

What is The Inverter Technology and Their Applications?

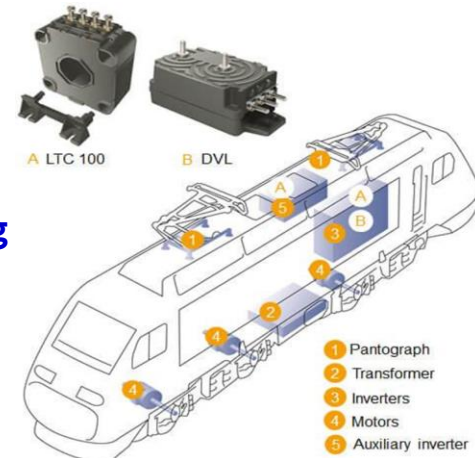
အင်ဗာတာ နည်းပညာဖြင့် အဲယားကွန်းတွေ၊ခါတ် လှေခါးတွေ၊ မီးရထားတွေ ဘယ် လို ထိန်းချုပ် မောင်းနှင်ကြသနည်း



New Series
VRV H SERIES
VRV R SERIES



Presented by
(ဦးထိပ်တင်ထွဋ်) RSE-001 (ACMV)
AGTI (Mechanical Power)-1985
Advanced Diploma in Refrigeration and Air Conditioning
City and Guild (London)
(4-07-2026)



1. **What Is an Inverter?**
2. **What Does an Inverter Do?**
3. **How Does an Inverter Work?**
4. **AC Sine Wave and Frequency**
5. Oscillation and Modulation လုပ်တယ် ဆိုတာ ဘာလုပ်တာလည်း
6. PWM (Pulse Width Modulation) ဆိုသည်မှာဘာလဲ
7. **PWM ၏ အခြေခံ အယူအဆ**
8. **Inverter vs Motor Controller: What Is the Difference?**
9. Single Phase and Three Phase AC Inverter ဆိုတာဘာလဲ
10. **The Inverter Technology in Air Conditioners.**
11. **Why Is an Inverter Important in Electric Vehicles?**
12. **Inverter Technology in Elevators and Escalators**
13. **Inverter Technology in Solar Power System**
14. **Inverter Technology in Modern Train**
15. **Inverter Technology in Modern Data Server Room**
16. **Low Voltage vs High Voltage Inverters**
17. **Real-World High-Voltage Inverter Applications**
18. **Inverter Technology ၏ အားနည်းချက်များ**

What is an Inverter?

1. Inverter ဆိုတာ ဘာလဲ?

Inverter ဆိုသည်မှာ DC (Direct Current) ကို AC (Alternating Current) အဖြစ် ပြောင်းပေးသော Power Electronic Converter ဖြစ်သည်။

ဥပမာ -

•Solar Panel → DC Output

•Battery → DC Output

ဒီ DC ကို 230V/400V AC အဖြစ် ပြောင်းပေးတာ Inverter ဖြစ်ပါတယ်။

2. Inverter တွေကို IGBT နဲ့ MOSFET ဆိုပြီး ခွဲတာလား?

တကယ်တော့ Inverter ကို IGBT Inverter, MOSFET Inverter ဆိုပြီး မခွဲပါ။ IGBT နဲ့ MOSFET ဆိုတာ Inverter ထဲမှာ အသုံးပြုတဲ့ Power Switching Device တွေ ဖြစ်ပါတယ်။

1980s – IGBT Revolution

Inverter/VFD သမိုင်းတွင် အရေးအကြီးဆုံး ပြောင်းလဲမှု ဖြစ်သည်။

IGBT များ စတင်အသုံးပြုလာသောကြောင့်

- Switching Frequency မြင့်
- Efficiency မြင့်
- Compact Size ဖြစ်လာသည်။

HVAC Industry တွင် VFD များ စတင်ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုလာသည်။

1990s – Vector Control

Motor ကို Frequency တစ်ခုတည်းမဟုတ်တော့ဘဲ

- Torque
- Flux
- Speed တို့ကို တိကျစွာ ထိန်းချုပ်နိုင်လာသည်။

ဤခေတ်တွင်

- Elevator
- CNC Machine
- Chiller Compressor

များတွင် VFD အသုံးပြုမှု အလွန်မြင့်တက်လာသည်။

2000s – Inverter Air Conditioner Era

Daikin Industries ၊

Mitsubishi Electric ၊

Panasonic Holdings တို့က

Residential Inverter AC များကို ကမ္ဘာအနှံ့
ကျယ်ကျယ်ပြန့်ပြန့် ရောင်းချလာကြသည်။

2010s – SiC MOSFET Era

Silicon Carbide (SiC) Power Devices များ
စတင်အသုံးပြုလာသည်။

အားသာချက်များ

- Loss နည်း
- Temperature မြင့်ခံနိုင်
- Switching Speed မြန် ဖြစ်သည်။

ယနေ့ခေတ် Inverter Technology ကို

- 1.EV Fast Chargers
- 2.Electric Vehicles
- 3.Air Conditioning (VRV/VRF)
- 4.Industrial VFD Systems
- 5.Solar & Battery Storage
- 6.Refrigeration Systems
- 7.Elevators and Escalators
- 8.Wind Turbine
- 9.Railway Traction Systems
- 10.Data Centers
- 11.Speed Boat
- 12.CNC Machines

စသည့် နေရာများတွင် အဓိက အသုံးပြုလာကြပြီး၊ အထူးသဖြင့် SiC MOSFET နည်းပညာကြောင့် Efficiency 98% နီးပါးအထိ ရောက်ရှိလာကာ ကမ္ဘာလျှပ်စစ်စွမ်းအင်အသုံးချမှု၏ အခြေခံနည်းပညာတစ်ခု ဖြစ်လာနေပါသည်။

2. Inverter Technology က Frequency ကို အကြောင်း ပြောင်းတလဲ

AC Motor speed ဟာ Frequency နဲ့ တိုက်ရိုက်ဆက်စပ်နေသည်။

Motor synchronous speed formula:

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

- N_s = Motor speed (RPM)
- f = Frequency (Hz)
- P = Number of poles

Frequency တိုးလျှင်

- Motor ပိုမြန်
- Compressor ပိုမြန်
- Pump airflow/waterflow ပိုများ

Frequency လျော့လျှင်

- Motor နှေး , Energy saving ရ , Noise လျော့

3. Conventional AC Supply နဲ့ Inverter ကွာခြားချက်

Normal Utility Power

- Frequency fixed
- Myanmar = 50 Hz
- Motor speed မပြောင်းနိုင်

Inverter Output

- 5 Hz
- 20 Hz
- 35 Hz
- 50 Hz

What is the Oscillation?

Oscillation = Wave ကို ထုတ်လုပ်ခြင်း

No Signal



Oscillator



Sine Wave

Modulation = Wave ကို ပြုပြင်ထိန်းချုပ်ခြင်း

Carrier Wave

+

Control Signal



Modulator



PWM / AM / FM Signal

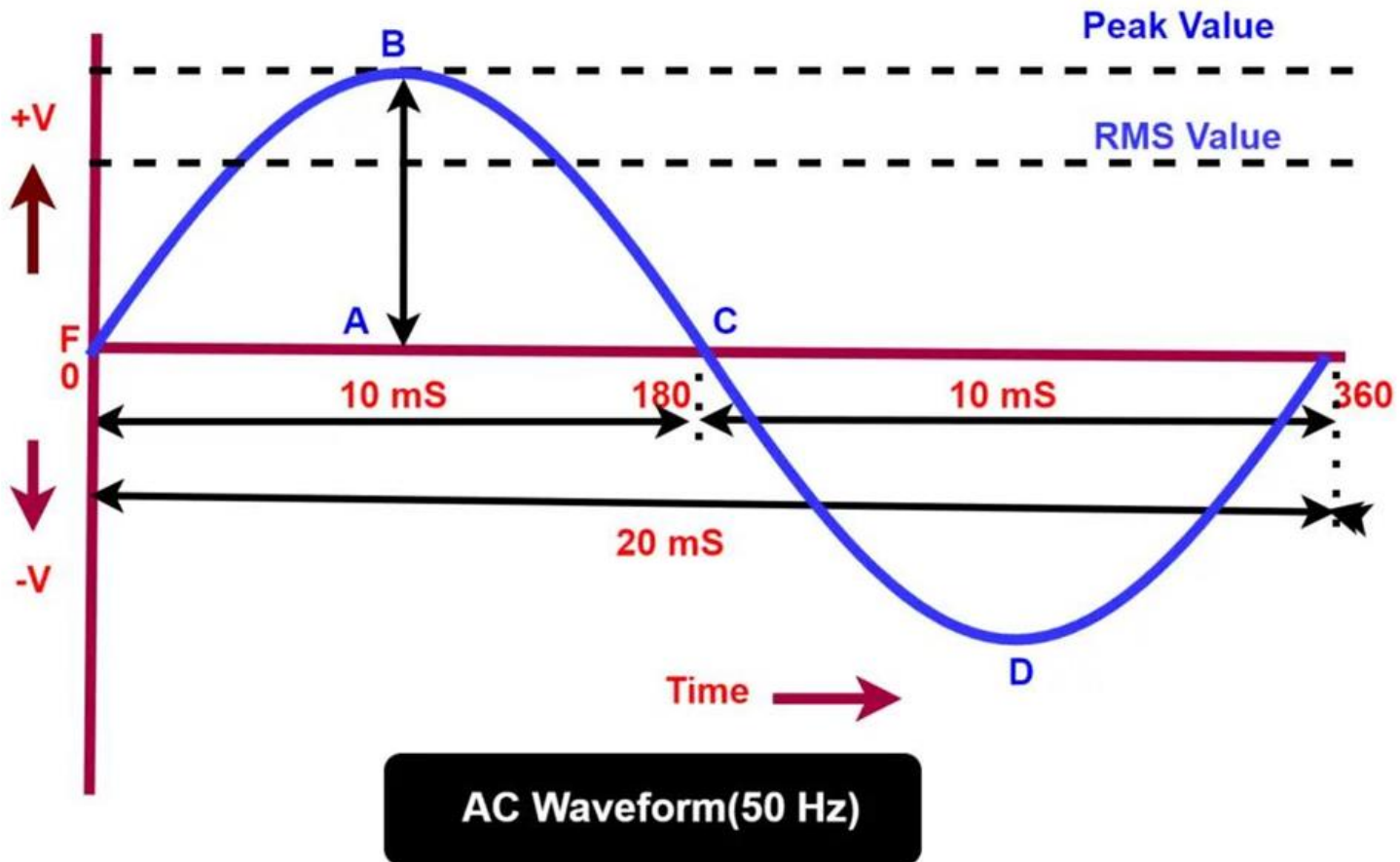
ထို့ကြောင့် **Oscillator** သည် **Wave Generator** ဖြစ်ပြီး **Modulator** သည် **Wave Controller** ဖြစ်သည်။ Inverter, VFD, Servo Drive, EV Fast Charger, Solar Inverter စနစ်များတွင် Oscillation နှင့် Modulation နှစ်မျိုးစလုံးကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြုကြပါသည်။

Frequency ဆိုတာဘာလဲ

AC လျှပ်စစ်မှာ sine wave တစ်ခုဟာ တစ်စက္ကန့်အတွင်း ဘယ်နှစ်ကြိမ် ပြန်လည်လှည့်ပတ်သလဲ ဆိုတာကို Frequency (Hz) လို့ခေါ်သည်။

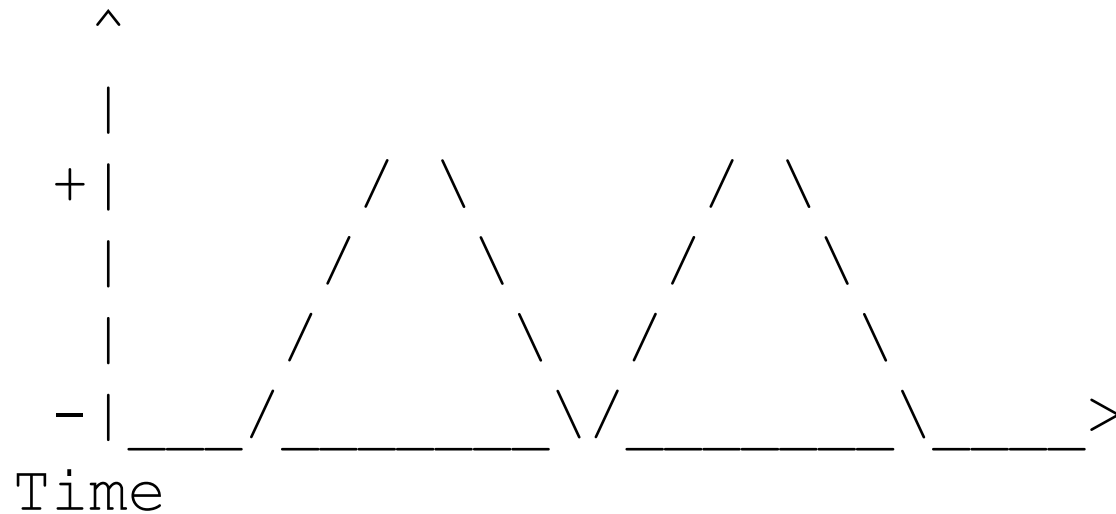
ဥပမာ -

- 50 Hz → 1 second အတွင်း cycle 50 ကြိမ်
- 60 Hz → cycle 60 ကြိမ်



Oscillation Waveform

Voltage



Oscillator သည် Signal ကို "ဖန်တီး"
ပေးသော Circuit ဖြစ်သည်။

ဥပမာ

- 50Hz AC Generator
- 10MHz Crystal Oscillator
- PWM Carrier 10kHz Oscillator

Inverter အမျိုးအစားများ

Application အရ ခွဲမယ်ဆိုရင်

(A) Square Wave Inverter

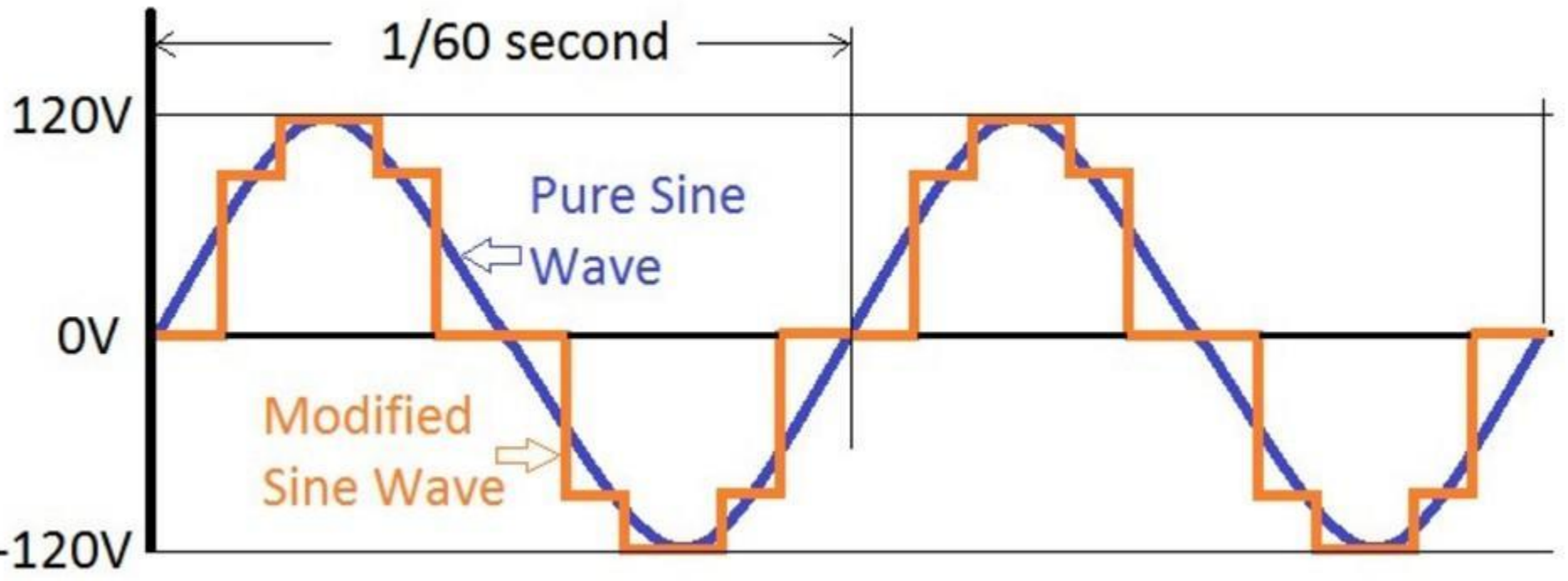
- ရှေးဟောင်းနည်းပညာ
- Harmonic များ

(B) Modified Sine Wave Inverter

- ဈေးသက်သာ
- Fan, Light အတွက်

(C) Pure Sine Wave Inverter

- Harmonic နည်း
- ယနေ့ခေတ် အသုံးအများဆုံး



SPWM (Sinusoidal PWM)

