

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG**

---



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**  
**NGÀNH ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

**Sinh viên : Phạm Thị Quyên**  
**Giảng viên hướng dẫn: GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn**

**HẢI PHÒNG – 2020**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG**

---

**ĐỀ TÀI:  
CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN , ĐI SÂU TÌM HIỂU VỀ HỆ  
THỐNG ĐIỆN THÔNG MINH**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY  
NGÀNH ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

**Sinh viên : Phạm Thị Quyên  
Giảng viên hướng dẫn: GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn**

**HẢI PHÒNG – 2020**

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

---

**NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

**Sinh viên :** Phạm Thị Quyên

**MSV:** 1913102001

**Lớp :** DCL2301

**Nghành :** Điện Tự Động Công Nghiệp

**Tên đề tài:** Cấu trúc lưới điện, đi sâu tìm hiểu về hệ thống lưới điện thông minh.

## NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

**1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp (về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán.**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp .....**

## **CÁC CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

**Họ và tên :** Thân Ngọc Hoàn

**Học hàm, học vị :** Giáo Sư – Tiến Sĩ Khoa Học.

**Cơ quan công tác :** Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

**Nội dung hướng dẫn:**

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày 12 tháng 10 năm 2020

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày 31 tháng 12 năm 2020

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N

Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N

**Sinh Viên**

**Cán bộ hướng dẫn Đ.T.T.N**

*Phạm Thị Quyên*

*Thân Ngọc Hoàn*

Hải Phòng, ngày.....tháng ..... năm 2020.

**TRƯỞNG KHOA**

TS. Đoàn Hữu Chức

**Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam**

**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

**PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP**

**Họ và tên giảng viên:** Thân Ngọc Hoàn

**Đơn vị công tác:** Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

**Họ và tên sinh viên:** Phạm Thị Quyên.

**Chuyên ngành:** Điện tự động công nghiệp

**Nội dung hướng dẫn :** Toàn bộ đề tài

**1. Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp**

*Có tinh thần tự chủ , rất cố gắng học tập để hoàn thành đồ án đề tài tốt nghiệp.*

**2. Đánh giá chất lượng của đồ án/khóa luận( so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T.T.N, trên các mặt lý luận, thực tiễn, tính toán số liệu... )**

*Sinh viên tìm hiểu tài liệu, đã trình bày được khái niệm về lưới điện, đi sâu lưới điện thông minh. Lưới điện thông minh hiện đang được đề cập và phát triển, nội dung cơ bản của lưới điện thông minh là thực hiện điều khiển, giám sát thu thập dữ liệu và cung cấp cho người tiêu dùng số liệu theo thời gian thực để người tiêu dùng lựa chọn chủ động việc tăng tải, giảm tải phụ thuộc vào đặc tính tải của lưới nhằm hưởng thụ giá điện rẻ. Ở lưới điện này người quản lý khai thác lưới điện và người tiêu dùng hợp tác với nhau để sử dụng năng lượng hiệu quả. Vấn đề lưới điện thông minh trong quá trình học sinh viên không được cung cấp kiến thức, sinh viên đã tìm hiểu qua tài liệu và đã trình bày được nội dung của lưới điện thông minh. Là tài liệu tham khảo cho những người quan tâm*

**3. Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp**

Được bảo vệ  Không được bảo vệ  Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày 24.tháng.12 năm 2020

**Giảng viên hướng dẫn**

GS.TSKH THân Ngọc Hoàn

**Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam**  
**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

-----

**PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN CHẤM PHẢN BIỆN**

Họ và tên giảng viên: .....

Đơn vị công tác:.....

Họ và tên sinh viên: ..... Chuyên ngành:.....

Đề tài tốt nghiệp: .....

.....

**1. Phần nhận xét của giảng viên chấm phản biện**

.....  
.....  
.....  
.....

**2. Những mặt còn hạn chế**

.....  
.....  
.....  
.....

**3. Ý kiến của giảng viên chấm phản biện**

Được bảo vệ  Không được bảo vệ  Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2020

**Giảng viên chấm phản biện**

( ký và ghi rõ họ tên

## MỤC LỤC

<b>LỜI NÓI ĐẦU.....</b>	<b>1</b>
<b>CHƯƠNG 1: LƯỚI ĐIỆN.....</b>	<b>2</b>
1.2.1. LƯỚI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN.....	2
1.2.2. XÂY DỰNG HỆ THỐNG LƯỚI ĐIỆN.....	4
1.3. TÍNH TOÁN MỨC TIÊU THỤ ĐIỆN NĂNG.....	10
<b>CHƯƠNG 2 : HỆ THỐNG LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH.....</b>	<b>31</b>
2.1 . GIỚI THIỆU.....	31
2.2. VẬN HÀNH HỆ THỐNG LƯỚI ĐIỆN .....	32
2.3.LƯỚI ĐIỆN CẤU TRÚC THEO CHIỀU DỌC VÀ THỊ TRƯỜNG.....	40
2.4. ĐIỀU KHIỂN VẬN HÀNH LƯỚI ĐIỆN.....	44
2.5. ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ.....	45
2.6. ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG MÁY PHÁT.....	53
2.7. TÍNH TOÁN DỰ TRỮ VẬN HÀNH.....	58
2.8. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH.....	59
2.9. HỆ SỐ TẢI.....	66
2.9.1. HỆ SỐ TẢI VÀ ĐỊNH GIÁ THEO THỜI GIAN THỰC.....	69
<b>CHƯƠNG 3. ĐIỀU KHIỂN LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH.....</b>	<b>72</b>
3.1. LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH ĐIỀU KHIỂN KHÔNG GIAN MẠNG.....	73
3.2. PHÁT TRIỂN LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH.....	78
3.3. HỆ THỐNG VI LƯỚI NĂNG LƯỢNG XANH TÁI TẠO THÔNG MINH.....	79
3.4. MÁY PHÁT ĐIỆN XOAY CHIỀU CÔNG SUẤT HƠI NƯỚC .....	89
<b>4. KẾT LUẬN.....</b>	<b>105</b>
<b>5. TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>106</b>



## LỜI NÓI ĐẦU

Cùng với sự tăng trưởng của nền kinh tế quốc dân, hệ thống điện Việt Nam không ngừng phát triển, luôn đi trước một bước nhằm phục vụ đắc lực cho sự nghiệp công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước. Nhà máy điện làm nhiệm vụ sản xuất điện năng là khâu chủ yếu trong hệ thống điện. Trong những năm gần đây, nhiều nhà máy điện đã và đang được xây dựng, tương lai sẽ xuất hiện nhiều công trình lớn hơn với những thiết bị thế hệ mới và đòi hỏi đầu tư rất lớn. Hiện nay nhằm triển khai thực hiện chương trình hiện đại hóa, tự động hóa lưới điện theo đề án “ Phát triển lưới điện thông minh tại Việt Nam “ do Thủ tướng chính phủ phê duyệt. Cuối năm 2017 đã bắt đầu triển khai các TBA bán người trực / không người trực, mô hình vận hành mới này có nhiều ưu điểm vượt trội so với cách vận hành truyền thống. Việc giải quyết đúng đắn với những vấn đề kinh tế - kỹ thuật trong quy hoạch, thiết kế, xây dựng và vận hành các nhà máy điện sẽ mang lại hiệu quả đáng kể đối với nền kinh tế quốc dân nói chung và đối với ngành điện nói riêng. Với yêu cầu đó, đề tài “Cấu trúc lưới điện, đi sâu tìm hiểu về hệ thống lưới điện thông minh “ do GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn hướng dẫn đã được thực hiện.

Đề tài bao gồm các nội dung sau :

Chương 1 : Lưới điện.

Chương 2 : Hệ thống lưới điện thông minh.

Chương 3 : Điều khiển lưới điện thông minh .

# CHƯƠNG 1. LƯỚI ĐIỆN

## 1.1 GIỚI THIỆU.

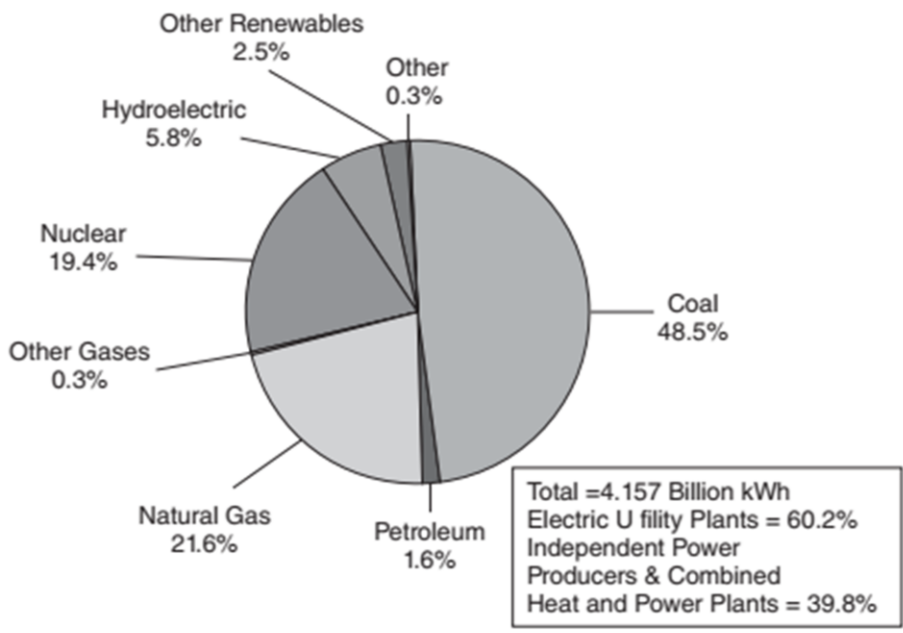
Lưới điện cung cấp năng lượng điện cho người dùng cuối, đó là những căn hộ hoặc những doanh nghiệp. Trong lưới điện, bất kỳ thiết bị tiêu thụ điện năng lượng nào cũng được gọi là tải. Trong hệ thống điện dân dụng, các loại tải có thể kể: điều hòa không khí, ánh sáng, tivi, tủ lạnh, máy giặt và máy rửa bát v.v. Tải trong công nghiệp là tải trọng hỗn hợp gồm động cơ cảm ứng tạo thành tải công suất lớn. Tải thương mại phần lớn gồm ánh sáng, máy tính văn phòng, máy Fotocopy, máy in laze và các hệ thống truyền thông. Tất cả các tải điện được phục vụ ở điện áp định mức. Đại lượng định mức là đại lượng được quyết định bởi nhà sản xuất đảm bảo cho hoạt động an toàn của nó chúng. Trong phân tích lưới điện, chúng ta nghiên cứu cách thiết kế mạng lưới điện phục vụ các tải ở điện áp định mức của chúng với mức tối đa là 5% trên hoặc thấp hơn 5% so với giá trị định mức của các thiết bị. Trong chương này, chúng ta giới thiệu các khái niệm cơ bản về phụ tải lưới điện, tải một pha, tải ba pha, máy biến áp, hệ thống phân phối, truyền tải năng lượng và mô hình hóa lưới điện bằng cách sử dụng đại lượng tương đối. Ở các chương tiếp theo, sẽ đề cập đến các vi lưới thông minh và sự tích hợp của các nguồn năng lượng xanh và tái tạo vào nối với nhau để hình thành lưới điện lớn.

## 1.2 Lưới năng lượng điện

### 1.2.1 Cơ sở

Nếu không có quy hoạch và thiết kế các nhà máy điện, việc xây dựng hàng nghìn km đường truyền, và điều khiển công suất tạo ra để cung cấp tải trên cơ sở thứ cấp-bởi- thức cấp, sự ổn định và tin cậy hệ thống năng lượng điện mà chúng ta dựa vào sẽ không tồn tại. Thế giới công nghiệp hóa hiện đại của chúng ta sẽ không thể phát triển nếu không có sự phát triển nhanh chóng quá trình phân tích diễn ra trên khắp thế giới

vào đầu những năm 1900. Mặc dù chúng ta công nhận Thomas Edison là một nhà phát minh không mệt mỏi và nhà thiết kế nhà máy phát điện một chiều (DC) đầu tiên vào năm 1882, nó là Nicola Tesla, người mà chúng ta nợ ông việc phát minh và thiết kế mạng lưới điện. Tesla đã phát triển một hệ thống điện dòng xoay chiều cạnh tranh với lưới điện DC của Edison cho phép biến đổi thành điện áp cao và được truyền qua những khoảng cách rất xa. Hệ thống này đang được sử dụng ngày nay. Charles Curtis đã thiết kế máy phát tuabin hơi nước đầu tiên ở Newport, Đảo Rhode vào năm 1903. Tuy nhiên, phải đến năm 1917, khi lâu đài đầu tiên - Khoảng cách đường dây tải điện cao thế xoay chiều được xây dựng và sau đó mở rộng qua các đường dây của bang mà lưới điện trở thành mạng lưới điện hàng ngày ở Hoa Kỳ. Hình 1.1 giới thiệu tổng quan về sản xuất điện trong thế kỷ 21 của Hoa kỳ. Theo Bộ Năng lượng Hoa Kỳ, từ 2006 đến 2007, mạng phát năng lượng điện tăng lên 234,157 tỷ kilowatt - giờ (kWh) lên 4,065 tỷ kWh. Sự gia tăng này chủ yếu là do sử dụng than, khí đốt tự nhiên và năng lượng hạt nhân. Trong năm



### H.1.1. Mạng lưới phát năng lượng điện của Mỹ năm 2007

2007, tỷ trọng sản xuất dựa trên than là 2.016 triệu megawatt giờ (MWh), sản xuất dựa trên khí tự nhiên là 897 triệu MWh và phát điện dựa trên hạt nhân là 806 triệu MWh.

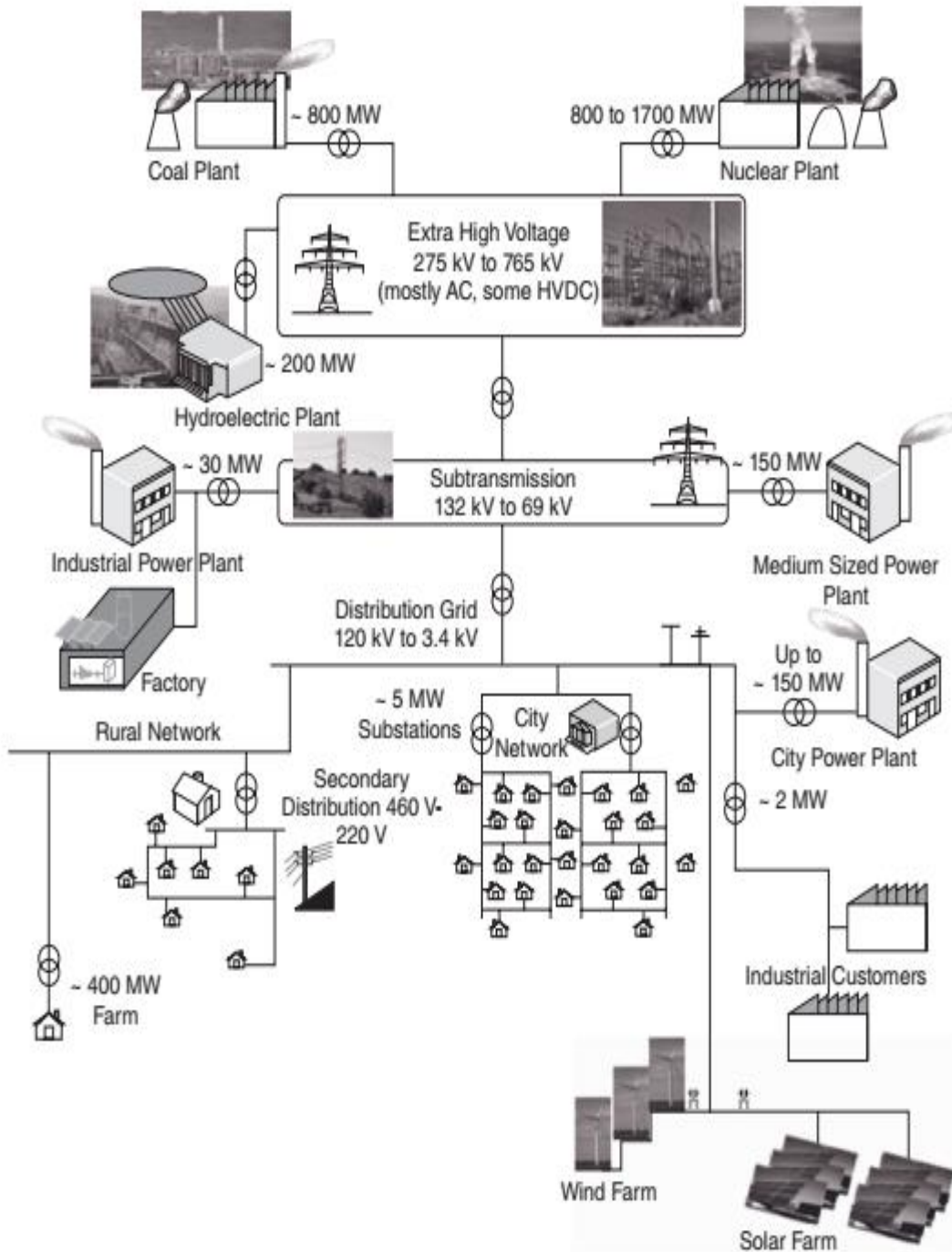
Thị phần của các nguồn năng lượng tái tạo, chẳng hạn như năng lượng mặt trời và gió là khoảng 2,5%.

### **1.2.2 Xây dựng hệ thống lưới điện**

Hệ thống lưới điện là mạng lưới các hệ thống truyền tải và phân phối điện từ nhà cung cấp đến người tiêu dùng. Lưới điện sử dụng nhiều các phương pháp phát điện, truyền tải và phân phối năng lượng. Tiếp theo cuộc khủng hoảng năng lượng những năm 1970, Chính sách Điều tiết Công ích Liên bang theo Đạo luật (PURPA) năm 1978 nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và tăng độ tin cậy của nguồn cung cấp điện. PURPA yêu cầu quyền truy cập mở cho các mạng lưới điện của các cơ sở sản xuất điện nhỏ, độc lập. Sau bãi bỏ quy định của công nghiệp năng lượng, các đơn vị phát điện của nhiều các công ty lưới điện bắt đầu hoạt động như những bộ phận kinh doanh riêng biệt. Các công ty phát điện mới tham gia thị trường điện với tư cách nhà sản xuất điện độc lập (IPP): IPP tạo ra nguồn điện được mua bằng điện lưới với giá bán buôn. Ngày nay, các trạm phát điện lưới đều sở hữu bởi các IPP, công ty điện lực và các thành phố trực thuộc trung ương. Khách hàng sử dụng cuối cùng được nối với hệ thống phân phối của các công ty lưới điện có thể mua điện với giá bán lẻ. Các công ty điện lực được gắn với nhau bằng các đường dây tải điện được gọi là kết nối. Một mạng liên kết được sử dụng để truyền điện giữa các công ty điện lực. Các mạng liên kết cũng được các công ty điện lực sử dụng hỗ trợ và tăng độ tin cậy của lưới điện vận hành ổn định và để giảm chi phí. Nếu một công ty bị thiếu công suất do các sự kiện không lường trước được, nó có thể mua điện từ các nước láng giềng thông qua đường truyền được kết nối các hệ thống. Việc xây dựng một trạm phát điện có công suất lớn, trong khoảng 500 MW có thể mất từ 5 đến 10 năm. Trước khi thi công một trạm phát điện như vậy, phải có giấy phép từ chính quyền. Các bên liên quan, công ty điện lực địa phương và các IPP sẽ phải thực hiện đánh giá kinh tế để xác định chi phí năng lượng điện trong suốt cuộc đời của kế hoạch so với giá điện từ các nhà sản xuất khác trước khi quyết định xây dựng nhà máy.

Dưới một nền công nghiệp điện phi điều tiết, việc phát điện trên lưới điện và chi phí của năng lượng điện được xác định bởi cung và cầu. Ở Mỹ và hầu hết các quốc gia trên thế giới, mạng lưới điện liên kết được quy định bãi bỏ và mở cho tất cả các nhà sản xuất điện. Sự điều khiển của một mạng liên kết được duy trì bởi một nhà điều hành hệ thống độc lập (ISO). Các ISO chủ yếu quan tâm đến việc duy trì cân bằng điện tải tức thời và hệ thống phát điện để đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định. ISO thực hiện chức năng của mình bằng cách điều khiển và điều động ít tốn kém nhất tổ máy phát điện để phù hợp với công suất phát ra với phụ tải hệ thống. Trong lịch sử, các nhà máy điện nằm cách xa các khu vực đông dân cư. Các nhà máy được xây dựng ở nơi có nước và nhiên liệu (thường được cung cấp bởi than) có sẵn. Các nhà máy điện công suất lớn được xây dựng để tận dụng quy mô kinh tế. Nguồn điện được tạo ra trong dải điện áp 11 kilovolt (kV) đến 20 kV và sau đó điện áp được nâng lên một điện áp cao hơn trước đó kết nối với mạng truyền liên kết số lượng lớn. Đường dây tải điện cao thế (HV) được xây dựng trong phạm vi 138 kV đến 765 kV. Những đường dây này chủ yếu là trên không trung. Tuy nhiên, ở các thành phố lớn, cáp ngầm cũng được sử dụng. Cáp gồm đồng hoặc nhôm. Một mối quan tâm chính trong truyền tải điện số lượng lớn là tổn thất điện năng trong đường dây tải điện, nhiệt đó bị tiêu tán dưới dạng nhiệt do điện trở của các vật dẫn. Dung lượng công suất được biểu thị bằng tích biên độ điện áp và biên độ dòng điện. Điện áp cao sẽ yêu cầu ít dòng điện hơn cho cùng một lượng điện năng và ít diện tích bề mặt của dây dẫn, dẫn đến giảm tổn hao dòng. Người phân phối đường dây phân phối thường được coi là đường dây có điện áp định mức nhỏ hơn 69 kV. Đường dây tải điện công suất lớn giống như hệ thống đường cao tốc giữa các tiểu bang của ngành công nghiệp năng lượng, chuyên tải điện lượng lớn dọc theo các đường dây điện cao thế liên thông tại các vị trí chiến lược. Đường dây tải điện cao thế trong dải từ 110 kV đến 132 kV được gọi là đường dây truyền tải phụ. Trong hình 1.2, các đường dây tải điện cung cấp điện cho các nhà máy, xí nghiệp công nghiệp lớn. Các

nhà máy điện tuabin khí cung cấp năng lượng cho hệ thống truyền tải phụ như được hiển thị trong Hình 1.2.

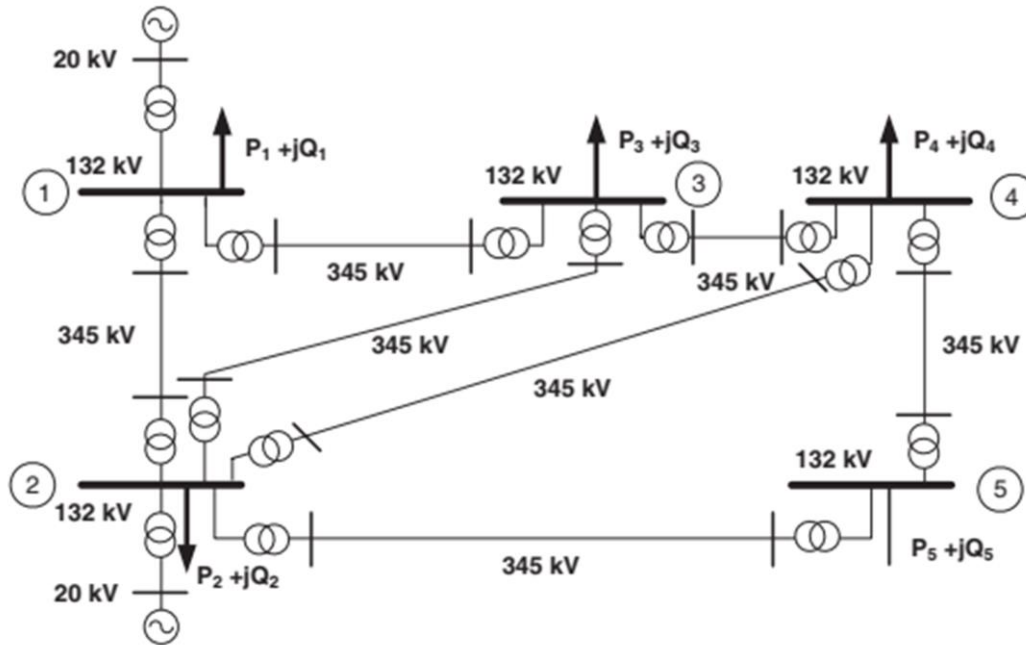


**Hình 1.2 : 1 hệ thống điện được kết nối mạng với sự thâm nhập cao năng lượng xanh.**

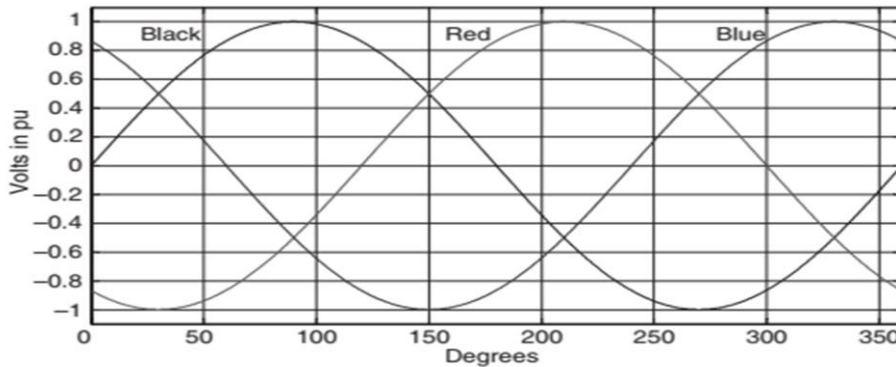
Hệ thống phân phối được thiết kế để mang điện đến các đường trung chuyển và khách hàng sử dụng. Các máy biến áp phân phối được kết nối với phía điện áp của hệ thống truyền tải hoặc hệ thống truyền tải phụ. Đường dây phân phối có điện áp nằm

trong khoảng 120, 208, 240, 277 và 480 volt. Điện áp dịch vụ của hệ thống phân phối phụ thuộc vào quy mô của dịch vụ về phụ tải. Tải trọng thương mại cao hơn được phục vụ ở 480 V. Hình 1.3 mô tả hệ thống điện năm cấp. Trong hình này, chúng ta có hai máy phát điện được kết nối với cáp(nút) 1 và 2. Máy biến áp nắn áp nối máy phát điện với mạng điện số lượng lớn không được hiển thị. Các trung tâm tải được biểu diễn tại các cáp (nút) 3, 4 và 5. Chúng ta sử dụng thuật ngữ cáp vì những điểm kết nối này là những thanh đồng kết nối các phần tử, chẳng hạn như máy phát điện, phụ tải và đường dây của lưới điện. Tất cả cáp (các nút) nằm trong trạm biến áp. Trong hình 1.3, chúng ta thấy một máy phát điện và một đường dây nối với cáp 1. Máy phát điện được thiết kế để tạo ra dòng điện xoay chiều ba pha (AC). Ba cuộn dây hoặc cuộn dây được phân bố hình sin mang dòng điện giống nhau trong máy phát điện có thể được thấy trong Hình 2.4. Hình 2.4 biểu diễn điện áp (hoặc dòng điện) hình sin theo thời gian. Trong Hình 2.4, từ 0 đến  $360^\circ$  ( $2\pi$  radian) được hiển thị dọc theo trục thời gian. Công suất mỗi hệ thống trên khắp thế giới hoạt động với tần suất cố định là 50 hoặc 60 chu kỳ mỗi giây. Dựa trên quy ước mã màu phổ biến, 6 màu đen được sử dụng cho một pha của hệ thống ba pha; nó biểu thị mặt đất là pha tham chiếu với góc không độ. Màu đỏ được sử dụng cho pha thứ hai, nó lệch pha  $120^\circ$  đối với pha đen. Màu xanh lam được sử dụng cho pha thứ ba, cũng lệch pha  $120^\circ$  với pha đen. Hình 2.4 mô tả màu này đại diện như đã cho trong mỗi pha.





H.1.3. Một lưới điện lớn có 5 cấp



#### H.1.4. Dạng sóng điện áp của máy phát điện 3 pha

Đầu tiên, chúng ta hãy xác định một vài thuật ngữ phổ biến.

- Mức cao nhất của dòng điện mà một dây dẫn có thể mang xác định ampac của nó: giá trị này là một hàm của tiết diện dây dẫn.
- Công suất của một phần tử của lưới điện được đánh giá bằng vôn-ampe (VA).
- Một nghìn VA là một ampe kilovolt (kVA).
- Một nghìn kVA là một ampe megavolt (MVA).

- Năng lượng là việc sử dụng năng lượng điện của các tải theo thời gian; nó được đưa vào kilowatt - giờ (kWh).

- Một nghìn kWh là một megawatt - giờ (MWh).
- Một nghìn MWh là một gigawatt - giờ (GWh).

### 1.3. Tính toán mức tiêu thụ điện năng

Công suất tiêu thụ trong mạch DC có thể được tính như sau:

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 R \quad (1.1)$$

Để tính công suất tiêu thụ trong đoạn mạch xoay chiều một pha, ta cần sử dụng liên hợp

$$S = V \cdot I^* = |V||I|\angle(\theta_v - \theta_i) \quad (1.2)$$

Trong biểu thức 1.2, V và I là giá trị bình phương hiệu dụng (RMS) của điện áp và dòng điện. Hệ số công suất ( $\cos\phi$ -pf) được tính dựa trên góc lệch pha giữa điện áp và

$$\begin{aligned} p.f. &= \cos(\theta_v - \theta_i) \\ Z &= \frac{|V|\angle\theta_v}{|I|\angle\theta_i} \end{aligned} \quad (1.3)$$

Trong phương trình trên,  $\theta = (\theta_v - \theta_i)$ , cũng là góc của tổng trở. Công suất biểu kiến gồm công suất tác dụng P và công suất kháng Q như thể hiện trong Công thức 1.4

$$S = |V||I|(\cos\theta + j\sin\theta) = P + jQ \quad (1.4)$$

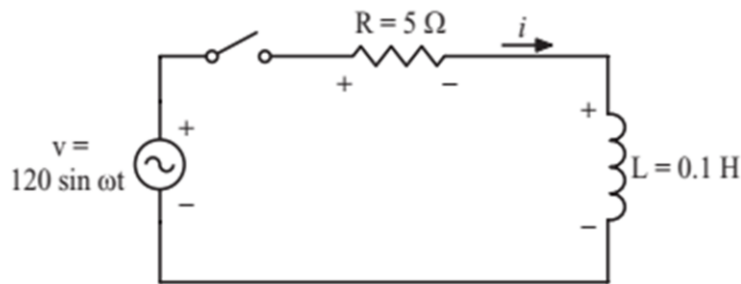
Đối với nguồn điện phức tạp, điện áp trên tải cũng có thể được biểu thị bằng:  $V = I \cdot Z$

$$S = V \cdot I^* = V \left( \frac{V}{Z} \right)^* = \frac{|V|^2}{Z^*} \quad (1.5)$$

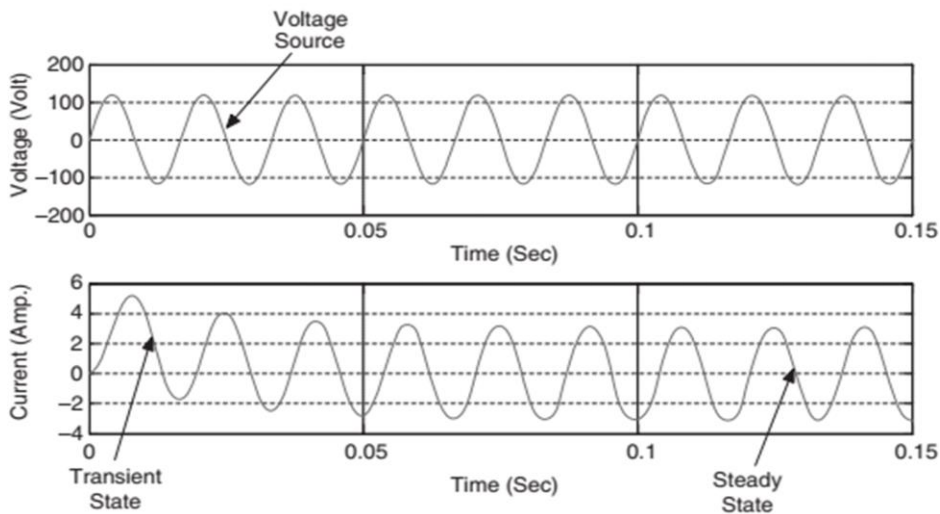
Chúng ta hãy xem lại mạch điện cảm ứng cơ bản, R - L như cho trong hình 1.5. Trong mạch mô tả ở hình 1.5, chúng ta đang sử dụng ký hiệu cực tính tiêu chuẩn. Chúng ta đánh dấu cực của mỗi phần tử bằng một dấu cộng và một dấu âm. Các dấu này tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng định luật Kirchhoff về điện áp. Các cực dương

$$S = V \cdot I^* = I \cdot Z \cdot I^* = |I|^2 Z \quad (1.5)$$

cho biết chiều của dòng điện trong mạch. Ví dụ, trong mạch này, điện áp nguồn tăng lên - từ cực trừ đến cực âm và nó bằng độ sụt áp trên tổng trở mạch.



**H.1.5. mạch điện đơn giản gồm R\_L**



**H.1.6. Đáp ứng điện áp và dòng điện mạch H.1.5**

Nếu tại  $t = 0$ , đóng công tắc, dòng điện đáp ứng được cho bởi phương trình vi phân sau:

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (1.7)$$

Trong phương trình 1.7,  $v$  và  $i$  là các giá trị tức thời của điện áp và cường độ dòng điện. Sau một thời gian, dòng điện đạt trạng thái ổn định. Điều kiện này được thể hiện trong Hình 1.6. Ở trạng thái ổn định,  $v$  và  $i$  có thể được biểu diễn bằng các dạng véc tơ là  $V$  và  $I$ . Trong cuốn sách này, chúng ta quan tâm đến việc thiết kế lưới điện cho trạng thái ổn định. Chúng ta biểu diễn hoạt động ổn định của mạch R,L như sau:

$$V = V_{rms} \angle \theta_V \quad V_{rms} = \frac{120}{\sqrt{2}}$$

$$I = I_{rms} \angle \theta_I \quad \theta_I = \omega t + \theta_{I,0}$$

trong đó  $V$  là giá trị hiệu dụng và  $\theta_V$  là góc pha của điện áp và  $\theta_I$  là góc pha của giá trị hiệu dụng dòng điện, được xác định bởi  $\theta_V$  và góc tổng trở  $\theta = \theta_V - \theta_I$ .  $\theta_{I,0}$  là góc ban đầu của dòng điện.

$$I = I_{rms} e^{j(\omega t + \theta_{I,0})} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = j\omega I_{rms} e^{j(\omega t + \theta_{I,0})} = j\omega I$$

Bây giờ phương trình vi phân trên có thể được trình bày ở trạng thái ổn định của nó như:

$$V = (R + j\omega L)I \quad (1.8)$$

Nếu ký hiệu  $X_L = j\omega L$  là trở kháng thì (1.8) có thể viết:

$$V = (R + jX_L)I \quad (1.9)$$

Hãy đặt

$$Z = R + jX_L = |Z| \angle \theta \quad \theta = \tan^{-1} \left( \frac{X_L}{R} \right) > 0$$

Chúng ta có :  $\Theta = \Theta_V - \Theta_I$  nói chung ta chọn điện áp là =véc tơ so sánh nên  $\Theta_V = 0$

$$V = |V| \angle 0, \quad I = \frac{V}{Z} = |I| \angle -\theta$$

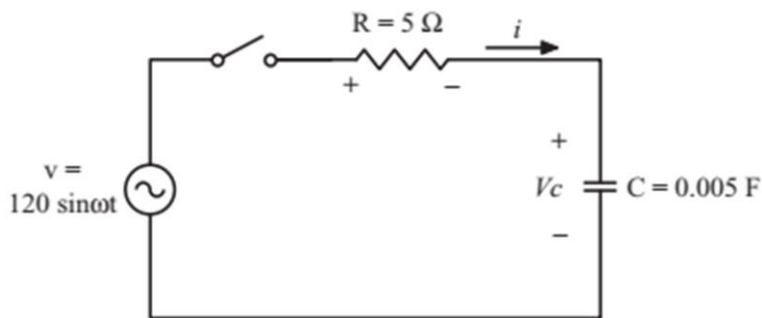
Do đó, công suất do nguồn điện cung cấp cho tải cảm ứng có thể là được thể hiện như:

$$S = VI^* = |V||I|\cos\theta + j|V||I|\sin\theta = P + jQ. \quad (1.10)$$

Như thấy từ định nghĩa trên, tải cảm ứng sẽ có độ trễ, có hệ số  $\cos\phi$ . Do đó, nguồn điện phải cung cấp công suất phản kháng cho tải. Công suất phản kháng do nguồn cung cấp được tiêu thụ bởi tải cảm ứng. Cái này có thể cũng được thể hiện dưới dạng  
 Bây giờ chỉ  $v = RC \frac{dv_c}{dt} + v_c$  dưới. Nếu  
 tại  $t = 0$ , còi h bày dưới  
 dạng:

$$(1.11)$$

Trong phương trình 1.11  $v$  và  $v_c$  là các giá trị tức thời. Sau một thời gian, phản ứng quá độ mất đi và điện áp trên tụ điện đạt trạng thái ổn định. Điều này được thể hiện trong Hình 1.8. Ở trạng thái ổn định, điện áp nguồn  $V$  và điện áp tụ điện  $V_C$ , có thể được biểu diễn bằng véc tơ  $V$  và  $V_C$ . Bây giờ, nhận thấy rằng khi sử dụng các chữ cái viết hoa  $V$  và  $I$  để mô tả các giá trị tức thời.



