

CHƯƠNG I

TỔNG QUAN VỀ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

- Hiện nay rất nhiều thiết bị biến đổi công suất được đề xuất để phục vụ những yêu cầu ngày càng cao của cuộc sống. ĐTCS đã giúp cho việc sử dụng điện năng một cách hiệu quả, các linh kiện điện tử công suất được sử dụng trong quá trình biến đổi cũng như điều khiển công suất: hiệu quả cao và tổn hao thấp trong lò cao tần, truyền tải điện DC. Các thiết bị ĐTCS mới hiện nay được cải tiến phát triển để nâng cao hiệu suất hơn nữa việc sử dụng năng lượng.
- ĐTCS đóng vai trò quan trọng trong các mô hình công nghệ và được thiết kế để điều khiển năng lượng. Dòng điện điện áp và đặc tính đóng ngắt của các linh kiện bán dẫn liên tục được hoàn thiện, phạm vi ứng dụng ngày càng được mở rộng như trong chiếu sáng, bộ nguồn, điều khiển động cơ, tự động hóa công nghiệp, giao thông, lưu trữ năng lượng, truyền tải điện đi xa.
- Hiệu suất cao và đặc điểm điều khiển chặt chẽ đã giúp cho ĐTCS có lợi thế hơn nhiều trong điều khiển động cơ so với các hệ thống điều khiển cơ điện và điện tử trước đây. Ngoài ra ĐTCS còn được ứng dụng trong truyền tải điện DC (VHDC), trạm biến đổi công suất, hệ thống truyền tải AC mềm dẻo flexible ac transmission system (FACTS), và bù công suất static-var compensators (SVC). Trong truyền tải sử dụng biến đổi DC/AC, bộ lọc tích cực, biến đổi tần số.

Những lĩnh vực liên quan đến điện tử công suất

- Điện tử rời rạc và tương tự.
- Hệ thống năng lượng điện
- Vi xử lý và vi điều khiển
- Hệ thống điều khiển
- Máy tính, mô phỏng, phần mềm.
- Vật liệu bán dẫn và linh kiện.
- Máy điện, điều khiển máy điện
- Lịch sử phát triển của điện tử công suất được bắt đầu vào những cuối thế kỷ 19. Năm 1882 nhà bác học Pháp J. Jasmin phát minh ra hiện tượng bán dẫn. Năm 1892 nhà nghiên cứu người Đức L. Arons tạo được hồ quang thủy ngân chân không đầu tiên. Năm 1901 P.C. Hewitt tại Mỹ đã chế tạo ra bộ chỉnh lưu thủy ngân. Năm 1906 J.A. Fleming chế tạo diode chân không đầu tiên. Sau đó G.W. Pickard (USA) chế tạo đèn Silicon.
- Đầu đầu thế kỷ XX phần lớn các linh kiện điện tử là các đèn thiratron và đèn initron, chúng có kích thước và khối lượng rất lớn cùng với hệ thống làm mát và hệ thống điều khiển rất phức tạp, với độ tin cậy lại rất thấp. Mặc dù vậy các bộ biến đổi công suất này được ứng dụng rất rộng rãi trong công nghiệp cũng như trong hệ thống giao thông công cộng và đường sắt.
- Năm 1873 Frederick Guthrie đưa ra nguyên lý hoạt động của diode, cho đến năm 1919 linh kiện diode công suất thực mới ra đời.
- Thyristor được phát minh bởi William Shockley vào năm 1950 và được ứng dụng trong công nghiệp vào năm 1958 bởi Moll từ phòng thí nghiệm Bell Labs và hãng General Motor.
- Transistor đầu tiên được đưa ra vào năm 1925 từ Canada do nhà vật lý học Austrian-Hungarian physicist Julius Edgar Lilienfeld, đến năm 1934 tại Đức nhà vật lý Oskar Heil đã đưa ra một dạng khác của transistor. Tuy nhiên cho đến năm 1948 transistor mới thực sự được hoàn thiện.
- IGBT bắt đầu được đề xuất từ năm 1968 bởi Yamagami – Nhật bản và dần dần được hoàn thiện vào năm 1990.
- Cuộc cách mạng đầu tiên trong ĐTCS bắt đầu vào năm 1948 với việc phát minh ra silicon transistor tại phòng thí nghiệm Bell Telephone Laboratories bởi Bardeen, Bratain, and Schockley. Phần lớn công nghệ điện tử tiên tiến ngày nay dựa trên phát minh này, các mô hình microelectronics cũng được phát triển từ linh kiện bán dẫn này.

- Cuộc cách mạng thứ hai bắt đầu với việc phát triển của Thyristor trong công nghiệp bởi hãng General Electric Company vào năm 1958. Đây là khởi đầu của kỷ nguyên mới của ĐTCS. Từ đó đến nay có rất nhiều các linh kiện bán dẫn cũng như công nghệ biến đổi được đề xuất và ứng dụng.
- Bước phát triển quan trọng nhất là từ 1975 đến 1990 và có tính cách mạng được đánh dấu bởi sự xuất hiện của các transistors cao áp BJT (Bipolar Junction Transistor) và thyristor điều khiển hoàn toàn GTO (Gate Turn Off Thyristor), sau đó là IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) và MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
- Điểm đặc biệt của giai đoạn này là kỹ thuật biến đổi năng lượng trên cơ sở tác động nhanh của các bộ biến đổi công suất và vì thế cho phép giảm khối lượng và kích thước đồng thời tăng đáng kể hiệu suất và độ tin cậy. Trong thời gian này xuất hiện nhiều phương pháp điều khiển trong đó có phương pháp điều chế độ rộng xung và sử dụng vi xử lý trong điều khiển.
- Sử dụng các bộ biến đổi công suất trong hệ thống điện, trong giao thông, trong luyện kim cũng như các lĩnh vực công nghiệp khác đã tạo đà phát triển kinh tế rất lớn. Ví dụ ở Mỹ hiện nay có 70% năng lượng điện sử dụng được biến đổi từ các bộ biến đổi công suất.
- Kỹ thuật biến đổi là ngành khoa học trẻ và đã đạt được thành công rất lớn, tuy nhiên ngày càng nhiều bài toán được đặt ra ở phía trước, nó đòi hỏi sự phát triển hơn nữa cả về lý thuyết lẫn thực tế kỹ thuật biến đổi.

Các hướng phát triển của điện tử công suất

- Cải tiến các linh kiện bán dẫn – semiconductor
- Ứng dụng các vi điều khiển và vi xử lý như DSP, VLSI, VHDL, ASIC...
- Các giải thuật điều khiển mới.
- Theo yêu cầu của các ứng dụng mới.

Những yêu cầu đối với các bộ biến đổi công suất:

- Hiệu suất cao
- Hiệu quả cao
- Độ tin cậy cao
- Giá thành thấp
- Kích thước và khối lượng nhỏ

CẤU TRÚC CHUNG CỦA BỘ BIẾN ĐỔI CÔNG SUẤT

1. Định nghĩa: Điện tử công suất là môn học nghiên cứu quá trình biến đổi, điều khiển các đại lượng đặc trưng năng lượng điện cho phù hợp với tải như: Dạng điện áp và dòng điện (một chiều DC và xoay chiều AC), hình dạng điện áp dòng điện (sin, không sin tuần hoàn, xung) Giá trị điện áp, dòng điện (trị trung bình, trị hiệu dụng, biên độ), tần số...
2. Cấu trúc bộ biến đổi công suất: Sơ đồ khối chung của các bộ biến đổi công suất được trình bày trên hình Figure 1.1: bộ biến đổi công suất biến đổi điện năng với các tham số nguồn đầu vào $U_1; I_1; F_1; P_1$ thành điện năng với tham số đầu ra $U_2; I_2; F_2; P_2$ dưới tác dụng của tín hiệu điều khiển nhờ mạch hồi tiếp.

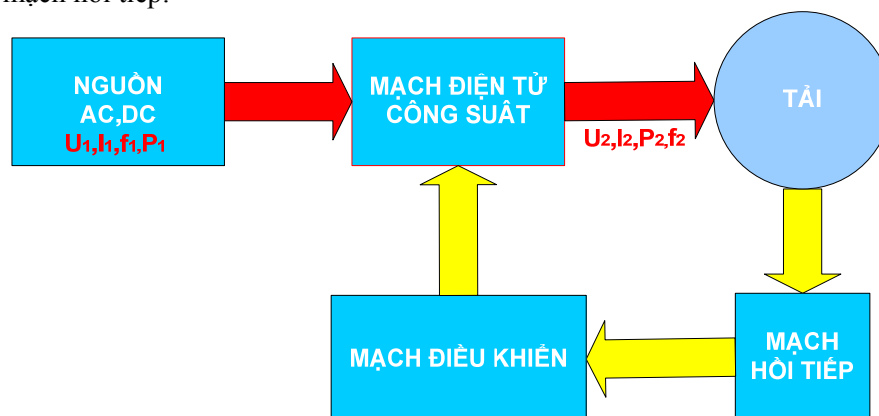
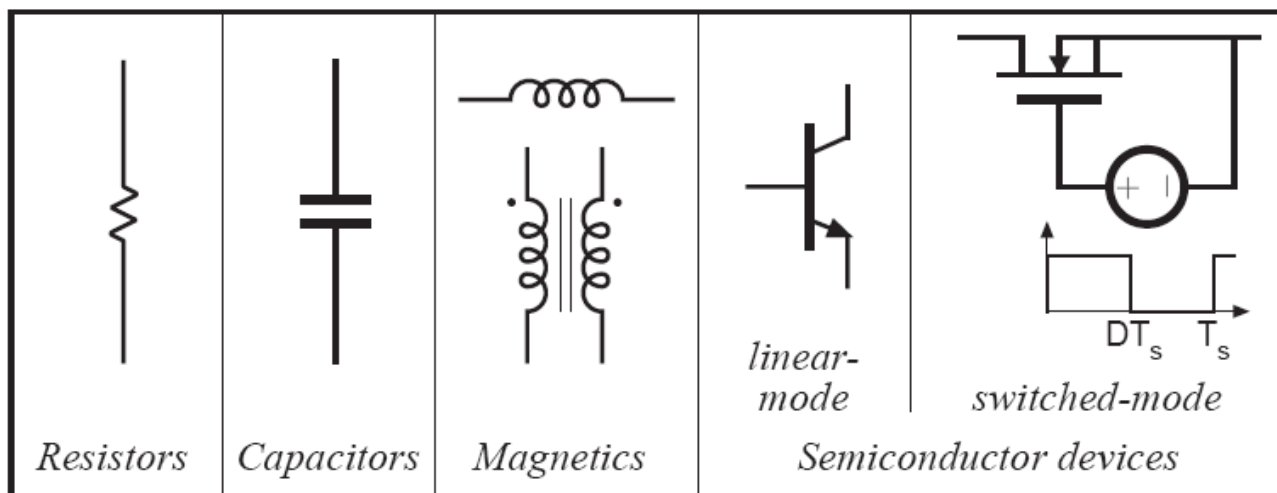


