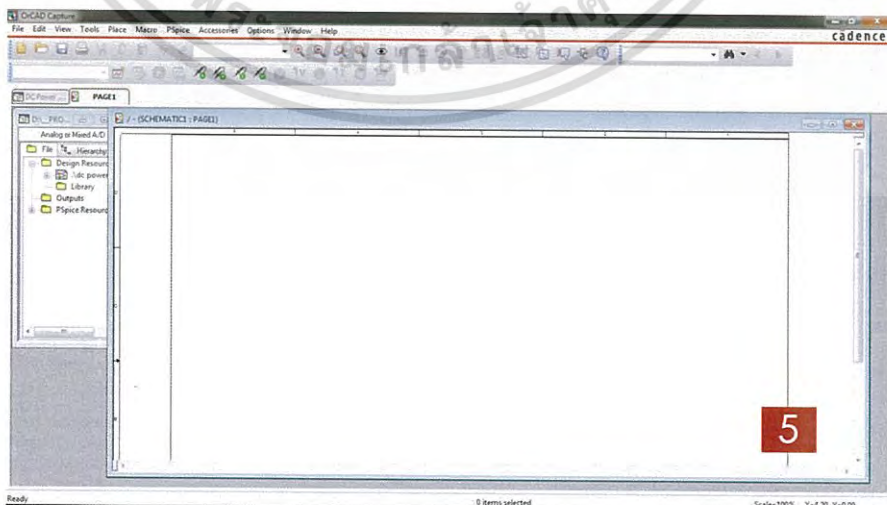
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.33 เลือก File แล้วเลือก New Project จะได้ผลดังรูปที่ 27
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



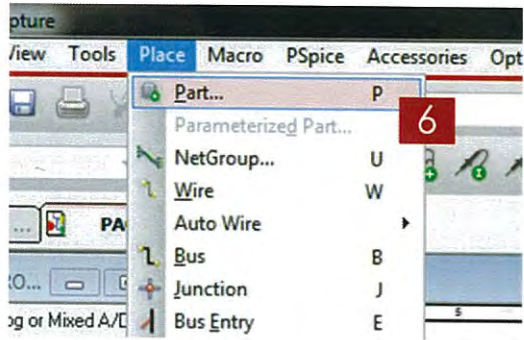
รูปที่ 2.34 เป็นการตั้งชื่อไฟล์และตั้งค่าตำแหน่งของไฟล์



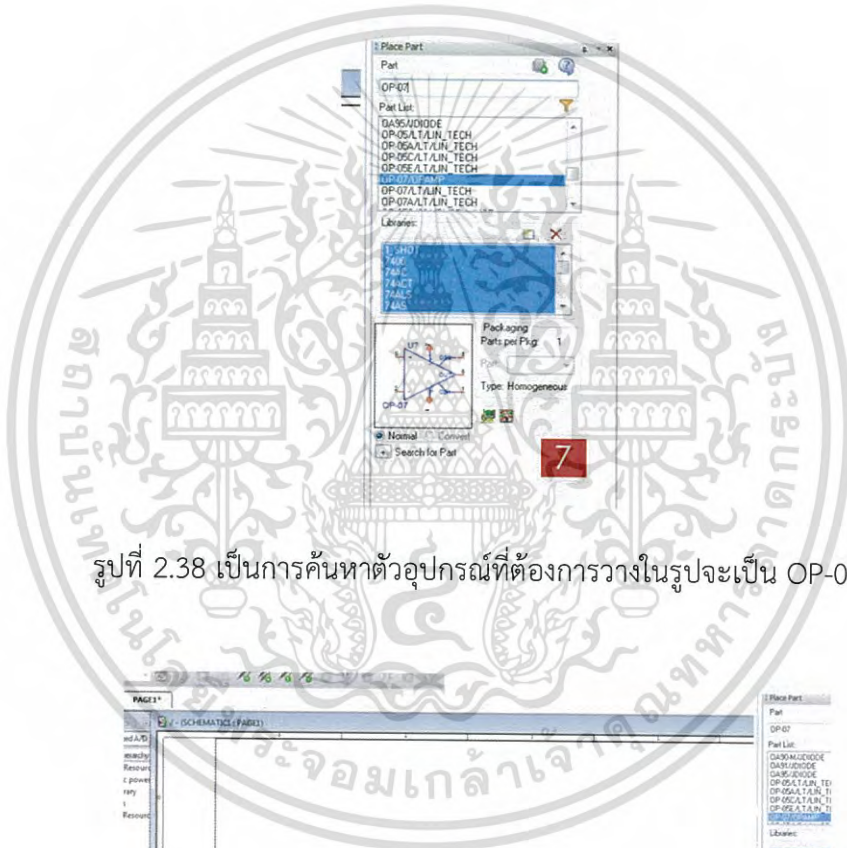
รูปที่ 2.35 เลือกสร้างแบบหน้าว่างเปล่าจะได้ดังรูปที่ 29



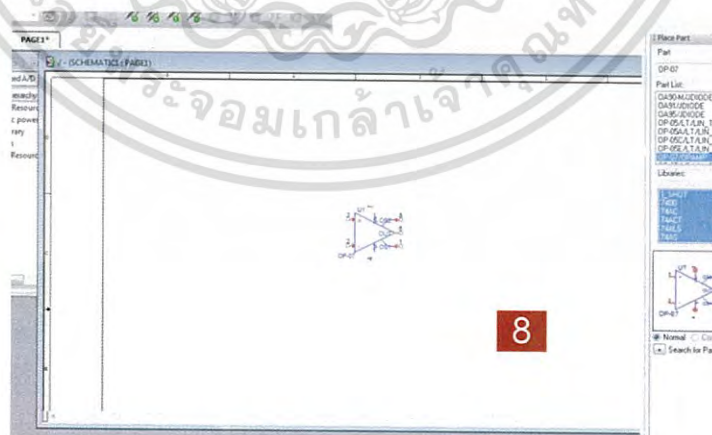
รูปที่ 2.36 หน้าต่างพื้นที่ว่างเปล่าสำหรับออกแบบวงจรที่ต้องการทดลอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 วิธีการวางพาร์ทตัวอุปกรณ์ของวงจร

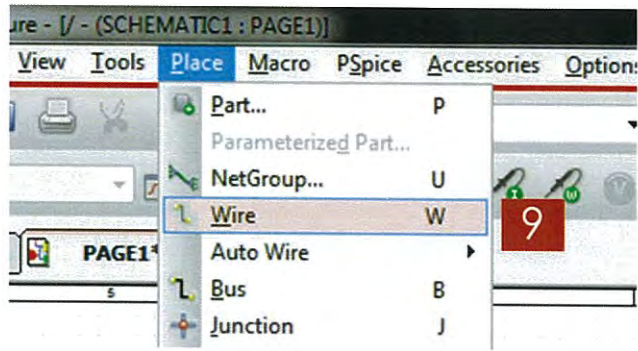


รูปที่ 2.38 เป็นการค้นหาตัวอุปกรณ์ที่ต้องการวางในรูปจะเป็น OP-07



รูปที่ 2.39 นำอุปกรณ์วางบนหน้าออกแบบวงจร

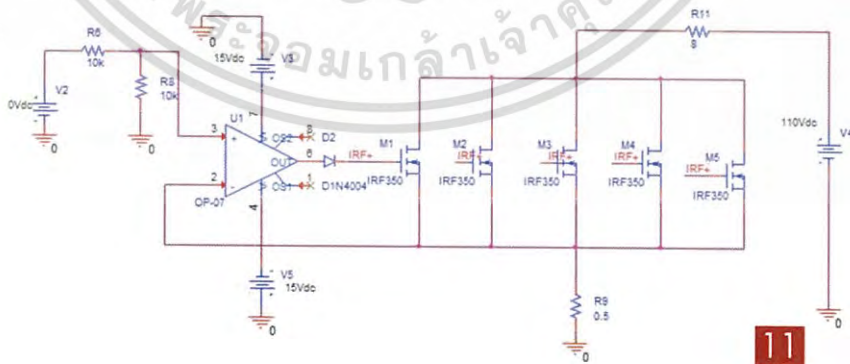
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 เป็นการลากสายไฟให้กับตัวอุปกรณ์ต่างๆให้เชื่อมต่อกัน

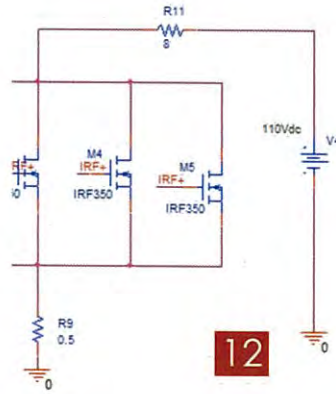


รูปที่ 2.41 เป็นรูปตัวอย่างของวงจรอย่างง่ายที่ลากสายไฟเชื่อมโยงเสร็จเรียบร้อย

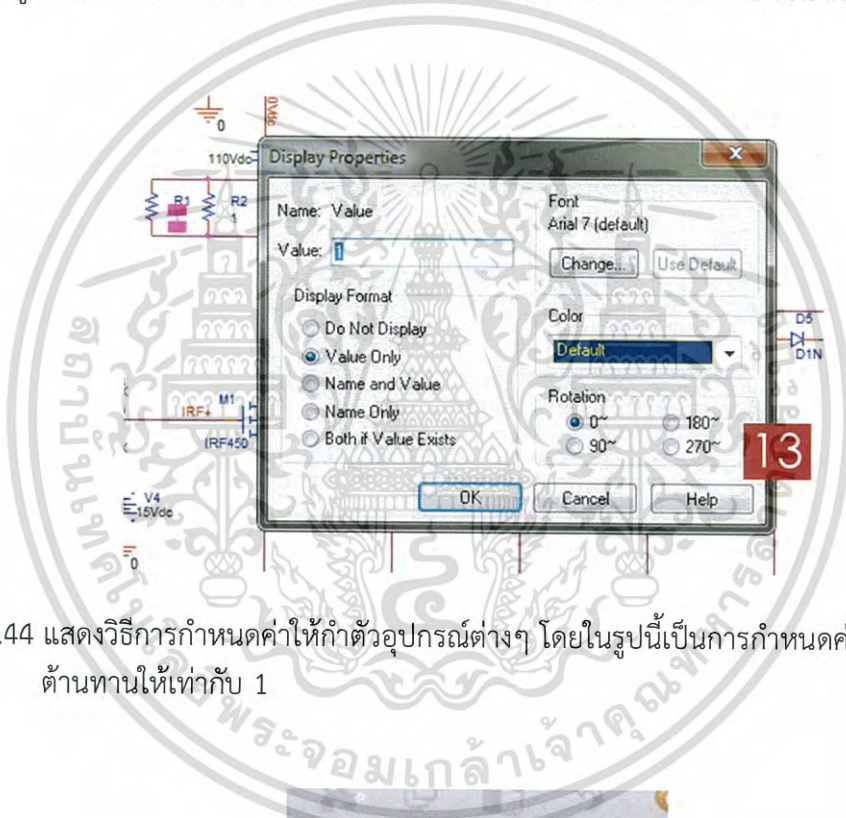


รูปที่ 2.42 วงจร Power Supply แบบสมบูรณที่ทำการออกแบบและทดลองโดยการจำลอง

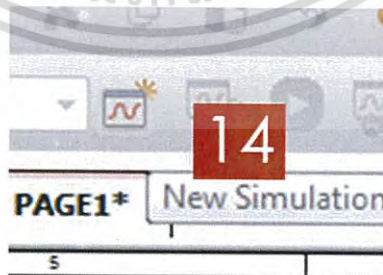
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 แสดงบริเวณขดลวดตำแหน่งที่เป็น R11 โดยกำหนดให้เป็นขนาด 8 โอห์ม

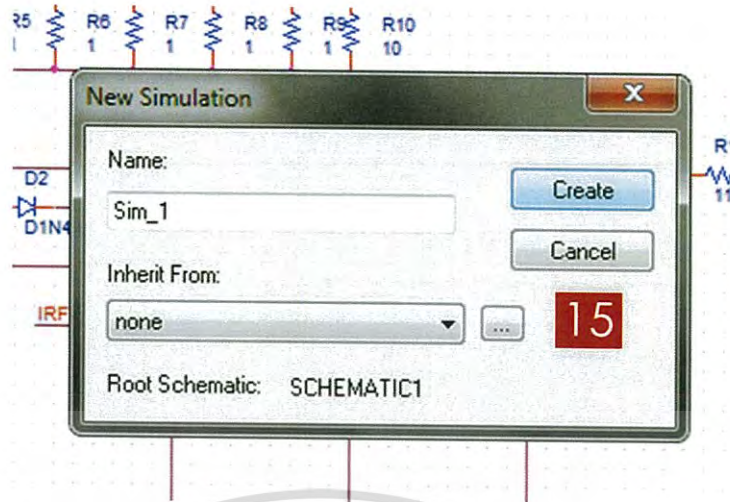


รูปที่ 2.44 แสดงวิธีการกำหนดค่าให้ค่าตัวอุปกรณ์ต่างๆ โดยในรูปนี้เป็นการกำหนดค่าของตัวต้านทานให้เท่ากับ 1

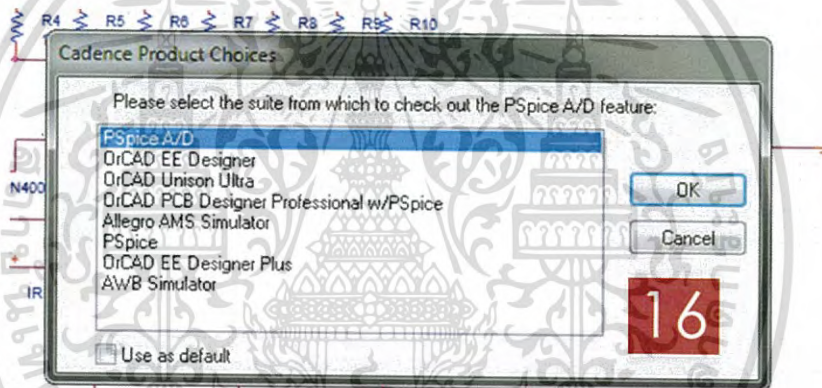


รูปที่ 2.45 แสดงวิธีการทดสอบด้วยวงจรที่เราทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

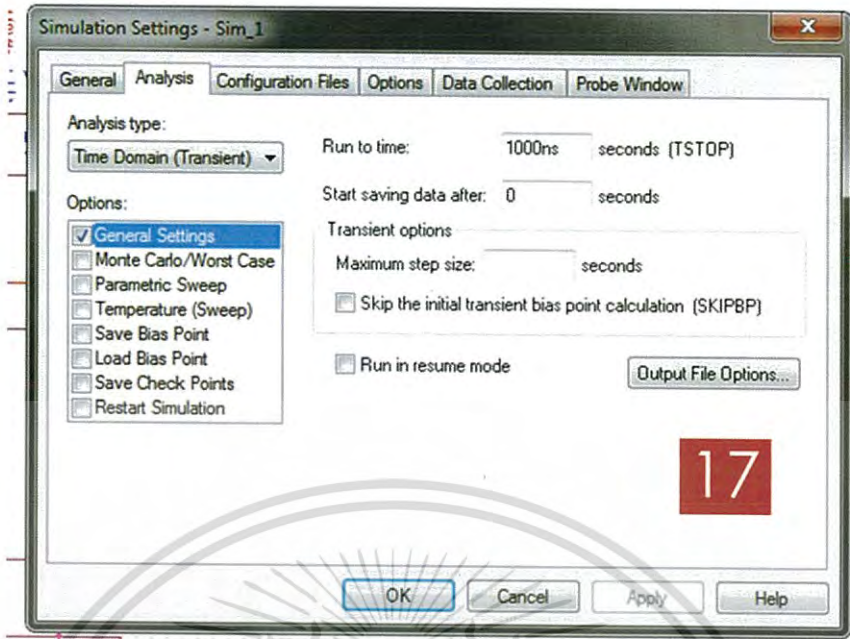


รูปที่ 2.46 แสดงการตั้งชื่อของการทดสอบโดยตั้งชื่อว่า Sim_1

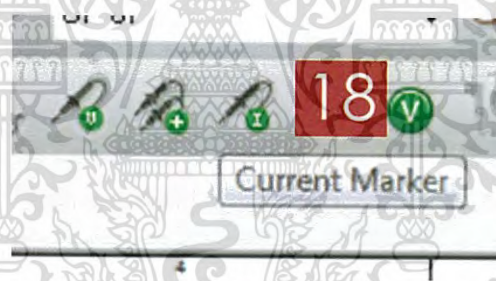


รูปที่ 2.47 เลือกโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบคือโปรแกรม PSpice A/D

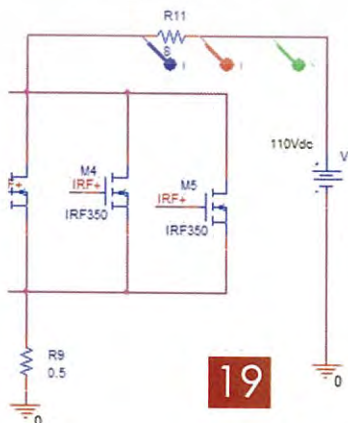
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



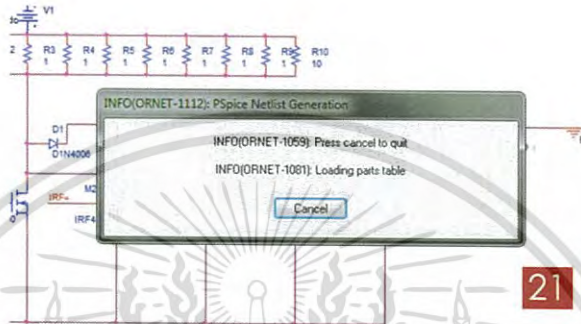
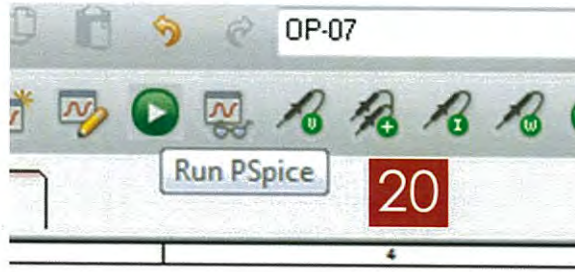
รูปที่ 2.48 หน้าจอการตั้งค่าการทดสอบวงจรที่ออกแบบโดยปกติเลือกเป็นค่าตั้งต้น



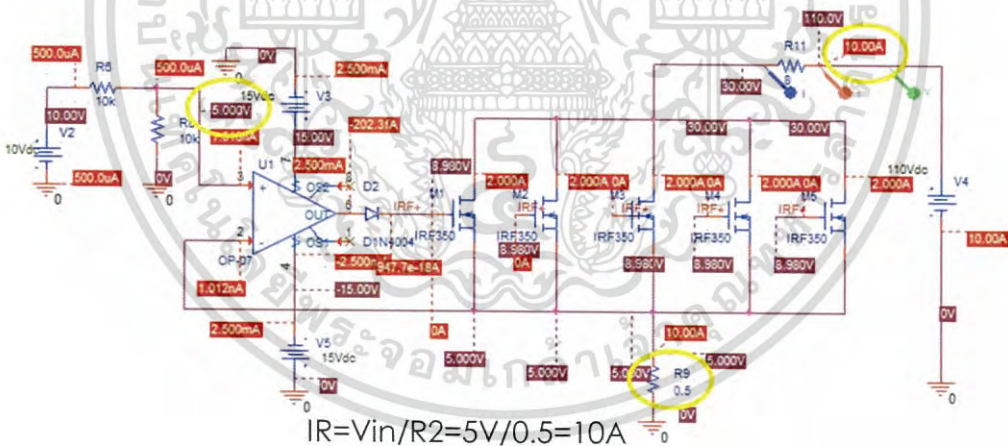
รูปที่ 2.49 เป็นอุปกรณ์ในการวัดกระแสของตำแหน่งต่างๆโดยกด 1 ครั้งและนำไปจิ้มที่บริเวณวงจรที่ต้องการดูกราฟของกระแส



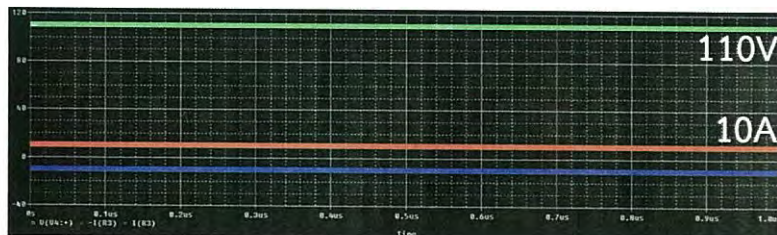
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.50 แสดงตำแหน่งที่จะทำการวัดและดูกราฟของกระแสไฟฟ้าที่ไหล
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.51 ทำการกด Run PSpice(รูปที่ 20) เพื่อทำการทดสอบวงจรโดยจะตั้งรอสักครู่ในการประมวลผล(รูปที่ 21)



รูปที่ 2.52 หน้าตาแสดงผลของการทดสอบวงจรที่ได้ทำการออกแบบโดยให้ผลดังที่ต้องการคือกระแสไฟฟ้าที่ 10A โดยมีค่าความต่างศักย์ขนาด 110V



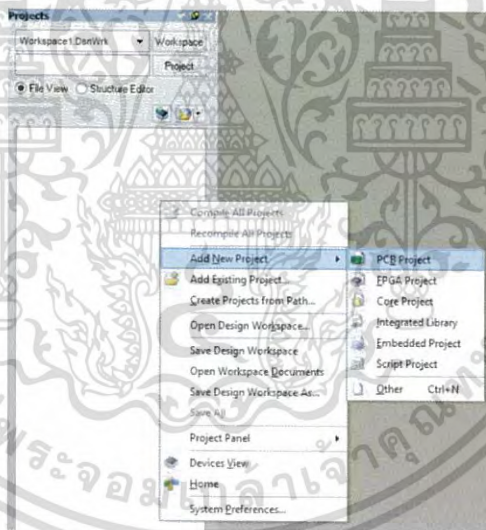
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
รูปที่ 2.53 ลักษณะของกราฟที่เราได้อุปกรณ์จับคร่อมตัวต้านทานเพื่อตรวจวัดกระแสไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 โปรแกรม Altium Designer

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจากโปรแกรม OrCAD Capture and PSpice มาออกแบบลายวงจรเพื่อนำมาประดิษฐ์เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์

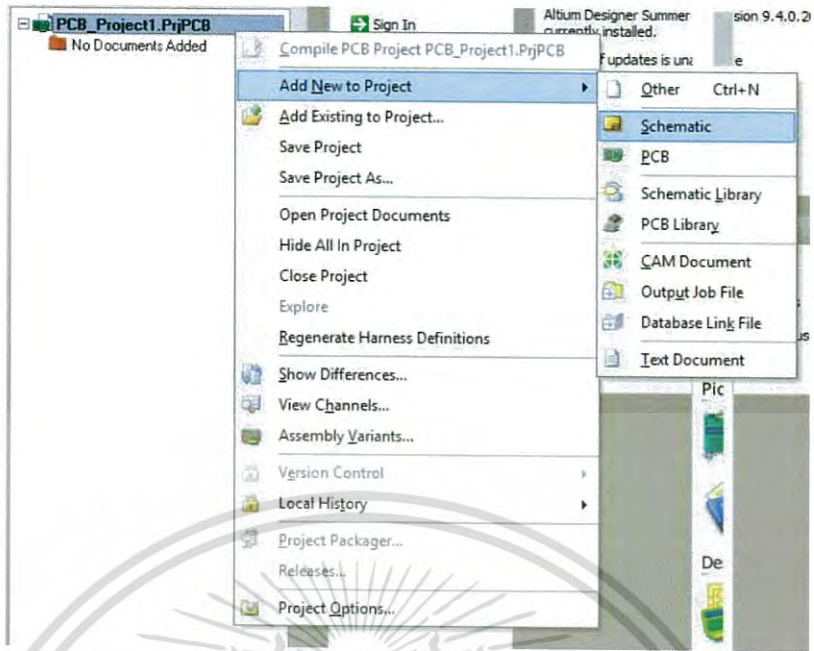


รูปที่ 2.54 โปรแกรม Altium Designer

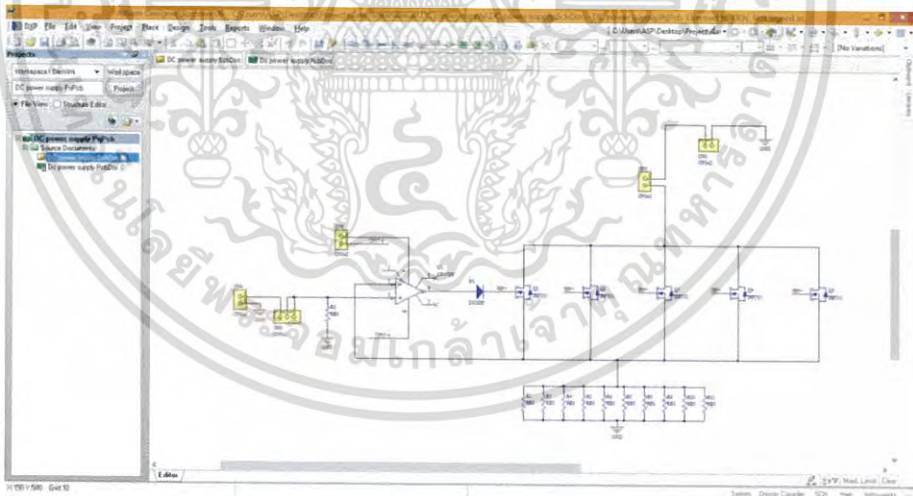


รูปที่ 2.55 การสร้างไฟล์ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

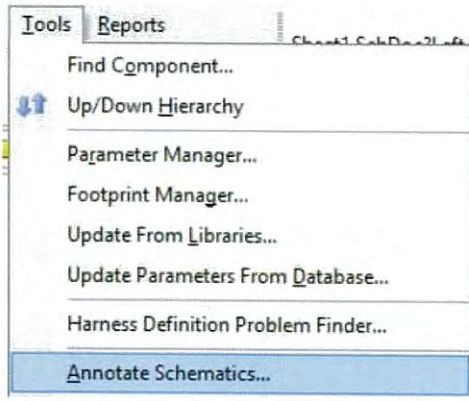


รูปที่ 2.56 แสดงการเพิ่มส่วนประกอบของ Project คลิกขวาที่ PCB_Project1.PrjPCB เลือก Add New to Project แล้วเลือก Schematic กับ PCB หลังจากนั้นทำการ Save Project As เพื่อให้การอัปเดตอุปกรณ์ขึ้นบน PCB ได้ เมื่อเลือก Schematic จะได้หน้าต่างสำหรับจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อจัดวางอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรูป

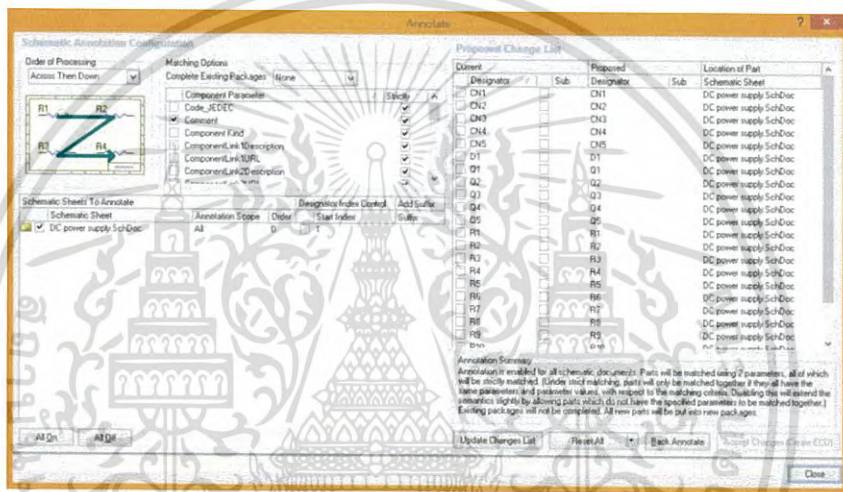


รูปที่ 2.57 แสดงร่ายวงจร DC Power Supply

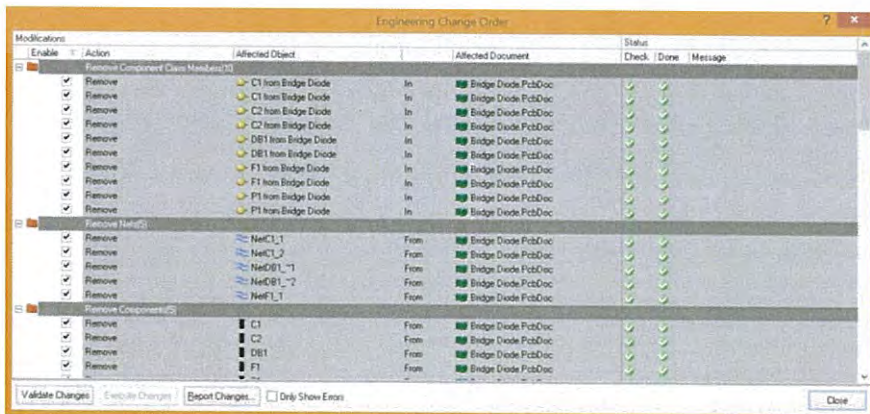
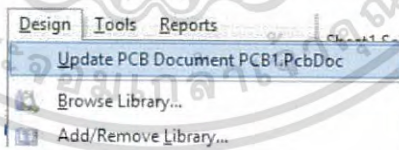
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.58 แสดงการ Annotate Schematics

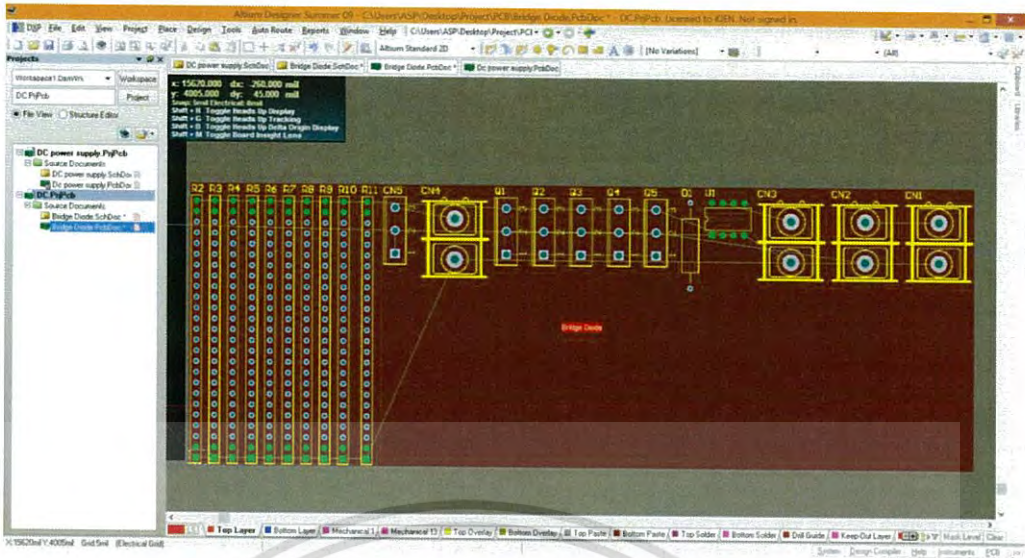


รูปที่ 2.59 แสดงคำสั่งที่ใช้ในการจัดเรียงอุปกรณ์ตามลำดับแบบอัตโนมัติ โดยคลิกที่ Update Changes List

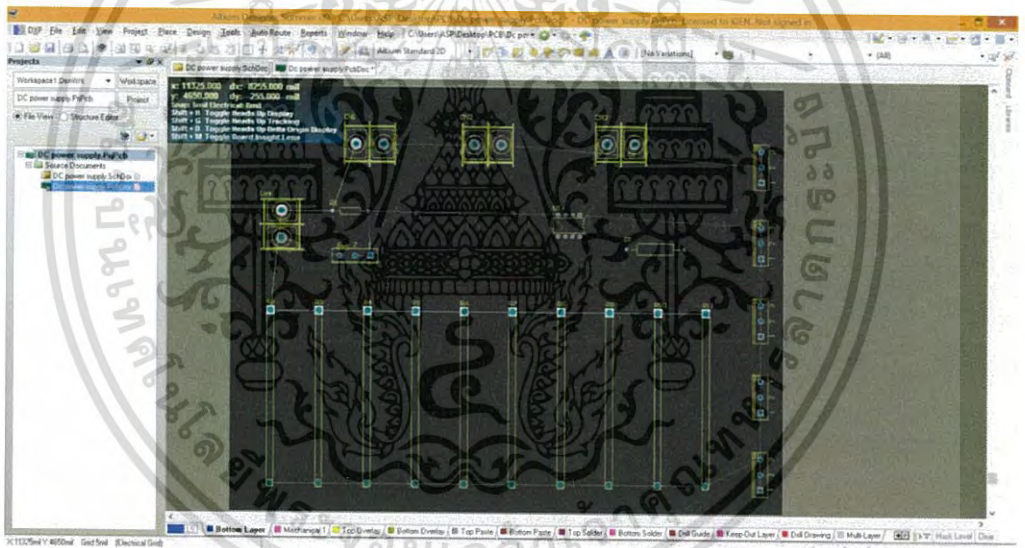


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานหรือการแจกจ่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

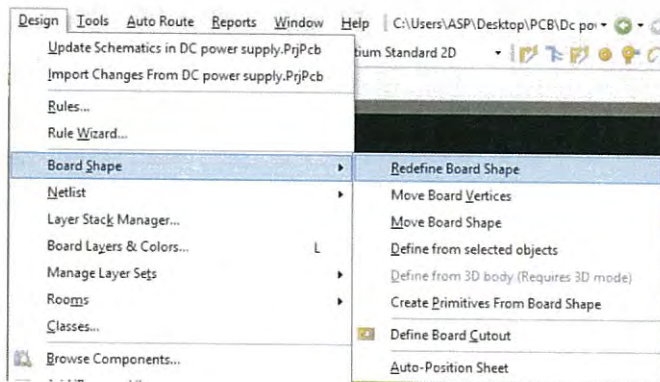
รูปที่ 2.60 แสดงการ Update PCB Document PCB1.PcbDoc



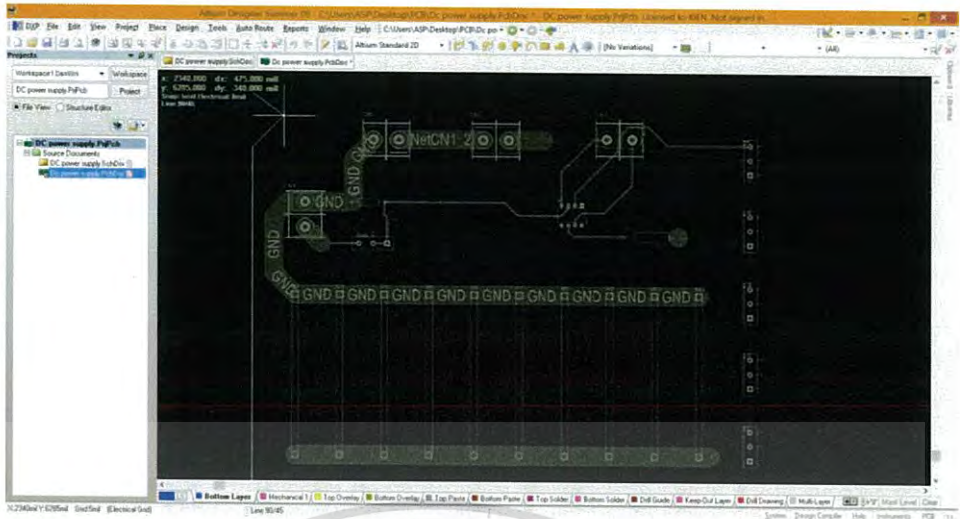
รูปที่ 2.61 แสดงการจัดวางอุปกรณ์บนแผ่น PCB กด Delete เพื่อให้พื้นที่แดงที่คลุมอุปกรณ์อยู่หายไป และจะสามารถจัดวางอุปกรณ์ทีละตัวได้ เมื่อจัดวางอุปกรณ์ตามที่เราต้องการแล้ว



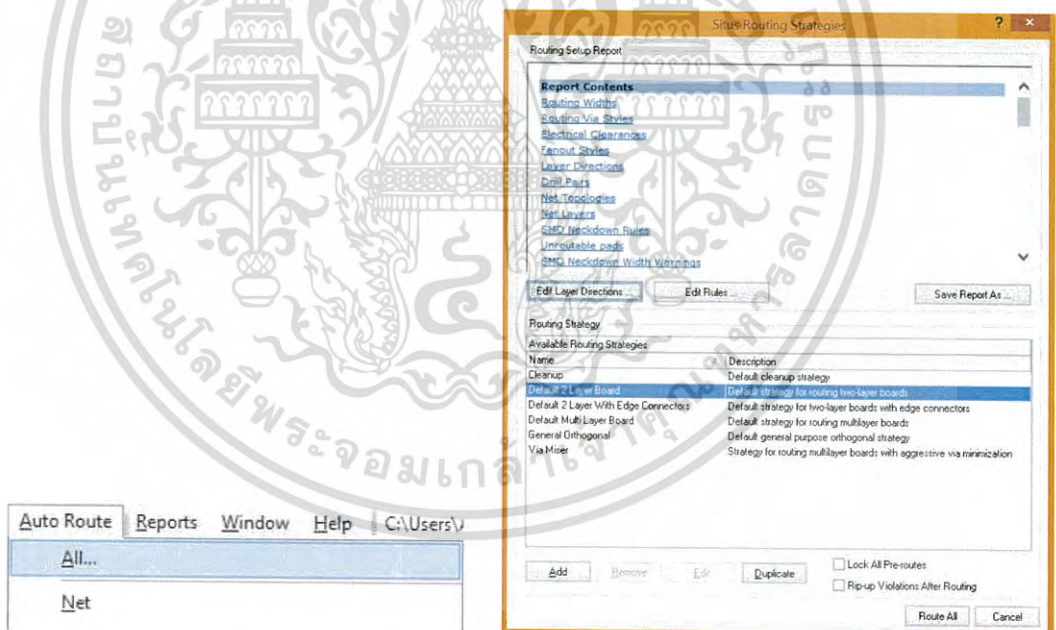
รูปที่ 2.62 การจัดวางอุปกรณ์ลงบนบอร์ด PCB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.63 คำสั่งที่ใช้ในการจำกัดพื้นที่บนบอร์ด PCB ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

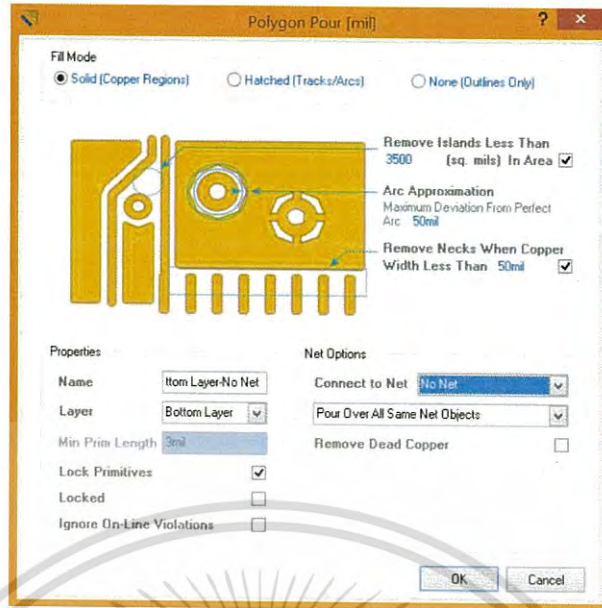


รูปที่ 2.64 การลากคลุมบริเวณพื้นที่บอร์ดเราต้องการทำการ Route (คำสั่งจะอยู่ใน Auto Route แล้วเลือก All) โดยใช้คำสั่งดังรูปที่ 58

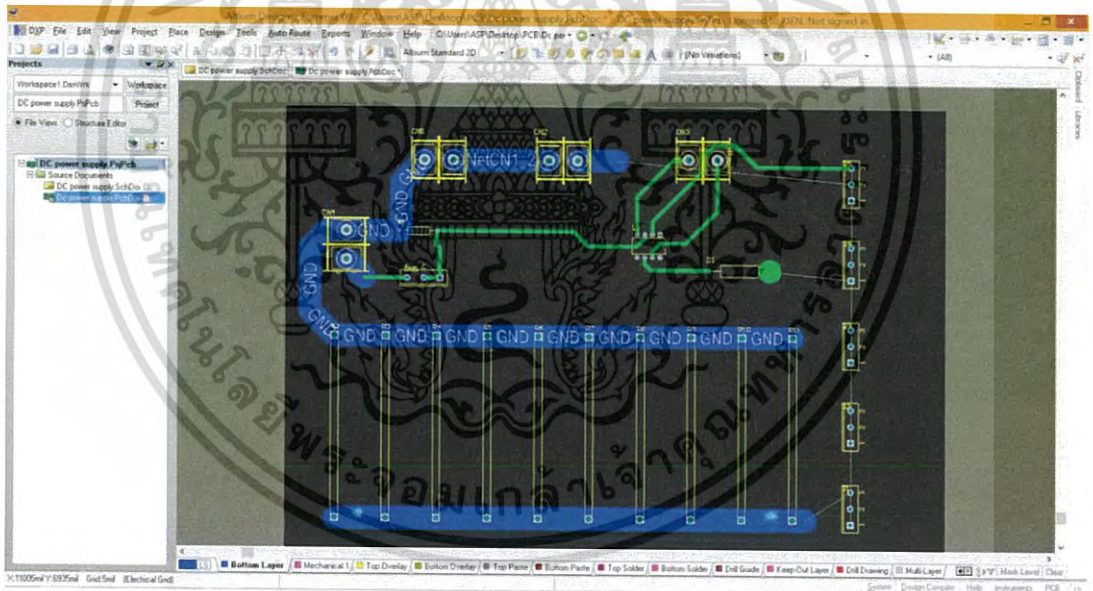


รูปที่ 2.65 หน้าต่างการปรับค่าขนาดต่างๆของเส้นก่อนทำการ Route ให้เลือก Routing Widths เพื่อปรับขนาดความกว้างของเส้น แล้วคลิก Route All เพื่อเริ่มลากเส้นอัตโนมัติ ถ้าต้องการยกเลิกการ Route (คำสั่งจะอยู่ที่ Tool เลือก Un-Route เลือก All) เมื่อ Route เสร็จแล้ว ใช้คำสั่งกำหนดขนาดของบอร์ดโดยใช้คำสั่ง Place Polygon ดังรูปที่ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

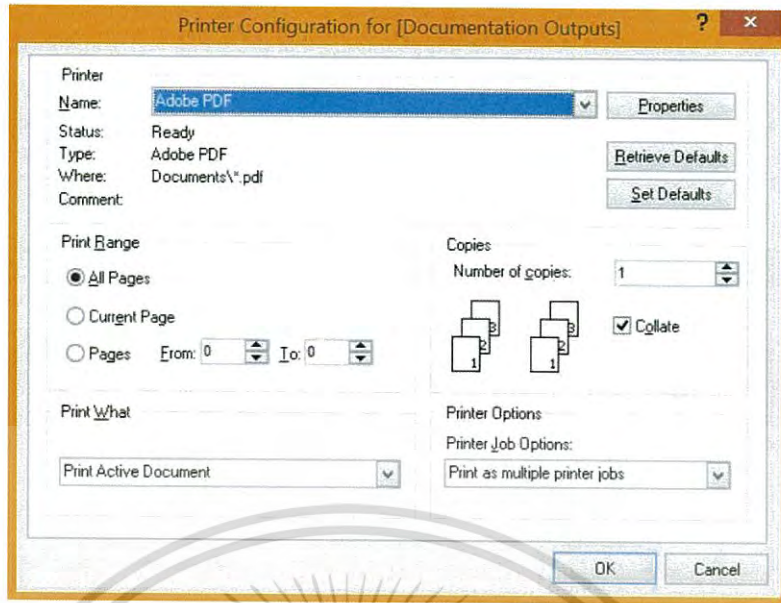


รูปที่ 2.66 Place Polygon Plane เป็นคำสั่งที่ใช้กำหนด GND ของบอร์ด ตั้งค่า Connect to Net เป็น GND แล้วกด OK หลังจากนั้นลากเส้นกำหนดขนาดของบอร์ด

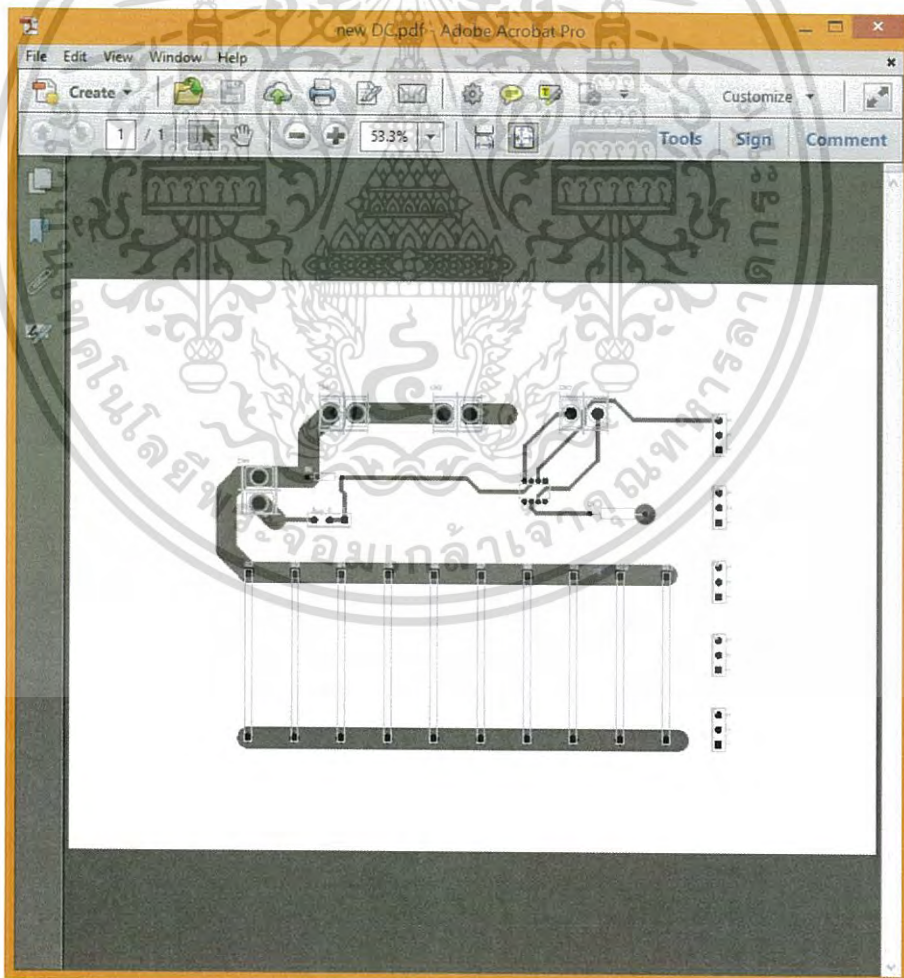


รูปที่ 2.67 แสดงผลสำเร็จหลังจากใช้คำสั่ง Place Polygon Plane แล้ว เมื่อต้องการปริ้นเป็นไฟล์ PDF ให้เลือก File เลือก Print ดังรูปที่ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.68 แสดงการเลือก Name เป็น Adobe PDF เพื่อบันทึกไฟล์ในรูปแบบของ PDF