Hình 1.7 . Mạch R -

$$V = V_{rms} \angle \theta_V \quad V_{rms} = \frac{120}{\sqrt{2}}$$

$$V_C = V_{C,rms} \angle \theta_{V_C}$$

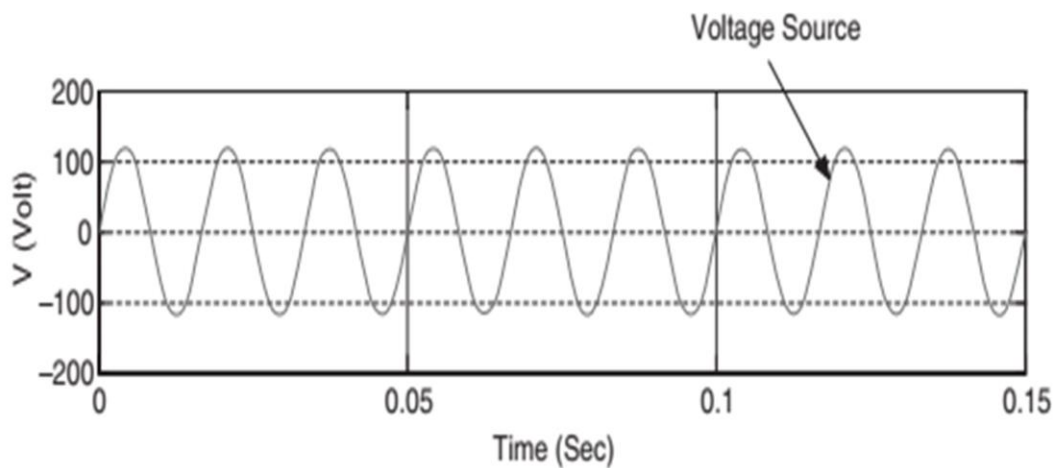
$$\frac{dV_C}{dt} = j\omega V_C \quad I = C \frac{dV_C}{dt} = j\omega C V_C$$

Do đó ta có :

$$V_C = I \cdot \left( \frac{1}{j\omega C} \right) = I \cdot \left( -j \frac{1}{\omega C} \right)$$

Từ mạch hình 1.7 ta có:

$$V = (R - jX_C)I$$



### H.1.8. Điện áp (V) và điện áp trên tụ điện (VC) của mạch trên

Trong đó  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  và  $X_C$ -gọi là dung kháng  
 $Z = R - jX_C = |Z|\angle -\theta$

Hãy đặt với  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$

Nhận véc tơ điện áp lag véc tơ so sánh ta có :  $-\Theta = \Theta_V - \Theta_I$

$$V = |V|\angle 0, \quad I = \frac{V}{Z} = |I|\angle \theta$$

Do đó, đối với một tải tụ điện, dòng điện qua tụ điện vượt trước điện áp. Công suất do nguồn xoay chiều cung cấp có thể được biểu thị bằng:

$$S = VI^* = |V||I|\cos\theta - j|V||I|\sin\theta = P - jQ$$

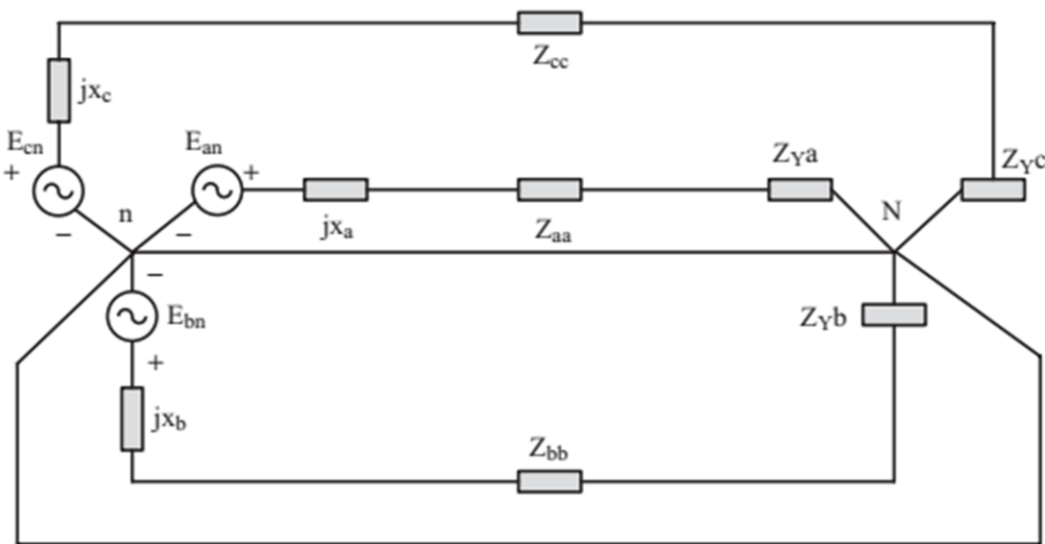
Tụ điện là một nguồn phản kháng, công suất biểu kiến trong trường hợp này viết như sau:

$$S = VI^* = (R - jX_C)I \cdot I^* = |I|^2 R - j|I|^2 X_C = P - jQ \quad (1.13)$$

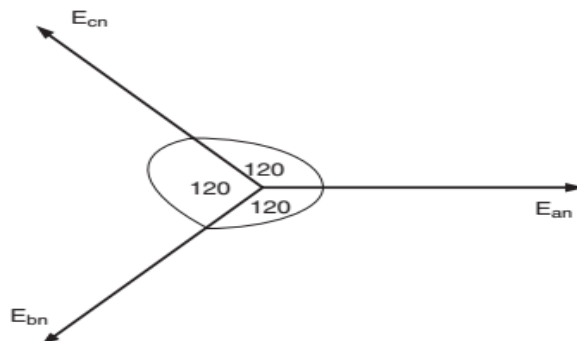
Các hệ số công suất(pf) được tính dựa trên góc giữa điện áp và dòng điện trong đó điện áp ở pha chuẩn và  $\text{pf} = \cos(\theta_V - \theta_I)$  với giá trị vượt trước hoặc chậm sau. Đó là, đối với tải cảm ứng, dòng tải chậm hơn điện áp ( $\cos\phi > 0$ ) và đối với tải điện dung, dòng tải vượt điện áp ( $\cos\phi < 0$ ). Bởi vì trở kháng là tỷ số của điện áp trên dòng điện chạy qua trở kháng, trở kháng của tải cảm ứng có góc pha dương và trở kháng của tải điện dung có góc âm - pha. Trong một hệ thống điện tái tạo chẳng hạn như một hệ thống quang điện được gọi là PV, chúng ta sẽ có một lượng nhỏ sản xuất năng lượng điện trong dải từ 5 kVA đến 10 kVA. Do đó, chúng ta có thể sử dụng hệ thống một pha để phân phối công suất cho các tải. Tuy nhiên, khi chúng ta phân phối điện từ hệ thống PV trong dải MW, chúng ta sẽ cần sử dụng hệ thống xoay chiều ba pha. Hệ thống xoay chiều ba pha có thể được coi là ba mạch một pha. Máy phát điện xoay chiều đầu tiên là một pha. Nhưng, máy phát điện ba pha có thể tạo ra công suất lớn gấp ba lần. Tuy nhiên, các máy phát điện có số pha cao hơn sẽ không tạo ra nhiều điện hơn theo tỷ lệ số pha. Hãy xem xét hệ thống ba pha bốn dây được cho trong Hình 1.9. Điện áp ba pha cân bằng được

mô tả trong hình 1.10. Nói chung, hệ thống ba pha được thiết kế là hệ thống đối xứng. Do đó, chúng ta cùng sử dụng cấu trúc tương tự đối với máy phát điện, đường dây phân phối và phụ tải. Do đó, chúng ta có hệ thống cân đối xứng sau.

$$\begin{aligned}
 X_a &= X_b = X_c = X_s \\
 Z_{aa} &= Z_{bb} = Z_{cc} = Z_{line} \\
 Z_{Ya} &= Z_{Yb} = Z_{Yc} = Z_{load} \\
 S_{aa} &= S_{bb} = S_{cc} = P_L + j Q_L
 \end{aligned}
 \tag{1.14}$$



**H.1.9. Hệ thống điện 3 pha 4 dây**



**Hình 1.10. Đồ thị véc tơ hệ 3 pha đối xứng**



Khi máy phát 3 pha đối xứng có

$$\begin{aligned} E_{an} &= E \angle 0 \\ E_{bn} &= E \angle -120 = E \angle 240 \\ E_{cn} &= E \angle 120 = E \angle -240 \end{aligned} \quad (1.15)$$

Do đó, một hệ thống ba pha đối xứng gồm máy phát điện, đường dây tải điện và phụ tải đối xứng như hình 1.11. Giả sử tải là điện trở thuần, nghĩa là  $Z_Y = R_L$  hoặc  $S_L = P_L$ , và trở kháng đường truyền được gộp với trở kháng của máy phát,  $Z_{Line} = R_{Line} + jX_{Line} + R_{gen} + jX_{gen}$ . Chúng ta có thể viết các phương trình sau.

:

$$\begin{aligned} E_{an} &= I_a (Z_{Line} + R_L) \\ E_{bn} &= I_b (Z_{Line} + R_L) \\ E_{cn} &= I_c (Z_{Line} + R_L) \end{aligned} \quad (1.16)$$

:

$$|I_a| = |I_b| = |I_c| = \frac{|E_{an}|}{|Z_{line} + R_L|} = \frac{|E_{an}|}{|Z \angle \theta|}$$

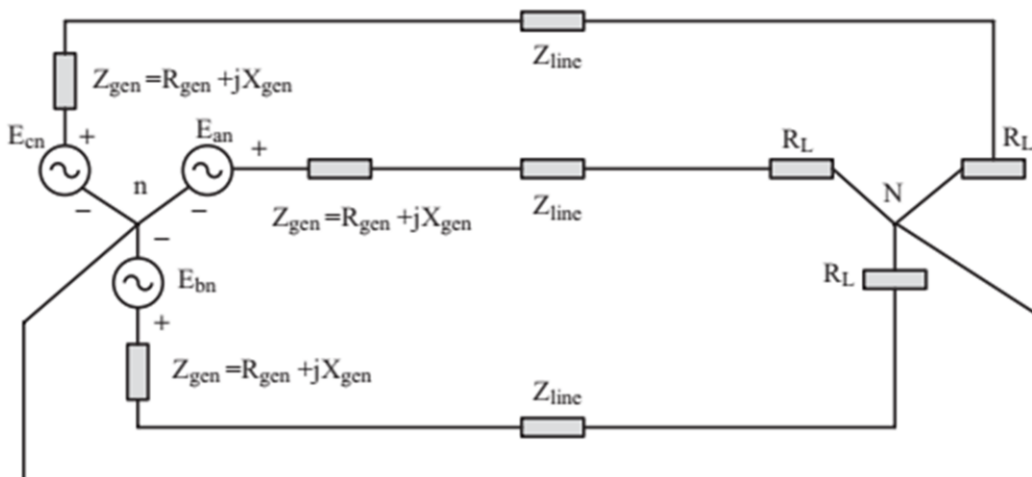
Trong đó:

$$Z = R_{Line} + j X_{Line} + R_L = (R + j X) = |Z| \angle \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{X}{R} \right) \quad \text{where} \quad R = R_{Line} + R \text{ and } X = X_{Line} \quad (1.18)$$

$$I_a = \frac{E}{|Z|} \angle -\theta \text{ and } I_b = \frac{E}{|Z|} \angle -120 - \theta \text{ and } I_c = \frac{E}{|Z|} \angle 120 - \theta$$

:



**H. 1.11. Hệ thống lưới điện 3 pha đối xứng**

Do đó, đối với một hệ thống ba pha đối xứng, các dòng điện cũng đối xứng. Chúng ta cần lưu ý rằng điện áp ba pha nằm trong một mặt phẳng và chúng lệch pha nhau một góc  $120^\circ$ . Do đó, chúng ta có:

$$\begin{aligned} E_{an} + E_{bn} + E_{cn} &= 0; \text{ or } E \angle 0 + E \angle -120 + E \angle 120 = 0 \\ E + j0 + E(-0.5 - j0.866) + E(-0.5 + j0.866) &= 0 \end{aligned} \quad (1.19)$$

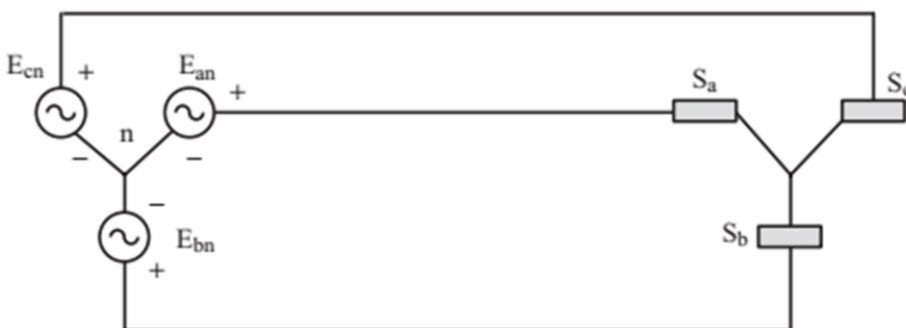
Tương tự, dòng điện ba pha nằm trong một mặt phẳng và chúng lệch pha nhau  $120^\circ$ . Do đó, chúng ta có:

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (1.20)$$

Tuy nhiên, đối với tải ba pha đối xứng, do đó tổng  $I_a + I_b + I_c = 0$ , nên  $I_n = 0$ . Trong trường hợp này, dây dẫn trung tính không mang dòng điện nào nên chúng ta có thể bỏ qua dây dẫn trung tính. Hình 1.12 cho thấy hệ thống phân phối ba pha ba dây. Xét hệ thống đối xứng ba pha trong Hình 1.13. Chúng tôi qui định điện áp pha và dòng pha như được hiển thị trong Hình 1.13 bởi:

$E_{an}, E_{bn}, E_{cn}$ - điện áp pha từ dây-trung tính,  $I_a, I_b, I_c$  - dòng điện hoặc dòng pha. Hãy phương trình cân bằng điện áp theo định luật Kirchhoff (KVL) cho một đường dẫn kín xung quanh dây a, b và n cho hệ thống ba pha Hình 1.14. Chúng ta có

$$E_{ab} = E_{an} - E_{bn}$$



**H1.12. Hệ thống phân phối 3 pha 3 dây**

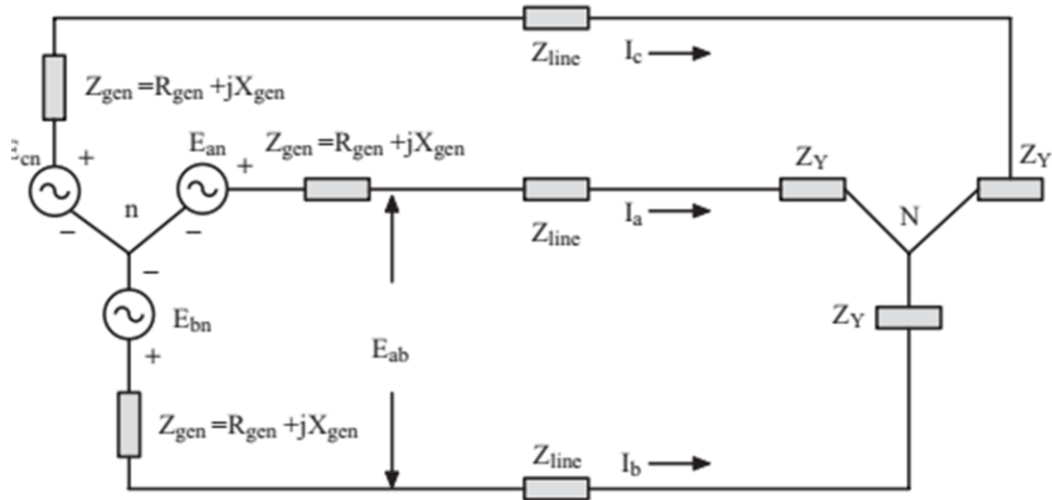
Do đó điện áp dây có dạng:

$$E_{ab} = E \angle 0 - E \angle -120 = E - E(-1 - j\sqrt{3})/2$$

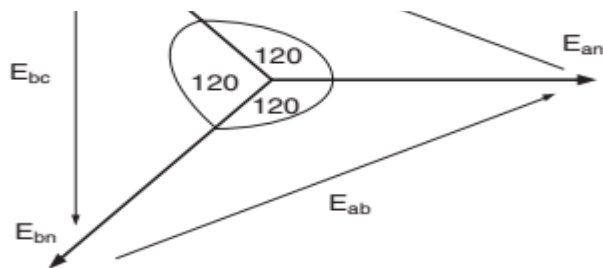
$$E_{ab} = \sqrt{3} E (\sqrt{3} + j1)/2 = \sqrt{3} E \angle 30 \text{ volts}$$

$$E_{bc} = E_{bn} - E_{cn} = E \angle -120 - E \angle 120 = \sqrt{3} E \angle -90$$

( 1.22)



**H1.13. Hệ thống phân phối 3 pha 3 dây đối xứng**



**H1.14. Điện áp dây và pha**

Chúng ta có:

$$E_{ab} + E_{bc} + E_{ca} = 0 \tag{1.23}$$

$$E_{an} + E_{bn} + E_{cn} = 0 \tag{1.24}$$

Giả sử rằng chúng ta có một hệ thống ba pha cân bằng với tải trọng; do đó, chúng

$$I_a = E_{an} / Z_Y, I_b = E_{bn} / Z_Y, I_c = E_{cn} / Z_Y \tag{1.25}$$

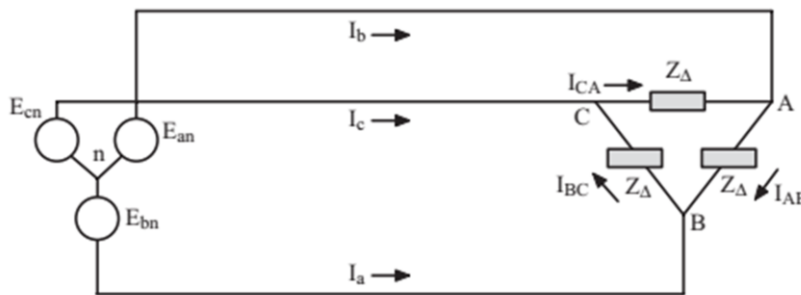
tácó:

Bởi vì điện áp nguồn cân bằng và tải cân bằng, kết quả dòng điện cũng được cân bằng và chúng ta có:

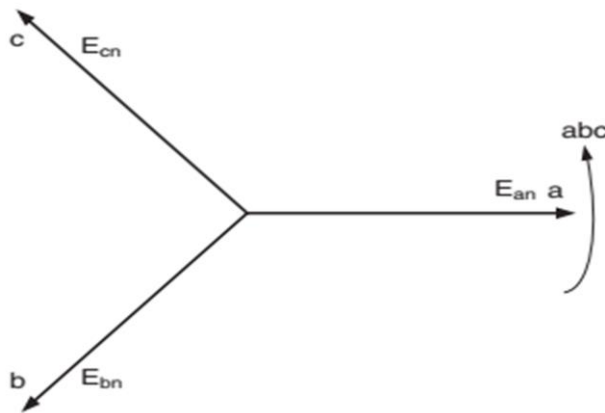
$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (1.26)$$

Chúng ta hãy coi các tải ba pha nối  $\Delta$  như được cho trong hình 1.15. Chúng ta có các dòng pha sau đây (dòng  $\Delta$ )

$$\begin{aligned} I_{AB} &= E_{ab} / Z_{\Delta} \\ I_{BC} &= E_{bc} / Z_{\Delta} \\ I_{CA} &= E_{ca} / Z_{\Delta} \end{aligned} \quad (1.27)$$



**H.1.15. Hệ thống tải 3 pha nối tam giác**



**H.1.16. Hệ thống 3 pha đối xứng**

Lưu ý rằng điện áp 3 pha đối xứng nên có:

$$\begin{aligned} E_{an} &= E \angle 0 \\ E_{bn} &= E \angle -120 \\ E_{cn} &= E \angle 120 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{ab} &= \sqrt{3} E_{an} \angle 30^\circ = \sqrt{3} E \angle 30^\circ \\
 E_{bc} &= \sqrt{3} E_{bn} \angle (30 - 120)^\circ = \sqrt{3} E \angle -90^\circ \\
 E_{ca} &= \sqrt{3} E_{cn} \angle (30 + 120)^\circ = \sqrt{3} E \angle 150^\circ
 \end{aligned}$$

Chúng tôi qui định các pha như trong Hình 1.16 là điện áp thứ tự thuận. Vì chúng ta chọn pha a làm điện áp tham chiếu, và theo sau là pha b lệch pha  $120^\circ$  và pha c lệch pha  $240^\circ$  so với pha a. Các dòng pha,  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$  và  $I_{CA}$  cũng được cân bằng vì tải cân bằng như được hiển thị bởi công thức 1.29.

$$\begin{aligned}
 I_{AB} &= \sqrt{3} E \angle 30^\circ / Z_\Delta \\
 I_{BC} &= \sqrt{3} E \angle -90^\circ / Z_\Delta \\
 E &= 10 \text{ V}, Z_\Delta = 5 \angle 30^\circ \Omega,
 \end{aligned} \tag{1.29}$$

Lúc này chúng ta có:

$$\begin{aligned}
 I_{AB} &= \sqrt{3} (2) \angle 0^\circ = 3.464 \angle 0^\circ \text{ A} \\
 I_{BC} &= \sqrt{3} (2) \angle -120^\circ = 3.464 \angle -120^\circ \text{ A} \\
 I_{CA} &= \sqrt{3} (2) \angle 120^\circ = 3.464 \angle 120^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dòng điện dây có thể tính được bằng định luật 1 Kiêc chof cho các nút:

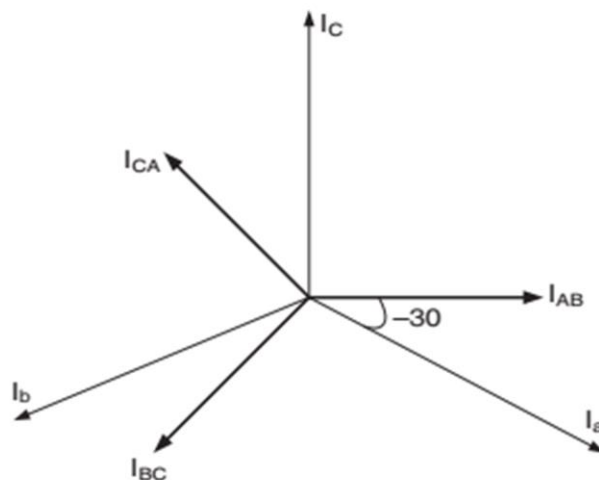
$$\begin{aligned}
 I_a &= I_{AB} - I_{CA} = 3.464 \angle 0^\circ - 3.464 \angle 120^\circ = \sqrt{3} (3.464 \angle -30^\circ) \\
 I_b &= I_{BC} - I_{AB} = 3.464 \angle -120^\circ - 3.464 \angle 0^\circ = \sqrt{3} (3.464 \angle -150^\circ) \\
 I_c &= I_{CA} - I_{BC} = 3.464 \angle 120^\circ - 3.464 \angle -120^\circ = \sqrt{3} (3.464 \angle 90^\circ)
 \end{aligned}$$

Lưu ý rằng khi nối  $\Delta$ , các dòng  $I_{AB}$ ,  $I_{CA}$ ,  $I_{BC}$  là cân bằng và các dòng dòng,  $I_a$ ,  $I_b$ , và  $I_c$  cũng cân bằng. Do đó,  $I_{AB} + I_{CA} + I_{BC} = 0$  và dòng điện trung tính ( $I_a + I_b + I_c = 0$ ) đối với tải được nối  $\Delta$ . Đối với tải  $\Delta$  cân bằng được cung cấp bởi nguồn cân bằng, thứ tự dương

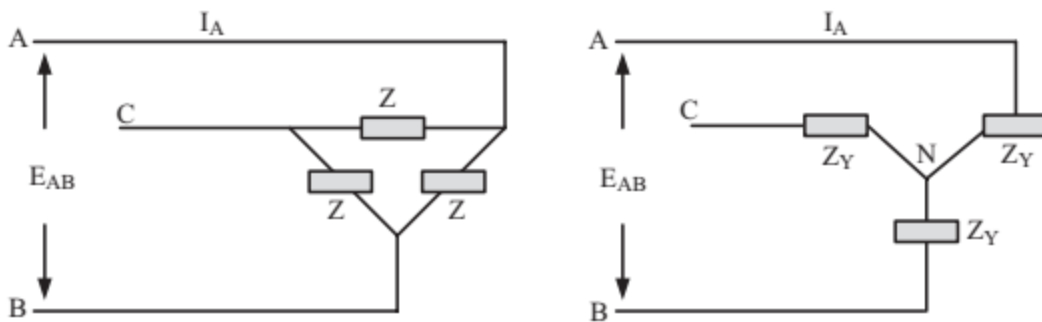
$$\begin{aligned}
 I_a &= \sqrt{3} I_{AB} \angle -30^\circ \\
 \text{chúng ta có: } I_b &= \sqrt{3} I_{BC} \angle -30^\circ \\
 &= \sqrt{3} I_{CA} \angle -30^\circ \tag{1.28}
 \end{aligned}$$

Dòng dây chậm so với dòng pha một góc  $30^\circ$

Chúng ta có thể thay đổi tải được kết nối  $\Delta$  thành tải tương đương Y của nó như được hiển thị trong Hình 1.18. Giả sử các điện áp cân bằng được áp dụng cho hai tải để dòng điện bằng nhau.

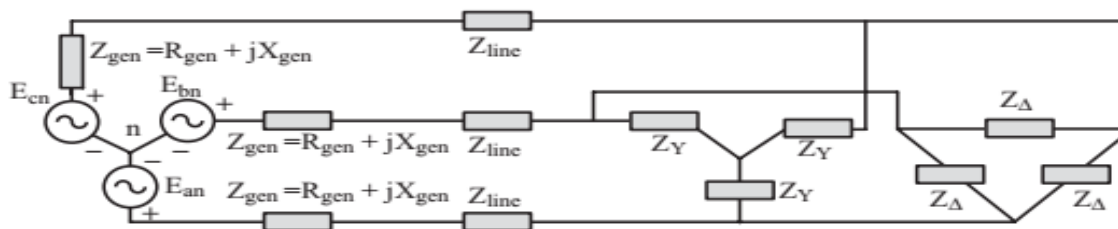


H.1.17 dòng dây và dòng pha trong tải nối tam



Hình 1.18 : Tải  $\Delta$  được kết nối tương đương với tải Y.

Hình 1.19 . Hệ thống 3 pha 2 tải.



H.1.19 .Hệ thống 3 pha nối 2 tải tam giác và sao

Hhip;ll;.k.mcdssKhi tải nối tam giác có:

$$I_A = \sqrt{3} I_{AB} \angle -30^\circ = \sqrt{3} E_{AB} \angle -30^\circ / Z_\Delta \quad (1.30)$$

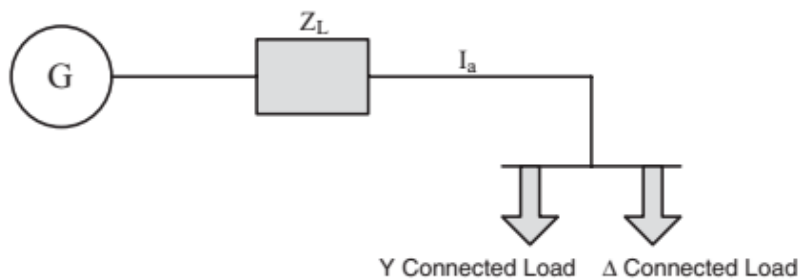
$$I_A = E_{AN} / Z_Y = E_{AB} \angle -30^\circ / \sqrt{3} Z_Y; \quad \text{Note: } E_{AN} = E_{AB} / \sqrt{3} \quad (1.31)$$

$$I_A = E_{AN} / Z_Y = E_{AB} \angle -30^\circ / \sqrt{3} Z_Y; \quad \text{Note: } E_{AN} = E_{AB} / \sqrt{3} \quad (1.32)$$

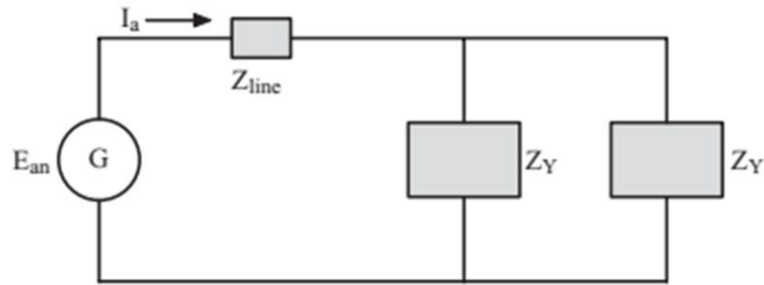
Vì rằng  $\sqrt{3} E_{AB} \angle -30^\circ / Z_\Delta = E_{AB} \angle -30^\circ / \sqrt{3} Z_Y$ , nên chúng ta có:

$$3 Z_Y = Z_\Delta \text{ and } Z_Y = Z_\Delta / 3$$

Hệ thống ba pha với tải ba pha của nó có thể được biểu diễn bằng sơ đồ một dây. Ví dụ, Hình 1.19 mô tả một hệ thống ba pha cân bằng với tải nối Y - và  $\Delta$ -. Chúng ta có thể biểu diễn hệ thống được mô tả trong Hình 1.19 bằng sơ đồ một đường (Hình 1.20). Trong sơ đồ một dây, các điện áp được cho là điện áp dây và công suất tiêu thụ được quy định cho cả ba pha. Chúng ta có thể đại diện cho một mạch tương đương pha với đường dây đến trung tính và công suất tiêu thụ mỗi pha. Hình 1.21 mô tả mạch tương đương một pha của Hình. 1.19 và 1.20.



**Hình 1.20 . Sơ đồ một dòng của hình 1.19.**



H.1.21. Mạch tương đương một pha của H.1.19

Nếu chúng ta nghiên cứu kỹ lưỡng các hệ thống ba pha, chúng ta nhận ra rằng ba - hệ thống pha là ba hệ thống một pha. Do đó, hệ thống ba pha có thể phân phối công suất gấp ba lần so với hệ thống một pha. (1.32)

$$S_{3\phi} = 3S_{\phi} = 3V_{\phi}I_{\phi}^* \quad (1.33)$$

Tuy nhiên, vì điện áp pha bằng điện áp dây lửa-dây trung tính và điện áp dây được tính là

$$V_{L-L} = \sqrt{3}V_{L-N} = \sqrt{3}V_{\phi} \quad (1.34)$$

Công suất 3 pha có thể viết :

Với mạch 3 pha nối sao ta có:  $S_{3\phi} = \sqrt{3}V_{L-L}I_L^* = P_{3\phi} + jQ_{3\phi}$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}V_{L-L}I_L \cos \theta \quad (1.35)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}V_{L-L}I_L \sin \theta \quad (1.36)$$

Công suất biểu kiến như sau: (1.37)

$$S_{3\phi} = \sqrt{(P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2)} \quad (1.38)$$

$$(1.39)$$



$$P_{3\phi} = S_{3\phi} \cos \theta$$

$$Q_{3\phi} = S_{3\phi} \sin \theta$$

Hệ số công suất biểu diễn  $\cos \theta$  có thể dương hoặc âm.

Chúng ta luôn cần xác định hệ số công suất là dương hoặc âm. Khi chúng ta thể hiện hệ số công suất dương có nghĩa là dòng điện của tải chậm pha hơn điện áp. Hệ số

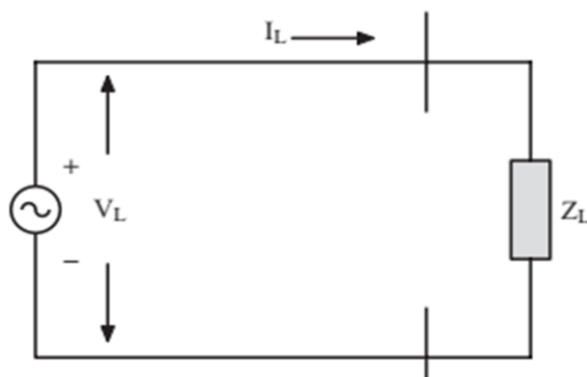
công suất có thể biểu diễn:  $\text{p.f.} = \cos \theta = \frac{P}{|S|}$

Nó có thể dương hoặc âm.

Đối với một hệ số công suất dương, công suất phản kháng  $Q$  là dương. Do đó, tải tiêu thụ công suất phản kháng và góc pha,  $\theta$  là dương. Tương tự, khi hệ số công suất là âm,  $Q$  là âm. Do đó, tải tạo ra phản ứng công suất và tải là tải điện dung, và góc  $\theta$  là âm. Để tính các ví dụ cần sử dụng số phức để tính toán.

#### 1.4. CÁC MÔ HÌNH TẢI.

Chúng ta có thể biểu diễn một tải cảm ứng bằng trở kháng của nó như trong Hình 1.22. Tổng trở tải,  $Z_L$  là tải cảm kháng. Hầu hết các tải hệ thống điện là tải cảm kháng. Phần lớn động cơ công nghiệp, thương mại và dân dụng thuộc loại cảm ứng. Trong hình 1.22, điện áp tải  $V_L$  là điện áp pha và  $I_L$  là pha dòng điện cung cấp cho tải



H.1.22. Mô hình tổng trở tải cảm kháng

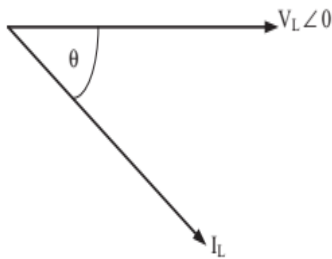
$$Z_L = R_L + j \omega L = R + j X_L = |Z_L| \angle \theta$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \theta = \tan^{-1} \left( \frac{X_L}{R} \right)$$
(1.42)

Công suất của tải cảm kháng biểu thị bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng.

$$I_L = \frac{V_L \angle 0}{Z_L \angle \theta} = I_L \angle -\theta, I_L = \frac{|V_L|}{|Z_L|} \angle -\theta$$
(1.43)

Với điện áp tải làm tham chiếu (tức là  $V_L = |V_L| \angle 0$ ), dòng điện tải chậm pha so với điện áp như hình 1.23.



### H1.23. Điện áp tải và dòng tải trễ của nó trong hình 1.22.

Công suất biểu kiến hấp thụ bởi một tải có thể được biểu thị bằng

$$S_L = V_L I_L^* = V_L (I_L \angle -\theta)^* = |V_L| |I_L| \cos \theta + j |V_L| |I_L| \sin \theta$$

$$S_L = |V_L| |I_L| \text{ VA}$$

$$P = |V_L| |I_L| \cos \theta \text{ W}$$

$$Q = |V_L| |I_L| \sin \theta \text{ VAR}$$
(1.44)

Và tổng công suất trên tải biểu thị bằng:

$$S = P + j Q, \text{ where } \theta = \tan^{-1} \frac{Q}{P} \text{ and p.f.} = \cos \theta, \text{ lagging}$$

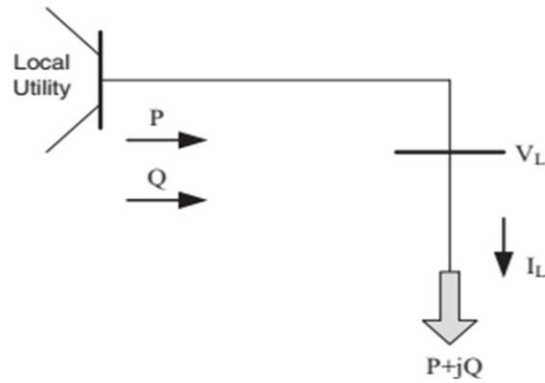
Biểu diễn công suất mô hình tải cảm ứng được thể hiện trong Hình 1.24. Hình 1.24 mô tả mức tiêu thụ tải cảm ứng của cả công suất tác dụng và công suất phản kháng. Hình 1.25 mô tả mô hình tải trở kháng điện dung. Một lần nữa, điện áp tải là điện áp pha và là điện áp tham chiếu và dòng tải là dòng điện cung cấp cho tải.

$$Z_L = R - j X_c = |Z_L| \angle -\theta$$

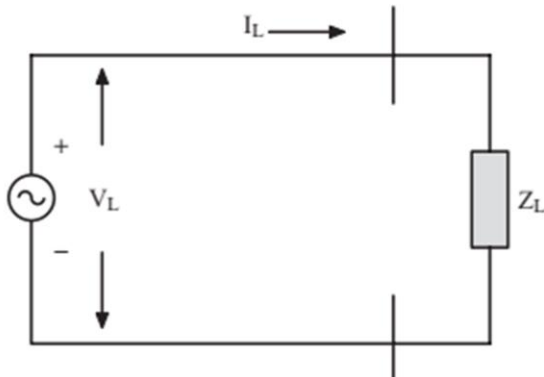
$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + X_c^2}, \theta = \tan^{-1} \left( \frac{X_c}{R} \right)$$

$$I_L = \frac{V_L \angle 0}{Z_L \angle -\theta} = I_L \angle \theta, |I_L| = \frac{|V_L|}{|Z_L|} \angle \theta$$

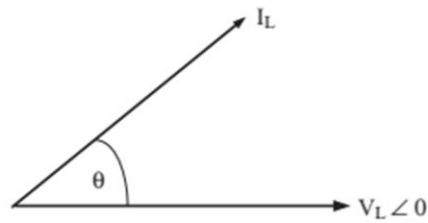
Với điện áp tải làm tham chiếu (tức là  $V_L = |V_L| \angle 0$ ), dòng điện tải vượt pha so với điện áp như hình 1.26.