Pure Sine Wave ဖြစ်စေရန် PWM Modulation အသုံးပြုသည်။

Carrier Wave

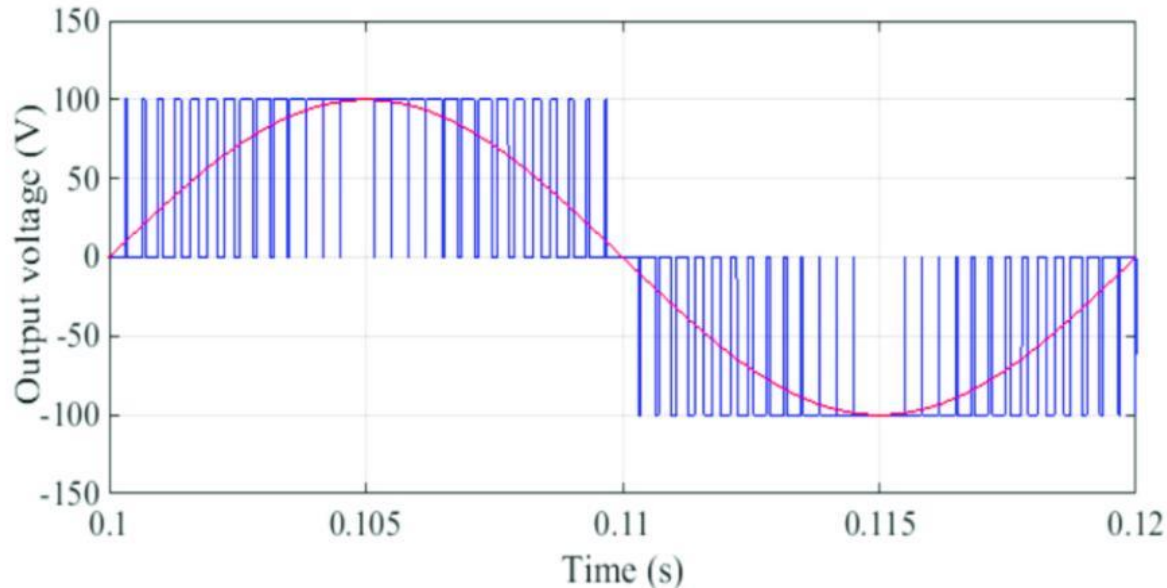
△△△△△△△△

Reference Sine

~~~~~

နိုင်ယုဉ်၍ PWM Pulse များ ထုတ်သည်။

| | | | | | | | | | | | | | | |



**Pure Sine Wave Inverter တည်ဆောက်ပုံနှင့် အလုပ်လုပ်ပုံ**  
**Pure Sine Wave Inverter** သည် Battery မှ DC Voltage (12V, 24V, 48V) ကို အိမ်သုံး AC Power (220V/230V, 50Hz) အဖြစ် ပြောင်းလဲပေးသော Electronic Power Converter ဖြစ်သည်။  
Output Waveform သည် Utility Grid မှလာသော Sinusoidal Waveform နှင့် အလွန်နီးစပ်သောကြောင့်

- Air Conditioner
  - Refrigerator
  - Medical Equipment
  - Audio System
  - Computer
  - Industrial Control System
- တို့အတွက် အကောင်းဆုံး Inverter အမျိုးအစားဖြစ်သည်

# Modified Sine Wave နှင့် Pure Sine Wave ကွာခြားချက်

| Feature     | Modified | Pure Sine  |
|-------------|----------|------------|
| Harmonic    | များ     | နည်း       |
| Motor Noise | များ     | နည်း       |
| Efficiency  | နည်း     | မြင့်      |
| AC Motor    | ပူလွယ်   | ကောင်း     |
| Electronics | မသင့်    | သင့်       |
| Price       | သက်သာ    | ပိုဈေးကြီး |

# EV Inverter နှင့် Pure Sine Wave Inverter ကွာခြားချက်

## Pure Sine Inverter

Single Phase Output

50Hz Fixed

Home Appliance

SPWM

230VAC

## EV Traction Inverter

Three Phase Output

Variable Frequency

PMSM Motor Drive

SVPWM + FOC

400V–800V Motor Drive

Pure Sine Wave Inverter တစ်လုံးတွင် အဓိက အပိုင်း ၅ ပိုင်း ရှိသည်။

1. Battery DC Input
2. DC-DC Boost Converter
3. DC Link Capacitor
4. H-Bridge MOSFET Inverter
5. SPWM + LC Output Filter

ထိုအပိုင်းများ ပေါင်းစပ်အလုပ်လုပ်ခြင်းဖြင့် 12V/24V/48V Battery မှ Grid နှင့်တူသော **230V 50Hz Pure Sine Wave AC** ကို ထုတ်ပေးနိုင်ခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

Battery DC



EMI Filter



DC-DC Converter  
(12V→400VDC)



DC Link Capacitor



H-Bridge MOSFET



SPWM / SVPWM



LC Filter



230VAC 50Hz  
Pure Sine Wave

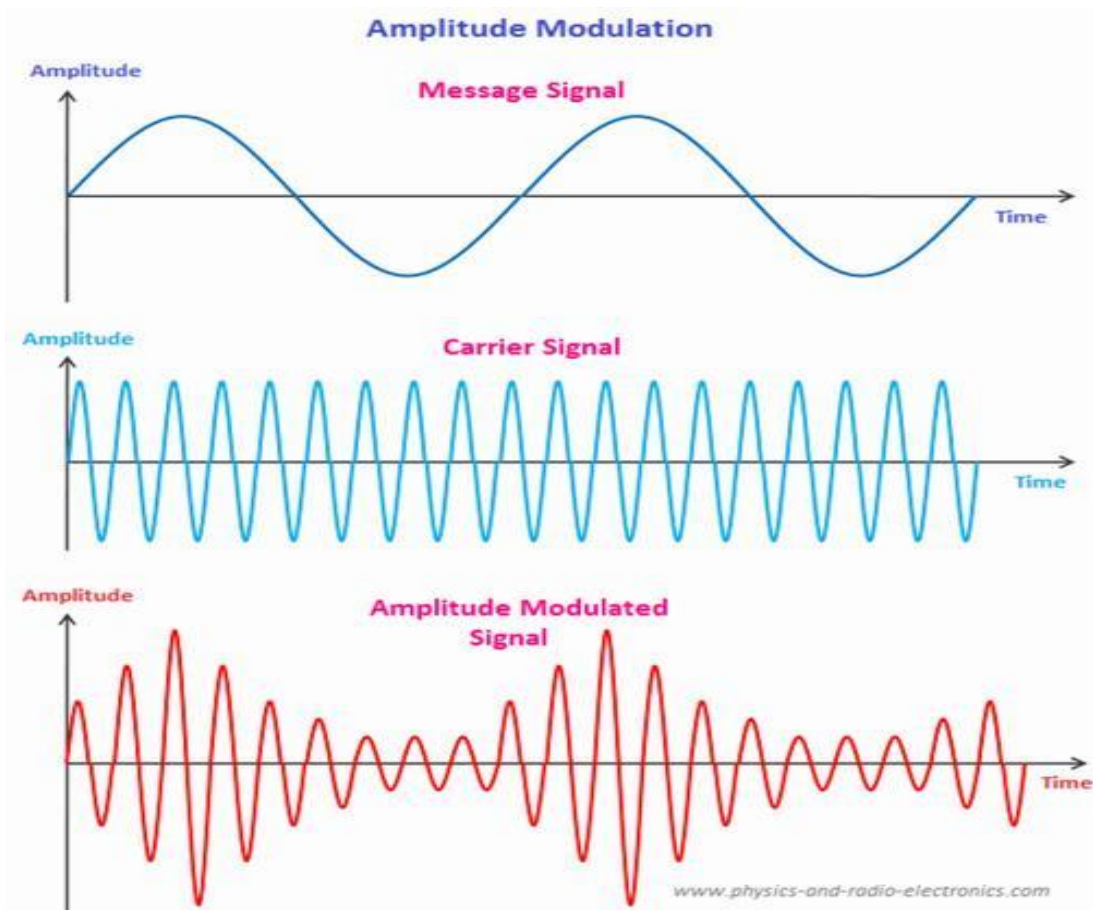
**PWM (Pulse Width Modulation) ဆိုသည်မှာဘာလဲ**

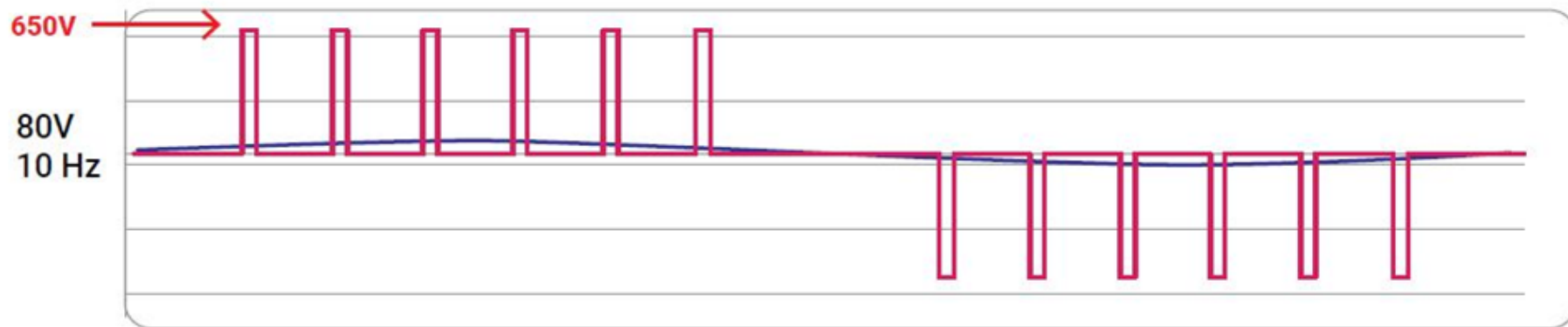
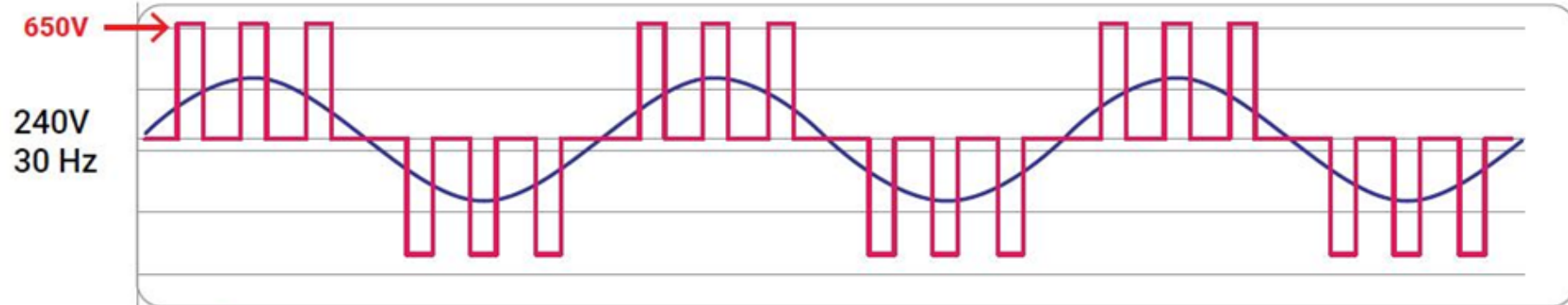
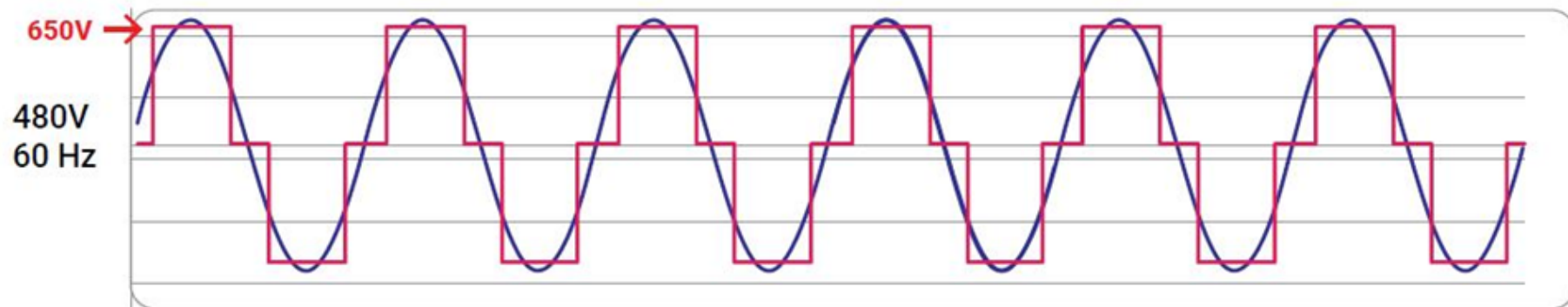
# Modulation (Signal Control / Signal Modification)

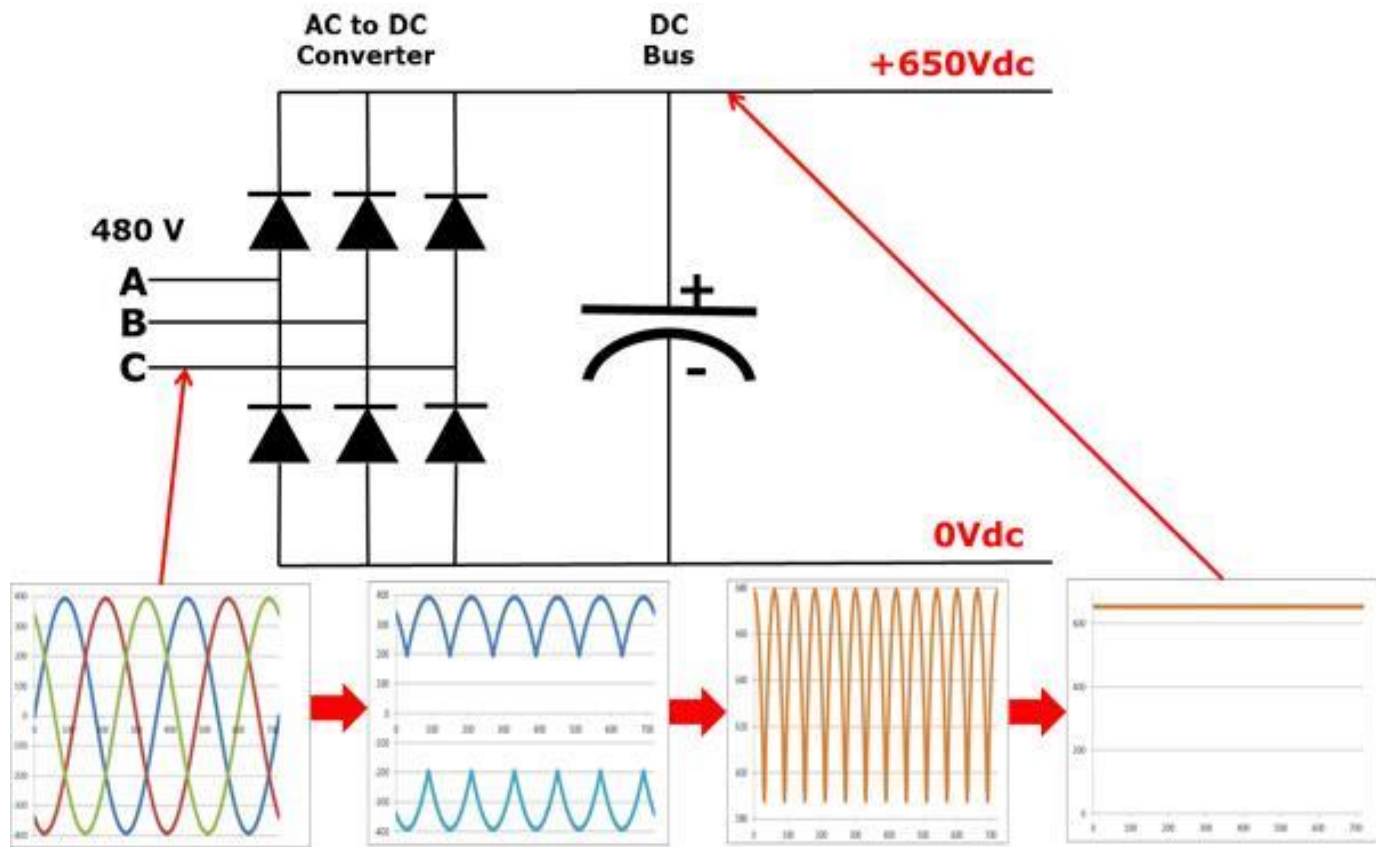
Modulation ဆိုသည်မှာ ရှိပြီးသား Carrier Signal တစ်ခု၏

- Amplitude
- Frequency
- Phase

တို့ကို Information Signal ဖြင့် ပြောင်းလဲထိန်းချုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။







## STEP 2 – DC Bus Storage

Capacitor ကြီးများဖြင့် DC voltage ကို smooth လုပ်ထားသည်။

## STEP 3 – DC to Variable Frequency AC

IGBT / MOSFET transistor switching ဖြင့်

အသစ်သော AC waveform ကိုပြန်တည်ဆောက်သည်။

ဒီနေရာမှာ Frequency Modulation ဖြစ်သည်။

**VVVF (Variable Voltage Variable Frequency)**

VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) နည်းပညာဆိုသည်မှာ AC Motor ၏ အမြန်နှုန်း (Speed) နှင့် Torque ကို တိကျစွာ ထိန်းချုပ်ရန် Voltage နှင့် Frequency ကို အတုတကွ ပြောင်းလဲပေးသော Inverter Control နည်းပညာ ဖြစ်ပါသည်။

VVVF ကို VFD (Variable Frequency Drive) ဟုလည်း ခေါ်ကြပြီး Elevator၊ Electric Train၊ HVAC၊ Water Pump၊ Fan၊ Conveyor၊ Crane စသည့် စနစ်များတွင် အလွန်အသုံးများပါသည်။

### ၁။ VVVF ၏ အခြေခံအလုပ်လုပ်ပုံ

Motor Speed သည် Frequency ပေါ်တွင် အဓိက မူတည်သည်။

Motor Speed Formula

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

- Ns = Synchronous Speed (rpm)
- f = Frequency (Hz)
- P = Pole Number

ဥပမာ

- 50 Hz → 1500 rpm (4 Pole)
- 25 Hz → 750 rpm
- 10 Hz → 300 rpm

ထို့ကြောင့် Frequency လျော့လျှင် Motor Speed လျော့သွားသည်။

# Voltage ကို ဘာကြောင့် လိုက်ပြောင်းရသလဲ

Motor Flux ကို မပြောင်းစေရန်

$$\frac{V}{f} = Constant$$

ဖြစ်အောင် ထိန်းထားရသည်။

ဥပမာ

ဒါကို **Constant V/F Control** ဟု ခေါ်သည်။

| Frequency | Voltage |
|-----------|---------|
| 50 Hz     | 400 V   |
| 40 Hz     | 320 V   |
| 30 Hz     | 240 V   |
| 20 Hz     | 160 V   |
| 10 Hz     | 80 V    |

Voltage ပြောင်းရင် Current (Ampere) ပါ လိုက်ပြောင်းသလား?  
အဖြေမှာ - ဟုတ်ပါသည်။ သို့သော် Voltage ကြောင့် မဟုတ်ဘဲ Load  
ကြောင့် Current ပြောင်းပါသည်။

Current ကို အဓိက ဆုံးဖြတ်ပေးသောအရာမှာ

- Motor Load
  - Torque လိုအပ်ချက်
  - Speed
  - Efficiency
- တို့ဖြစ်သည်။

Voltage ကို Controller က ချိန်ပေးသော်လည်း Current ကို Motor က  
လိုအပ်သလောက်သာ ယူသည်။

### ဥပမာ (၁) — Load မရှိ

Motor ကို လေထဲတွင် လှည့်နေသည်ဆိုပါစို့။

50 Hz

- Voltage = 400V
- Current = 2A

25 Hz

- Voltage = 200V
- Current = 1.8A

Current သည် အနည်းငယ်သာ လျော့သည်။

## ဥပမာ (၂) — Load များလာ

Conveyor ပေါ်တွင် ပစ္စည်းများများတင်ထားသည်။

50 Hz

•Voltage = 400V

•Current = 15A

25 Hz

•Voltage = 200V

Torque ကို ထိန်းထားရန် Current သည်

•15A

•18A

•20A

အထိ တက်နိုင်သည်။

Voltage လျော့သော်လည်း Current တက်နိုင်ပါသည်။

## ဥပမာ (၃) — Lift

Lift စတင်မောင်းချိန်

•Frequency = 5 Hz

•Voltage = 40 V

သို့သော်

Cabin ကို စတင်ဆွဲရသောကြောင့်

Current = Rated Current နီးပါး

ဖြစ်နိုင်သည်။

**Torque နှင့် Current ၏ ဆက်နွယ်မှု**  
Induction Motor တွင်

**Torque  $\propto$  Current**

Current များလေ

Torque များလေ ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့်

Voltage လျော့နေသော်လည်း

Load ကြီးလျှင် Current တက်နိုင်သည်။

**၄။ VVVF Drive အတွင်း Controller က  
ဘာလုပ်နေသလဲ?**

Controller သည်

- 1.Speed Command ကို လက်ခံသည်။
- 2.Frequency အသစ်တက်သည်။
- 3.Voltage ကို V/F အချိုးအတိုင်း ပြောင်းသည်။
- 4.Current ကို အမြဲစောင့်ကြည့်သည်။
- 5.Current များလျှင် PWM ကို ပြင်ဆင်သည်။
- 6.Torque ကို ထိန်းပေးသည်။

**SiC Gate Driver Circuit ဆိုတာ ဘာလဲ?**

# SiC Gate Driver Circuit ဆိုတာ ဘာလဲ?

SiC MOSFET (Silicon Carbide MOSFET) သည် သာမန် Silicon IGBT ထက်

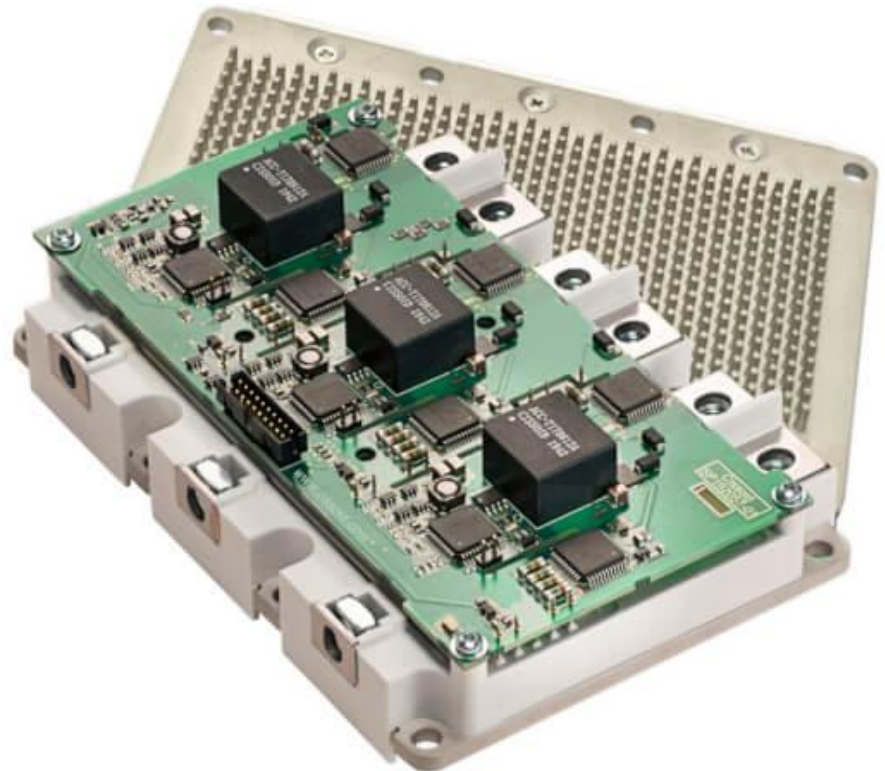
- Switching Speed မြင့်
- Switching Loss နည်း
- High Voltage ခံနိုင်
- High Temperature ခံနိုင်

သော်လည်း Gate Drive Circuit ကို အလွန်တိကျစွာ ဒီဇိုင်းလုပ်ရသည်။

Train VVVF Inverter, Solar NPC Inverter, EV Inverter များတွင် Gate Driver သည် Power Electronics System ၏ "အသက်" ဟုပင် ဆိုနိုင်သည်။



**Full-SiC Power Modules**



# SiC Gate Driver Overall Architecture

DSP / FPGA Controller



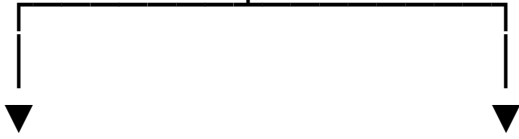
PWM Signal



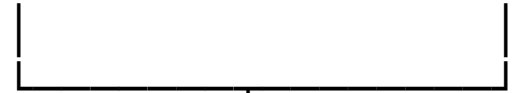
Digital Isolator



Gate Driver IC



+18V Supply      -5V Supply



SiC MOSFET

**VFD (Variable Frequency Drive) က ဘာလဲ?**  
**Inverter နှင့် အတူတူ ဘဲ လား**

## VFD Drive နဲ့ Inverter အတူတူလား?

"အတူတူလည်း ဟုတ်တယ်၊ မဟုတ်လည်း မဟုတ်ဘူး" လို့ ပြောနိုင်ပါတယ်။

### Basic Inverter

DC → AC ပြောင်းပေးရုံ

Battery



Inverter



230VAC

### VFD (Variable Frequency Drive)

Motor Speed ကို Control လုပ်ဖို့

AC Input



Rectifier



DC Bus



Inverter (IGBT)



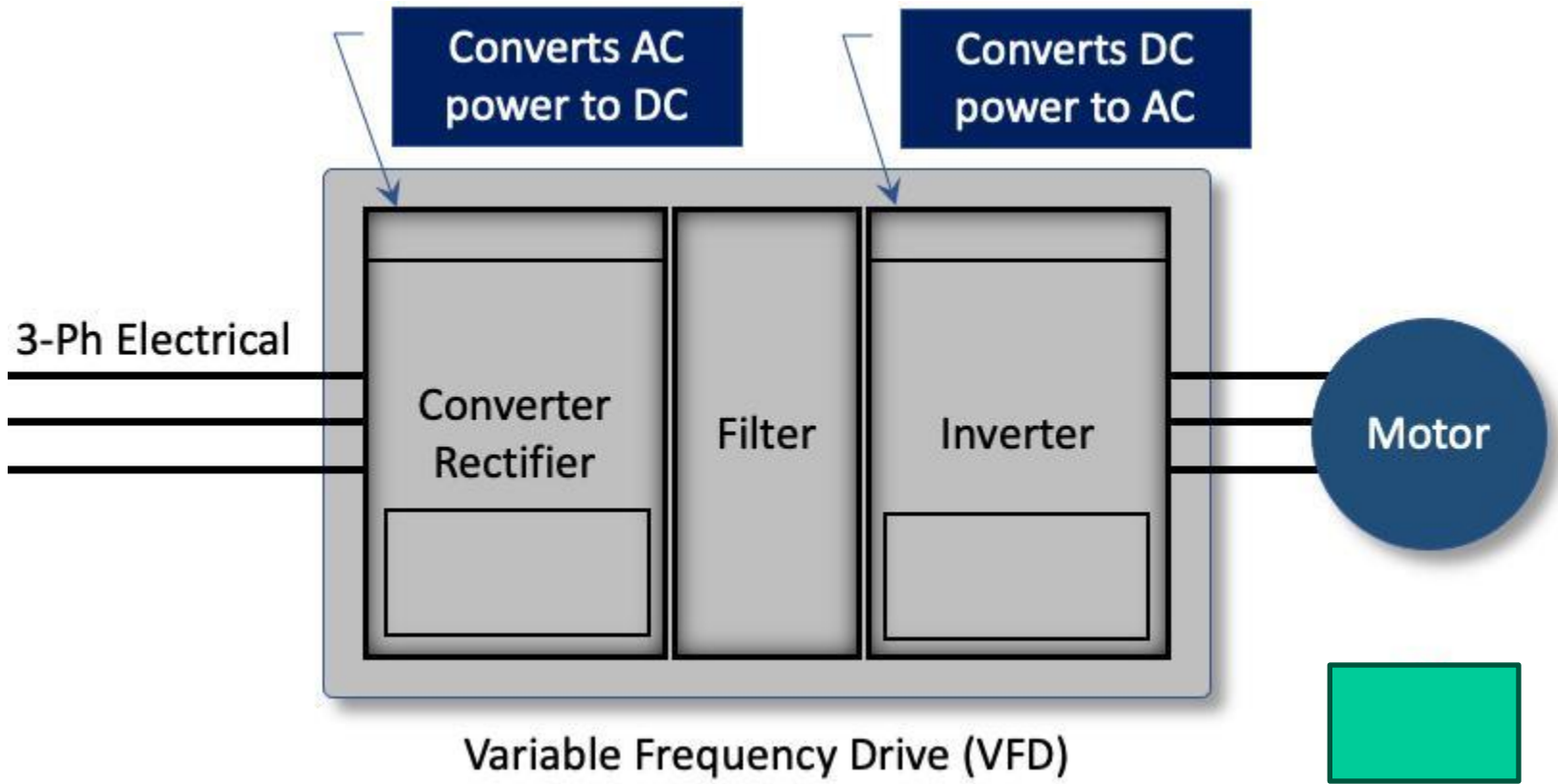
Variable Frequency AC



Motor

VFD ထဲမှာ Inverter ပါဝင်ပြီးသား ဖြစ်ပါတယ်။





VVF (Variable Voltage Variable Frequency) system က modern elevator တစ်စီးရဲ့ **speed control + torque control + ride quality + energy efficiency + safety coordination** အားလုံးရဲ့ “central power brain” လို့ပြောလို့ရပါတယ်။ Brake, torque, jerk, start/stop smoothness တို့က VVF မပါရင် “mechanically ဖြစ်စရာရှိပေမယ့် comfort & precision မရနိုင်” သလိုဖြစ်သွားပါတယ်။

## Variable Frequency CONTROL

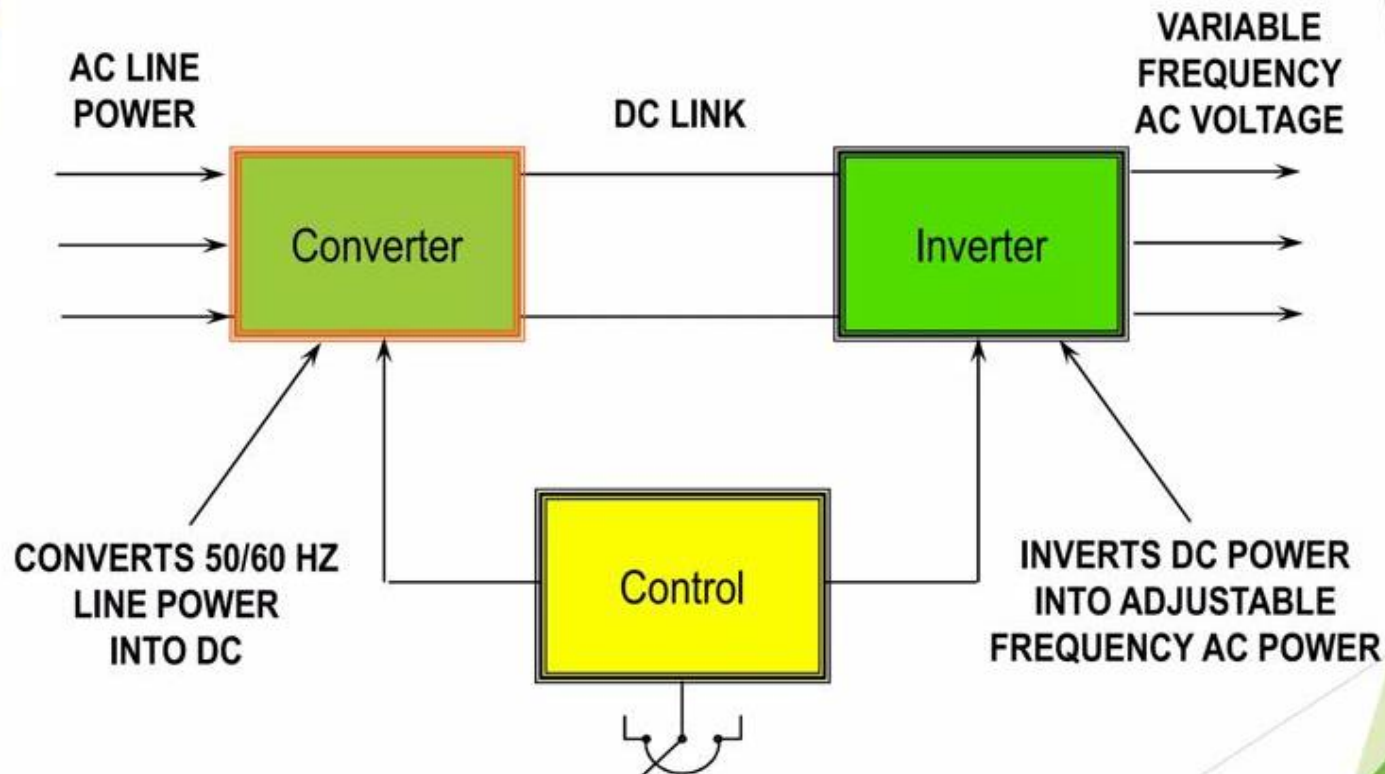


Fig. Block Diagram of VFD

**VFD = Rectifier + DC Bus + IGBT Inverter  
+ DSP Controller**

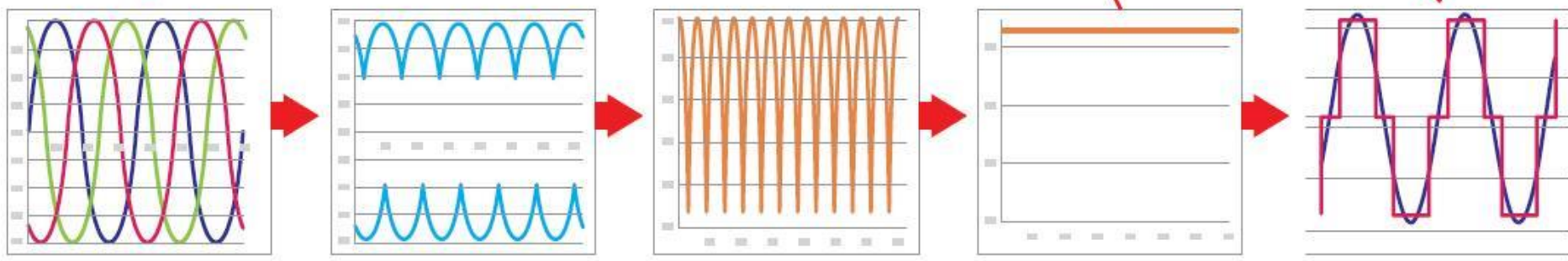
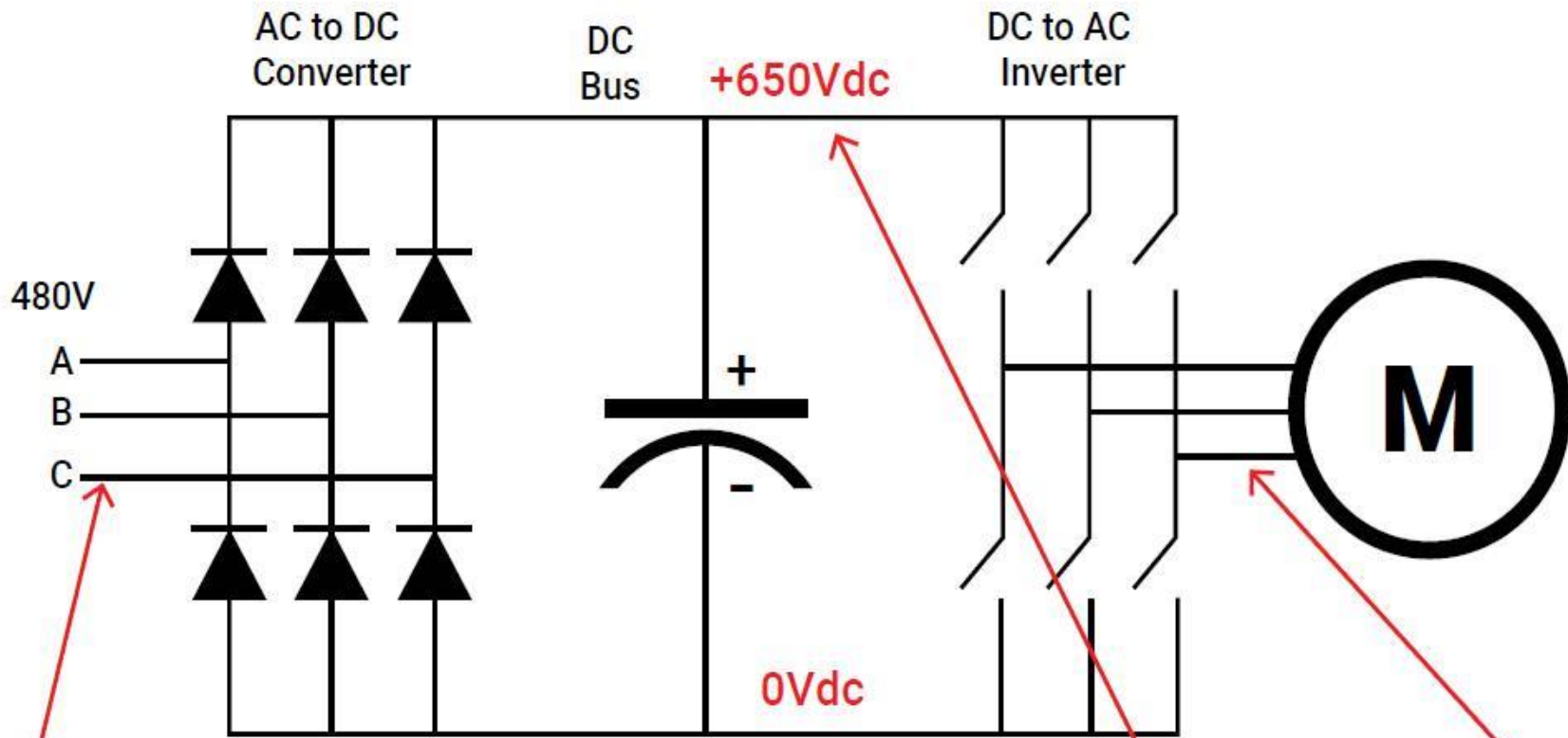
**PWM** သည် IGBT များကို ON/OFF လုပ်၍  
Variable Voltage/Variable Frequency 3-Phase  
AC ကို ထုတ်ပေးသော နည်းပညာဖြစ်သည်။

### **V/Hz Control**

- ရိုးရှင်း
- Pump/Fan များအတွက် သင့်တော်
- Cost နည်း

### **FOC (Vector Control)**

- Torque ကို တိကျစွာ ထိန်းနိုင်
- Elevator၊ EV၊ Inverter Compressor များအတွက် သင့်တော်
- Performance အကောင်းဆုံး



**What is the Difference  
Between with Inverter and  
Motor Controller?**

## **Inverter**

- DC ကို AC ပြောင်းပေးသော Power Electronics Device
- IGBT/MOSFET များဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားသည်
- Voltage နှင့် Frequency ကို ထုတ်ပေးသည်

## **Motor Controller**

- Motor ၏ Speed, Torque, Direction, Protection များကို ထိန်းချုပ်သော System
- Controller ထဲတွင် Inverter ပါဝင်နိုင်သည်

## **အရေးကြီးဆုံး မှတ်သားရန်**

Inverter သည် Power Conversion Device ဖြစ်ပြီး Motor Controller သည် Control System ဖြစ်သည်။

VFD Drive တစ်လုံးတွင် Inverter နှင့် Motor Controller နှစ်မျိုးလုံး ပါဝင်လေ့ရှိသည်။

# Motor Controller ဆိုသည်မှာ ဘာလဲ?

Motor Controller သည် Motor ကို ထိန်းချုပ်ရန် အသုံးပြုသော System ဖြစ်သည်။  
ထိန်းချုပ်နိုင်သော အရာများ -

- Start / Stop
- Speed Control
- Torque Control
- Direction Control
- Protection

Motor Controller ထဲတွင်

- Contactor
- Relay
- PLC
- Drive
- Inverter
- Microprocessor

စသည်တို့ ပါဝင်နိုင်သည်။



# အဓိက ကွာခြားချက်

Inverter

Power Conversion Device

DC ကို AC ပြောင်းပေးသည်

IGBT/MOSFET အသုံးပြုသည်

Voltage/Frequency ထုတ်ပေးသည်

Motor မရှိလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်

Motor Controller

Control System

Motor ကို ထိန်းချုပ်သည်

PLC, MCU, Relay, Drive အသုံးပြုနိုင်သည်

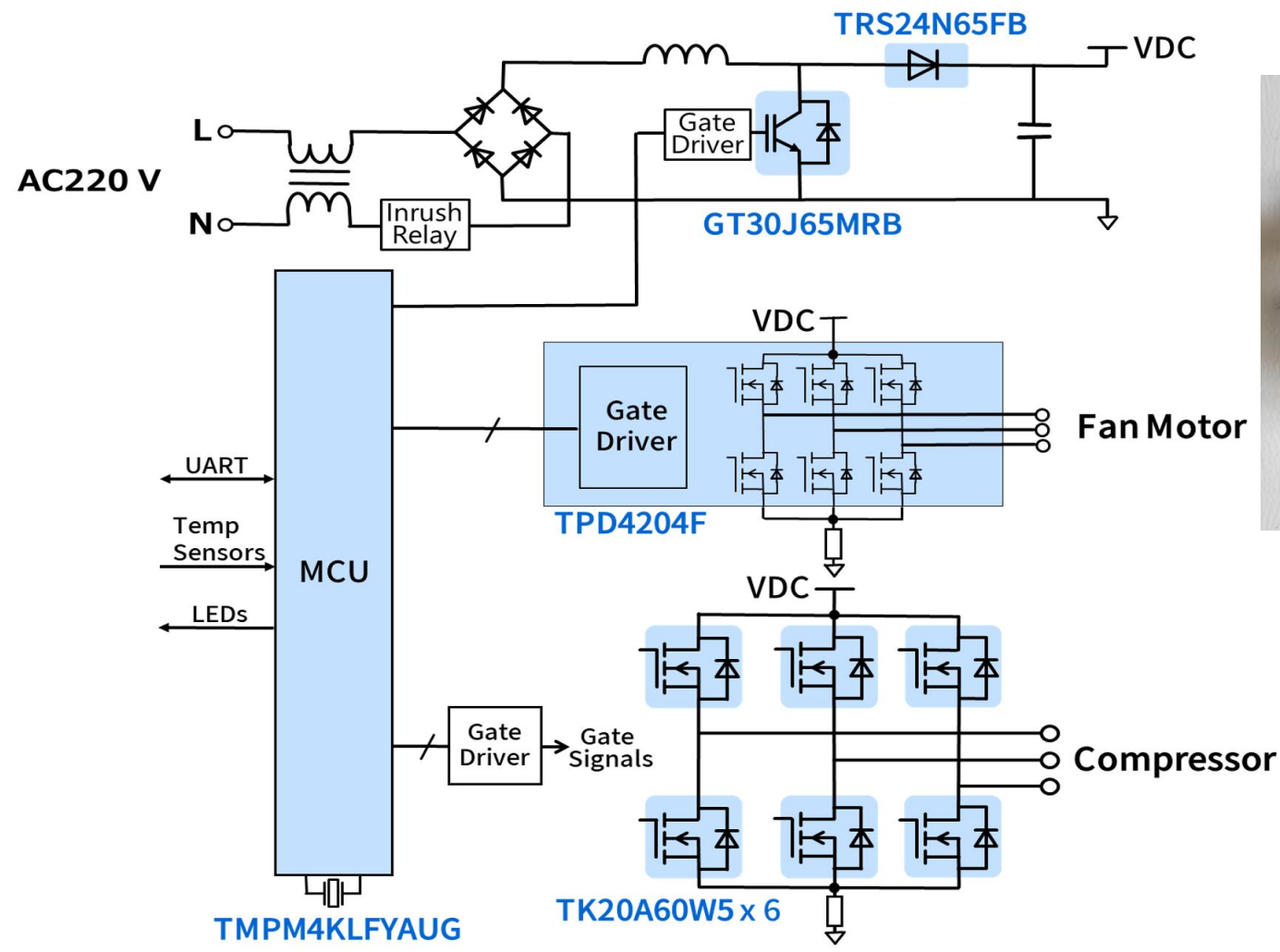
Speed/Torque/Direction ထိန်းသည်

Motor ရှိမှ အဓိက အသုံးဝင်သည်

# Air Conditioners

Single Phase Inverter Air Conditioner (AC) များတွင် "Inverter" ဆိုသည်မှာ Compressor Motor Speed ကို Variable Frequency ဖြင့် ထိန်းချုပ်နိုင်သော Power Electronics System ကို ဆိုလိုပါသည်။

ပုံမှန် Non-Inverter AC တွင် Compressor သည် ON/OFF ပဲ လုပ်နိုင်သော်လည်း Inverter AC တွင် Compressor Speed ကို 20Hz မှ 120Hz ခန့်အထိ ပြောင်းလဲနိုင်သောကြောင့် လျှပ်စစ်စွမ်းအင်သက်သာပြီး Temperature Control ပိုမိုတိကျပါသည်။

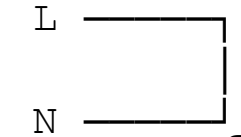


# Inverter Air Conditioner များ၏ အဓိကလျှို့ဝှက်ချက်က Single Phase Input → DC → Three Phase Output ပြောင်းပေးခြင်း ဖြစ်ပါတယ်။

## အခြေခံ Principle

Single Phase AC Supply

230VAC



ကို Rectifier ဖြင့် DC ပြောင်းသည်။

230VAC



Bridge Rectifier



325VDC

( $230 \times 1.414 \approx 325VDC$ )

ထိုနောက် IGBT/MOSFET Module က PWM Switching ဖြင့် Artificial Three-Phase AC ကို ပြန်ထုတ်ပေးသည်။

325VDC



IGBT Inverter



U Phase

V Phase

W Phase

# Compressor Motor က Three Phase Motor လား? ဟုတ်ပါတယ်

Inverter AC Compressor များ၏ 95% ကျော်မှာ

- PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)

- BLDC Motor

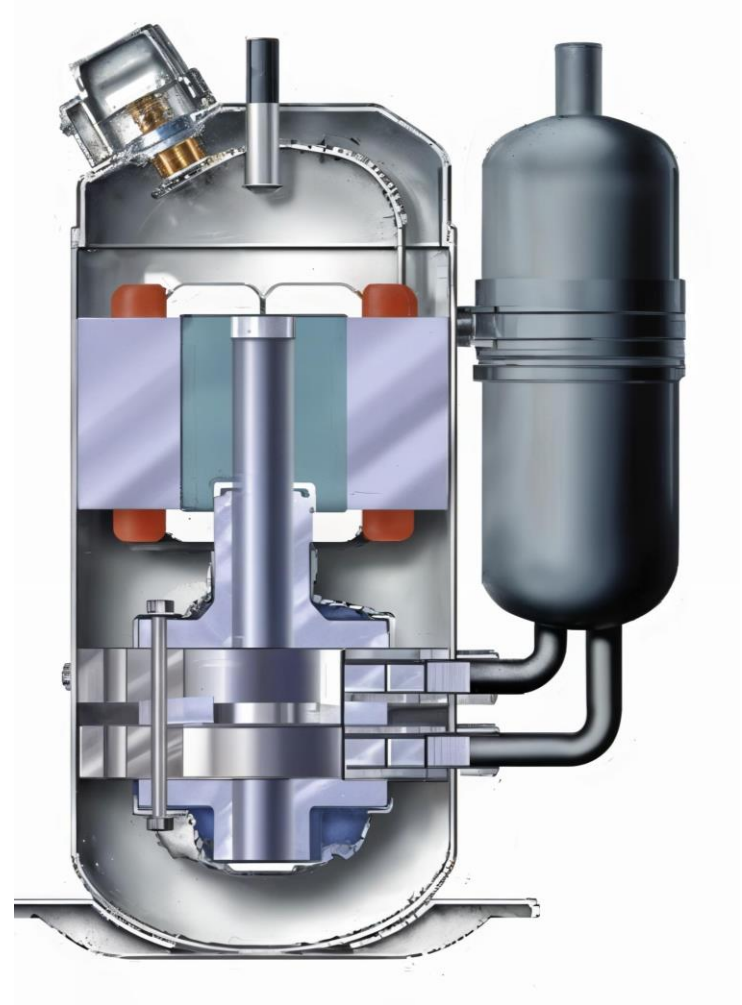
များ ဖြစ်ပြီး Three Phase Stator ရှိသည်။  
Compressor Terminal Box တွင်

U

V

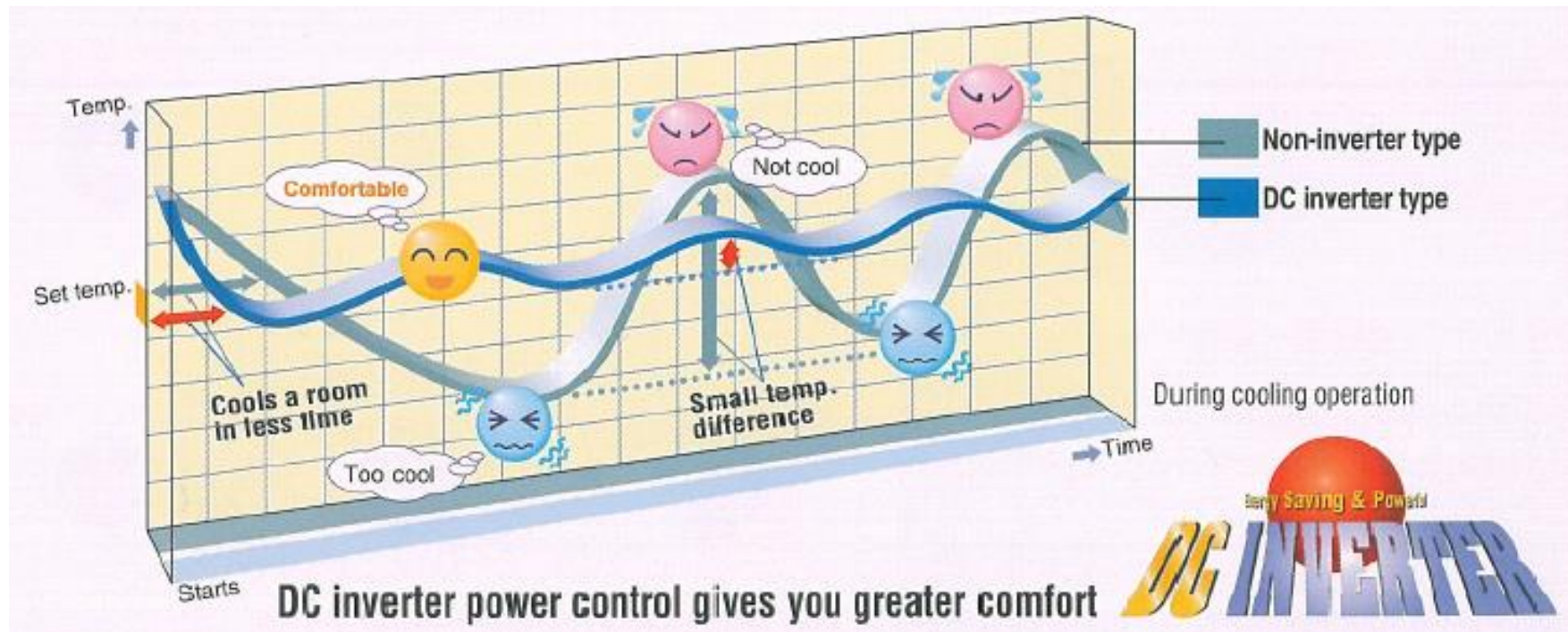
W

သုံးချောင်း တွေ့ရသည်။



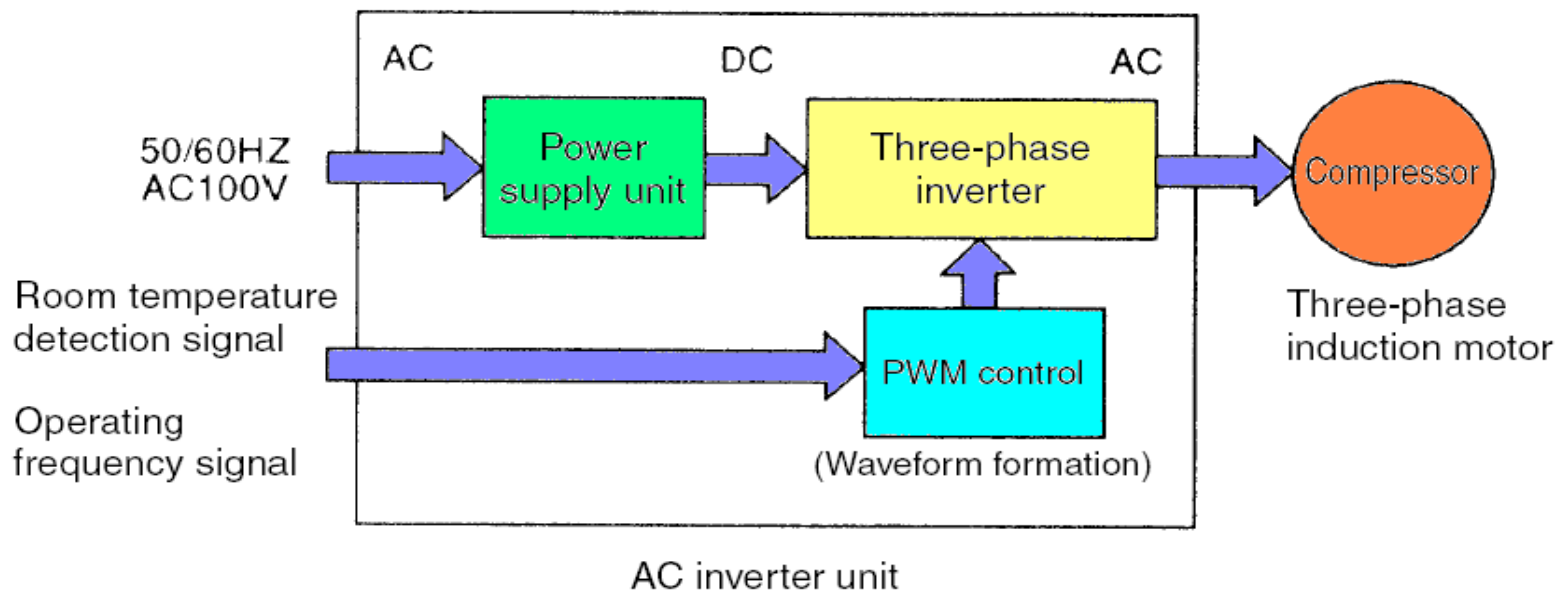
# Advantage of DC Inverter Power Control

- DC inverter power control uses its full capacity at startup to cool quickly.
- Once set temperature is reached, it precisely adjusts current frequency to prevent temperature fluctuation and energy loss



# ***Inverter Technology : The Basics***

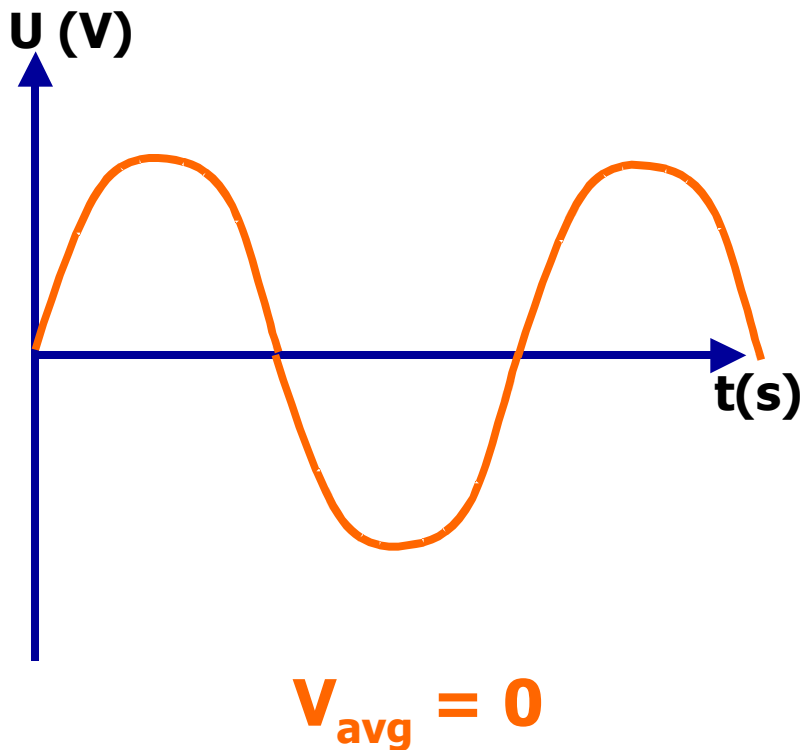
Inverter devices which **convert** commercial AC electricity to alternating current with **adjustable frequency and voltage**. Rotational speed of compressor can be altered freely by inverter.



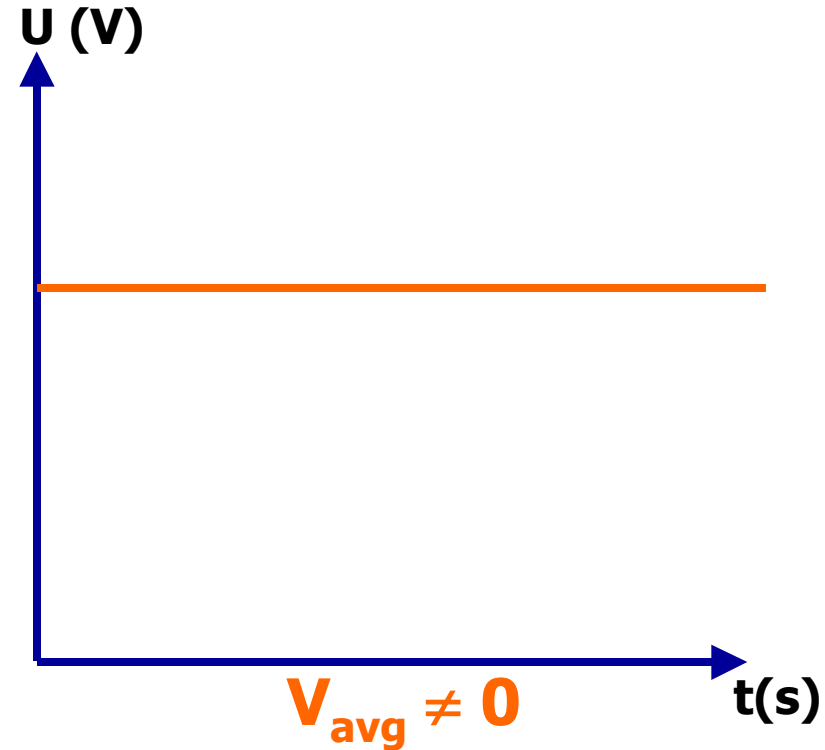
# *Inverter Technology : The Basics*

## **AC/DC**

**AC = +/- voltage changes**



**DC = no voltage changes**

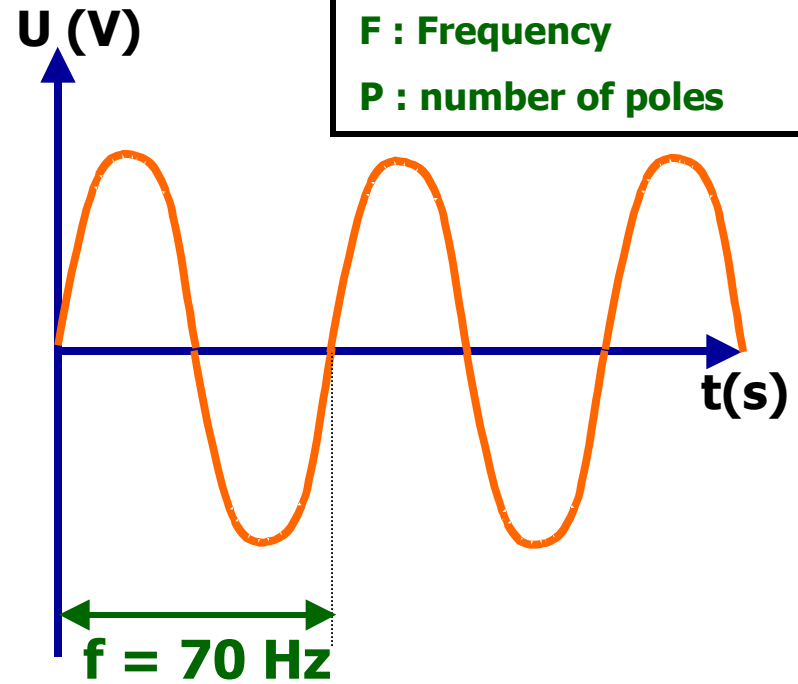
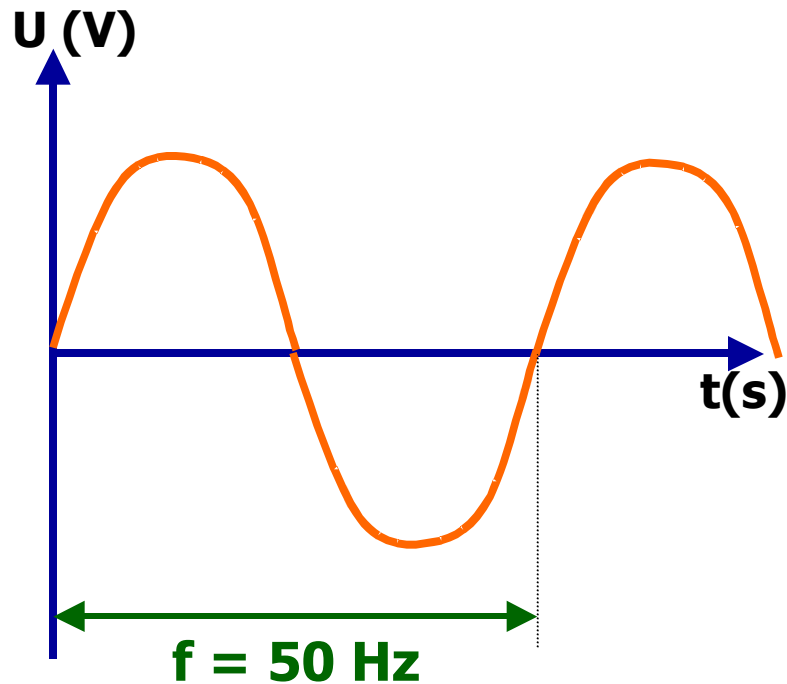


# *Inverter Technology : The Basics*

## Changing Frequency of AC

$$N = 120f / p$$

**N** : number of motor rotation  
**F** : Frequency  
**P** : number of poles



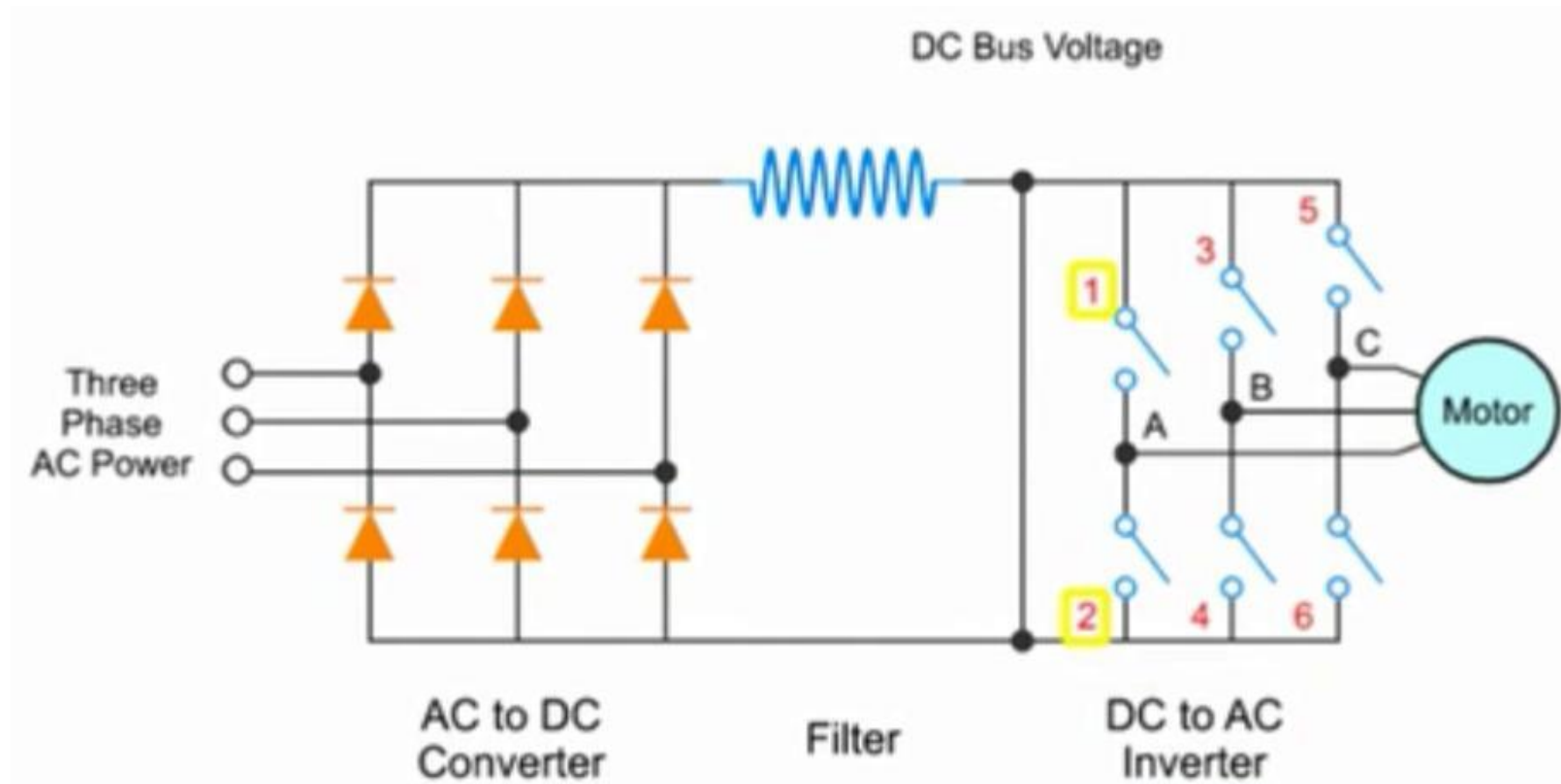
**We will change Compressor Speed by  
changing the Frequency**

#### 4. Frequency Modulation လုပ်ပုံ အခြေခံ

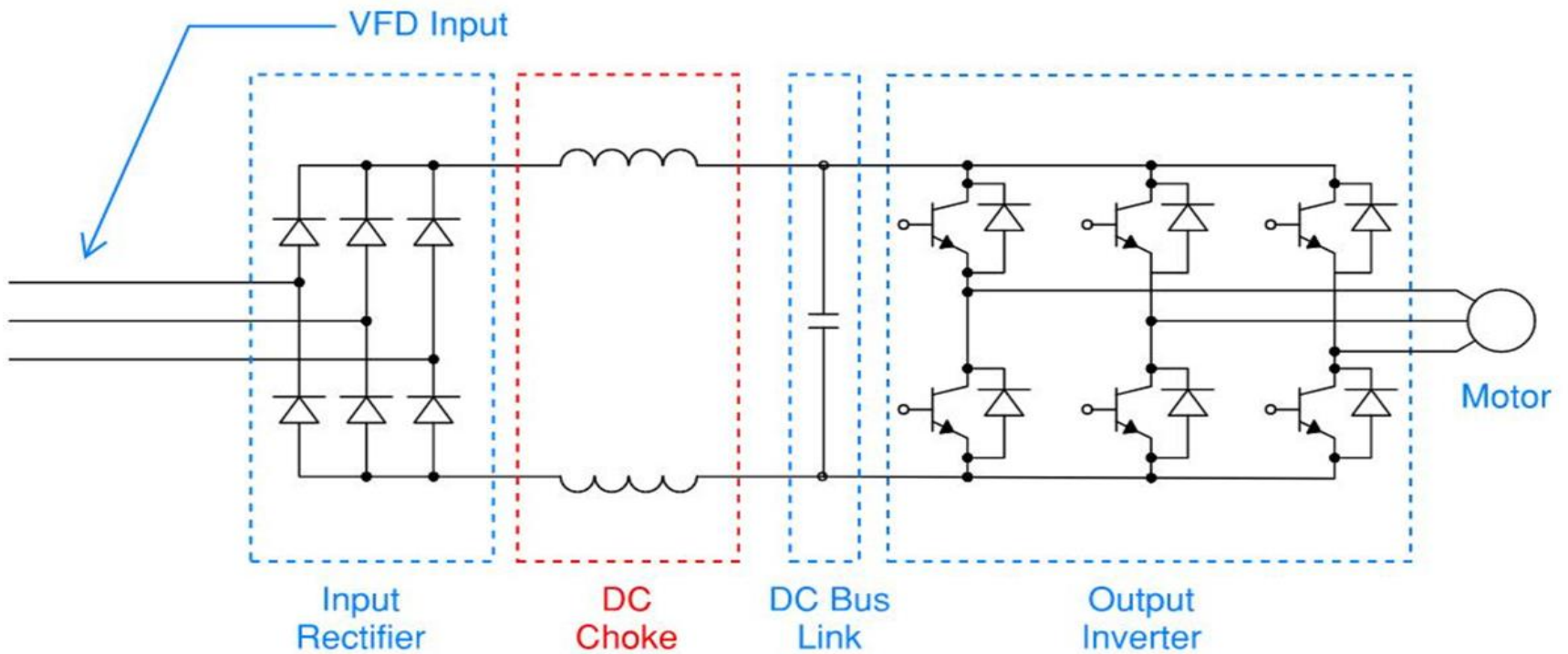
Inverter တစ်ခုအတွင်းမှာ အဆင့် ၃ ဆင့် ရှိသည်။

##### STEP 1 – AC to DC Conversion

AC Input ကို Rectifier ဖြင့် DC ပြောင်းသည်။

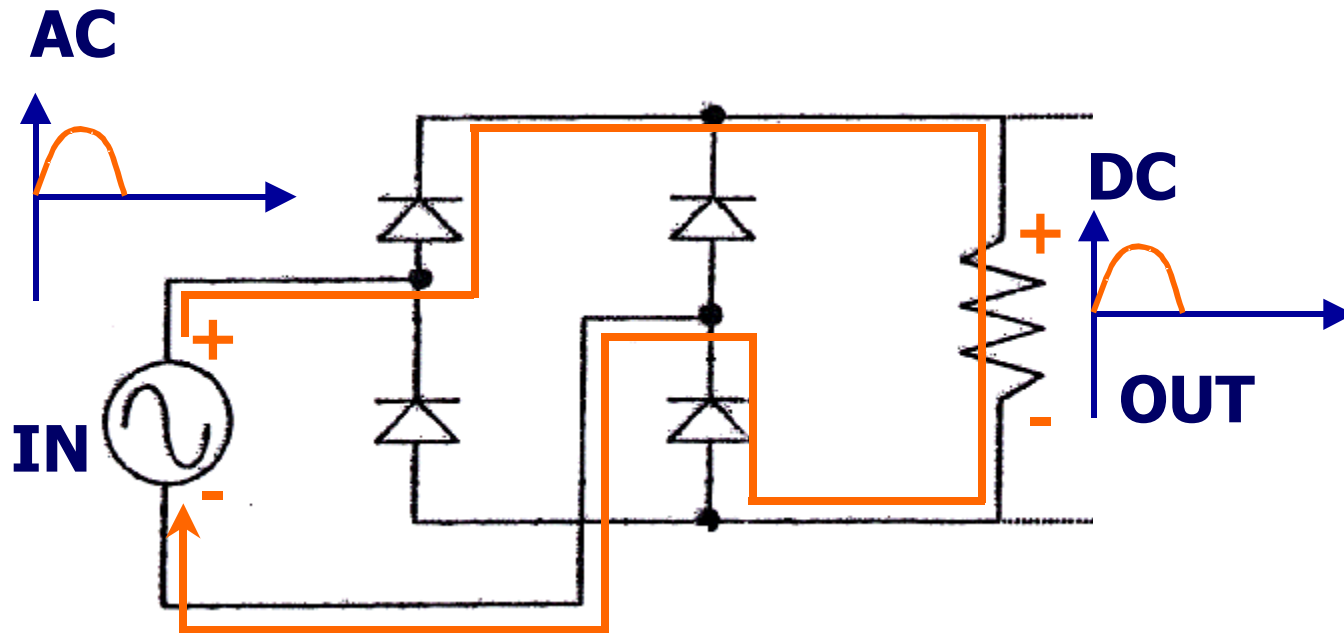


# Rectifier to DC Bus



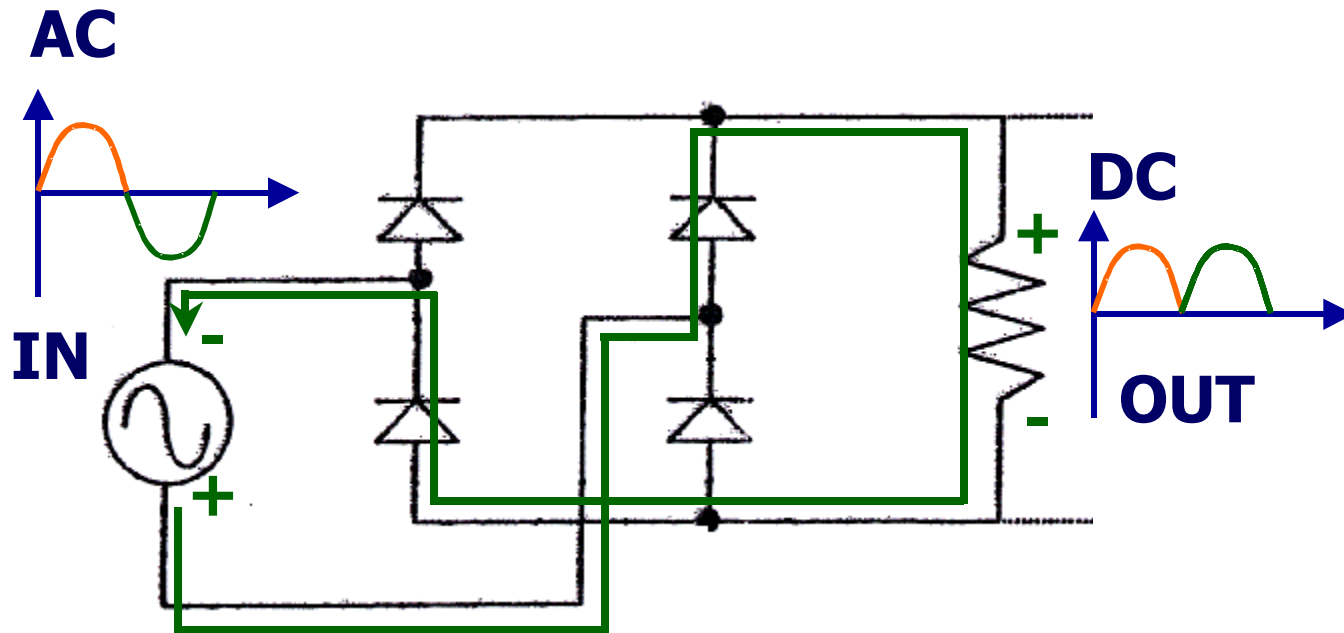
# *Inverter Technology : The Basics*

## **Example of AC → DC Rectifier**



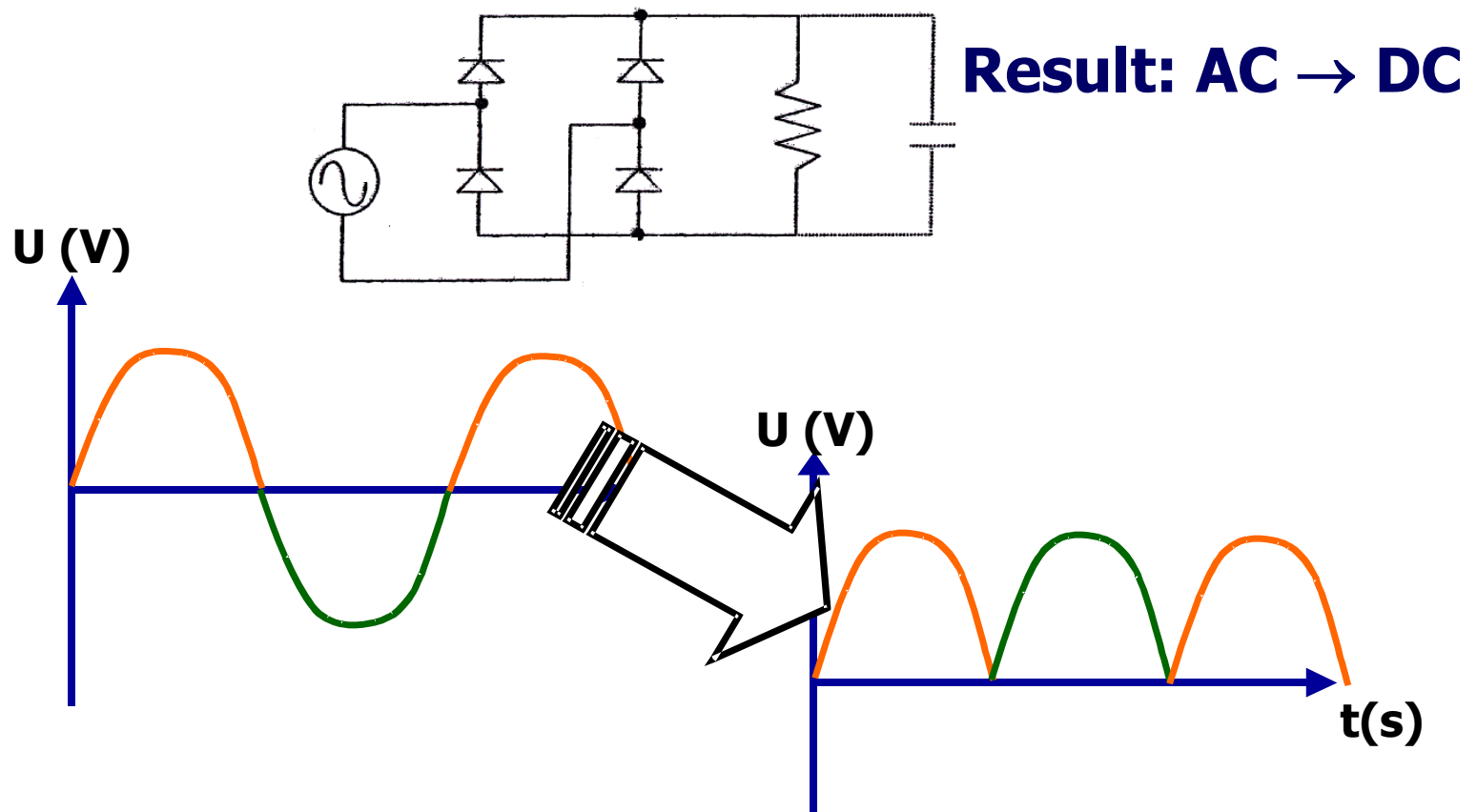
# *Inverter Technology : The Basics*

## **Example of AC → DC Rectifier**



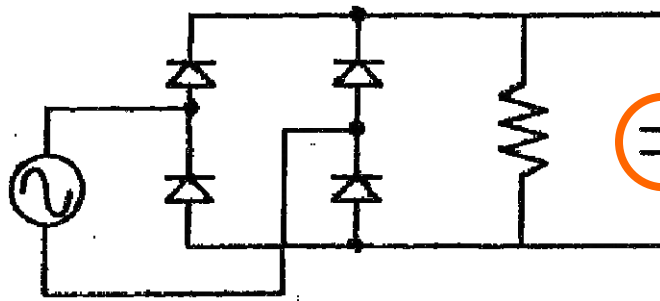
# *Inverter Technology : The Basics*

## **Example of AC → DC Rectifier**

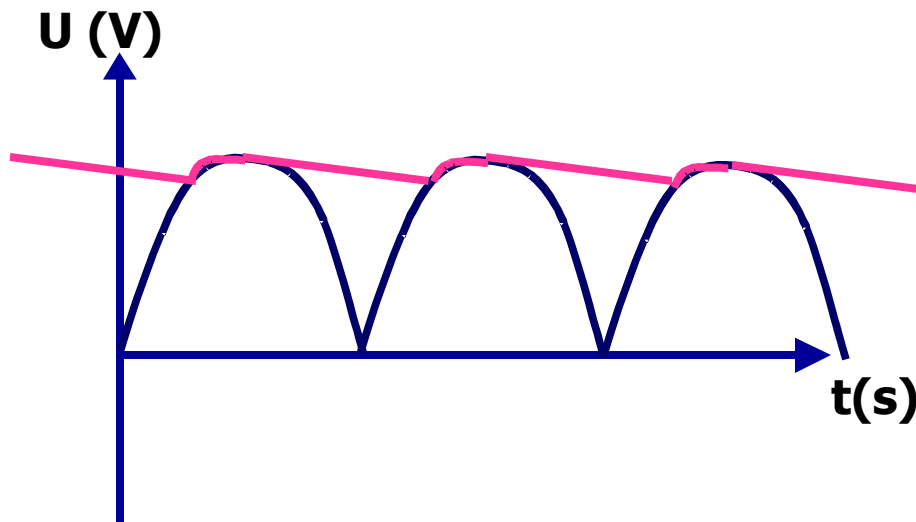


# *Inverter Technology : The Basics*

## Smoothing the DC

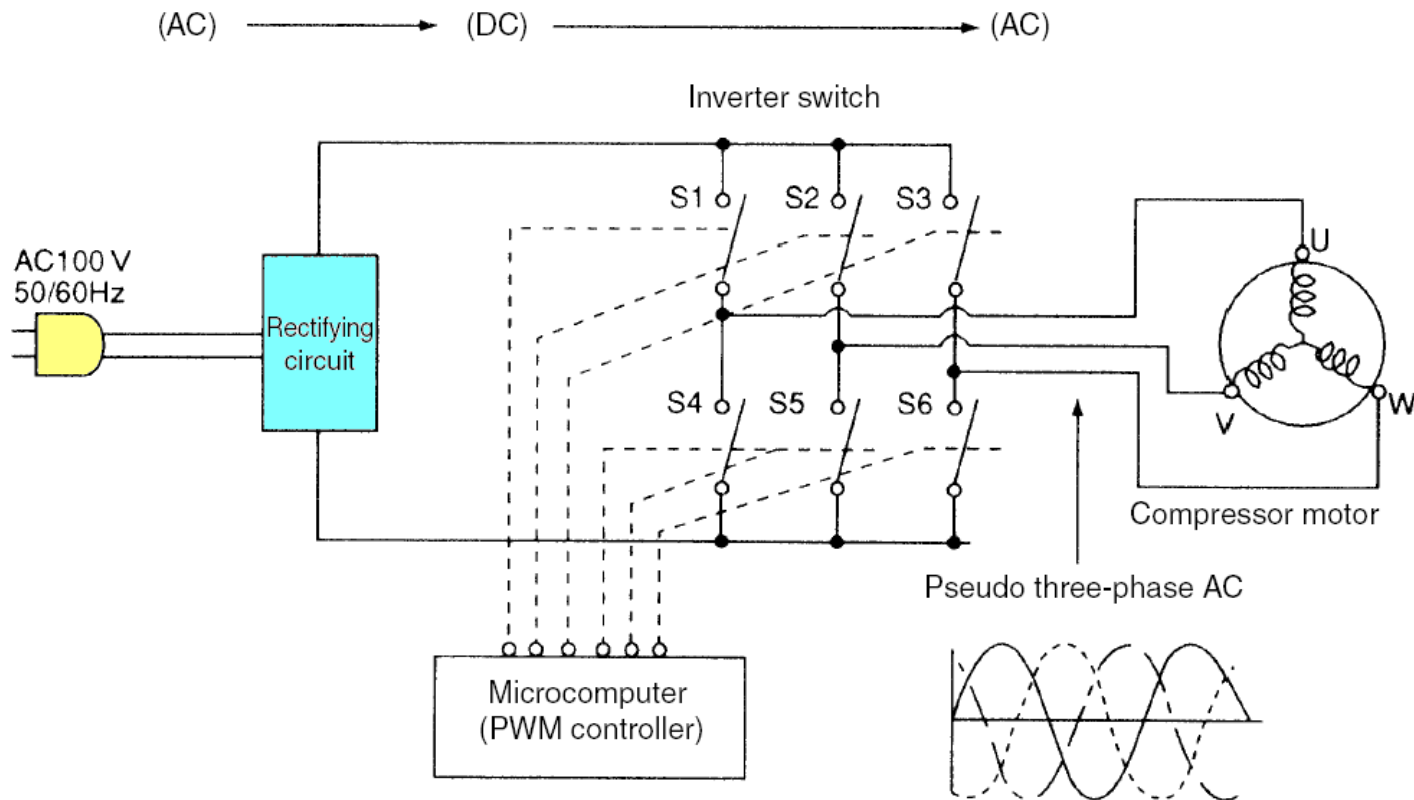


By using a Capacitor



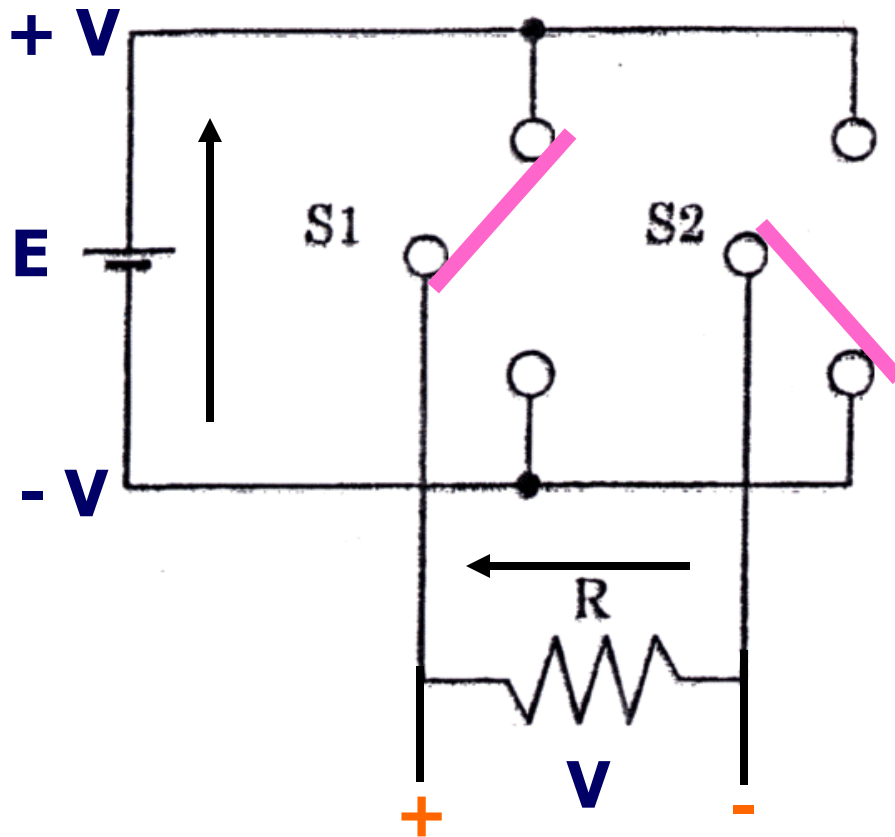
# *Inverter Technology : The Basics*

## DC → AC Inverter

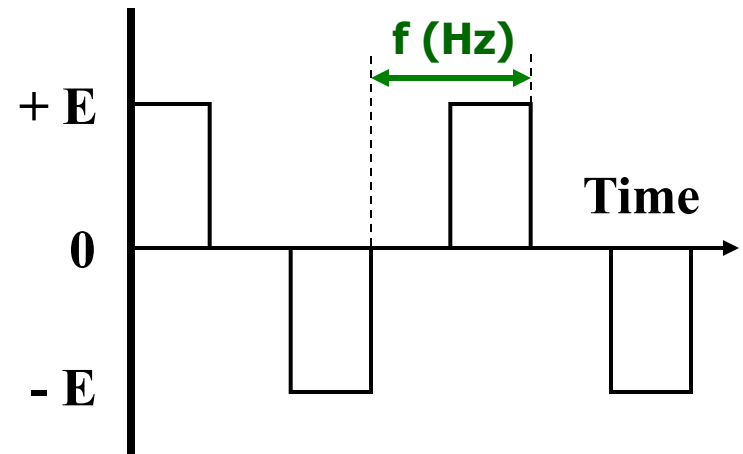