รูปที่ 2.69 สามารถนำไฟล์ PDF นี้ไปกดปริ้นเป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

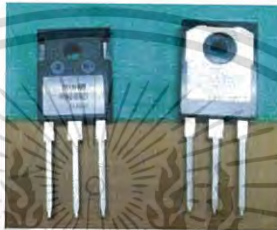
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

ในการสร้าง Power Supply เราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งต้องใช้ในการสร้างหรือออกแบบชิ้นงานจริงๆ ขึ้นมาดังนี้

1. Power MOSFET IRFP450 ทำหน้าที่เป็นทรานซิสเตอร์ ที่ใช้อธิปถลสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของ Power MOSFET

2. ตัวต้านทานชนิดเซรามิก ทำหน้าที่ในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า
 - R 20W 1.0 Ω
 - R 20W 10 Ω



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของตัวต้านทานชนิดเซรามิก

3. ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ทำหน้าที่ในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าแต่สามารถปรับค่า R ได้ 10k 10Turn สามารถหมุนปรับค่าความต้านทานได้ 10 รอบ



รูปที่ 3.3 แสดงตัวต้านทานปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

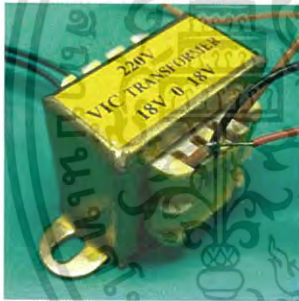
4. ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่เก็บสะสมประจุไฟฟ้าเอาไว้ เพื่อจ่ายให้กับวงจร



รูปที่ 3.4 แสดงตัวเก็บประจุขนาด CE 85°C 4000uF 400WV

5. หม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการส่งผ่านพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรโดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า

- (ก) หม้อแปลงไฟฟ้า 220V to 18V
- (ข) หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ 250V 12A
- (ค) หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ 250V 20A



รูปที่ 3.5 (ก)



รูปที่ 3.5 (ข)



รูปที่ 3.5 (ค)

6. Bridge 800V/35A ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของ Bridge diode สำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Terminal block 7pin ทำหน้าเป็นจุดเชื่อมต่อสายไฟกับวงจรในกรณีที่ใช้สายไฟขนาดใหญ่



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของ Terminal block 7pin

8. OP-AMP 07 ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของ OP-AMP

9. เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

10. เครื่องจับความร้อน ทำหน้าที่ในการจับความร้อนของอุปกรณ์แต่ละส่วนของวงจร



รูปที่ 3.10 เครื่องจับภาพความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. อุปกรณ์เสริมอื่นๆ

- 1. แผ่นปรีน EPOXY(หน้าเดียว)
- 2. เครื่องตัดบอร์ด
- 3. เครื่องปรีน laser
- 4. สายไฟ ครีมตัดสายไฟ คัตเตอร์
- 5. หัวแร้งและตะกั่ว
- 6. มัลติมิเตอร์
- 7. ฮีตซิงก์
- 8. รางไฟ
- 9. ฮอลล์เซ็นเซอร์
- 10. คัตเอาท์
- 11. ทางปลา



(1)



(2)



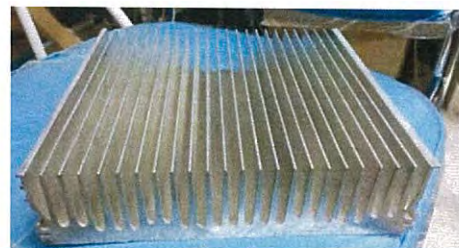
(3)



(4)



(5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ(6)การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต(7)ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(8)



(9)



(10)

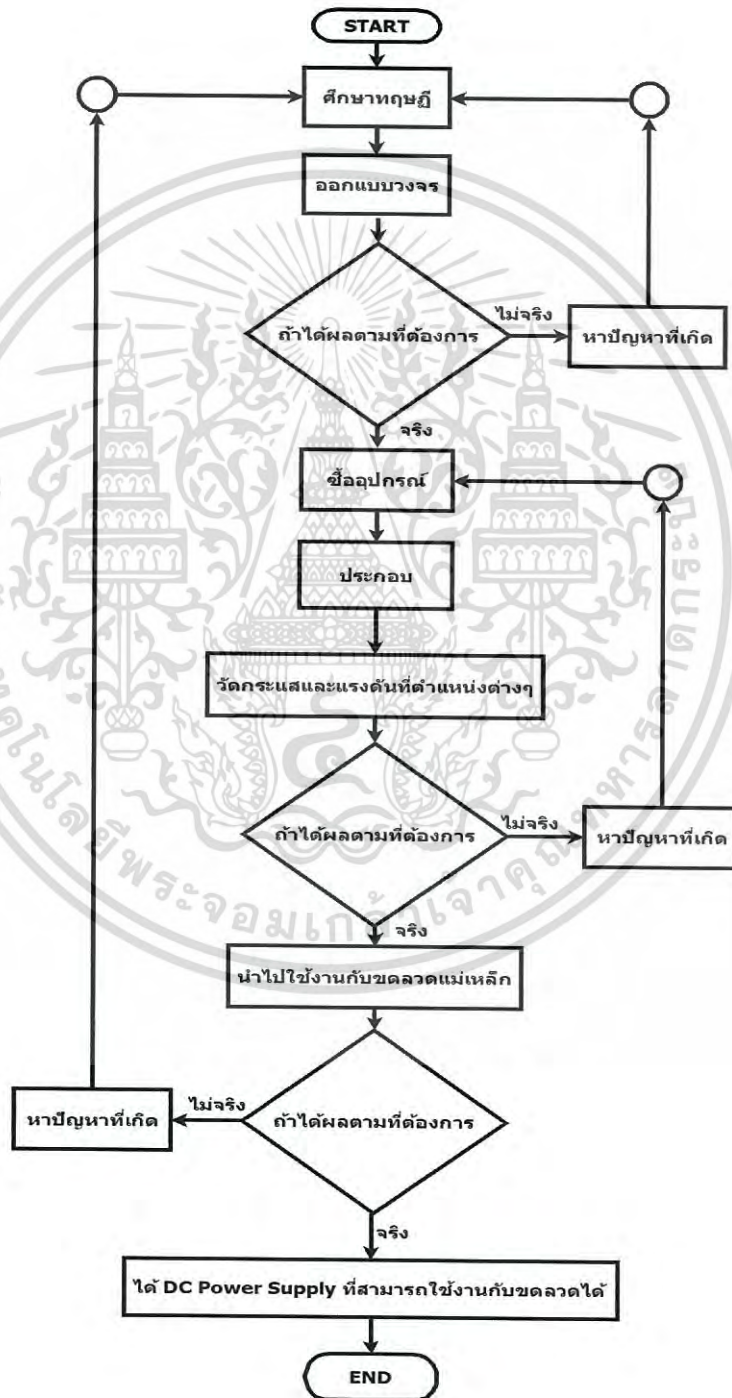


(11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

ก่อนทำการสร้างชิ้นงานขึ้นจริง เราได้ทำการ simulation ในส่วนที่เป็นวงจรที่นำมาใช้สร้าง Power Supply เพื่อลดระยะเวลาในการสร้าง ซึ่งจะสามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์รวมถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปอย่างมากเราจึงต้องวางแผนในขั้นตอนต่างๆของการออกแบบทดลองและในการสร้างขึ้นมาจริงๆเพื่อให้ได้มาซึ่ง Power Supply ที่ตรงตามความต้องการตามวัตถุประสงค์โดยมีขั้นตอนวิธีการในรูปของ Flow Chart ดังนี้



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.11 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานในการออกแบบและสร้าง DC Power Supply ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

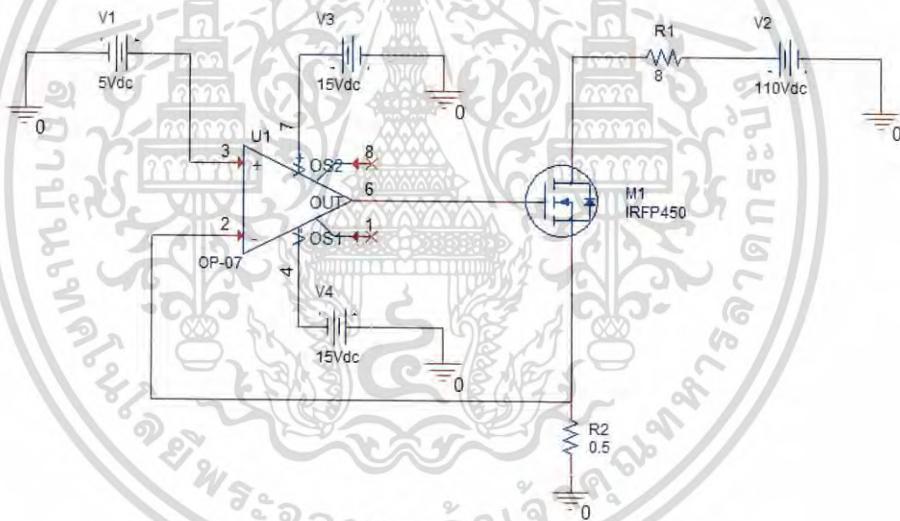
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะเป็นการนำวงจรที่ทำการ Simulation ด้วยโปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice มาสร้างให้เกิดเป็นชิ้นงานวงจรส่วนประกอบของ DC Power Supply ซึ่งจะพิจารณาโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากปัญหาและปัจจัยต่างๆที่เกิดจากค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ค่าความร้อนที่เกิดขึ้น รวมไปถึงลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรดังกล่าวว่าอยู่ในช่วงที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างไร

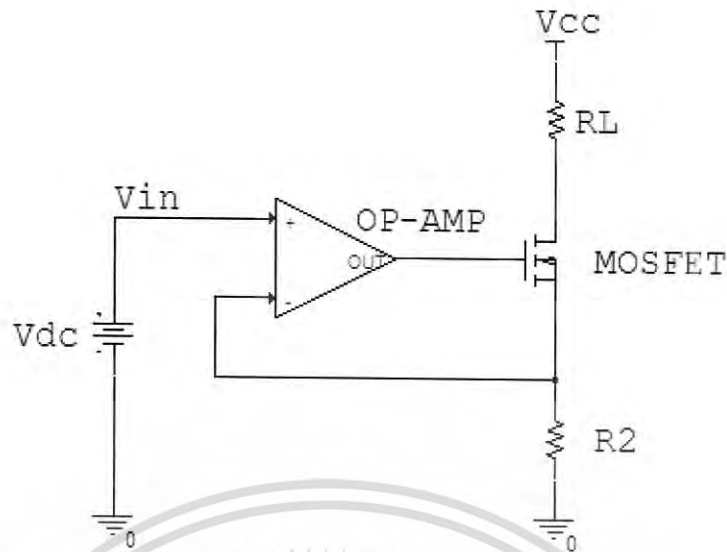
4.1 ผลของการ Simulation ด้วยโปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice

ในการ Simulation วงจรที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม Orcad Capture และ PSpice โดยอ้างอิงตามทฤษฎีจากที่ทำการศึกษาค้นสมบัติของตัวอุปกรณ์ OP-07 ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยนำทฤษฎีมาใช้ในการออกแบบโดยตรง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะวงจรที่ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม OrCAD Capture

จากรูปที่ 4.1 ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวงจรโดยกำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ V2 โดยกำหนดให้มีค่าความต่างศักย์เท่ากับ 110 โวลต์ ป้อนให้กับโหนดขนาด 8 โอห์ม โดยมี Op-Amp เป็นตัวควบคุมการทำงานของ Power MOSFET IRFP450 ที่ทำหน้าที่ในการปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลตามที่ต้องการ โดยจะขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้กับขา 3 ของ OP-07 ซึ่งตามทฤษฎี Voltage control Current source ซึ่งใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการควบคุมกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบทฤษฎี Voltage control Current source

จากรูปที่ 4.2 เป็นทฤษฎี Voltage control Current source โดยเอาท์พุทของ OP-AMP จะทำการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยควบคุมที่ขา Gate ของ MOSFET ด้วยการป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้าไปที่ตำแหน่ง V_{in} ซึ่งสามารถอธิบายตามสมการได้ดังนี้

$$I_L = V_{in} / R_2 \quad (4.1)$$

เมื่อ

I_L คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

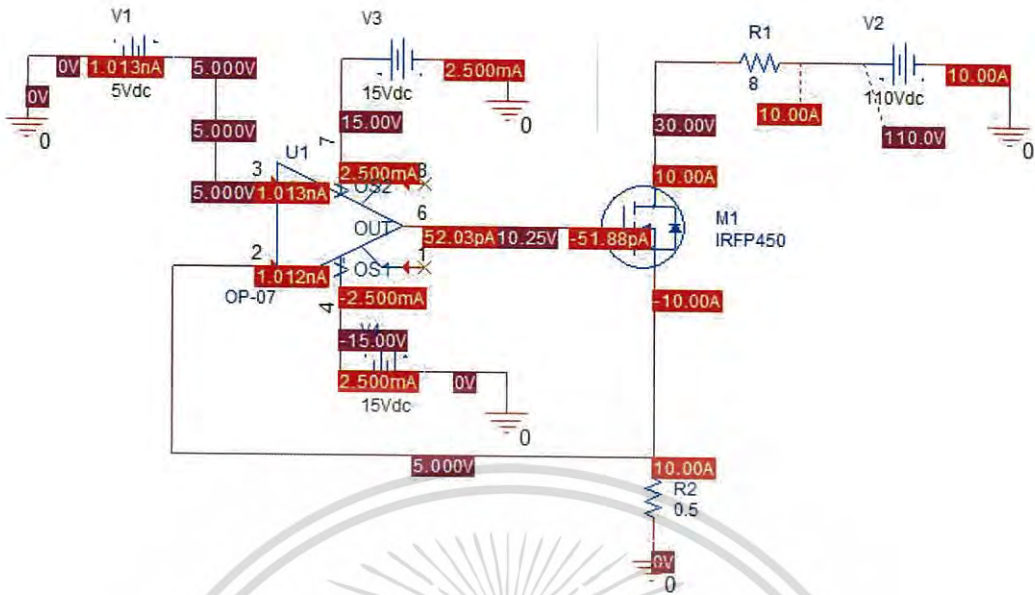
V_{in} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป็นตัวกำหนดการไหลของกระแสไฟฟ้า

R_2 คือ ตัวต้านทานที่อ้างอิงกับวงจร

จากสมการที่ (4.1) จะได้ว่า

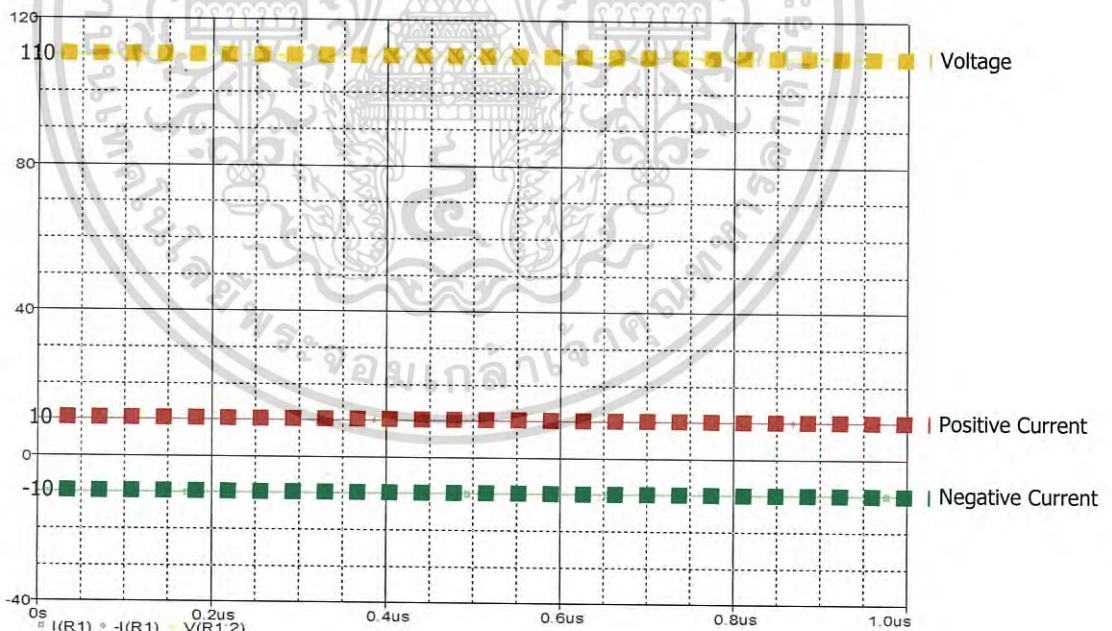
$$\begin{aligned} I_L &= 5V / 0.5 \\ &= 10A \end{aligned}$$

โดยค่าที่คำนวณจากทฤษฎีดังกล่าว จะได้กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโหลดเท่ากับ 10 แอมแปร์ โดยต่อมาได้ Simulation ด้วยโปรแกรม PSpice ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงผลการ Simulation โดยโปรแกรม PSpice

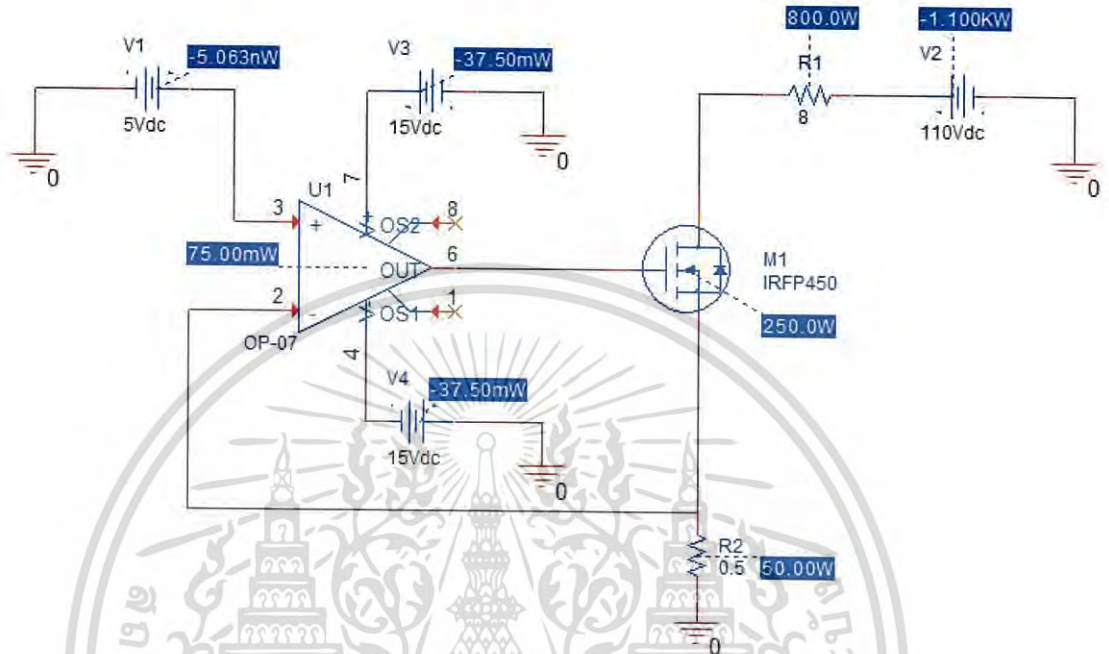
จากรูปที่ 4.3 ผู้วิจัยได้ทำการ Simulation วงจรโดยใช้โปรแกรม PSpice ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.1 ให้ผลที่เท่ากันซึ่งสังเกตจากกราฟที่ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าตำแหน่งที่ตกคร่อมโหลดโดยเส้นสีเหลืองด้านบนสุดแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขนาด 110 โวลต์ บริเวณล่างของกราฟเส้นกราฟสีแดงแสดงค่ากระแสไฟฟ้าฝั่ง Positive Current ของโหลดขนาด +10 แอมแปร์ และเส้นสีเหลืองแสดงค่ากระแสไฟฟ้าฝั่ง Negative Current ของโหลดขนาด -10 แอมแปร์ ซึ่งด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ผลตามที่ต้องการก็ได้ทำการสังเกตกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่บริเวณต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความร้อนที่เกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์ต่างๆ โดยการใช้โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์(watt)

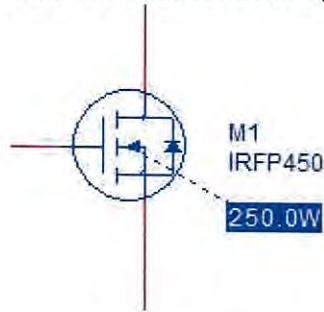
จากรูปที่ 4.5 แสดงกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวอุปกรณ์ต่างๆ บนวงจรที่ทำการ Simulation พบว่าอุปกรณ์ที่เกิดปัญหาเรื่องความร้อนจากกำลังไฟฟ้ามียู่ด้วยกันทั้งหมด 2 จุด คือ ตัวอุปกรณ์ Power MOSFET ตำแหน่ง (M1) และ ตัวต้านทานไฟฟ้า (R2) ปัญหาในจุดแรกโดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของตัว Power MOSFET IRFP450 มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 190 วัตต์ เท่านั้นแต่เนื่องจากหากนำมาใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการจำกัดขอบเขตคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์ลงเพื่อลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของตัวอุปกรณ์ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิธีการออกแบบและแก้ไขวงจรเพิ่มเติมเพื่อให้วงจรมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยมากที่สุด

4.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหาจากการ Simulation

ผลการ Simulation นั้นสามารถแสดงผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของตัวอุปกรณ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ของวงจรซึ่งพบปัญหาที่เกิดขึ้น 2 จุดดังนี้

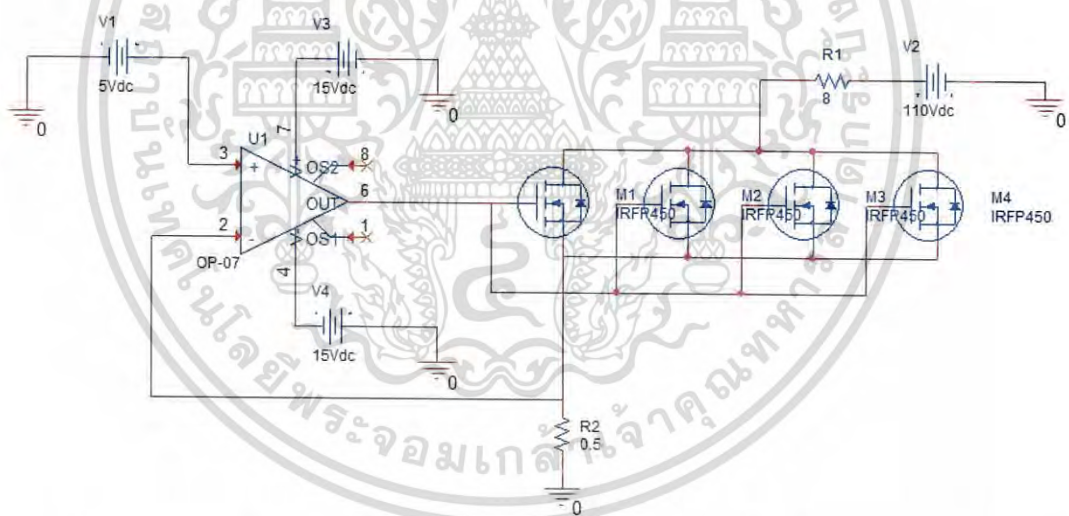
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ปัญหาความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวอุปกรณ์ Power MOSFET IRFP450



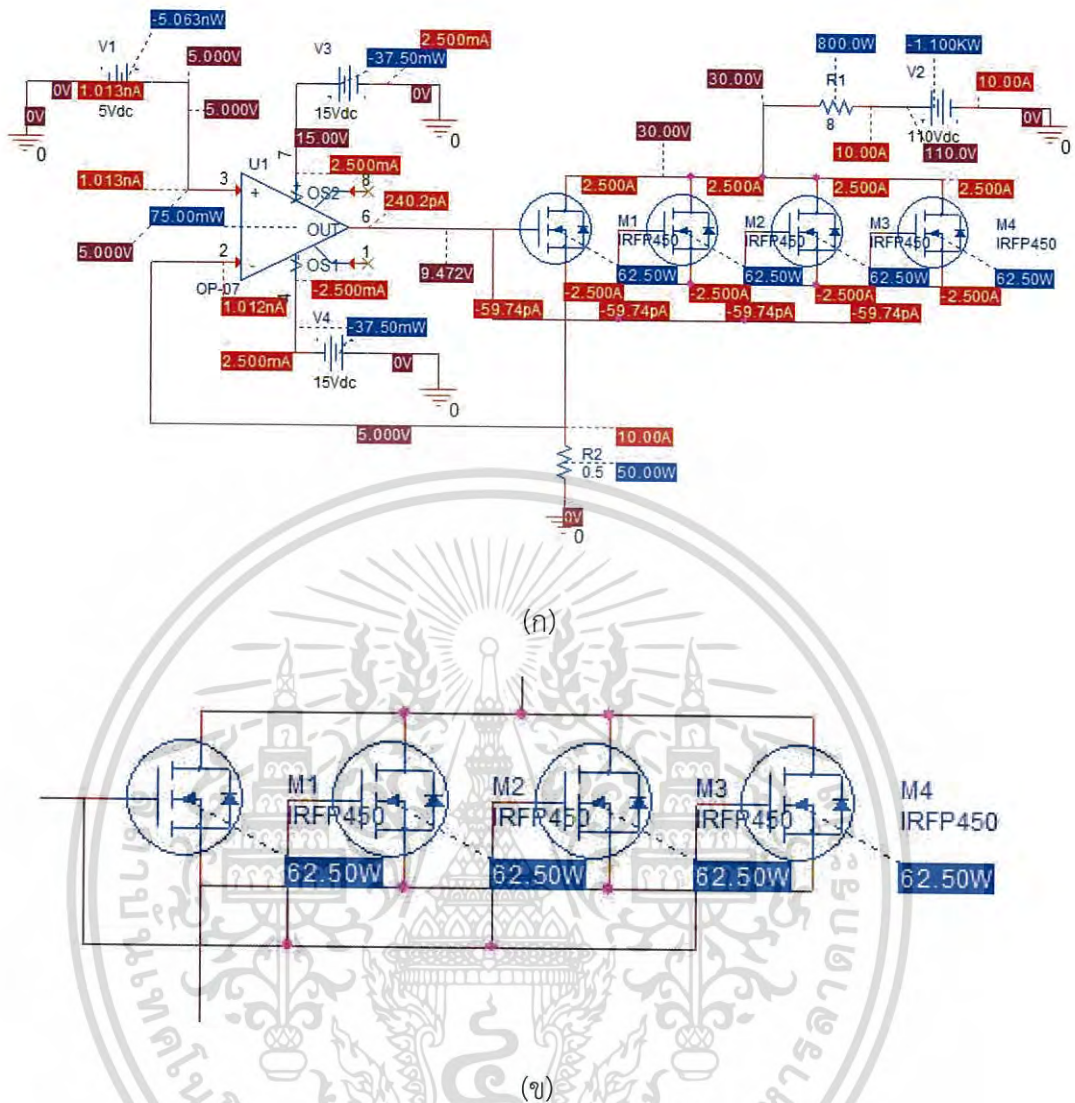
รูปที่ 4.6 ปัญหาความร้อนที่เกิดกับตัวอุปกรณ์ Power MOSFET IRFP450

การแก้ไขปัญหานี้ของอุปกรณ์ Power MOSFET IRFP450 ทางวงจรไฟฟ้านั้น การเพิ่มจำนวนของตัวอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในวงจรโดยการนำอุปกรณ์มาต่อขนานกันจะทำให้ตัวอุปกรณ์มีการแบ่งหน้าที่การทำงานตามจำนวนที่เพิ่มเข้ามา ซึ่งทำให้อุปกรณ์หนึ่งตัวลดหน้าที่การทำงานลงไปได้ รวมไปถึงความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและลดความเสี่ยงเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับตัวอุปกรณ์ในวงจรได้อย่างมาก ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบวงจรขึ้นมาใหม่โดยนำ Power MOSFET มาต่อขนานกันดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการเพิ่มอุปกรณ์ IRFP450 โดยนำมาต่อขนานเพื่อแก้ไขปัญหาระความร้อนที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.7 เป็นการแก้ไขปัญหาระความร้อนที่เกิดขึ้นของตัวอุปกรณ์ Power MOSFET IRFP450 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มอุปกรณ์นี้อีก 3 ตัว รวมทั้งสิ้นเป็น 4 ตัวโดยวิธีการต่อขนานกัน จากนั้นทำการ Simulation พร้อมสังเกตค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

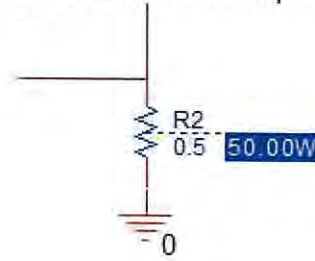


รูปที่ 4.8 (ก) ผลการ Simulation จากการเพิ่มจำนวน IRFP450 ต่อขนานกันของตัวอุปกรณ์
 (ข) รูปที่ทำการขยายเพื่อให้เห็นผลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัว IRFP450 ชัดเจนยิ่งขึ้น

จากรูปที่ 4.8 ทำการสังเกตผลจากการแก้ปัญหา โดยทำการ Simulation ด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าจาก 250.00 วัตต์ ลงเหลือ 62.50 วัตต์ ด้วยการเพิ่มอุปกรณ์โดยวิธีการต่อขนานกัน ซึ่งไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้บริเวณที่โหลดตั้งไปใช้ จึงสามารถนำวิธีนี้ไปใช้แก้ปัญหาในการสร้างวงจรขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้งานต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปัญหาความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับอุปกรณ์ตัวต้านทานไฟฟ้าอ้างอิง



รูปที่ 4.9 ปัญหาความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับอุปกรณ์ตัวต้านทานไฟฟ้า R2

เมื่อสังเกตกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของตัวต้านทาน R2 ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.00 วัตต์ พบว่าตัวต้านทานที่มีอยู่ตามท้องตลาดมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าได้น้อยซึ่งอยู่ที่ประมาณ 20 วัตต์ เท่านั้น แต่เนื่องจากหากนำมาใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการจำกัดขอบเขตคุณสมบัติของ ตัวอุปกรณ์ลงเพื่อลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของตัวอุปกรณ์เช่นกันกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ ในความเป็นจริงการหาอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าตรงตามต้องการได้นั้นมีราคาค่อนข้างสูงประกอบกับผู้วิจัยมีตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม จำนวนหลายตัวอยู่แล้ว ซึ่งสามารถทนกำลังไฟฟ้าได้ 20.00 วัตต์ ต่อหนึ่งตัว จึงจำเป็นต้องหาวิธีการแก้ไขโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ ซึ่งสามารถนำวิธีการแก้ไขปัญหาที่คล้ายกับวิธีของ Power MOSFET IRFP450 มาใช้ได้ คือ นำวิธีการเพิ่มอุปกรณ์ทางไฟฟ้าโดยการต่อขนาน แต่วิธีการต่อขนานของตัวต้านทานแต่ละครั้งนั้นจะแตกต่างกับ MOSFET คือมีการลดค่าคุณสมบัติความต้านทานของอุปกรณ์ลงครึ่งหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น ตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม นำมาต่อขนานกัน 2 ตัว จะทำให้ค่าความต้านทานลดลงเหลือ 5 โอห์ม ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎีดังนี้

$$\frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (4.2)$$

$\sum R$ คือ ผลลัพธ์ของค่าความต้านทาน

R_1 คือ ตัวต้านทานที่นำมาต่อขนานตัวที่ 1

R_2 คือ ตัวต้านทานที่นำมาต่อขนานตัวที่ 2

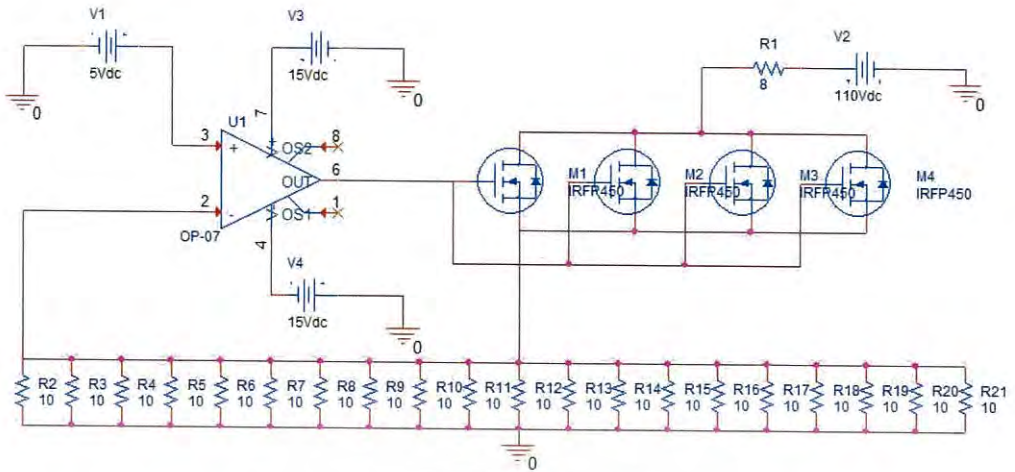
จากสมการที่ (4.2) จะได้ว่า

$$\frac{1}{\sum R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} \quad (4.3)$$

$$\sum R = 5 \text{ โอห์ม}$$

ซึ่งการทำให้ได้ผลลัพธ์ของค่าความต้านทานที่ต้องใช้ในวงจรมีค่า 0.5 โอห์มนั้น จากอุปกรณ์ที่มีอยู่จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม 20 วัตต์ ทั้งหมด 20 ตัวดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

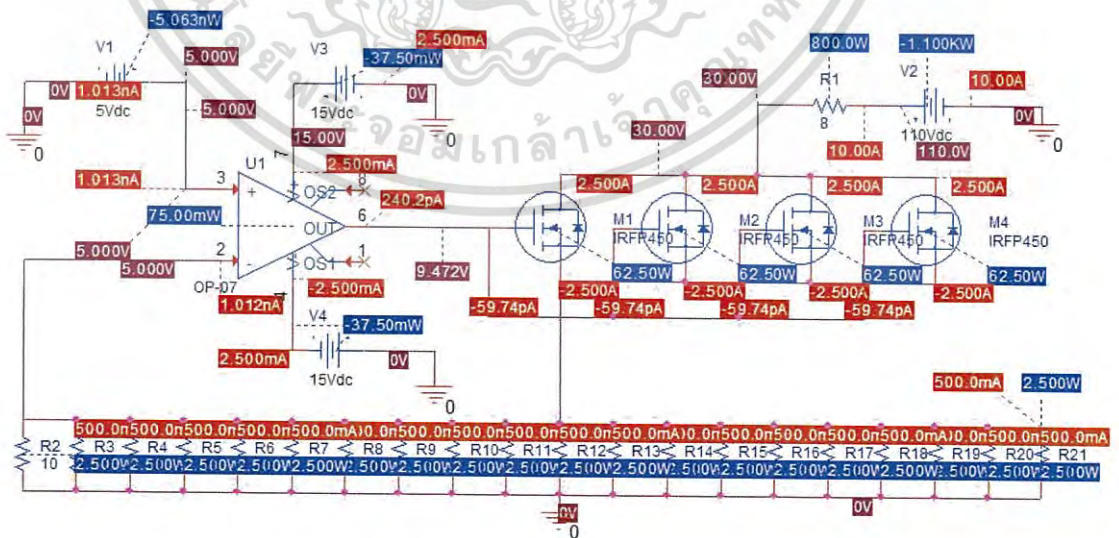


รูปที่ 4.10 การเพิ่มตัวต้านทานจำนวน 20 ตัว นำมาต่อขนานเพื่อลดปัญหาความร้อนที่เกิด

$$\frac{1}{\sum R} = \left(\frac{1}{10_1} + \frac{1}{10_2} + \frac{1}{10_3} + \dots + \frac{1}{10_{18}} + \frac{1}{10_{19}} + \frac{1}{10_{20}} \right) \tag{4.4}$$

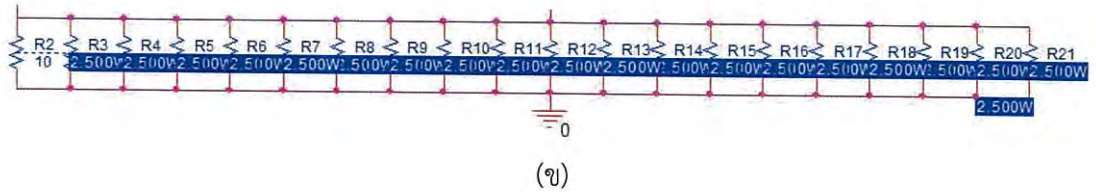
$$\sum R = 0.5 \text{ โอห์ม}$$

ซึ่งค่าที่คำนวณจากทฤษฎีในสมการที่ (4.1) สามารถคำนวณค่าลัทธิความต้านทานทุกตัวได้ดังสมการที่ (4.4) โดยใช้ตัวต้านทาน 10 โอห์ม 20 วัตต์ จำนวน 20 ตัว จะได้ค่าความต้านทานขนาด 0.5 โอห์ม ต่อมาสังเกตกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ทดสอบด้วยการ Simulation โดยโปรแกรม PSpice ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

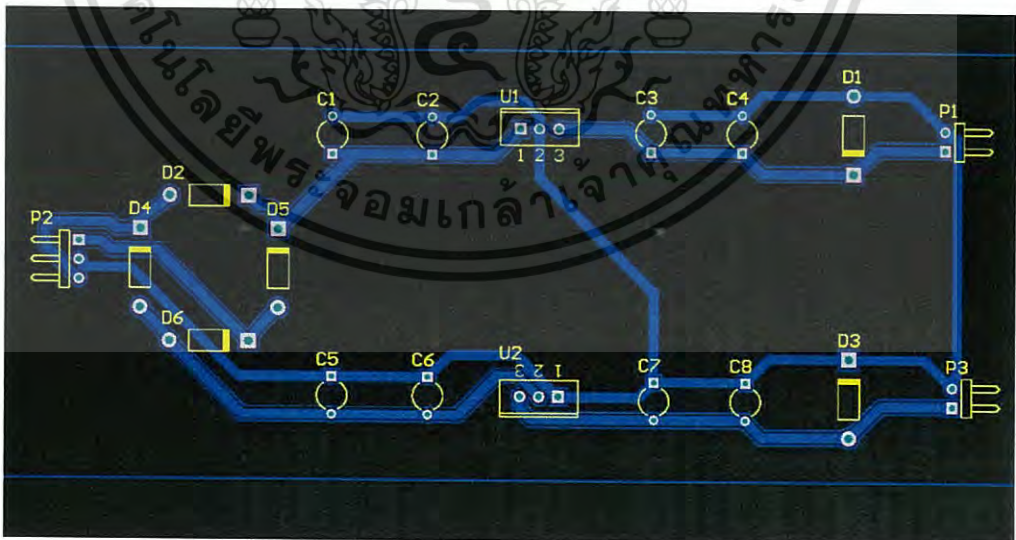


รูปที่ 4.11 (ก) ผลการ Simulation จากการเพิ่มจำนวนตัวต้านทานที่ต่อขนานกันของตัวอุปกรณ์
(ข) รูปที่ทำการขยายเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนกำลังไฟฟ้าต่อการเพิ่มตัวต้านทานยิ่งขึ้น

จากรูปที่ 4.11 ทำการสังเกตผลจากการแก้ปัญหา โดยทำการ Simulation ด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่ง ทำโดยการเพิ่มตัวต้านทานโดยการต่อขนานกันภายในวงจรจำนวน 20 ตัว สามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าจาก 50.00 วัตต์ ลงเหลือ 2.50 วัตต์ ได้ ซึ่งไม่เกิดผลกระทบต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้บริเวณที่โหลดดึงไปใช้งาน เช่นเดียวกับการแก้ปัญหาวิธีการเดียวกับ Power MOSFET วงจรนี้จึงสามารถนำไปออกแบบและเริ่มเขียนลายวงจรเพื่อให้สามารถสร้าง DC Power Supply เพื่อจ่ายให้กับโหลดหรือขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานและมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นได้

4.3 ผลของการสร้างลายวงจรด้วยโปรแกรม Altium Designer

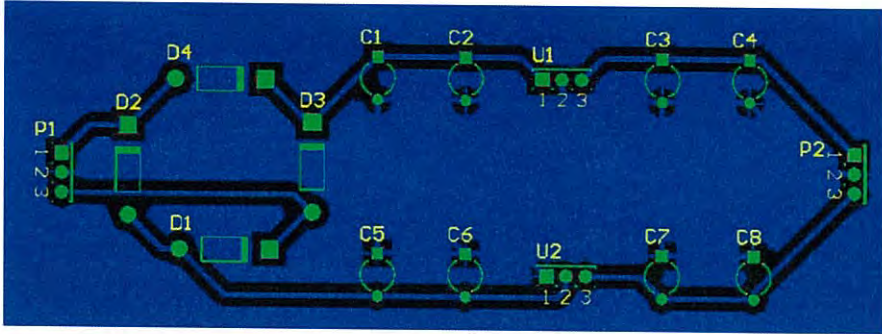
จากผลของการ simulation จากโปรแกรม OrCad Capture และ PSpice จึงเริ่มทดลองสร้างลายวงจรโดยใช้โปรแกรม Altium Designer โดยต้องปรับแต่งขนาดของอุปกรณ์ และขนาดของสายไฟที่เหมาะสมกับขนาดของบอร์ด ถ้าอุปกรณ์มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้การ Route สายไฟเกิดข้อผิดพลาดขึ้น เช่นเดียวกับขนาดของสายไฟที่ต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับกระแสที่เกิดขึ้นกับวงจรนั้น



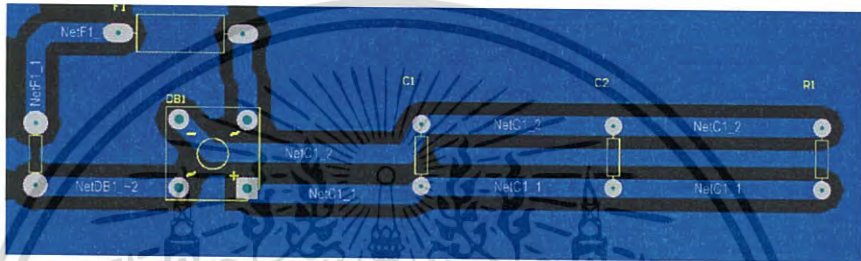
รูปที่ 4.12 ลายวงจรและส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ IC

ปัญหาที่พบการลากสายไฟเส้นที่เป็น Ground ซึ่งอยู่ในระยะที่ห่างจนเกินไป จึงต้องทำการรวม Ground ไว้ที่จุดเดียวกัน เพื่อลดการใช้สายไฟลงและง่ายต่อการสังเกต ป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

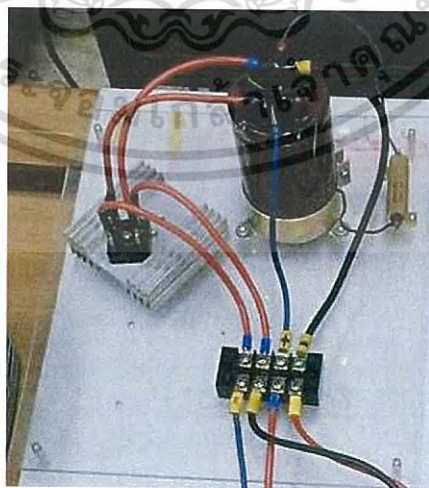


รูปที่ 4.13 ลายวงจรและส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ IC



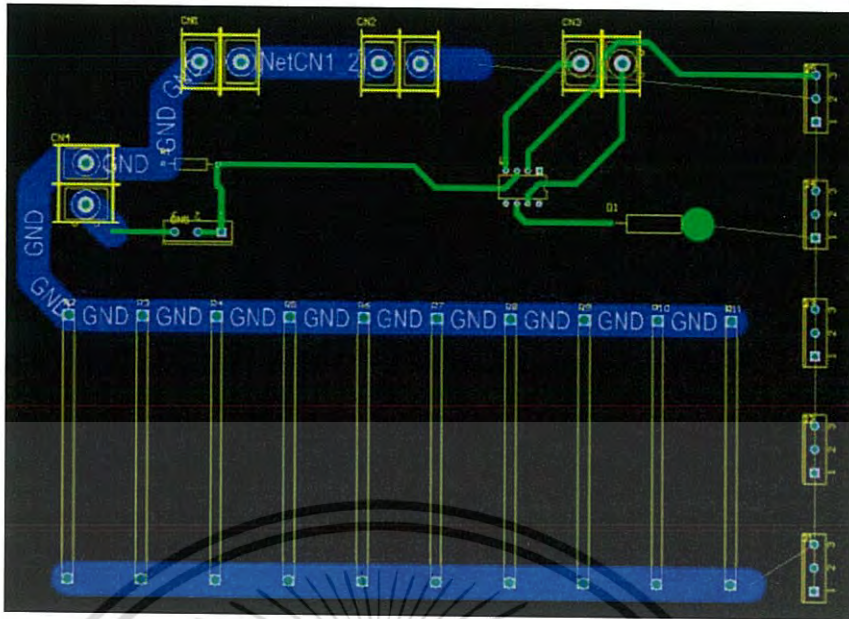
รูปที่ 4.14 ลายวงจร Diode bridge ที่มีการจัดเรียงอุปกรณ์ และปรับขนาดของสายไฟแล้ว

ในส่วนของวงจร Diode bridge ที่ออกแบบไว้ต้องเปลี่ยนรูปแบบไปเนื่องจาก มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสูงและขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้มีขนาดใหญ่ ในส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าไหลสูงนั้นต้องมีการตัด Filter ออกและเพิ่ม Cut out Electrical ขนาด 20 A ก่อนเข้าวงจร Diode bridge ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ใช้มีขนาดใหญ่จึงเปลี่ยนรูปแบบของบอร์ดเป็นการต่อสายไฟแทน เพื่อลดปัญหาเรื่องความร้อนดังรูป 4.14