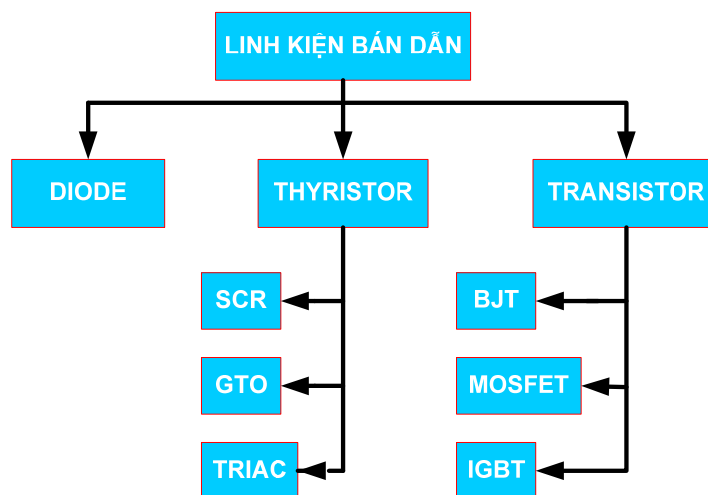
Figure 1.1 Sơ đồ khối của bộ biến đổi công suất

- Mạch điện tử công suất bao gồm nguồn điện, tải, mạch điện tử công suất và mạch điều khiển. Mạch điện tử công suất bao gồm các linh kiện bán dẫn, bộ phận tản nhiệt, máy biến áp. Mạch điều khiển thu thập thông tin từ nguồn, tải, và giải thuật điều khiển xác định hoạt động của bộ biến đổi để có được kết quả mong muốn. Linh kiện bán dẫn được lựa chọn trên cơ sở công suất định mức của bộ biến đổi công suất cần thiết kế.

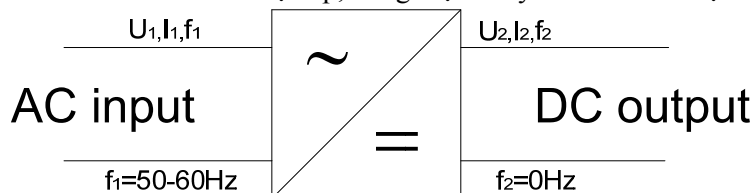
3. Các phần tử trong bộ biến đổi công suất:
 - Các linh kiện bán dẫn công suất.
 - Các phần tử như tụ điện, cuộn dây, lõi thép.
 - Các phần tử biến đổi điện từ: máy biến áp lực, máy biến áp đo lường.
 - Hệ thống điều khiển: các linh kiện điện tử, hay vi xử lý, DSP
 - Hệ thống bảo vệ và tín hiệu báo sự cố.



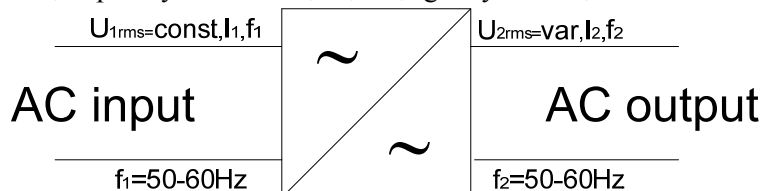
CÁC LINH KIỆN BÁN DẪN VÀ BỘ BIẾN ĐỔI CÔNG SUẤT CƠ BẢN



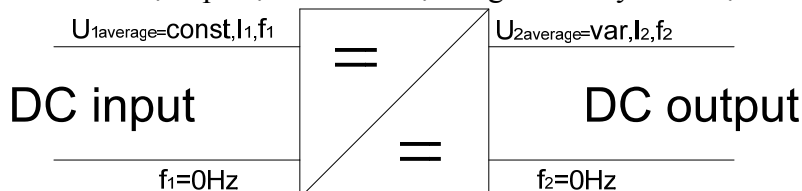
1. **Bộ chỉnh lưu – Rectifiers:** biến đổi điện áp, dòng điện xoay chiều thành một chiều AC/DC



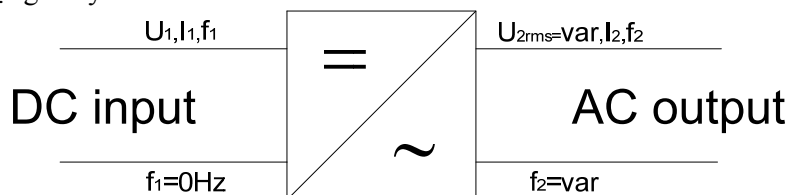
2. **Bộ biến đổi điện áp xoay chiều - AC-AC Converter:** biến đổi điện áp xoay chiều có trị hiệu dụng không đổi thành điện áp xoay chiều có trị hiệu dụng thay đổi được



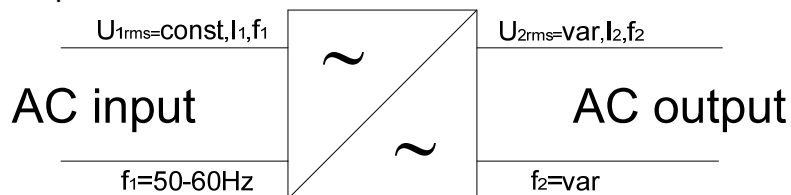
3. **Bộ biến đổi điện áp một chiều – Chopper DC-DC:** biến đổi điện áp một chiều có trị trung bình không thay đổi thành điện áp một chiều có trị trung bình thay đổi được.



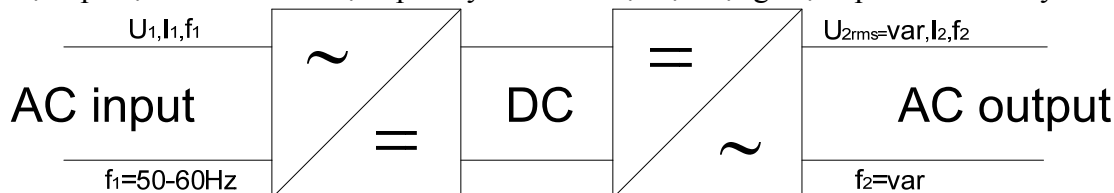
4. **Bộ nghịch lưu - DC/AC converters:** biến đổi năng lượng từ nguồn điện một chiều không đổi sang dạng năng lượng xoay chiều.



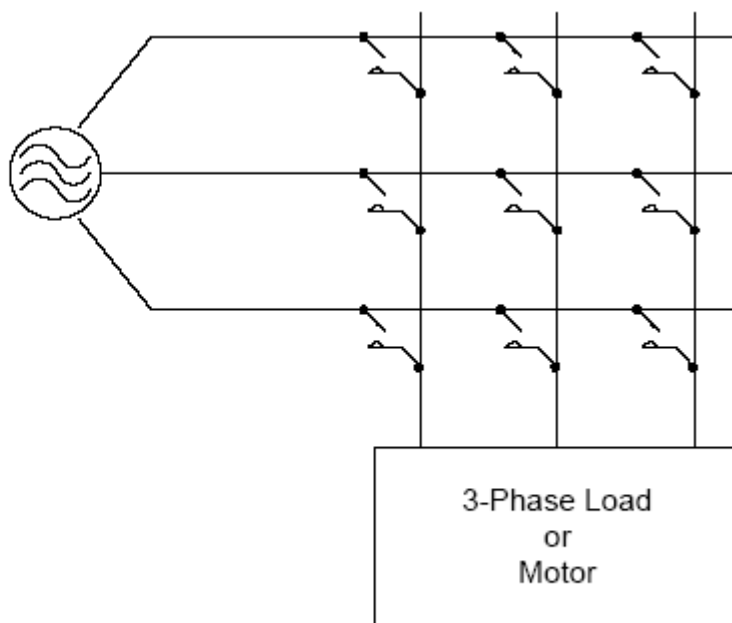
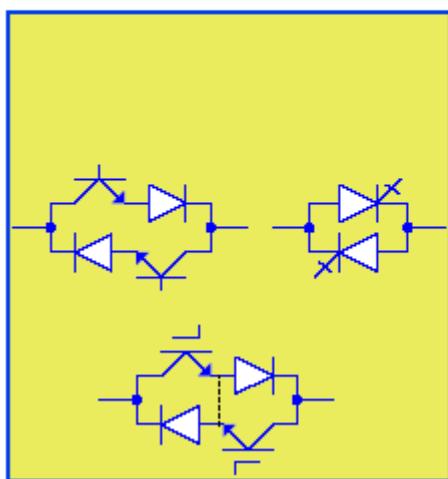
5. **Bộ biến tần trực tiếp - AC-AC Converter (Cycloconverter or Frequency Changer):** biến đổi điện áp xoay chiều có trị hiệu dụng và tần số không đổi thành điện áp xoay chiều với trị hiệu dụng và tần số thay đổi được.



6. **Bộ biến tần gián tiếp AC-DC-AC:** chỉnh lưu điện áp xoay chiều ngõ vào sau đó chuyển đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều có trị hiệu dụng điện áp và tần số thay đổi được.