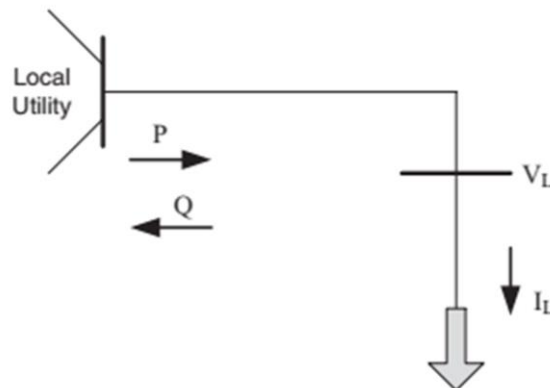
**H.1.24. Biểu diễn công suất tải cảm kháng**



**H.1.25. Mô hình tải dung**



**H.1.26. Đồ thị véc tơ của tải dụng**



**H.1.26. Đồ thị véc tơ của tải dung kháng**

Công suất biểu kiến do tải hấp thụ là :

$$S_L = V_L I_L^* = V_L (I_L \angle \theta)^* = V_L I_L \angle -\theta = |V_L| |I_L| \cos \theta - j |V_L| |I_L| \sin \theta$$
$$S = P - jQ, \theta = \tan^{-1} \left( \frac{Q}{P} \right) \text{ and power factor p.f.} = \cos \theta, \text{ leading} \quad (1.46)$$

Do đó, công suất tác dụng do tải tiêu thụ và công suất phản kháng là do tải dung kháng cấp cho mạng điện cục bộ. Gần đây, ngoài các tải trên đây còn thêm hệ thống truyền động tốc độ biến đổi được điều khiển bởi bộ biến đổi công suất, điều khiển nhiều loại động cơ. Ngoài ra, nhiều phụ tải điện tử công suất thâm nhập vào hệ thống điện. Các loại tải này hoạt động như tải phi tuyến và có thể hoạt động như tải cảm ứng và tải điện dung trong thời gian quá độ và ở trạng thái ổn định của chúng. Điều chỉnh hệ số công suất và điện áp ổn định đang là lĩnh vực tích cực nghiên cứu.

Ví dụ 1.1.

Xét một tải ba pha 480 V, 300 kVA với p.f. = 0,9 dương, công suất tác dụng, phản kháng, biểu kiến của phụ tải là bao nhiêu?

Giải:

Chúng ta có dữ liệu đã biết sau:  $|S| = 300 \text{ kVA}$ ,  $(\text{pf}) = \cos \theta = 0,9$ . Trong ví dụ này, chúng ta muốn tính P, Q, từ S. Đã biết  $S_{3\phi}$  và p.f. ; do đó, chúng ta có thể tính  $P_{3\phi}$ .

$$P_{3\phi} = |S_{3\phi}| \cos \theta = 300 \times 0,9 = 270 \text{ kW}$$

$$Q_{3\phi} = |S_{3\phi}| \sin \theta = 300 \times 0,4359 = 130,77 \text{ kVAr}$$

Ta có  $Q > 0$  đó là tải cảm kháng.

$$S = 270 + j 130,77 = 300 \angle \cos^{-1}(0,9) \text{ kVA}$$

**Ví dụ 1.2**

Xét một tải ba pha 480 V, 240 kW với p.f. = 0,8 dương, công suất tác dụng, phản kháng, biểu kiến là bao nhiêu?

Giải :Chúng ta có dữ liệu đã biết sau:

$$P=240\text{kW}, \cos\theta=\text{pf}=0,8$$

Ta có thể tính Q và S từ P:

$$|S| = P / \cos\theta = 240 / 0.8 = 300 \text{ kVA}$$

$$Q_{3\phi} = |S_{3\phi}| \sin\theta = 300 \times 0.6 = 180 \text{ kVAr}$$

$Q > 0$  nên tải cảm kháng

$$S = 240 + j 180 = 300 \angle \cos^{-1}(0.8) \text{ kVA}$$

### Ví dụ 1.3

Xét một tải ba pha 480 V, 180 kVA với  $\cos\theta = \text{p.f.} = 0,0$ , công suất tác dụng, phản kháng, biểu kiến của phụ tải là bao nhiêu?

Giải Chúng ta có dữ liệu sau  $|S|=128\text{KVA}, \cos\theta=0,0$

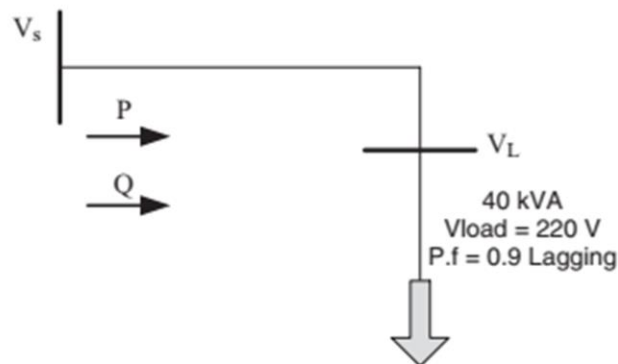
Có thể tính P, Q, S, từ  $P_{3\phi}$

$$P_{3\phi} = |S_{3\phi}| \cos\theta = 180 \times 0.0 = 0$$

$$Q_{3\phi} = |S_{3\phi}| \sin\theta = 180 \times (-1) = -180 \text{ kVAr}$$

$Q < 0$  do đó tải mang tính dung kháng

**Ví dụ 1.4** Đối với tải cảm kháng một pha, cho dưới đây trong Hình 1.28, tính toán dòng điện.



H.1.28

Giải :

$$kVA = |V||I_L| \times 10^3$$

$$|I_L| = 40 \times 10^3 / 220 = 181.8$$

$$I_L = 181.8 \angle -25.8^\circ \text{ A}$$

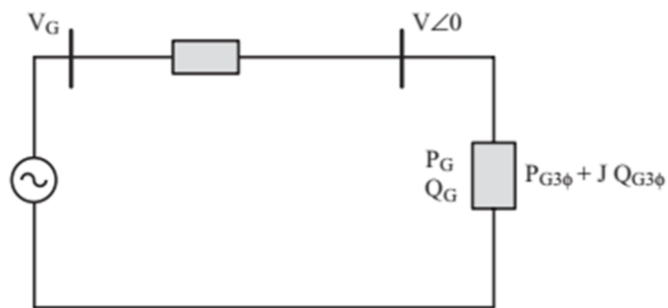
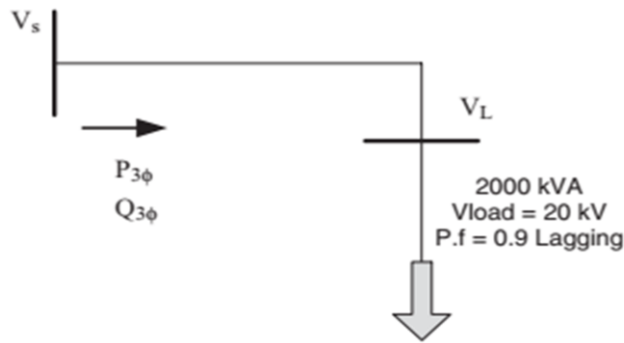
### Ví dụ 1.5

Đối với tải điện cảm ba pha cho trong Hình 1.29, hãy tính dòng điện.

Giải

$$kVA_{3\phi} = 2000 \quad V_{L-L} = 20 \text{ kV}$$

$$kVA = \sqrt{3} V_{L-L} I_L$$



$$|I_L| = 2000 / \sqrt{3} \times 20 = 57.8 \text{ A} \quad I_L = 57.8 \angle -25.8^\circ$$

$$P_{3\phi} = kW = kVA \cos \theta = 2000 \times 0.9 = 1800 \text{ kW}$$

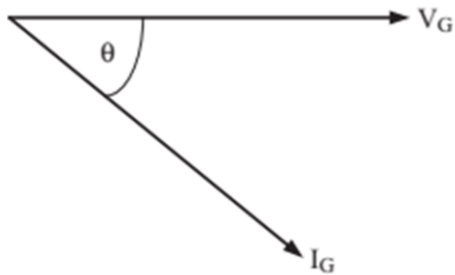
$$Q_{3\phi} = kVar = kVA \sin \theta = 2000 \times \sin(25.8^\circ) = 870.46 \text{ kVA}r$$

### Ví dụ 2.6

Xét máy phát điện trong Hình 1.30 đang hoạt động với hệ số công suất dương. Tính công suất tác dụng và phản kháng cung cấp cho hệ thống.

Hình 1.31 mô tả mô hình mạch tương đương của Hình 1.30; Hình 1.32 là điện áp máy phát điện và dòng điện máy phát điện.

$$S_{3\phi} = 3V_G I_G^* = P_{G3\phi} + j Q_{G3\phi}$$



H.1.32

## **CHƯƠNG 2**

### **HỆ THỐNG LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH**

#### **2.1. GIỚI THIỆU**

Ban đầu được thiết kế vào đầu những năm 1900, lưới điện ngày nay đã phát triển để trở thành một mạng lưới liên kết rộng lớn kết nối hàng nghìn trạm phát điện và các trung tâm phụ tải thông qua hệ thống đường dây tải điện.

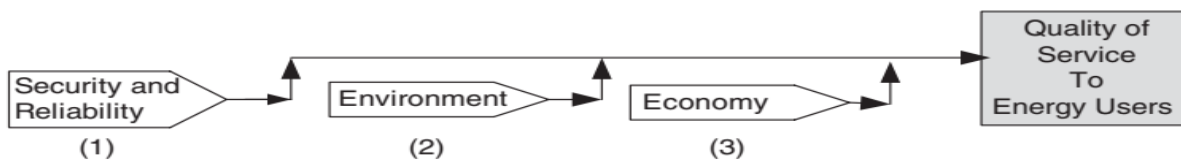
Một hệ thống lưới điện được thiết kế dựa trên dự báo phụ tải dài hạn của lưới điện các trung tâm phụ tải được phát triển theo nhu cầu dự kiến của cộng đồng mà nó phục vụ. Sau đó, một mô hình giải tích của hệ thống được phát triển để có dự án hoạt động thời gian thực của lưới điện. Trong hệ thống lưới điện thông minh, một số lượng microgrid hoạt động như một phần của lưới điện liên kết. Ví dụ, một hệ thống dân cư dựa trên quang điện - (PV -) với bộ lưu trữ cục bộ và tải sẽ là một trong những microgrid nhỏ nhất trong hệ thống lưới điện thông minh. Để hiểu thiết kế và vận hành mô hình mới về lưới điện thông minh của ngày mai, chúng ta cần hiểu về lưới điện ngày nay vận hành và chi phí thiết kế. Ở đây, chúng ta làm quen các khái niệm hệ thống cơ bản về cảm biến, đo lường, tích hợp thông tin liên lạc, đồng hồ đo thông minh và mức thâm nhập năng lượng xanh của các nguồn phát không liên tục. Hãy làm quen những khái niệm cơ bản về hoạt động của máy phát điện, dòng công suất, giới hạn của dòng công suất trên đường dây tải điện, cách tính hệ số phụ tải và tác động của nó đến hoạt động của một lưới điện thông minh và lưới điện siêu nhỏ. Hiểu biết cơ bản về hoạt động của lưới điện sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho cách thiết kế một microgrid hoạt động như một hệ thống độc lập khi nó bị tách khỏi lưới điện địa phương. Những khái niệm này tạo tiền đề cho thiết kế của một lưới điện xanh lưới điện đó được trình bày trong phần sau.

#### **2.2. VẬN HÀNH HỆ THỐNG LƯỚI ĐIỆN**

Mục tiêu vận hành của lưới điện là cung cấp một dịch vụ chất lượng liên tục ở điện áp và tần số chấp nhận được với độ an toàn, độ tin cậy thích hợp và tác động có thể chấp nhận được đối với môi trường - mà không làm hỏng thiết bị lưới điện - tất cả với



chi phí tối thiểu. Trong Hình 2.1, hướng của các mũi tên cho biết mức độ ưu tiên của các mục tiêu được thực hiện. Dịch vụ chất lượng có thể chấp nhận được với môi trường, an toàn và đáng tin cậy và đòi hỏi chi phí tối thiểu là mục tiêu chính trong vận hành hệ thống lưới điện. Tuy nhiên, trong điều kiện khẩn cấp, hệ thống có thể được vận hành mà không liên quan đến kinh tế và môi trường hạn chế như việc sử dụng nguồn năng lượng gây ô nhiễm cao, thay vào đó tập trung vào tính bảo mật và độ tin cậy của dịch vụ cho người sử dụng năng lượng, trong khi duy trì ổn định lưới điện. Thuật ngữ dịch vụ liên tục có nghĩa là “dịch vụ an toàn và đáng tin cậy.” Thuật ngữ an toàn, như nó được sử dụng ở đây, có nghĩa là khi xảy ra trường hợp bất thường, lưới điện có thể phục hồi về trạng thái ban đầu và cung cấp chất lượng năng lượng điện như cũ. Ví dụ, nếu trong lưới điện của Hình 2.2, đường nối cấp 2 và cấp 4 không hoạt động, lưới điện vẫn được đảm bảo nếu còn có thể phục vụ tất cả các phụ tải. Tuy nhiên, lưới điện là đáng tin cậy nếu nó có đủ dự trữ để đối mặt với việc tăng nhu cầu tải. Ngoài ra, lưới điện trong Hình 2.2 là đáng tin cậy nếu nó bị cắt nguồn năng lượng theo lịch trình hoặc đột xuất, nó vẫn có thể cung cấp năng lượng điện chất lượng cho người sử dụng. Để đảm bảo an ninh và độ tin cậy, các cơ sở và nguồn lực của nhà máy điện phải được lập kế hoạch sau đó được quản lý hiệu quả.



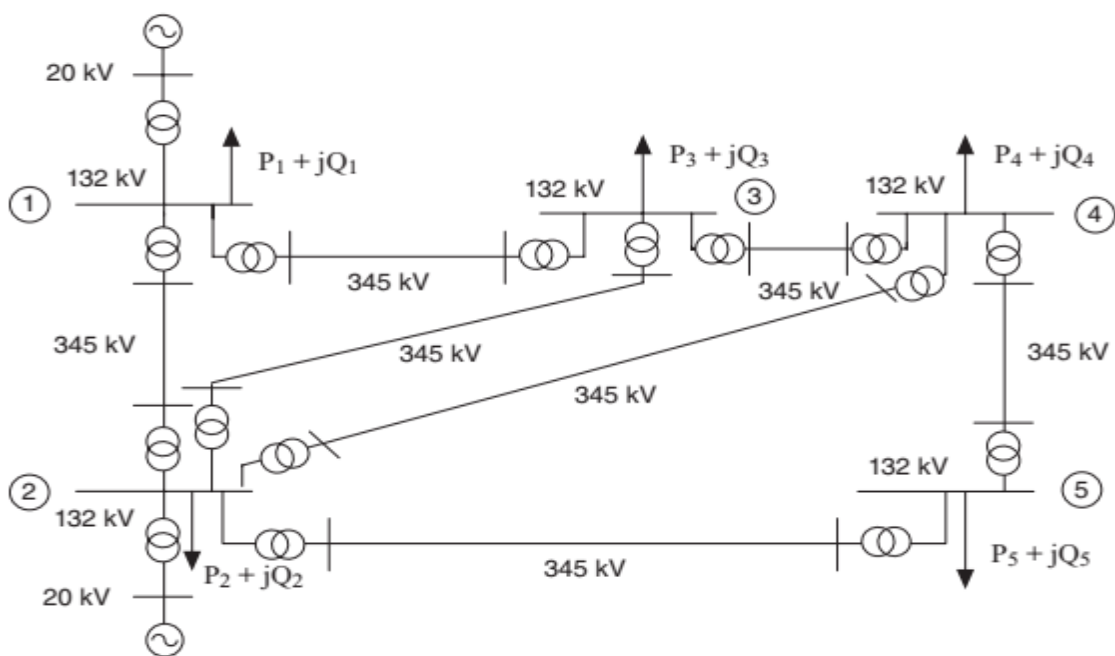
### H1.33. Các mục đối tượng liên quan đến vận hành hệ thống.

Một lưới điện lớn bao gồm nhiều yếu tố bao gồm tổ máy phát điện, đường dây tải điện, máy biến áp, và bộ ngắt mạch. Khi các nguồn năng lượng xanh mới được áp dụng vào điện lưới điện và lưới điện thông minh được lắp đặt, các thiết bị bổ sung như bộ chuyển đổi DC / DC và bộ chuyển đổi DC / AC phải được tích hợp và lên lịch cho vận

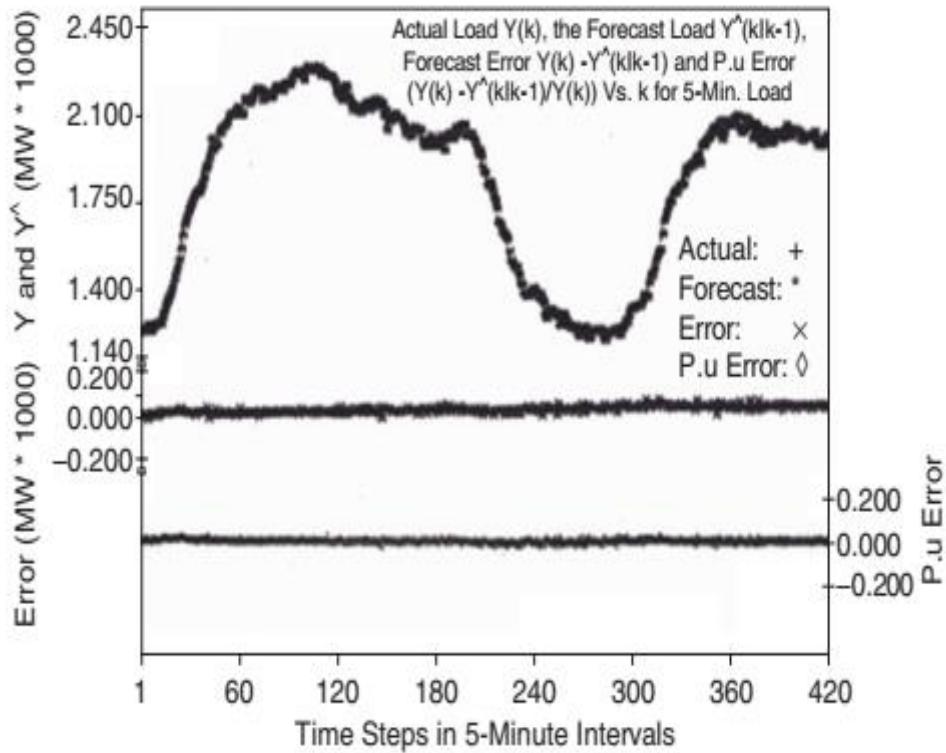
hành lưới điện. Ngoài ra, cấu trúc thị trường và định giá theo thời gian thực của năng lượng cần được đánh giá.

Ngay từ đầu, chúng ta cần lên lịch phát điện để cung cấp cho hệ thống tải từng giây hoạt động của hệ thống. Các nguồn năng lượng của hệ thống điện lớn bao gồm thủy điện và năng lượng hạt nhân, nhiên liệu hóa thạch, các nguồn năng lượng tái tạo như gió năng lượng mặt trời, cũng như các nguồn năng lượng xanh như pin nhiên liệu, nhiệt và điện kết hợp (CHP; còn được gọi là cogeneration), và microturbines. Các tài nguyên này phải được quản lý và đồng bộ hóa đáp ứng nhu cầu phụ tải của lưới điện. Nhu cầu tải của một nguồn điện lưới điện có tính chất chu kỳ và có nhu cầu cao điểm hàng ngày trong một tuần, một tuần nhu cầu cao nhất trong một tháng và nhu cầu cao điểm hàng tháng trong một năm. Năng lượng tài nguyên phải

được tối ưu hóa để đáp ứng nhu cầu cao nhất của mỗi chu kỳ tải, sao cho tổng chi phí sản xuất và phân phối năng lượng điện là tối thiểu. Hình 2.3 mô tả sự thay đổi tải trong 24 giờ được lấy mẫu cứ sau 5 phút. Từ Hình 2.3, có thể thấy rằng nhu cầu cao điểm gấp đôi nhu cầu điện năng tối thiểu.

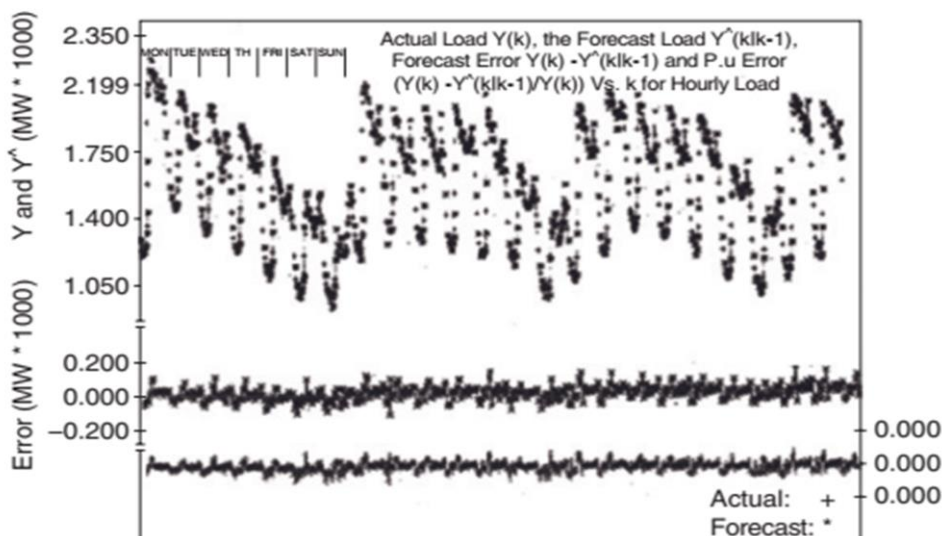


Hình 2.2 . Công suất năm phụ tải thực tế.



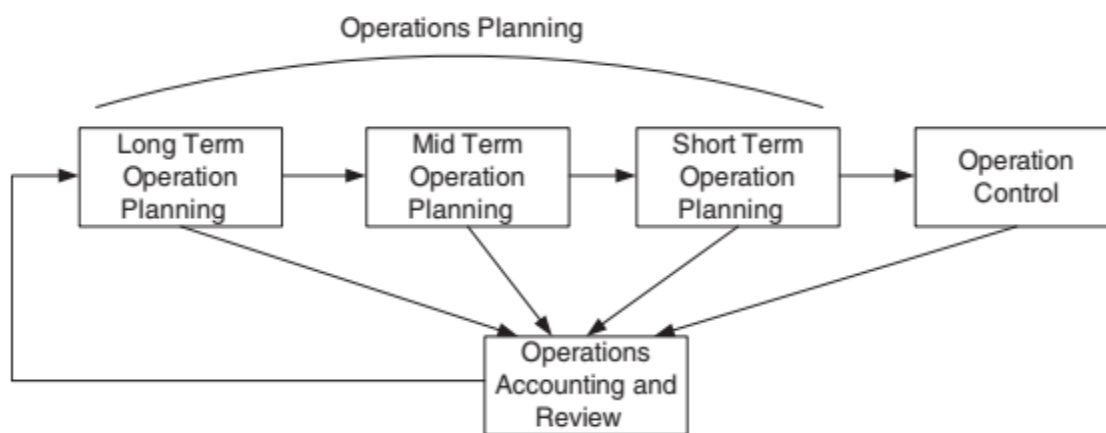
Hình 2.3 .Biến thể tải trong vòng 24h được lấy mẫu sau 5 phút

Hình 2.4 cho thấy nhu cầu điện cao điểm xảy ra vào thứ Hai và nhu cầu điện tối thiểu xảy ra vào Chủ nhật. Người vận hành hệ thống điện phải quy hoạch các nguồn năng lượng lưới điện và cơ sở vật chất để đáp ứng các điều kiện phụ tải khác nhau. Lập kế hoạch hoạt động được chia thành ba nhiệm vụ - dài hạn -, trung bình - và ngắn hạn – Hoạt động điều khiển được tiến hành như Hình 2.5.



Điều khiển hoạt động khi nó được vận hành từng phút. Kế toán hoạt

Hệ thống ghi lại các sự kiện xảy ra trên một hệ thống lưới và bằng cách phân tích dữ liệu cố gắng giải thích các sự kiện khác nhau đã ảnh hưởng đến lưới. Hoạt động tính toán dữ liệu cũng được sử dụng trong quy hoạch lưới điện trong tương lai. Thời điểm quyết định liên quan đến việc lập kế hoạch hoạt động và điều khiển công suất lưới được mô tả trong Hình 2.6. Trục tung của Hình 2.6 là thời gian quyết định để thực hiện một chức năng. Trục hoành là điểm diễn ra điều khiển của một chức năng.



Hình 2.5. Các nhiệm vụ liên quan tới nhau của hoạt động lập kế hoạch

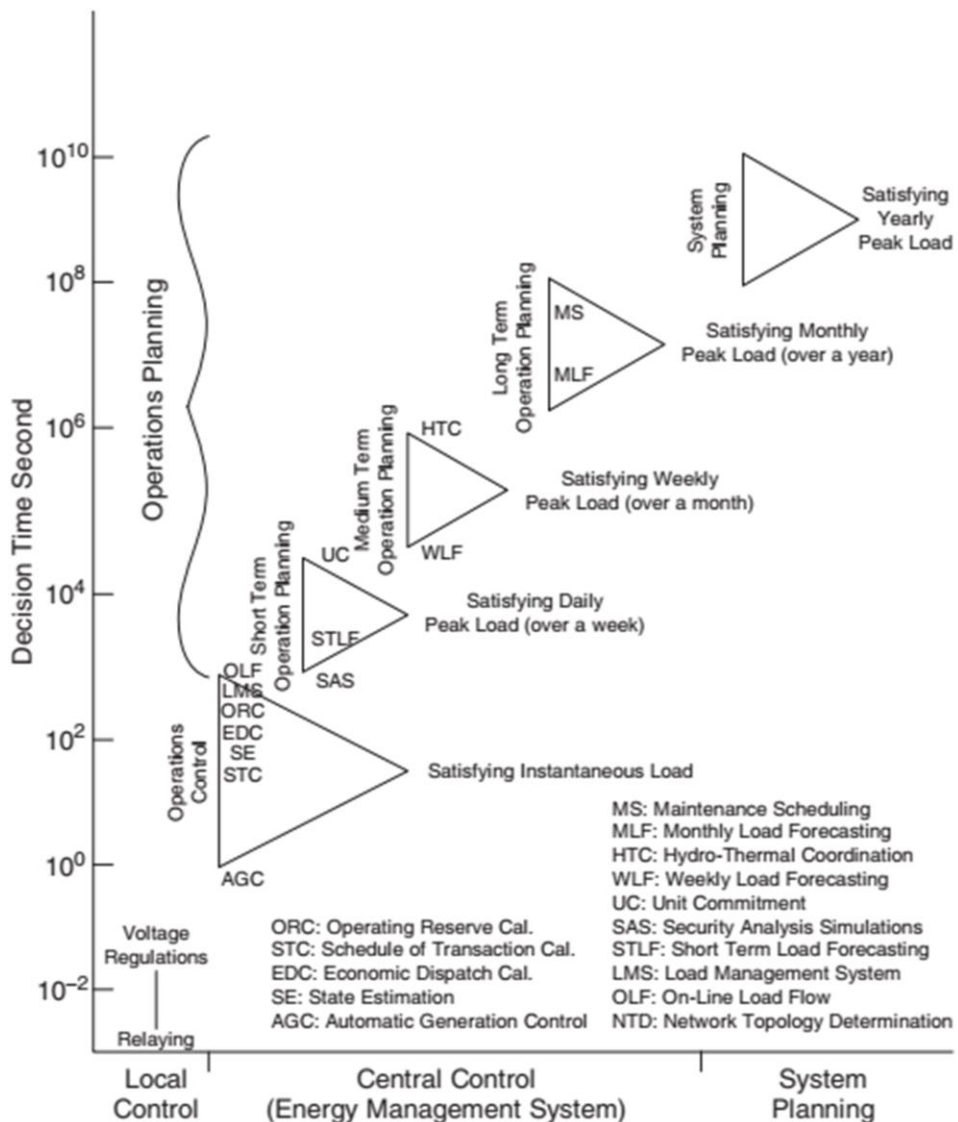
Các chức năng này được lập trình trong phần mềm máy tính. Phần cứng để thực hiện các chức năng này bao gồm hai máy tính, một vận hành trong thời gian thực phụ trách lưới điện; máy thứ hai là trực tuyến như một bản sao lưu nếu máy tính đầu tiên gặp sự cố. Hệ thống máy tính được gọi là hệ thống quản lý năng lượng (EMS) hoặc điều khiển năng lượng trung tâm. Hệ thống điều khiển Giám sát và Thu thập Dữ liệu (SCADA) bao gồm phần cứng và phần mềm điều khiển và thu thập dữ liệu, con người - máy móc và hệ thống phần mềm giao diện và hệ thống máy tính kết với hệ thống hoạt động thời gian thực. Do đó, EMS bao gồm một hệ thống SCADA cộng với các chức năng ứng dụng dùng để vận hành và điều khiển lưới điện. Các chức năng của cơ bản của SCADA là

(1) thu thập thông tin trên toàn lưới điện,

(2) gửi dữ liệu thu thập được qua hệ thống thông tin lưới điện vào trung tâm điều khiển, và

(3) hiển thị dữ liệu trong trung tâm điều khiển để người vận hành lưới điện sử dụng cho việc ra quyết định và xác định chức năng ứng dụng để vận hành lưới điện. SCADA là một phần của thiết kế lưới điện thông minh, dữ liệu bổ sung liên quan đến các nguồn năng lượng như năng lượng gió, mặt trời, nguồn PV và định giá thời gian thực từ thị trường điện phải được kết hợp vào hệ thống SCADA.

Được phân tán trên diện rộng, lưới điện thông minh phải được tối ưu hóa để hoạt động hiệu quả và ổn định - là một nhiệm vụ khác cho hệ thống SCADA. Những vấn đề lập kế hoạch hoạt động có thể được chia thành bốn vấn đề khác nhau. Nhiệm vụ đầu tiên là (1) lập kế hoạch cho tất cả các nguồn lực và cơ sở vật chất hàng năm, (2) trên cơ sở hàng tháng để thống kê và dự báo tải cao điểm hàng tháng, (3) sử dụng kết quả hàng tuần để tạo lịch trình hàng ngày và (4) sử dụng lịch trình hàng ngày để chuẩn bị một lịch trình hàng giờ khả thi và an toàn.



## H.2.6. Hệ thống quản lý năng lượng và hàm quyết định theo thời

Lập kế hoạch hoạt động dài hạn bao gồm hai chức năng: phụ tải hàng tháng - chương trình dự báo tải hàng tháng và chương trình lập lịch bảo trì dựa trên tính toán nhu cầu tải cao nhất hàng tháng. Chương trình lập kế hoạch bảo trì chương trình lập lịch các đơn vị để bảo trì theo nhiều tiêu chí, ví dụ: khuyến nghị bảo trì của nhà sản xuất, kinh nghiệm với thiết bị như máy phát điện, máy biến áp, đường dây tải điện, v.v., chẳng hạn như nhu cầu phụ tải cao điểm hàng tháng được thỏa mãn trong mức rủi ro hợp lý.

Việc lập lịch các nguồn lực và phương tiện hàng tuần được hoàn thành thông qua kế hoạch hoạt động trung hạn. Nhiệm vụ này bao gồm hai chức năng: một chương trình dự báo phụ tải hàng tuần và một chương trình điều phối thủy nhiệt.

Chương trình dự báo - tải hàng tuần ước tính nhu cầu cao điểm của mọi tuần hơn một tháng. Chương trình điều phối thủy nhiệt xác định lịch trình vận hành tốt nhất của các đơn vị thủy điện và nhiệt điện sao cho lượng nhiên liệu tiêu thụ trong các đơn vị nhiệt được giảm thiểu, và hàng tuần nhu cầu phụ tải của hệ thống được thoả mãn.

Vì các nguồn năng lượng tái tạo được sử dụng ngày càng nhiều trong lưới điện, quy hoạch vận hành sẽ trở nên phức tạp do tính chất không liên tục của các nguồn năng lượng tái tạo. Hơn nữa, khi định giá theo thời gian thực có hiệu lực, nhiệm vụ của kế hoạch hoạt động sẽ trở nên phức tạp hơn khi người dùng năng lượng phản ứng với việc định giá hàng ngày theo giờ.

Những vấn đề này đang được giải quyết trong kế hoạch hoạt động của một mạng lưới điện. Việc lập kế hoạch hàng tuần cho các cơ sở và nguồn lực hàng ngày được thực hiện bằng kế hoạch hoạt động ngắn hạn, bao gồm một tải ngắn hạn - chương trình dự báo, chương trình mô phỏng phân tích an ninh và một chương trình cam kết.

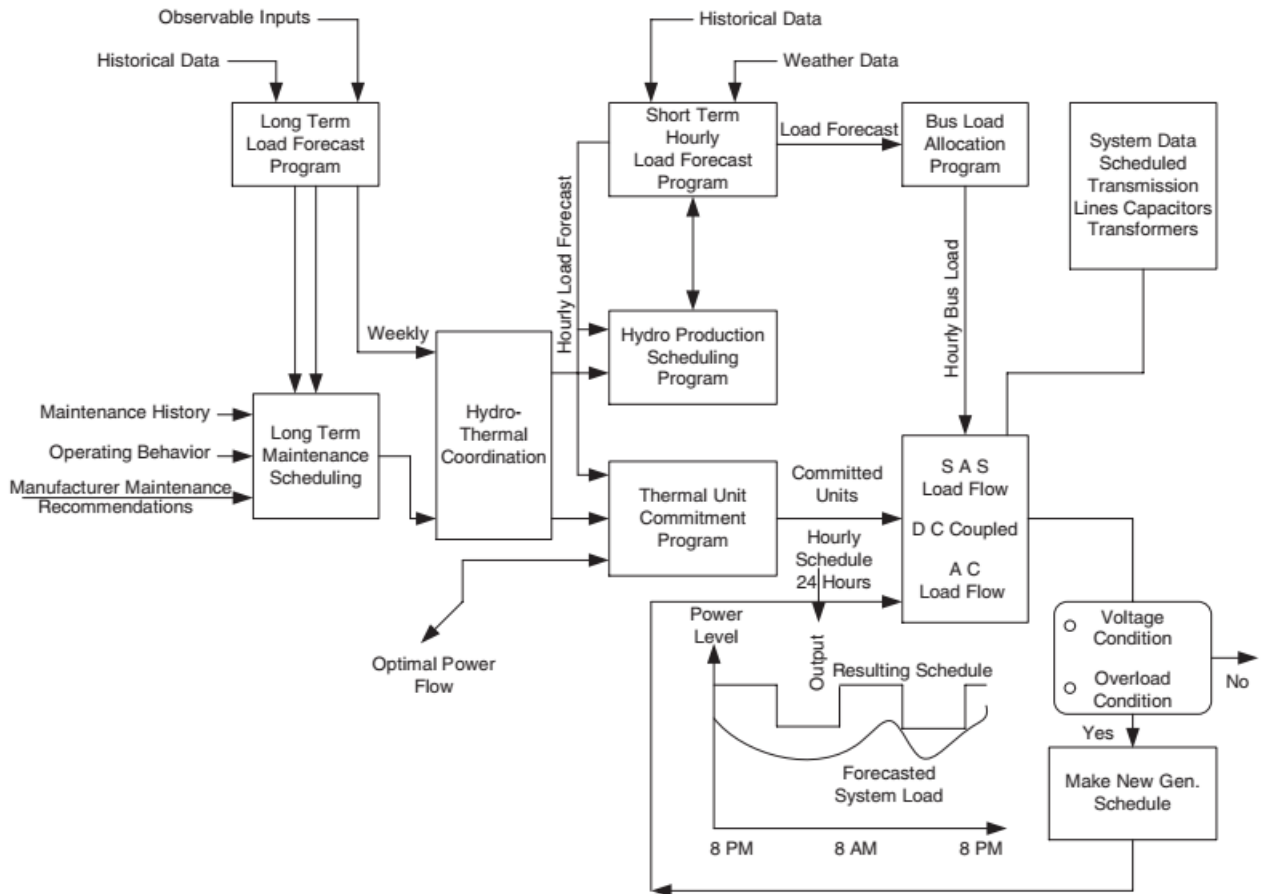
Tải trọng ngắn hạn - dự báo ước tính hàng giờ nhu cầu tải trong 168 giờ tới. Cam kết tổ máy hoặc lập kế hoạch phát điện kinh tế, còn được gọi là phương pháp đặt hàng hoặc phương pháp tiên lượng, xác định các tổ máy phát điện phải cam kết vận hành hệ thống dựa trên sự sẵn có của các đơn vị khác nhau, được chỉ định bởi lập kế hoạch dài hạn, - và trung bình - để sao cho dự báo tải hàng giờ trong 24 - 168 giờ tới là thoả mãn. Ngoài ra, chức năng cam kết làm cho trình tự các quyết định dẫn đến việc khởi động và dừng các đơn vị nhiệt để đảm bảo có đủ công suất phát nhưng không quá mức để đáp ứng phụ tải lưới dự báo hàng giờ.