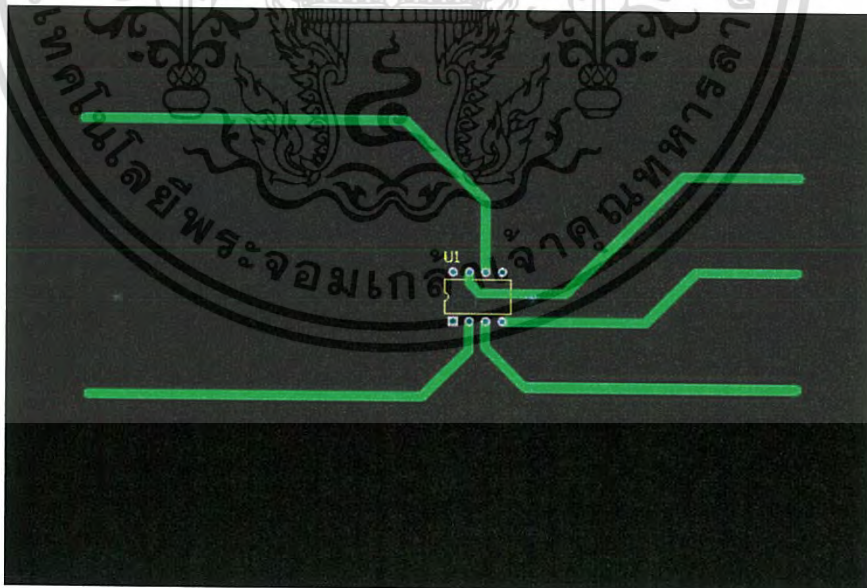
รูปที่ 4.15 แสดงวงจร Bridge diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ลายวงจร DC Power Supply ที่มีการจัดเรียงอุปกรณ์ และปรับขนาดของสายไฟแล้ว

ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ มีพื้นที่สำหรับการใช้สายไฟในการเชื่อมต่อที่จำกัดและความร้อนที่เกิดขึ้นบนบอร์ด จึงต้องมีการแยกส่วนประกอบของบอร์ดออก โดยในบอร์ดจะใช้เพียงลายวงจรของ OP-07 ซึ่งส่วนประกอบหลักของบอร์ดนี้ และในส่วนที่เหลือจะใช้สายไฟในการเชื่อมต่อเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นกับตัวบอร์ด



รูปที่ 4.17 แสดงลายวงจรของ OP-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของการสร้าง DC Power Supply

หลังจากได้ทำการ Simulation ด้วยโปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice จนถึงขั้นตอนการสร้างวงจรขึ้นมา และนำมาทำการทดสอบโดยการวัดมัลติมิเตอร์ ณ ที่ตำแหน่งต่างๆของวงจร ซึ่งจะสามารถทราบค่าที่ได้ว่าจาก Simulation และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎี

ขั้นตอนแรกผู้วิจัยทำการวัดแหล่งกำเนิดความต่างศักย์หรือบริเวณที่ต้องการป้อนค่าแรงดันให้กับตัว OP-07 ที่จะทำการควบคุมกระแสที่ไหลในวงจรให้ได้ค่าที่แม่นยำจำเป็นต้องใช้ Oscilloscope มาใช้เช็คตำแหน่งของลักษณะสัญญาณจากแหล่งกำเนิด ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การทดสอบวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ IC ซึ่งได้ค่าไฟบวกและไฟลบที่ต้องการ

จากรูปที่ 4.18 (ก) สังเกตว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้มีค่าเท่ากับ -16.57 โวลต์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิม 10.46 % และในส่วนของรูปที่ 4.18 (ข) ค่าความต่างศักย์ที่มีค่าเท่ากับ 15.15 โวลต์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิมเพียง 1.00 % ซึ่งค่าที่ได้จากรูป (ก) ควรจะมีค่า -15.00 โวลต์ โดยที่รูป (ข) ควรจะเป็นคือ 15.00 โวลต์ แต่ยังคงถือว่าเป็นช่วงค่าที่รับได้ตามที่ระบุในดาต้าชีท (Data Sheet)

ขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยได้ทำการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วงจรบริดจ์ไดโอดซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 110 โวลต์ ในการทดลองครั้งแรกได้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมกับวงจรบริดจ์ไดโอดพบว่ามีความผิดปกติของสัญญาณ output ที่ออกจากวงจร ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการตรวจเช็ค ณ ตำแหน่งต่างๆของวงจรและพบว่าหลังจากที่ค่าแรงดันเข้าไปยังตัวเก็บประจุหลักที่อยู่ในวงจรและผ่านออกมานั้นที่มีค่าที่คลาดเคลื่อนไปเพิ่มขึ้นกว่าเดิม จึงได้หาสาเหตุของปัญหาและทำการทดลองใหม่โดยใช้ หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถปรับค่าแรงดันได้นำมาวัดค่า Over Voltage ที่เกิดขึ้นโดยทำการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ค่าแรงดันต่างๆ โดยเริ่มต้นจากประมาณ 5 โวลต์และปรับเพิ่มขึ้นช่วงความต่างที่ 5 โวลต์ต่อเนื่องจนกว่า V_{out} ที่ได้จะเท่ากับ 110 โวลต์ ที่จะนำมาใช้ในการป้อนแรงดันให้กับตัวขดลวดหรือโหลดในวงจรจากการทดสอบแล้วทำการวัดด้วยมัลติมิเตอร์ของวงจรบริดจ์ไดโอด ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้นี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นการใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



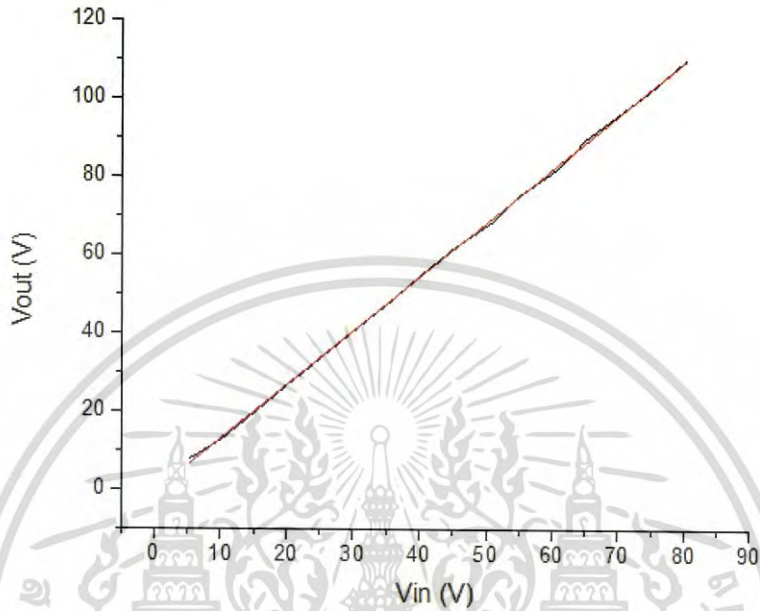
รูปที่ 4.19 แสดงการต่อวงจรของบริดจ์ไดโอด

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวัดค่า V_{in} และ V_{out}

V_{in} (V)	V_{out} (V)
5.20	7.80
10.20	13.12
15.25	20.13
20.04	26.78
25.00	33.63
30.23	40.87
35.34	47.80
40.80	55.80
45.20	61.80
50.80	68.40
55.30	75.60
60.70	81.90
65.10	89.60
70.30	96.20
75.20	102.40
80.00	109.50
80.50	110.10

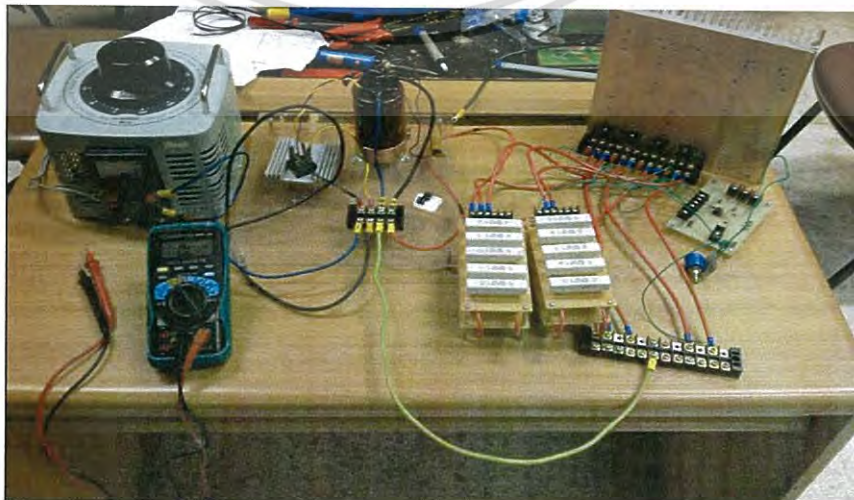
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการป้อนความต่างศักย์เข้าไปในวงจร จะเห็นว่า V_{in} กับ V_{out} มีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจาก $V_{peak} = 1.414 \times V_{rms}$ และ V_{rms} คือ V_{in} ค่าที่ได้เป็นไปตามค่าทฤษฎีซึ่งแสดงจากค่าความชันของกราฟแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับ V_{out}

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับ V_{out} มีค่าความชันเท่ากับ 1.371 และค่า R^2 เท่ากับ 0.99976 ซึ่งขั้นตอนต่อมาหลังจากได้ทำการทดสอบแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ที่ใช้ป้อนให้กับตัวอุปกรณ์บนวงจรแล้วจึงได้ทำการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจริงในวงจร DC Power Supply โดยภาพรวมแสดงดังรูป ที่ 4.21 และขั้นตอนต่อมาได้ทำการทดลองโดยการใช้อุปกรณ์ MOSFET จำนวน 4 ตัวแล้วทำการวัดค่าได้ผลดังตารางที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.21 แสดงภาพโดยรวมของวงจร DC Power Supply Power ที่ใช้ MOSFET 4 ตัว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง

Non-inverting Input (Volt)	Inverting Input (Volt)	I(A)		V _{out} (Volt)
		Variable transformer	Load	
0.716	1.867	2.91	2.10	19.78
2.101	2.161	5.36	4.10	40.19
3.176	3.196	7.64	6.10	58.40
4.290	4.390	9.77	8.00	73.80

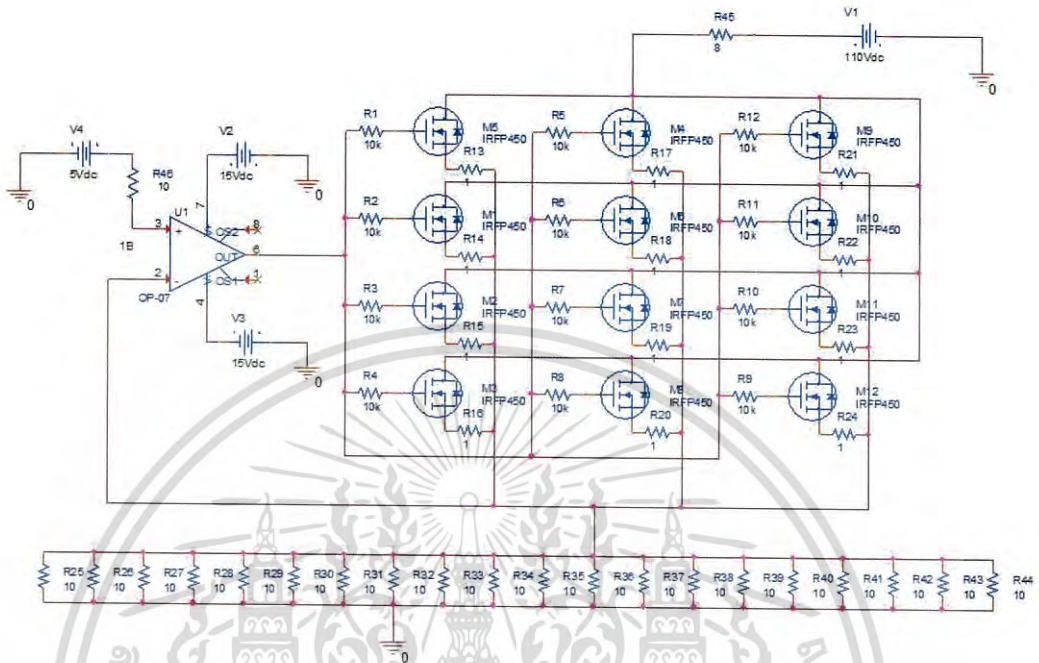
จากตารางแสดงผลการทดลองโดยการใช้ MOSFET จำนวน 4 ตัว ได้ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า(Load) ได้ขนาด 8 แอมแปร์แล้วเกิดปัญหาขึ้นที่หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าปรับค่าได้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 10 แอมแปร์ พบว่าการใช้ MOSFET จำนวน 4 ตัว มีการเกิดปัญหาความร้อนขึ้นดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงภาพที่ถ่ายตำแหน่ง Power MOSFET ด้วยกล้องตรวจจับความร้อน FLIR E40

จากรูปที่ 4.22 จะแสดงให้เห็นถึงความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัว Power MOSFET โดยค่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ทางผู้วิจัยจึงต้องกลับไปพิจารณาผลจากการใช้โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice ใหม่เพื่อทำการแก้ปัญหาในจุดนี้ โดยทำการเพิ่ม Power MOSFET โดยการต่อขนานเพิ่มอีกจำนวน 8 ตัว เป็นทั้งหมด 12 ตัว และทำการต่อตัวต้านทานเพิ่มเข้าไปที่ขา Gate และขา Source เพื่อให้ช่วยเป็นโหลดดึงกระแสเพื่อแชร์การไหลของกระแสไฟฟ้าไม่ให้เข้ามาที่ Power MOSFET เพียงตัวเดียว เพราะเนื่องจาก Power MOSFET ที่ใช้นั้นมีความต้านทานขนาด 0.4 โอห์ม ซึ่งมีความต้านทานที่น้อยมาก ซึ่งในการต่อตัวต้านทานเข้าไปนั้นยังช่วยให้ตัวต้านทานช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นที่ Power MOSFET ได้อีกด้วย เป็นวิธีการทำให้เสมือนว่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

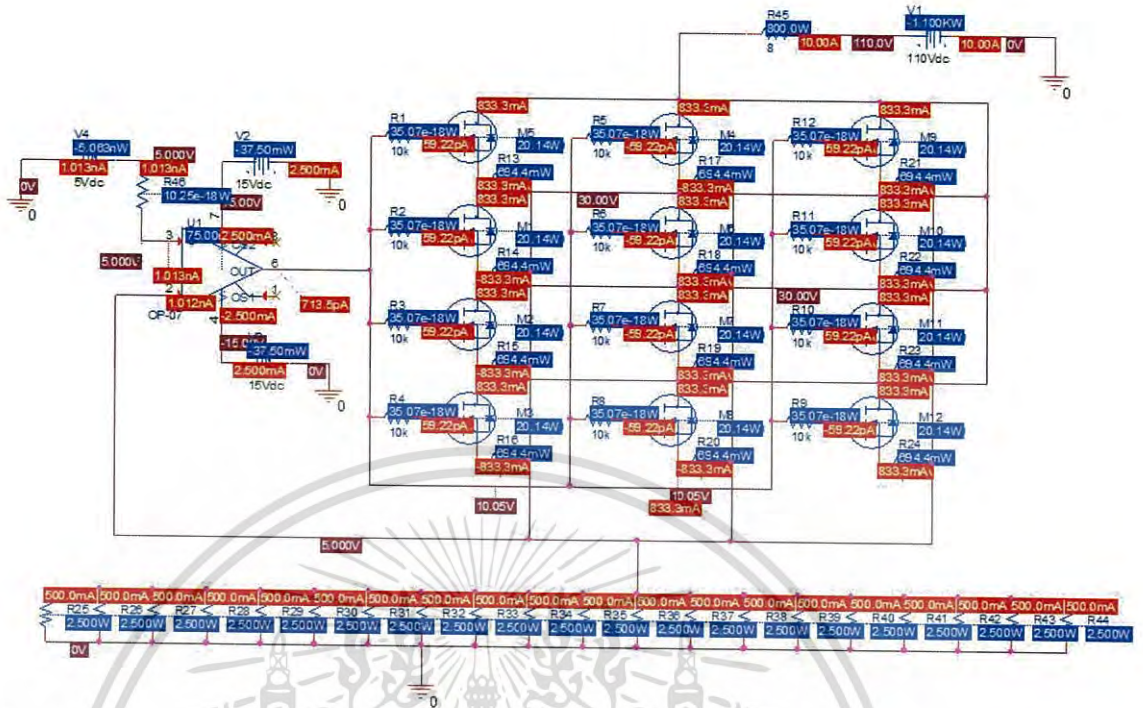
Power MOSFET นั้นเป็นเพียงช่องทางไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า ต่อมาในขั้นแรกผู้วิจัยได้ทำการ Simulation ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงการต่อเพิ่ม Power MOSFET ด้วยการขนานและการต่อตัวต้านทานที่ขา Gate และขา Source ของ Power MOSFET

จากรูปที่ 4.23 แสดงการต่อตัวต้านทานตำแหน่ง Output ของ Op-Amp ที่ขา gate ต่อ Power MOSFET แต่ละตัวในโปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice เพื่อทำให้ช่วยเป็นโหลดในการดึงกระแสให้ไหลได้ดีขึ้น ต่อมาทำการ Simulation แสดงดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลการ Simulation จากการเชื่อมต่อ Power MOSFET ทั้งหมด 12 ตัว และการต่อตัวต้านทานเพิ่มเพื่อเป็นโหลดดึงกระแสไฟฟ้า

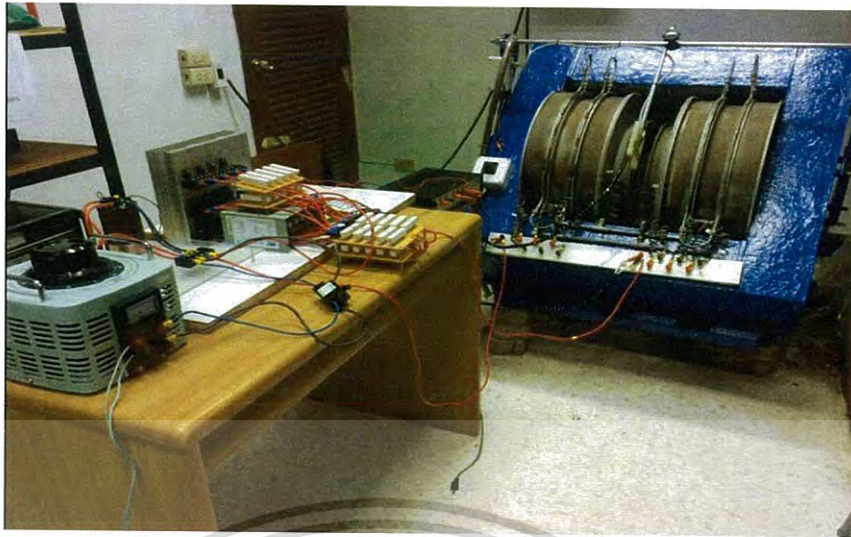
จากรูปที่ 4.24 ได้ค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 12.78 แอมแปร์ เนื่องจากการนำตัวต้านทานมาต่อเพิ่มบริเวณขา Source ของ Power MOSFET ซึ่งตามปกติแล้วต้องได้กระแสไฟฟ้าขนาด 10 แอมแปร์ ขยายให้เห็นค่าชัดเจนดังรูปที่ 4.25



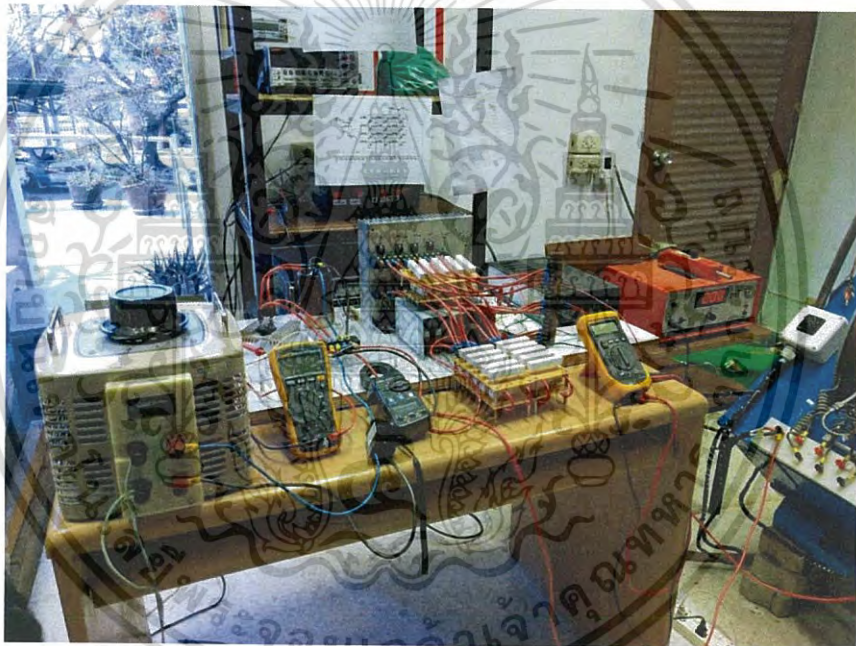
รูปที่ 4.25 ผลการ Simulation จากการเชื่อมต่อ Power MOSFET ทั้งหมด 12 ตัว และการต่อตัวต้านทานเพิ่มเพื่อเป็นโหลดดึงกระแสไฟฟ้า ที่ทำการขยายเพื่อให้เห็นความชัดเจน

จากรูปที่ 4.25 เป็นการขยายภาพเพื่อให้เห็นถึงความชัดเจน ซึ่งผลที่ได้มีค่าเท่าเดิมคือ 10 แอมแปร์ โดยจ่ายแรงดัน 110V ซึ่งจากการ Simulation ในครั้งนี้ ได้ถูกนำไปแก้ไขในวงจร DC Power Supply ดังรูปที่ 4.26 และทำการทดสอบเพื่อเก็บค่าอีกครั้ง ซึ่งค่าในการทดสอบจะยึดตามกระแสไฟฟ้าที่โหลดได้รับ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นทีละ 1 แอมแปร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.26 (ก) แสดงภาพโดยรวมของวงจร DC Power Supply ที่ใช้ MOSFET 12 ตัว
 (ข) การเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้ 20 แอมแปร์

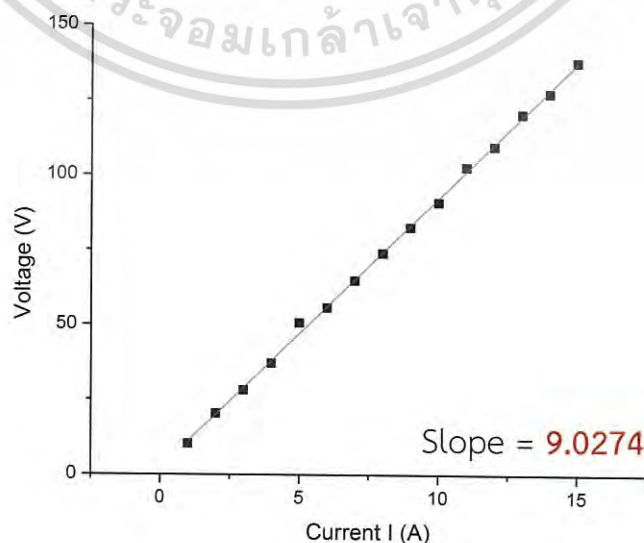
แต่เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ตัวเดิมสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพียง 8 แอมแปร์ จึงทำการเปลี่ยนไปใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 20 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.26 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเก็บค่า DC Power Supply ที่ได้ทำการสร้างใหม่

I(A)	V of Variac	V of Bridge/Load	Part Control	
			Non-inverting Input (Volt)	Inverting Input (Volt)
1	0.48	10.32	0.843	1.889
2	17.21	20.40	1.135	1.918
3	23.27	28.17	1.565	1.919
4	30.59	37.12	2.066	2.123
5	42.10	50.61	2.577	2.577
6	46.60	55.71	3.049	3.065
7	54.90	64.80	3.550	3.774
8	63.10	73.90	4.052	4.110
9	70.90	82.50	4.520	4.540
10	81.20	90.90	5.030	5.040
11	88.10	102.60	5.510	5.520
12	94.90	109.60	6.010	6.030
13	104.10	120.30	6.510	6.540
14	110.20	127.30	6.940	6.970
15	118.70	137.70	7.520	7.550

จากตารางแสดงผลการทดลองโดยการใช้ MOSFET จำนวน 12 ตัว ซึ่งได้แก้ไขปัญหาคาความร้อนด้วยตัวต้านทานโดยการต่อเพิ่มที่ขา Gate และ ขา Source ของ Power MOSFET สามารถทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Load) ได้ขนาด 15 แอมแปร์ โดยมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 137.70 โวลต์ ซึ่งนำไปพล็อตกราฟได้ความชันเท่ากับ 9.0274 ดังรูปที่ 4.27

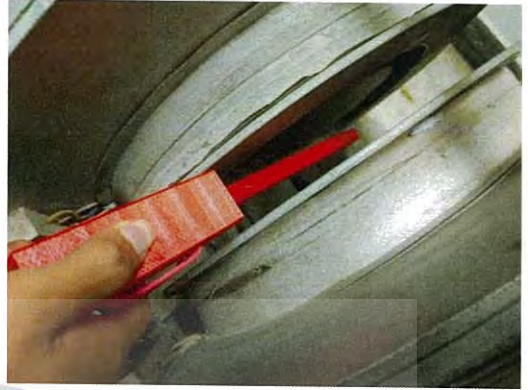


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย Hall Sensor



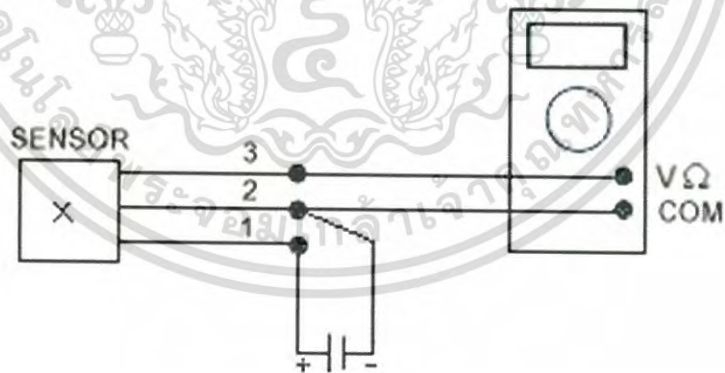
(ก)



(ข)

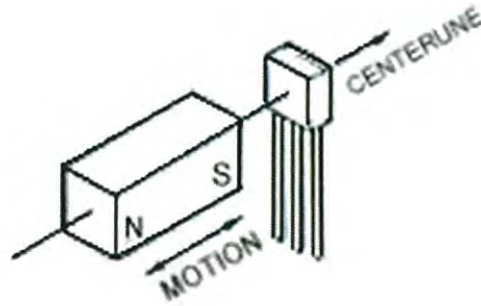
รูปที่ 4.28 (ก) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
(ข) การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

หลังจากได้ทำการทดสอบ DC Power Supply และได้ทำการต่อเข้ากับขดลวดเพื่อทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป จำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ที่สามารถนำมาวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กนี้ได้คือ Hall Sensor โดยนำมาต่อกับมัลติมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.29 ส่วนวิธีการวัดคือทำการวัดในด้านที่ตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 แสดงการต่อตัวรับรู้ฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 รูปแสดงการนำแม่เหล็กเข้าใกล้ active area ของตัวรับรู้ฮอลล์

โดยค่า Output ที่ได้จาก Hall Sensor นั้นจะสามารถนำมาหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ดังสมการต่อไปนี้

$$B = \frac{(V_{out}(B) - V_{out}(O))}{S} \quad (4.5)$$

โดยที่

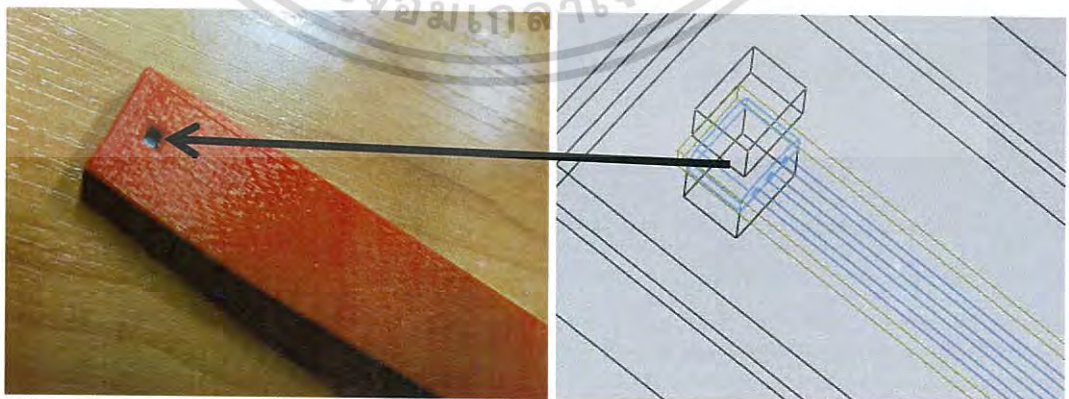
Vout (O) คือ ความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

Vout (B) คือ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

S คือ สัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็น mV/G

B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ค่า S ที่ต้องนำมาคำนวณนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ Hall Sensor ที่นำมาใช้ ซึ่งผู้วิจัยใช้เป็นตัวที่มีคุณสมบัติค่า Sensitivity เท่ากับ 13 V/T



รูปที่ 4.31 รูปแสดง Hall Sensor ภายในเคสพลาสติก

จากรูปที่ 4.31 แสดงขาของอุปกรณ์ของ Hall Sensor ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้การป้อนค่าแรงดัน โดยค่าแรงดันที่ป้อนเท่ากับ 5.87 โวลต์ ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับ DC Power Supply ตัวเดิม ซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 8 แอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ 70 โวลต์ ได้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย Hall Sensor โดยใช้ DC Power Supply ตัวเดิม

I (A)	V _{out} (V) South polarity	V _{out} (V) North polarity	B Calculate (T) South polarity	B Calculate(T) North polarity
1	3.278	2.325	33 mT	- 39 mT
2	3.662	2.013	63 mT	- 63 mT
3	4.110	1.613	97 mT	- 94 mT
4	4.449	1.195	123 mT	-126 mT
5	4.950	0.919	162 mT	-148 mT

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยใช้ DC Power Supply ตัวเก่า ซึ่งเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ให้แก่ขดลวด เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขั้วได้ขนาด 162 มิลลิเทสลา และ ขั้วเหนือ -148 มิลลิเทสลา ต่อมาได้ทำการใช้ DC Power Supply ที่ได้ทำการประดิษฐ์ขึ้นมา จ่ายค่ากระแสไฟฟ้าให้กับโหนดได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย Hall Sensor โดยใช้ DC Power Supply ตัวที่ได้ทำการสร้างขึ้นใหม่

I (A)	V _{out} (V) South polarity	V _{out} (V) North polarity	B Calculate (T) South polarity	B Calculate(T) North polarity
1	3.284	2.401	33 mT	- 34 mT
2	3.880	2.023	79 mT	- 63 mT
3	4.120	1.632	98 mT	- 93 mT
4	4.580	1.223	133 mT	-124 mT
5	4.970	0.927	163 mT	-147 mT

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยใช้ DC Power Supply ตัวใหม่ที่ทำการสร้างขึ้น ซึ่งผลที่ได้เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ให้แก่ขดลวด เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขั้วได้ ขนาด 163 มิลลิเทสลา และ ขั้วเหนือ -147 มิลลิเทสลา ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับ Power Supply ตัวเก่า ซึ่ง Hall Sensor ที่ทำการสร้างขึ้นมามีช่วงการวัดของ Hall เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensor ที่ยังมีข้อจำกัดในการวัดอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของตัว Sensor เอง ที่อยู่ในช่วงที่ไม่สามารถวัดได้เกิน 5 แอมแปร์ เพื่อให้ผลที่ได้มีความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น จึงได้ทำการนำเครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำมาทดสอบ ดังรูปที่ 4.32



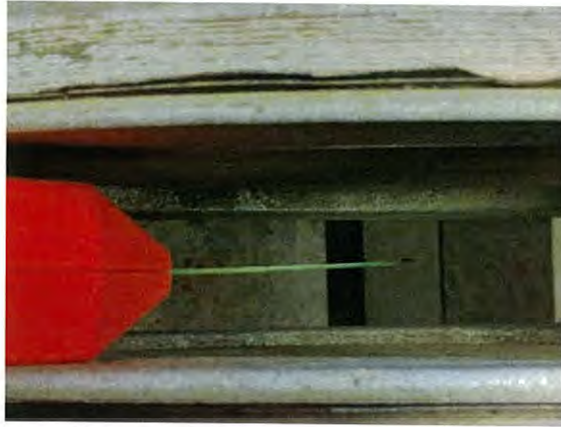
รูปที่ 4.32 เครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำ

จากรูปที่ 4.32 แสดงเครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งวิธีการวัดนั้นในขั้นตอนแรกต้องนำแท่ง Hall Sensor เสียบเข้าไปที่ตำแหน่งช่องด้านหน้าข้างแท่งหน้าปิดตัวเลขเพื่อทำการ Reset ค่าความเข้มตั้งต้นให้เป็น 0 ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การเสียบหัววัดเข้าไปที่เครื่องเพื่อทำการ Reset ค่าความเข้มตั้งต้นให้เป็น 0

จากรูปที่ 4.33 การเสียบหัววัดเข้าไปที่เครื่องเพื่อทำการ Reset ค่าความเข้มตั้งต้นให้เป็น 0 เพื่อเตรียมนำไปทดสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้างดังรูปที่ 4.34 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 การนำแท่งวัดเข้าไปบริเวณตรงกลางตั้งฉากกับขดลวด

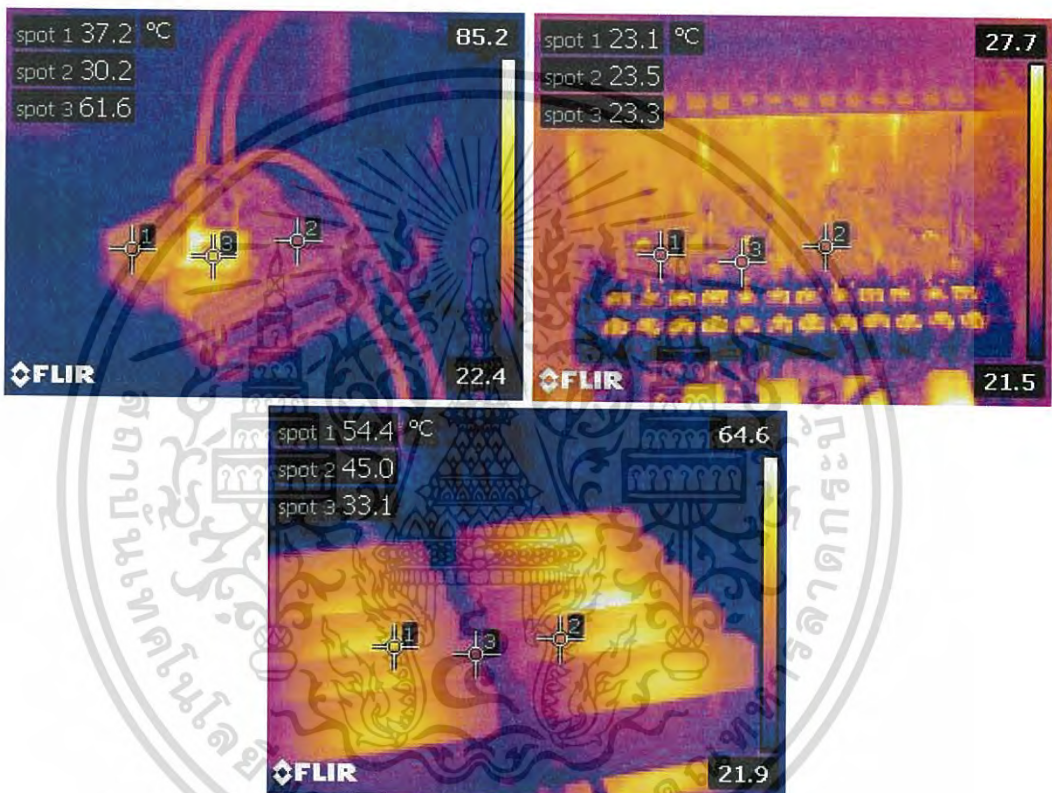
จากรูปที่ 4.34 แสดงวิธีการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะสังเกตว่าได้นำแท่งวัดไปไว้บริเวณตรงกลาง เพื่อให้มีความเข้มที่มากที่สุดที่ขดลวดสามารถสร้างขึ้นมาได้ ต่อมาได้ทำการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ DC Power Supply ตัวเดิม และ DC Power Supply ตัวใหม่ที่ได้ทำการสร้าง

I(A)	B - DC Power Supply (Old)	B - DC Power Supply (New)
1	36 mT	34 mT
2	62 mT	63 mT
3	86 mT	86 mT
4	114 mT	110 mT
5	139 mT	140 mT
6	166 mT	166 mT
7	192 mT	195 mT
8	215 mT	219 mT
9		248 mT
10		277 mT
11		305 mT
12		332 mT
13		357 mT
14		385 mT
15		411 mT

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยใช้ DC Power Supply ตัวเก่าและตัวใหม่ที่ทำารสร้างขึ้น โดยการใช้เครื่องวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งผลที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ให้แก่ขดลวด ทั้ง DC Power Supply ตัวเก่าและตัวใหม่มีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใกล้เคียงกัน โดย Power Supply ตัวเก่า นั้นสามารถป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 215 มิลลิเทสลา โดยจ่ายกระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ และ Power Supply ตัวใหม่นั้นเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับ 219 มิลลิเทสลา โดยที่ DC Power Supply ตัวใหม่ที่ได้ทำการสร้างนั้น สามารถป้อนกระแสไฟฟ้าได้ถึง 15 แอมแปร์ จึงสามารถทำให้ขดลวดนั้น เกิดความเข้มสูงสุดที่ 411 มิลลิเทสลา มากกว่า DC Power Supply ตัวเดิมเท่าตัว โดยที่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยนั้นมีค่าประมาณ 40 – 60 องศาเท่านั้น ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 แสดงอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆของวงจร DC Power Supply

จากรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของวงจร DC Power Supply ซึ่งมีค่าประมาณ 40 – 60 องศาเซลเซียส ถ่ายโดยใช้กล้อง FLIR E40 ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 องศา ซึ่งจากการทดลองสามารถใช้งานในระยะเวลานานได้ ผู้วิจัยจึงสามารถนำ DC Power Supply ที่ได้ทำการสร้างมาใช้ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มากกว่า DC Power Supply ตัวเดิม ในการตรวจสอบคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่จะนำมาทดสอบโดยใช้วิธี Hall Effect ต่อไปได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการตรวจวัดคุณสมบัติของชิ้นงานสารกึ่งตัวนำโดยใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์ จะนิยมใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้าง DC Power Supply โดยนำวงจร Voltage Control Current Source มาใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและทำการจ่ายให้กับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 โอห์ม ซึ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมากขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่เราจ่ายให้กับขดลวดนี้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการออกแบบและทดสอบวงจรโดยใช้โปรแกรม OrCAD Capture และ PSpice ในการออกแบบและ Simulation วงจรเพื่อดูค่าการไหลของกระแสไฟฟ้า ต่อมาในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรม Altium Designer เพื่อให้ได้ขนาดของทองแดงที่เชื่อมต่อขาของตัวอุปกรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำ และในขั้นสุดท้าย ขั้นตอนที่ 3 จะเป็นการสร้าง DC Power Supply เพื่อนำมาใช้งานซึ่งพบปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นจากการที่มีกระแสไฟฟ้าตกคร่อม Power MOSFET มากจนเกิดความร้อน แนวทางการแก้ไขปัญหาคือนำตัวต้านทานมาต่อที่ขา Source เพื่อให้ตัวต้านทานทำหน้าที่เป็นโหลดดึงกระแสไฟฟ้าให้แบ่งมาตกคร่อมแทน ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นลดลง ภายหลังจากแก้ปัญหาจึงทำการทดสอบ DC Power Supply ซึ่งสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้สูงสุดคือ 15 แอมแปร์ โดยที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 137.7 โวลต์ และทำการต่อเข้ากับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 โอห์ม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กผลที่ได้พบว่าขดลวดสามารถให้กำเนิดสนามแม่เหล็กได้ 0.411 เทสลา ซึ่งสามารถทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กมากกว่า DC Power Supply ตัวเดิมเกือบเท่าตัว จึงสามารถนำเครื่องมือชิ้นนี้ที่ประดิษฐ์ขึ้นไปตรวจสอบคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่จะนำมาทดสอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. คลื่น DC ที่เกิดขึ้นหากต้องการสัญญาณที่เรียบหรือ Ripple ที่น้อยลงจำเป็นต้องใช้วงจรกรองสัญญาณ (Filter) มาต่อเพิ่มในส่วนที่เป็นวงจรบริจด์ที่ออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า

2. ในการใช้งาน DC Power Supply ขณะปรับค่าเพิ่มขึ้นควรค่อยๆปรับ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายในการรับกระแสของตัวขดลวดและตัววงจร

เอกสารอ้างอิง

- ทฤษฎีวงจร Power supply. 2550. [Online]. Available:
http://www.geocities.ws/lim.laboratory/power_supply_design.pdf. เข้าถึงเมื่อ
วันที่ 10 พ.ย. 2558.
- Hall effect sensor. 2558. [Online]. Available:
<http://ene314.blogspot.com/2015/02/3-hall-effect-sensor.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่
10 พ.ย. 2558.
- Op-Amp. 2547. [Online]. Available:
<https://fivedots.coe.psu.ac.th/~kpatimakorn/240-206/e-book/chap8.pdf>. เข้าถึง
เมื่อวันที่ 10 พ.ย. 2558.
- ตัวเก็บประจุ (Capacitor). 2554. [Online]. Available:
<http://www.ee.eng.cmu.ac.th/~akachai/EE200/EE200-005.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8
ม.ค. 2559.
- โปรแกรม Altium Designer. 2555. [Online]. Available:
[http://3in1-miniprojectbme2.blogspot.com/2012/10/altium-designer-release-
10.html](http://3in1-miniprojectbme2.blogspot.com/2012/10/altium-designer-release-10.html). เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2559.
- วงจรบริดจ์ไดโอด. 2556. [Online]. Available:
[http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics2/meter/
DC%20Bridge.html](http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics2/meter/DC%20Bridge.html). เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2559.
- ลักษณะของตัวต้านทาน. 2556. [Online]. Available:
<http://www.med.cmu.ac.th/dept/vascular/note/content1.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่
11 ม.ค. 2559.
- ทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้า. 2556. [Online]. Available:
[http://www.research-system.siam.edu/images/coop/
INSTALLATION_AND_MAINTENANCE_TRANSFORMERS_OF_THE_PROVINCIAL
/ch2.pdf](http://www.research-system.siam.edu/images/coop/INSTALLATION_AND_MAINTENANCE_TRANSFORMERS_OF_THE_PROVINCIAL/ch2.pdf). เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ม.ค. 2559.
- ทรานซิสเตอร์ของสนามไฟฟ้า. 2551. [Online]. Available:
https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/mosfet.htm.
เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ก.พ. 2559.
- MOSFET. 2556. [Online]. Available:
[http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/fet-field-effect-
transistor/mosfet-basics-tutorial.php](http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/fet-field-effect-transistor/mosfet-basics-tutorial.php). เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ก.พ. 2559.
- ไดโอด(Diode). 2544. [Online]. Available:
https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/diode.htm.
เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 พ.ค. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GBPC 12, 15, 25, 35 SERIES Bridge Rectifiers (Glass Passivated)

Features

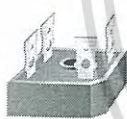
- Integrally molded heat-sink provided very low thermal resistance for maximum heat dissipation.
- Surge Overload Ratings from 300 A to 400 A.
- Isolated voltage from case to lead over 2500 V.
- UL certified, UL #E258596
- Terminals Finish Material - Silver (Solderable per MIL-STD-202, Method 208 for the wire type GBPC-W package)
- Nickel for GBPC package.

