

# อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

บรรยายโดย

อาจารย์วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี

อาจารย์บุญช่วย เจริญผล

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

หน่วยที่ 1

อิเล็กทรอนิกส์กำลังเทคโนโลยี  
( Power Electronic Technology)

# อิเล็กทรอนิกส์กำลังเทคโนโลยี

- 1.1 บทนำเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์กำลังเทคโนโลยี
- 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- 1.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- 1.4 ตัวบ่งชี้สมรรถนะของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า
- 1.5 การป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

## 1.1 บทนำเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์กำลังเทคโนโลยี

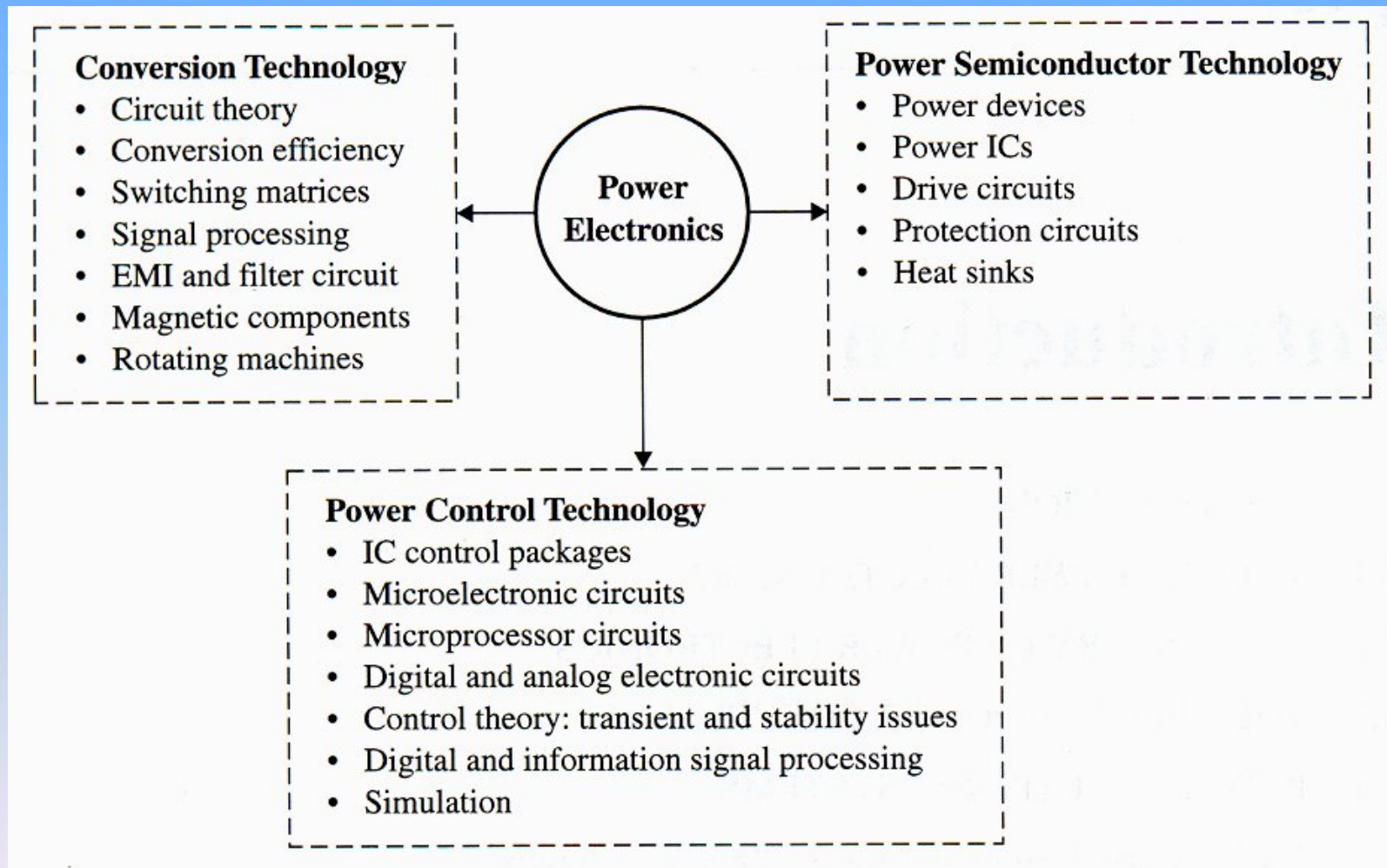
อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นเทคโนโลยีที่นำเทคโนโลยีมูลฐาน  
ทางด้านเข้ามารวมกันคือ

1. Power semiconductor technology

2. Power conversion technology

3. Power control technology

# รายละเอียดของอิเล็กทรอนิกส์กำลังเทคโนโลยี



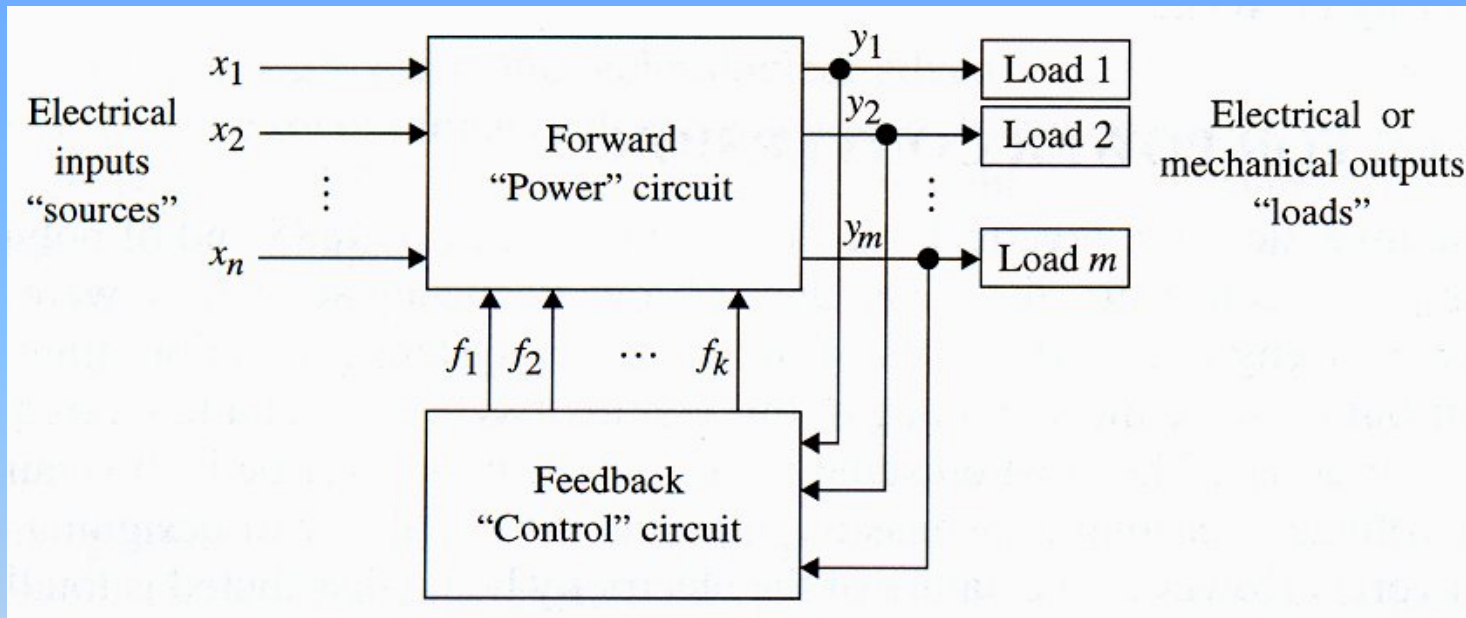
### 1.1.1 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการส่งถ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดโดยให้มีความแรงดันและความถี่ตามที่โหลดต้องการ

นอกจากนี้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังยังมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

1. High efficiency
2. High availability
3. High reliability
4. Small size
5. Light weight
6. Low cost

### 1.1.1 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

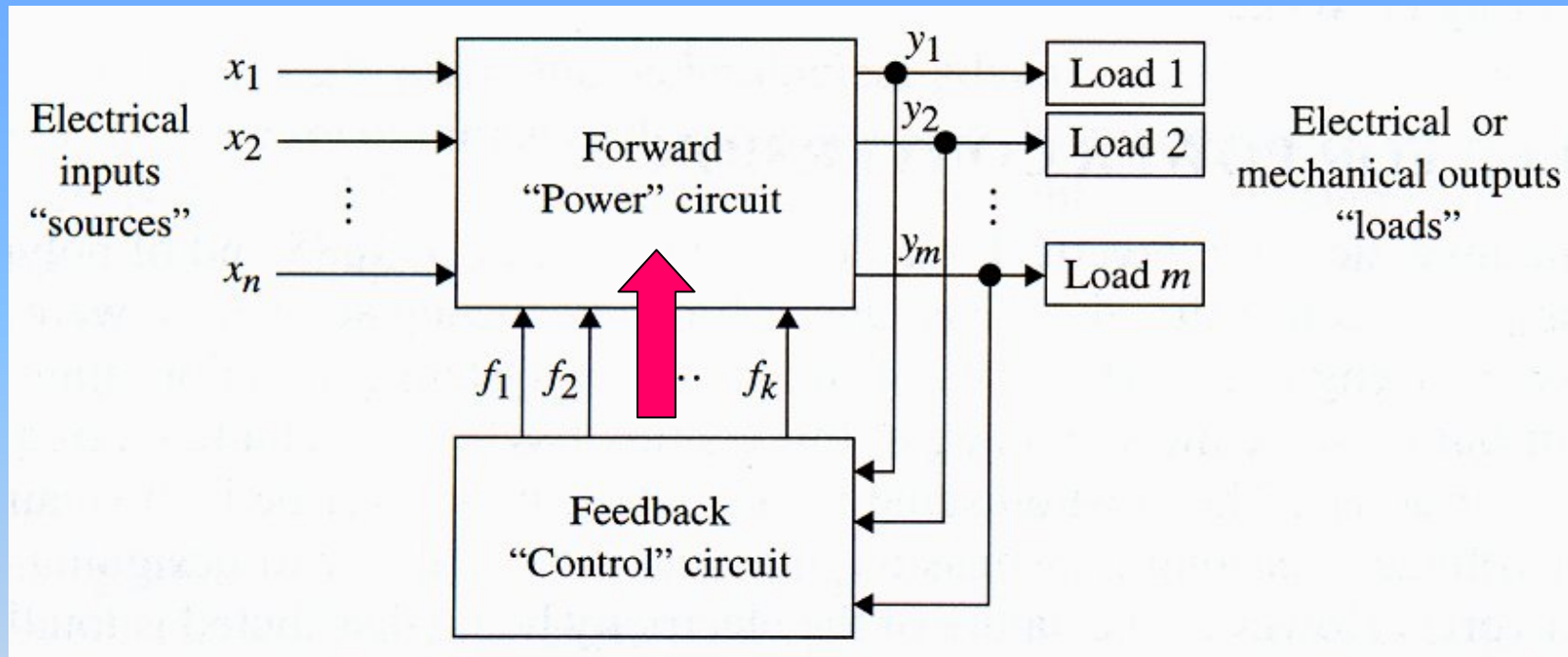


ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นระบบที่นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำมาต่อเป็นวงจรให้ทำงานร่วมกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองวงจรคือ

1. Power circuit

2. Control Circuit

### 1.1.1 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

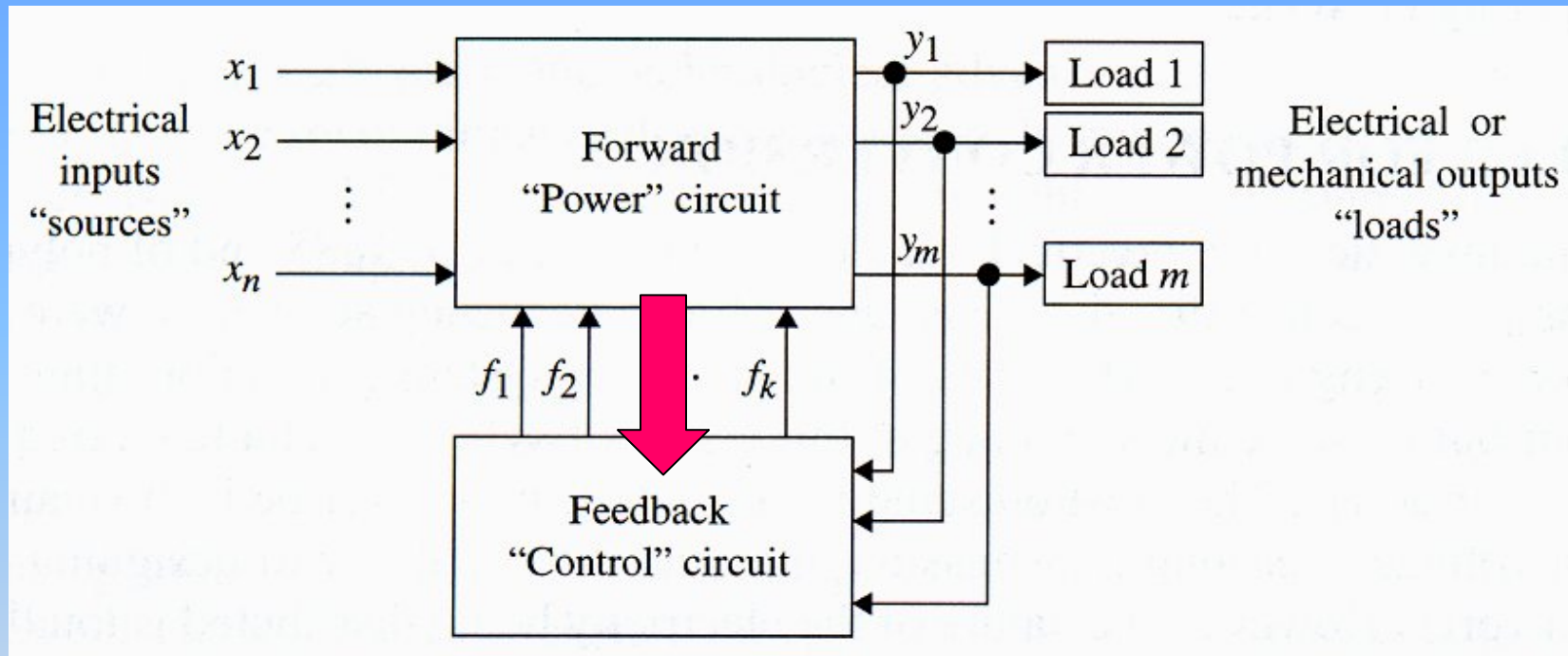


#### 1. Power circuit ( power up to 100 GW)

ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปสู่เอาต์พุต  
โดยให้มีค่าแรงดันและความถี่ตามที่โหลดต้องการ



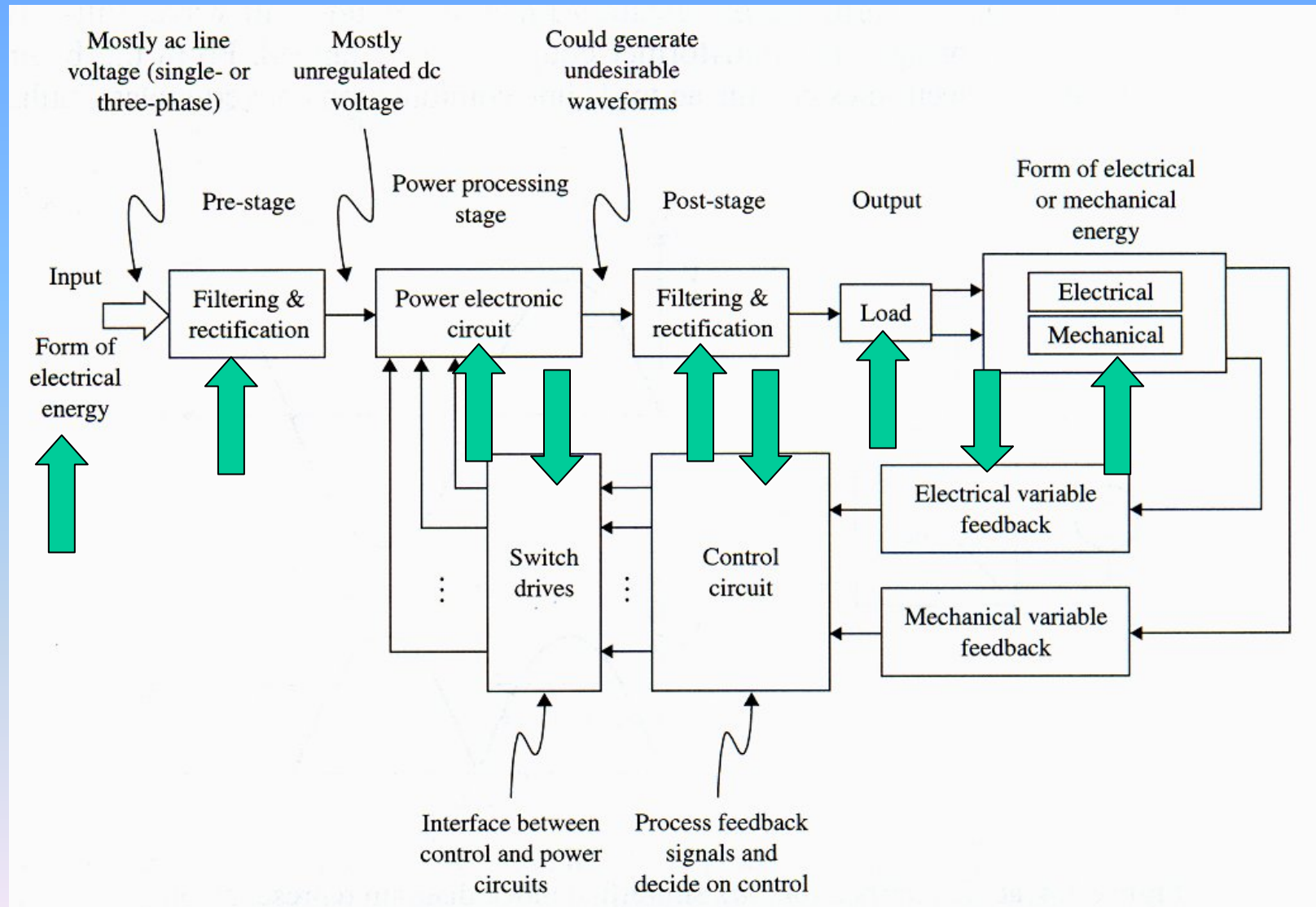
### 1.1.1 ระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)



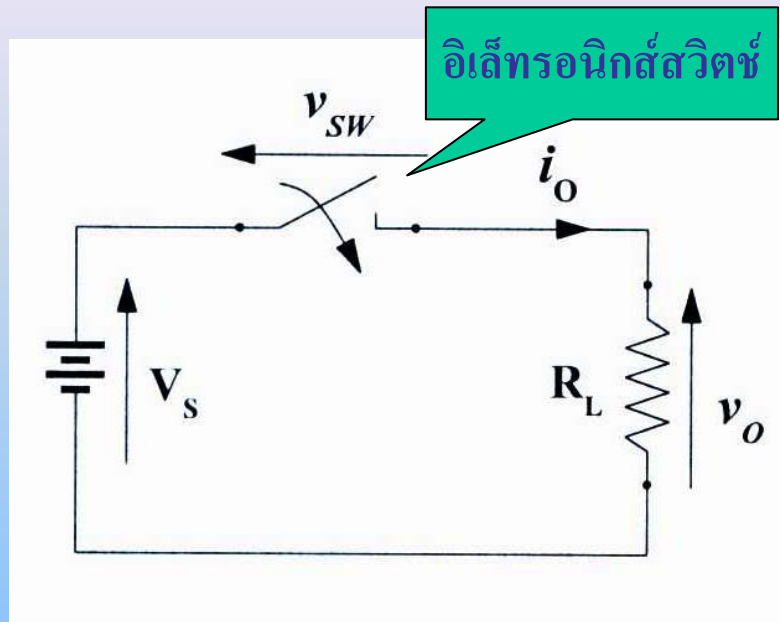
#### 2. Control circuit ( power up to 100 mW )