# *Inverter Technology : The Basics*

## Converting Pure DCV to Digital ACV



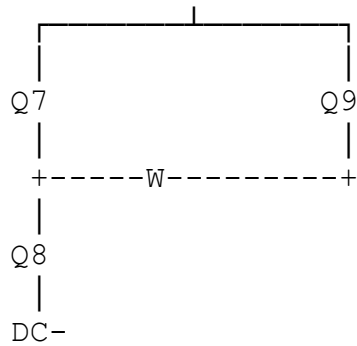
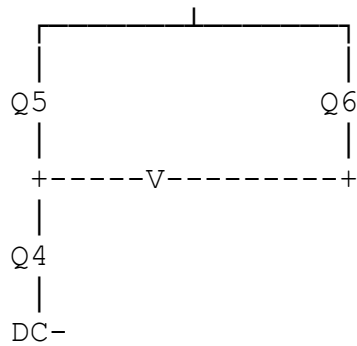
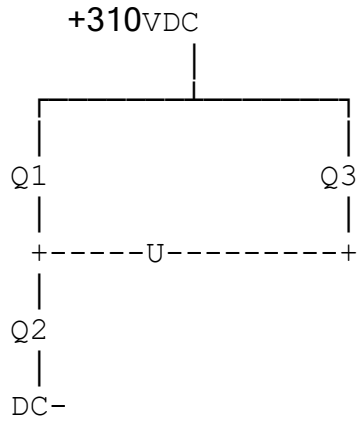
|     |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| S 1 | + | 0 | 0 | + | + | 0 | 0 |
| S 2 | 0 | 0 | + | + | 0 | 0 | + |



By changing the switch speed, we can change the Frequency.

# Inverter Output Stage

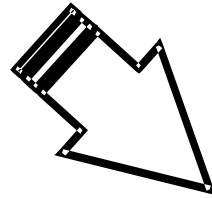
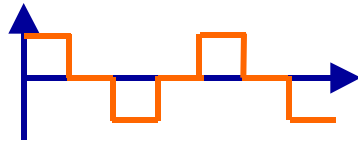
Compressor Motor ကို Three Phase ဖြင့် မောင်းရန် IGBT/MOSFET 6 လုံး အသုံးပြုထားသည်။



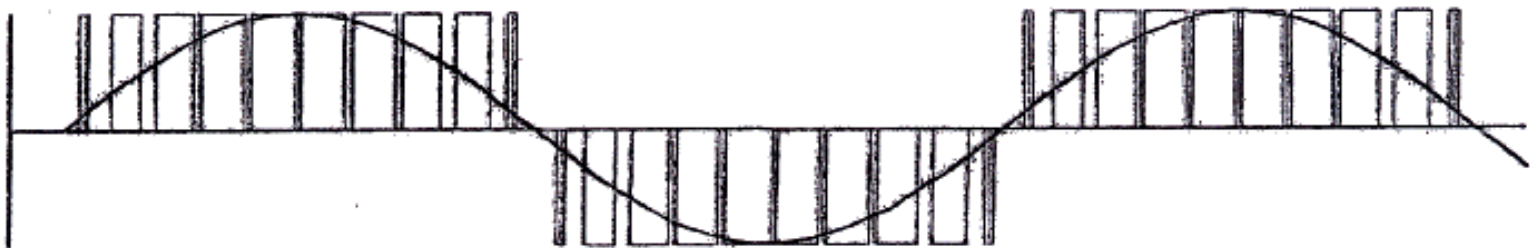
အမှန်တကယ်တွင် 6-Switch Three Phase Bridge ဖြစ်သည်။

# *Inverter Technology : The Basics*

**P.W.M. = Improving the AC**



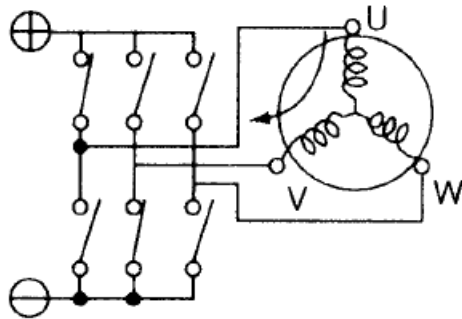
**Pulse Width Modulation**



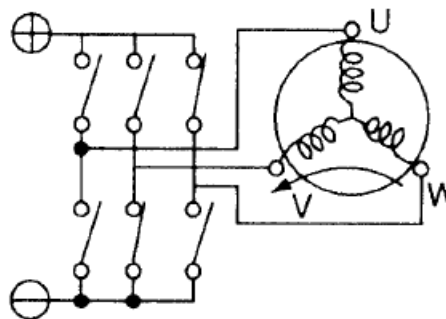
# *Inverter Technology : The Basics*

## **Inverter Circuit**

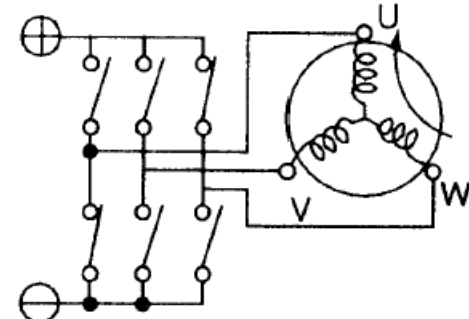
1 S1-S5(ON)



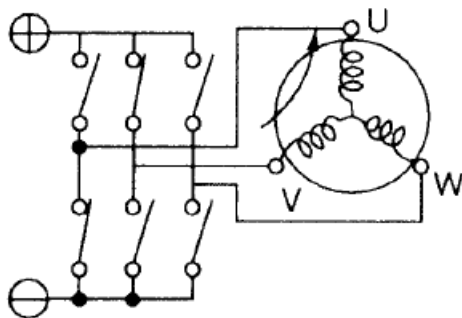
2 S3-S5(ON)



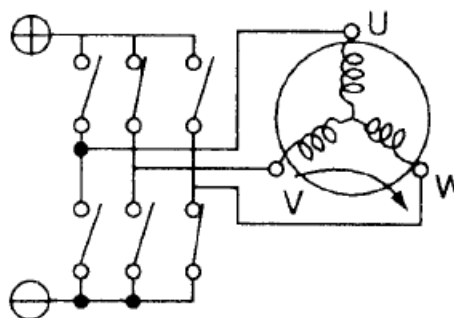
3 S3-S4(ON)



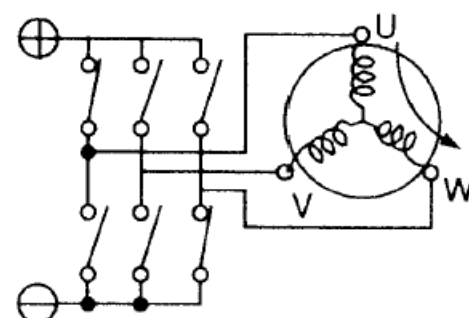
4 S2-S4(ON)



5 S2-S6(ON)

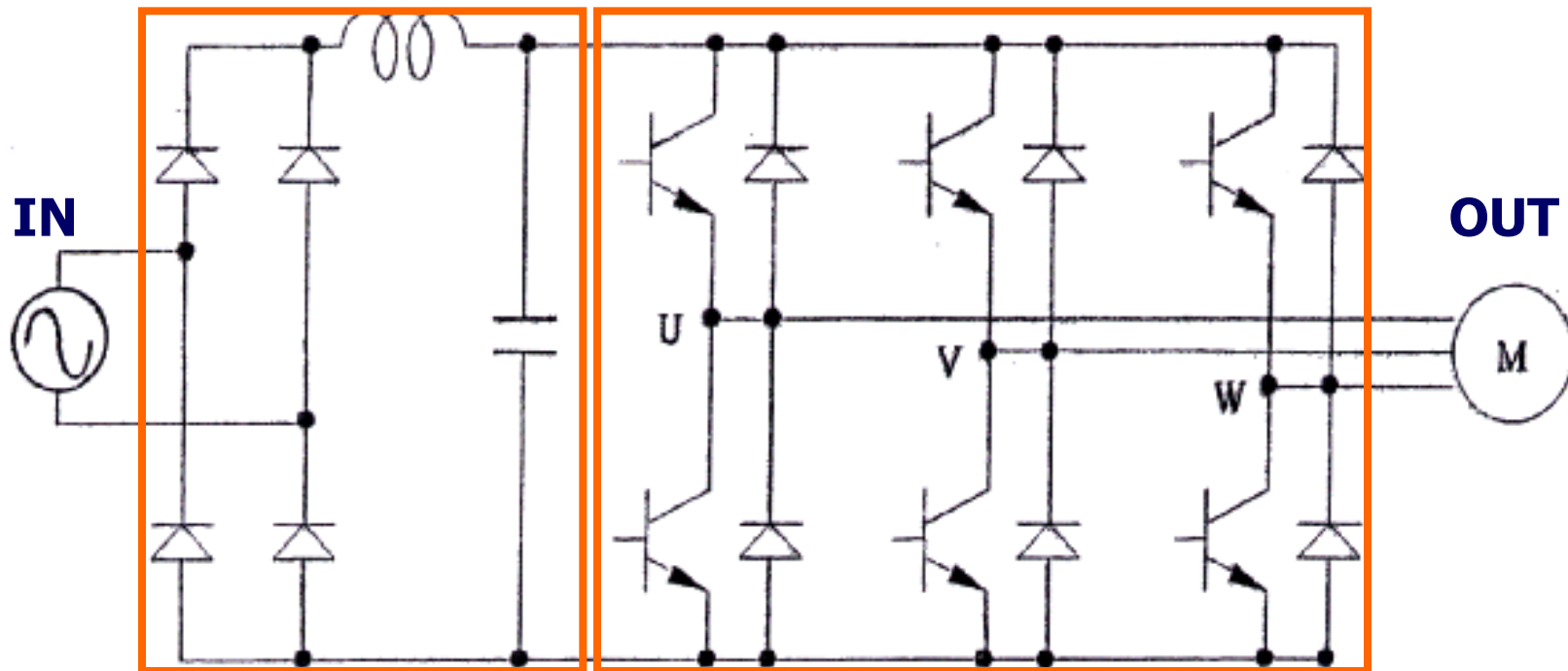


6 S1-S6(ON)



# *Inverter Technology : The Basics*

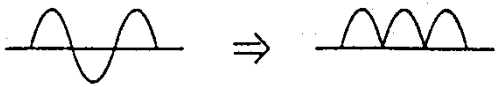
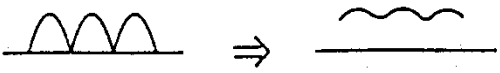
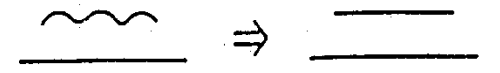
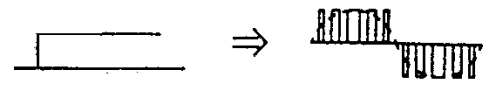
## **The Air- Conditioning Inverter**



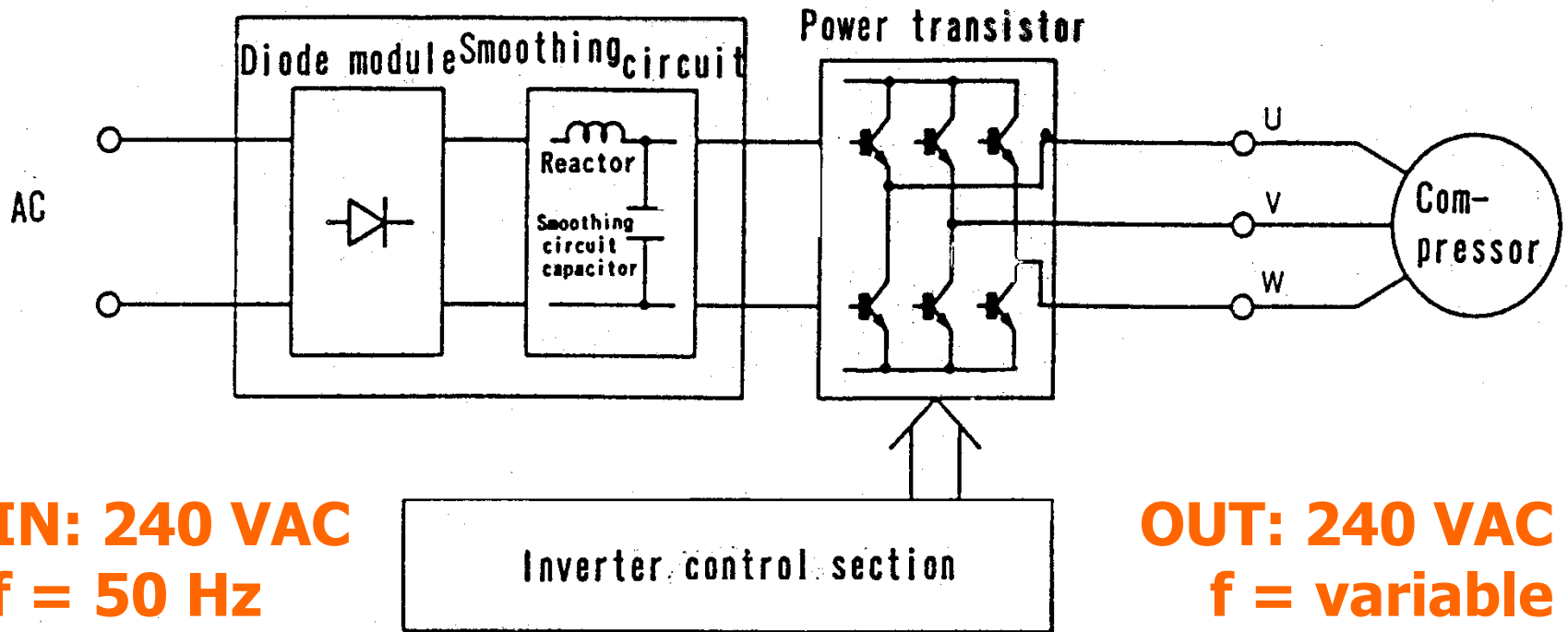
**AC - DC Rectifier  
with Smoothing**

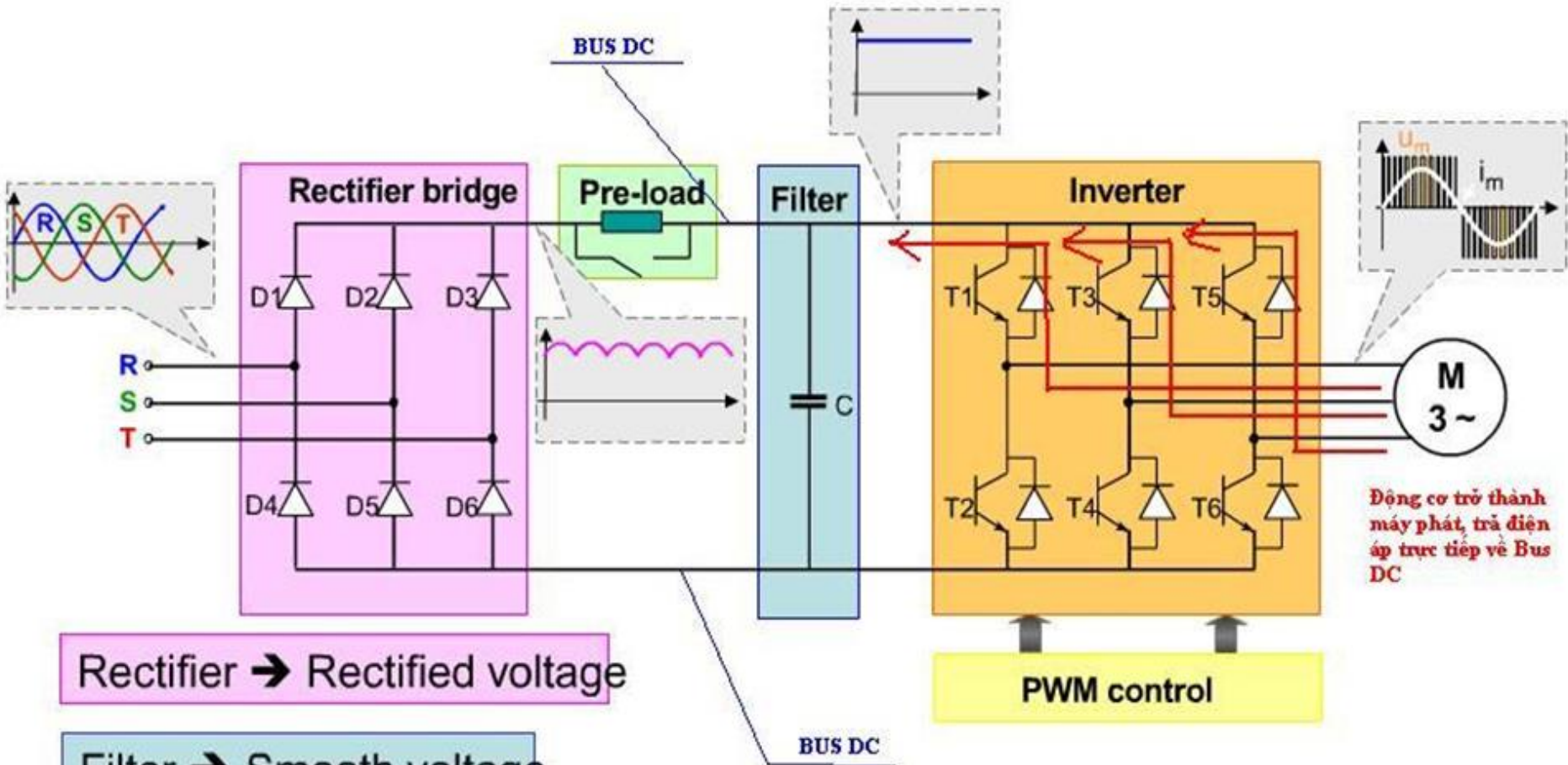
**DC - AC Inverter  
with P.W.M.**

# Overview of the different Phases

| Name                               | Function                                                                                                                                  |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Diode Module</b>                | Rectify AC and convert it to DC.<br>                    |
| <b>Smoothing circuit Capacitor</b> | Make DC smoother by charging and discharging.<br>       |
| <b>Reactor</b>                     | Decrease ripples.<br>                                   |
| <b>Power transistor</b>            | Make AC of approximate sine waves by dividing DC.<br> |
| <b>Control section</b>             | Emit signal to switch on power transistor when operation and frequency setting commands are received.                                     |

# Summary





Rectifier → Rectified voltage

Filter → Smooth voltage

Inverter → Production of AC 3-phase supply varied in frequency and voltage

Động cơ trở thành máy phát, trả điện áp trực tiếp về Bus DC

How to Play in  
Room Air conditioners  
And  
VRV, VRF system

220 VAC Single Phase

|

EMI Filter

|

Bridge Rectifier

|

DC Bus Capacitor

≈ 310~340 VDC

|

IGBT/IPM Inverter

|

U V W

| | |

3-Phase PMSM Compressor

**U, V, W သည် Three-Phase လား?  
ဟုတ်ပါတယ်။**

U, V, W သည်

- 120° Phase Shift ရှိသော
- PWM ဖြင့် ဖန်တီးထားသည့်
- Variable Voltage

• Variable Frequency  
Three-Phase Output ဖြစ်သည်။

သို့သော်

**Power Grid ကဲ့သို့ 50 Hz Sinusoidal Wave  
အစစ်မဟုတ်ပါ။**

PWM Wave ကို Motor Inductance က Filter  
လုပ်ပြီး Sinusoidal Current နီးပါး ဖြစ်စေပါသည်။

## U-V, V-W, W-U တိုင်းလျှင် 220V လား?

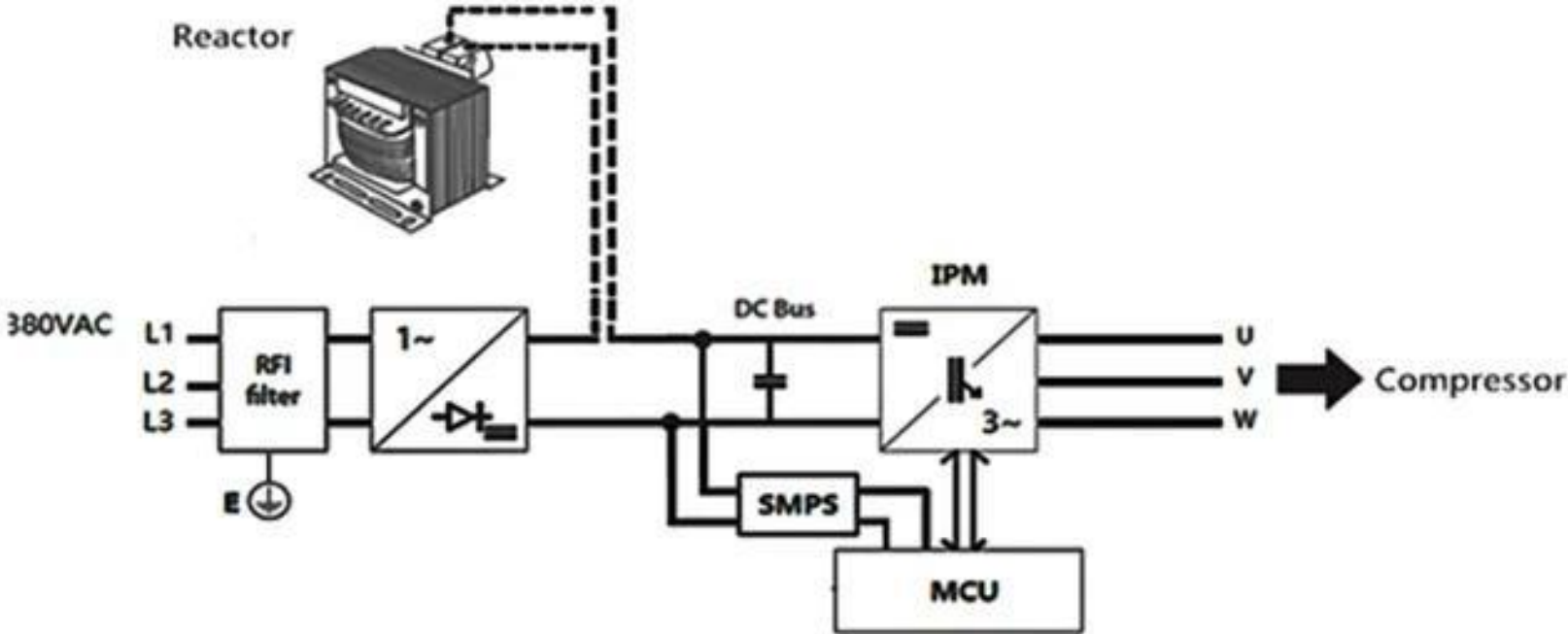
မသေချာပါ။

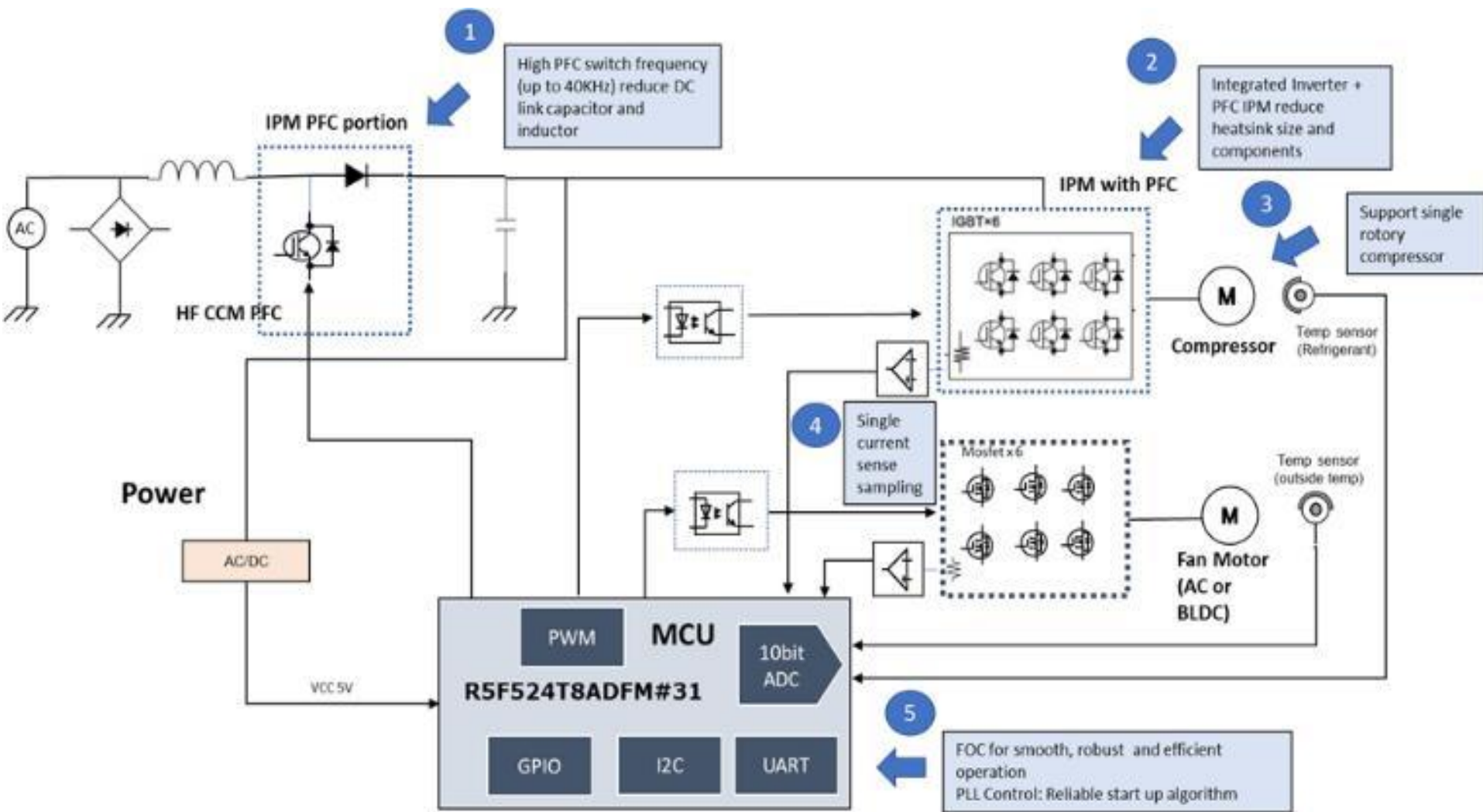
Output Voltage သည် Compressor Speed ပေါ်မူတည်၍ အမြဲပြောင်းနေသည်။

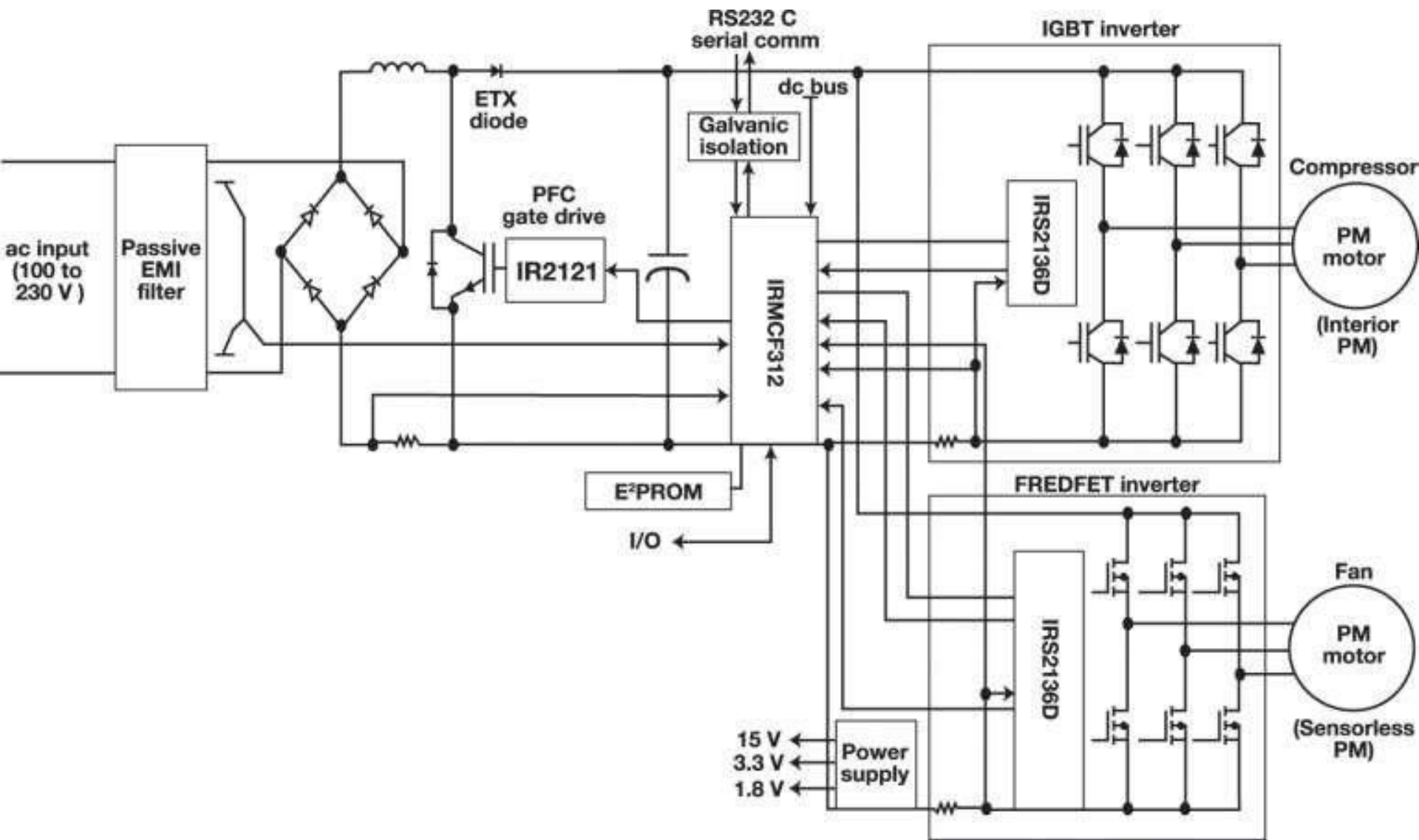
ဥပမာ  
အချို့ Model များတွင် အမြန်နှုန်းမြင့်စွာ လည်ပတ်ချိန်၌ Line-to-Line RMS သည် 300 V ကျော်နိုင်ပါသည်။

| Compressor Speed | Frequency                    | Line-Line Voltage (U-V) |
|------------------|------------------------------|-------------------------|
| Low Speed        | 15 Hz                        | 60–100 V                |
| Medium Speed     | 35 Hz                        | 150–200 V               |
| Full Speed       | 60–120 Hz<br>(မော်ဒယ်အလိုက်) | 220–300 V ခန့်          |

# System structure principle block diagram for three phase

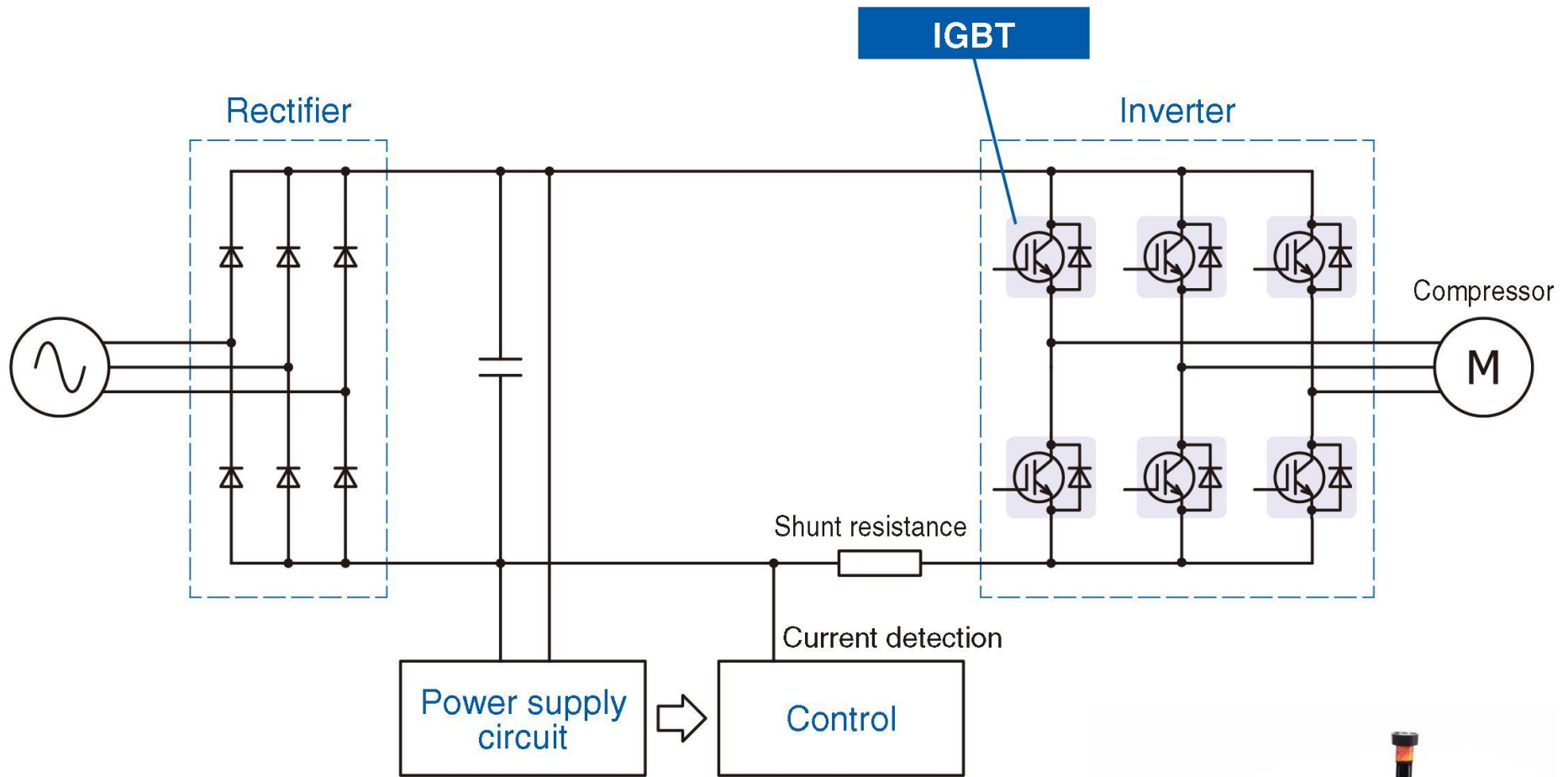




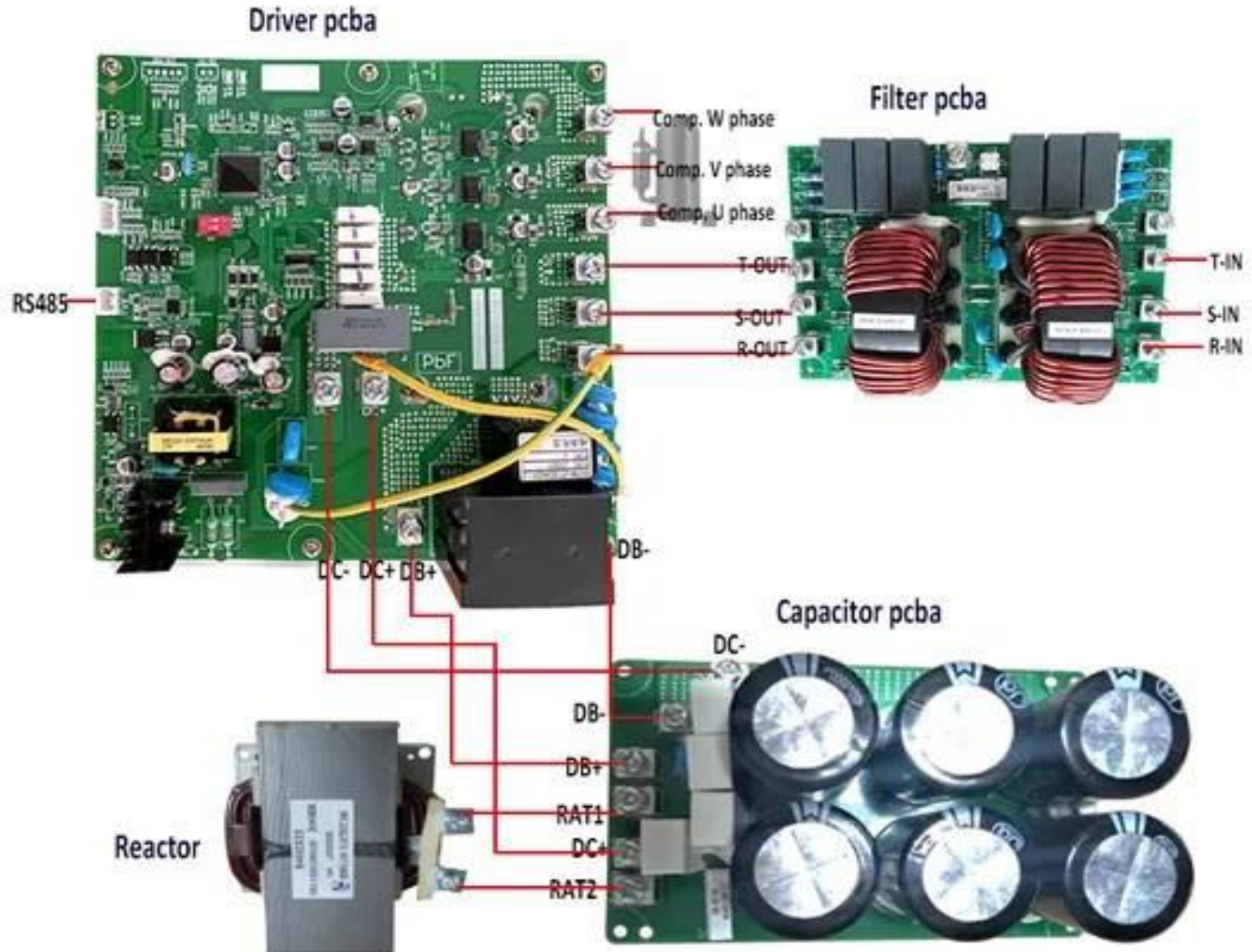


# VRV/VRF နှင့် Split AC ကွာခြားချက်

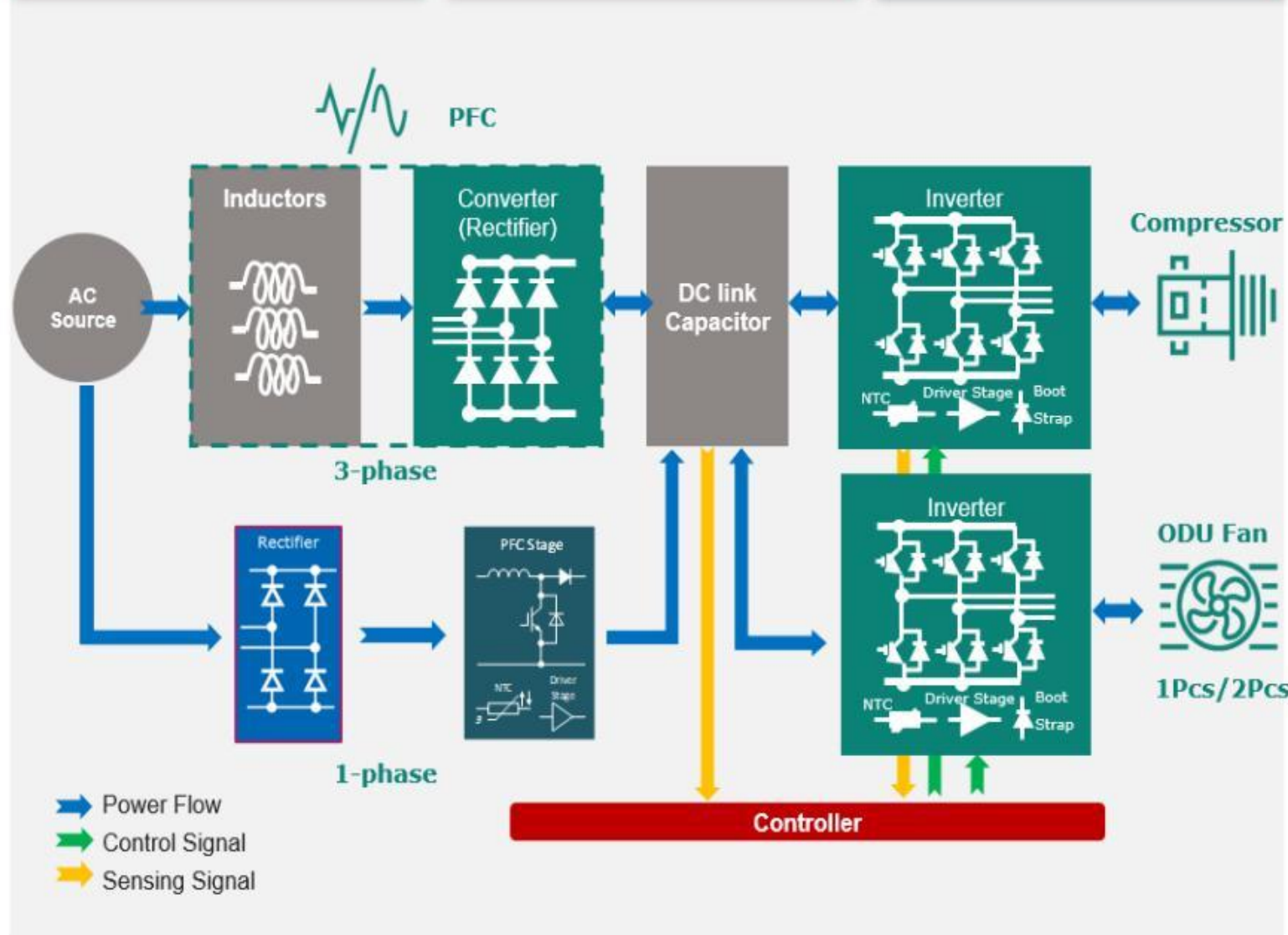
|                      |                                |                                |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| အချက်                | Single Phase Split AC          | Three Phase VRV/VRF            |
| Input                | 220 VAC                        | 380–415 VAC                    |
| DC Bus               | 310–340 VDC                    | 540–650 VDC                    |
| Output               | PWM 3-Phase                    | PWM 3-Phase                    |
| Compressor           | PMSM/BLDC                      | PMSM                           |
| Maximum Line Voltage | ~220–300 VAC (Model ပေါ်မူတည်) | ~380–415 VAC (Model ပေါ်မူတည်) |



# Wiring Diagram



# Outdoor Unit





ELECTROMAGNETIC RELAY

RUSH CURRENT PROTECTION RESISTOR

CAPACITOR

FAN BOARD

DIP SWITCH

ELECTROMAGNETIC CONTACTOR

NOISE FILTER

INV BOARD

CONTROL BOARD

**Refrigerant Charge Adjustment**  
Left diagonal switches on 75%    Left diagonal switches on 100%  
Right diagonal switches on 75%    Right diagonal switches on 100%  
Left diagonal switches on 75%    Left diagonal switches on 100%  
Right diagonal switches on 75%    Right diagonal switches on 100%  
Left diagonal switches on 75%    Left diagonal switches on 100%  
Right diagonal switches on 75%    Right diagonal switches on 100%  
Setting the diagonals with VR 2 (20kΩ) (VR 120)

8.842

M-NET BOARD

TB 3

TB 7

TB 1

GROUND TERMINAL

TERMINAL BLOCK FOR POWER SUPPLY

380/400/415 VAC

TERMINAL BLOCK FOR TRANSMISSION LINE

24 ~ 30 VDC

Rubber Bushing

# What is Inverter ?

**ECONOMIC  
OPERATION**

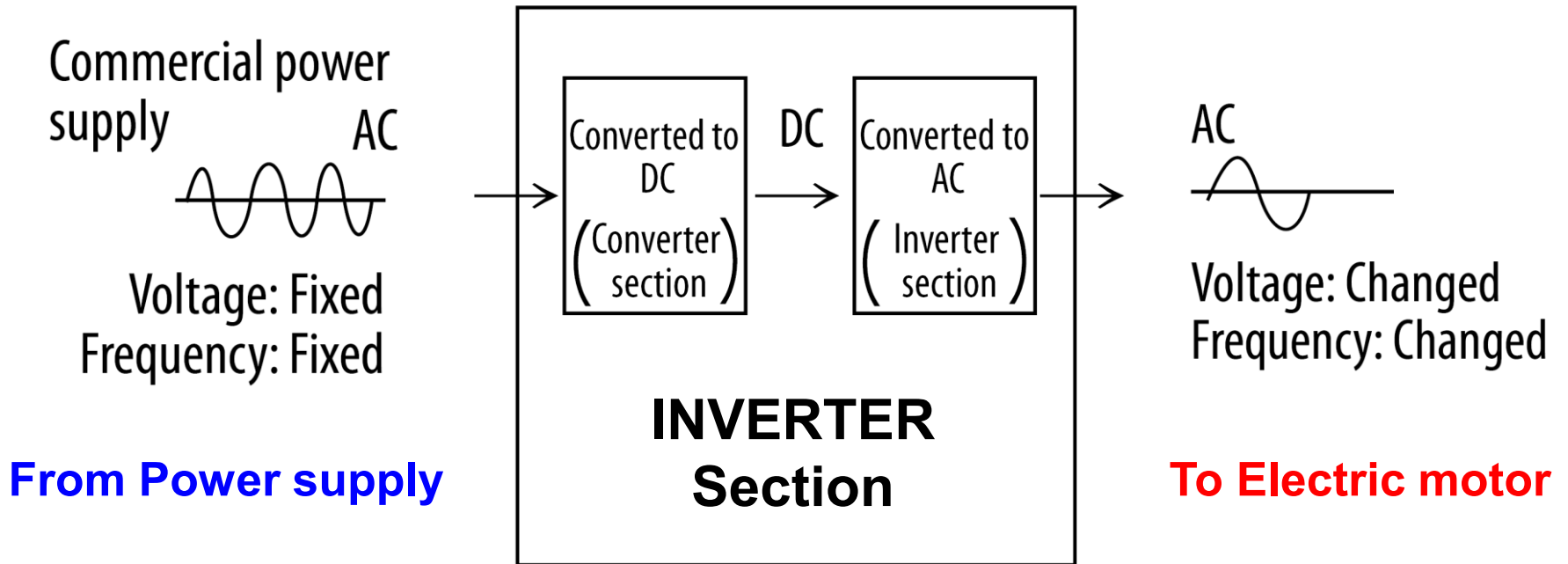
**Energy  
Consumption**

**Inverter Control**

**TRUE  
COMFORT**

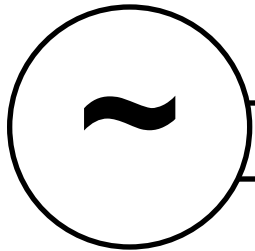
**Human  
Comfort**

# Principle of Inverter

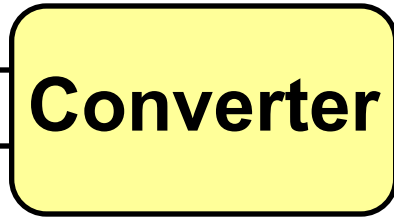


# Principle of Inverter

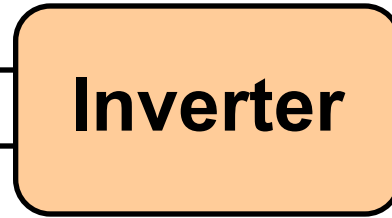
Power Supply



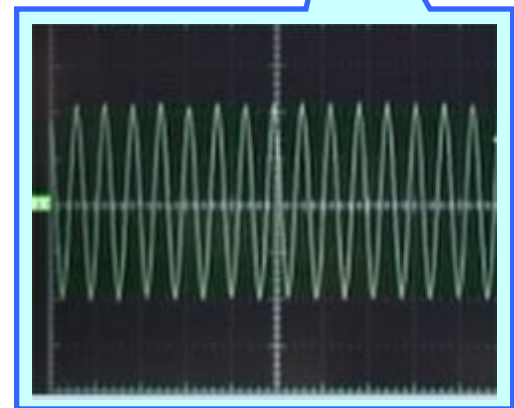
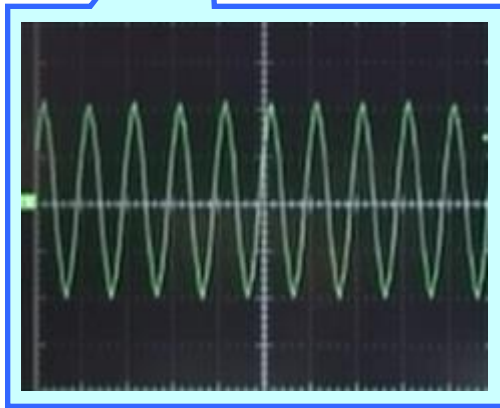
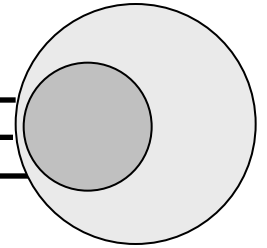
Converter



Inverter



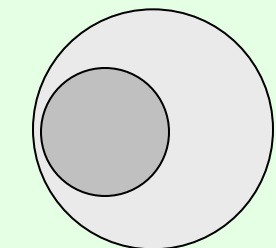
Compressor



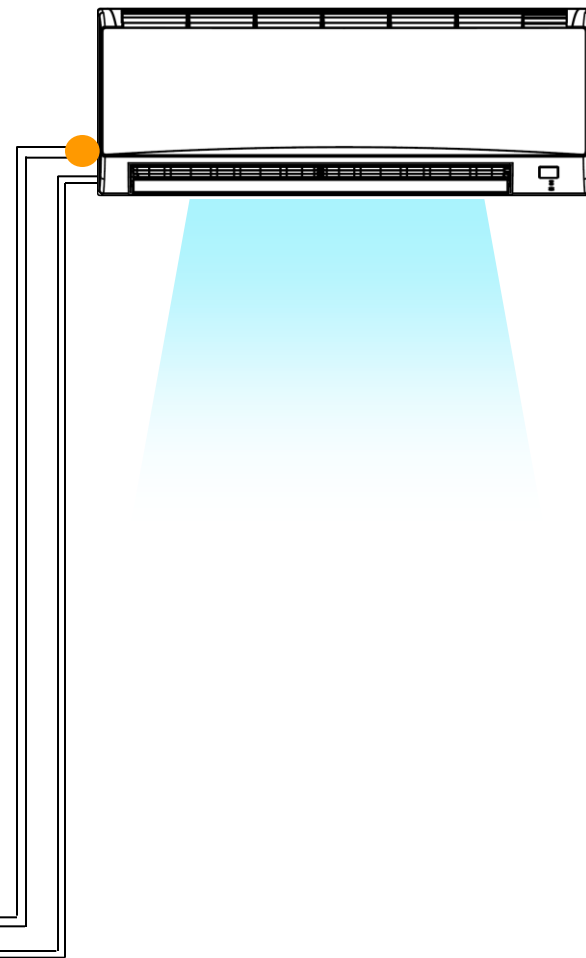
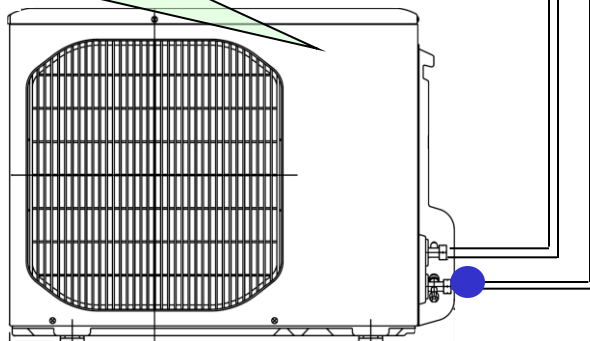
# Highly Efficient Operation

Medium Rotation Speed

Inverter Control



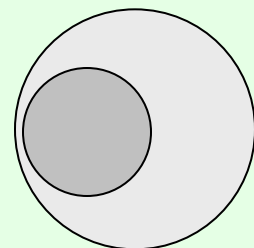
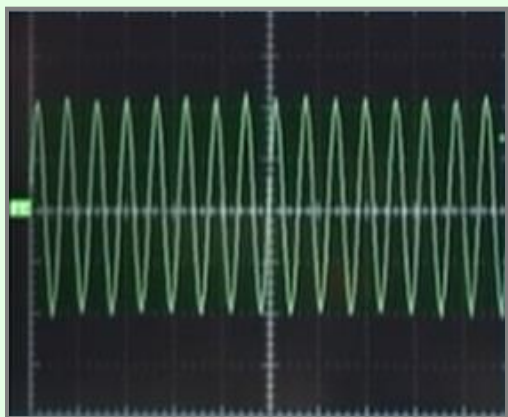
Compressor



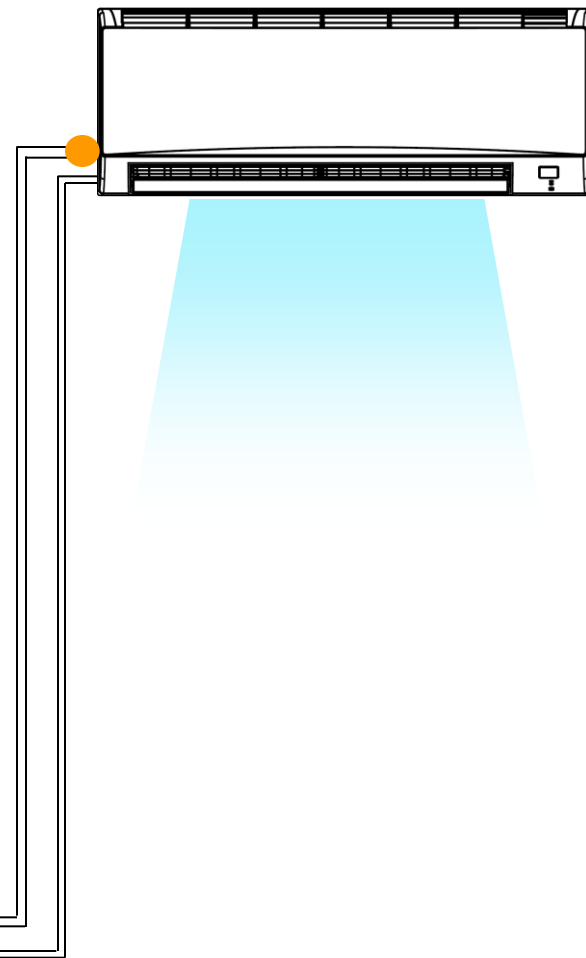
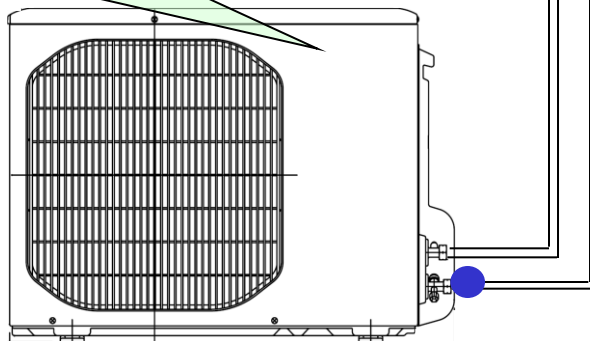
# Highly Efficient Operation

High Rotation Speed  
(Start Operation)

Inverter Control



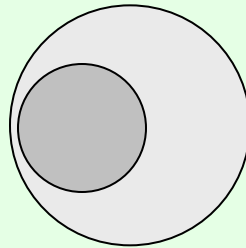
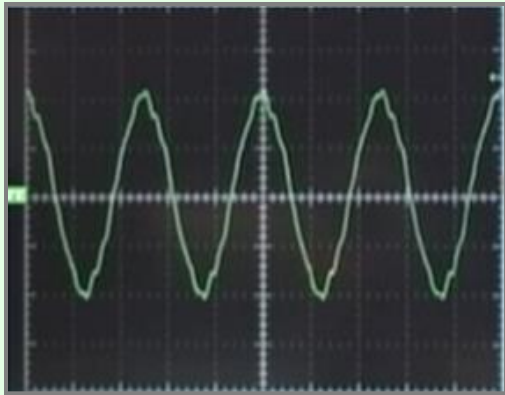
Compressor



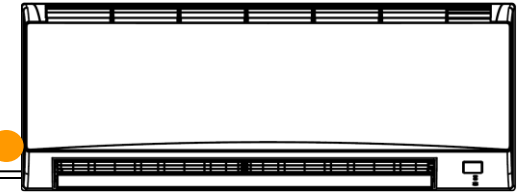
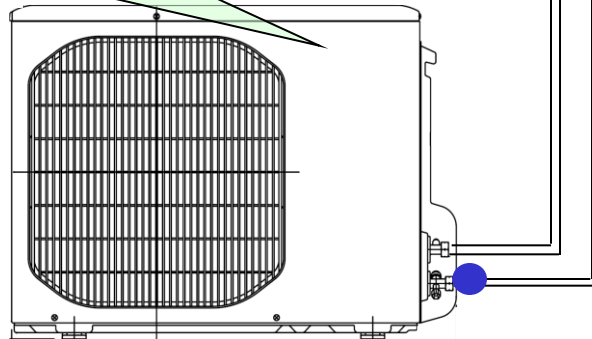
# Highly Efficient Operation

Low Rotation Speed  
(Reach to set temperature)

## Inverter Control



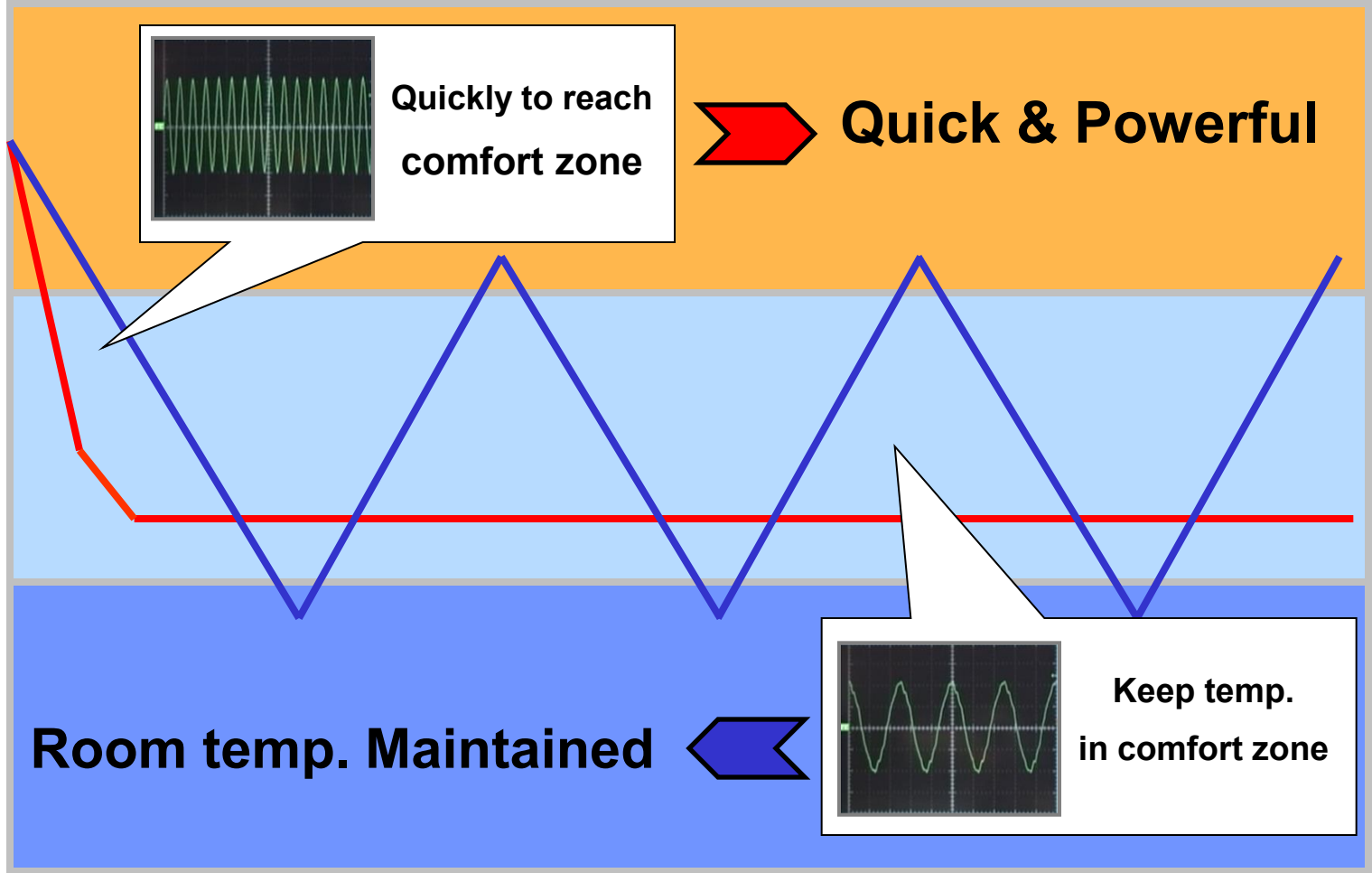
Compressor



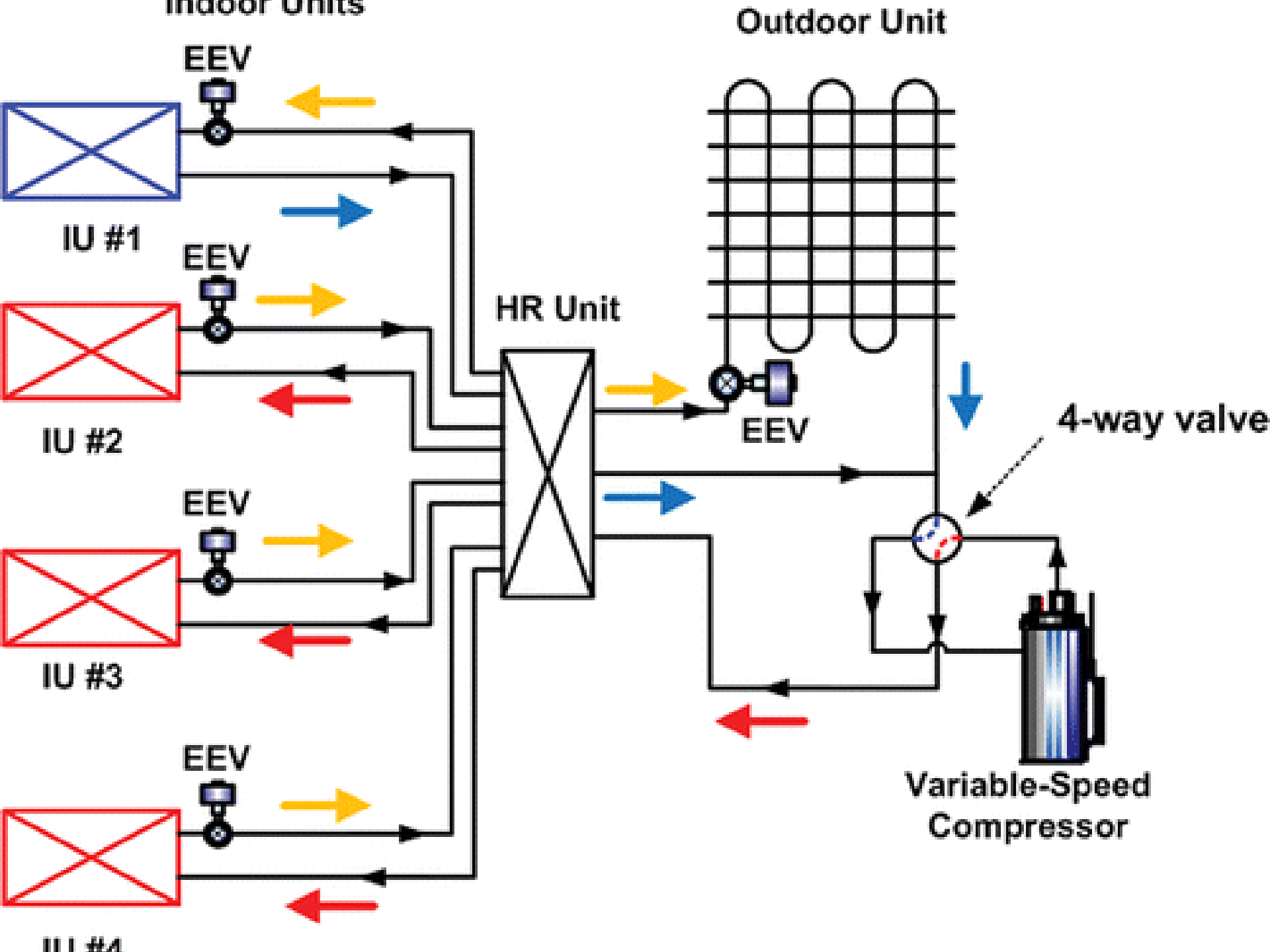
# Illustrated Operation in Cooling Mode

Start of Cooling Mode

After reaching preset temperature

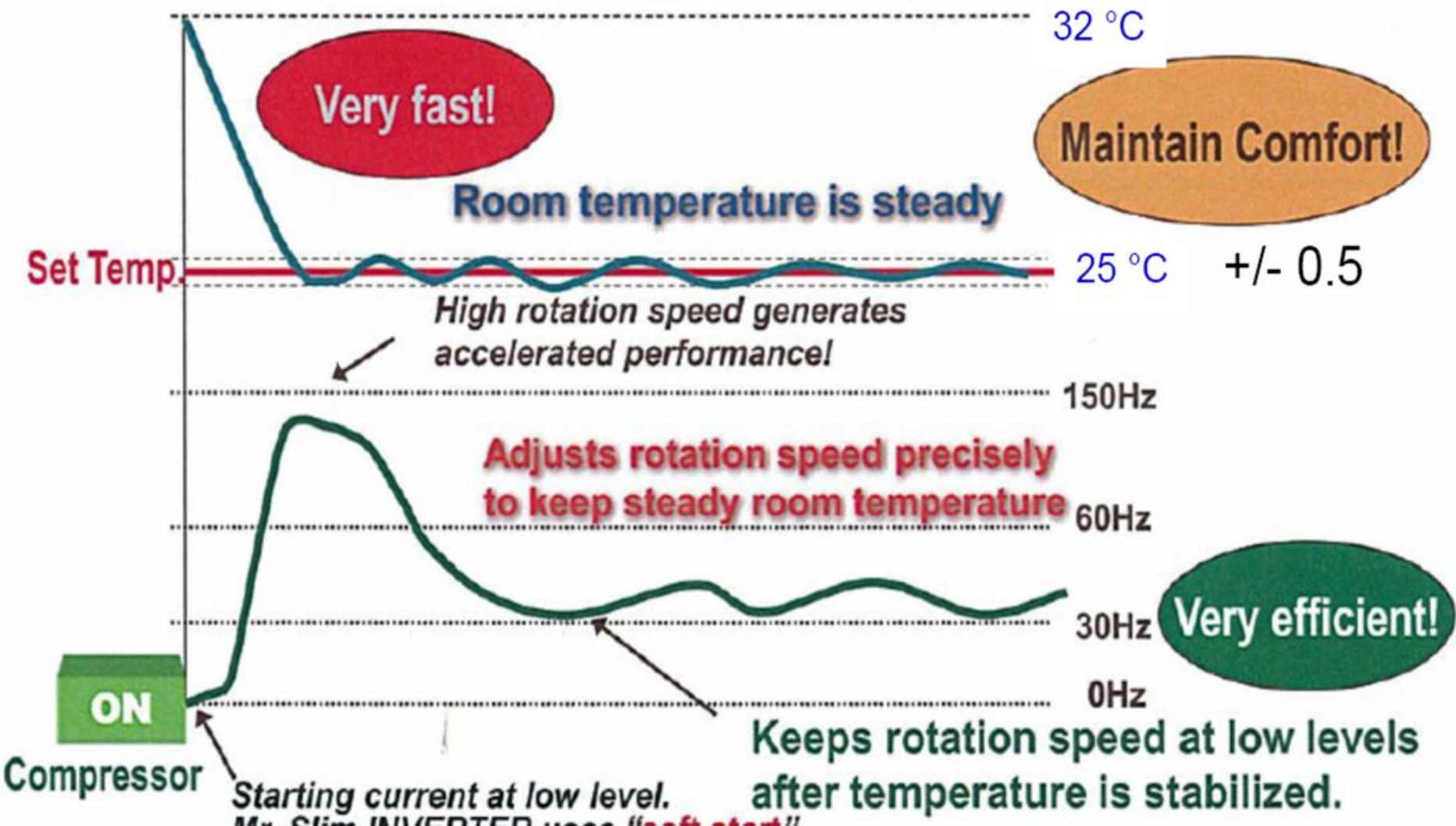


— : With Inverter    — : Without Inverter

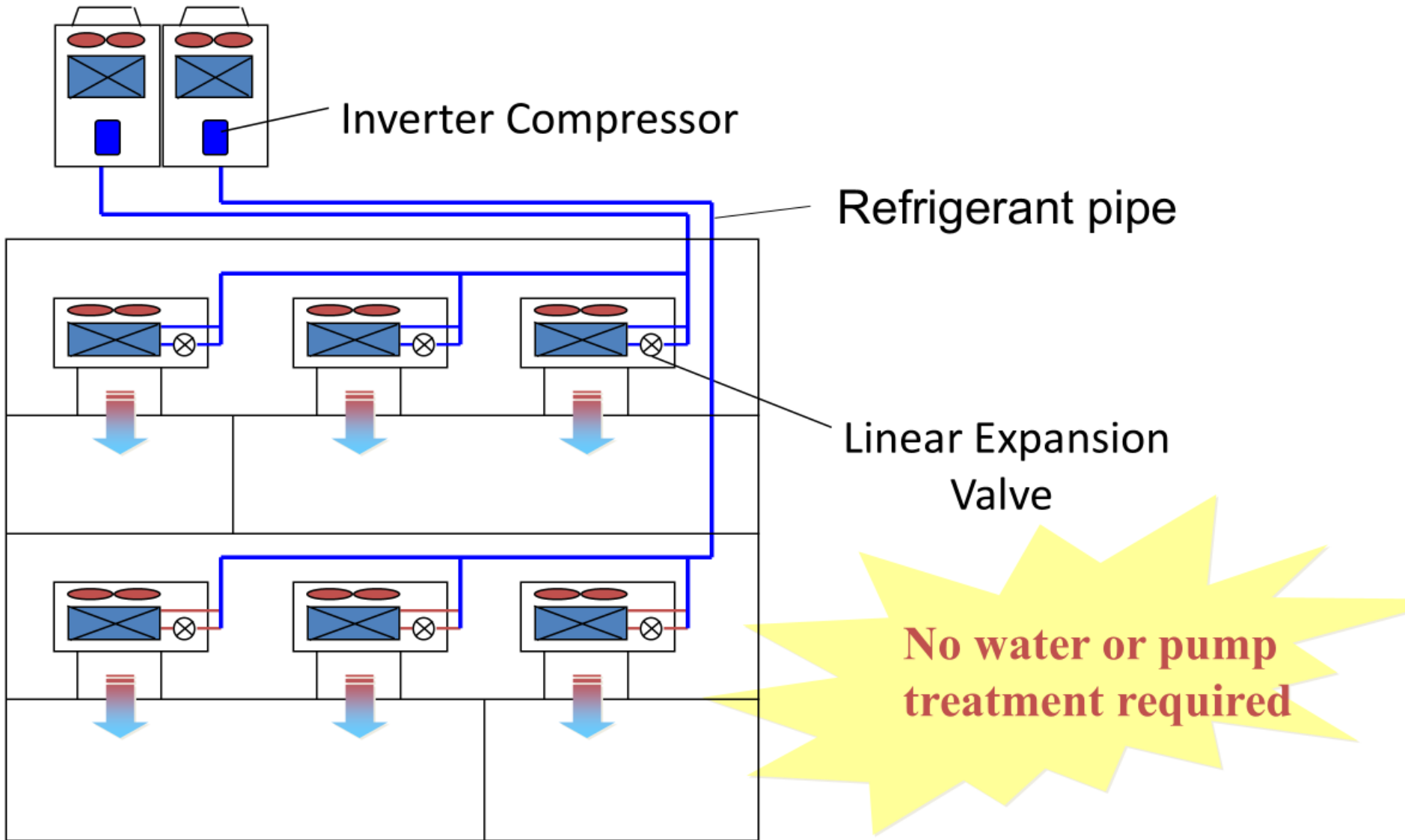


# Energy Saving

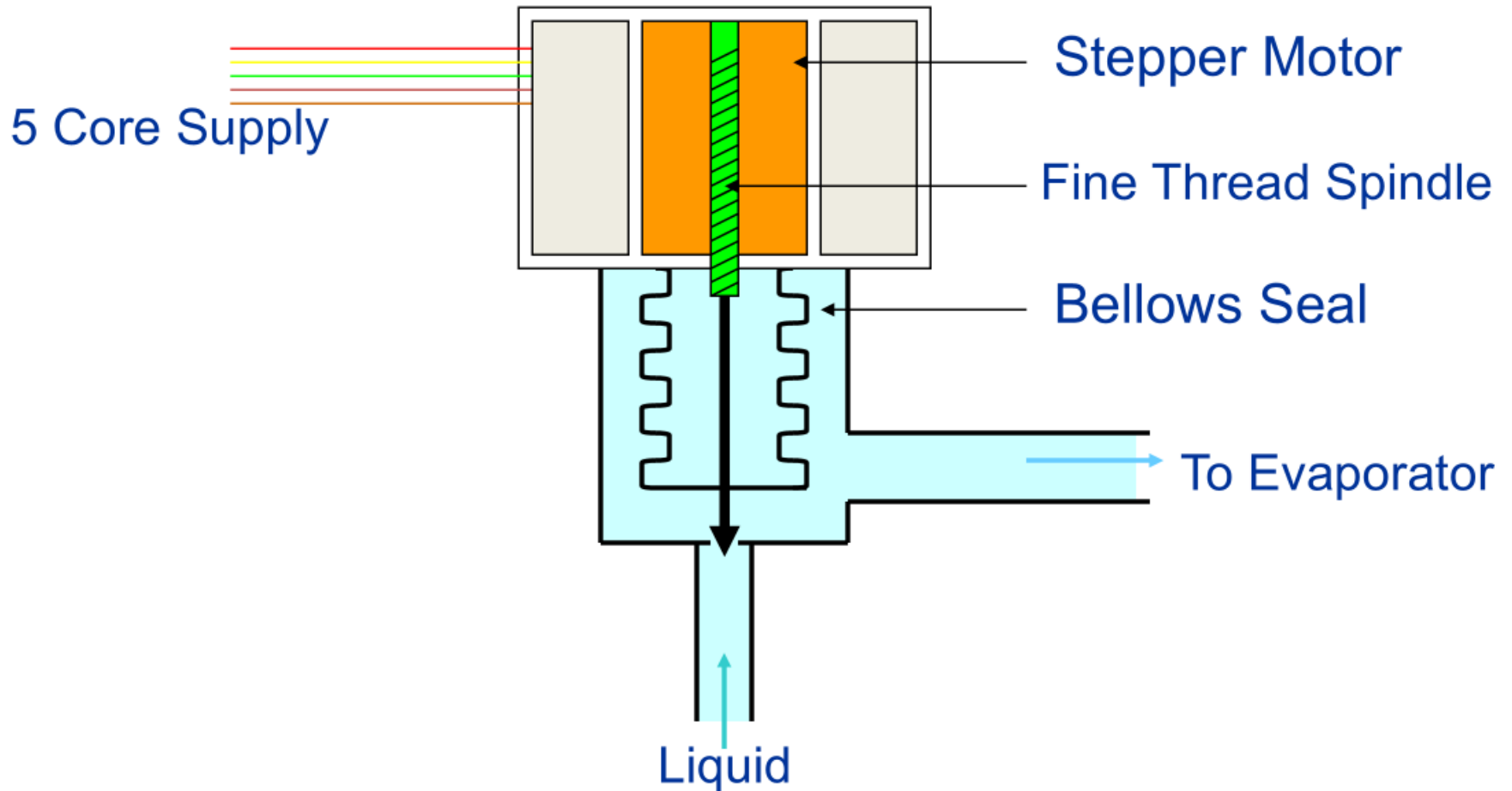
## Smooth INVERTER Compressor Control & Operation



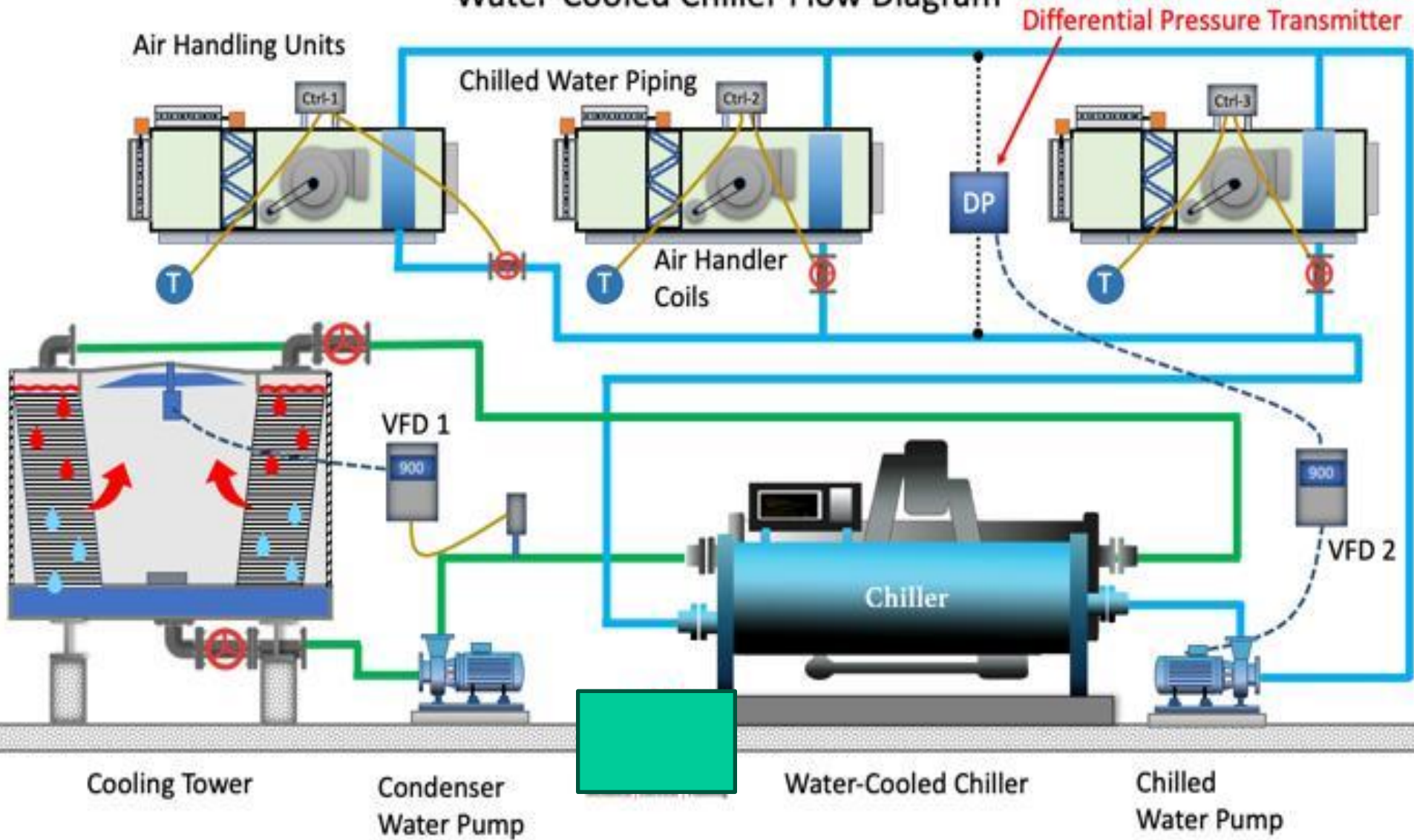
# Example of VRF system

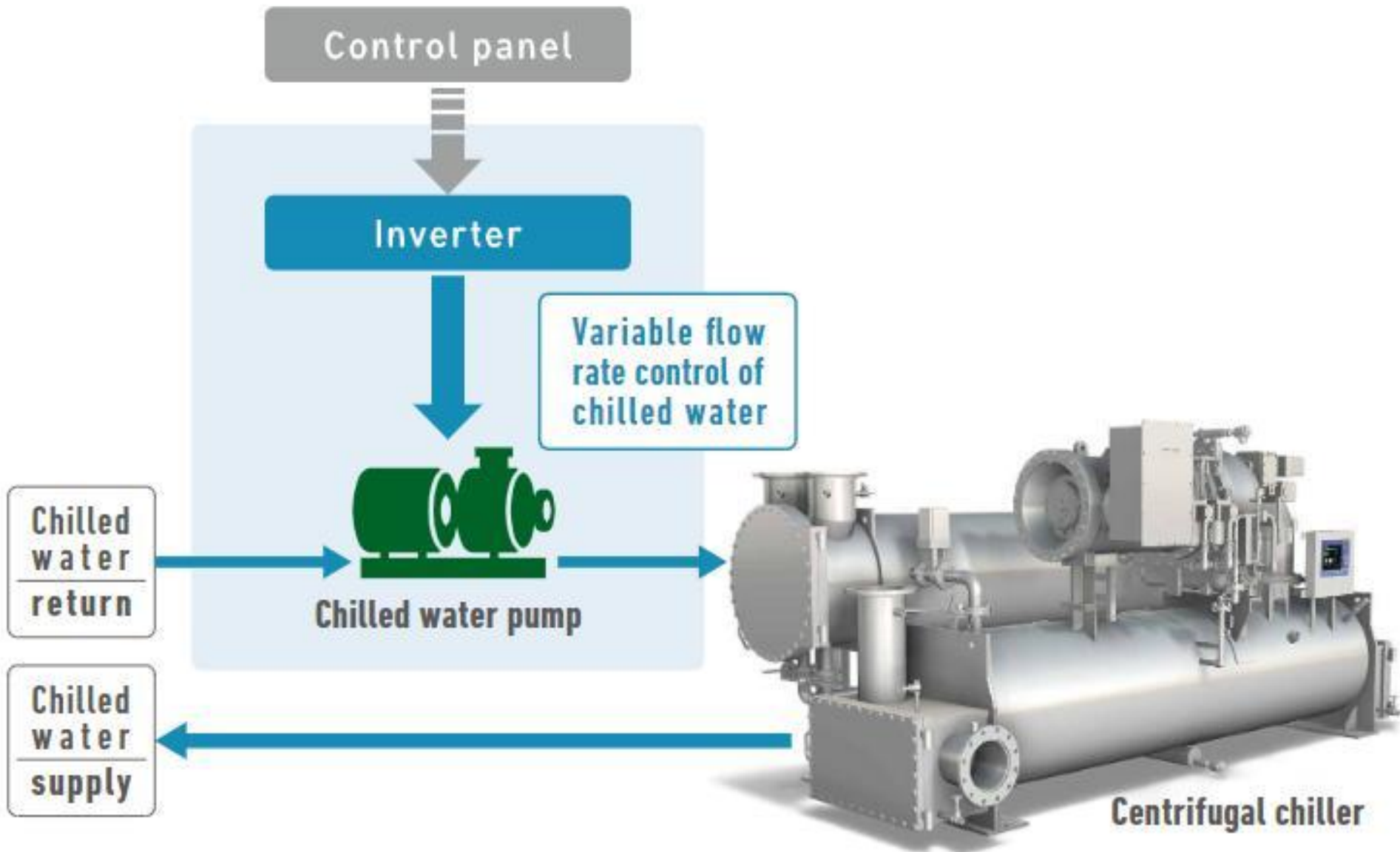


# Electronic Expansion Valve



# Water-Cooled Chiller Flow Diagram





Control panel

Inverter

Variable flow rate control of chilled water

Chilled water return

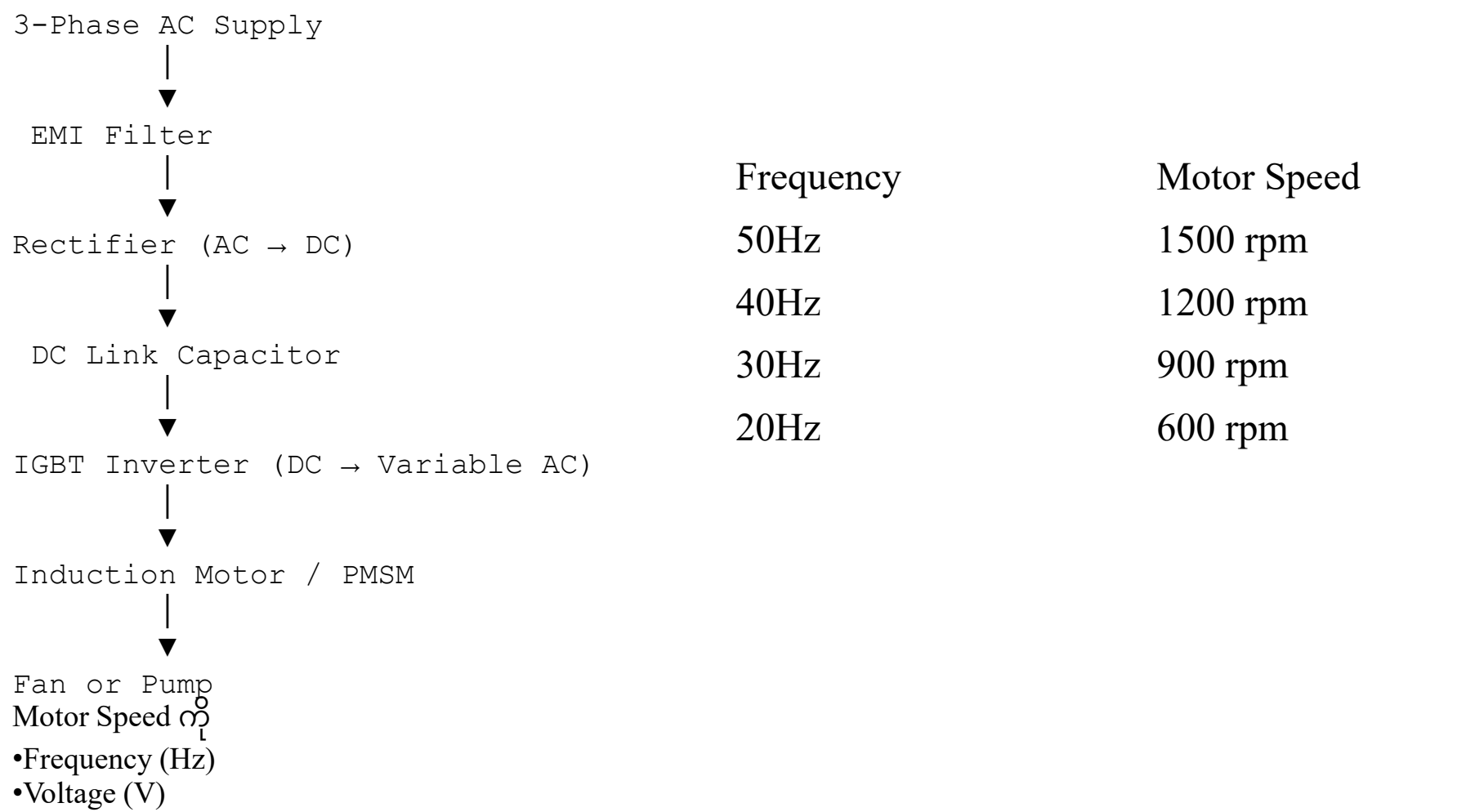
Chilled water pump

Chilled water supply

Centrifugal chiller

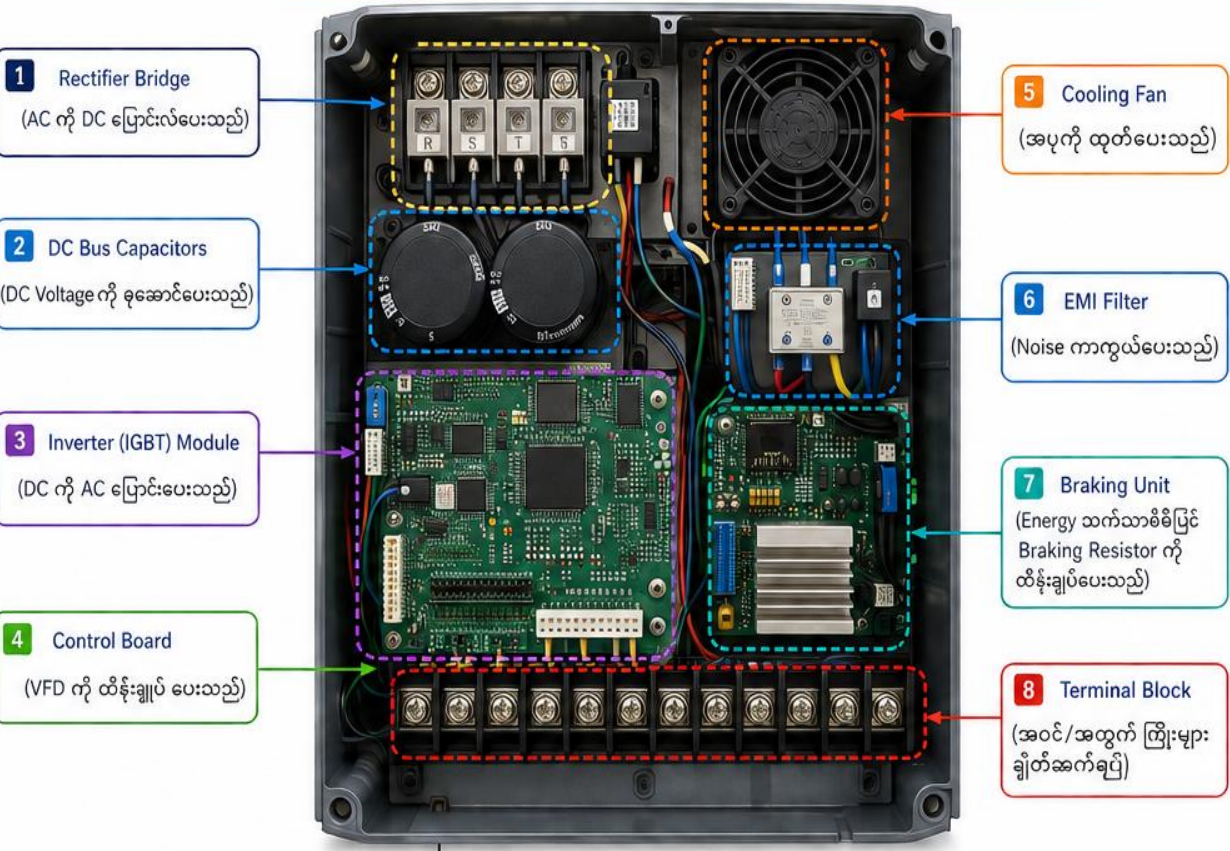
# Fans and Pumps

**Ventilation Fan နှင့် Water Pumping System များတွင် Inverter Technology (Variable Frequency Drive - VFD) ကို အသုံးပြုခြင်း၏ အဓိကရည်ရွယ်ချက်မှာ Motor Speed ကို Load အလိုက် အလိုအလျောက် ပြောင်းလဲထိန်းချုပ်ရန် ဖြစ်ပါသည်။** ယခင် DOL (Direct-On-Line) စနစ်ကဲ့သို့ Motor ကို 100% Speed ဖြင့် အမြဲလည်စေခြင်းမဟုတ်ဘဲ လိုအပ်သလောက်သာ လည်ပတ်စေသဖြင့် လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို 30-70% အထိ ချွေတာနိုင်ပါသည်။

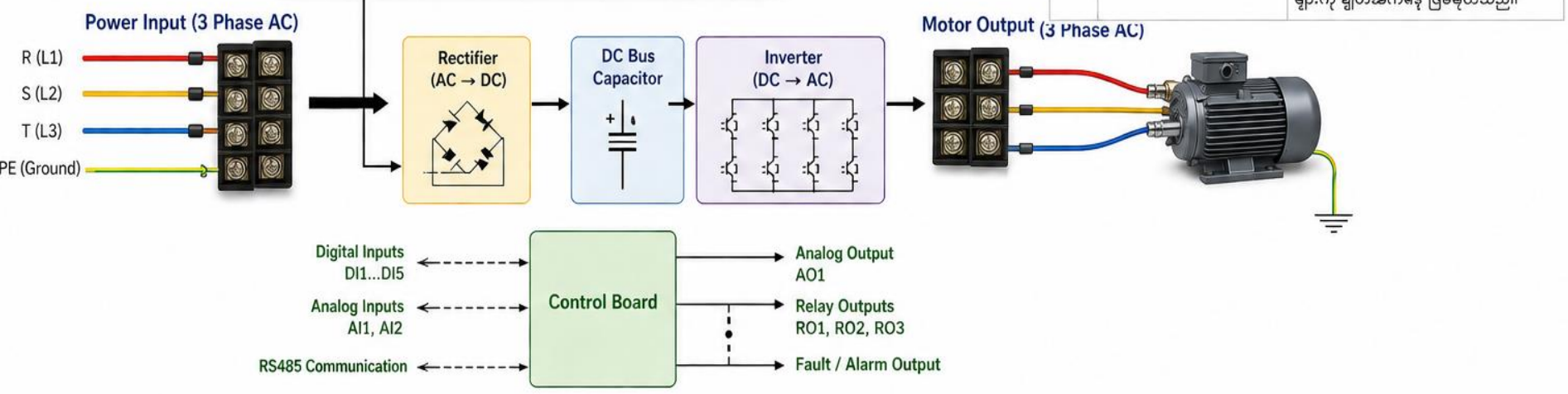


နှစ်ခုလုံးကို ပြောင်းလဲ၍ ထိန်းချုပ်ပါသည်။

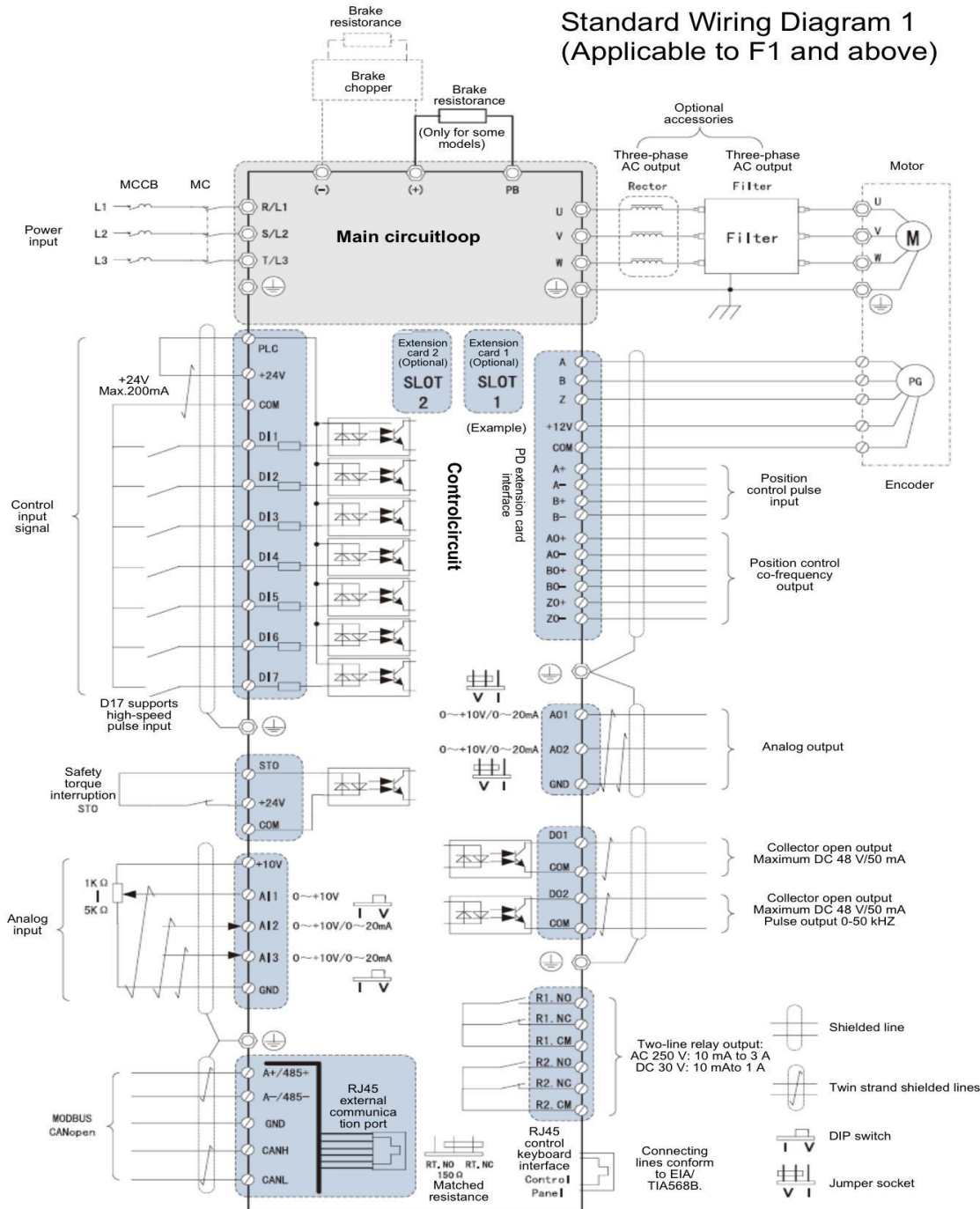
# VFD Drive တစ်ခု၏ အတွင်းပိုင်း ကလွတ် တည်ဆောက်ပုံ



| No. | Component              | Function                                                                                                                     |
|-----|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Rectifier Bridge       | AC အဝင် (R, S, T) ကို DC Voltage အဖြစ် ပြောင်းလဲပေးသည်။                                                                      |
| 2   | DC Bus Capacitors      | Rectifier ထံမှ ထွက်သော DC Voltage ကို ခုခံနိုင်ပြီး ဓာတ်ဖျက် ခံချိတ်ပေးသည်။                                                  |
| 3   | Inverter (IGBT) Module | DC Bus Capacitor ၏ DC ကို PWM နည်းလမ်းဖြင့် AC အဖြစ် ပြောင်းပေးပြီး မော်တာသို့ ထုတ်ပေးသည်။                                   |
| 4   | Control Board          | Microprocessor ဖြင့် ထိန်းချုပ်ပေးပြီး Input/Output စီမံခန့်ခွဲခြင်း၊ PWM Signal ထုတ်ပေးခြင်းနှင့် ကာကွယ်မှုများ ပြုလုပ်သည်။ |
| 5   | Cooling Fan            | Heat Sink နှင့် အခြားအပူပေးပစ္စည်းများ၏ အပူကို ထုတ်ပေး၍ အအေးခံပေးသည်။                                                        |
| 6   | EMI Filter             | Electromagnetic Interference (EMI) ကို လျော့ချပြီး Power Line ကို ကာကွယ်ပေးသည်။                                              |
| 7   | Braking Unit           | မော်တာအား အမြန်ရပ်တန့်ချိန်တွင် ထွက်ပေါ်လာသော Energy ကို Braking Resistor သို့ ပို့ပေးပြီး VFD ကို ကာကွယ်ပေးသည်။             |
| 8   | Terminal Block         | Power Input (R,S,T), Motor Output (U,V,W) နှင့် Grounding, Control Wiring များကို ချိတ်ဆက်ရန် ဖြစ်ရသည်။                      |



# Standard Wiring Diagram 1 (Applicable to F1 and above)



# ပုံအတွင်းပါဝင်သော အဓိက Terminals များ

| Terminal | Function                    |
|----------|-----------------------------|
| DI1      | Forward Run (မော်တာ လှည့်စ) |
| DI2      | Reverse Run                 |
| DI3      | Jog / Multi-speed           |
| COM      | Digital Common              |
| AI1      | 0–10V Speed Reference       |
| AI2      | 4–20mA Signal               |
| GND      | Analog Ground               |
| TA/TB/TC | Relay Output                |
| AO1      | Analog Output               |
| AO-GND   | AO Ground                   |

# 1. Digital Input Wiring

## Forward / Reverse Control

Dry Contact

Push Button သို့မဟုတ် Selector Switch ဖြင့် VFD ကို

Start/Stop လုပ်နိုင်သည်။

Forward PB → DI1

Reverse PB → DI2

COM → Common

အသုံးများသော Logic

- DI1 နှင့် COM ကို Short လုပ်လျှင် Forward Run
- DI2 နှင့် COM ကို Short လုပ်လျှင် Reverse Run

## **Analog Input (Speed Control)**

### **0–10V Potentiometer Speed Control**

10V → Potentiometer +

AI1 → Wiper

GND → Potentiometer –

AI1 သို့ 0–10V ပို၍ Frequency ကို 0–50Hz (သို့) 0–60Hz ထိ ထိန်းချုပ်နိုင်သည်။

### **4–20mA Pressure / Flow Sensor**

#### **Process Control**

Pressure Sensor + → AI2

Pressure Sensor – → GND

AI2 = 4–20mA

Pump PID Control တွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။

## Digital Output (Relay Output)

### Fault / Run Indication

TA = NO

TB = COM

TC = NC

VFD Run ဖြစ်လျှင် Relay Contact ပြောင်းသွားပြီး Indicator Lamp သို့မဟုတ် PLC Input သို့ Signal ပေးနိုင်သည်။

## Analog Output (AO)

### Frequency Feedback

AO1 → Meter +

AO-GND → Meter -

0-10V / 4-20mA

Output Frequency, Motor Current, Speed စသည်တို့ကို ပြန်လည်ပို့ပေးနိုင်သည်။

### Industrial Standard Wiring

#### Pump Control Example

Start PB → DI1

Stop PB → DI2

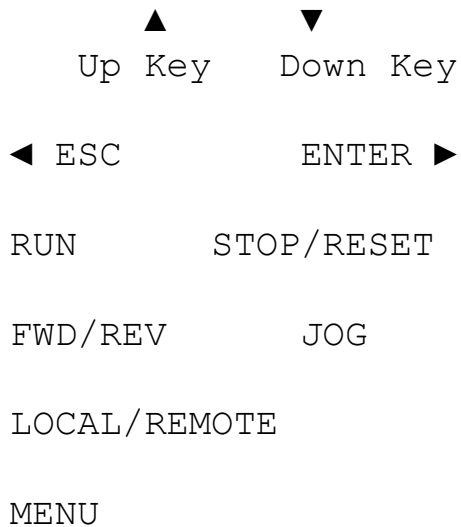
Pressure Sensor 4-20mA → AI2

Run Lamp → TA/TB

Frequency Feedback → AO1

## Typical VFD HMI Layout

| VFD DISPLAY |            |
|-------------|------------|
| Frequency   | : 50.00 Hz |
| Speed       | : 1450 RPM |
| Current     | : 12.5 A   |
| Voltage     | : 400 V    |
| Status      | : RUN FWD  |