7. **AC Switches: Matrix Converter**



ỨNG DỤNG CỦA ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

- Với công suất nhỏ hơn 1 W: dùng làm nguồn cho thiết bị công suất nhỏ như điện thoại.
- Với công suất nhỏ hơn 1kW: dùng làm nguồn cho thiết bị công suất như máy tính.
- Với công suất từ 1kW-1MW: dùng cho điều khiển máy điện, lò cao tần, hệ thống nạp ác quy, hệ thống chiếu sáng, bù công suất phản kháng
- Với công suất 1000MVA: dùng cho truyền tải điện DC đi xa

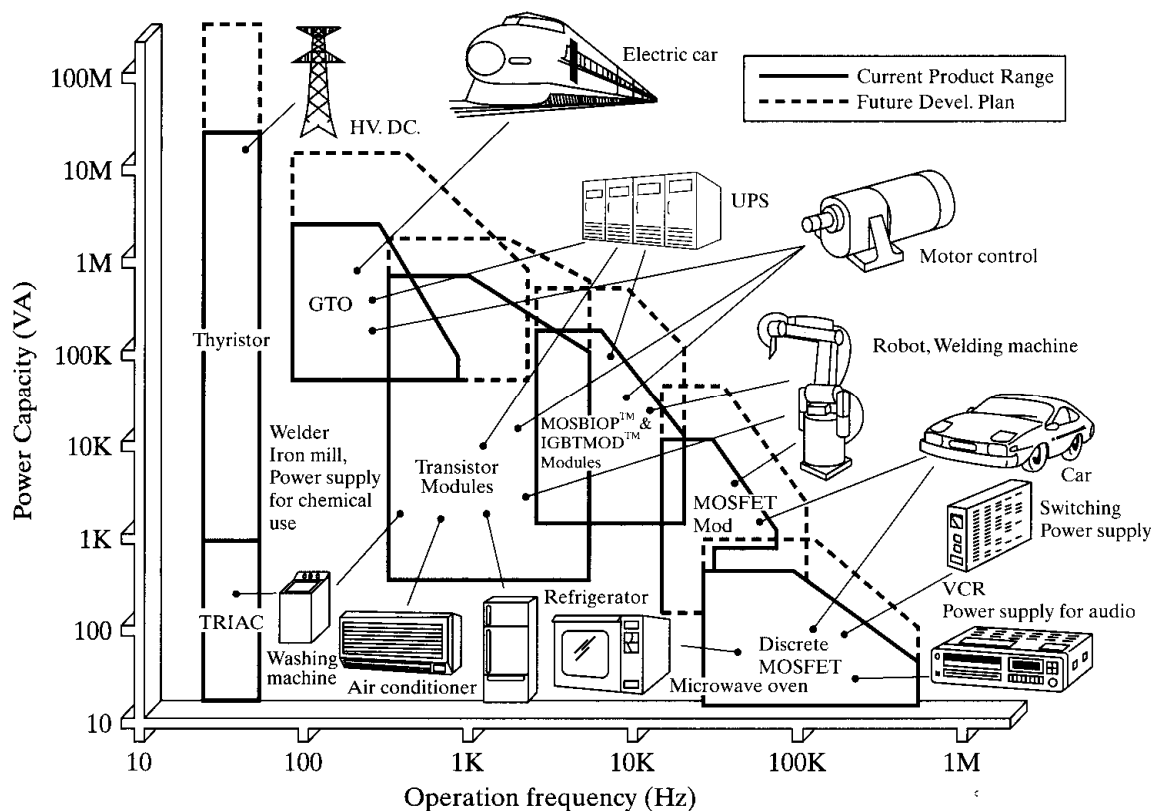


Figure 1.2 Ứng dụng của điện tử công suất

1. Ứng dụng làm nguồn lưu điện

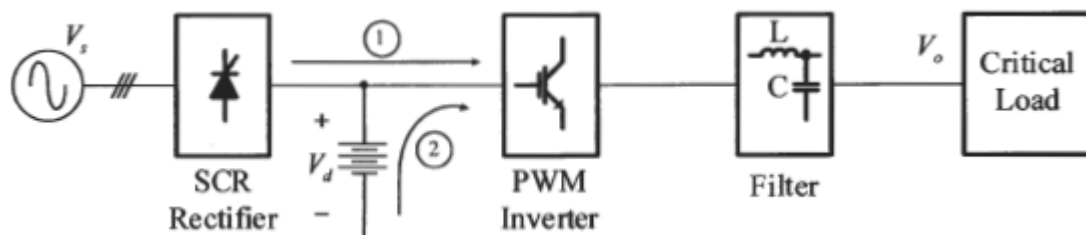


Figure 1.3 Online UPS

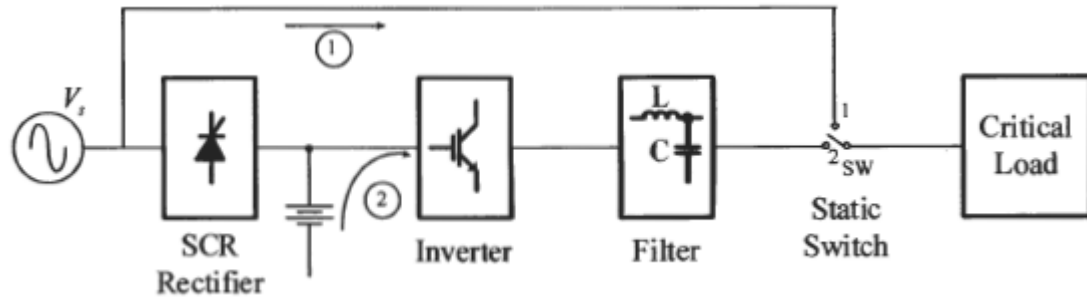
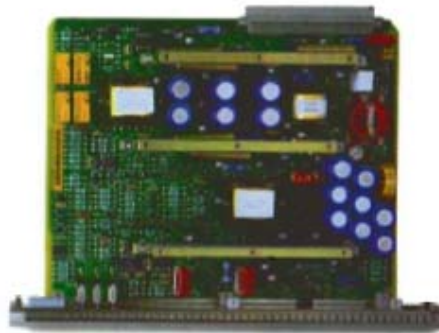


Figure 1.4 Offline UPS



- **Applications:**
To power computers, telecommunications equipment, electronic instruments, TV sets, ...
- **Features**
Small size, high efficiency and high power density

Figure 1.5 Switch Mode Power Supply

2. Ứng dụng điều khiển máy điện

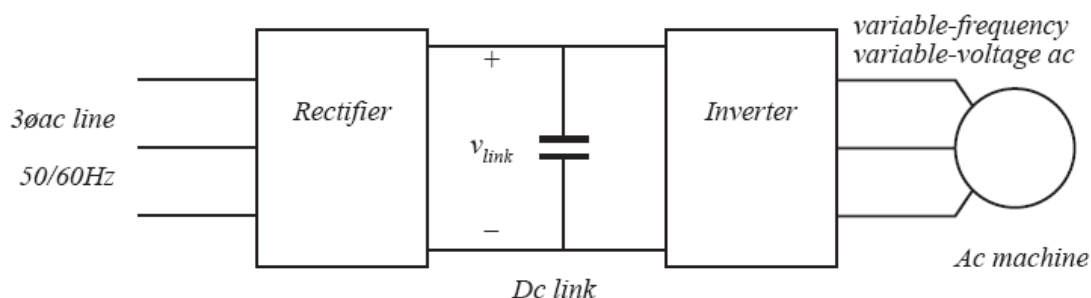


Figure 1.6 Điều khiển vòng hở

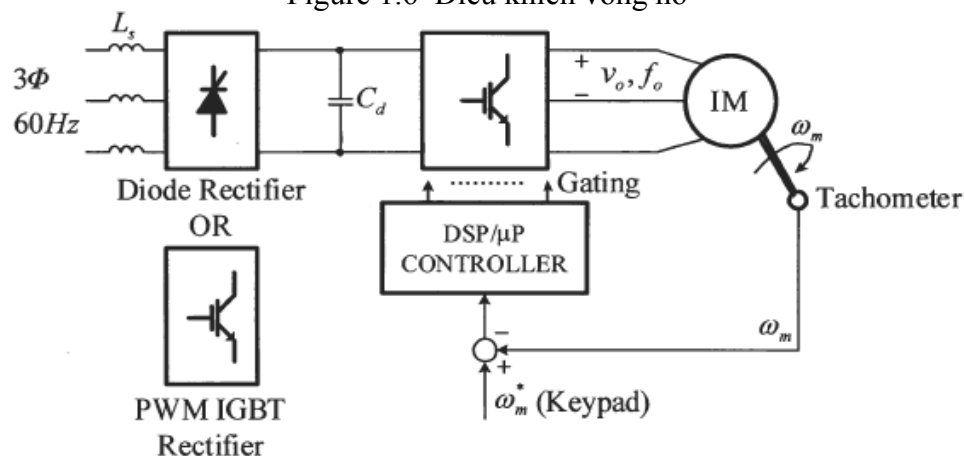
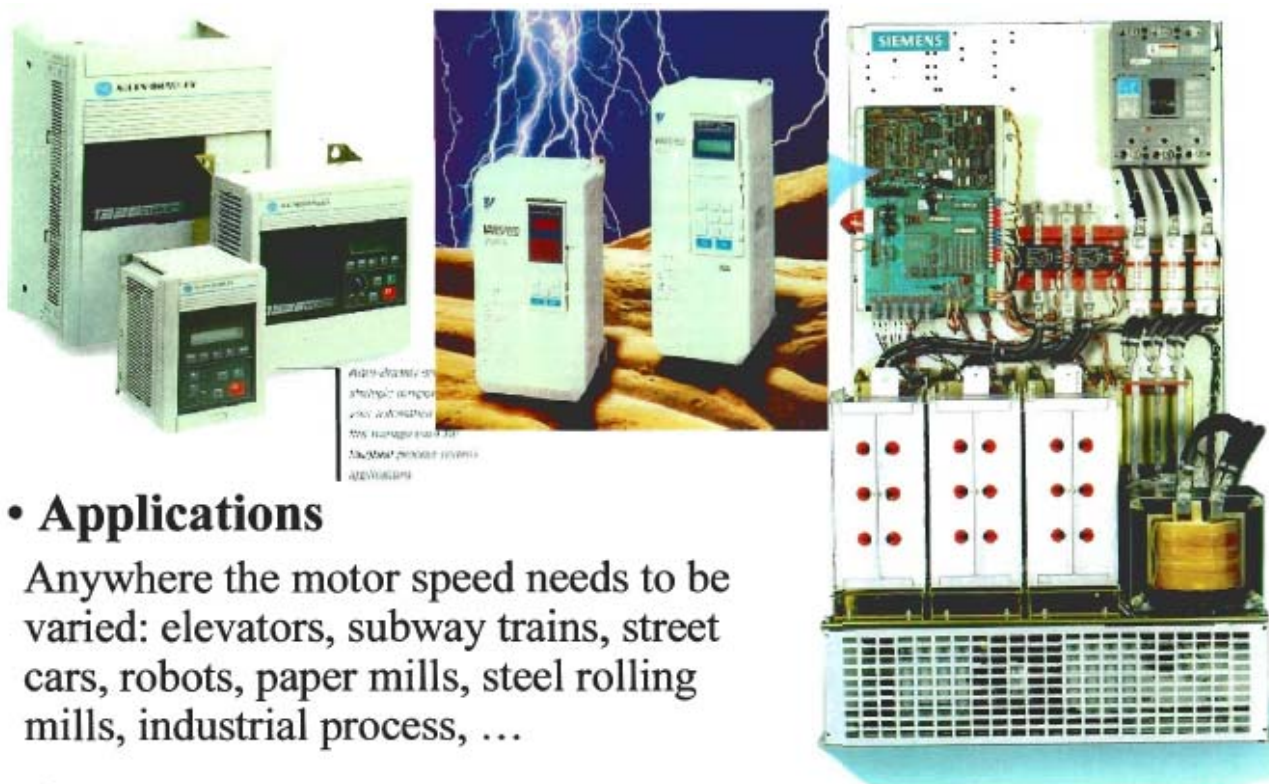


