# บทที่ 6

## อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเบื้องต้น

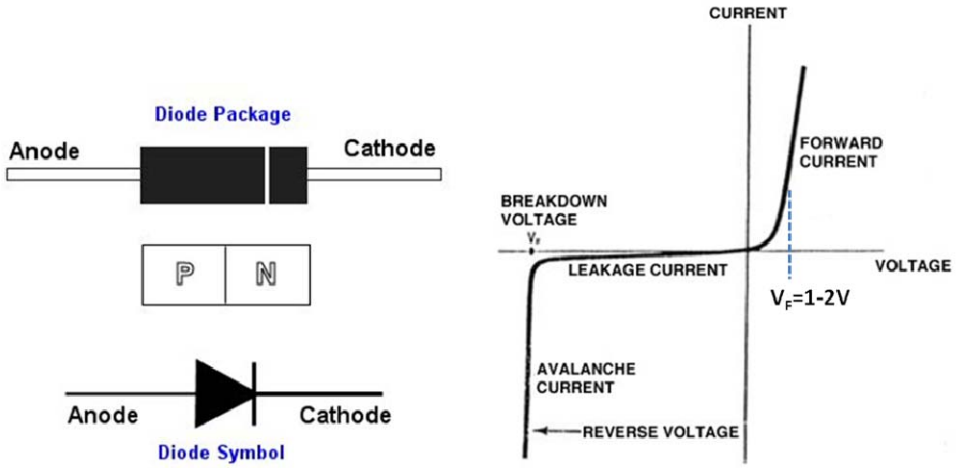
### วัตถุประสงค์

1. บอกคุณลักษณะของ ไดโอดกำลัง เอส.ซี.อาร์ ทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลัง และไอ.จี.บี.ที ได้
2. เปรียบเทียบคุณสมบัติ ไดโอดกำลัง เอส.ซี.อาร์ ทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลัง และไอ.จี.บี.ที ได้
3. บอกการนำไปใช้งานของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเบื้องต้นได้

### 6-1 ไดโอดกำลัง

ไดโอดกำลัง(Power Diodes) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ มี 2 ขั้ว ขั้วที่สารกึ่งตัวนำชนิดพี เรียกว่า แอโนด Anode : (A) และขั้วที่ชิ้นสารชนิดเอ็นเรียกว่า แคโทด (Cathode: K) มีคุณลักษณะเหมือนไดโอดธรรมดา คือ นำกระแสได้เมื่อได้รับไบแอสตรง และไม่นำกระแสเมื่อได้รับไบแอสกลับ แต่แรงดันที่ตกคร่อมไดโอดจะมีค่า ประมาณ 2-3 V พิกัดสูงสุดของไดโอดกำลังคือ 5000V 1000A ลักษณะของไดโอดกำลัง ดังรูปที่ 6-1 และคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันดังรูปที่ 6-2

**รูปที่ 6-1 Power diodes**




**รูปที่ 6-2 Power diodes V-I Characteristic**

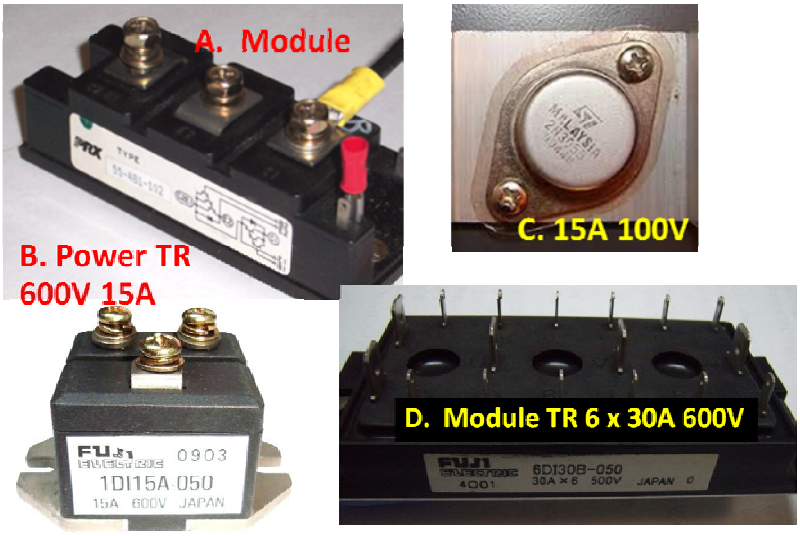
ไดโอดกำลัง นำไปใช้งานในวงจรที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ เช่น ใช้กับอินเวอร์เตอร์เพื่อขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกำลังสูงสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และ ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทั่วๆไป เป็นต้น

