بنام خدا

طراحی ماشینهای الکتریکی

بخش سوم -طراحی ترانسفورماتور

فهرست مطالب :

طراحی ترانسفورماتور :

ساختار و انواع ترانسفورماتور

مقدمه ای بر طراحی

معادلات طراحی

انتخاب پارامترهای طراحی

ابعاد هسته مغناطیسی

سیم پیچی های ترانسفورماتور

بررسی کارائی ترانسفورماتور طراحی شده

خنک کاری ترانسفور ماتور

Three phase oil transformer

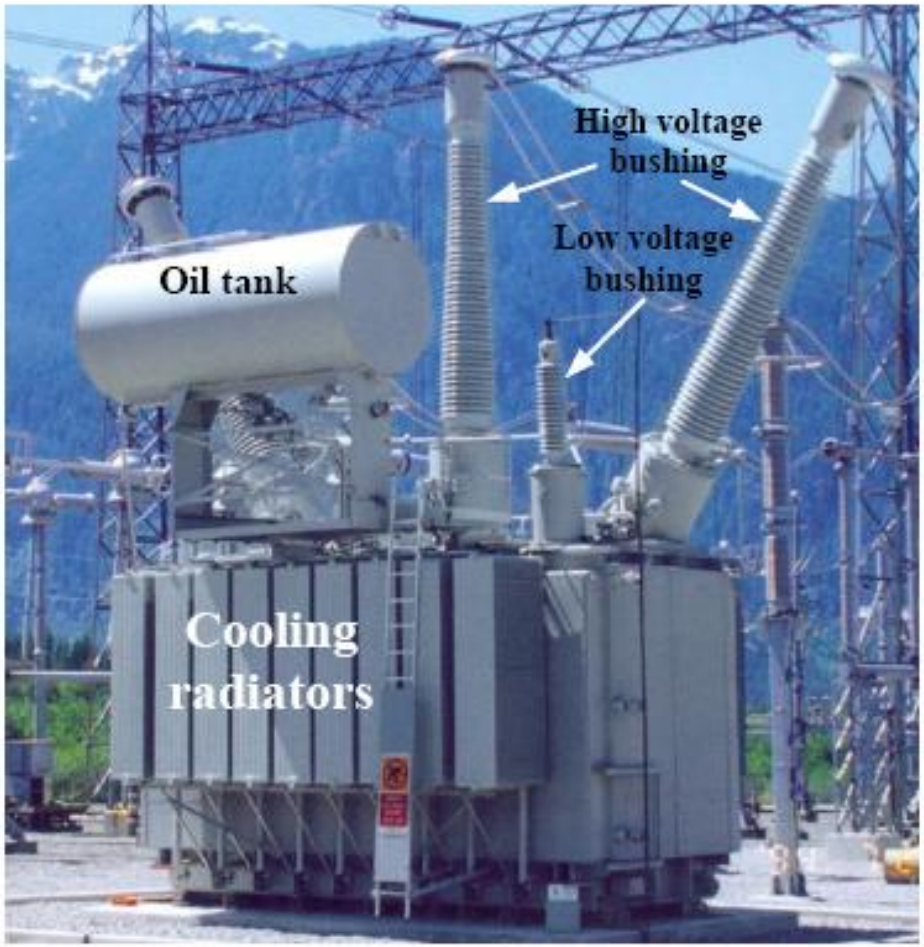
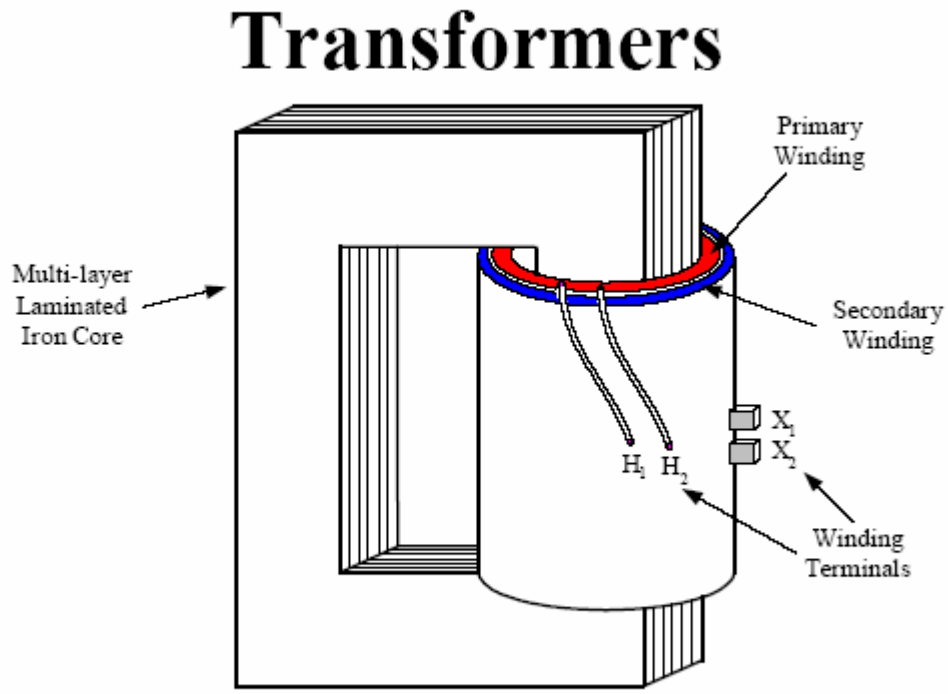


Figure 5.9 Large Oil cooled high voltage transformer

Three phase oil transformer



5.2 Single phase transformer arrangement

طراحی ترانسفورماتور

- به منظور کاهش حجم هادی به کار رفته و نیز افزایش راندمان انتقال انرژی ، توان تولیدی در ولتاژهای بالا (مثلا 400 kV) انتقال می یابد .
- با توجه به ولتاژ ترمینال ژنراتورها و همچنین ولتاژ مورد نیاز در شبکه های توزیع (400 V) ، نیاز به تبدیل توان تولیدی از یک سطح ولتاژ به سطوح دیگر میباشد . این عمل توسط ترانسفورماتورها صورت میگیرد .
- در شبکه های قدرت حداقل ۵ برابر ظرفیت نصب شده، ترانسفورماتور موجود میباشد.
- ترانسفورماتورها در موارد دیگری از قبیل یکسوسازها ، کوره ها ، جوشکاری و غیره نیز کاربرد دارند .

طراحی ترانسفورماتور

ترانسفورماتورها را میتوان از منظرهای متفاوتی تقسیم بندی نمود :

۱. بر اساس موقعیت هسته و سیم پیچی
- ستونی
- زرهی

۲. بر اساس نسبت تبدیل
- کاهنده
- افزاینده

۳. بر اساس نوع سرویس دهی
- توزیع
- قدرت

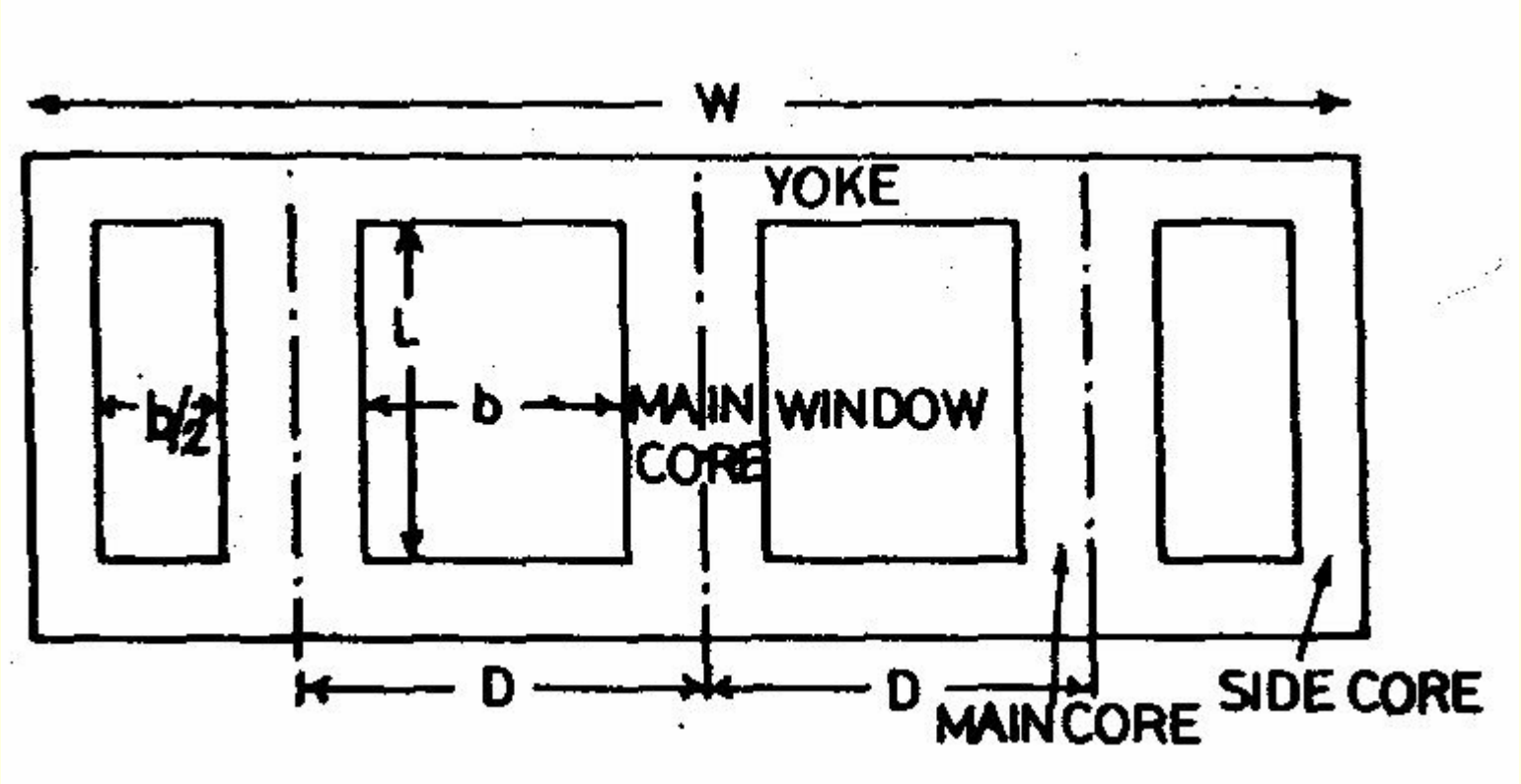
طراحی ترانسفورماتور

ترانسفورماتور نوع ستونی نسبت به نوع زرهی دارای ویژگیهای زیر است :