Figure 1.7 Điều khiển vòng kín



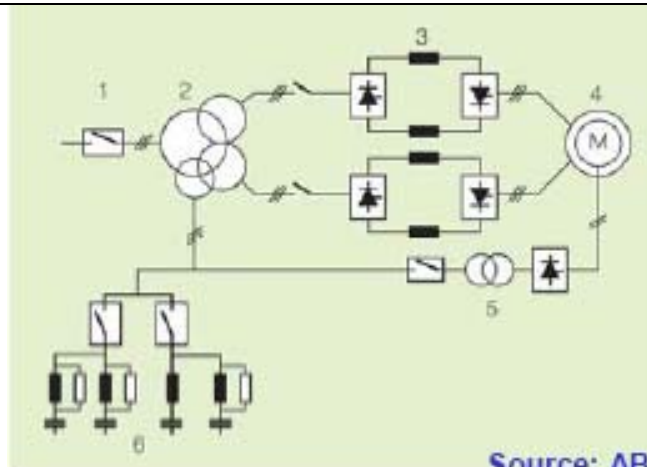
• Applications

Anywhere the motor speed needs to be varied: elevators, subway trains, street cars, robots, paper mills, steel rolling mills, industrial process, ...

Figure 1.8 Các bộ biến tần điều khiển động cơ

- Máy điện: Six-phase, synchronous
- Tải: quạt công suất lớn
- Dải tốc độ: 360 - 600rpm

1. Hệ thống nguồn
2. Máy biến áp
3. Bộ biến đổi công suất
4. Động cơ đồng bộ
5. Hệ thống kích từ
6. Bộ lọc.

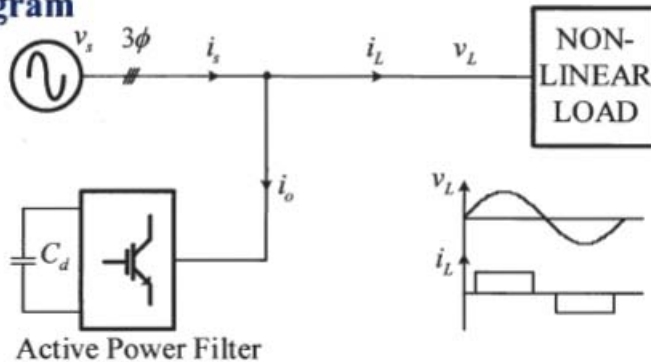


Source: ABB

Figure 1.9 Điều khiển máy điện đồng bộ 6 pha - **Six-phase synchronous motor** (100MW, 12.5KV, 2.8KA)

3. Ứng dụng trong nâng cao chất lượng điện năng –Active Filter, Statcom

• Block Diagram



$$i_L = i_1 + i_h$$

i_1 - fundament current

i_h - harmonic current

$$i_o = -i_h$$

$$i_s = i_L + i_o = i_1$$

No harmonics in
source current i_s

Figure 1.10 Bộ lọc tích cực

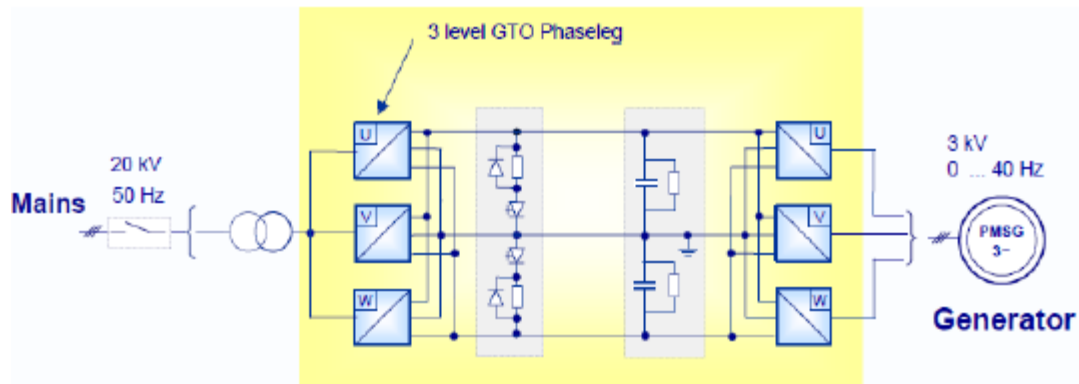
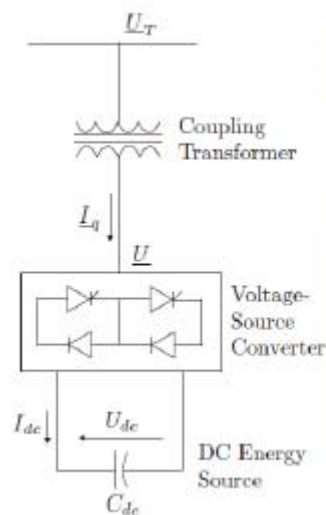
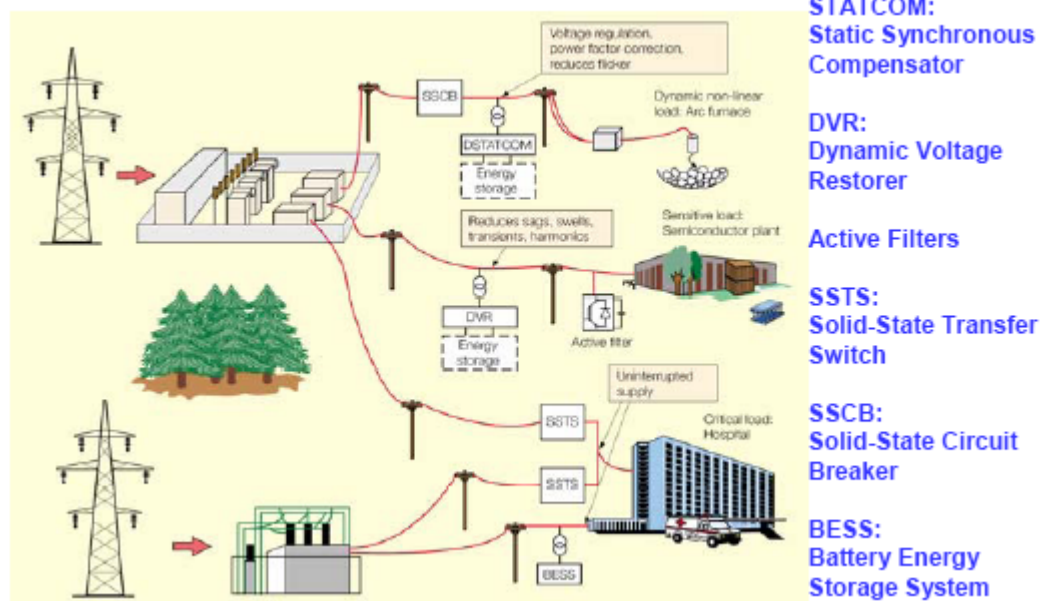


Figure 1.11 Ứng dụng trong hệ thống nguồn điện công nghiệp - **Multibrid M5000 (5MW PMSG)**

FACTS - Flexible AC Transmission Systems



Source: Toshiba Electric

Figure 1.11 Hệ thống **50 MVA STATCOM** (StaticSynchronous Compensator)

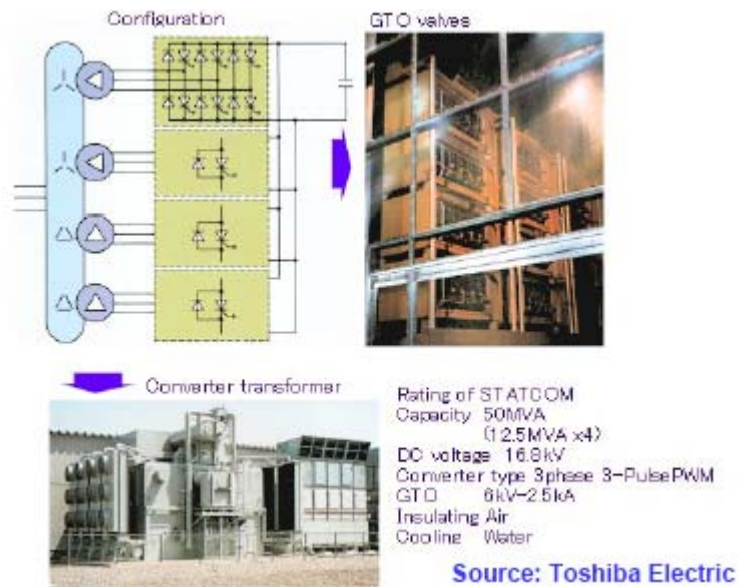


Figure 1.12 Hệ thống 100 MVA GCT STATCOM (Static Synchronous Compensator)

