

CHƯƠNG 1

MẠCH NĂNG LƯỢNG (MẠCH KIRHOF)

Khi các quá trình chỉ phụ thuộc vào thời gian (mô hình hệ thống) còn gắn cả sự lưu thông (chảy, truyền đạt) giữa những bộ phận của hệ thống ta sẽ gọi là mô hình mạch, áp dụng các bước xây dựng mô hình toán học đã nêu ta xây dựng mô hình cho một thiết bị điện, vì ở đây có dòng chảy năng lượng - Ta có mô hình mạch năng lượng (mạch KF).

§1. Mô hình mạch năng lượng

1. Điều kiện mạch hóa :

Những điều kiện cần phải thỏa mãn để có thể mô tả quá trình bằng mô hình mạch (để quá trình chỉ phân bố theo thời gian - để quá trình chỉ mô tả bằng hệ phương trình chỉ phụ thuộc thời gian).

a. Độ dài của bước sóng trường điện từ phải rất lớn so với kích thước TBD để có thể coi quá trình là tức thời, vận tốc truyền tương tác $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \infty$; đây là điều kiện cơ

bản để bỏ qua sự phân bố không gian của quá trình mà chỉ xét phân bố thời gian, nên quá trình có tính chất thế và có tính chất liên tục.

b. Độ dẫn điện ϵ và độ từ thẩm μ của môi trường rất nhỏ so với các vật dẫn ghép thành TBD. Điều kiện này giúp bỏ qua dòng chảy rò qua môi trường giữa các vật dẫn, khẳng định tính liên tục của các dòng dẫn.

c. Chỉ quan tâm đến hữu hạn điểm trên vật.

2. Nhóm đủ các hiện tượng cơ bản :

Các hiện tượng điện từ của TBD gồm rất nhiều vẻ như tiêu tán, tích phóng, tạo sóng, tạo xung, phát cơ năng, biến áp, khuếch đại, chỉnh lưu, tách sóng,... về nguyên tắc là chưa biết hết. Tuy vậy xét theo quan điểm năng lượng, qua thực tiễn có thể phân tích mọi quá trình trao đổi năng lượng thành nhóm đủ các hiện tượng cơ bản sau đây :

a. Hiện tượng tiêu tán năng lượng ứng với vùng tiêu tán là vùng biến năng lượng điện từ thành các dạng năng lượng khác như : cơ, nhiệt năng...(tức là vùng tiêu thụ mất năng lượng của TBD).

b. Hiện tượng phát ứng với vùng (nguồn) phát là vùng biến các dạng năng lượng khác thành năng lượng điện từ.

c. Hiện tượng tích phóng năng lượng điện trường ứng với vùng kho điện là vùng năng lượng điện từ tập trung vào vùng điện trường của một không gian như các bản cực tụ điện hoặc ngược lại đưa từ vùng đó trả lại nguồn TBD.

d. Hiện tượng tích phóng năng lượng từ trường ứng với vùng kho từ là vùng năng lượng điện từ tích từ trường vào không gian như lân cận một cuộn dây có dòng điện, hoặc đưa trả từ vùng đó trở lại nguồn TBD.

3. Biến trạng thái đo quá trình :

a. Biến trạng thái công suất P : Một cách tự nhiên có thể chọn công suất P làm biến trạng thái đo quá trình năng lượng điện từ. Như vậy, nếu có n vùng năng lượng thì

có n biến trạng thái $P_k(t)$, và với biến này trong hệ chỉ có một phương trình cân bằng là : $\sum P_k(t) = 0$ trên cơ sở định luật bảo toàn năng lượng. Với phương trình này không làm rõ được bản chất riêng của từng vùng năng lượng, không mô tả được hành vi từng vùng năng lượng vì số phương trình bé hơn số biến.

b. Biến trạng thái dòng, áp $i(t)$, $u(t)$: Từ điều kiện mạch hóa có thể dẫn ra biến áp $u(t)$ là hiệu điện thế giữa hai điểm (thể hiện tính chất thế của mạch) và dòng $i(t)$ chảy dọc suốt mỗi bộ phận của TBD (thể hiện tính liên tục).

- Cặp biến u_k, i_k trên mỗi bộ phận TBD nêu rõ ở lân cận của bộ phận ấy có một quá trình năng lượng điện từ mà ta đo công suất qua một cặp biến $u_k \cdot i_k = P_k$.

- Tùy theo bản chất vùng năng lượng mà có quan hệ $u_k(i_k)$ khác nhau. Quan hệ này gọi là phương trình trạng thái - nó nói lên hành vi riêng của vùng năng lượng.

- Dùng các biến $u(t)$, $i(t)$ với những dạng phân bố thời gian khá rộng rãi (liên tục hoặc rời rạc, tiền định hoặc ngẫu nhiên...) có thể mã hóa những tin tức dùng vào mục đích điều khiển, đo lường, thông tin...

Vậy có thể dùng biến dòng, áp để đo quá trình năng động lượng, truyền tin hoặc mô tả hành vi của vùng năng lượng.

