

CHƯƠNG 01

MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp là **thiết bị điện tĩnh biến đổi điện năng sang điện năng dựa vào định luật cảm ứng điện từ**. Các thông số **dòng và áp ở ngõ vào** (sơ cấp) và **ngõ ra** (thứ cấp) có thể có giá trị khác nhau; **nhưng tần số nguồn điện ở ngõ vào và ngõ ra có cùng giá trị**.

1.1. TỔNG QUAN VỀ CẤU TẠO VÀ PHÂN LOẠI MÁY BIẾN ÁP :

1.1.1. CẤU TẠO:

Máy biến áp bao gồm các thành phần như sau:

- ✚ Lõi thép còn được gọi là mạch từ.
- ✚ Các bộ dây quấn trên lõi thép.

1.1.1.1. MẠCH TỪ (LỖI THÉP)

Lõi thép được tạo thành bằng cách ghép nhiều lá thép Kỹ Thuật Điện có hình dạng định trước theo một cách nhất định. Thí dụ **lõi thép biến áp một pha** có thể tạo thành từ các lá thép Kỹ Thuật Điện được định hình theo dạng **E, I** hay **U, I** bằng công nghệ dập nguội.



Lá thép U, I



Lõi thép tạo thành từ các lá thép hình E, I

Hình H1.1: Hình dạng của lá thép tạo thành mạch từ của máy biến áp 1 pha.

Thép Kỹ Thuật Điện còn được gọi là **thép cán, thép silicon, thép silic** là **vật liệu đặc chế từ hợp kim của sắt** để tạo thành **vật liệu có từ tính định trước**, chẳng hạn như **tạo thành chu trình từ trễ hẹp và bé, độ từ thẩm cao**. Các thuộc tính này nhằm giảm thiểu mức tiêu hao năng lượng trong mạch từ (bớt phát nóng) khi có từ thông biến thiên theo thời gian đi trong lõi thép.

Thép Kỹ Thuật Điện thường được sản xuất dưới hình thức **cán nguội** thành tấm hay thành băng với bề dày nhỏ hơn **2 mm**. Thép Kỹ Thuật Điện là hợp kim sắt có hàm lượng Silic tối đa **6,5%**. Với hợp kim thương mại thường hàm lượng silic tối đa **4%**. Hàm lượng **Si càng cao làm tăng tính giòn của vật liệu**.

Công dụng của Silicon làm **tăng đáng kể điện trở của thép kỹ thuật điện**, làm **giảm thấp dòng điện xoáy** và **thu hẹp chu trình từ trễ của vật liệu**. Trong Thép Kỹ Thuật Điện hàm lượng carbon, lưu huỳnh, oxy và nitơ phải được giữ ở mức thấp, vì đây là những yếu tố làm tăng chu trình từ trễ và giảm hệ số từ thẩm.

Hàm lượng carbon được lưu giữ đến **0,05%** hoặc thấp hơn. Vì sự hiện diện của carbon làm gia tăng tổn thất điện năng theo thời gian, nói cách khác làm lão hóa vật liệu theo thời gian.

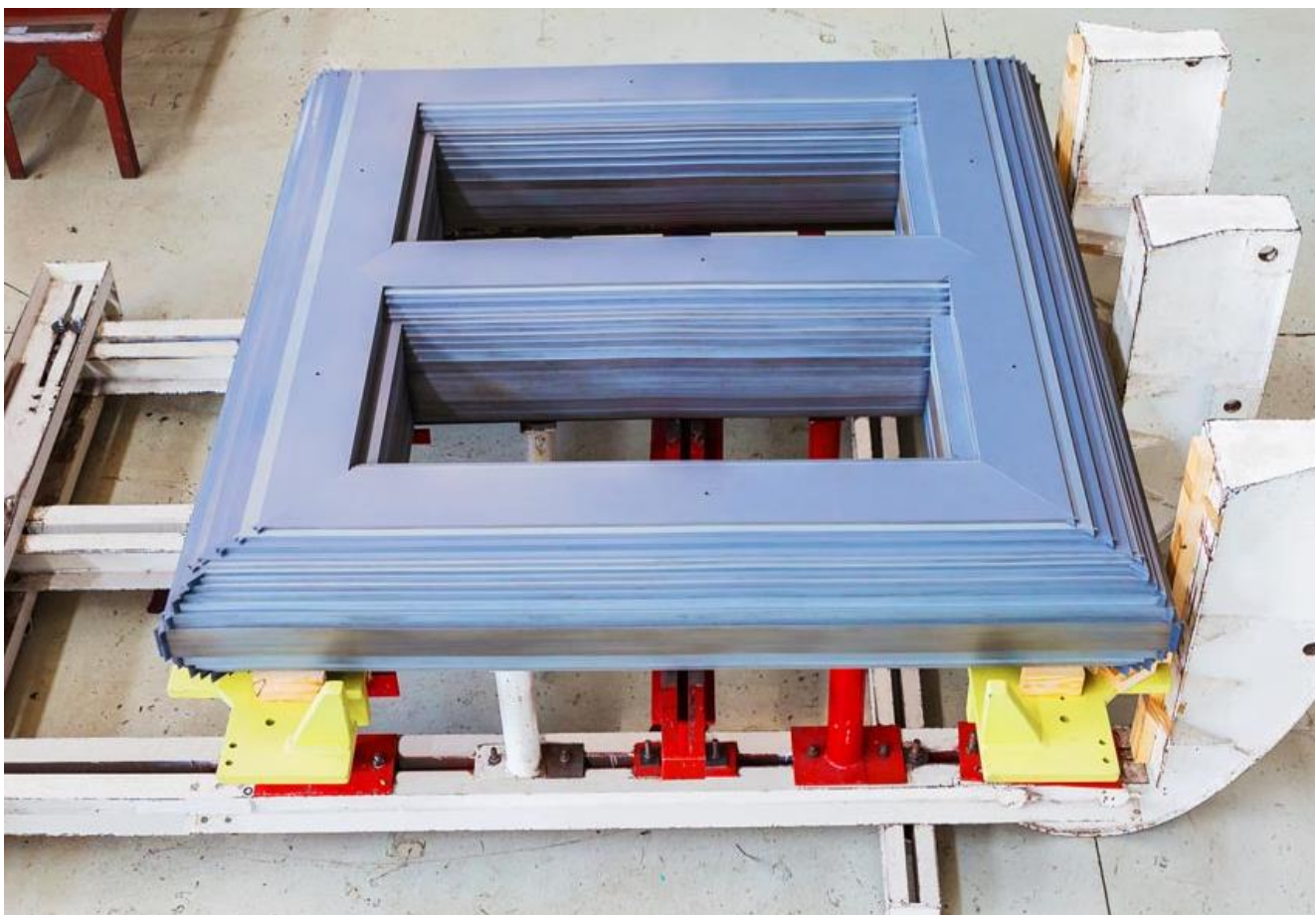
Ngoài ra trong Thép Kỹ Thuật Điện còn có thêm hàm lượng **Mangan** và **Nhôm** lên đến **0,5%** với công dụng gia tăng độ kháng rỉ. Mangan là vật liệu cần thiết cho quá trình luyện kim tạo thành Thép Kỹ Thuật Điện.

Tùy thuộc vào công nghệ và phương thức luyện kim, Thép Kỹ Thuật Điện dùng chế tạo máy biến áp và các máy điện quay thường được chia thành các dạng sau:

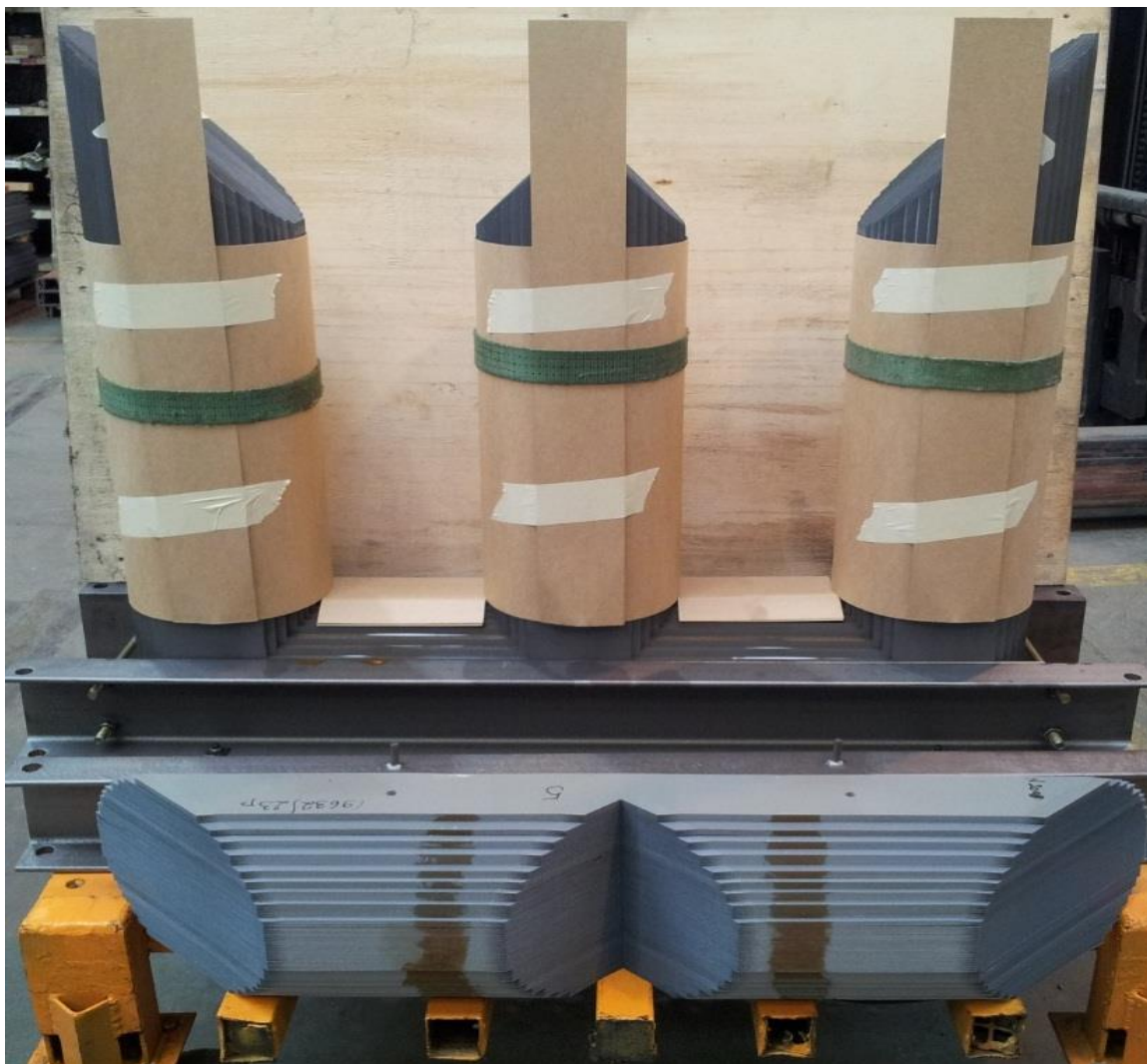
✚ Thép **Kỹ Thuật Điện không định hướng (non-oriented steel)**. Tính chất của loại vật liệu này giống như các nội dung đã trình bày trên. Tuy nhiên trong quá trình chế tạo **không áp dụng các phương thức xử lý đặc biệt để kiểm soát tính định hướng của các tinh thể**. Do đó khi đặt Thép Kỹ Thuật Điện vào Từ Trường tính dẫn từ đồng nhất theo mọi hướng, còn được gọi là **đẳng hướng**. Thép Kỹ Thuật Điện không định hướng thường được chế tạo bằng phương pháp cán lạnh thành băng hay tấm nên được ký hiệu tắt là **CRNGO (Cold-rolled non-grain-oriented steel)**. Các kiểu lá thép biến áp 1 pha trình bày trong hình **H1.1** dùng loại Thép Kỹ Thuật Điện **CRNGO**

✚ Thép **Kỹ Thuật Điện định hướng (oriented steel)**. Trong quá trình sản xuất vật liệu này, phải **áp dụng phương thức xử lý tối ưu tính dẫn từ theo phương cán**. Theo đề nghị của **Norman P.Goss (1934)** áp dụng phương thức kiểm soát chặt chẽ tính định hướng tinh thể trong quá trình luyện kim có thể **gia tăng Từ Cảm** (hay mật độ từ thông) **lên cao hơn 30% theo chiều cán**, mặc dù tính **bảo hòa từ sẽ phải giảm đi 5%**. Vật liệu này được ký hiệu tắt là **CRGO (Cold-rolled grain-oriented steel)** và thường được cung cấp bởi các nhà máy sản xuất ở dạng cuộn hoặc đã được dập cắt thành dạng tấm theo kích thước riêng để tạo thành một lõi biến áp 3 pha, xem hình **H1.2**.

Chi phí tổn kém cho vật liệu **CRNGO** thấp hơn so với **CRGO**, **CRNGO** thường được ứng dụng trong các thiết bị có hướng từ thông không cố định: như trong động cơ điện, máy phát điện.

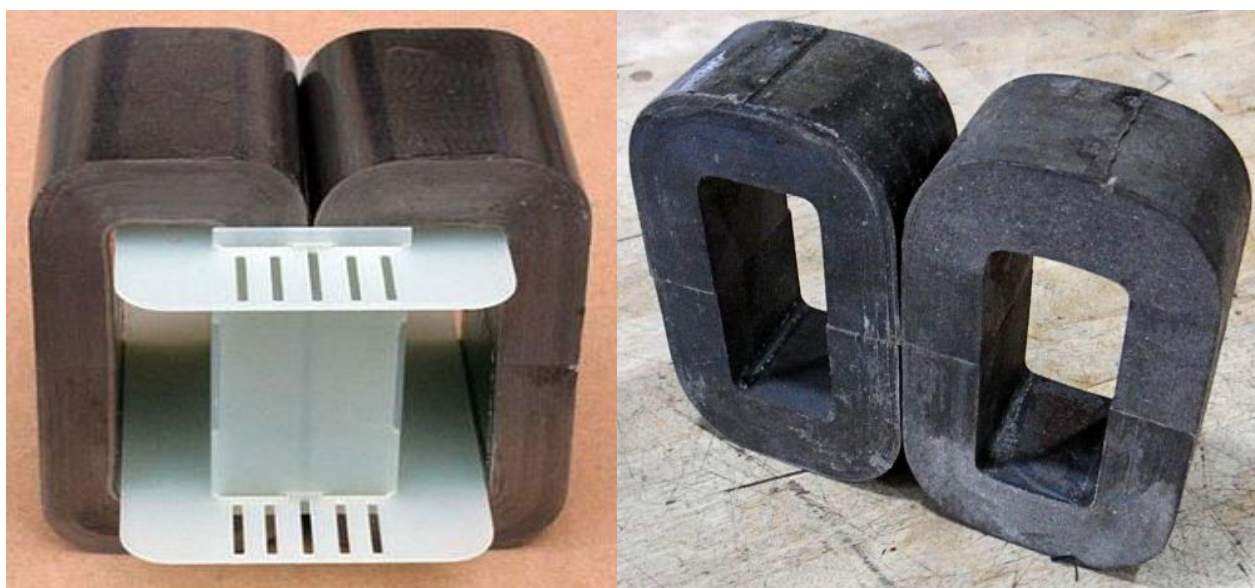


Hình H1.2: Mạch từ máy biến áp 3 pha dùng lá thép Kỹ Thuật Điện dẫn từ định hướng.



Hình H1.3: Kết cấu mạch từ máy biến áp 3 pha dùng lá thép Kỹ Thuật Điện dẫn từ định hướng .

Thép Kỹ Thuật Điện dẫn từ định hướng cũng được dùng làm mạch từ cho biến áp 1 pha với lõi thép hình **C**, xem hình **H1.4**.



Hình H1.4: Mạch từ hình C của máy biến áp 1 pha dùng lá thép Kỹ Thuật Điện dẫn từ định hướng .

1.1.1.2. CÁC BỘ DÂY QUẤN:

Các bộ dây quấn trên lõi thép biến áp bao gồm:

✚ **Bộ dây sơ cấp:** **nhận điện năng từ nguồn cấp vào biến áp để thực hiện quá trình từ hóa mạch từ.** Khi cấp áp xoay chiều vào dây quấn sơ cấp, mạch điện sơ cấp kín sẽ tạo thành dòng sơ cấp xoay chiều qua các vòng dây của bộ dây quấn sơ cấp. Dòng sơ cấp sẽ tạo thành các đường sức từ trường khép kín trong mạch từ và xuyên qua tâm của các bộ dây. Từ thông xuyên qua các cuộn dây biến thiên theo thời gian sẽ tạo thành các sức điện động cảm ứng trong các dây quấn

Vấn đề này sẽ được **trình bày chi tiết hơn trong phần nguyên lý hoạt động** ở nội dung sau.

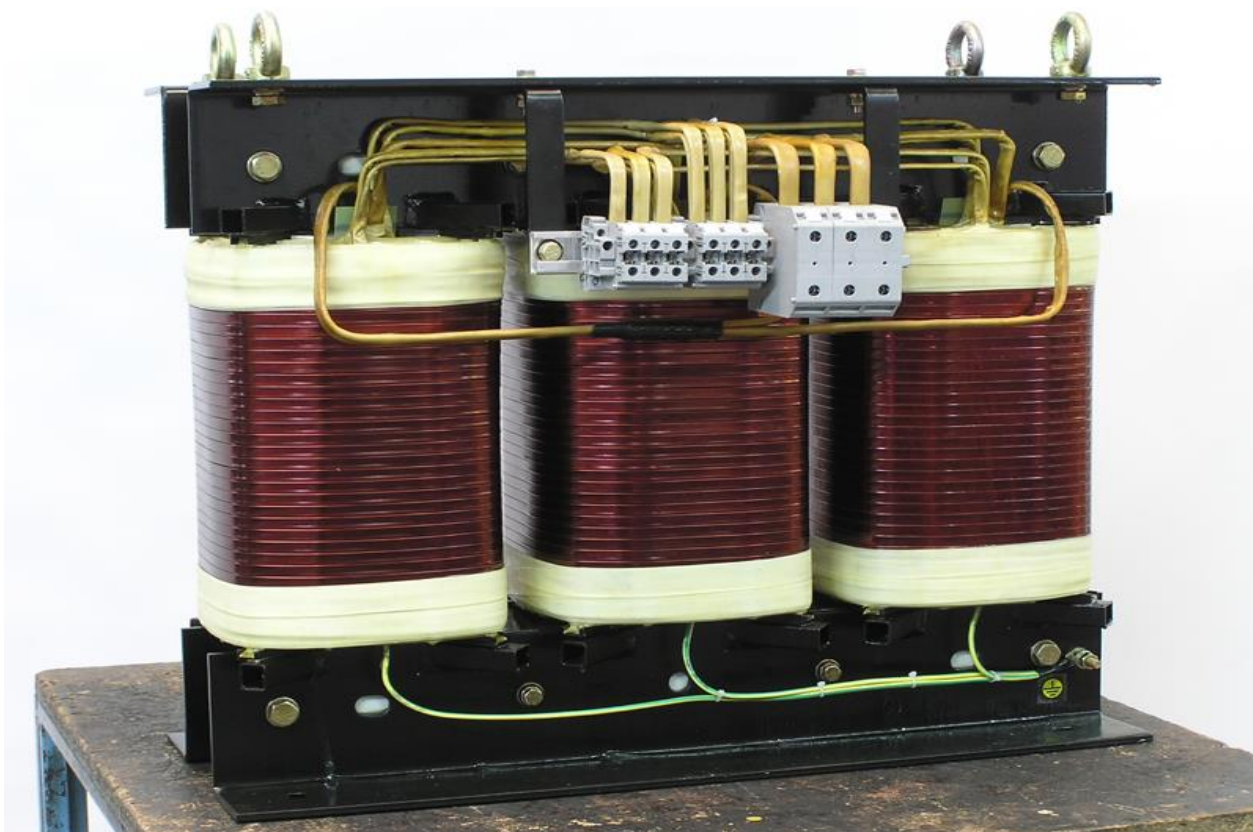
✚ **Bộ dây thứ cấp:** **tạo thành sức điện động cảm ứng để cấp điện năng đến Tải .**

Tùy thuộc vào cấp công suất của biến áp, các cuộn dây được tạo thành bởi **dây điện từ bằng đồng hay nhôm, tiết diện dây tròn hay hình chữ nhật, mặt ngoài của dây quấn được tráng men cách điện (email)** . Tùy thuộc vào **cấp cách điện chịu nhiệt** của thiết bị, chất liệu của lớp men cách điện cũng thay đổi tương ứng. Trong các máy biến áp công suất lớn, dây điện từ có thể là dây đồng tráng men được bọc thêm lớp giấy cách điện hay lớp vải sợi thủy tinh cách điện.