ทำหน้าที่ควบคุม power circuit ให้สามารถส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า  
ตามที่โหลดต้องการ

# Block diagram แสดงรายละเอียดระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



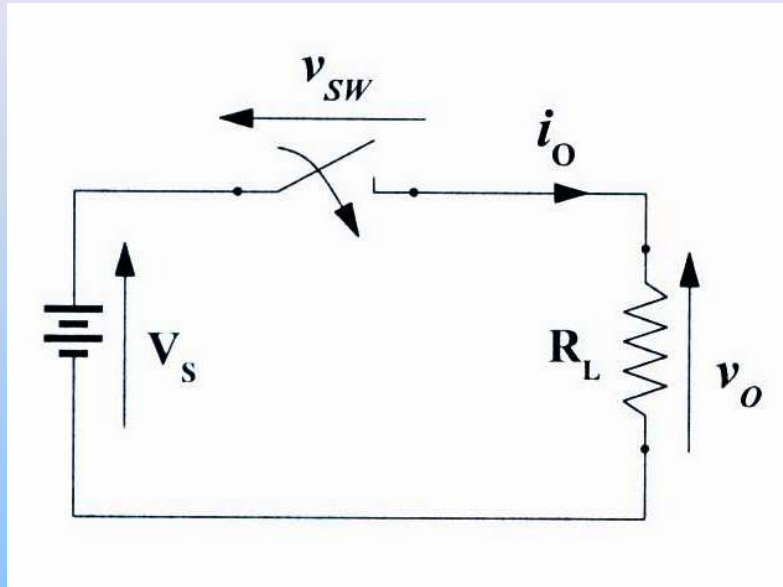
## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)



อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจะ  
ถูกควบคุมให้ทำงานเป็นอิเล็กทรอนิกส์  
สวิตช์ทำหน้าที่ตัด-ต่อวงจร

แต่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำงานเป็นอิเล็กทรอนิกส์  
สวิตช์มีข้อดีแตกต่างจากสวิตช์ไฟฟ้าตรงที่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์  
กำลังสามารถตัด-ต่อวงจรหรือสวิตชิงได้ที่มีความถี่สูงมากและไม่  
มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์

## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจริเล็คทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)



เมื่ออิเล็คทรอนิกส์สวิตช์ตัดวงจร  
จะมีผลทำให้

$$i_o = 0 \quad \text{และ} \quad v_{sw} = V_s$$

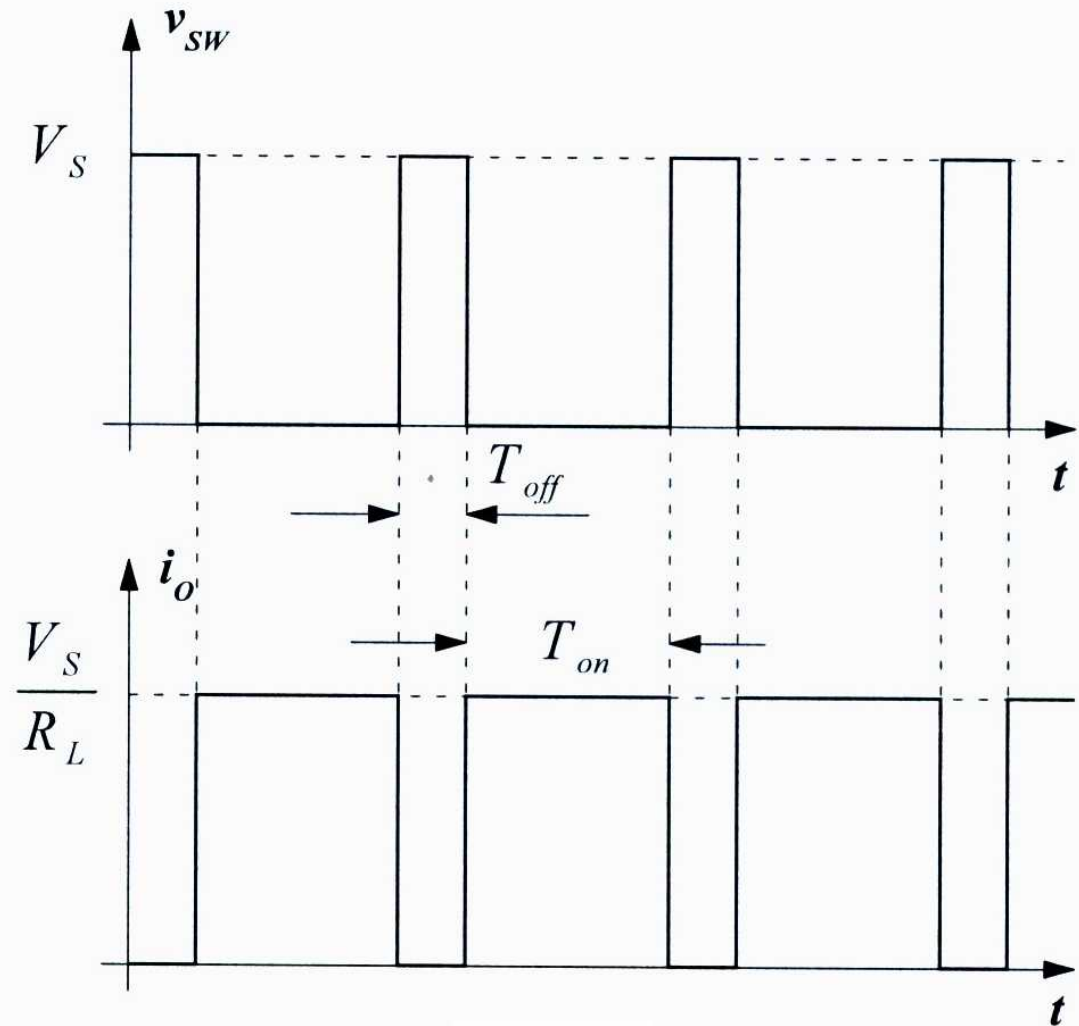
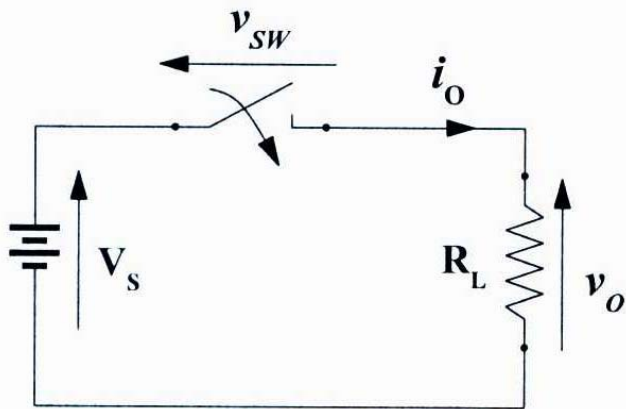
เมื่ออิเล็คทรอนิกส์สวิตช์ต่อวงจรจะมีผลทำให้

$$v_{sw} = 0 \quad \text{และ} \quad i_o = \frac{V_s}{R_L}$$

## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจริเล็คทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่าน  
โหลดเท่ากับ

$$I_{O,av} = \frac{T_{on}}{(T_{on} + T_{off})} \frac{V_S}{R_L}$$

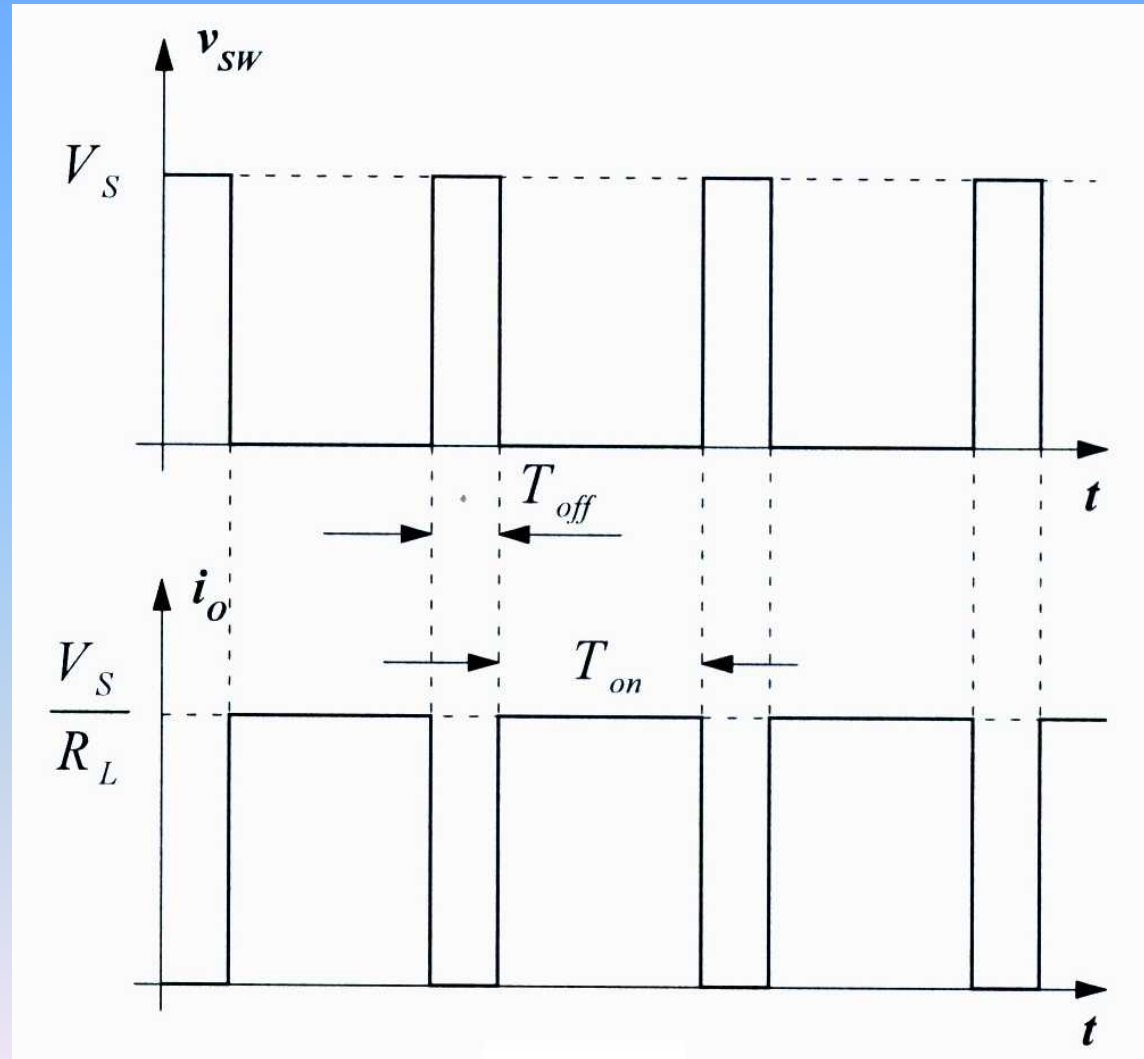


## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่  
อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

เมื่อสวิตช์ on

$$\begin{aligned} P_{sw,on} &= V_{sw,on} I_{o,on} \\ &= 0 \times \frac{V_s}{R_L} \\ &= 0 \text{ Watt} \end{aligned}$$

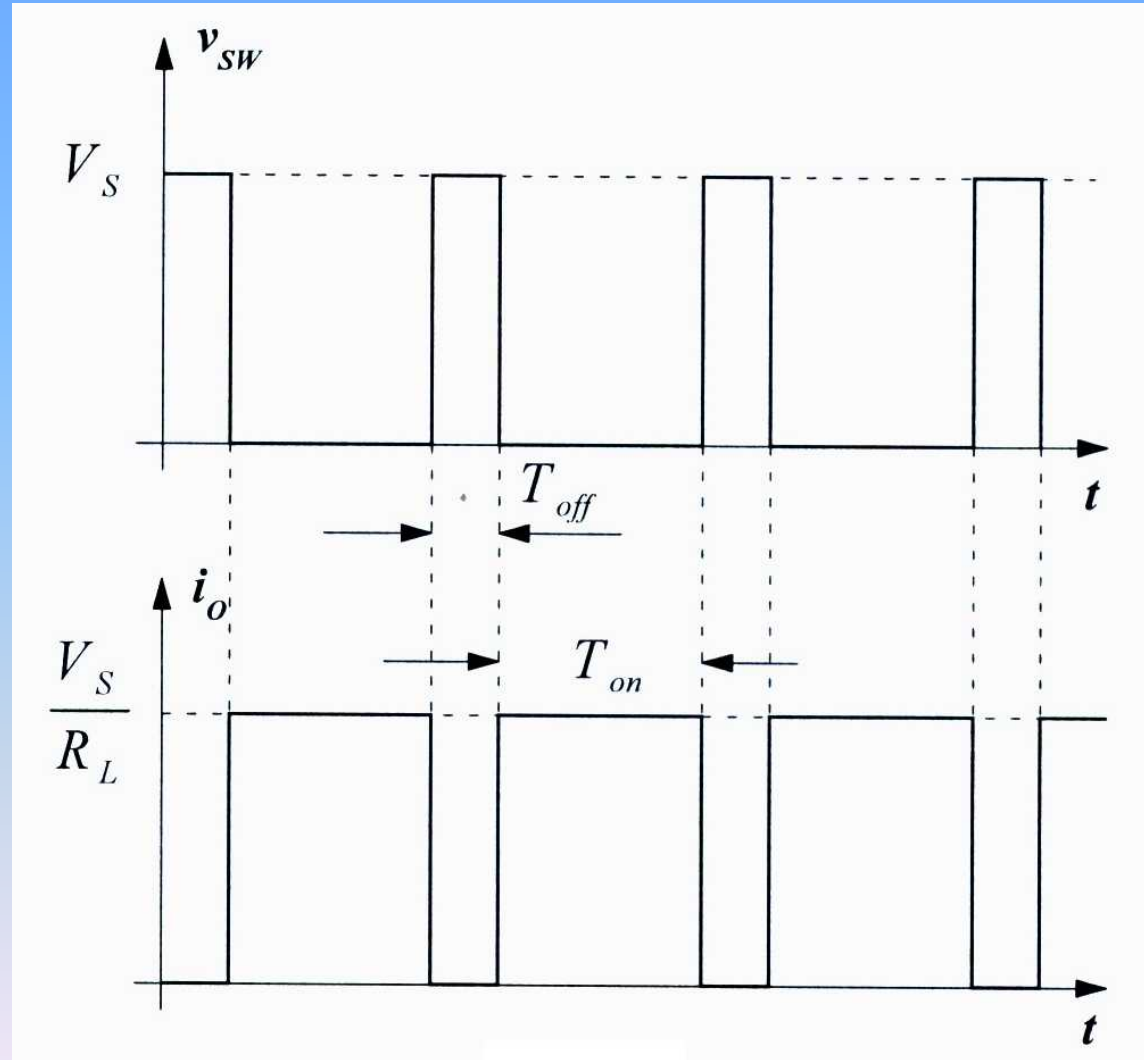


## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่  
อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

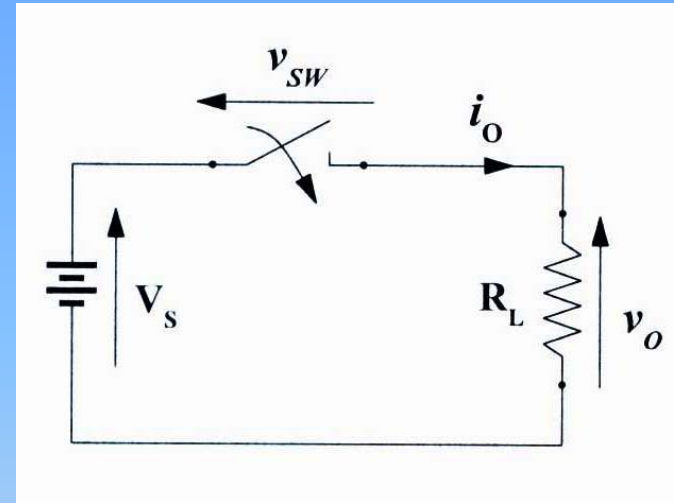
เมื่อสวิตช์ off

$$\begin{aligned} P_{sw,off} &= V_{sw,off} I_{o,off} \\ &= V_S \times 0 \\ &= 0 \text{ Watt} \end{aligned}$$



## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่  
อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์



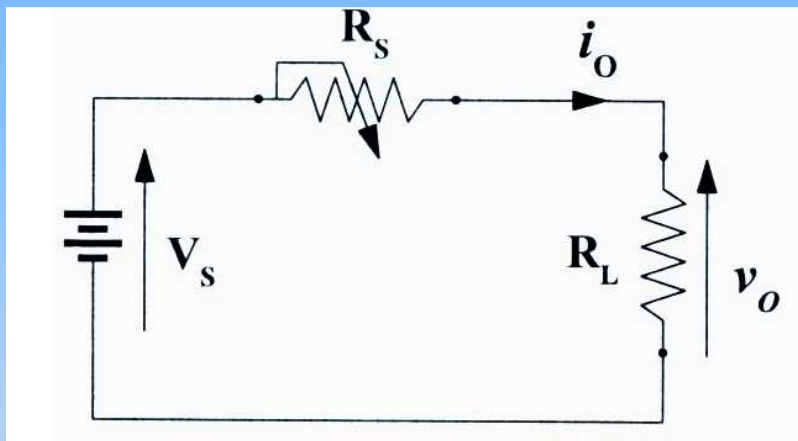
กำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยที่อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

$$\begin{aligned} P_{sw} &= \frac{T_{on} P_{sw,on} + T_{off} P_{sw,off} V_{sw,off}}{T_{on} + T_{off}} \\ &= \frac{T_{on} \times 0 + T_{off} \times 0}{T_{on} + T_{off}} = 0 \text{ Watt} \end{aligned}$$



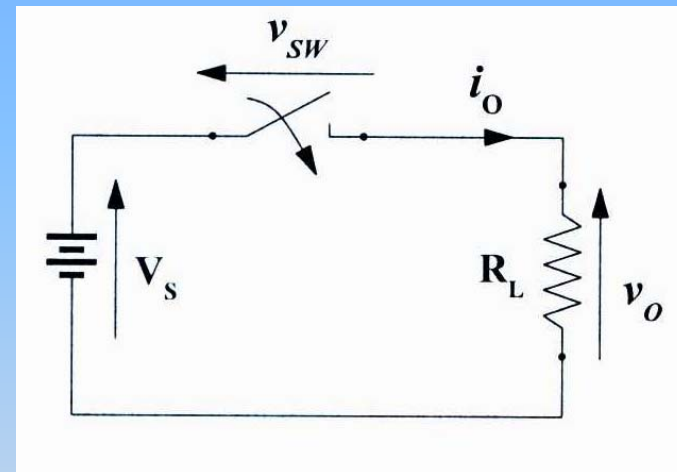
## 1.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในส่วนอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า



กำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยที่ความ  
ต้านทานควบคุมกำลังไฟฟ้า

$$P_{R_S} = I_o^2 R_S \text{ Watt}$$



กำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ย  
ที่อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

$$P_{sw} = 0 \text{ Watt}$$

### 1.1.3 การนำไปใช้งานของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ตามวัตถุประสงค์การนำระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังไปใช้งาน  
สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. บ้านพักอาศัยและหน่วยงานธุรกิจ
2. งานอุตสาหกรรม
3. การขนส่ง
4. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
5. งานในอวกาศ
6. งานโทรคมนาคม

## 1.1.3 การนำไปใช้งานของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

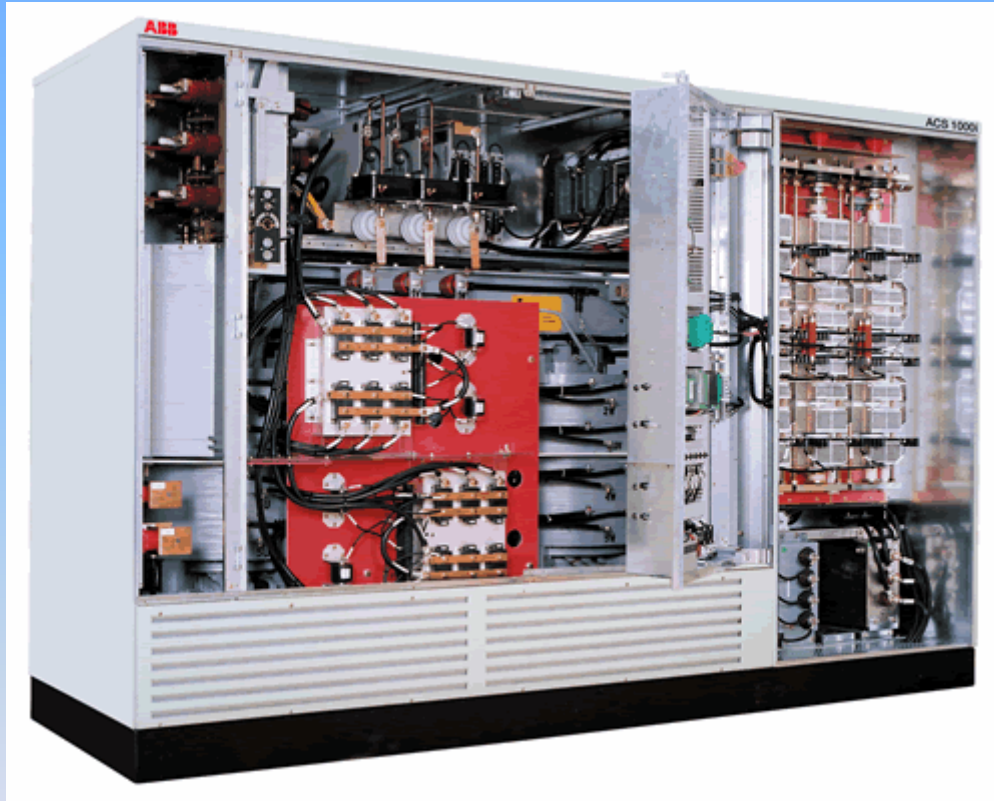
### 1. บ้านพักอาศัยและหน่วยงานธุรกิจ



Data Center Uninterrupted Power  
Supply (UPS)

## 1.1.3 การนำไปใช้งานของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

### 2. งานอุตสาหกรรม



**Description:** A medium voltage AC drive that integrates an input transformer, input contactor and on-board auxiliary power supply has been developed by ABB in response to the demand from the pulp and paper industry.