§2. Những phần tử cơ bản của mạch KF.

Sau khi có được các biến đo quá trình được biểu diễn bởi các hiện tượng cơ bản, để có được phương trình - mối quan hệ giữa các biến mô tả hiện tượng cơ bản thì phải biểu diễn hiện tượng cơ bản bằng các thông số đặc trưng. Tương ứng với nhóm các hiện tượng cơ bản định nghĩa được nhóm các phần tử cơ bản.

1. Phần tử tiêu tán - điện trở r (điện dẫn g) :

Quá trình điện từ trong TBD có hiện tượng cơ bản là tiêu tán năng lượng (Tức là biến năng lượng TĐT thành dạng năng lượng khác như cơ năng, nhiệt năng, hóa năng...) ta gọi đó là hiện tượng tiêu tán năng lượng.

a. Phương trình trạng thái : Khi chỉ thuần tiêu tán thì công suất tiếp nhận phải luôn luôn dương: $p_k = u_k i_k > 0$.

Nghĩa là trong vùng này áp và dòng luôn cùng chiều, có thể viết phương trình trạng thái dưới dạng quan hệ hàm với hệ số dương giữa u_r và i_r : $u_r = r \cdot i_r$ hay $i_r = g \cdot u_r$ (1.1) quan hệ này là định luật Ôm đã biết.

b. Thông số điện trở : Ta có $p_r = u_r i_r = r i_r^2$ suy ra $r = \frac{P_R}{i_R^2}$ Từ đây có thể thấy ý

nghĩa năng lượng của thông số r chính bằng công suất tiêu tán khi $i_r = 1A$ nói lên khả năng tiêu tán gọi là điện trở có thứ nguyên là $[\Omega] = [V/A]$. Tương tự ta có : $g = \frac{1}{r} = \frac{P_R}{u_r^2}$

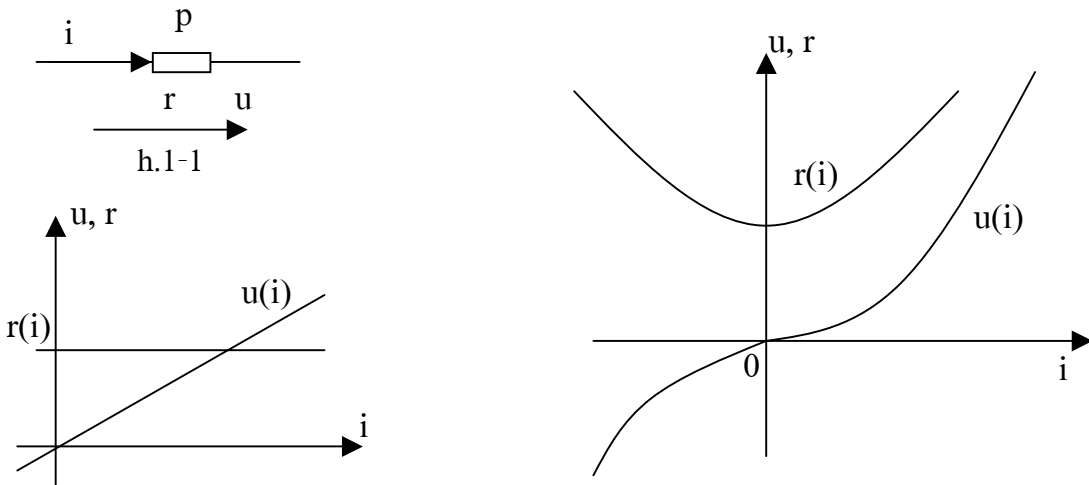
(1.3) gọi là điện dẫn với thứ nguyên là Simen $S = [1/\Omega] = [A/V]$.

c. Các đường đặc trưng của phần tử r, g : Quan hệ $u = ri$ là một phương trình đại số. Tức là giữa u, i trên phần tử tiêu tán có một quan hệ hàm xác định, quan hệ $u(i)$ biểu diễn bằng hình học gọi là đặc tính Vol-Ampe của phần tử tiêu tán tùy thuộc vào tính chất của r, g .

Khi $r = \text{const}$, ta có điện trở tuyến tính. Quan hệ $u(i)$ là đường thẳng.

Khi $r = r(i) \Rightarrow$ ta có điện trở phi tuyến. Lúc này quan hệ $u(i)$ là đường cong.

Kí hiệu điện trở trong sơ đồ như hình vẽ (h.1-1):



h.1-2 Đặc tính V-A. Điện trở tuyến tính

h. 1-3 :Đặc tính V-A. Điện trở phi tuyến

2. Phần tử kho điện - điện dung C :

a. Phương trình trạng thái kho điện : Khi đặt áp u lên trên hai vật dẫn ngăn cách nhau bởi chân không hoặc điện môi đặt đối mặt nhau thì trong lân cận cặp vật dẫn sẽ xuất hiện một điện trường. Trong những điều kiện thông thường điện tích q nạp lên các vật dẫn tùy thuộc điện áp u , tức là có quan hệ $q(u, u'...)$ gần đúng ta lấy $q(u)$. Cần xác định quan hệ giữa $u(i)$. Ta có : $i = \frac{dq(u)}{dt} = \frac{\partial q}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t}$, gọi hệ số của phương trình là điện

dung của cặp vật dẫn hoặc của kho điện, ký hiệu là : $C(u) = \frac{\partial q}{\partial u}$ (1.4) \rightarrow

$i = C \frac{du}{dt}$, $u = \frac{1}{C} \int i dt$ (1.5) là phương trình trạng thái của kho điện (luật Maxuel).