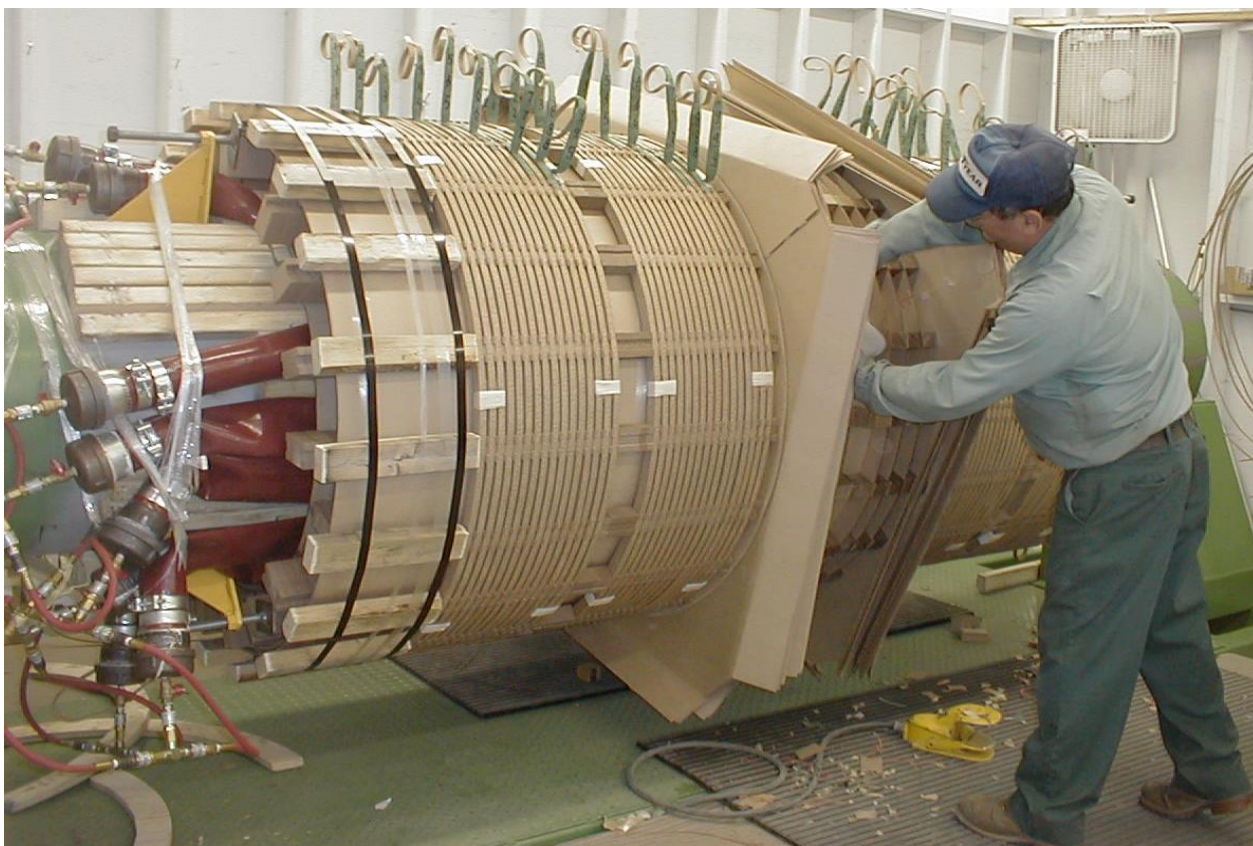
Trong hình **H1.5** trình bày cuộn dây quấn biến áp 3 pha dạng đồng tâm, dây quấn phía điện áp thấp dùng dây đồng tiết diện chữ nhật và dây quấn phía cuộn dây điện áp cao là dây đồng tráng men tiết diện tròn. Tương tự trong hình **H1.6** trình bày biến áp 3 pha có các bộ dây quấn dùng dây điện từ tráng men tiết diện chữ nhật. Trong hình **H1.7** trình bày cuộn dây quấn lắp trong mạch từ tiết diện hình bậc thang, dây điện từ tiết diện chữ nhật tráng men và bọc thêm lớp giấy cách điện.



Hình H1.5: Các cuộn dây của biến áp 3 pha dùng dây tráng men tiết diện tròn và tiết diện chữ nhật.



Hình H1.6: Các cuộn dây của biến áp 3 pha dùng dây tráng men tiết diện chữ nhật



Hình H1.7: Cuộn dây của biến áp 3 pha dùng dây tráng men tiết diện chữ nhật có bọc thêm lớp giấy cách điện. Cuộn đang trong quá trình thi công.

Tóm lại :

Nhiệm vụ của dây quấn sơ cấp nhận điện năng từ nguồn và chuyển hóa thành từ trường biến thiên qua mạch từ. Mạch từ làm bằng vật liệu dẫn từ có nhiệm vụ vận chuyển tối đa các đường sức của từ trường biến thiên xuyên qua tâm của các bộ dây quấn để thực hiện hiện tượng cảm ứng điện từ. Nếu sức điện động cảm ứng đã hình thành trong bộ dây thứ cấp và Tải được kết nối vào thứ cấp thì điện năng từ thứ cấp sẽ được cấp đến Tải.

1.1.2. PHÂN LOẠI :

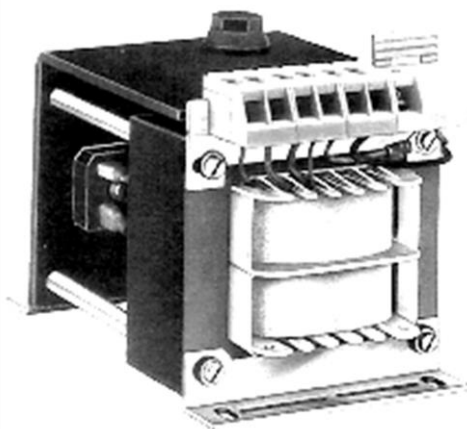
Tiêu chuẩn phân loại máy biến áp được trình bày như sau.

✚ Khi **căn cứ vào loại nguồn điện cấp vào sơ cấp** (ngõ vào) biến áp, ta có **biến áp 1 pha và biến áp 3 pha**. Một số kết cấu của biến áp 1 pha trình bày trong hình H1.8 và một số kết cấu biến áp 3 pha được trình bày trong hình H1.9.

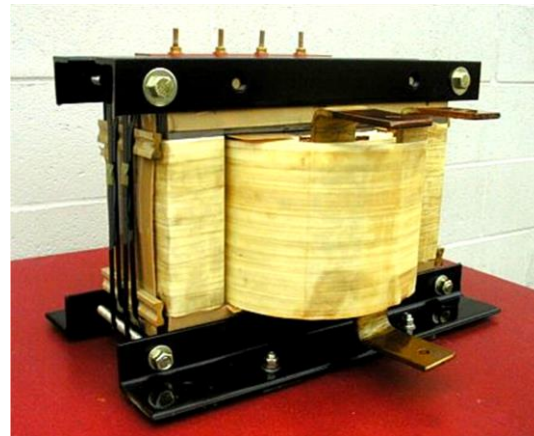
✚ Khi **phân loại theo hình dạng lá thép tạo nên mạch từ**, ta có hai dạng : **loại lõi (core type) và loại bọc (shell type)**.

Máy biến áp 1 pha **dạng lõi** có hình dạng được trình bày trong hình H1.10. Máy biến áp 3pha dạng lõi có hình dạng đã được trình bày trong hình H1.6 và H1.9.

Máy biến áp 1 pha **loại bọc** (shell type) có hình dạng được trình bày trong hình H1.8.



Các bộ dây quấn đồng trục

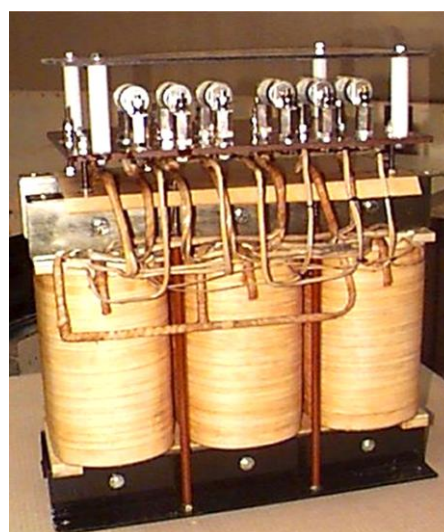


Các bộ dây quấn đồng tâm

HÌNH H1.8: Hình dạng và kết cấu của một số dạng biến áp 1 pha, loại bọc (shell type).

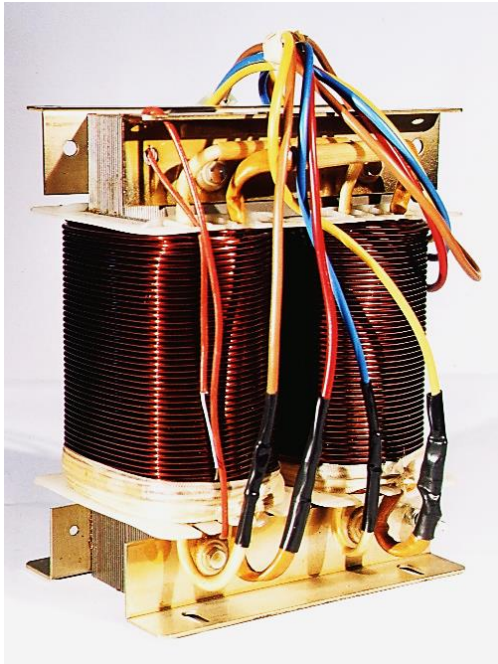


Dây quấn sơ và thứ quấn đồng trục



Dây quấn sơ và thứ quấn đồng tâm

HÌNH H1.9: Hình dạng và kết cấu của một số dạng biến áp 3 pha, dạng lõi (core type)



Mạch từ lá thép U, I



Mạch từ dạng hình xuyên

HÌNH H1.10: Một số dạng biến áp 1 pha loại lõi bọc (core type)**HÌNH H1.11:** Biến áp 3 pha loại ngâm trong dầu cách điện (Oil Power Transformer)

Với biến áp 3 pha công suất lớn, dạng biến áp truyền tải, toàn bộ biến áp sau khi được chế tạo được đặt trong vỏ thùng có chứa dầu cách điện với công dụng cách điện và giải nhiệt cho biến áp khi vận hành. Trên vỏ có **các cánh giải nhiệt và các ống dẫn dầu đối lưu giải nhiệt** cho toàn hệ thống. Kết cấu của biến áp truyền tải trình bày trong hình **H1.11**.

Trong hình **H1.12** trình bày kết cấu biến áp 3 pha và các đầu ra dây sau khi thi công hoàn chỉnh dây quấn. Biến áp thuộc loại cách điện dùng dầu hoặc cách điện dùng môi trường không khí (biến áp khô).



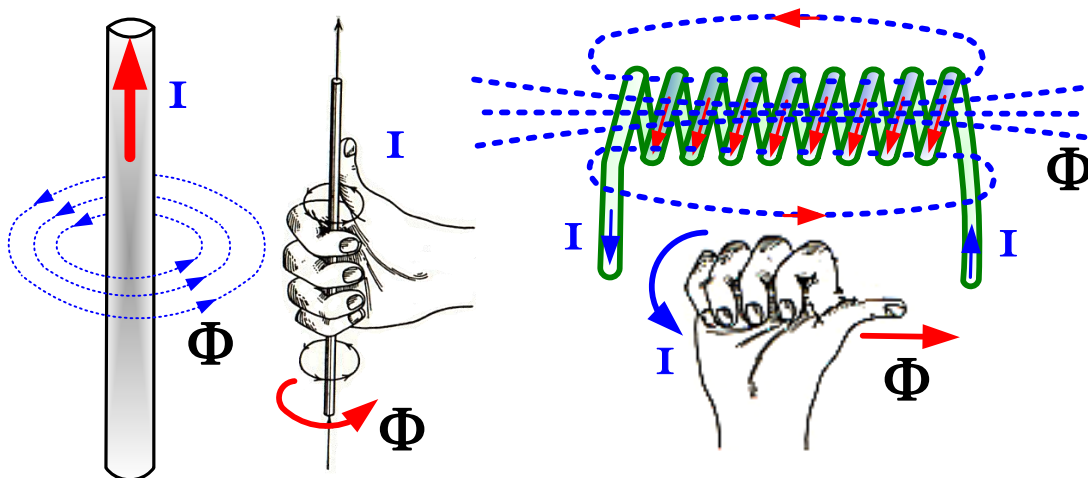
HÌNH H.12: Dây quấn và các đầu ra của dây quấn trên biến áp 3 pha.

1.2.CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ ÁP DỤNG KHẢO SÁT NGUYÊN LÝ MÁY BIẾN ÁP :

1.2.1.TỪ TRƯỜNG:

✚ **Từ trường là kết quả đạt được từ chuyển động của các điện tích.** Từ trường được tạo nên trong vùng không gian bao quanh dây dẫn mang dòng là do sự chuyển động của các điện tích dưới dạng dòng điện.

✚ **Từ trường được biểu diễn bằng các đường khép kín** được gọi là đường sức từ trường hay từ phổ. **Các đường sức này được định hướng tương tự như cực tính của nam châm vĩnh cửu.** Qui tắc bàn tay phải được áp dụng để định hướng đường sức từ trường tạo ra trong không gian xung quanh dây dẫn đang mang dòng, xem hình **H1.13**.



Từ trường tạo bởi dây dẫn thẳng

Từ trường tạo bởi dòng qua cuộn dây solenoid

HÌNH H1.13: Qui tắc bàn tay phải định hướng đường sức từ trường tạo bởi dòng qua dây dẫn .

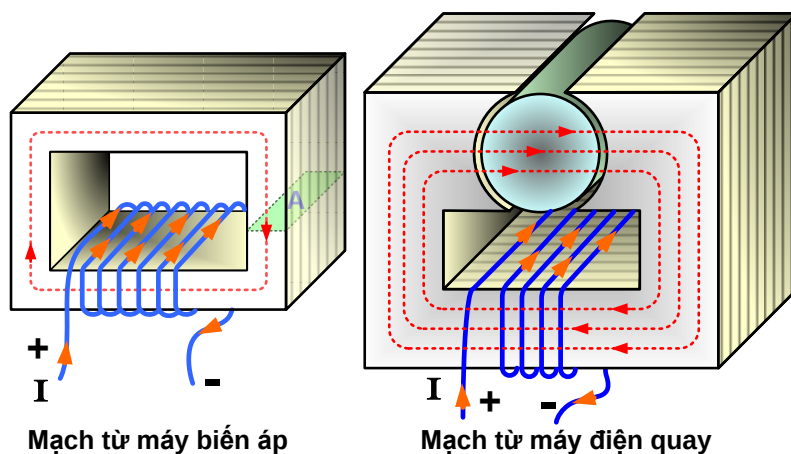
QUI TẮC BÀN TAY PHẢI

Ta có hai trường hợp :

✚ Khi dây dẫn thẳng (xem như dài vô hạn) có dòng đi qua : **hướng ngón cái** của bàn tay phải **hướng theo dòng qua dây dẫn**; **chiều co (hay nắm lại) của các ngón tay khác của bàn tay phải** là chiều **của đường sức từ trường sinh** ra bởi dòng qua dây dẫn thẳng này.

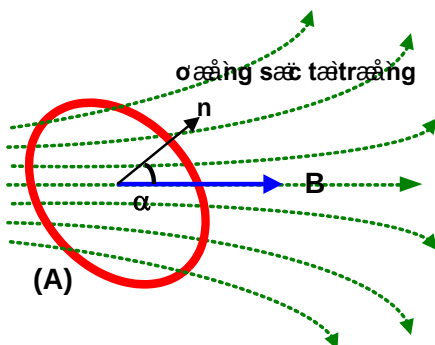
✚ Với cuộn dây quấn hình trụ (cuộn dây solenoid) khi cho dòng điện qua dây quấn; dòng điện qua các đường tròn xoắn ốc tạo từ trường có phương thẳng tại tâm ống dây và đường sức từ trường có khuynh hướng móc vòng khép kín.

1.2.2. MẠCH TỪ – TƯƠNG ĐỒNG MẠCH ĐIỆN VỚI MẠCH TỪ:



Mỗi mạch từ được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện tạo thành lõi thép tập trung đường sức từ thông theo hướng định trước. Dạng lõi thép trong hình thường dùng cho máy biến áp hay dùng cho máy điện quay có **2p = 2 cực**. Trong mạch từ máy điện quay bao gồm: lõi thép stator, lõi thép rotor và khe hở không khí; **từ thông luôn đi theo đường ngắn nhất trong khe hở không khí**.

1.2.2.1. TỪ THÔNG :



Trong mạch từ, **lượng đường sức xuyên qua tiết diện của mạch từ nhiều hay ít được đánh giá bằng đại lượng từ thông**. Từ thông Φ xuyên tiết diện A được xác định theo quan hệ :

$$\Phi = B.A.\cos\alpha \quad (1.1)$$

Trong đó góc α là góc hợp bởi vector pháp tuyến $\vec{n}$ của tiết diện A với vector từ cảm $\vec{B}$.

Số lượng đường sức từ trường xuyên qua tiết diện A càng nhiều giá trị từ thông càng lớn, nói một cách khác **từ cảm hay mật độ từ thông trên một đơn vị tiết diện khảo sát có giá trị lớn**.

Khi hướng của vector pháp tuyến $\vec{n}$ và hướng của vector từ cảm $\vec{B}$ trùng nhau, đường sức qua tiết diện A nhiều hơn; trường hợp này **từ thông xuyên qua tiết diện đạt giá trị cực đại**:

$$\Phi_{\max} = B.A \quad (1.2)$$

Đơn vị đo của các đại lượng như sau :

$$[\Phi] = [Wb] \text{ (Wb : Weber) ; } [B] = [T] \text{ (T : Tesla) ; } [S] = [m^2]$$

CHÚ Ý:

Nếu xét tính chất của **từ thông trong mạch từ**, so với tính chất của **dòng điện qua dây dẫn trong mạch điện**. Các **điểm tương đồng** tìm được như sau :

Từ thông là đại lượng vật lý xác định lượng đường sức xuyên qua tiết diện mạch từ. Cường độ dòng điện là đại lượng vật lý xác định lượng điện tích xuyên qua tiết diện dây dẫn trong một đơn vị thời gian.

1.2.2.2. TỪ TRỞ :

Như đã biết, **điện trở R** là đại lượng đặc trưng tính cản trở dòng điện đi trong vật dẫn. Điện trở đoạn dây dẫn có bề dài ℓ tiết diện A xác định theo quan hệ :

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (1.3)$$

Tương tự trong mạch từ để **đặc trưng tính dẫn từ**, cho phép đường sức từ trường đi qua mạch từ nhiều hay ít, được xác định bằng từ trở. Như vậy, có thể nói từ trở là đại lượng đo lường sự đối kháng của mạch từ khi hình thành từ thông qua mạch từ.

Từ trở $\mathfrak{R}$ được định nghĩa theo quan hệ sau :

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\ell}{A} \quad (1.4)$$

Đơn vị đo : $[\mathfrak{R}] = \left[\frac{1}{H} \right]$

μ : hệ số từ thẩm của vật liệu sắt từ tạo thành mạch từ , $[\mu] = \left[\frac{H}{m} \right]$ (H : Henry)

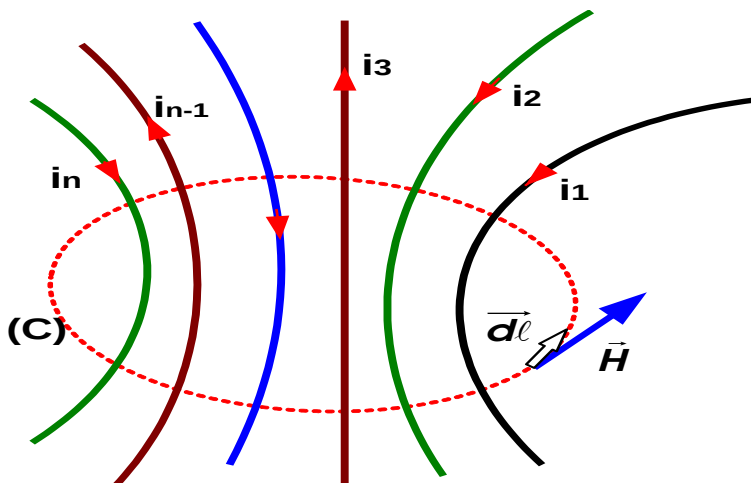
ℓ : bề dài đường sức trung bình đi trong mạch từ , $[\ell] = [m]$

A : tiết diện của mạch từ , $[s] = [m^2]$.