## 1.1.3 การนำไปใช้งานของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

### 3. การขนส่ง



**ICE-T electric multiple-unit train set.**



## 1.1.3 การนำไปใช้งานของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ต่อ)

### 4. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

#### HVDC Transmission



Manitoba Hydro operates and maintains a large HVDC system comprised of two HVDC bipoles which have a transmission capacity of 3800 MW and an operating voltage of +/-500kV. The HVDC system has been in commercial operation for over twenty five years and has successfully been operated and maintained with high reliability. Manitoba Hydro has gained significant experience in the engineering and operation and maintenance of bulk power HVDC transmission systems and has provided expert consulting service to clients world wide.

## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

คุณสมบัติในอุดมคติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำงานเป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ควรมีดังต่อไปนี้

1. High input impedance
2. Low on-state voltage drop
3. Infinite “ off ” resistance
- 4 Fast turn - off and turn - on
5. Ability to withstand high V&I
6. High current density
7. High temp. Capabillity
8. Bi-directionnal



Ideal switch is  
still a dream!

## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

วัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในปัจจุบันคือ Si แต่ในขณะนี้ได้มีการพัฒนาวัสดุซึ่งคาดว่าจะในยุคต่อไปวัสดุที่ใช้สร้างคือ

1. Silicon Carbide (SiC)

2. Diamond

ศักยภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สร้างจาก SiC เปรียบเทียบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สร้างจาก Si

1. Device voltage

5 to 10 time higher

2. Current densities

10 to 100 time higher

3. Switching losses

1/10 to 1/100 time

4. Working temperature

up to 500 องศา C



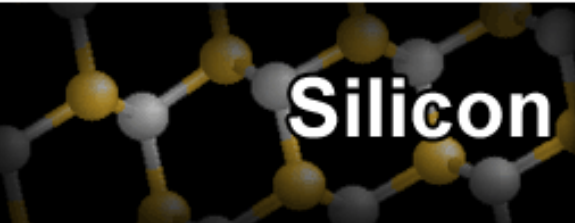
## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากSiC



NATIONAL AERONAUTICS  
AND SPACE ADMINISTRATION

- + Visit NASA.gov
- + NASA Glenn Home
- + Instrumentation and Controls Division Home
- + Sensors and Electronics Branch Home



# Silicon Carbide Electronics



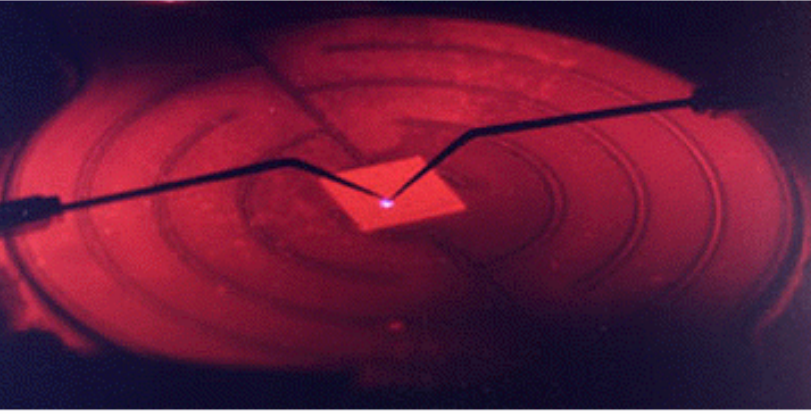
+ BENEFITS

+ DISCOVERIES

+ PUBLICATIONS

+ LINKS

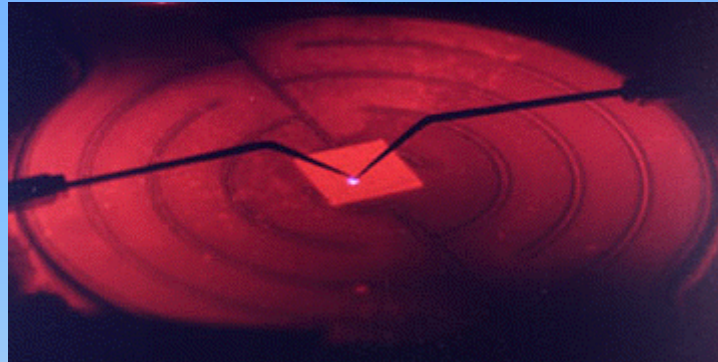
+ CONTACT US



The NASA Glenn Sensors and Electronics Branch is developing **silicon carbide (SiC)** as a material for advanced semiconductor electronic device applications. SiC-based electronics and sensors can operate in hostile environments (**600 C = 1112 F GLOWING RED HOT!**) where conventional silicon-based electronics (limited to 350 C) cannot function. Silicon carbide's ability to function in high temperature, high power, and high radiation conditions will enable large performance enhancements to a wide variety of systems and applications.

## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

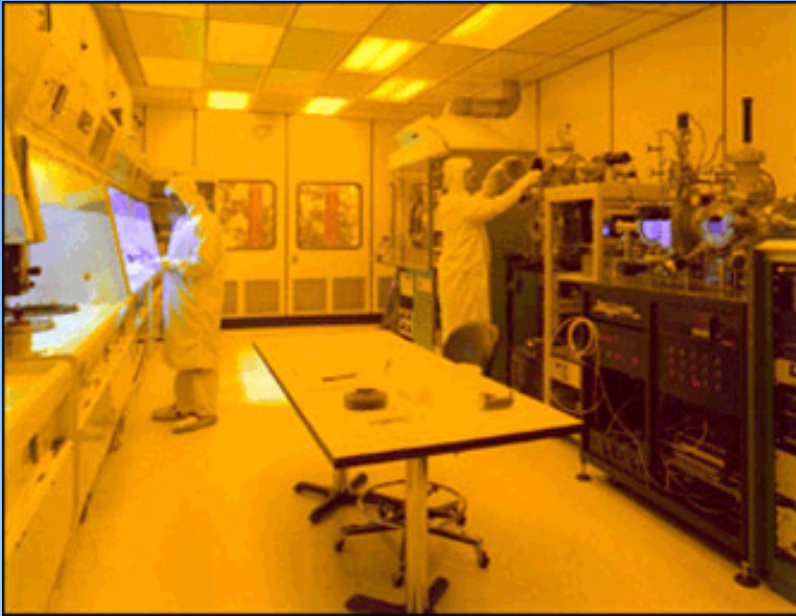
ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากSiC



The circular heating element and 5 x 5 mm square SiC chip are both glowing red-hot. The diode being tested electroluminesces blue light when forward biased.

SiC devices have repeatedly demonstrated proper operation at temperatures as high as 650 C. Silicon-based semiconductor electronics cannot function at these temperatures.

## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)



The large performance gains made possible by SiC's high-temperature high-power capabilities offer economically large performance benefits to the aircraft, automotive, communications, power, and spacecraft industries. The tremendous

advantages of SiC electronics in these applications are slowly becoming a reality. SiC's immature crystal growth and device fabrication technologies are being developed, but they are not yet sufficiently developed to the degree required for reliable system incorporation. Developing and maturing SiC technology to the point that it is ready for widespread system insertion is the focus of increasingly intense research efforts at laboratories around the world

## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

### ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากSiC

#### Latest Research

[HOME](#) > [Latest Research](#) > Top Performance of SiC Power Transistor Designed for Inverters

#### Top Performance of SiC Power Transistor Designed for Inverters

( Translation of the AIST press released on March 28, 2005)

#### Key Points

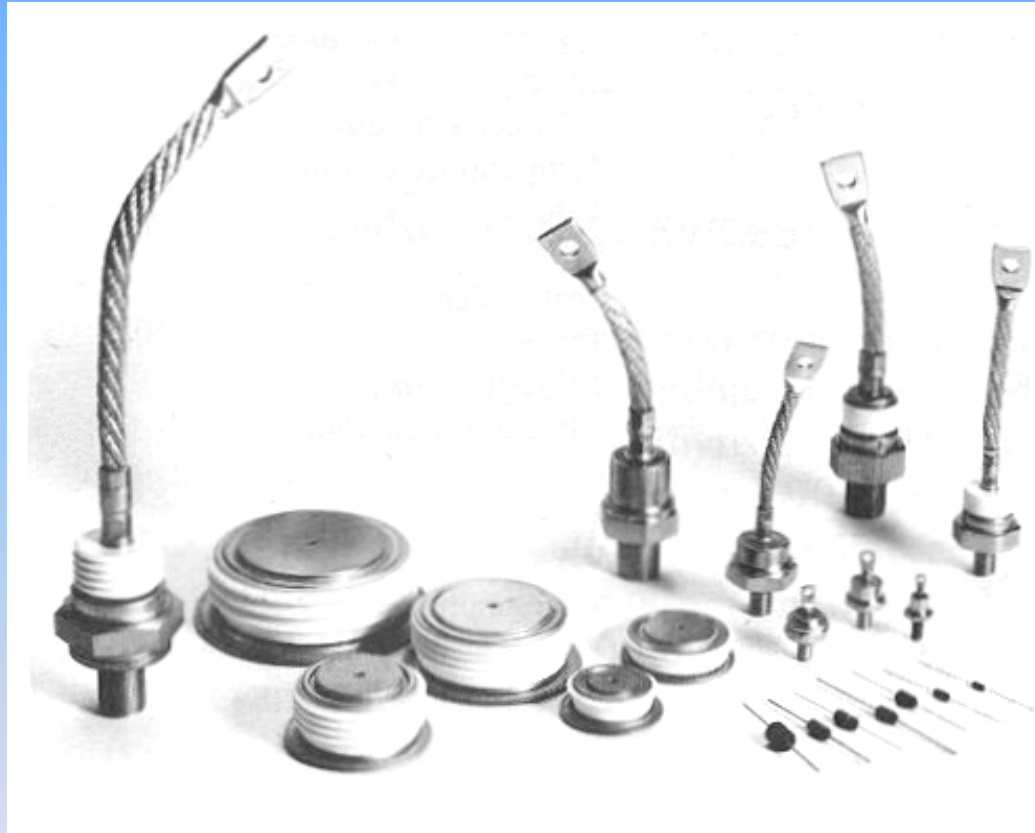
- Silicon carbide static induction transistor (SiC-SIT) of supreme performance in the world characterized by ultra-low power loss as a 600 V~1.2 kV class switching device of breakdown voltage  $V_{BR}$  700 V and specific on- resistance  $R_{onS}$  1.01  $m\Omega \cdot cm^2$  has been successfully developed through the innovative revision of structural design and fabrication process. In comparison to the conventional silicon insulated gate bipolar transistor (Si-IGBT) for inverter circuit, the power loss is extensively reduced to 1/12.
- The newly developed SiC- SIT will be used for a broad spectrum of applications ranging from small capacity inverters in household electric appliances (e.g. induction heating (IH) cooking heater, air-conditioner, eco- friendly hot water supply) and uninterruptible power source (UPS); medium capacity inverters in electric vehicles (hybrid car, battery- driven car, fuel cell- driven car, and so on) to large capacity inverters for the control of large motor in the industrial area, as well as distributed power source system and photovoltaic power generation. The use of SiC-SIT in these areas is expected to improve the power utilization efficiency by 2 to 3 %.

## 1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

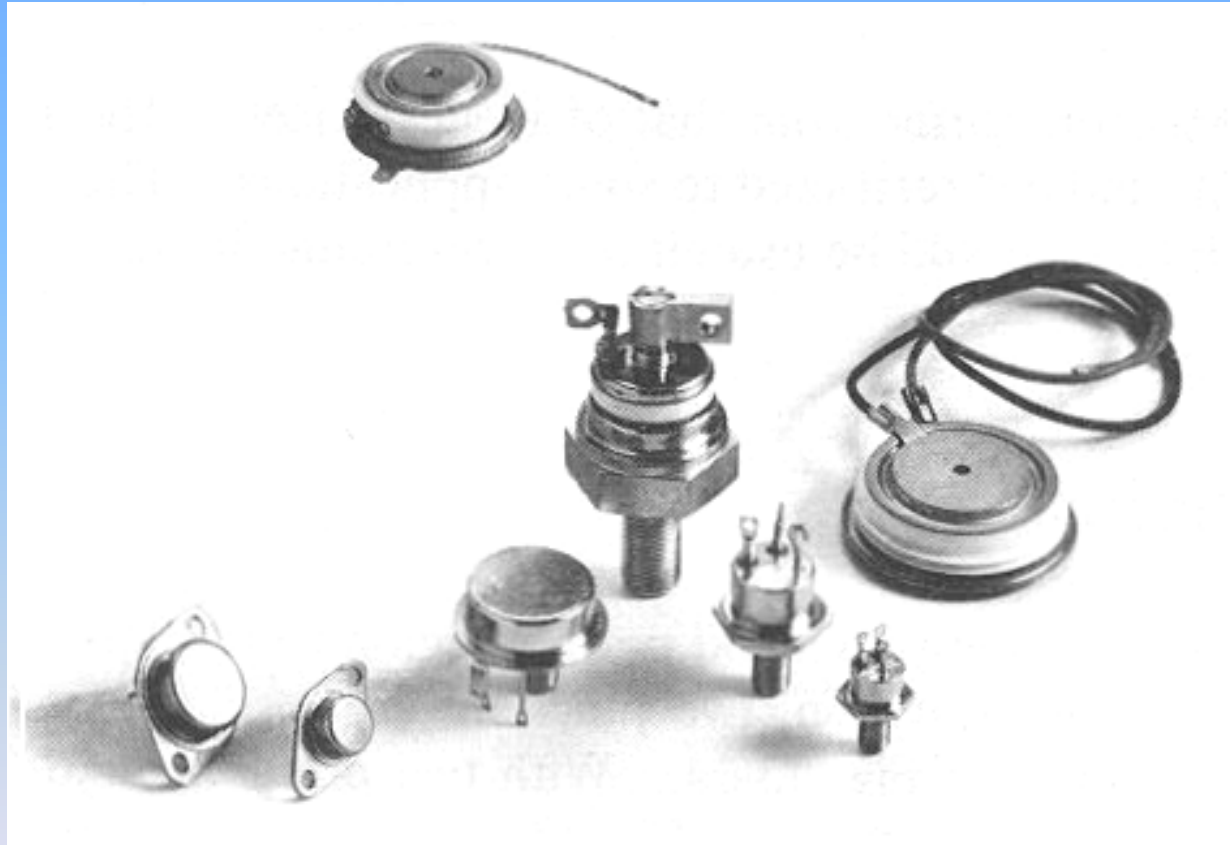
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีใช้งานในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. ไดโอดกำลัง (Power Diode)
2. ทรานซิสเตอร์กำลังแบบรอยต่อไบโพลาร์ (BJT)
3. มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)
4. ไทริสเตอร์ (thyristor)
5. อุปกรณ์ลูกผสม (HYBRID)
6. Intelligent Power Modules (IPM)