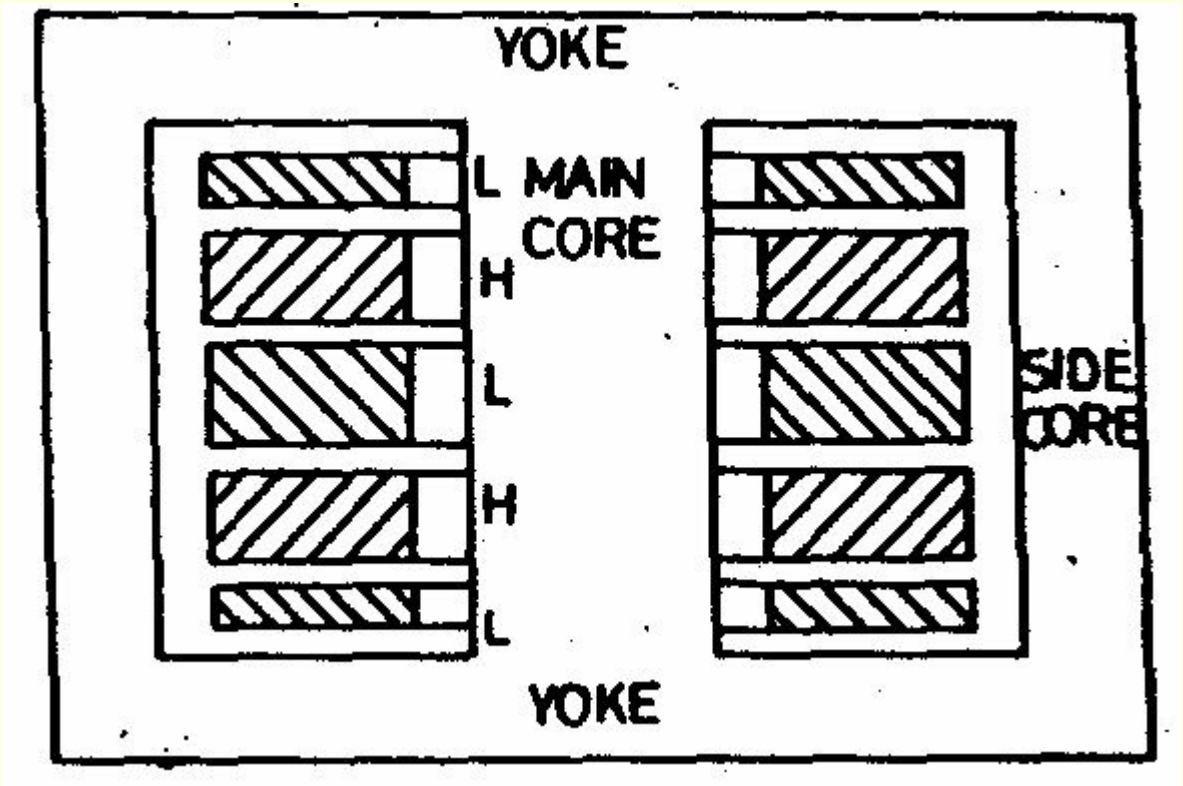
I. ساده تر بودن ساخت
II. راحت تر بودن تعمیرات (دسترسی به سیم پیچ بیشتر است)
III. خنک سازی بهتر سیم پیچی و خنک سازی بدتر هسته
IV. شار پراکندگی بیشتر
V. استحکام مکانیکی کمتر

در مجموع و با توجه به نکات یاد شده استفاده از هسته ستونی رایج تر است .

طراحی ترانسفورماتور



طراحی ترانسفورماتور



طراحی ترانسفورماتور

Figure 5.6
Dry-type three-phase transformer

طراحی ترانسفورماتور

S.No.	Item of Comparison	Distribution transformer	Power transformer
1.	Capacity	upto 500 KVA	beyond 500 KVA upto 500 MVA or more
2.	Voltage rating	11, 22 or 33 KV/440 (3 phase)	400 KV/33 KV; 220 KV/11 KV etc.
3.	Connection for 3 phase	Delta/star, 3 phase, 4 wire	Delta/Delta or Delta/ star, 3 phase, 3 wire
4.	Load	100% for few hours, part load for some time, no load for few hours	Nearly on full load
5.	Flux density	upto 1.5 Tesla with CROS	upto 1.7 Tesla with CROS
6.	Current density	upto 2.6 $A/m.m^2$	upto 3.3 $A/m.m^2$
7.	Ratio of iron loss to copper loss	1:3 (approx.)	1:1 (approximately)
8.	Regulation	4 to 9%	6 to 10%
9.	Cooling	Self oil cooled	Forced oil cooled

طراحی ترانسفورماتور

تفاوت طراحی ترانسفورماتور توزیع و قدرت

I. ترانسفورماتور توزیع

- ترانسفورماتورهای کاهنده تا ظرفیت 500 kVA
- در طول ۲۴ ساعت برقدار هستند ، چه بار داشته باشد چه نداشته باشد . بنابراین تلفات آهنی در طول ۲۴ ساعت اتفاق می افتد .
- دارای بار متغیر در طول روز هستند، بنابر این طراحی این ترانسفورماتورها باید به گونه ای باشد که دارای تلفات آهنی کمتر در مقایسه با تلفات مسی بار کامل باشد .
- این ترانسفورماتورها برای ماکزیمم بازده شبانه روزی حدود ٪ ۵۰ طراحی میگردند .

طراحی ترانسفورماتور

II. ترانسفورماتور قدرت

- ترانسفورماتورهای افزاینده با ظرفیت بیش از 500 kVA
- شرایط بهره برداری ممکن است به گونه ای باشد که فقط در دوره های پربار شدن شبکه تحت بار قرار گیرند و در دوره های کم باری ، ترانسفورماتور بی برق گردد .
- دارای ماکزیمم بازده حدود ٪ ۸۰ در بار کامل