Cần đề cập rằng do sự không chắc chắn trong dự báo phụ tải, thông thường phải lập kế hoạch bổ sung công suất đồng bộ hoặc sẵn sàng được đồng bộ hóa trong thời gian



ngắn. Công suất dư thừa này được gọi là dự trữ hoạt động, chúng ta sẽ thảo luận sau. Các chức năng mô phỏng phân tích bảo mật là một tập hợp các điều phối viên định hướng, các chương trình tương tác được sử dụng để tính toán điện áp tải của cấp hệ thống. Cuối cùng lập kế hoạch hoạt động ngắn hạn là một chức năng mô phỏng phân tích bảo mật. Chức năng mô phỏng phân tích bảo mật tính toán điện áp cấp hệ thống dựa trên lịch trình tạo hàng giờ từ chương trình cam kết và dự báo phụ tải cấp hàng giờ. Nếu tải hàng giờ dự kiến, lập kế hoạch phát và cấu hình hệ thống dự kiến hoặc đã lên lịch, điều kiện hoạt động kết quả không được chấp nhận, thì phải tính toán lại. Một khi lịch trình phát điện theo giờ kinh tế khả thi được xác định, kế hoạch hoạt động của hệ thống sẽ được chuyển cho hoạt động điều khiển, điều này sẽ cố gắng để đáp ứng nhu cầu từng phút của hệ thống như được mô tả trong phần trước. Tính toán điện áp phụ tải là quan trọng trong lập kế hoạch và vận hành lưới điện; nó được gọi là dòng công suất hoặc dòng tải.





**Hình 2.7. Các nhiệm vụ có liên quan của một hoạt động lập kế hoạch đã định.**

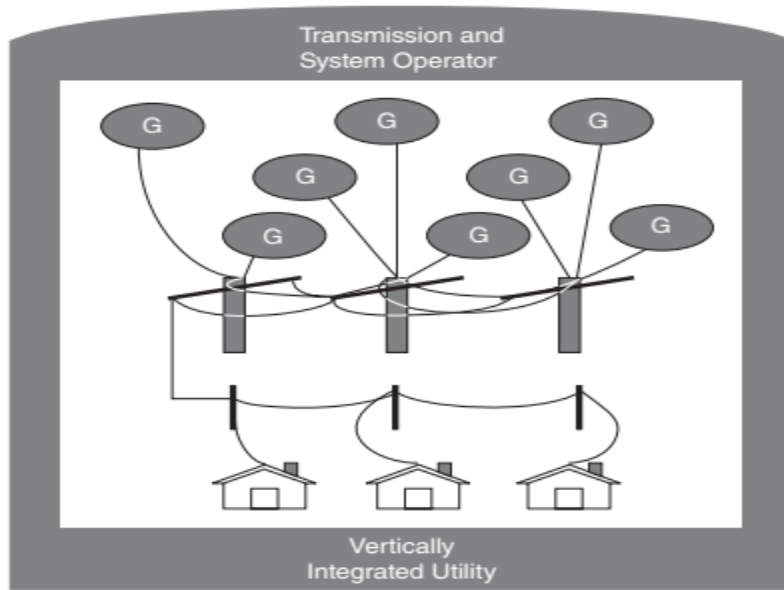
Trong thị trường điện phi điều tiết, nhiều hợp đồng được thực hiện giữa người mua và người bán trước. Ví dụ, thị trường ngày trước được phát triển dựa trên nhu cầu phụ tải dự báo của hệ thống cung cấp điện ít nhất 24 giờ trước khi giao hàng cho người mua và người dùng cuối.

### 2.3 LƯỚI ĐIỆN CẤU TRÚC THEO CHIỀU DỌC VÀ THỊ TRƯỜNG

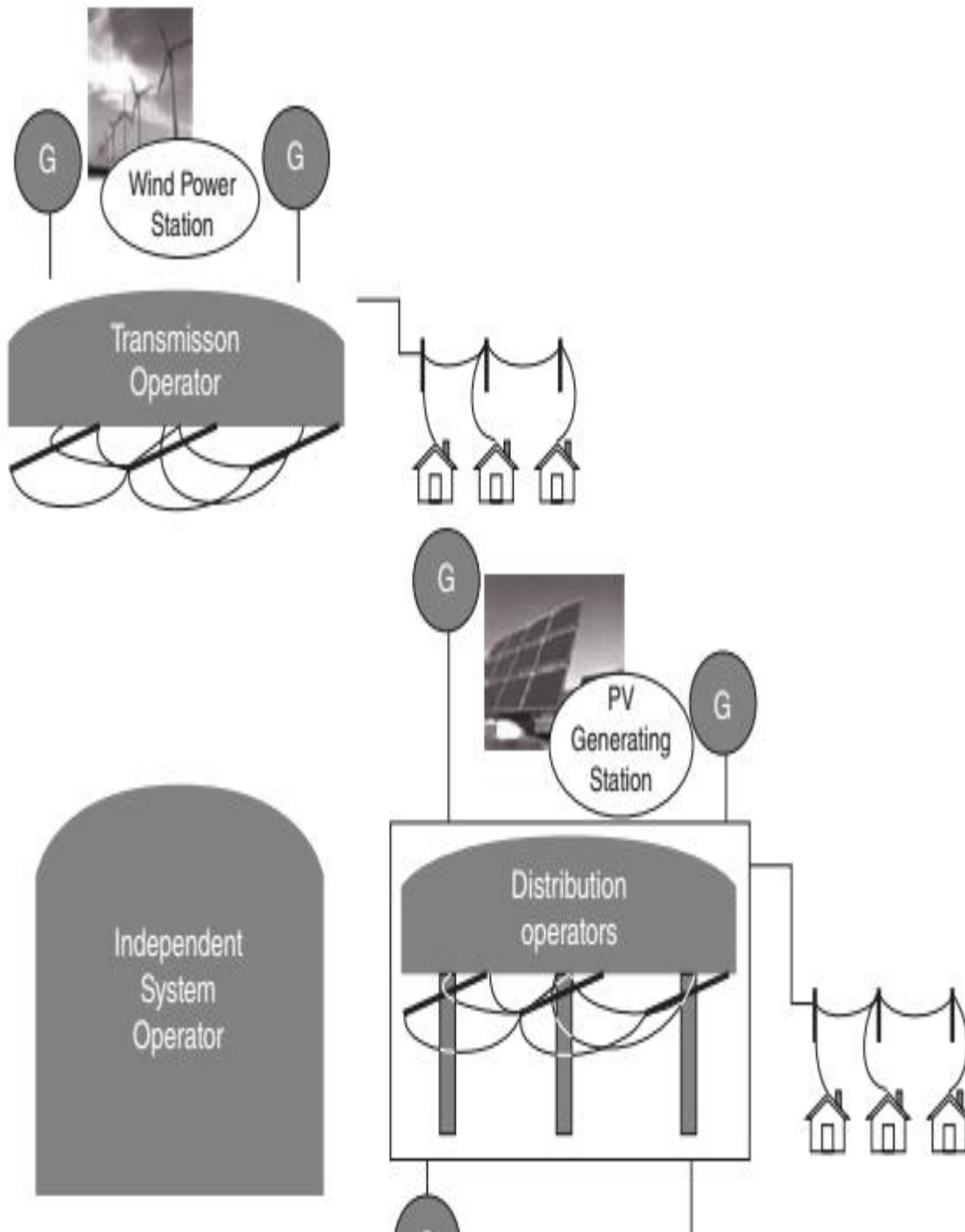
Hình 2.8 mô tả một lưới điện tích hợp theo chiều dọc, có từ thời Thomas Edison

Hình 2.8 mô tả một lưới điện tích hợp theo chiều dọc, có từ thời Thomas Edison Về cơ bản nó là một cấu trúc mạng, có trạm công suất lớn ở nơi có than hoặc thủy điện. Năng lượng điện đầu tiên người dùng được phục vụ tại các thành phố lớn và sau đó thông qua hệ thống phân phối xuyên tâm đến các vùng nông thôn. Trong lưới điện ngày nay, năng lượng chảy theo một chiều - về cơ bản, từ các nhà máy điện đến khu dân cư, thương mại

và công nghiệp. Bởi vì hầu hết các nhà máy điện đều được bố trí từ xa, nơi có nguồn than và nguồn thủy điện có sẵn, nguồn điện phải được truyền qua hệ thống truyền tải điện áp cao và hệ thống truyền tải phụ đến người dùng cuối. Tổn thất điện năng trong quá trình truyền tải cho tải có thể được ước tính bằng cách nghiên cứu dòng điện qua hệ thống. Đối với Hoa Kỳ, năm 2004, những tổn thất ước tính khoảng hơn 265.180.000.000 triệu kWh. Nếu lưới điện bị mất điện đột ngột tại trạm phát điện hoặc sự cố mất điện đường dây quan trọng mang công suất lớn megawatt do các trạm phát điện đến trung tâm phụ tải, sự mất mát như vậy tạo ra sự thiếu hụt đột ngột của trạm phát năng lượng. Kết quả là các nhà vận hành hệ thống không thể sản xuất năng lượng đáp ứng nhu cầu, do đó, lưới điện sẽ bị dao động công suất. Nếu người vận hành hệ thống không thể kết hợp sản xuất năng lượng với năng lượng tiêu thụ, lưới điện trở nên không ổn định, và các rơ le bảo vệ sẽ loại bỏ thiết bị phục vụ dẫn đến mất điện. Hình 2.9 mô tả lưới điện do thị trường vận hành. Trong cấu trúc này, hệ thống hoạt động độc lập (ISO) phụ trách vận hành lưới điện. Hệ thống máy tính quản lý năng lượng ISO tính toán dự trữ hoạt động cần thiết để duy trì hoạt động tin cậy lưới điện liên kết. Các nhà điều hành ISO vận hành lưới điện dựa trên Hội đồng độ tin cậy Bắc Mỹ (North American Electric (NERC)). Chính sách 1 điều khiển phát và hiệu năng tiêu chuẩn.



**Hình 2.8. Lưới điện tích hợp theo chiều dọc.**



Tài liệu này quy định các yêu cầu về dự trữ vận hành. Theo NERC, “Mỗi khu vực điều khiển sẽ vận hành các nguồn năng lượng của mình để cung cấp một mức dự trữ hoạt động đủ để tính đến các yếu tố do sai sót trong dự báo, thiết bị phát và truyền không có sẵn, số lượng và quy mô của các tổ máy phát điện, tỷ lệ thiết bị mất điện

cưỡng bức, lịch bảo trì, quy định yêu cầu và tải khu vực và hệ thống sự đa dạng. ” Sau khi mất tài nguyên hoặc tải, nhà điều hành ISO thực hiện các bước thích hợp để ổn định lưới điện. Phát bổ sung dự trữ loại ‘sự cố’(spinning). Dự trữ ‘sự cố’ được định nghĩa là công suất đồng bộ đã sẵn sàng để được điều hành bởi nhà điều hành hệ thống. Dự trữ ‘sự cố’ thông thường dự trữ từ 5 - đến 10 phút. Năng lượng dự trữ cũng có thể ở hình thức dự trữ ngoại tuyến dự phòng, và phụ tải gián đoạn của khách hàng đã ký hợp đồng. Xem xét kỹ hoạt động của lưới điện cho thấy rõ ràng người sử dụng năng lượng cuối cùng đang điều khiển chung hệ thống tải. Khi chúng ta, với tư cách là khách hàng bật hoặc tắt thiết bị công suất, chúng ta đang tác động đến hệ thống. Khi bật tải, máy phát của hệ thống được tải và tốc độ của hệ thống máy phát điện giảm. Tốc độ hệ thống giảm làm giảm tần số hệ thống. Khi tắt tải, tốc độ của hệ thống tăng lên và lần lượt, tần số hệ thống tăng lên. Người vận hành hệ thống điều khiển tần số và điện áp hệ thống. Hành động điều khiển này như là hành động điều khiển dòng tải. Để giải thích thêm, chúng ta có thể nói rằng nhà điều hành hệ thống phản ứng với thay đổi tải bằng cách theo dõi tần số hệ thống. Hành động điều khiển này được gọi là hành động điều khiển tần số dưới tải(LFC-load - frequency control).

Trong hệ thống lưới điện có cấu trúc thị trường, ISO có trách nhiệm điều khiển lưới điện. Tất cả các bên liên quan, công ty lưới điện, nhà sản xuất điện độc lập, công ty điện lực thành phố, v.v., đang hoạt động theo quy luật thị trường điện; tuy nhiên, tất cả các bên liên quan phải nghiên cứu hồ sơ tải hệ thống và nhu cầu mong đợi để định vị bản thân để có lợi nhuận tối đa. Tuy nhiên, ISO vẫn vận hành lưới điện để đảm bảo sự ổn định của nó, đồng thời cung cấp hiệu quả sử dụng điện năng trên thị trường điện. Ở đây sẽ chỉ trình bày các chức năng quan trọng để hiểu biết về lưới điện thông minh bao gồm nhiều microgrid, ở đó mỗi nút của hệ thống có cả tải và phát. Để hiểu khái niệm này, chúng ta cần hiểu điều khiển vận hành của lưới điện trong chi tiết hơn.

## 2.4 ĐIỀU KHIỂN VẬN HÀNH LƯỚI ĐIỆN.

Các chức năng chính của điều khiển hoạt động đáp ứng tải tức thời trên cơ sở giây - đèn - giây và phút - đèn phút. Một số chức năng này gồm:

1. Điều khiển tần số tải (LFC)
2. Điều khiển phát tự động (AGC)
3. Xác định cấu trúc mạng (NTD)
4. Đánh giá trạng thái(SE)
5. Các nghiên cứu về dòng tải trực tuyến và dự phòng
6. Lịch trình giao dịch (ST)
7. Tính toán kinh tế (EDC)
8. Tính toán hoạt động dự phòng (ORC)
9. Hệ thống quản lý tải (LMS)

Thời gian quyết định của hoạt động điều khiển là từ đáp ứng động trong một phần nhỏ của một chu kỳ LFC, từ 1 - 10 giây đối với điều khiển tự động phát, từ 5 - 10 phút cho các phép tính kinh tế, và từ đến 30 phút cho một hệ thống quản lý phụ tải. Tuy nhiên, với việc triển khai của một hệ thống lưới điện thông minh với sự thâm nhập cao của nguồn năng lượng xanh tái tạo và hệ thống đo lường thông minh, chúng ta sẽ có một hệ thống năng lượng phức tạp hơn. Trong các phần sau, chúng ta sẽ nghiên cứu chức năng của LFC và điều khiển phát tự động

## 2.5 ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ.

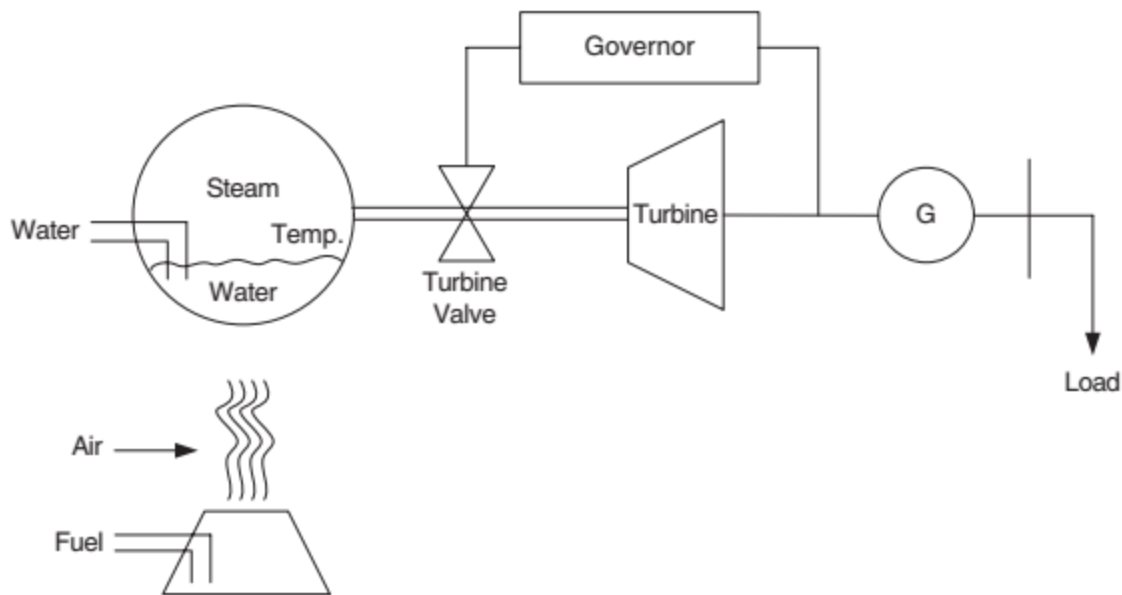
LFC cũng được gọi là vòng điều khiển bộ điều tốc của máy lai như hiển thị trong Hình 2.10. Khi nhu cầu phụ tải của hệ thống điện tăng lên, tốc độ của máy phát điện giảm và điều này làm giảm tần số hệ thống. Tương tự, như tải hệ thống - nhu cầu giảm, tốc độ của máy phát hệ thống tăng và điều này làm tăng tần số hệ thống. Điều khiển tần số hệ thống năng lượng phải được quan tâm để lưới điện duy trì ổn định. Trong lưới điện xoay chiều, tất cả các nguồn phát đều hoạt động song song và tất cả (bơm) đều cấp nguồn cho lưới điện. Điều này có nghĩa là tất cả các nguồn điện đang hoạt động ở cùng

tần số hệ thống. Tần số hoạt động của hệ thống ở Hoa Kỳ là 60 Hz và 50 Hz ở phần còn lại của thế giới. Các máy phát đang hoạt động ở tần số hệ thống; tất cả chúng đều được đồng bộ hóa và khi hoạt động ở tốc độ đồng bộ tất cả công suất cung cấp vào lưới. Tốc độ đồng bộ có thể tính

$$\omega_{syn} = 2\omega_s / p \quad (2.1)$$

Trong đó  $\omega_s = 2\pi f$ , còn  $f$  là tần số của hệ thống khi đo bằng vòng phút có dạng:

$$n_{syn} = 120f_s / p [v/p] \quad (2.2)$$



## H2.10. Hệ thống kiểm soát điều tiết.

Trong phương trình trên,  $P$  là số cực và  $f_s$  là tần số của máy phát. Do đó, đối với máy điện hai cực, hoạt động ở 60 Hz ( $f = 60$  Hz), trục của máy đang quay với tốc độ 3600 vòng / phút. Nếu công suất động cơ chính có tốc độ chậm hơn, chẳng hạn như tổ máy thủy điện, máy phát điện có nhiều cực hơn. ví dụ, nếu  $P = 12$ , tốc độ của động cơ chính là 600 vòng / phút và thiết bị vẫn hoạt động ở tần số 60 Hz. Vận hành đồng bộ có nghĩa là tất cả các máy phát của lưới điện đều hoạt động ở cùng tần số và tất cả các

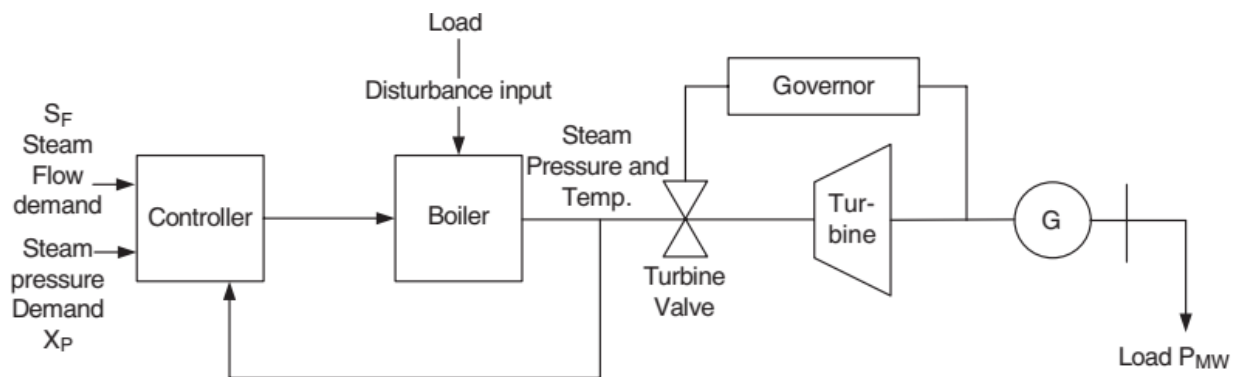
nguồn phát đang hoạt động song song. Điều này cũng có nghĩa là tất cả các tổ máy phát điện đang vận hành tại hệ thống, tần số không phụ thuộc vào tốc độ của mỗi động cơ lai các máy phát. Trong hệ thống AC, năng lượng không thể được lưu trữ; nó chỉ có thể được trao đổi giữa cuộn cảm và tụ của hệ thống và được tiêu thụ bởi tải. Do đó, đối với hệ thống AC để hoạt động ở tần số ổn định, công suất do nguồn xoay chiều tạo ra phải bằng các tải của hệ thống. Tuy nhiên, tải trên hệ thống được điều khiển bởi người sử dụng năng lượng, tức là khi chúng ta tắt đèn, chúng ta giảm tải hệ thống; khi chúng ta bật đèn, chúng ta tăng tải hệ thống. Để đáp ứng với những thay đổi về tải, năng lượng được cung cấp từ năng lượng quán tính được lưu trữ trong một khối lượng lớn của một rôto. Tuy nhiên, tại mọi thời điểm, sự cân bằng giữa năng lượng cung cấp cho lưới điện và năng lượng do tải tiêu thụ cộng với tổn thất được duy trì. Khái niệm này có thể được diễn đạt như sau:

$$\sum_{i=1}^{n_1} P_{G_i} = \sum_{i=1}^{n_2} P_{L_i} + P_{losses} \quad (4.3)$$

trong đó  $P_{G_i}$  là công suất do máy phát  $i$  tạo ra,  $P_{L_i}$  là công suất được tiêu thụ bởi tải  $i$  và  $n_1$  là số lượng máy phát của hệ thống, còn  $n_2$  là số lượng tải của hệ thống. Tổn thất đường truyền được thiết kế bằng  $P_{losses}$ . Như có thể mong đợi, khi nhu cầu tải của hệ thống tại thời điểm  $t$  tăng lên, tần số hệ thống sẽ giảm vì hệ thống điện tại thời điểm đó có nhiều tải hơn tại thời điểm  $t - k$  với  $k$  là bước thời gian. Trên thực tế, đây chính xác là những gì xảy ra lúc đầu. Tuy nhiên, hệ thống có vòng phản hồi được gọi là điều khiển tốc độ tải và tần số, hệ thống giảm tức là tốc độ trục của động cơ chính giảm, vòng phản hồi tăng công suất đầu vào để phù hợp việc phát hệ thống với tải hệ thống. Đây được gọi là hệ thống điều khiển tốc độ: bộ điều khiển mở các van tuabin để tăng công suất đầu vào làm tăng tốc độ trục của máy phát điện. Tuy nhiên, với sự gia tăng tải hệ thống,



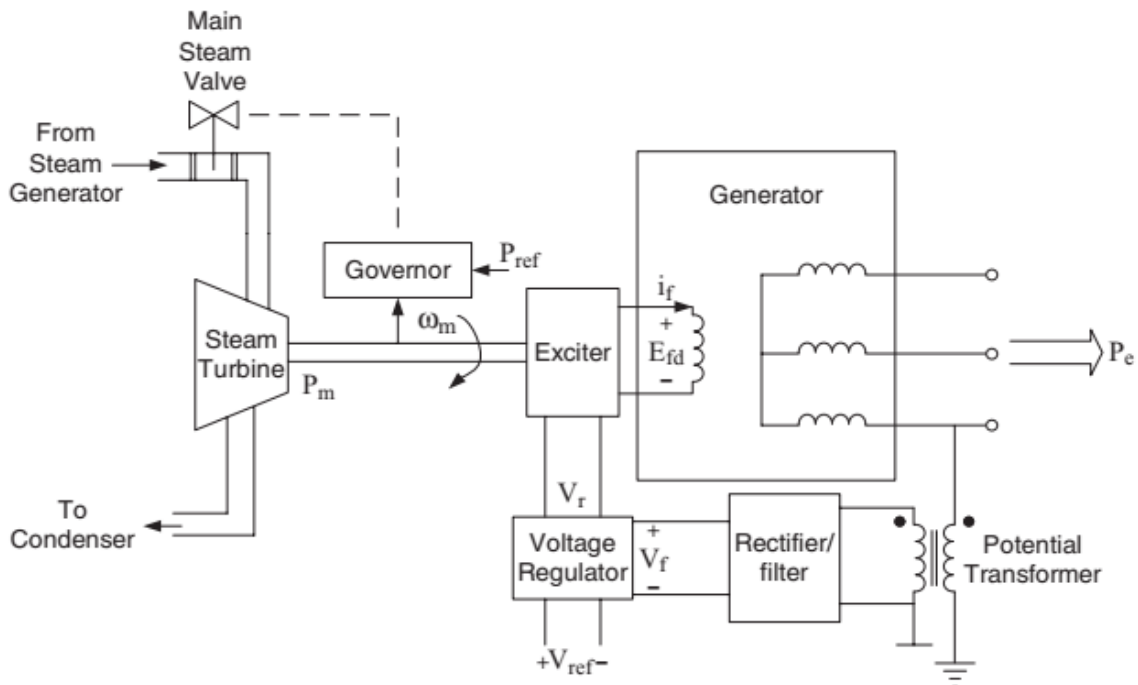
công suất bổ sung được tạo ra của hệ thống phát khớp với tải hệ thống và hệ thống sẽ hoạt động ở tốc độ đồng bộ. Bộ điều khiển giữ cho tốc độ trục tuabin không đổi ở mức tốc độ đồng bộ mong muốn để phát điện ở tần số đồng bộ hệ thống. Để đảm bảo an toàn cho lò hơi và tuabin, hệ thống điều khiển lò hơi điều khiển điều kiện của hơi nước được biểu thị bằng áp suất hơi và nhiệt độ hơi. Hệ thống điều khiển lò hơi điều khiển van tuabin theo vị trí sao cho áp suất và nhiệt độ hơi trong phạm vi quy định của chúng. Hình 2.11 mô tả hệ thống điều khiển lò hơi. Việc điều khiển tốc độ phản hồi điều khiển tốc độ trục tuabin - khi tải hệ thống thay đổi; các phản hồi của bộ điều tốc mở hoặc đóng các van tuabin. Tuy nhiên, việc mở và việc đóng van tuabin phụ thuộc vào điều kiện hơi. Tuabin van có thể được mở hoặc đóng miễn là điều kiện hơi của lò hơi trong phạm vi mong muốn. Để khớp việc phát của hệ thống hợp với tải hệ thống, hai phương pháp điều khiển được thực hiện. Các phương pháp này là tuabin - điều khiển dòng hơi nước và lò hơi điều khiển bám theo. Trong điều khiển dòng tuabin, máy phát tuabin được giao trách nhiệm tiết lưu áp suất. Các van tuabin được điều khiển trong một phạm vi xác định để đảm bảo rằng điều kiện hơi nước, hơi áp suất và nhiệt độ nằm trong phạm vi an toàn. Nhu cầu phụ tải MW tương ứng với nhu cầu lưu lượng hơi và nó được điều khiển bởi lò hơi.



## H2.11. Hệ thống điều khiển lò hơi.

Khi tăng bước trong lệnh điều khiển tải được ban hành, lệnh điều khiển được gửi vào nồi hơi. Hệ thống điều khiển lò hơi sau đó tăng tỷ lệ nhiên liệu, nước cấp, và luồng không khí, làm tăng áp suất van tiết lưu. Sự thay đổi của bướm ga áp suất được đo bằng hệ thống điều khiển tuabin. Các van tuabin được điều khiển bởi hệ thống điều khiển tuabin. Các van tuabin được mở để tăng lưu lượng hơi và công suất MW của máy phát.

Lưu ý rằng khi lưu lượng hơi tăng do mở các van tua bin, trục tua bin tăng tốc. Tuy nhiên, do máy phát điện được hòa đồng bộ vào lưới điện và tải hệ thống đã tăng lên, thì công suất MW được tạo ra sẽ được đưa vào vào hệ thống điện và sự cân bằng mới giữa tải hệ thống và nguồn phát được thiết lập. Do đó, tần số hệ thống được duy trì và tất cả các máy phát được kết nối hoạt động với tốc độ đồng bộ. Trong điều khiển bám theo của lò hơi, lò hơi được giao trách nhiệm áp suất van tiết lưu. Nhu cầu phụ tải MW được điều khiển bởi máy phát tuabin. Trong chế độ hoạt động này, một bước tăng ở hệ phát do một bước thay đổi của nhu cầu phụ tải đi trực tiếp đến các van tuabin. Nhu cầu tải tăng, các van tuabin mở và do đó lưu lượng hơi và công suất MW của máy phát điện tăng lên. Tuy nhiên, lò hơi đang điều khiển áp suất van tiết lưu, và nếu áp suất giảm vượt ra khỏi phạm vi được chỉ định cho lò hơi, hệ thống điều khiển lò hơi sẽ điều khiển tuabin để duy trì áp suất. Cả hai hệ thống điều khiển được đề xuất đều có thể cung cấp khả năng điều khiển thỏa đáng. Điều khiển bám theo của lò hơi có phản ứng nhanh hơn và được sử dụng rộng rãi. Hệ thống điều khiển tuabin có phản ứng chậm hơn; tuy nhiên, nó bảo vệ nồi hơi và đảm bảo rằng hơi nước được điều hòa trước khi năng lượng được chiết xuất từ lò hơi. Để hệ thống điện hoạt động ổn định, ngoài điều khiển tần số, chúng ta cũng phải điện áp đầu cuối của máy phát điện và hệ số công suất. Hình 2.12 mô tả bộ điều chỉnh điện áp cho tuabin hơi nước - máy phát điện. Như được chỉ ra, bộ điều khiển điều khiển các van hơi chính của tuabin và điều khiển dòng hơi đến tuabin. Dòng hơi đến tuabin là cơ năng sơ cấp trên trục của máy phát điện. Trong hình 2.12, chúng ta thấy máy kích từ của máy phát điện được đặt trên rôto của máy



**Hình 2.12. bộ điều chỉnh điện áp và bộ điều khiển cho máy phát tua bin**

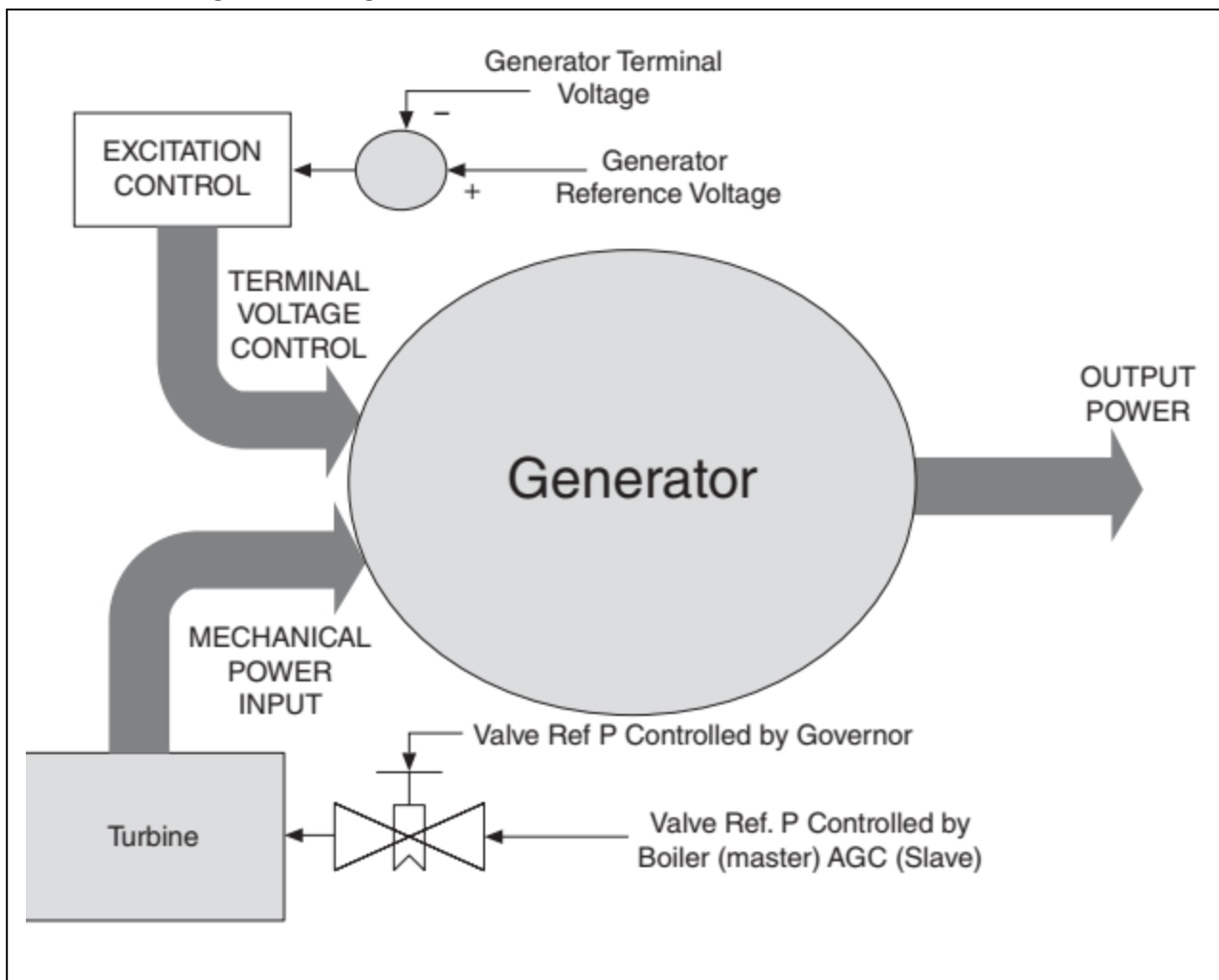
Điện áp đầu cuối của máy phát được điều khiển bởi bộ điều chỉnh điện áp. Điện áp kích từ được đặt vào cuộn dây kích từ của máy phát dựa trên điểm đặt bộ điều chỉnh ( $V_{ref}$ ). Bằng cách cung cấp công suất cơ học cho cuộn dây rôto cuộn này được nạp dòng điện một chiều, từ trường thay đổi theo thời gian được thiết lập trong khe hở không khí của máy. Dựa trên định luật cảm ứng Faraday, suất hiện điện áp cảm ứng trong cuộn dây stator. Một lần nữa, bởi vì máy phát điện được đồng bộ hóa với lưới điện, nên công suất được bơm vào hệ thống. Hình 2.13 mô tả các khái niệm chính chúng ta phải hiểu từ hoạt động của một nhà máy điện hơi nước. Một máy phát điện 3 pha là một thiết bị có ba cực đầu dây. Chúng ta đặt dòng điện kích từ của máy phát điện để có điện áp đặt đầu cuối của máy phát.

$$E = K I_f \omega \quad (2.4)$$

Điện áp cảm ứng hở mạch,  $E$  là hàm của kích thước máy được cho bởi  $K$  không đổi và dòng điện kích từ  $I_f$ , và tốc độ trục,  $\omega$ . Bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ, máy phát điện có thể hoạt động ở chế độ thừa hoặc kích từ thiếu. Chúng ta sẽ nghiên cứu khái niệm này ở phần sau. Tuy nhiên, công suất phản kháng,  $Q_G$  do máy tạo ra phải bằng tổng công suất phản kháng tải và tổn thất phản kháng của đường truyền,

$$\sum_{i=1}^{m1} Q_{Gi} = \sum_{i=1}^{m2} Q_{Li} + Q_{losses} \quad (2.5)$$

Trong đó  $Q_G$  là công suất kháng của máy phát, và  $Q_L$  là công suất kháng của tải  $Q_{losses}$  là tổn hao công suất kháng.