## 1.2.1 ไดโอดกำลัง (power diode)

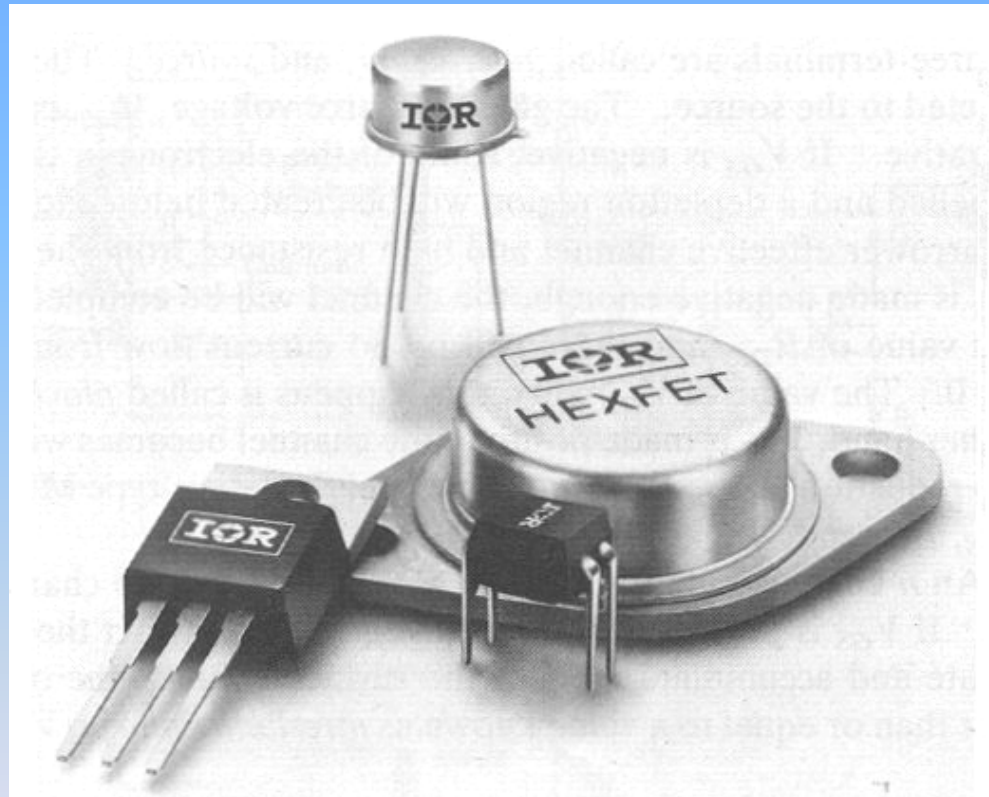


## 1.2.2 ทรานซิสเตอร์กำลังแบบรอยต่อไบโพลาร์ (BJT) (1970)



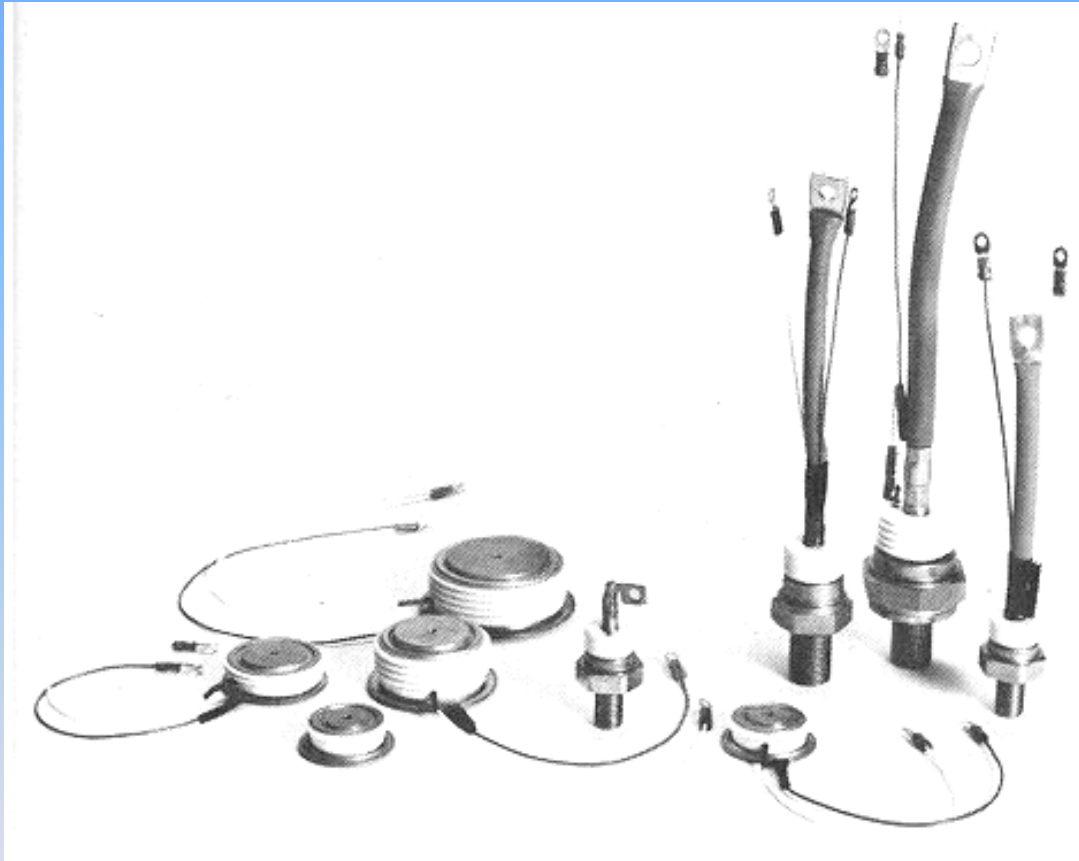


### 1.2.3 มอสเฟตกำลัง( Power MOSFET) (1979)





## 1.2.4 ไทริสเตอร์ (thyristor)



1. SCR (1958)

2. TRIAC (1964)

3. GTO (1981)

ฯลฯ

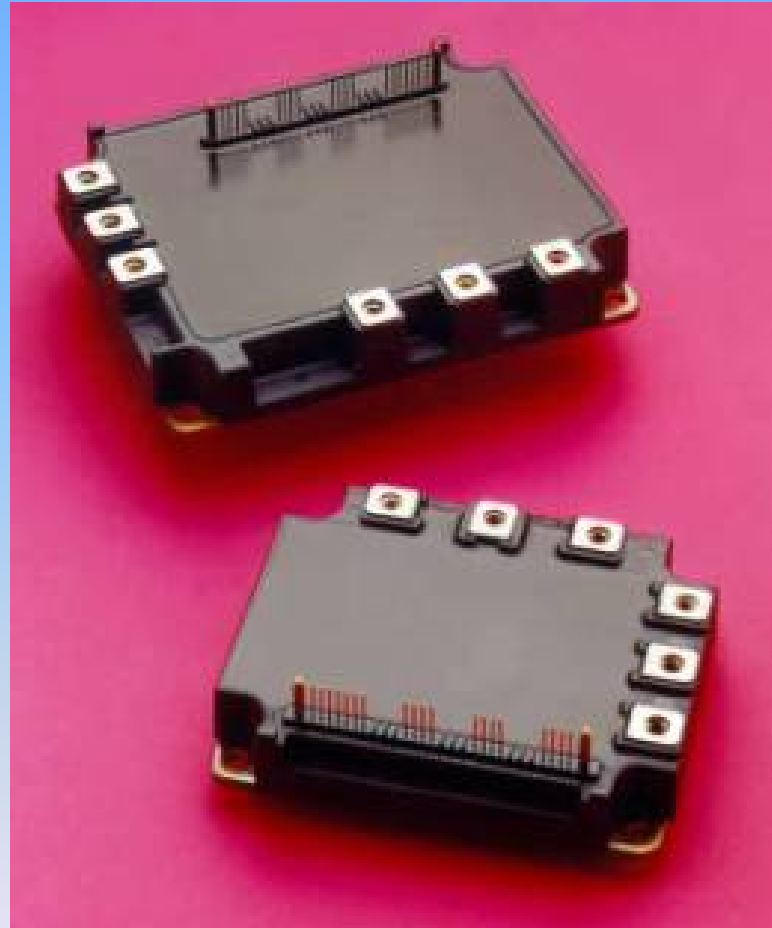
## 1.2.5 อุปกรณ์ลูกผสม(HYBRID)

1. Insulated Gate Bipolar Transistor ; IGBT (1983/1988)
2. Mos - Controlled Thyristor ; MCT (1988)

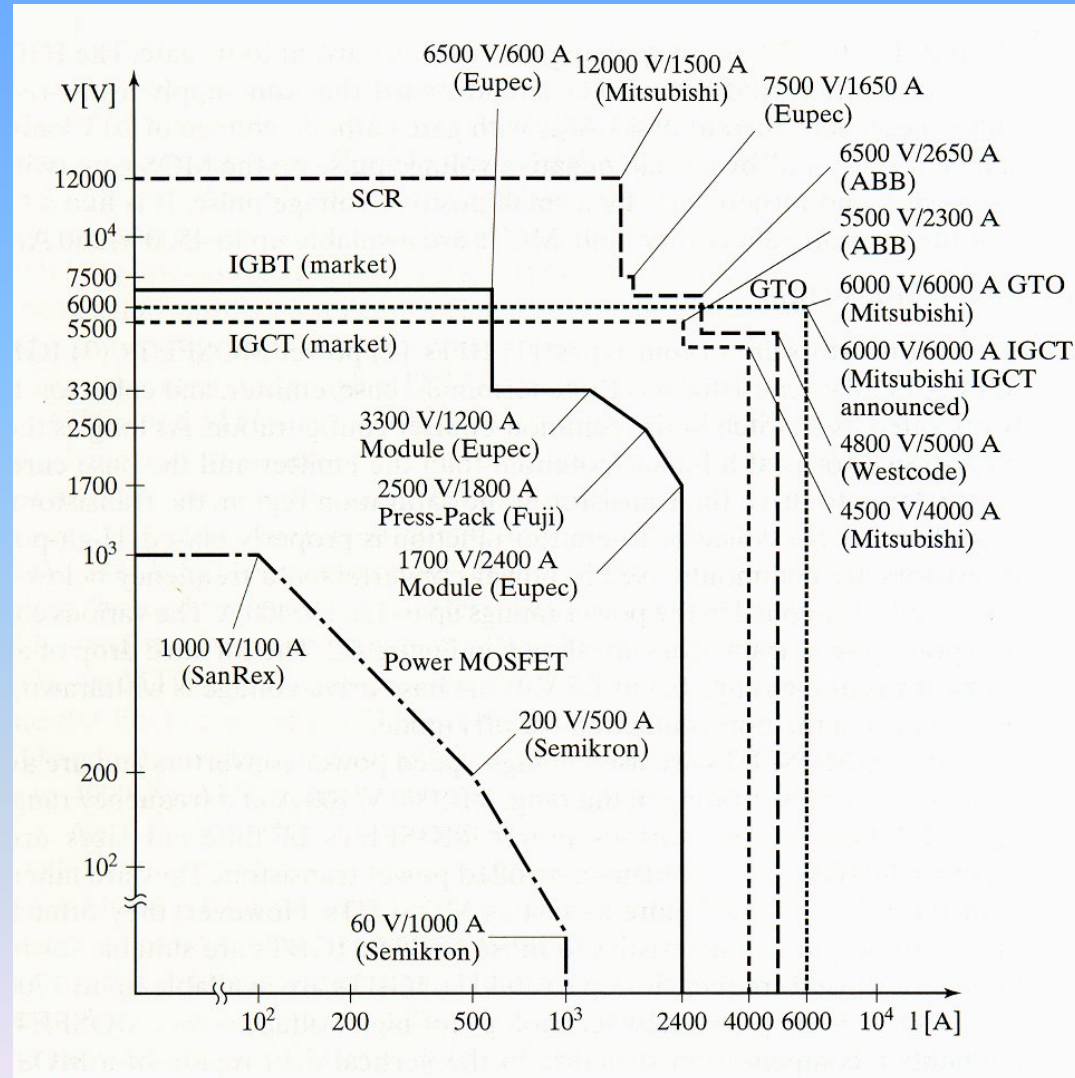
ฯลฯ



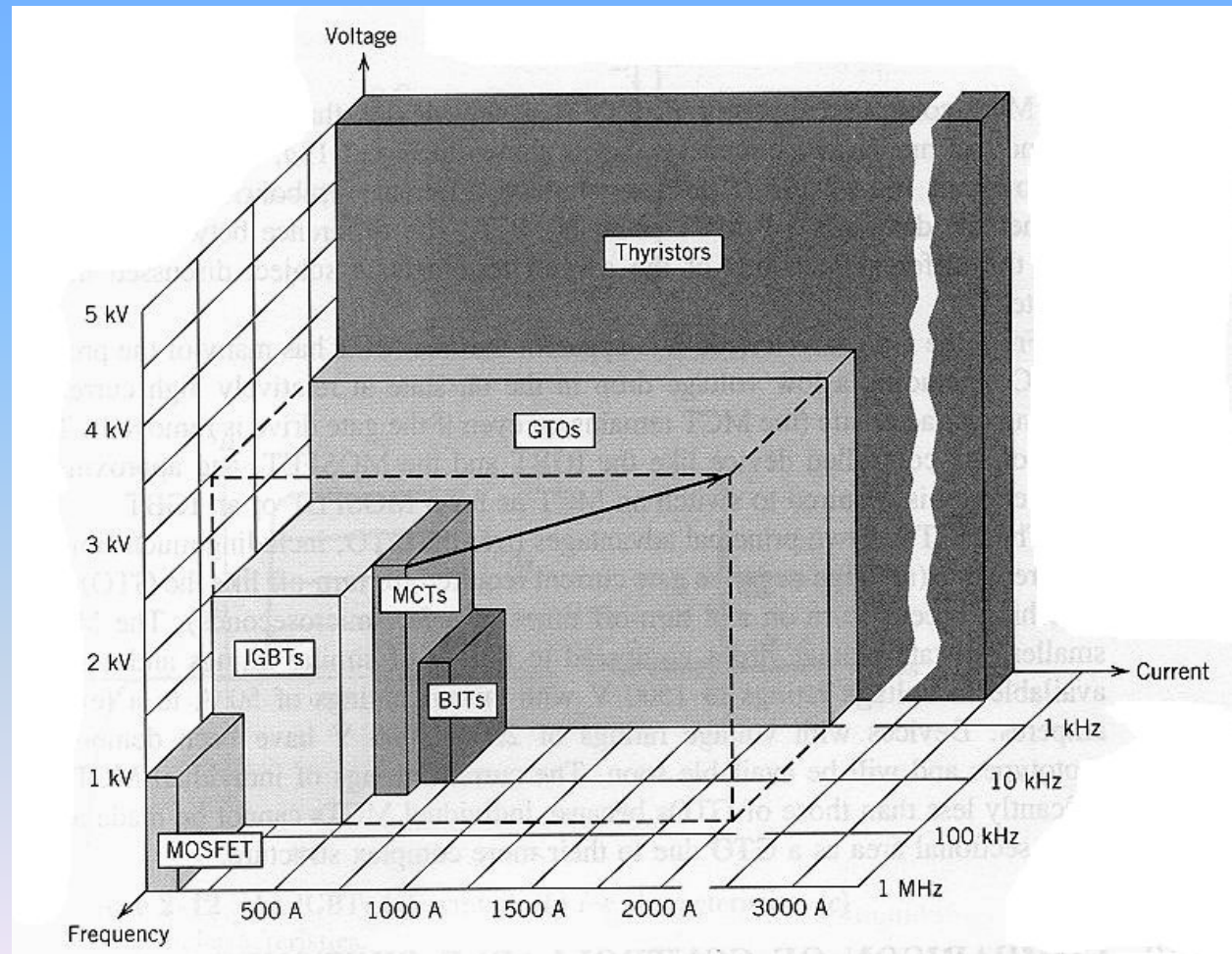
## 1.2.6 Intelligent Power Modules (IPM) (1990)



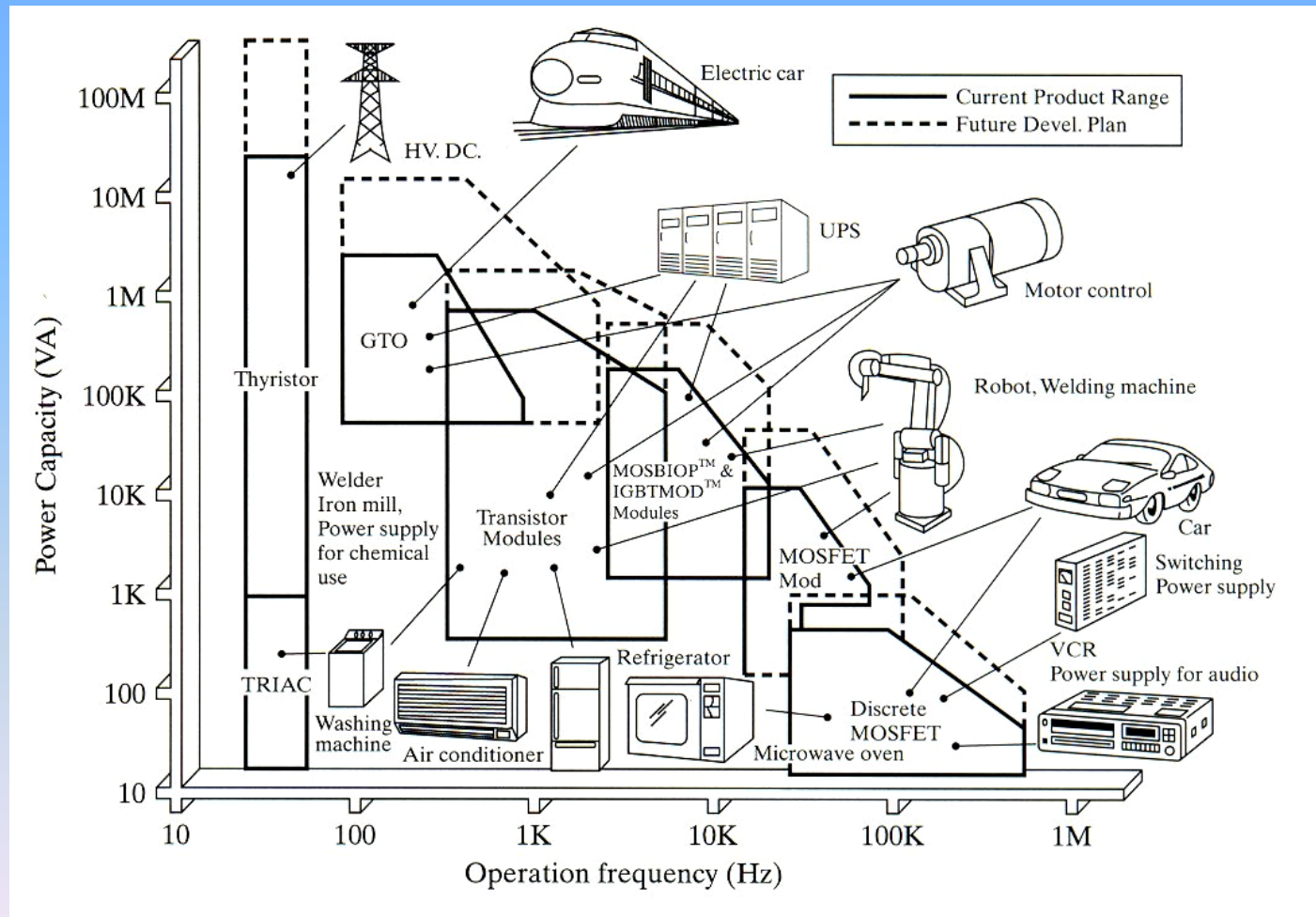
## 1.2.7 การเปรียบเทียบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ควบคุมได้



## 1.2.7 การเปรียบเทียบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ควบคุมได้ (ต่อ)



## 1.2.7 การเปรียบเทียบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ควบคุมได้ (ต่อ)



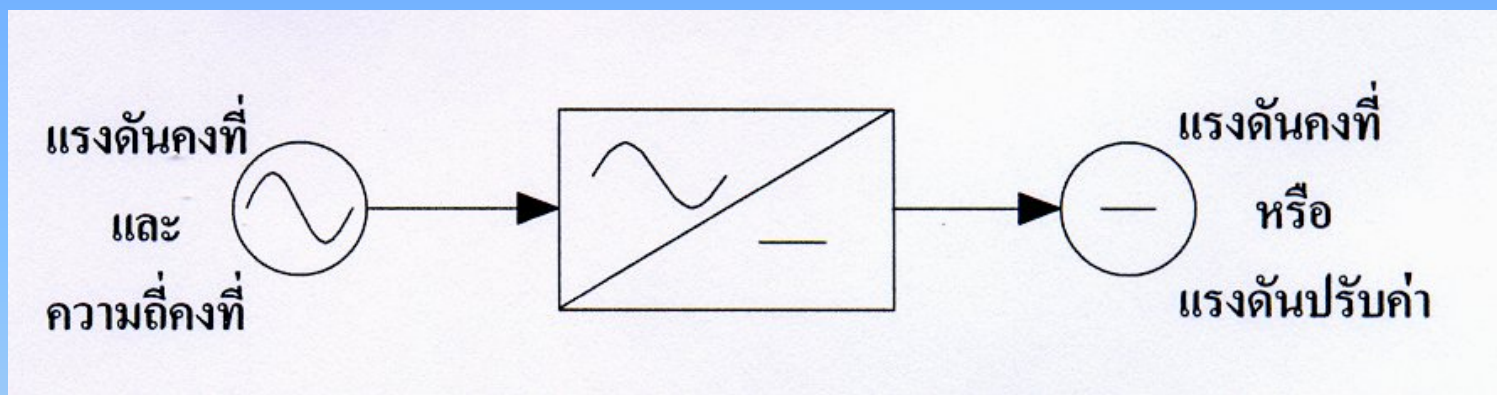


## 1.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสามารถแบ่งออกได้เป็นสี่ชนิดคือ

- 1.3.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง  
( ac to dc converter )
- 1.3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ  
( ac to ac converter )
- 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง  
( dc to dc converter )
- 1.3.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ  
( dc to ac converter )

### 1.3.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ( ac to dc converter )



มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรเรียงกระแส ( rectifier circuit )  
ทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันคงที่และความถี่  
คงที่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงตามที่โหลดต้องการ

ใช้ในงาน แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับกระบวนการทางเคมี เครื่องเชื่อม  
ไฟฟ้ากระแสตรง งานควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง  
การส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ฯลฯ