طراحی ترانسفورماتور

ساخت ترانسفورماتور

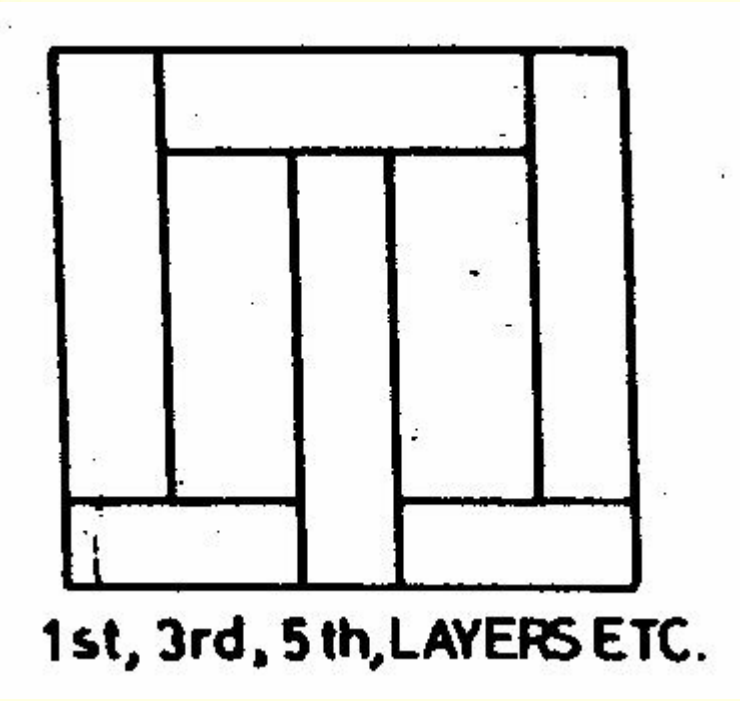
مدار مغناطیسی

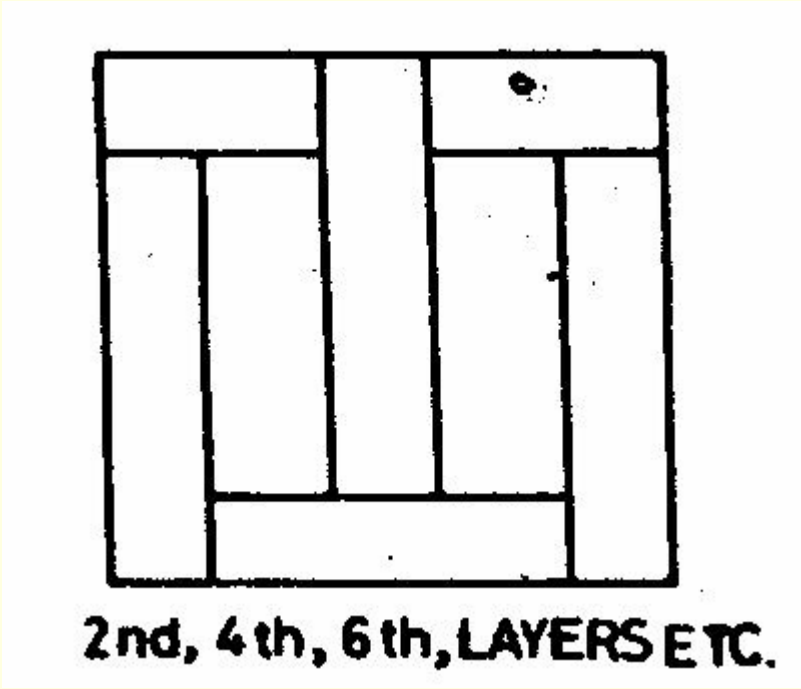
- به منظور کاهش تلفات جریان گردابی در هستهٔ ترانسفورماتور ، هسته به صورت ورقه ورقه ساخته میشود .

- ترتیب قرار گرفتن ورقه ها متوالیاً معکوس می گردد تا نقاط انفصال در کل ضخامت هسته ، کنار یکدیگر قرار نگیرند و تلفات بی باری کاهش یابد .

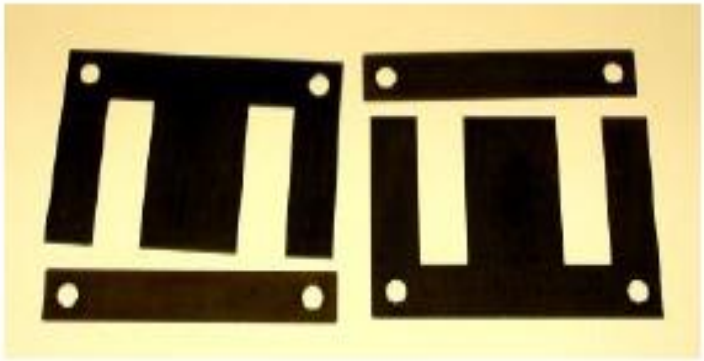
طراحی ترانسفورماتور

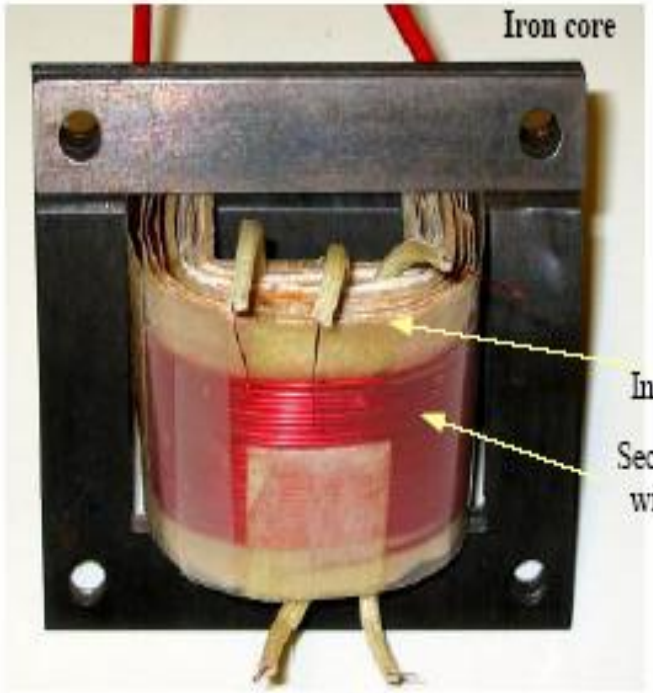
هنگام پانچ ورقه های ترانسفورماتوربرآمدگیهایی بوجود می آید که برای کاهش اثرات آنها ورقه ها به ترتیب خاصی روی هم قرار میگیرند.





طراحی ترانسفورماتور

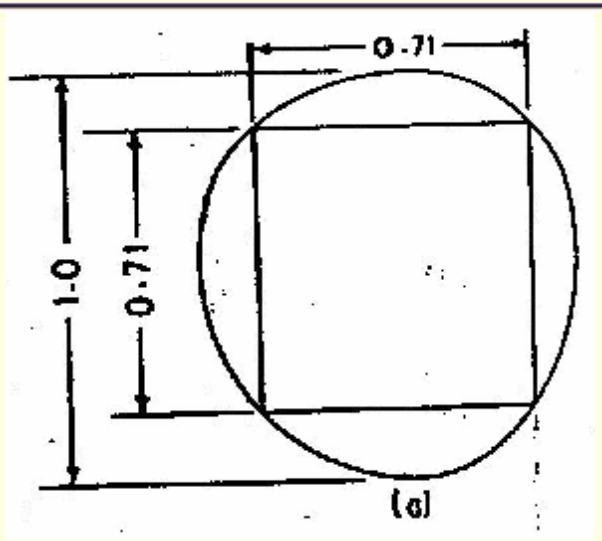


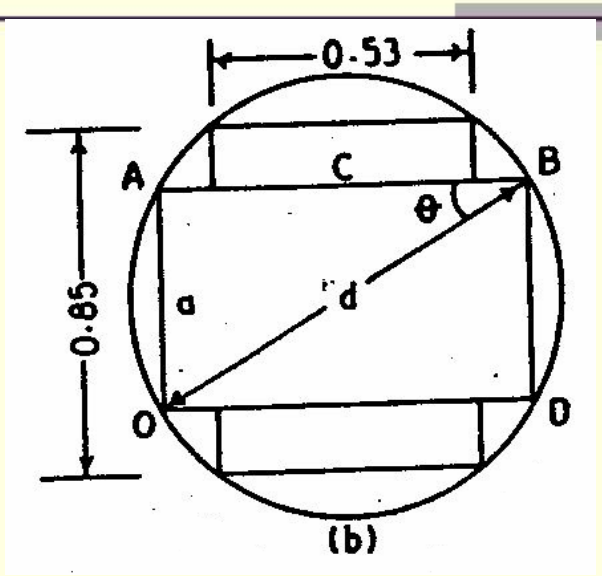


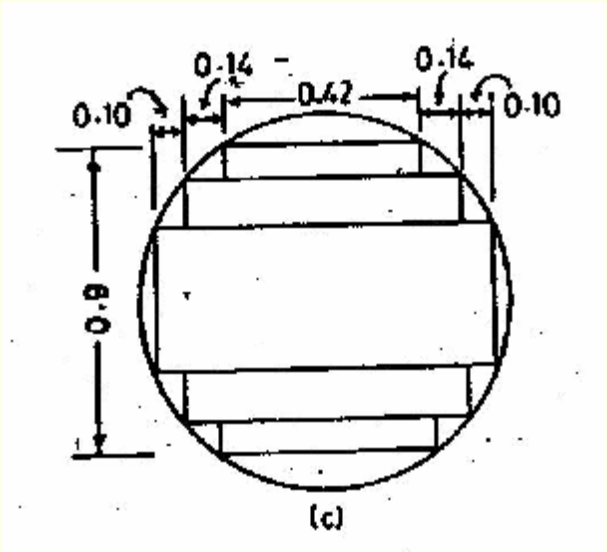
طراحی ترانسفورماتور

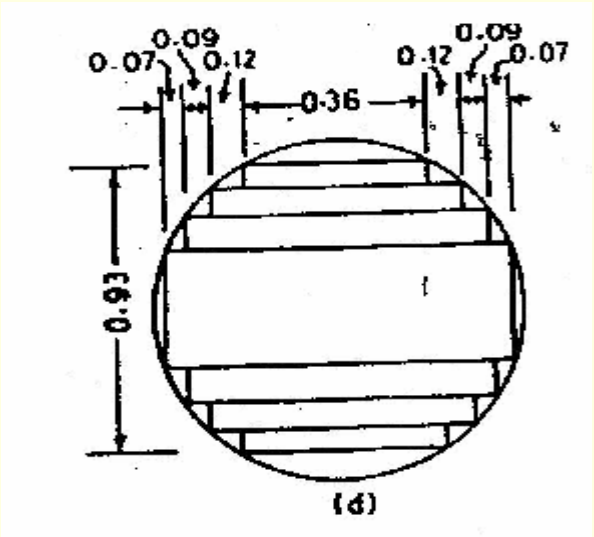
- به دلیل استقامت مکانیکی بهتر سیم پیچی های ترانسفورماتور به صورت مدور پِچیده میگردد .
- سطح مقطع هسته برای آنکه طول متوسط سیم پیچی کاهش میابد و از فضا بهتر استفاده شود، بهتر است به صورت دایره انتخاب گردد .
- به دلیل دشواری ساخت سطح مقطع دایروی ، آن را به صورت پله پله میسازند . همچنین با اینکار قطر دایرهٔ محیطی برای یک سطح مقطع خاص نسبت به هستهٔ مربعی شکل ، کاهش می یابد .
- تعداد پله ها با توجه به ظرفیت ترانسفورماتور و در نتیجه سطح مقطع مورد نیاز ، انتخاب میگردد .