**H2.13 . Máy phát điện như một thiết bị ba đầu cuối**

Chúng ta hãy trình bày một cách hình thức 2 nghiên cứu phân tích cơ bản trong lập kế hoạch, thiết kế và hoạt động của hệ thống năng lượng:

### 1. Nghiên cứu dòng điện.

Cho trước lịch trình phát của hệ thống, tải hệ thống, lập lịch cho các phần tử hệ thống như đường truyền và biến áp, v.v., chúng ta tính toán điện áp cấp hệ thống và dòng điện trên đường truyền. Các điều kiện này được biểu thị bằng Công thức 2.3 và 2.5. Chúng ta thường coi điện áp trên cáp là trạng thái hệ thống đại, đó là độ lớn điện áp và góc pha ở mỗi cấp. Đối với các nghiên cứu về dòng điện, chúng ta quan tâm đến mô hình bơm hệ thống: ở đây không gộp tổng trở của máy phát vào mô hình bơm năng lượng vào lưới điện, đó là mô hình mô tả bơm công suất tại cực nối dây của máy phát điện vào mô hình mạng của hệ thống truyền dẫn.

### 2. Nghiên cứu ngắn mạch.

Khi đã cho mô hình hệ thống, điện áp cấp và tải, và sơ đồ các phần tử như đường truyền, biến áp, chúng ta tính toán các dòng cân bằng và không cân bằng có thể chảy trên hệ thống nếu xảy ra sự cố. Dựa trên nghiên cứu này, chúng ta tính toán ngắn mạch - dòng điện mà cầu dao có thể tác động khi xảy quá dòng. Nghiên cứu này cũng cung cấp mức độ dòng điện sự cố trong suốt hệ thống để thiết lập rơ le bảo vệ của hệ thống. Trong nghiên cứu ngắn mạch, trở kháng đầu vào bên trong của các nguồn phát phải được tính tới bởi vì chúng giới hạn dòng điện sự cố khi sự cố xảy ra. Không có trở kháng đầu vào bên trong của các nguồn phát, dòng ngắn mạch sẽ là vô cùng lớn; điều này là không thực tế bởi vì nguồn sẽ bốc cháy trước khi đạt đến dòng điện cực cao.

Chúng ta hãy quay lại hoạt động của một máy phát điện. Ở cực nối dây thứ 2 của Hình.2 .13, ta cung cấp năng lượng cơ học cho trục máy phát, tiếp theo thiết lập từ thông thay đổi theo thời gian trong khe hở không khí của máy phát điện sẽ cảm ứng trong cuộn dây nằm trên stato của máy phát điện một điện áp và tạo ra điện áp  $V_{\text{đ}} \sin \omega t$  ở trục đầu dây. Công suất đầu ra của máy phát điện được đưa vào hệ thống mạng lưới điện. Công suất đầu vào và hệ số công suất của nó được điều khiển bằng điều khiển dòng

điện kích từ và điện áp trên cực đầu dây. Phạm vi động học của hệ thống năng lượng hoạt động bắt đầu từ khi khởi động - một điều kiện quá độ đến chế độ hoạt động ổn định. Thời lượng động của lưới điện có thể từ vài chu kỳ đến vài phút. Máy phát điện kích thích - hệ thống điều khiển có thể bị nhiễu động từ một vài chu kỳ đến vài giây khi dòng điện kích từ của máy phát được thay đổi để thiết lập điện áp mới. Khi lưới điện bị mất điện từ máy phát, lưới điện sẽ là đối tượng ổn định động, vấn đề có thể được ổn định nếu lưới điện có thể cung cấp năng lượng cần thiết để cân bằng giữa hệ thống phát và hệ thống tải. Ví dụ, đối với sự cố mất điện của máy phát điện, các bộ điều tốc của tất cả các đơn vị trong lưới điện sẽ phản ứng với thiếu điện năng cần thiết (đó là sự sụt giảm tần số hệ thống) và sẽ cung cấp nguồn điện bổ sung vào lưới điện để phù hợp với việc phát điện cho hệ thống tải trọng. Chúng ta có thể xác định các sự cố động lực khác nhau ảnh hưởng đến lưới điện:

1. Điều khiển động lực điện và kích từ có thể có thời gian vài chu kỳ đến một vài giây.
2. Quản lý và LFC có thể có thời lượng động trong vài giây đến một vài phút.
3. Một động cơ sơ cấp và hệ thống điều khiển cung cấp năng lượng có thể có chu kỳ động với thời lượng vài phút. Động cơ sơ cấp là động cơ tạo ra hơi nước hệ thống.

## **2.6. ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG MÁY PHÁT**

Trong các phần trước, chúng ta đã xác định chức năng của lò hơi và bộ điều tốc trong LFC. Như đã chỉ ra, khi tải thay đổi, việc cung cấp năng lượng cho hệ thống phải được điều chỉnh sao cho tại mọi thời điểm, công suất do hệ thống tạo ra cân bằng hệ thống tải và tổn thất để giữ cho hệ thống hoạt động ở điện áp và tần số định mức. Hệ thống tải có mô hình chung là tăng chậm trong ngày và sau đó giảm dần vào ban đêm. Chi phí năng lượng được tạo ra không giống nhau đối với tất cả các tổ máy phát điện. Do đó, việc phát điện nhiều hơn được giao cho tổ máy ít tổn kém nhất. Ngoài ra, một số đường dây nối một lưới điện với một lưới điện khu vực lân cận. Những đường này được

gọi là dây buộc. Dây buộc được điều khiển thực hiện xuất nhập khẩu điện theo hợp đồng đã thỏa thuận. Khi nào điện được xuất từ hệ thống điện sang hệ thống điện lân cận thông qua các dây buộc, công suất xuất được coi là phụ tải; ngược lại khi nhập khẩu, nó được coi là phát điện. Điều khiển dòng điện thông qua những dòng này được xác định trước theo lịch trình đã thỏa thuận và chúng dựa trên hoạt động an toàn và giao dịch kinh tế. Để điều khiển cả dòng điện thông qua các đường dây liên kết truyền dẫn và tần số hệ thống, khái niệm về sai số điều khiển vùng(ACE) được định nghĩa là

$$ACE = \Delta P_{TL} - \beta \Delta f \quad (2.6)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \Delta P_{TL} &= P_{Sch} - P_{Actual} \\ \Delta f &= f_S - f_{Actual} \end{aligned} \quad (2.7)$$

$P_{Sch}$ : Lịch công suất chạy giữa 2 lưới điện

$P_{Actual}$ : Công suất hiện tại chạy giữa 2 lưới

$f_i$ -Tần số tham chiếu tức là tần số định mức

$f_{actual}$ : Tần số đo được hiện tại

$\beta$  □ □ Độ lệch tần số

Phần mềm điều khiển AGC được thiết kế để thực hiện các mục tiêu sau:

1. So khớp việc phát điện khu vực với tải khu vực, tức là khớp với các điểm giao cắt dây buộc với lịch trình và điều khiển tần số hệ thống.

2. Phân phối tải thay đổi giữa các máy phát điện để giảm thiểu chi phí vận hành

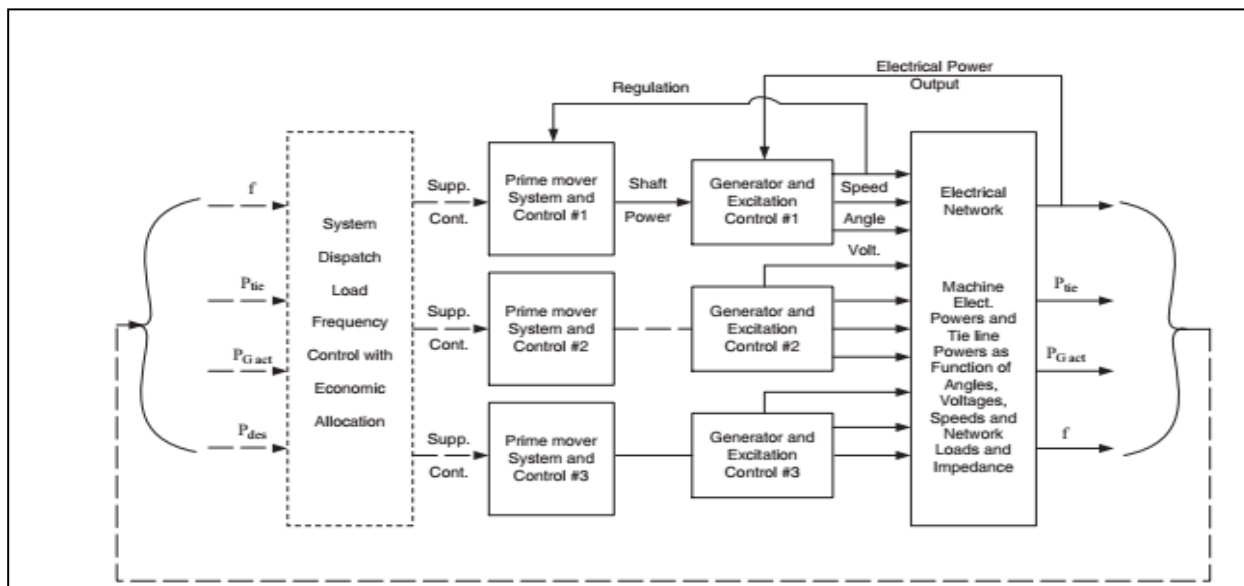
Điều kiện trên cũng phải tuân theo các ràng buộc bổ sung có thể được giới thiệu bởi cân nhắc về an ninh lưới điện như mất đường dây hoặc trạm phát điện. Mục tiêu đầu tiên liên quan đến bộ điều khiển bổ sung và khái niệm độ lệch dây buộc. Thuật ngữ  $\beta$  được định nghĩa là độ lệch và nó là một hệ số điều chỉnh được thiết lập khi AGC được thực hiện. Một thay đổi nhỏ trong hệ thống tải tạo ra những thay đổi tỷ lệ trong tần số hệ



thống. Do đó, sai số điều khiển khu vực ( $ACE = \Delta P_{TL} - \beta \Delta f$ ) cung cấp cho mỗi vùng với kiến thức gần đúng về thay đổi phụ tải và điều khiển bộ điều khiển bổ sung cho khu vực để thao tác các van tuabin của các thiết bị điều chỉnh. Để có được một điều chỉnh có ý nghĩa (tức là giảm ACE xuống 0), thì yêu cầu tải của hệ thống phải lấy mẫu vài giây một lần. Mục tiêu thứ hai được đáp ứng bằng cách lấy mẫu tải cứ sau vài phút (1 - 5 phút) và phân bổ tải thay đổi giữa các đơn vị khác nhau để giảm thiểu chi phí vận hành. Điều này giả định nhu cầu tải không đổi trong mỗi thời kỳ điều động kinh tế. Để thực hiện các mục tiêu trên, gần như tất cả các phần mềm AGC đều dựa trên đơn vị điều khiển. Đối với đơn vị  $i$ , yêu cầu phát tại thời điểm tức thời  $K$  thường được lấy mẫu cứ 2 hoặc 4 giây và được cho bởi Công thức 2.8.

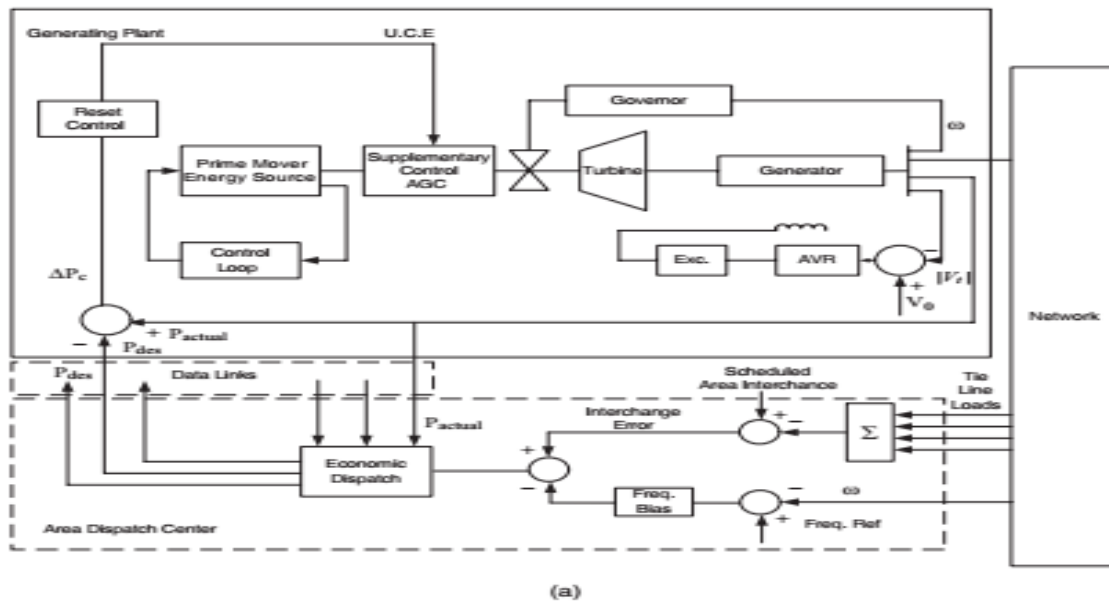
$$P_D^i(K) = P_E^i(K) + P_R^i(K) + P_{EA}^i(K) \quad (2.8)$$

trong đó  $P_E^i(k)$ ,  $P_R^i(k)$  và  $P_{EA}^i$  là kinh tế, điều tiết và các thành phần hỗ trợ khẩn cấp của phát yêu cầu cho đơn vị  $i$  tại thời điểm tức thời  $K$ , tương ứng. Hình 4.15 (b) mô tả khái niệm năng lượng quán tính dự trữ và thang thời gian quản lý năng lượng điều khiển lưới điện. Năng lượng quán tính được lưu trữ trong rôto của tổ máy phát điện cung cấp năng lượng cho thay đổi phụ tải tần số cao. Các tải tần số cao được thể hiện trong Hình 2.3. Đơn giản, khi một người sử dụng năng lượng tắt đèn, giảm tải tạo ra dao động tần số cao. Tất nhiên, khi một số lượng lớn người dùng năng lượng tắt đèn, sẽ tạo ra dao động tần số tải cao và tần số thấp. Sự dao động tần số tải thấp tăng tải rõ ràng hoặc xu hướng giảm tải

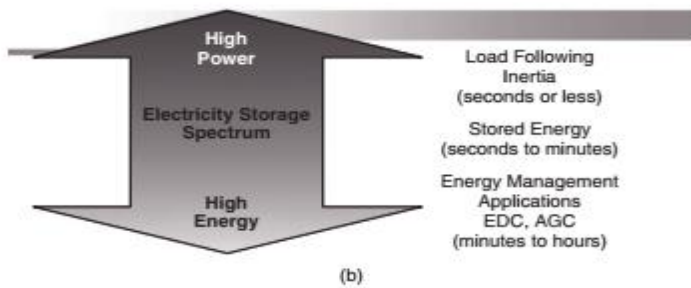




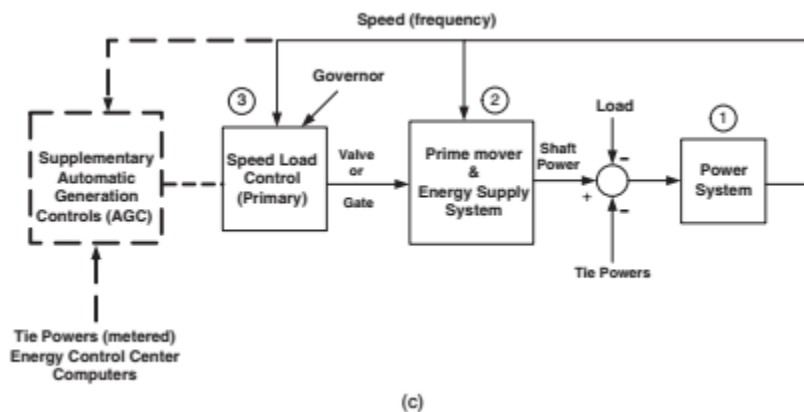
## H2.13. Điều khiển thế hệ tự động AGC



## H2.15a . Sơ đồ của hệ thống điều khiển tần số tải với điều khoản kinh tế.



## H2.15b . Quy mô quản lý thời gian tuyệt vời của hệ thống lưới điện.



## H2.15c . Sơ đồ khối điều khiển tự động (AGC)

Sự thay đổi tải này được điều khiển bởi AGC(Automatic Generation Control) như trong Hình 2.15 (c). AGC và nhà điều hành hệ thống tuân theo tải lưới. Tuy nhiên, AGC điều khiển năng lượng đầu vào lưới điện để đáp ứng với các thay đổi tải. AGC cũng điều khiển các vilưới được kết nối trong một hệ thống lớn. Khái niệm microgrid giả định một cụm tải và các vi nguồn, chẳng hạn như quang điện, gió, nhiệt và công suất kết hợp (CHP) hoạt động như một lưới điện có thể điều khiển độc lập. Đối với lưới điện địa phương, cụm này trở thành một tải duy nhất có thể phân tán. Khi microgrid được kết nối với lưới điện, điện áp cấp microgrid được điều khiển bởi mạng lưới điện cục bộ. Hơn nữa, tần số lưới điện được điều khiển bởi người điều hành lưới điện. Lưới điện siêu nhỏ không thể thay đổi điện áp cấp lưới điện và tần số lưới điện. Do đó, khi một microgrid được kết nối với lưới điện, nó trở thành một phần của mạng lưới điện và là đối tượng của nhiễu loạn lưới điện. Để hiểu tại sao lại như vậy, chúng ta cần hiểu hệ thống điều khiển được sử dụng bởi người vận hành lưới điện. Hình 2.15 (a) mô tả động cơ chính, bộ cung cấp năng lượng (tuabin hơi hoặc khí), và bộ điều tốc (tốc độ kiểm soát tải) hệ thống. Các hệ thống này nằm trong trạm phát điện. Các điều khiển bổ sung và AGC là một phần của EMS của mạng lưới địa phương . Hệ thống LFC được thiết kế để tuân theo sự biến động tải của hệ thống. Như đã nêu trước đây, khi tải thay đổi, giả sử khi tải tăng lên trong microgrids kết nối với lưới điện địa phương, sau đó năng lượng quán tính được lưu trữ trong hệ thống cung cấp năng lượng thiếu hụt, để cân bằng tải với các nguồn phát. Năng lượng này được cung cấp bởi các động cơ sơ cấp (năng lượng dự trữ trong rôto) như được mô tả bởi Hình 2.15 (b). Sự cân bằng giữa tải và phát phải duy trì để lưới điện địa phương hoạt động ổn định. Khi số dư giữa quá trình phát và tải bị xáo trộn, động lực của máy phát điện và tải có thể khiến tần số và / hoặc điện áp của hệ thống thay đổi, và nếu sự dao động này kéo dài sẽ dẫn đến sự cố sập hệ thống lưới điện địa phương và các hệ thống vi lưới được kết nối. Nếu phụ tải tăng nhanh và tần số lưới điện giảm xuống, sau đó thiết bị hơi nước mở van hơi và vòng điều khiển thiết bị thủy lực sẽ mở các cửa thủy lực để cung cấp năng lượng ổn định tần số hệ thống. Hành động

này diễn ra bất kể chi phí năng lượng từ các tổ máy phát điện. Tất cả các đơn vị thuộc LFC đều tham gia vào việc điều chỉnh tần số hệ thống điện. Điều này được gọi là điều khiển bộ điều tốc, như được thể hiện trong Hình 2.15 (c). Cứ sau 1 đến 2 phút, vòng điều khiển bổ sung, thuộc AGC, sẽ điều động một cách kinh tế tất cả các đơn vị để phù hợp tải với phát, đồng thời, giảm thiểu tổng chi phí vận hành. Do đó, AGC sẽ thay đổi tập các điểm đặt của máy phát điện dưới sự điều khiển của nó. Thời gian của chu kỳ này có thể rơi vào trong vòng một đến vài phút. Trong Hình 2.15 (c), phần đường chấm bao gồm AGC, được đặt tại trung tâm điều khiển - năng lượng lưới điện địa phương. Tuy nhiên, khi một microgrid bị ngắt kết nối khỏi lưới điện địa phương, microgrid phải được thiết kế để điều khiển điện áp và tần số của nó. Một hệ thống lưới điện thông minh và đo đếm thông minh sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho việc điều khiển tải. Chúng ta sẽ thảo luận các khái niệm cơ bản về thiết kế và vận hành lưới điện thông minh ở phần sau.

## **2.7. TÍNH TOÁN DỰ TRỮ VẬN HÀNH**

Như đã thảo luận, hoạt động của lưới điện vẫn ổn định miễn là tồn tại cân bằng giữa tải hệ thống và phát hệ thống. Dự trữ hoạt động quyết định được đưa ra dựa trên tính bảo mật và độ tin cậy cần thiết. Một đáp ứng tần số ổn định là điều cần thiết để ổn định hoạt động của một hệ thống kết nối khi mất tải hoặc ngừng phát điện. Dự trữ ‘sự cố’ là lượng điện năng bổ sung được phân phối ở dạng vài megawatt trong số nhiều máy phát điện hoạt động trong lưới điện. Các đơn vị này nằm dưới sự điều khiển của AGC và có thể điều động công suất để đảm bảo cân bằng tải và phát của hệ thống. Chi phí năng lượng bổ sung sẽ thêm vào chi phí minh chứng dịch vụ năng lượng điện. Định giá theo thời gian thực và đồng hồ đo thông minh sẽ trao quyền cho nhiều người dùng cuối cùng tham gia vào chứng minh được nguồn dự trữ ‘sự cố’ trong quá trình vận hành hệ thống điện trong tương lai, tăng hiệu suất tổng thể và giảm chi phí vận hành lưới điện.

## **2.8 CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH**

Trong lưới điện cổ điển, một mức giá cố định được tính cho người sử dụng năng lượng. Tuy nhiên, chi phí năng lượng cao nhất trong quá trình vận hành là tại tải cao điểm hàng

ngày. Vận hành hệ thống điện không có quyền điều khiển các tải ngoại trừ trường hợp tình huống khẩn cấp khi một phần của tải có thể được giảm xuống khi cần thiết để cân bằng lưới điện phát với các phụ tải của nó. Do đó, rất nhiều thiết bị được sử dụng trong một thời gian ngắn khi tồn tại thời gian công suất đỉnh nhưng nó thời gian còn lại của ngày nó không hoạt động. Để thiết kế và vận hành hệ thống lưới điện thông minh hiệu quả, những cơ sở hạ tầng như hệ thống thông tin liên lạc, mạng điều khiển, cảm biến và đồng hồ thông minh phải được cài đặt để hạn chế tải đỉnh hệ thống là khi chi phí năng lượng điện cao nhất. Lưới điện thông minh là một lưới điện có một thống cảm biến, giám sát và điều khiển cung cấp cho người dùng cuối cùng giá thành năng lượng tại bất kỳ thời điểm nào thông qua định giá theo thời gian thực.

Hơn nữa, lưới điện thông minh đặt nền tảng cho việc sử dụng các nguồn năng lượng xanh tái tạo và cấp điện khẩn cấp cho các trung tâm phụ tải đô thị lớn. Nó an toàn chống lại mất điện hoàn toàn các lưới điện được kết nối với nhau do các sự kiện nhân tạo hoặc thiên tai môi trường.

Nó cũng cho phép phá vỡ mối liên kết nối lưới lớn để có thể nối thành các cụm khu vực, nhỏ hơn. Ngoài ra, lưới điện thông minh còn cho phép mọi người sử dụng năng lượng trở thành nhà sản xuất năng lượng bằng cách cung cấp cho người sử dụng sự lựa chọn PV, năng lượng gió, pin nhiên liệu, và nguồn năng lượng năng lượng kết hợp nhiệt (CHP) và tham gia vào thị trường năng lượng bằng cách mua hoặc bán năng lượng thông qua kết nối thiết bị đo lường thông minh.

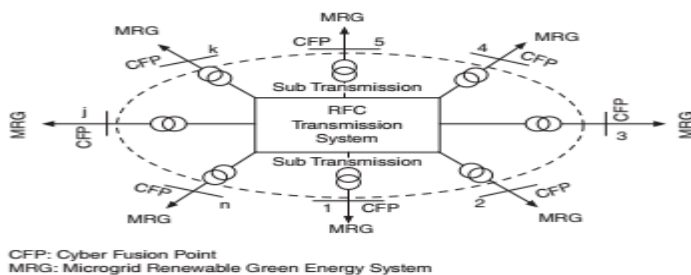
Hệ thống lưới điện lớn của Hoa Kỳ và nhiều quốc gia khác đã hoạt động như một mạng lớn được kết nối với nhau. Nhiệm vụ của miền Bắc American Electric Trustability Corporation (NERC) 9 là để đảm bảo độ tin cậy và an ninh của lưới điện lớn của Mỹ. Hình 2.16 mô tả miền Bắc Các trung tâm tin cậy điện của Mỹ.

Tương tự như vậy, việc mong đợi hệ thống lưới điện điều khiển thông minh trong tương lai được phát triển cho NERC - các trung tâm tin cậy được ủy quyền của Lưới điện Hoa Kỳ. Một hệ thống điều khiển không gian mạng trong tương lai được mô tả trong Hình

2.17. Điểm điều khiển mạng (CFP) đại diện cho một nút của hệ thống lưới điện thông minh nơi hệ thống năng lượng xanh tái tạo được kết nối hệ thống với quy mô lớn. Hệ thống liên kết của Hoa Kỳ có tám trung tâm vùng tin cậy như trong Hình 2.16. Dự kiến



**H2.16. Trung tâm độ tin cậy điện ở Bắc Mỹ (NERC) . ERCOT , Hội đồng độ tin cậy điện của Texas ; FRCC , Hội đồng Điều phối độ tin cậy Florida ; MRO**



**H2.17. Một mạng điều khiển thông minh.**

rằng các vi lưới tái tạo sẽ kết nối các trung tâm tin cậy trong khu vực như Công ty Cổ phần Đầu tiên (RFC) hệ thống truyền dẫn. CFP là nút trong hệ thống nhận dữ liệu từ thượng nguồn, tức là từ mạng được kết nối và hạ lưu, tức là từ hệ thống lưới năng lượng xanh tái tạo (MRG-microgrid renewable green) và các hệ thống đo lường thông minh. Nút CFP là nút thông minh của hệ thống nơi trạng thái của mạng được đánh giá và điều khiển, và nơi các quyết định về kinh tế được đưa ra về cách vận hành hệ thống MRG thế nào. CFP cũng đánh giá xem liệu hệ thống MRG của nó có nên được vận hành như một hệ thống lưới điện độc lập hoặc như một hệ thống lưới điện tách biệt với hệ thống lưới lớn.

Hệ thống mạng là xương sống của hệ thống thông tin để thu thập dữ liệu về trạng thái của hệ thống mạng liên kết. Bảo vệ của không gian mạng là điều cần thiết cho sự an toàn của lưới điện. Hình 2.17 là hình ảnh một mạng lưới điện trong tương lai.

Giao tiếp hai chiều là đặc điểm chính của lưới điện thông minh. Nó cho phép người dùng cuối cùng điều chỉnh thời gian sử dụng năng lượng của họ cho các hoạt động không cần thiết dựa trên giá năng lượng theo thời gian thực dự kiến. Các kiến thức thu được từ đồng hồ thông minh cho phép người vận hành lưới điện phát hiện mất điện nhanh hơn và đáp ứng nhu cầu mềm mại hơn theo định giá thời gian thực vì giá điện thay đổi trong ngày.

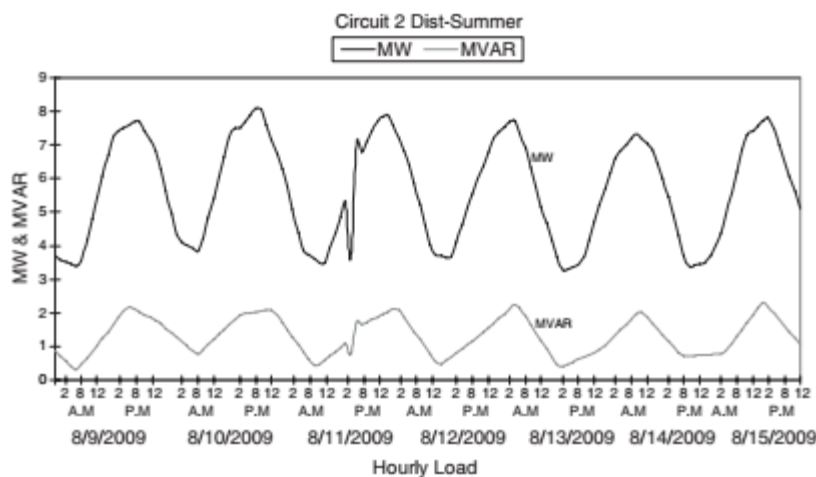
Điều khiển không gian mạng của một lưới điện thông minh là chủ đề nghiên cứu của nhiều chuyên gia trong kỹ thuật điện và máy tính. Nó yêu cầu một hệ thống điều khiển phân tích hiệu năng của lưới điện sử dụng phân tán, tự trị, và bộ điều khiển thông minh. Hệ thống mạng sẽ học trực tuyến từ các cảm biến, lưới điện thông minh và các trạng thái lưới điện siêu nhỏ. Hệ thống điều khiển phân tích hệ thống cho khả năng chống lại sự cố có thể xảy ra. Bằng các cảm biến đo và giám sát, hệ thống điều khiển mạng điều chỉnh hành vi của lưới dựa trên dữ liệu thời gian thực đối diện với mọi thay đổi điều kiện hoạt động và thiết bị mới. Hệ thống sử dụng công tắc điện tử điều khiển nhiều hệ thống MRG với các chi phí khác nhau của chế độ phát và độ tin cậy. Kết quả là, một

mạng lưới thông minh được điều khiển bằng mạng yêu cầu người tiêu dùng trả tiền theo giá thời gian thực của điện năng được sản xuất. Bảng 2.1 trình bày chi phí năng lượng điện tính đến năm 2009 từ các nguồn khác nhau.

Bảng 2.1. Giá thành của điện năng năm 2009

Nguồn năng lượng	Giá /kWh(cent)	Hộ sử dụng điện	Kích cỡ lắp đặt
PV	20-40	Công suất tải có sở	1-10.000kW
Tiểu tuabin	10-15	Có thể sử dụng tải cơ sở, công suất đỉnh hoặc đồng phát	1-200kW
Động cơ đốt trong	1,5-3,5	Được thành lập, lịch sử lâu đời khi sao lưu hoặc đạt đỉnh	50-5MW
Trung tâm phát điện	17-3,7	Tải cơ sở/Phát điện đỉnh	500-3000MW

Hình 2.18 cho thấy cấp điện tối đa và tối thiểu cho tải thay đổi theo hệ số 2 trong 24 giờ.



**H2.18. Hàng giờ của một trạm chuyển phân phối của công ty điện lực Trung Tây .**



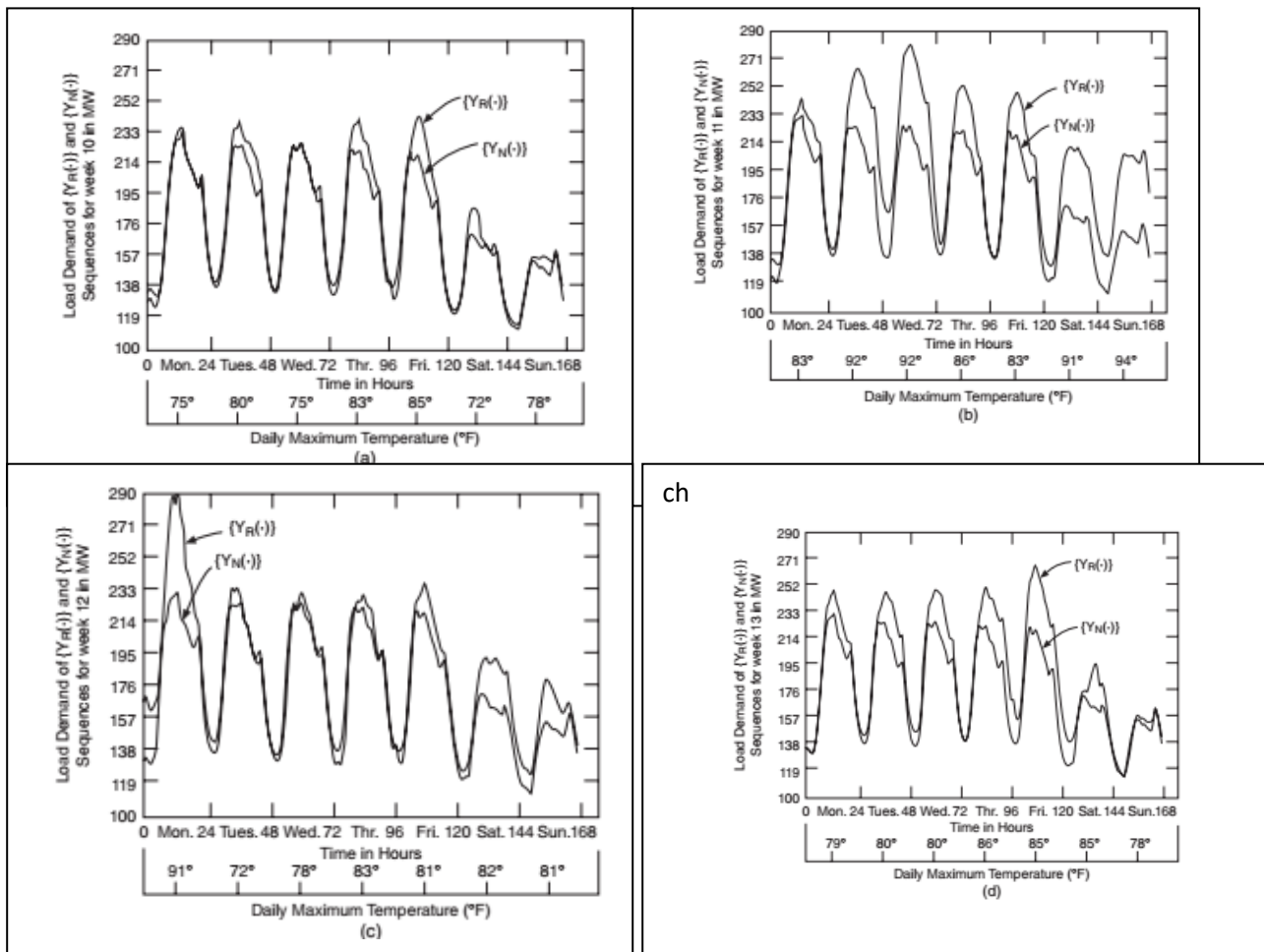
Như chúng ta đã học ở phần trước, công ty điện lực địa phương phải sử dụng nhiều loại nguồn năng lượng điện để khớp việc phát điện hệ thống với tải hệ thống. Dòng điện vào trung tâm phụ tải này được cung cấp bởi hệ thống truyền dẫn 345 kV và 138 kV. Nhu cầu phụ tải khu vực được đáp ứng bởi cuộn dây thứ ba của máy biến áp có danh định là 138/69/12. Tải công nghiệp phục vụ ở 138/69/23 kV. Tải cấp là công suất chảy vào sơ cấp cuộn dây của máy biến áp nối với 23 kV. Dòng điện chạy từ hệ thống điện áp cao hơn đến hệ thống điện áp thấp hơn. Do đó, cấp tải có thể được xác định là tải máy biến áp 138 kV và / hoặc 345 kV. Một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến nhu cầu tải và định giá theo thời gian thực là ảnh hưởng của thời tiết và sự gia tăng nhanh chóng của nhu cầu phụ tải. Để tách ảnh hưởng do thời tiết gây ra với cấp tải, chúng ta sử dụng cấp tải trung bình khi điều kiện thời tiết là bình thường và bị trừ khi điều kiện thời tiết trên bình thường. Trong Hình 2.19, chuỗi tải tổng hợp hàng giờ được tạo ra bởi một công ty lưới điện vùng trung tây Mỹ. Độ qui trung bình và phương sai của  $\{Y(.)\}$  có thể tính dựa trên các phương trình 2.9 và 2.10.

$$\begin{aligned} \bar{Y}(K+1) &= \bar{Y}(K) + \frac{Y(K+1) - \bar{Y}(K)}{K+1} \\ \sigma^{y^2}(K+1) &= \frac{K}{K+1} \sigma^{y^2}(K) + \frac{[Y(K+1) - \bar{Y}(K+1)]^2}{K} \end{aligned} \quad (2.10)$$

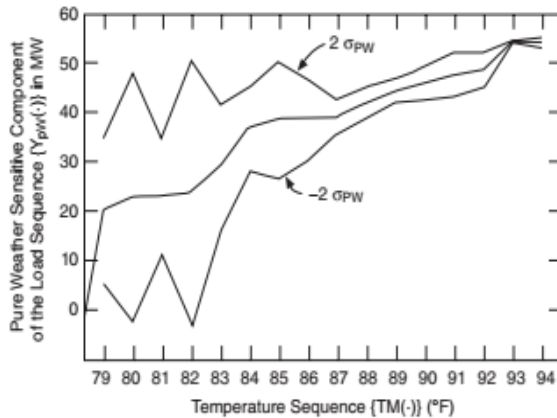
Ảnh hưởng của thời tiết lên chuỗi tải, ngày lễ và các điều kiện không lường trước được, khiến chuỗi nhu cầu tải cao hơn hoặc thấp hơn một hồ sơ tải trung bình danh định, được trừ khỏi dữ liệu đã ghi được. Bằng cách loại bỏ thành phần của  $\{Y_R(.)\}$ , thời tiết-yêu cầu gắn vào tải, do tác động của thời tiết, chúng ta tạo ra một chuỗi mới được coi là chuỗi tải danh định  $\{Y_N(.)\}$ . Ảnh hưởng của điều kiện thời tiết lên tải phụ thuộc vào nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió và độ chiếu sáng. Tuy nhiên, để chứng minh khái niệm cơ bản, chỉ có trọng số trung bình, nhiệt độ tối đa và tối thiểu đã ghi lại, được sử dụng. Do đó, ảnh hưởng của điều kiện thời tiết đến tải được biểu thị bằng nhiệt độ. Một tải nhạy cảm với thời tiết được giới thiệu khi nhiệt độ hàng ngày,  $T$ , nằm ngoài phạm vi phù hợp  $T_{\min} < T < T_{\max}$  trong đó  $T_{\min}$  và  $T_{\max}$  là giới hạn dưới và giới hạn trên của phạm vi phù hợp. Điều



này gợi ý rằng chuỗi tải danh định không nhạy cảm với thời tiết,  $\{Y_N(\cdot)\}$  được giả sử bằng với chuỗi  $\{Y_R(\cdot)\}$  khi nhiệt độ nằm trong phạm vi phù hợp và thay đổi tải đột ngột do mất điện hoặc các sự kiện đặc biệt đã không xảy ra. Hình 4.19 (a - d) cho thấy đồ thị của chuỗi tải  $\{Y_R(\cdot)\}$  và  $\{Y_N(\cdot)\}$  cho các tuần 10, 11, 12, 13. Có thể thấy rằng hồ sơ chung hàng tuần của thời tiết - chuỗi tải nhạy cảm  $\{Y_R(\cdot)\}$  và tải danh định (phi nhạy cảm thời tiết). Chuỗi  $\{Y_N(\cdot)\}$  về cơ bản giống nhau khi nhiệt độ hàng ngày chắc chắn là bình thường. Tuy nhiên, khi nhiệt độ hàng ngày cao, tải có chú ý tới thời tiết được chèn lên chuỗi  $\{Y_N(\cdot)\}$ . Quy trình này dựa trên việc tính toán mối quan hệ trung bình giữa nhiệt độ và thời tiết thuần túy - thành phần gây ra của tải, là được chỉ định là  $\{Y_{PW}(\cdot)\}$ . Chuỗi  $\{Y_{PW}(\cdot)\}$  được tạo ra, trong đó mỗi thành viên của  $\{Y_{PW}(\cdot)\}$  là giá trị trung bình của thành phần nhạy cảm với thời tiết thuần túy của tải ở nhiệt độ nhất định



Hình 2.19(a-d) Biểu đồ của (Y), cho tuần 10,11,12,13.