### 1.3.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(ต่อ) ( ac to dc converter )

แบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ๆคือ

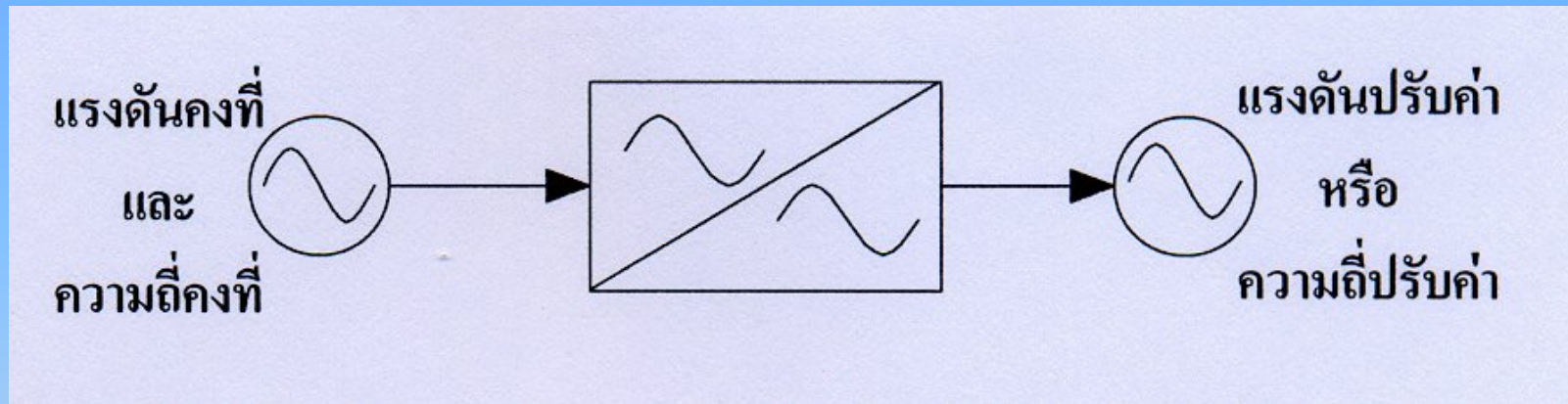
1. วงจรเรียงกระแสไม่สามารถควบคุมได้  
( uncontrolled rectifier circuit )

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในวงจรคือ ไดโอดกำลัง

2. วงจรเรียงกระแสสามารถควบคุมได้  
( controlled rectifier circuit )

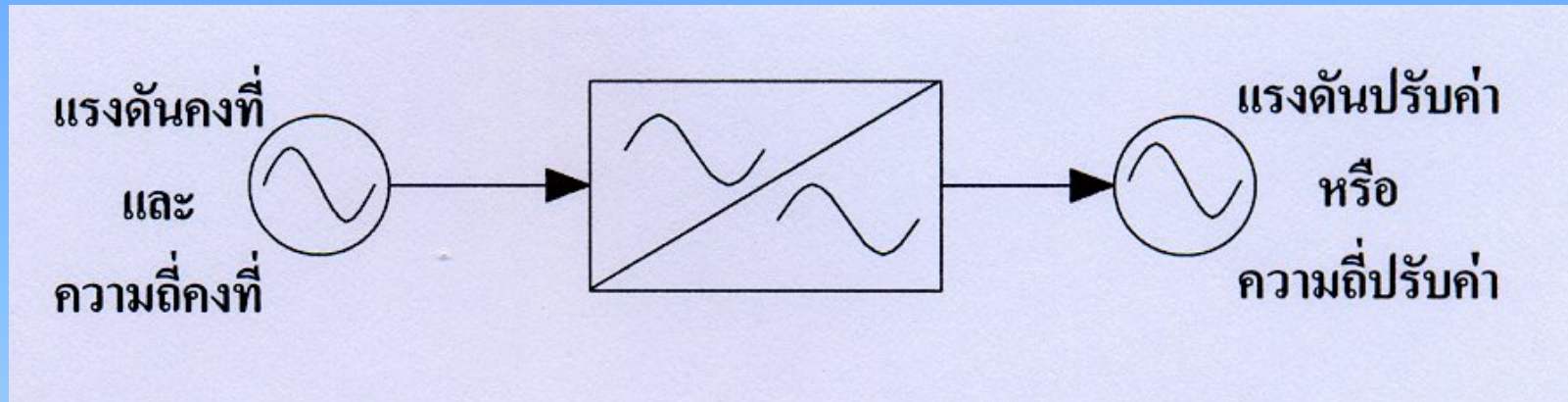
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในวงจรคือ SCR

### 1.3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ( ac to ac converter )



ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันคงที่และ  
ความถี่คงที่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับค่าแรงดันหรือ  
ความถี่ตามที่โหลดต้องการ

### 1.3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ( ต่อ)



แบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ๆคือ

1. วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ  
( ac voltage control circuit )
2. ไซโคลคอนเวอร์เตอร์  
( cycloconverter )

### 1.3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ( ต่อ)

#### 1. วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

( ac voltage control circuit )

ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันและความถี่คงที่ให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับค่าแรงดันแต่ค่าความถี่เท่ากับแหล่งจ่ายไฟ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในวงจรคือ SCR TRIAC

ใช้งาน lighting control heating control ควบคุมการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ฯลฯ

### 1.3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ( ต่อ)

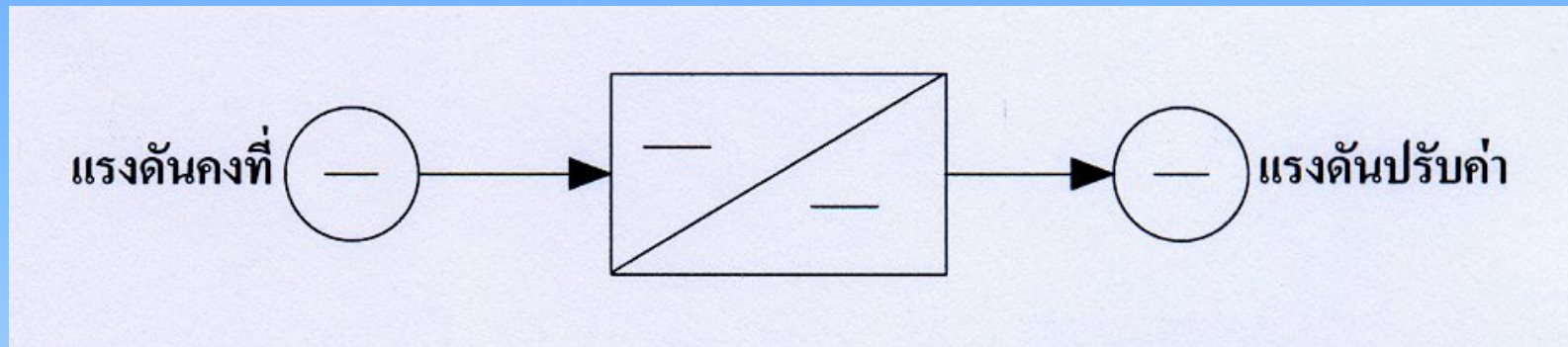
#### 2. ไซโคลคอนเวอร์เตอร์

( cycloconverter )

ทำหน้าที่แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันและความถี่คงที่ให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับค่าแรงดันและความถี่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในวงจรคือ SCR

ใช้ในงาน การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

### 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ( dc to dc converter )



มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรชอปเปอร์(chopper circuit)  
ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันคงที่ให้เป็น  
ไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ตามที่โหลดต้องการ

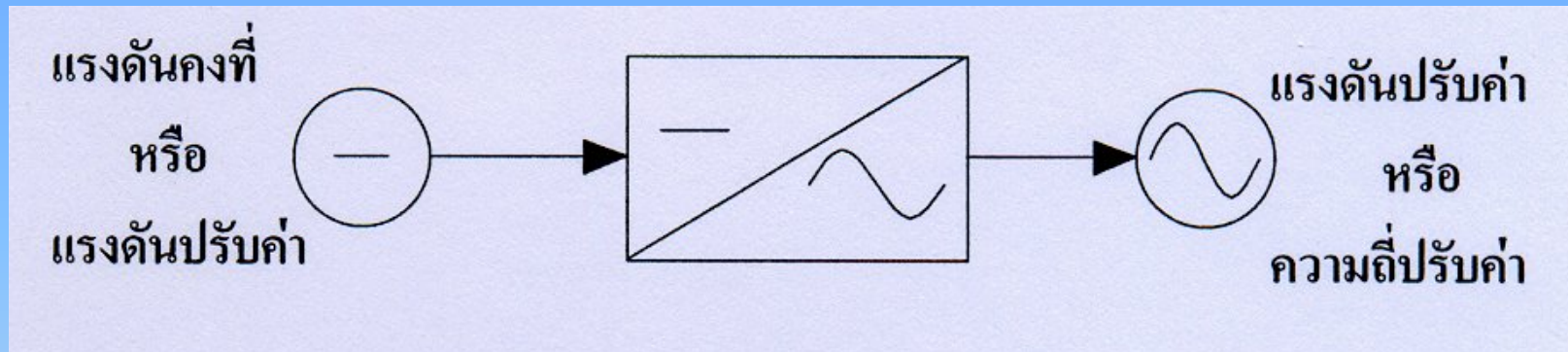
### 1.3.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง( ต่อ)

ในงานขับเคลื่อนสามารถแบ่งออกเป็นสามวงจรคือ

1. Single Quadrant Chopper
2. Two Quadrant Chopper
3. Four Quadrant Chopper



### 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ( dc to ac converter )



มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรอินเวอร์เตอร์(inverter)ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันคงที่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับค่าแรงดันและความถี่ได้ตามที่โหลดต้องการ

ใช้งาน ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ Induction Heating  
UPS ฯลฯ

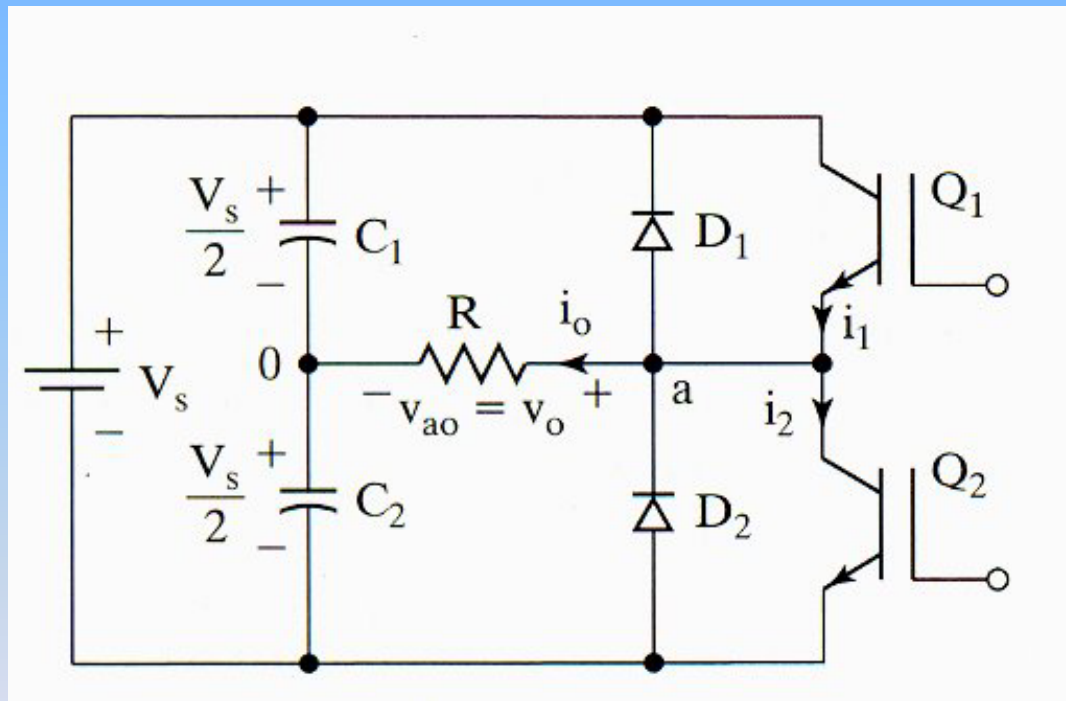
### 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ( dc to ac converter )

แบ่งออกเป็นสามวงจรคือ

1. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบกึ่งบริดจ์  
( single phase haft bridge inverter )
2. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์  
( single phase bridge inverter)
3. อินเวอร์เตอร์สามเฟส  
( three phase inverter)

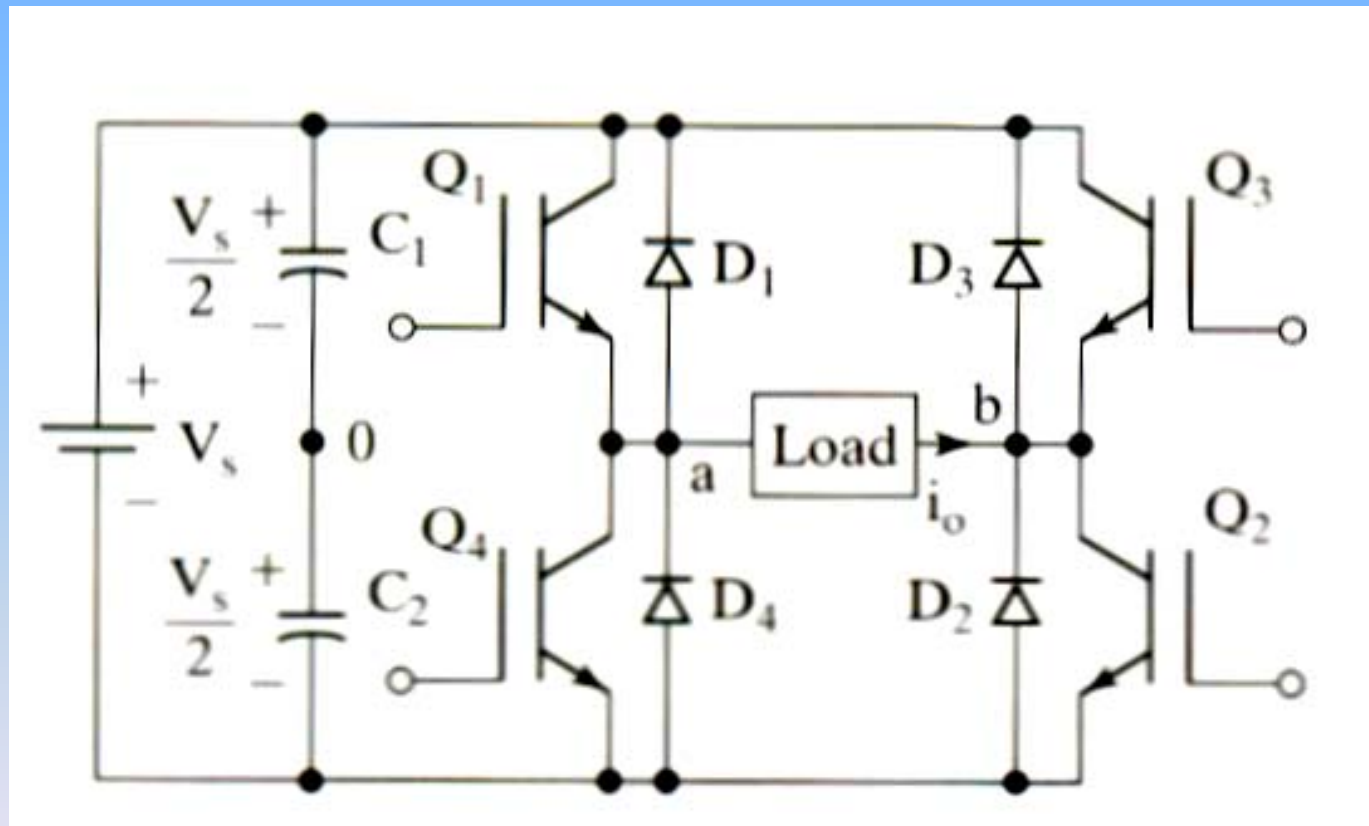
### 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ( ต่อ)

#### 1. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบกึ่งบริดจ์ ( single phase haft bridge inverter )



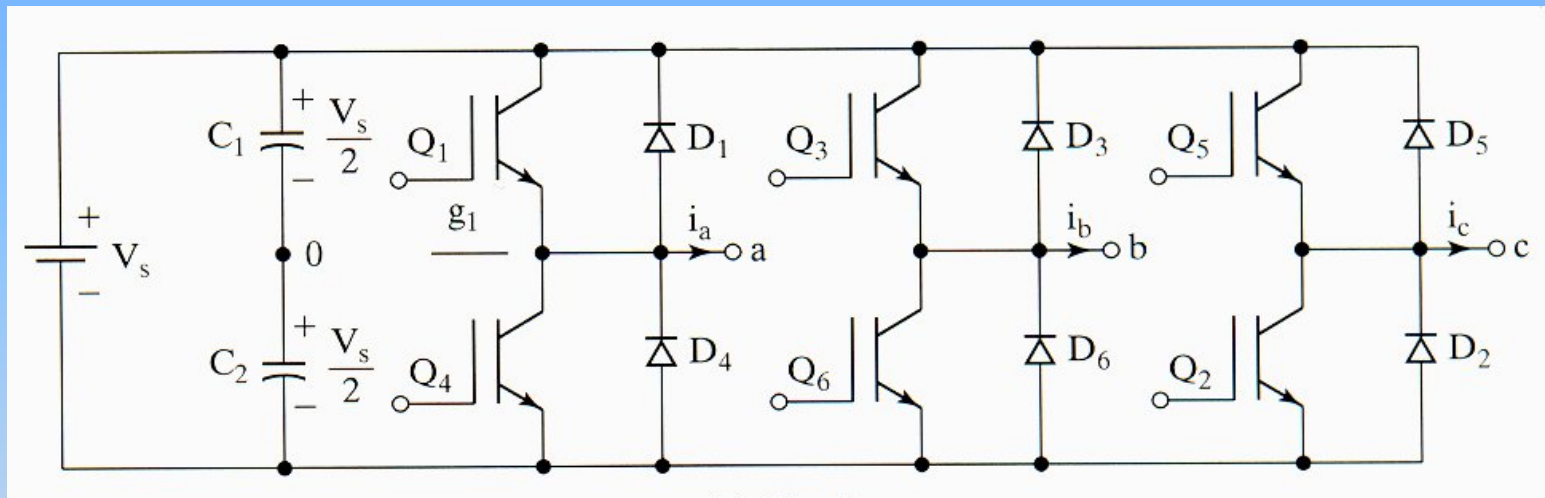
### 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ( ต่อ)

#### 2. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์ ( single phase bridge inverter)



### 1.3.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ( ต่อ)

#### 3. อินเวอร์เตอร์สามเฟส ( three phase inverter)



## 1.4 ตัวบ่งชี้สมรรถนะของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า

1.4.1 ตัวบ่งชี้สมรรถนะสถานะชั่วครู่  
( transient performance indices)

1.4.2 ตัวบ่งชี้สมรรถนะสถานะอยู่ตัว  
( steady state performance indices)

### 1.4.1 ตัวบ่งชี้สมรรถนะสถานะชั่วคราว ( transient performance indices)

คือตัวบ่งชี้ที่เกิดขึ้นในสถานะที่วงจรตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม หรือการเปลี่ยนแปลงในวงจรจนกระทั่งเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขต  $\pm 2\%$  ของค่าในสถานะคงตัว ค่าต่างๆที่ต้องพิจารณามีดังนี้

1. กระแสในสถานะชั่วคราวจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า
2. แรงดันไฟฟ้าเสิร์จ
3. การรับภาระของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะสวิตชิง

## 1.4.2 ตัวบ่งชี้สมรรถนะในสถานะอยู่ตัว ( steady state performance indices)

สิ่งที่พิจารณาคือ

1. ค่าเฉลี่ย(average value)
2. ค่าอาร์เอ็มเอส (root mean square value)
3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์



## 1.4.2 ตัวบ่งชี้สมรรถนะในสถานะอยู่ตัว(ต่อ)

1. ค่าเฉลี่ย(average value) คือค่าที่คำนวณจากการเฉลี่ยของรูปคลื่นแรงดันหรือรูปคลื่นของกระแสในหนึ่งคาบเวลา