طراحی ترانسفورماتور



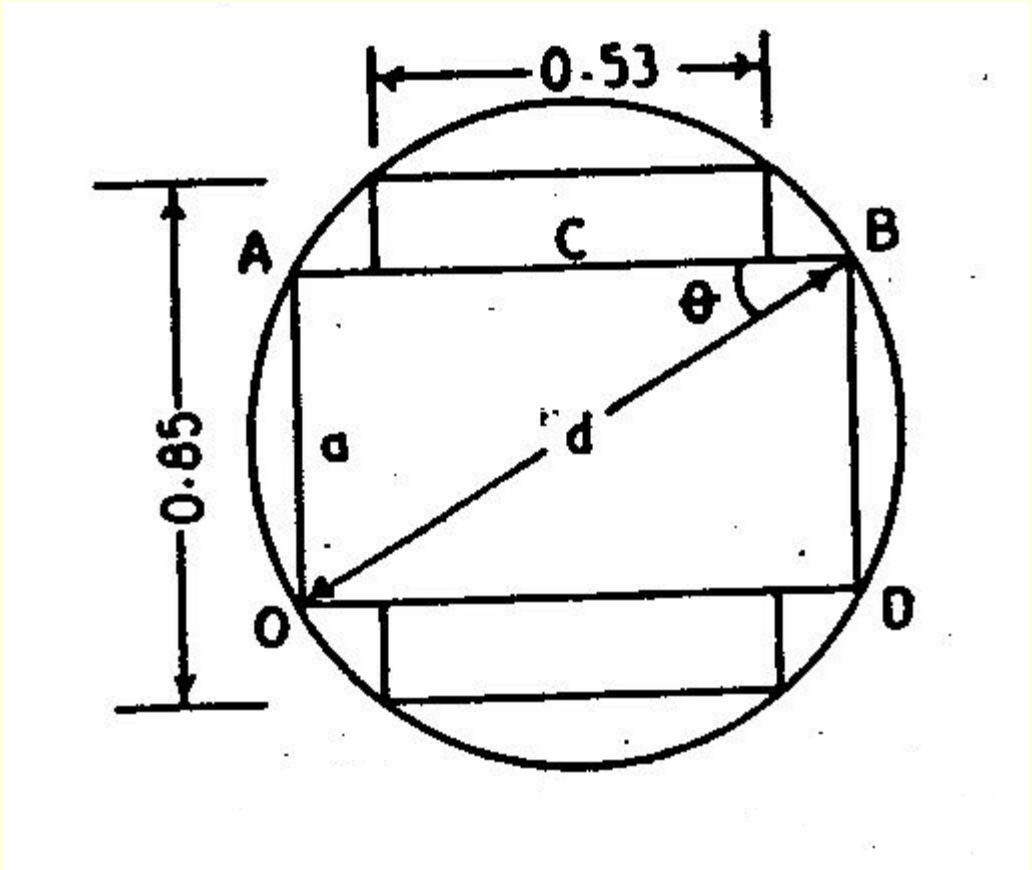






طراحی ترانسفورماتور

سطح مقطع کلی بر اساس تعداد پله انتخاب شده ماکزیمم میشود.



طراحی ترانسفورماتور

- سطح مقطع یک هستهٔ دو پله ای(صلیبی) برابر است با :

$$A = ac + 2\left[a\left(\frac{c-a}{2}\right)\right]$$

$$A = 2ac - a^2$$

- از طرفی با توجه به شکل $a = d\sin q$ و $c = d\cos q$ میباشد.

$$\Rightarrow \quad A = d^2(\sin 2q - \sin^2 q)$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

- برای بدست آوردن سطح مقطع هستهٔ دو پله ای ماکزیمم از رابطه قبل مشتق میگیریم :

$$\frac{dA}{dq} = d^2(2\cos 2q - 2\sin q \cos q) = 0$$

$$q = 31^{\cdot}45'$$

$$A = 0.618\, d^2$$

$$A_{Net} = 0.56\, d^2$$

طراحی ترانسفورماتور

- ضریب سطح مقطع هستهٔ با پله های متفاوت در جدول زیر ارائه شده است :

$$A = K_i d^2$$

تعداد پله	مربعی	دو پله	سه پله	چهار پله
مقدار K_i	۰/۴۵	۰/۵۶	۰/۶	۰/۶۲

طراحی ترانسفورماتور

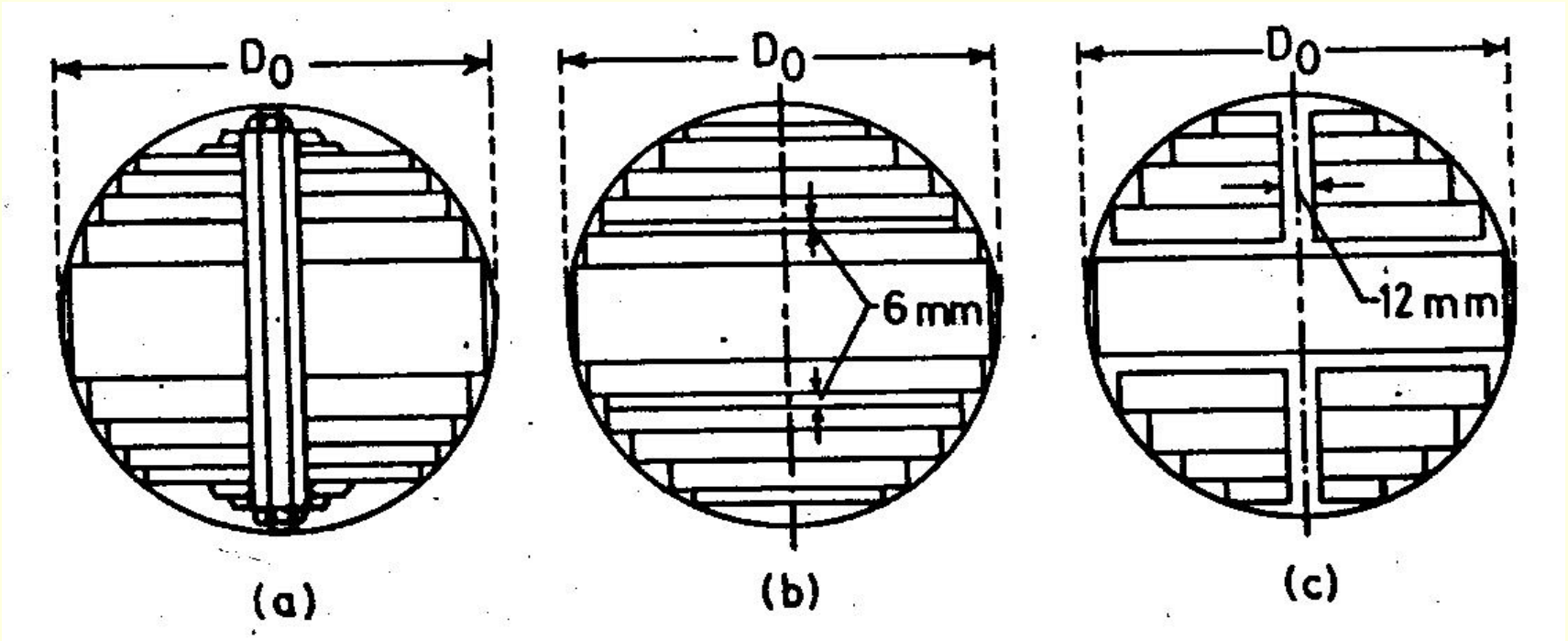
n در جدول زیر نحوه انتخاب تعداد پله ها مشخص شده است :

سطح مقطع مترمربع ×۱۰۰۰	کمتر از ۳	۳ تا ۵	۵ تا ۷	۷ تا ۱۵	۱۵ تا ۴۵	۴۵ تا ۸۰	۸۰ تا ۲۰۰
تعداد پله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

- در برخی از هسته ها برای تسهیل خنک سازی از کانالهای روغن استفاده میشود:



طراحی ترانسفورماتور

مقدمه ای بر طراحی

برای شروع طراحی معمولا مشخصات زیر از سوی مشتری به سازنده ارائه میشود:

- توان نامی
- نسبت تبدیل
- تعداد فازها
- فرکانس
- نوع ترانسفورماتور(زرهی یا ستونی)

طراحی ترانسفورماتور

- کلاس (توزیع یا قدرت)
- اتصالات سیم پیچها
- درصد تپ
- نوع خنک کنندگی
- و ...

بعلاوه مقادیر محدود کننده مورد نظر نظیر حداقل راندمان، رگولاسیون ولتاژ، حجم و ..... نیز مشخص و اعلام میگردد.

طراحی ترانسفورماتور

در فرآیند طراحی موارد زیر روشن میگردد :

I. مدار مغناطیسی شامل ← ابعاد و جنس هسته ، یوغ ، پنجره و ...

II. مدار الکتریکی شامل ← سیم پیچهای فشار ضعیف و فشار قوی

III. مشخصات خروجی ← تلفات آهنی ، تلفات مسی، رگولاسیون و ...

IV. مشخصات تانک ← ابعاد و جنس و تعداد پره ها و ...

طراحی ترانسفورماتور

معادلات طراحی

برای شروع طراحی مدار مغناطیسی ، معادلات زیر مورد نیاز است :

- معادلات emf
- معادلات ولت بر دور
- معادلات خروجی

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

برای شروع طراحی معمولا از معادلات emf شروع میشود :

$$e_1 = T_1 \frac{dj}{dt} \quad \Rightarrow \quad E_1 = 4.44 T_1 f j_m = 4.44 T_1 f B_m A_i$$

از معادله فوق میتوان نسبت ولت بر دور ترانسفورماتور را بدست آورد :

$$\frac{E_1}{T_1} = E_t = 4.44 f B_m A_i$$

با مشخص بودن نسبت ولت بر دور، متعاقبا سایر پارامترهای طراحی بدست می آید.