**รูปที่ 6-3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า**

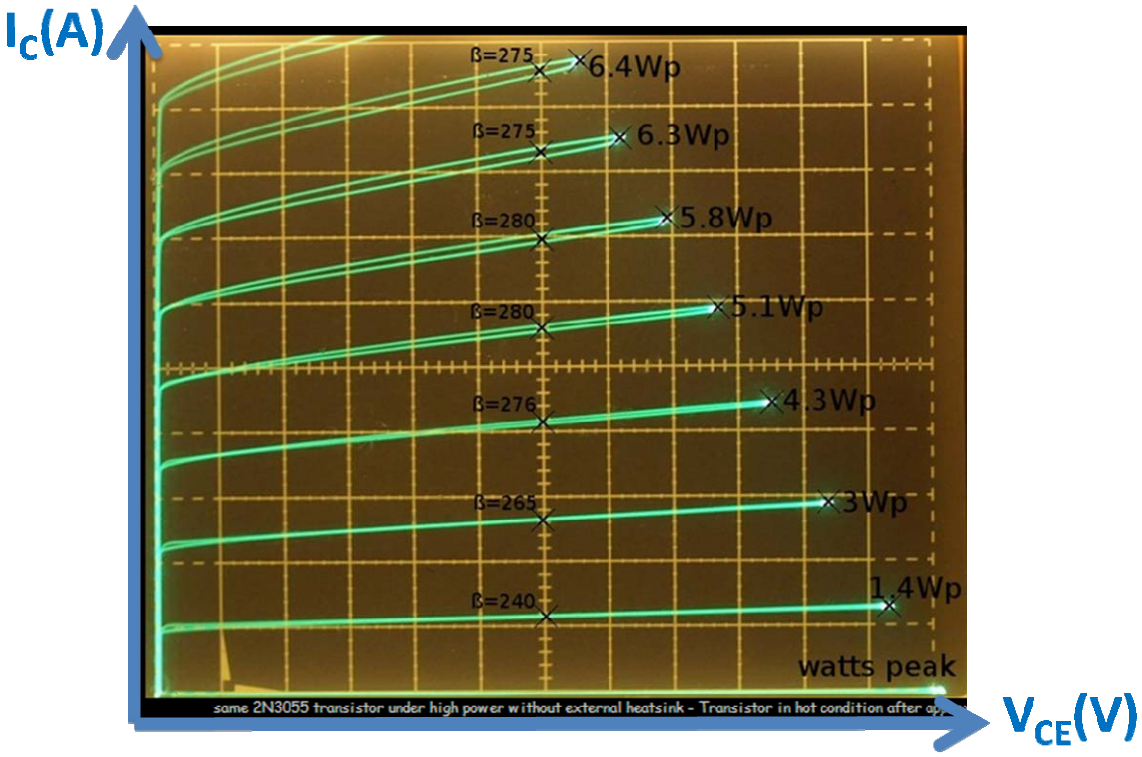
## 6-2 ทรานซิสเตอร์กำลัง

ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor) คือทรานซิสเตอร์ขนาดใหญ่ ทนกระแสได้สูง มักใช้ในส่วนของภาคเอาท์พุตของวงจรขยาย หรือใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) สัญลักษณ์ของมันเหมือนกับทรานซิสเตอร์ทั่วไป และมี 2 ชนิด คือ ชนิด NPN และ PNP เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลังทนกระแสได้สูงกว่าจึงมี

ขนาดใหญ่และมีรูปร่างแตกต่างจากทรานซิสเตอร์ทั่วไป เช่น รูป 6-4 A เป็นแบบโมดูลภายในมีทรานซิสเตอร์ 30A 500V จำนวน 2 ตัว หรือ แบบ B เป็นทรานซิสเตอร์กำลังขนาด 15A 600V รูป C คือทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ 2N3055 มีพิกัดกระแส 15A และพิกัดแรงดันสูงสุดที่ 600V สำหรับรูป D เป็นทรานซิสเตอร์กำลังแบบโมดูลภายในมีทรานซิสเตอร์ 30A 500V จำนวน 6 ตัว เป็นต้น




รูปที่ 6-4 ทรานซิสเตอร์กำลัง



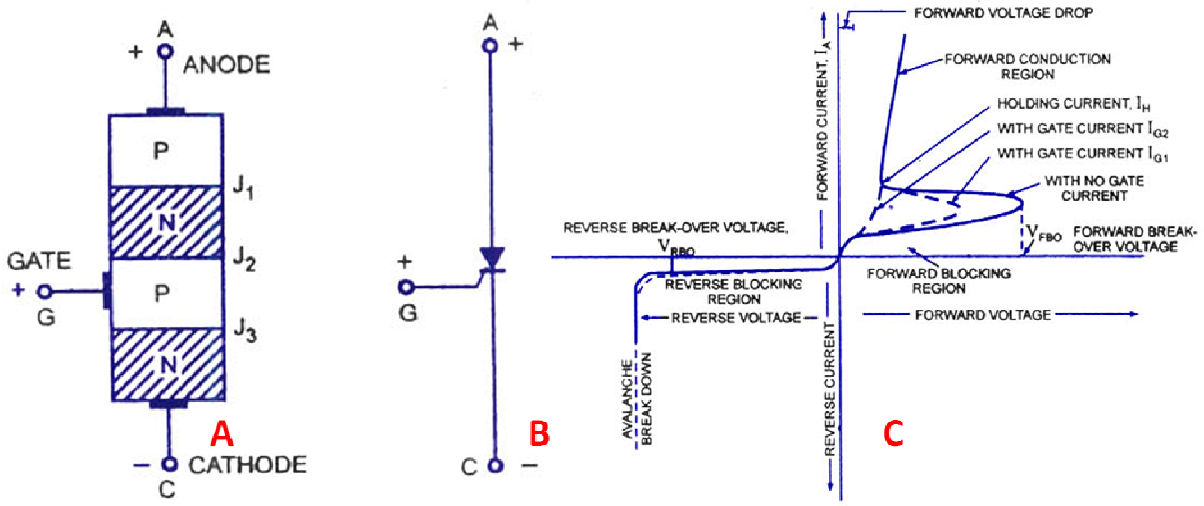

รูปที่ 6-5 กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์กำลัง 2N3055

ที่มา : http://www.amplifier.cd/Test_Equipment/Tektronix/Tektronix_other/576_applications/576_applications.html