ยกตัวอย่างเช่น

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

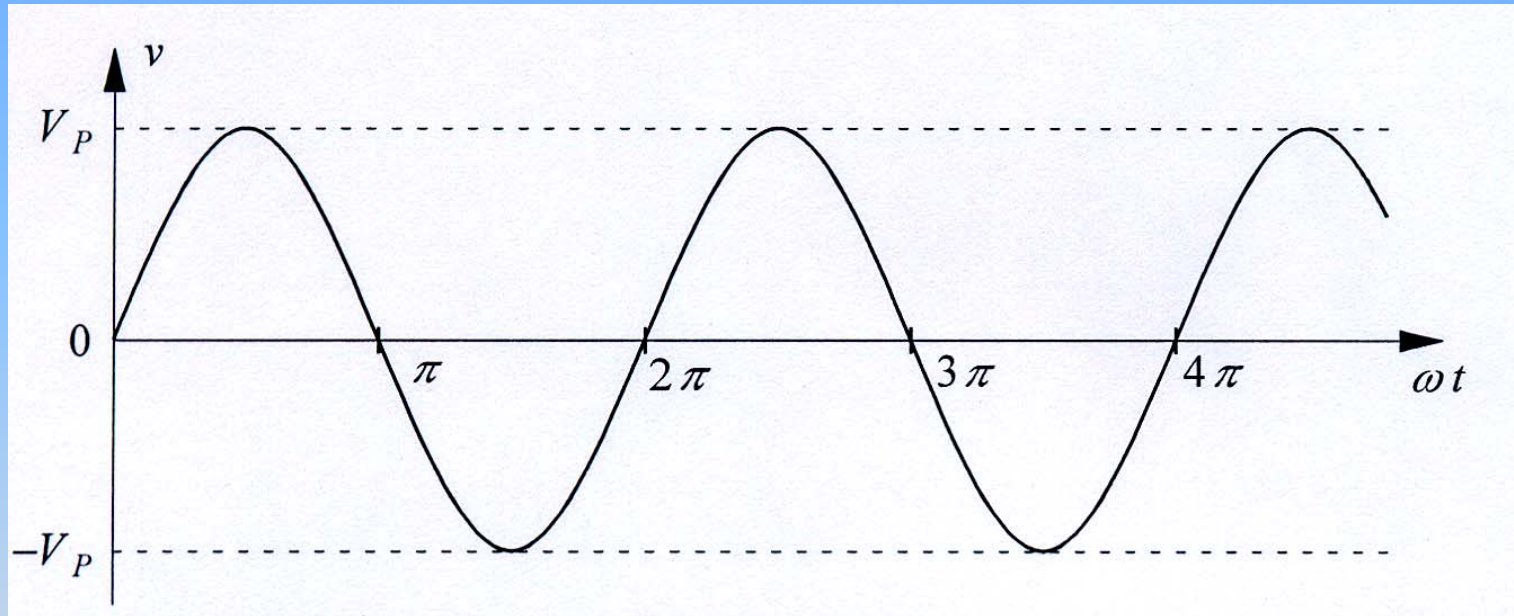
$V_{av}$  คือค่าแรงดันเฉลี่ย

$v(t)$  คือแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ

$T$  คือคาบเวลาของรูปคลื่นแรงดัน

## 1. ค่าเฉลี่ย (ต่อ)

เมื่อกำหนดให้  $v(t) = V_P \sin \omega t$



ดังนั้นจะได้ 
$$V_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_P \sin \theta d\theta$$

## 1.4.2 ตัวบ่งชี้สมรรถนะสถานะอยู่ตัว(ต่อ)

### 2. ค่าอาร์เอ็มเอส (root mean square value)

คือค่าที่คำนวณจากการถอดรากของค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสองของรูปคลื่นแรงดันหรือรูปคลื่นกระแสในหนึ่งคาบเวลา

ยกตัวอย่างเช่น 
$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

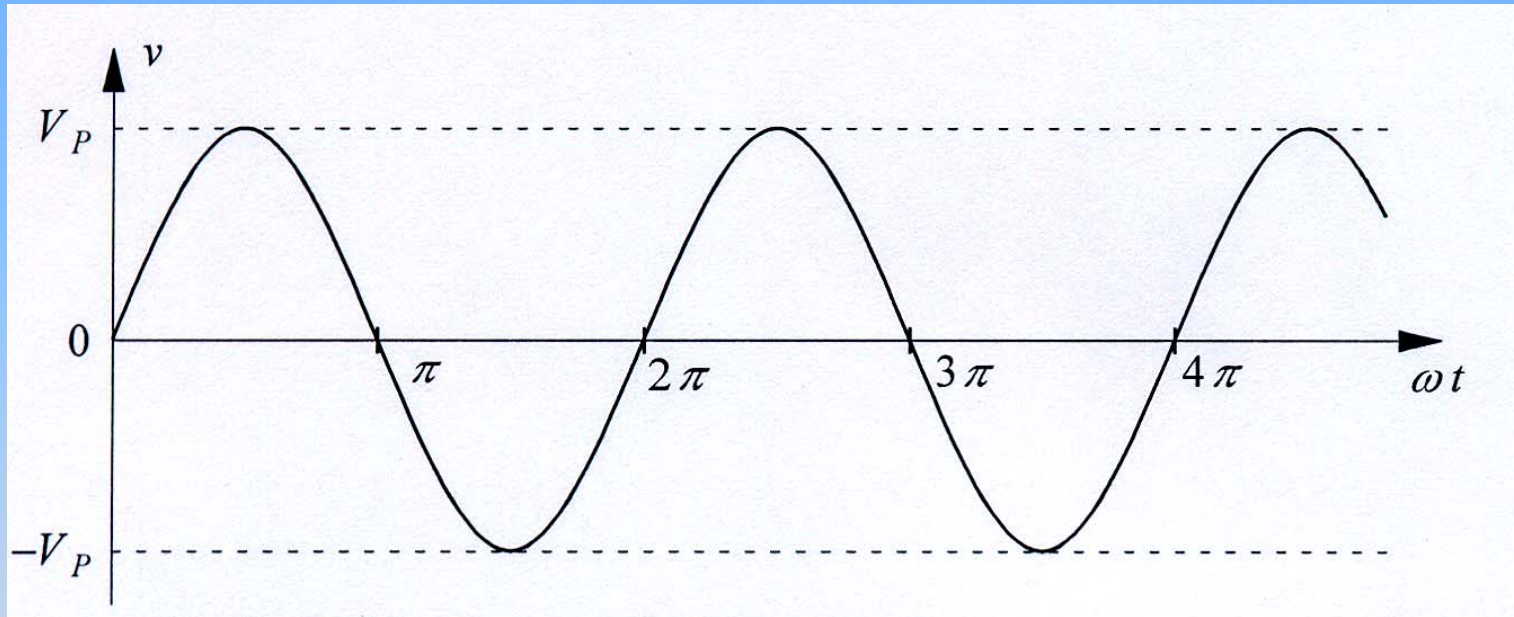
$V$  คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส

$v(t)$  คือแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ

$T$  คือคาบเวลาของรูปคลื่นแรงดัน

## 2. ค่าอาร์เอ็มเอส (ต่อ)

เมื่อกำหนดให้  $v(t) = V_P \sin \omega t$



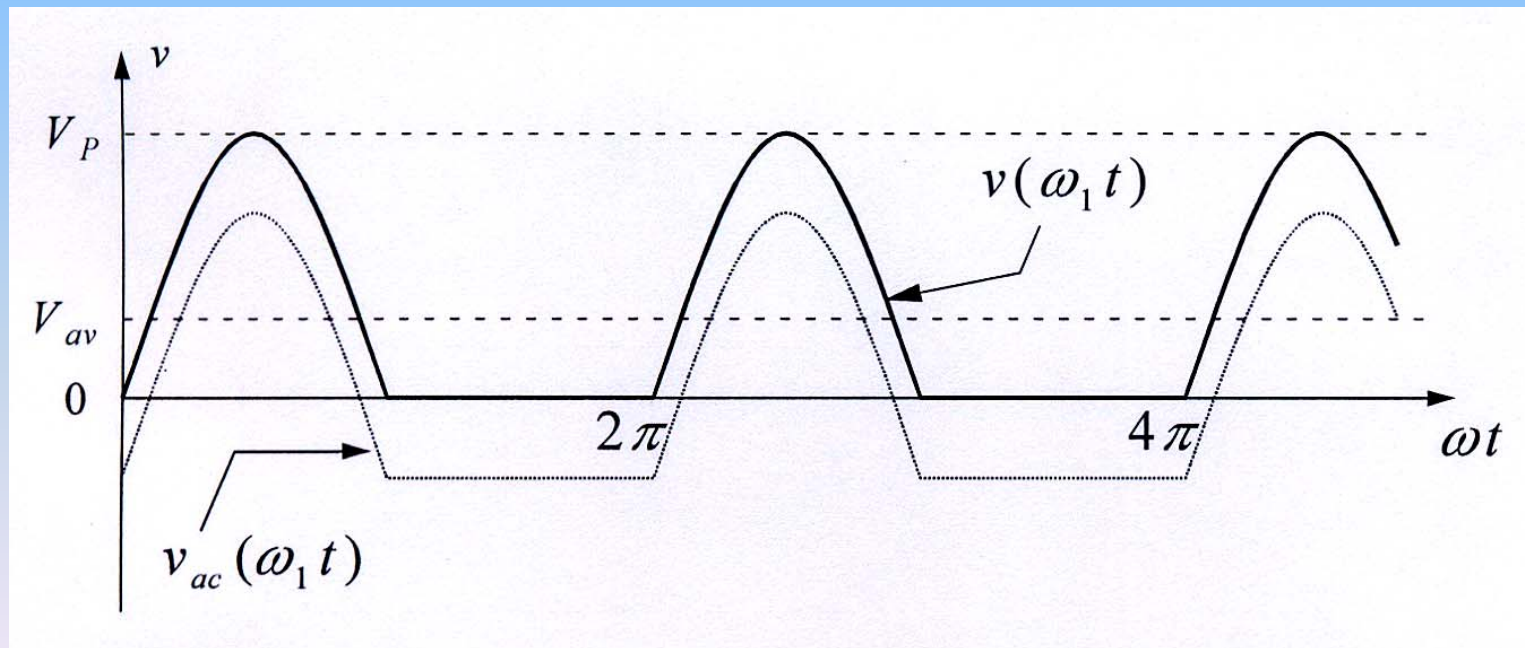
ดังนั้นจะได้ 
$$V = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_P \sin \theta)^2 d\theta}$$

## 1.4.2 ตัวบ่งชี้สมรรถนะสถานะอยู่ตัว(ต่อ)

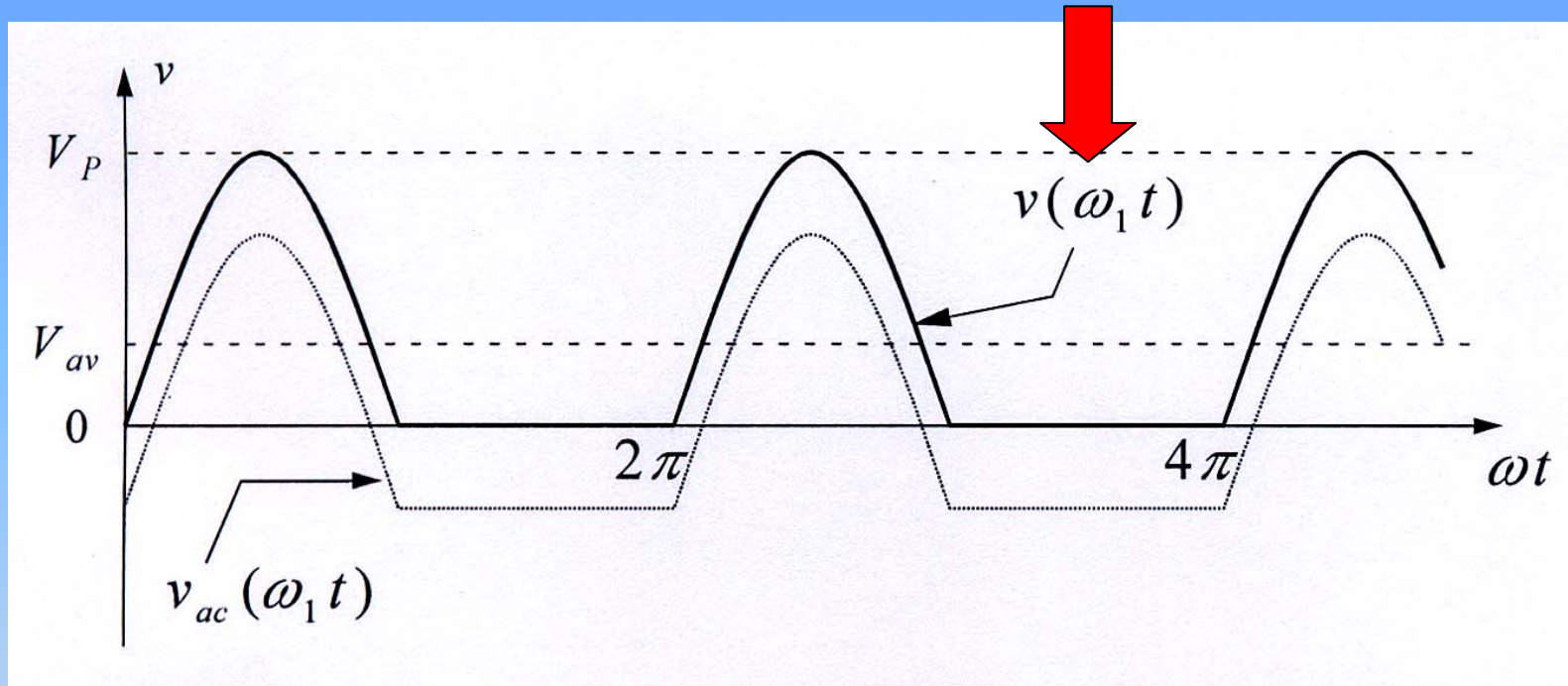
### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์

โดยปกติรูปคลื่นของกระแสและรูปคลื่นของแรงดันที่ได้จากวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะมีลักษณะไม่ใช่รูปคลื่นไซน์

ตัวอย่างเช่น



### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)

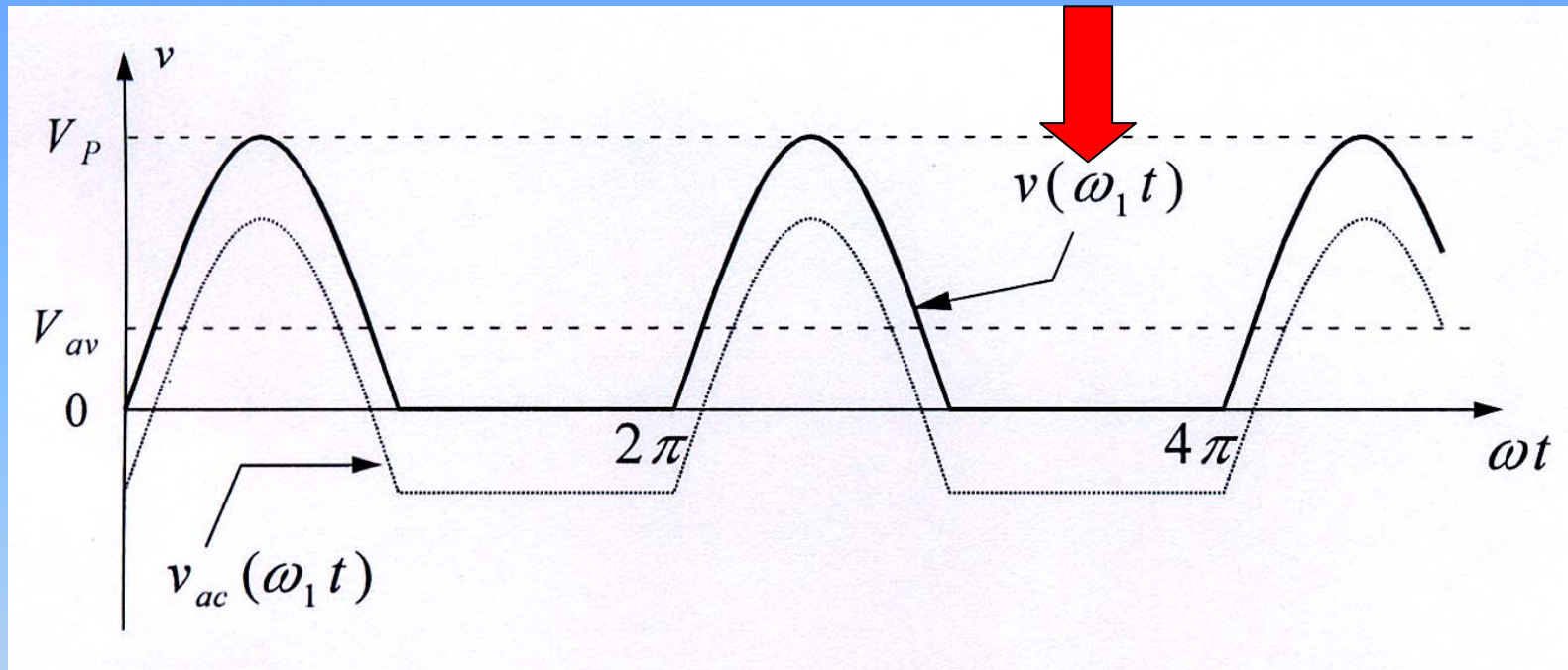


เมื่อ  $v(\omega_1 t)$  คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา  
โดยมีคาบเวลาเท่ากับ  $T$

และ 
$$v(\omega_1 t) = v(2\pi f_1 t + 2\pi) = v(\omega_1 t + 2\pi)$$



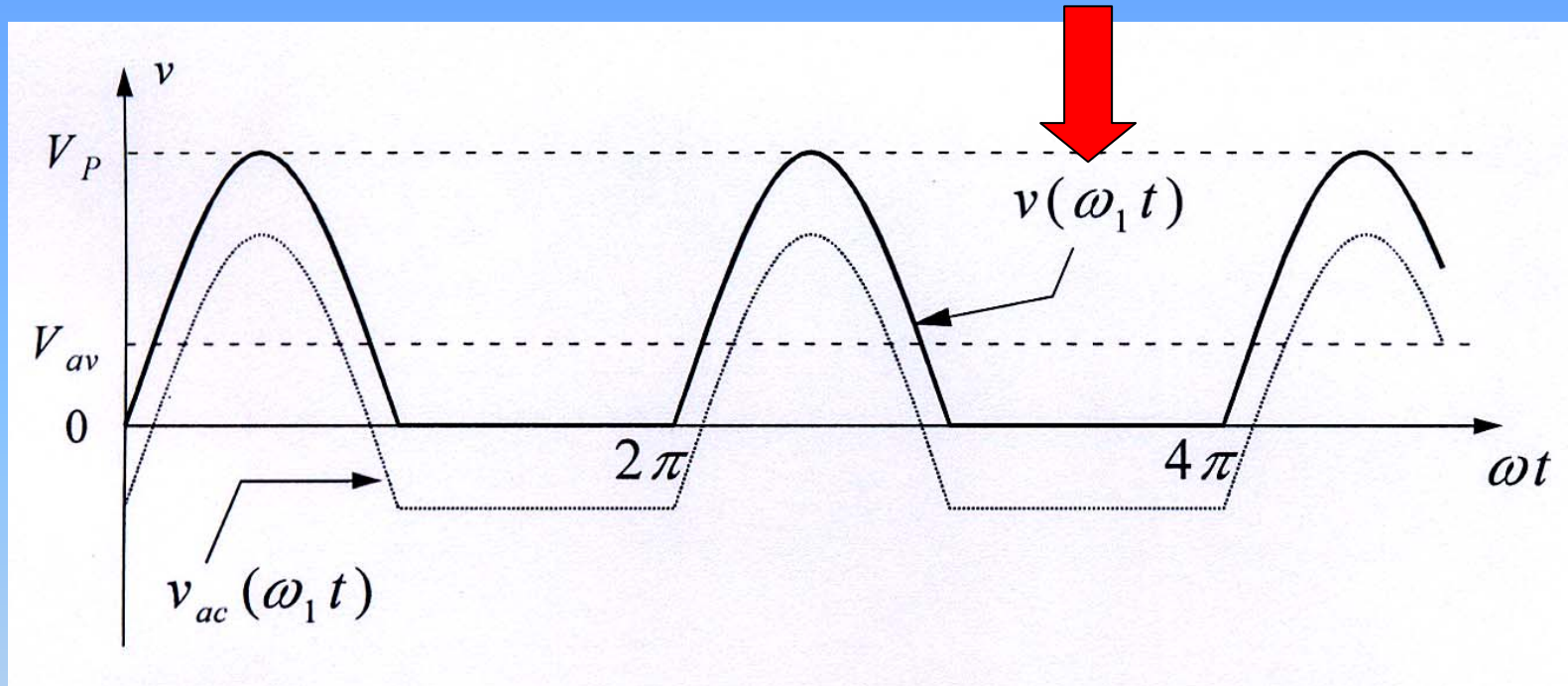
### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)