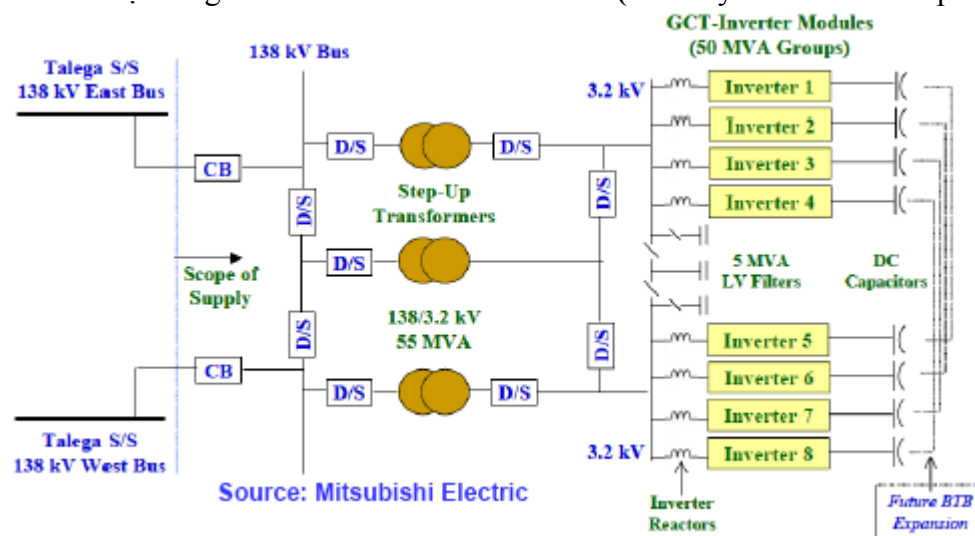
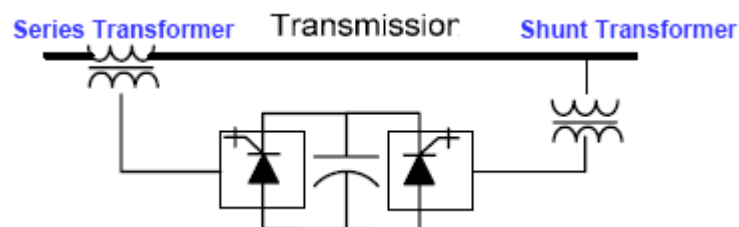
Figure 1.13 Hệ thống Talega ± 100 MVA, 138 kV STATCOM

Figure 1.14 Static Synchronous Series Compensator (SSSC)

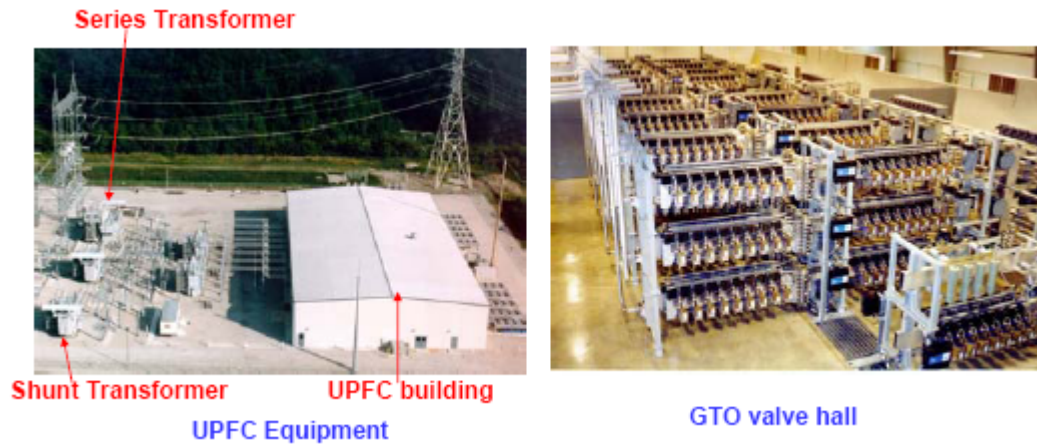


Figure 1.15 Hệ thống 320MVA 138kV UPFC - Unified Power Flow Controller (GTO Based)

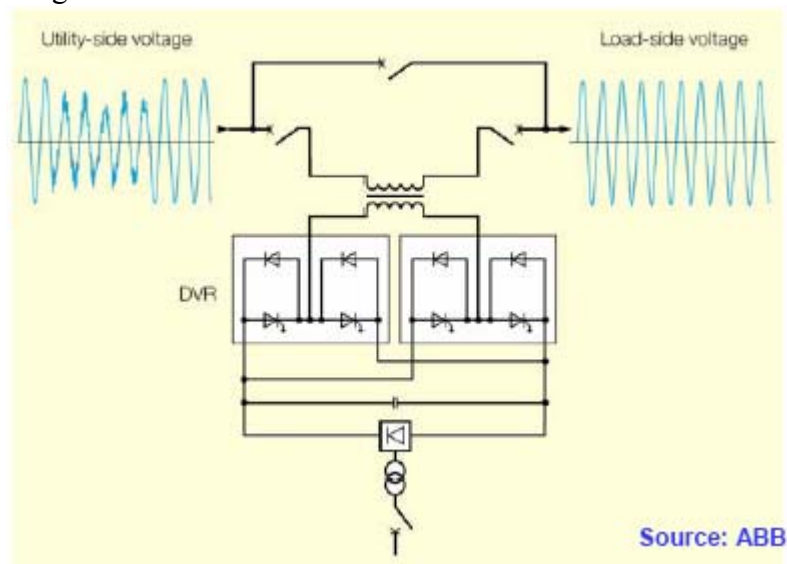
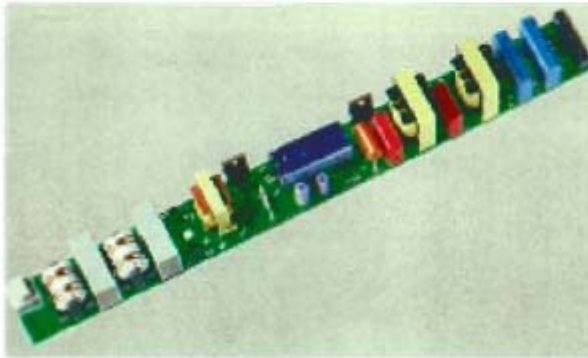


Figure 1.16 Hệ thống Dynamic Voltage Restorer (DVR)

4. Ứng dụng trong chế tạo máy bay, tàu cao tốc



5. Ứng dụng trong chiếu sáng



• Features

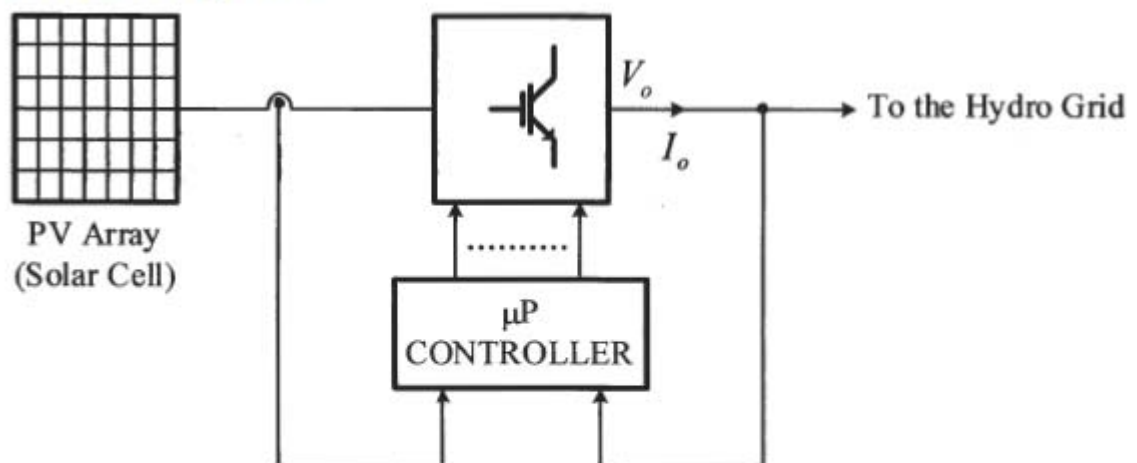
- Low power loss
- High performance
- Small size
- No audible noise
(Frequency > 20KHz)

• Technical Challenges

- High input power factor
- Low line THD
- Low cost

6. Ứng dụng trong quang điện, năng lượng mặt trời, năng lượng gió

• Block Diagram



• Basic requirements

- 1) V_o and I_o are sinusoidal (THD ≈ 0)
- 2) Send maximum power available from the PV array to the hydro grid