| Fault       | : NONE     |



# Button များ၏ Function

Button

Function

RUN

Motor စတင်လည်ပတ်စေသည်

STOP / RESET

Motor ရပ်စေပြီး Fault Reset လုပ်သည်

FWD

Forward Rotation

REV

Reverse Rotation

JOG

အချိန်တိုလည်စေခြင်း

▲ ▼

Frequency တိုး/လျှော့

ENTER

Parameter သိမ်းခြင်း

ESC

Menu ပြန်ထွက်ခြင်း

MENU

Parameter Setting Menu

LOCAL / REMOTE

Keypad Control နှင့် External Control  
ပြောင်းခြင်း

# HMI Display တွင် အများဆုံးပြသသော Data

Motor Frequency

50.00 Hz

Motor Current

15.8 A

Output Voltage

398 V

DC Bus Voltage

565 V

Motor Speed

1475 RPM

Motor Torque

72 %

Output Power

5.3 kW

Status

RUN

Direction

Forward

Fault Code

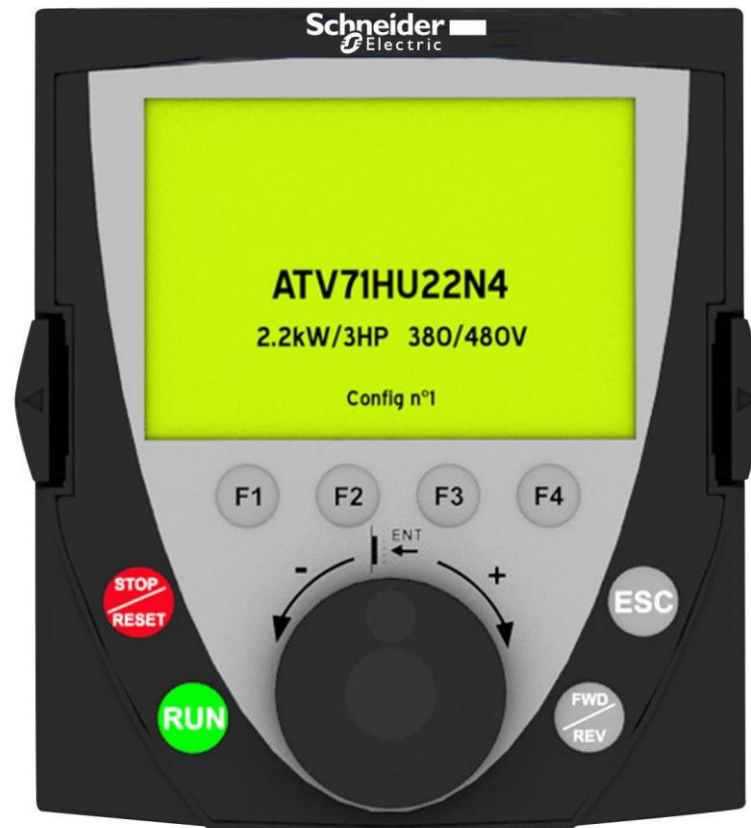
No Fault



# Parameter Setting Menu

## MAIN MENU

- ▶ Motor Parameters
- ▶ Basic Setup
- ▶ Speed Reference
- ▶ Acceleration Time
- ▶ Deceleration Time
- ▶ PID Control
- ▶ Multi Speed
- ▶ Analog Input
- ▶ Digital Input
- ▶ Output Relay
- ▶ Communication
- ▶ Fault History



## Local Mode ဖြင့် Keypad မှ မောင်းနှင်ခြင်း

MENU



LOCAL MODE

Frequency = 30 Hz

RUN

Motor Running

▲ Frequency Up

▼ Frequency Down

STOP

## Remote Mode

PLC

RUN Command



Digital Input

4-20mA Speed Reference



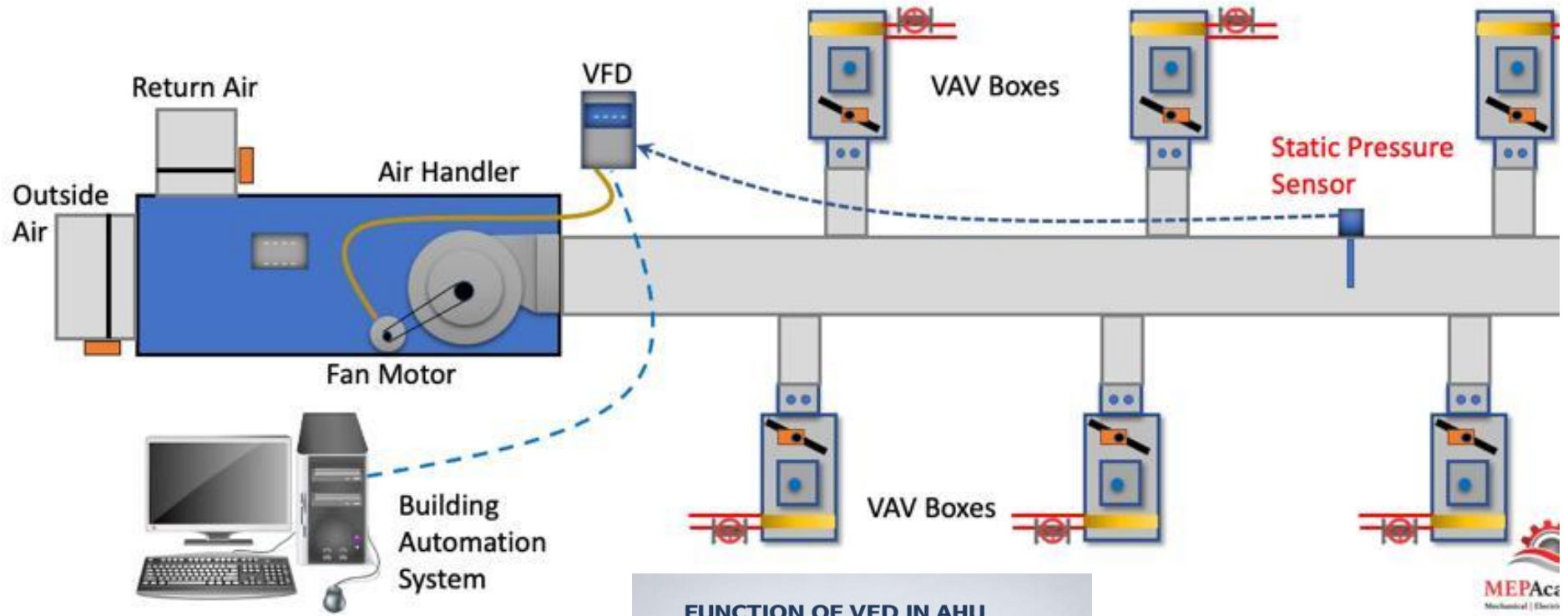
VFD



3-Phase Motor

# Industrial VFD HMI တွင် နောက်ထပ်ပါဝင်နိုင်သော Features

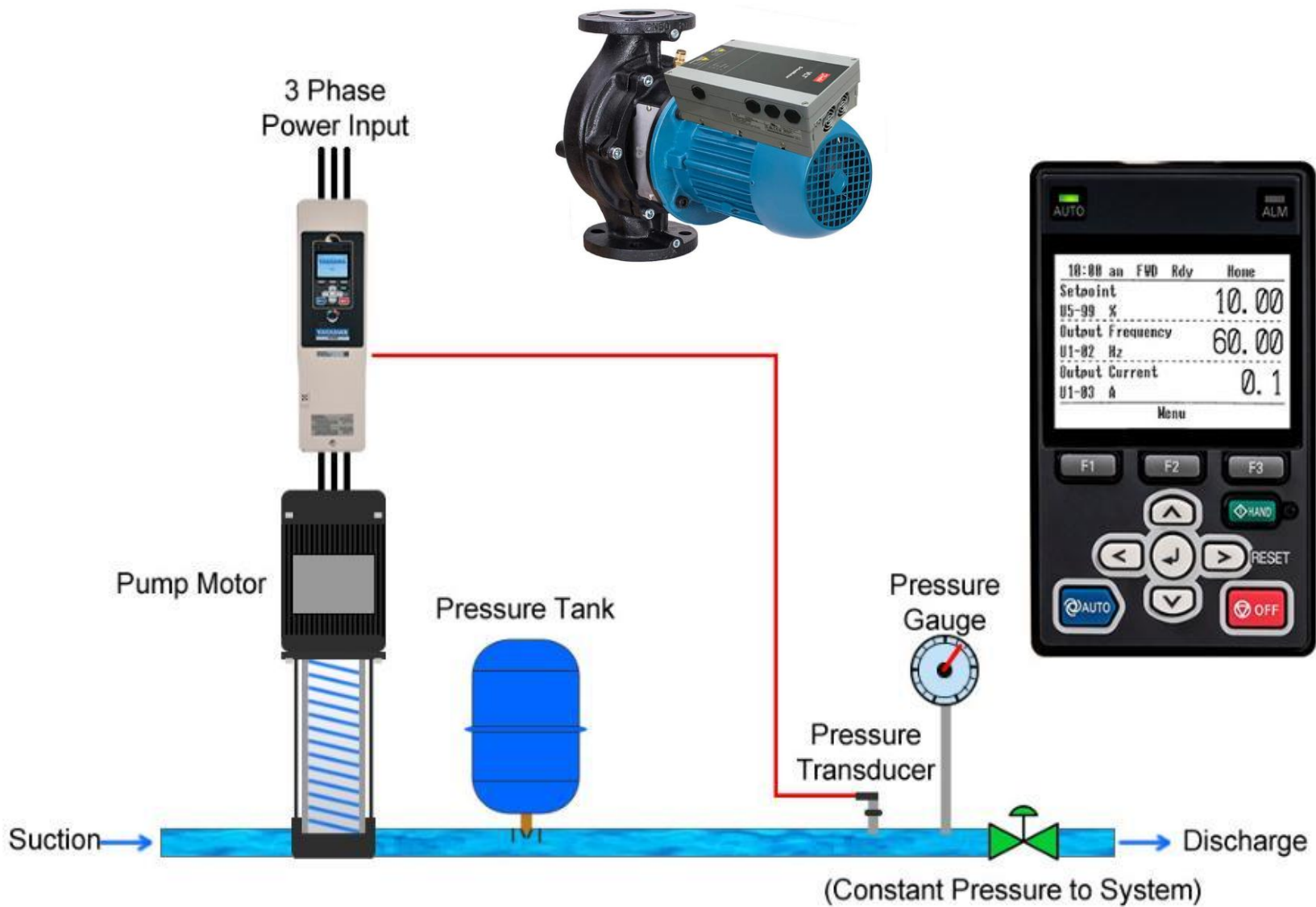
- Auto Tuning
- Motor Identification
- PID Controller
- Fault History (နောက်ဆုံး Fault များ)
- Event Log
- Real-time Trend
- Energy Consumption (kWh)
- Password Protection
- Copy/Clone Parameters
- Modbus / PROFIBUS / PROFINET / Ethernet Status

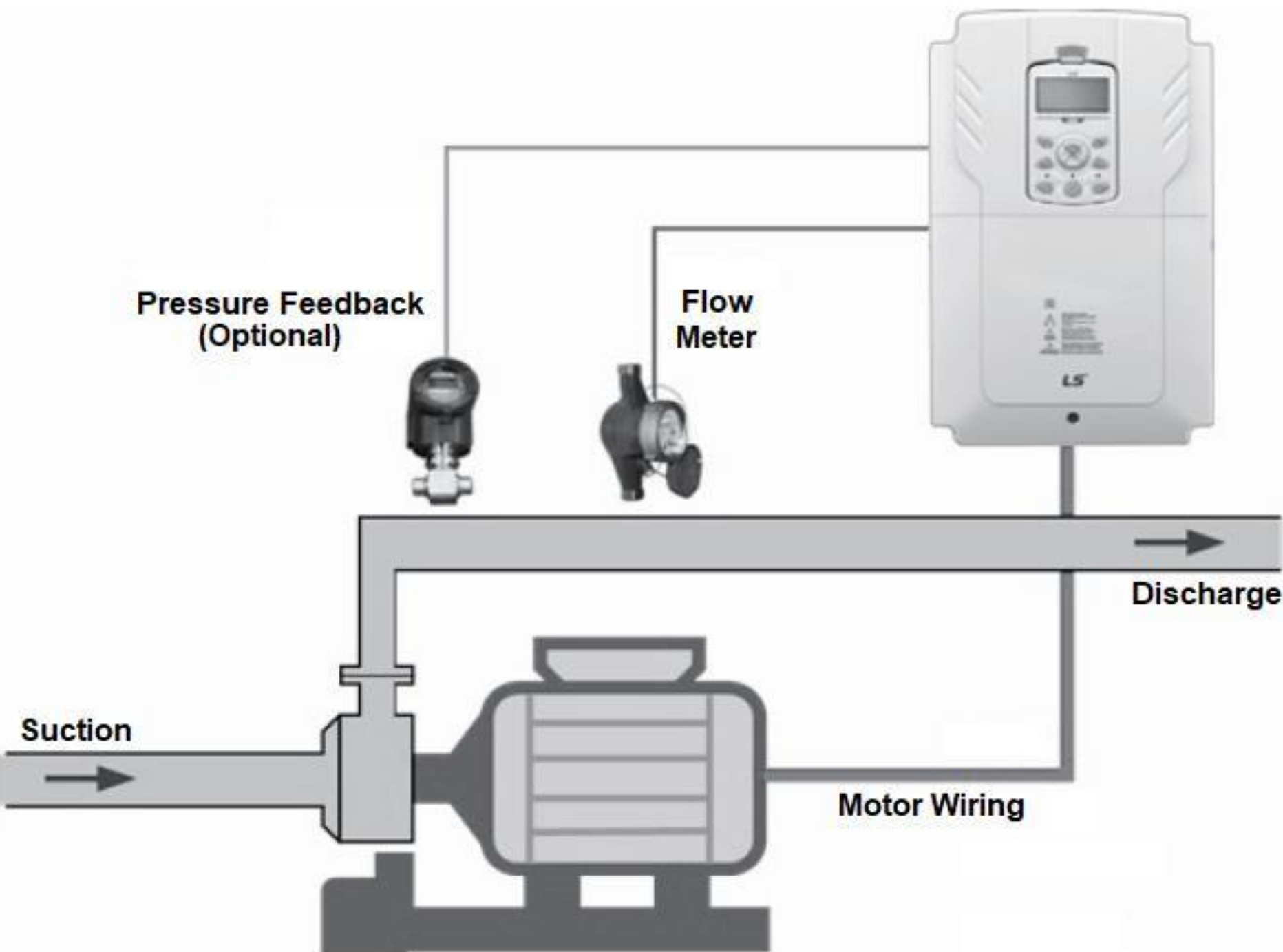


### FUNCTION OF VFD IN AHU

Variable Frequency Drive controls the fan motor speed







**Pressure Feedback  
(Optional)**

**Flow  
Meter**

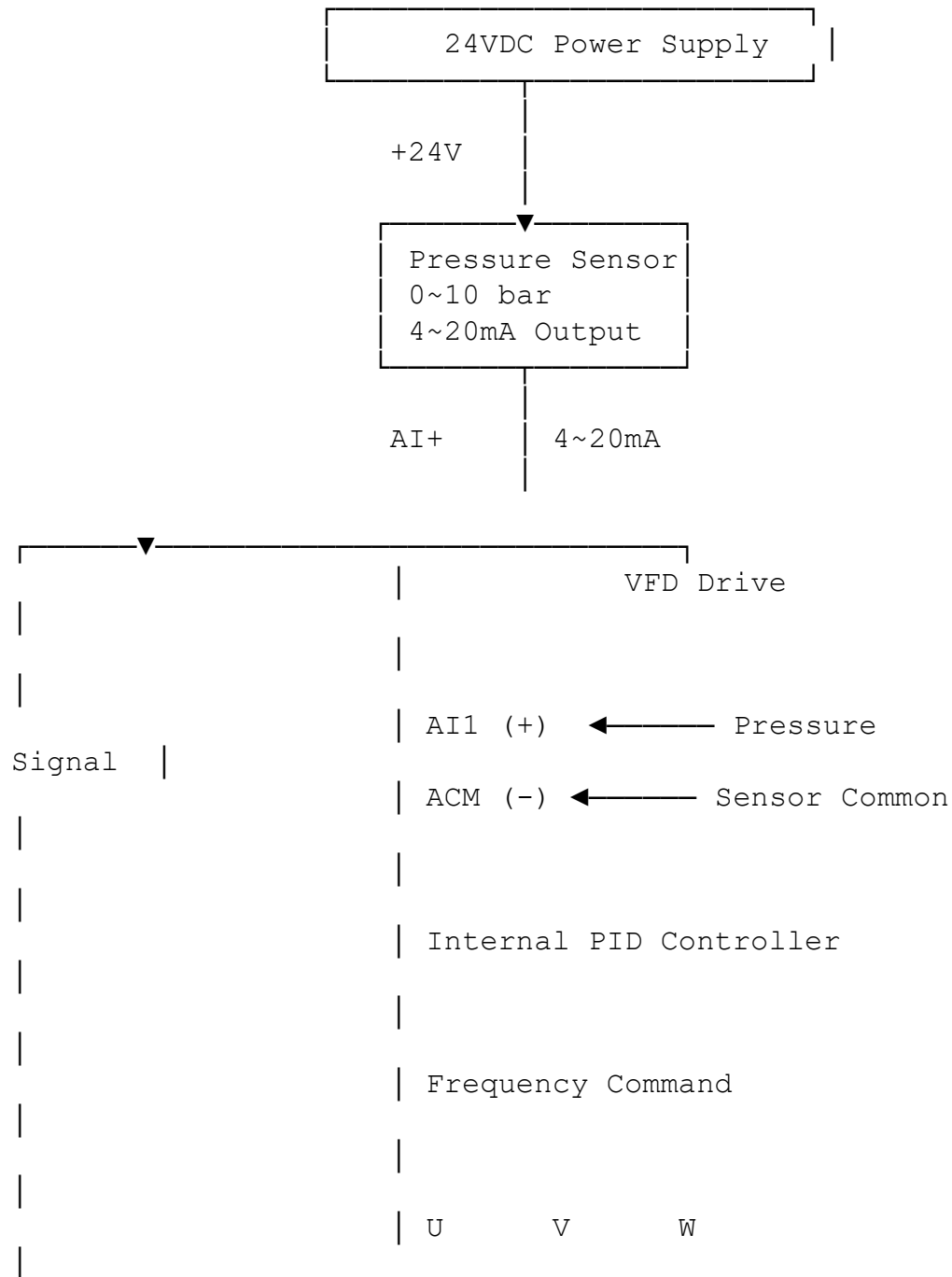
**Discharge**

**Suction**

**Motor Wiring**



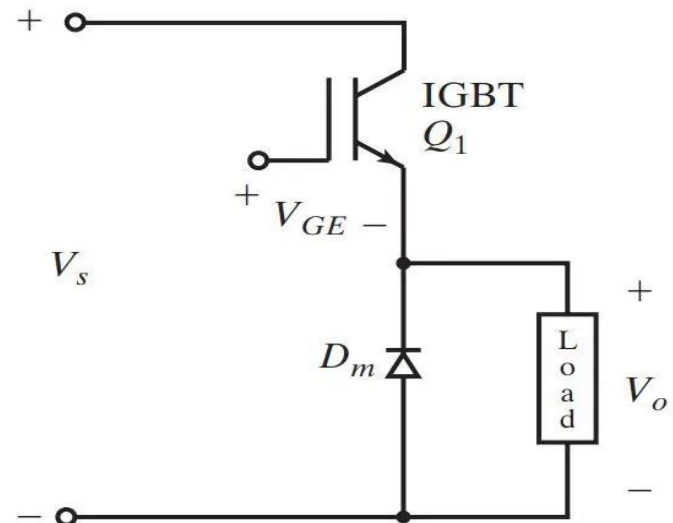
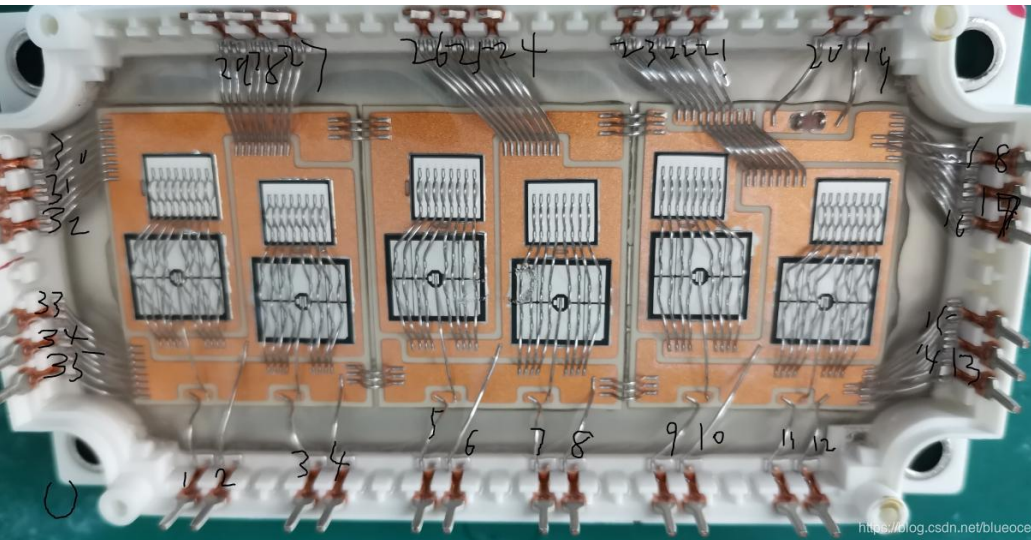
# Overall Control Wiring Diagram



**MOSFET နှင့် IGBT ကွဲပြားချက်**

# MOSFET နှင့် IGBT ကွာခြားချက်

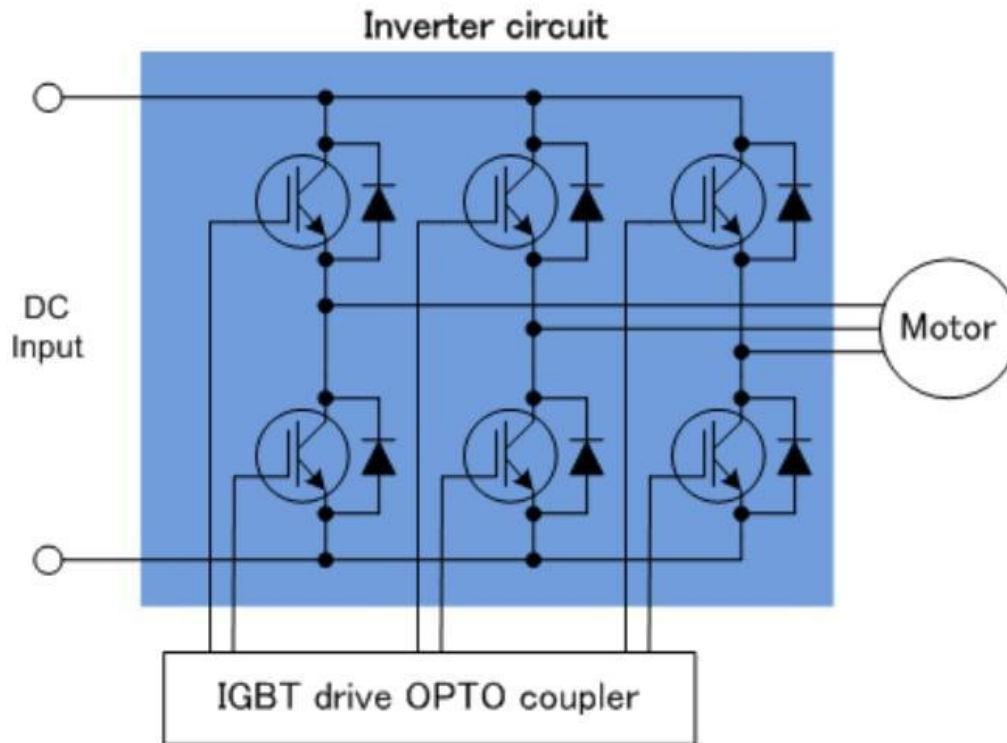
|                 |                        |                       |
|-----------------|------------------------|-----------------------|
| အချက်           | MOSFET                 | IGBT                  |
| Control         | Voltage                | Voltage               |
| Switching Speed | အလွန်မြန်              | နေး                   |
| Frequency       | မြင့်                  | အလယ်အလတ်              |
| Voltage Rating  | Low-Medium             | Medium-High           |
| Current Rating  | Medium                 | အလွန်မြင့်            |
| Efficiency      | Low Voltage တွင်ကောင်း | High Power တွင်ကောင်း |



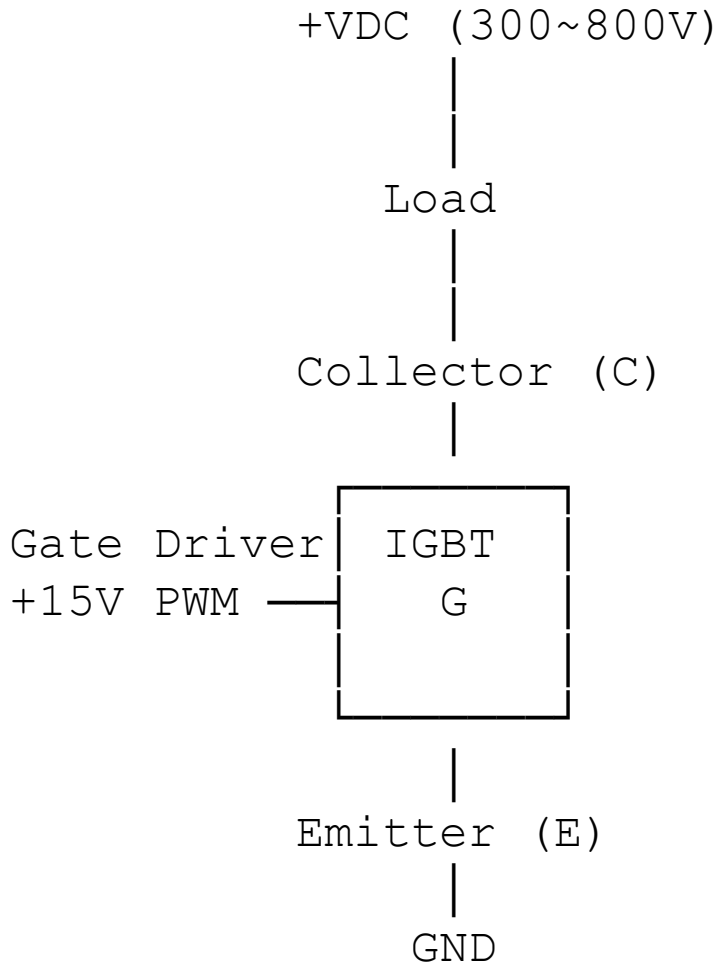
# IGBT ၏ အဓိက အားသာချက်များ

- Gate Current အလွန်နည်းပြီး Drive လုပ်ရလွယ်သည်။
- Voltage မြင့် (600 V, 1200 V, 1700 V, 3300 V နှင့် အထက်) များကို ကိုင်တွယ်နိုင်သည်။
- Current မြင့် (ရာဂဏန်းမှ ထောင်ဂဏန်း Ampere) ကို ခံနိုင်သည်။
- Switching Speed မြန်ပြီး PWM ထုတ်လုပ်ရန် သင်တော်သည်။
- Heat Sink နှင့် Cooling System ဖြင့် Power အမြင့်မားဆုံး အသုံးပြုနိုင်သည်။

IGBT သည် VFD များတွင် PWM Switching ကိုလုပ်ဆောင်ပေးသည့် အဓိက Power Semiconductor ဖြစ်ပြီး၊ Gate Driver Circuit မှ ထုတ်ပေးသော PWM Signal အတိုင်း အလွန်မြန်သော On/Off Switching ပြုလုပ်ကာ DC Bus Voltage ကို 3-Phase Variable Voltage နှင့် Variable Frequency AC အဖြစ် ပြောင်းလဲပေးပါသည်။



# Basic IGBT Switching Circuit



## အလုပ်လုပ်ပုံ

- Gate = +15V  $\rightarrow$  IGBT ON
- Gate = 0V  $\rightarrow$  IGBT OFF
- Collector မှ Emitter သို့ Current စီးဆင်းသည်။

# Gate Driver Circuit

Microcontroller / DSP



PWM Signal



Gate Driver IC



Gate Resistor



Gate (G)

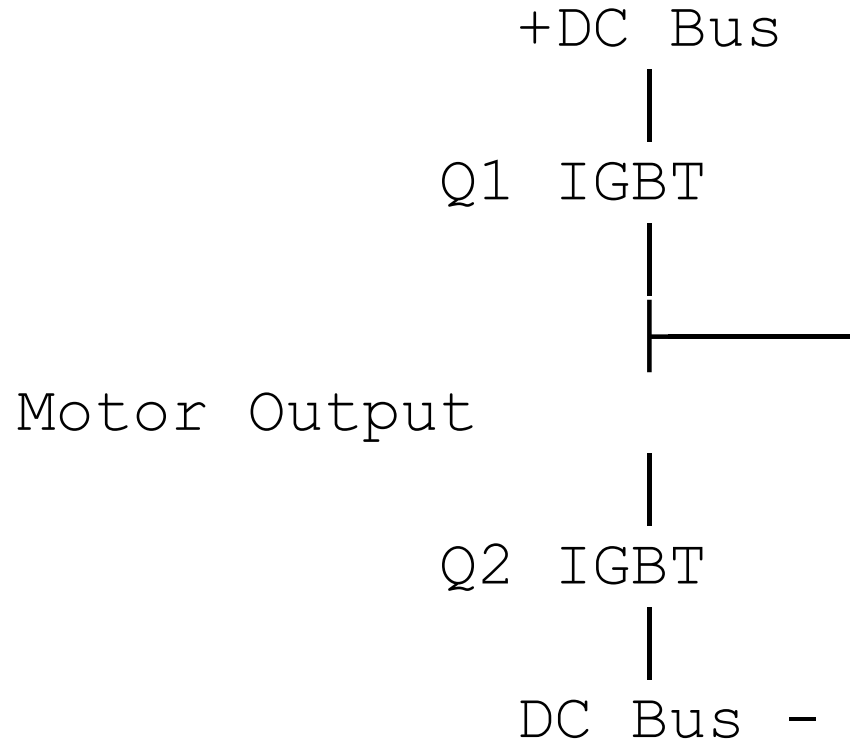


Emitter

## Gate Driver ၏ အလုပ်

- PWM Signal ကို အားမြှင့်ပေးသည်။
- Isolation (Optocoupler / Isolated Driver) ပေးသည်။
- Short Circuit Protection ပါဝင်သည်။
- Miller Effect ကို ထိန်းချုပ်သည်။

# Half-Bridge IGBT Circuit



## Switching Sequence

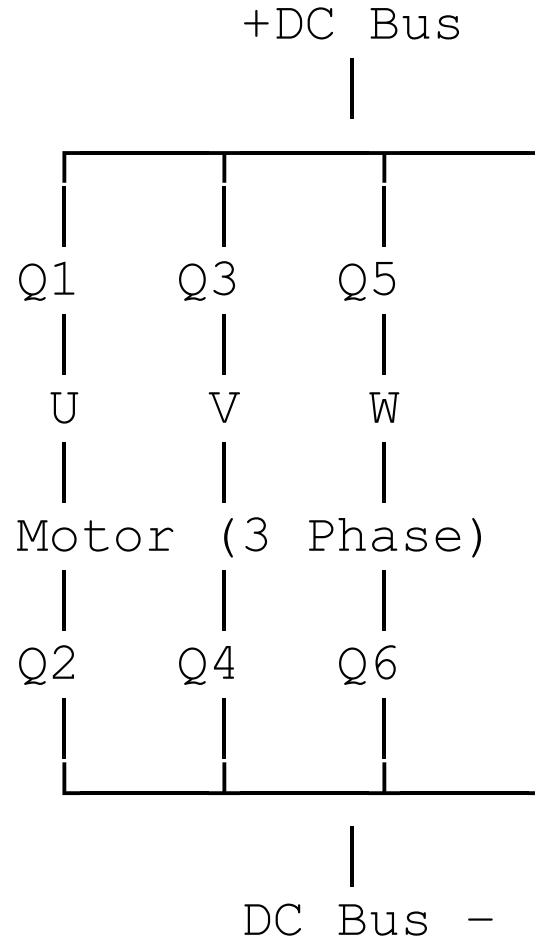
Q1 နှင့် Q2 ကို တစ်ချိန်တည်း ON မလုပ်ရပါ။

ထိုသို့ဖြစ်ပါက Shoot-through ဖြစ်ပြီး IGBT

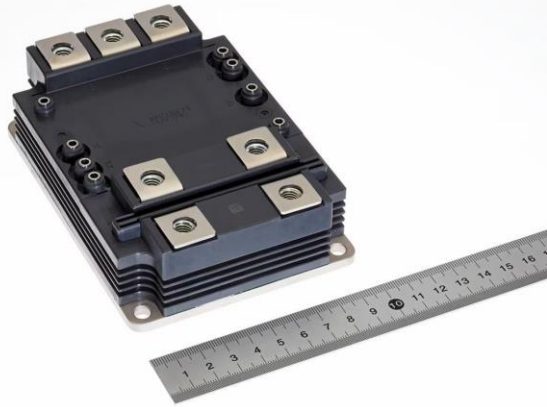
ပျက်စီးနိုင်သောကြောင့် Dead Time ထည့်ပေးရသည်။

| Upper IGBT (Q1) | Lower IGBT (Q2) | Output |
|-----------------|-----------------|--------|
| ON              | OFF             | +DC    |
| OFF             | ON              | -DC    |

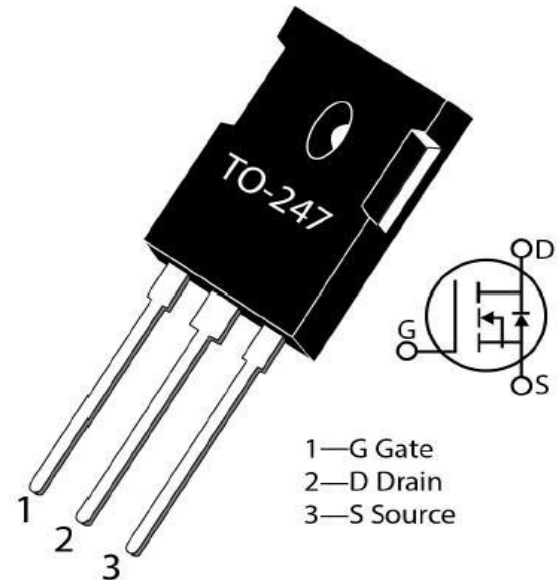
# Three-Phase Inverter Circuit (VFD)



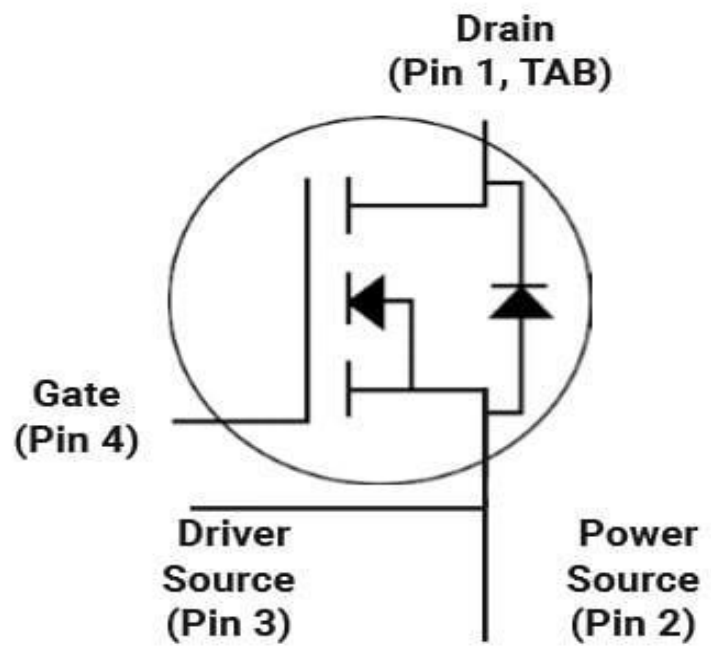
ဤ Circuit သည် VFD များတွင် အသုံးပြုသော **Six-Switch Inverter** ဖြစ်ပြီး IGBT ၆ လုံးကို PWM ဖြင့် အစဉ်လိုက် ON/OFF ပြုလုပ်ကာ U, V, W Phase များကို ထုတ်ပေးသည်။



# MOSFET and SiC MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)



MOSFET နှင့် IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) တို့သည် Inverter Technology ၏ အဓိက Power Switching Device များဖြစ်ပြီး DC Power ကို AC Power အဖြစ် ပြောင်းလဲရာတွင် အသုံးပြုကြသည်။ သို့သော် အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် အသုံးပြုသည့်နေရာများတွင် ကွာခြားချက်များ ရှိသည်။



MOSFET Gate Control ၏ အလုပ်လုပ်ပုံမှာ—

1. Gate Voltage မရှိလျှင် → Channel မရှိ → MOSFET OFF။

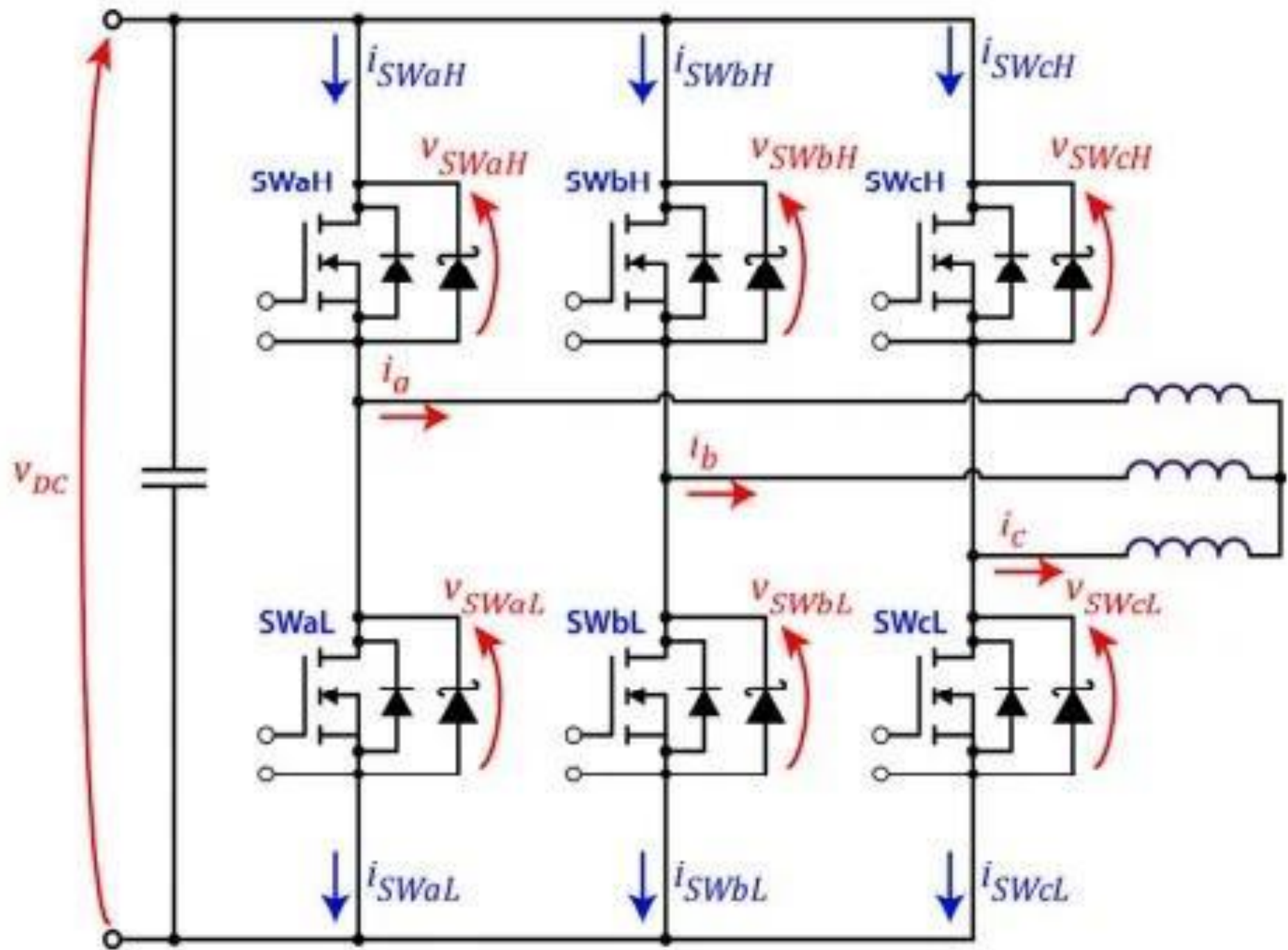
2. Gate Voltage သတ်မှတ်တန်ဖိုး (Threshold Voltage) ထက်ကျော်လျှင် → Electric Field ဖြစ်ပေါ် → Channel ဖွဲ့စည်း → MOSFET ON။

3. Gate Voltage ပိုမြင့်လေ → Channel Resistance (RDS(on)) ပိုနည်းလေ → Current ပိုစီးနိုင်လေ။

4. Gate Voltage ဖယ်ရှားလိုက်သည်နှင့် → Channel ပျောက် → Current ရပ်သွားသည်။

ဤ Gate Voltage ဖြင့် Current ကို ထိန်းချုပ်နိုင်သည့် နည်းပညာကြောင့် MOSFET များကို SMPS, DC-DC Converter, Solar Inverter, EV Traction Inverter နှင့် Industrial VFD များတွင် အလွန်ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုကြသည်။





- SiC MOSFET သည် ယနေ့ခေတ် Inverter Technology ၏ အဆင့်မြင့်ဆုံး Power Semiconductor များထဲမှ တစ်ခုဖြစ်ပြီး
- EV Traction Inverter
- Solar Inverter
- Industrial VFD
- High-Efficiency UPS
- Fast DC Charger
- Premium Inverter Air Conditioner
- များတွင် အလျင်အမြန် အသုံးပြုမှု တိုးလာနေသည်။
- SiC MOSFET ၏ အဓိက အားသာချက်မှာ "Voltage မြင့် + Current မြင့် + Frequency မြင့် + Heat နည်း + Efficiency အမြင့်ဆုံး" ဖြစ်ပြီး အနာဂတ် Power Electronics လောက၏ အရေးကြီးဆုံး Technology များထဲမှ တစ်ခုဟု သတ်မှတ်နိုင်ပါသည်။

# **Vector Control (Field Oriented Control – FOC)**

**Vector Control (FOC)** ဆိုတာ AC Motor ထဲက Current ကို **Flux Component (Id)** နှင့် **Torque Component (Iq)** အဖြစ် ခွဲထုတ်ပြီး DC Motor လို သီးခြားထိန်းချုပ်နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားတဲ့ အဆင့်မြင့် Inverter Control Technology ဖြစ်ပါတယ်။

ယနေ့ခေတ်

- Inverter Air Conditioner
- PMSM Compressor
- Elevator Gearless Motor
- EV Traction Motor
- Servo Motor
- CNC Machine
- Industrial High Performance VFD

အားလုံးနီးပါးမှာ Vector Control (FOC) ကို အသုံးပြုနေကြပါသည်။

# 1. Vector Control ကို ဘာကြောင့် တီထွင်ခဲ့တာလဲ?

ရိုးရိုး VFD (V/f Control) မှာ  
Frequency တိုး  $\Rightarrow$  Speed တိုး  
Frequency လျော့  $\Rightarrow$  Speed လျော့  
ဆိုတာသာ ဖြစ်ပါတယ်။  
သို့သော်

- Elevator

- Crane

- CNC Machine

- Electric Vehicle

- Inverter Compressor

လို Application တွေမှာ

"Speed မပြောင်းဘဲ Torque တိုးချင်တယ်"

"Low Speed မှာ Full Torque လိုတယ်"

ဆိုတဲ့ လိုအပ်ချက်တွေ ရှိလာပါတယ်။

V/f Control နဲ့ မလုပ်နိုင်ပါ။

ဒါကြောင့် Vector Control ကို တီထွင်ခဲ့ကြတာ  
ဖြစ်ပါတယ်။

# SVPWM ဆိုတာ ဘာလဲ?

SVPWM = Space Vector PWM  
Vector Control က တွက်ထားတဲ့  
Voltage Vector ကို

IGBT/MOSFET Switching Pattern  
အဖြစ် ပြောင်းပေးပါတယ်။

ရိုးရိုး PWM ထက်  
•Efficiency မြင့်  
•Harmonic နည်း  
•Torque Ripple နည်း  
ပါတယ်။

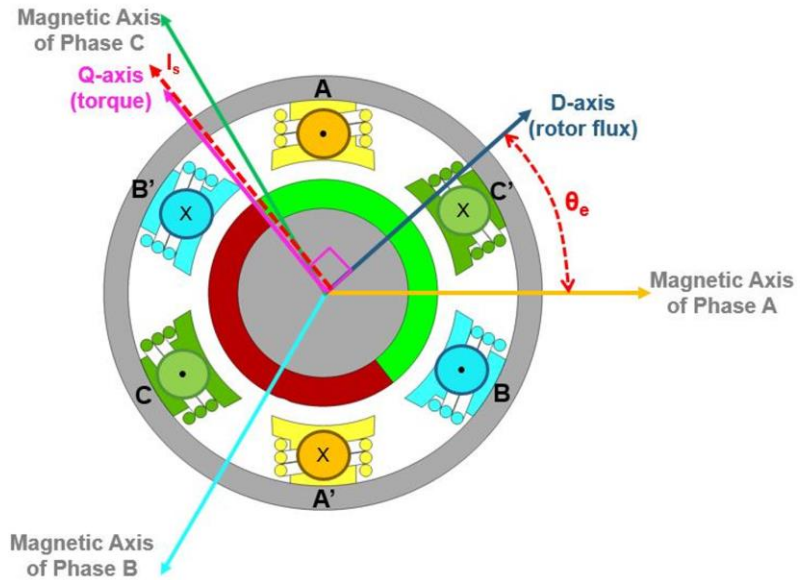
**Vector Control (Field Oriented Control – FOC)** ဆိုတာ Inverter/VFD Drive တွေမှာ

အသုံးပြုတဲ့ အဆင့်မြင့် Motor Control နည်းပညာတစ်ခု ဖြစ်ပါတယ်။

ရိုးရိုး **V/f Control** က Frequency နဲ့ Voltage ကိုပဲ ထိန်းပြီး Motor Speed ကို ထိန်းတာဖြစ်ပေမယ့်

Vector Control ကတော့ Motor အတွင်းရှိ

- Torque (လှည့်အား)
  - Magnetic Flux (သံလိုက်စက်ကွင်း)
  - Speed (အမြန်နှုန်း)
- တို့ကို သီးခြားစီ ထိန်းချုပ်နိုင်ပါတယ်။



CSDN @youcans\_

Rotor Flux သည် d-axis ပေါ်တွင် ရှိပြီး Torque ကို q-axis Current ဖြင့်

ထုတ်ပေးသည်

ဒီ Diagram မှာ d-axis သည် Rotor Magnet Flux ၏ ဦးတည်ရာ ဖြစ်ပြီး q-axis

သည် d-axis နှင့် 90° ထောင့်ကျနေတဲ့ Torque Axis ဖြစ်ပါတယ်။

# AC Motor ရဲ့ ပြဿနာ

DC Motor မှာ

Torque Current ( $I_a$ )နဲ့

Field Flux ( $\Phi$ )

ကို သီးခြား ထိန်းနိုင်ပါတယ်။

$$\text{Torque} = k \times \Phi \times I_a$$

ဒါကြောင့် DC Motor ကို Control လုပ်ရ လွယ်ပါတယ်။

AC Motor မှာတော့

Stator Current တစ်ခုတည်းထဲမှာ

- Flux Component

- Torque Component

နှစ်ခု ရောနေပါတယ်။

ဥပမာ

$$I = 10A$$

ဆိုရင်

ဘယ်လောက်က Flux အတွက်

ဘယ်လောက်က Torque အတွက်

မသိနိုင်ပါ။

ဒါကြောင့် AC Motor Control က ခက်ပါတယ်။

### 3. Vector Control ၏ အခြေခံအယူအဆ

Vector Control က  
AC Motor ကို  
"Virtual DC Motor"

အဖြစ် ပြောင်းစဉ်းစားလိုက်တာ ဖြစ်ပါတယ်။  
Current ကို နှစ်ပိုင်းခွဲပါတယ်။

**d-axis Current ( $I_d$ )**

Flux Control

**q-axis Current ( $I_q$ )**

Torque Control

ထို့ကြောင့်

$$\text{Torque} = k \times I_d \times I_q$$

အဖြစ် သီးခြား ထိန်းနိုင်လာပါတယ်။



# Vector Control အလုပ်လုပ်ပုံ

Motor Current

$I_a, I_b, I_c$

ကို Controller က တိုင်းတာပါတယ်။

$I_a$

$I_b$

$I_c$

↓

Clarke Transform

↓

Park Transform

↓

$I_d + I_q$

ဒီနေရာမှာ

$I_d = \text{Flux}$

$I_q = \text{Torque}$

အဖြစ် ခွဲထုတ်လိုက်ပါတယ်။

$I_d = \text{Flux}$

$I_q = \text{Torque}$

Controller က

$I_d$  Reference

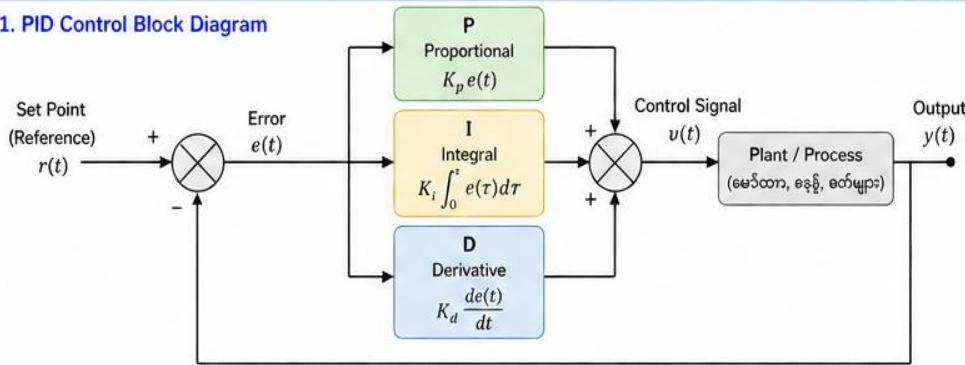
$I_q$  Reference

နဲ့ နှိုင်းယှဉ်ပြီး

PI Controller ဖြင့် ပြန်ထိန်းပါတယ်။

# PID CONTROL – အလုပ်လုပ်ပုံ (How it Works)

## 1. PID Control Block Diagram



## 2. PID Control Equation

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (\text{Error})$$

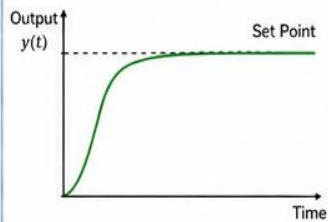
- $K_p$  = Proportional Gain (P အပိုင်း)
- $K_i$  = Integral Gain (I အပိုင်း)
- $K_d$  = Derivative Gain (D အပိုင်း)
- $r(t)$  = Set Point (Reference)
- $y(t)$  = Process Output

အဖွဲ့အစည်းများ:

- P – လက်ရှိ Error ကို တစ်စက္ကန့် ပြုစင်
- I – Error ကို စုပေါင်းပုံ နှစ်ရက်သာအများအပြား ဖယ်ရှား
- D – Error ကို အမြဲတမ်းအလုပ်ကို ကြိုတင်ကာတွယ် Overshoot ကို ငြိမ်စေပေးသည်။

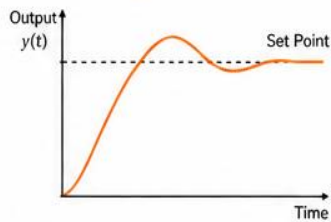
## 3. P, I, D အပိုင်းများ၏ လုပ်ဆောင်ပုံ

### (a) Proportional Control (P)



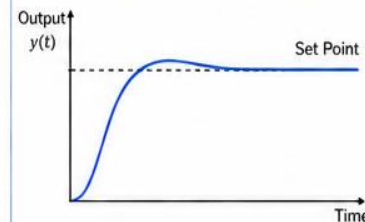
- Error ရှိနေသည့် Output သည် Set Point အောက်တွင် ရှိနေမည်။
- Rise Time ကို ငျော့စေသည်။
- Steady-State Error ကျန်ရှိနေတတ်သည်။

### (b) Integral Control (I)



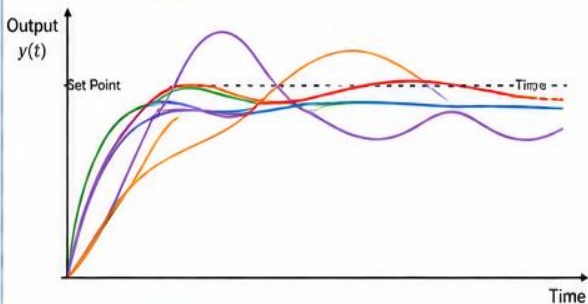
- Error ကို စင်စစ်ပိုင်ပိုင် Steady-State Error ကို ဖယ်ရှားပေးသည်။
- I သာသုံးသည့် Overshoot နှင့် Oscillation မြစ် ဝိတ်သည်။

### (c) Derivative Control (D)



- Error ကို အမြဲတမ်းအလုပ်ကို ကြိုတင်ကာတွယ်။
- Overshoot ကို ငျော့စေသည်။ Settling Time ကို ငျော့စေသည်။
- D သာသုံးသည့် Steady-State Error ရှိနေတတ်သည်။

## 4. PID လုပ်ဆောင်ပုံ (Time Response)



- P + I + D (PID)
- P Only
- PI Control
- PD Control
- I Only

**PID Control:**

- Rise Time တော်မူနိုင်
- Overshoot ငျော့
- Settling Time ငျော့
- Steady-State Error = 0

## 5. PID Control ၏ အဆင့်ဆင့် လုပ်ဆောင်ပုံ

1. Set Point သတ်မှတ်ခြင်း ( $r$ )
2. Output ကို ထိုင်းတာခြင်း ( $y$ )
3. Error ထွက်ခြင်း  $e(t) = r(t) - y(t)$
4. PID Formula မြင့်  $u(t)$  ကို ထွက်ချက်ခြင်း
5. Plant ဆို Control Signal  $u(t)$  ပို့ခြင်း
6. Output မြှောင်လုပ်ခြင်း Feedback မြှန်ရလှခြင်း

Feedback Loop မှတစ်ဆင့် Output ကို အမြဲတမ်းအလုပ်ကို ကြိုတင်ကာတွယ် Error ကို ငျော့စေပြီး Set Point နှင့် တွဲအောင် PID Controller မှ ထိန်းချုပ်ပေးသည်။

## 6. PID Tuning (Gain Setting)

| Parameter | Effect               | Increase လုပ်လျှင်                      | Decrease လုပ်လျှင်                      |
|-----------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| $K_p$     | Rise Time, Response  | Rise Time ငျော့, Overshoot တံ့          | Rise Time တံ့, Overshoot ငျော့          |
| $K_i$     | Steady-State Error   | Steady-State Error ငျော့, Overshoot တံ့ | Steady-State Error တံ့, Overshoot ငျော့ |
| $K_d$     | Stability, Overshoot | Overshoot ငျော့, Settling Time ငျော့    | Overshoot တံ့, Settling Time တံ့        |

## 7. အသုံးများသော အားသာချက်များ

- ဓနိအများစုတွင် လိုအပ်သော Control ကို လုပ်ဆောင်နိုင်သည်။
- PWM, Motor Speed Control, Temperature Control, Voltage Control စသည်တို့ အလွန်ကွယ်ပြန်ခြင်း အသုံးပြုသည်။