คุณลักษณะทางกระแสหรือแรงดันของทรานซิสเตอร์กำลัง(2N3055) เหมือนกับกราฟทรานซิสเตอร์ทั่วไป ในรูปที่ 6-5 แสดงผลการวัดคุณลักษณะ ที่ได้มาจากเครื่องวัดกราฟ (Curve tracer) ทรานซิสเตอร์กำลัง แม้จะทนกระแสไฟฟ้าและแรงดันได้ไม่มากนัก (5-300A/1200V) และความถี่การสวิตช์ก็ไม่สูงมากนัก(1-40kHz) การนำไปใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จึงนำทรานซิสเตอร์กำลังไปใช้ทำงานเป็นสวิตช์ควบคุมการแปลงผันพลังงานของวงจรแปลงผัน(Power Converter) เช่นในวงจร DC-DC Converter วงจร Switching Transistor วงจร Chopper วงจร DC Motor speed control และ High current DC power supply เป็นต้น

## 6-3 เอส.ซี.อาร์.

เอส.ซี.อาร์.(Silicon Control Rectifier : SCR) คืออุปกรรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำงานคล้ายไดโอดกำลังแต่มี 3 ขา คือ A/K/G แต่จะนำกระแสได้จะต้องป้อนกระแสเข้าที่ขาเกต(G)เกต ในขณะที่แอโนด(A) และแคโธด(K) ได้รับไบแอสตรง และหยุดนำกระแสได้โดยการทำให้แอโนด และแคโธด ได้รับไบแอสกลับ สัญลักษณ์และโครงสร้างของ SCR ดังรูปที่ 6-6 A, B




**รูปที่ 6-6 สัญลักษณ์และโครงสร้างของ SCR**

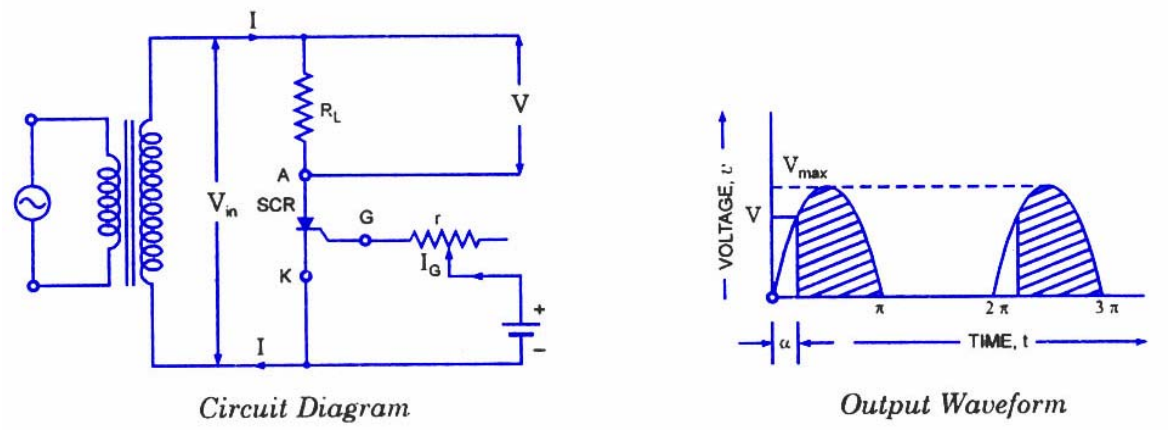
SCR ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชิ้น มี 3 รอยต่อ ดังรูปที่ 6-6 A เมื่อพิจารณากราฟลักษณะสมบัติทางกระแส และแรงดันดังรูป 6-6 C พบว่า เมื่อ SCR ได้ไบแอสกลับจะไม่นำกระแส เหมือนกับไดโอด แต่เมื่อได้ไบแอสตรงก็จะไม่นำกระแสเช่นกัน จนกว่าขา G จะได้รับกระแสมากระตุ้น(Gate triggering) หากกระแส G มีค่ามาก SCR จะนำกระแสได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อ SCR นำกระแสจะมีแรงดันตกคร่อมระหว่าขา A-K ระหว่าง 1-3 V ปกติ SCR จะทนกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้สูงมากที่สุดในบรรดา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้งหมด กล่าวคือ ประมาณ 6000V 3000A แต่ใช้งานได้ในย่านความถี่ต่ำที่สุดเช่นกัน คือ ต่ำกว่า 400 Hz ลักษณะภายนอกของ SCR ดังรูปที่ 6-7

**รูปที่ 6-7 SCR ลักษณะต่างๆ**

## การนำไปใช้งาน

SCR ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะงานด้านการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ปรับความเร็วได้ และเครื่องเชื่อมไฟฟ้า แหล่งจ่านกำลังไฟฟ้าปรับค่าได้ เช่น วงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าแรงดันได้(Control rectifier) วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดใหญ่ (DC Motor Speed control) วงจรเครื่องเชื่อม