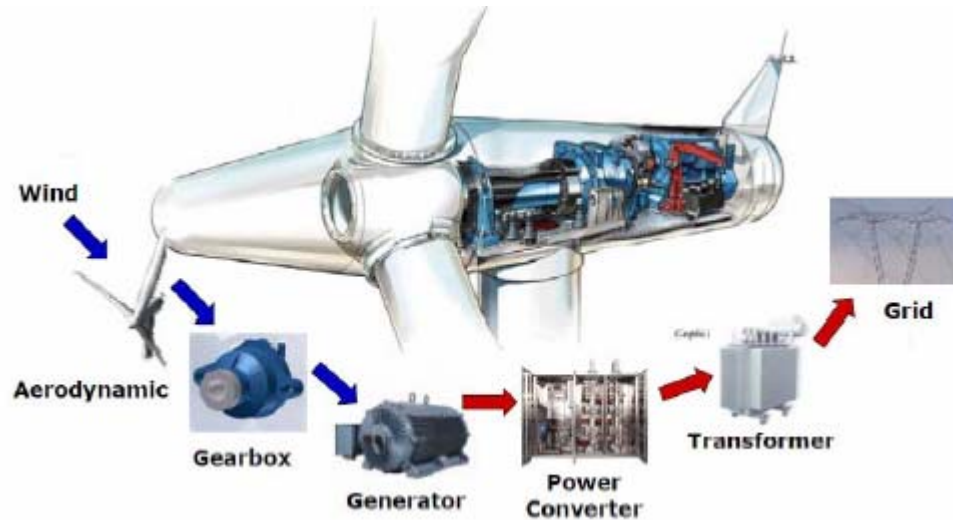


Figure 1.17 Hệ thống năng lượng gió

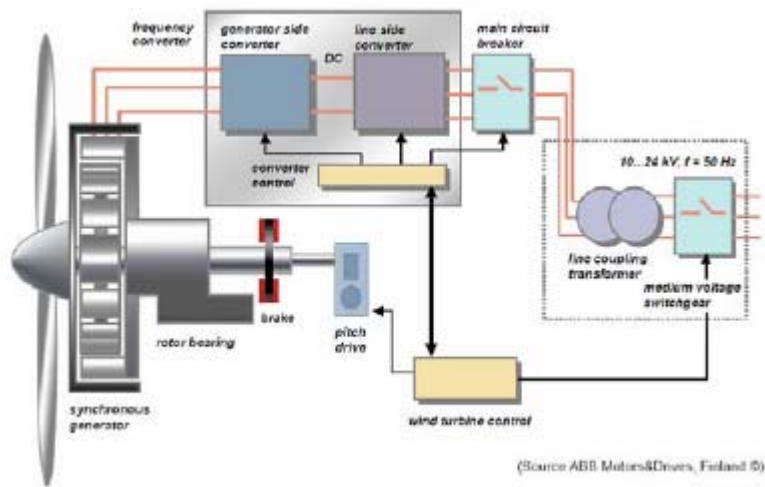
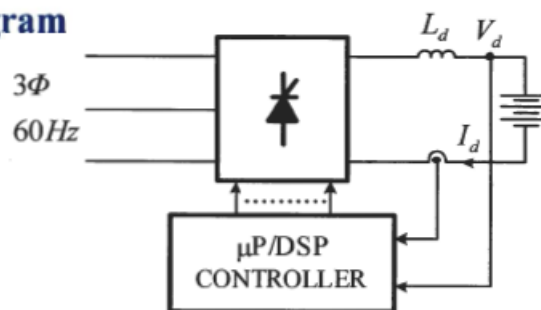


Figure 1.18 Hệ thống năng lượng gió

7. Ứng dụng trong các thiết bị nạp điện

• Block Diagram



8. Ứng dụng cho truyền tải điện DC- High Voltage DC Transmission. Ưu điểm là có thể truyền tải trên khoảng cách lớn (1000km) và giảm tổn hao công suất

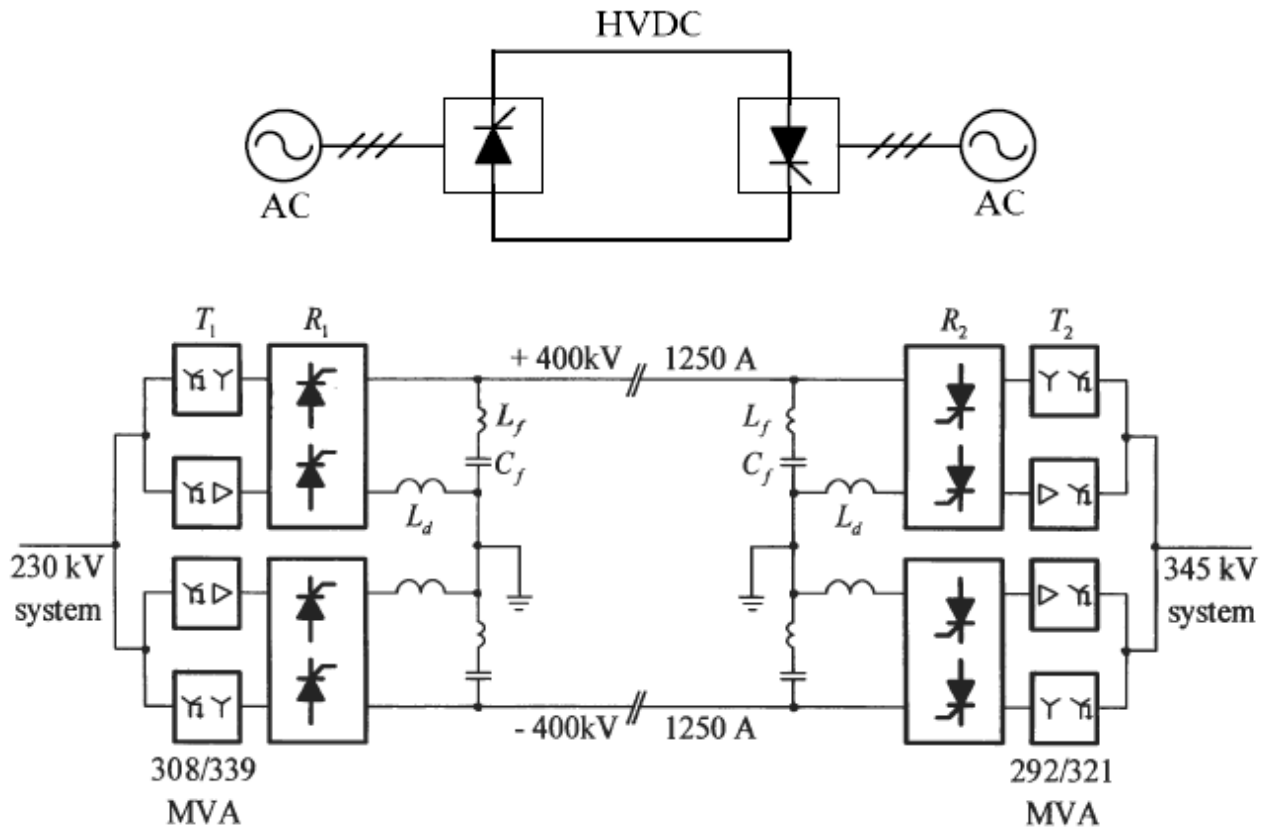
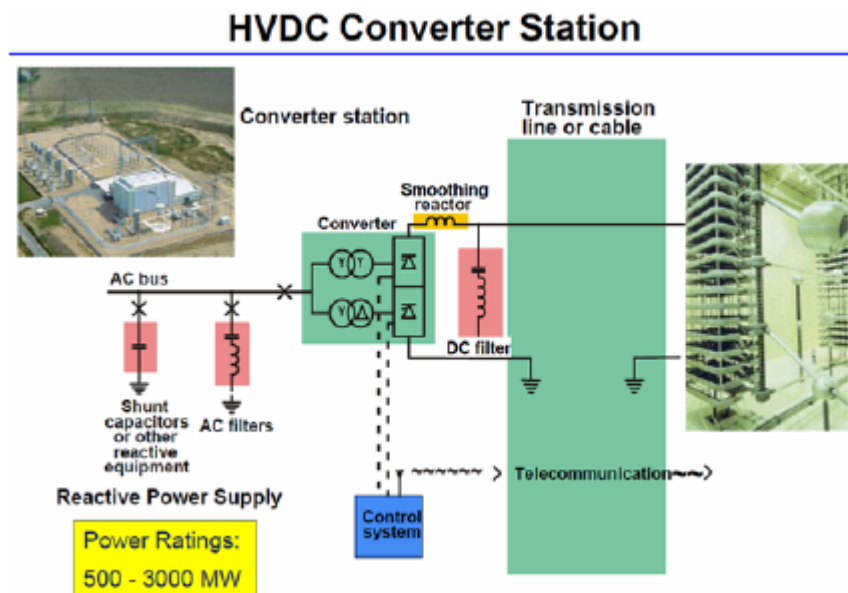