กำหนดให้  $V$  คือค่าแรงดัน RMS ของรูปคลื่นแรงดัน  $v(\omega_1 t)$   
สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

$$V = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v^2(\omega_1 t) d\omega_1 t}$$

### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)

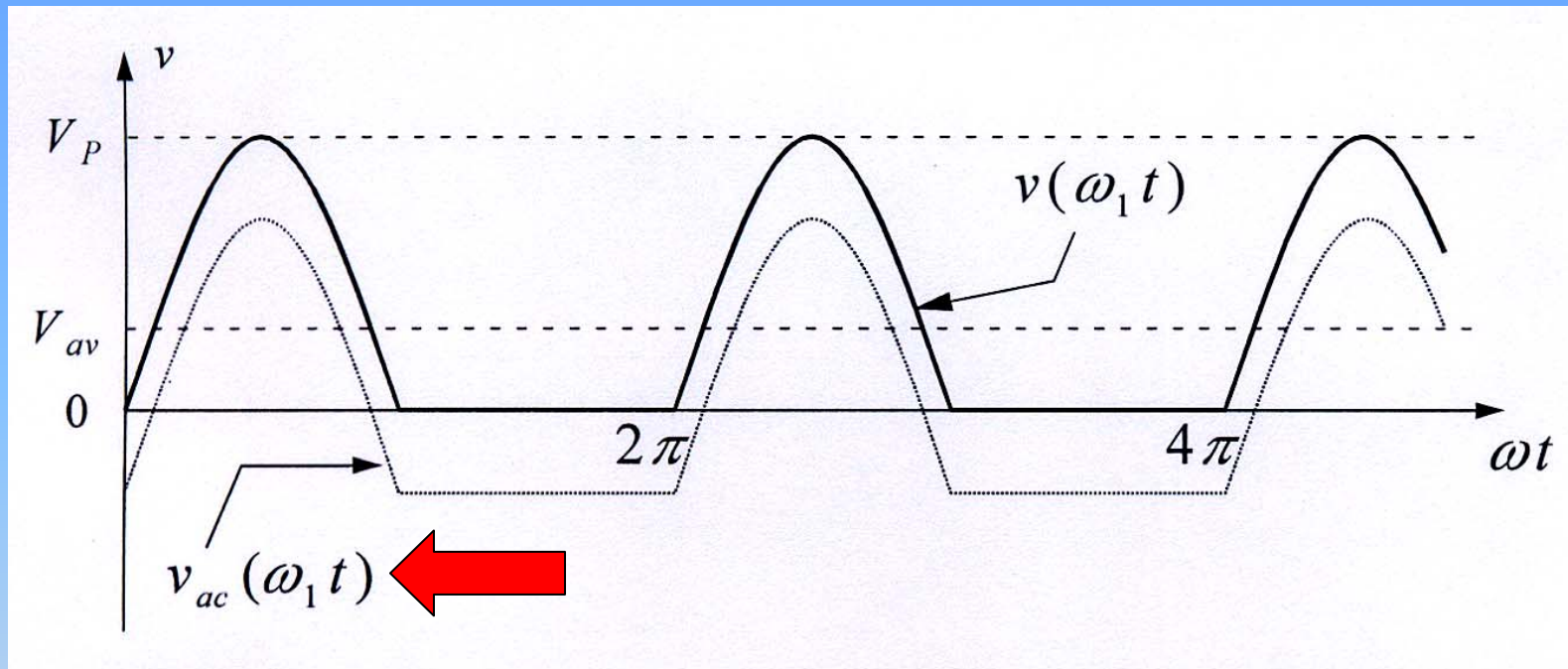


และ  $V_{av}$  คือค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย หรือ ส่วนประกอบของแรงดันไฟฟ้า กระแสตรง( dc component ) สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(\omega_1 t) d\omega_1 t$$



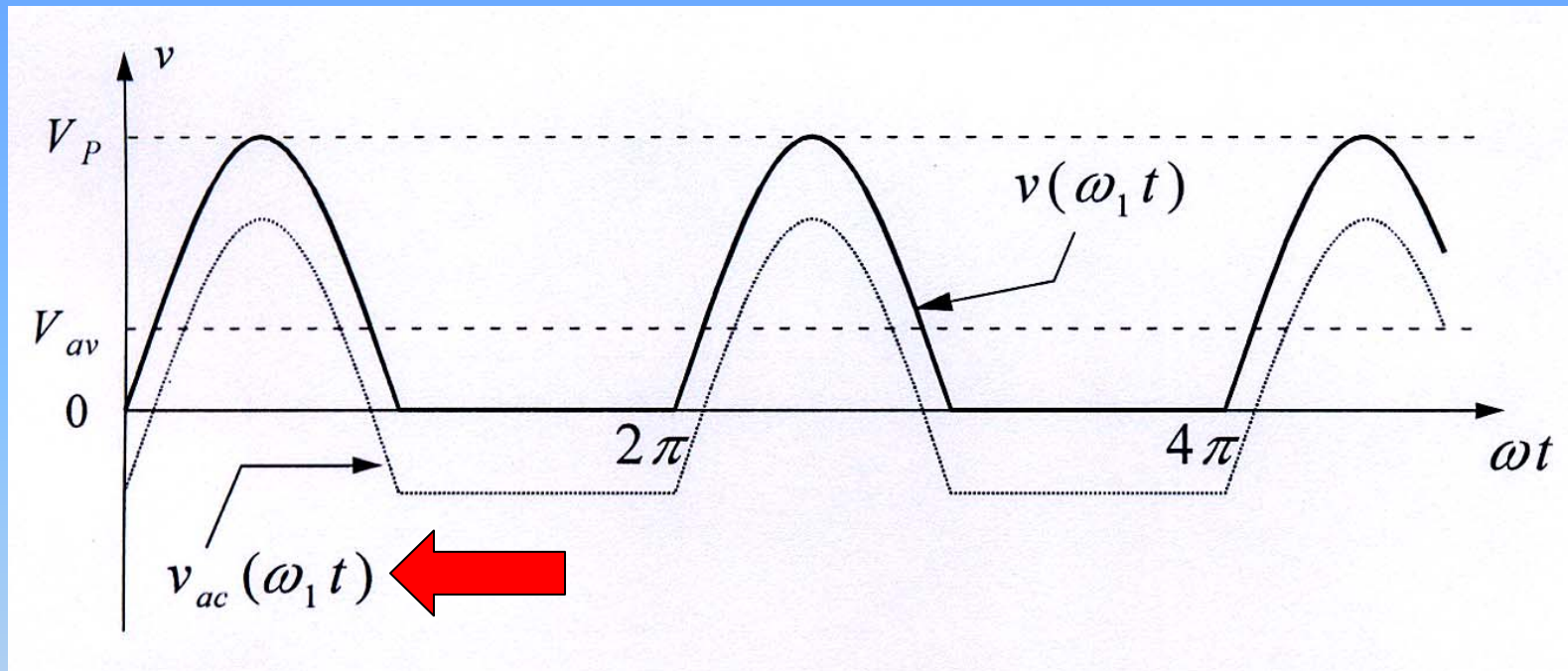
### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)



และ  $v_{ac}(\omega_1 t)$  คือ ส่วนประกอบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ  
(ac component) สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

$$v_{ac}(\omega_1 t) = v(\omega_1 t) - V_{av}$$

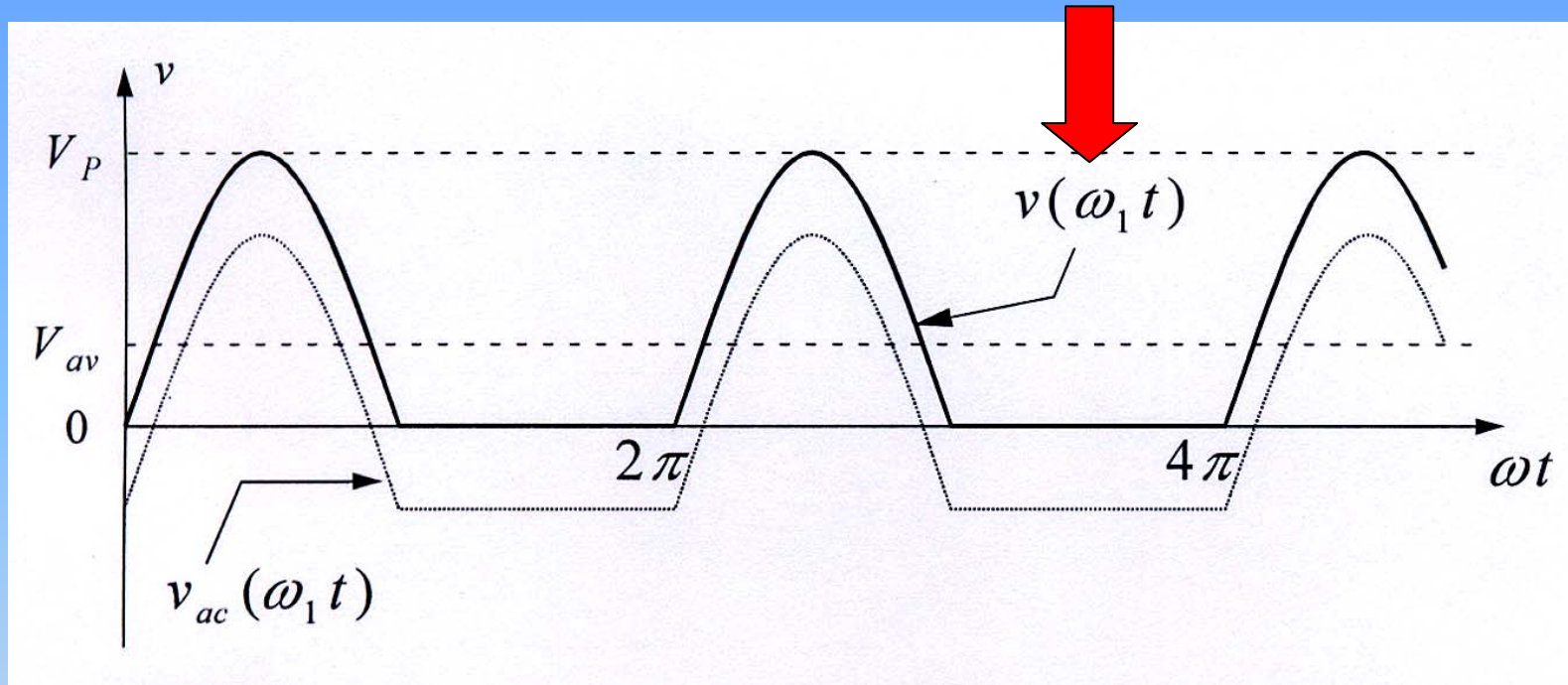
### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)



และ  $V_{(ac)}$  คือ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอ็สของส่วนประกอบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(ac component) สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

$$V_{(ac)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{ac}^2(\omega_1 t) d\omega_1 t}$$

### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)

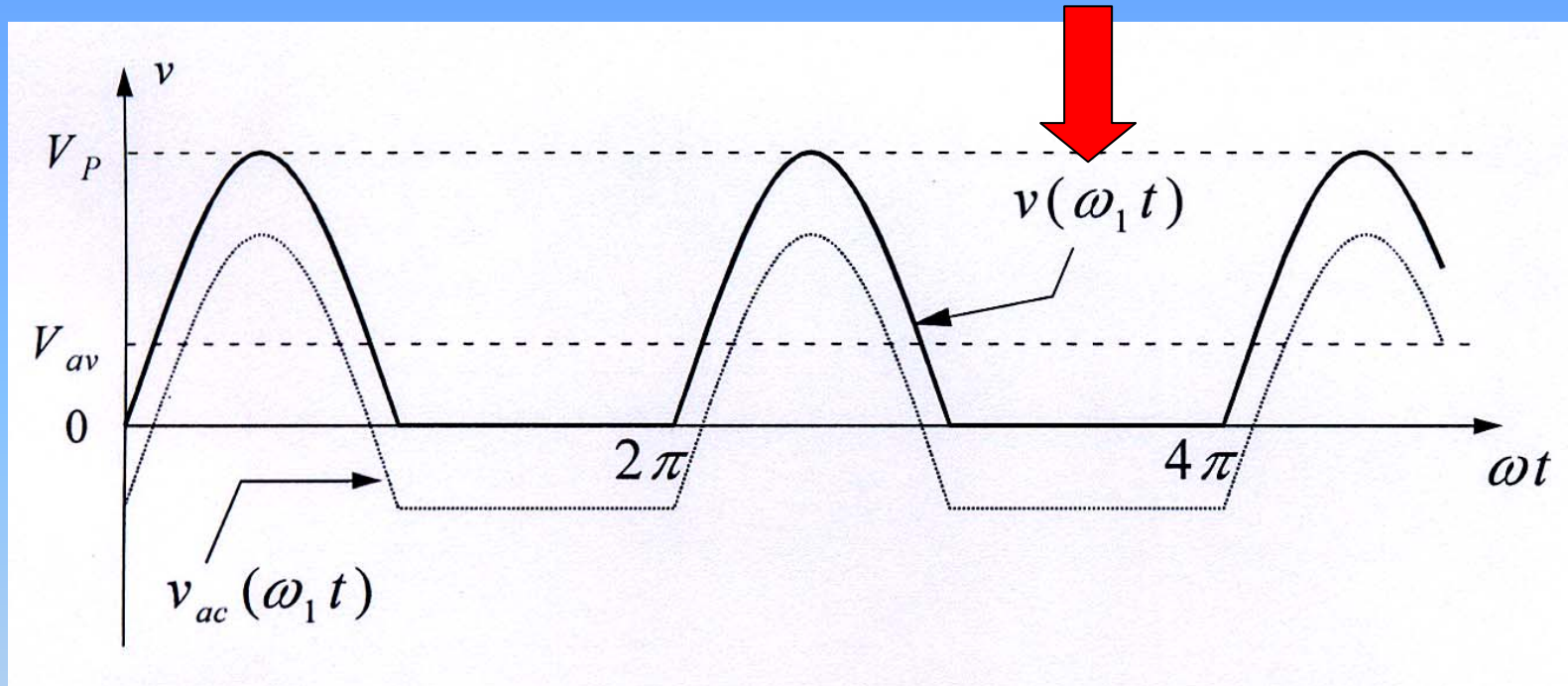


ดังนั้น

$V$  คือค่าแรงดัน RMS ของรูปคลื่นแรงดัน  $v(\omega_1 t)$   
ยังสามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

$$V^2 = V_{av}^2 + V_{(ac)}^2$$

### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)



ตัวประกอบความพริ้ว (ripple factor) เขียนแทนด้วย  $k_r$   
สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

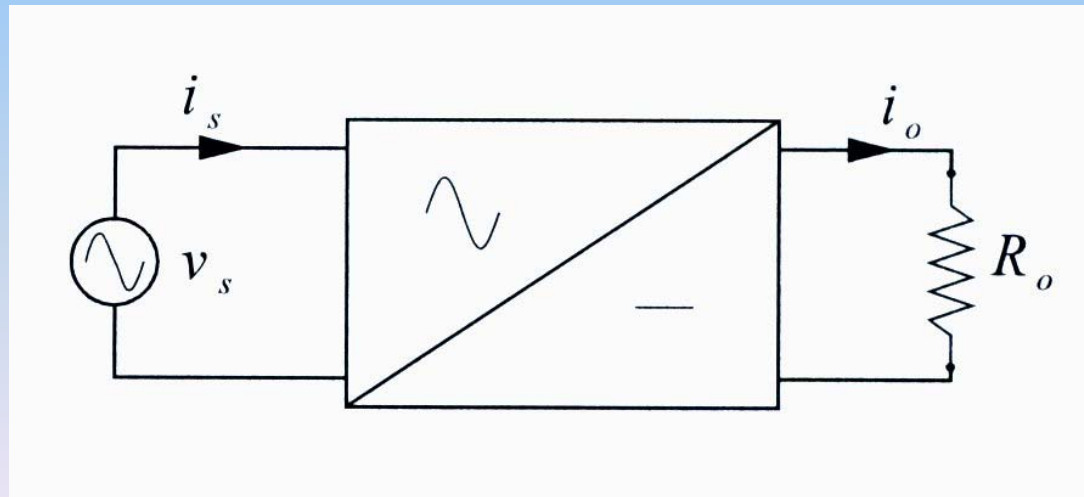
$$k_r = \frac{V_{(ac)}}{V_{av}}$$



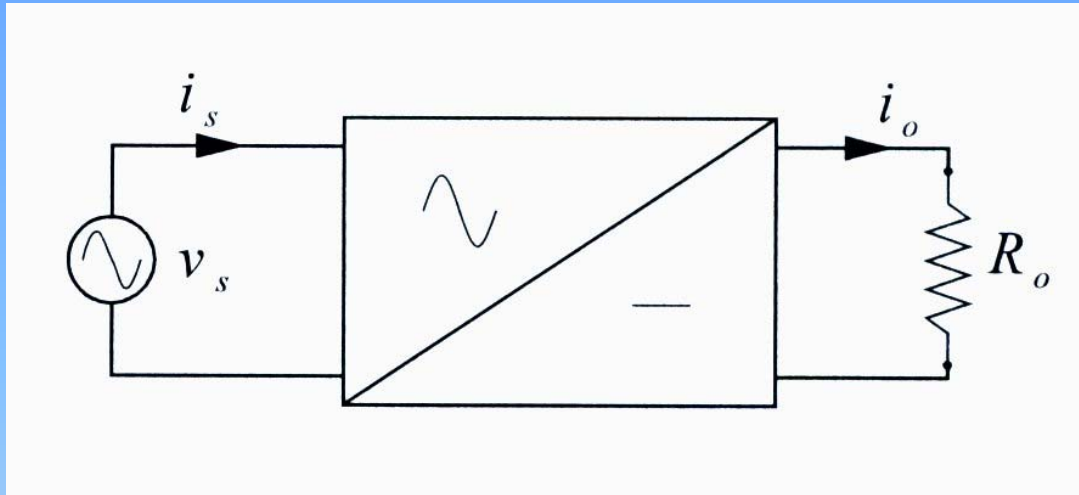
### 3. องค์ประกอบของรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์(ต่อ)

ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิก (harmonic distortion) คือความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นแรงดันหรือรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า โดยที่รูปคลื่นจะมีองค์ประกอบของรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูล(fundamental frequency) รวมกับรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ฮาร์มอนิกลำดับที่ต่างๆ