**Hình 2.20. Độ lệch chuẩn và trung bình của tải trọng nhạy cảm với thời tiết thuần túy so với nhiệt độ**

Hình 2.20 là giá trị trung bình và độ lệch chuẩn ( $\pm 2\sigma_{PW}$ ) của thời tiết thuần túy- thành phần gây ra của tải ở các nhiệt độ khác nhau. Hình 2.20 cũng mô tả thành phần nhạy cảm với thời tiết thuần túy của tải. Chuỗi tải nhạy cảm với thời tiết đã bão hòa ở  $80^{\circ}$  -  $82^{\circ}$ ,  $84^{\circ}$  -  $87^{\circ}$ , và trên  $93^{\circ}$  Fahrenheit. Trong lịch sử, các công ty lưới điện đã vận hành hệ thống điện như một dịch vụ công cộng. Họ đã cung cấp nguồn điện đáng tin cậy với giá không đổi bất kể điều kiện thay đổi. Hệ thống của họ sử dụng dự trữ ‘sự cố’ bổ sung các đơn vị dự trữ để phục vụ việc đột xuất do mất trang thiết bị. Tuy nhiên, trong thời đại biến đổi khí hậu toàn cầu, loại hình dịch vụ này không thể được cung cấp nếu không lưu ý tới sự suy thoái môi trường nghiêm trọng. Đơn vị vận hành lưới điện phải lập lịch phát điện dựa trên chi phí năng lượng. Tuy nhiên, thành phần phụ tải nhạy cảm với thời tiết bổ sung đáng kể sự không chắc chắn trong việc lập kế hoạch cân bằng phụ tải - phát điện. Như có thể mong đợi, các đơn vị ít tốn kém nhất được lên kế hoạch để đáp ứng các tải cơ bản. Các đơn vị tốn kém hơn được lên lịch để đáp ứng thời gian thay đổi tải. Vì vậy, giá điện năng lượng liên tục thay đổi khi nhu cầu tải thay đổi. Nếu định giá theo thời gian thực được thực hiện, giá điện biến đổi phải được sử dụng cho dịch vụ điện đáng tin cậy trong điều kiện nhu cầu cao.

## 2.9 HỆ SỐ TẢI

Hệ số phụ tải là một trong những yếu tố quan trọng quyết định giá điện. Hệ số phụ tải là tỷ số giữa nhu cầu điện năng trung bình của khách hàng với mức đỉnh nhu cầu. Như đã được quan sát, nhu cầu tải hàng ngày có sự thay đổi.

Giá thành cho nhu cầu điện năng tại cao điểm về cơ bản cao hơn đáng kể so với nhu cầu công suất trung bình. Do đó, giá nhu cầu điện thay đổi theo thời gian trong ngày. Thuật ngữ "định giá theo thời gian thực" đề cập đến giá từng phút của điện năng lượng khi trung tâm điều khiển năng lượng cam kết các máy phát điện theo lịch trình sản xuất năng lượng điện. Hệ số tải được định nghĩa bên dưới xác định giá năng lượng điện trong lưới điện

$$\text{Load factor (\%)} = \frac{\text{Average Power}}{\text{Peak Power}} \times 100 \quad (2.11)$$

Công suất trung bình được định nghĩa là lượng điện năng tiêu thụ trong một giai đoạn. Công suất đỉnh được định nghĩa là lượng điện năng tiêu thụ lớn nhất trong cùng một khoảng thời gian. Hệ số tải có thể được tính toán hàng ngày, chu kỳ hàng tháng hoặc hàng năm. Để lập kế hoạch hệ thống, hệ số tải được tính toán theo hàng tháng hoặc hàng năm. Đầu tư cơ sở vật chất phải được thực hiện để hệ thống có thể xử lý nhu cầu tối đa. Thông thường mong muốn có một nhu cầu tối đa thấp. Mặt khác, do doanh thu được tạo ra tỷ lệ với nhu cầu trung bình, vì vậy mong muốn có mức nhu cầu trung bình cao. Do đó, hệ số tải mong muốn gần bằng một, do đó nhu cầu cao điểm và nhu cầu trung bình gần nhau. Chúng ta nên hiểu sự khác biệt giữa "hệ số công suất" và "hệ số tải." Như chúng ta đã biết, hệ số công suất phụ tải quyết định tiêu thụ công suất tác dụng và công suất phản kháng của tải. Tuy nhiên, động cơ cảm ứng được sử dụng trong lưới điện có hệ số công suất dương. Hệ số tải là công suất tiêu thụ tính bằng kW chia cho mức tiêu thụ ở trường hợp xấu nhất trong một khoảng thời gian. Do đó, hệ số phụ tải xác định giá điện cung cấp trên một đơn vị năng lượng giao trong khoảng thời

gian đó. Nói cách khác, hệ số phụ tải cho biết lưới điện đang hoạt động hiệu quả như thế nào.

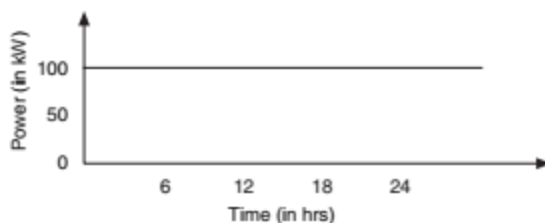
Ví dụ 2.1 Một khu công nghiệp có nhu cầu điện năng không đổi là 100 kW trên một năm tiêu thụ năng lượng. Tính toán hệ số tải của khách hàng trên một năm cung cấp năng lượng cho trang web này.

Giải pháp

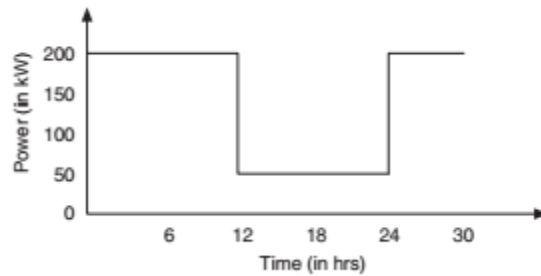
$$\text{Total energy} = 8760 \text{ h/yr} \times 100 \text{ kW} = 876,000 \text{ kWh/yr}$$

Bởi vì nhu cầu điện năng là không đổi, mức trung bình và mức đỉnh là như nhau. Do đó, hệ số tải của khách hàng này là 100%.

Ví dụ 2.2 Một địa điểm thương mại có nhu cầu cao nhất là 200 kW trong 12 giờ một ngày và nhu cầu trung bình còn lại là 50 kW trong ngày. Tính toán hệ số tải của khách hàng trong một năm cung cấp năng lượng cho trang web này. Giải thích chi phí liên quan của việc cung cấp năng lượng cho khu công nghiệp (Ví dụ 2.1) và trang thương mại.



## H2.21. Tải trong 24h ,ví dụ 2.1



**Hình 2.22. Tải trong 24h , ví dụ 2.2**

Giải:

$$\text{The average power} = \frac{\sum \text{power}_i \times \text{time}_i}{\sum \text{time}_i} = \frac{200 \times 12 + 50 \times 12}{12 + 12} = 125 \text{ kW}$$

$$\text{Load factor} = \frac{\text{average power}}{\text{peak power}} = \frac{125}{200} \times 100 = 62.5\%$$

Khi hệ số phụ tải gần bằng một (100%), thì nhà máy phát điện được sử dụng hiệu quả. Giá thành của nguồn cung cấp cho phụ tải sẽ lớn hơn khi hệ số phụ tải thấp. Tại một trang web thương mại có hệ số tải thấp, giá sử trong khoảng 50%, lưới điện sẽ cần thiết bị và tài nguyên lắp đặt nhiều gấp đôi để phục vụ trang web. Hệ số tải thấp hơn có nghĩa là giá phải được điều chỉnh để phục hồi các chi phí phát sinh. Vì khu công nghiệp và khu thương mại sử dụng cùng một lượng kW, cùng một mức giá được tính ở hai trang web. Tuy nhiên, đồng hồ thông minh, kết hợp với định giá theo thời gian thực có thể cung cấp động cơ để điều khiển hiệu quả nhu cầu tải. Người dùng với tư cách là các bên liên quan sẽ được khuyến khích điều khiển phụ tải trong thời gian nhu cầu cao điểm bằng cách thay đổi mức sử dụng vào những thời điểm giá cả có lợi. Hơn nữa, người dùng cuối có kích lệ cao để tham gia bằng cách lắp đặt các nguồn năng lượng xanh tại địa phương như như gió và PV.

### 2.9.1 Hệ số tải và định giá theo thời gian thực

Định giá theo thời gian thực được F. Schweppes<sup>8</sup> giới thiệu vào tháng 7 năm 1978 trong cuộc khủng hoảng năng lượng. Một phân tích đơn giản về chi phí cho nhà cung cấp trên một đơn vị năng lượng giao dịch giải thích mối quan hệ giữa giá thành và việc sử dụng nhà máy. Giá điện theo thời gian thực là một hàm của hệ số phụ tải, nhu cầu phụ tải và sự kiện bất ngờ.

Giá thành đầu tiên là việc sử dụng một nhà máy điện và chi phí vận hành. Để xây dựng một nhà máy lớn, phải giải quyết nhiều vấn đề. Trong một thị trường quy định, các nhà máy lớn mất nhiều năm để xây dựng và nằm ở xa các trung tâm phụ tải; điện năng được truyền theo đường dây dài tải điện. Thông thường, các nhà máy nhiệt điện than được xây dựng gần mỏ than. Từ quan điểm vận hành, việc một nhà máy lớn đột ngột bị mất điện tạo ra một sự thay đổi giá theo thời gian thực ngay lập tức ở thị trường năng lượng do dự trữ thời gian thực địa phương bị giới hạn do chi phí.

Các nhà máy điện nhỏ thường đốt bằng khí đốt; chúng được xây dựng trong một thời gian ngắn và chi phí xây dựng của chúng có thể được ước tính chính xác. Các nhà máy khí đốt có thể được đặt gần các trung tâm phụ tải vì các nhà máy này cần không gian hạn chế. Hơn nữa, khi các nhà máy ở gần các trung tâm phụ tải và năng lượng không cần phải được vận chuyển qua các đường dây truyền tải dài, nên các nhà máy này có tổn thất hệ thống thấp hơn. Những nhà máy này cũng thường có hệ thống bảo mật tốt và nói chung là đáng tin cậy hơn và có ít hậu quả bất lợi hơn khi chúng bị ngắt đột ngột. Những chu trình kết hợp là yêu cầu vì hiệu quả cao của chúng. Sự đồng phát cũng hấp dẫn bởi vì chúng thường có công suất định mức nhỏ hơn. Các nhà máy sử dụng năng lượng tái tạo cũng hấp dẫn vì chi phí vận hành thấp. Do nhiều nguồn năng lượng và giá thành liên quan của chúng, giá thành năng lượng thời gian thực là một biến và cần được xác định như các nguồn năng lượng điện để cung cấp cho các hệ thống tải thay đổi.

Ví dụ 2.3 Giả sử một nhà máy PV công suất 1000 kw được xây dựng với giá 500 đô la trên mỗi kW. Hãy tính giá thành năng lượng trên mỗi kWh cho người dùng cuối trong một năm hoạt động với toàn bộ suất nếu tổng giá thành đầu tư thu hồi được trong 2 năm

khi nhà máy PV hoạt động trung bình 6 giờ một ngày trong 2 năm và chi phí sản xuất không đáng kể.

Giải: Năng lượng tiêu thụ trong 1 năm = tổng công suất X thời gian tính bằng giờ:

$$= 1000 \times 365 \times 6 = 2.190 \text{ MWh}$$

Giả sử giá của một kWh năng lượng là \$x/kWh

$$\text{Vốn đầu tư cost} = \text{capacity} \times \text{cost per unit capacity} = 1000 \times 500 = 500.000$$

Do năng lượng tiêu thụ trong 2 năm là  $2.190 \times 2 = 4380 \text{ MWh}$

$$4.380 \times 10^3 \cdot x = 500.000$$

$$\text{Do đó } x = 500.000 / (4.380 \cdot 10^3) = \$0.1142 \text{ kWh}$$

Giả sử cho chúng tôi giới thiệu giá thành của nhiên liệu, nhân công và bảo hành ở hệ số tải:

$$EUC = VC + \frac{\text{amortized fixed cost}}{LF} \quad (2.12)$$

Trong biểu thức (2.12) số hạng VC là biến chi phí theo với dầu và những chi phí khác của hoạt động nhà máy còn EUC là giá năng lượng đơn vị đo bằng cent trên kWh

Ví dụ 2.4

Giả sử xây dựng một nhà máy khí thiên nhiên công suất 1000 kW với giá 300 đô la cho mỗi kW. Giả sử phí biến đổi, VC, là 2 xu cho mỗi kWh. Thực hiện như sau:

i. Tính chi phí năng lượng điện cho người dùng cuối nếu 100% công suất lắp đặt được sử dụng 24/24 giờ trong hơn 5 năm.

ii) Tính toán chi phí năng lượng điện cho người dùng cuối nếu 100% công suất lắp đặt sử dụng 12 giờ và sử dụng 50% công suất lắp đặt cho phần còn lại của một ngày trong hơn 5 năm.

iii) Vẽ biểu đồ chi phí đơn vị năng lượng so với hệ số tải, LF từ 0 đến 1.

Giải:

$$\text{Vốn đầu tư: cost} = \text{capacity} \times \text{cost per unit capacity} = 1000 \times 300 = \$300.000$$

Năng lượng tiêu thụ trong chu kỳ 5 năm với toàn bộ công

$$\text{suất} = 1000 \times 24 \times 365 \times 5 = 43.800 \text{ MWh}$$

Nếu tổng số tiền này chia cho 5 năm thì vốn khấu hao xác định:

$$\text{cost} = \frac{300.000}{43.800.10^3} = 0.007$$

1. Hệ số tải =1

$$EUC = VC + \frac{\text{amortized fixed cost}}{LF}$$

$$EUC = 0.02 + \frac{0.007}{1} = \$0.027/\text{kWh}$$

ii).

$$\begin{aligned} \text{The average power} &= \frac{\sum \text{power}_i \times \text{time}_i}{\sum \text{time}_i} \\ &= \frac{1000 \times 1 \times 12 + 1000 \times 0.5 \times 12}{12 + 12} = 750 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Load factor} = \frac{\text{average power}}{\text{peak power}} = \frac{750}{1000} \times 100 = 75\%$$

$$EUC = 0.02 + \frac{0.007}{0.75} = \$0.029 \text{ kWh}$$

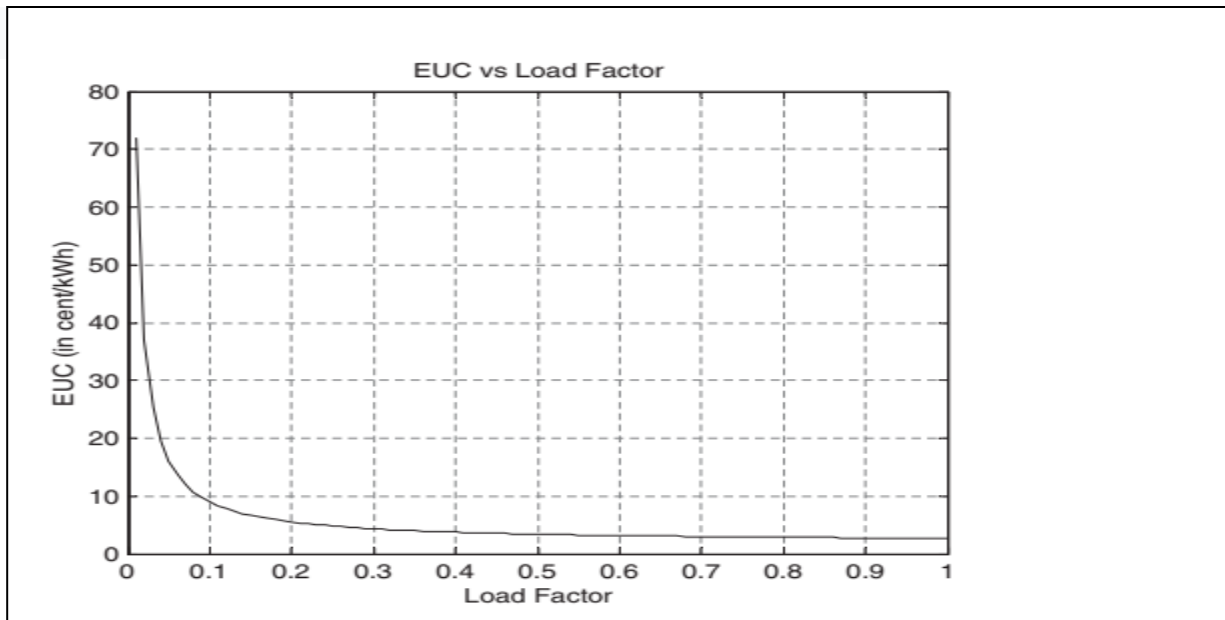
iii) Dùng Matlab để tính và vẽ.

## CHƯƠNG 3 : ĐIỀU KHIỂN LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH

### 3.1. Lưới thông minh điều khiển không gian mạng

Một lưới điện thông minh được điều khiển không gian mạng gồm nhiều trạm phát điện phân tán ở dạng microgrid. Các microgrids kết hợp điều khiển thông minh để thiết bị trong thiết kế, vận hành và giao tiếp của nó.





**Hình 3.23 chi phí tính bằng xu trên mỗi kwh như một hàm của hệ số tải**

Điều này cho phép người dùng năng lượng cuối và các vi lưới phục vụ chúng để điều khiển sử dụng năng lượng tốt hơn. Các thiết bị thông minh như tủ lạnh, máy giặt, máy rửa bát, và có thể tắt lò vi sóng nếu người dùng cuối chọn giảm sử dụng năng lượng. Điều này được thực hiện bằng cách kết nối các thiết bị thông minh với hệ thống quản lý năng lượng trong tòa nhà thông minh. Công nghệ này sẽ cho phép người dùng năng lượng cuối để điều khiển chi phí năng lượng của họ. Khả năng thông tin nâng cao kết hợp với đo lường thông minh và thiết bị thông minh cho phép người dùng năng lượng cuối với các công cụ để tận dụng giá điện theo thời gian thực hiện đại và khuyến khích điều khiển tải. Hơn nữa, việc giảm tải khẩn cấp có thể đạt được bằng cách tắt hàng triệu máy điều hòa không khí trên cơ sở luân phiên một vài phút. Với định giá theo thời gian thực, người dùng năng lượng cuối sẽ được khuyến khích cao để trở thành nhà sản xuất năng lượng và lắp đặt các nguồn năng lượng xanh. Khi giá theo thời gian thực được giữ, các đơn vị thương mại và công nghiệp dự kiến sẽ tạo ra năng lượng của riêng họ và bán điện năng bổ sung của họ trở lại lưới điện.

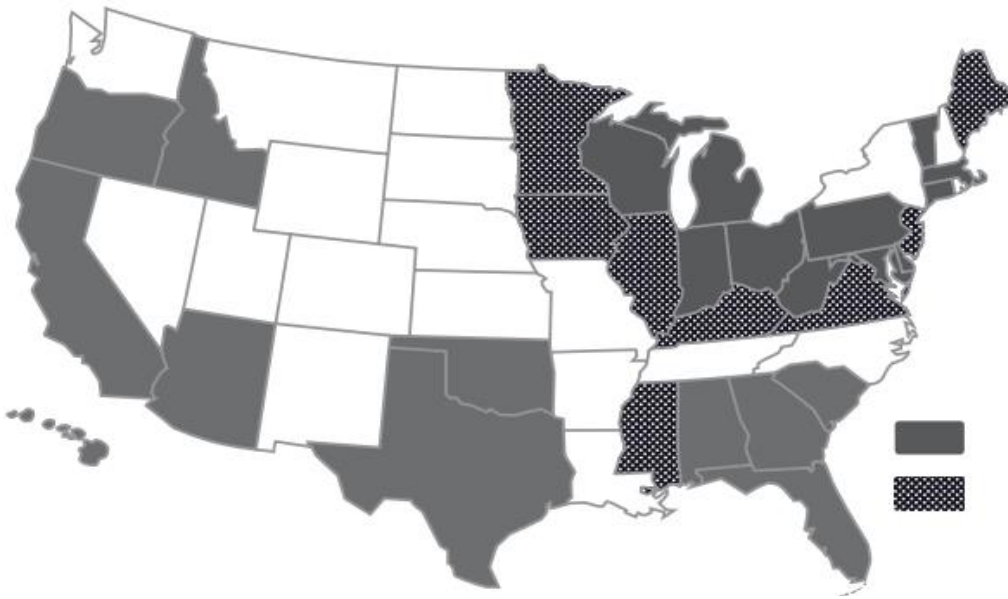
Công nghệ lưới điện thông minh điều khiển không gian mạng có ba yếu tố quan trọng: các công cụ đo lường và cảm biến, một bộ biến đổi thông minh và một tích hợp hệ thống thông tin liên lạc.

Các phần tử này giám sát trạng thái của hệ thống điện bằng cách đo dòng điện, điện áp cấp, cường độ và góc pha bằng công nghệ đo lường và ước tính của trạng thái. Công nghệ dựa trên công nghệ kỹ thuật số tiên tiến như vi điều khiển / tín hiệu kỹ thuật số. Công nghệ kỹ thuật số tạo điều kiện cho các hệ thống giám sát diện rộng, thời gian thực đánh giá dòng và giám sát nhiệt độ kết hợp với hệ thống nhiệt thời gian thực định mức. Đầu dò (Transducers) là cảm biến và các động cơ thực hiện đóng vai trò trung tâm trong tự động thu thập dữ liệu vi lưới và giám sát hệ thống điện lưới thông minh. Một đầu dò thông minh là một thiết bị kết hợp cảm biến kỹ thuật số, bộ xử lý, và một giao kết nối thông tin. Bộ chuyển đổi hoặc bộ điều khiển thông minh nhận các lệnh được chuẩn hóa và thu thập tín hiệu điều khiển. Bộ chuyển đổi hoặc bộ điều khiển thông minh cũng có thể triển khai cục bộ hành động điều khiển dựa trên phản hồi tại giao diện bộ chuyển đổi. Việc sử dụng các đầu dò thông minh giá rẻ ngày càng tăng, trong các hệ thống điều khiển nhúng trong giám sát và điều khiển lưới điện thông minh.

Giao tiếp theo thời gian thực, hai chiều đang cho phép một mô hình mới trong hệ thống lưới điện thông minh. Nó cho phép người dùng cuối cài đặt các nguồn năng lượng xanh và để bán năng lượng trở lại lưới điện thông qua mạng đo lường. Khách hàng có thể ký cho các lớp dịch vụ khác nhau. Đồng hồ thông minh tạo điều kiện giao tiếp giữa các khách hàng bằng cách cung cấp giá thực của nhà cung cấp. Khách hàng có thể theo dõi việc sử dụng năng lượng thông qua tài khoản Internet, nơi có giá năng lượng dự kiến có thể được công bố trước một ngày cho mục đích lập kế hoạch và giá năng lượng theo thời gian thực có thể được cung cấp cho người dùng cuối để họ có thể tiết kiệm bằng thực hiện cắt giảm việc sử dụng năng lượng của họ khi hệ thống năng lượng đang bị căng thẳng.

Một đồng hồ thông minh cho phép người vận hành hệ thống điều khiển tải của hệ thống. Điều khiển tải cuối cùng cung cấp thị trường mới cho hệ thống phát địa phương dưới dạng các nguồn năng lượng xanh tái tạo. Với việc lắp đặt đồng hồ thông minh (tức là một mạng hệ thống đo lường), người dùng cuối có thể sản xuất năng lượng điện của riêng họ từ các nguồn tái tạo và bán thêm năng lượng cho lưới điện địa phương. Khi nhiều khách hàng hơn sử dụng hệ thống đo đếm thực, một sự thay đổi đáng kể sẽ dẫn đến nhu cầu năng lượng.

Mối quan tâm về dân cư, thương mại và công nghiệp sẽ lắp đặt các hệ thống PV, sử dụng trang trại gió và các công nghệ vi sinh và lưu trữ năng lượng với tư cách là các nhà sản xuất điện độc lập. Quản lý hệ thống năng lượng các tòa nhà thông minh với các nguồn năng lượng tái tạo và CHP của riêng chúng có khả năng là xu hướng của tương lai. Với việc lắp đặt một hệ thống mạng đo đếm tiên tiến, mọi nút của hệ thống sẽ có thể mua và bán năng lượng điện. Việc sử dụng giá thời gian thực sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho việc điều khiển tần suất và giới hạn sai lệch trong hệ thống điện lưới thông minh. Trong trường hợp lưới hoạt động khẩn cấp, việc định giá theo thời gian thực sẽ cung cấp tín hiệu phản hồi làm cơ sở một chính sách giảm tải hoặc giảm tải kinh tế để hỗ trợ việc điều khiển ổn định trực tiếp cho một lưới điện thông minh. Định giá theo thời gian thực có thể được tích hợp với đáp ứng nhu cầu phù hợp với nhu cầu tải của hệ thống và tạo ra trong thời gian thực. Điều này sẽ tạo điều kiện điều phối nhu cầu để làm phẳng đặc tính tải tránh sự thay đổi đột ngột trong sử dụng năng lượng. Nếu nhu cầu tăng đột ngột không được đáp ứng, nó sẽ dẫn đến sự sụp đổ theo tầng của mạng lưới điện. Trong điều khiển đáp ứng nhu cầu, những đột biến này có thể được loại bỏ mà không cần chi phí thêm máy phát điện dự trữ 'sự cố'. Nó cũng sẽ giảm bảo dưỡng và kéo dài tuổi thọ của thiết bị. Người sử dụng năng lượng có thể giảm hóa đơn năng lượng bằng cách sử dụng đồng hồ thông minh của họ để lập trình và vận hành - chỉ ưu tiên thiết bị gia dụng khi năng lượng ở mức rẻ nhất.

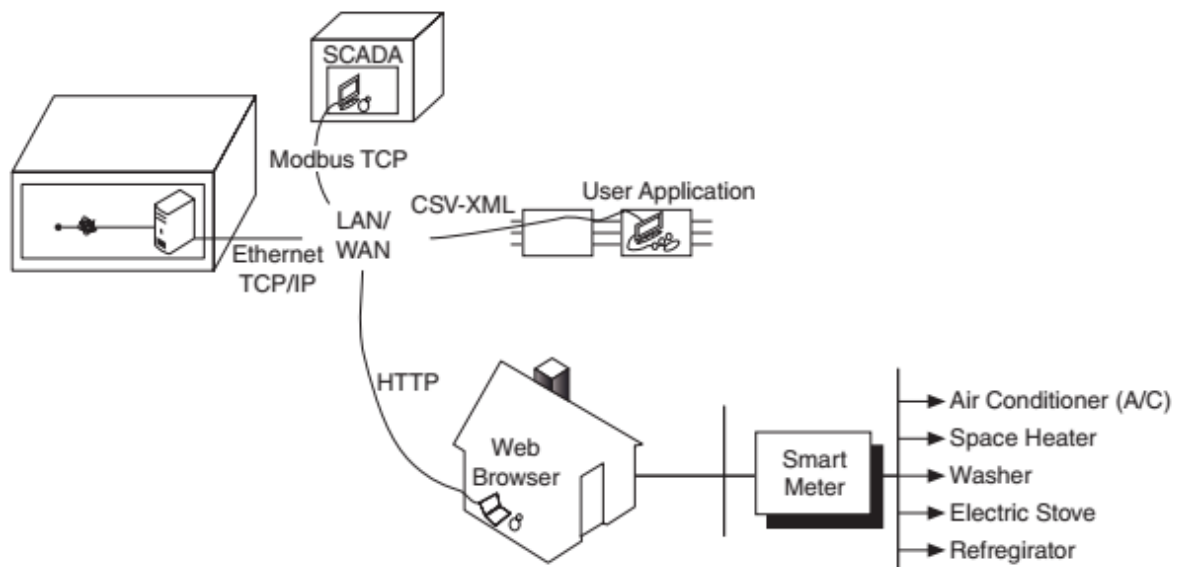


**H3.24. Bản đồ trên đại diện cho các triển khai đồng hồ đo thông minh . Các triển khai dự kiến và các triển khai được đề xuất bởi các đơn vị không thuộc sở hữu của nhà đầu tư và một số công ty tiện ích điện công cộng**

Hình 2.24 cho thấy trạng thái cài đặt mạng đo thông minh ở Hoa Kỳ Kỳ tính đến tháng 4 năm 2009. Hình 2.17 mô tả hệ thống MRG. Quản lý năng lượng của hệ thống MRG hệ thống cố vấn (EMS) giao tiếp với đồng hồ thông minh riêng lẻ được đặt tại khu dân cư, thương mại và khách hàng công nghiệp. Điều khiển đồng hồ phụ tải thông minh, chẳng hạn như hệ thống điều hòa không khí, các thiết bị công nghiệp mắc nối tiếp, máy nước nóng điện, máy sưởi không gian điện, tủ lạnh, máy giặt và máy sấy sử dụng Ethernet TCP / Cảm biến IP, bộ chuyển đổi và giao thức truyền thông, như trong Hình 2.25. Nút thông minh của EMS của hệ thống MRG nhận thông tin về trạng thái của tải được kết nối từ đồng hồ thông minh cục bộ. EMS của Hệ thống MRG điều khiển các tải khác nhau của khách hàng, dựa trên định giá theo tín hiệu thời gian thực và tín hiệu lưới điện bình thường, cảnh báo hoặc khẩn cấp . Nói chung, EMS nhận thông tin từ lưới điện và hệ thống truy cập mở thông tin (OASIS) . Dựa trên giá thời gian thực, đồng hồ thông minh được lập trình để điều khiển tải trên các trang web của khách hàng. Việc

điều khiển tải trọng của EMS phụ thuộc dựa trên các tín hiệu đầu vào từ EMS của nó và hợp đồng đã được thiết lập trước của khách hàng . EMS của vi lưới MRG có khả năng để rời khách phụ tải và đáp ứng các điều kiện vận hành lưới điện tại địa phương.

Hệ thống lưới điện thông minh gồm nguồn năng lượng xanh với các bộ biến đổi điện tử, biến áp hiệu suất cao và hệ thống tích năng lượng.



### Hình 3.25. Bộ cảm biến Ethernet TCP/IP , bộ chuyển đổi và giao thức để kiểm soát tải.

## 3.2. PHÁT TRIỂN LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH

Sự nóng lên toàn cầu và tác động đến môi trường của các nguồn điện sử dụng than đang thay đổi thiết kế và vận hành lưới điện. Ngành công nghiệp trải qua một quá trình chuyển đổi dần dần sẽ có ảnh hưởng lâu dài đến phát triển cơ sở hạ tầng để tạo năng lượng, truyền tải và phân phối năng lượng. Thay đổi cơ bản này sẽ kết hợp nguồn năng lượng xanh tái tạo trong một chương trình phát điện phân tán mới dựa trên mức độ tăng của giám sát phân tán, tự động hóa và điều khiển cũng như các cảm biến mới. Điều khiển lưới năng lượng dựa trên dữ liệu và thông tin thu thập được trên mỗi microgrid để điều khiển phi tập trung. Đổi lại, các vilưới và nguồn điện được kết nối với nhau, lưới điện sẽ hoạt động như một nguồn năng lượng đáng tin cậy, hiệu quả và nhà cung cấp an toàn hơn. Công nghệ lưới điện và lưới điện siêu nhỏ có một số điểm quan trọng . Các biện pháp điều khiển phi tập trung tự chủ và thích nghi đáp ứng với điều kiện thay đổi. Các thuật toán dự báo nắm bắt trạng thái lưới điện (đo pha) cho một khu vực rộng và có khả năng xác định các nguy cơ mất điện. Các hệ thống cũng cung cấp cấu trúc thị trường để định giá và tương tác theo thời gian thực giữa khách hàng, mạng lưới và thị trường điện. Hơn nữa, lưới thông minh cung cấp một nền tảng để tối đa hóa độ tin cậy, tính khả dụng, hiệu quả kinh tế và bảo mật cao hơn khỏi cuộc tấn công và xảy ra ngắt điện tự nhiên.