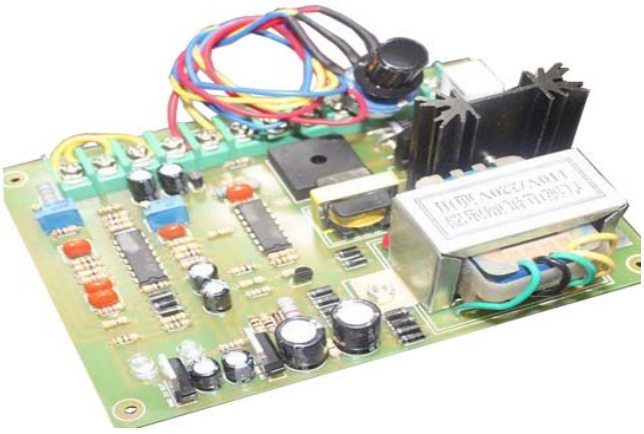
ไฟฟ้า(Electric welding) ตัวอย่างการนำไปใช้งานที่แสดงในรูปที่ 6-8 คือ วงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าแรงดันได้




**รูปที่ 6-8 คือ วงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าแรงดันได้แบบครึ่งคลื่น**

ที่มา : http://www.circuitstoday.com/scr-as-half-wave-rectifier

การทำงานของวงจร $V_{in}$ คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุต V คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต แรงดันที่โหลดจะควบคุม หรือ ปรับค่าได้จากการปรับการแสเกต ($I_G$) โดยการปรับ r ปรับค่าได้ และรูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตจะแสดงในรูป output waveform มุมนำกระแสของ SCR คือมุม $\alpha$ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปกับการปรับค่า r นั่นเอง วงจรนี้เป็นวงจรปรับค่าแรงดัน ดี.ซี. แบบครึ่งคลื่น อย่างง่ายแต่ก็สามารถใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้ดี



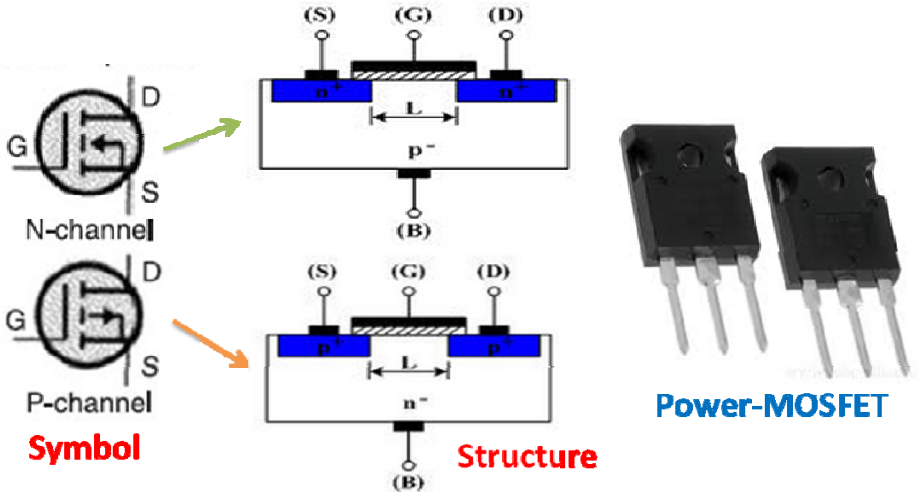
**รูปที่ 6-9 วงจร SCR ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 1000W220V**

## 6-4 มอสเฟตกำลัง

มอสเฟตกำลัง(Power-MOSFET) MOSFET ย่อมาจาก ***metal–oxide–semiconductor field-effect transistor*** คือทรานซิสเตอร์ที่ทำงานได้โดยการควบคุมด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งสนามไฟฟ้านี้เกิดขึ้นได้จากการป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่ เกต (G) ของ มอสเฟต ดังนั้น ***มอสเฟตกำลัง คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ควบคุมการเปิด-ปิดของกระแสไฟฟ้าได้ด้วยแรงดัน(Voltage control current source)***

***มอสเฟตกำลัง เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำงานได้ในย่านความถี่สูงที่สุด คือ สูงถึง 100kHz-1MHz แต่พิกัดของกระแสและแรงดันไฟฟ้าไม่สูงนักคือ 100A/1000V***

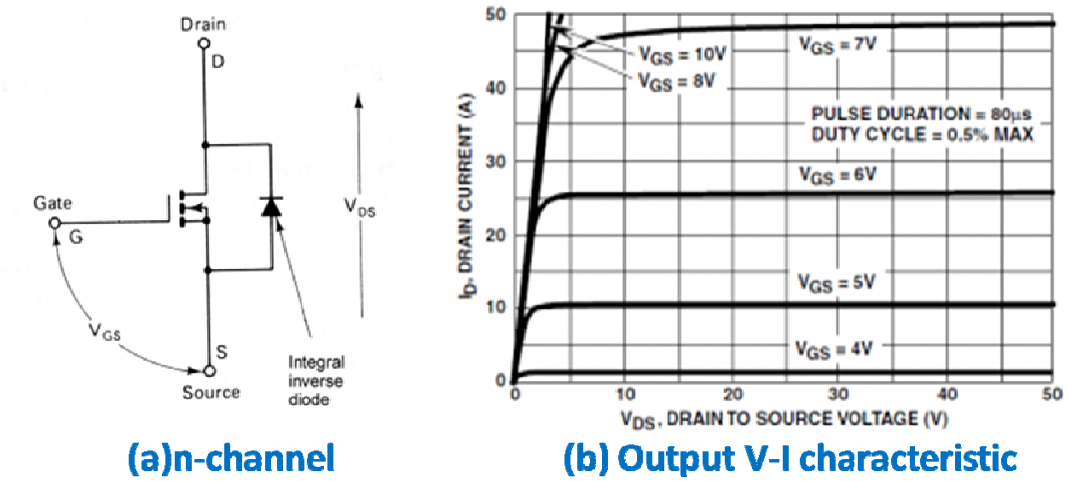
MOSFET ประกอบด้วยสามส่วน คือ **Gate(G)** ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของกระแสไฟฟ้า **Source(S)** เป็นขาอินพุต และ **Drain(D)** เป็นขาเอาต์พุต มอสเฟต มี 2 ชนิด คล้ายกับทรานซิสเตอร์กำลัง คือ มอสเฟตชนิด n-channel และ มอสเฟตชนิด p-channel สัญลักษณ์และโครงสร้าง แสดงในรูปที่ 6-10