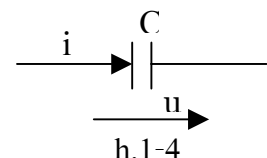
b. Thông số điện dung C : Điện dung C là thông số đặc trưng cho kho điện, từ $C = \frac{\partial q}{\partial u}$ thấy rõ là thông số đặc trưng cho dung tích nạp điện của kho dưới tác dụng của điện áp (C bằng q khi $u = 1V$). Nó chỉ khả năng nạp điện tích của tụ điện, C càng lớn khả năng nạp điện tích của tụ càng lớn. Về mặt năng lượng có :

$dW_e = p dt = u \cdot i \cdot dt = u \cdot C \cdot (du/dt) \cdot dt = u \cdot C \cdot du = C \cdot du^2/2 \rightarrow C = 2dW_e/du^2$. Điện dung C bằng hai lần năng lượng điện trường khi $du^2 = 1V$. C đo dung tích nạp năng lượng của tụ, chỉ khả năng nạp năng lượng - thứ nguyên của C trong hệ SI là Fara (F). $F = [C]/[V]=[A \cdot s]/[V]=[s]/[\Omega]$. Ta ký hiệu tụ điện trên sơ đồ như hình vẽ (h.1-4) :

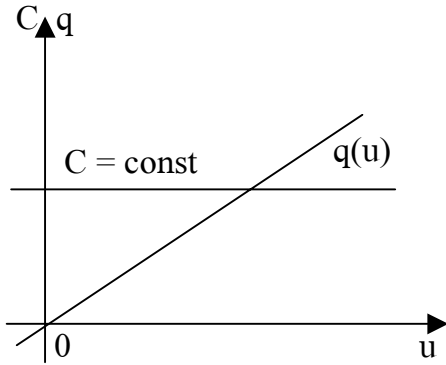
$F = 10^6 \mu F = 10^9 nF = 10^{12} pF$.

c. Các đường đặc tính của phần tử C

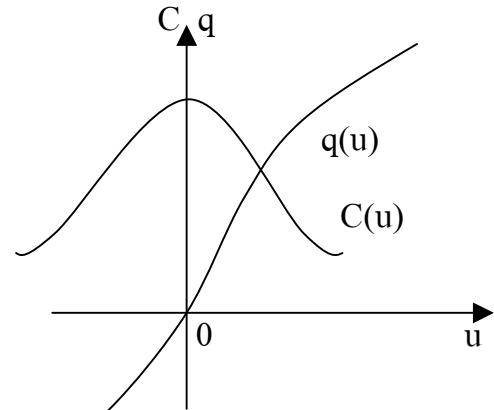
Nếu $C = \text{const}$, ta có kho tuyến tính. Khi $C = C(u)$ ta có tụ phi tuyến. Ta thấy với các kho điện (và kể cả kho từ) các biến u, i liên quan nhau trong một phương trình trạng thái vi tích phân



$i = C \frac{du}{dt}$, $C \frac{du}{dt} = y \rightarrow i = y.u$ hoặc $u = \frac{1}{C} \int idt$, $Z = \frac{1}{C} \int dt \rightarrow u = Z.i$. Chỉ tồn tại quan hệ hàm giữa u với i chứ không có quan hệ đặc trưng giữa u với q - nói cách khác không tồn tại một đường đặc tính Volt - Ampe $u(i)$ đặc trưng cho kho điện (hoặc kho từ). Mà ổ tụ điện xác định được quan hệ đặc trưng (hàm đặc tính) $C(u)$ hay $q(u)$ như hình vẽ:



h.1-5a : Tụ điện tuyến tính



h.1-5b : Tụ điện phi tuyến

3. Phần tử kho từ - điện cảm L - hồ cảm M :

a. Phương trình trạng thái kho từ : Khi dây dẫn có dòng điện chạy qua thì sinh ra xung quanh nó một từ trường. Từ trường xung quanh một dây dẫn phụ thuộc vào dòng điện qua nó và những dòng điện trong các dây dẫn khác nếu chúng có không gian gần nhau. Tức là $\psi_k(i_k, i_1, \dots)$. Theo Len - Faraday : khi từ thông biến thiên sẽ xuất hiện suất điện động cảm ứng : $u_k = \frac{d\psi_k}{dt}$. Trong đó chiều dương u_k , i_k giống nhau tức là phù hợp với chiều dương từ thông ψ_k theo quy tắc vặn nút chai thuận. Trong quá trình không quá nhanh ta thấy : $\psi_k = \psi_k(i_k, i_1, \dots)$ nên có :

$$u_k = \frac{\partial \psi_k}{\partial i_k} \frac{di_k}{dt} \pm \frac{\partial \psi_k}{\partial i_1} \frac{di_1}{dt} + \dots (1.5)$$

❖ Hiện tượng tự cảm : $\frac{\partial \psi_k}{\partial i_k} \frac{di_k}{dt} = u_k (1.6)$

Suất điện động sinh ra trong cuộn k chỉ do bởi sự biến thiên của dòng i_k gọi là suất điện động tự cảm. Gọi $\frac{\partial \psi_k}{\partial i_k} = L_k (1.7)$ là điện cảm có thứ nguyên Henry (H).