طراحی ترانسفورماتور

معادلات ولت بر دور

$$E_t = 4.44 \; f j_m$$

$$\frac{kVA}{phase} :\rightarrow VI = \frac{V}{T} \times IT = E_t \times IT$$

$$A_i = j_m / B_m$$

$$A_c = aT = \frac{I}{d} \times T$$

$$A_i / A_c = \frac{j_m}{IT} \times \frac{d}{B_m} = const$$

طراحی ترانسفورماتور

$$j_m / IT = const. = r$$

$$kVA / phase = E_t \times \frac{j_m}{r} \times 10^{-3} \Rightarrow j_m = \frac{(kVA/phase) \times r}{E_t} \times 10^3$$

$$E_t = 4.44 f \times \frac{(kV/phase) \times r}{E_t} \times 10^3$$

$$\Rightarrow E_t = K\sqrt{(kVA/phase)}$$

$$K = \sqrt{4.44 fr \times 10^3}$$

طراحی ترانسفورماتور

- ضریب K بر اساس جدول زیر بدست می آید:

نوع ترانسفورماتور	مقدار ضریب K
ستونی سه فاز (قدرت)	۰/۶۵ تا ۰/۶
ستونی سه فاز(توزیع)	۰/۵ تا ۰/۴۵
زرهی سه فاز	۱/۳ تا ۱/۲
ستونی تکفاز	۰/۸ تا ۰/۷۵
زرهی تکفاز	۱/۱ تا ۱/۰

طراحی ترانسفورماتور

معادله خروجی ترانسفورماتور تکفاز :

برای مشخص کردن سایر ابعاد هسته از معادله خروجی استفاده میشود :

$$Q = V_2 I_2 = V_1 I_1$$

$$Q = 4.44 f B_m A_i T_1 \times I_1$$

مجموع سطح مقطع مس در پنجره هسته

$$a_1 T_1 + a_2 T_2 = K_w A_w$$

با توجه به اینکه آمپردورهای اولیه و ثانویه برابر و $d_1 = d_2$ میباشد :

$$K_w A_w = \frac{I_1}{d_1} T_1 + \frac{I_2}{d_2} T_2$$

$$= \frac{2 I_1 T_1}{d}$$

طراحی ترانسفورماتور

با جایگذاری آمپردورها :

$$Q = 4.44 \, fB_m A_i \frac{K_w A_w d}{2}$$

بنابراین معادله خروجی ترانسفورماتور تکفاز بدست می آید :

$$Q = 2.22 \, fB_m A_i A_w K_w d$$

معادله خروجی ترانسفورماتور سه فاز :

$$Q = 3.33 \, fB_m A_i A_w K_w d$$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

ضریب پنجره

ضریب پنجره به صورت نسبت سطح اشغال شده توسط مس در پنجره به کل فضای پنجره تعریف میشود.

. فضای پنجره در ترانسفورماتور بوسیلهٔ مواد زیر پر میشود :

- مواد هادی (مس)
- عایق هادیهای سیم پیچ
- عایق جدا کنندهٔ سیم پیچها از یکدیگر و سیم پیچها از هسته
- روغن

طراحی ترانسفورماتور

جدول مقادیر ضریب اشغال پنجره

KVA	3/3KV	11KV	33KV	110KV
100	0/27	0/2	0/14	-
1000	0/38	0/28	0/2	0/15
2000	0/4	0/3	0/24	0/16
5000	0/42	0/34	0/26	0/18
10000	0/45	0/37	0/29	0/2

طراحی ترانسفورماتور

اصولا مقدار ضریب پنجره به دو عامل بستگی دارد:

i. ولتاژ نامی سیم پیچ (ولتاژ بالاتر)

ii. ظرفیت نامی ترانسفورماتور

مقدار تقریبی K_w توسط رابطه تجربی زیر میتواند مشخص میگردد :

$$K_w = \frac{10}{30 + kV} \times C_F$$

طراحی ترانسفورماتور

در این رابطه، مقدار C_F به قرار زیر تعیین میشود :

C_F :

- ۱ — ظرفیت بین ۵۰ تا ۲۵۰ *KVA*
- ۰/۸ تا ۰/۹۵ — ظرفیت بین ۵ تا ۵۰ *KVA*
- ۱/۰۵ تا ۱/۲ — ظرفیت بالاتر از ۲۵۰ *KVA*

طراحی ترانسفورماتور

انتخاب مقدار بار گذاری مغناطیسی ویژه (B_m) :

اصولا مقدار بارگذاری مغناطیسی ویژه با توجه به نوع فولاد مغناطیسی و با توجه به عوامل زیر تعیین میگردد :

- جریان بی باری
- حد اشباع مغناطیسی هسته
- تلفات آهنی هسته
- افزایش دمای ترانسفورماتور

با توجه به شاخصهای یاد شده بزرگی و کوچکی مقدار چگالی شار میتواند مزایا و معایبی را در بر داشته باشد.

طراحی ترانسفورماتور

- مزایای انتخاب B_m بزرگ :

۱. کاهش سطح مقطع هسته

۲. کاهش طول سیم پیچی

۳. وزن کمتر

۴. هزینه کمتر

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

- معایب انتخاب B_m بزرگ :

۱. جریان مغناطیس کنندگی زیاد

۲. تلفات بی باری بالا

۳. اشباع مغناطیسی

۴. راندمان کمتر (بخاطر تلفات بی باری بیشتر)

۵. دمای بالاتر (بخاطر تلفات بی باری بیشتر)

طراحی ترانسفورماتور

در مجموع انتخاب B_m با در نظر گرفتن نکات فنی و اقتصادی یاد شده به صورت زیر انجام میگیرد :

چگالی شار (B_m)

- ترانسفورماتور قدرت
  - با ورق HRSS 1/2 تا 1/4 تسلا
  - با ورق CROS 1/5 تا 1/7 تسلا
- ترانسفورماتور توزیع
  - با ورق HRSS 1/1 تا 1/3 تسلا
  - با ورق CROS 1/4 تا 1/5 تسلا

طراحی ترانسفورماتور

انتخاب مقداربار گذاری الکتریکی ویژه :

با در نظر گرفتن مسائل فنی و اقتصادی ، چگالی جریان d مطابق جدول زیر انتخاب میگردد

ترانسفورماتور توزیع	←	A/mm^2	۲ تا ۲/۵
ترانسفورماتور قدرت	←	A/mm^2	۲/۳ تا ۳/۵
ترانسفورماتورهای بزرگ با خنک سازی اجباری	←	A/mm^2	3 تا 4/5

معمولاً چگالی جریان سیم پیچ فشار قوی را اندکی بیش از سیم پیچ فشار ضعیف در نظر میگیرند

طراحی ترانسفورماتور

ابعاد هسته ترانسفورماتور ستونی:

- ابعاد اصلی ستون ترانسفورماتور شامل موارد زیر است :

۱. قطر دایره محیطی هسته
۲. طول هسته که همان طول پنجره است
۳. فاصله بین مراکز ساقها

- عرض پنجره معمولا $b_w = D - d$ در نظر گرفته میشود

- نسبت ارتفاع به عرض پنجره بین 2/5 تا 4 در نظر گرفته میشود. تا شرایط زیر مهیا شود :

۱. سهولت سیم بندی
۲. افزایش انتقال حرارت
۳. کاهش اندوکتانس نشتی

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

- ابعاد اصلی یوغ ترانسفورماتور شامل سطح مقطع یوغ (معمولا مستطیلی)، طول یوغ و ضخامت یوغ میباشد :

$$W = 2D + 0.9d$$

- سطح مقطع یوغ 10% تا 15% بزرگتر از سطح مقطع ستون در نظر گرفته میشود :

$$A_y = (1.1 \ to \ 1.5)A_i$$

- عرض یوغ (با توجه به تعداد پله) :