**รูปที่ 6-10 สัญลักษณ์และโครงสร้างของมอสเฟต**

คุณลักษณะทางกระแส แรงดัน ของมอสเฟตกำลัง (V-I characteristic) แสดงในรูป 6-11 คือ n-channel MOSFET เมื่อป้อนแรงดันควบคุมเข้าที่เกต($V_{GS}$) มากขึ้นจะทำ

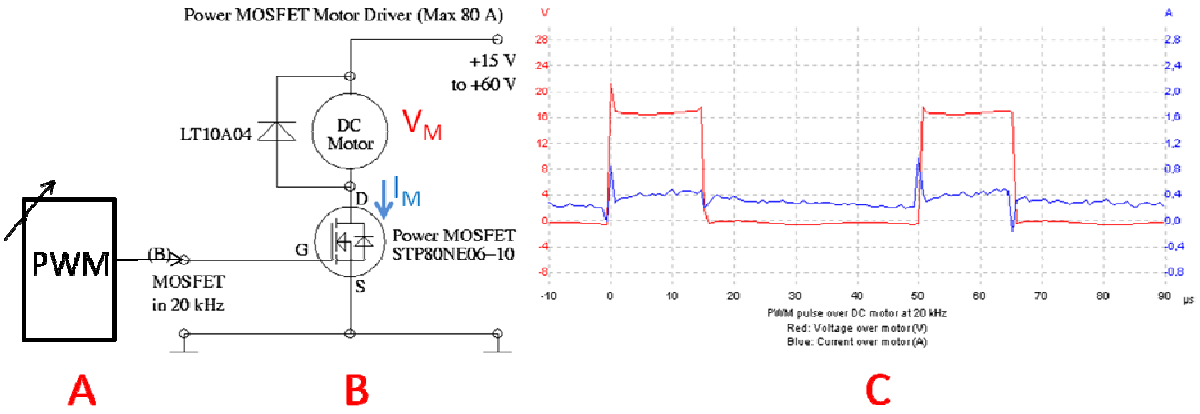
ให้กระแสเอาต์พุต($I_D$) มีค่าสูงขึ้น เช่น ที่ $V_{GS}$=5V จะทำให้ได้ $I_D$=10A และถ้าให้ $V_{GS}$=6V จะทำให้ได้ $I_D$=25A เป็นต้น




**รูปที่ 6-11 V-I characteristic ของมอสเฟต**

## การนำไปใช้งาน

1. PWM MOSFET DC Motor drive เรียกว่า วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงด้วยเทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ วงจรนี้นิยมใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงในรถไฟฟ้า รถไฟฟ้าที่ใช้ในสนามกอล์ฟ ในโรงงานอุตสาหกรรม สกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า และจักรยานไฟฟ้า เป็นต้น ลักษณะของวงจรดังในรูปที่ 6-12




**รูปที่ 6-12 PWM MOSFET DC Motor drives**

รูป A คือ ตัวกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์(PWM) ซึ่งปรับความถี่(f) และความกว้างของพัลส์(Pulse Width) ได้ รูป B คือวงจรมอสเฟตกำลัง เบอร์STP80N06 ทนกระแสได้สูงสุด 80A ต่ออนุกรมกับ มอเตอร์ ดี.ซี. รูป C คือ รูปคลื่นกระแส และแรงดันที่อามาเจอร์ของมอเตอร์ ในขณะที่ควบคุมให้ Duty cycle ของสัญญาณ PWM=30% การปรับค่า Duty cycle ของสัญญาณ PWM จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ปรับค่าได้นั่นเอง วงจรในรูปที่ 6-13 คือ Control the speed of any common DC motor rated up to 100V (7A). Operates on 5V to 15V. Uses NE556 to pulse-width modulate a IRF530 MOSFET