1.2.3. SỨC TỪ ĐÔNG – ĐỊNH LUẬT AMPÈRE :

✚ Trong mạch điện kín, muốn hình thành dòng điện qua dây dẫn; chúng ta cần có chênh lệch điện thế giữa hai đầu của dây dẫn. Nói khác đi, giữa hai đầu dây dẫn cần tồn tại điện áp. Như vậy: điện áp đặt ngang qua hai đầu dây dẫn là nguyên nhân tạo thành dòng qua dây dẫn.

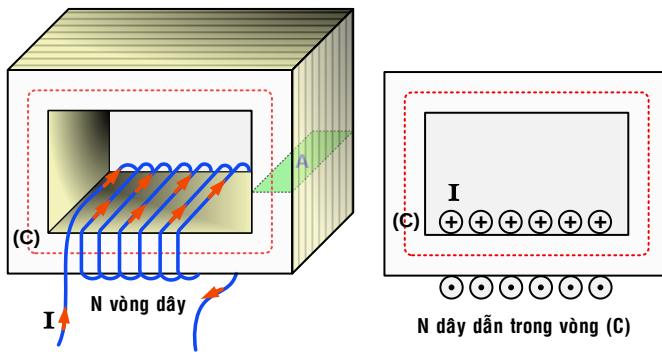
Tương tự, trong mạch từ muốn hình thành từ thông trong, **chúng ta cần sự chênh lệch từ thế trong mạch từ**, nói khác đi trong mạch từ phải tồn tại từ áp (hiệu số từ thế). Giá trị từ áp này còn được gọi là sức từ đông F .



ĐỊNH LUẬT AMPÈRE:

Gọi $\vec{H}$ là cường độ từ trường tạo bởi tập hợp các dòng điện $i_1; i_2; \dots i_n$ và C là đường cong khép kín trong không gian bao quanh các dây dẫn mang tập hợp dòng điện trên. Theo Ampère ta có:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \sum_{k=1}^n i_k \quad (1.5)$$



HÌNH H1.14: Sức từ động tạo bởi N vòng dây mang dòng.

Trong trường hợp **mạch từ chứa N vòng dây** quấn đang **mang dòng I** đi qua, xem hình H1.14. Chọn **đường cong C bao quanh các dây dẫn** đang mang dòng điện (đang được biểu diễn bằng các vòng tròn có đánh dấu +) **là đường sức từ trung bình chạy trong mạch từ**.

Áp dụng quan hệ 1.5 viết lại định luật Ampère theo dạng sau:

$$H.L_{tb} = N.I \quad (1.6)$$

Trong đó L_{tb} là tổng **bề dài đường sức từ trung bình trong mạch từ**; H là cường độ từ trường của vật liệu dẫn từ tạo nên mạch từ. Trong trường hợp này có thể phát biểu như sau: **cho dòng I qua N vòng dây quấn trên mạch từ**; **sức từ động tạo ra trong mạch từ** thỏa quan hệ:

$$F = N.I \quad (1.7)$$

Đơn vị đo được xác định như sau: $[I] = [A]$; $[N] = [\text{vòng}]$; $[F] = [A.vòng]$.

1.2.4. ĐỊNH LUẬT OHM TRONG MẠCH TỪ:

Từ các quan hệ (1.4); (1.6) và (1.7) suy ra:

$$F = N.I = H.L_{tb}$$

Ngoài ra, quan hệ giữa Từ Cảm B với Cường Độ Từ Trường H của vật liệu sắt từ là:

$$B = \mu.H \quad (1.8)$$

Suy ra:

$$F = N.I = \frac{B}{\mu} . L_{tb} \quad (1.9)$$

Khi các đường sức đi trong mạch từ theo **hướng thẳng góc với tiết diện mạch từ** tại mọi vị trí, từ thông qua tiết diện đạt giá trị cực đại, quan hệ (1.9) được viết lại dưới dạng sau:

$$F = N.I = \frac{\Phi_m}{\mu.A} . L_{tb} \quad (1.10)$$

Hay:

$$F = N.I = \left(\frac{L_{tb}}{\mu.A} \right) . \Phi_m = \mathfrak{R} . \Phi_m \quad (1.11)$$

Quan hệ (1.11) được gọi là **định luật Ohm trong mạch từ**.

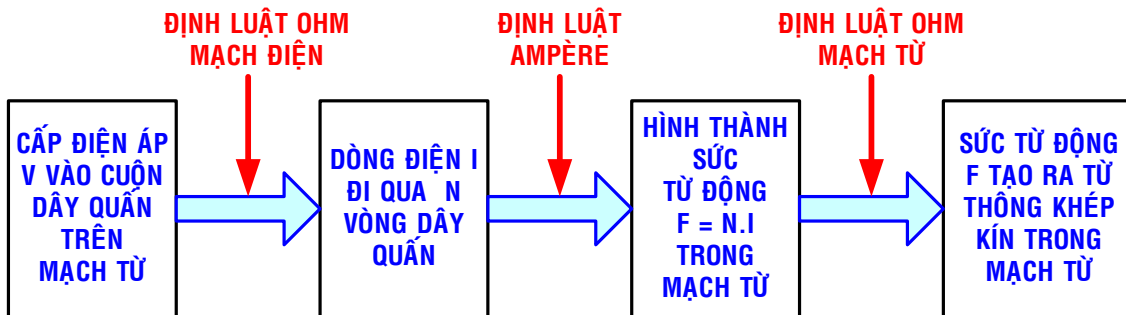
CÁC NHÂN XÉT

- ✚ Tương đồng **tính chất từ thông Φ trong mạch từ** với **dòng điện I trong mạch điện**.
- ✚ **Vai trò từ trở $\mathfrak{R}$ trong mạch từ** giống như **vai trò của điện trở R trong mạch điện**.
- ✚ Đồng thời xem **điện áp V là nguyên nhân sinh ra dòng điện I** và **sức từ động F là nguyên nhân sinh ra từ thông Φ trong mạch từ**.

Như vậy với mạch điện, chúng ta có định luật Ohm: $V = R.I$

Trong mạch từ, tương tự chúng ta cũng có định luật Ohm: $F = \mathfrak{R}.\Phi$

Từ các phân tích trên, sự tương đồng giữa các đại lượng vật lý đặc trưng tính chất mạch điện và mạch từ được tóm tắt trong bảng sau đây. Quá trình điện từ hình thành trong mạch từ có **N** vòng dây quấn được trình bày bằng sơ đồ khối trong hình **H1.15**.

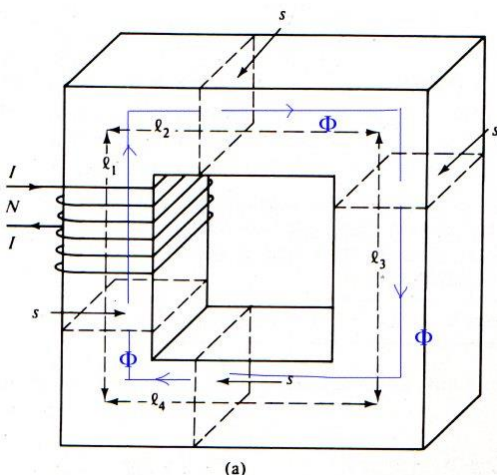


HÌNH H1.15: Quá trình điện từ hình thành trong mạch từ, khi cấp áp vào dây quấn trên mạch từ

TƯƠNG ĐỒNG CÁC ĐẠI LƯỢNG VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH GIỮA MẠCH ĐIỆN VÀ MẠCH TỪ

MẠCH ĐIỆN	MẠCH TỪ
$\vec{B} = \mu \vec{H}$	$\vec{J} = \sigma \vec{E}$
$\vec{H}$: cường độ từ trường	$\vec{E}$: cường độ điện trường
μ : hệ số từ thẩm	σ : điện dẫn suất
$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$: từ thông	$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$: cường độ dòng điện
$F = N \cdot I$: sức từ động	V : điện áp
$\mathcal{R} = \oint_\ell \frac{d\ell}{\mu \cdot s(\ell)}$: từ trở	$R = \oint_\ell \frac{d\ell}{\sigma \cdot s(\ell)}$: điện trở
$\wp = \frac{1}{\mathcal{R}}$: từ dẫn	$G = \frac{1}{R}$: điện dẫn

1.2.5. ĐỊNH LUẬT CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ – CÔNG THỨC FARADAY – ĐỊNH LUẬT LENZ :



Trên mạch từ (lõi thép) có cuộn dây quấn **N** vòng, cấp dòng sin $i = I_m \cdot \cos(\omega t)$ qua bộ dây. Theo định luật Ampère, sức từ động hình thành trong mạch từ là $F(i) = N \cdot i(t)$. biến thiên theo qui luật sin đối với biến thời gian t .

$$F(t) = N \cdot i(t) = F_m \cdot \cos(\omega t) \quad (1.12)$$

Trong đó: $F_m = N \cdot I_m$ là **biên độ** của sức từ động **F**.

Sức từ động sẽ tạo ra từ thông Φ trong mạch từ. Giả sử từ trở trong mạch từ **không phụ thuộc biến số thời gian**; áp dụng định luật Ohm trong mạch từ ta có: $F = \Phi \mathcal{R}$. Hay:

$$\Phi(t) = \frac{F(t)}{\mathfrak{R}} = \left(\frac{F_m}{\mathfrak{R}} \right) \cdot \cos(\omega t) = \Phi_m \cdot \cos(\omega t) \quad (1.13)$$

Trong đó: $\Phi_m = \frac{F_m}{\mathfrak{R}}$: biên độ của từ thông. Khảo sát tại tiết diện **A** bất kỳ trong mạch từ, **từ thông xuyên qua tiết diện biến thiên theo thời gian t**.

CÔNG THỨC FARADAY

Với cuộn dây quấn trên mạch từ có **N** vòng dây, khi từ thông biến thiên xuyên qua tiết diện của cuộn dây; **sức điện động cảm ứng hình thành trong mỗi vòng dây (tương ứng tại một tiết diện A của mạch từ)** thỏa quan hệ sau:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.14)$$

Với cuộn dây có **N** vòng dây quấn nối tiếp, sức điện động cảm ứng sinh ra trên toàn bộ cuộn dây là:

$$e = -N \cdot \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) \quad (1.15)$$

Dấu (-) trong công thức Faraday (1.15) **đặc trưng cho khuynh hướng của sức điện động cảm ứng sinh ra tác động đối kháng lại với sự thay đổi của từ thông trong mạch từ**. Thuộc tính này được phát biểu bởi định luật **Lenz**.

ĐỊNH LUẬT LENZ

Khi sức điện động cảm ứng được sinh ra và **hình thành được dòng điện cảm ứng; dòng điện này sẽ tạo ra các hệ quả đối kháng với nguyên nhân ban đầu sinh ra nó**.

Các kết quả phát biểu theo định luật Lenz sẽ thấy rõ ràng hơn khi khảo sát trên bộ dây thứ cấp biến áp (**phản ứng phản ứng hay quá trình điện từ hình thành lúc biến áp mang tải**).

1.3. NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY BIẾN ÁP:

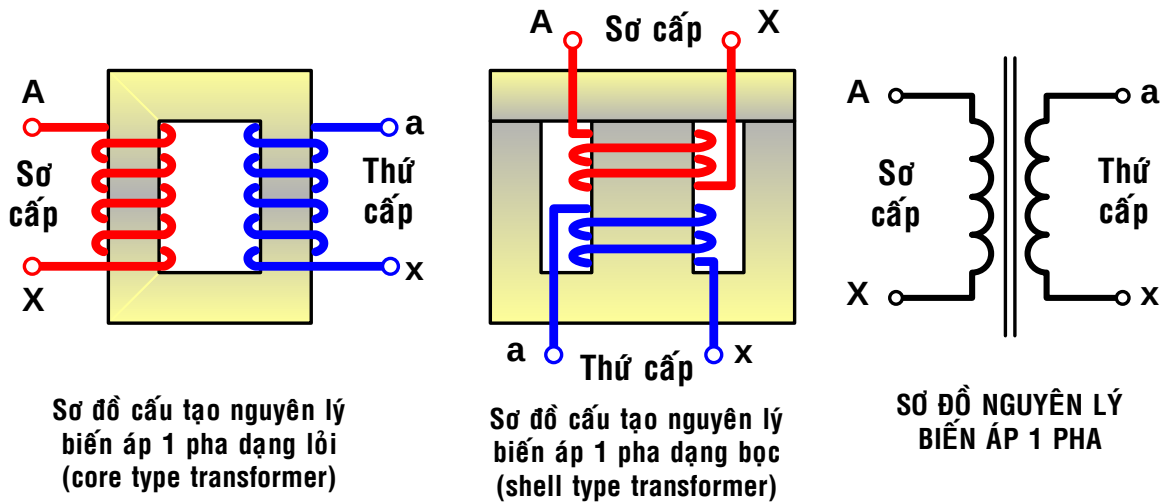
Nguyên lý hoạt động của máy biến áp dựa trên công trình của **Micheal Faraday** (1791-1867) khi ông khám phá được định luật cảm ứng điện từ với hai cuộn dây quấn trên cùng mạch từ; **sự thay đổi dòng điện trong một cuộn dây sẽ tạo ra sức điện động cảm ứng trong cuộn dây còn lại**. Các sức điện động cảm ứng được gọi là **điện áp biến áp (transformer voltages)** và thiết bị bao gồm mạch từ với các bộ dây quấn thực hiện mục tiêu trên được gọi là **máy biến áp (transformer)**.

Nguyên lý hoạt động của máy biến áp thường được khảo sát và phân tích theo 3 chế độ:

- ✚ Chế độ không tải.
- ✚ Chế độ vận hành mang tải.
- ✚ Chế độ thử nghiệm ngắn mạch máy biến áp.

Khi khảo sát, cần quan tâm đến **quá trình điện từ** hình thành trong mỗi chế độ và **thành lập mạch điện tương đương (hay mô hình toán học)** để thuận lợi cho việc khảo sát.

Với biến áp 1 pha các sơ đồ cấu tạo nguyên lý thường được bằng bằng sơ đồ nguyên lý trình bày trong hình **H1.16**.



HÌNH H1.16: Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp 1 pha

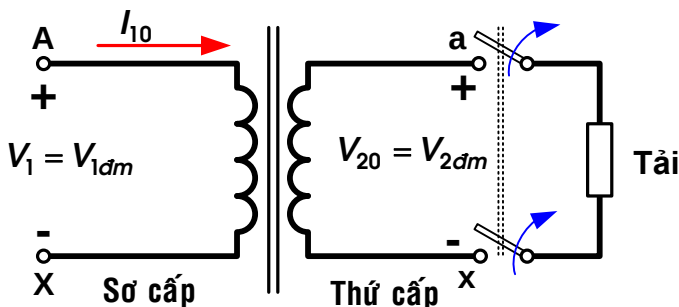
1.3.1. THÔNG SỐ ĐỊNH MỨC:

Các **thông số định mức** của máy biến áp **được qui định do nhà sản xuất để thiết bị vận hành ở chế độ liên tục, dài hạn**. Các giá trị định mức gồm :

- ✚ Áp định mức.
- ✚ Dòng định mức .
- ✚ Công suất biểu kiến định mức.

Áp sơ cấp định mức (ký hiệu là V_{1dm}) là áp nguồn cấp đến ngõ vào biến áp theo qui định của nhà sản xuất. Điện áp này **tương thích với số vòng dây quấn của bộ dây sơ cấp**.

Áp thứ cấp định mức (ký hiệu là V_{2dm}) là **áp đo được ở hai đầu dây quấn thứ cấp** khi **thứ cấp hở mạch** không đấu vào tải và **áp cấp vào sơ cấp bằng đúng giá trị định mức**



HÌNH H1.17: trạng thái không tải

CHÚ Ý:

Máy biến áp **vận hành không tải** khi: **thứ cấp hở mạch không đấu vào tải** và **sơ cấp được cấp áp** từ nguồn có giá trị **bằng đúng định mức**.

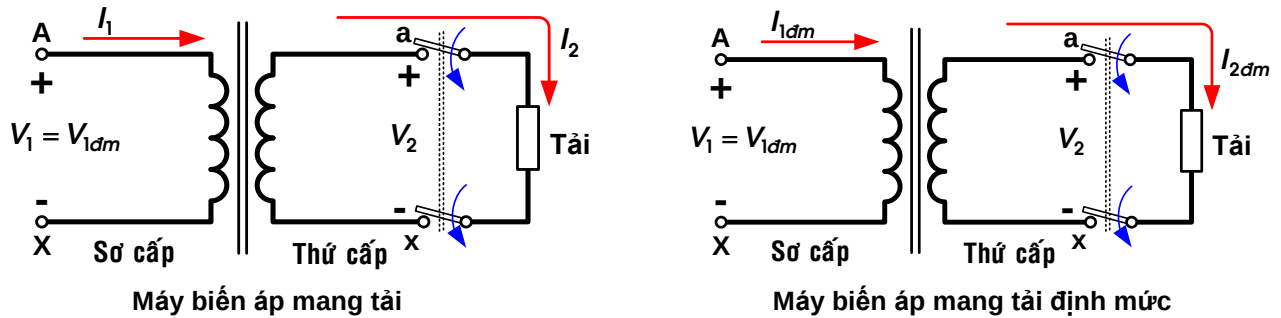
Trong hình H1.17, **áp thứ cấp không tải** được ký hiệu là V_{20} ; áp cấp vào sơ cấp là $V_1 = V_{1dm}$. **Chỉ số 1** dùng cho các **đại lượng phía sơ cấp**; **chỉ số 2** dùng cho các **đại lượng phía thứ cấp**.

Biến áp hoạt động tại trạng thái không tải khi :

- ✚ Áp sơ cấp được cấp từ nguồn bằng đúng giá trị định mức : $V_1 = V_{1dm}$.
- ✚ Áp thứ cấp không tải : $V_{20} = V_{2dm}$.
- ✚ Dòng qua dây quấn sơ cấp lúc không tải được gọi là **dòng không tải** và ký hiệu bằng: I_{10} .

Khi biến áp mang tải, dòng qua sơ cấp và thứ cấp thay đổi **phụ thuộc vào độ lớn và tính chất của tải**, các giá trị này có thể không bằng giá trị định mức qui định bởi nhà sản xuất.

Dòng định mức sơ cấp (ký hiệu là I_{1dm}) và **dòng định mức phía thứ cấp** (ký hiệu là I_{2dm}) là các giá trị được qui định bởi nhà sản xuất **cho phép qua các dây quấn** để biến áp vận hành mang tải an toàn và đạt được **công suất định mức** .



HÌNH H1.18: Các trạng thái mang tải của máy biến áp

Trong hình **H1.18** khi nối tải vào thứ cấp biến áp, tại trạng thái này ta có các kết quả sau:

- ✚ Áp thứ cấp là **áp đặt ngang qua hai đầu tải** và được ký hiệu là: V_2 ($V_2 \neq V_{20}$)
- ✚ Ứng với **Tải bất kỳ**, dòng qua Tải và dây quấn thứ cấp biến áp là I_2 , dòng sơ cấp là I_1 .
- ✚ Khi dòng qua tải và dây quấn thứ cấp biến áp là I_{2dm} thì dòng qua sơ cấp là I_{1dm} . Tại trạng thái này, biến áp **đang đầy tải hay tải đúng định mức**.