Figure 1.20 Hệ thống truyền tải điện DC



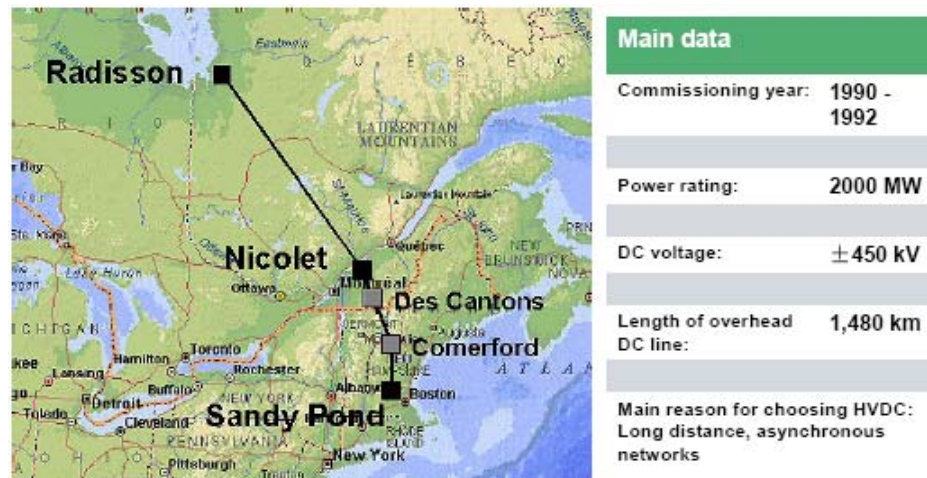


Figure 1.21 HVDC Transmission Québec - New England



Figure 1.22 HVDC Transmission Québec - New England

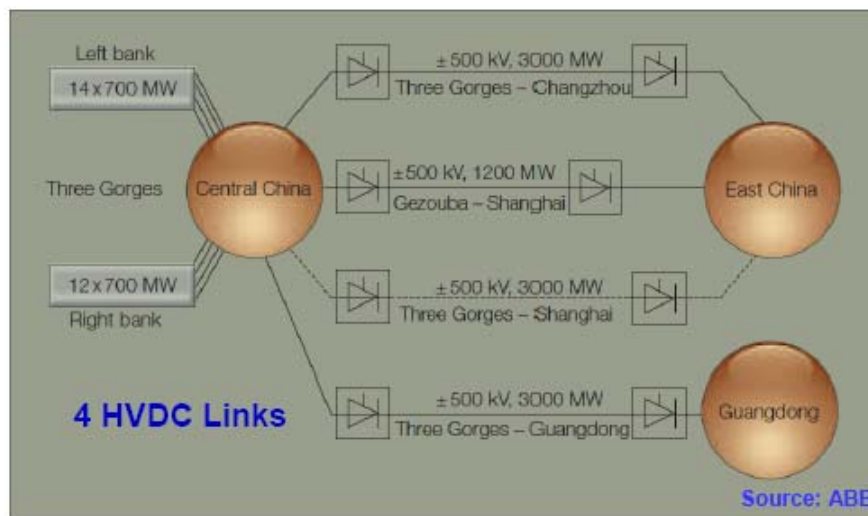
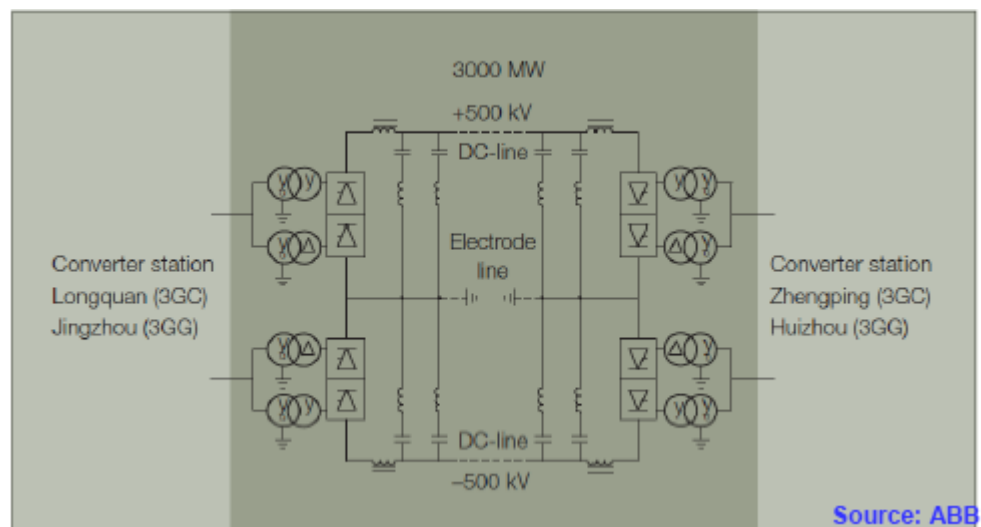


Figure 1.23 HVDC Project in China



Overview



Thyristor valve hall

Figure 1.24 Hệ thống 3000MW HVDC from Three Gorges to Guangdong

II. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Trị trung bình (Average):

- Cho dòng điện $i(t)$ và điện áp $u(t)$ có chu kỳ T . Trị trung bình của dòng điện và điện áp được tính bằng công thức:

$$I_d = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (1.1)$$

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (1.2)$$

- Ở chế độ xác lập trị trung bình điện áp trên L bằng 0. Vì thế trị trung bình dòng không phụ thuộc vào giá trị L mà chỉ phụ thuộc vào R . và dòng trung bình qua tải được tính bằng công thức:

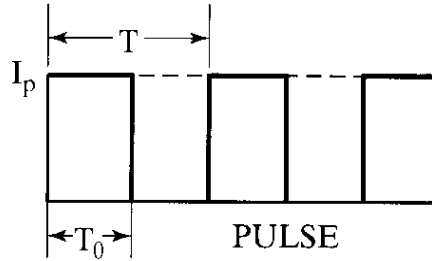
$$I_d = \frac{U_d - E}{R} \quad (1.3)$$

2. Trị hiệu dụng (Root Mean Square-rms):

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (1.4)$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (1.5)$$

Ví dụ 1: Cho dòng điện có dạng như hình 1.1 với $I_p = 100(A)$; $T = 20(ms)$; $T_0 = 10(ms)$. Xác định trị trung bình và trị hiệu dụng dòng điện.

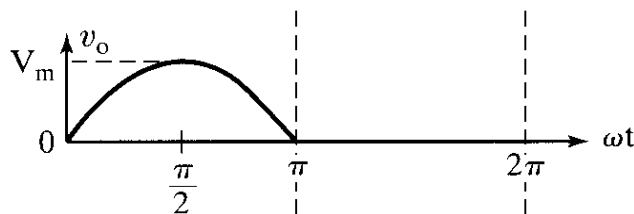


Hình 1.1

$$\text{Trị trung bình dòng điện: } I_d = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_0} I_p dt + \frac{1}{T} \int_{T_0}^T 0 dt = \frac{t}{T} I_p \Big|_0^{T_0} = \frac{T_0}{T} I_p$$

$$\text{Trị hiệu dụng dòng điện: } I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T_0} I_p^2 dt} = I_p \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

Ví dụ 2: Cho điện áp có dạng như hình vẽ với $u(t) = U_m \sin \omega t$ và $\omega = \frac{2\pi}{T}$; $U_m = 220\sqrt{2}(V)$. Xác định trị trung bình và trị hiệu dụng điện áp.



Hình 1.2

Cách giải 1:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} U_m (-\cos(\omega t)) \Big|_0^\pi = \frac{U_m}{\pi} = 99V$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi [U_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} = U_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4} \right) \Big|_0^\pi} = \frac{U_m}{2}$$

Cách giải 2:

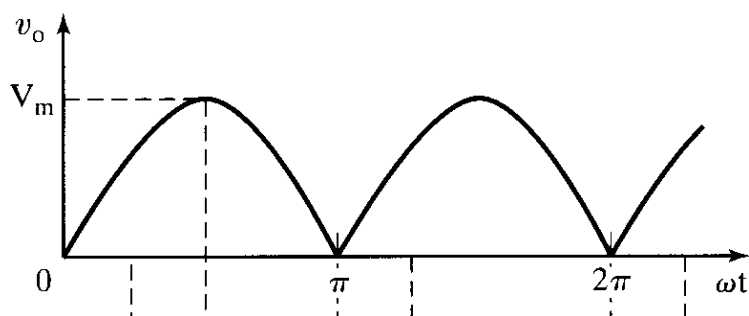
$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) dt = -\frac{1}{T} \times \frac{1}{2\pi/T} \times U_m \times \cos\left(\frac{2\pi}{T} \times t\right) \Big|_0^{T/2} = 99V$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} [U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)]^2 dt} = U_m \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{1 - \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right)}{2} dt}$$

$$U_{rms} = U_m \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^{T/2} 1 dt - \frac{1}{2T} \int_0^{T/2} \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right) dt} = U_m \sqrt{\frac{1}{2T} \times \frac{T}{2} - \frac{1}{2T} \times \frac{1}{4\pi/T} \times \sin\left(\frac{4\pi}{T} t\right) \Big|_0^{T/2}}$$

$$U_{rms} = U_m \sqrt{\frac{1}{2T} \times \frac{T}{2} - \frac{1}{2T} \times \frac{1}{4\pi/T} \times [\sin(2\pi) - \sin(0)]} = \frac{U_m}{2}$$

Bài tập 1: Cho điện áp có dạng $u(t) = 220\sqrt{2} \sin(t)$, $f = 50\text{Hz}$. Xác định trị trung bình và trị hiệu dụng điện áp



Hình 1.3

Cách giải 1:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi U_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{U_m}{\pi} (-\cos(\omega t)) \Big|_0^\pi = \frac{2 \times U_m}{\pi} = \frac{2}{\pi} \times 220\sqrt{2} = 198.14$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi [U_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} = U_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4} \right) \Big|_0^\pi} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Cách giải 2:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) dt = -\frac{1}{T/2} \times \frac{1}{2\pi/T} \times U_m \times \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \Big|_0^{T/2} = 198.14V$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} [U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)]^2 dt} = U_m \sqrt{\frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} \frac{1 - \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right)}{2} dt}$$

$$U_{rms} = U_m \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} 1 dt - \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right) dt} = U_m \sqrt{\frac{1}{T} \times \frac{T}{2} - \frac{1}{2T} \times \frac{1}{4\pi/T} \times \sin\left(\frac{4\pi}{T} t\right) \Big|_0^{T/2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

3. Công suất trung bình:

- Công suất tức thời của tải được xác định bằng công thức:

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.6)$$

$$P_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt \quad (1.7)$$

Hoặc
$$P_d = \frac{1}{\omega T} \int_0^{\omega T} u(\omega t)i(\omega t) d(\omega t) \quad (1.8)$$

- Nếu dòng tải không đổi theo thời gian thì công suất trung bình của tải:

$$P_d = U_d I_d \quad (1.9)$$

- Tụ điện và cuộn kháng không tiêu hao công suất

4. Quá trình quá độ và trạng thái xác lập:

- Quá trình quá độ là quá trình xảy ra ngay sau khi đóng(ngắt) khoá công suất và nó diễn ra trong khoảng thời gian ngắn
- Trạng thái xác lập là trạng thái khi mà khoá công suất đóng hoặc ngắt hoàn toàn. Khoảng thời gian này lớn hơn so với thời gian đóng ngắt khoá.

5. Phân tích Fourier:

- Các bộ biến đổi công suất là những thiết bị phi tuyến. Điện áp ngõ ra thường có dạng không sin nhưng là các hàm tuần hoàn và chứa các thành phần sóng hài. Vì thế ta có thể dùng định lý Fourier để phân tích các sóng hài và phân tích ảnh hưởng của chúng đến nguồn và tải.
- Trong nhiều ứng dụng ta phải giảm các sóng hài bậc cao bằng cách lọc hay sử dụng các mạch biến đổi phức tạp hơn.