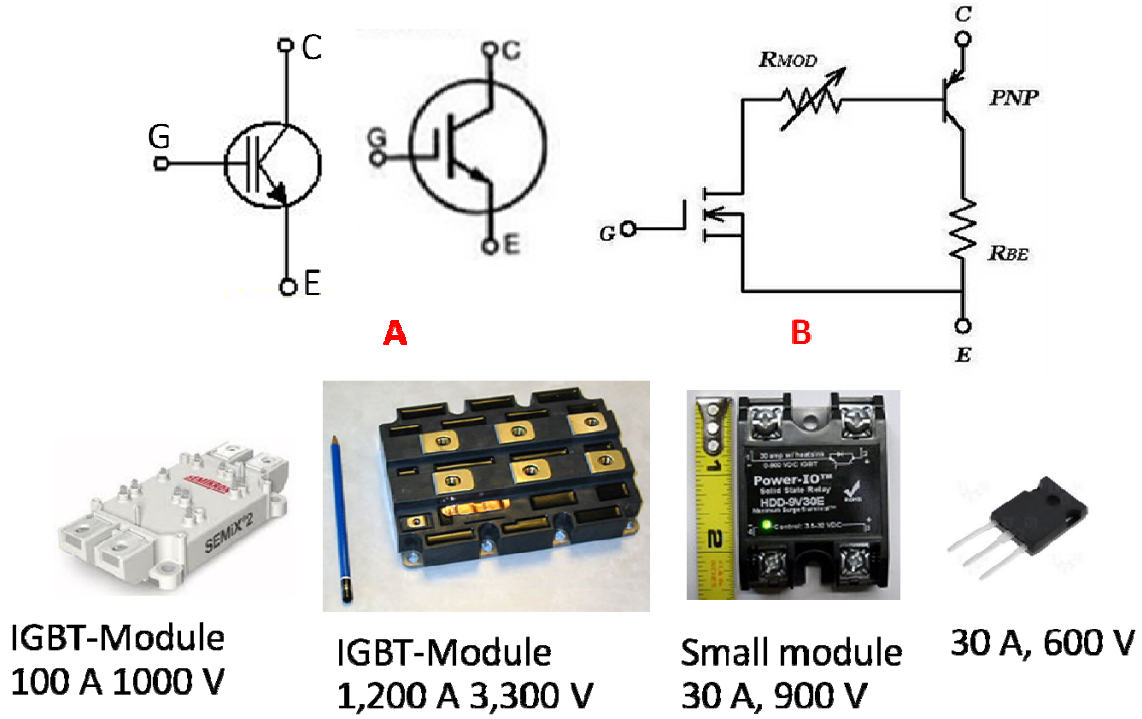
**รูปที่ 6-13 PWM MOSFET DC Motor drive 100V/7A**

ที่มา : http://www.robotstorehk.com/motordrivers/motordrivers.html

## 6-5 ไอ.จี.บี.ที

ไอ.จี.บี.ที (IGBT : Insulate Gate Bipolar Junction Transistor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่พัฒนาขึ้นมาไม่นานนัก โดนใช้การผสมผสานกันระหว่างข้อดีด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์และข้อดีด้านอินพุตของมอสเฟต กล่าวคือ ไอ.จี.บี.ที จะมีคุณสมบัติด้านอินพุตเหมือนมอสเฟต คือมีความต้านทานอินพุตสูงมาก แต่มีความต้านทานเอาต์พุตเมื่อนำกระแสต่ำ ทำให้ ไอ.จี.บี.ที เป็น ***อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ควบคุมการเปิด-ปิดของกระแสไฟฟ้าได้ด้วยแรงดัน(Voltage control current***

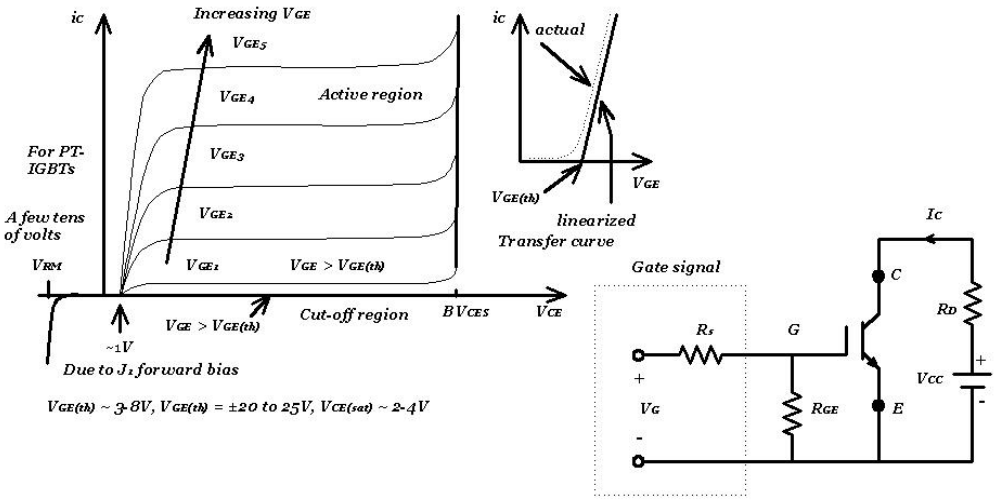
*source)* เช่นเดียวกับมอสเฟตกำลัง ไอ.จี.บี.ที เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำงานได้ในย่านความถี่สูงกว่าทรานซิสเตอร์ แต่ต่ำกว่ามอสเฟต คือที่ความถี่ระหว่าง 1kHz-100KHz แต่พิกัดของกระแสและแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า มอสเฟตกำลัง คือ 500A/2000V ไอ.จี.บี.ที มีสามขา ขาอินพุตคือ เกต(G) ขาเอาต์พุต คือ คอลเลกเตอร์(C) และอิมิตเตอร์ (E) โครงสร้างของมันเมื่อพิจารณาจากรูป 6-14 B ที่อินพุตจะพบว่าเหมือนมอสเฟต ตัวหนึ่งต่ออยู่ และทางเอาต์พุตเปรียบเหมือน เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง และสัญลักษณ์ของ ไอ.จี.บี.ที แสดงดังรูปที่ 6-14