Với máy biến áp 1 pha, **công suất định mức** của máy biến áp (ký hiệu là S_{dm}) là **công suất biểu kiến** của máy biến áp.

$$S_{dm} = V_{2dm} \cdot I_{2dm} \cong V_{1dm} \cdot I_{1dm} \quad (1.16)$$

Khi **biến áp mang tải**, để **biết được mức độ tải của biến áp** so với **công suất định mức** qui định bởi nhà sản xuất, ta định nghĩa **hệ số tải K_t** của biến áp theo quan hệ sau:

$$K_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \cong \frac{I_1}{I_{1dm}} \cong \frac{S_2}{S_{dm}} \quad (1.17)$$

Trong đó S_2 là **công suất biểu kiến đang cấp đến tải** từ thứ cấp biến áp: $S_2 = V_2 \cdot I_2$

Với định nghĩa trên, hệ số tải có giá trị trong khoảng: $0 \leq K_t \leq 1$, cần chú ý thêm các thuật ngữ như sau:

- Máy biến áp **non tải (under load)** khi $K_t \leq 1$
- Máy biến áp **đầy tải** (hay **tải định mức – full load**) khi $K_t = 1$
- Máy biến áp **quá tải (over load)** khi $K_t > 1$
- Máy biến áp đang mang **nửa tải** khi $K_t = 0,5$
- Máy biến áp đang mang **36,5% tải** khi $K_t = 0,365$

THÍ DU 1.1:

Cho máy biến áp 1 pha: **10 KVA, 2400 V / 240 V – 50 Hz**. Các thông số định mức của máy biến áp theo các định nghĩa đã được trình bày trong nội dung trên gồm:

- ✚ Công suất định mức : $S_{dm} = 10 \text{ KVA} = 10000 \text{ VA}$.
- ✚ Áp sơ cấp định mức: $V_{1dm} = 2400 \text{ V}$
- ✚ Áp thứ cấp định mức: $V_{2dm} = 240 \text{ V}$
- ✚ Tần số ở sơ và thứ cấp: $f = 50 \text{ Hz}$.

Từ các thông số trên, suy ra các giá trị dòng sơ và thứ cấp định mức như sau:

✚ Dòng sơ cấp định mức: $I_{1dm} \cong \frac{S_{dm}}{V_{1dm}} = \frac{10000}{2400} \cong 4,167 \text{ A}$

✚ Dòng thứ cấp định mức: $I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{V_{2dm}} = \frac{10000}{240} \cong 41,667 \text{ A}$

Khi máy biến áp đang mang tải với hệ số tải là: $K_t = 0,6$ dòng điện qua các bộ dây biến áp có giá trị được tính toán theo các quan hệ sau:

✚ Dòng sơ cấp lúc $K_t = 0,6$ là: $I_1 \cong K_t \cdot I_{1dm} \cong 0,6 \cdot 4,167 = 2,5 \text{ A}$

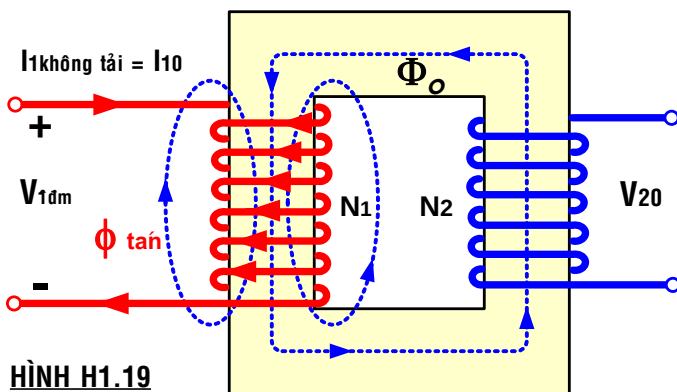
✚ Dòng thứ cấp lúc $K_t = 0,6$ là: $I_2 = K_t \cdot I_{2dm} = 0,6 \cdot 41,667 = 25 \text{ A}$

✚ Công suất biểu kiến đang cấp đến tải lúc $K_t = 0,6$ là:

$$S_2 \cong K_t \cdot S_{dm} = 0,6 \cdot 10000 = 6000 \text{ VA}$$

1.3.2. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP:

1.3.2.1. QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ TRONG CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI:



Khi cấp áp V_{1dm} vào sơ cấp biến áp, **quá trình điện từ** hình thành và diễn tiến trong máy biến áp theo trình tự sau:

✚ Mạch sơ cấp kín, theo định luật Ohm, áp V_{1dm} tạo ra **dòng không tải i_{10}** qua **dây quấn sơ cấp**. Gọi I_{10} là dòng hiệu dụng của dòng không tải i_{10} .

✚ Dòng i_{10} đi qua N_1 vòng dây sơ cấp hình thành **sức từ động không tải F_{10}** trong mạch từ (lõi thép) của máy biến áp. Sức từ động không tải F_{10} được xác định theo quan hệ sau:

$$F_{10}(t) = N_1 \cdot i_{10}(t) \quad (1.18)$$

✚ Sức từ động F_{10} tạo thành **từ thông chính Φ_0 khép kín mạch** trong lõi thép (mạch từ) và **móc vòng kín qua các cuộn dây quấn**. Theo định luật Ohm trong mạch từ ta có quan hệ:

$$F_{10}(t) = \mathfrak{R} \cdot \Phi_0(t) \quad (1.19)$$

Giả sử dòng không tải là xoay chiều hình sin $i_{10} = I_{10} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t)$. Từ các quan hệ (1.18) và (1.19) suy ra:

$$\Phi_0(t) = \frac{F_{10}(t)}{\mathfrak{R}} = \left(\frac{N_1 \cdot I_{10} \cdot \sqrt{2}}{\mathfrak{R}} \right) \cdot \cos(\omega t) \quad (1.20)$$

Trong đó biên độ của từ thông Φ_0 xác định theo quan hệ:

$$\Phi_{0 \max} = \frac{N_1 \cdot I_{10} \cdot \sqrt{2}}{\mathfrak{R}} \quad (1.21)$$

Hay:

$$\Phi_0 = \Phi_{0 \max} \cdot \cos(\omega t) \quad (1.22)$$

✚ Từ quan hệ (1.22) cho thấy: từ thông $\Phi_0(t)$ biến thiên theo thời gian và móc vòng qua các cuộn dây sơ và thứ cấp. Áp dụng công thức Faraday suy ra các sức điện động cảm ứng e_1 và e_2 hình thành trong các bộ dây quấn sơ và thứ cấp.

$$e_1(t) = -N_1 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_1 \cdot \Phi_{0 \max} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (1.23)$$

Tương tự :

$$e_2 = -N_2 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_2 \cdot \Phi_{0 \max} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (1.24)$$

Suy ra **biên độ của các sức điện động** sơ cấp e_1 và thứ cấp e_2 như sau:

$$E_{1 \max} = N_1 \cdot \Phi_{0 \max} \cdot \omega = 2\pi \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 \max} \quad (1.25)$$

$$E_{2 \max} = N_2 \cdot \Phi_{0 \max} \cdot \omega = 2\pi \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{0 \max} \quad (1.26)$$

Sức điện động hiệu dụng sơ cấp và thứ cấp biểu diễn theo các quan hệ như sau:

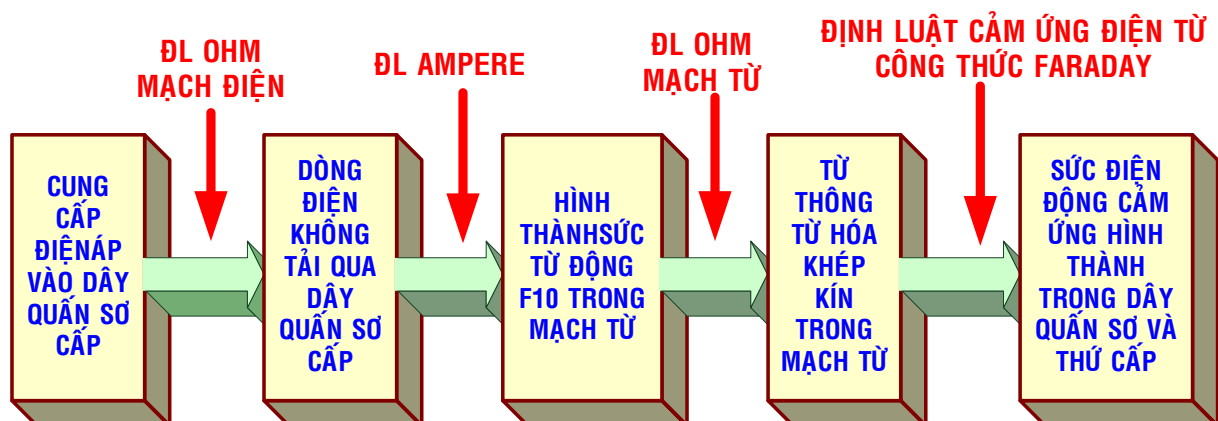
$$E_1 = \frac{E_{1 \max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 \max}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 \max} \quad (1.27)$$

$$E_2 = \frac{E_{2 \max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{0 \max}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{0 \max} \quad (1.28)$$

Từ đó , **Tỉ số biến áp K_{ba}** được định nghĩa như sau:

$$K_{ba} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 \max}}{4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{0 \max}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.29)$$

Với phân tích trên, quá trình điện từ hình thành tại trạng thái không tải được tóm tắt từng giai đoạn theo sơ đồ khối trình bày trong hình H1.20.



HÌNH H1.20: Quá trình điện từ hình thành trong biến áp tại chế độ không tải.

1.3.2.2. MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG BIẾN ÁP TẠI CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI:

✚ Từ các quan hệ (1.23) đến (1.24) rút ra kết luận sau :

Từ thông $\Phi_0(t)$ sớm pha thời gian hơn các sức điện động $e_1(t)$ và $e_2(t)$ góc 90°

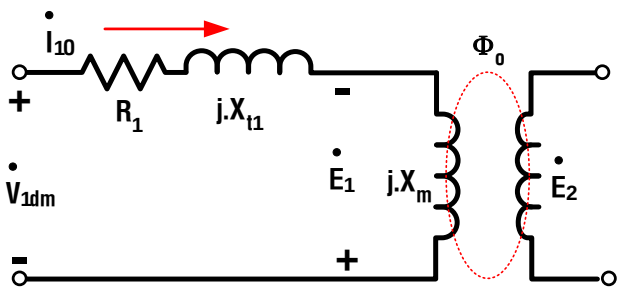
✚ Ngoài thành phần từ thông $\Phi_0(t)$, cần chú ý đến **các đường sức từ trường không móc vòng kín trong lõi thép** mà chỉ **móc vòng qua cuộn dây sơ cấp và đi trong không khí**. Thành phần này được gọi là **Từ Thông Tàn (leakage flux)** phía sơ cấp, được ký hiệu là Φ_{t1} , xem hình H1.19.

✚ Xét riêng phía sơ cấp, từ thông chính $\Phi_0(t)$ biến thiên theo thời gian t tạo thành sức điện động cảm ứng sơ cấp $e_1(t)$. Khi biến áp không tải **dây quấn sơ cấp đóng vai trò như cuộn dây điện cảm**, do đó có thể **xem sức điện động cảm ứng ở sơ cấp chính là sức điện động tự cảm sinh ra trong cuộn dây sơ cấp** khi **dòng qua dây quấn biến thiên theo thời gian**.

Như vậy có thể xem sức điện động cảm ứng $e_1(t)$ xuất hiện tại qua hai đầu của phần tử điện cảm khi xây dựng mạch điện tương đương. Gọi phần tử này là **Điện Kháng Từ Hóa X_m** .

✚ Tương tự thành phần từ thông tản Φ_{t1} cũng được đặc trưng bằng phần tử điện cảm được gọi là **Điện Kháng Tản Từ** phía sơ cấp X_{t1}

✚ Với N_1 vòng dây quấn sơ cấp, ta có R_1 **nội trở của bộ dây quấn sơ cấp**. Dựa vào phân tích vừa trình bày **mạch điện tương đương phía sơ cấp của biến áp lúc vận hành không tải** (khi chưa xét đến tổn hao lõi thép) được trình bày trong hình H1.21.



HÌNH H1.21: Mạch tương đương biến áp lúc không tải (khi chưa xét đến tổn hao trong lõi thép)

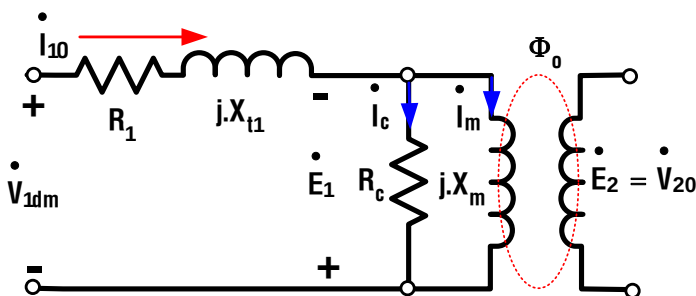
✚ Khi biến áp vận hành không tải, từ thông Φ_0 trong lõi thép biến thiên theo t nên **tạo ra dòng điện xoáy (dòng Foucault)** trên các lá thép và tạo hiện tượng phát nóng trên lá thép. Ngoài ra tùy thuộc vào vật liệu dẫn từ tạo nên lá thép ta còn có **tổn hao thép tạo bởi chu trình từ trễ** của **đường cong từ hóa $B = f(H)$** .

Xem thêm nội dung phân tích các thành phần tổn hao mạch từ trong **Phụ Lục 1**.

Các thành phần tổn hao thép **phụ thuộc vào độ lớn của từ cảm B hay từ thông Φ_0** .

Do đó, ta có thể xem **như tổn hao thép tỉ lệ với giá trị hiệu dụng sức điện động E_1**

Tóm lại, **tổn hao thép được đặc trưng bằng phần tử điện trở R_c ghép song song với điện kháng từ hóa X_m** .



HÌNH H1.22: Mạch tương đương biến áp lúc không tải khi có xét đến tổn hao thép

✚ Mạch điện tương đương hình H1.22 được vẽ lại chính xác từ hình H1.21 khi có xét đến ảnh hưởng tổn hao thép do dòng xoáy và chu trình từ trễ của mạch từ

✚ Thành phần dòng hiệu dụng qua X_m được ký hiệu là I_m , dòng hiệu dụng này còn được gọi là **thành phần dòng từ hóa của dòng không tải I_{10}** . Dòng từ hóa là dòng tạo nên từ thông chính Φ_0 .

✚ Thành phần dòng điện qua điện trở R_c được ký hiệu là I_c : đây là thành phần khác của **dòng không tải** tạo nên tổn hao làm phát nóng lõi thép.

1.3.2.3. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP VÀ GIẢN ĐỒ VECTOR PHASE

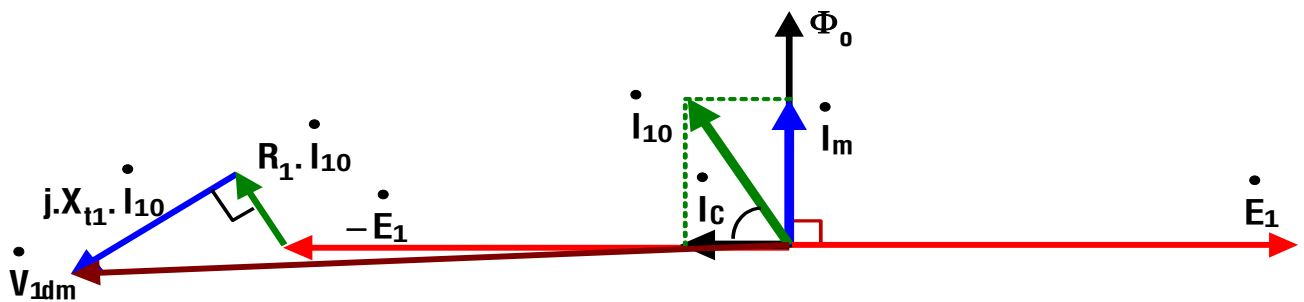
Từ mạch tương đương biến áp lúc không tải theo hình H1.22, muốn xây dựng giản đồ vector phase, trước tiên cần xác định các phương trình cân bằng dòng và áp phía sơ cấp lúc không tải. Ta có:

$$\dot{V}_{1dm} + \dot{E}_1 = (R_1 + jX_{t1}) \cdot \dot{I}_{10} \quad (1.30)$$

$$\dot{E}_1 = -R_c \cdot \dot{I}_c = -jX_m \cdot \dot{I}_m \quad (1.31)$$

$$\dot{I}_{10} = \dot{I}_c + \dot{I}_m \quad (1.32)$$

Giản đồ vector phase của mạch tương đương hình H1.22 được trình bày trong hình H1.23.



HÌNH H1.23: Giản đồ vector phase của máy biến áp tại chế độ không tải.

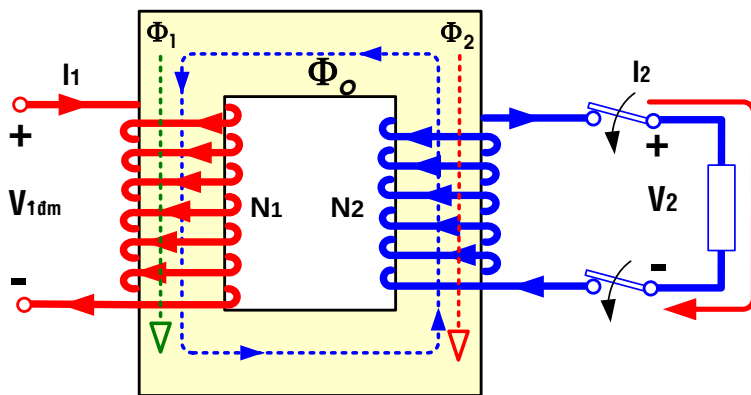
CHÚ Ý:

Khi xây dựng giản đồ vector chúng ta thực hiện tuần tự theo các bước sau:

- ✚ Vẽ vector đặc trưng từ thông từ hóa Φ_0 trước tiên.
- ✚ Vẽ vector sức điện động cảm ứng $\vec{E}_1$ phía sơ cấp. Vector này chậm pha hơn vector từ thông Φ_0 góc 90° .
- ✚ Từ vector $\vec{E}_1$ suy ra vector đảo $(-\vec{E}_1)$.
- ✚ Dựa vào quan hệ (1.31) để vẽ các vector dòng $\vec{I}_c$ và $\vec{I}_m$.
- ✚ Căn cứ quan hệ (1.32) suy ra vector dòng không tải $\vec{I}_{10}$ từ các vector $\vec{I}_c$ và $\vec{I}_m$.
- ✚ Vẽ các vector áp đặt ngang qua hai đầu mỗi phần tử R_1 và X_{t1} khi có dòng điện I_{10} đi qua. Vector áp $(R_1 \cdot \vec{I}_{10})$ trùng pha với vector dòng $\vec{I}_{10}$. Vector áp $(jX_{t1} \cdot \vec{I}_{10})$ sớm pha hơn vector dòng $\vec{I}_{10}$ góc 90° .
- ✚ Từ quan hệ (1.30) áp dụng phép cộng các vector $(-\vec{E}_1)$; $(R_1 \cdot \vec{I}_{10})$; $(jX_{t1} \cdot \vec{I}_{10})$ suy ra vector áp sơ cấp $(\vec{V}_{1dm})$.

1.3.3. CHẾ ĐỘ MANG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP :

1.3.3.1. QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ HÌNH THÀNH TRONG BIẾN ÁP LÚC MANG TẢI



HÌNH H1.24: Quá trình điện từ khi biến áp mang tải

✚ Khi đóng tải vào thứ cấp, mạch thứ cấp kín hình thành dòng điện I_2 . Dòng I_2 là **dòng cảm ứng** được **sinh ra do sức điện động cảm ứng e_2 phía thứ cấp**. Theo định luật Lenz **dòng cảm ứng I_2 tạo ra các hệ quả đối kháng** với **nguyên nhân ban đầu** sinh ra nó.