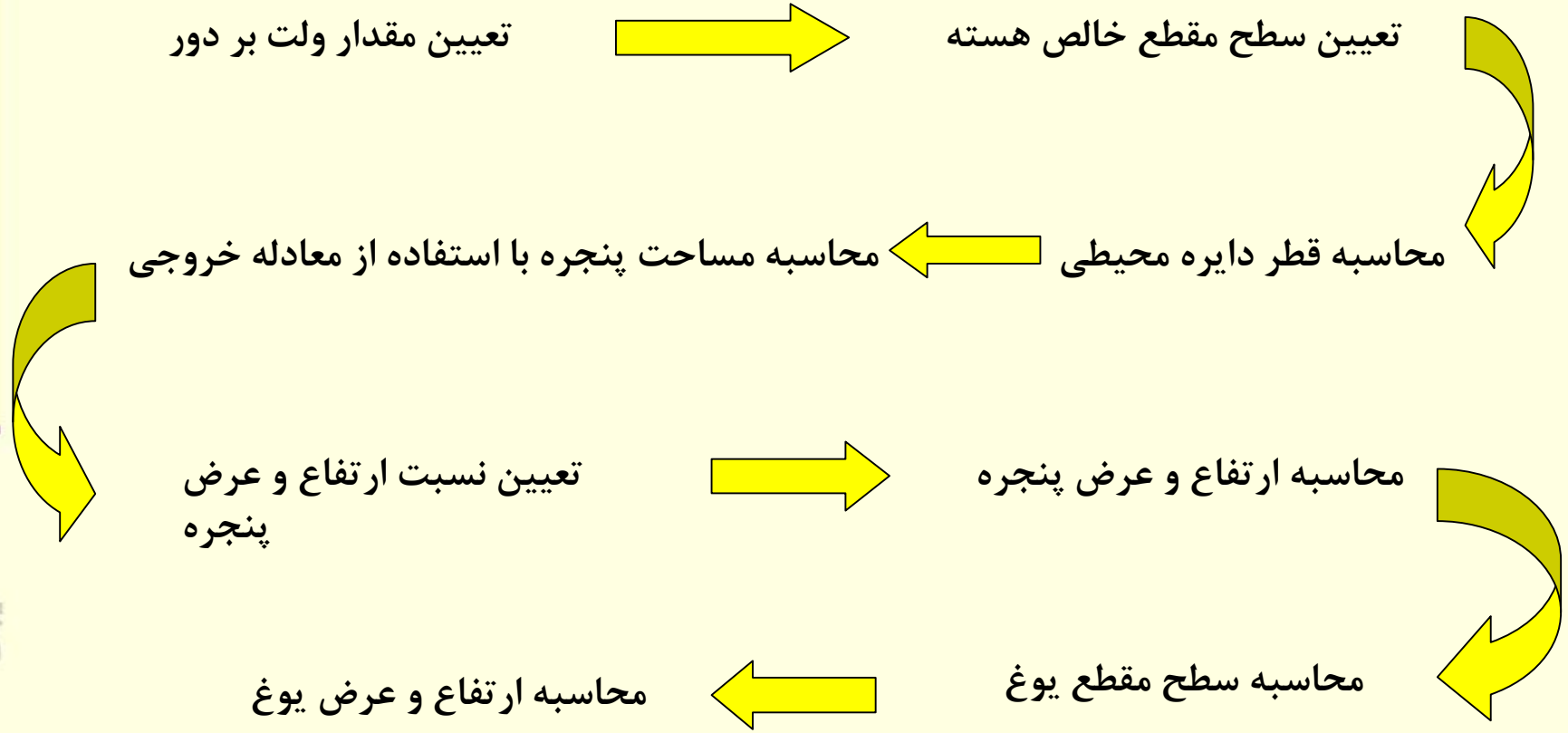
$$b_y = (0.71 \ to \ 0.9)d$$

- ضخامت یوغ :

$$H_y = A_y / b_y$$

طراحی ترانسفورماتور

با توجه به مطالب مطروحه مراحل طراحی ترانسفورماتور بشکل زیر خواهد بود :



طراحی ترانسفورماتور

مطلوب است طراحی هسته مغناطیسی ترانسفورماتورتوزیع ستونی سه فاز 250 کیلو ولت آمپر 6600/400 ولت 50 هرتز. فرض کنید هسته ستون صلیبی و یوغ مستطیلی باشد.

$$\begin{cases} E_t = K\sqrt{(kVA/\,phase)} \\ K = 0.45 \end{cases} \Rightarrow \quad E_t = 4.1V$$

با انتخاب ورق نورد گرم چگالی شار به میزان 1/2 تسلا انتخاب میشود :

$$E_t = 4.44\, f B_m A_i \quad \Rightarrow \quad A_i = 0.0154 m^2$$

طراحی ترانسفورماتور

اکنون قطر دایره محیطی حساب میشود :

$$\begin{cases} k = 0.56 \\ A_i = kd^2 \end{cases} \Rightarrow \quad d = 0.166m$$

با انتخاب چگالی جریان و نسبت ارتفاع به عرض پنجره، از روی معادله خروجی ابعاد پنجره حساب میشود :

$$\begin{cases} Q = 3.33 f B_m A_i A_w K_w \\ d = 2.2A/mm^2 \text{ , } K_w = 0.3 \end{cases} \Rightarrow \quad A_w = 0.123m^2$$

و بالاخره :

$$L = 0.6 \quad , \quad D = 0.366$$

طراحی ترانسفورماتور

اکنون شار و چگالی شار در یوغ حساب میشود :

$$\begin{cases} f_m = B_m A_i = 0.0185 Wb \\ A_y = 1.1 A_i \end{cases} \Rightarrow \quad B_y = 1.09 T$$

با توجه به موارد گفته شده در مورد یوغ، ابعاد آن حساب میشود :

$$W = 2D + 0.85d = 0.87m$$
$$b_y = 0.85d = 0.14m$$
$$h_y = A_y / b_y = 0.12m$$

طراحی ترانسفورماتور

طراحی سیم پیچی :

سیم پیچی های فشار ضعیف و قوی روی هم قرار میگیرند و سیم پیچی فشار ضعیف نزدیک هسته قرار میگیرد تا :

- نیاز به عایق کاری کمتر سیم پیچی فشار ضعیف
- احتمال خطای کمتر سیم پیچی فشار ضعیف و هسته
- کاهش طول متوسط سیم پیچی ها
- کاهش هزینه عایق کاری
- سهولت تعبیه تپ بر روی سیم پیچی فشار قوی

طراحی ترانسفورماتور

ا نواع سیم پیچی :

سیم پیچی های فشار ضعیف و قوی باید طوری طراحی گردند تا موارد زیر را تامین نمایند:

- استقامت الکتریکی در شرایط معمول
- استقامت الکتریکی در شرایط اضافه ولتاز و ...
- استقامت مکانیکی در مقابل تنشها
- سهولت خنک سازی

سیم پیچیهای ترانسفورماتور به دو دسته کلی تقسیم میشوند :

۱. هم مرکز
۲. ساندویچی

طراحی ترانسفورماتور

عایقهای سیم پیچی های ترانسفورماتور :

بدلیل سطح بالای ولتاژ، در طراحی عایقهای سیم پیچی ترانسفورماتور، شرایط زیر باید لحاظ گردد:

- استقامت مکانیکی در مقابل تنشها ی ناشی از اتصال کوتاه
- استقامت عایقی(دی الکتریک) بالا در مقابل اضافه ولتاژها و شرایط گذرا
- غیر قابل حل بودن در روغن