Suffix "W"

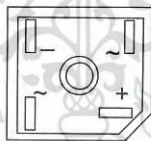
- Wire Lead Structure

Suffix "M"

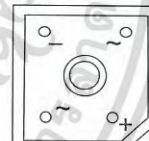
- Terminal Location Face to Face



GBPC



GBPC-W



Ordering Informations

Part Number	Marking	Package	Packing Method
GBPC12005	GBPC12005	GBPC 4L	Bulk
GBPC1201	GBPC1201		
GBPC1202	GBPC1202		
GBPC1204	GBPC1204		
GBPC1206	GBPC1206		
GBPC1208	GBPC1208		
GBPC1210	GBPC1210		
GBPC15005	GBPC15005		
GBPC1501	GBPC1501		
GBPC1502	GBPC1502		
GBPC1504	GBPC1504		
GBPC1506	GBPC1506		
GBPC1508	GBPC1508		
GBPC1510	GBPC1510		
GBPC25005	GBPC25005		
GBPC2501	GBPC2501		
GBPC2502	GBPC2502		
GBPC2504	GBPC2504		
GBPC2506	GBPC2506		
GBPC2508	GBPC2508		
GBPC2510	GBPC2510		
GBPC35005	GBPC35005		
GBPC3501	GBPC3501		
GBPC3502	GBPC3502		
GBPC3504	GBPC3504		
GBPC3506	GBPC3506		
GBPC3508	GBPC3508		
GBPC3510	GBPC3510		
GBPC1201W	GBPC1201W	GBPC-W 4L	
GBPC1202W	GBPC1202W		
GBPC1204W	GBPC1204W		
GBPC1206W	GBPC1206W		
GBPC1208W	GBPC1208W		
GBPC1210W	GBPC1210W		
GBPC15005W	GBPC15005W		
GBPC1501W	GBPC1501W		
GBPC1502W	GBPC1502W		
GBPC1504W	GBPC1504W		
GBPC1506W	GBPC1506W		
GBPC1508W	GBPC1508W		

Ordering Informations (continued)

Part Number	Marking	Package	Packing Method
GBPC1510W	GBPC1510W	GBPC-W 4L	Bulk
GBPC25005W	GBPC25005W		
GBPC2501W	GBPC2501W		
GBPC2502W	GBPC2502W		
GBPC2504W	GBPC2504W		
GBPC2506W	GBPC2506W		
GBPC2508W	GBPC2508W		
GBPC2510W	GBPC2510W		
GBPC35005W	GBPC35005W		
GBPC3501W	GBPC3501W		
GBPC3502W	GBPC3502W		
GBPC3504W	GBPC3504W		
GBPC3506W	GBPC3506W		
GBPC3508W	GBPC3508W		
GBPC3510W	GBPC3510W		

Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value							Units
		005	01	02	04	06	08	10	
V_{RRM}	Maximum Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
V_{RMS}	Maximum RMS Bridge Input Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
V_R	DC Reverse Voltage (Rated V_R)	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current at $T_C = 55^\circ\text{C}$	GBPC12	12						A
		GBPC15	15						
		GBPC25	25						
		GBPC35	35						
I_{FSM}	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current	GBPC12, 15, 25	300						A
	8.3ms Single Half-Sine-Wave	GBPC35	400						A
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to +150							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +150							$^\circ\text{C}$

Note:

1. These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	83.3	W
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case ⁽²⁾	1.5	$^\circ\text{C/W}$

Note:

2. With Heatsink.

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value	Units
V_F	Forward Voltage Drop, per bridge	6.0 A	GBPC12	1.1 (Max)	V
		7.5 A	GBPC15		
		12.5 A	GBPC25		
		17.5 A	GBPC35		
I_R	Reverse Current, per element at Rated V_R	$T_A = 25^\circ\text{C}$		5.0 (Max)	μA
		$T_A = 125^\circ\text{C}$		500 (Max)	μA
I^2t	Rating for Fusing $t < 8.35$ ms	GBPC12, 15, 25		375	A^2Sec
		GBPC35		660	A^2Sec
C_T	Total Capacitance, per leg $V_R = 4.0$ V $f = 1.0$ MHz	GBPC12, 15, 25		180	pF
		GBPC35		200	pF

Typical Performance Characteristics

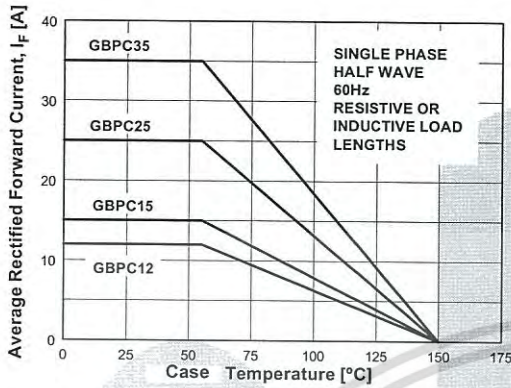


Figure 1. Forward Current Derating Curve

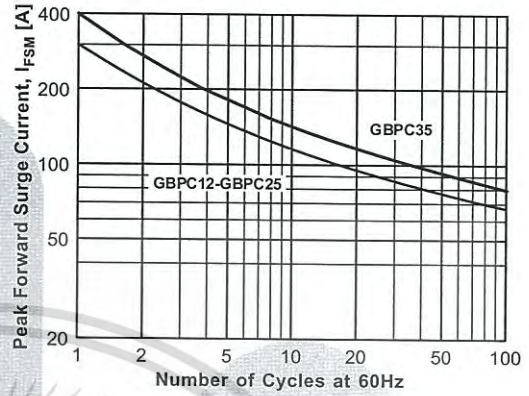


Figure 2. Non-Repetitive Surge Current

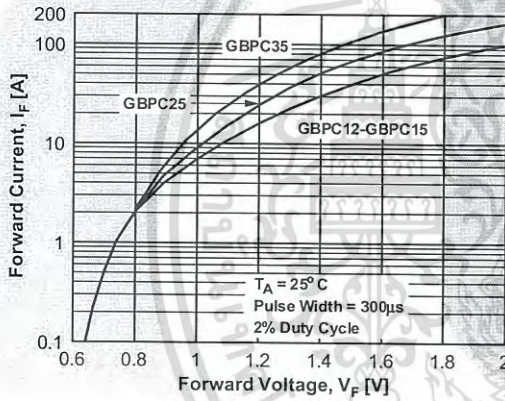


Figure 3. Forward Voltage Characteristics

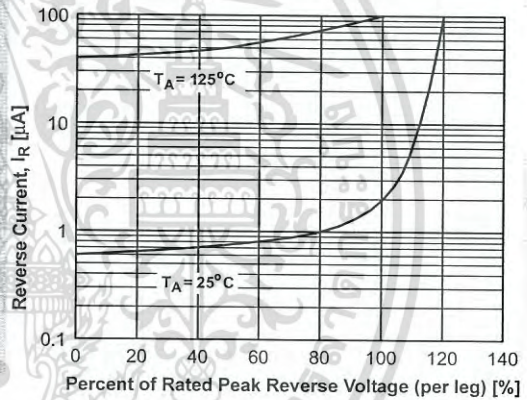
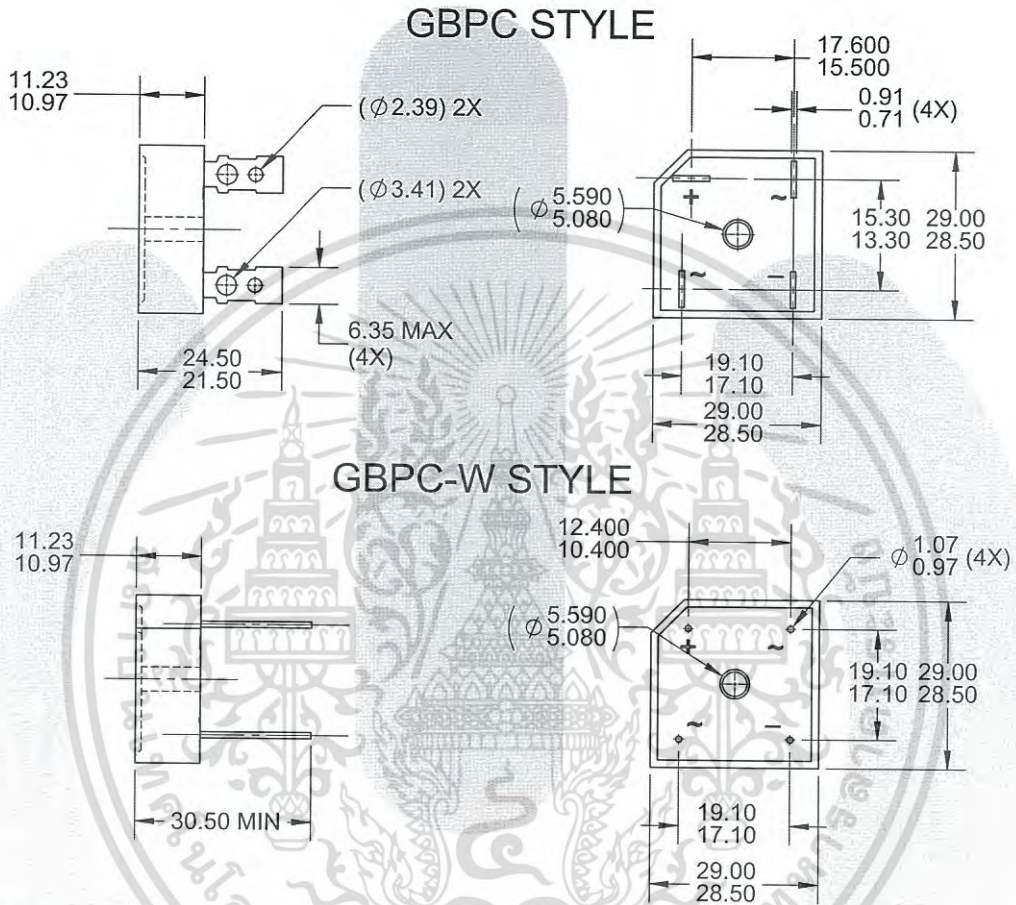


Figure 4. Reverse Current vs. Reverse Voltage

Physical Dimension

GBPC



NOTES:

- A. THIS PACKAGE DOES NOT CONFORM TO ANY STANDARDS.
- B. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- C. DIMENSIONS ARE EXCLUSIVE OF BURRS, MOLD FLASH AND TIE BAR PROTRUSIONS.
- D. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR
- E. DRAWING FILE NAME: MKT-GBPC04A REV3

Figure 5. 4-TERMINAL, COMBINATION GBPC AND GBPC-W (ACTIVE)

Package drawings are provided as a service to customers considering Fairchild components. Drawings may change in any manner without notice. Please note the revision and/or date on the drawing and contact a Fairchild Semiconductor representative to verify or obtain the most recent revision. Package specifications do not expand the terms of Fairchild's worldwide terms and conditions, specifically the warranty therein, which covers Fairchild products.

Always visit Fairchild Semiconductor's online packaging area for the most recent package drawings:
<http://www.fairchildsemi.com/dwg/GB/GBPC04A.pdf>



TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

- | | | | |
|--------------------------|--|---------------------------------------|------------------|
| AccuPower™ | F-PFET™ | | Sync-Lock™ |
| AX-CAP®* | FRFET® | PowerTrench® | |
| BitSiC™ | Global Power Resource™ | PowerXS™ | TinyBoost® |
| Build it Now™ | GreenBridge™ | Programmable Active Droop™ | TinyBuck® |
| CorePLUS™ | Green FPS™ | QFET® | TinyCalc™ |
| CorePOWER™ | Green FPS™ e-Series™ | QS™ | TinyLogic® |
| CROSSVOLT™ | Gmax™ | Quiet Series™ | TINYOPTO™ |
| CTL™ | GTO™ | RapidConfigure™ | TinyPower™ |
| Current Transfer Logic™ | IntelliMAX™ | | TinyPWM™ |
| DEUXPEED® | ISOPLANAR™ | Saving our world, 1mW/W/kW at a time™ | TinyWire™ |
| Dual Cool™ | Making Small Speakers Sound Louder and Better™ | SignalWise™ | TranSiC™ |
| EcoSPARK® | MegaBuck™ | SmartMax™ | TriFault Detect™ |
| EfficientMax™ | MICROCOUPLER™ | SMART START™ | TRUECURRENT®* |
| ESBC™ | MicroFET™ | Solutions for Your Success™ | µSerDes™ |
| | MicroPak™ | SPM® | |
| Fairchild® | MicroPak2™ | STEALTH™ | UHC® |
| Fairchild Semiconductor® | MillerDrive™ | SuperFET® | Ultra FRFET™ |
| FACT Quiet Series™ | MotionMax™ | SuperSOT™-3 | UniFET™ |
| FACT® | mWSaver® | SuperSOT™-6 | VCX™ |
| FAST® | OptoHiT™ | SuperSOT™-8 | VisualMax™ |
| FastvCore™ | OPTOLOGIC® | SupreMOS® | VoltagePlus™ |
| FETBench™ | OPTOPLANAR® | SyncFET™ | XS™ |
| FPS™ | | | |

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

OP07x Precision Operational Amplifiers

1 Features

- Low Noise
- No External Components Required
- Replace Chopper Amplifiers at a Lower Cost
- Wide Input-Voltage Range: 0 to ± 14 V (Typ)
- Wide Supply-Voltage Range: ± 3 V to ± 18 V

2 Applications

- Wireless Base Station Control Circuits
- Optical Network Control Circuits
- Instrumentation
- Sensors and Controls
- Precision Filters

3 Description

These devices offer low offset and long-term stability by means of a low-noise, chopperless, bipolar-input-transistor amplifier circuit. For most applications, external components are not required for offset nulling and frequency compensation. The true differential input, with a wide input-voltage range and outstanding common-mode rejection, provides maximum flexibility and performance in high-noise environments and in noninverting applications. Low bias currents and extremely high input impedances are maintained over the entire temperature range.

Device Information(1)

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE
OP07x	SO (8)	6.20 mm × 5.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

4 Simplified Schematic

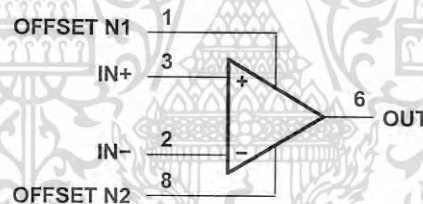


Table of Contents

1 Features	1	9.2 Functional Block Diagram	7
2 Applications	1	9.3 Feature Description	7
3 Description	1	9.4 Device Functional Modes	7
4 Simplified Schematic	1	10 Application and Implementation	8
5 Revision History	2	10.1 General Application	8
6 Pin Functions	3	10.2 Typical Application	8
7 Specifications	4	11 Power Supply Recommendations	10
7.1 Absolute Maximum Ratings	4	12 Layout	11
7.2 Handling Ratings	4	12.1 Layout Guidelines	11
7.3 Recommended Operating Conditions	4	12.2 Layout Example	11
7.4 Thermal Information	4	13 Device and Documentation Support	12
7.5 Electrical Characteristics	5	13.1 Related Links	12
7.6 Operating Characteristics	6	13.2 Trademarks	12
8 Typical Characteristics	6	13.3 Electrostatic Discharge Caution	12
9 Detailed Description	7	13.4 Glossary	12
9.1 Overview	7	14 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	12

5 Revision History

Changes from Revision F (January 2014) to Revision G

Page

- Added *Applications*, *Device Information* table, *Pin Functions* table, *Handling Ratings* table, *Thermal Information* table, *Typical Characteristics*, *Feature Description* section, *Device Functional Modes*, *Application and Implementation* section, *Power Supply Recommendations* section, *Layout* section, *Device and Documentation Support* section, and *Mechanical, Packaging, and Orderable Information* section..... 1

Changes from Revision E (May 2004) to Revision F

Page

- Deleted *Ordering Information* table..... 1

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT
$V_{CC+}^{(2)}$	Supply voltage	0	22	V
$V_{CC-}^{(2)}$		-22	0	
Differential input voltage ⁽³⁾		±30		V
V_I	Input voltage range (either input) ⁽⁴⁾	±22		V
Duration of output short circuit ⁽⁵⁾		Unlimited		
T_J	Operating virtual-junction temperature	150		°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 in) from case for 10 s		260		°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
- (3) Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
- (4) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
- (5) The output may be shorted to ground or to either power supply.

7.2 Handling Ratings

PARAMETER	DEFINITION		MIN	MAX	UNIT
T_{STG}	Storage temperature range		-65	150	°C
$V_{(ESD)}$	Electrostatic Discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins ⁽¹⁾	0	1000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins ⁽²⁾	0	1000	

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V_{CC+}	Supply voltage	3	18	V
V_{CC-}		-3	-18	
V_{IC}	Common-mode input voltage	$V_{CC±} = ±15$ V		13
T_A	Operating free-air temperature	0	70	°C

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		D	P	UNIT
$R_{θJA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	97	85	°C/W

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

7.5 Electrical Characteristics

at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A ⁽²⁾	OP07C			OP07D			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V_{IO}	Input offset voltage	$V_O = 0\text{ V}$ $R_S = 50\ \Omega$	25°C	60			150			μV
			0°C to 70°C	85			250			
α_{VIO}	Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0\text{ V}$ $R_S = 50\ \Omega$	0°C to 70°C			0.5			2.5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
	Long-term drift of input offset voltage	See				0.4				$\mu\text{V}/\text{mo}$
	Offset adjustment range	$R_S = 20\ \text{k}\Omega$, See Figure 2	25°C			± 4				mV
I_{IO}	Input offset current		25°C	0.8			6			nA
			0°C to 70°C	1.6			8			
α_{IIO}	Temperature coefficient of input offset current		0°C to 70°C			12			50	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB}	Input bias current		25°C	± 1.8			± 12			nA
			0°C to 70°C	± 2.2			± 14			
α_{IIB}	Temperature coefficient of input bias current		0°C to 70°C			18			50	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
V_{ICR}	Common-mode input voltage range		25°C	± 13	± 14	± 13	± 14			V
			0°C to 70°C	± 13	± 13.5	± 13	± 13.5			
V_{OM}	Peak output voltage	$R_L \geq 10\ \text{k}\Omega$ $R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$ $R_L \geq 1\ \text{k}\Omega$ $R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	25°C	± 12	± 13	± 12	± 13			V
				± 11.5	± 12.8	± 11.5	± 12.8			
				± 11	± 12.6	± 11	± 12.6			
				± 11	± 12.6	± 11	± 12.6			
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V to } 11.4\text{ V}$, $R_L \geq 500\ \text{k}\Omega$ $V_O = \pm 10$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$	25°C	100	400	400				V/mV
			25°C	120	400	120		400		
			0°C to 70°C	100	400	100		400		
B_1	Unity-gain bandwidth		25°C	0.4	0.6	0.4	0.6			MHz
r_i	Input resistance		25°C	8	33	7	31			M Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = \pm 13\text{ V}$, $R_S = 50\ \Omega$	25°C	100	120	94	110			dB
			0°C to 70°C	97	120	94	106			
k_{SVS}	Supply-voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$)	$V_{CC\pm} = \pm 3\text{ V to } \pm 18\text{ V}$, $R_S = 50\ \Omega$	25°C	7	32	7	32			$\mu\text{V}/\text{V}$
			0°C to 70°C	10	51	10	51			
P_D	Power dissipation	$V_O = 0$, No load $V_{CC\pm} = \pm 3\text{ V}$, $V_O = 0$, No load	25°C	80	150	80	150			mW
				4	8	4	8			

- (1) Because long-term drift cannot be measured on the individual devices prior to shipment, this specification is not intended to be a warranty. It is an engineering estimate of the averaged trend line of drift versus time over extended periods after the first 30 days of operation.
- (2) All characteristics are measured with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

7.6 Operating Characteristics

 at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	OP07C	OP07D	UNIT
		TYP	TYP	
V_n Input offset voltage	f = 10 Hz	10.5	10.5	nV/√Hz
	f = 100 Hz	10.2	10.3	
	f = 1 kHz	9.8	9.8	
$V_{N(PP)}$ Peak-to-peak equivalent input noise voltage	f = 0.1 Hz to 10 Hz	0.38	0.38	μV
I_n Equivalent input noise current	f = 10 Hz	0.35	0.35	nV/√Hz
	f = 100 Hz	0.15	0.15	
	f = 1 kHz	0.13	0.13	
$I_{N(PP)}$ Peak-to-peak equivalent input noise current	f = 0.1 Hz to 10 Hz	15	15	pA
SR Slew rate	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	0.3	0.3	V/μs

(1) All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise noted.

8 Typical Characteristics

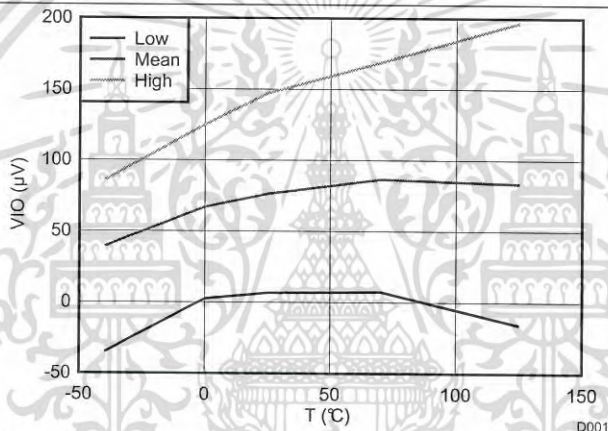


Figure 1. Input-Offset Voltage vs. Temperature

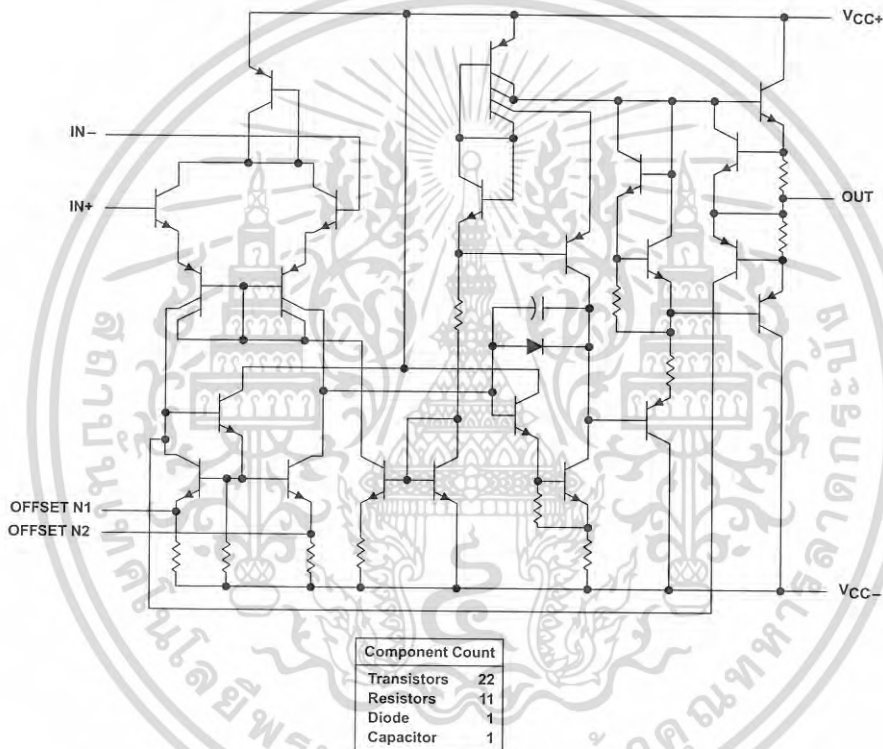
9 Detailed Description

9.1 Overview

These devices offer low offset and long-term stability by means of a low-noise, chopperless, bipolar-input-transistor amplifier circuit. For most applications, external components are not required for offset nulling and frequency compensation. The true differential input, with a wide input-voltage range and outstanding common-mode rejection, provides maximum flexibility and performance in high-noise environments and in noninverting applications. Low bias currents and extremely high input impedances are maintained over the entire temperature range.

These devices are characterized for operation from 0°C to 70°C.

9.2 Functional Block Diagram



9.3 Feature Description

9.3.1 Offset-Voltage Null Capability

The input offset voltage of operational amplifiers (op amps) arises from unavoidable mismatches in the differential input stage of the op-amp circuit caused by mismatched transistor pairs, collector currents, current-gain betas (β), collector or emitter resistors, et cetera. The input offset pins allow the designer to adjust for these mismatches by external circuitry. See the *Application and Implementation* section for more details on design techniques.

9.3.2 Slew Rate

The slew rate is the rate at which an operational amplifier can change its output when there is a change on the input. The OP07 has a 0.3-V/ μ s slew rate.

9.4 Device Functional Modes

The OP07 is powered on when the supply is connected. It can be operated as a single supply operational amplifier or dual supply amplifier depending on the application.

10 Application and Implementation

10.1 General Application

The input offset voltage of operational amplifiers (op amps) arises from unavoidable mismatches in the differential input stage of the op-amp circuit caused by mismatched transistor pairs, collector currents, current-gain betas (β), collector or emitter resistors, etc. The input offset pins allow the designer to adjust for these mismatches by external circuitry. These input mismatches can be adjusted by putting resistors or a potentiometer between the inputs as shown in Figure 2. A potentiometer can be used to fine tune the circuit during testing or for applications which require precision offset control. More information about designing using the input-offset pins, see *Nulling Input Offset Voltage of Operational Amplifiers (SLOA045)*.

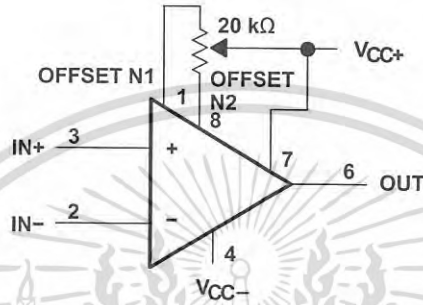


Figure 2. Input Offset-Voltage Null Circuit

10.2 Typical Application

The voltage follower configuration of the operational amplifier is used for applications where a weak signal is used to drive a relatively high current load. This circuit is also called a buffer amplifier or unity gain amplifier. The inputs of an operational amplifier have a very high resistance which puts a negligible current load on the voltage source. The output resistance of the operational amplifier is almost negligible, so it can provide as much current as necessary to the output load.

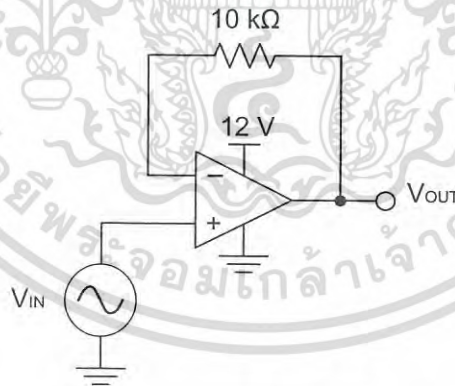


Figure 3. Voltage Follower Schematic

Typical Application (continued)

10.2.1 Design Requirements

- Output range of 2 V to 11 V
- Input range of 2 V to 11 V

10.2.2 Detailed Design Procedure

10.2.2.1 Output Voltage Swing

The output voltage of an operational amplifier is limited by its internal circuitry to some level below the supply rails. For this amplifier, the output voltage swing is within ± 12 V, which accommodates the input and output voltage requirements.

10.2.2.2 Supply and Input Voltage

For correct operation of the amplifier, neither input must be higher than the recommended positive supply rail voltage or lower than the recommended negative supply rail voltage. The chosen amplifier must be able to operate at the supply voltage that accommodates the inputs. Because the input for this application goes up to 11 V, the supply voltage must be 12 V. Using a negative voltage on the lower rail, rather than ground, allows the amplifier to maintain linearity for inputs below 2 V.

10.2.3 Application Curves for Output Characteristics

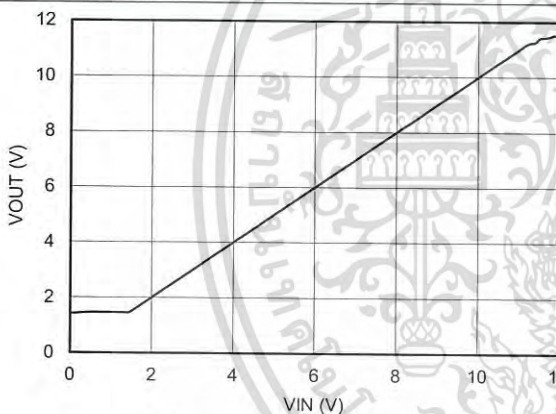


Figure 4. Output Voltage vs Input Voltage

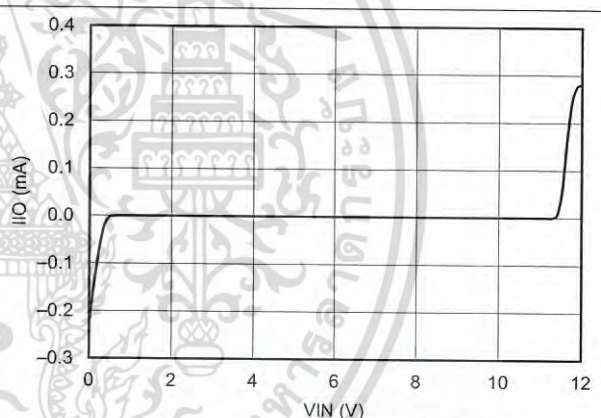


Figure 5. Current Drawn by the Input of the Voltage Follower (I_{IO}) vs the Input Voltage

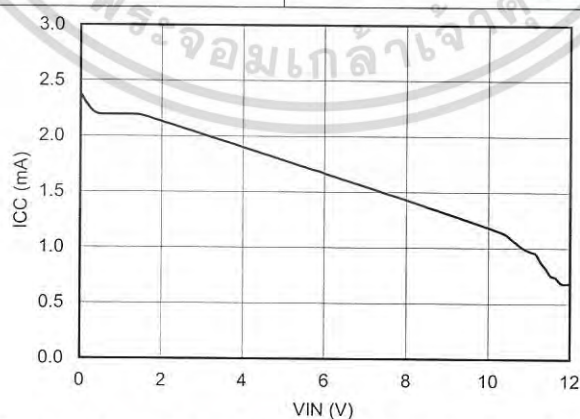


Figure 6. Current Drawn from Supply (I_{CC}) vs the Input Voltage

11 Power Supply Recommendations

The OP07 is specified for operation from ± 3 to ± 18 V; many specifications apply from 0°C to 70°C .

CAUTION

Supply voltages larger than ± 22 V can permanently damage the device (see the *Absolute Maximum Ratings*).

Place 0.1- μF bypass capacitors close to the power-supply pins to reduce errors coupling in from noisy or high impedance power supplies. For more detailed information on bypass capacitor placement, refer to the *Layout Guidelines*.



12 Layout

12.1 Layout Guidelines

For best operational performance of the device, use good PCB layout practices, including:

- Noise can propagate into analog circuitry through the power pins of the circuit as a whole, as well as the operational amplifier. Bypass capacitors are used to reduce the coupled noise by providing low-impedance power sources local to the analog circuitry.
 - Connect low-ESR, 0.1- μ F ceramic bypass capacitors between each supply pin and ground, placed as close to the device as possible. A single bypass capacitor from V+ to ground is applicable for single supply applications.
- Separate grounding for analog and digital portions of circuitry is one of the simplest and most-effective methods of noise suppression. On multilayer PCBs, one or more layers are usually devoted to ground planes. A ground plane helps distribute heat and reduces EMI noise pickup. Make sure to physically separate digital and analog grounds, paying attention to the flow of the ground current. For more detailed information, refer to *Circuit Board Layout Techniques*, (SLOA089).
- To reduce parasitic coupling, run the input traces as far away from the supply or output traces as possible. If it is not possible to keep them separate, it is much better to cross the sensitive trace perpendicularly, as opposed to in parallel, with the noisy trace.
- Place the external components as close to the device as possible. Keeping RF and RG close to the inverting input minimizes parasitic capacitance, as shown in *Layout Example*.
- Keep the length of input traces as short as possible. Always remember that the input traces are the most sensitive part of the circuit.
- Consider a driven, low-impedance guard ring around the critical traces. A guard ring can significantly reduce leakage currents from nearby traces that are at different potentials.

12.2 Layout Example

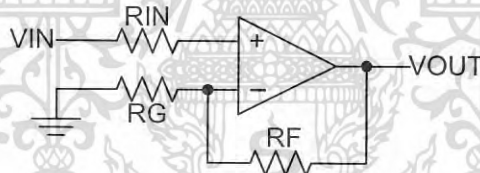


Figure 7. Operational Amplifier Schematic for Noninverting Configuration

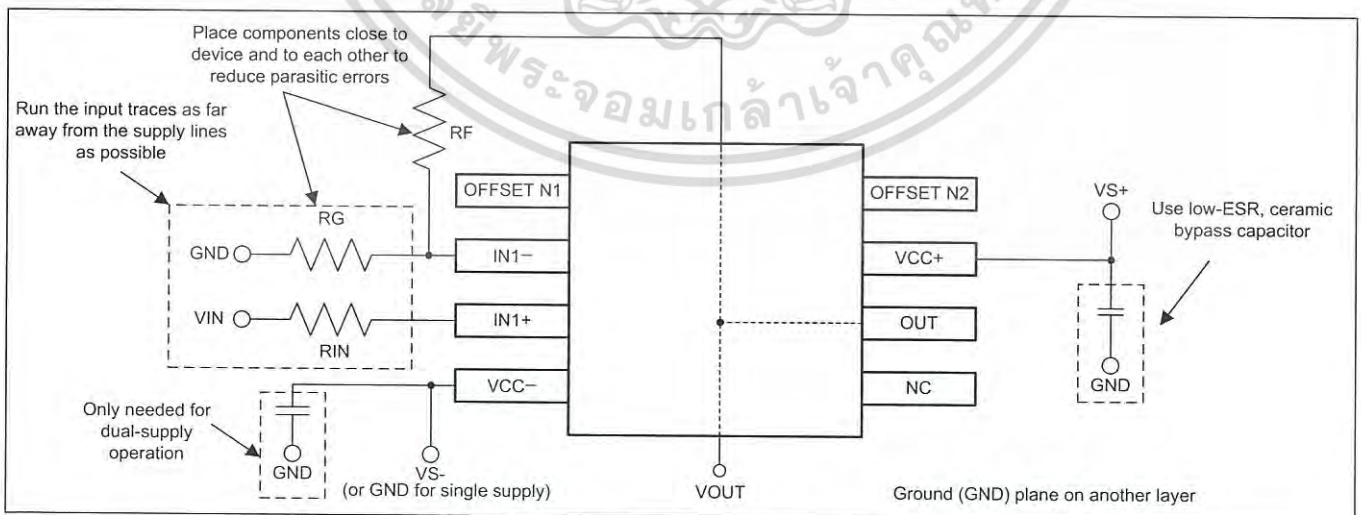


Figure 8. Operational Amplifier Board Layout for Noninverting Configuration

13 Device and Documentation Support

13.1 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to sample or buy.

Table 1. Related Links

Parts	Product Folder	Sample & Buy	Technical Documents	Tools & Software	Support & Community
OP07C	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
OP07D	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here

13.2 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

13.3 Electrostatic Discharge Caution



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

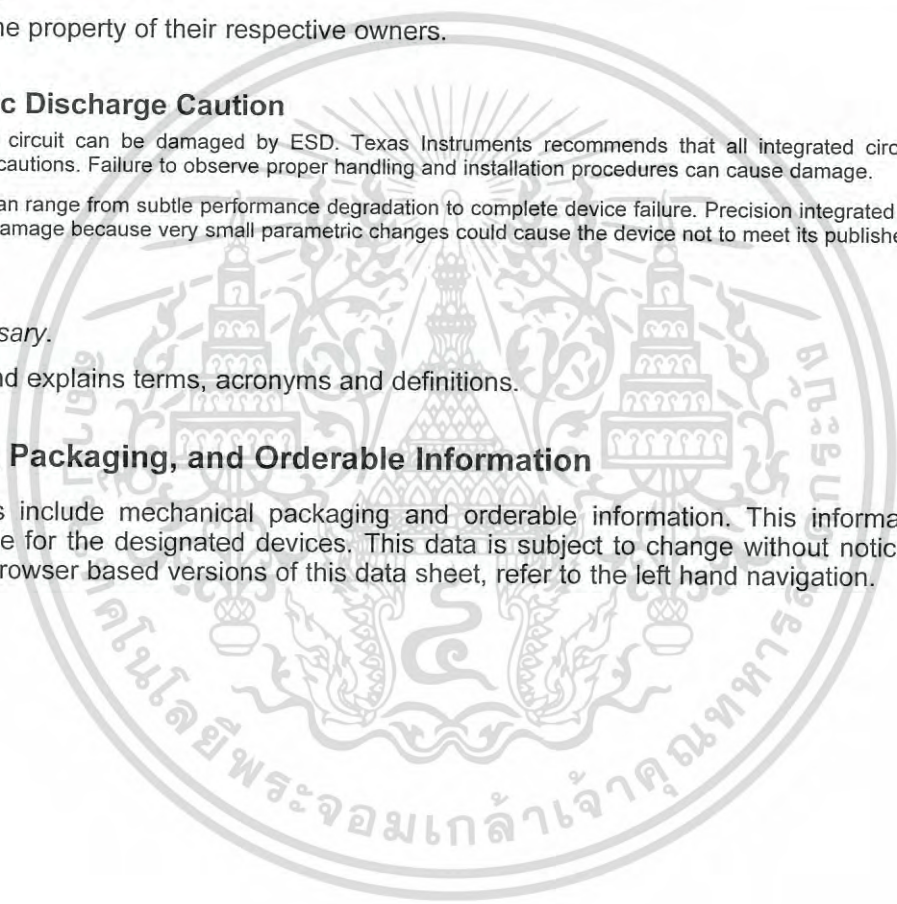
13.4 Glossary

SLYZ022 — *TI Glossary*.

This glossary lists and explains terms, acronyms and definitions.

14 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical packaging and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser based versions of this data sheet, refer to the left hand navigation.



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

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

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

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

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

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

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

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

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

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

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

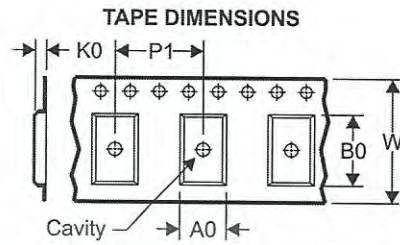
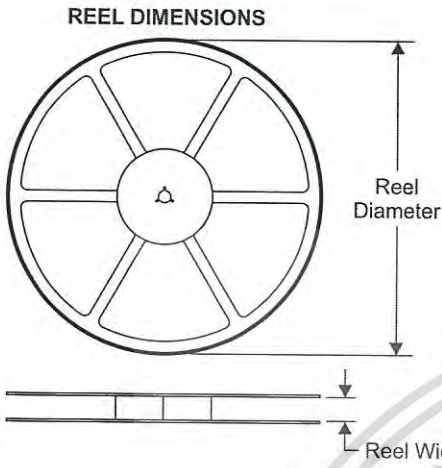
(5) **Multiple Device Markings** will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) **Lead/Ball Finish** - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

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

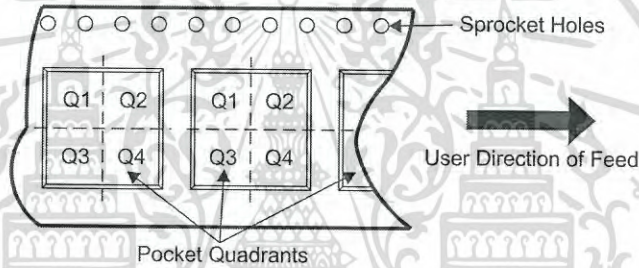
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

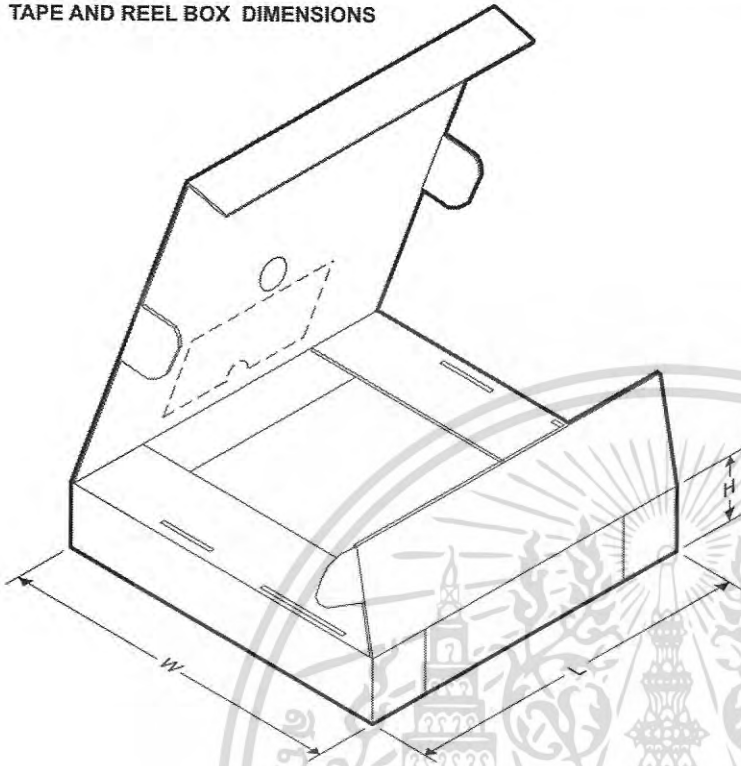
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
OP-07DPSR	SO	PS	8	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1
OP07CDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
OP07CDRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
OP07DDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS

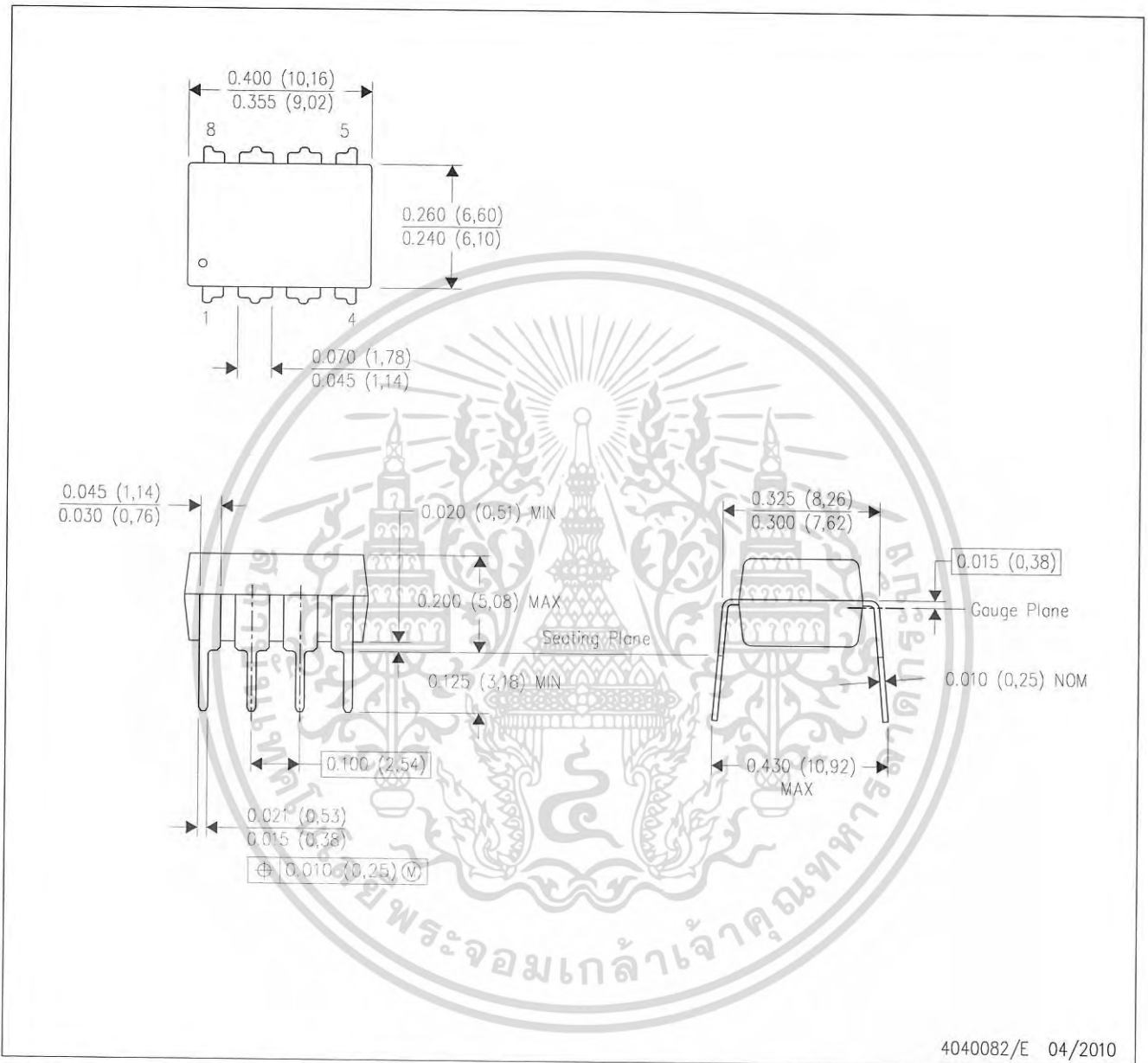


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
OP-07DPSR	SO	PS	8	2000	367.0	367.0	38.0
OP07CDR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
OP07CDRG4	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
OP07DDR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

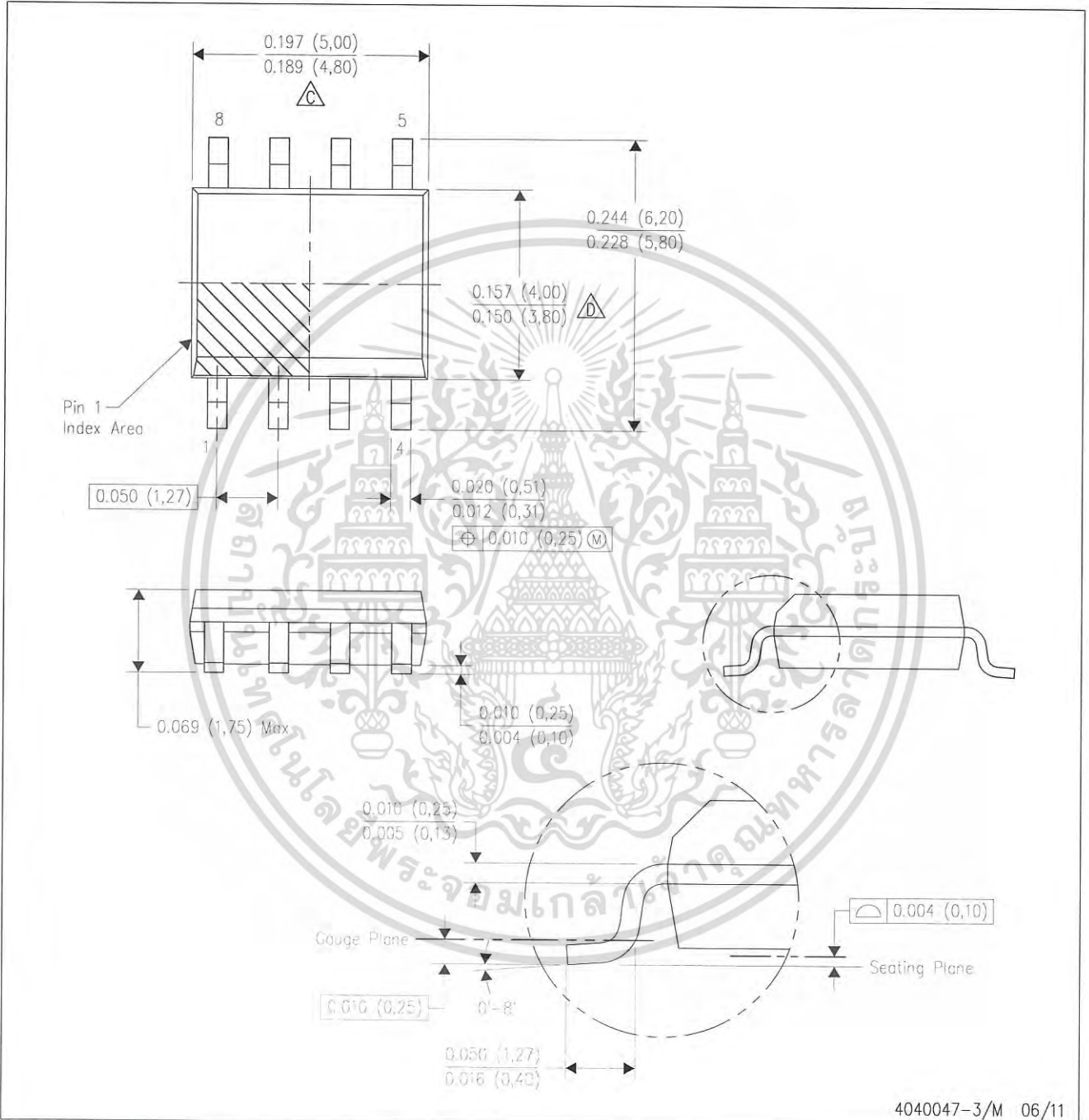


4040082/E 04/2010



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE

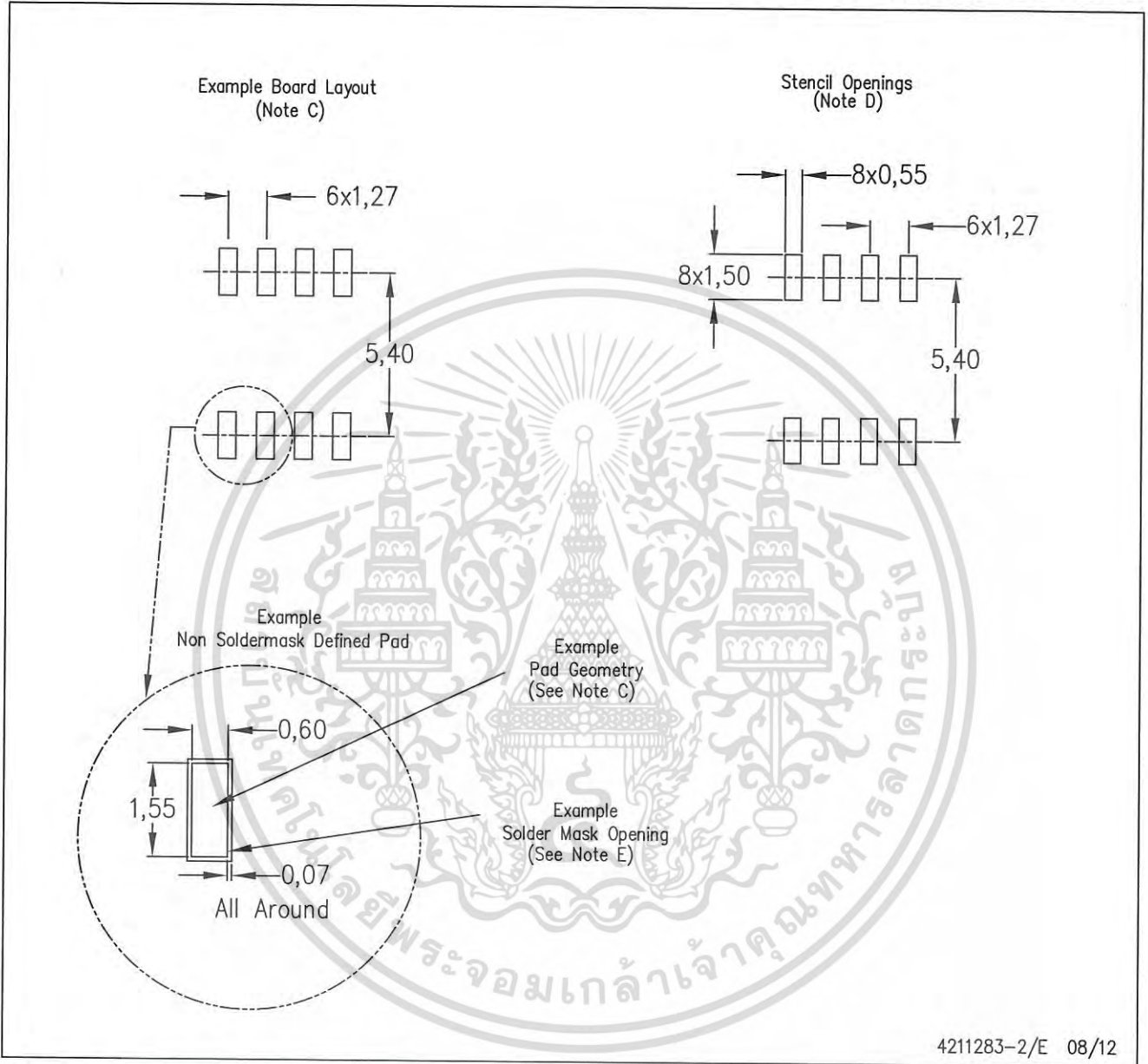


4040047-3/M 06/11

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 -  Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
 -  Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
 - E. Reference JEDEC MS-012 variation AA.