- ထွက်ချက်ရ လွယ်ကူပြီး Real-time Control အတွက် သင့်တော်သည်။

## Applications Examples



Motor Speed Control



Temperature Control

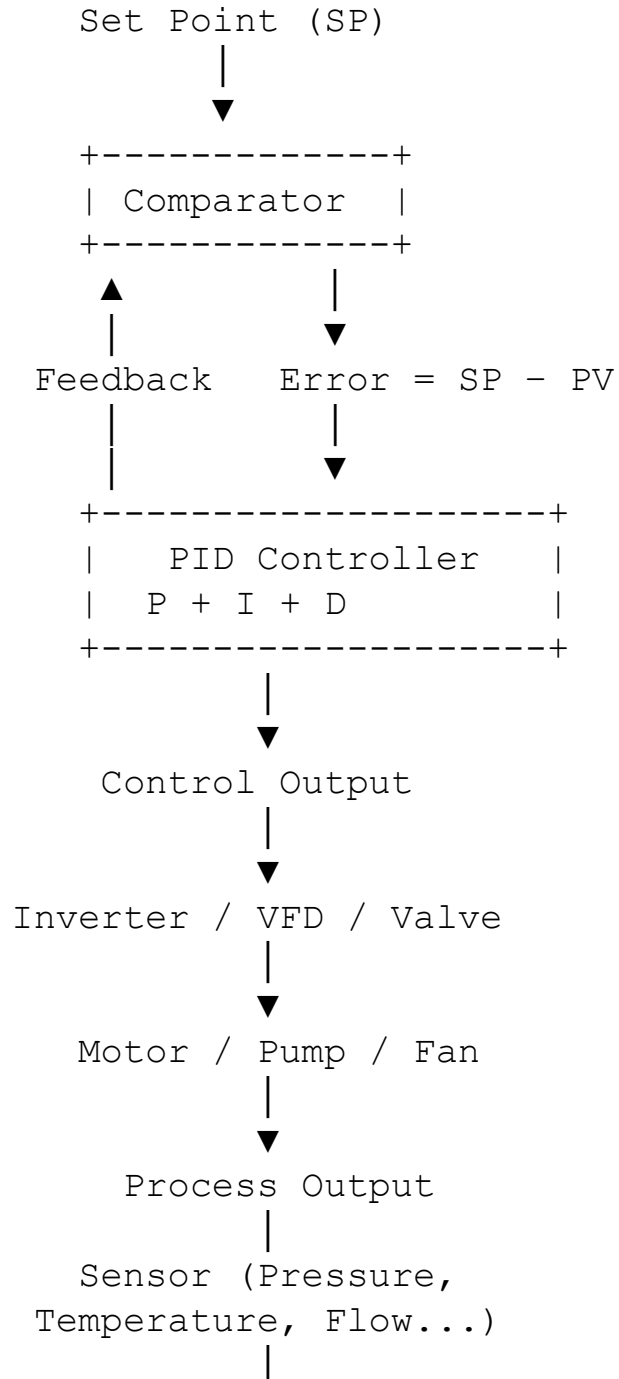


Pressure Control



Voltage / Current Control

# PID Control Block Diagram



PID Controller က  
Pressure နည်းနေတယ်

↓

VFD Speed တိုး

↓

Pump မြန်

↓

Pressure တက်

↓

6 Bar ရောက်

↓

Speed ထိန်းထား  
ဖြစ်သွားသည်။

## P (Proportional)

Error ကြီး

↓

Output ကြီး

ဥပမာ

Temperature

လိုချင် =  $100^{\circ}\text{C}$

ရောက် =  $80^{\circ}\text{C}$

Error =  $20^{\circ}\text{C}$

PID က Heater Power ကို များများပေးသည်။

Error လျော့လာသည်နှင့်

Power လည်း လျော့လာသည်။

1 °C

↓

၀

↓

4 °C

Steady-State Error မကျန်စေရန်  
I က ထပ်မံပြင်ပေးသည်။

**၅။ D (Derivative)**

Derivative က  
အနာဂတ်ကို ခန့်မှန်းသည်။

ဥပမာ

Temperature

98

99

99.5

99.9

100

100°C ကို  
အစိန်အစိတ်ပေးရမည်။

# Air Conditioner (HVAC)

22 °C



Temperature Sensor



PID



Compressor Frequency



Inverter



Cooling Capacity

Load များလာလျှင်

Compressor Speed တက်သည်

# EV Motor Control

Accelerator



Torque Command



PID



FOC



SiC Inverter



PMSM

ကားမောင်းသူ၏ Torque တောင်းဆိုချက်အတိုင်း  
Motor Torque ကို တိကျစွာ ထိန်းပေးသည်။

# Solar Inverter

DC Bus



Voltage Sensor



PID



PWM



SiC MOSFET



AC Output

Voltage ကို တည်ငြိမ်စေသည်။

# PID အသုံးပြုသောနေရာများ

အသုံးပြုသည့်စနစ်

Industrial VFD

Water Pump

Cooling Tower

Boiler

Furnace

Compressor

Chiller

HVAC

EV

Solar Inverter

UPS

Robot

CNC Machine

Drone

Wind Turbine

PID ထိန်းချုပ်သောအရာ

Motor Speed

Pressure

Fan Speed

Temperature

Temperature

Pressure

Chilled Water Temperature

Room Temperature

Motor Torque နှင့် Speed

DC Bus Voltage

Output Voltage

Position နှင့် Servo Speed

Axis Position

Flight Stability

Generator Speed

# Clarke Transformation

Three Phase Current

$I_a$

$I_b$

$I_c$

ကို  
L

Two Axis

$\alpha$ - $\beta$

အဖြစ် ပြောင်းခြင်း။

abc

↓

$\alpha\beta$

ရည်ရွယ်ချက်

Three Phase ကို  
L

Mathematical Model လုပ်ရ လွယ်အောင်  
ဖြစ်ပါတယ်။

# Park Transformation

$\alpha\beta$  ကို

Rotating Reference Frame

$dq$   
အဖြစ် ပြောင်းပါတယ်။

$\alpha\beta$

↓

$dq$

ဒီအခါ

Flux နဲ့ Torque

သီးခြား ဖြစ်သွားပါတယ်။

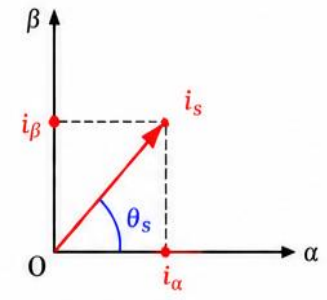
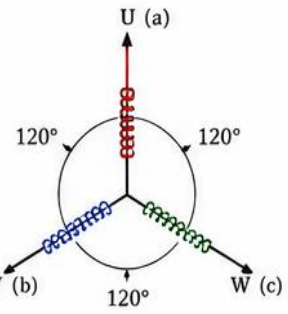
$d$ -axis  $\rightarrow$  Flux

$q$ -axis  $\rightarrow$  Torque

# Park Transformation : $\alpha\beta \rightarrow dq$ (Rotating Reference Frame)

## 1. Stationary Reference Frame ( $\alpha\beta$ Frame)

Stator 3-Phase Current ကို Clarke Transformation မြင့်  $\alpha\beta$  Frame ထဲသို့ပြောင်းသည့်။



$i_s \rightarrow$  Stator Current Vector (Stationary)

## 2. Park Transformation ( $\alpha\beta \rightarrow dq$ )

Rotating Reference Frame (dq Frame) သို့ပြောင်းသည်။

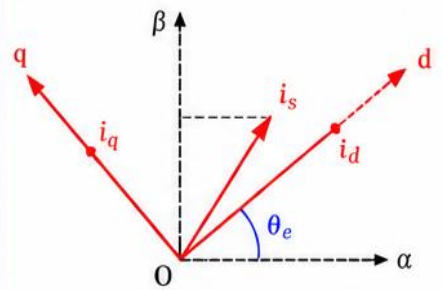
$$\alpha\beta \rightarrow dq$$

Rotation Angle =  $\theta_e$   
(Electrical Angle)

dq Frame သည် Rotor နှင့် Synchronize လှည့်သည်။

## 3. Rotating Reference Frame (dq Frame)

Rotor နှင့်အတူ လှည့်ထားသော Frame



- အဓိကအချက်**
- d-axis  $\rightarrow$  Flux ( $\Psi$ )
  - q-axis  $\rightarrow$  Torque ( $T$ )
  - $i_d \rightarrow$  Flux Current
  - $i_q \rightarrow$  Torque Current

## 4. Mathematical Transformation

( $\alpha\beta \rightarrow dq$ )

( $dq \rightarrow \alpha\beta$ )

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_e & \sin\theta_e \\ -\sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

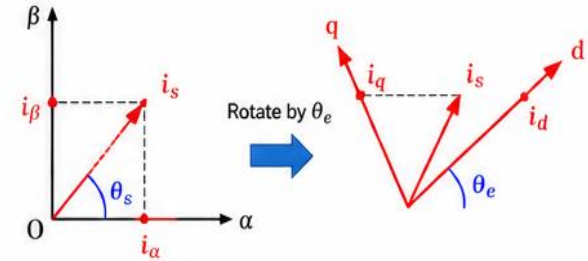
$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_e & -\sin\theta_e \\ \sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

$\theta_e =$  Electrical Angle (Rotor Position)

## 5. Vector Rotation Concept

Stationary  $\alpha\beta$  Frame

Rotating dq Frame



## 6. Flux and Torque Decoupling

$$\Psi_s = L_d i_d + \Psi_m \quad (\text{Flux linkage})$$

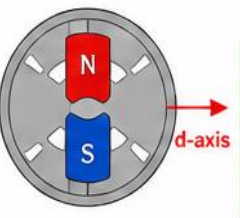
$$T_e = \frac{3}{2} P \Psi_s i_q = \frac{3}{2} P (L_d i_d + \Psi_m) i_q \quad (\text{Electromagnetic Torque})$$

- d-axis (Direct Axis)**
- $i_d$  ထန်နဲ့ထည့် Flux ကို ထိန်းချုပ်သည်။
  - $\Psi_s \rightarrow$  Flux Linkage

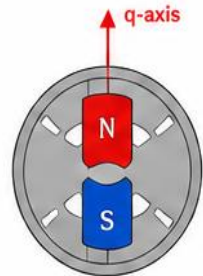
- q-axis (Quadrature Axis)**
- $i_q$  ထန်နဲ့ထည့် Torque ကို ထိန်းချုပ်သည်။
  - $T_e \rightarrow$  Torque

## 7. Physical Meaning

d-axis (Aligned with Rotor Flux)



- d-axis သည် Rotor မျက်နှာချင်အတိုင်းဖြစ်သည်။
- $i_d > 0 \rightarrow$  Flux ထိုးသည်။
- $i_d < 0 \rightarrow$  Flux လျှော့သည်။

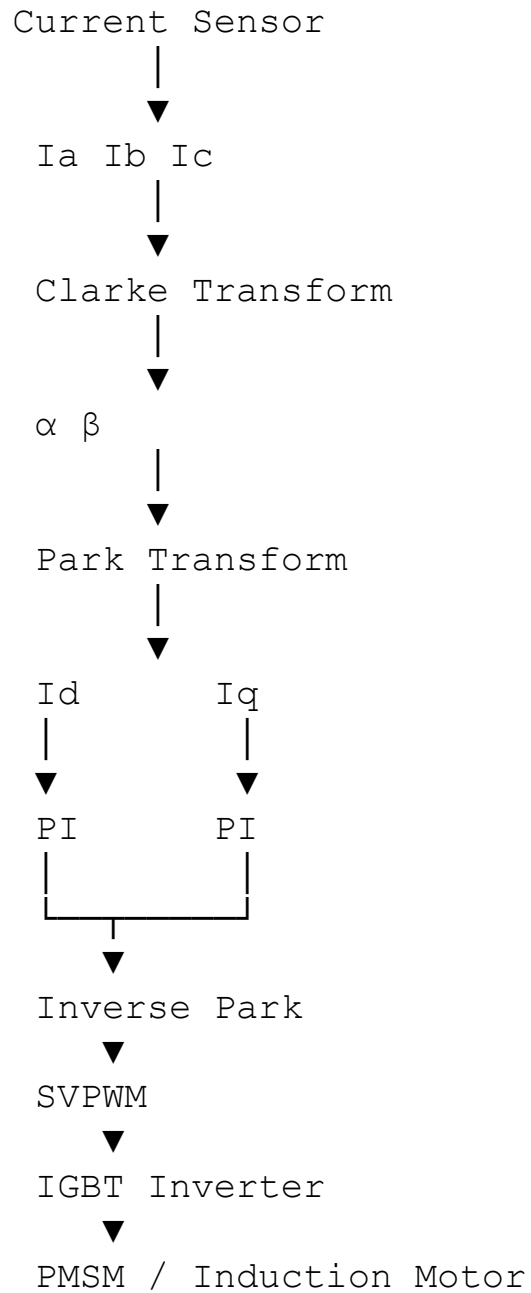


- q-axis သည် Rotor Flux နှင့် ထန်မထည့်။
- $i_q > 0 \rightarrow$  Torque (Forward)
- $i_q < 0 \rightarrow$  Torque (Reverse)

## 8. Summary Table

| Item               | $\alpha\beta$ Frame (Stationary)               | dq Frame (Rotating)                        |
|--------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Reference          | Stator (Fixed)                                 | Rotor (Rotating)                           |
| Axes               | $\alpha$ ( $0^\circ$ ), $\beta$ ( $90^\circ$ ) | d (Align with Flux), q ( $90^\circ$ ahead) |
| Current Components | $i_\alpha, i_\beta$                            | $i_d, i_q$                                 |
| Control            | Coupled                                        | Decoupled                                  |
| Flux Control       | Complex                                        | $i_d \rightarrow$ Flux                     |
| Torque Control     | Complex                                        | $i_q \rightarrow$ Torque                   |

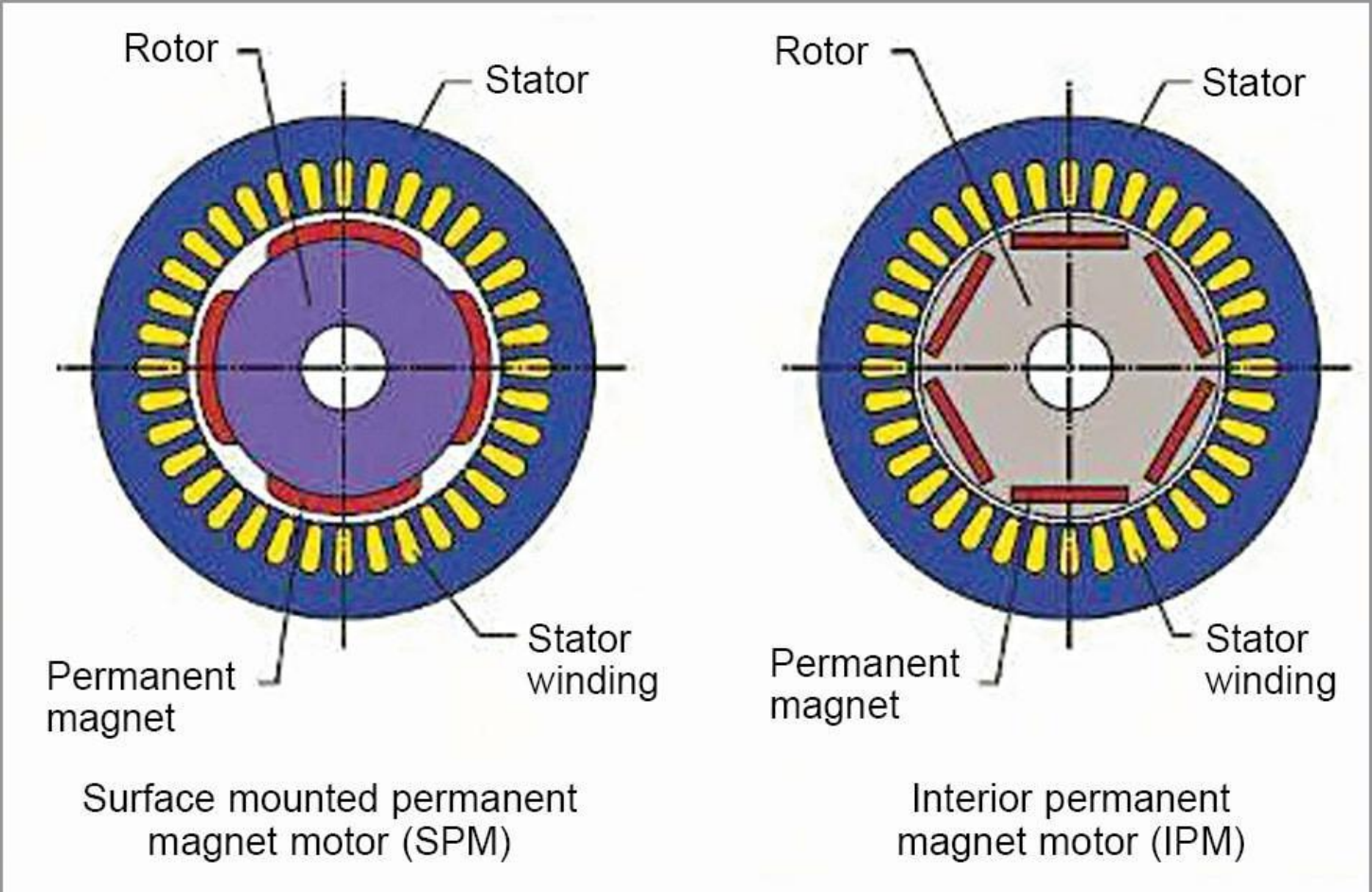
## Vector Control Block Diagram



# PMSM Motor ဆိုတာ ဘာလဲ?

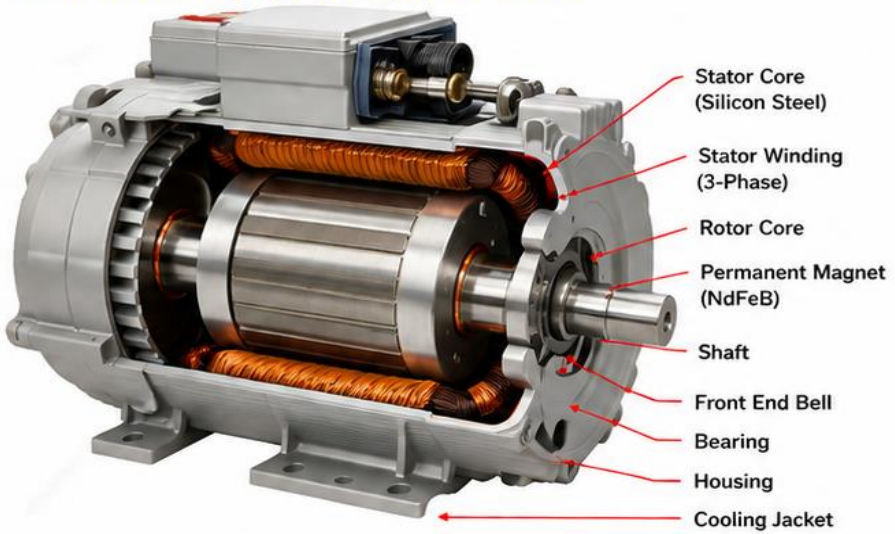
**PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)** ဆိုသည်မှာ Rotor (လည်ပတ်သည် အစိတ်အပိုင်း) အတွင်း **Permanent Magnet (NdFeB Magnet များ)** ကို တပ်ဆင်ထားပြီး Stator မှ ထုတ်ပေးသော Rotating Magnetic Field နှင့် **Synchronous Speed** ဖြင့် လိုက်လည်သော AC Motor အမျိုးအစား ဖြစ်ပါသည်။

EV ကားများ၊ Inverter Air Conditioner များ၊ Industrial Servo Drive များ၊ CNC Machine များနှင့် Robot များတွင် အလွန်ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုကြသည်။

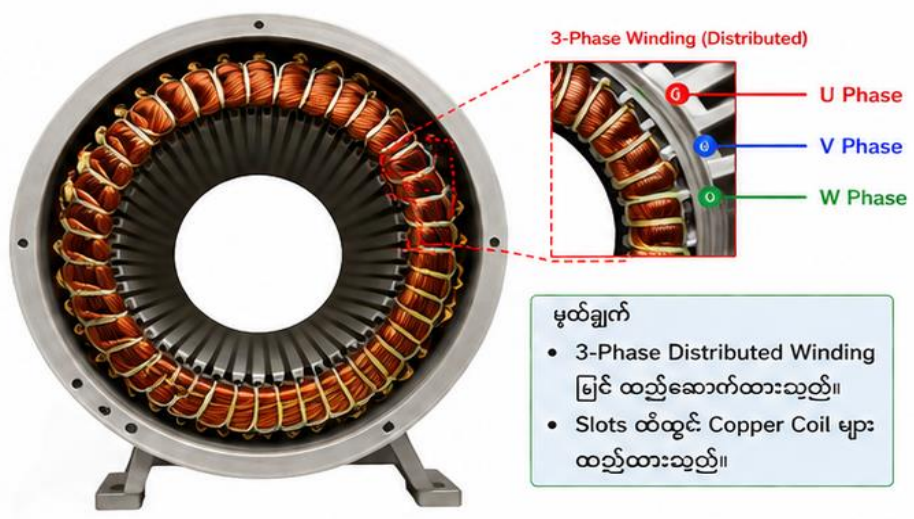


# PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) – အထွင်းသိုင်းနွဲ့ ထည့်ဆောက်ပုံ

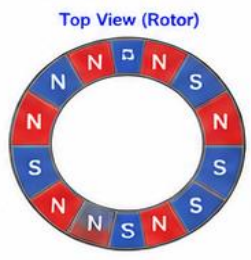
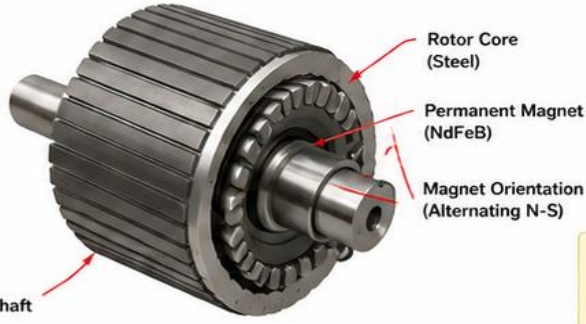
## 1. PMSM Motor အထွင်းသိုင်းနွဲ့ မွှဲဆည်းပုံ (Cutaway View)



## 2. Motor ကို ရွေ့မှကြည့်ရသော အမြင် (Front View – Stator Inside)



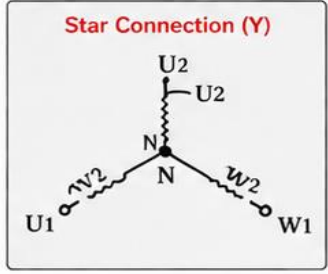
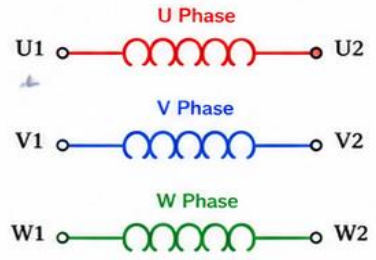
## 3. Rotor အထွင်းသိုင်းနွဲ့ (Permanent Magnet ထပ်ဆင်ပုံ)



မှတ်ချက်

- Magnet များကို N-S-N-S အဖြင့် အလှည့်ကျ ထပ်ဆင်ထားသည်။
- Surface Mounted Type (SPM) ဖြစ်သည်။

## 4. 3-Phase Winding Connection



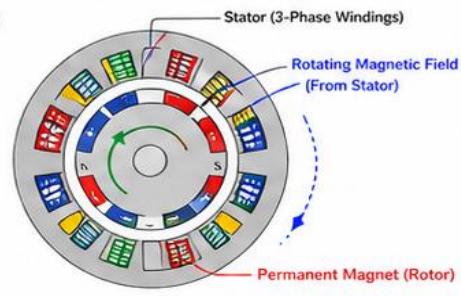
## 5. PMSM Motor ခန့် ပုံစံအမျိုးအစားများ

- SPM (Surface Mounted PMSM) – အများဆုံး အသုံးများသည်။
- IPM (Interior PMSM) – Magnet ကို Rotor အထွင်း ထည့်သွင်းထားသည်။
- Flux Barrier Type – High speed နှင့် High power အထွတ်မြစ်သည်။



## 6. PMSM Motor Working Principle (အလုပ်လုပ်ပုံ)

- Stator ခန့် 3-Phase Current ကို Inverter မှ Supply ပေးသည်။
- Stator Magnetic Field သည် Rotor Magnet Field နှင့် Synchronous အဖြစ် လှည့်ပတ်သွားသည်။
- Rotor ခန့် Permanent Magnet များသည် Stator Field နှင့် Lock (Synchronous) ဖြစ်မြဲ နှင့် Torque ထုတ်ပေးသည်။



# PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) ဆိုသည်မှာ

**PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)** သည် ယနေ့ခေတ် EV (Electric Vehicle) များတွင် အသုံးအများဆုံး Traction Motor အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ Rotor အတွင်းတွင် **Permanent Magnets (NdFeB Rare-earth Magnets)** တပ်ဆင်ထားပြီး Inverter မှ ထုတ်ပေးသော 3-Phase AC နှင့် Synchronize ဖြစ်အောင် လည်ပတ်သောကြောင့် Efficiency မြင့်ပြီး Torque ကောင်းပါသည်။

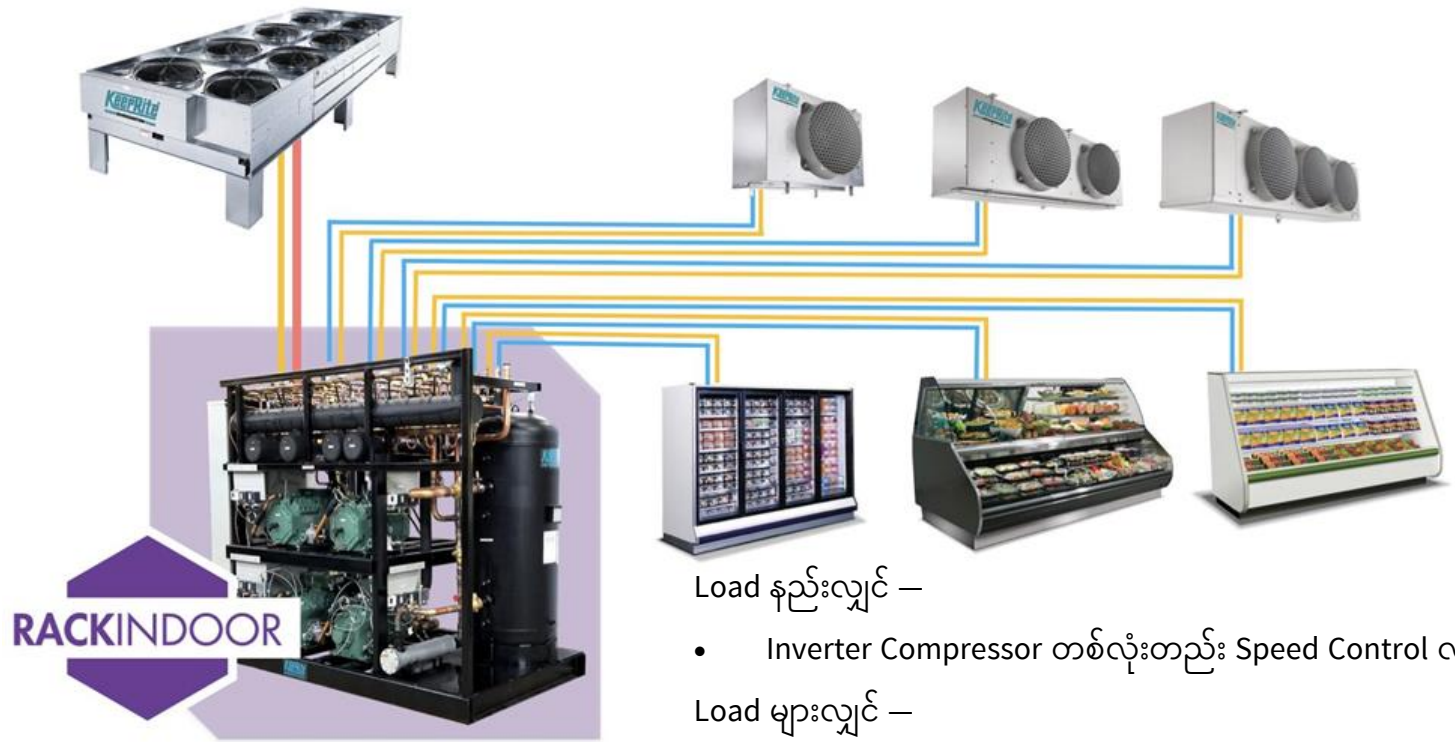


## PMSM ကို EV များတွင် အသုံးပြုရသည့် အကြောင်းရင်းများ

- **Efficiency မြင့်** (95–98% အထိ)
- **Starting Torque အလွန်မြင့်** (0 rpm မှ Torque အပြည့်နီးပါး ထုတ်နိုင်)
- **Power Density မြင့်** (အရွယ်သေးသော်လည်း Power များ)
- **Regenerative Braking** ကို ထိရောက်စွာ လုပ်ဆောင်နိုင်
- **SiC MOSFET Inverter** နှင့် တွဲဖက်အသုံးပြုပါက Switching Loss နည်းပြီး မော်တာ၏ Efficiency ပိုမိုမြင့်မားသည်။

|                   |                                                     |                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| EV မော်ဒယ်        | Motor အမျိုးအစား                                    | မှတ်ချက်                                    |
| Tesla Model 3     | PMSM (Rear Motor)                                   | Efficiency အလွန်မြင့်                       |
| Tesla Model Y     | PMSM                                                | Long Range မော်ဒယ်များတွင် PMSM အသုံးများ   |
| BYD Seal          | PMSM                                                | BYD 8-in-1 Electric Powertrain              |
| BYD Atto 3        | PMSM                                                | e-Platform 3.0                              |
| Hyundai Ioniq 5   | PMSM                                                | 800V Platform                               |
| Kia EV6           | PMSM                                                | Hyundai E-GMP Platform                      |
| Nissan Leaf       | PMSM                                                | ကမ္ဘာ့ရောင်းအားကောင်းသော EV များထဲမှ တစ်စီး |
| BMW i4            | Electrically excited synchronous motor (PMSM မဟုတ်) | Permanent Magnet မသုံးသော Synchronous Motor |
| Mercedes-Benz EQE | PMSM                                                | High-performance Drive                      |
| XPeng G6          | PMSM                                                | SiC Inverter နှင့် တွဲဖက်အသုံးပြု           |

# Refrigeration System



**RACKINDOOR**

Load နည်းလျှင် —

- Inverter Compressor တစ်လုံးတည်း Speed Control လုပ်

Load များလျှင် —

- Additional Compressors ON

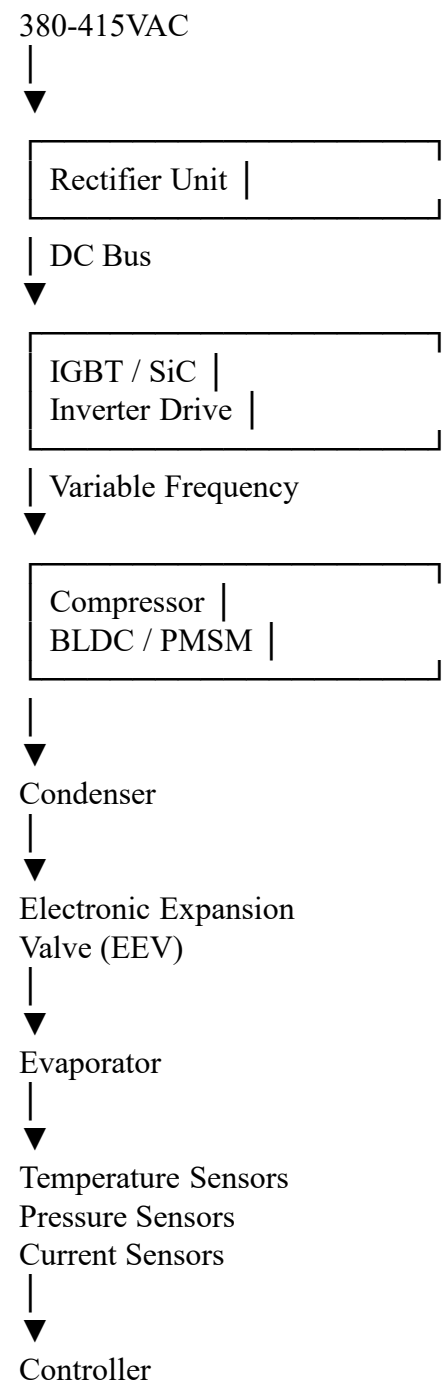
ဖြစ်သည်။

### 10. Cold Storage Automation System

Modern Systems တွင် —

- PLC
- DDC Controller
- SCADA
- IoT Monitoring
- BMS Integration

တို့နှင့်ချိတ်ဆက်ထားသည်။



ဖြစ်သော်လည်း Inverter System တွင်

Temp = 4°C Setpoint

Actual = 5°C



Compressor = 40 Hz

Actual = 7°C



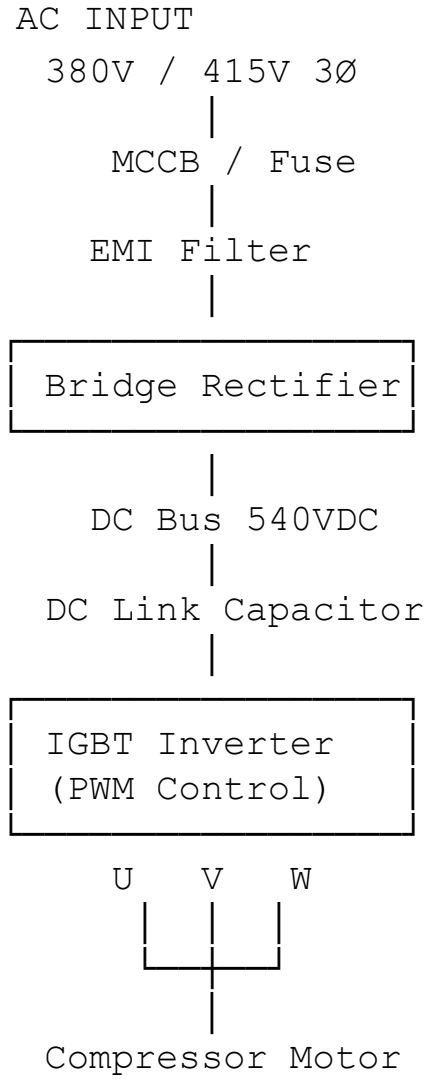
Compressor = 70 Hz

Actual = 10°C



Compressor = 100 Hz

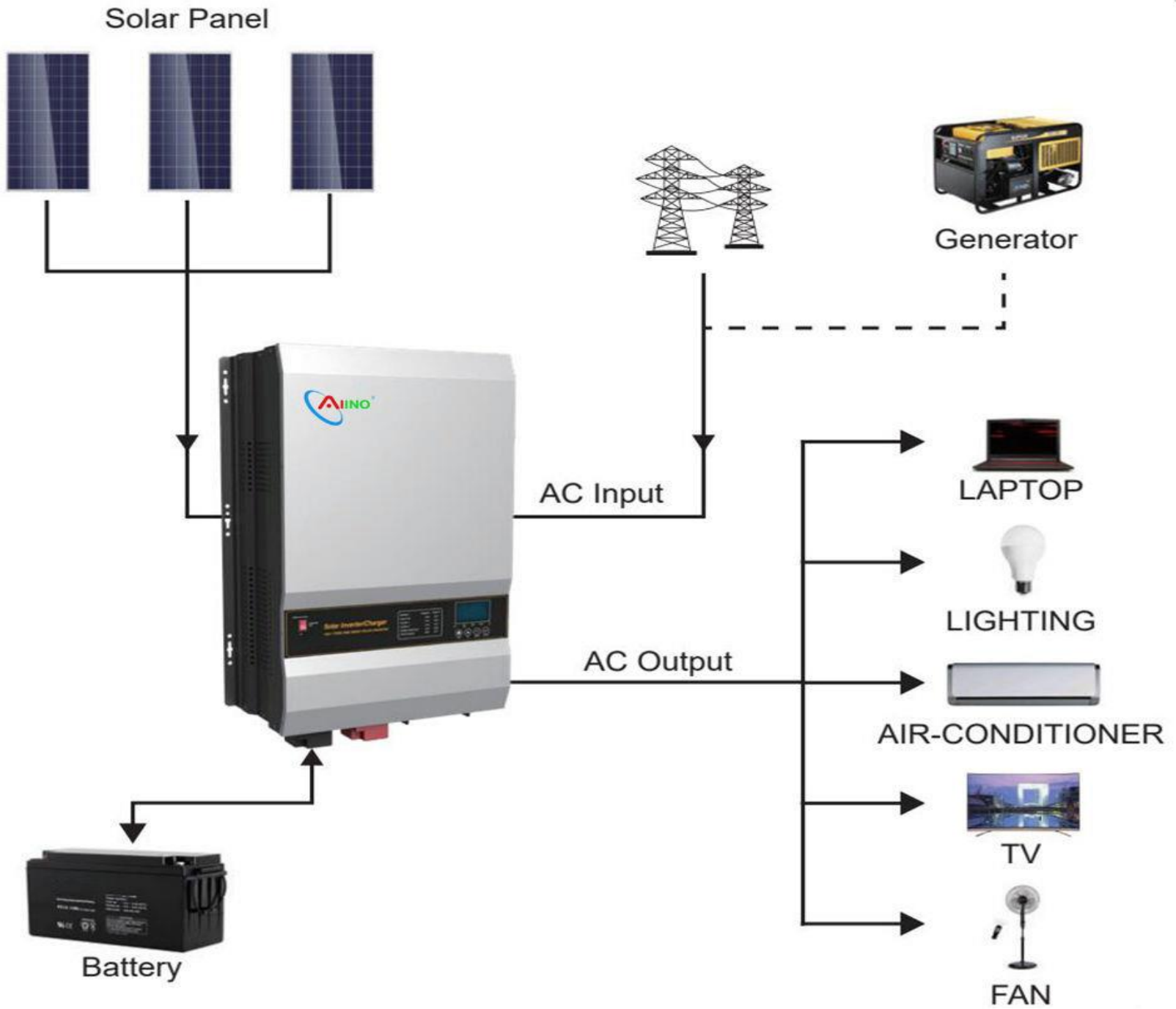
ဖြင့် Load အလိုက် Speed ပြောင်းပေးသည်။



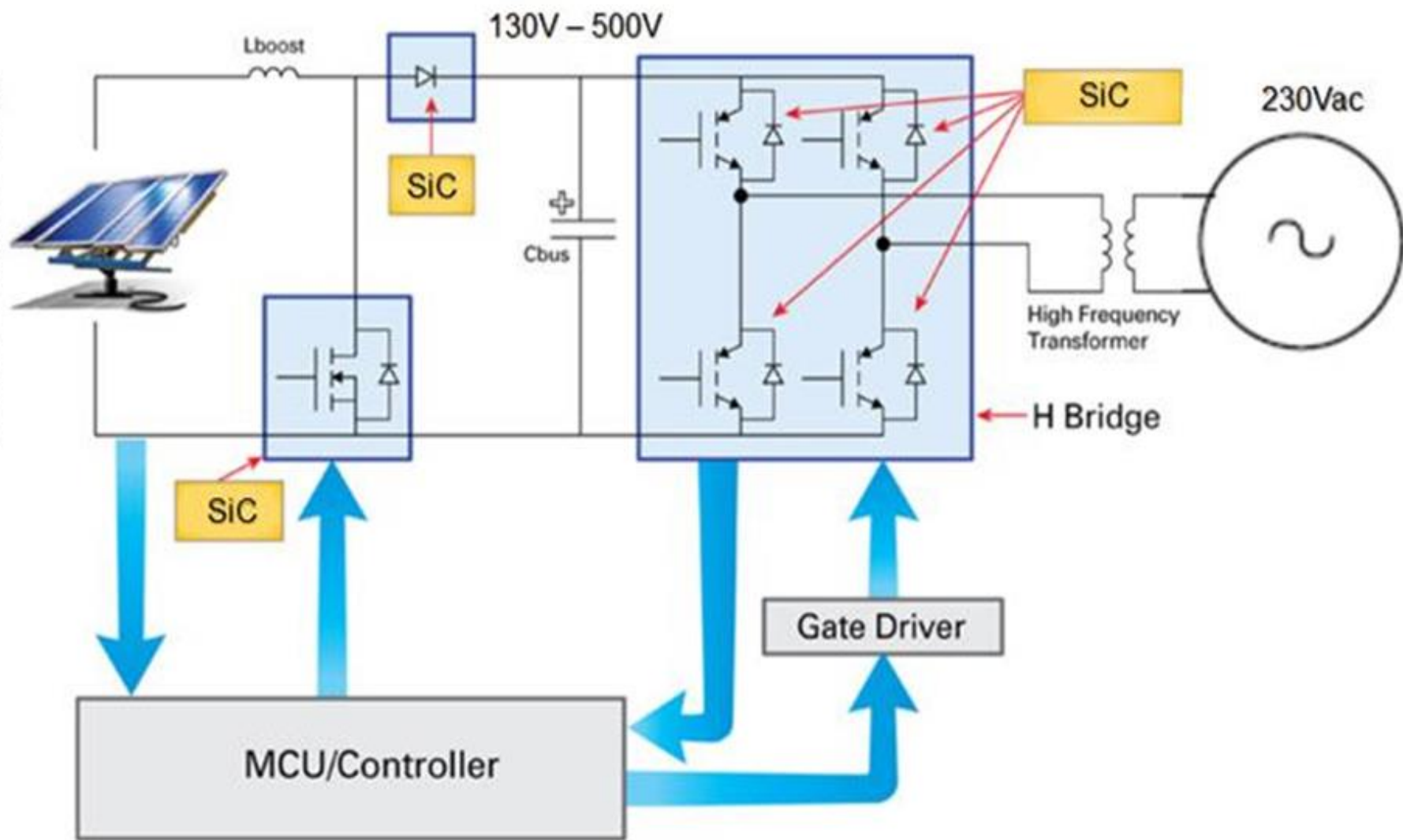
ဤ Circuit တွင် Inverter Controller သည် PWM Signal များထုတ်ပေးပြီး IGBT များကို Switching လုပ်စေကာ Compressor Motor ၏ Speed နှင့် Torque ကို ထိန်းချုပ်သည်။

# Solar System with Inverter Technology





Solar Panel Output (DC Voltage)



Solar PV System များတွင် ယခင်က အများဆုံးအသုံးပြုခဲ့သော Inverter များမှာ 2-Level Inverter (Conventional Inverter) များဖြစ်ပြီး၊ ယနေ့ Utility Scale Solar Farm နှင့် MW-Scale Solar Plant များတွင် 3-Level NPC (Neutral Point Clamped) Inverter များကို ပိုမိုအသုံးပြုလာကြပါသည်။

1. Conventional 2-Level Inverter ဆိုတာဘာလဲ?

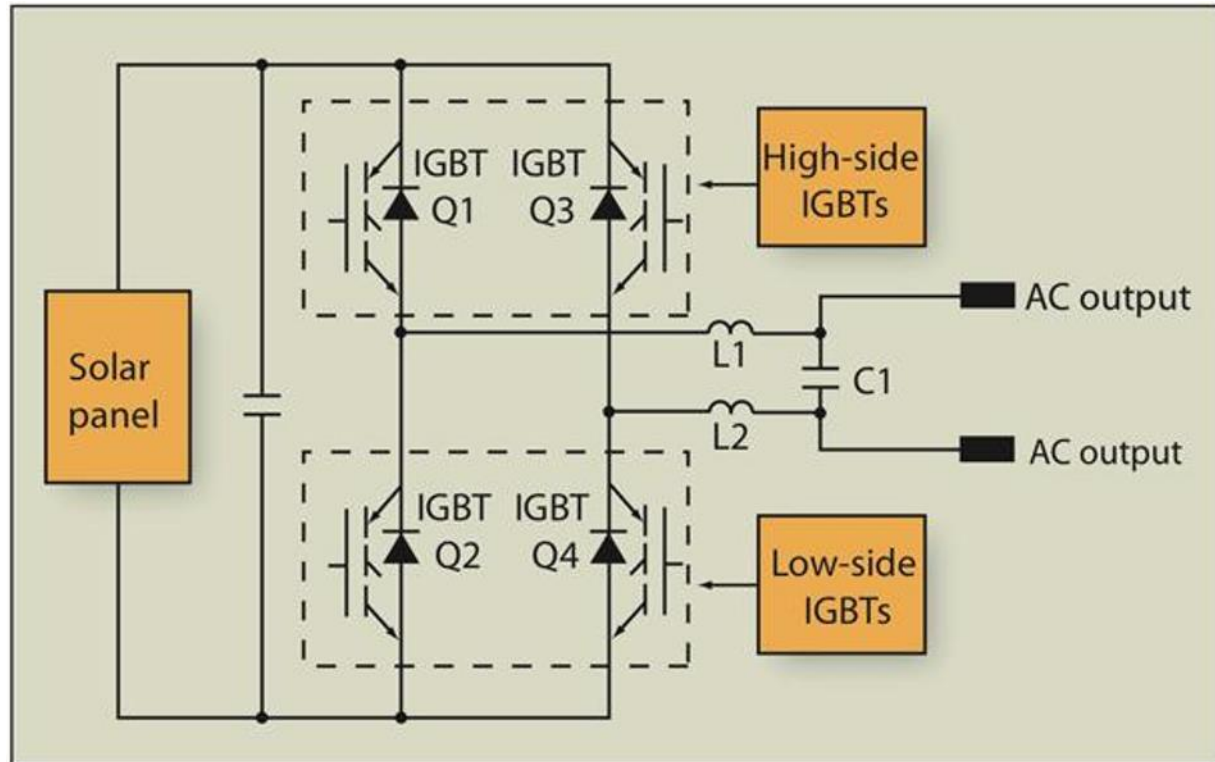
2-Level Inverter သည် Output Voltage ကို

- $+V_{dc}/2$
- $-V_{dc}/2$

Voltage Level 2 ခုသာ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

ဥပမာ DC Bus = 1000V ဖြစ်လျှင်

Output Waveform =  $+500V \leftrightarrow -500V$  ဖြစ်ပါသည်။



# 10. ANPC အားသာချက်

| Parameter          | NPC     | ANPC        |
|--------------------|---------|-------------|
| Switch Count       | 4       | 6           |
| Diode Loss         | ရှိ     | မရှိ        |
| Efficiency         | 98.5%   | 99%+        |
| Thermal Balance    | ပုံမှန် | အလွန်ကောင်း |
| SiC MOSFET Support | ကောင်း  | အလွန်ကောင်း |

**S1-S4 Switching Sequence Table**  
 NPC Inverter တွင် Output Voltage Level 3 ခုရှိသည်။

| Output | S1  | S2  | S3  | S4  |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| +Vdc/2 | ON  | ON  | OFF | OFF |
| 0V     | OFF | ON  | ON  | OFF |
| -Vdc/2 | OFF | OFF | ON  | ON  |

ယနေ့ခေတ်

1500V DC SOLAR PLANT များ၌

- 3-LEVEL NPC

- 3-LEVEL ANPC

- SIC MOSFET BASED ANPC

TOPOLOGY များကို အသုံးများလာကြသည်။

အထူးသဖြင့် SUNGROW, HUAWEI DIGITAL POWER နှင့် POWER

ELECTRONICS ကဲ့သို့သော UTILITY SCALE INVERTER များတွင်

MULTI-LEVEL TOPOLOGY များကို အသုံးပြုကြသည်။