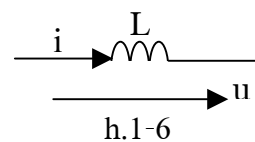
Ta có phương trình trạng thái của cuộn dây là : $u_{kk} = L \frac{di_k}{dt}$ hoặc $i_k = \int \frac{u_{kk}}{L_k} dt (1.8)$

Với toán tử tổng trở : $Z = L \frac{d}{dt}$, toán tử tổng dẫn : $Y = \frac{1}{L} \int . dt$

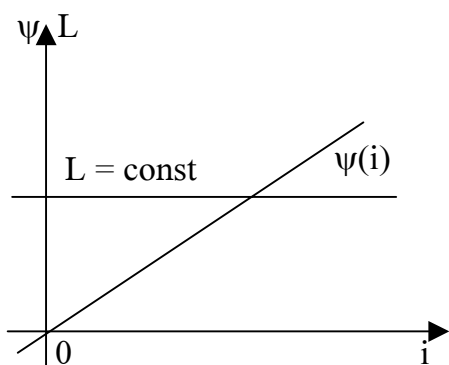
Điện cảm L nói lên khả năng nạp từ thông móc vòng lên cuộn dây ($L = \psi$, khi $i = 1A$) nó đo dung tích nạp từ thông của kho từ. Ngoài ra L còn đo dung tích nạp năng lượng của kho từ.

$$dW_L = u.i.dt = L \frac{di}{dt} . i . dt = L.i.di = L \frac{di^2}{2}, L = 2 \cdot \frac{dW_L}{di^2}$$

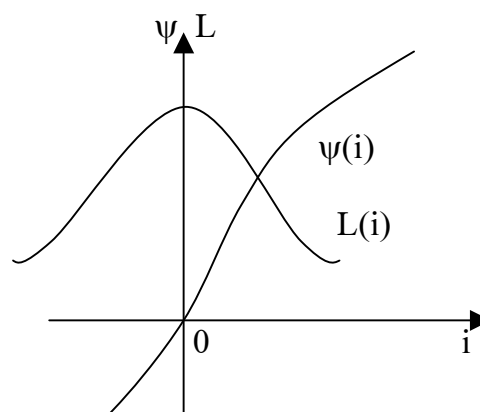
Ta ký hiệu điện cảm L trên sơ đồ như hình vẽ (h.1-6).
 Lưu ý nếu u_K, i_K chọn chiều dương như nhau thì $L > 0$.
 Có thể đặc trưng kho từ tự cảm bằng các đường cong đặc tính $L(i)$ hoặc $\psi(i)$. Rõ ràng không tồn tại đặc tính $u(i)$ trên cuộn dây.



- Khi $L = \text{const}$, ta có cuộn dây tuyến tính, điện cảm tuyến tính (cuộn dây lõi không khí) $\rightarrow \psi(i)$ có dạng đường thẳng như hình (h.1-7a).
- Khi $L = L(i)$, ta có cuộn dây phi tuyến, điện cảm phi tuyến (cuộn dây có lõi thép) $\rightarrow \psi(i)$ có dạng đường cong như hình (h.1-7b).



h.1-7a : Cuộn cảm tuyến tính



h.1-7b : Cuộn cảm phi tuyến

❖ Hiện tượng hồ cảm :

Gọi $\frac{\partial \psi_K}{\partial i_L} = M_{KL}$ (1.9) là hệ số hồ cảm, thứ nguyên [H] thì $M_{KL} \cdot \frac{di_L}{dt} = u_{KL}$ (1.10) là điện áp hồ cảm (sdd hồ cảm), là áp gây ra trên cuộn dây k do sự biến thiên của dòng trên nhánh l.

- Phương trình (1.10) là phương trình trạng thái hồ cảm giữa hai cuộn dây k và l. Toán tử hồ trở : $Z = M_{KL}(i_L) \cdot \frac{d}{dt}$.

- M là hệ số của toán tử hồ trở và phương trình trạng thái. Nó quyết định tính chất tuyến tính hay phi tuyến của quan hệ. Nó đo dung tích nạp từ thông lên kho từ cuộn dây k bởi dòng kích thích ở cuộn dây l. Nó cũng có ý nghĩa về mặt năng lượng.