طراحی ترانسفورماتور

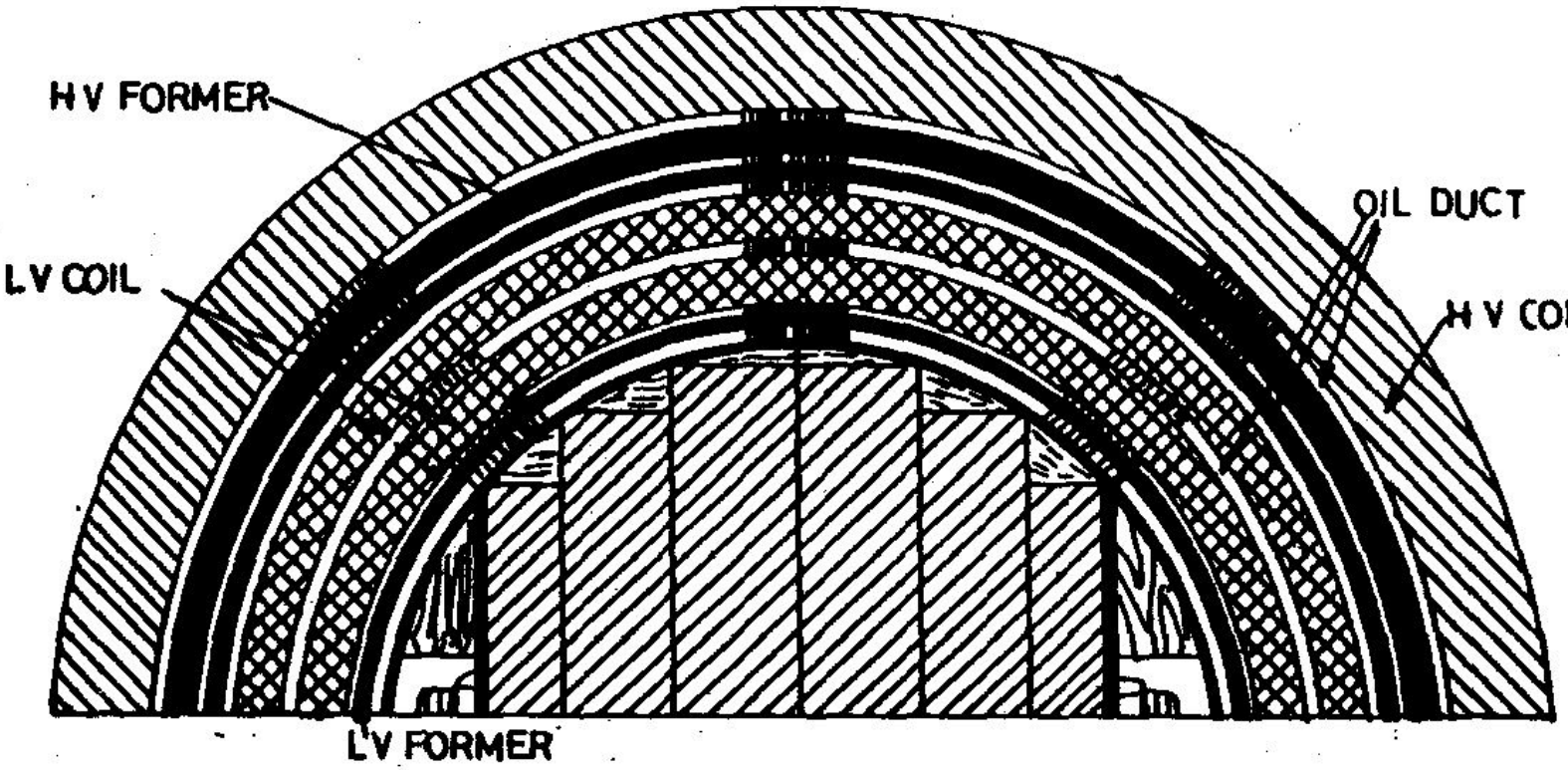
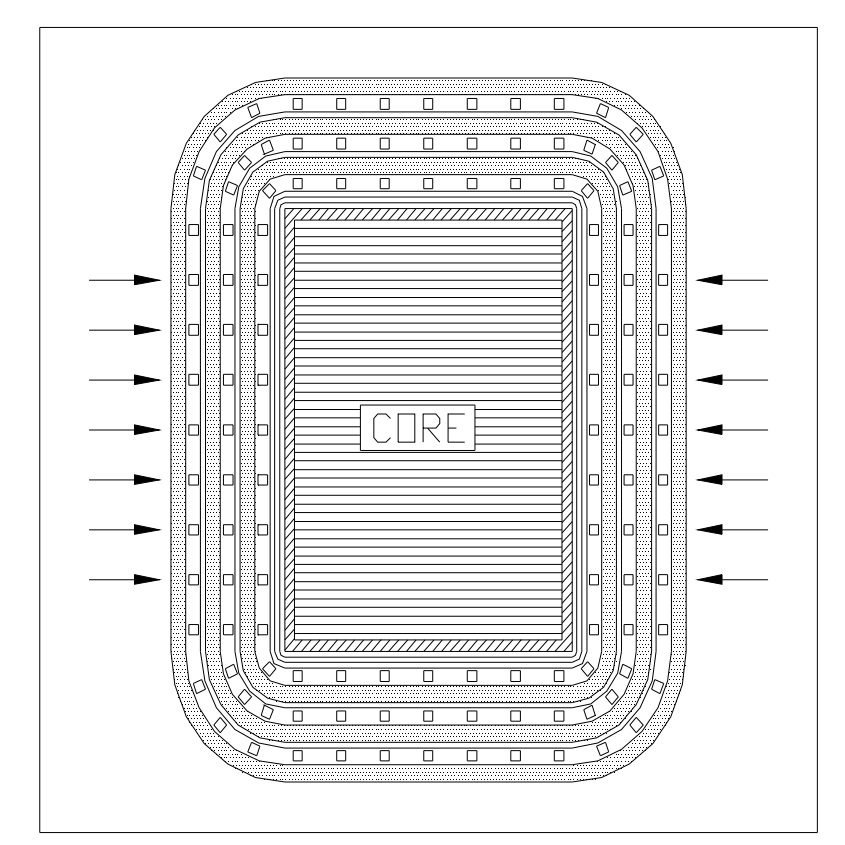