## 5. SiC MOSFET ကို အသုံးပြုရသည့် အဓိက အကျိုးကျေးဇူးများ

| အချက်                  | IGBT     | SiC MOSFET                                       |
|------------------------|----------|--------------------------------------------------|
| Switching Frequency    | 5–20 kHz | 50–200 kHz နှင့်အထက်                             |
| Switching Loss         | များ     | အလွန်နည်း                                        |
| Heat Generation        | များ     | နည်း                                             |
| Heat Sink Size         | ကြီး     | သေးနိုင်                                         |
| Efficiency             | 95–98%   | 98–99%                                           |
| Operating Temperature  | ~150°C   | 175–200°C                                        |
| High Voltage Operation | ကောင်း   | အလွန်ကောင်း (650V–3300V+)                        |
| EMI Control            | လွယ်     | မြန်သော Switching ကြောင့် ဒီဇိုင်းဂရုစိုက်ရန်လို |
| Device Cost            | သက်သာ    | ပိုများကြီး                                      |

**Solar Industry တွင် အဘယ်ကြောင့် SiC သို့ ပြောင်းလဲနေသနည်း**

**ကြီးမားသော Solar Inverter (100 kW – MW Class) များတွင်**

- DC Bus Voltage ကို 1000V မှ 1500V အထိ တိုးလာခြင်း
- Efficiency ကို 99% နီးပါးရရန် လိုအပ်ခြင်း
- Cooling System ကို သေးငယ်စေလိုခြင်း
- Power Density (kW/Liter) မြင့်လိုခြင်း

**တို့ကြောင့် SiC MOSFET များကို အသုံးပြုလာကြသည်။**

IGBT သည် အားကြီးပြီး ဈေးသက်သာသော Technology ဖြစ်သော်လည်း Switching Loss နှင့် Heat Loss များရှိသည်။

SiC MOSFET သည် Wide Bandgap Semiconductor Technology ဖြစ်ပြီး Switching အလွန်မြန်၊ Loss နည်း၊ Efficiency မြင့်၊ Heat Sink သေးငယ်နိုင်သောကြောင့် နောက်မျိုးဆက် Solar Inverter များ၏ အဓိက Power Device ဖြစ်လာနေပါသည်။

# Solar Inverter နှင့် VFD kW ကိုက်ညီရမည်

ဥပမာ

Motor = 50kW

ဆိုလျှင်

Solar Inverter = 60~75kW

VFD = 55~75kW ခန့် ရွေးကြသည်။

## Overloading ဖြစ်လျှင်

Inverter Rating

50kW

Motor Demand

80kW ဖြစ်လျှင်

DC Bus Current ↑

IGBT Current ↑

Heat ↑

ဖြစ်လာမည်။

ရလဒ်

Trip

သို့မဟုတ်

Power Module Burn

ဖြစ်နိုင်သည်။

# Three-Phase Inverter Size Quick Guide

| Motor HP | Motor kW | Recommended Inverter |
|----------|----------|----------------------|
| 10 HP    | 7.5 kW   | 10 kW                |
| 20 HP    | 15 kW    | 20 kW                |
| 30 HP    | 22 kW    | 30 kW                |
| 50 HP    | 37 kW    | 45–50 kW             |
| 75 HP    | 55 kW    | 75 kW                |
| 100 HP   | 75 kW    | 100 kW               |
| 150 HP   | 110 kW   | 132–160 kW           |

## အရေးကြီးသော အချက်

Solar Inverter သည် Motor Start Current ကို ထိန်းပေးသည့် VFD အစား မဟုတ်ပါ။

•Solar Inverter → DC/AC Power Supply

•VFD → Motor Speed & Starting Current Control ဖြစ်ပါသည်။

ထို့ကြောင့် 30HP အထက် Three-Phase Motor များ, အထူးသဖြင့် Pump, Compressor, Chiller, Conveyor, Workshop Machinery များကို Solar ဖြင့် မောင်းမည်ဆိုလျှင် VFD တပ်ပြီး မောင်းခြင်းသည် Inverter ကို ကာကွယ်ပေးသလို Motor သက်တမ်းကိုလည်း ပိုကောင်းစေပါသည်။

50HP Crusher Motor အတွက် ယခုတစ်ကြိမ် ပေးထားသော

Data

- Motor = 50 HP
  - Voltage = 415V (380V/400V/415V Class)
  - FLA = 75A
  - Load Type = Crusher (Heavy Duty Constant Torque)
- သည် အင်ဂျင်နီယာအရ သင့်တော်ပြီး လက်တွေ့နှင့် ကိုက်ညီပါသည်။

### 1. Motor Power Calculation

Motor Output

$$50 \text{ HP} \times 0.746$$

$$= 37.3 \text{ kW}$$

Motor Efficiency  $\approx 92\%$

ဆိုလျှင်

Input Power

$$= 37.3 / 0.92$$

$$= 40.5 \text{ kW}$$

ထို့ကြောင့် Motor က Grid မှ အပြည့် Load တွင် **40~42 kW ခန့် စားမည် ဖြစ်သည်။**

## 2. Current Verification

Three Phase Power

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times PF$$

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

$$I = \frac{V_s}{R} = \frac{12.0 \text{ V}}{6.0 \Omega} = 2.00 \text{ A}$$

$$V_s = 12.0 \text{ V} + R \cdot I = 6.0 \Omega \cdot 2.00 \text{ A}$$

415V

75A

$$PF = 0.85$$

ဆိုလျှင်

$$P = 1.732 \times 415 \times 75 \times 0.85$$

$\approx 45.8 \text{ kW}$  ဖြစ်သည်။

Motor Efficiency ထည်တွက်လျှင်

37~40kW Range ရရှိပြီး

50HP Motor နှင့် ကိုက်ညီပါသည်။

## Crusher Load အတွက် VFD Size

Crusher သည်

- High Starting Torque

- Shock Load

- Jam ဖြစ်နိုင်

- Inertia ကြီး

သောကြောင့် Pump ထက် VFD ကို Oversize ရွေးရသည်။

### Minimum

45 kW VFD

### Recommended

55 kW Heavy Duty VFD

### Best Industrial Practice

75 kW Heavy Duty VFD

အထိ သုံးကြသည်။

အထူးသဖြင့်

- Stone Crusher

- Jaw Crusher

- Hammer Crusher

များတွင် 75kW VFD သည် အနာဂတ် Expansion နှင့် Shock Load ကို ခံနိုင်သည်။

# Solar Inverter Size

Motor Input

≈ 41 kW

Crusher Load Safety Margin

× 1.3

$41 \times 1.3 \approx 53 \text{ kW}$

ထို့ကြောင့်

**Recommended**

60 kW Three Phase Solar Inverter

ပိုစိတ်ချရရန်

80 kW Inverter

ရွေးနိုင်သည်။



HBF Series  
**ON GRID  
INVERTER**  
30KW ~ 100KW



## Recommended Equipment

| Item                 | Size                    |
|----------------------|-------------------------|
| Motor                | 50 HP                   |
| FLA                  | 75A                     |
| Solar PV             | 80 kWp                  |
| Solar Inverter       | 60 kW                   |
| VFD                  | 55 kW (75 kW preferred) |
| MCCB                 | 125A                    |
| Transformer          | 63~100 kVA              |
| Battery (optional)   | 20~30 kWh Buffer        |
| Battery (2hr Backup) | 100 kWh                 |

# Motor ကို တိုက်ရိုက် Solar Inverter ဖြင့် မောင်းသင့်သလား?

မသင့်ပါ။

အကောင်းဆုံးမှာ

Solar



Hybrid PCS



AC Bus



Industrial VFD



Motor

သို့မဟုတ်

PV



1500V DC Bus



Active Front End (AFE)



DC Link



VFD



Motor

# EMS (Energy Management System) ၏

## အလုပ်များ

EMS သည် System တစ်ခုလုံး၏  
ဦးနှောက်ဖြစ်သည်။

၎င်းက

- Solar Power ဘယ်လောက်ရှိသလဲ
  - Battery SOC ဘယ်လောက်ကျန်သလဲ
  - Grid Available ဖြစ်သလား
  - Motor Load ဘယ်လောက်လိမ္မော်သလဲ
- တို့ကို အချိန်နှင့်တပြေးညီတွက်ချက်ပြီး  
Power Flow ကို  
အလိုအလျောက်ဆုံးဖြတ်ပေးသည်။

## AFE (Active Front End)

ယခင် VFD များတွင်

AC



Diode Rectifier



DC Bus

သာ အသုံးပြုသည်။

အသစ်သော AFE တွင်

AC



IGBT Bridge



PWM Rectifier



DC Bus

ကို အသုံးပြုသည်။

အားသာချက်များမှာ

- Unity Power Factor ( $\approx 0.99$ )
- Low Harmonic ( $\text{THDi} < 5\%$ )
- Regenerative Braking
- Bidirectional Power Flow
- Smart Grid Compatible

# Electric Vehicle EV And Inverter System

# Electric Vehicle (EV) တွင်

EV Battery သည် DC ဖြစ်သည်။

Motor သည် 3-Phase AC Motor  
ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့်

Battery (DC)



Inverter



AC Motor

လိုအပ်သည်။

Motor Controller သည်

- Accelerator Signal

- Motor Speed

- Torque Demand

များကို တွက်ချက်ပြီး

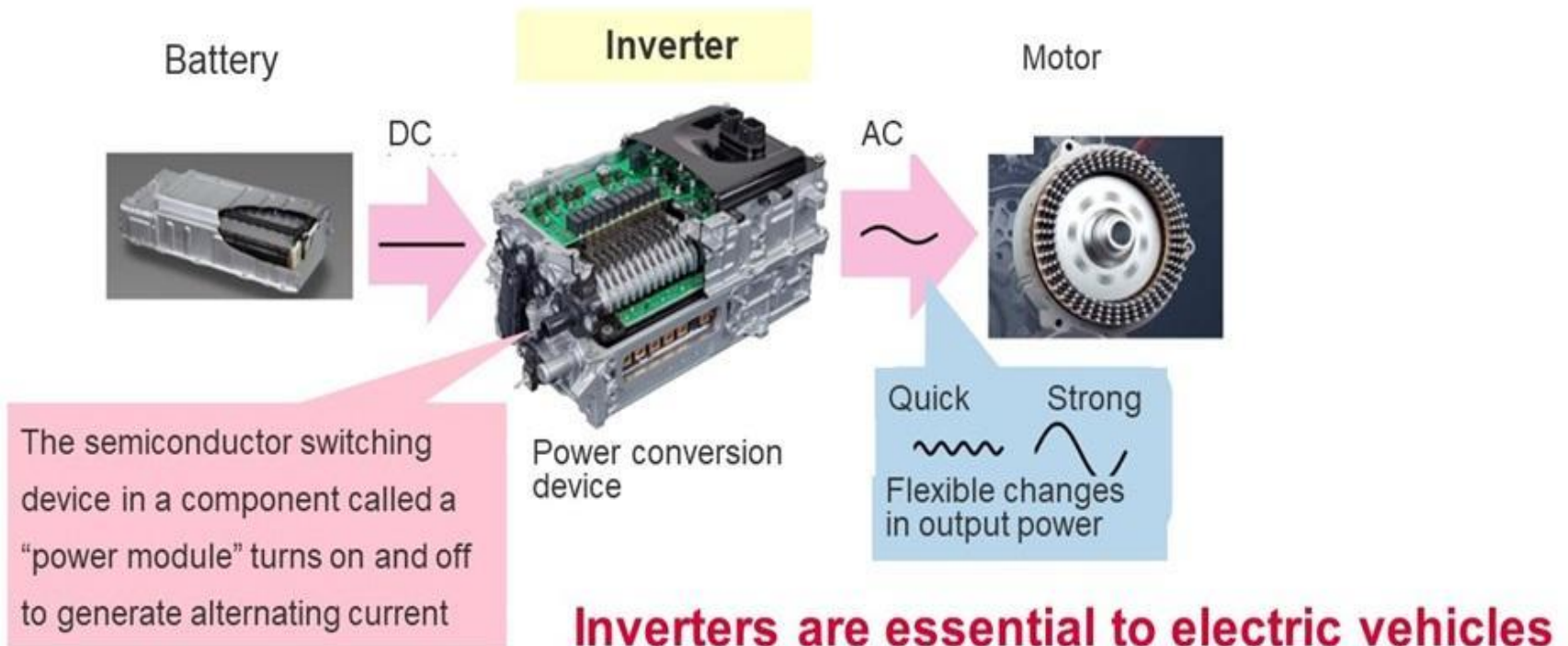
Inverter IGBT/MOSFET များကို

Switching Command ပေးသည်။

# Electric Vehicles (EV)

## What is an inverter?

An inverter converts direct current from the battery into alternating current to turn the motors that provide power for hybrid electric vehicles (HEVs) and battery electric vehicles (BEVs)

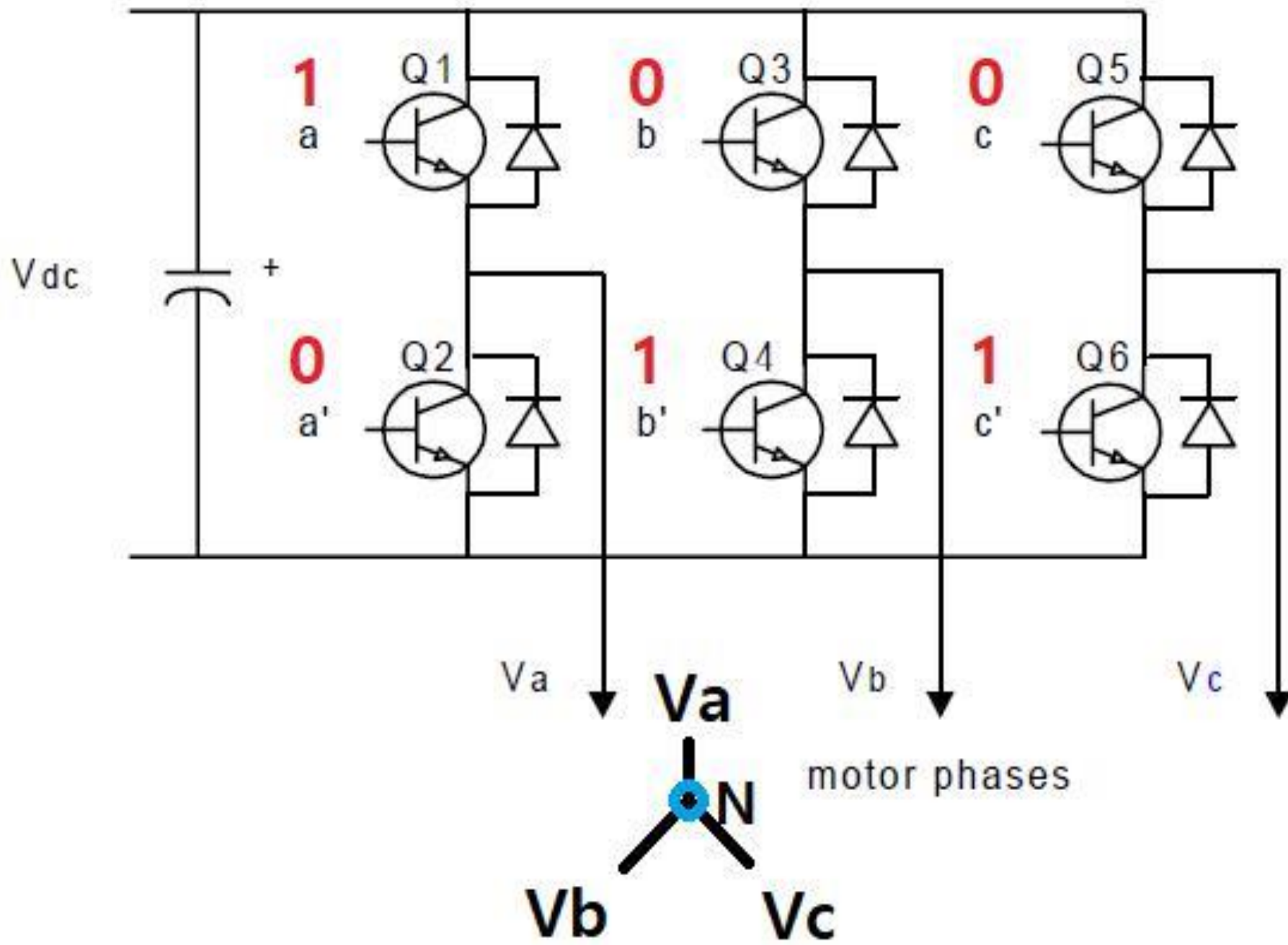


# SVPWM (Space Vector PWM) Switching Sequence ကို အသေးစိတ်ရှင်းပြခြင်း

SVPWM သည် EV Traction Inverter, VFD Drive, Solar Inverter နှင့် Servo Drive များတွင် အသုံးများသော PWM နည်းပညာဖြစ်သည်။ SPWM (Sinusoidal PWM) ထက် DC Bus Voltage ကို ပိုမိုအသုံးချနိုင်ပြီး Harmonic Distortion လည်း နည်းပါးသည်။

## 1. Three-Phase Inverter Structure

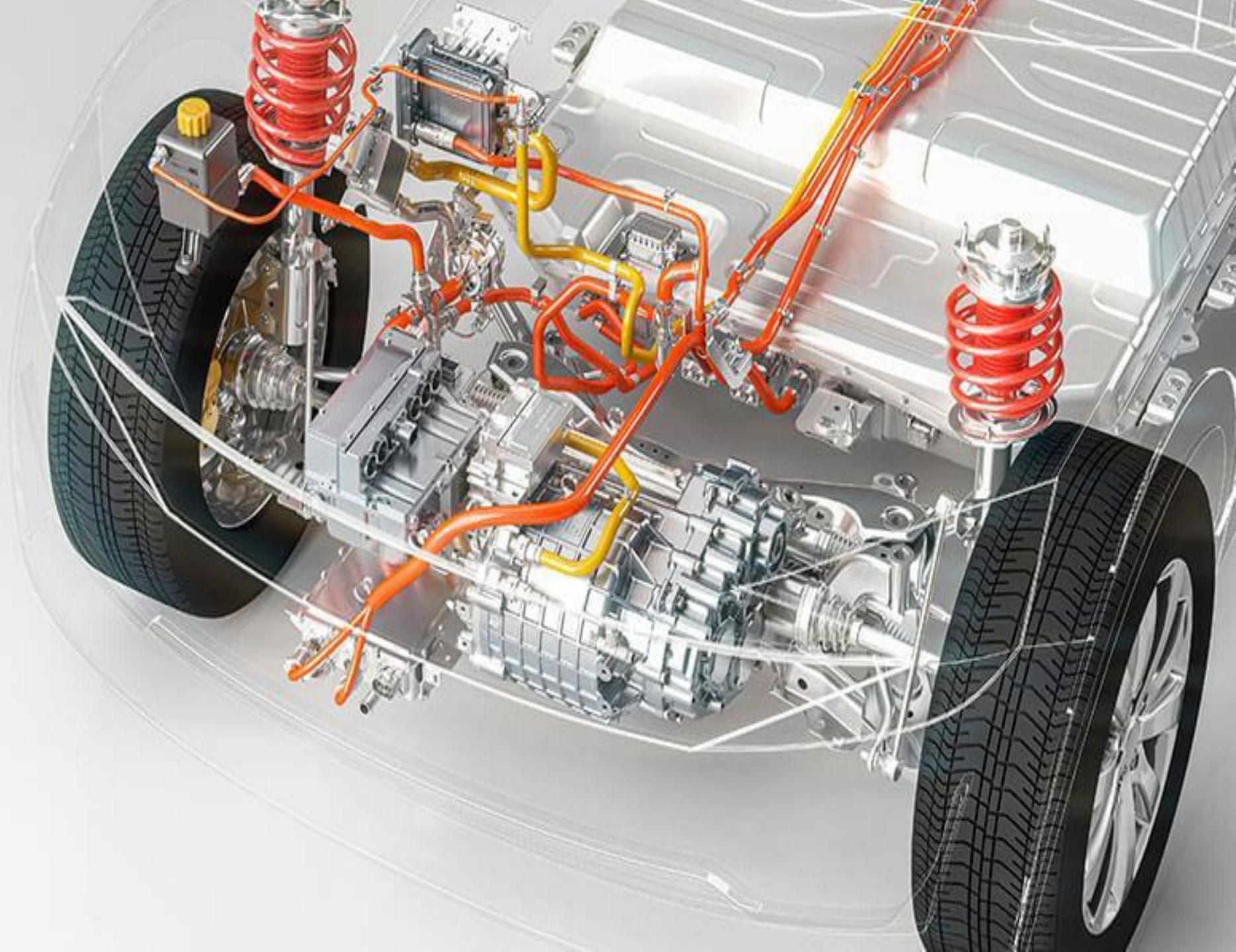
အခြေခံအားဖြင့် SVPWM သည် Three-Phase Inverter ၏ Switch 6 လုံးကို ထိန်းချုပ်သည်။



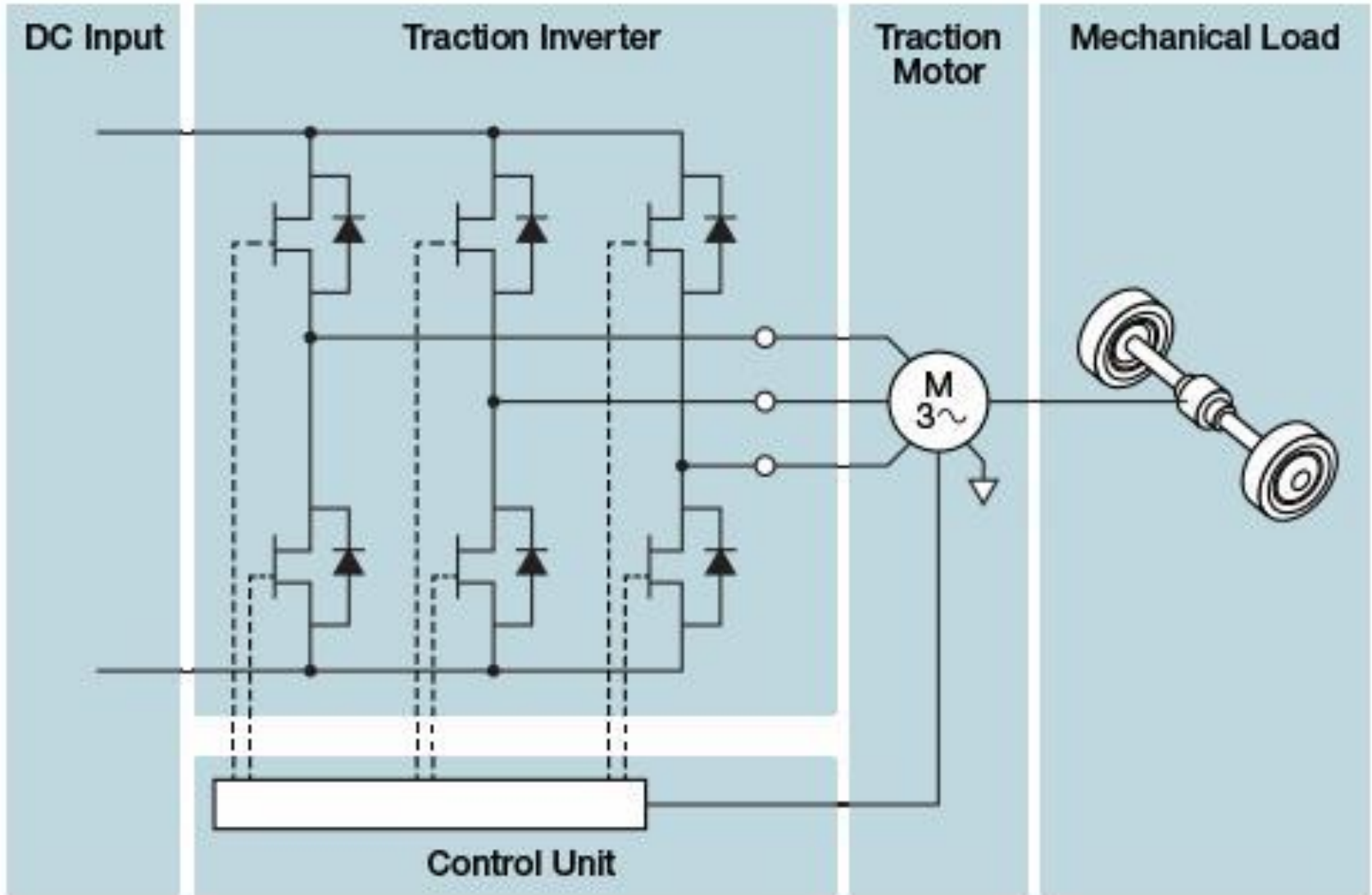
## SVPWM ၏ အဓိကအားသာချက်များ

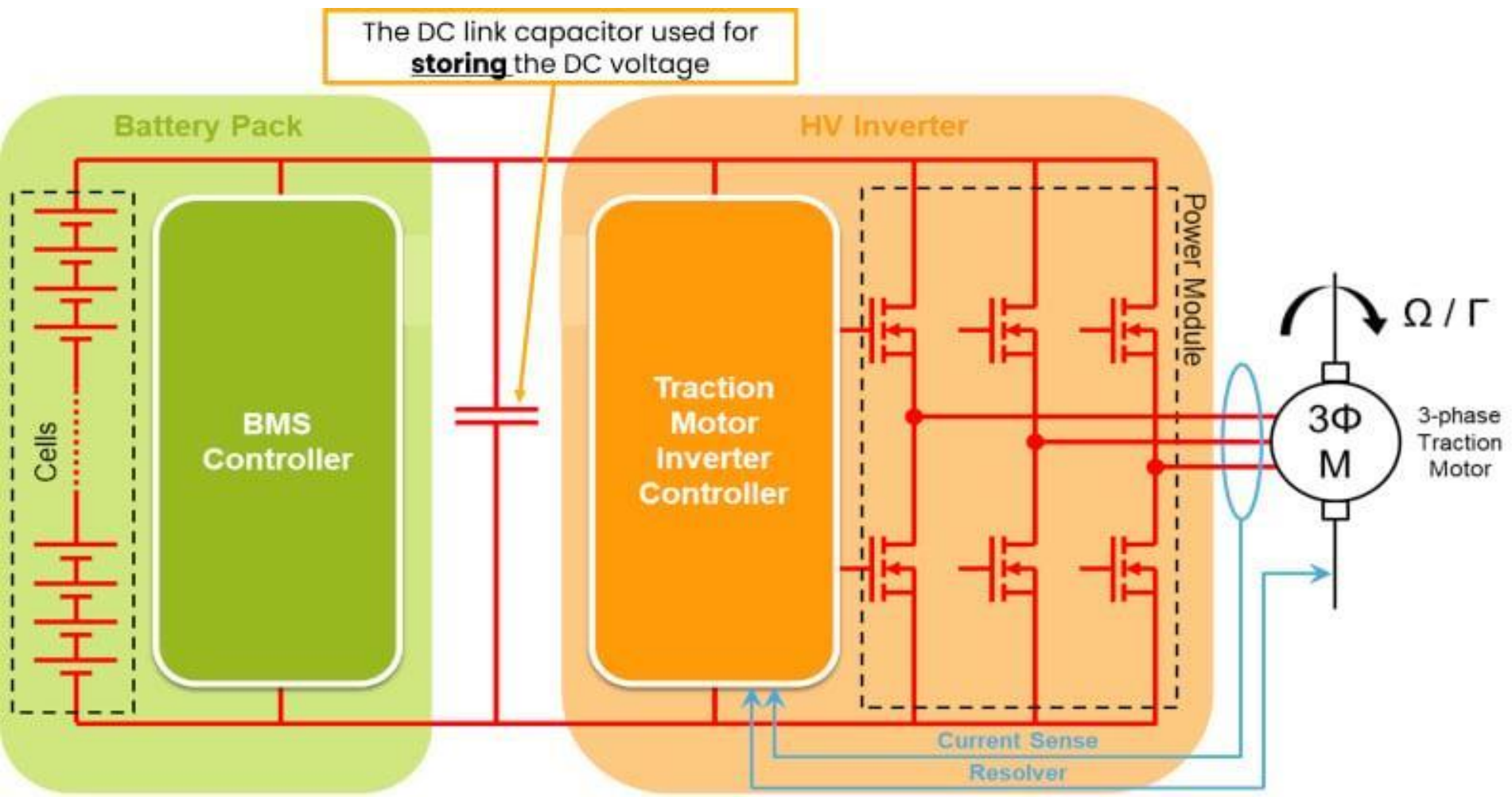
- DC Bus Utilization  $\approx 15\%$  ပိုကောင်း
- Higher Output Voltage
- Lower THD (Harmonics)
- Lower Torque Ripple
- Higher Motor Efficiency
- EV Range ပိုကောင်း

ထို့ကြောင့် ခေတ်သစ် EV Inverter များ၊ Industrial VFD များနှင့် Servo Drives များတွင် SVPWM ကို စံနည်းပညာအဖြစ် အသုံးပြုနေကြပါသည်။



EV (Electric Vehicle) များတွင် အသုံးပြုသော Traction Drive System သည် Battery မှ DC Power ကို PMSM Motor အတွက် Three-Phase AC Power အဖြစ် ပြောင်းပေးသော Inverter System ဖြစ်သည်။





# အခြေခံ Power Flow သည်

Battery Pack



Pre-Charge Circuit



DC Link Capacitor



SiC MOSFET / IGBT Inverter



Three Phase AC



PMSM Motor



Gear Reducer



Wheel



EV Battery



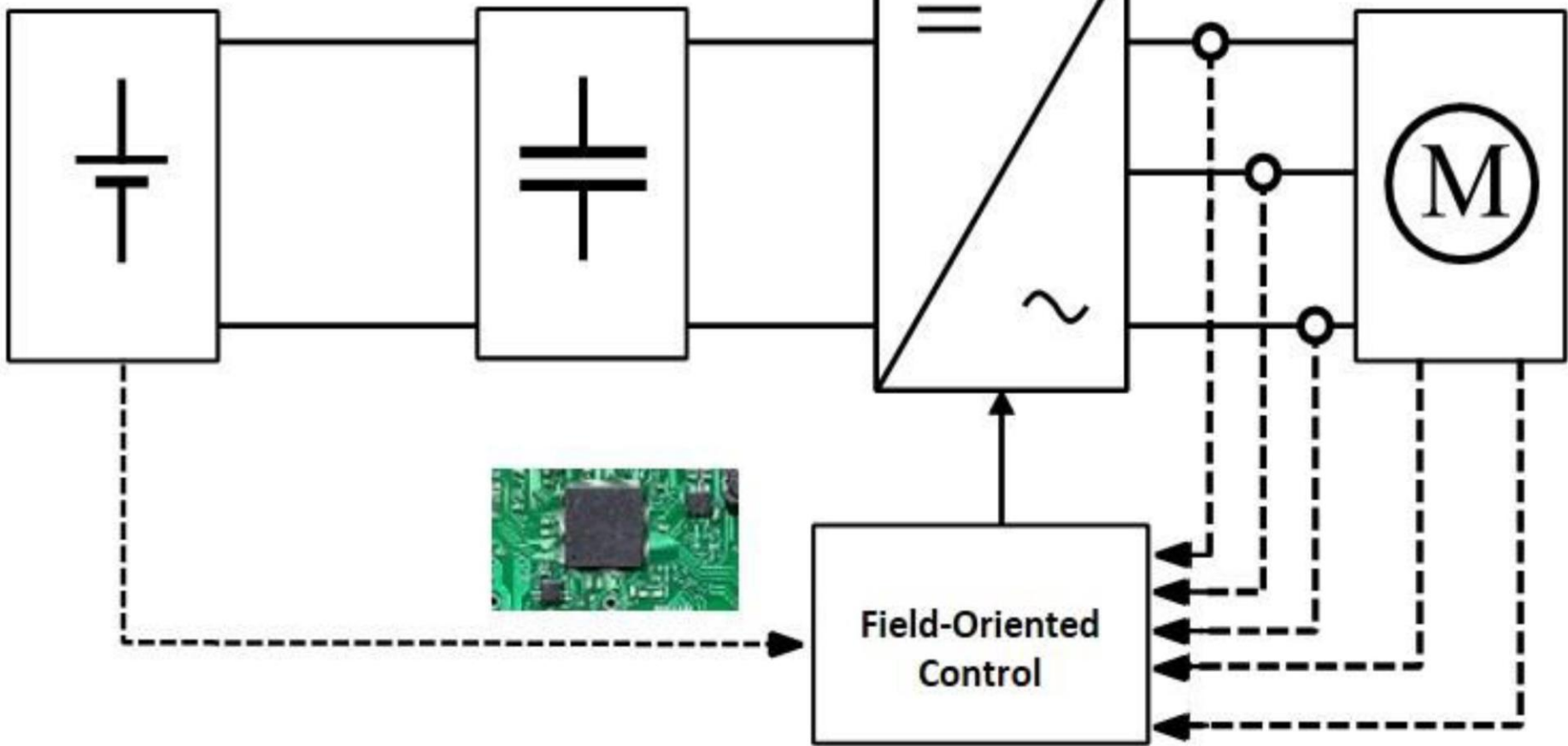
DC-link Capacitor



3-Ph. Inverter



PMSM



## Battery Pack

Tesla Model 3 Long Range တွင်

Battery Voltage

≈ 350V ~ 400V DC

Tesla Cybertruck 800V Platform တွင်

≈ 800V DC

BYD e-Platform 3.0 တွင်

≈ 800V Class

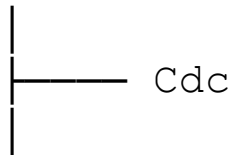
အသုံးပြုလာကြသည်။

## DC Link Capacitor

Capacitor Bank သည်

- DC Voltage Ripple လျော့ချခြင်း
  - Regenerative Braking Energy စုပ်ယူခြင်း
  - Inverter Switching Current Filtering
- အတွက် အသုံးပြုသည်။

Battery



Inverter

# SVPWM (Space Vector PWM)

FOC System ၏

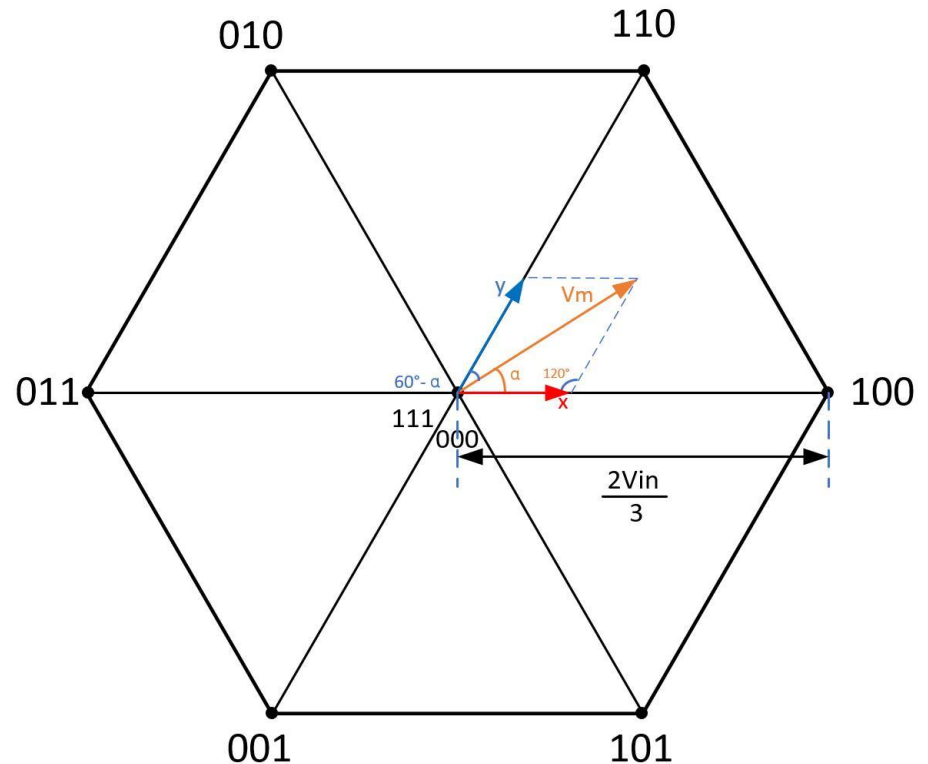
အရေးအကြီးဆုံးအပိုင်းဖြစ်သည်။  
SVPWM သည်

$V_a$

$V_b$

$V_c$

Voltage Commands များကို  
Switching Pattern အဖြစ်  
ပြောင်းပေးသည်။



# Regenerative Braking

EV တွင် Motor ကို Generator အဖြစ်  
ပြောင်းသုံးသည်။

Wheel



PMSM



Inverter



Battery

## Current Flow

Motor → Inverter → Battery

ပြန်စီးသည်။

# EV Traction Control System အကျဉ်း

Accelerator Pedal



Torque Command



MTPA Controller



$i_d^*$ ,  $i_q^*$



PI Current Controller



$v_d^*$ ,  $v_q^*$



Inverse Park

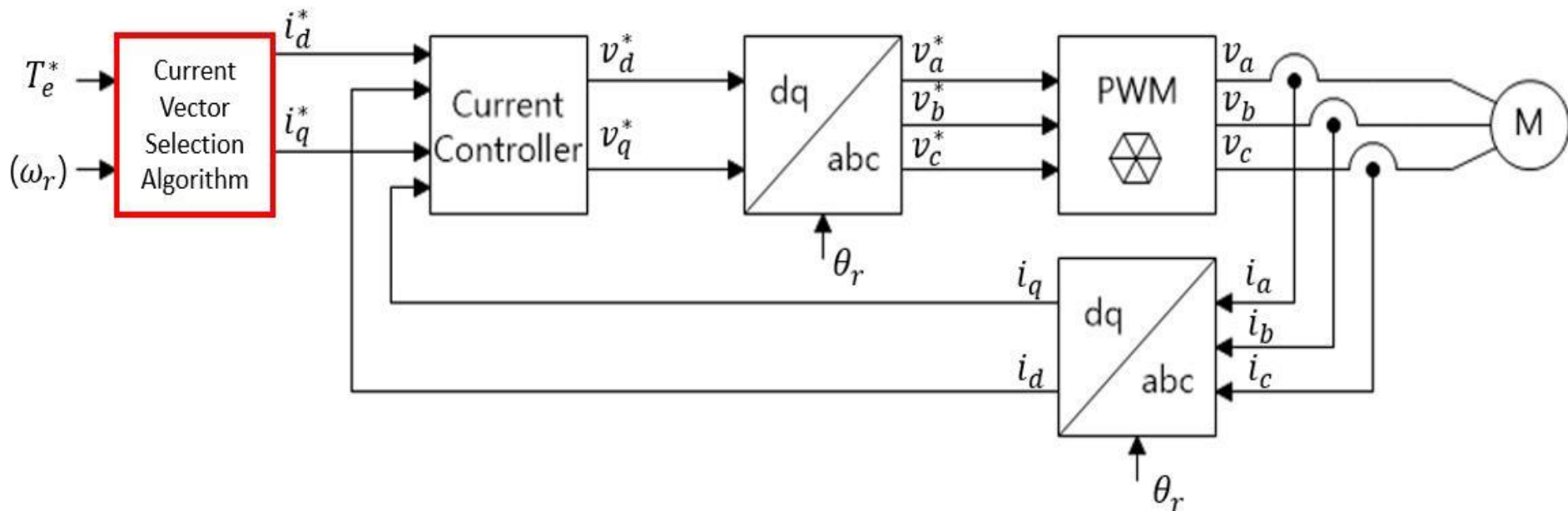


SVPWM



SiC MOSFET Inverter





ဒီပုံထဲက Control Block Diagram ဟာ **PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)** သို့မဟုတ် **AC Motor အတွက် Vector Control / Field Oriented Control (FOC) System Diagram** ဖြစ်ပါတယ်။

EV (Electric Vehicle) များ၊ Inverter Air Conditioner Compressor များ၊ Servo Motor များ၊ Elevator Drives များ၊ Industrial VFD Drives များမှာ အသုံးများပါတယ်။

Torque Command



Current Vector Selection



Current Controller (PI)



Inverse Park Transform



SVPWM



Inverter



PMSM Motor



Current Feedback



Park Transform



Current Controller

ဒါဟာ Closed Loop Control System ဖြစ်ပါတယ်။

## **dq Axis ဆိုတာ ဘာလဲ?**

Vector Control မှာ

Three Phase Current

$i_a$

$i_b$

$i_c$

ကို

Rotating Coordinate System ထဲ ပြောင်းလိုက်တယ်။

d-axis

q-axis

ဖြစ်သွားတယ်။

### **d-axis**

Rotor Magnet နဲ့ တန်းတူနေတဲ့ Axis

Flux Control

လုပ်တယ်။

### **q-axis**

Rotor ကို  $90^\circ$  ထောင့်ဖြတ် Axis

Torque Control

လုပ်တယ်။

# EV ကားထဲမှာ ဘယ်လို အလုပ်လုပ်သလဲ?

ဥပမာ Tesla, BYD, Hyundai Ioniq 5, Nissan Leaf စသည်တို့မှာ  
Driver Accelerator Pedal နှင်းလိုက်ရင်

Accelerator



Torque Request



$i_q^*$



FOC Controller



SVPWM



SiC MOSFET Inverter



PMSM Motor



Wheel  
ဖြစ်တယ်။

# Vector Control

သင်ပြထားသော Diagram သည် EV ကားများ၊ Inverter Air Conditioner Compressor များ၊ Elevator Drives များတွင် အသုံးပြုသော **Field Oriented Control (FOC) / Vector Control** ၏ အဓိက Control Architecture ဖြစ်သည်။

- **id** → **Flux Control**
- **iq** → **Torque Control**
- **Park/Clarke Transform** → **abc ↔ dq** ပြောင်းခြင်း
- **PI Controller** → **Current Regulation**
- **SVPWM** → **Inverter Switching Pulse** ထုတ်ခြင်း
- **PMSM Motor** → **Torque ထုတ်ပေးခြင်း**

ဤနည်းပညာကြောင့် EV များတွင် 0 rpm မှ စ၍ Torque အပြည့်နီးပါး ထုတ်နိုင်ပြီး Efficiency 95% အထက်အထိ ရရှိနိုင်သည်။

# EV တွင် Vector Control အသုံးပြုရသည့် အကြောင်းရင်း

Function

Benefit

Torque Control

အလွန်တိကျ

Speed Control

Smooth

Efficiency

မြင့်

Noise

နည်း

Regenerative Braking

လွယ်

Low Speed Torque

ကောင်း

High Speed Operation

ကောင်း

**Encoder (ခံ့) Rotor Position Sensor များ**

# EV Motor Control System

Accelerator Pedal



Vehicle Control Unit (VCU)



Torque Command



Motor Controller (Inverter)



Encoder / Resolver



Inverter



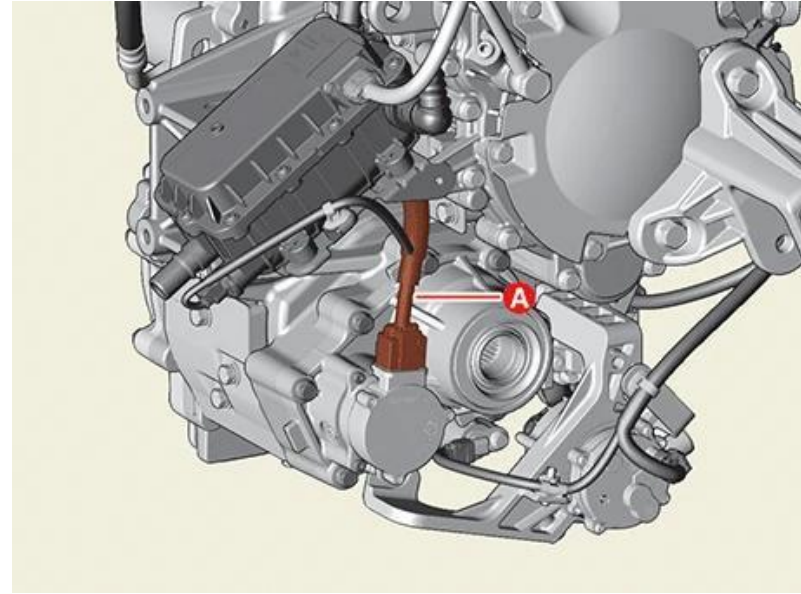
Motor Rotor



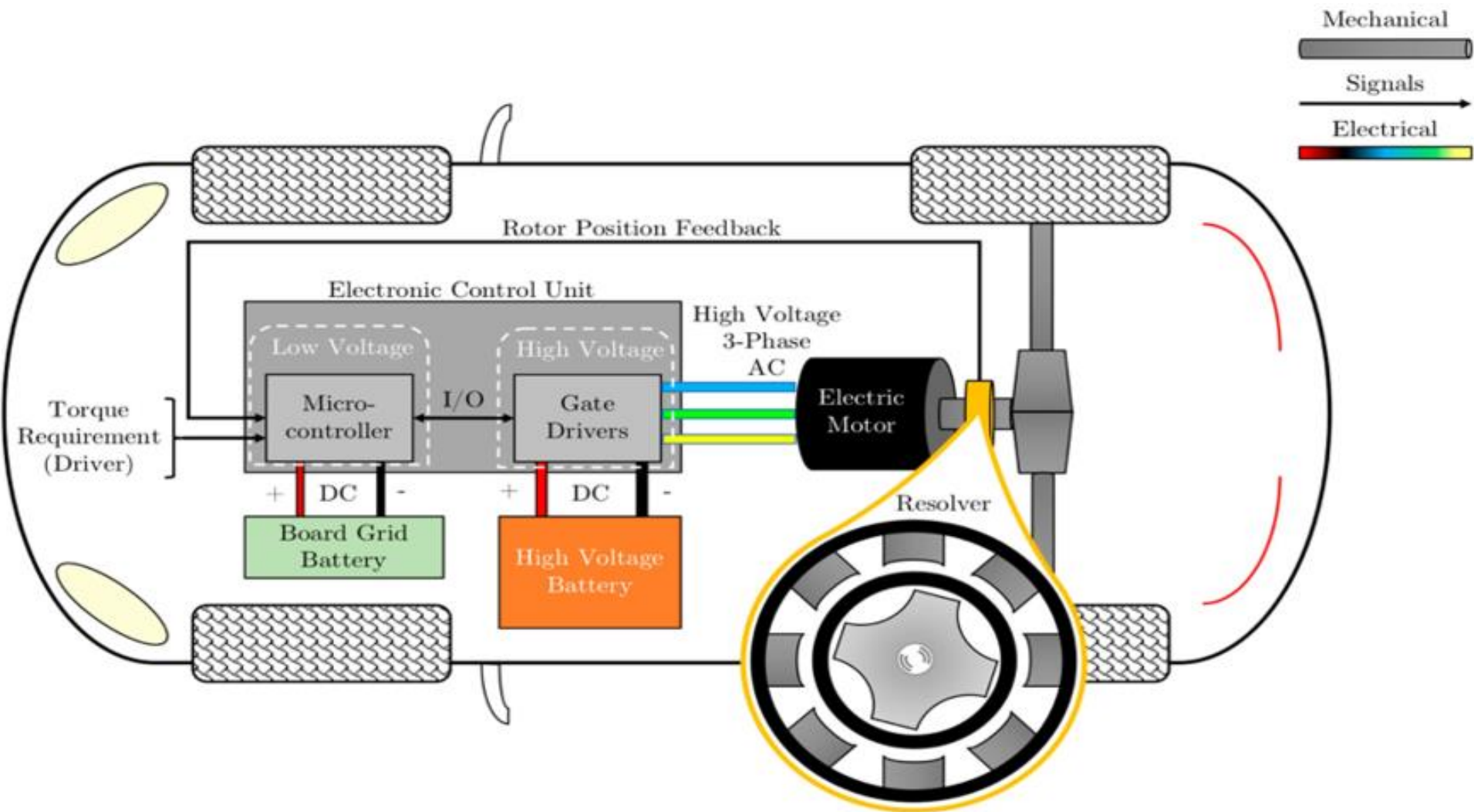
IGBT/MOSFET



U V W



EV (Electric Vehicle) များတွင် **Encoder (သို့) Rotor Position Sensor** များကို အများအားဖြင့် အသုံးပြုကြပါသည်။ သို့သော် EV အားလုံးက Encoder တပ်ထားတာ မဟုတ်ဘဲ၊ အချို့ Model များတွင် **Sensorless Control** ကို အသုံးပြုကြပါသည်။



# Encoder ၏ အဓိကအလုပ်

Motor လည်နေစဉ် Encoder က အောက်ပါအချက်များကို Controller သို့ ပို့ပေးသည်။

## 1. Motor Speed (RPM)

- Motor ဘယ်လောက်မြန်မြန်လည်နေသည်ကို တိုင်းတာသည်။

## 2. Rotor Position (Angle)

- Rotor သည်  $0^\circ$ ၊  $90^\circ$ ၊  $180^\circ$ ၊  $270^\circ$  စသည့် မည်သည့်ထောင့်တွင် ရှိနေသည်ကို သိစေသည်။