ยกตัวอย่างเช่น วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง



## ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิก (harmonic distortion)(ต่อ)



แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรเป็นรูปคลื่นไซน์มีรูปสมการดังต่อไปนี้

$$v_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega_1 t$$

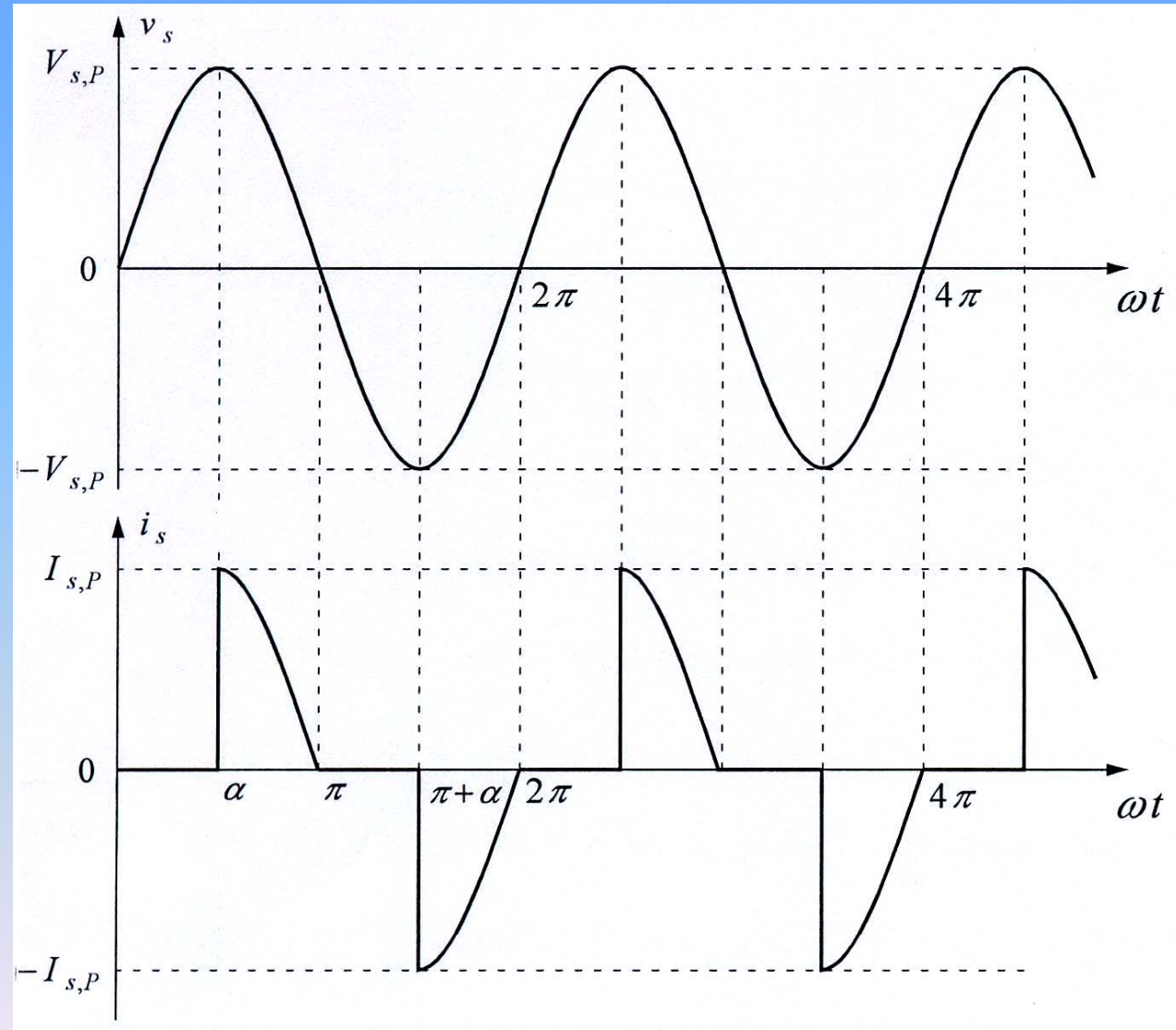
แต่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร  $i_s$  จะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

รูปคลื่นแรงดัน  $v_s$

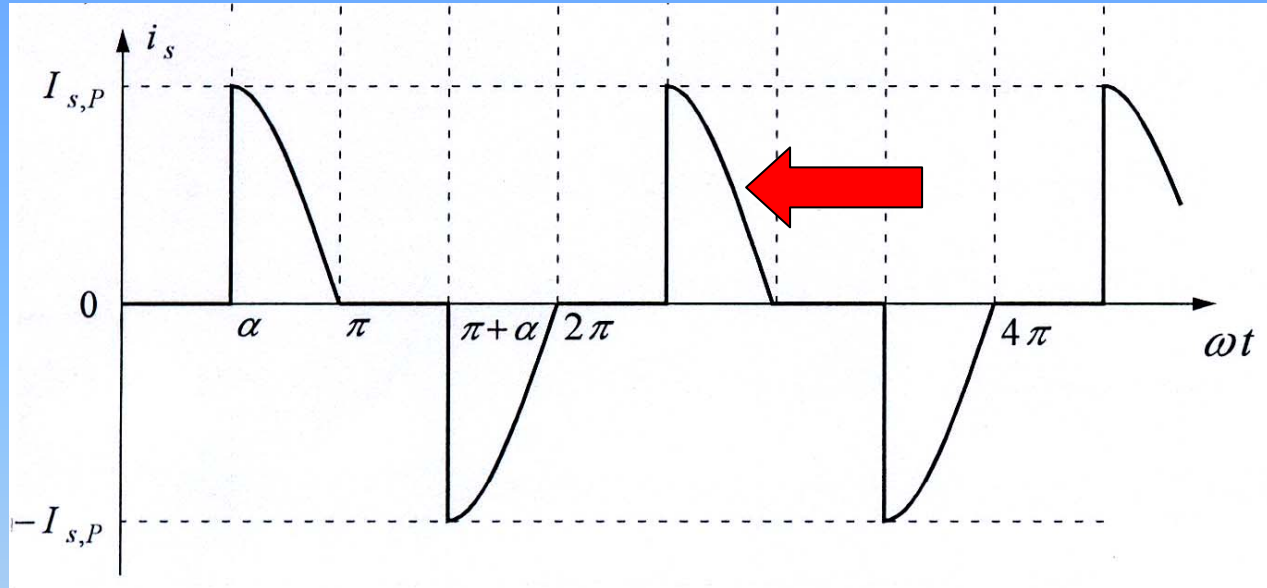
และ

รูปคลื่นกระแส  $i_s$





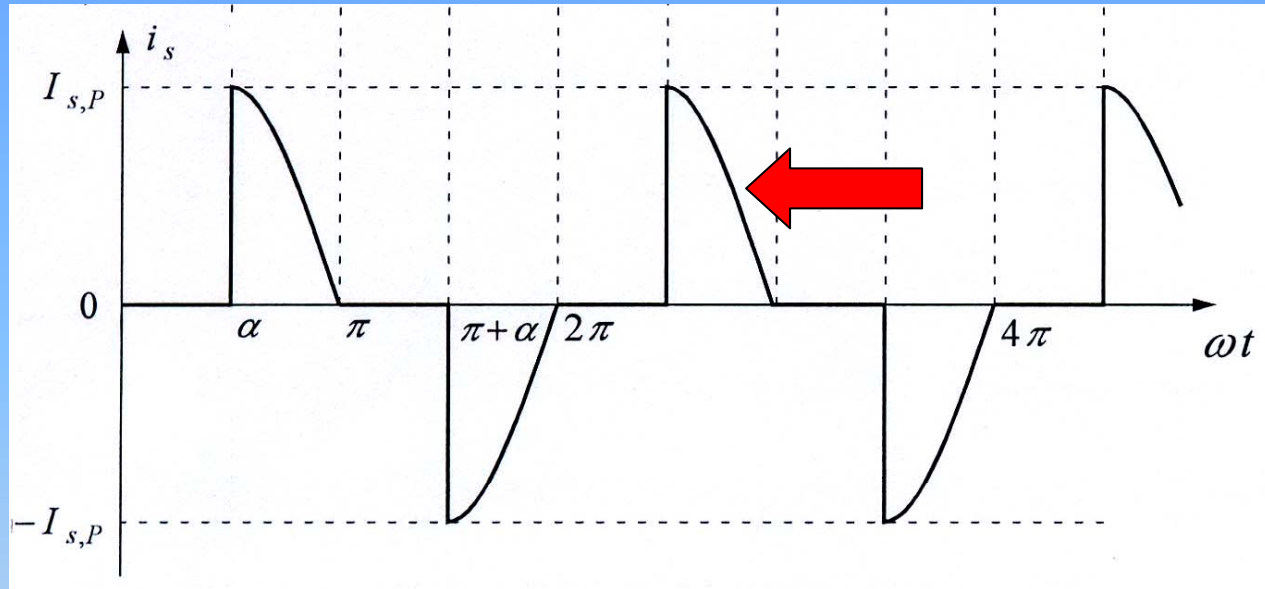
## ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิก (harmonic distortion)(ต่อ)



รูปคลื่นกระแส  $i_s$  สามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$i_s(t) = i_{s1}(t) + \sum_{n=2}^{\infty} i_{s,n}(t)$$

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิก (harmonic distortion)(ต่อ)



เมื่อรูปคลื่นกระแส  $i_s$  สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ fourier series ได้ดังนี้

$$i_s(\omega t) = \sqrt{2}I_{s,1}\sin(\omega_1 t + \phi_1) + \sum_{n=3,5,\infty} \sqrt{2}I_{s,n}\sin(n\omega_1 t + \phi_n)$$

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

เมื่อรูปคลื่นกระแส  $i_s$  สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ fourier series ได้ดังนี้

$$i_s(\omega t) = \sqrt{2}I_{s,1}\sin(\omega_1 t + \phi_1) + \sum_{n=3,5,\infty} \sqrt{2}I_{s,n}\sin(n\omega_1 t + \phi_n)$$

ดังนั้นค่ากระแสอาร์เอ็มเอส  $I_s$  ที่จ่ายเข้าวงจรแปลงผันสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$I_s = \sqrt{I_{s,1}^2 + \sum_{n=3,5,\infty} I_{s,n}^2}$$

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

### ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวม (Total Harmonic Distortion ;THD)

คือตัวบ่งชี้ของรูปคลื่นกระแสหรือแรงดันที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ที่ค่าความถี่มูลฐาน

เมื่อ  $i_{dis}$  คือส่วนประกอบของความผิดเพี้ยนของกระแส

$$i_{dis}(t) = i_s(t) - i_{s,1}(t) = \sum_{n=3,5,\infty} i_{s,n}(t)$$

เมื่ออยู่ในรูปค่าอาร์เอ็มเอส

$$I_{dis} = \sqrt{I_s^2 - I_{s,1}^2} = \sqrt{\sum_{n=3,5,\infty} I_{s,n}^2}$$

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

ดังนั้นความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวม (THD) ของกระแสสามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

$$THD_i = \frac{I_{diss}}{I_{s,1}}$$

หรือ

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s,1}^2}}{I_{s,1}}$$

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

ในลักษณะเช่นเดียวกันดังนั้นความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวม (THD) ของ  
แรงดัน ถ้ารูปคลื่นแรงดันผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลได้ดัง  
ต่อไปนี้

$$THD_v = \frac{V_{diss}}{V_{s,1}}$$

หรือ

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_s^2 - V_{s,1}^2}}{V_{s,1}}$$

## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง (power ; P and power factor ; pf)

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย  $P$  สามารถคำนวณหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} p(t) dt = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} v_s(t) i_s(t) dt$$

เทอมที่เป็นการอินทิเกรตของผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันที่มีความถี่ต่างกันจะมีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีรูปสมการดังต่อไปนี้

$$P = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \sqrt{2} V_s \sin \omega_1 t \sqrt{2} I_{s1} \sin(\omega_1 t - \phi_1) dt$$

ดังนั้น

$$P = V_s I_{s1} \cos \phi_1$$



## ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (harmonic distortion)(ต่อ)

กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง (power ; P and power factor ; pf)(ต่อ)

เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ  $S$  สามารถคำนวณหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$S = V_s I_s$$

ดังนั้นตัวประกอบกำลังสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{V_s I_{s,1} \cos \phi_1}{V_s I_s} = \frac{I_{s,1} \cos \phi_1}{I_s}$$


สำหรับ  $\cos \phi_1$  คือค่าของตัวประกอบกำลังที่เคลื่อนที่ไป (displacement Power factor ; dpf) ดังนั้น

$$dpf = \cos \phi_1$$

## 1.5 การป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การป้องกันในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังมีดังนี้

1.5.1 การป้องกันอุปกรณ์เนื่องจากการสวิตชิง

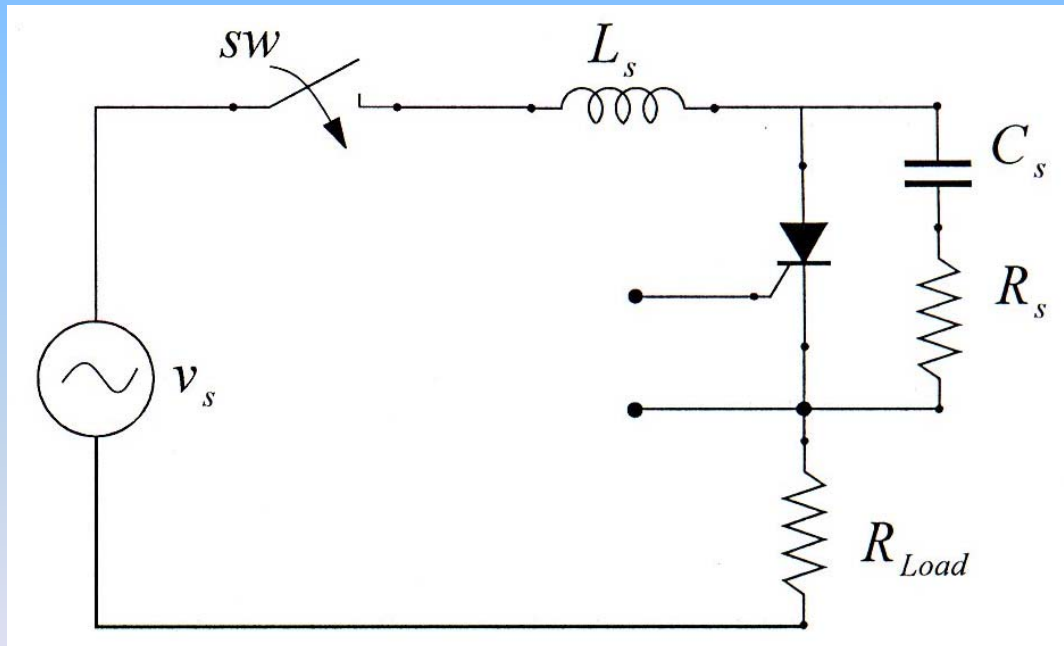
1.5.2 การป้องกันแรงดันเสิร์จ

1.5.3 การป้องกันกระแสเกิน

## 1.5 การป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

### 1.5.1 การป้องกันอุปกรณ์เนื่องจากการสวิตชิง

คือการป้องกัน ค่า  $\frac{di}{dt}$  ค่า  $\frac{dv}{dt}$  ค่าแรงดันสภาวะชั่วครู่สูงสุด และกระแสสภาวะชั่วครู่สูงสุด



← วงจร snubber  
สำหรับการจำกัดค่า

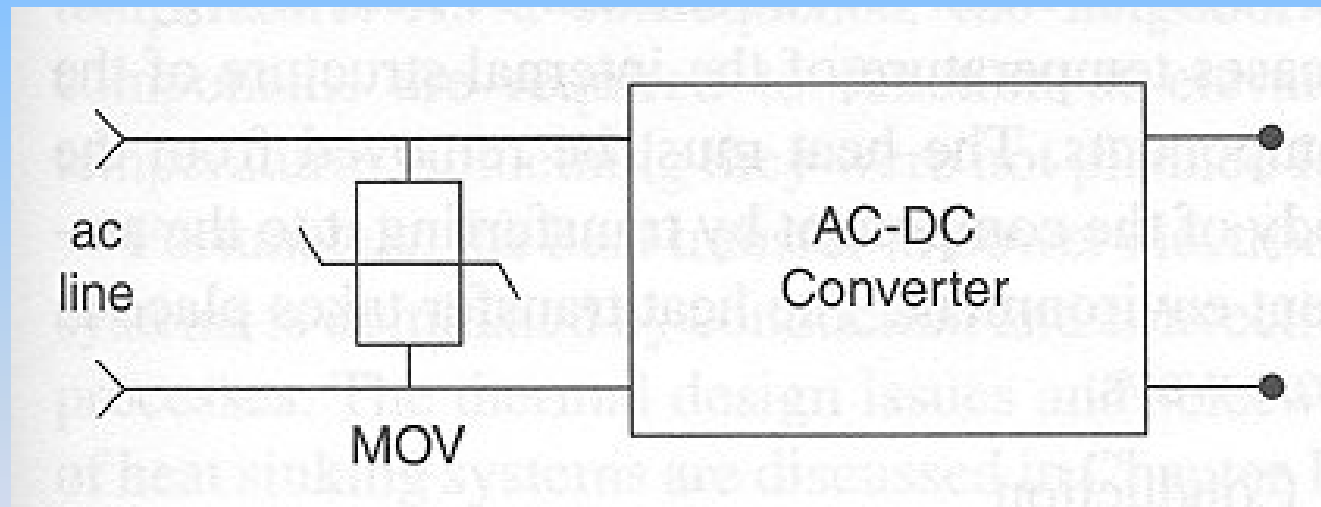
$\frac{di}{dt}$  และ  $\frac{dv}{dt}$

## 1.5 การป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

### 1.5.2 การป้องกันแรงดันเกิน

คือการป้องกันแรงดันเกินทางด้านอินพุตในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้คือ selenium diode และ metal oxide varister(MOV)

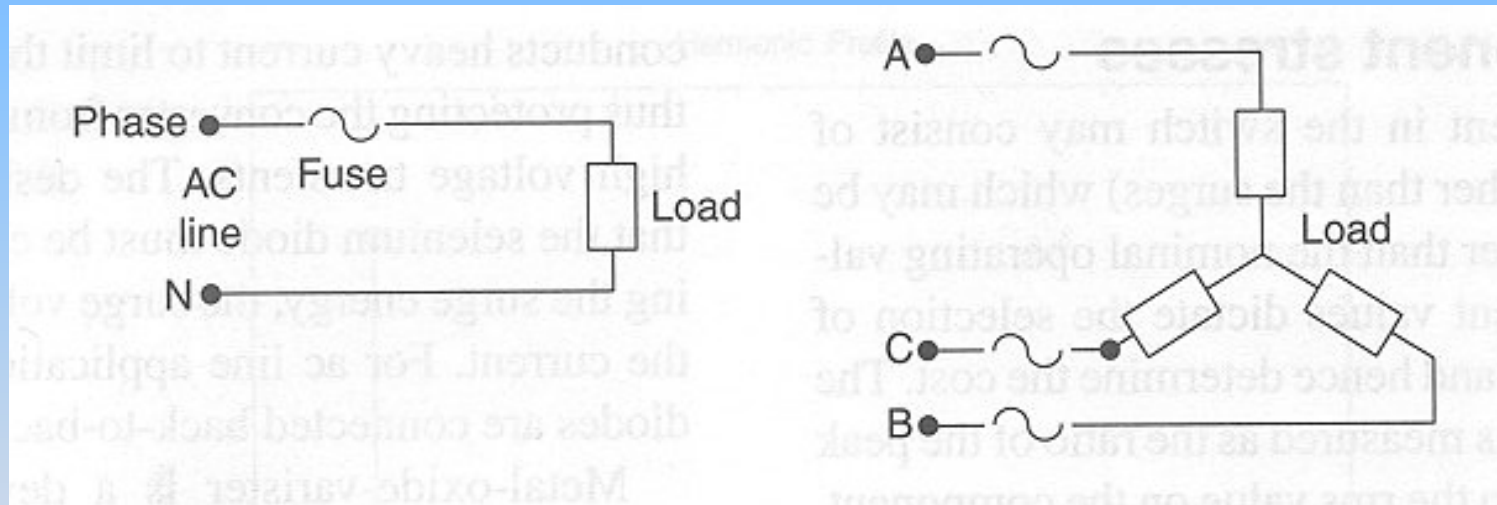


แสดงการป้องกันแรงดันเกิน

## 1.5 การป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ต่อ)

### 1.5.3 การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันกระแสเกินจะใช้ฟิวส์เป็นตัวป้องกัน



แสดงการป้องกันกระแสเกิน

**การจำลองระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง  
ด้วยโปรแกรม Orcad PSpice**