- Giả sử cho một hàm số $f(x)$ có chu kỳ là $T=2\pi$, tần số là f và $x = \omega t = \frac{2\pi}{T}$

- Dãy Fouries được viết dưới dạng:

$$f(x) = A_0 + A_1 \cos x + A_2 \cos 2x + \dots + A_n \cos nx + B_1 \sin x + B_2 \sin 2x + \dots + B_n \sin nx \quad (1.10)$$

$$f(x) = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + \dots + A_n \cos n\omega t + B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + \dots + B_n \sin n\omega t \quad (1.11)$$

Trong đó

A_0 - thành phần một chiều không đổi.

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t) \quad (1.12)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos(nx) dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (1.13)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin(nx) dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (1.14)$$

Trong đó

- Với $n=1$ ta có thành phần hài cơ bản
- Với $n \geq 2$ ta có thành phần hài bậc cao.

Biến đổi biểu thức (1.10) và (1.11) ta được:

$$f(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_{(n)m} \sin(nx - \varphi_n) \quad (1.15)$$

Trong đó

$$A_{(n)m} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \text{ - biên độ sóng hài bậc } n \quad (1.16)$$

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{B_n}{A_n}\right) \text{ - góc lệch pha} \quad (1.17)$$

- Quan sát một số dạng sóng có thể đi đến kết luận và đơn giản hoá biểu thức giải tích.
 - Nếu diện tích của các nửa chu kỳ dương và âm bằng nhau thì $A=0$
 - Nếu $f(x + \pi) = -f(x)$ thì không có sóng hài bậc chẵn 2,4,... Tất cả nửa chu kỳ âm là đối xứng với nửa chu kỳ dương.
 - Nếu $f(-x) = -f(x)$, $b_n = 0$ không có các thành phần cosin khi hàm số lẻ. Nếu $f(-x) = f(x)$, $a_n = 0$ không có các thành phần sin khi hàm số chẵn.

6. Ứng dụng phân tích Fourier cho dòng điện và điện áp: Giả sử dòng điện $i(t)$ và áp $u(t)$ có dạng không sin

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_m \sin(n\omega t - \varphi_{n_I}) \quad (1.18)$$

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_m \sin(n\omega t - \varphi_{n_U}) \quad (1.19)$$

- I_0, U_0 là thành phần một chiều không đổi của dòng điện và áp. Trị trung bình của dòng điện và điện áp $I_d = I_0, U_d = U_0$

$$\text{Trị hiệu dụng dòng điện: } I_{rms} = \sqrt{I_0^2 + I_{(1)}^2 + I_{(2)}^2 + \dots I_{(n)}^2} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_{(n)m}^2}{2}} \quad (1.20)$$

$$\text{Trị hiệu dụng điện áp: } U_{rms} = \sqrt{U_0^2 + U_{(1)}^2 + U_{(2)}^2 + \dots U_{(n)}^2} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U_{(n)m}^2}{2}} \quad (1.21)$$

Trong đó

$I_{(1)}, I_{(2)}, \dots, I_{(n)}$ trị hiệu dụng các thành phần hài dòng điện

$U_{(1)}, U_{(2)}, \dots, U_{(n)}$ trị hiệu dụng các thành phần hài điện áp

- Trị hiệu dụng sóng hài cơ bản dòng điện: $I_{(1)} = \frac{I_{(1)m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{A_{(1)}^2 + B_{(1)}^2}}{\sqrt{2}} \quad (1.22)$

- Trị hiệu dụng sóng hài cơ bản điện áp $U_{(1)} = \frac{U_{(1)m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{A_{(1)}^2 + B_{(1)}^2}}{\sqrt{2}} \quad (1.23)$

- Biên độ thành phần hài dòng điện: $I_{(n)m} = \sqrt{A_{(n)-I}^2 + B_{(n)-I}^2} \quad (1.24)$

- Biên độ thành phần hài dòng điện: $U_{(n)m} = \sqrt{A_{(n)-U}^2 + B_{(n)-U}^2} \quad (1.25)$

- Công suất trung bình của tải: $P = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_{(n)} I_{(n)} \cos(\varphi_{n-U} - \varphi_{n-I}) \quad (1.26)$

$$P = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U_{(n)m} I_{(n)m}}{2} \cos(\varphi_{n-U} - \varphi_{n-I}) \quad (1.27)$$

Nếu tải là RL thì quan hệ của áp tải và dòng tải được thể hiện bằng biểu thức:

$$I_{(n)m} = \frac{U_{(n)m}}{Z_{(n)}} = \frac{U_{(n)m}}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \quad (1.28)$$

$$I_{(n)} = \frac{U_{(n)}}{Z_{(n)}} = \frac{U_{(n)}}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \quad (1.29)$$

7. Các hệ số phẩm chất cơ bản

- Displacement angle – displacement factor (DF)

$$DF = \cos(\varphi_n) \quad (1.30)$$

-Hệ số méo dạng toàn phần (Total Harmonic Distortion):

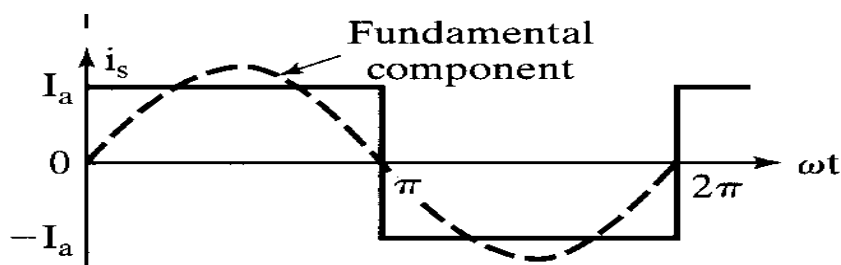
$$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} \quad (1.31)$$

$$THD_U = \frac{1}{U_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2} = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1} \quad (1.32)$$

-Hệ số công suất -Power factor (PF):

$$PF = \frac{I_{(1)}}{I} \cos(\varphi_{(1)}) \quad (1.33)$$

Ví dụ 3: Hãy phân tích Fouries dòng điện có dạng đồ thị như hình vẽ. Tìm trị hiệu dụng hài cơ bản, THD dòng điện này



Hình 1.4

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_a d(\omega t) = 0$$

$$A = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) \cos(n\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_a \cos(n\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} I_a \left. \frac{\sin(n\omega t)}{n} \right|_0^{\pi} = 0$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) \sin(n\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_a \sin(n\omega t) d(\omega t) = \left(-\frac{2}{\pi} I_a \frac{\cos(n\omega t)}{n} \right) \Big|_0^{\pi} =$$

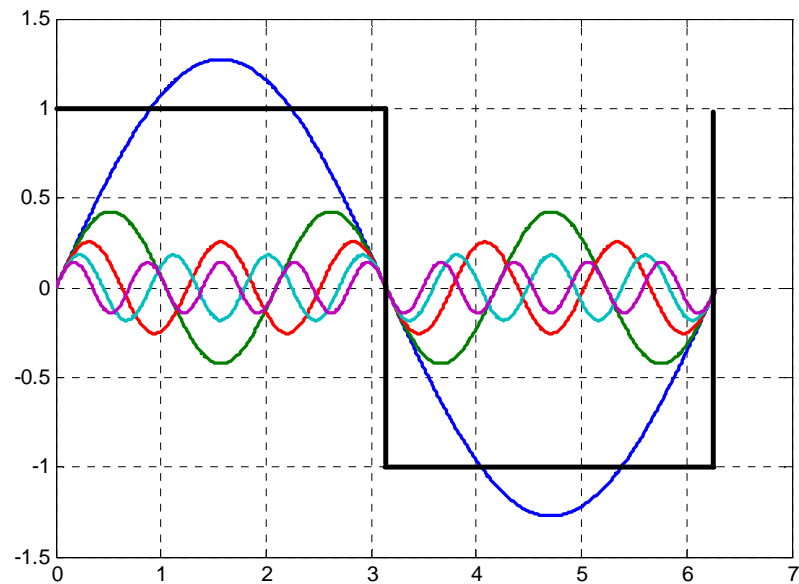
$$= \frac{2}{\pi} I_a (\cos(0) - \cos(n\pi)) = \begin{cases} \frac{4I_a}{n\pi} & n = 1, 3, 5, \dots \\ 0 & n = 2, 4, 6, \dots \end{cases}$$

-Như vậy dòng điện có dạng $i_s(t) = \frac{4I_a}{\pi} \left(\frac{\sin \omega t}{1} + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots \right)$

-Trị hiệu dụng sóng hài bậc nhất $I_{(1)} = \frac{4I_a}{\sqrt{2}\pi} = 0,9I_a$

-Trị hiệu dụng dòng điện $I_s = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} I_a \sqrt{1 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 + \dots} = I_a$

- Độ méo dạng toàn phần $THD = \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{(1)}^2}}{I_{(1)}} = \frac{\sqrt{I_a^2 - (0,9I_a)^2}}{0,9I_a} = 0,4843$



8. Hệ số công suất (Power factor).

- Hệ số công suất (PF) là tỉ số giữa công suất tiêu thụ và công suất biểu kiến nguồn cấp cho tải đó:

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

- Nếu tải một chiều thì

$$P = P_d$$

- Nếu nguồn hình sin thì

$$S = mUI$$

Trong đó: U và I là trị hiệu dụng áp và dòng nguồn; m- số pha.

9. Hiện tượng nhiễu và các biện pháp khắc phục:

- Do các khoá bán dẫn đóng ngắt ở tần số cao gây ra nhiễu cao tần làm méo dạng áp, dòng ngõ vào ngõ ra so với dạng chuẩn Và suất hiện các sóng hài bậc cao dẫn đến bức xạ sóng điện từ và giảm hệ số công suất.
- Để giảm thiểu hiện tượng nhiễu ta có thể lọc sóng hài (bằng mạch cộng hưởng LC mắc song song với nguồn), sử dụng tủ kim loại. Sử dụng cáp bọc....