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



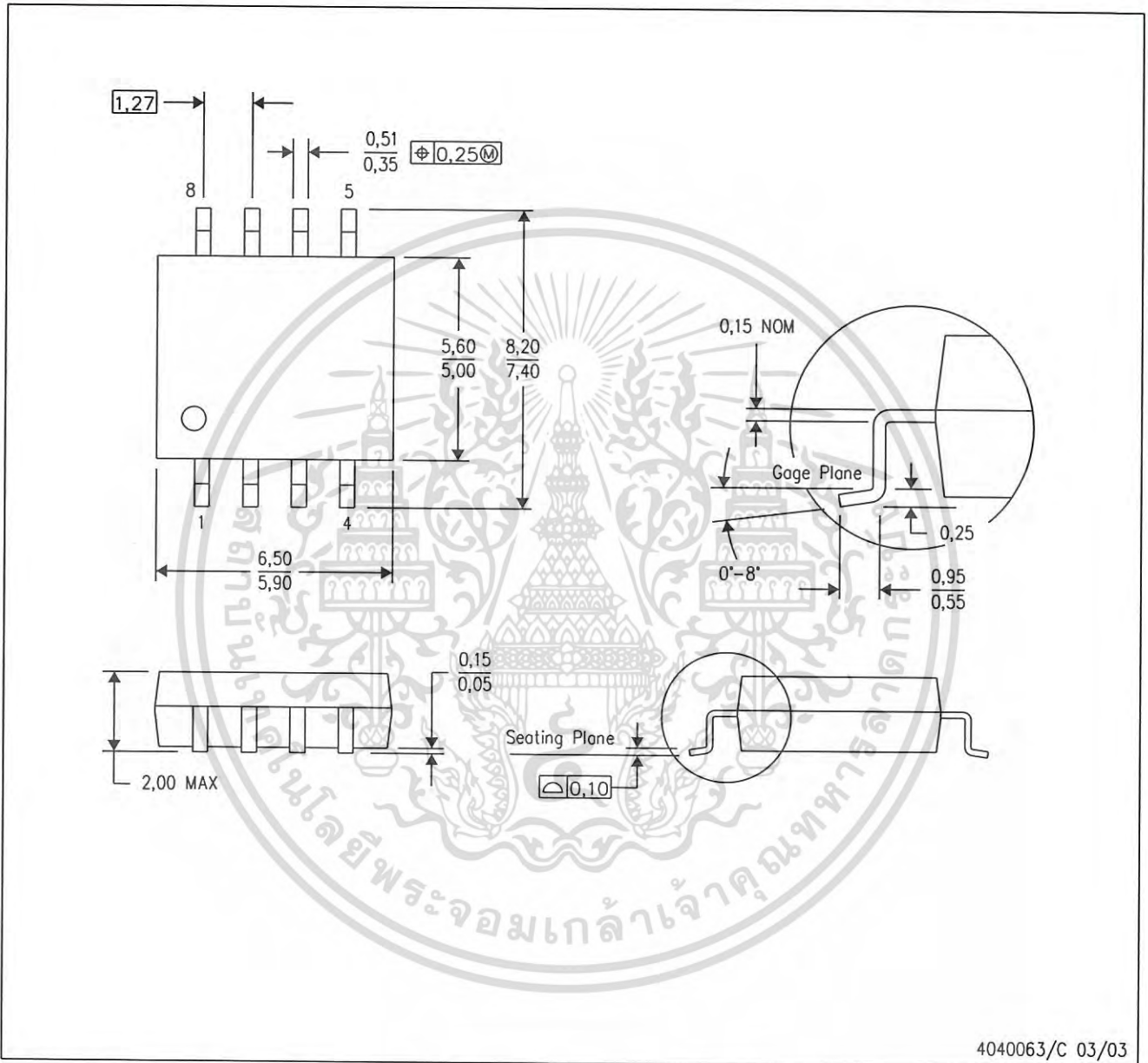
4211283-2/E 08/12

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

MECHANICAL DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

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

Applications

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

TI E2E Community

e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V _{DS} (V)	500	
R _{DS(on)} (Ω)	V _{GS} = 10 V	0.40
Q _g (Max.) (nC)	150	
Q _{gs} (nC)	20	
Q _{gd} (nC)	80	
Configuration	Single	

FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead (Pb)-free Available

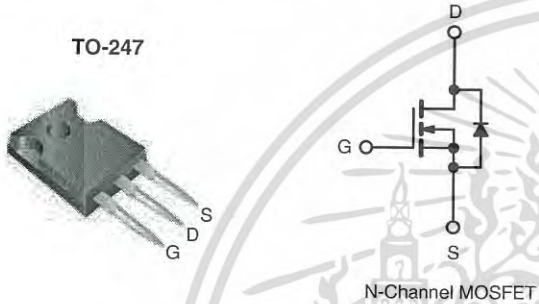


RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.



ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247
Lead (Pb)-free	IRFP450PbF SiHFP450-E3
SnPb	IRFP450 SiHFP450

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS T _C = 25 °C, unless otherwise noted			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V _{DS}	500	V
Gate-Source Voltage	V _{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V _{GS} at 10 V	T _C = 25 °C	14
		T _C = 100 °C	8.7
Pulsed Drain Current ^a	I _{DM}	56	A
Linear Derating Factor		1.5	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E _{AS}	760	mJ
Repetitive Avalanche Current ^a	I _{AR}	8.7	A
Repetitive Avalanche Energy ^a	E _{AR}	19	mJ
Maximum Power Dissipation	T _C = 25 °C	P _D	190
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	3.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T _J , T _{stg}	- 55 to + 150	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- V_{DD} = 50 V, starting T_J = 25 °C, L = 7.0 mH, R_G = 25 Ω, I_{AS} = 14 A (see fig. 12).
- I_{SD} ≤ 14 A, dI/dt ≤ 130 A/μs, V_{DD} ≤ V_{DS}, T_J ≤ 150 °C.
- 1.6 mm from case.



* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

IRFP450, SiHFP450

Vishay Siliconix



THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	40	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.24	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	0.65	

SPECIFICATIONS $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	500	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.63	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 500\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 400\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 8.4\text{ A}^b$	-	-	0.40	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 8.4\text{ A}^b$	9.3	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	2600	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	720	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	340	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 14\text{ A}, V_{DS} = 400\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	150	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	20	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	80	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 250\text{ V}, I_D = 14\text{ A}, R_G = 6.2\text{ }\Omega, R_D = 17\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b	-	17	-	ns
Rise Time	t_r		-	47	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	92	-	
Fall Time	t_f		-	44	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	13	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode 	-	-	14	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	56	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 14\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	1.4	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = 14\text{ A}, di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	540	810	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	4.8	7.2	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TYPICAL CHARACTERISTICS 25 °C, unless otherwise noted

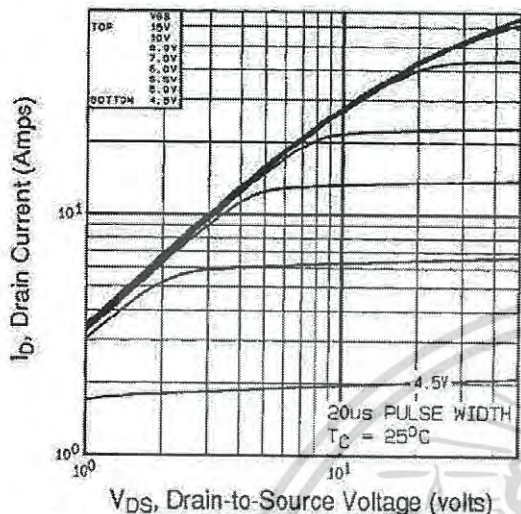


Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$

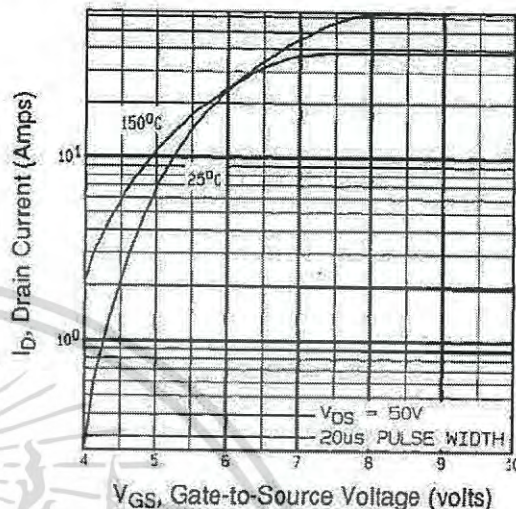


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

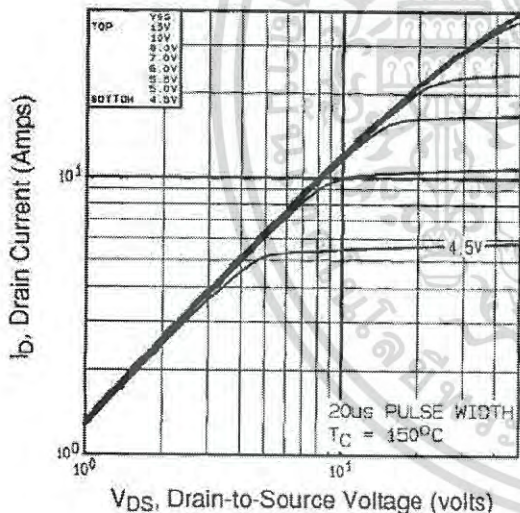


Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 150^\circ\text{C}$

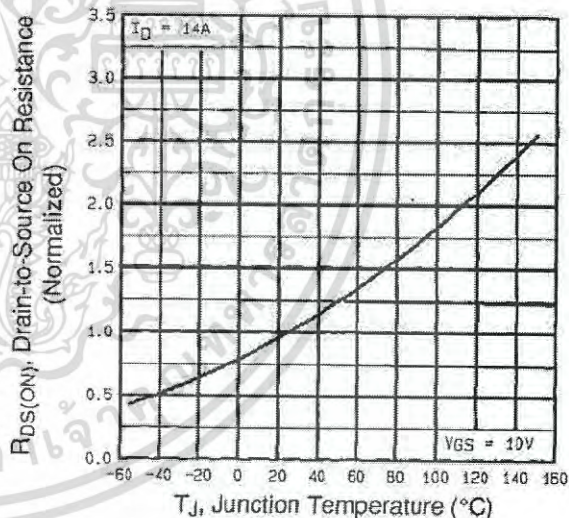


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

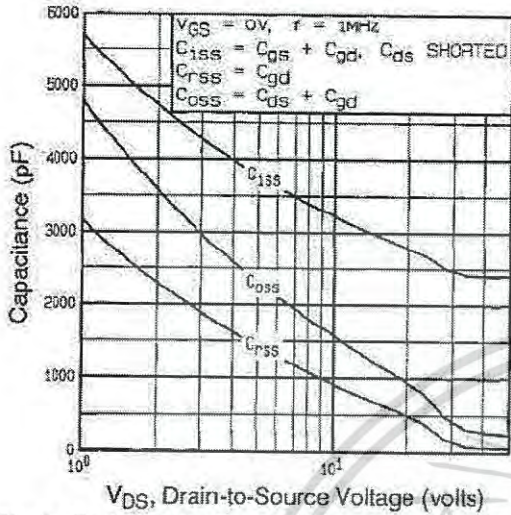


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

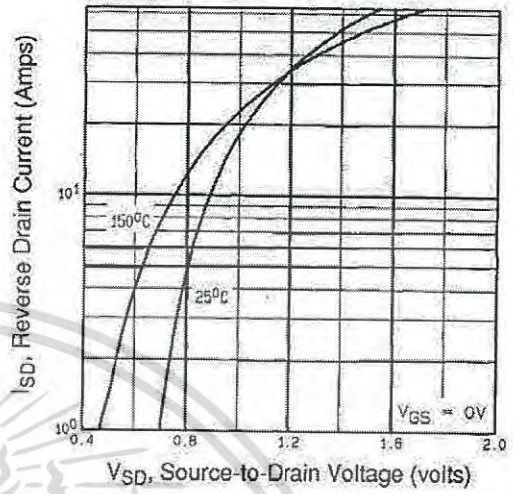


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

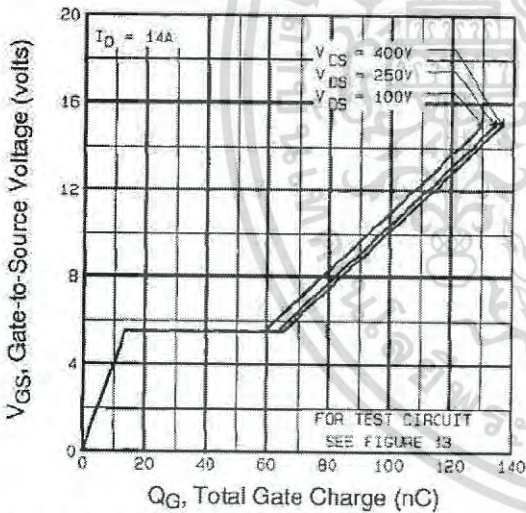


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

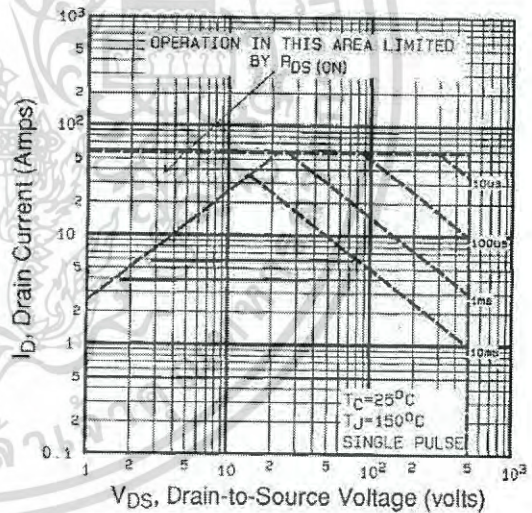


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

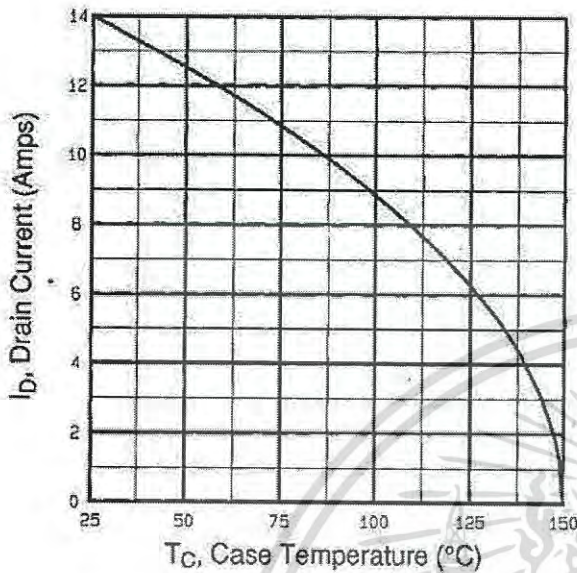


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

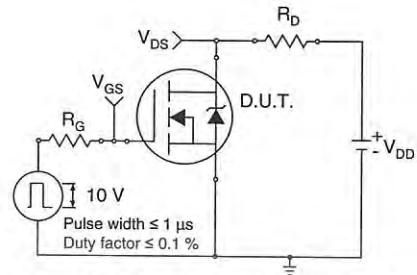


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

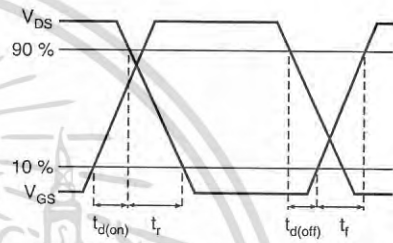


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

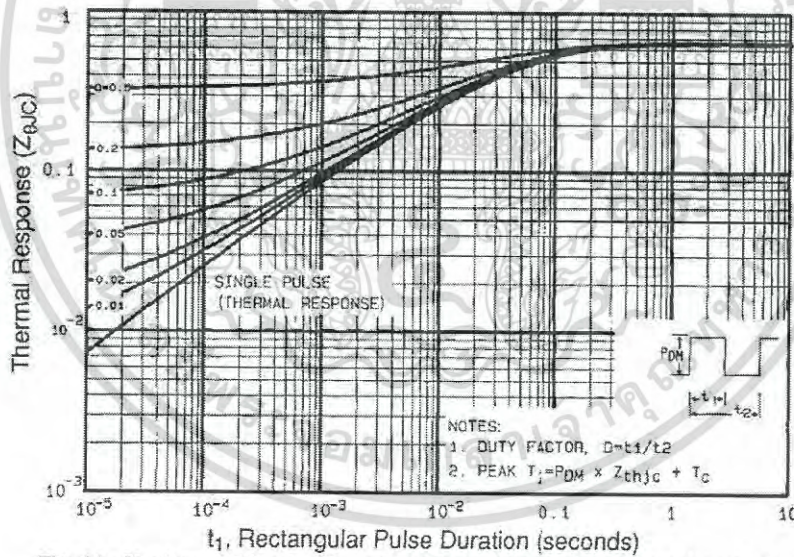


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

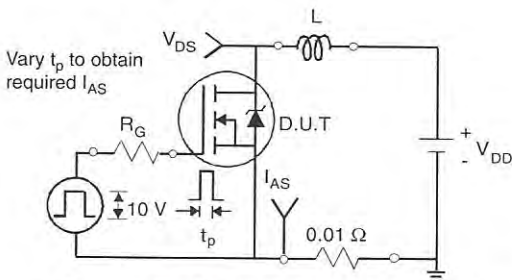


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

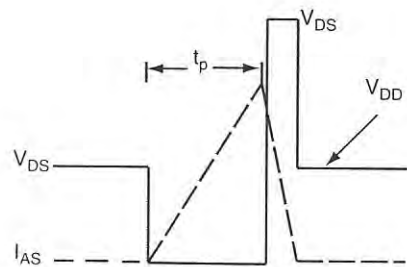


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

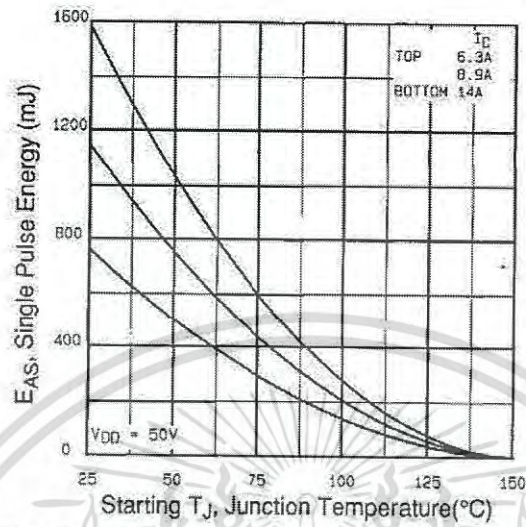


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

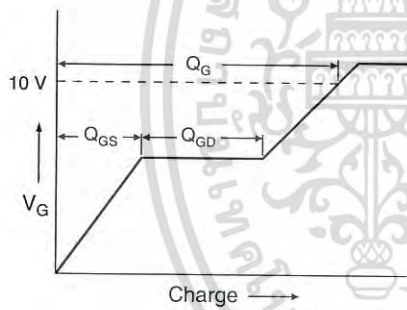


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

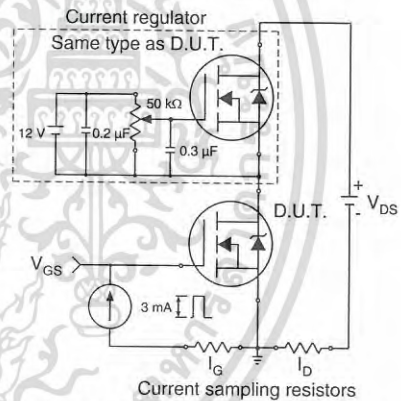


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dV/dt Test Circuit

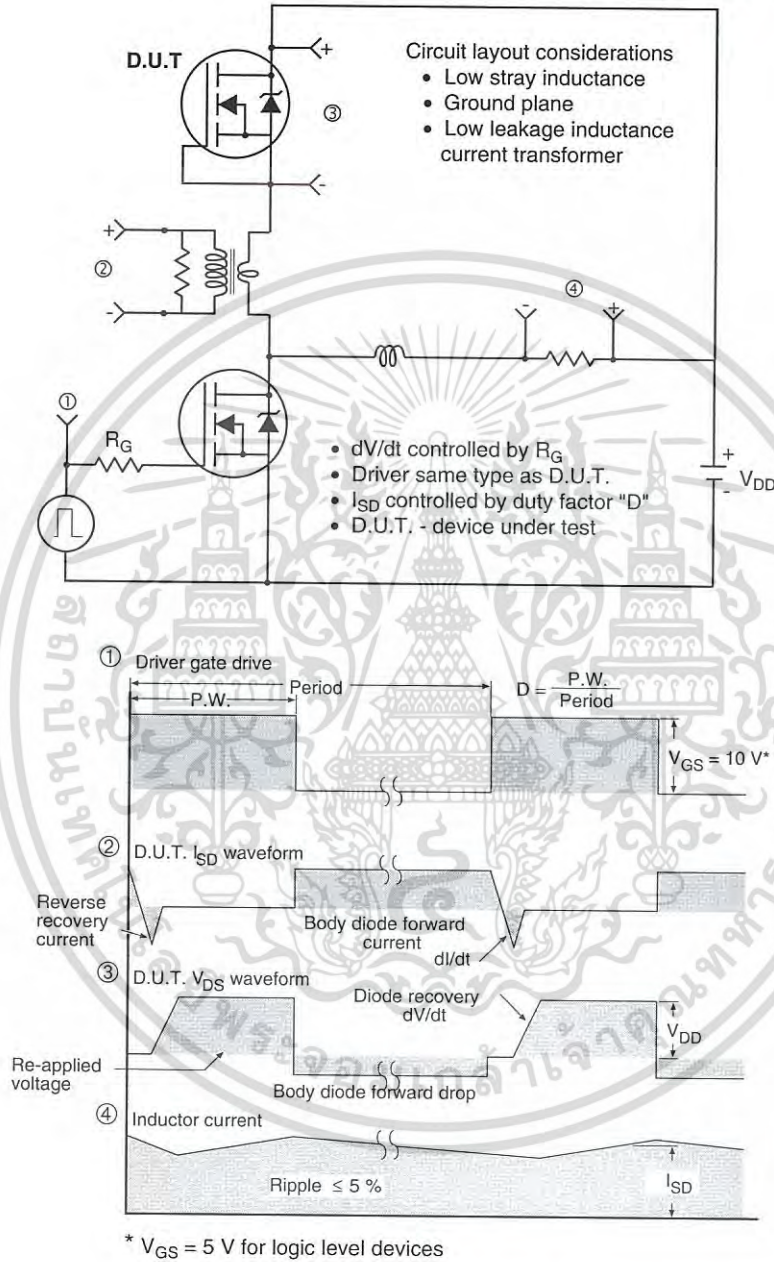
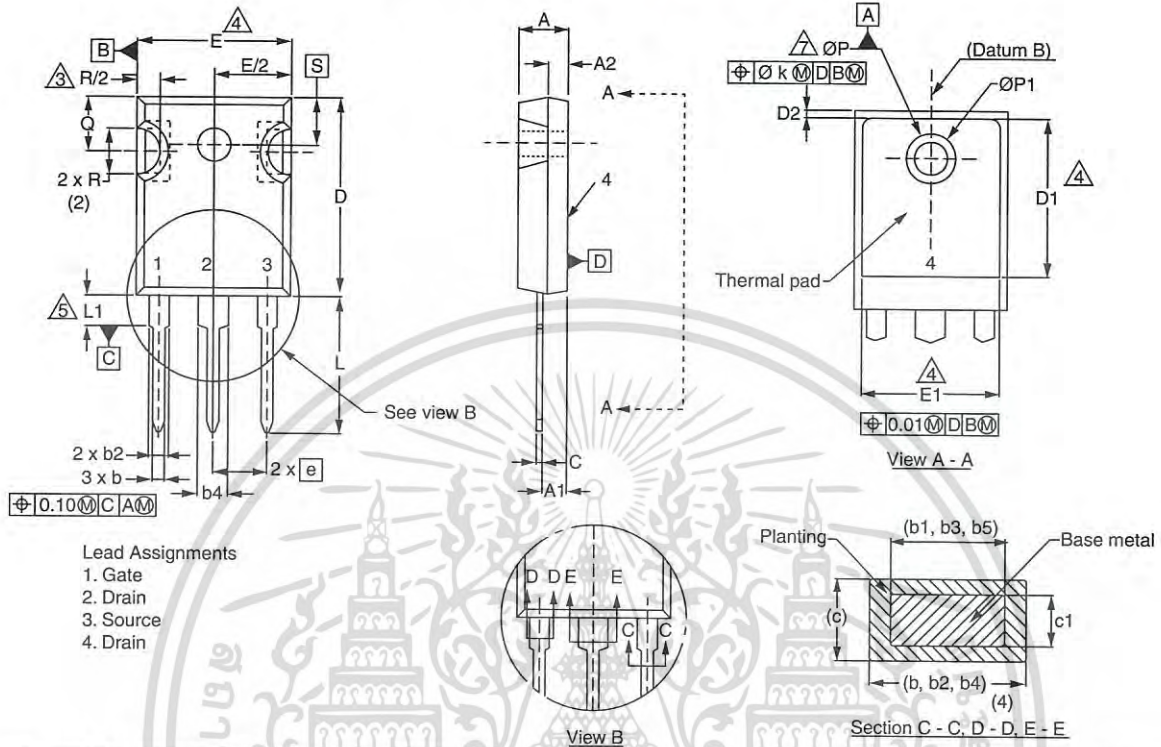


Fig. 14 - For N-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see <http://www.vishay.com/ppg?91233>



TO-247AC (High Voltage)



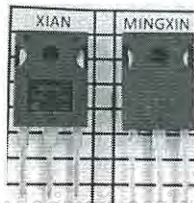
DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.58	5.31	0.180	0.209
A1	2.21	2.59	0.087	0.102
A2	1.17	2.49	0.046	0.098
b	0.99	1.40	0.039	0.055
b1	0.99	1.35	0.039	0.053
b2	1.53	2.39	0.060	0.094
b3	1.65	2.37	0.065	0.093
b4	2.42	3.43	0.095	0.135
b5	2.59	3.38	0.102	0.133
c	0.38	0.86	0.015	0.034
c1	0.38	0.76	0.015	0.030
D	19.71	20.82	0.776	0.820
D1	13.08	-	0.515	-

DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
D2	0.51	1.30	0.020	0.051
E	15.29	15.87	0.602	0.625
E1	13.72	-	0.540	-
e	5.46 BSC		0.215 BSC	
Ø k	0.254		0.010	
L	14.20	16.25	0.559	0.640
L1	3.71	4.29	0.146	0.169
N	7.62 BSC		0.300 BSC	
Ø P	3.51	3.66	0.138	0.144
Ø P1	-	7.39	-	0.291
Q	5.31	5.69	0.209	0.224
R	4.52	5.49	0.178	0.216
S	5.51 BSC		0.217 BSC	

ECN: X13-0103-Rev. D, 01-Jul-13
 DWG: 5971

Notes

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
2. Contour of slot optional.
3. Dimension D and E do not include mold flash. Mold flash shall not exceed 0.127 mm (0.005") per side. These dimensions are measured at the outermost extremes of the plastic body.
4. Thermal pad contour optional with dimensions D1 and E1.
5. Lead finish uncontrolled in L1.
6. Ø P to have a maximum draft angle of 1.5 to the top of the part with a maximum hole diameter of 3.91 mm (0.154").
7. Outline conforms to JEDEC outline TO-247 with exception of dimension c.
8. Xian and Mingxin actually photo.





Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

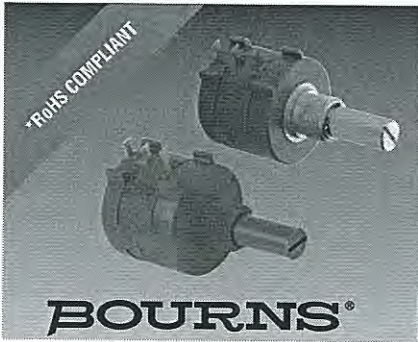
No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.



Features

- Bushing mount
- Optional AR pin feature
- Plastic or metal shaft and bushings
- Wirewound
- Solder lugs or PC pins
- Sealable (Full body seal)
- Designed for use in HMI applications

■ RoHS compliant*

3590 - Precision Potentiometer

Electrical Characteristics¹

Standard Resistance Range.....	200 to 100 K ohms
Total Resistance Tolerance.....	±5 %
Independent Linearity.....	±0.25 %
Effective Electrical Angle.....	3600 ° +10 °, -0 °
Absolute Minimum Resistance.....	1 ohm or 0.1 % maximum (whichever is greater)
Noise.....	100 ohms ENR maximum
Dielectric Withstanding Voltage (MIL-STD-202, Method 301) Sea Level.....	1,500 VAC minimum
Power Rating (Voltage Limited By Power Dissipation or 450 VAC, Whichever is Less) +40 °C.....	2 watts
+125 °C.....	0 watt
Insulation Resistance (500 VDC).....	1,000 megohms minimum
Resolution.....	See recommended part numbers

Environmental Characteristics¹

Operating Temperature Range.....	-40 °C to +125 °C
Storage Temperature Range.....	-55 °C to +125 °C
Temperature Coefficient Over Storage Temperature Range ²	±50 ppm/°C maximum/unit
Vibration.....	15 G
Wiper Bounce.....	0.1 millisecond maximum
Shock.....	50 G
Wiper Bounce.....	0.1 millisecond maximum
Load Life.....	1,000 hours, 2 watts
Total Resistance Shift.....	±2 % maximum
Rotational Life (No Load).....	1,000,000 shaft revolutions
Total Resistance Shift.....	±5 % maximum
Moisture Resistance (MIL-STD-202, Method 103, Condition B) Total Resistance Shift.....	±2 % maximum
IP Rating.....	
Sealed Versions (-3, -4, -7, and -8).....	IP 65
Unsealed Versions (-1 -2, -5, and -6).....	IP 40

Mechanical Characteristics¹

Stop Strength.....	45 N-cm (64 oz.-in.) minimum
Mechanical Angle.....	3600 ° +10 °, -0 °
Torque (Starting & Running).....	0.35 N-cm (0.5 oz.-in.) maximum (unsealed) 1.1 N-cm (1.5 oz.-in.) maximum (sealed)
Mounting.....	55-80 N-cm (5-7 lb.-in.) (plastic) 90-113 N-cm (8-10 in.-lb.) (metal)
Shaft Runout.....	0.13 mm (0.005 in.) T.I.R.
Lateral Runout.....	0.20 mm (0.008 in.) T.I.R.
Shaft End Play.....	0.25 mm (0.010 in.) T.I.R.
Shaft Radial Play.....	0.13 mm (0.005 in.) T.I.R.
Pilot Diameter Runout.....	0.08 mm (0.003 in.) T.I.R.
Backlash.....	1.0 ° maximum
Weight.....	Approximately 19 G
Terminals.....	Solder lugs or PC pins
Soldering Condition.....	
Manual Soldering.....	96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu solid wire or no-clean rosin cored wire; 370 °C (700 °F) max. for 3 seconds
Wave Soldering.....	96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu solder with no-clean flux; 260 °C (500 °F) max. for 5 seconds
Wash processes.....	Not recommended
Marking.....	Manufacturer's name and part number, resistance value and tolerance, linearity tolerance, wiring diagram, and date code.
Ganging (Multiple Section Potentiometers).....	1 cup maximum
Hardware.....	One lockwasher and one mounting nut is shipped with each potentiometer.

NOTE: For Anti-rotation pin add 91 after configuration dash number. Example: -2 becomes -291 to add AR pin.

¹At room ambient: +25 °C nominal and 50 % relative humidity nominal, except as noted.

²Consult manufacturer for complete specification details for resistances below 1k ohms.

Recommended Part Numbers

(Printed Circuit)	(Solder Lug)	(Solder Lug)	Resistance (Ω)	Resolution (%)
3590P-2-102L	3590S-2-102L	3590S-1-102L	1,000	.029
3590P-2-202L	3590S-2-202L	3590S-1-202L	2,000	.023
3590P-2-502L	3590S-2-502L	3590S-1-502L	5,000	.025
3590P-2-103L	3590S-2-103L	3590S-1-103L	10,000	.020
3590P-2-203L	3590S-2-203L	3590S-1-203L	20,000	.019
3590P-2-503L	3590S-2-503L	3590S-1-503L	50,000	.013
3590P-2-104L	3590S-2-104L	3590S-1-104L	100,000	.009

BOLDFACE LISTINGS ARE IN STOCK AND READILY AVAILABLE THROUGH DISTRIBUTION. FOR OTHER OPTIONS CONSULT FACTORY.

ROHS IDENTIFIER:
L = COMPLIANT

Specifications are subject to change without notice. The device characteristics and parameters in this data sheet can and do vary in different applications and actual device performance may vary over time. Users should verify actual device performance in their specific applications.

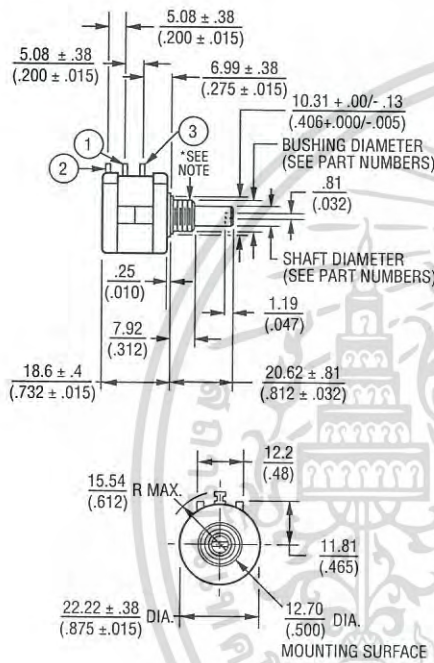
*RoHS Directive 2002/95/EC Jan. 27, 2003 including annex and RoHS Recast 2011/65/EU June 8, 2011.

3590 - Precision Potentiometer

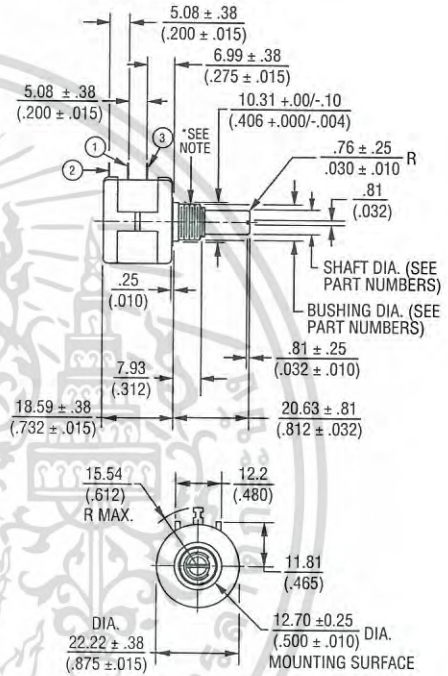
BOURNS®

Product Dimensions

-1, -3, -5, -7 Configurations

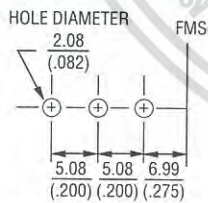


-2, -4, -6, -8 Configurations

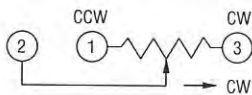


*BUSHING THREAD SPECIFICATIONS:
-1, -2, -3, -4... 3/8-32 UNF
-5, -6, -7, -8... M9 x 0.75-7H

Recommended PCB Layout



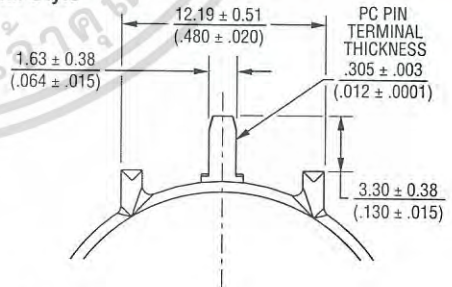
Schematic



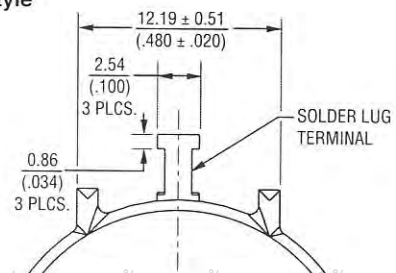
TOLERANCES: EXCEPT WHERE NOTED
DECIMALS: XX ± .508, XXX ± .127
FRACTIONS: ± 1/64
DIMENSIONS: MM (IN.)

Terminal Styles

"P" Terminal Style



"S" Terminal Style



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

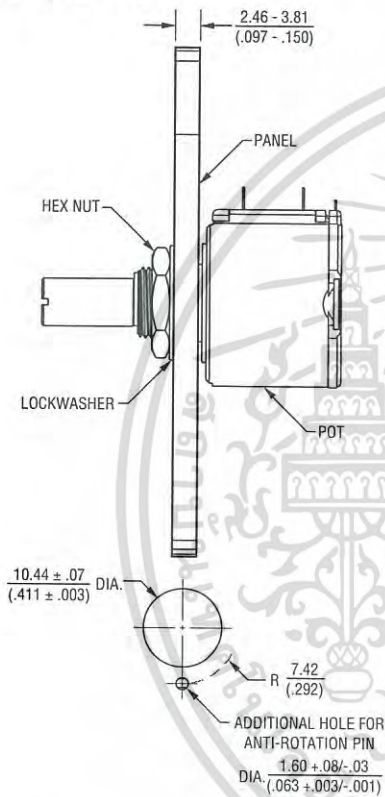
The device characteristics and parameters in this data sheet can and do vary in different applications and actual device performance may vary over time. Specifications are subject to change without notice. Users should verify actual device performance in their specific applications.

3590 - Precision Potentiometer

BOURNS®

Panel Thickness Dimensions

(For Bushing Mount Only)



Anti-rotation pin hole is shown at six o'clock position for reference only. The actual location is determined by the customer's application. Refer to the front view of the potentiometer to see the location of the optional A/R pin.

Panel thickness and hole diameters are recommended for best fit. However, customers may adjust the dimensions to suit their specific application.

Shaft & Bushing Configurations

(Bushing - DxL, Shaft - D):

- (-1) Plastic Bushing (3/8 " x 5/16 ") and Shaft (.2480 + .001, - .002)
- (-2) **Metal Bushing (3/8 " x 5/16 ") and Shaft (.2497 + .0000, - .0009)**
- (-3) Sealed, Plastic Bushing (3/8 " x 5/16 ") and Shaft (.2480 + .001, - .002)
- (-4) Sealed, Metal Bushing (3/8 " x 5/16 ") and Shaft (.2497 + .0000, - .0009)
- (-5) Metric, Plastic Bushing (9 mm x 7.94 mm) and Shaft (6 mm + 0, - .076 mm)
- (-6) Metric, Metal Bushing (9 mm x 7.94 mm) and Shaft (6 mm + 0, - .023 mm)
- (-7) Metric, Sealed, Plastic Bushing (9 mm x 7.94 mm) and Shaft (6 mm + 0, - .076 mm)
- (-8) Metric, Sealed, Metal Bushing (9 mm x 7.94 mm) and Shaft (6 mm + 0, - .023 mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ **REV. 03/15**

The device characteristics and parameters in this data sheet can and do vary in different applications and actual device performance may vary over time. Users should verify actual device performance in their specific applications.

Distributed by:

JAMECO[®]
ELECTRONICS

www.Jameco.com ♦ 1-800-831-4242

The content and copyrights of the attached
material are the property of its owner.