Bảng 2.2. So sánh lưới điện hiện tại và lưới điện thông minh

	Lưới hiện tại	Lưới thông minh
Hệ thống	Giới hạn công suất	Mở rộng, thời gian thực
Thông tin liên lạc	Công ty	
Quan hệ với người sử dụng	Giới hạn đến một cộng đồng người sử dụng lớn	Mở rộng theo 2 con đường liên lạc
Hoạt động và bảo dưỡng	Thủ công và rời rạc	Giám sát phân tán và dự

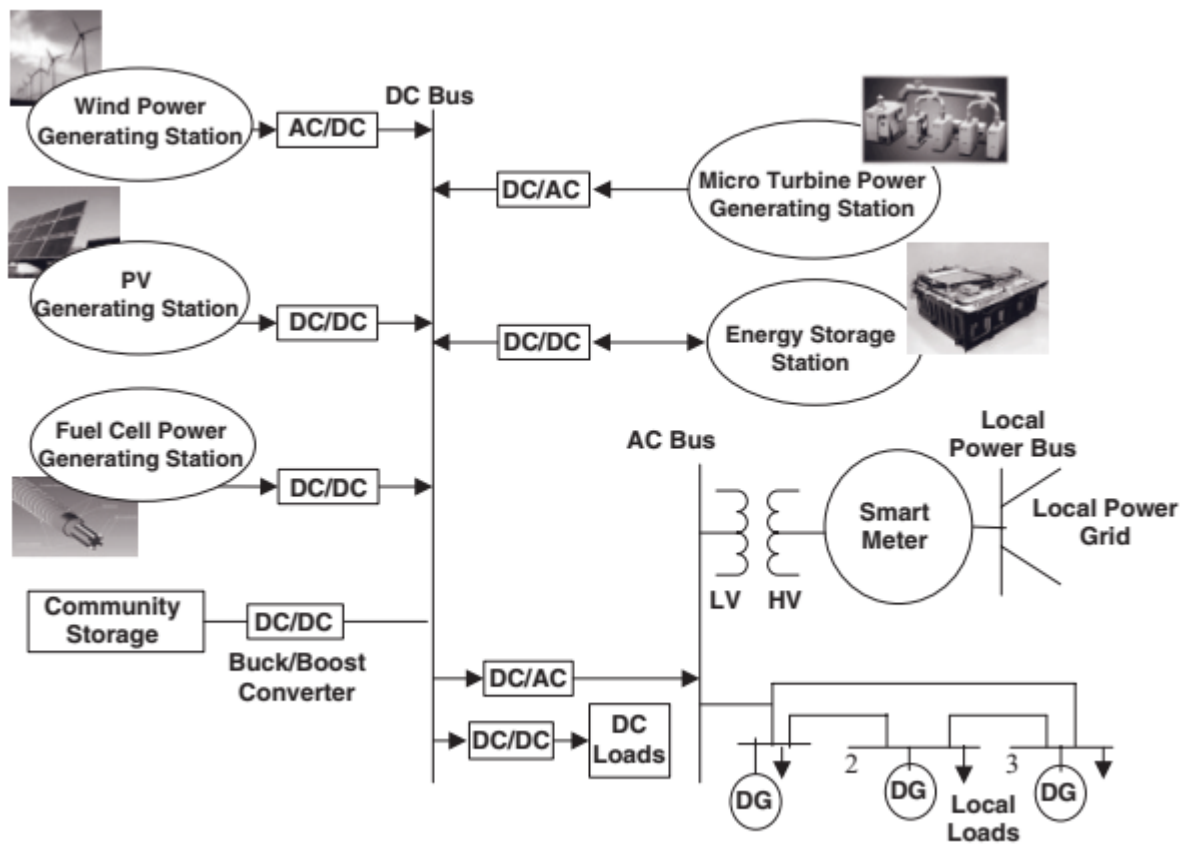
		đoán, dự báo
Phát điện	Tập trung	Phân tán và tích hợp nguồn năng lượng tái tạo, nguồn lưu trữ điện năng
Điều khiển dòng năng lượng	Giới hạn	Mở rộng nhiều
Độ tin cậy	Dựa trên thống kê, mô hình và mô phỏng ngoại tuyến	Tích cực, thời gian thực, hệ thống dữ liệu thực tế nhiều hơn
Khôi phục	Thủ công	Điều khiển phân tán
Cấu trúc	Bán kính	Điều khiển lưới điện phi tập trung

Việc triển khai cơ sở hạ tầng đo lường tiên tiến cung cấp - định giá thời gian thực cho người sử dụng năng lượng cuối cùng. Song song với nó, sự thâm nhập của các nguồn năng lượng đang cung cấp một nền tảng để điều khiển tự trị hoặc điều khiển cục bộ của các microgrid kết nối với lưới điện địa phương. Một điều khiển phân phối tự trị sẽ cung cấp độ tin cậy thông qua phát hiện sự cố, cô lập và khôi phục. Điều khiển cô lập và định giá theo thời gian thực cũng mang lại hiệu quả trong các fidor cung cấp điện áp giảm thiểu tổn thất các fidor và giảm đỉnh của fidor cho ô tô điện có dây nạp điện. Công nghệ lưu trữ trưởng thành sẽ cung cấp các bộ lưu trữ năng lượng tổng hợp, trở thành một yếu tố quan trọng khác cho điều khiển microgrid và cho phép người sử dụng năng lượng trở thành nhà sản xuất năng lượng. Các công nghệ có liên quan với nhau này yêu cầu một mô hình, mô phỏng phối hợp, và hệ thống phân tích để đạt được các lợi ích của lưới điện thông minh.

### 3.3. HỆ THỐNG VI LƯỚI NĂNG LƯỢNG XANH TÁI TẠO THÔNG MINH



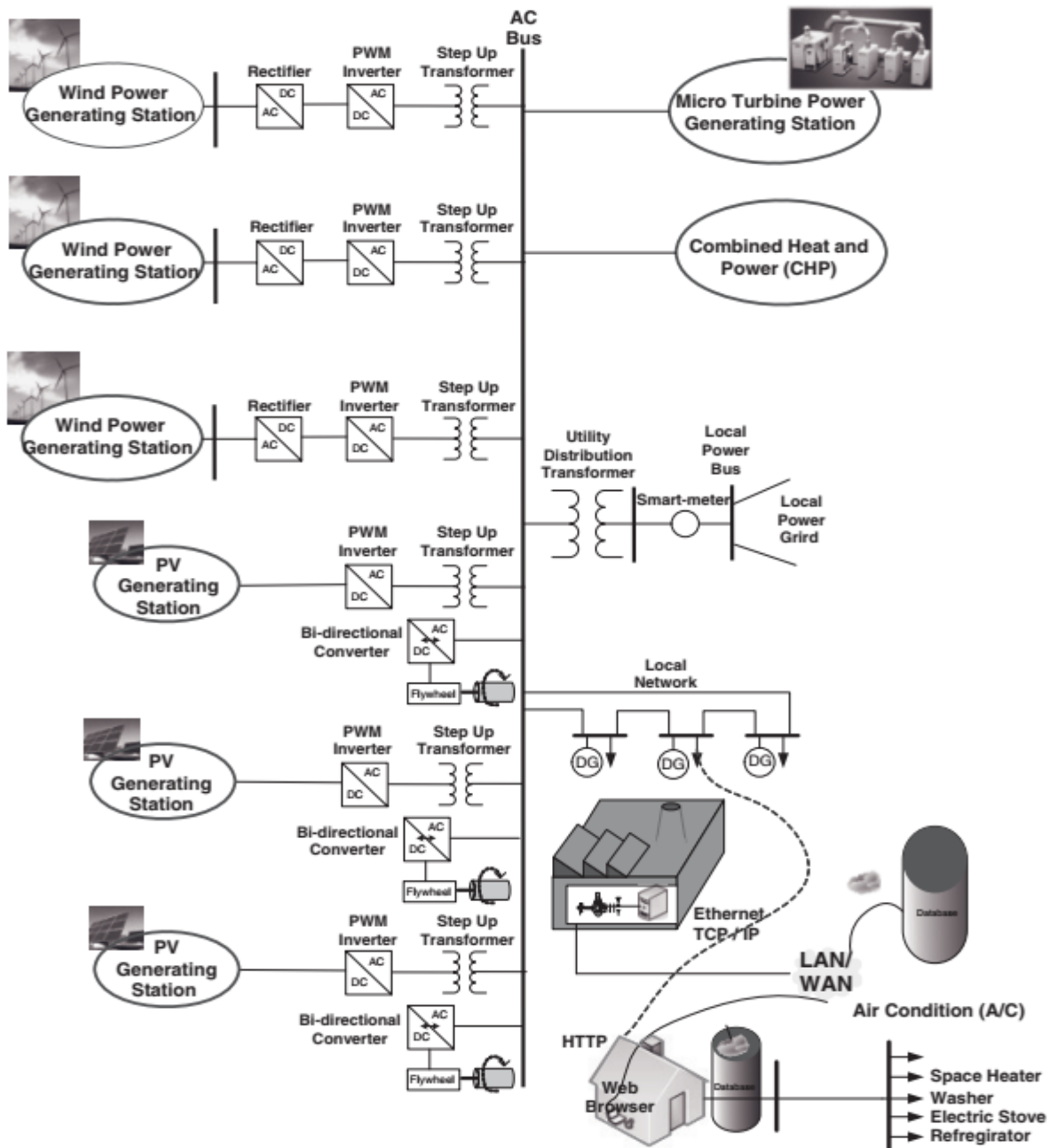
Hình 2.26 và 2.27 trình bày kiến trúc DC và AC của hệ thống MRG. Các hệ thống MRG(MICROGRID RENEWABLE GREEN) cũng sẽ bao gồm các hệ thống điều khiển thông tin mạng gồm cảm biến thông minh để kiểm tra, điều khiển, bám thông thường, cảnh báo, tình trạng khẩn cấp và phục hồi của hệ thống. Các đồng hồ đo thông minh của hệ thống MRG được kết nối với một lưới điện lớn (xem Hình 2.17). Hệ thống MRG cũng được thiết kế để cung cấp trình quản lý tối ưu hóa lưới điện thông minh sẽ cho phép điều khiển nhiều tải của khách hàng dựa trên tín hiệu giá cả và áp lực lưới. Các thiết bị đo lường điều khiển thông minh đặt tại các vị trí của khách hàng bằng cách thay đổi cách sử dụng điện năng của họ. Máy đo thông minh có khả năng giảm tải khách hàng và cho phép phân tán nguồn phát trực tuyến, khi giá điện cao hơn một mức quy định.





### **Hình 3.26. Kiến trúc DC của hệ thống tạo phân tán năng lượng xanh tái tạo Microgrid(MRG) (DG)**

Hệ thống EMS có liên lạc hai chiều với các đồng hồ thông minh dưới sự điều khiển của nó. EMS của một microgrid nhận trạng thái và tín hiệu nguồn từ tất cả các mô-đun (tải và các nguồn phát). EMS có thể điều khiển dòng điện vào và ra của hệ thống lưới điện siêu nhỏ từ lưới điện địa phương chủ của nó dựa trên các biến như dự báo thời tiết, dự báo phụ tải, tính sẵn sàng của đơn vị và doanh số các giao dịch bán điện. Các hệ thống MRG cung cấp một mô hình mới để xác định hoạt động của nguồn phát phân tán (DG). Hệ thống MRG được thiết kế dưới dạng các cụm tải và các nguồn, hoạt động như một hệ thống có thể điều khiển riêng. Đối với lưới điện địa phương, cụm này trở thành một tải có thể phát riêng, có thể đáp ứng bằng giây. Điểm kết nối trong mạng vi lưới thông minh được thể hiện bằng một nút nơi lưới điện nhỏ được kết nối với lưới điện địa phương, như trong Hình 2.26 và 2.27. Nút này được gọi là định giá biên địa phương (LMP), trong đó giá thành của nút (chi phí) đại diện cho giá trị địa phương của năng lượng. Lưới điện (các thực thể phục vụ năng lượng) cố gắng cấp nguồn năng lượng điện đáng tin cậy cho người sử dụng năng lượng. Lợi ích tối đa đòi hỏi chi phí thấp, cung cấp đủ, và hoạt động ổn định. Các kiến trúc được hiển thị trong Hình. 2.26 và 2.27 quan tâm đến công nghệ lưới điện thông minh vì chúng tạo điều kiện cho “phích cắm và hoạt động”. Trong những kiến trúc này, các nguồn năng lượng xanh, chẳng hạn như nhiên liệu tế bào, tuabin nhỏ hoặc các nguồn tái tạo, chẳng hạn như các trạm tạo PV và các trang trại gió, có thể được kết nối với cấp DC hoặc cấp AC, sử dụng một bộ biến đổi duy nhất có thể đổi chỗ cho nhau.



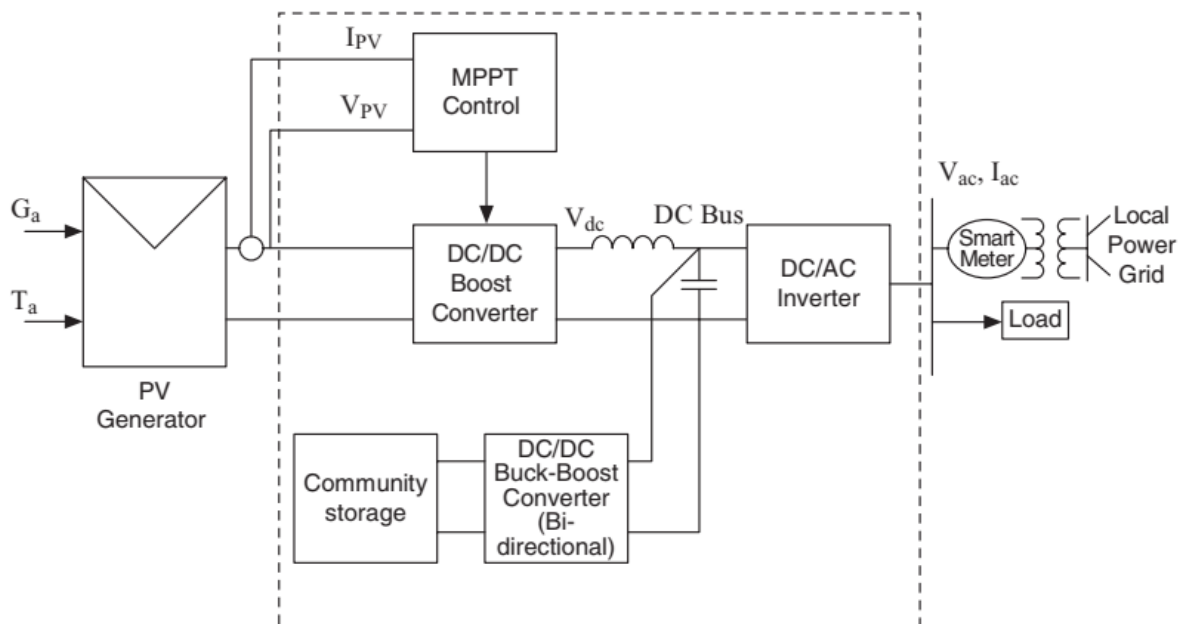
H3.27 . Kiến trúc AC của hệ thống thể hệ phân tán (DG) Microgrid tái tạo cây xanh (MRO)

Hệ thống MRG phải hoạt động theo hai phương thức vận hành:

- (1) vận hành đồng bộ với hệ thống lưới điện địa phương.
- (2) ở chế độ hoạt động đảo, khi mất nguồn hệ thống lưới điện.

Trong chế độ hoạt động đảo, MRG hoạt động như một microgrid độc lập điều khiển tần số và điện áp cấp của nó. Khi một MRG hệ thống được kết nối với lưới điện, hệ thống MRG hoạt động bằng cách sử dụng công nghệ điều khiển chủ tớ. Master được gọi là EMS của lưới điện địa phương và là MRG microgrid. Nếu hệ thống MRG bất ngờ tách khỏi lưới điện địa phương và sự ổn định của MRG phải được duy trì, sau đó bộ điều khiển tớ đảm nhận LFC và điều khiển điện áp. Đối với hệ thống MRG có công suất điện lớn, có thỏa thuận mua bán giữa lưới điện và hệ thống MRG, liên quan đến truyền tải công suất phản kháng và tác dụng. Hệ thống MRG có thể điều khiển tải của nó và chấp nhận "tín hiệu giá" và / hoặc "tín hiệu vận hành khẩn cấp" từ lưới điện địa phương để điều chỉnh và phát công suất phản kháng. Hệ thống MRG có phần cứng để xả tải đáp ứng với tín hiệu giá và nó có thể xoay các tải không cần thiết để giữ tải quan trọng. Tuy nhiên, do sự cố lưới điện địa phương không thể dự đoán được với công nghệ hiện tại, rất có thể xảy ra khi mất lưới điện địa phương mà hệ thống MRG sẽ không bị ngắt nhanh chóng khỏi lưới điện địa phương; do đó, sự ổn định của hệ thống MRG sẽ không được duy trì. Nghiên cứu tương lai trong không gian mạng - giám sát và điều khiển hệ thống MRG đang được tiến hành để cung cấp các mô hình dự báo để theo dõi trạng thái trong hệ thống và cung cấp công nghệ điều khiển phân tán thông minh. Trong hình 3.26 và 3.27, EMS điều khiển điện áp cấp vô cực ( $U_{\infty}$ ) và tần số hệ thống. Bộ điều khiển slave điều khiển điện áp cấp AC của biến tần và dòng biến tần. Do đó, bộ điều khiển slave của biến tần hệ thống MRG phải có khả năng điều khiển công suất tác dụng và phản kháng, có hệ số công suất vượt trước hoặc chậm sau, hoặc hoạt động ở hệ số công suất bằng 1. Trong các hệ thống năng lượng tái tạo nhỏ, biến tần được điều khiển ở hệ số công suất bằng 1, và nó sẽ thôi điều khiển điện áp, tức là, điều khiển công suất phản kháng (VAr), đối với EMS của lưới điện địa phương.

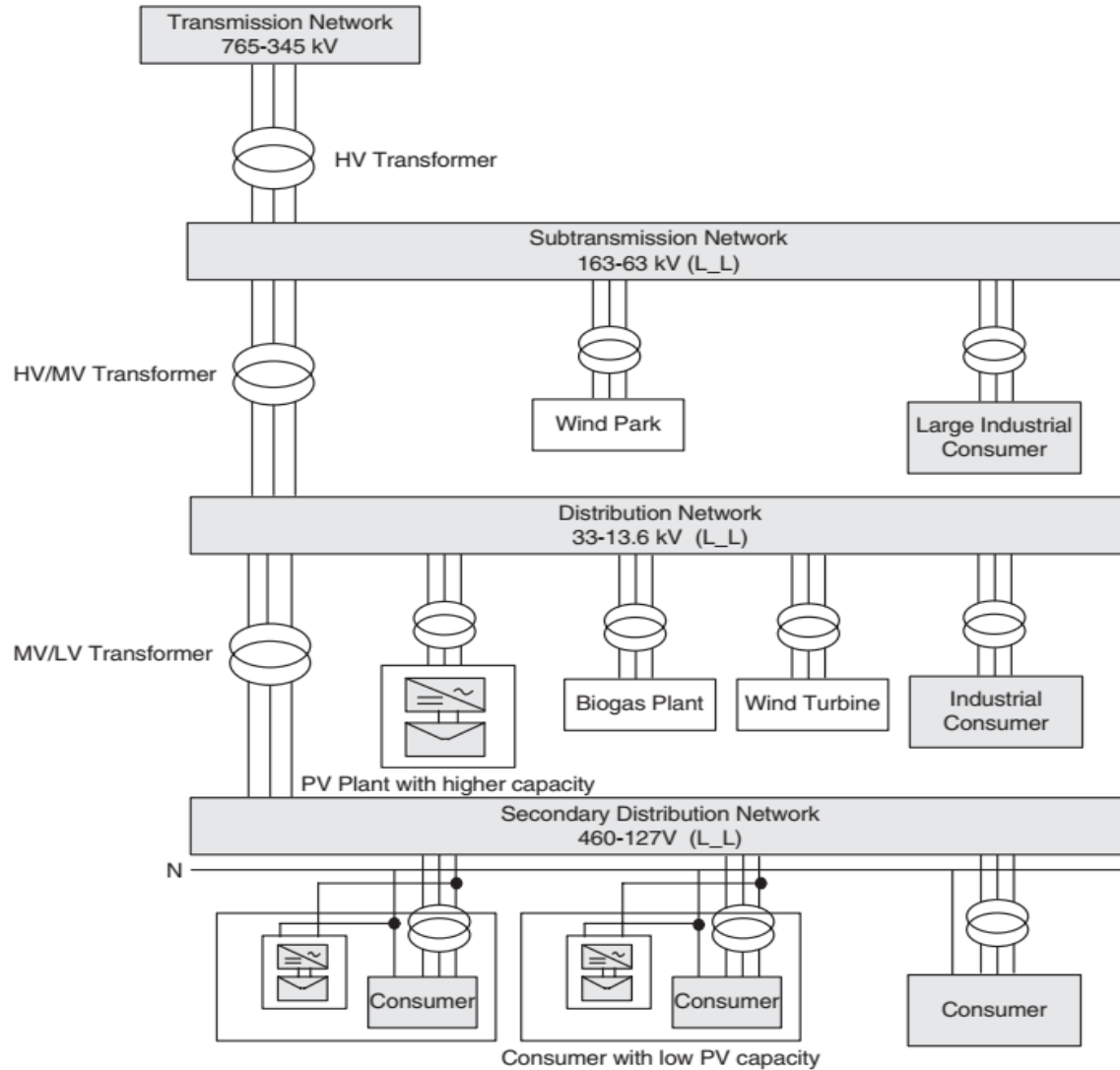
Hệ thống MRG trong Hình 3.26 và Hình 3.27 có một số nguồn phát phân tán như trạm điện gió và trạm phát điện PV. Công suất của hệ thống này nằm trong khoảng 1 - 10 MW. Chúng ta sử dụng máy biến áp bậc để nâng điện áp xoay chiều nhằm giảm tổn hao công suất. Tùy thuộc vào kích thước của máy phát điện phân tán (DG), chúng ta sẽ nâng cấp điện áp đến dải 34,5 kV - 69 kV, trước khi đưa vào mạng lưới điện địa phương. Như thể hiện trong Hình 3.28, hệ thống lưu trữ tạo điều kiện cho lưu trữ năng lượng tái tạo. Năng lượng tích trữ có thể được sử dụng khi một tải dao động trong chu kỳ tải hàng ngày là 24 giờ. Bởi vì đầu tư vào phát triển lưới điện khá cao và quá trình xây dựng mất nhiều năm, hệ thống điện được lên kế hoạch trước nhiều năm. Tuy nhiên, nếu nguồn năng lượng tái tạo xanh được cài đặt trong hệ thống phân phối, thời gian vượt trước là một vài tháng đến một vài năm tùy thuộc vào quy mô của các cơ sở sẽ được lắp đặt. Hệ thống MRG dân dụng được mô tả trong Hình 3.28 bao gồm các quang điện trên mái nhà với công suất trong khoảng 5 - 25 kVA tùy thuộc vào loại diện tích bề mặt mái có sẵn. Một bộ chuyển đổi nâng áp DC / DC được sử dụng để tăng điện áp của cáp DC. Hệ thống bám điểm năng lượng tối đa (MPPT) được thiết kế để bám và vận hành nguồn phát điện PV tại điểm công suất lớn nhất. Bộ nghịch lưu DC / AC chuyển đổi điện áp DC thành điện áp AC ở tần số hoạt động và điện áp dân dụng danh định. Hệ thống MRG của Hình 3.28 là đầu nối vào lưới điện địa phương bằng cách nâng điện áp lên điện áp phân phối cục bộ. Hệ thống MRG cũng có thể lưu trữ nguồn DC trong ngày để sử dụng vào ban đêm.



**Hình 3.28. Hệ thống năng lượng xanh tái tạo Microgrid cho khu dân cư (MRG) với hệ thống lưu trữ cục bộ .**

Hình 3.27 mô tả quá trình bơm năng lượng điện vào mạng ở tất cả các cấp điện áp trong hệ thống lưới điện liên kết. Các nút bơm này là một phần của hệ thống MRG của lưới điện thông minh được điều khiển bằng không gian mạng như thể hiện trong Hình 3.17. Tải trọng nằm dưới sự điều khiển của đồng hồ thông minh. Do đó, mọi nút trong lưới điện điều khiển trên mạng rất nhạy cảm về giá. Sự thâm nhập cao của các nguồn năng lượng tái tạo có thể được đặt ở tất cả các mức điện áp như trong Hình 3.29. Nhiều tiểu bang đã bắt buộc sử dụng năng lượng tái tạo. Nó yêu cầu các lưới do nhà đầu tư sở hữu phải có được 25% điện từ các nguồn năng lượng tái tạo và năng lượng tiên tiến vào năm 2025. Trong một số tiểu bang, 0,5% dành riêng đã được đưa vào cho các nguồn năng lượng PV mặt trời. Đã phạt 450 đô la mỗi MWh vì không tuân thủ các tiêu chuẩn năng lượng mặt trời và 45 đô la mỗi MWh vì không tuân thủ các tiêu chuẩn khác bất

đầu vào năm 2009. Chuẩn này có thể được đáp ứng bằng cách mua các khoản tín dụng năng lượng tái tạo (REC-renewable energy credits) bằng 1 MWh năng lượng tái tạo. Người mua sản phẩm có thể bán REC vào thị trường REC. Giá trị hiện tại (năm 2011) của chúng là khoảng \$37,50. Dự kiến, RECs năng lượng mặt trời có thể sẽ bán ở mức cao hơn nhiều. Có một số lợi thế đối với hệ thống MRG thông minh. Nó trao quyền cho cá nhân để cung cấp nhu cầu năng lượng của riêng mình. Sự tham gia của người dùng năng lượng cuối được gọi là “dân chủ hóa năng lượng”. Điều này cho phép phù hợp đặc tính của tải với máy phát điện của chúng. Điều này làm cho những loại microgrids độc lập với sự cố mất điện lưới liên kết. Công nghệ thông minh MRG có khả năng xác định một vấn đề ổn định tiềm ẩn. Thông tin thời gian thực cho phép các hệ thống MRG tự tách biệt khỏi lưới điện liên kết và hoạt động như một “hòn đảo.” Trong quá trình vận hành đồng bộ bình thường, lưới điện thông minh được kết nối với nhau với chức năng giám sát thông minh về nguồn điện lưới có thể điều khiển và quản lý lưới điện được kết nối với nhau để điều khiển tải hệ thống và tránh mất điện toàn hệ thống. Khi một microgrid DG thông minh được kết nối với lưới điện, thì trạm phát DG vi lưới thông minh sẽ hoạt động bằng công nghệ điều khiển chủ tớ. Chủ là EMS của hệ thống lưới điện. EMS điều khiển điện áp cấp vô cực đặt tại nút kết nối của một microgrid vào lưới điện địa phương của nó. Trong hình 3.27, lưới điện thông minh DG được kết nối với nguồn điện hệ thống lưới điện bằng máy biến áp. Bộ điều khiển phụ điều khiển điện áp cấp AC của biến tần microgrid (cường độ điện áp bus và góc pha) và dòng điện biến tần. Do đó, bộ điều khiển phụ của biến tần DG microgrid cũng điều khiển công suất tác dụng và phản kháng. Biến tần microgrid được thiết kế để hoạt động với hệ số công suất bằng 1 và để điều khiển điện áp, nghĩa là, điều khiển công suất phản kháng (VAr), đến EMS của hệ thống lưới điện. Hoặc là biến tần của DG hoạt động với hệ số công suất vượt trước hoặc hệ số công suất chậm. Khi lưới điện thông minh đột ngột bị tách khỏi lưới điện địa phương, sự ổn định của hệ thống được duy trì, sau đó bộ điều khiển slave sẽ tiếp quản LFC và điều khiển điện áp.



**H 3.29. Một lưới điện thông minh với khả năng thâm nhập cao của nguồn năng lượng tái tạo.**

Từ “thông minh” đề cập đến yêu cầu rằng một microgrid điều khiển tải và nó chấp nhận "tín hiệu giá" và / hoặc "hoạt động tín hiệu khẩn cấp" từ lưới điện địa phương để điều chỉnh phát công suất phản kháng và tác dụng. Các thiết kế khác cũng có thể thực hiện



được chẳng hạn như mạng đo lường thông tin thông minh giữa EMS của lưới điện địa phương và EMS của lưới điện hệ thống nhỏ. Các microgrid thông minh nên có phần cứng để giảm tải, để phản ứng với tín hiệu giá hoặc để xoay các tải không cần thiết và cung cấp tải trọng điểm. Tuy nhiên, do sự rối loạn trong hệ thống lưới điện không thể dự đoán được, hệ thống vi lưới DG phải được thiết kế để nhanh chóng ngắt kết nối khỏi hệ thống lưới điện của nó để duy trì sự ổn định của lưới điện nhỏ DG (distributed generation). Để đảm bảo hoạt động ổn định, hệ thống lưu trữ của microgrid, với biến tần của nó, phải có thể tham gia vào thị trường phụ trợ. Cấu tạo của Hình 2.27 quan tâm đến công nghệ phát phân tán vì nó tạo điều kiện cho khả năng dùng ổ cắm và hoạt động (chạy). Trong kiến trúc này, các nguồn năng lượng xanh, chẳng hạn như pin nhiên liệu, microturbines hoặc các nguồn tái tạo. Các trạm PV và trang trại gió, có thể được kết nối với một cáp DC, sử dụng các bộ chuyển đổi giống nhau có thể đổi chỗ cho nhau. Kiến trúc của Hình 2.27 đáp ứng Luật “Danh mục đầu tư có thể tái tạo” đã được nhiều bang bắt buộc thực hiện. Cấu trúc cho phép bán và mua năng lượng đến và đi từ các lưới địa phương. Lưu ý rằng microgrid có thể đưa ra giá theo thời gian thực hoặc dựa trên biểu giá hợp đồng bằng cách hỗ trợ điều khiển tải thông qua đồng hồ thông minh được điều khiển trên mạng hoặc hệ thống đo lường, nếu khách hàng có nguồn phát cục bộ tại trang web của khách hàng để điều khiển tải trọng. Đồng hồ thông minh và điều khiển không gian mạng của nó cũng được trình bày trong Hình 2.27. Ngoài ra, microgrid có thể tham gia vào việc điều khiển hệ thống ở mức công suất lớn, thông qua đo lường thông minh của riêng chúng được nối với nguồn điện cục bộ EMS. Hệ thống microgrid DG được thiết kế để khi tách khỏi lưới điện địa phương, hệ thống DG vi lưới được khôi phục bằng cách loại bỏ tải nếu có sự thiếu hụt phát, vì vậy microgrid cục bộ có thể trở lại hoạt động bình thường. Vấn đề ổn định này là một chức năng mạnh mẽ của hệ thống DG lưới điện nhỏ được nối với hệ thống lưới điện lớn. Vấn đề này phải được giải quyết khi các tham số hệ thống được xác định và khi mức kết nối hệ thống DG nhỏ với lưới điện địa phương được xác định. Nó cũng đòi hỏi hệ thống microgrid DG phải có các nguồn năng lượng xanh khác, chẳng hạn như CHP và microturbines, để



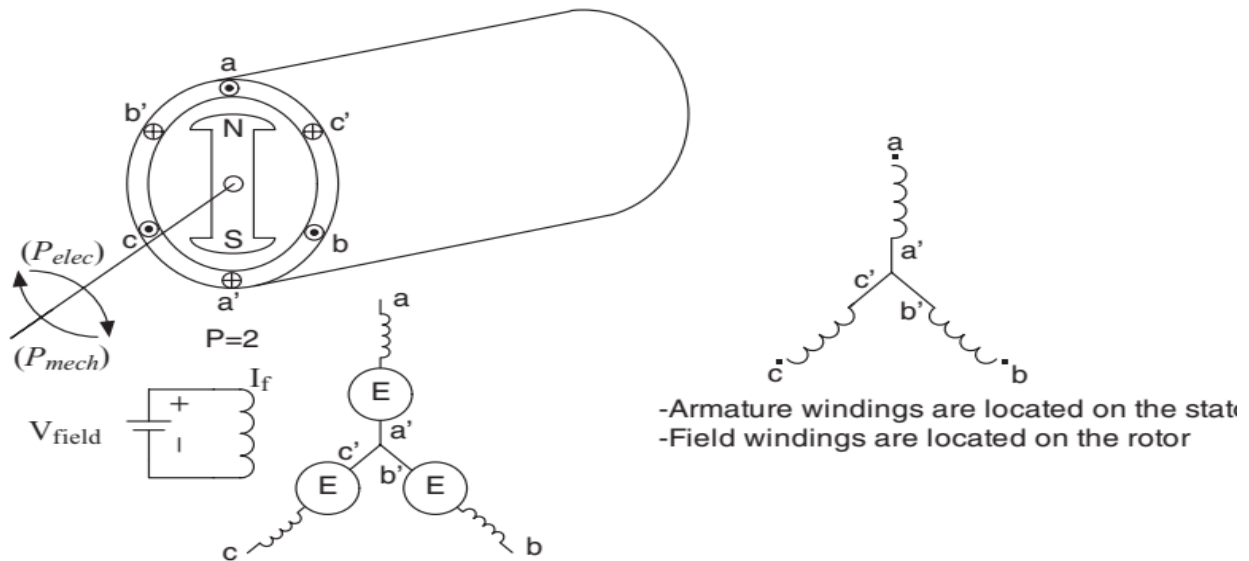
đảm bảo chất lượng và dịch vụ ổn định nếu một số nguồn đã buộc phải ngừng hoạt động. Như đã trình bày, mạng điện cổ điển được thiết kế cho dòng điện chạy một chiều. Tuy nhiên, khi hệ truyền tải con và hệ thống phân phối và dân cư có khả năng tạo ra nhiều điện hơn thì dòng điện có thể đảo ngược từ điện áp thấp sang điện áp cao hơn và tạo ra dòng điện ngược, nó có thể gây ra các vấn đề về an toàn và độ tin cậy. Những vấn đề bảo vệ của lưới điện thông minh là một chủ đề quan trọng khác của nghiên cứu

Việc thiết kế lưới điện đòi hỏi sự đầu tư lớn. Tuy nhiên, một lưới điện thông minh có thể giảm thiểu chi phí vận hành và bảo trì bằng cách định giá điện hợp lý. Việc tối ưu hóa phát là lập kế hoạch đường truyền tạo dòng điện chạy hiệu quả sẽ giảm tổn thất điện năng và thúc đẩy hiệu suất sử dụng máy phát điện chi phí thấp nhất. Hiện tại, mạng lưới điện liên kết có một số hệ thống thông tin trong hệ thống điều khiển các nhà máy phát điện, đường dây tải điện, trạm biến áp và các trung tâm phụ tải chính của chúng. Các dòng năng lượng được dẫn từ máy phát điện đến các trung tâm phụ tải. Người vận hành hệ thống điện, thông qua đo dòng điện và đo điện áp cấp và tần số, giám sát hệ thống. Các nhu cầu hệ thống được đáp ứng thông qua tải tần số và AGC. Khi yêu cầu của hệ thống không được đáp ứng, tần số hệ thống sẽ giảm sụt áp, mất điện luân phiên hoặc mất điện không kiểm soát có thể xảy ra. Tổng nhu cầu điện năng của người dùng có thể rất khác nhau như một hàm của điều kiện môi trường. Dự trữ 'sự cố' tại nhà máy phát điện dự phòng được giữ ở chế độ chờ luôn bật để đáp ứng với sự dao động của nguồn điện yêu cầu. Lưới điện thông minh với hệ thống MRG độc lập giúp loại bỏ chi phí dự trữ vòng vì hệ điều hành của nó dựa trên định giá theo thời gian thực.

### 3.4. MÁY PHÁT ĐIỆN XOAY CHIỀU CÔNG SUẤT HƠI NƯỚC

Chúng ta đã trình bày khái niệm cơ bản hệ thống của lưới điện thông minh và các vi lưới của hệ thống MRG. Tuy nhiên, có một vài khái niệm phân tích cơ bản là cần thiết trong cả lưới điện thông minh được kết nối với nhau và các vi lưới của hệ thống MRG: mô hình hóa máy phát điện, giới hạn truyền điện ổn định trong hệ thống và mô hình hóa lưới điện thông minh và dòng điện. Máy phát điện đồng bộ ba pha được mô tả trên Hình

3.30 là máy phát điện ba pha - thiết bị đầu cuối. Công suất cơ học được đưa vào từ nguồn năng lượng sơ cấp chẳng hạn như thủy điện hoặc năng lượng cơ học từ một đơn vị nhiệt truyền động trực của máy phát điện.