**รูปที่ 6-14 สัญลักษณ์และโครงสร้างของ ไอ.จี.บี.ที**

ลักษณะทางกระแสและแรงดันของ ไอ.จี.บี.ที คล้ายกลับมอสเฟตกำลังมาก วงจรการทดสอบหาคุณลักษณะ และกราฟ V-I Characteristic แสดงในรูปที่ 6-15 กล่าวคือ เมื่อเพิ่ม $V_{GE}$ ให้สูงขึ้นจะทำให้กระแสที่ผ่าน ไอ.จี.บี.ที มีค่าสูงขึ้นด้วย โดยการแสโหลด คือการแสที่ผ่าน ขา C ($I_C$) ของ ไอ.จี.บี.ที โดยวงจรด้าน C_E ของมันคือวงจรกำลัง ที่โหลดต่ออยู่ และวงจรด้าน G คือ อินพุต ของ ไอ.จี.บี.ที ที่รับสัญญาณควบคุมการปิด เปิด จากวงจรกำเนิดสัญญาณภายนอกนั่นเอง โดยปกติ ไอ.จี.บี.ที สามารถ

นำไปใช้แทนมอสเฟตกำลังได้โดยตรง เพราะว่า ใช้สัญญาณควบคุมเกต ชนิดเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบ คุณสมบัติด้านต่างๆของ ทรานซิสเตอร์กำลัง(BJT) MOSFET and IGBT จะได้ดังตารางที่ 6-1




**รูปที่ 6-15 V-I Characteristic ของ ไอ.จี.บี.ที**

**ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆของ BJT/MOSFET/IGBT**

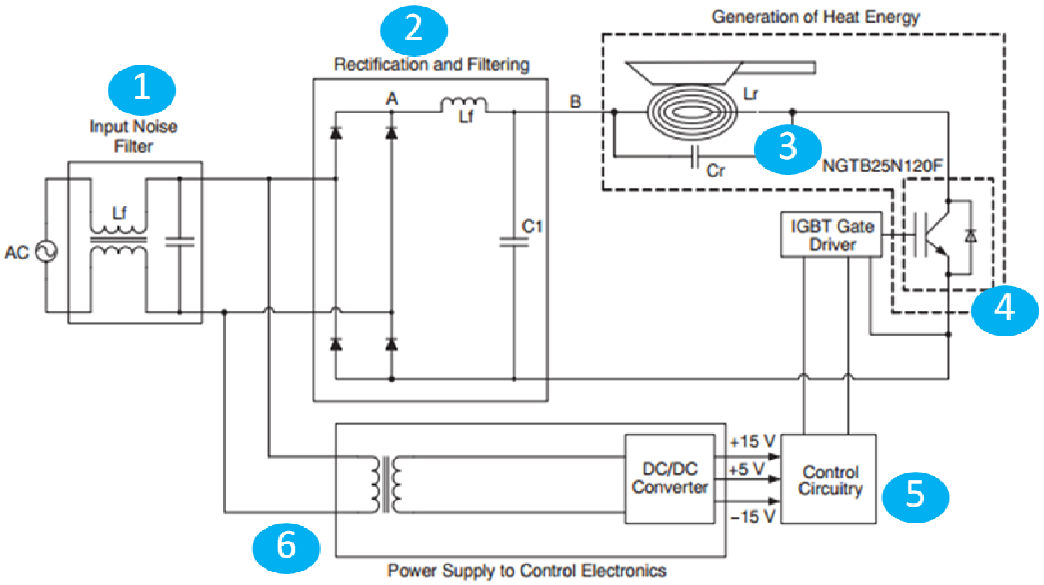
| คุณสมบัติ | BJT | MOSFET | IGBT |
|---|---|---|---|
| **ควบคุมด้วย** | Current | Voltage | Voltage |
| **วงจรขับ เกต/เบส** | Complex | Simple | Simple |
| **ค.ต.ท.อินพุต** | Low | High | High |
| **กำลังไฟฟ้าอินพุต** | High | Low | Low |
| **ความเร็วการสวิตช์** | Slow (µs) | Fast (ns) | Medium |
| **ย่านความถี่ใช้งาน** | Low (< 20 kHz) | Fast (<1 MHz) | Medium |
| **ย่านกำลังไฟฟ้าปลอดภัย** | Narrow | Wide | Wide |
| **แรงดันอิ่มตัว** | Low | High | Low |

## การนำไปใช้งาน

นิยมนำไปใช้ ในวงจรขับมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า วงจรขับและควบคุมมอเตอร์ในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน วงจรปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน(UPS) เตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction heating cooker) และเครื่องเชื่อมไฟฟ้าความถี่สูง เป็นต้น

### 1.เตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

เป็นเตาไฟฟ้าที่ไม่มีลวดความร้อน แต่ใช้การเหนี่ยวนำของขดลวดด้วยความถี่สูง ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ใช้ในการหุงต้มกับได้ดี แต่ใช้กำลังไฟฟ้าในการให้ความร้อนน้อยกว่าเตาแบบลวดความร้อนอย่างมาก วงจรเตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแสดงในรูป 6-16