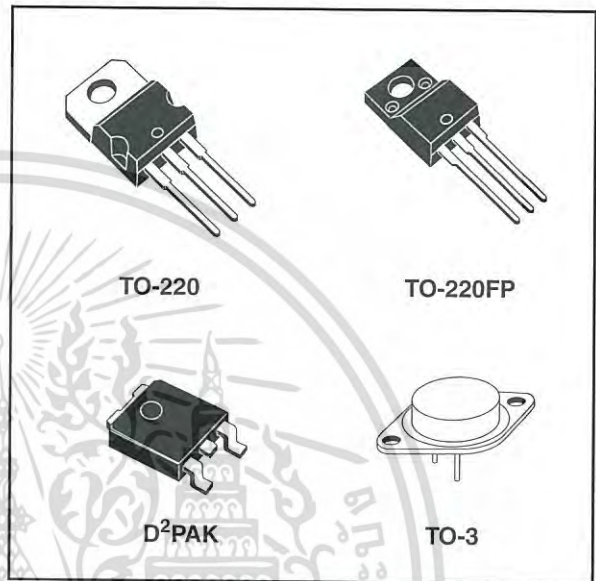
Positive voltage regulators

Feature summary

- Output current to 1.5A
- Output voltages of 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

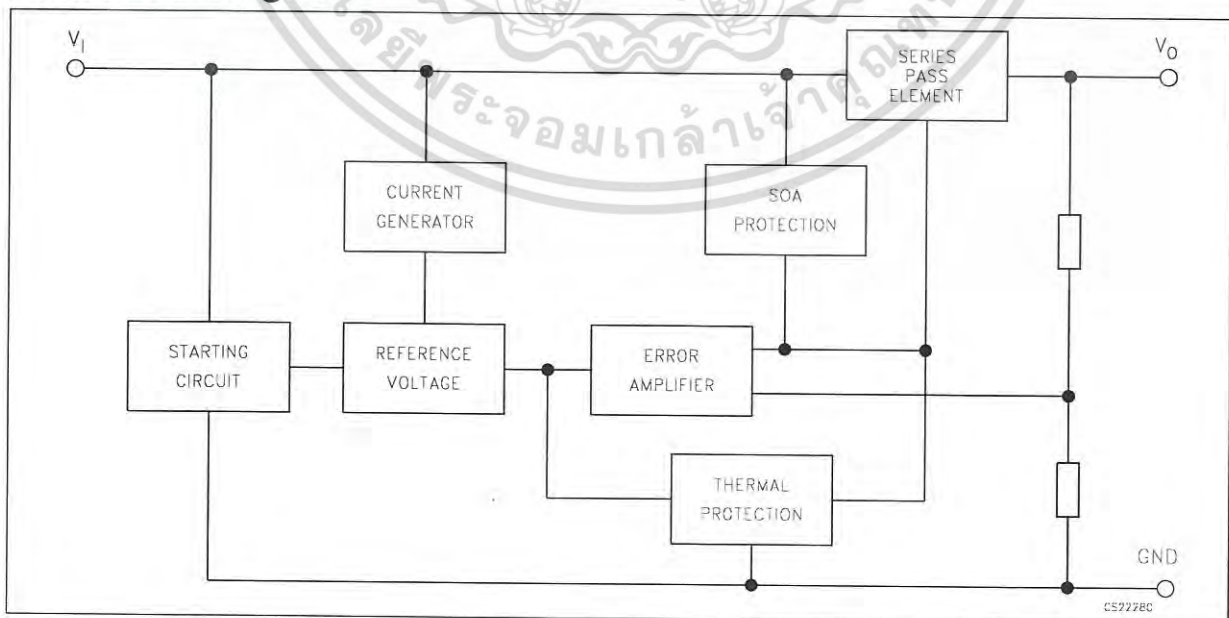
Description

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed



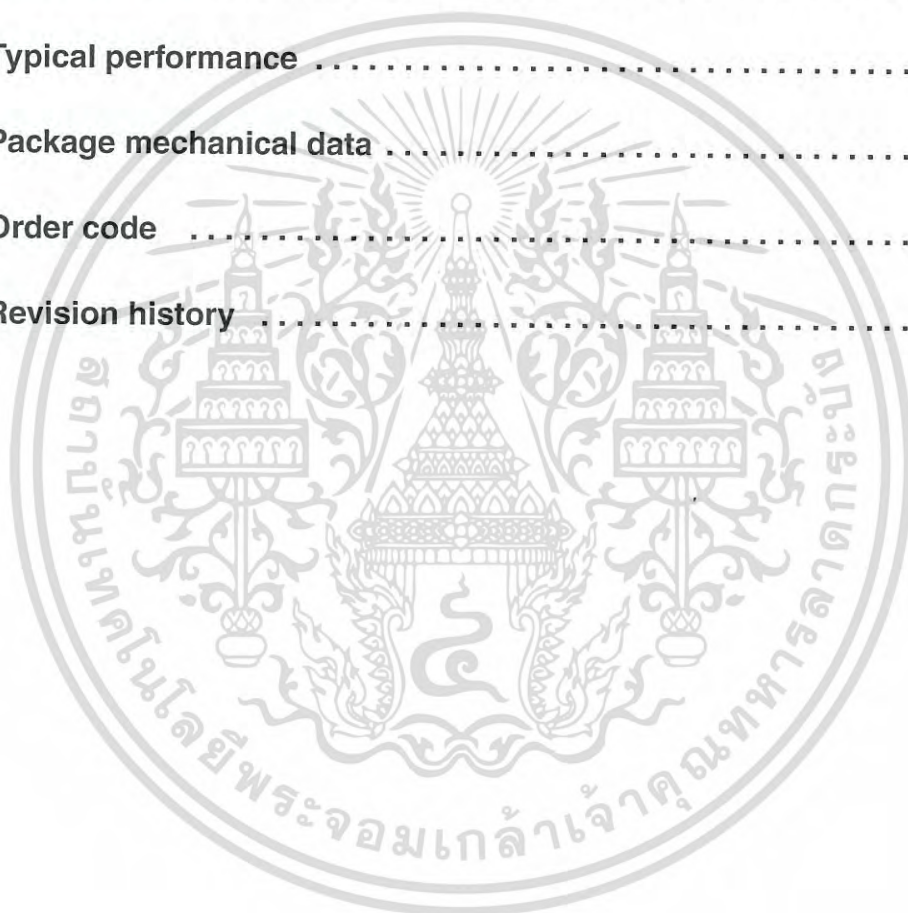
primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

Schematic diagram



Contents

1	Pin configuration	3
2	Maximum ratings	4
3	Test circuits	5
4	Electrical characteristics	6
5	Typical performance	26
6	Package mechanical data	36
7	Order code	46
8	Revision history	47



1 Pin configuration

Figure 1. Pin connections (top view)

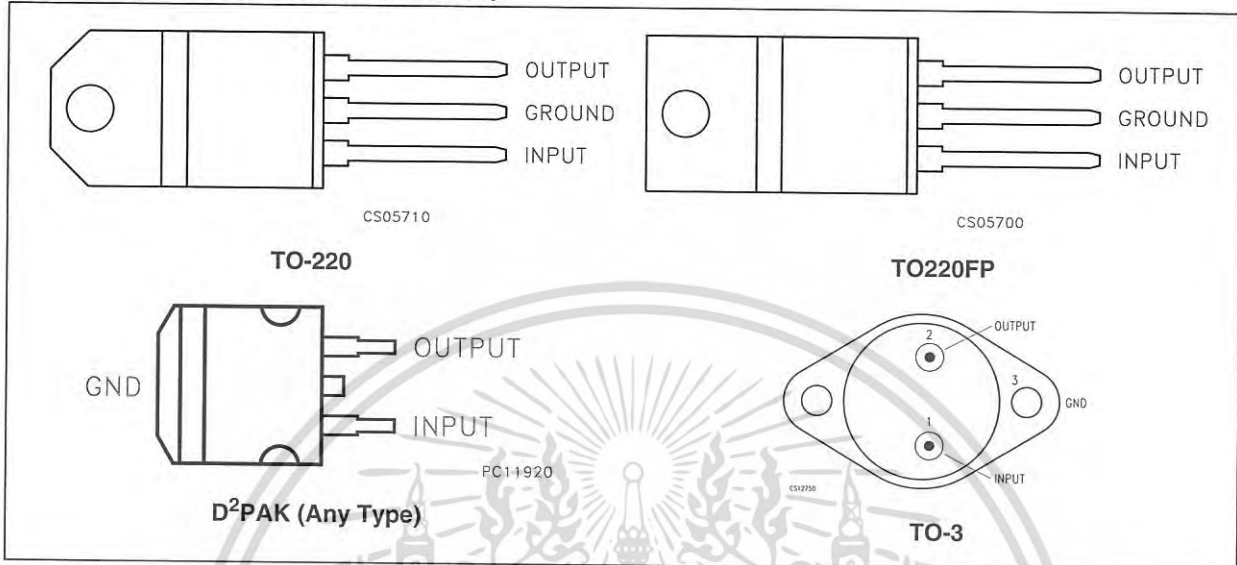
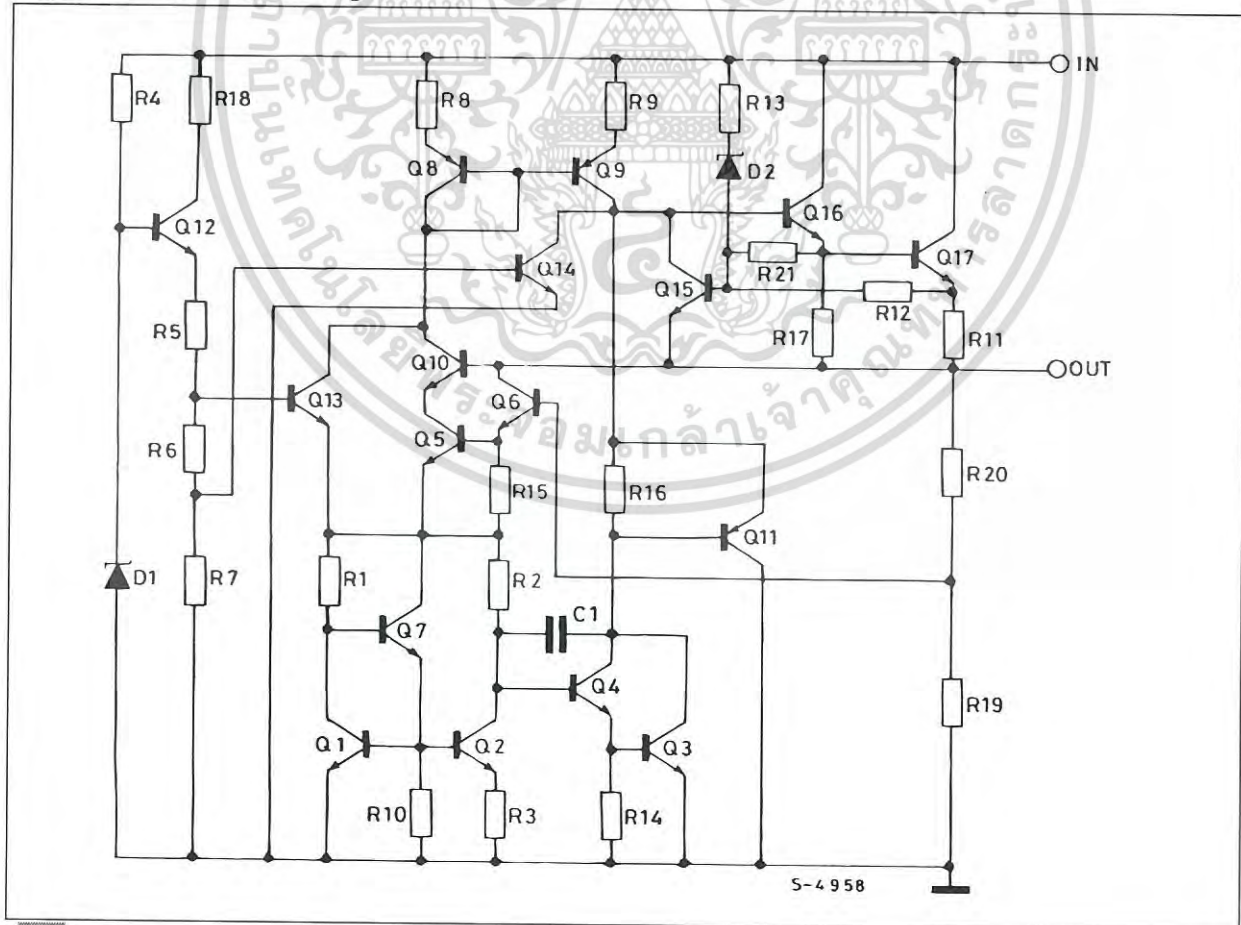


Figure 2. Schematic diagram



2 Maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

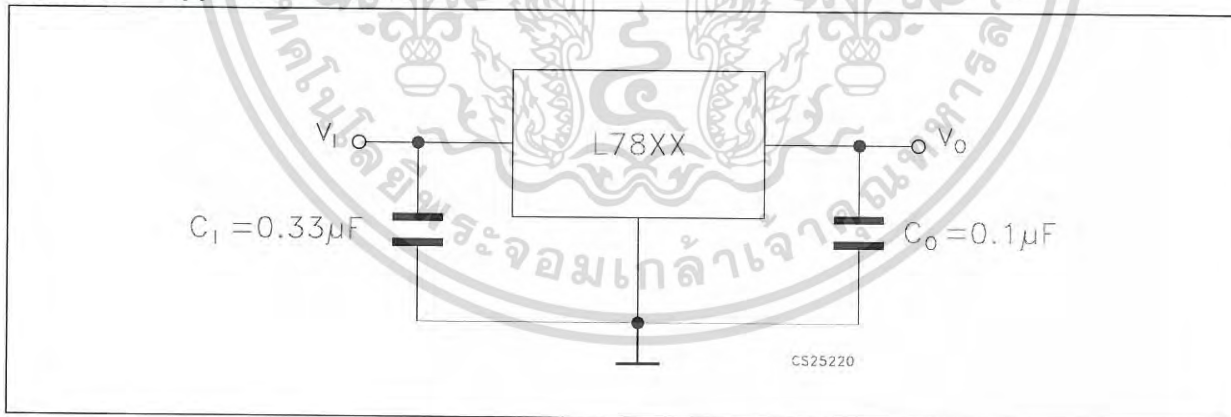
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_I	DC Input voltage	for $V_O = 5$ to 18V	35
		for $V_O = 20, 24V$	40
I_O	Output current	Internally Limited	
P_D	Power dissipation	Internally Limited	
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range	for L7800	-55 to 150
		for L7800C	0 to 150

Note: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied

Table 2. Thermal Data

Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	5	5	4	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	35	°C/W

Figure 3. Application circuits



3 Test circuits

Figure 4. DC Parameter

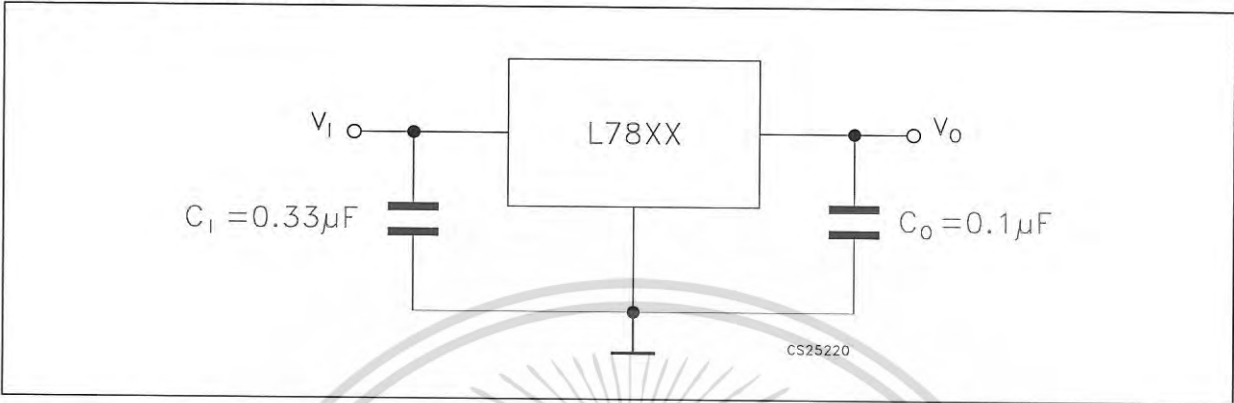


Figure 5. Load regulation

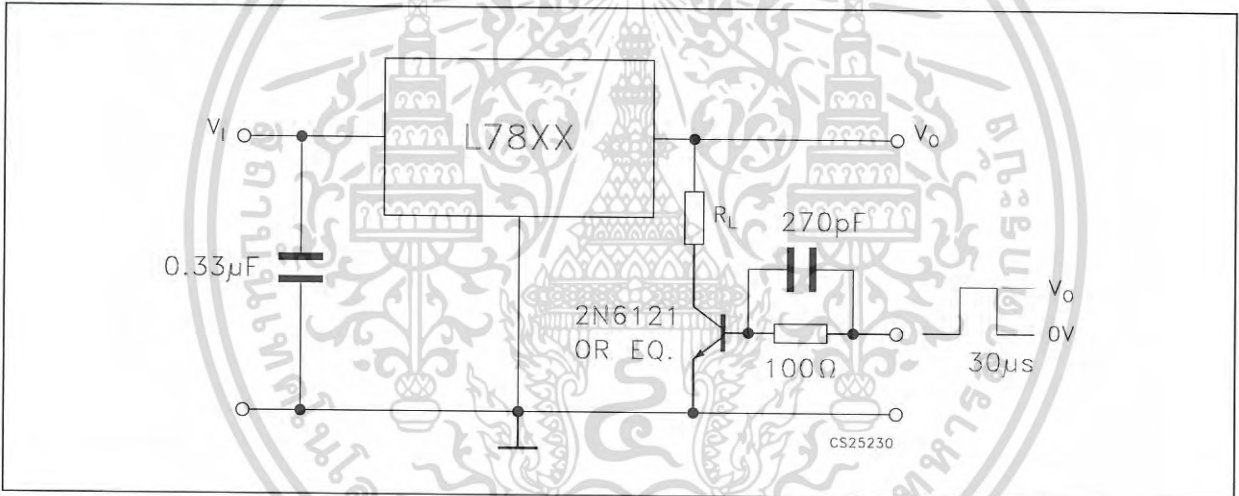
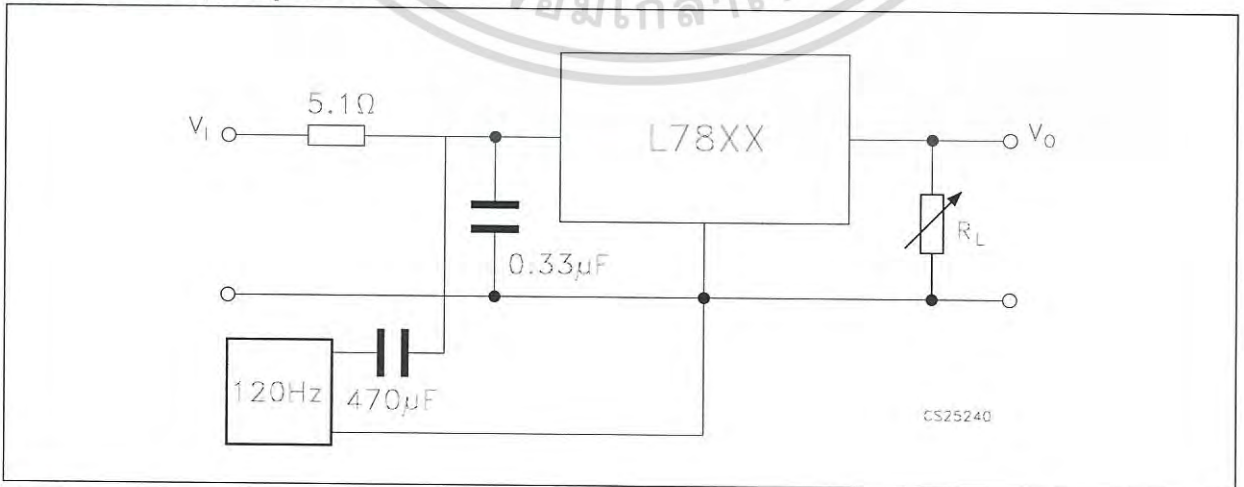


Figure 6. Ripple rejection



4 Electrical characteristics

Table 3. Electrical characteristics of L7805 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 8$ to 20 V	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8$ to 12 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			25	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 8$ to 25 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to 18 V , $f = 120\text{ Hz}$	68			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 4. Electrical characteristics of L7806 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 11\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.75	6	6.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 9$ to 21 V	5.65	6	6.35	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 8$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	mV
		$V_I = 9$ to 13 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			30	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			30	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 9$ to 25 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.7		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 9$ to 19 V , $f = 120\text{ Hz}$	65			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 5. Electrical characteristics of L7808 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 14\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5$ to 23V	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.5$ to 25V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	mV
		$V_I = 11$ to 17V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 11.5$ to 25V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5$ to 21.5V , $f = 120\text{Hz}$	62			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 6. Electrical characteristics of L7812 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 15.5$ to 27 V	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.5$ to 30 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = 16$ to 22 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 15$ to 30 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15$ to 25 V , $f = 120\text{ Hz}$	61			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 7. Electrical characteristics of L7815 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 23\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 18.5$ to 30V	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 17.5$ to 30V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	mV
		$V_I = 20$ to 26V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			75	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			75	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 18.5$ to 30V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		1.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 18.5$ to 28.5V , $f = 120\text{Hz}$	60			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 8. Electrical characteristics of L7818 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 26\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	17.3	18	18.7	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 22$ to 33V	17.1	18	18.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 21$ to 33V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$V_I = 24$ to 30V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 22$ to 33V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		2.3		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 22$ to 32V , $f = 120\text{Hz}$	59			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		22		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 9. Electrical characteristics of L7820 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 28\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	19.2	20	20.8	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 24$ to 35 V	19	20	21	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 22.5$ to 35 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	mV
		$V_I = 26$ to 32 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 24$ to 35 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		2.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 24$ to 35 V , $f = 120\text{ Hz}$	58			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		24		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 10. Electrical characteristics of L7824 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 33\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 28$ to 38V	22.8	24	25.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 27$ to 38V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = 30$ to 36V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 28$ to 38V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		3		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 28$ to 38V , $f = 120\text{Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		28		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 11. Electrical characteristics of L7805C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 7$ to 20 V	4.75	5	5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	100	mV
		$V_I = 8$ to 12 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7$ to 25 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to 18 V , $f = 120\text{ Hz}$	62			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 12. Electrical characteristics of L7852C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.0	5.2	5.4	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 8$ to 20 V	4.95	5.2	5.45	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	105	mV
		$V_I = 8$ to 12 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	52	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			105	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			52	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7$ to 25 V			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		42		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to 18 V , $f = 120\text{ Hz}$	61			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 13. Electrical characteristics of L7806C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 11\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.75	6	6.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 8$ to 21 V	5.7	6	6.3	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 8$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = 9$ to 13 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 8$ to 25 V			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		45		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 9$ to 19 V , $f = 120\text{ Hz}$	59			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.55		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 14. Electrical characteristics of L7808C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 14\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 10.5$ to 25 V	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.5$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11$ to 17 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 10.5$ to 25 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		52		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5$ to 21.5 V , $f = 120\text{ Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.45		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 15. Electrical characteristics of L7885C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 14.5\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.2	8.5	8.8	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 11$ to 26 V	8.1	8.5	8.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 11$ to 27 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11.5$ to 17.5 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11$ to 27 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		55		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 12$ to 22 V , $f = 120\text{ Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.45		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 16. Electrical characteristics of L7809C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 15\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.64	9	9.36	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 11.5$ to 26 V	8.55	9	9.45	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 11.5$ to 26 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$V_I = 12$ to 18 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11.5$ to 26 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		70		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 12$ to 23 V , $f = 120\text{ Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.40		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 17. Electrical characteristics of L7810C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 15\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	9.6	10	10.4	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 12.5$ to 26 V	9.5	10	10.5	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 12.5$ to 26 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	mV
		$V_I = 13.5$ to 19 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 12.5$ to 26 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		70		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 13$ to 23 V , $f = 120\text{ Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.40		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 18. Electrical characteristics of L7812C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.5$ to 27V	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.5$ to 30V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = 16$ to 22V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 14.5$ to 30V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		75		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15$ to 25V , $f = 120\text{Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.35		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 19. Electrical characteristics of L7815C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 23\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	14.5	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 17.5$ to 30 V	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 17.5$ to 30 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = 20$ to 26 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 17.5$ to 30 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		90		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 18.5$ to 28.5 V , $f = 120\text{ Hz}$	54			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.23		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 20. Electrical characteristics of L7818C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 26\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	17.3	18	18.7	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 21$ to 33V	17.1	18	18.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 21$ to 33V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$V_I = 24$ to 30V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$I_O = 250$ to 750mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$			0.5	mA
		$V_I = 21$ to 33V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		110		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 22$ to 32V , $f = 120\text{Hz}$	53			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		22		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.20		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 21. Electrical characteristics of L7820C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 28\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	19.2	20	20.8	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 23$ to 35 V	19	20	21	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 22.5$ to 35 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
		$V_I = 26$ to 32 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 23$ to 35 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		150		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 24$ to 35 V , $f = 120\text{ Hz}$	52			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		24		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.18		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 22. Electrical characteristics of L7824C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 33\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_1 = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 27$ to 38 V	22.8	24	25.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 27$ to 38 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$V_I = 30$ to 36 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 27$ to 38 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		170		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 28$ to 38 V , $f = 120\text{ Hz}$	50			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ KHz}$		28		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.15		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

5 Typical performance

Figure 7. Dropout voltage vs junction temperature

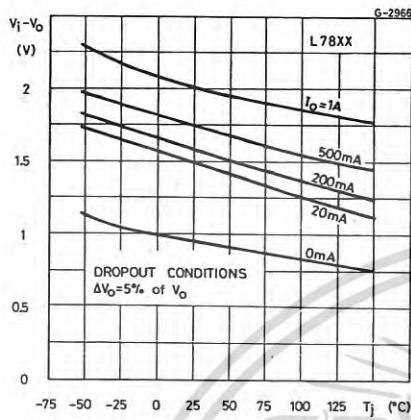


Figure 8. Peak output current vs input/output differential voltage

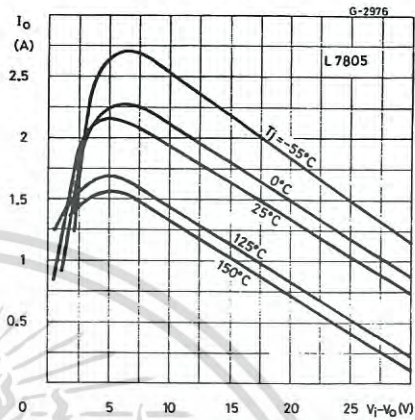


Figure 9. Supply voltage rejection vs frequency

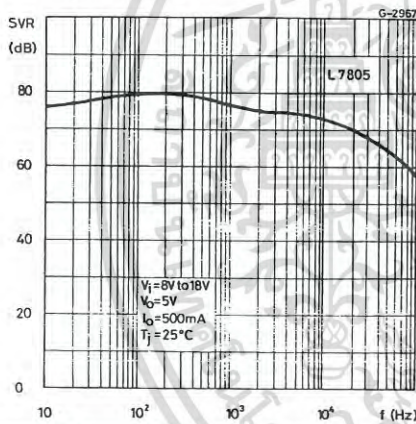


Figure 10. Output voltage vs junction temperature

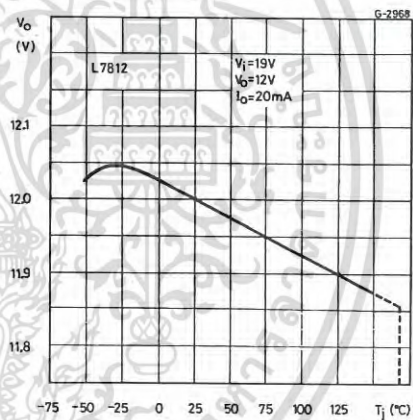


Figure 11. Output impedance vs frequency

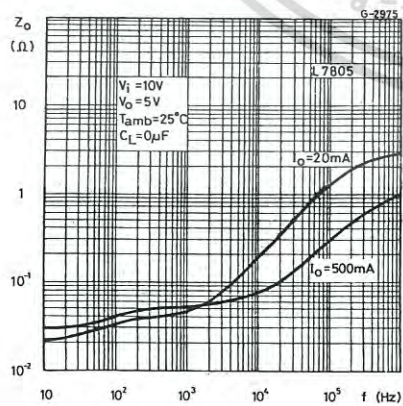


Figure 12. Quiescent current vs junction temperature

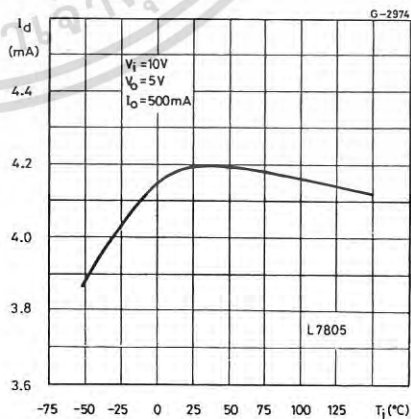


Figure 13. Load transient response

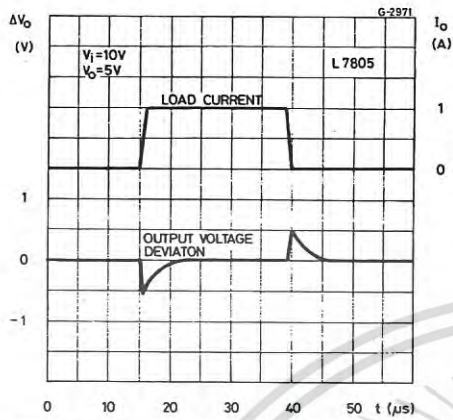


Figure 14. Line transient response

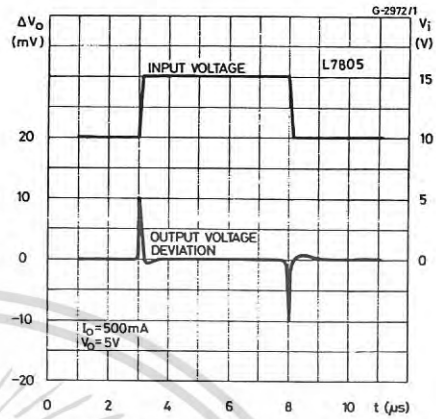


Figure 15. Quiescent current vs input voltage

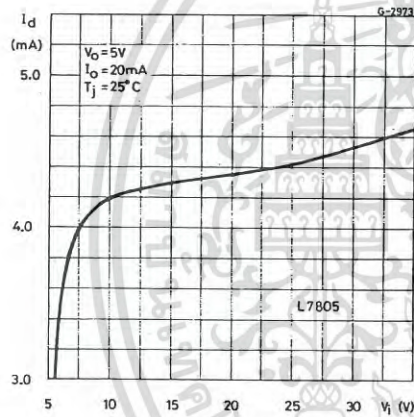
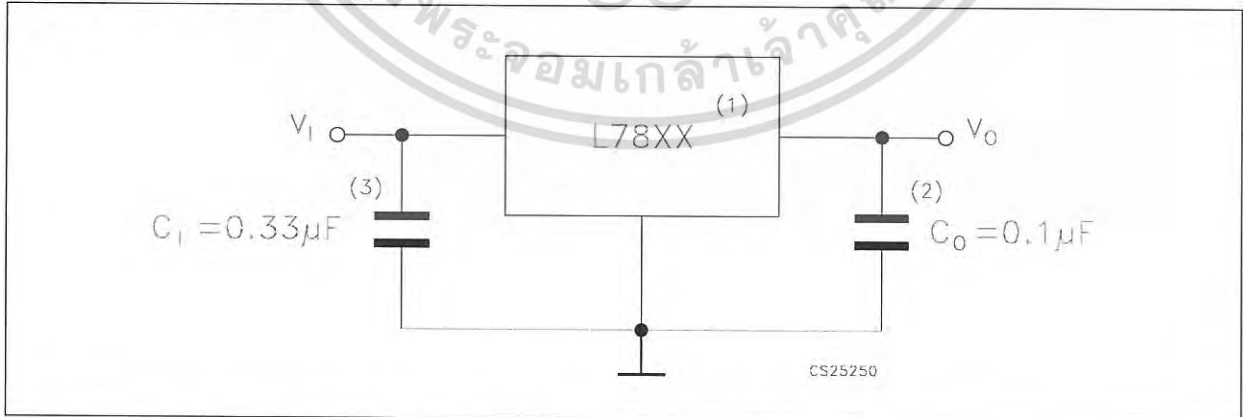


Figure 16. Fixed output regulator



1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
2. Although no output capacitor is need for stability, it does improve transient response.
3. Required if regulator is locate an appreciable distance from power supply filter.

Figure 17. Current regulator

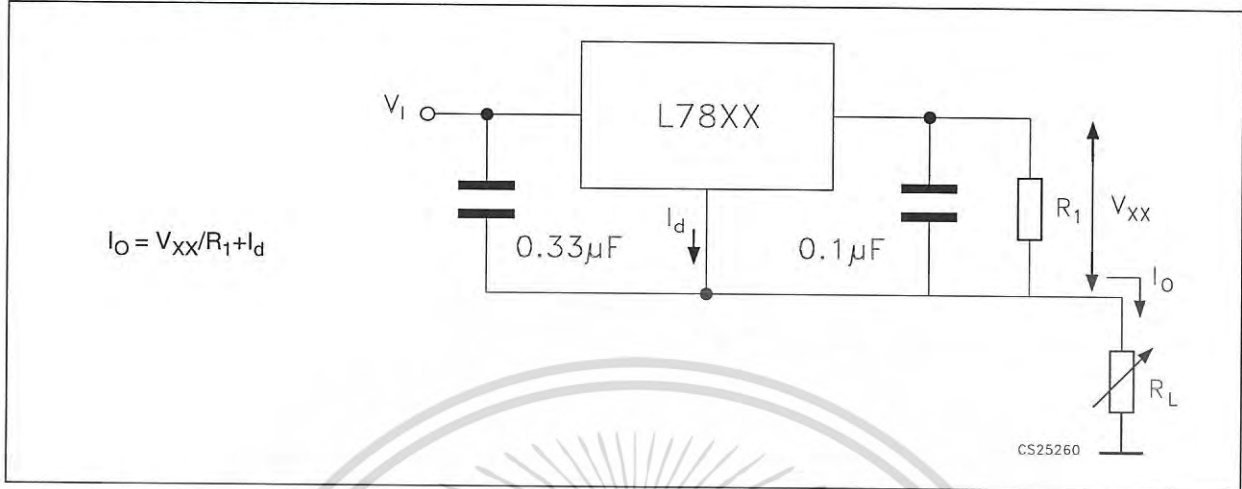


Figure 18. Circuit for increasing output voltage

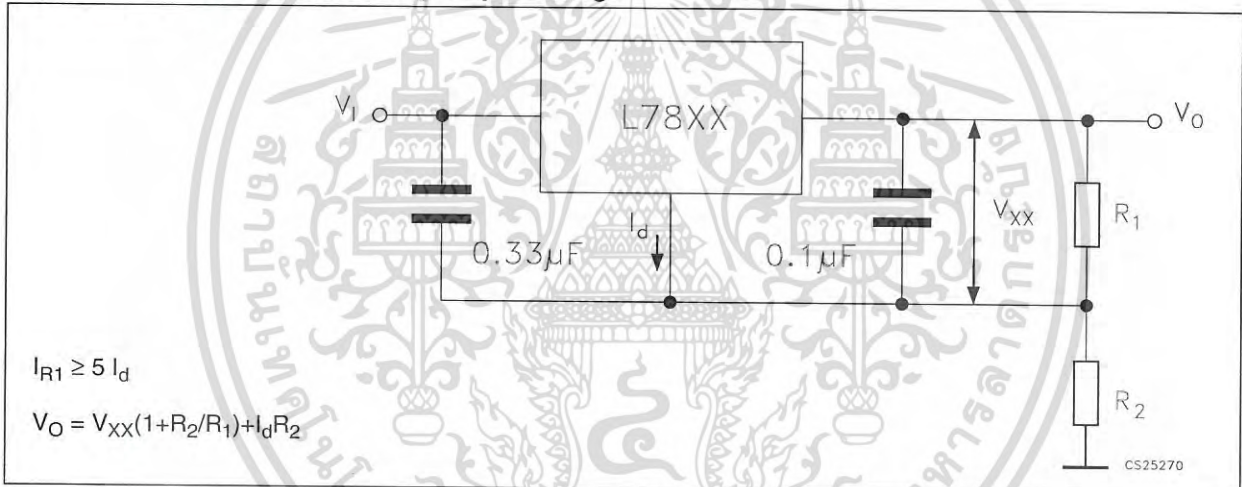


Figure 19. Adjustable output regulator (7 to 30V)

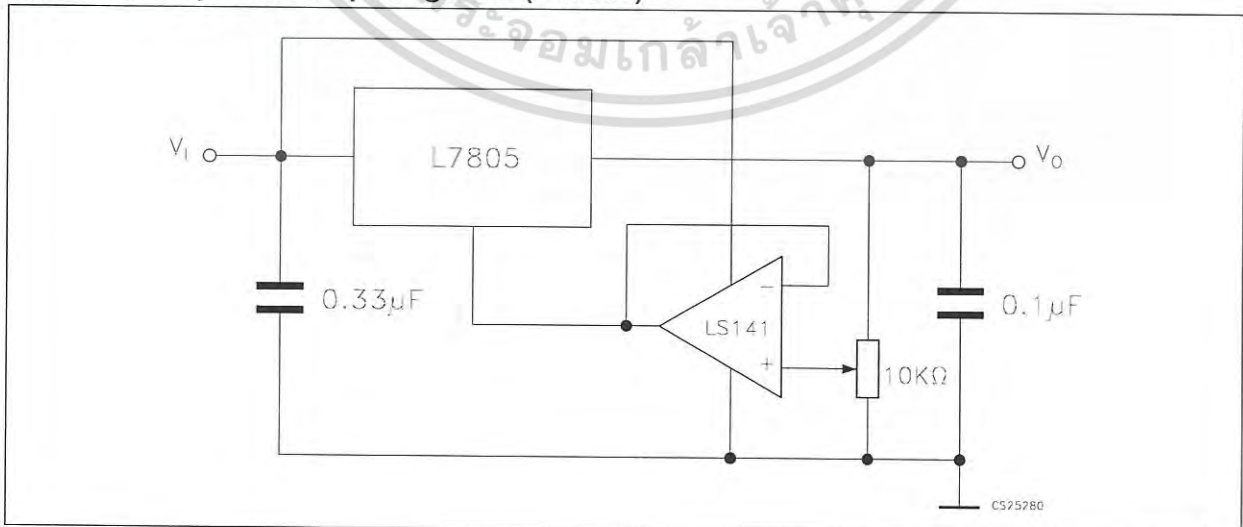


Figure 20. 0.5 to 10V Regulator

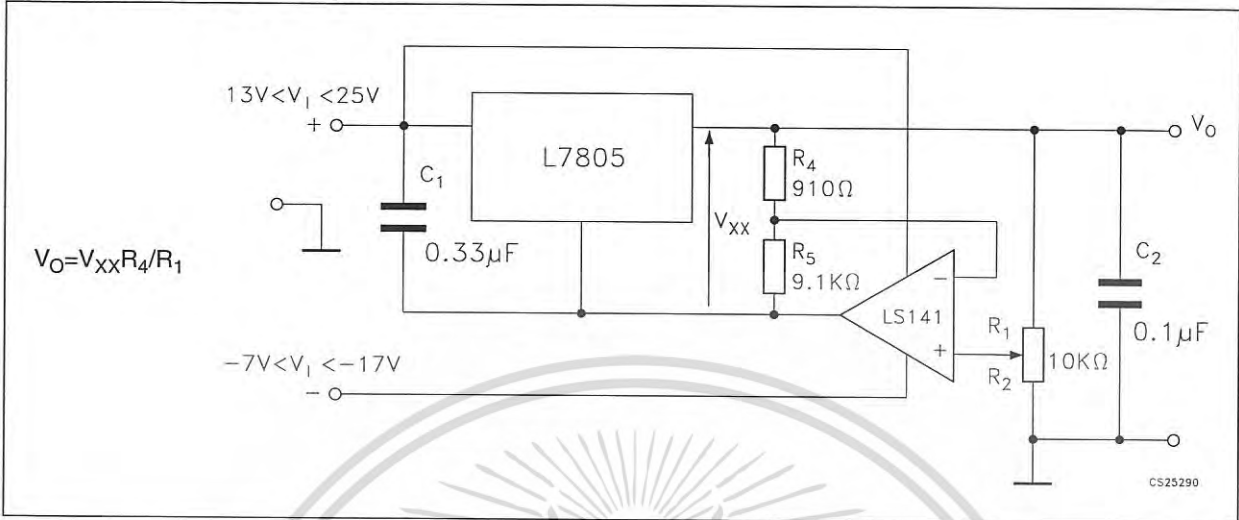


Figure 21. High current voltage regulator

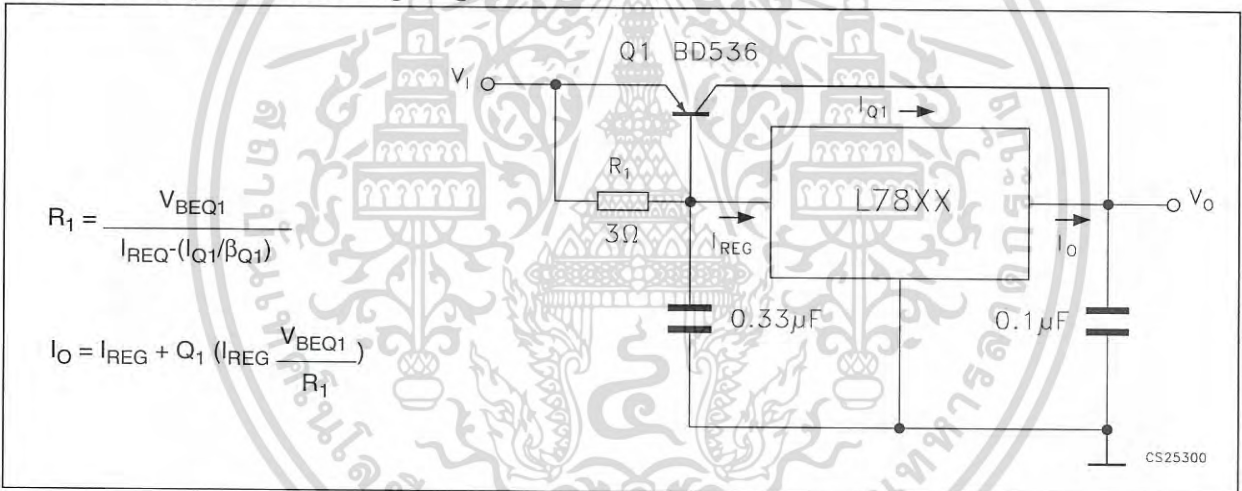


Figure 22. High output current with short circuit protection

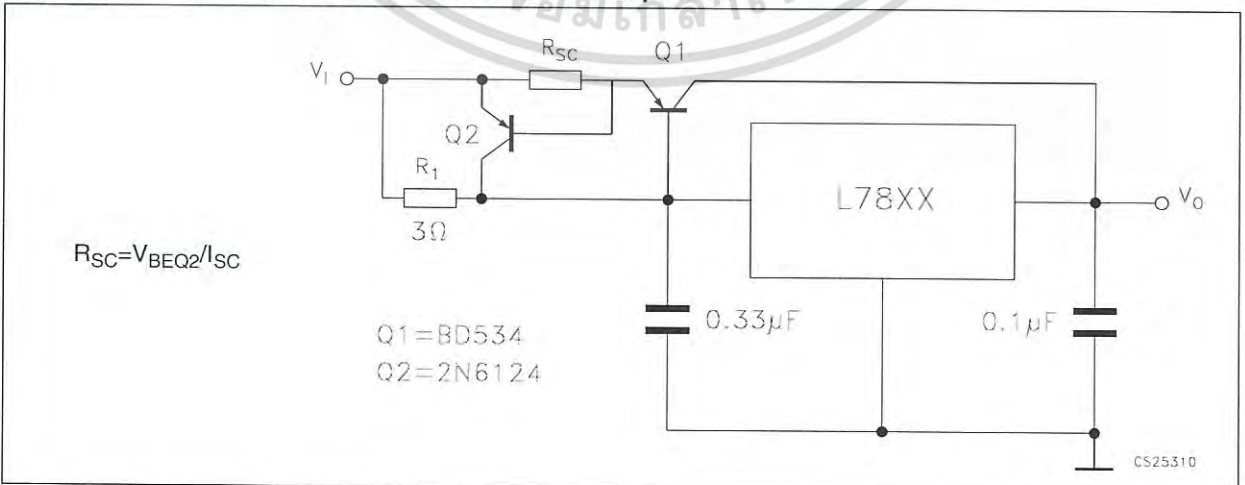


Figure 23. Tracking voltage regulator

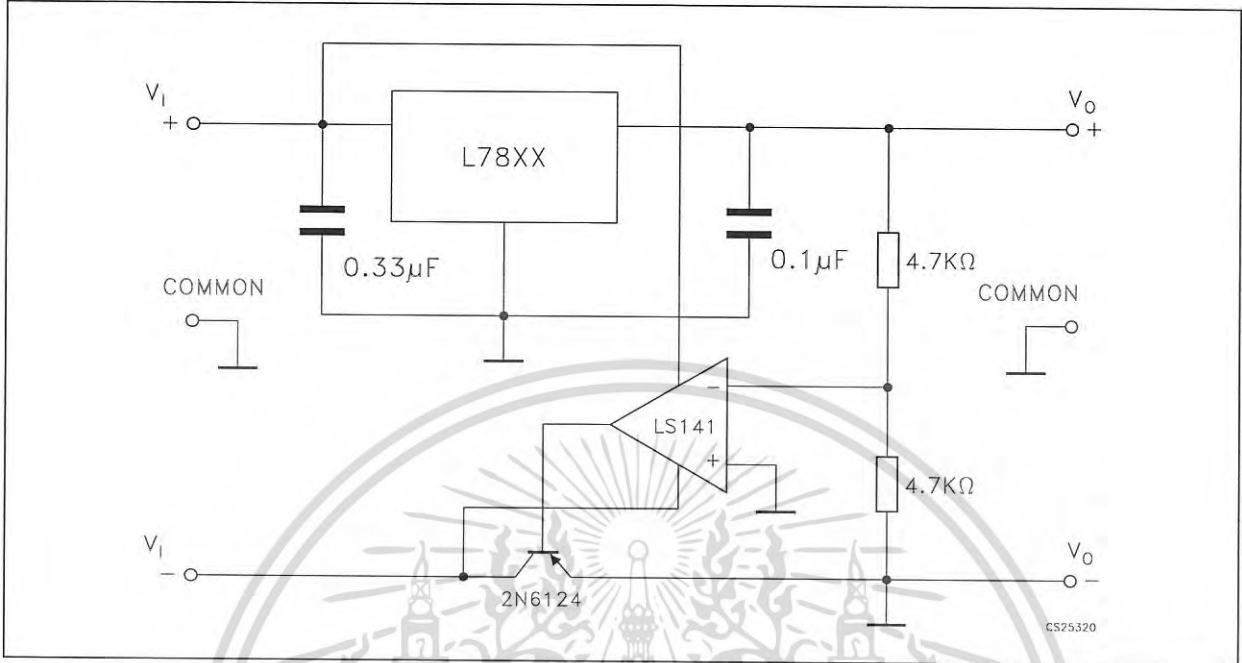
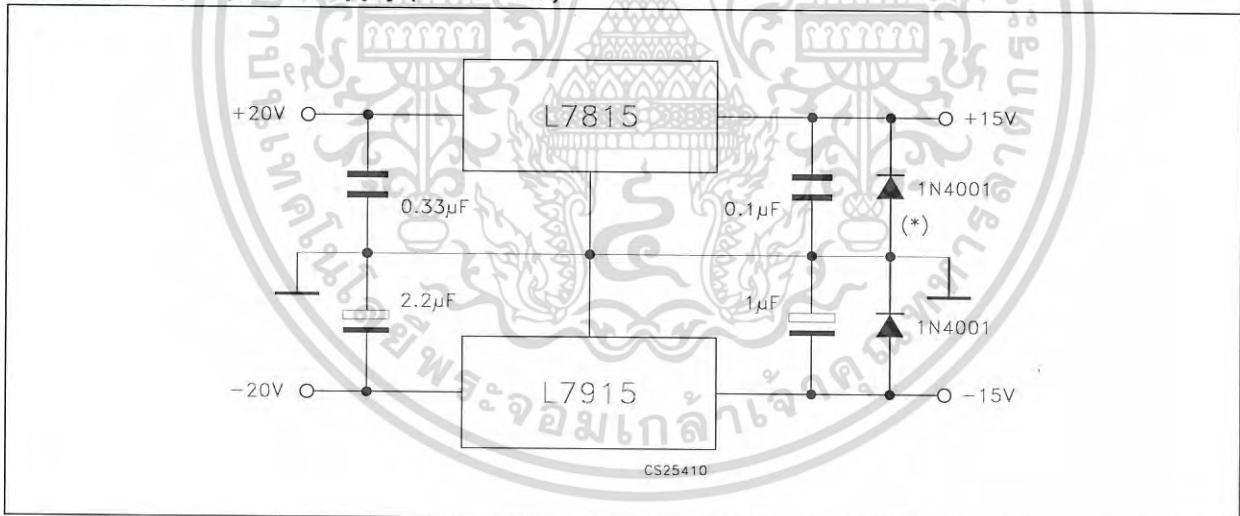


Figure 24. Split power supply ($\pm 15V - 1A$)



* Against potential latch-up problems.