### H2.30. Một máy phát điện đồng bộ 3 pha.

Cuộn dây kích từ của máy phát điện nằm trên rôto của máy. Cuộn dây kích từ được cung cấp năng lượng bởi dòng điện một chiều chạy qua hệ thống kích từ của máy phát điện thông qua một vòng trượt hoặc bằng cách đặt kích thích vào rôto của máy. Các cuộn dây cân bằng ba pha nằm trên stato của máy. Như tên gọi stator và rotor ngụ ý, stato đứng yên và rôto là phần tử quay của máy. Không gian giữa stato và rôto được gọi là khe hở không khí của máy điện. Các chiều dài khe hở không khí tính bằng milimét và rôto được đỡ bằng các ổ bi được thiết kế hệ thống ổ trục để giữ cho khe hở không khí càng nhỏ càng tốt nhưng giữ cho cánh quạt không bị tiếp xúc với stato (tức là, cọ xát). Vì chiều dài khe hở không khí được thiết kế để càng nhỏ càng tốt, các đường sức tối đa vượt qua khe hở không khí và móc vòng với stato của máy. Bằng cách quay từ trường trong khe hở không khí của máy, thời gian thay đổi từ thông được tạo ra. Thời gian - thay đổi từ thông móc vòng giữa cuộn dây ba pha nằm trên stato của máy điện. Hai loại

từ thông thay đổi theo thời gian được tạo ra. Một là đường móc vòng vượt qua khe hở không khí của máy và từ thông thứ hai là từ thông tản qua không khí. Từ thông móc vòng làm tăng độ tự cảm từ hóa và điện cảm tản. Vì điện áp và dòng điện cảm ứng sinh ra trên cuộn dây stato, cuộn dây stato được gọi là phần ứng cuộn dây. Tần số hoạt động của máy phát điện là một hàm của tốc độ trục như được mô tả dưới đây

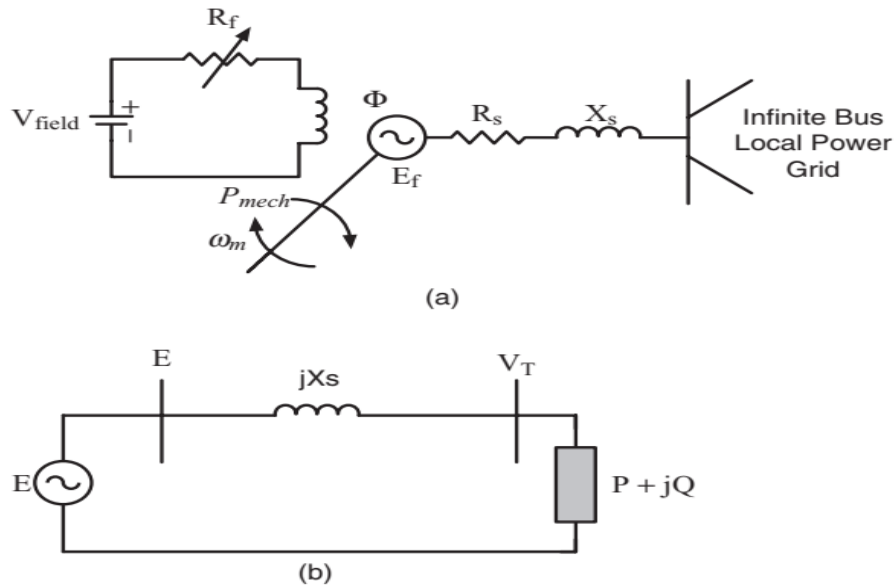
$$\begin{aligned} \frac{d\theta_{elec}}{dt} &= \frac{P}{2} \frac{d\theta_{mech}}{dt} \\ \omega_{elec} &= \frac{P}{2} \omega_{mech} \\ 2\pi f_{elec} &= \frac{P}{2} \omega_{mech} \\ \omega_{mech} &= n \frac{2\pi}{60} \\ f &= \frac{P}{2} \frac{n}{2\pi} \frac{2\pi}{60} = \frac{P n_{syn}}{120} \\ \text{where } n_{syn} &= (120f/P) \text{ Hz} \end{aligned} \quad (3.17)$$

P-là số cực,  $\theta_{elec}$  và  $\theta_{mech}$  là góc điện và góc cơ đo bằng radian,  $\omega_{elec}$ ,  $\omega_{mech}$  là tốc độ góc quay điện và cơ đo bằng radian.sec. N-là tốc độ vòng/phút, f-là tần số  $n_{syn}$  là tốc độ đồng bộ đo bằng vòng/phút.

$$E = K_f I_f \omega \quad (3.18)$$

Sđđ cảm ứng khi hở mạch, E là một hàm của kích thước máy, được cho bởi K không đổi và dòng kích từ  $I_f$  và tốc độ trục,  $\omega$ . Hình 3.31 (a) mô tả sơ đồ một dây của máy phát điện nối với lưới điện địa phương. Hình 3.31 (b) mô tả mô hình mạch của máy phát điện ba pha trong đó điện áp cảm ứng được biểu thị bằng E và điện áp đầu nối máy phát là do  $V_T$ . Điện cảm từ hóa của máy không được hiển thị trong mô hình mạch trên. Máy phát điện được thiết kế để chạy một dòng điện nhỏ để kích từ. Điện cảm tản được hiển thị bởi  $X_s$  là điện kháng đồng bộ vì nó được tính toán bằng cách sử dụng trạng thái ổn định được đồng bộ hóa hoạt động. Nguồn điện được cung cấp bởi máy phát điện được

thể hiện là công suất tác dụng và phản kháng  $P$  và  $Q$ . Có một số máy phát sử dụng máy kích từ



### H3.31. Mô hình mạch tương đương một pha của máy phát điện ba pha

Trong máy kích từ cổ góp DC là máy phát điện một chiều, năng lượng kích từ được lấy từ máy phát điện một chiều. Các máy kích thích bao gồm một máy phát điện một chiều với cổ góp của nó và chổi than để bơm dòng điện kích từ DC vào cuộn dây của máy phát điện. Nó không chứa các yếu tố điều khiển đầu vào. Máy kích thích này có thể được truyền động bởi một động cơ, động cơ so cấp hoặc trực của máy điện đồng bộ. Bộ kích từ chỉnh lưu máy phát kích từ dẫn năng lượng từ máy phát điện và được biến đổi thành điện một chiều nhờ hệ thống chỉnh lưu. Loại máy kích thích này bao gồm máy phát điện và bộ chỉnh lưu điện có thể là không điều khiển hoặc điều khiển. Máy phát điện có thể được truyền động bởi một động cơ, động cơ sơ cấp, hoặc trực của máy điện đồng bộ. Bộ chỉnh lưu có thể đứng yên hoặc quay so với trục máy phát điện. Bộ kích từ chỉnh lưu phức hợp điều khiển bởi công suất điện từ các đầu cực của máy điện đồng bộ và khi đó nó được chuyển đổi sang DC bằng hệ thống chỉnh lưu. Chúng ta hãy nghiên

cứu hoạt động của một máy phát điện song song nối với một mạng điện như hình 3.32. Để vận hành đồng bộ, các điều kiện sau là cần thiết: 1. Tốc độ điện của máy phát điện đồng bộ phải bằng tốc độ điện của các máy phát hệ thống điện. 2. Điện áp đầu cuối của máy phát điện phải bằng điện áp cấp  $V_\infty$  và phải cùng thứ tự a - b - c. Khi các điều kiện trên được thỏa mãn, cầu dao có thể được đóng lại. Hoạt động đồng bộ là hoạt động song song của các máy phát điện đồng bộ. Kí hiệu,  $V_\infty$ , có một ý nghĩa đặc biệt. Chúng tôi gọi điện áp cấp là  $V$  vô hạn để biểu thị rằng điện áp của nó là không đổi và không thể thay đổi bởi sự kiện bên ngoài. Điều này có nghĩa là một bus vô hạn hoạt động như một nguồn điện áp lý tưởng. Bây giờ chúng ta hãy nghiên cứu hoạt động của máy phát điện đồng bộ khi nó được đồng bộ với hệ thống điện liên kết như trong hình 3.33 (a).

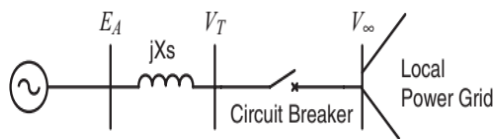
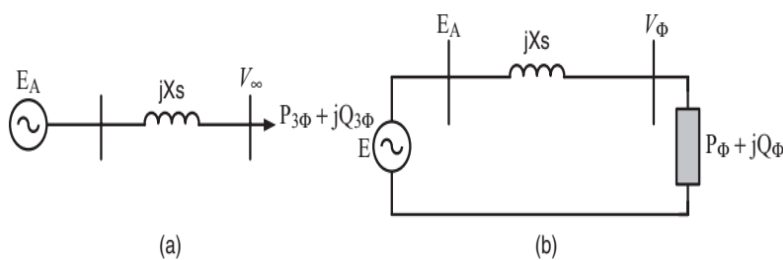


Figure 4.32 The Generator Operation before Synchronization.



### H3.32. Hoạt động của máy phát điện trước khi đồng bộ.

### H3.33. Hoạt động của máy phát song song với hệ thống điện.

Vì hệ thống điện có nhiều nguồn điện nên ta có thể coi công suất bus hệ thống mà chúng tôi sẽ kết nối máy phát điện như một “bus vô hạn.” Giả sử rằng tất cả các tổn

thất điện năng trong hoạt động của máy phát điện là bị bỏ qua và chúng tôi có các góc pha tham chiếu được cho dưới đây:

$$\begin{aligned} V_{\infty, L-N} &= V \angle 0, \\ E_{A, L-N} &= E_A \angle \delta \end{aligned} \quad (3.19)$$

Chúng ta sử dụng mạch tương đương H.2.33(b) để tính dòng cấp cho tải

$$I_L = \frac{E \angle \delta - V}{jX_s} \quad \text{and} \quad I_L^* = \frac{E \angle -\delta - V}{-jX_s} \quad (3.20)$$

Véc tơ phức của công suất tạo ra và cung cấp cho tải (trên pha) tức là bơm vào hệ thống công suất và ta có thể tính:

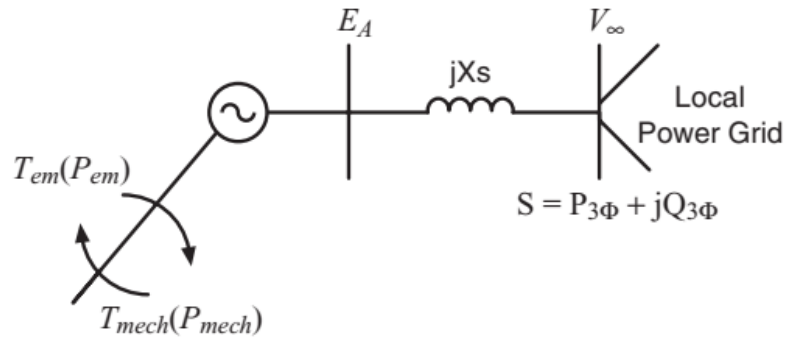
$$\begin{aligned} S_\phi &= j \frac{E^2_A \angle 0}{X_s} - j \frac{E_A V \cos \delta}{X_s} + \frac{E_A V \sin \delta}{X_s} = P_\phi + jQ_\phi \\ P_\phi &= \frac{E_A V}{X_s} \sin \delta \quad \text{and} \quad Q_\phi = \frac{E_A^2}{X_s} - \frac{E_A V}{X_s} \cos \delta \end{aligned} \quad (3.21)$$

Vì rằng bỏ qua tổn hao vậy công suất cơ khí cấp cho trục máy phát có thể biểu diễn bởi :

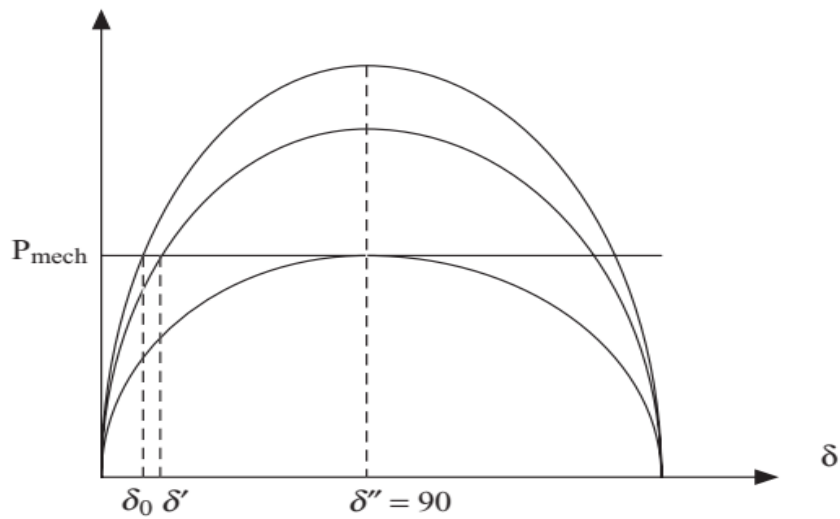
$$P_{mech} = 3P_\phi = 3 \frac{E_{A(L-N)} V_{\infty(L-N)}}{X_s} \sin \delta = \frac{E_{A(L-L)} V_{\infty(L-L)}}{X_s} \sin \delta \quad (3.22)$$

kháng) hoặc công suất phản kháng , chúng ta cần nghiên cứu mối quan hệ giữa góc pha  $\delta$  điện áp kích từ,  $E_A$ . Hãy xem xét một máy phát điện đồng bộ của Hình 3.34: Giả sử công suất cơ học cung cấp cho trục máy phát không đổi và các khoản tổn hao được bỏ qua. Do đó, năng lượng cơ học được cung cấp,  $P_{mech}$  bằng với công suất điện được đưa vào lưới điện địa phương như được biểu diễn bằng công thức 3.22. Nếu chúng ta điều chỉnh để dòng kích từ  $I_f = I_{f0}$  thì điện áp kích từ sẽ bằng  $E_A = E_A \angle \delta_0$ , trong đó ký hiệu chỉ số phụ "0" là chỉ ra điều kiện làm việc của chế độ này.

Điều kiện này có thể biểu diễn như sau:  $P_{elc} = 3 \frac{E_A V_{\infty} \sin \delta}{X}$  khi  $E_A = E_A \angle \delta_0$   $I_f = I_{f0}$



### H3.34. Hoạt động của máy phát điện



### H3.35. Biểu đồ của P\_mech so với góc công suất.

Và

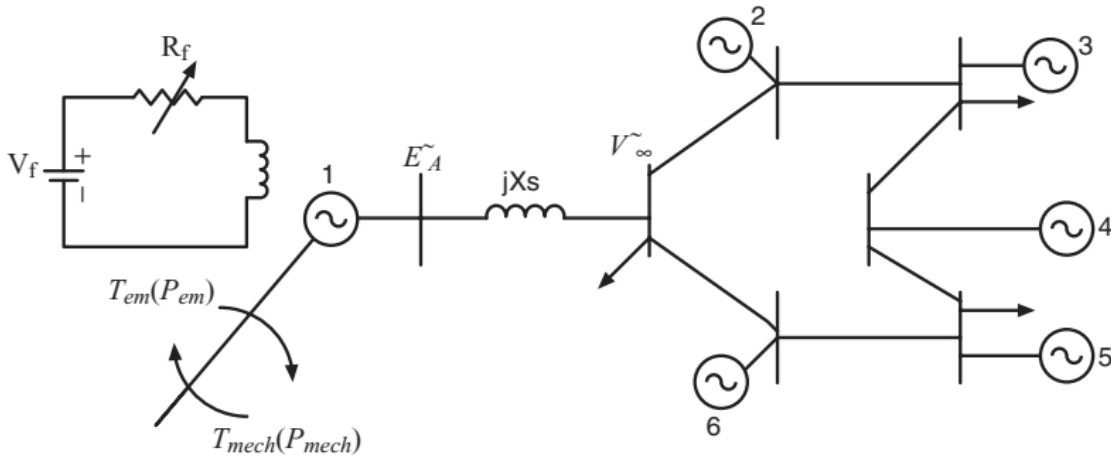
$$P_{elec} = 3 \frac{E_A V_\infty}{X_s} \sin \delta = P_{mech} \quad (3.23)$$

Hình 3.35 mô tả góc công suất như là hàm của điện áp kích từ EA. Nếu chúng ta giảm  $I_f$  tới một giá trị mới  $I'_f$  thì EA sẽ giảm tới giá trị mới của  $E'_A$ . Tuy nhiên nếu chúng ta tiếp tục giữ  $P_{mech}$  không đổi và tiếp tục giảm  $I_f$  chúng ta tiếp tục phát cùng công suất điện vì vậy giá trị EA giảm tới giá trị mới  $E''_A$  còn góc  $\delta$  tăng để tạo cùng giá trị công suất điện cho tới khi  $\delta=90^\circ$

$$P_{elec} = 3 \frac{E''_A \cdot V_\infty}{X} \sin 90^\circ = P_{mech} \quad (3.24)$$

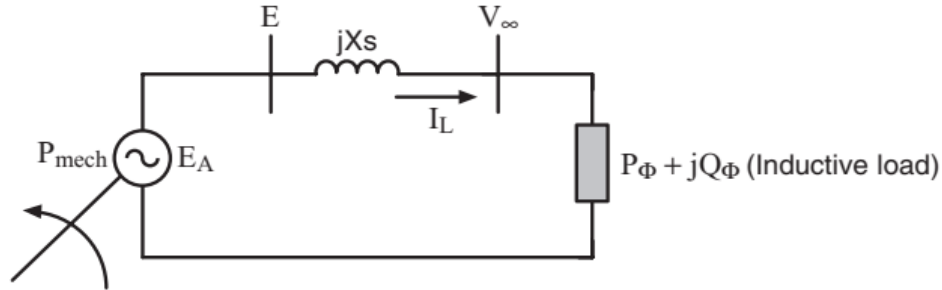
Đây là công suất cực đại được tạo ra và được gọi là công suất kéo ra. Nếu chúng ta tiếp tục giảm  $I_f$ ,  $P_{elec}$  giảm và  $\delta$  tăng. Máy mất đồng bộ khi  $\delta > 90^\circ$ . Điều này có nghĩa là nguồn điện không thể được đưa vào và hệ thống điện cục bộ sẽ truyền động như một động cơ. Góc  $\delta$  được gọi là góc công suất hoặc góc mô-men. Xem xét một máy phát điện cung cấp điện ở hệ số công suất trễ cho mạng lưới điện cục bộ. Như chúng ta đã thảo luận trước đây, AGC sẽ đảm bảo rằng sự cân bằng giữa phát và tải được duy trì. Điều kiện này được thể hiện trong Hình 2.36.

$$\sum_{i=1}^6 P_{Gi} = \sum_{i=1}^6 P_{Li} + P_{losses} \quad (3.25)$$





### Hình 3.36 Hoạt động của máy phát điện



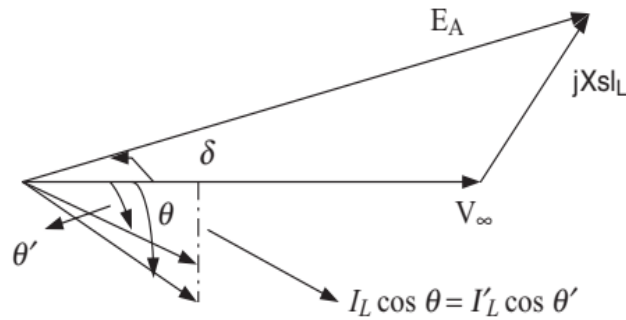
Hình 3.37 Mô hình mạch tương đương của máy phát điện

$$\sum_6 Q_{Gi} = \sum_6 Q_{Li} + Q_{losses}$$

Xem xét mô hình ở H.3.37. Giả sử bỏ qua tổn hao và có  $V_{\infty(L-N)}, E_{A(L-N)} = E \angle 0$  và nó hoạt động trong điều kiện sau  $P_{mech} = const, |EA| = const$  (i.e.,  $\omega m = const, I_f = const$ ). Tuy nhiên dòng kích từ  $I_f$  được điều chỉnh sao cho  $|EA| > V_{\infty}$

$$\begin{aligned} \tilde{E}_A &= jX_s I_L + \tilde{V}_{\infty} \\ P_{mech} &= 3 \frac{E_{A(L-N)} V_{\infty(L-N)}}{X_s} \sin \delta = \frac{E_{A(L-L)} V_{\infty(L-L)}}{X_s} \sin \delta \\ P_{mech} = P_{3\phi} &= 3 \frac{E_{A(L-N)} V_{\infty(L-N)}}{V} \sin \delta = 3 V_{\infty(L-N)} I_L \cos \theta \end{aligned} \quad 3.27$$

Hình 3.38 mô tả hoạt động của máy phát với hệ số công suất cảm kháng. Điều kiện hoạt động này được thiết kế như là kích từ thừa khi



**Hình 3.38 Sơ đồ pha của máy phát điện**

biên độ của điện áp kích thích lớn hơn biên độ của cực điện áp (tức là  $|E_A| > E_\infty$ ). Để thay đổi hệ số công suất của máy phát điện, chúng tôi giữ công suất cơ học cấp cho máy phát:  $P_{mech} = \text{const}$  và tốc độ trục cũng không đổi, tức là  $\omega m = \text{const}$ . Bằng cách giảm dòng kích từ  $I_f$  xuống một giá trị mới thấp hơn là  $I_f'$ , điện áp kích từ,  $E_A$ , giảm xuống một giá trị mới thấp hơn  $E_A'$ . Tuy nhiên, vì cơ năng được cung cấp không đổi nên công suất điện do máy phát tạo ra cũng phải không đổi. Do đó, góc,  $\delta$  tăng lên giá trị cao hơn của  $\delta$ . Điều kiện này có thể được biểu thị bằng. Sự cân bằng công suất được duy trì và  $|I_L|$  giảm tới một giá trị nhỏ hơn  $|I'_L|$  và góc  $\Theta$  giảm tới giá trị  $\Theta'$ . Tuy nhiên vì  $I_L \cos \Theta = I'_L \cos \Theta'$  công suất tác dụng được tạo ra không đổi.

$$Q_{3\phi} = 3 \cdot V_{\infty(L-N)} I_L \sin \theta \quad Q'_{3\phi} = 3 \cdot V_{\infty(L-N)} I'_L \sin \theta' \quad 3.30$$

Chúng ta có thể kết luận rằng bằng cách giảm  $I_f$ , công suất phản kháng do máy phát điện đồng bộ bị giảm. Tuy nhiên, năng lượng hoạt động được tạo ra bởi máy phát điện vẫn như cũ và chúng ta có thể có một điều kiện hoạt động mới trong đó  $Q_{3\phi} < Q_{3\phi}$  3 và đồng thời sự cân bằng của phát và tải được duy trì

$$\sum_{i=1}^6 P_{Gi} = \sum_{i=1}^6 P_{Li} + P_{losses} \quad 3.31$$

$$\sum_{i=1}^6 Q_{Gi} = \sum_{i=1}^6 Q_{Li} + Q_{losses}$$

3.32

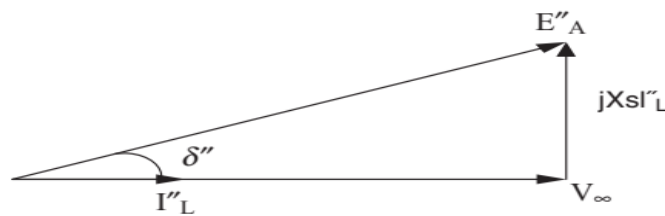
Giả sử chúng ta quyết định vận hành máy phát điện ở hệ số công suất bằng 1. Để có được hệ số công suất bằng 1, chúng ta có thể giảm dòng kích từ  $I_f$ , như vậy hệ số công suất  $\theta$  (tức là góc giữa  $V$  và  $I$ ) giảm về không.

Hình 3.39 mô tả hoạt động của máy phát điện có hệ số công suất bằng 1. Chúng tôi kết luận rằng bằng cách giảm  $I_f$ , chúng ta có thể vận hành máy với hệ số công suất bằng 1 trong khi tạo ra cùng một công suất tác dụng. Tuy nhiên, công suất phản kháng do máy tạo ra được giảm xuống không. Giả sử chúng ta tiếp tục giảm dòng kích từ  $I_f$ , sao cho  $\theta > 0$ , tức là  $I_L$  sẽ vượt trước  $V_\infty$ . Điều kiện hoạt động này được mô tả bằng Hình 2.40.

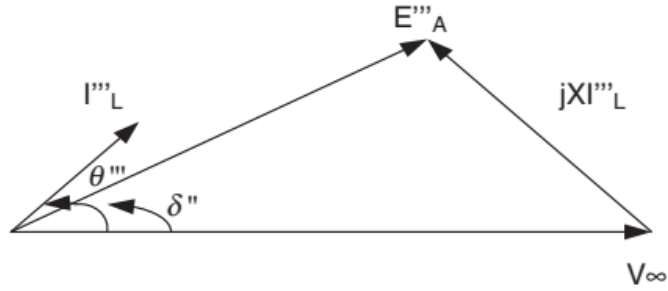
$$P_{mech} = P_{3\phi} = 3 \frac{E''_{A(L-N)} V_{\infty(L-N)}}{X_s} \sin \delta''' = 3 V_{\infty(L-N)} I_L''' \cos \theta''' \quad 3.34$$

$$Q_{3\phi} = -3 V_{\infty(L-N)} I_L''' \sin \theta''' \quad 3.35$$

Bây giờ máy phát làm việc với hệ số góc dương như H.4.40



Hình 3.39 Sơ đồ pha của máy phát điện



**Hình 3.40 Sơ đồ pha của máy phát điện**

Ví dụ 2.5. Cho máy phát điện 440 V có điện kháng đồng bộ  $0,1 \Omega$ , và cung cấp tải cho tải 2 kW ở hệ số công suất bằng 1, tìm i) Dòng điện kích từ, nếu  $k = 0,25$  V giây/rad/A ( $E = kI_f\omega_s$ ). ii) Dòng điện kích từ nếu hệ số công suất của tải có giá trị 0,85. Giả định máy có bốn cực.

Giải :

$$i) \text{ The phase current } = I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \theta} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 440 \times 1} = 2.62 \text{ A}$$

The electromagnetic field (emf) excitation is given as

$$\text{emf} = E_f = V_{ph} + I_{ph} \cdot X_s = \frac{440}{\sqrt{3}} \angle 0 + 2.62 \angle 0 \times 0.8 \angle 90 = 254.04 \angle 0.47 \text{ V}$$

$$\omega_s = 2 \cdot \pi \cdot \frac{2f}{P} = 2 \cdot \pi \times \frac{2 \times 60}{4} = 188.5 \text{ rad/sec}$$

$$\text{The field current} = I_f = \frac{E_f}{k \cdot \omega_s} = \frac{254.04}{0.25 \times 188.5} = 5.39 \text{ A}$$

$$ii) \text{ The phase current} = I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \theta} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.85} = 3.08 \text{ A}$$

The excitation emf  $= E_f = V_{ph} + I_{ph} \cdot X_s$

$$= \frac{440}{\sqrt{3}} \angle 0 + 3.08 \angle (-\cos^{-1} 0.85) \times 0.8 \angle 90 = 255.34 \angle 0.47$$

$$\text{The field current} = I_f = \frac{E_f}{k \cdot \omega_s} = \frac{255.34}{0.25 \times 188.5} = 5.42 \text{ A}$$

Có thể thấy rằng dòng điện kích từ cần phải tăng lên để cung cấp công suất kháng cho (khai thác quá mức).

**Ví dụ 2.6.** Cho máy phát của ví dụ 2.5, dòng điện kích từ giảm đến 5,093 A mà không làm ảnh hưởng đến năng lượng cơ học đầu vào máy phát. Tìm hệ số công suất góc của tải.

Giải : Bởi vì đầu vào cơ học vẫn giữ nguyên, giá trị của công suất tác dụng là không thay đổi.

$$\text{The excitation emf} = E_f = k \cdot \omega_s \cdot I_f = 0.25 \times 188.5 \times 5.093 = 240 \text{ V}$$

$$P = \frac{3 \cdot |E_f| \cdot |V_{ph}| \cdot \sin \delta}{|X_s|}$$

$$\Rightarrow \delta = \sin^{-1} \left( \frac{P \cdot |X_s|}{3 \cdot |E_f| \cdot |V_{ph}|} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{2000 \times 0.8}{3 \times 240 \times 440 / \sqrt{3}} \right) = 0.50^\circ$$

$$E_f = V_{ph} + I_{ph} \cdot X_s$$

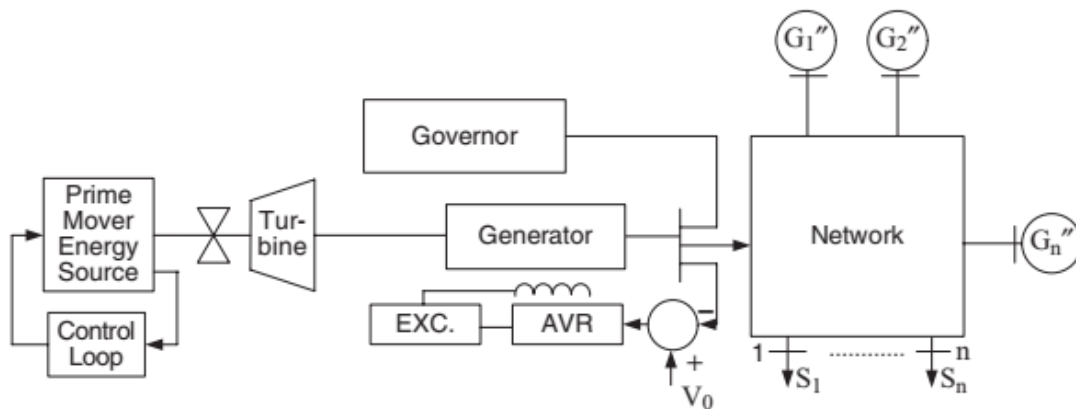
$$\Rightarrow 240 \angle 0.5 = \frac{440}{\sqrt{3}} \angle 0 + I_{ph} \angle \cos^{-1} \theta \times 0.8 \angle 90$$

$$\Rightarrow I_{ph} \angle \cos^{-1} \theta = \frac{1}{0.8 \angle 90} \left( 240 \angle 0.5 - \frac{440}{\sqrt{3}} \angle 0 \right) = 17.74 \angle 81.51^\circ \text{ A}$$

Ví dụ 2.6 minh họa rằng sự giảm dòng kích từ để hệ số công suất bằng 1 (kích từ thiếu) dẫn đến hệ số công suất dương. Chúng tôi kết luận rằng bằng cách giảm dòng kích từ  $I_f$ , dòng điện cung cấp sẽ vượt trước điện áp và chúng ta có thể vận hành máy phát điện với hệ số công suất dương khi máy phát vẫn tạo ra cùng một công suất tác dụng. Như chúng ta có thể thấy từ phần trình bày ở trên, máy phát điện của lưới điện thông minh là một thiết bị ba pha. Cơ năng được cung cấp cho máy phát điện; điện áp kích từ được điều khiển bởi bộ điều chỉnh điện áp - dòng điện trường được đặt cho hệ số công suất của máy phát điện. Những điều kiện này xác định công suất tác dụng và công suất phản kháng do máy phát cung cấp. Chúng ta cũng nên tiếp tục lưu ý rằng chúng tôi có thể thiết lập lại nguồn điện được cung cấp bởi máy phát điện trong quá trình hoạt động vì AGC duy trì sự cân bằng của tải và phát điện như đã cho bởi các Công thức 2.36 và 2.37 và được mô tả bởi Hình 3.41

$$\sum_{i=1}^6 P_{Gi} = \sum_{i=1}^6 P_{Li} + P_{losses} \quad (3.36)$$

$$\sum_{i=1}^6 Q_{Gi} = \sum_{i=1}^6 Q_{Li} + Q_{losses} \quad (3.37)$$



Hình 3.41 Hoạt động của máy phát điện như một phần của mạng lưới điện được kết nối

### Kết luận

Chúng ta nhìn lại các mục tiêu cơ bản của việc thiết kế hệ thống lưới điện thông minh : (1) Cung cấp nguồn điện chất lượng với mức giá tối thiểu, và (2) đảm bảo tính liên tục của dịch vụ bằng cách giữ cho lưới điện ổn định. Vấn đề ổn định lưới điện rất phức tạp và chúng ta cần nghiên cứu cách xây dựng mô hình động cho từng phần tử của lưới điện và sau đó xác định thời gian nghiên cứu. Tuy nhiên, chúng tôi đã thảo luận về một số khía cạnh của ổn định - trạng thái ổn định thông qua AGC và LFC. Việc nghiên cứu sự ổn định quá độ của hệ thống lưới điện yêu cầu mô hình sâu hơn về hệ thống điện bằng biểu diễn đặc tính động của nguồn năng lượng. Thiết kế của một lưới điện thông minh cho nghiên cứu cung cấp như thế nào điện áp định mức cho tải của hệ thống đòi hỏi mô hình trạng thái ổn định của hệ thống điện khi sử dụng mô hình cân bằng hệ thống. Tuy nhiên, cho đến nay, chúng tôi đã nghiên cứu phát triển mô hình của biến áp,

tải và máy phát. Chúng tôi đã sử dụng những mô hình đó để xây dựng mô hình hệ thống. Ở phần đầu tiên, ngoài quan điểm lịch sử của việc sử dụng năng lượng, một phân tích việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch được cung cấp thông qua một loạt các tính toán của chúng ta lượng khí thải carbon liên quan đến mức tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch của cả một quốc gia hoặc của một thiết bị gia dụng duy nhất. Phần tiếp theo, đã xem xét các nguyên tắc cơ bản cơ bản của hệ thống điện, tải một pha, tải ba pha, một - và máy biến áp ba pha, hệ thống phân phối, đường dây tải điện, và mô hình hóa hệ thống điện. Hệ thống tổng quát trên đơn vị hệ thống điện phân tích cũng được giới thiệu. Trong Chương 3, các chủ đề bao gồm bộ chỉnh lưu AC / DC, Bộ biến tần DC / AC, bộ chuyển đổi DC / DC và điều chế độ rộng xung (PWM) các phương pháp. Trọng tâm là việc sử dụng biến tần như một phần tử ba đầu cuối hệ thống điện để tích hợp các nguồn năng lượng gió và PV; MATLAB mô phỏng bộ biến tần PWM cũng được cung cấp. Ở đây, các khái niệm cơ bản trong thiết kế và vận hành lưới điện thông minh được mô tả, đã giới thiệu các phần tử lưới thông minh và chức năng của chúng từ một phương pháp tiếp cận hệ thống và cung cấp cái nhìn tổng quan về sự phức tạp của điện thông minh hoạt động lưới điện. Các chủ đề được đề cập trong chương bao gồm các khái niệm hệ thống cơ bản về cảm biến, đo lường, thông tin liên lạc tích hợp và đồng hồ đo thông minh; định giá theo thời gian thực; Điều khiển mạng các lưới điện thông minh; thâm nhập năng lượng xanh cao vào lưới điện liên kết với số lượng lớn; nguồn phát không liên tục; và thị trường điện. Trong phần này cũng giới thiệu về mô hình cơ bản và vận hành hoạt động của máy phát điện đồng bộ, giới hạn của dòng công suất trên đường dây tải điện, các bài toán về dòng công suất, tính toán hệ số phụ tải và tác động của chúng đến hoạt động của lưới thông minh, định giá theo thời gian thực và microgrid. Những khái niệm này tạo tiền đề cho việc tích hợp năng lượng tái tạo trong hệ thống điện. Trong phần nghiên cứu các nguồn năng lượng PV, Chúng tôi học cách tính toán năng suất của môđun quang điện và góc nghiêng của môđun đối với vị trí của chúng đối với mặt trời để thu được năng lượng tối đa, trình bày mô hình mô-đun PV, thiết kế lưới vi mô của PV nhà máy điện và theo dõi điểm công suất tối đa của hệ thống PV. Phần tiếp theo giới

thiệu sản xuất điện gió bằng cách mô tả mô hình cảm ứng máy phát điện như một phần của lưới điện nhỏ hệ thống năng lượng tái tạo. Trong phần này, chúng tôi cũng nghiên cứu việc sử dụng máy phát điện cảm ứng được cấp nguồn kép, tốc độ thay đổi máy phát điện nam châm vĩnh cửu, máy phát điện không chổi than và tốc độ gió thay đổi chuyển đổi công suất từ quan điểm của hệ thống. Trong phần cuối, mô hình cáp trở kháng và trở kháng của cáp cho lưới điện được trình bày, cũng như phân tích dòng điện của các microgrid như một phần của hệ thống điện số lượng lớn được kết nối với nhau. Chúng tôi cũng nghiên cứu công thức Newton của dòng điện, Newton - Giải pháp Raphson cho vấn đề dòng điện và giải pháp tách nhanh cho các nghiên cứu dòng điện. Như vậy nội dung trình bày trên đây cung cấp các khái niệm cơ bản về lưới điện và lưới điện nhỏ tích hợp sử dụng các nguồn năng lượng xanh, đó là mục tiêu của hầu hết các quốc gia. Việc thiết kế các microgrids là chìa khóa để hiện đại hóa cơ sở hạ tầng của chúng tôi sử dụng các nguồn năng lượng xanh, điện tử công suất, công nghệ điều khiển và cảm biến, công nghệ máy tính và hệ thống truyền thông.



## KẾT LUẬN

Sau thời gian 3 tháng làm đồ án với sự hướng dẫn tận tình của thầy giáo : GS-TS Khoa Học Thân Ngọc Hoàn .Em đã hoàn thành đề tài được giao” **Cấu trúc lưới điện , đi sâu tìm hiểu về hệ thống lưới điện thông minh .”**

Trong đồ án này em đã tìm hiểu được các vấn đề:

Trong bối cảnh nguồn năng lượng tái tạo tại Việt Nam đang phát triển mạnh mẽ, nhất là điện gió và mặt trời, rất cần việc ứng dụng công nghệ dự báo năng lượng tái tạo đã được áp dụng ở nhiều nước tiên tiến trên thế giới. Do đó, sự hỗ trợ của các tổ chức quốc tế, quốc gia có công nghệ tiên tiến trong phát triển lưới điện thông minh là rất cần thiết nhằm phục vụ đắc lực cho sự phát triển kinh tế đất nước.

Lưới điện thông minh là hệ thống sử dụng công nghệ kỹ thuật số để giám sát và quản lý việc chuyển tải điện từ tất cả các nguồn phát điện nhằm đáp ứng nhu cầu điện luôn thay đổi của người dùng.

Quá trình thực hiện đồ án đã giúp em củng cố lại những kiến thức mà mình đã học. Ngoài ra qua quá trình tìm hiểu thực tế bên ngoài để hoàn thành đồ án đã giúp em có thêm những kiến thức thực tế rất quý báu. Với thời gian làm đồ án ngắn và do kiến thức còn yếu nên em còn có những thiếu sót nhất định. Vì vậy, em rất mong được sự góp ý, bổ sung của các thầy cô giáo để đồ án của em được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn !

Sinh viên thực tập

Phạm Thị Quyên

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- 1.Design Of Smart Power Grid Renewable Energy.
- 2.Phân Tích Chế độ Xác Lập Đường Dây Tải điện Và Lưới Điện – Phạm Xuân Khôi.
- 3.Cung Cấp Điện – Nguyễn Xuân Phú.
4. Giaso Trình Lưới Điện – PGS TS Trần Bách.
5. Bảo Vệ Rơ le Tự Động Hóa Và Hệ Thống Điện- TS Trần Quang Khánh.
- 6.Kỹ Thuật Điện Cao Áp –Trần VănTóp.