## 3. Rotation Direction

- Clockwise (CW) လား
- Counterclockwise (CCW) လား

## 4. Position

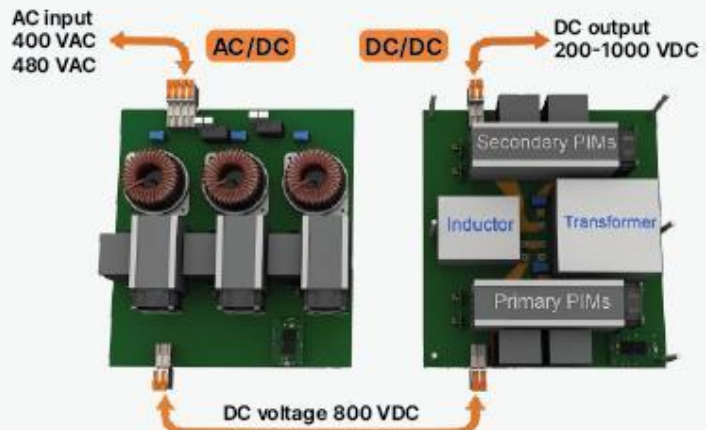
- Motor သည် ဘယ်နေရာသို့ ရောက်နေသည်ကို သိစေသည်။

**EV DC Fast Charging Stations (Real Photos)**



DC Fast Chargers များသည် 50kW, 120kW, 180kW, 350kW အထိ Power ပေးနိုင်ပြီး EV Battery ကို 20% မှ 80% အထိ မိနစ် 15-30 အတွင်း အားသွင်းနိုင်ကြသည်။

# 1. EV Fast Charger (150kW ~ 350kW)



## EV Fast Charger (150kW – 350kW)

EV Fast Charger တွင်

1.Oscillator Circuit

1. 20kHz ~ 150kHz High Frequency  
Wave ဖန်တီး

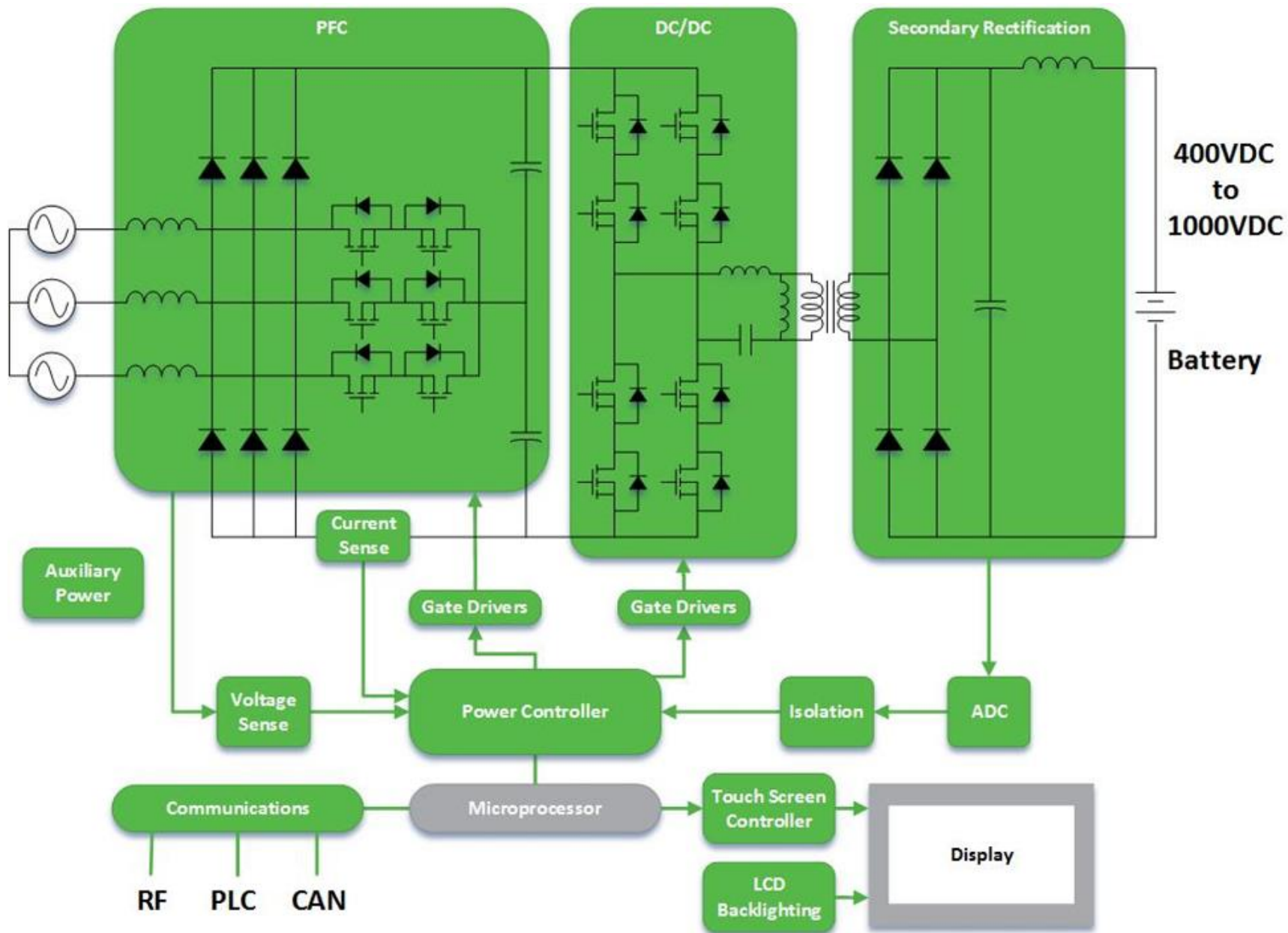
2.PWM Modulation

1. IGBT / SiC MOSFET Switching ကို  
Control လုပ်

3.Output Regulation

1. Battery Voltage နှင့် Current ကို ထိန်းညှိ  
ဖြစ်ပါသည်။

# EV Fast Charger Power Electronics Block Diagram



## Fast Charger ၏ အဓိက Power Flow သည် -

3-Phase AC Input



EMI Filter



PFC Rectifier

(IGBT / SiC MOSFET)



DC Link Capacitor

(~800V DC Bus)



Isolated DC-DC Converter

(LLC Resonant Converter)



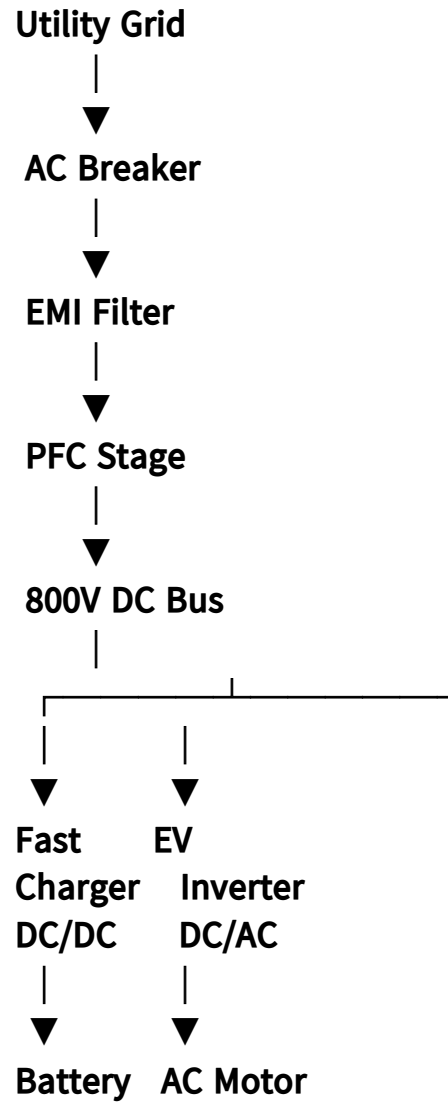
Output Filter



EV Battery

ဖြစ်သည်။ Modern Fast Chargers များတွင် SiC MOSFET များကို အသုံးများလာပြီး Efficiency 97% ကျော်အထိ ရရှိနိုင်သည်။

## Complete EV Fast Charger + Inverter System



## Power Semiconductor များ

| Stage         | Device             |
|---------------|--------------------|
| PFC           | SiC MOSFET / IGBT  |
| DC-DC LLC     | SiC MOSFET         |
| Inverter      | IGBT / SiC MOSFET  |
| Gate Driver   | Isolated Driver IC |
| Current Sense | Hall Sensor        |
| Control       | DSP / MCU          |

EV Fast Charger (150kW~350kW) ၏ detailed schematic, PFC circuit, LLC Resonant Converter circuit, SiC MOSFET gate driver circuit, နှင့် Tesla / BYD / Hyundai EV inverter architecture များကို AutoCAD-style engineering drawing ပုံစံဖြင့် ဆက်လက်ရှင်းပြနိုင်ပါသည်။



# Solar Bus and Solar Truck



# Solar Truck အလုပ်လုပ်ပုံ

Solar Roof



MPPT



HV Battery



SiC Inverter



PMSM Motor



Truck Wheels

$$250 \div 5.5 \approx 45$$

လီအပ်သည် Power ၏ 2%~5% ခန့်သာ Solar Roof မှ ရရှိနိုင်သည်။

ဒါကြောင့် Solar Roof သည် "Main Power Source" မဟုတ်ဘဲ "Supplementary Power Source" ဖြစ်သည်။



# Solar Panel တစ်ခုတည်းဖြင့် Bus မောင်းနှင်သေးသည့် အကြောင်းရင်း

ဥပမာ

Bus Motor Power = 250 kW

Solar Panel Roof Area  $\approx$  25 m<sup>2</sup>

Solar Irradiance  $\approx$  1000 W/m<sup>2</sup>

Panel Efficiency  $\approx$  22%

ထို့ကြောင့်

Power =

$$25 \times 1000 \times 0.22$$

$$= 5.5 \text{ kW}$$

Solar Roof မှ ရနိုင်သော Power  $\approx$  5.5 kW သာ ရှိပြီး

Bus မောင်းနှန် လိုအပ်သော Power  $\approx$  250 kW ဖြစ်သည်။

$$250 \div 5.5 \approx 45$$

လိုအပ်သည့် Power ၏ 2%~5% ခန့်သာ Solar Roof မှ ရရှိနိုင်သည်။

ဒါကြောင့် Solar Roof သည် "Main Power Source" မဟုတ်ဘဲ "Supplementary Power Source"

ဖြစ်သည်။

## အနာဂတ် နည်းပညာလက်ရှိတွင်

High Efficiency Solar Cell

Perovskite Solar Cell

SiC MOSFET Inverter

800V Battery Platform

AI Energy Management

နည်းပညာများ တိုးတက်လာနေသောကြောင့် Solar-Assisted EV Bus နှင့် Solar-Assisted Truck

များ၏ Range သည် တဖြည်းဖြည်း တိုးတက်လာနေပါသည်။

# Solar Truck MPPT + DC/DC Converter

## System Architecture

Solar Panel



MPPT Controller



Boost Converter



800V Battery



SiC Inverter



PMSM Motor

# MPPT Algorithm

Solar Maximum Power

$$P = V \times I$$

ဥပမာ

$$V = 45V$$

$$I = 10A$$

$$P = 450W$$

Controller သည်

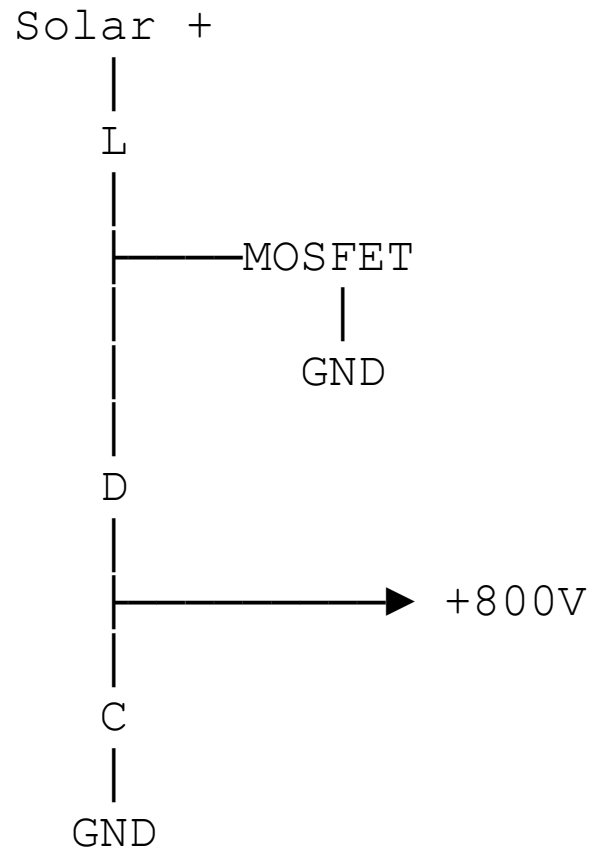
Duty Cycle

ကို ပြောင်းလဲ၍

Maximum Power Point

ကို ရှာသည်။

## Boost Converter Circuit



Where

L = Inductor

D = Diode

C = Capacitor

## Boost Converter Formula

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - D}$$

ဥပမာ

$$V_{in} = 400V$$

$$D = 0.5$$

$$V_{out} = \frac{400}{1 - 0.5}$$

$$V_{out} = 800V$$

## Regenerative Braking Energy Flow

Wheel



PMSM Motor



Generator Mode



SiC Inverter



Battery Charging

Bus သို့မဟုတ် Truck သည် Brake ဖိသောအခါ Motor သည် Generator အဖြစ် ပြောင်းလဲပြီး Battery သို့ လျှပ်စစ်စွမ်းအင် ပြန်လည်သွင်းပေးသည်။

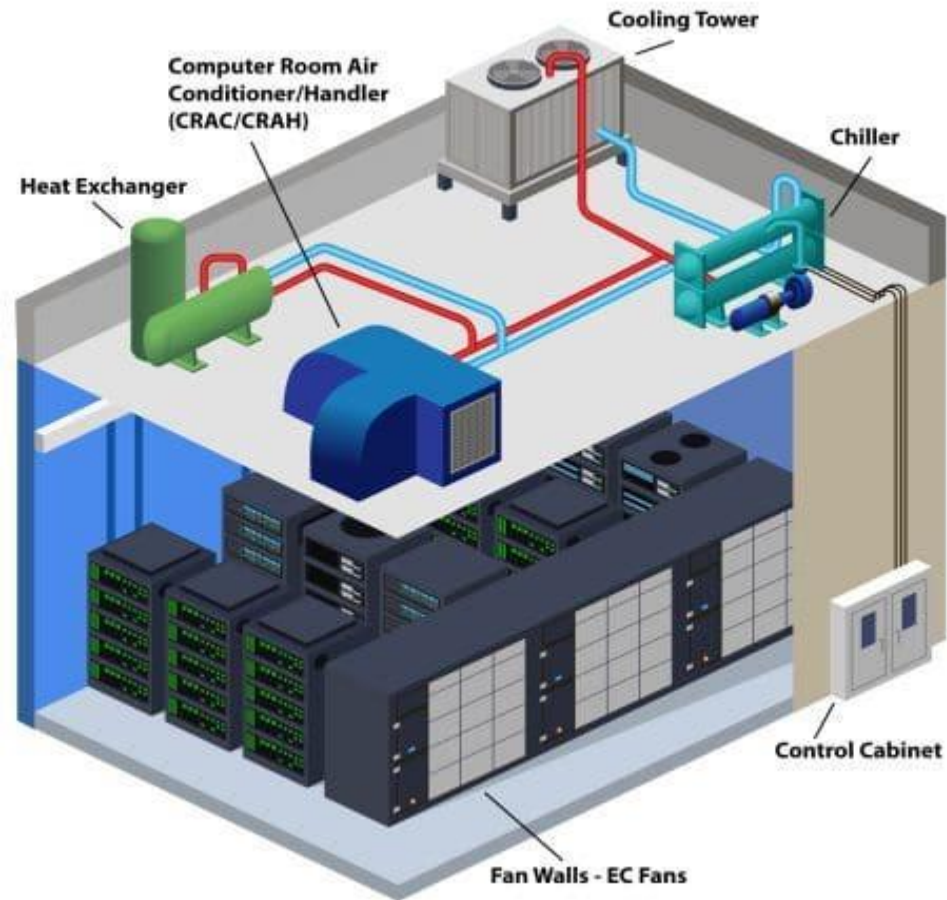
# Cooling System (CRAC / CRAH)

Data Center ၏

လျှပ်စစ်အသုံးစရိတ်ထဲတွင် Cooling System က 30% မှ 50% အထိ

ရရှိနိုင်သည်။  
ထို့ကြောင့်

- Variable Frequency Drive (VFD)
  - Inverter Compressor
  - EC Fan
- များကို အသုံးပြုကြသည်။



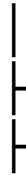
# Data Center HVAC တွင် PID အသုံးပြုပုံ (ဥပမာ)

သင်ယာခင်မေးခဲ့သည့် Data Center Cooling System အတွက် PID သည် အလွန်အရေးကြီးပါသည်။

Temperature Sensor (22°C Target)



PID Controller



CRAC Fan VFD Speed

Chilled Water Valve

Opening



Chiller Compressor

Capacity



Rack Inlet Temperature = 22°C

RH = 50%

ဤနည်းဖြင့် PID Controller သည် Temperature၊ Humidity၊ Pressure နှင့် Airflow တို့ကို Set Point အတိုင်း အလိုအလျောက် ထိန်းချုပ်ပေးသောကြောင့် Energy Saving နှင့် System Stability နှစ်ခုလုံးကို တိုးတက်စေပါသည်။



CHILLED WATER RETURN

CHILLED WATER SUPPLY

CHILLED WATER RETURN

CHILLED WATER SUPPLY

EXIT

EXIT

NO  
FLAME

# Data Center တွင် Inverter Technology အသုံးပြုသော နေရာများ

## System

UPS

Cooling Fans

Chiller Pumps

Compressors

Renewable Energy

Battery Energy Storage

Generator Interface

## Inverter အသုံးပြုမှု

Battery DC → AC ပြောင်းခြင်း

VFD Speed Control

Variable Speed Control

Inverter Compressor Control

Solar Inverter

Bi-directional Inverter

Synchronization & Power Conditioning

# Elevators and Escalators With Inverter Technology

# Sensorless Vector Control

Encoder မသုံးဘဲ

Motor Current နဲ့ Voltage ကို

တိုင်းပြီး Rotor Position ကို

Software က ခန့်မှန်းပါတယ်။

အသုံးများသော နေရာများ

- Air Conditioner Compressor

- Refrigerator Compressor

- Washing Machine

- Fan Motor

တို့ ဖြစ်ပါတယ်။

## Closed Loop Vector Control

Encoder တပ်ထားသော စနစ်

Motor



Encoder



Controller

အားသာချက်

- Position Accuracy မြင့်
- Full Torque at Zero Speed
- Servo Performance ရရှိနိုင်ပါသည်။

### 11. Vector Control ၏ အားသာချက်များ

- ✓ Low Speed မှ Torque မြင့်
- ✓ Speed Regulation ကောင်း
- ✓ Energy Saving
- ✓ Fast Dynamic Response
- ✓ Precise Position Control
- ✓ Soft Start
- ✓ Harmonic နည်း

# Gearless PMSM Elevator များတွင်

Otis Worldwide Corporation၊ KONE Corporation၊

Schindler Group၊ TK Elevator တို့၏ Elevator များတွင်

- Encoder Resolution မြင့်မားခြင်း

- Vector Control

- Load Weighing Sensor

- Brake Monitoring System

တို့ကြောင့် Brake ဖြုတ်ချိန်၌ Car ရွေ့လျားမှုသည် မိလိမတာအနည်းငယ်အတွင်းသာ ရှိပြီး လူများ မခံစားနိုင်လောက်အောင် ချောမွေ့သည်။

အကျဉ်းချုပ်အားဖြင့် Elevator Brake ကို အရင်ဖြုတ်ပြီးမှ

Motor လည်တာ မဟုတ်ဘဲ၊ Motor Torque ကို

အရင်တည်ဆောက်ပြီး Load ကို ထိန်းထားကာ Brake ကို

နောက်မှ ဖြုတ်သည့် "Torque-Proving Before Brake

Release" နည်းပညာကို အသုံးပြုသောကြောင့် Car သည်

အောက်သို့ ပြုတ်မကျဘဲ စတင်ရွေ့လျားနိုင်ခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

Elevator, Lift နှင့် Escalator များတွင် Inverter Technology (VFD - Variable Frequency Drive) ကို အသုံးပြု၍ Velocity (Speed) Control နှင့် Torque Control ကို အလွန်တိကျစွာ ထိန်းချုပ်ကြပါသည်။



Elevator တွေမှာ Brake ကို Release လုပ်လိုက်တာနဲ့ ကား (Cab) က ချက်ချင်း အောက်ကို ပြုတ်မကျသွားတာဟာ **Traction Motor က Brake မဖြုတ်ခင်ကတည်းက Torque ထုတ်ပြီး Load ကို ထိန်းထားပေးထားလို့** ဖြစ်ပါတယ်။

### **Elevator Start Sequence**

Elevator Controller က အောက်ပါအစီအစဉ်အတိုင်း လုပ်ဆောင်သည်။

#### **Step 1: Brake ON (ကားရပ်နေစဉ်)**

Brake ON

||

[Traction Sheave]

||

Elevator Car

- Mechanical Brake က Motor Shaft ကို ဖိထားသည်။
- Car နှင့် Counterweight ကို Brake က ထိန်းထားသည်။
- Motor လည်နေခြင်း မရှိသေး။

## Step 2: Motor Torque Build-Up

Brake မဖြုတ်ခင် VFD/Inverter က Motor ထဲသို့ Current ပို့ပြီး Torque တည်ဆောက်သည်။  
PMSM သို့မဟုတ် Induction Motor အတွက်

$T_e \approx T_{load}$  ဖြစ်အောင် Controller က Current ထိုးပေးသည်။  
ဥပမာ

- Car Weight = 1200 kg
  - Counterweight = 1000 kg
- ဆိုပါက

Net Load = 200 kg

ဖြစ်သည်။

Motor က အနည်းဆုံး 200 kg ကို ဆွဲနိုင်မည့် Torque ကို အရင်ထုတ်ထားသည်။

### Step 3: Brake Lift Confirmation

Motor Torque

လုံလောက်သွားသောအခါ

Motor Torque = Holding

Torque

ဖြစ်သည်။

ထို့နောက်

Brake Coil Energized



Brake Released

လုပ်သည်။

ဒီအချိန်မှာ Load ကို Brake

မဟုတ်တော့ဘဲ Motor Torque က

ထိန်းထားနေသည်။

# Vector Control ၏ အခန်းကဏ္ဍ

ယနေ့ Elevator များတွင်

- VVVF Drive
- FOC (Field Oriented Control)

•PMSM Vector Control

များ အသုံးပြုကြသည်။

Torque ကို Speed မရှိဘဲ

ထုတ်နိုင်သည်။

PMSM တွင်

$$T_e = K_t I_q$$

• $I_q$  = Torque Current

• $K_t$  = Torque Constant

Controller က  $I_q$  ကို ထိန်း၍ Torque ကို တိကျစွာ ထုတ်ပေးသည်။



# Encoder မရှိရင် ဘာဖြစ်မလဲ?

Controller သည်

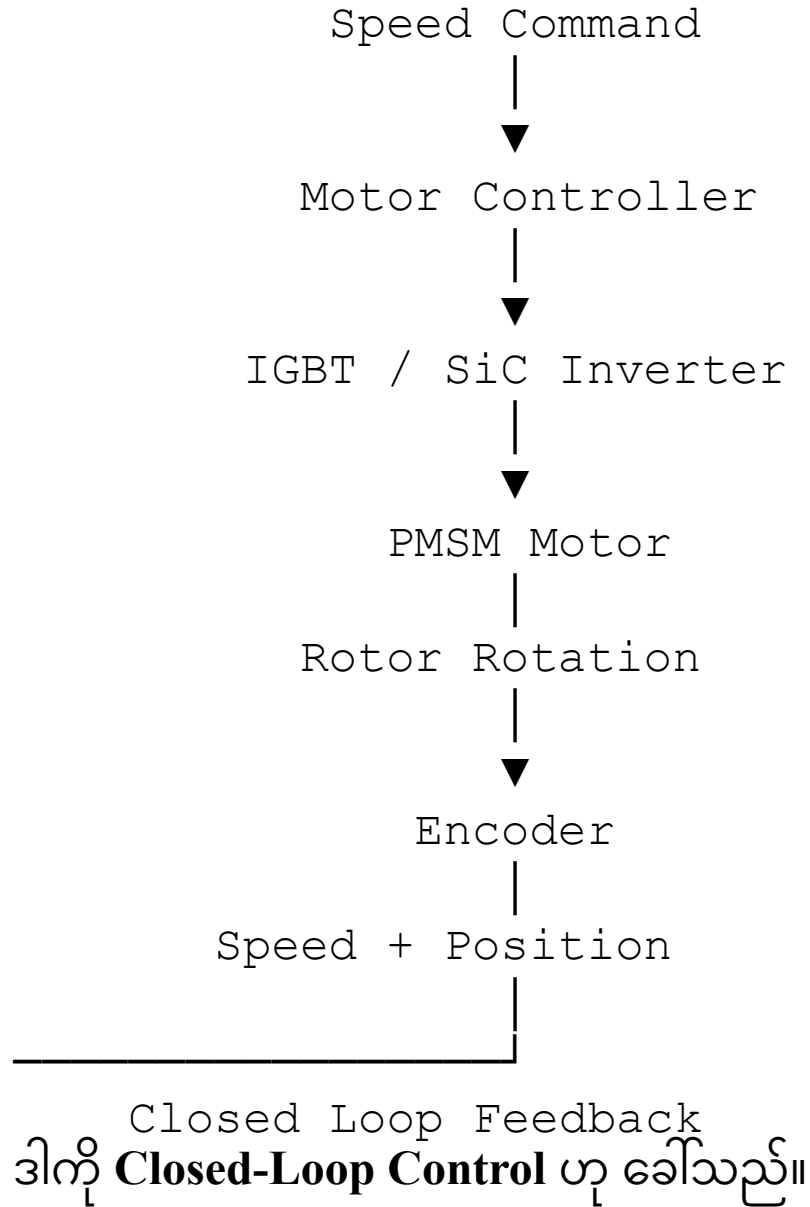
- Motor ဘယ်လောက်လည်နေသည်
  - Rotor ဘယ်နေရာရောက်နေသည်
- ကို မသိတော့ပါ။

အကျိုးဆက်အနေဖြင့်

- Torque မတည်ငြိမ်
  - Speed မတိကျ
  - Elevator Floor မတိကျ
  - EV Acceleration မချောမွေ့
- ဖြစ်နိုင်သည်။



# Encoder Feedback Control



# VVF System ဆိုတာဘာလဲ ?

VVF ဆိုတာ Variable Voltage Variable Frequency ကို အတိုကောက်ခေါ်တာဖြစ်ပြီး၊ ဗို့အားနှင့် ကြိမ်နှုန်းကို ပြောင်းလဲပေးနိုင်သော စနစ် ဖြစ်ပါတယ်။ ဒီစနစ်ကို ခေတ်သစ်ဓာတ်လှေခါးအများစုမှာ AC induction motor တွေရဲ့ အမြန်နှုန်းနဲ့ လှုပ်ရှားမှုကို ထိန်းချုပ်ဖို့ အသုံးပြုပါတယ်။

## VVF System အလုပ်လုပ်ပုံ အဆင့်ဆင့်

### ၁။ ရှေးရိုးစနစ် (Old System) နဲ့ ကွာခြားချက်

- **ရှေးရိုးစနစ်:** မော်တာကို တိုက်ရိုက်မီးတိုက်ပေးလိုက်ရင် ရုတ်တရက် အရှိန်မြင့်တက်သွားတယ်။ ရပ်ဖို့ဆိုရင်လည်း ရုတ်တရက် ဘရိတ်သွင်းရတယ်။ ဒါကြောင့် ခရီးသည်တွေ ချော်လဲတာ၊ ခေါင်းမူးတာတွေ ဖြစ်နိုင်တယ်။
- **VVF စနစ်:** ချောချောမွေ့မွေ့ စတင်တက်၊ ချောချောမွေ့မွေ့ ရပ်ဆိုင်းပေးနိုင်တယ်။

### ၂။ VVF System ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်းများ

#### က။ Rectifier Unit (AC to DC Converter)

- **လုပ်ဆောင်ချက်:** ဝင်လာတဲ့ AC မီး (3-Phase AC) ကို DC မီး အဖြစ် ပြောင်းလဲပေးတယ်။
- **အရေးပါမှု:** မတည်ငြိမ်တဲ့ AC မီးအား ကို တည်ငြိမ်တဲ့ DC မီးအား အဖြစ် ပြောင်းလဲပြီး နောက်ဆုံးအဆင့်အတွက် အဆင်သင့်ပြင်ဆင်ပေးတယ်။

# Elevator တွင် Speed Control မည်သို့လုပ်သနည်း

ယခင် Elevator များတွင် Motor ကို Direct On-Line (DOL) ဖြင့် မောင်းသောကြောင့်

- Start လုပ်ချိန် Shock ဖြစ်သည်
- Stop လုပ်ချိန် တုန်ခါမှုရှိသည်
- Passenger Comfort မကောင်း

ယနေ့ Elevator များတွင် VFD/Inverter ကို အသုံးပြုပြီး

## Acceleration Stage

0 Hz → 10 Hz → 20 Hz → 40 Hz → 60 Hz  
Motor Speed ကို တဖြည်းဖြည်း မြှင့်တင်ပေးသည်။

## Running Stage

Target Speed တွင် တည်ငြိမ်စွာ သွားစေသည်။

## Deceleration Stage

60 Hz → 40 Hz → 20 Hz → 5 Hz → Stop  
Floor အတိအကျတွင် Smooth Landing ဖြစ်စေသည်

## Torque Control ဆိုသည်မှာ

Elevator Car တစ်စီးကို

- Empty Load
- Half Load
- Full Load

အခြေအနေအလို့က် Torque မတူညီစွာ လိုအပ်သည်။

Motor Torque ကို

$Torque = Motor Current \times Magnetic Flux$

ဖြင့် ထုတ်ပေးသည်။

Inverter သည် Motor Current ကို Control လုပ်၍ Torque ကို ထိန်းပေးသည်။

### ဥပမာ

Passenger 2 ယောက်သာရှိလျှင်

- Torque နည်းနည်းသာလို

Passenger 20 ယောက်ပြည့်နေလျှင်

- Torque များများလို

VFD သည် Load ကို Sense လုပ်ပြီး Torque ကို

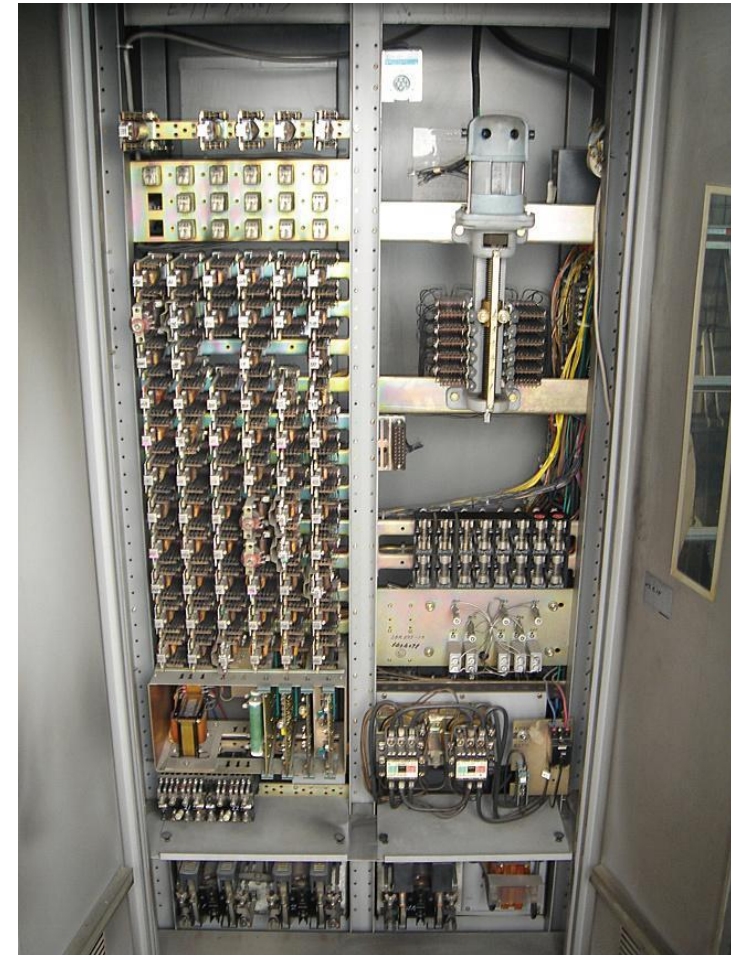
အလိုအလျောက် ပြောင်းပေးသည်။

1980 ခုနှစ်များမတိုင်မီ Lift များတွင် PLC သို့မဟုတ် Microprocessor Controller မရှိသေးဘဲ **Relay Logic Control System** ကို အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ Lift ၏ Floor Selection, Direction Control, Speed Control, Door Interlock, Brake Control အားလုံးကို Relay, Contactor, Timer Relay နှင့် Mechanical Selector များဖြင့် ထိန်းချုပ်ခဲ့သည်။

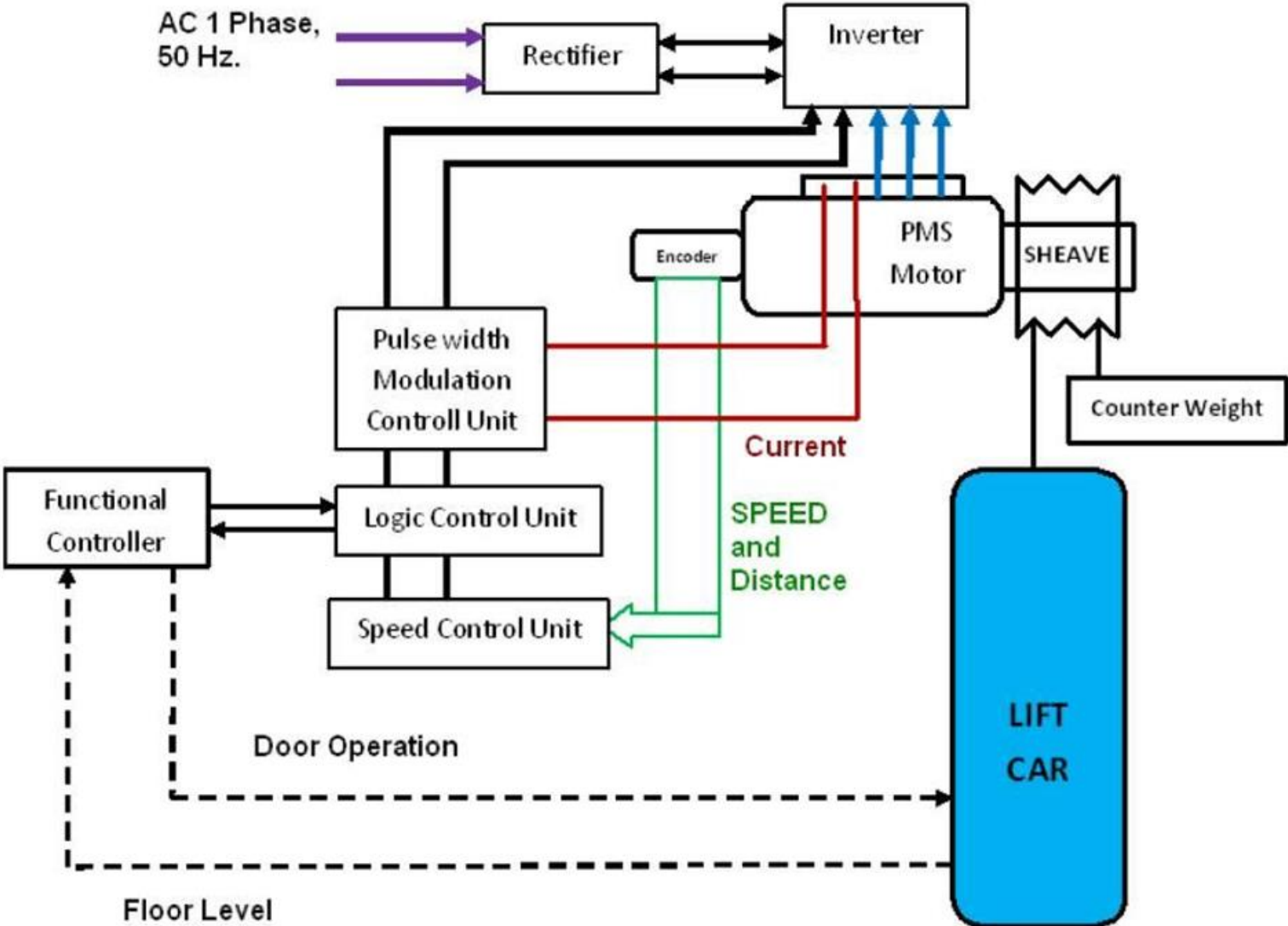
**Elevator Vector Control** Modern Elevator များတွင် **Vector Control** သို့မဟုတ်

**Field Oriented Control (FOC)ကို အသုံးများသည်။**

Encoder မှ  
Speed  
Position  
Rotation Direction  
ကို Feedback ပို့သည်။  
Inverter Controller သည်  
Torque Current ( $I_q$ )  
Magnetizing Current ( $I_d$ )  
ကို သီးခြားတွက်ချက်၍  
Speed နှင့် Torque ကို တပြိုင်တည်း ထိန်းချုပ်နိုင်သည်။



# Elevator Inverter System Overview



# Regenerative Converter

ဓာတ်လှေကား (Elevator) များတွင် **Regenerative Converter (Regenerative Drive / Active Front End - AFE)** သည် **Motor** မှ **ပြန်လည်ထွက်ပေါ်လာသော လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို အပူအဖြစ် ဖြုန်းတီးမပစ်ဘဲ Grid (AC Power Line) ထံသို့ ပြန်လည်ပို့ပေးသော စနစ်** ဖြစ်ပါသည်။  
အထူးသဖြင့် High-rise Building များ၊ Hospital၊ Hotel၊ Data Center၊ Office Tower များတွင် အလွန်အသုံးများပါသည်။

# Elevator အောက်ဆင်းသောအခါ

ဥပမာ

•Cabin အလေးချိန် = 600 kg

•လူများ = 800 kg Counterweight ထက် ပိုလေးနေသည်။

Cabin အောက်ဆင်းသောအခါ Gravity က Motor ကို လှည့်ပေးနေသည်။