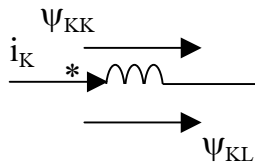
Khi môi trường tuyến tính thì $M_{KL} = M_{LK} = M$, $u_{MK} = M \frac{di_L}{dt}$, $u_{ML} = M \frac{di_K}{dt}$, năng

lượng nạp vào cả hai kho là :

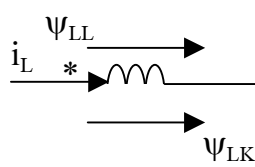
$$dW = u_{MK} \cdot i_K dt + u_{ML} \cdot i_L dt = M(i_K di_L + i_L di_K) = M \cdot d(i_K i_L) \rightarrow M = \frac{dW}{d(i_K i_L)} \quad (1.11)$$

❖ Dấu của hệ số M, cực tính của cuộn dây : u_K, i_K có chiều dương theo quy tắc vặn nút chai thuận thì $\psi_K > 0$ nên L luôn dương. Chiều của i_L sẽ quyết định chiều của ψ_{KL} cùng chiều hay ngược chiều với ψ_{KK} và lúc đó M sẽ dương hay âm trong biểu thức áp chung trên cuộn dây k :

$u_k = u_{kk} \pm u_{kl} = L \frac{\partial i_k}{\partial t} + M \frac{\partial i_l}{\partial t}$. Chiều của ψ_{KL} tùy thuộc vào chiều của i_L và chiều quấn dây. Nên để xác định dấu của ψ_{KL} cũng là dấu của M người ta quy định các nhà chế tạo phải đánh dấu các cực cùng tính, là các cực mà nếu các dòng điện cùng vào đó thì từ thông tự cảm và từ thông hổ cảm cùng chiều nhau. Ví dụ : Xét chiều của từ thông tự cảm và hổ cảm của cuộn dây k với cuộn dây l như hình vẽ (h.1-8a,b)



h.1-8a



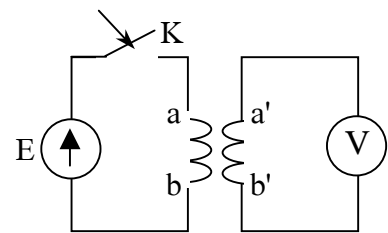
h.1-8b

Khi chiều dòng điện i_k, i_l vào các cực như hình vẽ (h.1-8a) tạo ra chiều từ thông tự cảm cùng chiều từ thông hổ cảm như hình vẽ thì các cực đánh dấu * là các cực cùng tính.

Lúc này : Từ thông của cuộn dây k là : $\psi_k = \psi_{kk} + \psi_{kl}$ nên $u_k = L \frac{di_k}{dt} + M \frac{di_l}{dt}$ với $M > 0$. Khi 2 cuộn dây k và l có chiều dòng điện i_k, i_l tạo ra các từ thông tự cảm ψ_{kk}, ψ_{ll} , từ thông hổ cảm ψ_{kl}, ψ_{lk} có chiều như hình (h.1-8b) thì các cực có dấu * là cực cùng tính; và lúc này từ thông của cuộn dây k là : $\psi_k = \psi_{kk} - \psi_{kl}$ nên $u_k = L \frac{di_k}{dt} + M \frac{di_l}{dt}$

với $M < 0$.

Có thể xác định cực cùng tính của các cuộn dây bằng một mạch thí nghiệm như hình vẽ (h.1-9). Ta đóng vào cuộn dây l một nguồn pin để tạo dòng điện i_l . Trên cuộn dây k nối vào một Vônmet V để đo áp hổ cảm. Nếu đo thấy áp $U_{a'b'} > 0$ thì a và a' (hoặc b và b') là cực cùng tính. Nếu $U_{a'b'} < 0$ thì a và b', b và a' là cực cùng tính.



h.1-9

Ta hay dùng công thức liên hệ giữa hổ cảm và tự cảm hai cuộn dây : $K = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}$

Trong đó : K là hệ số ngẫu hợp giữa hai cuộn dây thường $K < 1$ vì bao giờ cũng có một phần từ thông không khép mạch qua lõi thép, K có thể được tính ra %.

4. Phần tử nguồn :

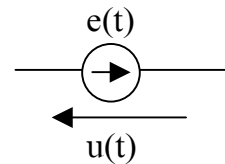
Ngoài các phần tử thụ động (R, L, C) trong thiết bị điện còn có hiện tượng nguồn để phát ra năng lượng TĐT cung cấp hoặc trao đổi với những bộ phận thụ động. Ta mô tả hiện tượng nguồn bằng phần tử nguồn (gọi là phần tử tích cực). Nói chung không thể lấy công suất phát P_t là biến đặc trưng cho nguồn được vì công suất $p = u.i$ không những tùy thuộc vào nguồn mà còn phụ thuộc vào phụ tải nhận năng lượng (ví dụ như khi không tải thì $i = 0$ nên $p = u.i$ cũng phải bằng 0). Cũng không thể đặc trưng nguồn bằng cả cặp biến u, i vì $u.i = p$ thì giống như chọn biến p. Cho nên chỉ có thể đặc trưng cho nguồn bằng một hàm áp u(t) hay e(t) hoặc một hàm dòng i(t) hay j(t).