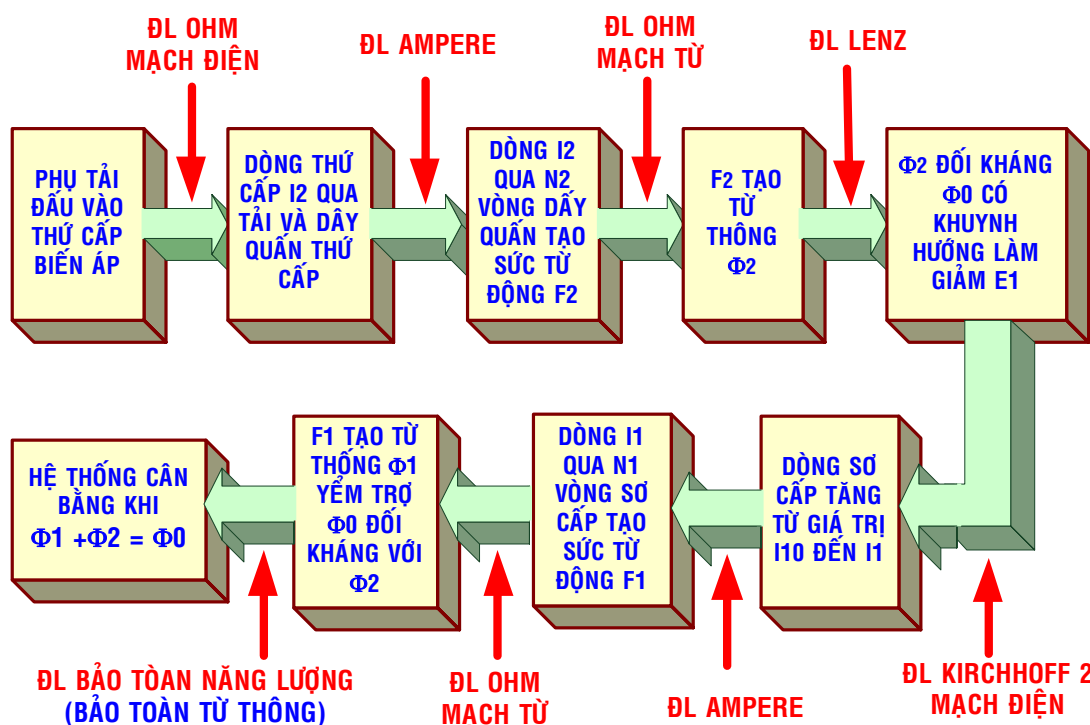
✚ Dòng I_2 qua N_2 vòng dây thứ cấp **tạo ra sức từ động F_2** . Sức từ động F_2 **hình thành từ thông ứng Φ_2 đối kháng với thành phần từ thông Φ_0 ban đầu** sinh ra nó. Hướng của đường sức từ tạo bởi Φ_2 ngược với hướng của đường sức từ tạo bởi từ thông từ hóa Φ_0 ban đầu.

✚ Sự kiện này dẫn đến sức điện động phía sơ cấp e_1 giảm thấp (do từ thông Φ_0 giảm giá trị bởi tác dụng khử từ của Φ_2). Để bảo toàn phương trình cân bằng điện áp phía sơ cấp, dòng sơ cấp phải tăng lên cao đến mức I_1 so với giá trị ban đầu lúc không tải là I_{10} .

✚ Dòng điện I_1 phía sơ cấp qua N_1 vòng dây sơ cấp tạo thành sức từ động F_1 . Sức từ động F_1 tạo nên từ thông Φ_1 **cùng hướng từ thông Φ_0 và đối kháng lại với từ thông Φ_2** .

✚ Quá trình điện từ hình thành trong biến áp lúc mang tải theo mô tả trên còn được gọi là **phản ứng phản ứng trong biến áp**. Phản ứng phản ứng biến áp sẽ cân bằng khi $\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_0$.

Với phân tích trên, quá trình điện từ trong chế độ mang tải của biến áp được tóm tắt từng giai đoạn trong hình H1.25.



HÌNH H1.25: Tóm tắt các giai đoạn của quá trình điện từ khi biến áp mang tải.

CHÚ Ý:

Khi phản ứng phần ứng sinh ra trong biến áp lúc mang tải, giả sử mạch từ không bão hòa, từ trở trong mạch từ xem như không thay đổi giá trị. Vì sức từ động sinh ra từ thông, nên phương trình cân bằng từ thông được thay tương đương bằng phương trình cân bằng sức từ động.

$$F_1 + F_2 = F_{10} \quad (1.33)$$

1.3.3.2. MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG BIẾN ÁP LÚC MANG TẢI

Muốn thành lập mạch tương đương của biến áp lúc mang tải, áp dụng phương pháp phân tích như đã thực hiện lúc khảo sát biến áp ở chế độ không tải. Ta chú ý các điểm sau đây:

✚ Dòng thứ cấp I_2 tạo ra thành phần từ thông tản từ Φ_{t2} phía dây quấn thứ cấp. Thành phần **từ thông tản thứ cấp** được đặc trưng bằng **điện kháng tản từ** X_{t2} .

✚ Gọi **nội trở của dây quấn thứ cấp** là R_2 .

✚ Về phía tải ta có **tổng trở tải** là Z_t với **hệ số công suất tải** được ký hiệu là $\cos\varphi_2$

Mạch tương đương của biến áp lúc mang tải trình bày trong hình H1.26. Các phương trình cân bằng áp và dòng tại sơ và thứ cấp biến áp lúc mang tải được tóm tắt như sau:

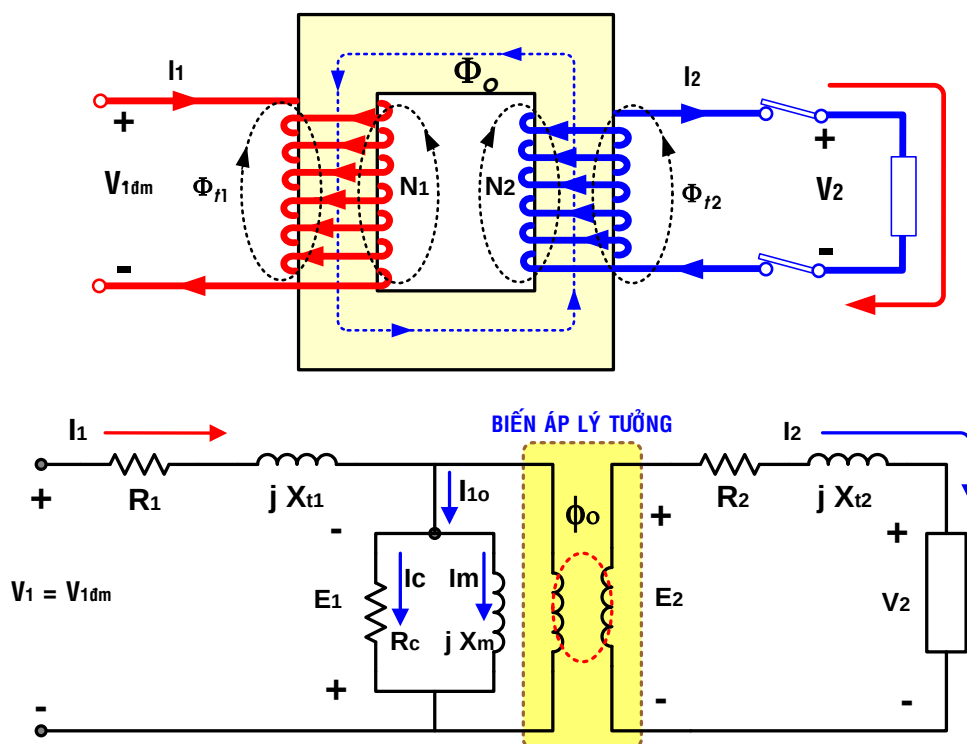
✚ Tại phía sơ cấp: $\dot{V}_{1dm} + \dot{E}_1 = (R_1 + jX_{t1}) \cdot \dot{I}_1 \quad (1.34)$

$$\dot{E}_1 = -R_c \cdot \dot{I}_c = -jX_m \cdot \dot{I}_m \quad (1.35)$$

✚ Tại phía thứ cấp: $\dot{E}_2 = \dot{V}_2 + (R_2 + jX_{t2}) \cdot \dot{I}_2 \quad (1.36)$

$$\dot{V}_2 = \bar{Z}_t \cdot \dot{I}_2 \quad (1.37)$$

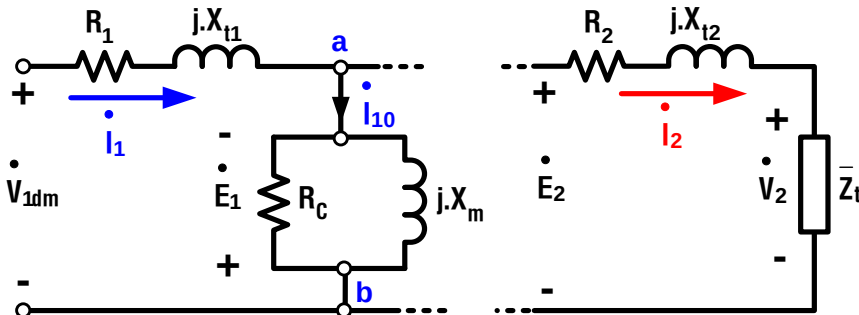
✚ Phương trình cân bằng sức từ động: $N_1 \cdot \dot{I}_1 + N_2 \cdot \dot{I}_2 = N_1 \cdot \dot{I}_{10} \quad (1.38)$



HÌNH H1.26: Mạch tương đương của máy biến áp lúc mang tải

1.3.3.3. QUI ĐỔI MẠCH THỨ CẤP VỀ SƠ CẤP:

Với mạch tương đương xây dựng được theo hình H1.26, khi xác định các đặc tính làm việc cho máy biến áp chúng ta vẫn còn gặp trở ngại do **hai bộ dây quấn cách ly nhau** và chỉ **quan hệ nhau thông qua từ thông từ hóa**.



HÌNH H1.27: Ý tưởng qui đổi mạch thứ cấp về sơ cấp.

Giả sử **bỏ hẳn phần mạch của biến áp lý tưởng** đặc trưng cho từ thông từ hóa trong hình 1.20; **thực hiện phép biến đổi các thông số của mạch thứ cấp** sang các giá trị mới.

Sau cùng **kết nối song song mạch thứ cấp** với mạch sơ cấp tại các nút a và b, xem hình H1.27.

Quá trình thực hiện vù trình bày được gọi là qui trình qui đổi mạch thứ cấp về phía sơ cấp. Ký hiệu các thông số phía thứ cấp sau qui đổi bằng cách thêm dấu phẩy trên các ký hiệu cũ.

✚ R'_2 , X'_{t2} và $\bar{Z}'_t$ là các giá trị qui đổi về sơ cấp của các thông số R_2 , X_{t2} và $\bar{Z}_t$.

✚ $\dot{E}'_2$ và $\dot{V}'_2$ là các giá trị qui đổi về sơ cấp của các thông số $\dot{E}_2$ và $\dot{V}_2$.

✚ $\dot{I}'_2$ là giá trị qui đổi về sơ cấp của dòng phức $\dot{I}_2$.

Các yêu cầu cần thỏa qui đổi thứ về sơ cấp bao gồm:

✚ Giá trị **sức điện động thứ cấp sau khi qui đổi** là $\dot{E}'_2$ **phải bằng với giá trị của sức điện động phía sơ cấp** $\dot{E}_1$. Điều kiện này cần phải đảm bảo để **thực hiện ghép song song** mạch thứ cấp sau khi qui đổi với sơ cấp.

✚ Các **phương trình cân bằng áp ở thứ cấp trước và sau khi qui đổi phải đồng dạng với nhau**. Điều kiện này **đảm bảo quá trình vật lý ở thứ cấp không thay đổi** sau khi qui đổi.

PHƯƠNG THỨC QUI ĐỔI

• Qui đổi các thông số điện áp:

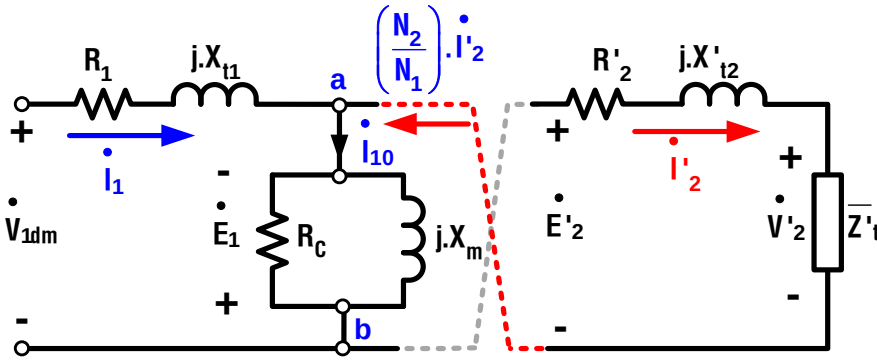
Từ tỉ số biến áp ta có: $\dot{E}_1 = K_{ba} \cdot \dot{E}_2$. Muốn có được quan hệ $\dot{E}_1 = \dot{E}'_2$ ta đặt:

$$\dot{E}'_2 = K_{ba} \cdot \dot{E}_2 \quad (1.39)$$

• Qui đổi các thông số dòng điện:

Từ phương trình cân bằng sức từ động (1.38); chia 2 vế cho số vòng sơ cấp N_1 , ta có:

$$\dot{I}_1 + \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \cdot \dot{I}_2 = \dot{I}_{10} \quad (1.40)$$



Quan hệ (1.40) mô tả định luật **Kirchhoff 1** tại nút **a**.

Như vậy sau khi đã qui đổi mạch thứ cấp và đầu song song với sơ cấp; thành phần dòng thứ cấp qui đổi $\dot{I}'_2$ phải thỏa định luật **K1** tại nút **a**, xem hình H1.28.

HÌNH H1.28: Phương thức ghép nối song song sơ cấp và thứ cấp qui đổi.

Suy ra:

$$\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{K_{ba}}$$

(1.41)

• **Qui đổi các thông số tổng trở:**

Muốn thỏa điều kiện phương trình cân bằng áp phía thứ cấp trước và sau khi qui đổi được đồng dạng, ta thực hiện phép tính như sau:

Nhân 2 vế của quan hệ (1.36) cho K_{ba} ta có:

$$\dot{E}_2 \cdot K_{ba} = \dot{V}_2 \cdot K_{ba} + K_{ba} \cdot (R_2 + jX_{t2}) \cdot \dot{I}_2 \quad (1.42)$$

Từ (1.41) và (1.42) suy ra:

$$\dot{E}_2 \cdot K_{ba} = \dot{V}_2 \cdot K_{ba} + (K_{ba})^2 \cdot (R_2 + jX_{t2}) \cdot \dot{I}'_2 \quad (1.43)$$

Hay:

$$\dot{E}'_2 = \dot{V}_2 \cdot K_{ba} + (K_{ba})^2 \cdot (R_2 + jX_{t2}) \cdot \dot{I}'_2 \quad (1.44)$$

Muốn đạt điều kiện phương trình cân bằng áp thứ cấp trước và sau khi qui đổi đồng dạng, nghĩa là ta cần có quan hệ:

$$\dot{E}'_2 = \dot{V}'_2 + (R'_2 + jX'_{t2}) \cdot \dot{I}'_2 \quad (1.45)$$

Thực hiện phép so sánh và tương đồng từng hệ số trong các quan hệ (1.44) và (1.45) suy ra các thông số qui đổi khác còn lại như sau:

$$\dot{V}'_2 = K_{ba} \cdot \dot{V}_2 \quad (1.46)$$

$$R'_2 = (K_{ba})^2 \cdot R_2 \quad (1.47)$$

$$X'_{t2} = (K_{ba})^2 \cdot X_{t2} \quad (1.48)$$

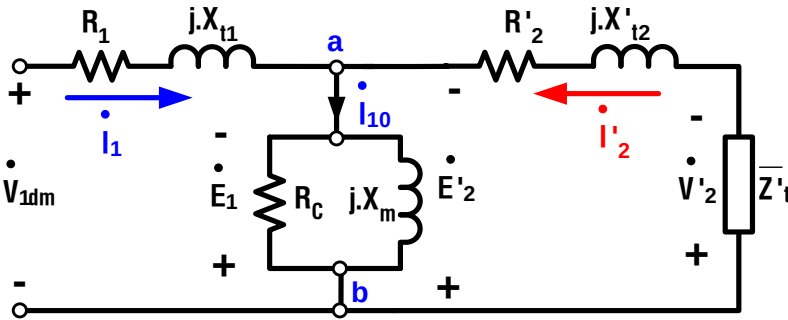
Thực hiện cách qui đổi như trên, suy ra tổng trở tải qui về sơ cấp theo quan hệ sau:

$$\bar{Z}'_t = K_{ba}^2 \cdot \bar{Z}_t \quad (1.49)$$

Mạch tương đương qui đổi thứ cấp về sơ cấp dạng chính xác trình bày trong hình H1.29. Với kết quả tìm được **dấu của áp và sức điện động** cũng như **hướng của dòng đi qua mạch**

đảm bảo đúng ý nghĩa vật lý của các quá trình điện từ xảy ra và được giải thích khi khảo sát nguyên lý hoạt động của máy biến áp.

Cần chú ý trong một số tài liệu, sách Kỹ Thuật Điện dấu của các sức điện động và hướng của dòng thứ cấp qui đổi trong hình H1.29 được ký hiệu ngược lại như trong hình H1.30

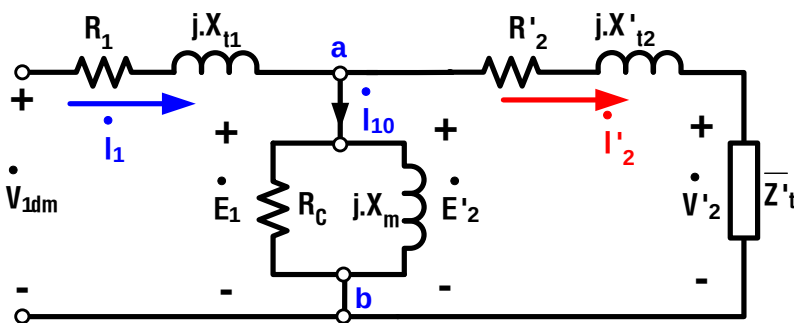


HÌNH H1.29: Mạch tương đương chính xác qui đổi thứ về sơ cấp

Trong trường hợp này xem như E_1 là **áp đặt ngang qua hai đầu** của các phần tử R_c và X_m .

Ý nghĩa vật lý của thao tác này tương tự như trường hợp áp $v_L(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$ và sức điện động tự

cảm $e_L(t) = -L \cdot \frac{di(t)}{dt}$ của cuộn dây L.



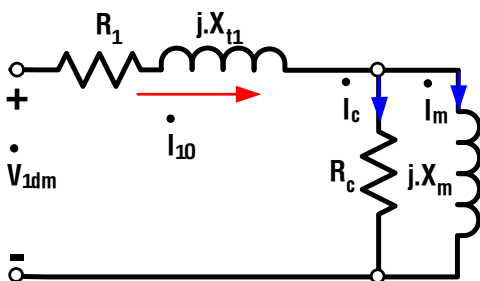
HÌNH H1.30:

Mạch tương đương qui đổi thứ cấp về sơ cấp dạng chính xác trình bày trong hình H1.30 sau khi đổi dấu của sức điện động và hướng của dòng thứ cấp qui đổi.

Mạch tương đương này thường được áp dụng trong phạm vi vận hành, cần xác định nhanh giá trị của các số liệu mà không cần đi sâu vào bản chất vật lý của thiết bị.

1.3.4. THÍ NGHIỆM KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP :

1.3.4.1. CÁC ĐẶC ĐIỂM Ở CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI:



Mạch tương đương của biến áp tại chế độ không tải đã được trình bày trong hình H1.22. Trong chế độ không tải, cần chú ý đến các thông số sau:

- ✚ Dòng không tải I_{10} .
- ✚ Tổn hao không tải P_0 hay công suất tác dụng tiêu thụ tại sơ cấp biến áp lúc không tải.
- ✚ Hệ số công suất không tải $\cos\phi_0$

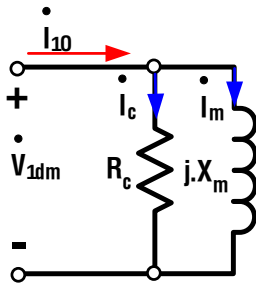
Trong quá trình vận hành thực tế, khi biết trước công suất biểu kiến và áp định mức của biến áp, từ đó xác định được dòng định mức sơ cấp I_{1dm} . Thông số **phần trăm dòng không tải** được định nghĩa sau:

$$I_{10} \% = \left(\frac{I_{10}}{I_{1dm}} \right) \cdot 100 \quad (1.50)$$

Giá trị của các thông số R_c và X_m thường rất lớn so với nội trở và Điện Kháng Tản Từ của dây quấn sơ cấp. Do đó **dòng không tải** I_{10} có giá trị rất thấp so với dòng định mức sơ cấp. Với các máy biến áp công suất lớn hay trung bình, $I_{10} \% = (3\% \div 5\%) I_{1dm}$, với biến áp có công suất nhỏ hơn 1KVA dòng không tải cho phép lên cao tối đa 10% I_{1dm} . **Dòng không tải có giá trị càng lớn, tổn hao thép càng cao.**

Từ mạch tương đương, **công suất tác dụng** tiêu thụ tại sơ cấp biến áp được xác định theo quan hệ sau:

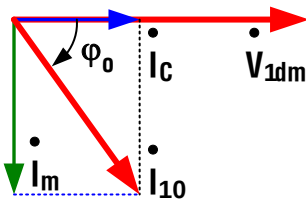
$$P_o = R_1 \cdot I_{10}^2 + R_c \cdot I_c^2 \quad (1.51)$$



HÌNH H1.31

Như vậy, thật sự **tổn hao không tải** P_o bao gồm: **tổn hao thép** và **tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp** R_1 do dòng không tải. Trong thực tế do giá trị $R_1 \ll R_c$ và **dòng không tải có giá trị rất thấp** nên thành phần tổn hao $(R_1 \cdot I_{10}^2)$ rất nhỏ không đáng kể.