Motor သည် Motor မဟုတ်တော့ဘဲ Generator ဖြစ်သွားသည်။

Mechanical Energy



Traction Motor



Electrical Energy ထို Energy သည် DC Bus Voltage ကို

650V → 720V → 780V

အထိ တက်လာစေသည်။

DC Bus Voltage များလွန်းလျှင်

IGBT များ ပျက်စီးနိုင်ပါသည်။

ထို့ကြောင့်

Braking Chopper ဖွင့်ပြီး

Braking Resistor ထဲတွင်

Electrical Energy



Heat

အဖြစ် ဖြုန်းတီးပစ်သည်။

# Regenerative Drive ပါလျှင်

AC Grid



Regenerative Converter



DC Bus



IGBT Inverter



Traction Motor

Generator ဖြစ်လာသော Motor မှ

Mechanical Energy



Motor



Electrical Energy



DC Bus



Regenerative Converter



AC Grid အဖြစ် Building ၏ Main Power ထဲသို့ ပြန်လည်ပို့ပေးသည်။

# ဘယ်အချိန် Regeneration ဖြစ်သလဲ?

## (၁) Cabin လေးပြီး အောက်ဆင်း

Heavy Cabin

↓↓↓

Gravity က ဆွဲချသည်

Motor = Generator

## (၂) Cabin ပေါ်ပြီး အပေါ်တက်

Counterweight က

Cabin ကို ဆွဲတင်ပေးနေသည်။

Counterweight

↓↓↓↓

Cabin

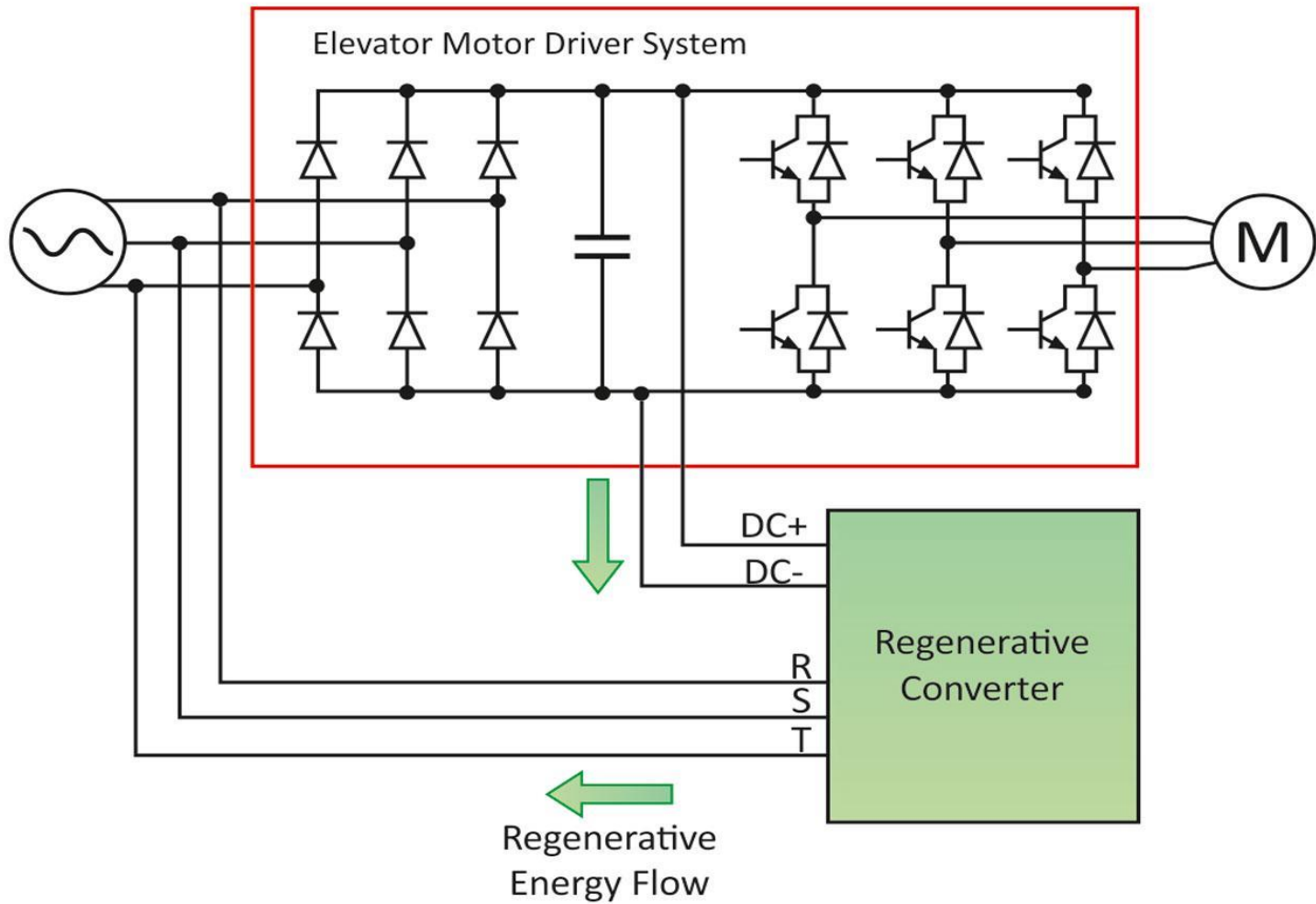
↑↑↑↑

Motor သည်

ထိန်းပေးရုံသာ လုပ်ရပြီး

Generator Mode ဝင်နိုင်သည်။





Regenerative Basic Connection Diagram

**Regenerative Converter** သည် Elevator Motor ကို Generator အဖြစ် လုပ်ဆောင်နေချိန်တွင် ထွက်ပေါ်လာသော လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို အပူအဖြစ် မဖြုန်းတီးဘဲ AC Grid သို့ ပြန်လည်ပို့ပေးသော စနစ်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာခြင်း၊ အပူလျော့ချခြင်း၊ Equipment များ၏ သက်တမ်းတိုးခြင်းနှင့် Building တစ်ခုလုံး၏ စွမ်းအင်ထိရောက်မှုကို မြှင့်တင်ပေးနိုင်သည်။

# Elevator တွင် Jerk ဘယ်အချိန် ဖြစ်သလဲ?

## အဓိက ၄ နေရာတွင် ဖြစ်သည်။

- 1. Start Time Car စထွက်ချိန်
- 2. Acceleration မှ Constant Speed သို့ ပြောင်းချိန်
- 3. Constant Speed မှ Deceleration သို့ ပြောင်းချိန်
- 4. Stop Time  
အကယ်၍ Jerk မထိန်းထားလျှင်
  - Car လှုပ်ခတ်သည်
  - Rope တွင် oscillation ဖြစ်သည်
  - Guide rail vibration တက်သည်
  - Passenger မသက်သာ

# Elevator Engineering တွင် Jerk Limit ဘာကြောင့် လုပ်သနည်း?

High-speed Elevator များတွင်

Acceleration  $\approx 0.8-1.2 \text{ m/s}^2$

Jerk  $\approx 0.5-2.0 \text{ m/s}^3$  (design target အလိုက်)

အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး S-Curve Motion Profile ဖြင့် ထိန်းချုပ်သည်။

# Jerk ကို ဘယ်သူထိန်းချုပ်သလဲ?

Control chain သည်—

S-Curve Motion Planner



Speed Reference



PID Controller



FOC Torque Control



**VVVF Inverter**



PMSM Motor



Elevator Motion

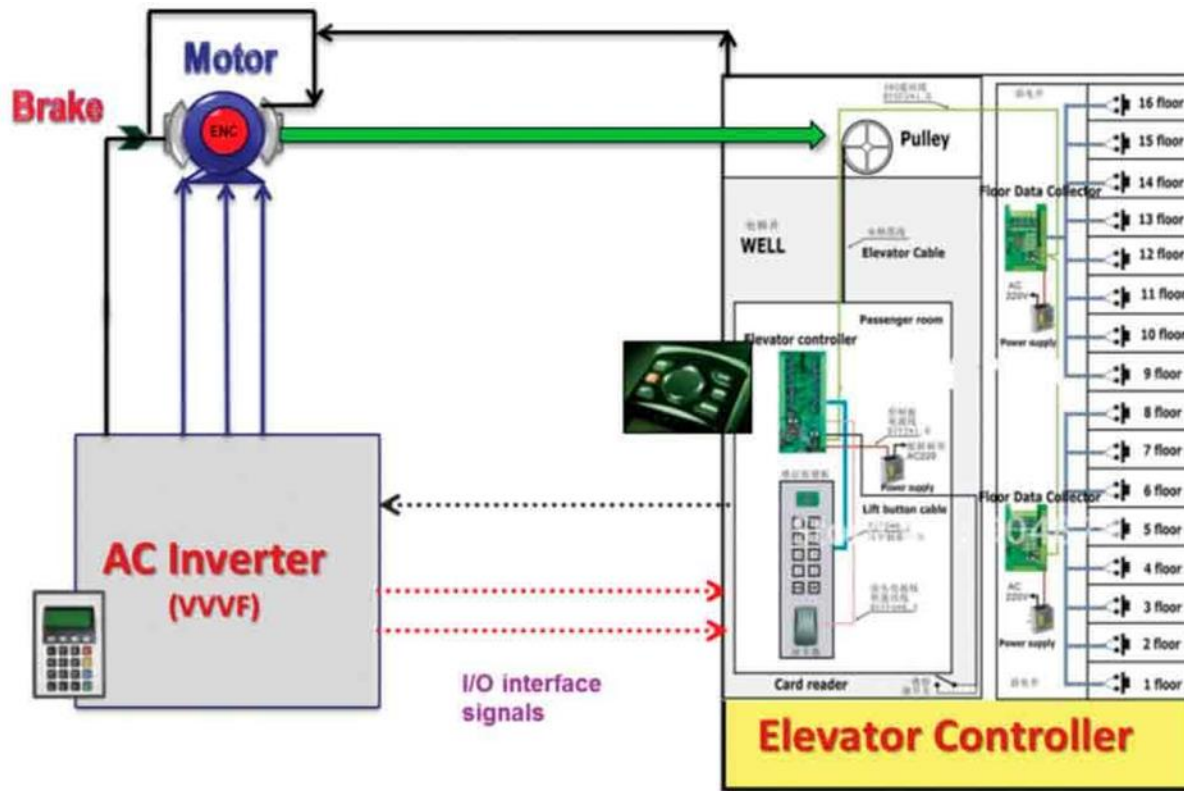


Encoder Feedback

DSP Processor သည် မီလီစက္ကန့်အတွင်း—

- Speed
- Acceleration
- Torque

တို့ကို အဆက်မပြတ် ပြင်ဆင်ပြီး Jerk ကို သတ်မှတ်ထားသော Limit အတွင်း ထိန်းထားသည်။

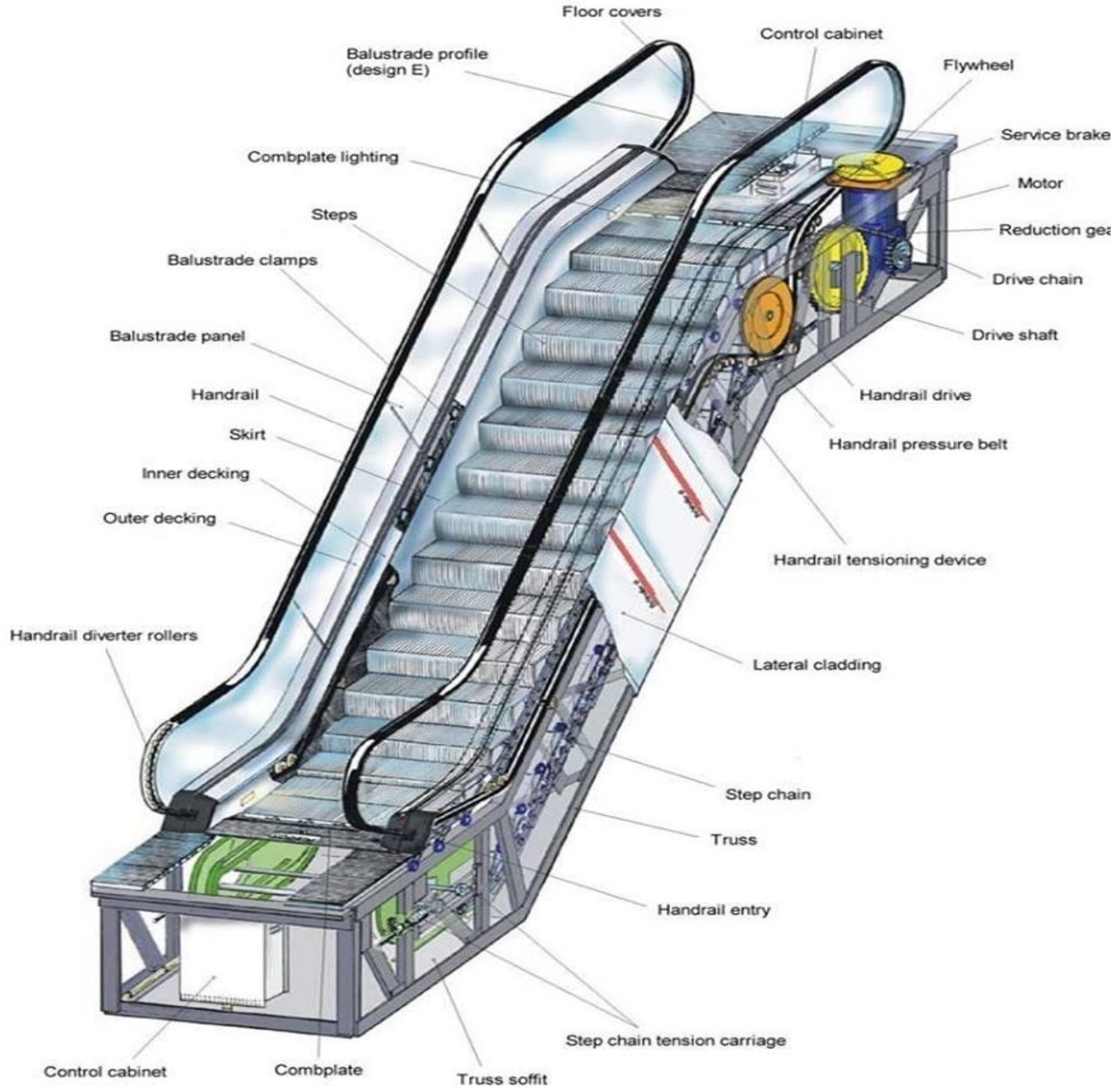


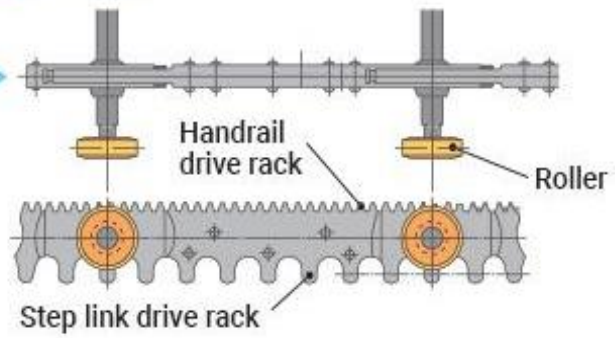
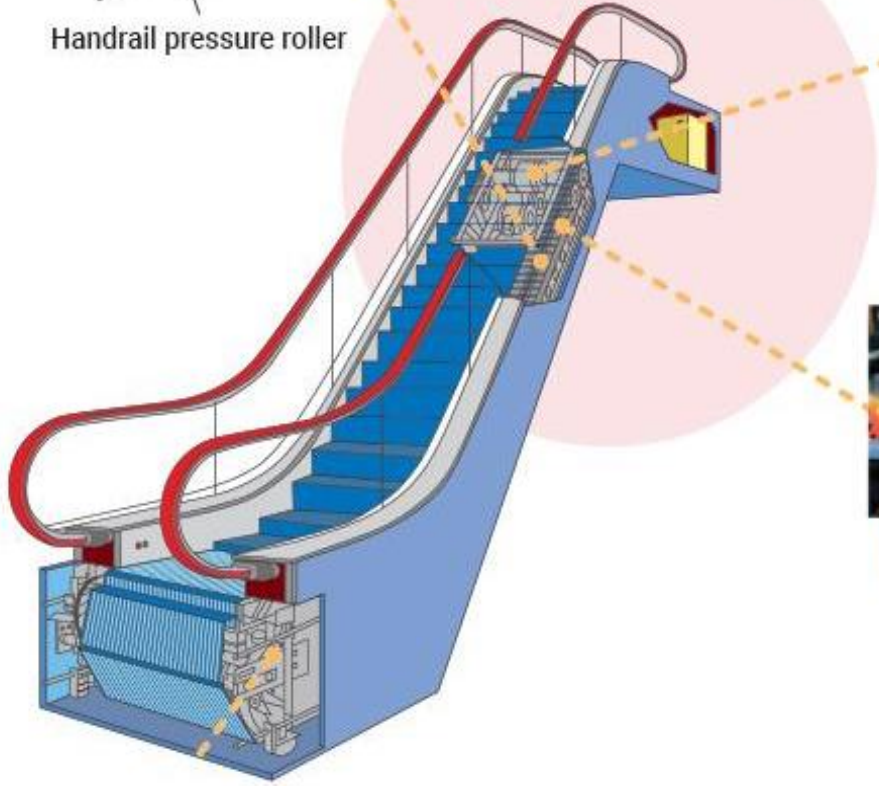
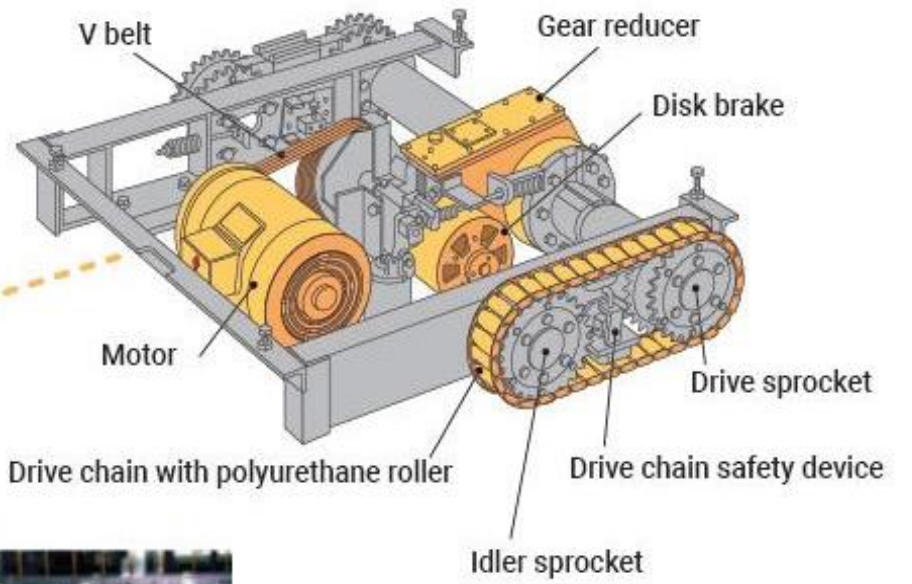
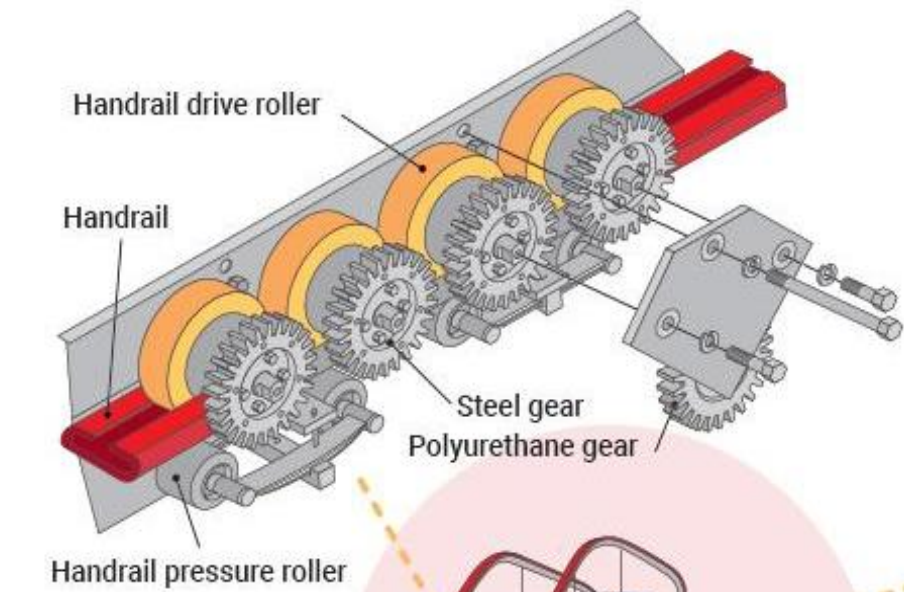
Elevator တစ်စီး “ငြိမ်ညောင်းစွာ စတင်ခြင်း၊ လျင်မြန်စွာ သွားလာနိုင်ခြင်း၊ တိကျစွာ Floor တွင် ရပ်တန့်ခြင်း” တို့၏ လျှို့ဝှက်ချက်မှာ

Jerk-limited S-Curve + FOC Torque Control + Encoder Feedback + Real-Time DSP

တို့ကို VVVF Drive အတွင်း မိလီစက္ကန့်အဆင့်ဖြင့် ပေါင်းစပ်ထိန်းချုပ်ထားခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

# Escalators and Moving Walk

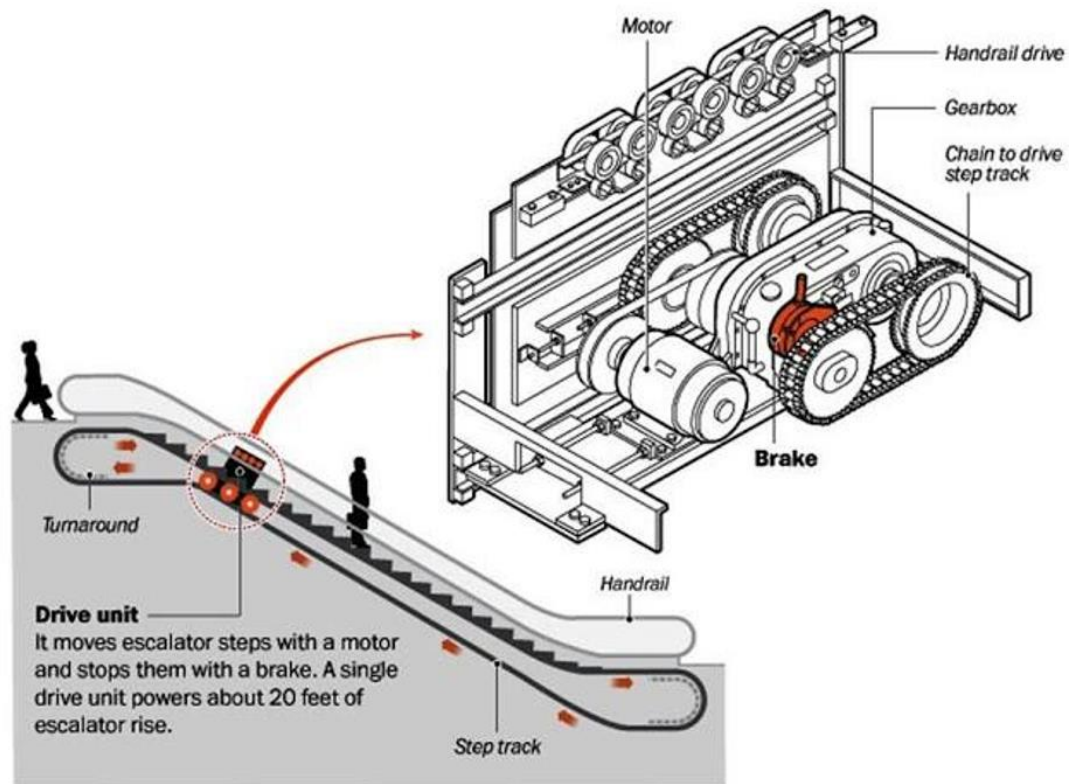




Escalator Brake System သည် **Motor** ကို ရုပ်စေသော **Brake** တစ်ခုသာ မဟုတ်ဘဲ—

- VVF Inverter
- PLC Safety Logic
- Encoder Speed Feedback
- Overspeed Protection
- Anti-Reverse Device
- Electromagnetic Fail-Safe Brake

တို့နှင့် ပေါင်းစပ်ထားသော **Functional Safety System** ဖြစ်သည်။



**Modular Drive System**

Escalator တွင်လည်း VFD ကို အသုံးပြုသည်။

**Passenger မရှိချိန်**

Speed = 10~20%

Slow Mode

**Passenger ဝင်လာချိန်**

Sensor Detect



Speed = 100%

Normal Operation

**အကျိုးကျေးဇူး**

- Energy Saving
- Mechanical Wear လျော့နည်း
- Chain Life ပိုရှည်
- Motor Temperature လျော့

### **Elevator Drive System Block Diagram**

3-Phase AC Supply



Rectifier



DC Link Capacitor



IGBT / SiC MOSFET Inverter



## PLC + Encoder + VVVF Closed Loop System

Escalator control သည် closed-loop control system ဖြစ်သည်။

Speed Reference (Command)



PLC



**VVVF Drive**



Motor



Escalator



Encoder Feedback



PLC correction

Control Function

PLC က continuously compare လုပ်တယ်:

$$Error = SetSpeed - ActualSpeed$$

ပြီးရင်:

- PI / PID control algorithm ဖြင့် correction လုပ်တယ်

# Electric Train



## ATO + ATC Architecture

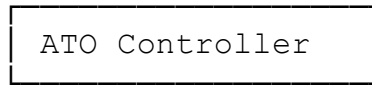
Trackside Equipment



ATC Receiver



Maximum Safe Speed



Station Database

Gradient Data

Curve Data



Speed Profile Generator



Motion Controller

Brake Controller



Negative Torque Command



FOC Controller



VVVF Inverter



Traction Motor



Generator Mode



DC Link



Catenary

# FOC (Field Oriented Control)

Encoder



Rotor Position  $\theta$



Park Transform



Inverse Park



SVPWM



VVVF Inverter



# ဥပမာ N700S Shinkansen နှင့် E5 Shinkansen များတွင်

- SiC-based VVVF Inverter
- Field Oriented Vector Control (FOC)
- SVPWM
- Adhesion Control
- ATC
- ATO
- Regenerative Braking
- Brake Blending
- Redundant Safety Computer

တို့ကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြုထားပါသည်။

ထို့ကြောင့် Train သည်

- ထွက်ချိန်တွင် ညင်သာခြင်း
- အရှိန်တက်ရာတွင် တုန်ခါမှုနည်းခြင်း
- Wheel Slip မဖြစ်ခြင်း
- Platform တွင် စင်တီမီတာအနည်းငယ်သာ လွဲ၍ ရပ်နိုင်ခြင်း
- စွမ်းအင်ပြန်လည်ရယူနိုင်ခြင်း

တို့ကို ရရှိစေပါသည်။

နောက်တစ်ဆင့်အနေဖြင့် **Shinkansen**

# VVVF တစ်ခုတည်းနဲ့လား? မဟုတ်ပါ။

တိုကျုစာ ရုပ်ခြင်းနှင့် ညင်သာစွာ ထွက်ခြင်းသည် တို့ ပေါင်းစပ်အလုပ်လုပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။

System

VVVF Inverter

Vector Control

Speed Controller

Acceleration Controller

Jerk Controller

ATO/ATC

Encoder Feedback

Regenerative Brake

Air Brake

Brake Blending

Function

Motor Torque ထုတ်ပေး

Torque ကို တိုကျုစွာထိန်း

Velocity ထိန်း

Acceleration ထိန်း

Passenger Comfort

Position Control

Speed/Position Feedback

Electrical Braking

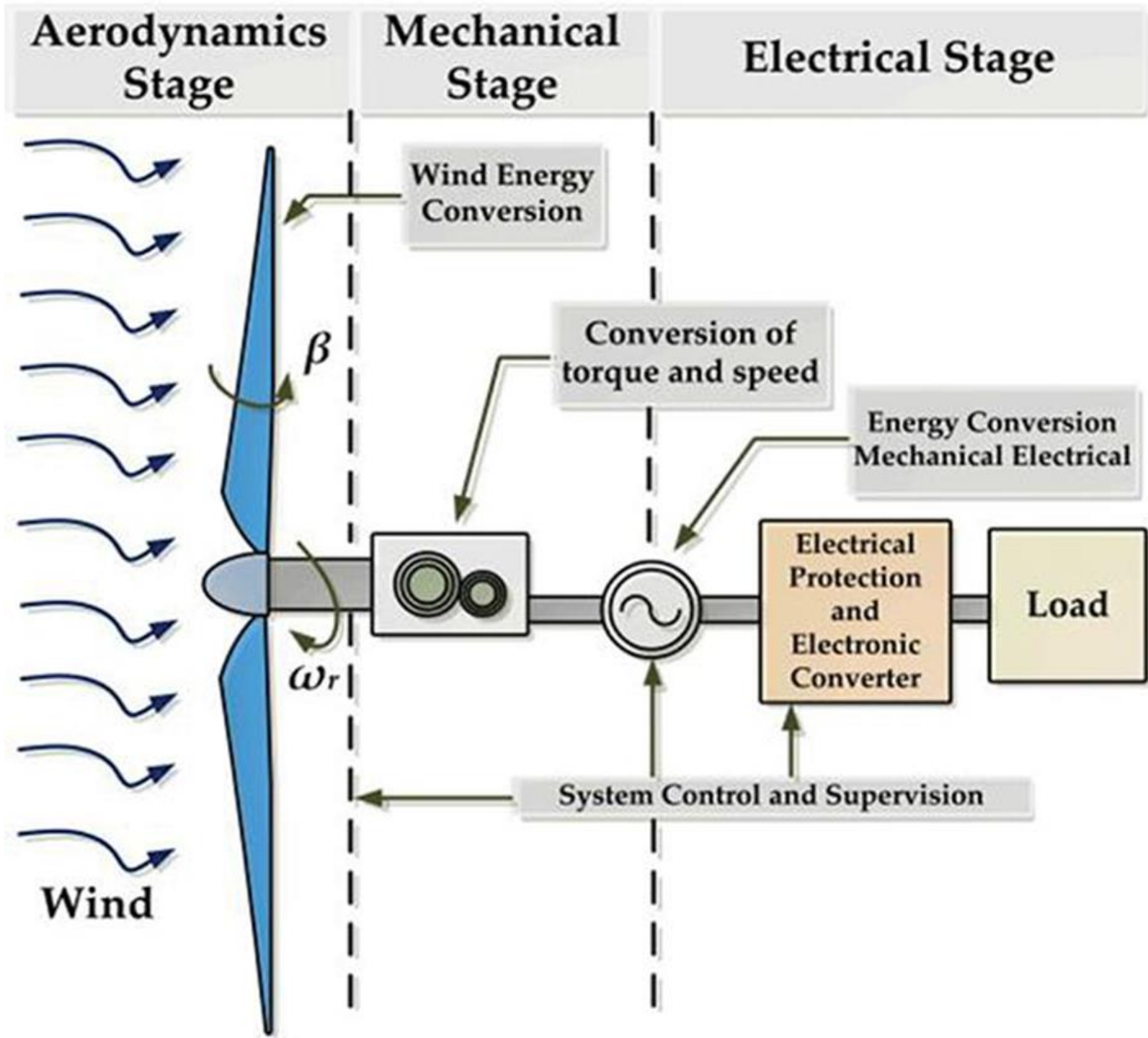
Final Stopping

Smooth Stop

# Wind Turbine

# Wind Turbine





## Wind Energy → Mechanical Energy

လေတိုက်သောအခါ

•Blade များ လှုပ်ပတ်သည်။

•Rotor Shaft ကို လှည့်ပေးသည်။

•Gearbox (သို့) Direct Drive မှ Generator ကို လှည့်စေသည်။

Wind



Blade



Rotor Shaft



Generator

## 2. Generator မှ AC ထုတ်လုပ်ခြင်း

Generator သည်

•3-Phase AC Voltage

•Variable Frequency

•Variable Voltage  
ကို ထုတ်ပေးသည်။

ဥပမာ

ထို့ကြောင့် Generator ထွက် AC ကို Grid သို့ တိုက်ရိုက် မချိတ်နိုင်ပါ။

Rotor Speed

Frequency

300 RPM

15 Hz

600 RPM

30 Hz

1000 RPM

50 Hz

# AC → DC Conversion (Rectifier Stage)

Generator Output AC ကို

- Diode Rectifier
  - Controlled Rectifier (IGBT)
- တို့ဖြင့် DC ပြောင်းသည်။

Generator AC



Rectifier



DC Bus

## Rectifier Circuit

AC

~



+DC -DC

ဒီအဆင့်တွင်

- Frequency ပျောက်သွားသည်
- Stable DC Voltage ဖြစ်လာသည်

## DC Link Capacitor

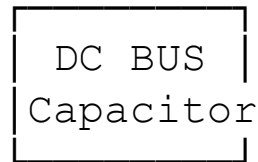
Rectifier ပြီးနောက်

DC Link Capacitor Bank တပ်ထားသည်။

### Function

- Ripple Filter
- Energy Storage
- Voltage Stabilization

Rectifier



Inverter

## 5. DC → AC Conversion (IGBT Inverter)

ယခု Inverter Stage သည်

DC Bus မှ

•400V

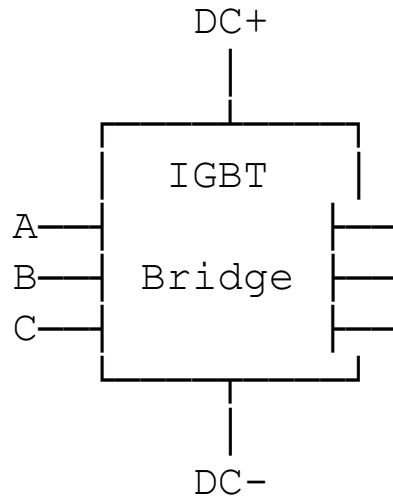
•690V

•1000V+

DC ကို

3-Phase AC အဖြစ် ပြန်ပြောင်းပေးသည်

## IGBT Bridge



## 6. PWM Control

IGBT များကို

- PWM

- SVPWM

နည်းပညာဖြင့် Switch လုပ်သည်။

Output

50 Hz

3-Phase AC

ရရှိလာသည်။

## 7. Grid Synchronization

Grid နှင့်

- Voltage

- Phase

- Frequency

တူညီစေရန် Controller က Control လုပ်သည်။

Wind Turbine



Inverter



50 Hz AC



Transformer



National Grid

## **Complete Power Flow**

Wind



Blade



Rotor



Generator



3-Phase AC



Rectifier

(AC → DC)



DC Bus Capacitor



IGBT Inverter

(DC → AC)



LC Filter



Transformer



Grid



Consumer Load

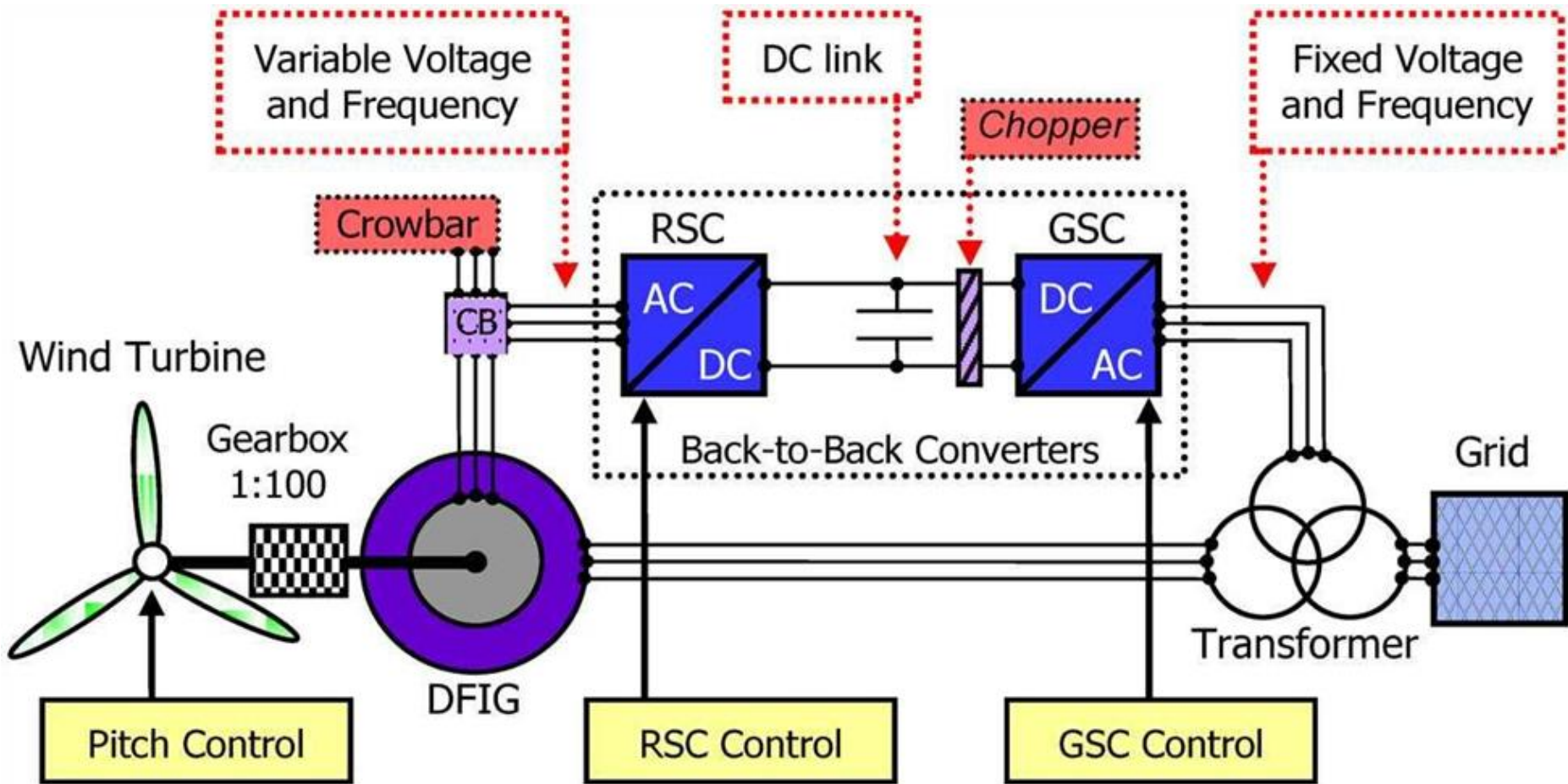
# Wind Turbine တွင် Inverter သုံးရခြင်း၏ အကျိုးကျေးဇူး

1. Variable Speed Operation
2. Maximum Power Point Tracking (MPPT)
3. Better Efficiency
4. Smooth Grid Connection
5. Reactive Power Control
6. Voltage Regulation
7. Frequency Stabilization

## Power Rating ဥပမာ

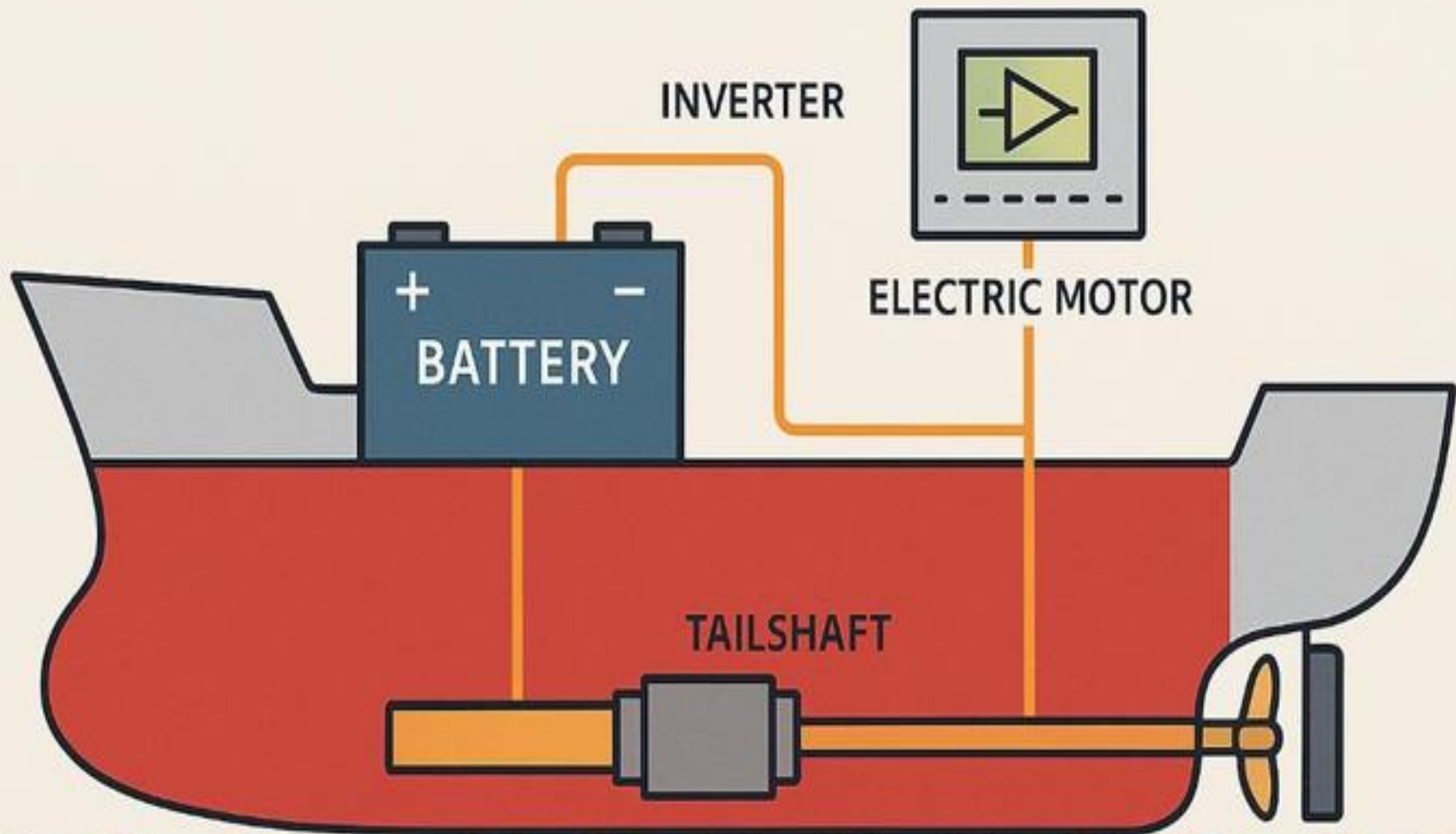
ယနေ့ခေတ် Offshore Wind Turbine ကြီးများတွင် SiC MOSFET နှင့် High-Power IGBT Converter များကို အသုံးပြု၍ AC → DC → AC Conversion ကို MW အဆင့်အထိ ဆောင်ရွက်ကြပြီး Grid သို့ အရည်အသွေးမြင့် 50Hz လျှပ်စစ်စွမ်းအား ပို့လွှတ်ပေးကြပါသည်။

| Wind Turbine   | Inverter Rating |
|----------------|-----------------|
| 500 kW         | 500 kW          |
| 1 MW           | 1 MW            |
| 2 MW           | 2 MW            |
| 5 MW           | 5 MW            |
| 15 MW Offshore | 15 MW+          |



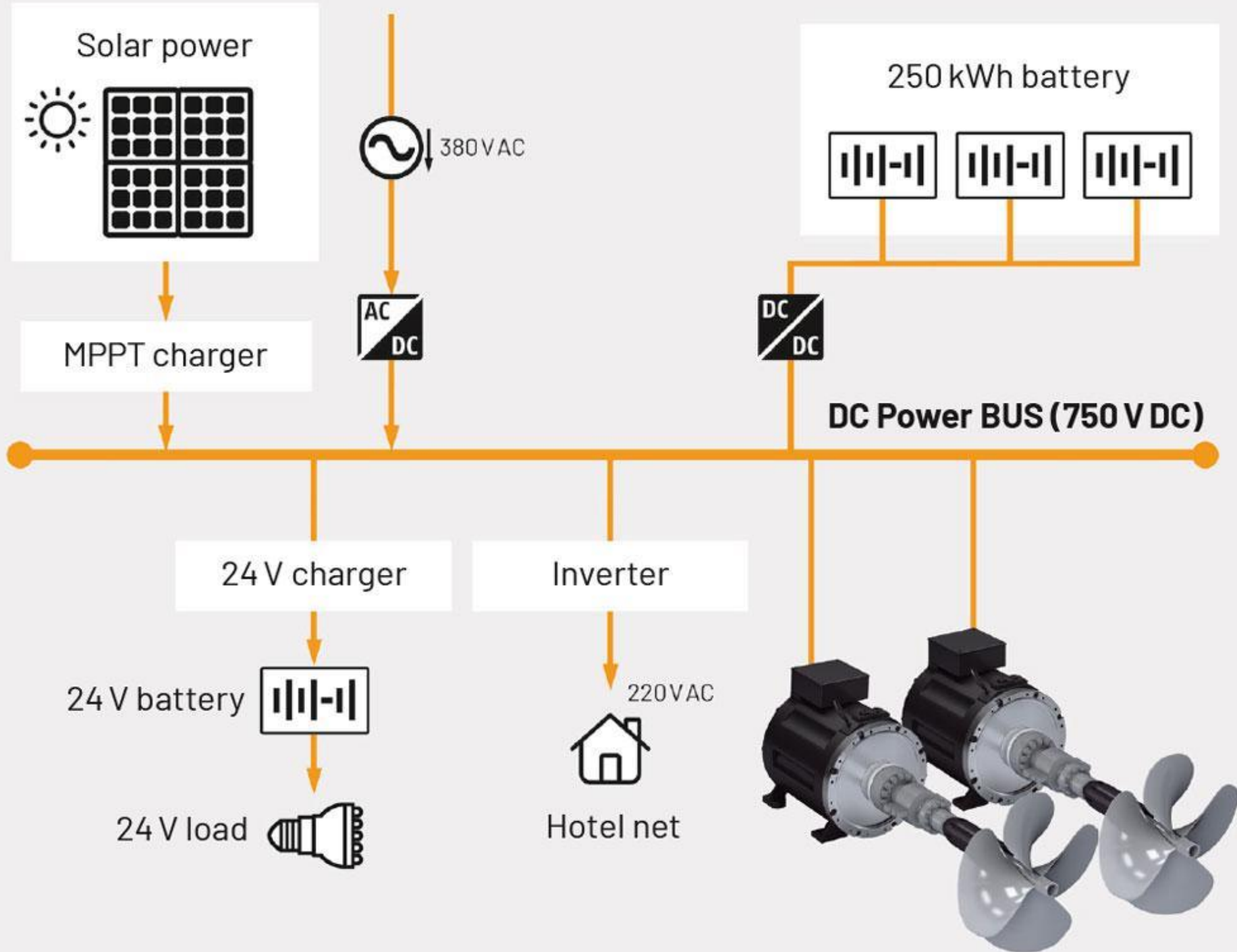
Wind Turbine (အထူးသဖြင့် DFIG - Doubly Fed Induction Generator အသုံးပြုသော Wind Turbine များ) တွင် **RSC (Rotor Side Converter)** နှင့် **GSC (Grid Side Converter)** သည် Back-to-Back IGBT Converter System ၏ အဓိကအစိတ်အပိုင်း ၂ ခု ဖြစ်ပါသည်။

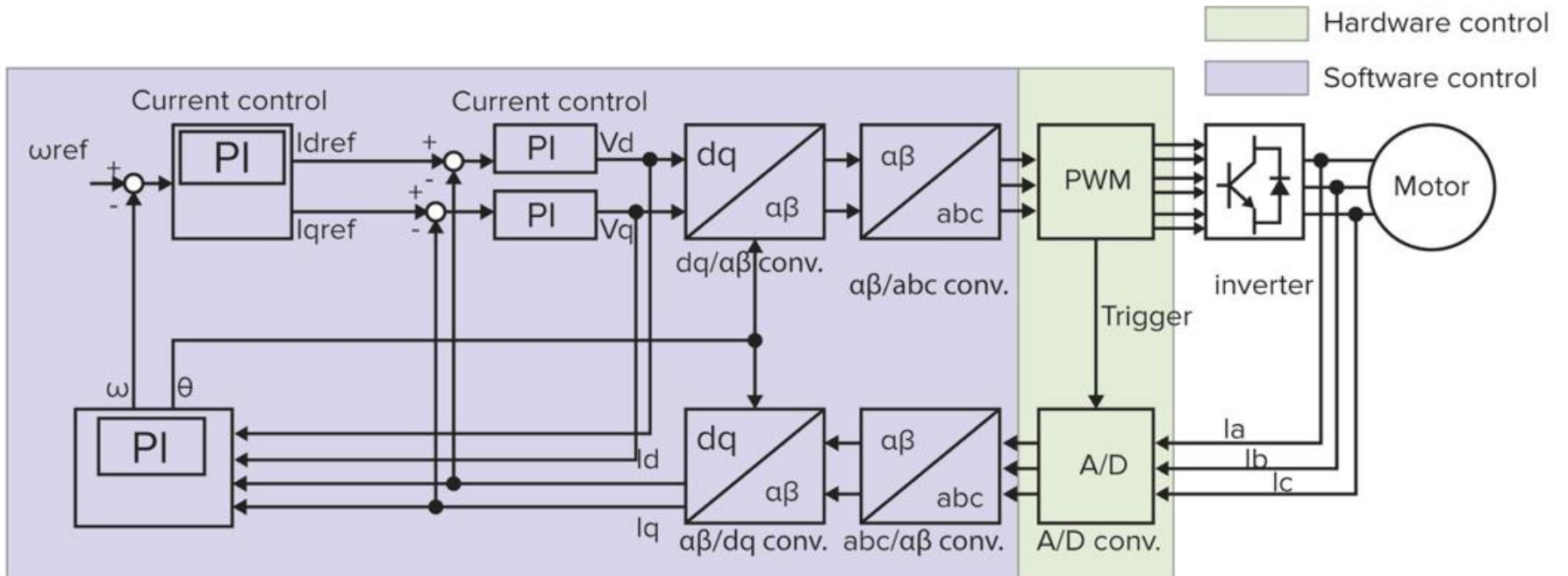
Solar စနစ်သုံး Sailboat (ရွက်လှေ) များနှင့်  
Electric Speed Boat



Solar စနစ်သုံး Sailboat (ရွက်လှေ) များနှင့် Electric Speed Boat များတွင် Inverter Technology ကို အလွန်ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုကြပါသည်။ အထူးသဖြင့် Battery DC Power ကို Motor အတွက် AC Power အဖြစ် ပြောင်းလဲရန်၊ Speed Control လုပ်ရန် နှင့် Energy Efficiency မြှင့်တင်ရန် အတွက် အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။







## Regenerative Braking on Boat

ကားလို Brake မရှိသော်လည်း  
လှေသည် လှိုင်းနှင့် ရေစီးအားကြောင့် Propeller  
လည်နေသောအခါ  
Motor သည် Generator အဖြစ် အလုပ်လုပ်နိုင်သည်။

Propeller



Motor acts as Generator



Inverter



Battery Charging

ဤနည်းဖြင့် Energy Recovery ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Boat Propulsion Motor အများစုမှာ

3-Phase AC PMSM Motor

3-Phase AC Induction Motor

ဖြစ်သောကြောင့် DC ကို AC ပြောင်းပေးရန် Inverter လိုအပ်သည်။

**Power Flow**

Solar Panel



MPPT Controller



Lithium Battery Bank



DC Link Capacitor



Inverter (IGBT / MOSFET)



3-Phase AC Motor



Propeller

# Electric Boat Vector Control

## Control Flow

Throttle Lever



Speed Reference



FOC Controller



SVPWM Generator



IGBT Inverter



PMSM Motor



Propeller

Solar စနစ်သုံး Sailboat နှင့် Speed Boat များတွင်  
Inverter သည် EV Car များ၏ Traction Inverter  
နှင့် နည်းပညာတူညီသည်။

Solar Panel



MPPT Charger



Lithium Battery



DC Link Capacitor



IGBT / SiC MOSFET Inverter



SVPWM + FOC Control



3-Phase PMSM Motor



Propeller

ဖြစ်ပြီး EV ကား၊ Electric Ferry၊ Electric Yacht၊

Solar Boat များအားလုံးတွင် Inverter

Technology သည် အဓိက Heart of the System

အဖြစ် တာဝန်ထမ်းဆောင်နေပါသည်။

# High Voltage Inverter



# Typical Voltage

EV Type

DC Voltage

Nissan Leaf

350V

Tesla Model 3

400V

BYD Seal

800V

Porsche Taycan

800V

## Power Range

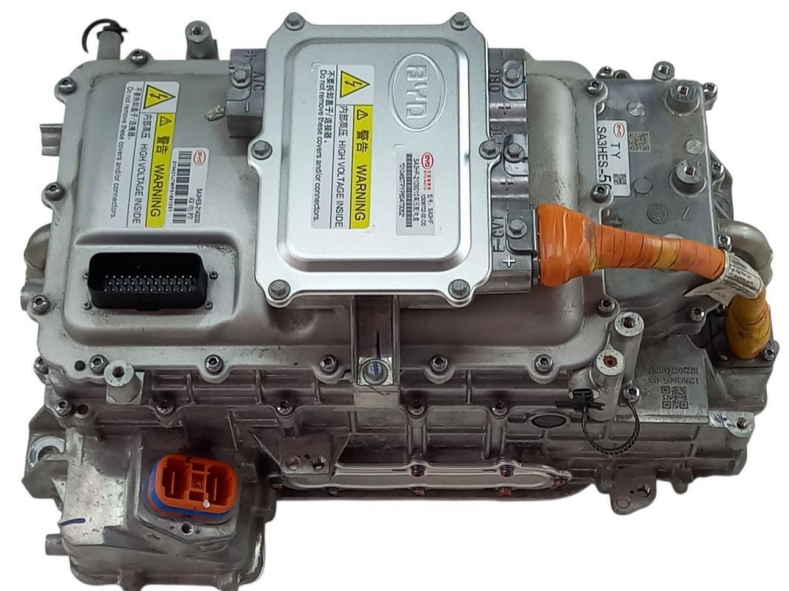
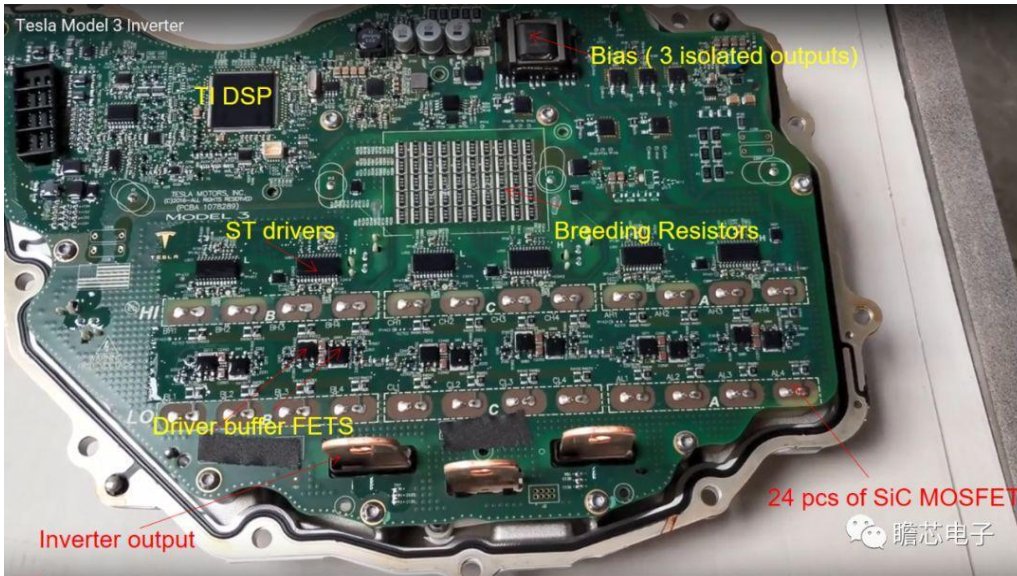
50kW ~ 500kW

## Benefits

- High Efficiency
- Fast Acceleration
- Regenerative Braking
- Energy Saving

# Real-World High-Voltage Inverter Applications

High-Voltage Inverter ဆိုသည်မှာ DC Voltage အမြင့် (400V, 800V, 1500V, 3000V, 6.6kV စသည်) ကို Variable Frequency AC သို့မဟုတ် Grid-Synchronized AC အဖြစ် ပြောင်းလဲပေးသော Power Electronics System ဖြစ်သည်။  
ယနေ့ခေတ် Power Electronics ၏ အဓိကနည်းပညာဖြစ်ပြီး EV၊ Renewable Energy၊ Railway နှင့် Heavy Industry များတွင် အရေးကြီးသော အခန်းကဏ္ဍမှ ပါဝင်နေသည်။



# System Architecture

800V Battery



DC Link Capacitor



SiC MOSFET Inverter



3-Phase AC



PMSM Motor

## Architecture

Solar Array



1500V DC



3-Level NPC Inverter



Transformer



Grid

## Typical Ratings

### Applications

- Solar Farm
- Floating Solar Plant
- Utility Scale Power Plant

Parameter

Value

DC Voltage

1500V

Output

400V–33kV

Power

250kW–8MW

## EFFECTS OF HARMONICS ON DIFFERENT VFD SETUPS

(Data shown below taken at rated power)



Standard  
AC drive



**88%**  
Current distortion

**0.75**  
Power factor

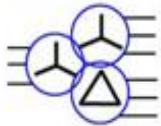


Standard  
AC drive  
with DC  
reactor



**33%**  
Current distortion

**0.9**  
Power factor



12-pulse  
system with  
Standard  
AC drive

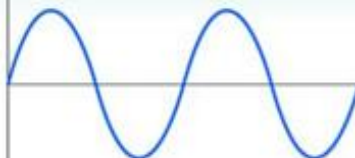


**7 - 12%**  
Current distortion

**0.95**  
Power factor



Matrix Drive  
(AC to AC  
Conversion)



**3 - 5%**  
Current distortion

**0.98**  
Power factor

**Thank you for your Attention**