Điều này phù hợp với thực tế thường chế tạo những nguồn coi là hàm áp nhất định như máy phát điện xoay chiều, máy phát sóng âm tần, cao tần, máy biến áp, pin... Cũng có thể chế tạo những nguồn coi là cung cấp ra một hàm dòng nhất định như các máy biến dòng... Vậy ta có hai loại nguồn : nguồn áp (nguồn Sđđ) và nguồn dòng.

a. Nguồn áp $u(t)$, nguồn Sđđ $e(t)$:

Nguồn áp $u(t)$ hay nguồn Sđđ $e(t)$ là nguồn có đặc tính duy trì trên các cực một hàm áp xác định theo thời gian, không phụ thuộc dòng chảy qua nó. Về mặt vật lý Sđđ chính là công của lực nguồn để làm dịch chuyển đơn vị điện tích dương ở trong nguồn từ cực có thế thấp sang cực có thế cao (công này là do cơ năng của động cơ sơ cấp quay máy phát điện tạo ra). Với định nghĩa nguồn áp như vậy ta có phương trình trạng thái là : $u(t) = - e(t)$. (1.13). Biểu diễn như hình (h.1-10).

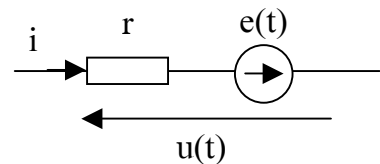
Trong đó chiều của $e(t)$ trong nguồn từ nơi có thế thấp đến nơi có thế cao. Ngược lại áp trên cực máy phát có chiều từ điểm điện thế cao đến điểm có điện thế thấp.



h.1-10

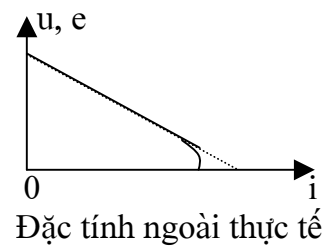
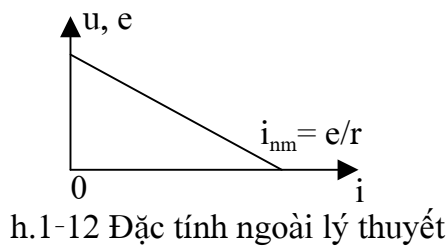
– Nếu nguồn $e(t)$ phát ra dòng $i(t)$ với chiều dương trùng chiều dương Sđđ $e(t)$ thì công suất tiếp nhận là $p = u.i = -e.i$, và công suất phát ra là $p_f = -p$ (theo định luật bảo toàn) $\rightarrow p_f = -p = -(-e.i) = e.i$ (1.14) từ công thức này ta thấy e là thông số đo khả năng phát của nguồn, nó chính bằng công suất phát ra khi nguồn cho ra dòng điện 1A.

– Trên thực tế áp $u(t)$ trên cực của nguồn phụ thuộc dòng qua nguồn nên coi $u = e$ với bất kỳ dòng nào qua nguồn thì đó là nguồn lý tưởng. Tức là thực tế nếu phải kể thêm tiêu thụ khá nhỏ trong nguồn thì phương trình trạng thái của nguồn là : $u = e - r.i$ (1.15). Lúc này biểu diễn nguồn bằng sơ đồ hình (h.1-11)



h.1-11

Quan hệ $u = e - r.i$ là đặc tính ngoài của máy phát điện như hình (h.1-12)



Các máy điện thường có tính thuận nghịch. Khi i ngược chiều e thì nguồn sẽ thu năng lượng điện từ để biến ra các dạng khác (cơ năng, nhiệt năng...) lúc này $p_f = -e.i$ (1.16) nguồn thành một phần tử thu (động cơ điện). Vậy khi e, i cùng chiều thì nguồn sẽ là máy phát điện.

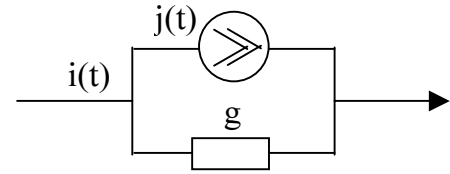
b. Nguồn dòng $j(t)$: Nguồn dòng $j(t)$ là nguồn có đặc tính là cho ra một hàm dòng $j(t)$ xác định không tùy thuộc áp trên các cực. Từ đó dẫn ra phương trình trạng thái của nguồn dòng là : $i(t) = j(t)$ (1.17). Nguồn dòng được biểu diễn như hình (h.1-13).



h.1-13

Trên thực tế $i(t)$ phụ thuộc áp trên cực, cho nên định nghĩa nguồn dòng trên là lý tưởng. Ở đây chúng ta thấy không tồn tại đặc tính V-A riêng của nguồn dòng vì cùng $j(t)$ đã cho có thể ứng với vô số áp trên cực.