Tóm lại, tổn hao không tải phía sơ cấp xem như tương đương với tổn hao trong lõi thép $P_o \cong (R_c \cdot I_c^2)$. **Tổn hao thép của biến áp** có thể xem là tổng tổn hao do phía sơ cấp lúc không tải. Tại chế độ không tải, với các phân tích vừa nêu, có thể áp dụng mạch tương đương gần đúng cho biến áp lúc không tải theo hình H1.31.



HÌNH H1.32: Giản đồ vector mạch sơ cấp biến áp lúc không tải (vẽ theo mạch gần đúng)

Với mạch gần đúng, hệ số công suất không tải $\cos \varphi_o$ được xác định theo một trong các quan hệ sau :

$$\cos \varphi_o = \frac{I_c}{I_{10}} = \frac{P_o}{V_{1dm} \cdot I_{10}} \quad (1.52)$$

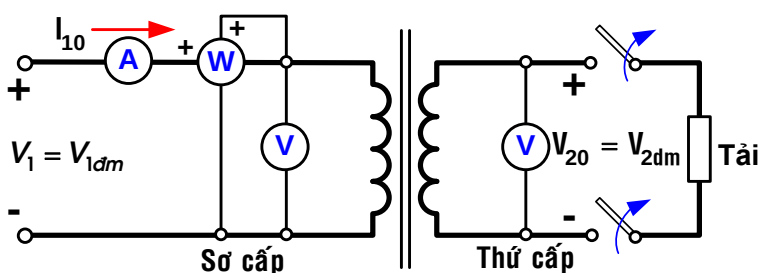
Với mạch gần đúng của biến áp lúc không tải suy ra các quan hệ như sau

$$R_c = \frac{V_{1dm}^2}{P_o} \quad (1.53)$$

$$I_c = \frac{V_{1dm}}{R_c} \quad (1.54)$$

$$I_m = \sqrt{I_{10}^2 - I_c^2} \quad (1.55)$$

$$X_m = \frac{V_{1dm}}{I_m} \quad (1.56)$$



HÌNH H1.33: sơ đồ thí nghiệm không tải của máy biến áp.

1.3.1.2. TRÌNH TỰ THỰC HIỆN THÍ NGHIỆM KHÔNG TẢI:

Thí Nghiệm Không Tải được tiến hành tuần tự theo các bước sau:

- ✚ **Hở mạch thứ cấp**, không nối tải vào thứ cấp.
- ✚ Lắp các thiết bị đo phía sơ cấp theo mạch hình H1.33.
- ✚ Cấp **áp vào sơ cấp** biến áp **bằng đúng định mức** và đọc các giá trị trên các thiết bị đo.

MỤC TIÊU CỦA THÍ NGHIỆM KHÔNG TẢI

Thông qua thí nghiệm không tải với các số liệu ghi nhận từ các thiết bị đo ở sơ và thứ cấp (**chủ yếu là phía sơ cấp**) cho phép ta **xác định được các thông số** sau đây của máy biến áp:

- ✚ Tỷ số biến áp.
- ✚ Dòng không tải và phần trăm dòng không tải.
- ✚ Tổn hao thép
- ✚ Hệ số công suất không tải.
- ✚ Các thông số của mạch tương đương : R_c và X_m

CHÚ Ý: Đối với thành phần điện trở R_1 của dây quấn sơ cấp biến áp được xác định bằng các phương pháp đo khác: dùng **Ohm kế**, dùng **cầu đo Whestone**, hay **phương pháp Volt Ampère** với **nguồn một chiều**.

THÍ DU 1.2:

Cho máy biến áp một pha : **500KVA ; 2300 V / 230V**.

Thí nghiệm không tải với thiết bị đo lắp ở sơ cấp cho các số liệu: $I_{10} = 9,4 \text{ A}$; $P_0 = 2250 \text{ W}$.

Áp dụng mạch tương đương gần đúng ở chế độ không tải xác định các thông số R_c và X_m .

GIẢI:

Khi áp dụng mạch tương đương gần đúng lúc không tải của máy biến áp để xác định các thông số: R_c và X_m chúng ta tiến hành **tính toán tuần tự 4 phép tính** sau:

✚ Điện trở đặc trưng tổn hao thép R_c .
$$R_c = \frac{V_{1dm}^2}{P_0} = \frac{2300^2}{2250} = 2351,11 \Omega$$

✚ Dòng hiệu dụng I_c (qua nhánh chứa R_c).
$$I_c = \frac{V_{1dm}}{R_c} = \frac{2300}{2351,11} = 0,978 \text{ A}$$

✚ Dòng hiệu dụng I_m (qua nhánh chứa X_m).
$$I_m = \sqrt{I_{10}^2 - I_c^2} = \sqrt{9,4^2 - 0,978^2} = 9,349 \text{ A}$$

✚ Điện kháng từ hóa X_m .
$$X_m = \frac{V_{1dm}}{I_m} = \frac{2300}{9,349} = 246,02 \Omega$$

CHÚ Ý:

Trong trường hợp cần xác định hệ số công suất không tải của biến áp, áp dụng quan hệ sau:

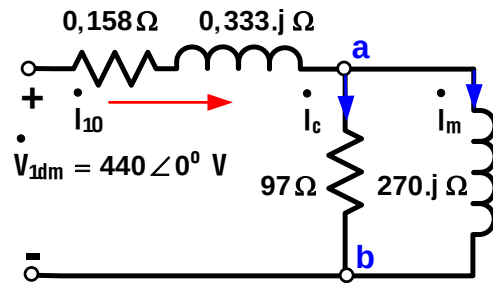
$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{V_{1dm} \cdot I_{10}} = \frac{2250}{2300 \cdot 9,4} = 0,104 \quad \text{Hay} \quad \cos\varphi_0 = \frac{I_c}{I_{10}} = \frac{0,978}{9,4} = 0,104$$

THÍ DU 1.3:

Cho máy biến áp một pha: **25KVA; 440 V / 220 V**; 50 Hz, biết các thông số của mạch tương đương của máy biến áp là:

- ✚ Tại thứ cấp : $R_2 = 0,0395 \Omega$; $X_{l2} = 0,0083 \Omega$.
- ✚ Tại sơ cấp : $R_1 = 0,158 \Omega$; $X_{l1} = 0,333 \Omega$.
- ✚ Điện trở đặc trưng tổn hao thép $R_c = 270 \Omega$.
- ✚ Điện kháng từ hóa : $X_m = 97 \Omega$.

Áp dụng mạch tương đương chính xác, xác định các thông số phía sơ cấp khi vận hành không tải máy biến áp.

GIẢI:**HÌNH H1.34**

Áp dụng mạch tương đương chính xác với các thông số đã xác định. Mạch tương đương của máy biến áp được vẽ theo hình **H1.34**.

- TỔNG TRỞ PHỨC KHÔNG TẢI $\bar{Z}_0$**

Gọi $\bar{Z}_0$ là tổng trở phức tương đương của hai nhánh song song R_c và X_m . Ta có:

$$\bar{Z}_0 = \frac{j.R_c.X_m}{R_c + j.X_m} = \frac{j.97.270}{270 + 97.j}$$

$$\bar{Z}_0 = 30,865 + 85,912.j = 91,288 \angle 70^\circ 24 \text{ } [\Omega]$$

- TỔNG TRỞ PHỨC MẠCH SƠ CẤP $\bar{Z}_1$**

Gọi $\bar{Z}_1 = R_1 + j.X_{11}$ là tổng trở phức mạch sơ cấp, ta có :

$$\bar{Z}_1 = 0,158 + j.0,333 = 0,3686 \angle 64^\circ 62 \text{ } [\Omega]$$

Áp dụng cầu phân áp suy ra áp phức $\dot{V}_{ab}$, ta có:

$$\dot{V}_{ab} = \frac{\bar{Z}_0 \cdot \dot{V}_{1dm}}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_1} = \frac{91,288 \angle 70^\circ 24 \cdot 440 \angle 0^\circ}{(30,865 + 85,912.j) + (0,158 + 0,333.j)}$$

$$\dot{V}_{ab} = \frac{40166,77 \angle 70^\circ 24}{(31,023 + 86,245.j)} = \frac{40166,77 \angle 70^\circ 24}{91,655 \angle 70^\circ 22} \cong 438,24 \angle 0^\circ 02 \text{ } [V]$$

NHÂN XÉT:

Áp hiệu dụng V_{ab} thực chất là sức điện động hiệu dụng E_1 . Từ kết quả cho thấy V_{ab} và áp sơ cấp V_{1dm} **gần như trùng pha** với nhau. Sức điện động hiệu dụng có giá trị xấp xỉ bằng Áp định mức sơ cấp. Do đó trong một số trường hợp khi tính toán tỉ số biến áp ta xem như $E_1 \cong V_{1dm}$.

- TỈ SỐ BIẾN ÁP K_{ba} :**

Áp dụng quan hệ (1.19), ta có:

$$K_{ba} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_{ab}}{V_{20}} = \frac{V_{ab}}{V_{2dm}} = \frac{438,24}{220} = 1,992 \cong 2$$

Nếu xem như $E_1 \cong V_{1dm}$ ta có kết quả tính toán cho tỉ số biến áp như sau:

$$K_{ba} = \frac{V_{1dm}}{V_{20}} = \frac{V_{1dm}}{V_{2dm}} = \frac{440}{220} = 2$$

- ĐÒNG PHỨC KHÔNG TẢI $\dot{I}_{10}$**

Áp dụng định luật Ohm suy ra:

$$\dot{I}_{10} = \frac{\dot{V}_{1dm}}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_0} = \frac{440}{31,023 + 86,245.j} = 1,625 - 4,517.j = 4,8 \angle -70^\circ 21 \text{ } [A]$$

Dòng hiệu dụng không tải là : $I_{10} = 4,8 \text{ A}$ suy ra $I_{10} \% = \left(\frac{I_{10}}{I_{1dm}} \right) \cdot 100 \cong 8,45\%$

- HỆ SỐ CÔNG SUẤT KHÔNG TẢI $\cos \varphi_0$**

Với các áp phức sơ cấp định mức $\dot{V}_{1dm} = 440 \angle 0^\circ [\text{V}]$ và $\dot{I}_{10} = 4,8 \angle -70^\circ 21 [\text{A}]$ suy ra hệ số công suất không tải được xác định theo quan hệ sau:

$$\cos \varphi_0 = \cos \left(\arg \left(\dot{I}_{10} \right) \right) = \cos (-70^\circ 21) \cong 0,3386$$

- THÀNH PHẦN DÒNG PHỨC $\dot{I}_c$:**

Áp dụng định luật Ohm suy ra: $\dot{I}_c = \frac{\dot{V}_{ab}}{R_c} = \frac{438,24 \angle 70^\circ 24}{270} = 1,623 \angle 70^\circ 2 [\text{A}]$

- THÀNH PHẦN DÒNG PHỨC $\dot{I}_m$:**

Áp dụng định luật Ohm suy ra:

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{V}_{ab}}{jX_m} = \frac{438,24 \angle 70^\circ 24}{97 \cdot j} = \frac{438,24 \angle 70^\circ 24}{97 \angle 90^\circ} = 4,518 \angle -19^\circ 76 [\text{A}]$$

- TỔN HAO KHÔNG TẢI P_0 :**

Với mạch tương đương chính xác, ta suy ra tổn hao không tải gồm hai thành phần: tổn hao thép đặc trưng bởi R_c và tổn hao trên dây quấn sơ cấp do R_1 . Ta có:

$$P_0 = P_{th} + P_{j10} = R_c \cdot I_c^2 + R_1 \cdot I_{10}^2 = 270 \cdot 1,623^2 + 0,158 \cdot 4,8^2$$

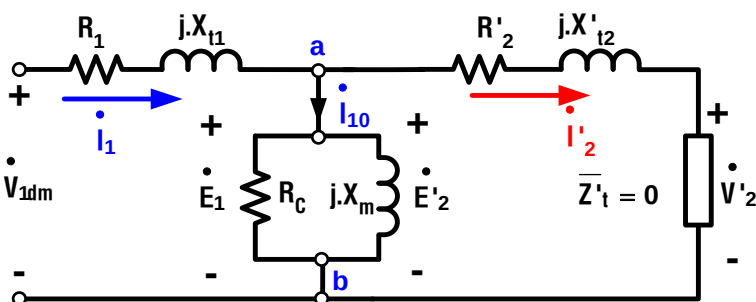
$$P_0 = 711,215 + 3,64 = 714,855 \cong 715 \text{ W}$$

NHÂN XÉT:

Với kết quả tìm được cho thấy: tại chế độ không tải, tổn hao trên dây quấn sơ cấp có giá trị rất thấp so với tổn hao trong lõi thép. Do đó trong một số trường hợp cần **tính toán nhanh một cách gần đúng**, ta có thể xem tổn hao không tải chính là tổn hao thép.

1.3.5. THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP :

1.3.5.1. CÁC ĐẶC ĐIỂM Ở CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH VÀ THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH:



HÌNH H1.35: Mạch tương đương lúc ngắn mạch tại thứ cấp

Chế độ ngắn mạch của biến áp xảy ra **khi tổng trở tải phía thứ cấp** có giá trị $\bar{Z}_t = 0 \Omega$. Trong trường hợp này **nếu áp sơ cấp vẫn duy trì đúng định mức, dòng thứ và sơ cấp của biến áp có giá trị rất cao**. Dòng sơ cấp lúc ngắn mạch có thể lên đến mức $(10 \div 30) \cdot I_{1dm}$.

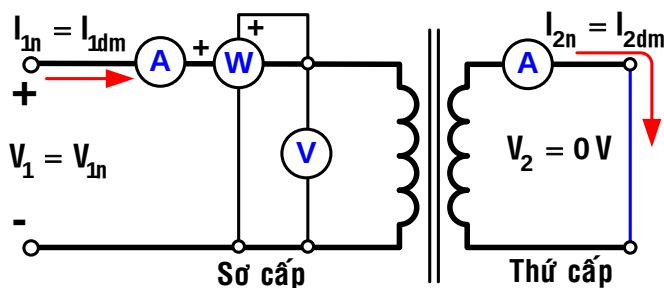
✚ Trong **thí nghiệm ngắn mạch**, cần **giảm thấp áp cấp vào sơ cấp** để tránh tình trạng **dòng sơ và cấp có giá trị rất lớn** có thể dẫn đến **tình trạng quá nhiệt làm hư hỏng cách điện của các bộ dây quấn**.

✚ **Tổn hao trong dây quấn** sơ và thứ cấp thay đổi và **phụ thuộc vào giá trị bình phương dòng hiệu dụng sơ và thứ cấp**, nên khi tải thay đổi tổn hao này biến động theo độ lớn và tính chất của tải. Trong thí nghiệm ngắn mạch, cần xác định **tổn hao tổng trên các bộ dây quấn biến áp** khi **dòng qua các bộ dây đạt giá trị bằng đúng định mức**.

✚ **Tổn hao trên các bộ dây quấn** tại giá trị tải bất kỳ thường được gọi là **tổn hao đồng**. Ký hiệu dung cho tổn hao đồng trên dây quấn sơ cấp là P_{j1} và thứ cấp là P_{j2} .

1.3.5.2. TRÌNH TỰ THỰC HIỆN THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH:

Khi thực hiện thí nghiệm ngắn mạch, cần tiến hành tuân tự theo các bước sau:



HÌNH H1.36: sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp.

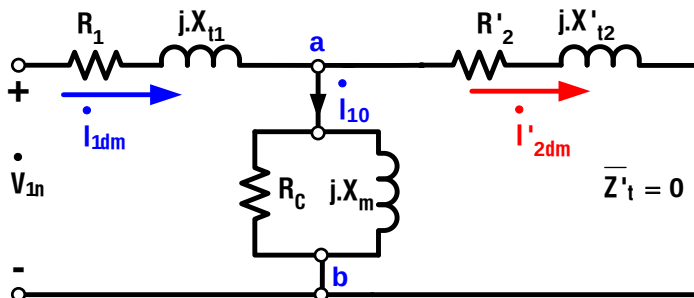
✚ **Ngắn mạch thứ cấp** hay **nối tắt** hai đầu ra thứ cấp bằng dây dẫn có Tổng Trở $\bar{Z}_t = 0 \Omega$.

✚ Lắp các thiết bị đo phía sơ cấp theo mạch hình H1.36.

✚ Điều chỉnh giảm thấp **áp cấp vào sơ cấp** biến áp đến mức V_{1n} sao cho **dòng ngắn mạch qua dây quấn sơ và thứ cấp bằng giá trị định mức**. Đọc các giá trị trên các thiết bị đo.

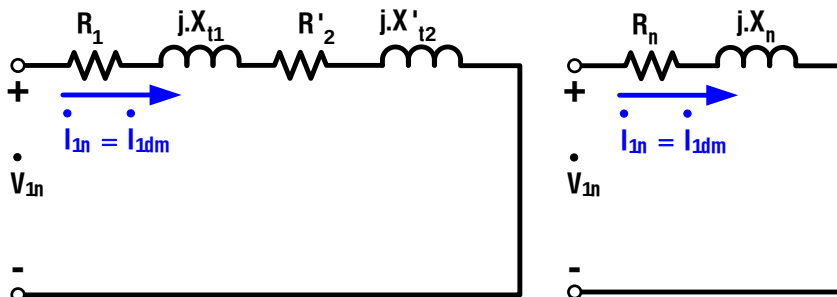
MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA BIẾN ÁP LÚC THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH:

Tại thí nghiệm ngắn mạch khi giảm thấp áp cấp vào sơ cấp, ta rút ra các nhận xét sau:



HÌNH H1.37

✚ Giá trị thực tế của áp V_{1n} rất thấp so với áp định mức V_{1dm} , thông thường $V_{1n} = (5\% \div 15\%) V_{1dm}$. Do đó áp V_{ab} đặt ngang qua hai đầu điện trở R_c **cũng giảm thấp**. Ngoài ra tổn hao thép tỉ lệ thuận với $(V_{ab})^2$ nên **tổn hao thép xem như không đáng kể** trong thí nghiệm ngắn mạch.



HÌNH H1.38 : Mạch tương đương biến áp trong thí nghiệm ngắn mạch

✚ Từ phương trình cân bằng dòng lúc thí nghiệm ngắn mạch $I_1 - I'_2 = I_{10}$, do áp V_{ab} giảm rất thấp nên dòng hiệu dụng $I_{10} \approx 0$ suy ra khi dòng $I_1 = I_{1n} = I_{1dm}$ thì dòng $I_2 = I_{2n} = I_{2dm}$.