Figure 25. Negative output voltage circuit

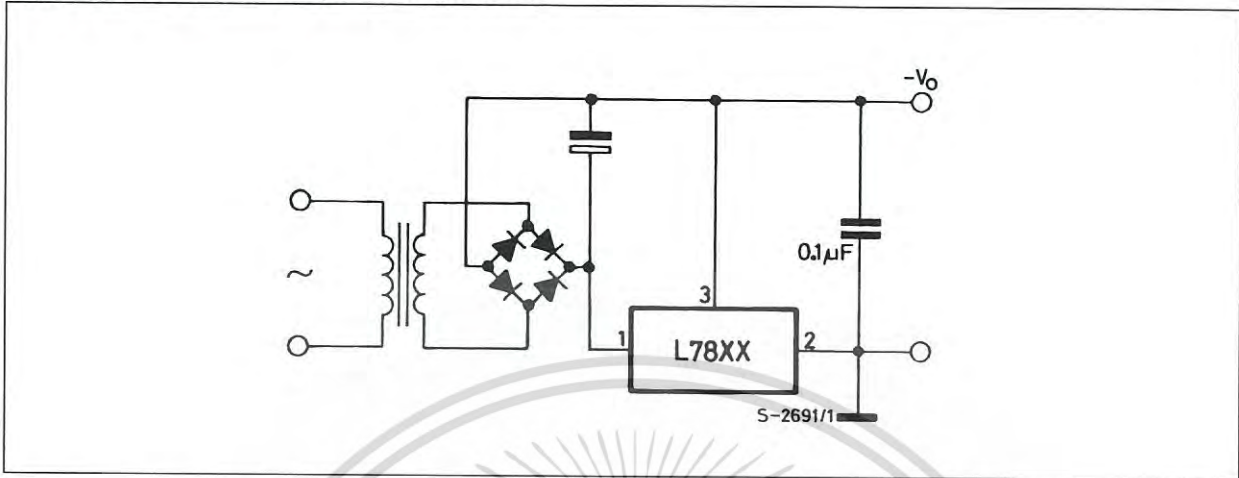


Figure 26. Switching regulator

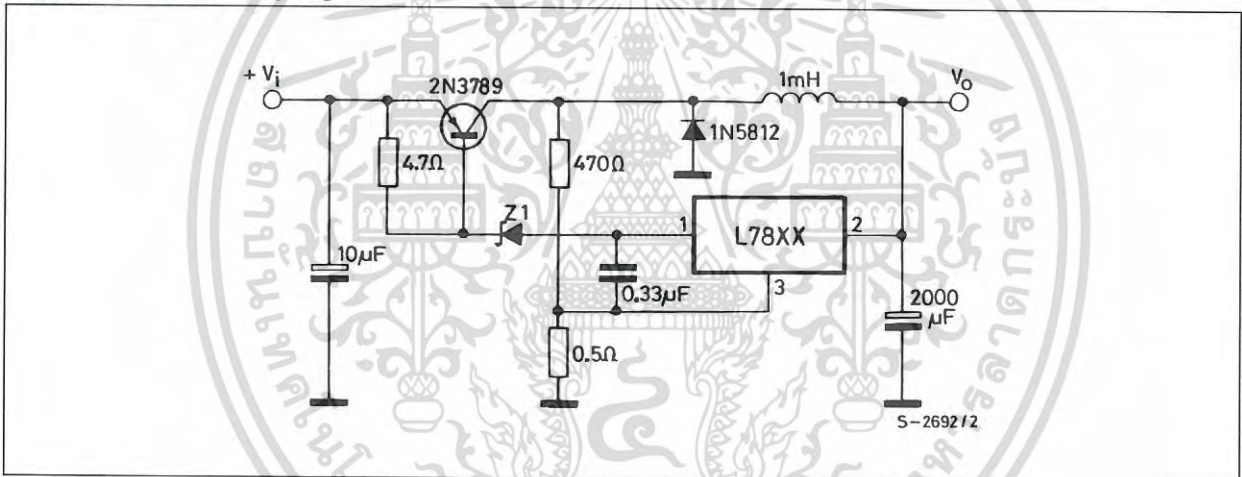


Figure 27. High input voltage circuit

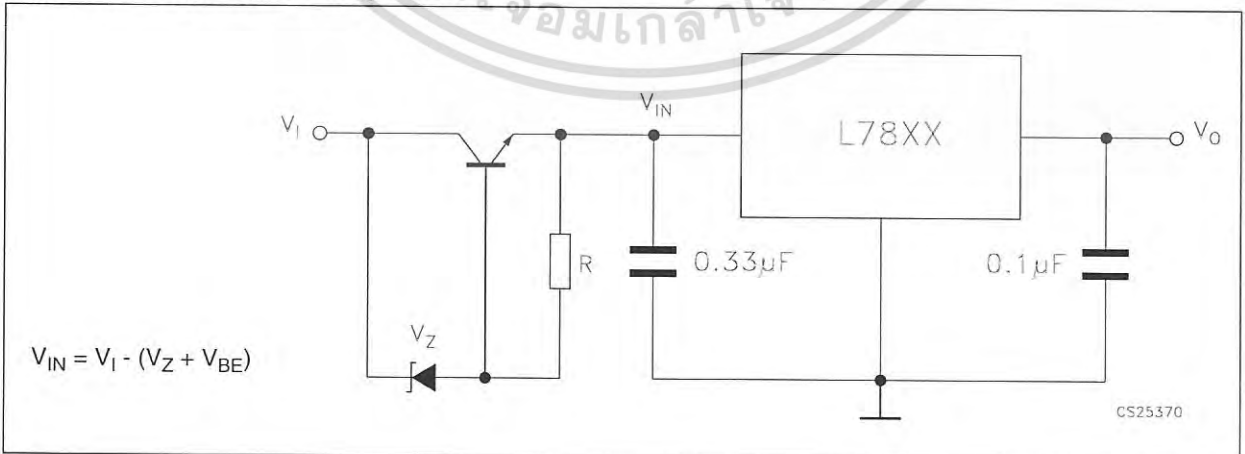


Figure 28. High input voltage circuit

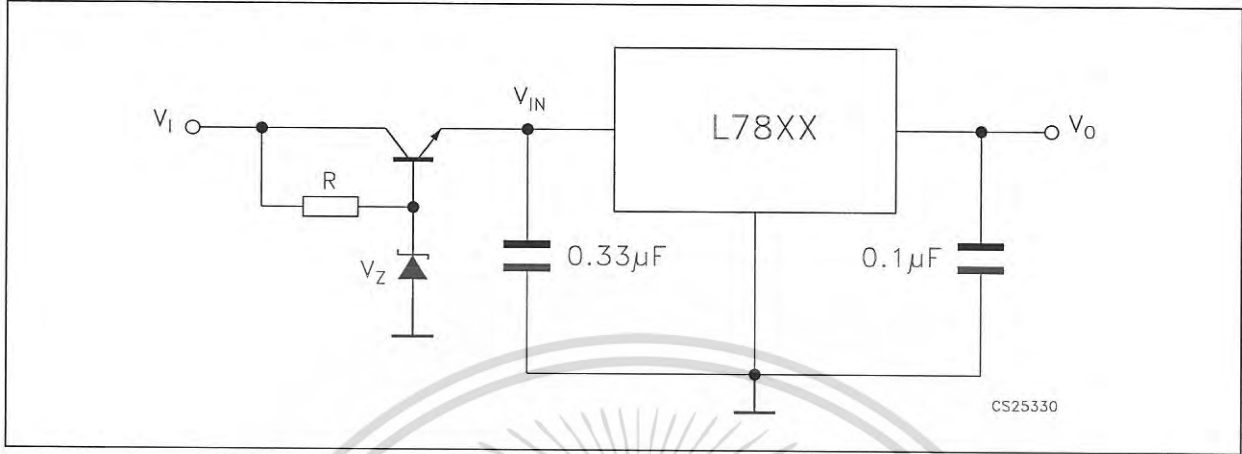


Figure 29. High output voltage regulator

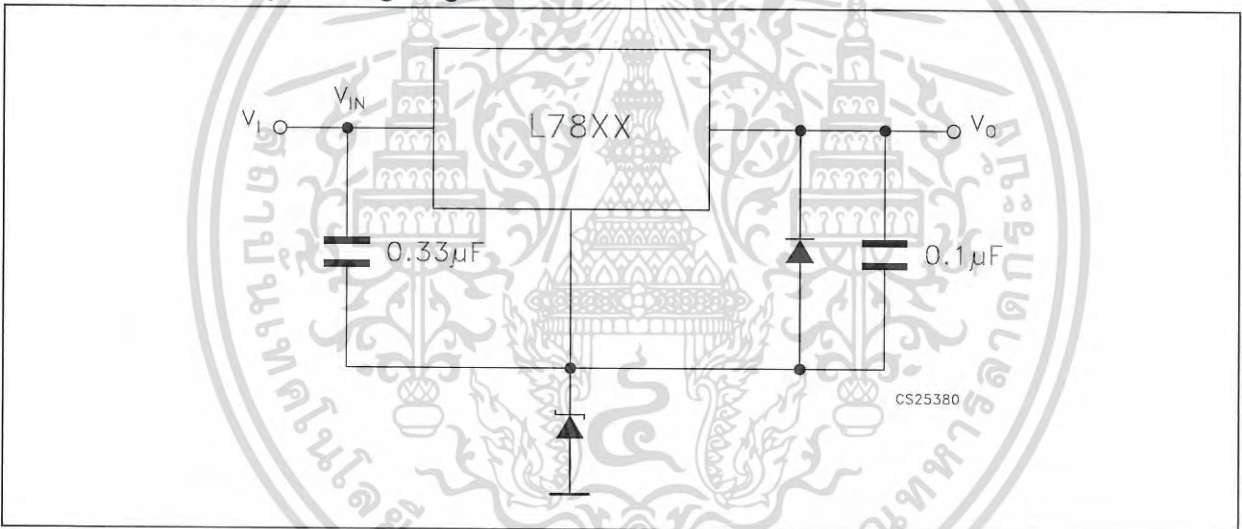


Figure 30. High input and output voltage

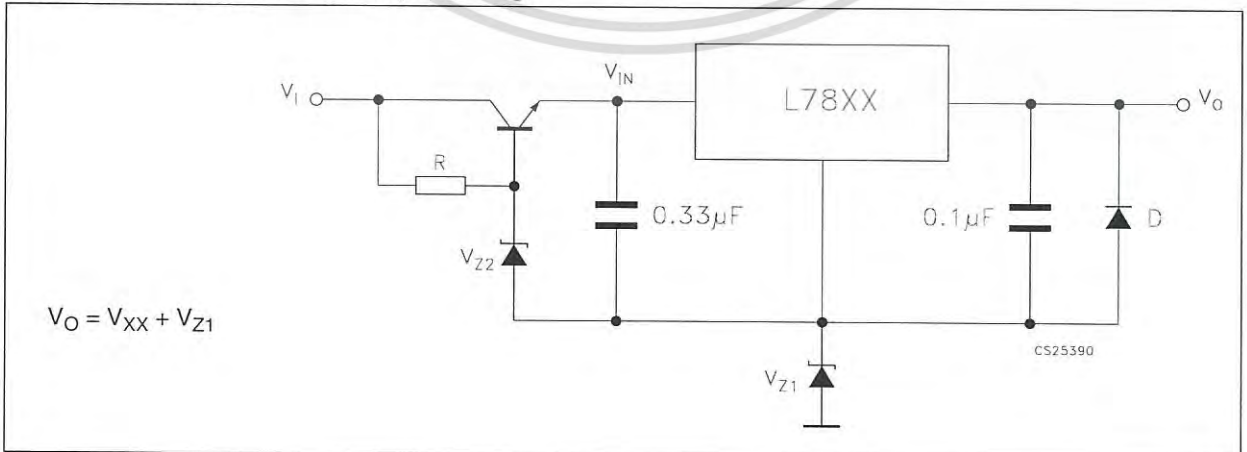


Figure 31. Reducing power dissipation with dropping resistor

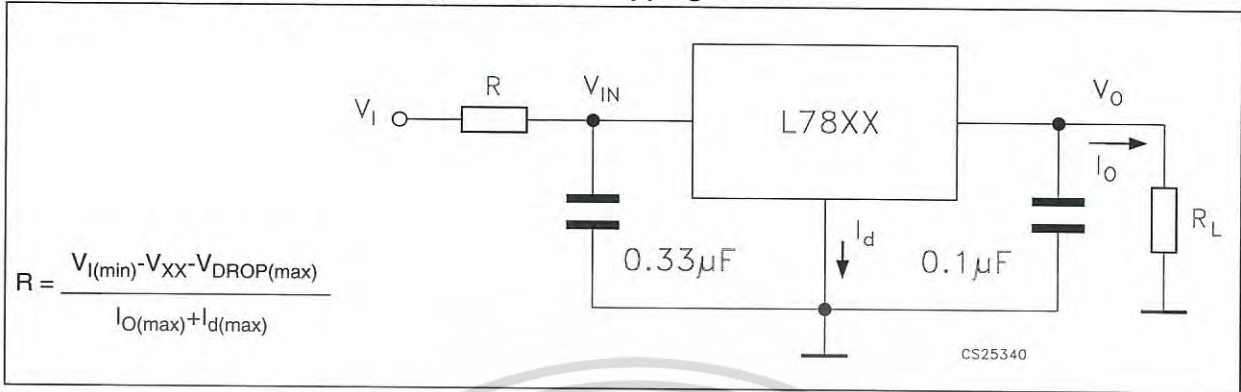


Figure 32. Remote shutdown

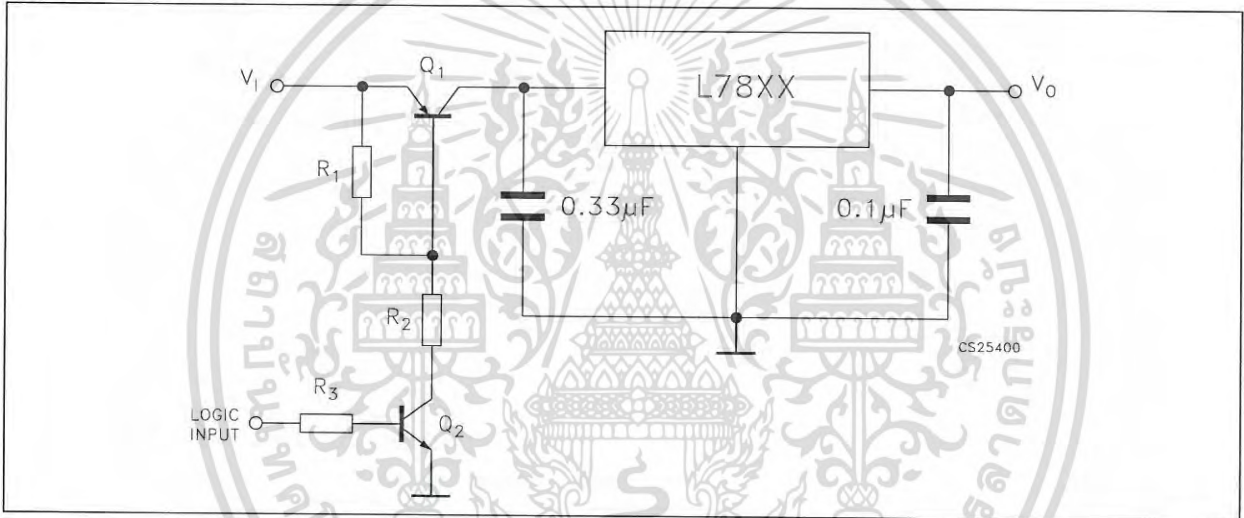
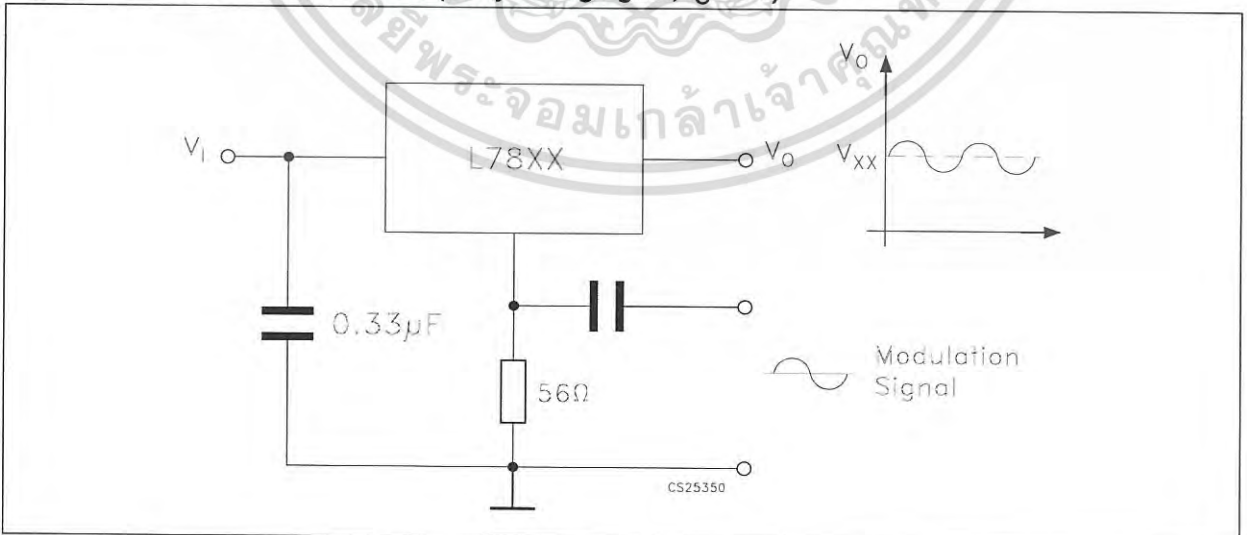


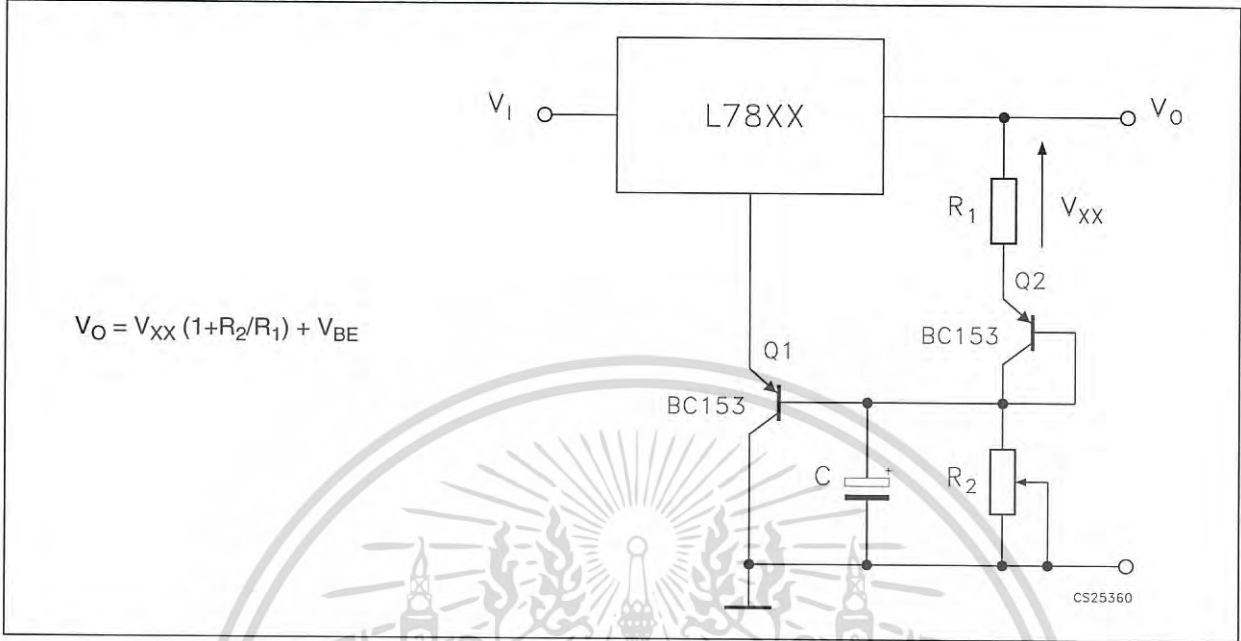
Figure 33. Power AM modulator (unity voltage gain, $I_O \leq 0.5$)



Note: The circuit performs well up to 100 KHz.



Figure 34. Adjustable output voltage with temperature compensation



Note: Q₂ is connected as a diode in order to compensate the variation of the Q₁ V_{BE} with the temperature. C allows a slow rise time of the V_O.

Figure 35. Light controllers ($V_{Omin} = V_{XX} + V_{BE}$)

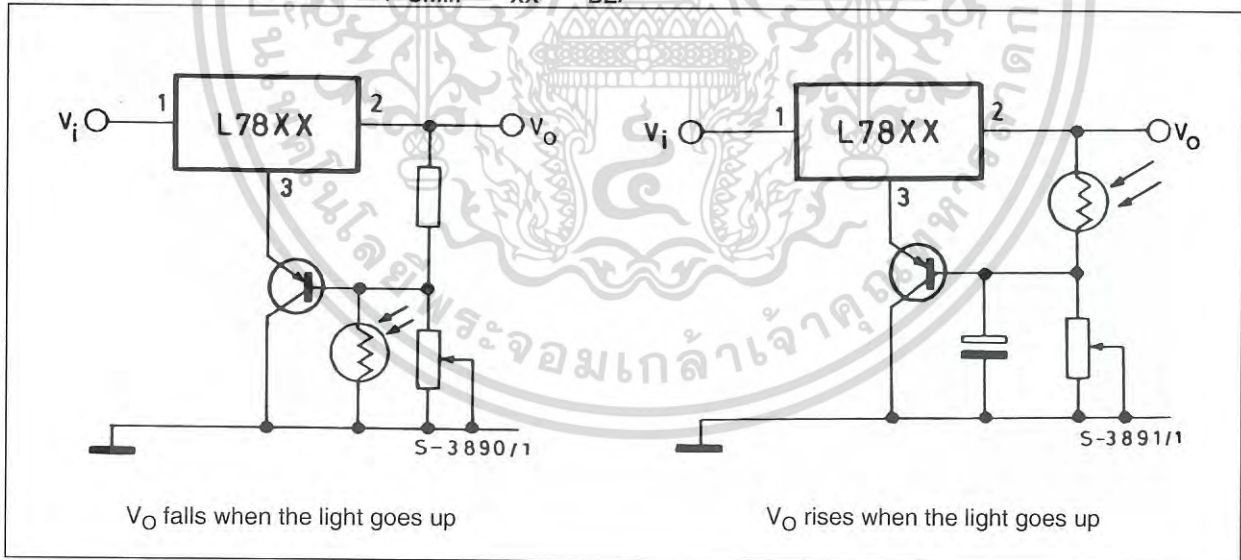
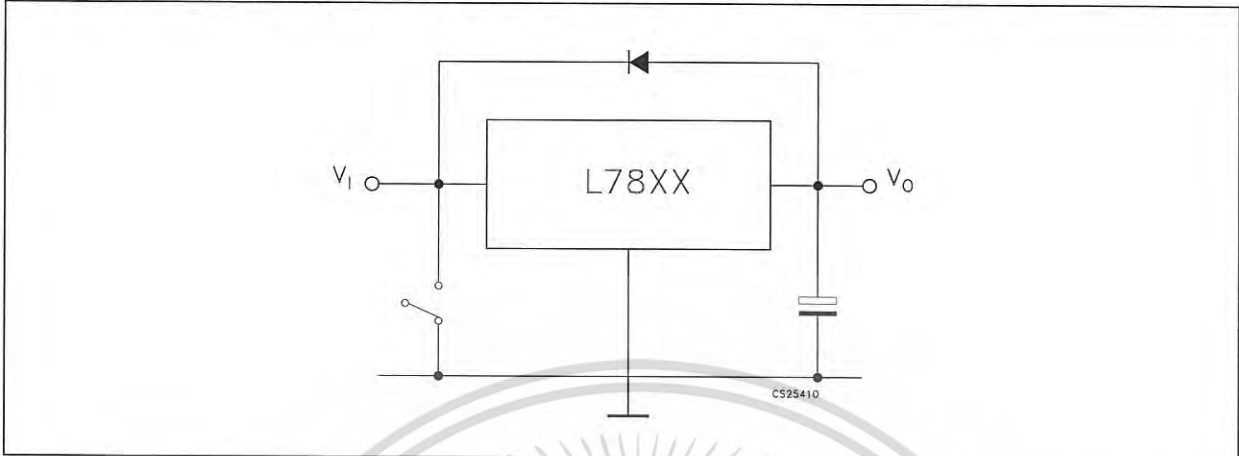


Figure 36. Protection against input short-circuit with high capacitance loads



1. Application with high capacitance loads and an output voltage greater than 6 volts need an external diode (see fig. 32) to protect the device against input short circuit. In this case the input voltage falls rapidly while the output voltage decrease slowly. The capacitance discharges by means of the Base-Emitter junction of the series pass transistor in the regulator. If the energy is sufficiently high, the transistor may be destroyed. The external diode by-passes the current from the IC to ground.

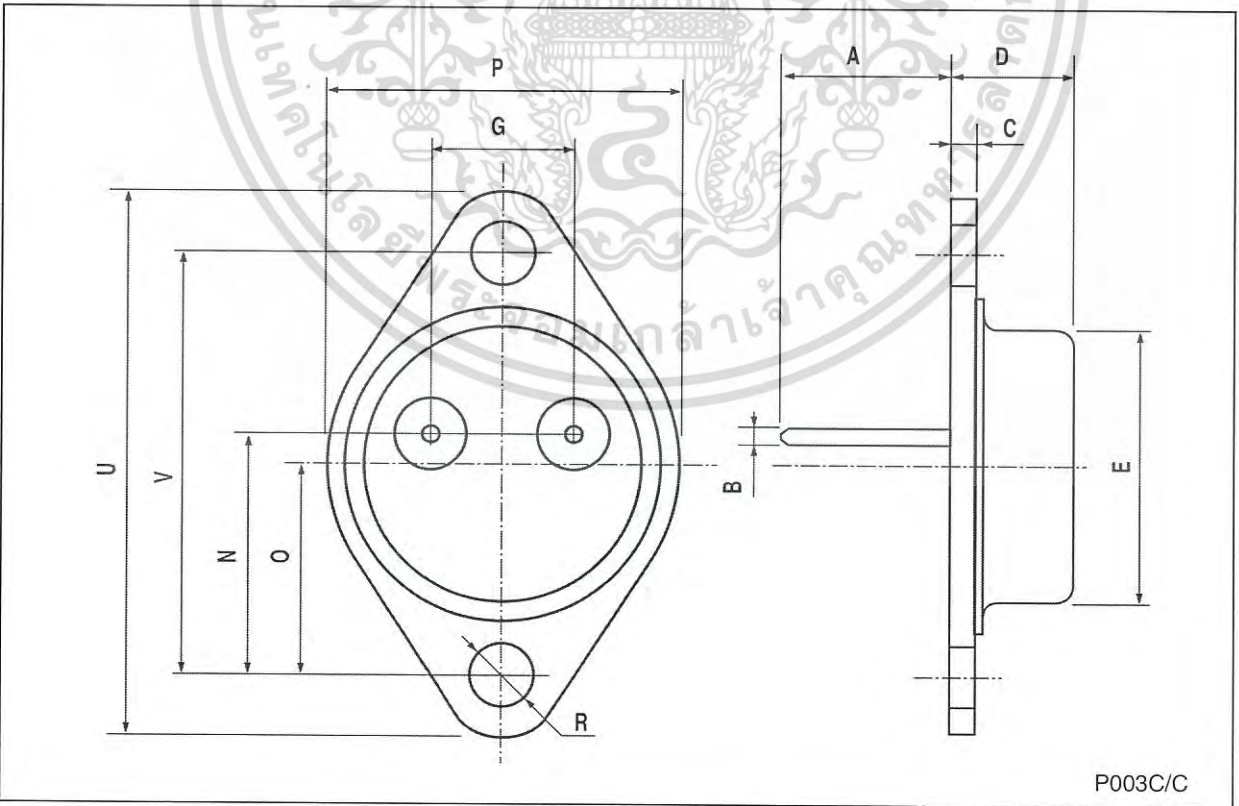
6 Package mechanical data

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.



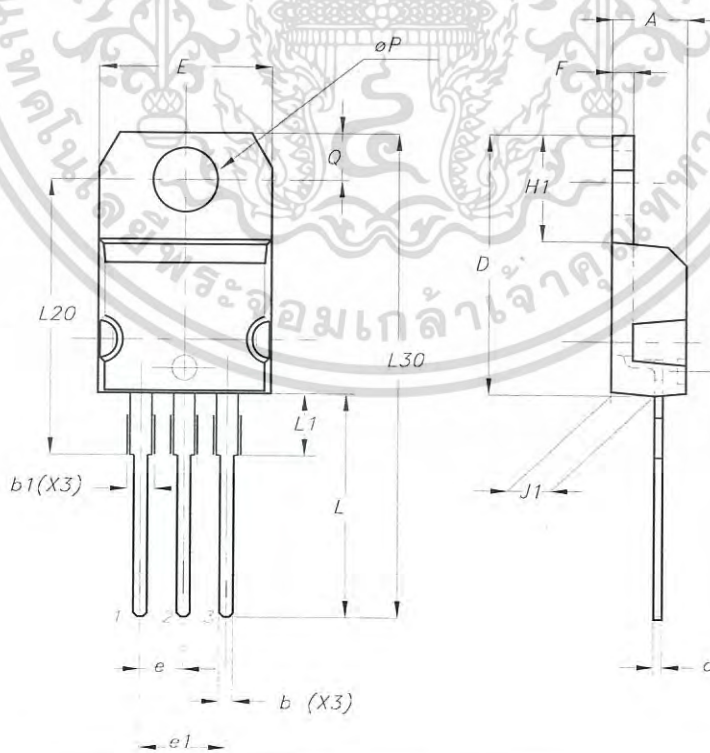
TO-3 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A		11.85			0.466	
B	0.96	1.05	1.10	0.037	0.041	0.043
C			1.70			0.066
D			8.7			0.342
E			20.0			0.787
G		10.9			0.429	
N		16.9			0.665	
P			26.2			1.031
R	3.88		4.09	0.152		0.161
U			39.5			1.555
V		30.10			1.185	



TO-220 (A TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
b	0.61		0.88	0.024		0.034
b1	1.15		1.70	0.045		0.067
c	0.49		0.70	0.019		0.027
D	15.25		15.75	0.600		0.620
E	10.0		10.40	0.393		0.409
e	2.4		2.7	0.094		0.106
e1	4.95		5.15	0.194		0.203
F	1.23		1.32	0.048		0.051
H1	6.2		6.6	0.244		0.260
J1	2.40		2.72	0.094		0.107
L	13.0		14.0	0.511		0.551
L1	3.5		3.93	0.137		0.154
L20		16.4			0.645	
L30		28.9			1.138	
φP	3.75		3.85	0.147		0.151
Q	2.65		2.95	0.104		0.116

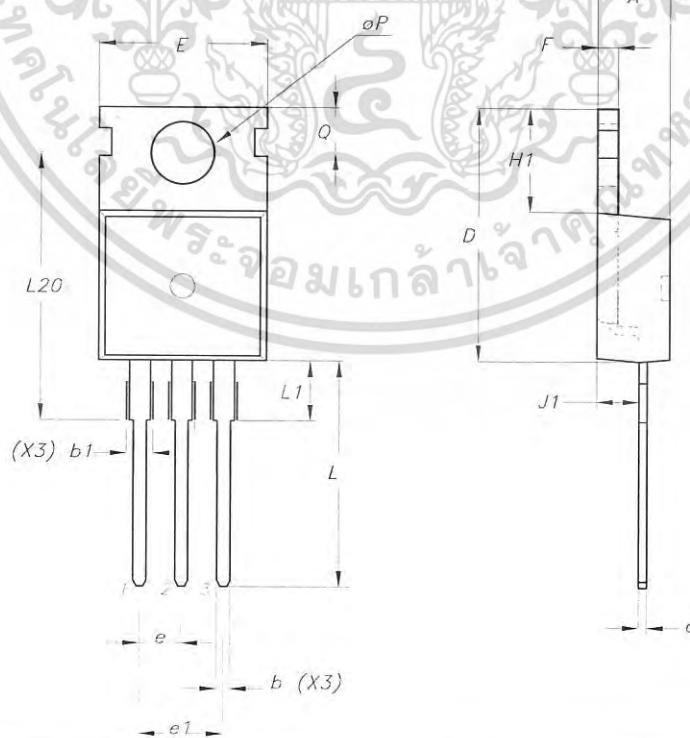


0015988/N



TO-220 (C TYPE) MECHANICAL DATA

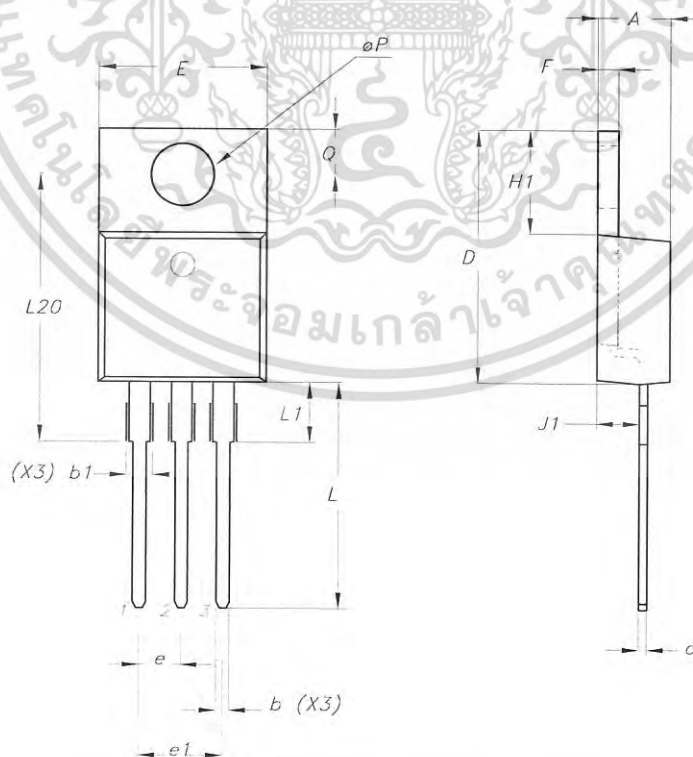
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.30		4.70	0.169		0.185
b	0.70		0.90	0.028		0.035
b1	1.42		1.62	0.056		0.064
c	0.45		0.60	0.018		0.024
D		15.70			0.618	
E	9.80		10.20	0.386		0.402
e		2.54			0.100	
e1		5.08			0.200	
F	1.25		1.39	0.049		0.055
H1		6.5			0.256	
J1	2.20		2.60	0.087		0.202
L	12.88		13.28	0.507		0.523
L1		3			0.118	
L20	15.70		16.1	0.618		0.634
L30		28.9			1.138	
ϕP	3.50		3.70	0.138		0.146
Q	2.70		2.90	0.106		0.114



0015988/N

TO-220 (E TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.47		4.67	0.176		0.184
b	0.70		0.91	0.028		0.036
b1	1.17		1.37	0.046		0.054
c	0.31		0.53	0.012		0.021
D	14.60		15.70	0.575		0.618
E	9.96		10.36	0.392		0.408
e		2.54			0.100	
e1		5.08			0.200	
F	1.17		1.37	0.046		0.054
H1	6.1		6.8	0.240		0.268
J1	2.52		2.82	0.099		0.111
L	12.70		13.80	0.500		0.543
L1	3.20		3.96	0.126		0.156
L20	15.21		16.77	0.599		0.660
φP	3.73		3.94	0.147		0.155
Q	2.59		2.89	0.102		0.114

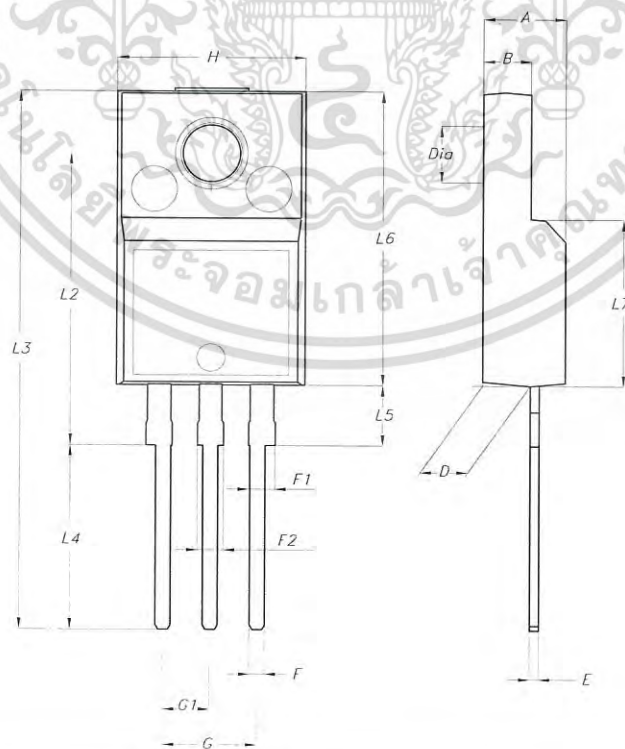


7655923/A



TO-220FP MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
B	2.5		2.7	0.098		0.106
D	2.5		2.75	0.098		0.108
E	0.45		0.70	0.017		0.027
F	0.75		1	0.030		0.039
F1	1.15		1.50	0.045		0.059
F2	1.15		1.50	0.045		0.059
G	4.95		5.2	0.194		0.204
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16			0.630	
L3	28.6		30.6	1.126		1.204
L4	9.8		10.6	0.385		0.417
L5	2.9		3.6	0.114		0.142
L6	15.9		16.4	0.626		0.645
L7	9		9.3	0.354		0.366
DIA.	3		3.2	0.118		0.126

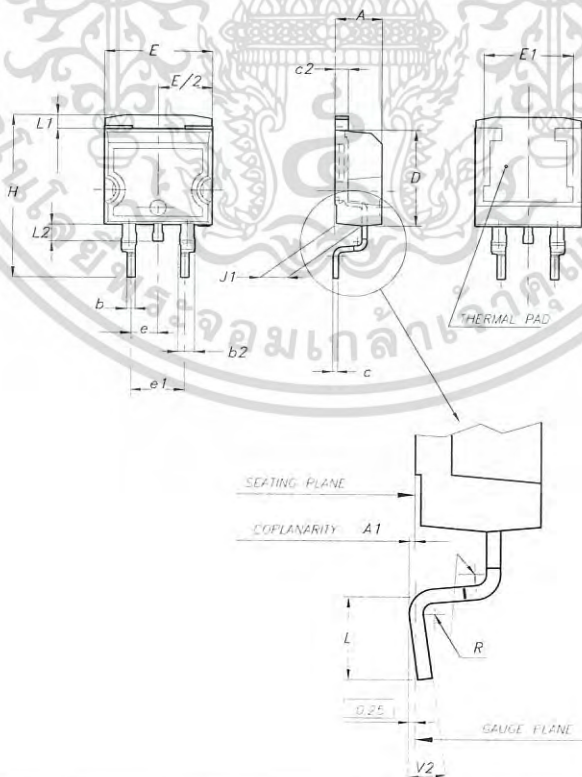


7012510A-H



D²PAK (A TYPE) MECHANICAL DATA

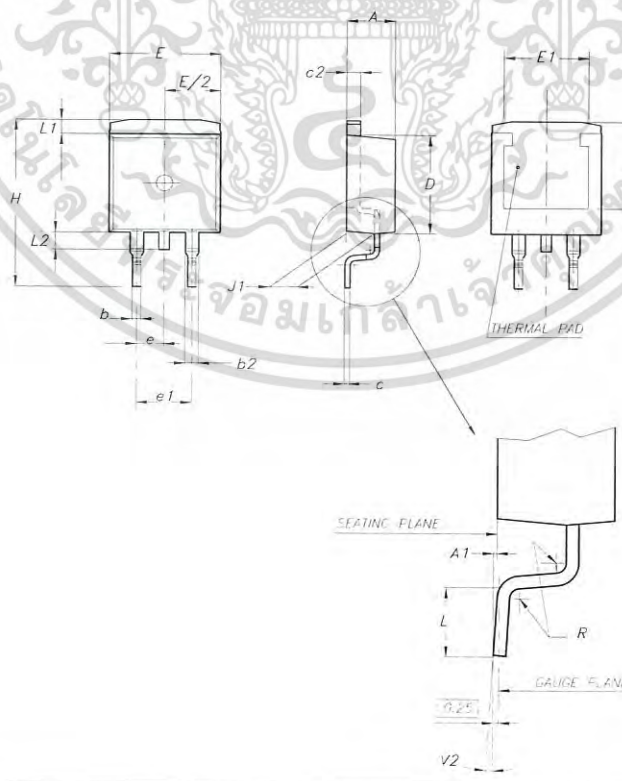
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.4		4.6	0.173		0.181
A1	0.03		0.23	0.001		0.009
b	0.7		0.93	0.027		0.036
b2	1.14		1.7	0.044		0.067
c	0.45		0.6	0.017		0.023
c2	1.23		1.36	0.048		0.053
D	8.95		9.35	0.352		0.368
D1	8			0.315		
E	10		10.4	0.393		0.409
E1	8.5			0.335		
e		2.54			0.100	
e1	4.88		5.28	0.192		0.208
H	15		15.85	0.590		0.624
J1	2.49		2.69	0.098		0.106
L	2.29		2.79	0.090		0.110
L1	1.27		1.4	0.050		0.055
L2	1.3		1.75	0.051		0.069
R		0.4			0.016	
V2	0°		8°	0°		8°



0079457/J

D²PAK (C TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.3		4.7	0.169		0.185
A1	0		0.20	0.000		0.008
b	0.70		0.90	0.028		0.035
b2	1.17		1.37	0.046		0.054
c	0.45	0.50	0.6	0.018	0.020	0.024
c2	1.25	1.30	1.40	0.049	0.051	0.055
D	9.0	9.2	9.4	0.354	0.362	0.370
D1	7.5			0.295		
E	9.8		10.2	0.386		0.402
E1	7.5			0.295		
e		2.54			0.100	
e1		5.08			0.200	
H	15	15.30	15.60	0.591	0.602	0.614
J1	2.20		2.60	0.087		0.102
L	1.79		2.79	0.070		0.110
L1	1.0		1.4	0.039		0.055
L2	1.2		1.6	0.047		0.063
R		0.3			0.012	
V2	0°		3°	0°		3°

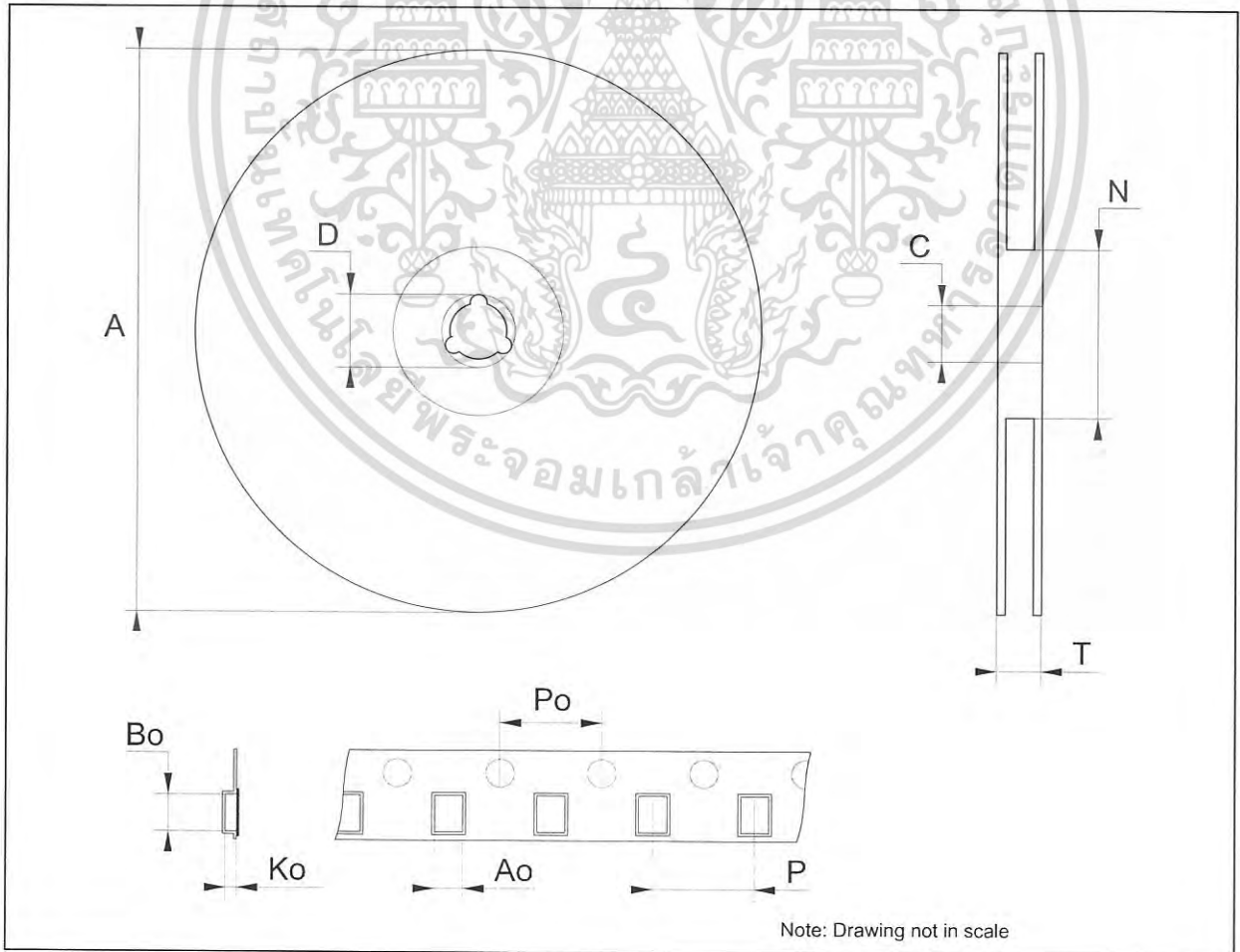


0079457/J



Tape & Reel D²PAK-P²PAK-D²PAK/A-P²PAK/A MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			180			7.086
C	12.8	13.0	13.2	0.504	0.512	0.519
D	20.2			0.795		
N	60			2.362		
T			14.4			0.567
Ao	10.50	10.6	10.70	0.413	0.417	0.421
Bo	15.70	15.80	15.90	0.618	0.622	0.626
Ko	4.80	4.90	5.00	0.189	0.193	0.197
Po	3.9	4.0	4.1	0.153	0.157	0.161
P	11.9	12.0	12.1	0.468	0.472	0.476



7 Order code

Table 23. Order code

Part numbers	Packaging					
	TO-220 (A Type)	TO-220 (C Type)	D ² PAK (A Type)	D ² PAK (C Type)	TO-220FP	TO-3
L7805						L7805T
L7805C	L7805CV	L7805C-V	L7805CD2T-TR	L7805C-D2TR	L7805CP	L7805CT
L7852C	L7852CV		L7852CD2T-TR ⁽¹⁾		L7852CP ⁽¹⁾	L7852CT ⁽¹⁾
L7806C	L7806CV	L7806C-V	L7806CD2T-TR		L7806CP	L7806CT
L7808C	L7808CV	L7808C-V	L7808CD2T-TR		L7808CP	L7808CT
L7885C	L7885CV		L7885CD2T-TR ⁽¹⁾		L7885CP ⁽¹⁾	L7885CT ⁽¹⁾
L7809C	L7809CV	L7809C-V	L7809CD2T-TR		L7809CP	L7809CT
L7810C	L7810CV		L7810CD2T-TR ⁽¹⁾		L7810CP	
L7812C	L7812CV	L7812C-V	L7812CD2T-TR		L7812CP	L7812CT
L7815C	L7815CV	L7815C-V	L7815CD2T-TR		L7815CP	L7815CT
L7818C	L7818CV		L7818CD2T-TR ⁽¹⁾		L7818CP	L7818CT
L7820C	L7820CV		L7820CD2T-TR ⁽¹⁾		L7820CP ⁽¹⁾	L7820CT ⁽¹⁾
L7824C	L7824CV		L7824CD2T-TR		L7824CP	L7824CT

1. Available on request.

8 Revision history

Table 24. Revision history

Date	Revision	Changes
21-Jun-2004	12	Document updating.
03-Aug-2006	13	Order Codes has been updated and new template.



Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY AN AUTHORIZED ST REPRESENTATIVE, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2006 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

www.st.com



Distributed by:

JAMECO[®]
ELECTRONICS

www.Jameco.com ♦ 1-800-831-4242

The content and copyrights of the attached
material are the property of its owner.

NEGATIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT UP TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF -5; -6; -8; -12; -15; -18; -20; -24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7900 series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L7800 positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5A output current.

Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

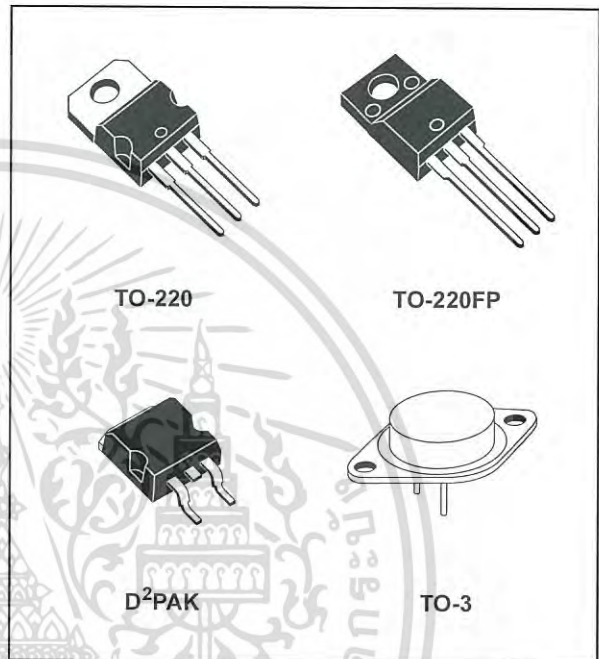
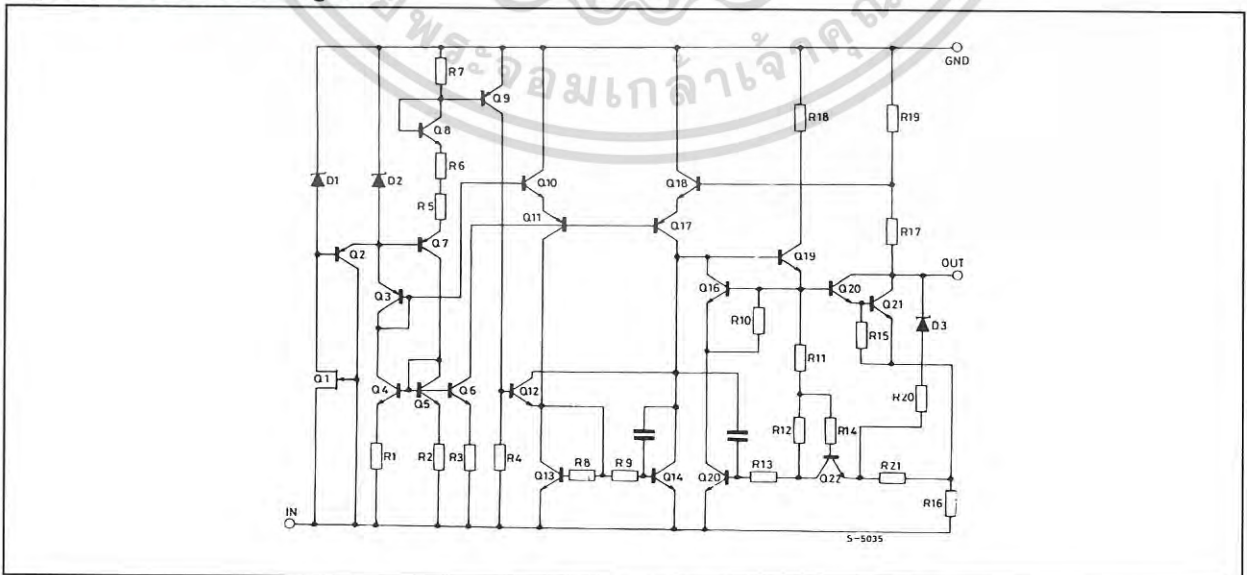


Figure 1: Schematic Diagram



L7900 SERIES

Table 1: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC Input Voltage	for $V_O = 5$ to $18V$	-35	V
		for $V_O = 20, 24V$	-40	
I_O	Output Current		Internally Limited	
P_{tot}	Power Dissipation		Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C
T_{op}	Operating Junction Temperature Range		0 to 150	°C

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2: Thermal Data

Symbol	Parameter		D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	3	3	5	4	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	62.5	50	60	35	°C/W

Figure 2: Connection Diagram (top view)

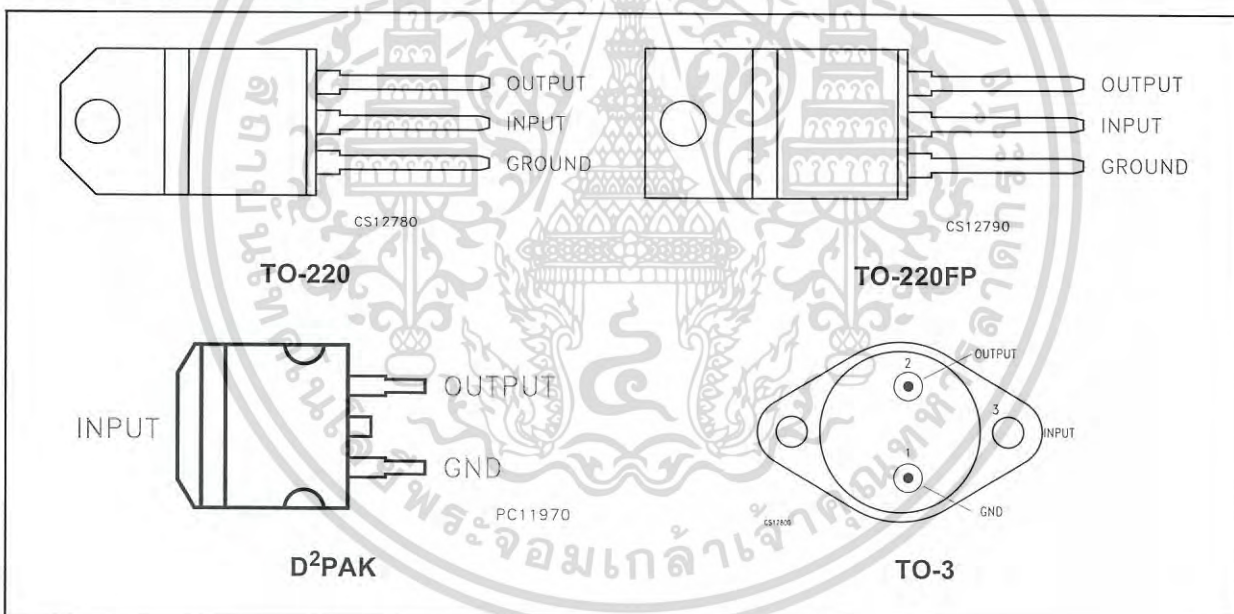


Table 3: Order Codes

TYPE	TO-220 (A Type)	TO-220 (C Type)	TO-220 (E Type)	D ² PAK (A Type) (#)	D ² PAK (C Type) (T & R)	TO-220FP	TO-3	OUTPUT VOLTAGE
L7905C	L7905CV	L7905C-V	L7905CV1	L7905CD2T	L7905C-D2TR	L7905CP	L7905CT (*)	-5 V
L7906C	L7906CV			L7906CD2T		L7906CP (*)	L7906CT (*)	-6 V
L7908C	L7908CV			L7908CD2T		L7908CP (*)	L7908CT (*)	-8 V
L7912C	L7912CV	L7912C-V	L7912CV1	L7912CD2T		L7912CP	L7912CT (*)	-12 V
L7915C	L7915CV			L7915CD2T		L7915CP	L7915CT	-15 V
L7918C	L7918CV			L7918CD2T(*)		L7918CP (*)	L7918CT (*)	-18 V
L7920C	L7920CV			L7920CD2T(*)		L7920CP (*)	L7920CT (*)	-20 V
L7924C	L7924CV			L7924CD2T(*)		L7924CP (*)	L7924CT	-24 V

(#) Available in Tape & Reel with the suffix "-TR".
 (*) Available on Request.

Figure 3: Test Circuit

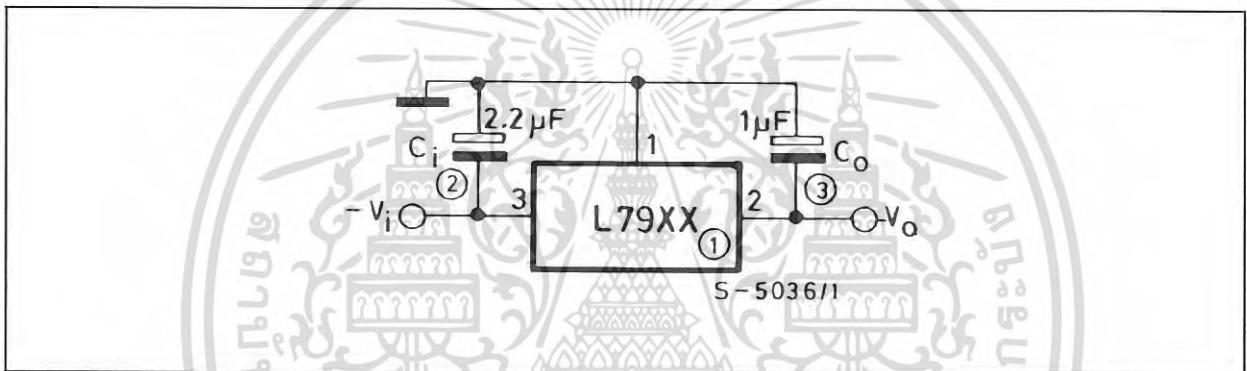


Table 4: Electrical Characteristics Of L7905C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-4.8	-5	-5.2	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 8\text{ to } 20\text{ V}$	-4.75	-5	-5.25	V
ΔV_O (*)	Line Regulation	$V_I = -7\text{ to } -25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = -8\text{ to } -12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100 50	mV
ΔV_O (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100 50	mV
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = -8\text{ to } -25\text{ V}$			0.5 1.3	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.4		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		100		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
I_{sc}	Short Circuit Current			2.1		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



L7900 SERIES

Table 5: Electrical Characteristics Of L7906C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -11\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-5.75	-6	-6.25	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -9.5\text{ to } -21.5\text{ V}$	-5.7	-6	-6.3	V
$\Delta V_O(*)$	Line Regulation	$V_I = -8.5\text{ to } -25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = -9\text{ to } -15\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O(*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -9.5\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		144		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
I_{sc}	Short Circuit Current			2		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 6: Electrical Characteristics Of L7908C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -14\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-7.7	-8	-8.3	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -11.5\text{ to } -23\text{ V}$	-7.6	-8	-8.4	V
$\Delta V_O(*)$	Line Regulation	$V_I = -10.5\text{ to } -25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = -11\text{ to } -17\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O(*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -11.5\text{ to } -25\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		175		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short Circuit Current			1.5		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 7: Electrical Characteristics Of L7912C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -19\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-11.5	-12	-12.5	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -15.5\text{ to } -27\text{ V}$	-11.4	-12	-12.6	V
ΔV_O (*)	Line Regulation	$V_I = -14.5\text{ to } -30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = -16\text{ to } -22\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
ΔV_O (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -15\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		200		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short Circuit Current			1.5		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 8: Electrical Characteristics Of L7915C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -23\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-14.4	-15	-15.6	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$	-14.3	-15	-15.7	V
ΔV_O (*)	Line Regulation	$V_I = -17.5\text{ to } -30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = -20\text{ to } -26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
ΔV_O (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.9		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		250		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short Circuit Current			1.3		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

L7900 SERIES

Table 9: Electrical Characteristics Of L7918C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -27\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-17.3	-18	-18.7	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -22\text{ to } -33\text{ V}$	-17.1	-18	-18.9	V
$\Delta V_O(*)$	Line Regulation	$V_I = -21\text{ to } -33\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$V_I = -24\text{ to } -30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
$\Delta V_O(*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -22\text{ to } -33\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		300		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short Circuit Current			1.1		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Table 10: Electrical Characteristics Of L7920C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -29\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-19.2	-20	-20.8	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -24\text{ to } -35\text{ V}$	-19	-20	-21	V
$\Delta V_O(*)$	Line Regulation	$V_I = -23\text{ to } -35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
		$V_I = -26\text{ to } -32\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	
$\Delta V_O(*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -24\text{ to } -35\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		350		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short Circuit Current			0.9		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

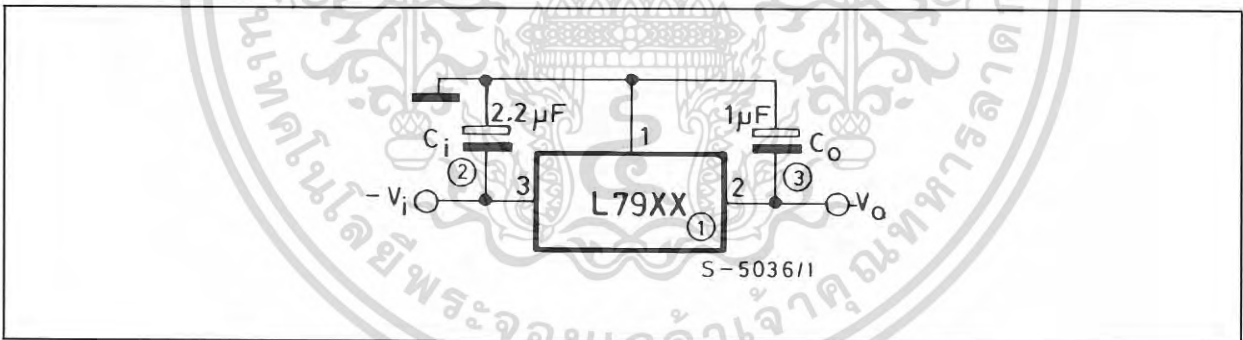
Table 11: Electrical Characteristics Of L7924C (refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -33\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-23	-24	-24.5	V
V_O	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$	-22.8	-24	-25.2	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$V_I = -30\text{ to } -36\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		400		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short Circuit Current			1.1		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

APPLICATIONS INFORMATION

Figure 4: Fixed Output Regulator

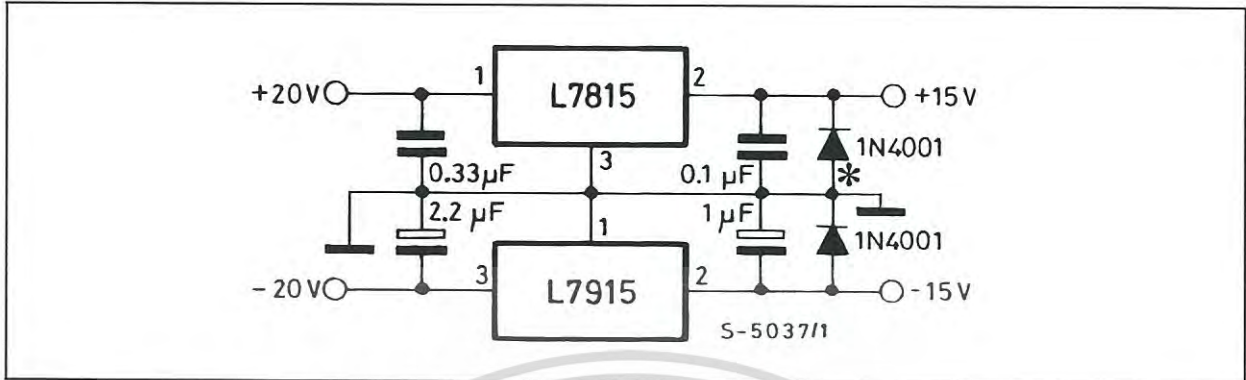


NOTE:

1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
2. Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. If aluminium electrolytics are used, at least ten times value should be selected. C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. To improve transient response. If large capacitors are used, a high current diode from input to output (1N4001 or similar) should be introduced to protect the device from momentary input short circuit.

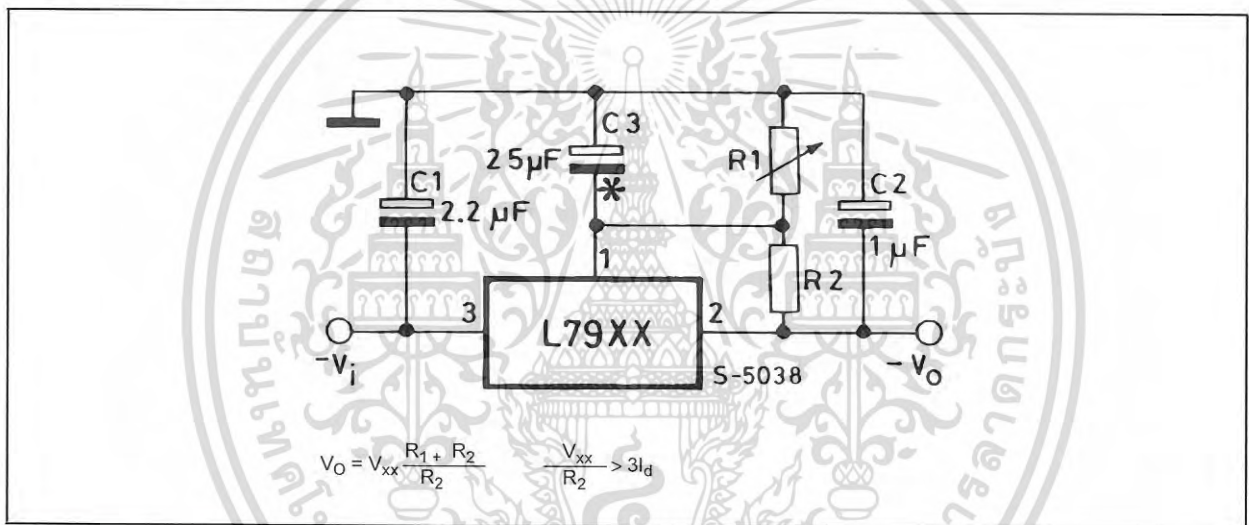
L7900 SERIES

Figure 5: Split Power Supply ($\pm 15V/1A$)



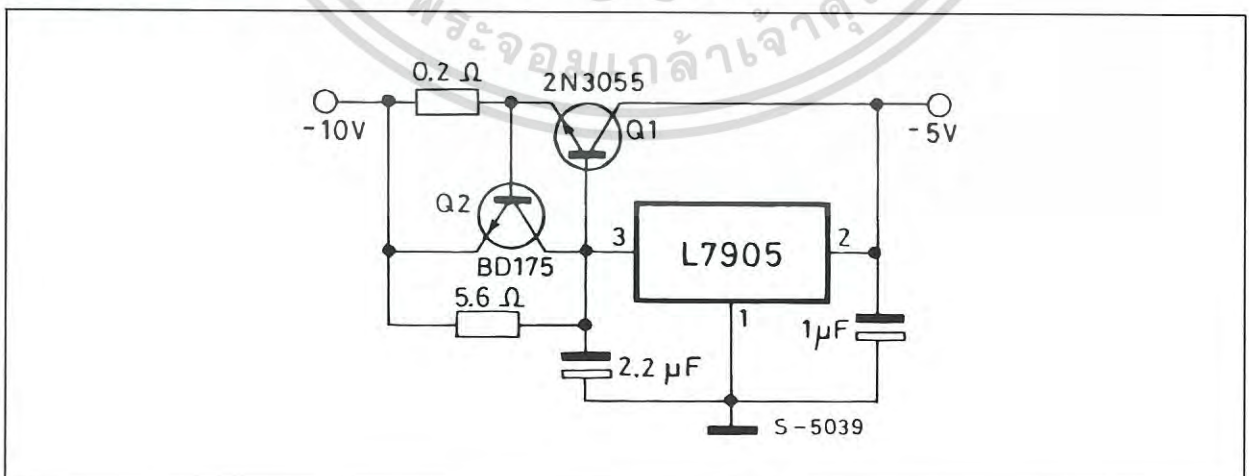
Against potential latch-up problems.

Figure 6: Circuit for Increasing Output Voltage



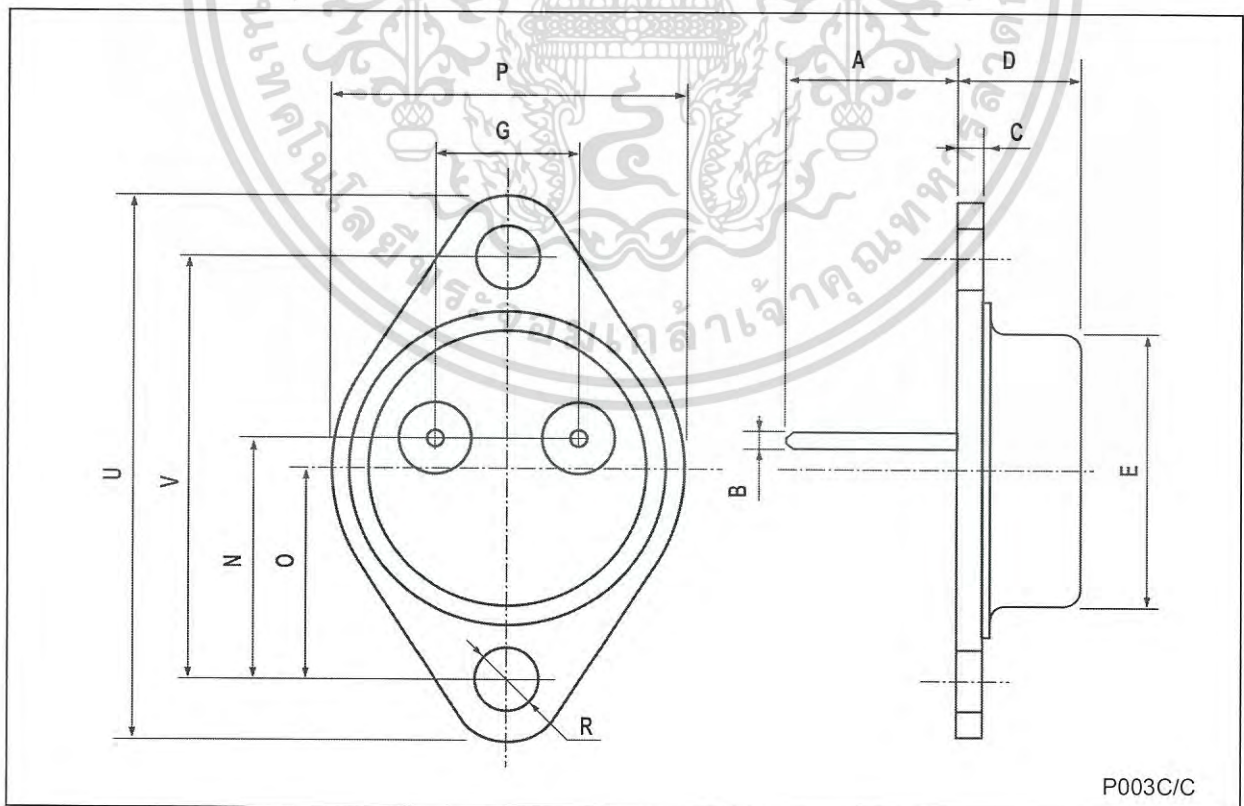
C3 Optional for improved transient response and ripple rejection.

Figure 7: High Current Negative Regulator ($-5V/4A$ with 5A current limiting)



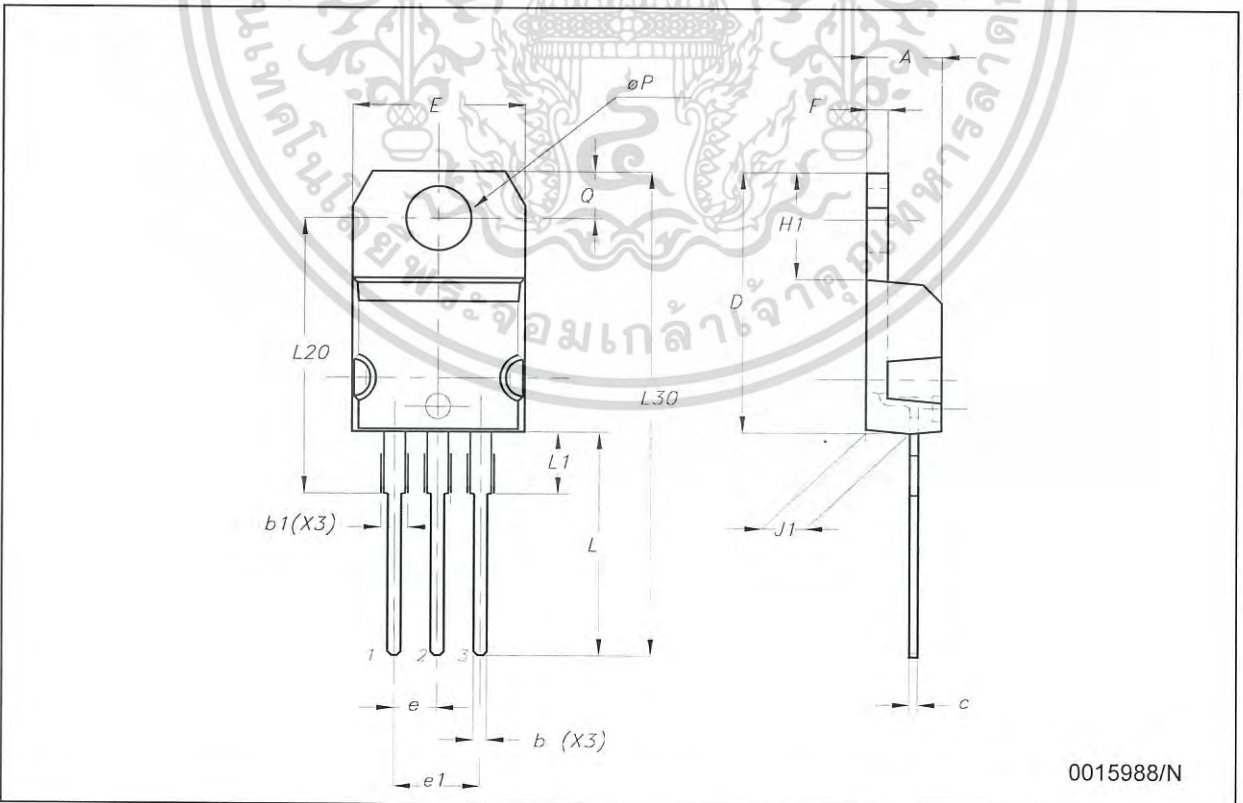
TO-3 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A		11.85			0.466	
B	0.96	1.05	1.10	0.037	0.041	0.043
C			1.70			0.066
D			8.7			0.342
E			20.0			0.787
G		10.9			0.429	
N		16.9			0.665	
P			26.2			1.031
R	3.88		4.09	0.152		0.161
U			39.5			1.555
V		30.10			1.185	



TO-220 (A TYPE) MECHANICAL DATA

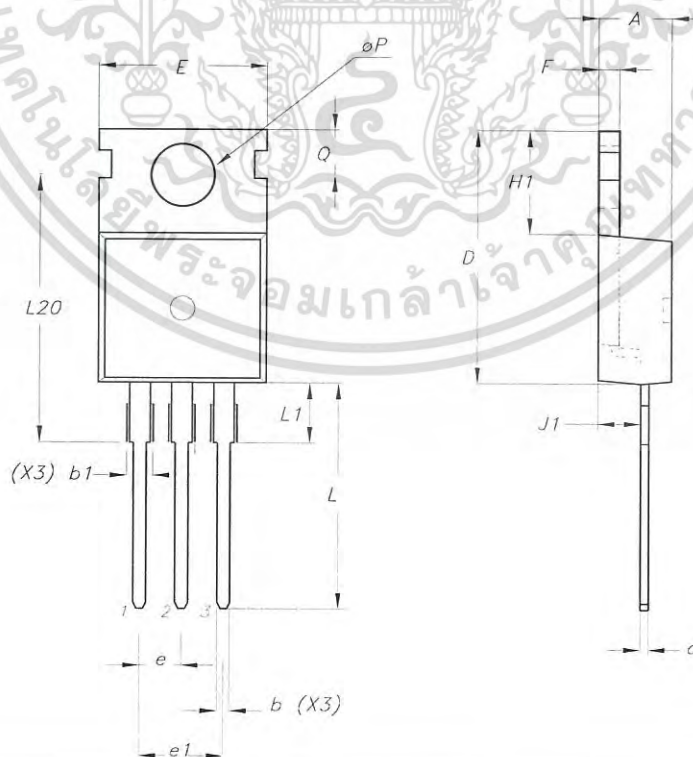
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
b	0.61		0.88	0.024		0.034
b1	1.15		1.70	0.045		0.067
c	0.49		0.70	0.019		0.027
D	15.25		15.75	0.600		0.620
E	10.0		10.40	0.393		0.409
e	2.4		2.7	0.094		0.106
e1	4.95		5.15	0.194		0.203
F	1.23		1.32	0.048		0.051
H1	6.2		6.6	0.244		0.260
J1	2.40		2.72	0.094		0.107
L	13.0		14.0	0.511		0.551
L1	3.5		3.93	0.137		0.154
L20		16.4			0.645	
L30		28.9			1.138	
φP	3.75		3.85	0.147		0.151
Q	2.65		2.95	0.104		0.116



0015988/N

TO-220 (C TYPE) MECHANICAL DATA

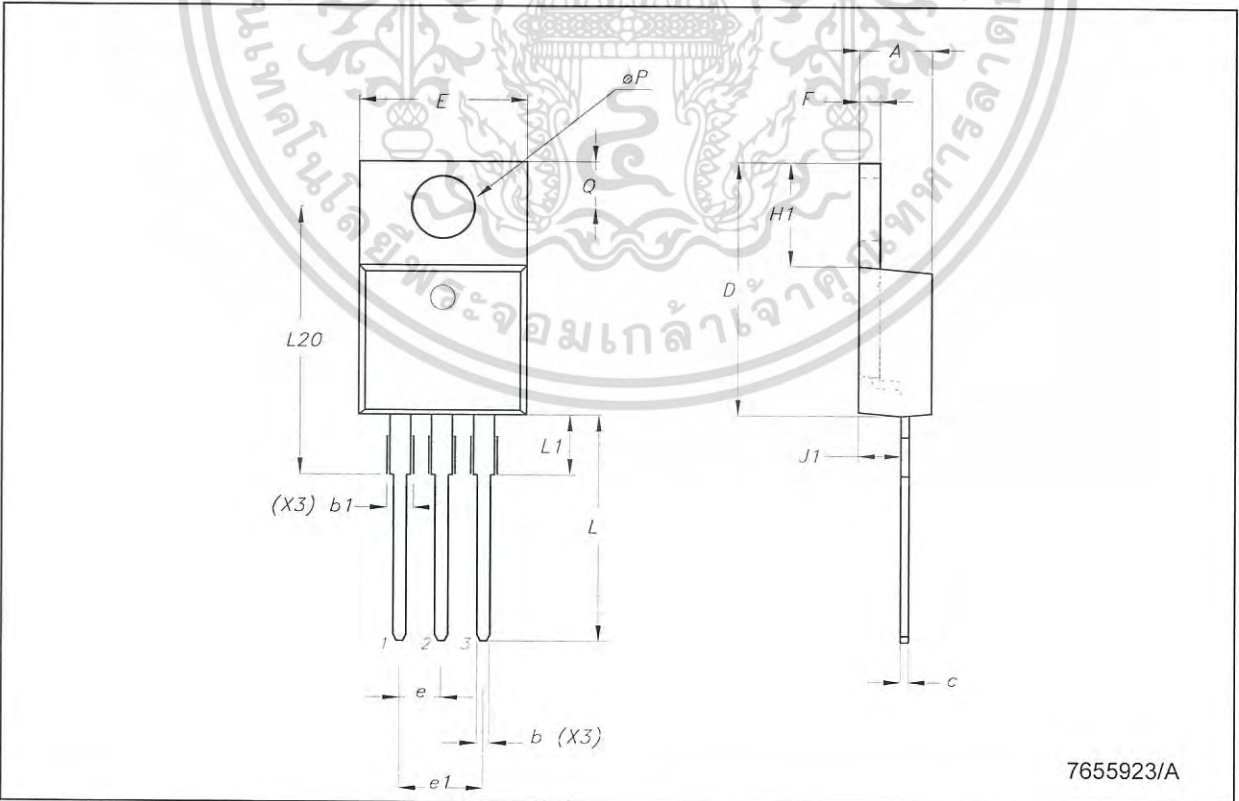
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.30		4.70	0.169		0.185
b	0.70		0.90	0.028		0.035
b1	1.42		1.62	0.056		0.064
c	0.45		0.60	0.018		0.024
D		15.70			0.618	
E	9.80		10.20	0.386		0.402
e		2.54			0.100	
e1		5.08			0.200	
F	1.25		1.39	0.049		0.055
H1		6.5			0.256	
J1	2.20		2.60	0.087		0.202
L	12.88		13.28	0.507		0.523
L1		3			0.118	
L20	15.70		16.1	0.618		0.634
L30		28.9			1.138	
ϕP	3.50		3.70	0.138		0.146
Q	2.70		2.90	0.106		0.114



0015988/N

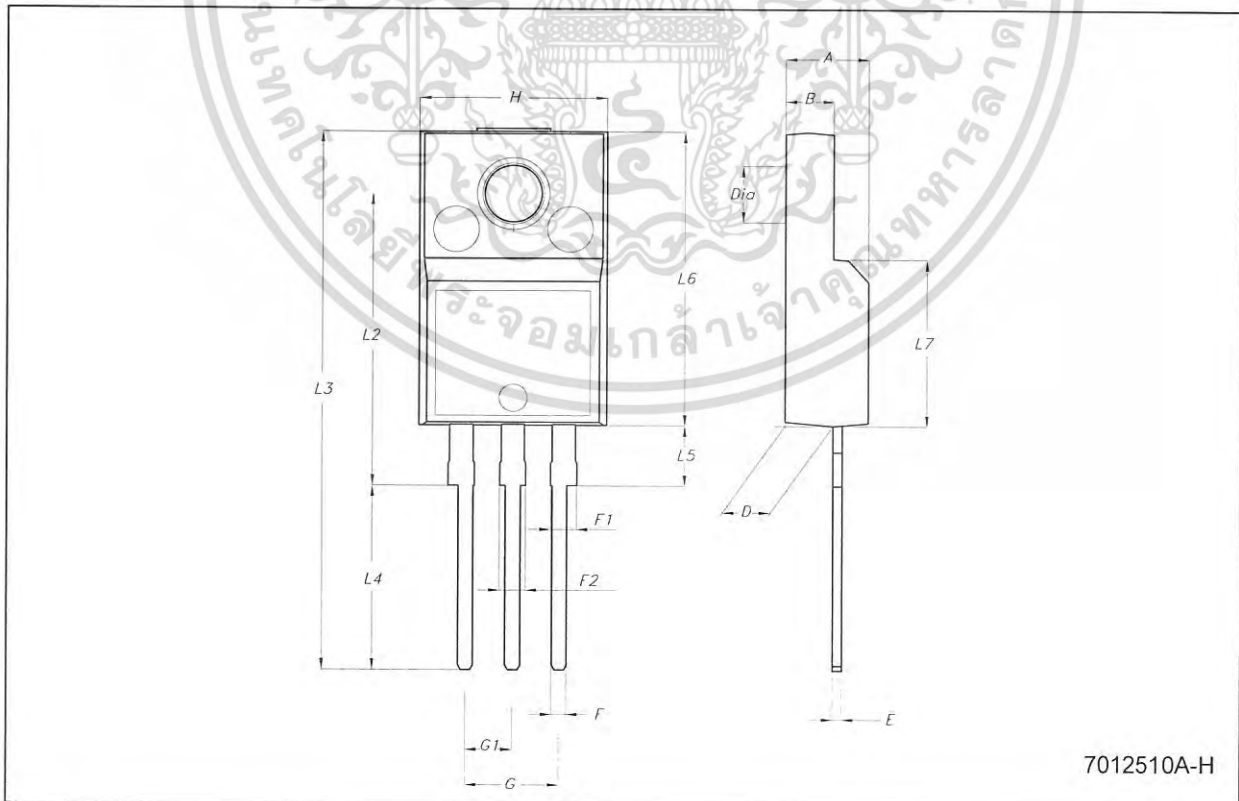
TO-220 (E TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.47		4.67	0.176		0.184
b	0.70		0.91	0.028		0.036
b1	1.17		1.37	0.046		0.054
c	0.31		0.53	0.012		0.021
D	14.60		15.70	0.575		0.618
E	9.96		10.36	0.392		0.408
e		2.54			0.100	
e1		5.08			0.200	
F	1.17		1.37	0.046		0.054
H1	6.1		6.8	0.240		0.268
J1	2.52		2.82	0.099		0.111
L	12.70		13.80	0.500		0.543
L1	3.20		3.96	0.126		0.156
L20	15.21		16.77	0.599		0.660
φP	3.73		3.94	0.147		0.155
Q	2.59		2.89	0.102		0.114



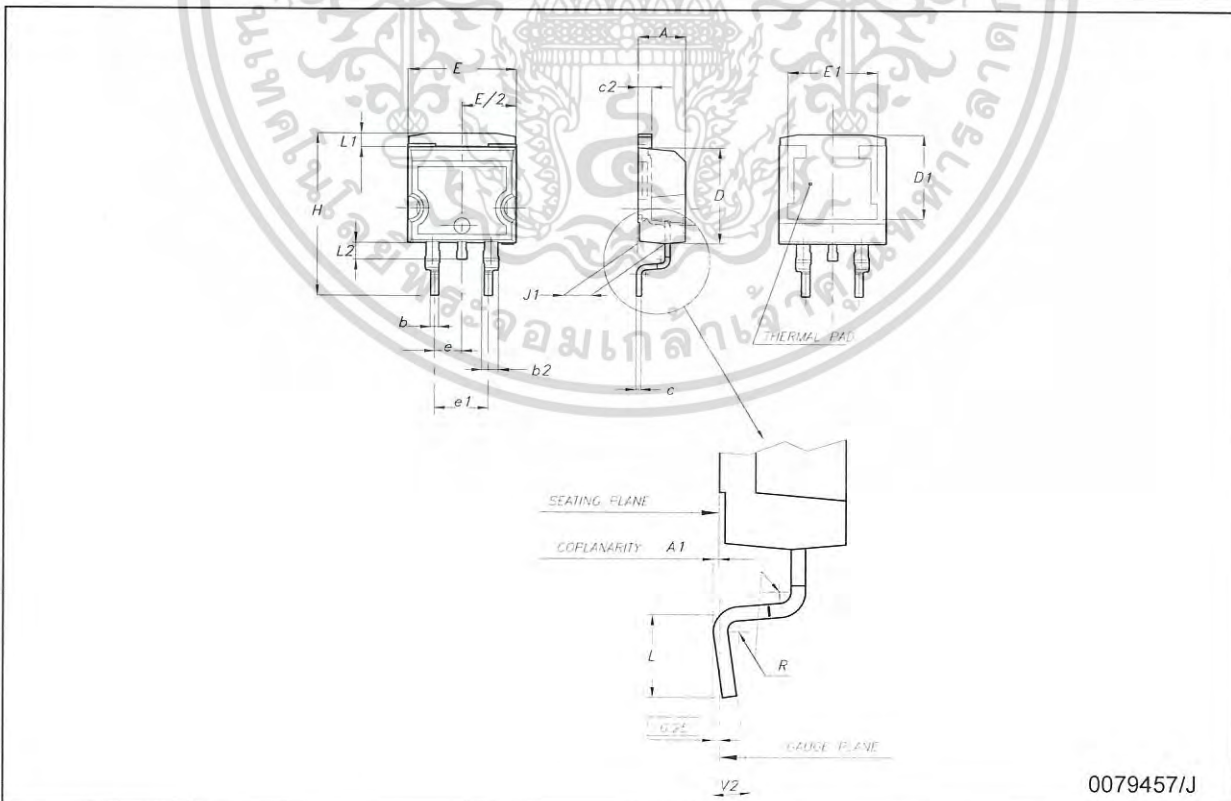
TO-220FP MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
B	2.5		2.7	0.098		0.106
D	2.5		2.75	0.098		0.108
E	0.45		0.70	0.017		0.027
F	0.75		1	0.030		0.039
F1	1.15		1.50	0.045		0.059
F2	1.15		1.50	0.045		0.059
G	4.95		5.2	0.194		0.204
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16			0.630	
L3	28.6		30.6	1.126		1.204
L4	9.8		10.6	0.385		0.417
L5	2.9		3.6	0.114		0.142
L6	15.9		16.4	0.626		0.645
L7	9		9.3	0.354		0.366
DIA.	3		3.2	0.118		0.126



D²PAK (A TYPE) MECHANICAL DATA

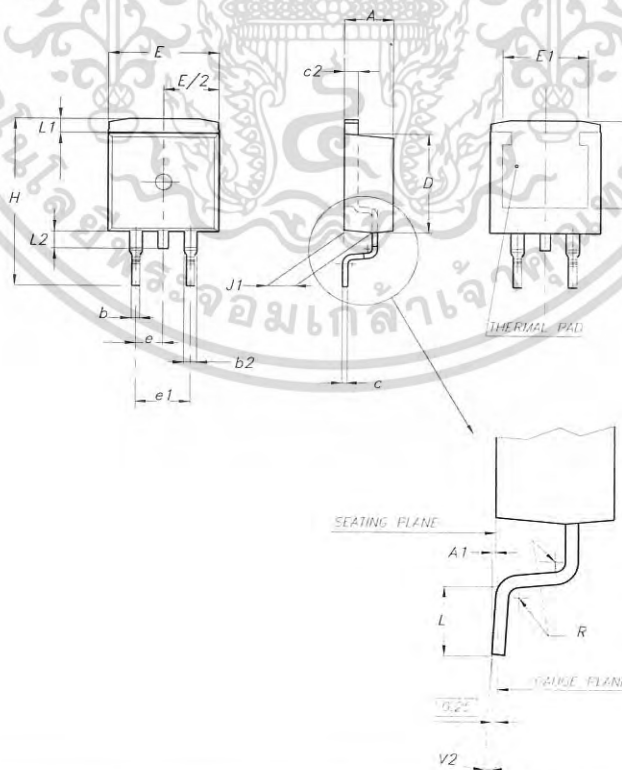
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.4		4.6	0.173		0.181
A1	0.03		0.23	0.001		0.009
b	0.7		0.93	0.027		0.036
b2	1.14		1.7	0.044		0.067
c	0.45		0.6	0.017		0.023
c2	1.23		1.36	0.048		0.053
D	8.95		9.35	0.352		0.368
D1	8			0.315		
E	10		10.4	0.393		0.409
E1	8.5			0.335		
e		2.54			0.100	
e1	4.88		5.28	0.192		0.208
H	15		15.85	0.590		0.624
J1	2.49		2.69	0.098		0.106
L	2.29		2.79	0.090		0.110
L1	1.27		1.4	0.050		0.055
L2	1.3		1.75	0.051		0.069
R		0.4			0.016	
V2	0°		8°	0°		8°



0079457/J

D²PAK (C TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.3		4.7	0.169		0.185
A1	0		0.20	0.000		0.008
b	0.70		0.90	0.028		0.035
b2	1.17		1.37	0.046		0.054
c	0.45	0.50	0.6	0.018	0.020	0.024
c2	1.25	1.30	1.40	0.049	0.051	0.055
D	9.0	9.2	9.4	0.354	0.362	0.370
D1	7.5			0.295		
E	9.8		10.2	0.386		0.402
E1	7.5			0.295		
e		2.54			0.100	
e1		5.08			0.200	
H	15	15.30	15.60	0.591	0.602	0.614
J1	2.20		2.60	0.087		0.102
L	1.79		2.79	0.070		0.110
L1	1.0		1.4	0.039		0.055
L2	1.2		1.6	0.047		0.063
R		0.3			0.012	
V2	0°		3°	0°		3°



0079457/J



Tape & Reel D²PAK-P²PAK-D²PAK/A-P²PAK/A MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			180			7.086
C	12.8	13.0	13.2	0.504	0.512	0.519
D	20.2			0.795		
N	60			2.362		
T			14.4			0.567
Ao	10.50	10.6	10.70	0.413	0.417	0.421
Bo	15.70	15.80	15.90	0.618	0.622	0.626
Ko	4.80	4.90	5.00	0.189	0.193	0.197
Po	3.9	4.0	4.1	0.153	0.157	0.161
P	11.9	12.0	12.1	0.468	0.472	0.476

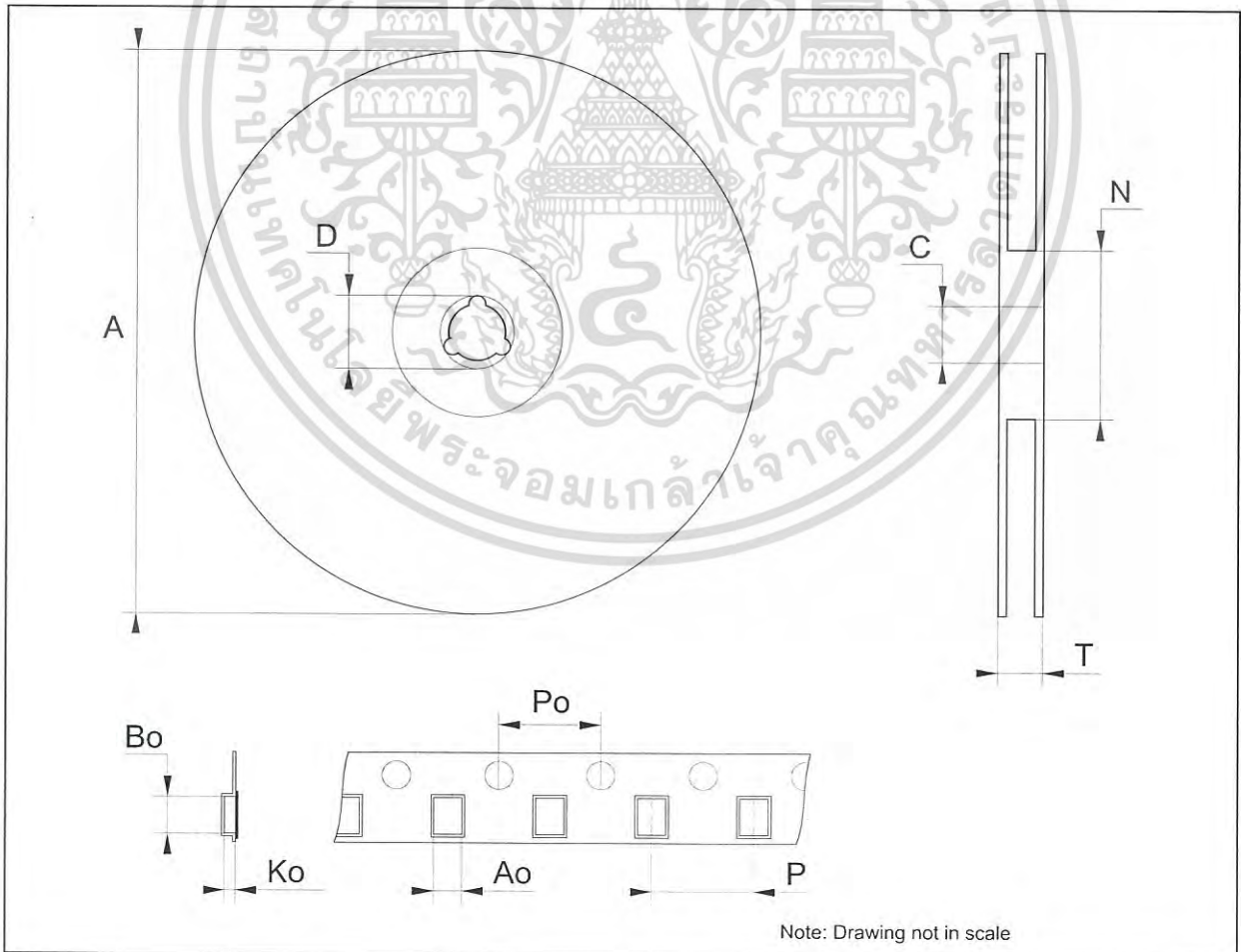


Table 12: Revision History

Date	Revision	Description of Changes
22-Jun-2004	9	Ordering Codes updated Table 3, pag. 3.
31-Aug-2005	10	Add new order codes (TO-220 E Type) on Table 3, pag. 3.





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

All other names are the property of their respective owners

© 2005 STMicroelectronics - All Rights Reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America
www.st.com