Từ phương trình trạng thái (1.17) thấy toán tử dẫn của nguồn dòng $y = 0$ nên cách nối chính tắc của nguồn dòng là nối thẳng vào các đỉnh của sơ đồ, việc nối tiếp vào nguồn dòng một trở hữu hạn là vô nghĩa. Nếu kể đến tổn thất trong nguồn ta có thể đi từ phương trình $u = e - r \cdot i \rightarrow i = e/r - u/r \rightarrow i = j - g \cdot u$



h.1-14

(1.18) với $j = e/r$, $g = 1/r$. Từ đây có sơ đồ biểu diễn như hình (h.1-14).

Với chiều dương u , j chọn như hình vẽ, ta sẽ có nguồn dòng phát ra công suất $p_f = -u \cdot j$. Từ công thức này thấy rõ ý nghĩa của thông số j đo khả năng phát của nguồn dòng. Nó chính bằng p_f khi đặt dưới điện áp 1V.

c. *Tính tương đương của hai loại nguồn* : Từ hai sơ đồ nguồn áp (h.1-11) và nguồn dòng (h.1-14) suy ra hai sơ đồ trên là tương đương nhau nếu $j = e/r$, $g = 1/r$ nghĩa là khi cùng áp u (hay dòng i) thì dòng i (hay áp u) của hai sơ đồ là như nhau. Từ đây thấy cách biến đổi tương đương giữa hai nguồn áp, dòng.

Rõ ràng tùy theo quan hệ giữa điện trở trong của nguồn năng lượng r và điện trở của phụ tải R mà mô tả nó bằng nguồn Sđđ hay nguồn dòng. Khi điện trở trong $r \ll R$ thì dùng nguồn áp, ngược lại khi trở trong r rất lớn thì dùng nguồn dòng.

Dựa vào đặc điểm đó trong phòng thí nghiệm có thể tạo ra những nguồn áp với trở trong nhỏ. Ngược lại muốn tạo nguồn dòng ta phải tạo nên được tổng trở trong rất lớn.

§3. Các luật của mạch điện - Hệ phương trình của mạch

1. Luật KF 1 :

Khi TBĐ thỏa mãn điều kiện mạch hóa thì coi ở mỗi thời điểm t dòng dẫn $i(t)$ có giá trị như nhau dọc theo vật dẫn, dòng điện chảy liên tục một cách tức thời dọc theo các vật dẫn. Đây chính là cơ sở để dẫn ra định luật KF 1.

a. Định luật KF 1 : " Tổng đại số dòng dẫn vào (hoặc ra) một đỉnh triệt tiêu. Biểu thức : $\sum i_k = 0$

Khi có cả các nguồn dòng bơm vào đỉnh thì nguồn dòng đã biết nên ta để nó ở vế phải của phương trình.

$$\sum i_k = \sum j_k \quad (1.19)$$

b. Ý nghĩa của định luật KF 1 : Luật KF1 có các ý nghĩa sau đây :

- Nó mô tả tính liên tục của dòng dẫn, nói cách khác nó là biểu thức định lượng của tính liên tục.
- Nó định nghĩa phép cộng các biên dòng điện tại các đỉnh.
- Nó xác định kết cấu đỉnh (nút) của graph mạch điện.

c. Số phương trình độc lập viết theo luật KF 1 :

Khi viết phương trình KF 1 cần lưu ý phương trình viết phải độc lập và số lượng phương trình phải viết đủ. Ta xét số phương trình đủ viết theo luật KF 1 : nếu mạch điện có d đỉnh thì về nguyên tắc có thể viết được d phương trình KF1 cho d đỉnh, nhưng cần nhớ rằng trong một nhánh, dòng chảy từ đầu đến cuối nên dòng điện trong nhánh với đỉnh đầu là vào (dương) với đỉnh cuối là ra (âm), nên viết đủ d phương trình thì thừa 1 phương trình, tức là phương trình này có thể suy ra từ $(d-1)$ phương trình đã viết, nên phương trình đó không độc lập. Vì vậy số phương trình độc lập viết theo luật KF1 là : $k_1 = d - 1$ (nếu là graph đơn liên) hoặc $k_1 = d - l$ (nếu graph đa liên - với l là số liên) (1.20). Có thể thấy số phương trình độc lập theo luật KF1 chính bằng số cành trên cây của graph mạch điện.

2. Định luật KF 2 :

Với điều kiện mạch hóa sẽ có sự phân bố thế dọc các vật dẫn trong TBD. Vì vậy đi theo một vòng trên TBD trở lại điểm xuất phát sẽ trở lại thế cũ với lượng tăng thế bằng 0. Từ đó có thể phát biểu luật KF2 như sau :

a. Luật KF 2 : " Tổng đại số các sụt áp trên một vòng kín triệt tiêu"

$$\sum u_k = 0, \sum u_k = \sum e_k \quad (1.21)$$

b. Ý nghĩa luật KF2 :

- Nó mô tả tính chất thế của quá trình năng lượng điện từ trong TBD.
- Nó định nghĩa phép cộng các áp nhánh theo vòng kín.
- Nó xác định kết cấu vòng của mạch điện.

c. Số phương trình độc lập viết theo KF2

Phương trình KF2 viết theo vòng, nên số phương trình độc lập ứng với số vòng độc lập. Trong một mạch điện số vòng độc lập ứng với số bù cành, bằng $k_2 = m - d + 1$ (nếu graph đơn liên), $k_2 = m - d + l$ (nếu graph đa liên, l là số liên), trong đó m là số nhánh của mạch điện.