✚ Mạch tương đương của biến áp trong thí nghiệm ngắn mạch được thu gọn theo hình **H1.38**

Trong đó: Thành phần **Điện Trở ngắn mạch** là $R_n = R_1 + R'_2$ (1.57)

Thành phần **Điện Kháng Ngắn Mạch** là $X_n = X_{t1} + X'_{t2}$ (1.58)

Thành phần **Tổng Trở Phức Ngắn Mạch** là $\bar{Z}_n = R_n + j.X_n$ (1.59)

Với mạch tương đương thu gọn trong hình **H1.38**, khi đo được các thông số: V_{1n} , P_n và I_{1n} nếu thực hiện ba phép tính thì suy ra được các thành phần của tổng trở ngắn mạch.

$$Z_n = \frac{V_{1n}}{I_{1n}} = \frac{V_{1n}}{I_{1dm}} \quad (1.60)$$

$$R_n = \frac{P_n}{I_{1n}^2} \quad (1.61)$$

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \quad (1.62)$$

MỤC TIÊU CỦA THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH

Thông qua thí nghiệm ngắn mạch với các số liệu nhận được từ các thiết bị đo ở sơ và thứ cấp (**chủ yếu là phía sơ cấp**) cho phép ta xác định được các thông số sau đây :

✚ Tỉ số biến áp dựa **vào tỉ số dòng điện ngắn mạch** ở sơ và thứ cấp.

✚ Tổn hao đồng định mức hay tổn hao trên dây quấn sơ và thứ cấp tương ứng với các giá trị dòng hiệu dụng qua dây quấn bằng định mức.

✚ Hệ số công suất ngắn mạch đo ở sơ cấp.

✚ Các thông số của mạch tương đương : R_n và X_n hay tổng trở ngắn mạch

CHÚ Ý:

Thông qua thí nghiệm ngắn mạch chỉ xác định được gián tiếp giá trị điện kháng ngắn mạch X_n , nhưng không thể tách riêng được các thành phần điện kháng tản từ phía sơ cấp X_{t1} và thành phần điện kháng tản từ phía thứ cấp quy về sơ cấp X'_{t2} .

THÍ DU 1.4:

Cho máy biến áp một pha **500 KVA ; 2300 V / 230 V**. Khi thực hiện thí nghiệm ngắn mạch với các thiết bị lắp ở sơ cấp, số liệu đo được gồm : $V_{1n} = 94,5 \text{ V}$; $P_{nm} = 8220 \text{ W}$; $I_{1n} = 217 \text{ A}$.

Xác định các thành phần R_n và X_n của tổng trở ngắn mạch.

GIẢI:

Khi biết thông số định mức của biến áp, ta thử xác định dòng định mức sơ cấp. Dòng điện này chính là giá trị dòng điện cần đạt được phía sơ cấp trong thí nghiệm ngắn mạch.

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{V_{1dm}} = \frac{500000}{2300} = 217,39 \text{ A}$$

Giá trị tìm được phù hợp với số liệu ghi nhận lúc thực hiện thí nghiệm ngắn mạch.

✚ Tổng trở ngắn mạch của biến áp: $Z_{nm} = \frac{V_{1n}}{I_{1dm}} = \frac{94,5}{217} \cong 0,4355 \Omega$

✚ Thành phần điện trở ngắn mạch: $R_n = \frac{P_n}{I_{1n}^2} = \frac{8220}{217^2} \cong 0,1746 \, \Omega$

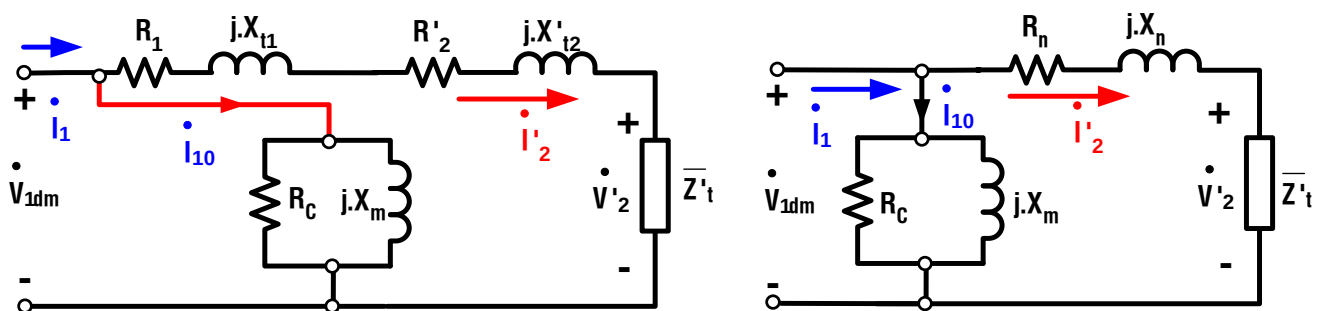
✚ Thành phần điện kháng ngắn mạch:

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{0,4355^2 - 0,176^2} \cong 0,3984 \, \Omega$$

Với các phân tích trong các thí nghiệm không tải và thí nghiệm, khi **vận hành máy biến áp** cần **xác định nhanh gần đúng** các số liệu, ta xem như:

- ✚ Chênh lệch áp gây ra do tổng trở $\bar{Z}_1 = R_1 + j.X_{11}$ phía sơ cấp rất nhỏ.
- ✚ Tổn hao thép không thay đổi theo độ lớn của tải.
- ✚ Tổn hao thép chỉ phụ thuộc áp nguồn sơ cấp và tỉ lệ thuận với bình phương áp sơ cấp.

Với các giả thiết trên, **mạch tương đương dạng gần đúng** của biến áp qui thứ về sơ cấp được chuyển đổi từ mạch chính xác được trình bày trong hình H1.39. Mạch gần đúng được suy ra bằng cách chuyển mạch từ hóa về phía nguồn sơ cấp.



HÌNH H1.39 : Mạch tương đương dạng gần đúng. qui thứ về sơ cấp của máy biến áp

THÍ DU 1.5:

Cho máy biến áp một pha **50 KVA ; 2400 V / 600 V ; 50 Hz**. Các số liệu ghi nhận từ các thí nghiệm như sau:

✚ **THÍ NGHIỆM KHÔNG TẢI**: các **thiết bị đo lắp phía thứ cấp** (hạ áp) cấp nguồn vào phía thứ cấp và hở mạch thứ cấp. $V_{2dm} = 600 \, V$; $I_{20} = 3,34 \, A$; $P_o = 484 \, W$.

✚ **THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH**: các **thiết bị đo lắp phía sơ cấp** (cao áp) cấp nguồn vào phía sơ cấp và ngắn mạch thứ cấp. $V_{1n} = 76,4 \, V$; $I_{1n} = 20,8 \, A$; $P_n = 754 \, W$.

Xác định các thông số của mạch tương đương dạng gần đúng qui thứ về sơ cấp.

GIẢI:

1. THÔNG SỐ MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG TỪ THÍ NGHIỆM KHÔNG TẢI:

Với phương pháp thí nghiệm không tải cho trong đầu bài, thay vì lắp các thiết bị đo vào sơ cấp, hở mạch thứ cấp và cấp áp vào sơ cấp bằng đúng định mức ta lại thực hiện ngược lại.

Sự kiện này thường được áp dụng trong thực tế vì các thiết bị đo được chế tạo với điện áp thấp từ **600 V** trở xuống, do tính chất của vật liệu cách điện dùng trong thiết bị đo. Như vậy với áp sơ cấp **2400 V** rất khó tìm được thiết bị đo có khả năng chịu đựng được cấp điện áp này.

Điều quan trọng cần lưu ý, nếu thực hiện điện áp cao cho thí nghiệm rất khó khăn để đảm bảo an toàn cho con người trong quá trình thí nghiệm. Ngoài ra muốn tạo được điện áp cao cần phải có thiết bị tạo nguồn cao áp để cấp vào biến áp khi thực hiện thí nghiệm.

Như vậy, khi tiến hành thí nghiệm không tải từ phía thứ cấp muốn xác định các thông số R_c và X_m của mạch tương đương qui về sơ cấp, ta có thể thực hiện theo một trong hai phương pháp sau:

- **PP1:** Xác định số liệu R_c và X_m tại phía thứ cấp rồi **qui đổi về sơ cấp** theo các quan hệ (1.47) và (1.48)

- **PP2:** **Qui đổi số liệu thí nghiệm** đo được **ở thứ về sơ** rồi xác định các thông số.

PHƯƠNG PHÁP 1:

Xác định các thông số R_c và X_m theo **thí nghiệm không tải phía thứ cấp**

✚ Điện trở đặc trưng tổn hao thép: $R_{c2} = \frac{V_{2dm}^2}{P_0} = \frac{600^2}{484} = 743,802 \, \Omega$

✚ Dòng hiệu dụng I_{c2} (qua nhánh R_{c2}): $I_{c2} = \frac{V_{2dm}}{R_{c2}} = \frac{600}{743,802} = 0,8067 \, A$

✚ Dòng hiệu dụng I_{m2} (qua nhánh X_{m2}): $I_{m2} = \sqrt{I_{20}^2 - I_{c2}^2} = \sqrt{3,34^2 - 0,8067^2} = 3,241 \, A$

✚ Điện kháng từ hóa: $X_{m2} = \frac{V_{2dm}}{I_{m2}} = \frac{600}{3,241} = 185,12 \, \Omega$

✚ Tỉ số biến áp: $K_{ba} = \frac{E_1}{E_2} \cong \frac{V_{1dm}}{V_{2dm}} = \frac{2400}{600} = 4$

✚ Điện trở đặc trưng tổn hao thép qui về sơ cấp:

$$R_c = K_{ba}^2 \cdot R_{c2} = 4^2 \cdot 743,802 = 11900,832 \, \Omega \cong 11,9 \, k\Omega$$

✚ Điện kháng từ hóa qui về sơ cấp:

$$X_m = K_{ba}^2 \cdot X_{m2} = 4^2 \cdot 185,12 = 2961,92 \, \Omega \cong 2962 \, \Omega$$

PHƯƠNG PHÁP 2:

Trong thí nghiệm không tải theo phân tích trên, **công suất tác dụng tiêu thụ** trong biến áp thực chất là **tổn hao thép khi cấp áp vào dây quấn bằng đúng định mức**. Như vậy tổn hao đo trong thí nghiệm không tải khi thực hiện phía sơ cấp hay phía thứ cấp sẽ có **giá trị bằng nhau**.

Tóm lại nếu xem như **hệ số công suất không tải lúc thực hiện thí nghiệm không tải** phía sơ hay thứ cấp có giá trị gần bằng nhau, ta suy ra quan hệ sau:

$$P_0 = V_{1dm} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_{10} = V_{2dm} \cdot I_{20} \cdot \cos \varphi_{20}$$

Hay: $\frac{I_{10} \cdot \cos \varphi_{10}}{I_{20} \cdot \cos \varphi_{20}} = \frac{V_{2dm}}{V_{1dm}}$ Tóm lại: $I_{10} \cong \left(\frac{V_{2dm}}{V_{1dm}} \right) \cdot I_{20}$

Từ số liệu thí nghiệm không tải phía thứ cấp ta qui số liệu thí nghiệm không tải về phía sơ cấp như sau:

$$I_{10} \cong \left(\frac{V_{2dm}}{V_{1dm}} \right) \cdot I_{20} = \left(\frac{600}{2400} \right) \cdot 3,34 = 0,835 \, A$$

Tổn hao không tải là: $P_0 = 484 \, W$ và áp cấp vào sơ cấp là: $V_{1dm} = 2400 \, V$, các thông số của nhánh từ hóa được xác định như sau:

- Điện trở đặc trưng tổn hao thép: $R_c = \frac{V_{1dm}^2}{P_0} = \frac{2400^2}{484} = 11900,826 \, \Omega \approx 11,9 \, k\Omega$
- Dòng hiệu dụng I_c (qua nhánh R_c): $I_c = \frac{V_{1dm}}{R_c} = \frac{2400}{11900,826} \approx 0,20167 \, A$
- Dòng hiệu dụng I_m (qua nhánh X_m): $I_m = \sqrt{I_{10}^2 - I_c^2} = \sqrt{0,835^2 - 0,20167^2} = 0,81028 \, A$
- Điện kháng từ hóa: $X_m = \frac{V_{1dm}}{I_m} = \frac{2400}{0,81028} = 2961,93 \approx 2962 \, \Omega$

Kết quả tìm được từ hai phương pháp tính hoàn toàn trùng khớp nhau.

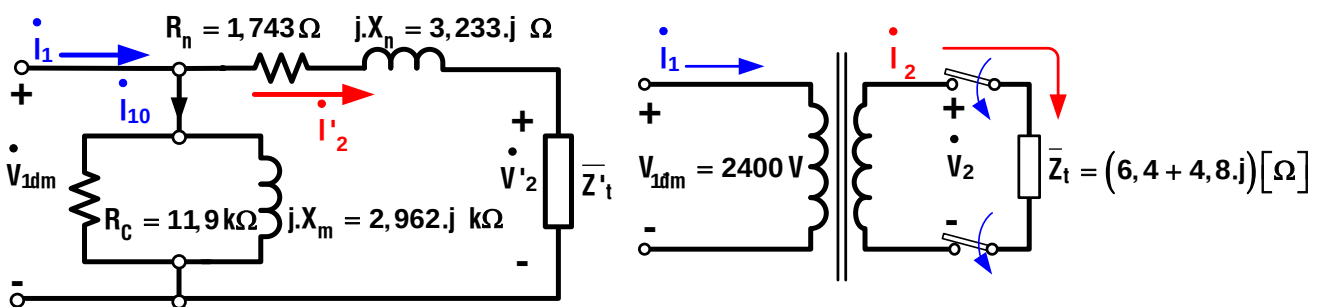
2. THÔNG SỐ MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG TỪ THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH:

- Tổng trở ngắn mạch của biến áp: $Z_{nm} = \frac{V_{1n}}{I_{1n}} = \frac{76,4}{20,8} = 3,673 \, \Omega$
- Thành phần điện trở ngắn mạch: $R_n = \frac{P_n}{I_{1n}^2} = \frac{754}{20,8^2} \approx 1,7428 \, \Omega$
- Thành phần điện kháng ngắn mạch: $X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{3,673^2 - 1,7428^2} \approx 3,233 \, \Omega$

THÍ DỤ 1.6:

Với máy biến áp cho trong thí dụ 1.5 khi thứ cấp mang tải có tổng trở phức là: $\bar{Z}_t = (6,4 + 4,8.j) [\Omega]$, áp dụng mạch tương đương gần đúng để tính áp V_2 khi biến áp mang tải

GIẢI:



- Tổng trở tải quy về sơ cấp:

$$\bar{Z}'_t = K_{ba}^2 \cdot \bar{Z}_t = 4^2 \cdot (6,4 + 4,8.j) = (102,4 + 76,8.j) [\Omega]$$

- Áp dụng cầu phân áp suy ra áp phức trên tải qui đổi:

$$\dot{V}'_2 = \frac{\bar{Z}'_t \cdot \dot{V}_{1dm}}{\bar{Z}_n + \bar{Z}'_t} = \frac{(102,4 + 76,8.j) \cdot 2400 \angle 0^\circ}{(1,743 + 3,233.j) + (102,4 + 76,8.j)}$$

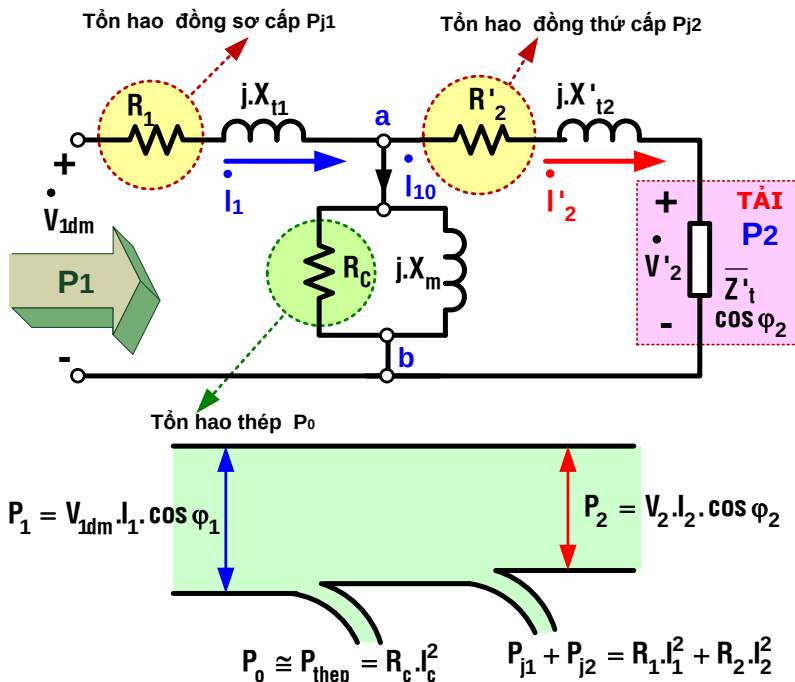
Suy ra: $\dot{V}'_2 = 2338,74904 - 27,4344.j = 2338,91 \angle -0^\circ 67 [V]$

⚡ Áp hiệu dụng tại thứ cấp biến áp (áp dụng công thức qui đổi áp về sơ cấp):

$$V_2 = \left| \dot{V}_2 \right| = \frac{\left| \dot{V}'_2 \right|}{K_{ba}} = \frac{2338,91}{4} \cong 584,73 \text{ V}$$

1.4. GIẢN ĐỒ PHÂN BỐ CÔNG SUẤT VÀ HIỆU SUẤT CỦA MÁY BIẾN ÁP:

1.4.1. GIẢN ĐỒ PHÂN BỐ CÔNG SUẤT :



HÌNH H1.40 : Giản đồ công suất của máy biến áp.

Gọi η là hiệu suất của biến áp, được định nghĩa như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1.53)$$

Các thành phần tổn hao trên dây quấn biến áp và tổn hao trên lõi thép được gọi **Tổn Hao Tổng** của biến áp, ta có :

$$\sum \text{Tổnhao} = P_1 - P_2 = P_{j1} + P_{j2} + P_{thep} \quad (1.54)$$

Tổn hao thép được xem là **tổn hao đo được trong thí nghiệm không tải**, thành phần tổn hao này xem như **không thay đổi theo tải** và chỉ phụ thuộc vào áp nguồn cấp vào sơ cấp.

Thành phần **tổn hao đồng** hay tổn hao trên các bộ dây quấn **có giá trị thay đổi khi dòng sơ và thứ cấp thay đổi**. Nói cách khác các thành phần tổn hao đồng thay đổi khi tải thay đổi. Thành phần tổn hao này **thường được xác định theo giá trị P_n** là công suất tác dụng đo được trong thí nghiệm ngắn mạch .

Khi biến áp đang mang tải bất kỳ, **sự phân bố các thành phần công suất tác dụng** được tóm tắt trong **giản đồ công suất**, hình H1.40.

Giản đồ này được xây dựng dựa vào **mạch điện tương đương** của máy biến áp.

⚡ **CÔNG SUẤT ĐIỆN P_1** : là công suất tác dụng cấp vào sơ cấp từ nguồn.

⚡ **CÔNG SUẤT TẢI P_2** : là công suất tác dụng từ thứ cấp cấp đến tải, đây chính là công suất tác dụng tiêu thụ trên tải.

⚡ **TỔN HAO ĐỒNG P_{j1} VÀ P_{j2}** : là các thành phần công suất tác dụng tiêu thụ trên các điện trở của dây quấn sơ và thứ cấp.

⚡ **TỔN HAO THÉP P_{thep}** : bao gồm các tổn hao trên lõi thép do dòng xoáy Foucault và từ trễ.

Ta có:

$$P_{j1} + P_{j2} = R_1 \cdot I_1^2 + R'_2 \cdot I_2^2 = R_1 \cdot I_1^2 + \left(K_{ba}^2 \cdot R_2 \right) \cdot \left(\frac{I_2}{K_{ba}} \right)^2$$

$$P_{j1} + P_{j2} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 = R_1 \cdot I_1^2 + R'_2 \cdot I_2^2 \quad (1.55)$$

Áp dụng định nghĩa của hệ số tải theo (1.17) ta có:

$$P_{j1} + P_{j2} = R_1 \cdot \left(K_t \cdot I_{1dm} \right)^2 + R_2 \cdot \left(K_t \cdot I_{2dm} \right)^2$$

$$P_{j1} + P_{j2} = K_t^2 \cdot \left(R_1 \cdot I_{1dm}^2 + R_2 \cdot I_{2dm}^2 \right) \quad (1.56)$$

Với P_n là công suất tác dụng đo được trong **thí nghiệm ngắn mạch**, P_n là **tổn hao trong dây quấn biến áp** khi dòng đi qua dây quấn có giá trị bằng dòng định mức.