**รูป 6-16 วงจรเตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ**

ที่มา : http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/HBD871-D.PDF

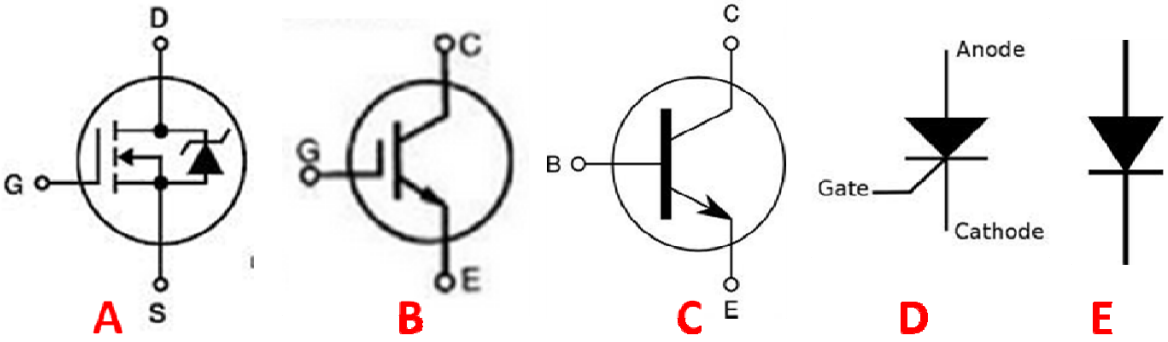
จากวงจร 1) คือ หม้อแปลงลดแรงดันและวงจรกรองสัญญาณรบกวน 2) คือ วงจรเรียงกระแสทำหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรง 3) คือขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดความร้อนที่ภาชนะหุงต้ม 4) คือ IGBT 5) คือ วงจรควบคุมการสวิตช์ของ IGBT และ 6) คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับวงจรควบคุม

# แบบฝึกหัดบทที่ 6

## อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเบื้องต้น

**จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว**

**รูปต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 1-4**




1. สัญลักษณ์ในข้อใด Power MOSFET

ก. A ข. B ค. C ง. D

2. สัญลักษณ์ในข้อใด SCR

ก. A ข. B ค. C ง. D

3. สัญลักษณ์ในข้อใด IGBT

ก. A ข. B ค. D ง. E

4. สัญลักษณ์ในข้อใด IGBT

ก. B ข. C ค. D ง. E

5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในข้อใดใช้งานได้ในย่านความถี่สูงที่สุด

ก. SCR ข. Power Transistor ค. IGBT ง. Power MOSFET

6. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในข้อใดมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงที่สุด

ก. SCR ข. Power Transistor ค. IGBT ง. Power MOSFET

7. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในทำงานได้โดยไม่ต้องมีสัญญาณควบคุม

ก. SCR ข. Power Transistor

ค. Power Diode ง. Power MOSFET

8. อุปกรณ์ในข้อใดใช้การควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้า

ก. SCR, Power Diode ข. Power Transistor, SCR

ค. Power Transistor, IGBT ง. Power MOSFET, IGBT

9. อุปกรณ์ในข้อใดใช้การควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า

ก. SCR, Power Diode ข. Power Transistor, SCR

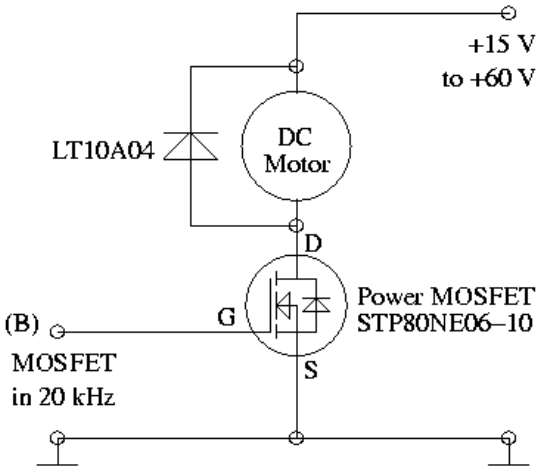
ค. Power Transistor, IGBT ง. Power MOSFET, IGBT

10. วงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าแรงดันได้ (Control rectifier) ใช้อุปกรณ์ในข้อใดควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลด

ก. SCR ข. Power Transistor

ค. Power Diode ง. Power MOSFET

**รูปต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 11-12**



11. วงจรดังกล่าวคือวงจรในข้อใด

ก. SCR DC Motor drive ข. PWM MOSFET DC Motor drive

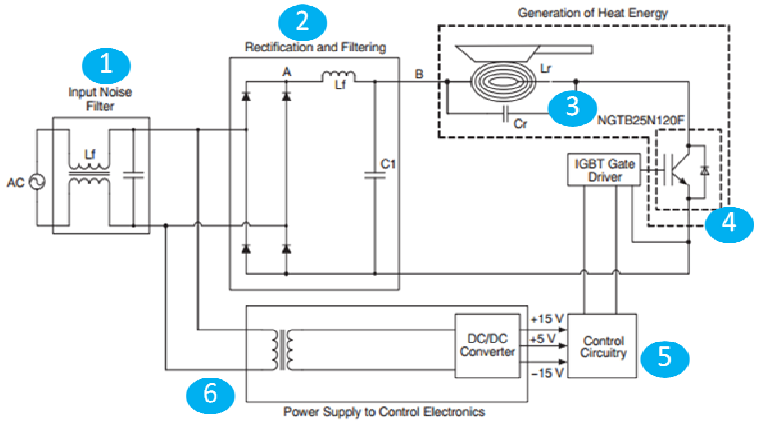
ค. Power Diode ง. PWM IGBT DC Motor drive

12. วงจรดังกล่าว ใช้สัญญาณชนิดใดควบคุมเกต

ก. มอดูเลตขนาดพัลส์ ข. มอดูเลตความถี่พัลส์

ค. มอดูเลตแรงดันพัลส์ ง. มอดูเลตความกว้างพัลส์

**รูปต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 13-14**




13. วงจรดังกล่าวคือวงจรในข้อใด

ก. Induction heating ข. PWM MOSFET drive

ค. Power cooker ง. PWM IGBT cooker

14. วงจรดังกล่าว ใช้อุปกรณ์ชนิดใดควบโหลด

ก. Power Transistor ข. Power SCR

ค. MOSFET ง. IGBT