Sở dĩ vậy vì mỗi bù cành ghép với cây sẽ tạo thành một vòng kín độc lập, nên số vòng độc lập chính bằng số bù cành. Lưu ý vòng độc lập là vòng có ít nhất 1 nhánh mà các vòng khác không có, mỗi vòng độc lập có ít nhất một bù cành mà vòng khác không có. (số vòng độc lập bằng số mắt lưới trên graph).

Từ điều kiện mạch hóa suy ra hai định luật cơ bản của mạch điện là định luật KF1 và KF2, hai định luật nói lên cấu trúc của mạch điện gồm nhánh, đỉnh, vòng với kết cấu khung của TBD, với những phép tính đại số các biến cùng loại i hoặc u . Ta viết được m phương trình cho mạch. Như đã biết mạch có m biến dòng và m biến áp, vậy còn thiếu m phương trình nữa mới đủ để giải ra các biến, m phương trình còn lại sẽ là m phương trình định luật Ôm đã biết.

3. Định luật Ôm :

Đây là định luật cho mối liên hệ giữa hai biến khác loại, nó chính là phương trình trạng thái, biểu diễn được hành vi riêng của từng vùng năng lượng. Dạng biểu thức tổng quát : $u = \mathcal{Z}.i$ (1.23). Trong đó : \mathcal{Z} là toán tử.

Ví dụ :

Trên vùng tiêu tán ; $u = R.i \rightarrow \mathcal{Z} = R,$

Trên vùng điện trường : $u_c = \frac{1}{C} \int i.dt \rightarrow \mathcal{Z}_C = \frac{1}{C} \int .dt$

Trên vùng từ trường : $u_L = L \frac{di}{dt} \rightarrow \mathcal{Z}_L = L \frac{di}{dt}$

Hoặc $i = \mathcal{Y}.u$ (1.24). Trong đó \mathcal{Y} là toán tử dẫn :

Vùng tiêu tán : $i = g.u = \frac{1}{R}.u \rightarrow \mathcal{Y}_R = \frac{1}{R} = g.$

Vùng điện trường : $i_c = C. \frac{du}{dt} \rightarrow \mathcal{Y}_C = C. \frac{d.}{dt}$

Vùng từ trường : $i_L = \frac{1}{L} \int u dt \rightarrow \mathcal{Y}_L = \frac{1}{L} \int .dt$

4. Hệ phương trình biến nhánh của luật KF :

Với biến số là áp nhánh, dòng nhánh ta có các hệ phương trình mạch điện như sau :

a. Hệ phương trình mạch khi kích thích là nguồn áp $e(t)$

Xét sơ đồ mạch điện có d đỉnh, m nhánh thụ động thì có $2m$ biến dòng, áp nhánh và kích thích là nguồn áp nối tiếp trong các nhánh, ta có hệ phương trình :

$$\begin{cases} \sum i_k = 0 \\ \sum u_k = \sum e_k \\ u_k = Z_k.i_k \pm \sum Z_{kl}.i_l \end{cases}$$

Trong đó : toán tử Z_k nhánh có dạng tổng quát : $Z_k = R_k + L_k \cdot \frac{d.}{dt} + \frac{1}{C_k} \int .dt$

Toán tử hỗ trợ thường là hỗ cảm có dạng : $Z_{kl} = M_{kl} \frac{d.}{dt}$. Mỗi áp nhánh có quan hệ toán tử xác định với dòng nhánh nên có thể lấy biến là m dòng nhánh ta có hệ phương

trình được viết lại dưới dạng : $\begin{cases} \sum i_k = 0 \\ \sum Z_k.i_k \pm \sum Z_{kl}.i_l = \sum e_k \end{cases}$ (1.25)

b. Hệ phương trình mạch khi kích thích là nguồn dòng $j(t)$

Kích thích là những nguồn dòng $j(t)$ ghép song song vào m nhánh thụ động có toán tử dẫn \mathcal{Y} :

$$\text{Ta có hệ phương trình : } \begin{cases} \sum i_k = \sum j_k \\ \sum u_k = 0 \\ i_k = Y_k.u_k \end{cases}$$

Nếu lấy biến là m áp nhánh ta có : $\begin{cases} \sum Y_k.u_k = \sum j_k \\ \sum u_k = 0 \end{cases}$ (1.26)

c. Hệ phương trình mạch khi kích thích hỗn hợp.

Khi có cả nguồn Sđđ và nguồn dòng ta có hệ phương trình : $\begin{cases} \sum i_k = \sum j_k \\ \sum u_k = \sum e_k \end{cases}$