Như vậy P_n chính là tổn hao đồng định mức của biến áp. Tóm lại quan hệ (1.56) được ghi lại như sau:

$$P_{j1} + P_{j2} = K_t^2 \cdot P_n \quad (1.57)$$

1.4.2. BIỂU THỨC HIỆU SUẤT:

Với định nghĩa của hiệu suất theo (1.53). ta viết lại như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + (P_{j1} + P_{j2}) + P_{thép}} \quad (1.58)$$

Tại tải bất kỳ ta viết lại quan hệ trên như sau:

$$\eta = \frac{S_2 \cdot \cos \varphi_2}{S_2 \cdot \cos \varphi_2 + (P_{j1} + P_{j2}) + P_{thép}} \quad (1.59)$$

Trong đó $\cos \varphi_2$ là **hệ số công suất phía thứ cấp** cũng chính là hệ số công suất của tải. S_2 là công suất biểu kiến cấp đến tải từ thứ cấp. Áp dụng định nghĩa của hệ số tải ta có:

$$\eta = \frac{K_t \cdot S_{dm} \cdot \cos \varphi_2}{K_t \cdot S_{dm} \cos \varphi_2 + (P_{j1} + P_{j2}) + P_{thép}} \quad (1.60)$$

Từ các quan hệ (1.57) và (1.60) ta có:

$$\eta = \frac{K_t \cdot S_{dm} \cdot \cos \varphi_2}{K_t \cdot S_{dm} \cos \varphi_2 + K_t^2 \cdot P_n + P_o} \quad (1.61)$$

THÍ DỤ 1.7:

Với máy biến áp cho trong thí dụ 1.5 khi thứ cấp mang tải có hệ số công suất là **0,8 trễ**. Xác định hiệu suất biến áp tại **nửa tải định mức** (ứng $K_t = 0,5$).

GIẢI:

Trong thí dụ 1.5 ta có các số liệu sau: $S_{dm} = 50 \text{ KVA}$; $V_{1dm} = 2400 \text{ V}$; $V_{2dm} = 600 \text{ V}$, các thành phần tổn hao đo được từ các thí nghiệm là : $P_o = 484 \text{ W}$, $P_n = 754 \text{ W}$.

Áp dụng quan hệ (1.61) ta có kết quả sau:

$$\eta = \frac{K_t \cdot S_{dm} \cdot \cos \varphi_2}{K_t \cdot S_{dm} \cos \varphi_2 + K_t^2 \cdot P_n + P_o} = \frac{0,5 \cdot 50000 \cdot 0,8}{0,5 \cdot 50000 \cdot 0,8 + 0,5^2 \cdot 754 + 484}$$

Suy ra:

$$\eta = \frac{20000}{20000 + 188,5 + 484} = \frac{20000}{20672,5} = 0,96746$$

Tóm lại có thể ghi $\eta\%$: **hiệu suất tính theo %** theo quan hệ sau: $\eta\% = \eta \cdot 100 [\%]$

$$\eta \cong 96,75 \%$$

1.4.3. HIỆU SUẤT CỰC ĐẠI:

Với quan hệ hiệu suất tìm được theo (1.61) cho thấy: nếu **biết trước các thông số định mức** của biến áp thì hiệu suất là hàm số theo biến số K_t , **hệ số công suất của tải** đóng vai trò **thông số**.

Hàm hiệu suất $\eta = f(K_t)$ có dạng hàm hữu tỉ. Hàm $\eta = f(K_t)$ được khảo sát như sau:

✚ Miền xác định : hàm $\eta = f(K_t)$ xác định $\forall K_t, K_t \in [0,1]$.

✚ Đạo hàm: hàm $\eta = f(K_t)$ có dạng $\frac{u}{v}$

$$\text{Đặt:} \quad u = (S_{dm} \cdot \cos \varphi_2) \cdot K_t \quad \Rightarrow \quad u' = (S_{dm} \cdot \cos \varphi_2)$$

$$v = (P_n) \cdot K_t^2 + (S_{dm} \cdot \cos \varphi_2) \cdot K_t + P_o \quad \Rightarrow \quad v' = 2(P_n) \cdot K_t + (S_{dm} \cdot \cos \varphi_2)$$

Đạo hàm viết theo dạng sau:

$$\frac{d\eta}{dK_t} = \frac{vu' - uv'}{v^2} = \left[\frac{S_{dm} \cdot \cos \varphi_2}{P_n \cdot K_t^2 + (S_{dm} \cdot \cos \varphi_2) \cdot K_t + P_o} \right] \cdot [P_o - (P_n) \cdot K_t^2]$$

Đạo hàm triệt tiêu khi $P_o - (P_n) \cdot K_t^2 = 0$; đồng thời dấu của đạo hàm cũng chính là dấu của tam thức bậc 2 thiếu $[P_o - (P_n) \cdot K_t^2]$. Ta có bảng biến thiên của hàm số như sau:

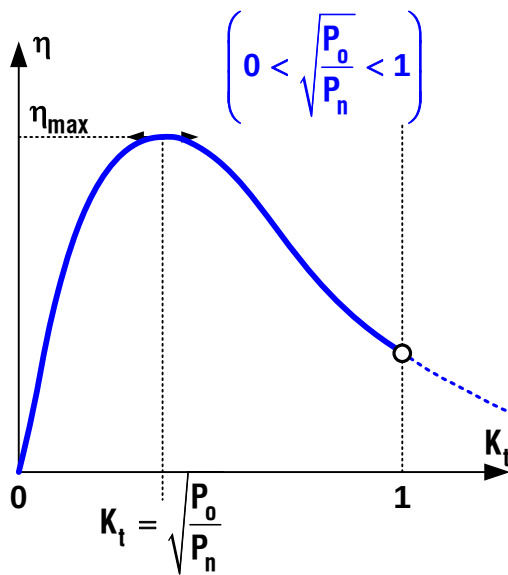
K_t	$-\infty$	$-\sqrt{\frac{P_o}{P_n}}$	0	$\sqrt{\frac{P_o}{P_n}}$	$+\infty$
$\frac{d\eta}{dK_t}$	$-$	0	$+$	$+$	0
$\eta = f(K_t)$				$0 \nearrow \eta_{\max}$	$\searrow 0^+$

ĐỒ THỊ CỦA ĐẶC TUYẾN HIỆU SUẤT THEO HỆ SỐ TẢI

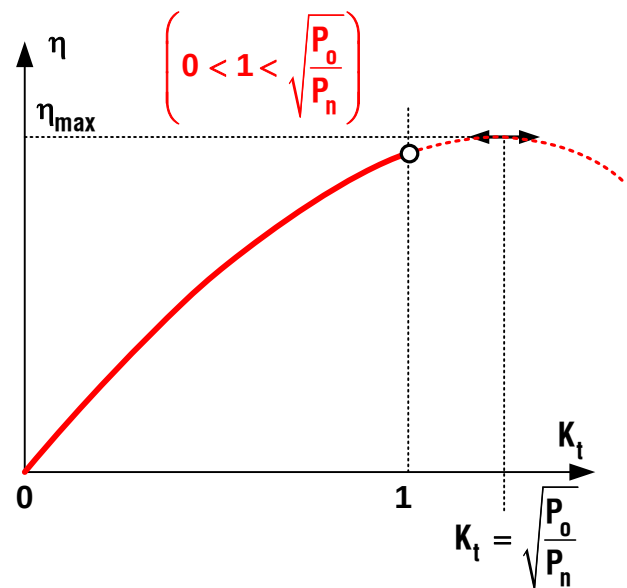
- Đường hiệu suất nhận trực hoành làm đường tiệm cận ngang.
- Đường biểu diễn hiệu suất được xác định theo một trong hai dạng sau:

TRƯỜNG HỢP 1: Khi $0 < \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} < 1$; đường biểu diễn trình bày trong hình 1.35.

TRƯỜNG HỢP 2 : Khi $0 < 1 < \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$; đường biểu diễn trình bày trong hình 1.36



HÌNH 4.35: Đồ thị $\eta = f(K_t)$ theo trường hợp 1



HÌNH 4.36: Đồ thị $\eta = f(K_t)$ theo trường hợp 2

Với các kết quả trên, chúng ta rút ra nhận xét như sau:

✚ Khi $0 < \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} < 1$ hiệu suất biến áp đạt cực đại lúc $K_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$. Tại lúc này ta có: $P_0 = K_t^2 \cdot P_n$. Giá trị $(K_t^2 \cdot P_n)$ là tổn hao trên dây quấn tại hệ số tải tìm được đây chính là tổn hao đồng tại hệ số tải tương ứng.

Tóm lại **biến áp đạt hiệu suất cực đại** tại giá trị tải có tính chất: tổn hao thép bằng tổn hao đồng.

✚ Khi $0 < 1 < \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$; hiệu suất biến áp cực đại tại $K_t > 1$; biến áp ở **trạng thái quá tải**. Vì hiệu suất là hàm đồng biến theo hệ số tải trong phạm vi khảo sát, nên hiệu suất biến áp đạt giá trị lớn nhất lúc $K_t = 1$.

Hiệu suất biến áp cực đại lúc đầy tải hay tải định mức.

THÍ DU 1.8:

Cho máy biến áp một pha : **500KVA ; 2300 V / 230 V** có các tổn hao đo trong thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch là : **$P_0 = 2250 \text{ W}$; $P_n = 8220 \text{ W}$** .

Xác định **hiệu suất của máy biến áp** lần lượt theo từng trường hợp sau:

a./ TRƯỜNG HỢP 1: Hệ số công suất tải là **0,8 trễ** .

Hệ số tải lần lượt là **0,2 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,8 ; 1**. Suy ra hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại .

b./ TRƯỜNG HỢP 2: Hệ số tải **$K_t = 0,75$** và hệ số công suất tải lần lượt là **0,7 trễ ; 1 ; 0,7 sớm**.

GIẢI:**a./ TRƯỜNG HỢP 1:**

Khi hệ số công suất tải là 0,8 trễ , ta có quan hệ hiệu suất như sau:

$$\eta = \frac{400000.K_t}{8220.K_t^2 + 400000.K_t + 2250}$$

Thế lần lượt các giá trị K_t vào quan hệ trên ta tìm được bảng trị số sau:

K_t	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
$\eta\%$	96,88	97,82	97,89	97,87	97,71	97,45

$$\text{Tại lúc hiệu suất cực đại, ta có : } K_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_{nm}}} = \sqrt{\frac{2250}{8220}} = 0,5232$$

$$\text{Hiệu suất cực đại đạt được là : } \eta_{\max} = \frac{400000.K_t}{8220.K_t^2 + 400000.K_t + 2250} = 0,97895$$

b./ TRƯỜNG HỢP 2:

Khi hệ số tải là $K_t = 0,75$ và hệ số công suất tải thay đổi, hiệu suất được xác định theo quan hệ sau:

$$\eta = \frac{K_t.500000.\cos\varphi_2}{K_t.500000.\cos\varphi_2 + 2250 + 8220.K_t^2}$$

$$\text{Suy ra: } \eta = \frac{375000.\cos\varphi_2}{375000.\cos\varphi_2 + 6873,75}$$

Khi hệ số công suất tải thay đổi ta ghi nhận kết quả trong bảng giá trị sau:

$\cos\varphi_2$	0,7 trễ	1	0,7 sớm
η	97,45	98,2	97,45

1.5. ĐỘ CHÊNH LỆCH ÁP (HAY ĐỘ THAY ĐỔI ÁP) TẠI THỨ CẤP LÚC MANG TẢI:

khi biến áp mang tải, áp V_2 đo được ở hai đầu thứ cấp lúc này cũng chính là áp đặt ngang qua hai đầu tải. Với V_{2dm} là áp thứ cấp định mức cũng hay áp thứ cấp không tải. Độ chênh lệch điện áp tại thứ cấp được xác định theo quan hệ sau:

$$\Delta V = V_{2dm} - V_2 \quad (1.62)$$

Phần trăm của độ chênh lệch áp phía thứ cấp được định nghĩa như sau:

$$\Delta V\% = \left(\frac{V_{2dm} - V_2}{V_2} \right) \cdot 100 \quad (1.62)$$

THÍ DỤ 1.9:

Với biến áp cho trong thí dụ 1.6, xác định phần trăm của độ chênh lệch áp phía thứ cấp

GIẢI:

✚ Từ kết quả tính toán trong thí dụ 1.6, ta có áp hiệu dụng thứ cấp khi mang tải là :

$$\left| \vec{V}_2 \right| = V_2 = 584,73 \text{ V}$$

✚ Với áp thứ cấp định mức: $V_{2dm} = 600 \text{ V}$, ta suy ra phần trăm chênh lệch áp tại thứ cấp theo quan hệ sau:

$$\Delta V\% = \left(\frac{V_{2dm} - V_2}{V_2} \right) \cdot 100 = \left(\frac{600 - 584,73}{584,63} \right) \cdot 100 = 2,612 \%$$

BÀI TẬP CHƯƠNG 1

BÀI TẬP 1.1

Cho máy biến áp : **5KVA, 500V / 100V** được thử và cho kết quả sau:

✚ Hiệu suất cực đại khi máy phát **3KVA**.

✚ Khi đưa điện áp **100V** vào phía hạ áp và hồ mạch phía cao áp thì máy tiêu thụ **100W** và lấy dòng điện **3A**.

Tính **hiệu suất** khi máy **mang tải định mức** với hệ số công suất **0,8** trễ.

ĐÁP SỐ: $\eta\% = 91,37\%$

BÀI TẬP 1.2

Cho máy biến áp phân phối : **500 KVA. 2300V / 230V** được thử và cho các kết quả như sau:

✚ **Thử không tải** (áp cấp vào phía hạ áp): $V_{20} = 230V$; $I_{20} = 94 A$; $P_{20} = 2250W$

✚ **Thử ngắn mạch** (áp cấp vào phía cao áp): $V_{1n} = 100V$; $I_{1n} = 230A$; $P_{1n} = 9200W$.

Tính các **thông số của mạch tương đương gần đúng** quy về sơ cấp .

ĐÁP SỐ: $R_c \cong 2351\Omega$; $X_m \cong 246\Omega$; $R_n \cong 0,1739\Omega$; $X_n \cong 0,39858\Omega$

BÀI TẬP 1.3

Tính lại bài 1.2 nếu các kết quả thử nghiệm ghi nhận như sau :

✚ **Thử không tải** (đưa điện vào phía hạ áp): $V_2 = 208V$; $I_2 = 85 A$; $P_2 = 1800W$

✚ **Thử ngắn mạch** (đưa điện vào phía cao áp): $V_1 = 95V$; $I_1 = 218A$; $P_1 = 8200W$.

ĐÁP SỐ: $R_c \cong 2403,556\Omega$; $X_m \cong 222,22\Omega$; $R_n \cong 0,1725\Omega$; $X_n \cong 0,4\Omega$

BÀI TẬP 1.4

Chon số liệu của các thí nghiệm không tải và ngắn mạch đã cho trong bài 1.2 và 1.3 **phù hợp với tiêu chuẩn đã được nêu ra theo lý thuyết**, thích hợp **để xác định thông số mạch tương đương gần đúng** cho biến áp trong bài 1.2

Khi máy biến áp cho trong bài 1.2 hay 1.3 **phát tải định mức** với **HSCS** tải $\cos\varphi = 1$, tính hiệu suất của máy biến áp theo các phương pháp sau:

✚ Dùng mạch tương đương **gần đúng**.

✚ Dùng công thức tính hiệu suất theo K_t như đã trình bày **trong lý thuyết**.

ĐÁP SỐ: $R_T = Z_T = 0,1058\Omega$; $\eta\% = 97,946\%$; $\eta\% = 97,953\%$

BÀI TẬP 1.5

Một máy biến áp **120V – 50Hz** tiêu thụ **75W** và **1,5 A** lúc không tải. Cho điện trở dây quấn sơ cấp là **0,4 Ω** . Xác định:

✚ Tổn hao lõi thép.

✚ Hệ số công suất lúc không tải.

ĐÁP SỐ: $P_{thep} = 74,1W$; $\cos\varphi_0 \cong 0,4167$

BÀI TẬP 1.6

Thông số của mạch tương đương chính xác của biến áp **150 KVA, 2400 V / 240 V** là : $R_1 = 0,2\Omega$; $R'_2 = 0,2\Omega$; $X_{t1} = 0,45\Omega$; $X'_{t2} = 0,45\Omega$; $R_c = 10K\Omega$; $X_m = 1,55K\Omega$. Máy phát công suất định mức cho tải có hệ số công suất $\cos\varphi = 1$. Xác định:

✚ Phần trăm sụt áp hay phần trăm thay đổi áp tại thứ cấp lúc mang tải.

✚ Hiệu suất của máy biến áp.

ĐÁP SỐ: $\Delta U\% \cong 1,1\%$; $\eta\% \cong 98,59\%$

BÀI TẬP 1.7

Tính lại bài 1.6 khi dùng **mạch tương đương gần đúng** cho máy biến áp.
So sánh kết quả nhận được với các kết quả đã tính toán trong bài 1.6.

ĐÁP SỐ: $\Delta U\% \cong 1,07\%$; $\eta\% = 98,586\%$

BÀI TẬP 1.8

Cho máy biến áp: **100 KVA; 2200 V / 220 V – 50Hz** được thiết kế để làm việc với từ cảm cực đại là **$B = 1,2 \text{ T}$** . Biết sức điện động cảm ứng **15 V / 1 vòng dây**. Hãy xác định:

- ✚ Số vòng dây quấn sơ cấp; thứ cấp.
- ✚ Tiết diện lõi thép (mạch từ) của máy biến áp.

ĐÁP SỐ: $N_1 = 147 \text{ vòng}$; $N_2 = 15 \text{ vòng}$; $A = 563 \text{ cm}^2$

BÀI TẬP 1.9

Cho biến áp: **10KVA; 220 V / 110 V – 50Hz** được thí nghiệm với các dụng cụ đo lắp ở phía cao áp:

- ✚ **Thử không tải** : 500 W; 220V ; 3,16A.
- ✚ **Thử ngắn mạch**: 400W ; 65V ; 10A.

Vẽ mạch tương đương gần đúng quy về sơ cấp.
Suy ra mạch tương đương gần đúng quy về thứ cấp.

BÀI TẬP 1.10

Số vòng dây quấn sơ cấp và thứ cấp của một máy biến áp lần lượt là **100 vòng** và **80 vòng**.
Tiết diện lõi thép là **32 cm^2** .

Lõi thép bị bão hòa nếu trị số hiệu dụng của từ cảm sin vượt quá **$1,4 \text{ T}$** .

Với nguồn áp sin có tần số **50Hz**, để biến áp không bão hòa thì áp hiệu dụng tối đa cấp vào sơ cấp là bao nhiêu? Suy ra áp hiệu dụng thứ cấp không tải ..

BÀI TẬP 1.11

Máy biến áp **50KVA; 2400V / 240V** có tổn hao đồng định mức là **680W** và tổn hao thép là **760W**. Xác định:

- ✚ Hiệu suất của máy biến áp lúc đầy tải và nửa tải, biết **HSCS** tải là **$\cos\varphi = 1$** .
- ✚ Tính hệ số tải khi hiệu suất của máy biến áp đạt giá trị cực đại. Suy ra giá trị hiệu suất cực đại lúc **$\cos\varphi = 1$** .

BÀI TẬP 1.12

Máy biến áp **24 KVA, 2400 V / 120 V** có tổn hao thép là **400W** và tổn hao đồng định mức là **900W**. Tính hiệu suất của máy khi nó phát **85 A** cho tải có hệ số công suất là **$\cos\varphi = 0,8 \text{ sớm}$** .

BÀI TẬP 1.13

Máy biến áp **50 KVA** đạt hiệu suất cực đại khi mang tải là **35 KVA**. Tính hiệu suất của máy biến áp khi tải có hệ số công suất là **$\cos\varphi = 0,8 \text{ trễ}$** ; biết tổn hao không tải của biến áp là **200 W**.

BÀI TẬP 1.14

Trong thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp: **100 KVA; 12000 V / 240 V**; chúng ta tăng dần điện áp sơ cấp cho đến khi dòng ngắn mạch thứ cấp đạt giá trị định mức. Điện áp và công suất đo được phía sơ cấp lúc này là **600 V** và **1200W**. Hãy xác định:

- ✚ Thông số **R_n** và **X_n** của biến áp.
- ✚ Máy biến áp cung cấp **100 KVA** ở điện áp **240V** cho tải có hệ số công suất **$\cos\varphi = 0,8 \text{ trễ}$** . Tính điện áp và hệ số công suất phía sơ cấp.