Fig.5.19. Half sectional plan of limb

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

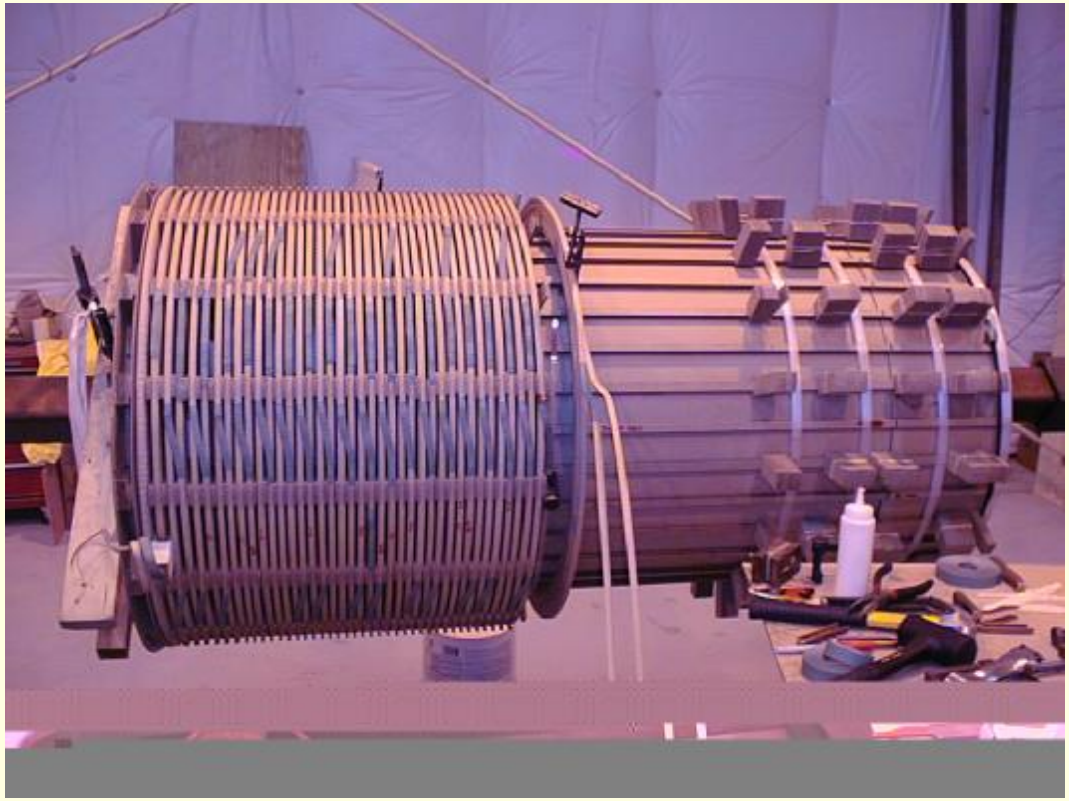
طراحی ترانسفورماتور



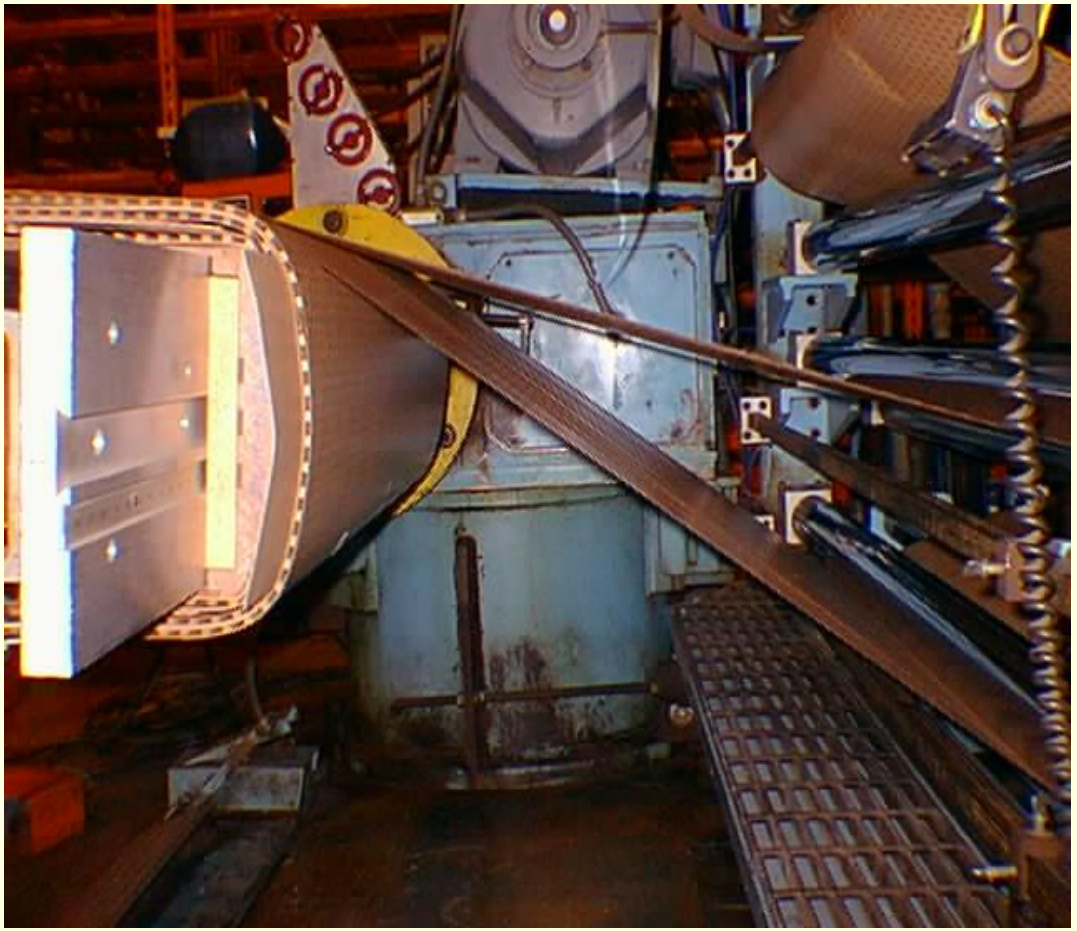
طراحی ترانسفورماتور

طراحی ترانسفورماتور

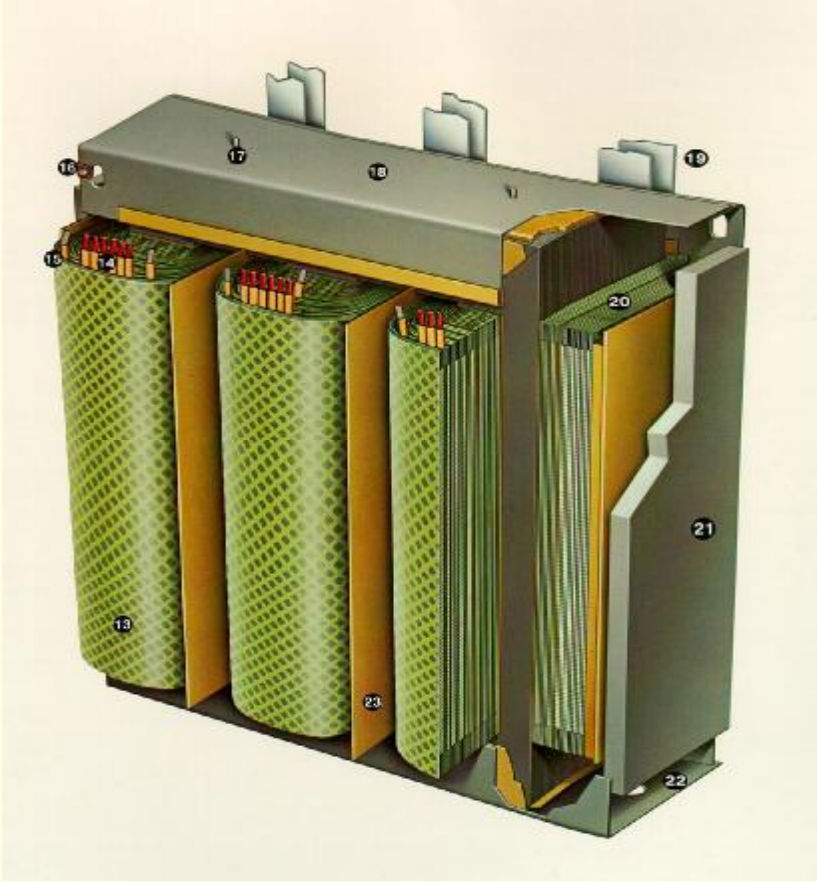
طراحی ترانسفورماتور



طراحی ترانسفورماتور



طراحی ترانسفورماتور



طراحی ترانسفورماتور

طراحی ترانسفورماتور

طراحی ترانسفورماتور

طراحی سیم پیچی

برای شروع طراحی اطلاعات زیر قبلا باید محاسبه یا تهیه باشد:

- توان و ولتاژ نامی
- ولت بر دور و نوع اتصال
- ابعاد هسته
- مشخصات هادیها، چگالی جریان

طراحی ترانسفورماتور

اطلاعاتی که در فرآیند طراحی مورد نظر میباشد :

- سطح مقطع سیم پیچی
- تعداد دور در هر فاز
- نوع مقطع
- نحوه جایگذاری سیم پیچی در پنجره
- قطر داخلی و خارجی
- طول متوسط و مقاومت اهمی

طراحی ترانسفورماتور

برای بررسی روند طراحی، کار را با یک مثال دنبال میکنیم.

یک ترانسفورماتور سه فاز، 300 کیلو ولت آمپر، 11000/400 ولت، 50 هرتز، ستاره/ مثلث، ستونی با مقدار 6 ولت بر دور، قطر محیطی 19 سانتیمتر، ارتفاع پنجره 54 سانتی متر و عرض 18/5 سانتی متردر نظر است.

طراحی سیم پیچی های آنرا انجام دهید.

طراحی ترانسفورماتور

برای شروع طراحی از سیم پیچی فشار ضعیف آغاز میکنیم.

$$T_2 = \frac{V_2}{E_t}$$

$$T_2 = \frac{400/\sqrt{3}}{6} = 38.6$$

تعداد دور را 40 انتخاب میکنیم.

طراحی ترانسفورماتور

سطح مقطع هادی :

$$a_2 = \frac{I_2}{d_t}$$

برای این ترانسفورماتور با لحاظ کردن چگالی جریان متوسط 2/4 آمپر بر میلیمتر مربع و سطح مقطع عملی :

$$I_2 = \frac{300000}{3 \times 231} = 433\,A$$

$$a_2 = \frac{433}{2.3} = 188\,mm^2$$

طراحی ترانسفورماتور

هادی با سطح مقطع 188، اجرائی نیست و از رشته ها استفاده میشود(6 رشته هر کدام با مقطع 31/3) :

$$a_2 = \frac{I_2}{d_t}$$

حال هادیها را در پنجره میچینیم :

$$h_w = 0.8 \times 54 = 43$$

$$= \frac{43}{20} = 2.15$$

ارتفاع قابل دسترس برای هر رشته :

$$= \frac{2.15}{2} = 1.08$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

با استفاده از جداول مربوطه :

$10mm \times 32mm$

$31.1\ mm^2$

$10.3mm \times 3.5\ mm$

اکنون که جایگذاری محوری بررسی شد ، جایگذاری شعاعی را بررسی میکنیم :

ضخامت شعاعی یک رشته :

$=3.5mm$

ضخامت شعاعی یک دور سیم پیچی :

$3\times3.5=10.5mm$

بین بیست دورها، یک سیلندر یک میلیمتری حائل شده است بنابر این ضخامت محوری سیم پیچی 22 میلیمتر است.

.

طراحی ترانسفورماتور

قطر داخلی سیلندر عایقی	$19\ cm$
ضخامت سیلندر عایقی	$0.4\ cm$
قطر خارجی سیلندر عایقی	$19 + 2 \times 0.4 = 19.8\ cm$
ضخامت شعاعی مجرای عایقی	$1.5\ cm$
قطر داخلی سیم پیچی	$19.8 + 2 \times 1.5 = 22.8\ cm$
ضخامت شعاعی یک دور سیم پیچی	$2.2\ cm$
قطر خارجی سیم پیچی	$22.8 + 2 \times 2.2 = 27.2\ cm$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

قطر متوسط سیم پیچی

$$\frac{22.8 + 27.2}{2}\ cm$$

طول متوسط سیم پیچی

$$p\ \frac{22.8 + 27.2}{2} cm$$

مقاومت سیم پیچی

$$\frac{r\ lT}{a}\ \Omega$$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

طراحی سیم پیچی فشار قوی

تعداد دور

$$T_1 = 40 \times \frac{1000}{231} = 1904$$

برای بهبود خنک سازی و ایجاد کانالهای روغن، سیم پیچی را به تعدادی کویل تقسیم میکنیم. حد اکثر تعداد دور هر کویل را 100 انتخاب میکنیم. معمولا تعداد دور کویلهای بالا و پائین را کمی کمتر(برای عایقکاری بهتر) میگیرند(با توجه به پروفیل حرارتی ترانسفورماتورشکل 4-3):

$$T_1 = 18 \times 98 + 2 + 70 = 1904$$

در صورت استفاده از تپ با مقدار (Tap±) از رابطه زیر استفاده میکنیم:

ولتاژ طرف فشار ضعیف تغییر میکند)

$$T_1 = T_2 \times \frac{V_1}{(1 \pm Tap) \times V_1}$$

طراحی ترانسفورماتور

سطح مقطع هادی :

$$a_1 = \frac{I_1}{d_1}$$

برای این ترانسفورماتور با لحاظ کردن چگالی جریان متوسط 2/4 آمپر بر میلیمتر مربع :

$$I_1 = \frac{300000}{3 \times 11000} = 9.1A$$

$$a_1 = \frac{9.1}{2.5} = 3.64 mm^2$$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

انتخاب هادی با سطح مقطع دایره :

قطر هادی لخت 2,12 سطح مقطع 3,5304 قطر هادی با عایق 2,47

حال هادیها را در پنجره میچینیم. درصدی بزای عایقگاری و .... کنار گذاشته میشود(مطابق جدول) :

$$h_w = 0.7 \times 54 = 37.8$$

ارتفاع قابل دسترس برای هرکویل :

$$= \frac{37.8}{20} = 1.89 \ \ cm$$

طراحی ترانسفورماتور

تعداد دور هر کویل :

$$\frac{18.9}{2.47} \Rightarrow 7\,Turns$$

طول محوری هر کویل :

$$7 \times 2.47 = 17.1mm$$

بنابر این کویلها بصورت 7 در 14 چیده میشود.

طول شعاعی هر کویل :

$$14 \times 2.47 = 17.1mm$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

طول محوری بیست کویل	$20 \times 1.71 = 34.2\ cm$
فاصله بین کویلها	$19 \times 0.6 = 11.4\ cm$
عایقهای انتهائی	$2 \times 3 = 6\,cm$
ضخامت حلقه انتهائی	$2\,cm$
فشردگی	$0.4\ cm$
مجموع طول محوری	$Total\ = 54\,cm$

طراحی ترانسفورماتور

قطر خارجی سیم پیچ فشار ضعیف	$27.2\ cm$
ضخامت سیلندر عایقی بین lv & hv	$0.4\,cm$
قطر داخلی سیلندر عایقی	$27.2+2\times0.4=28\,cm$
ضخامت شعاعی مجرای عایقی	$0.4\,cm$
قطر خارجی سیلندر عایقی	$28+2\times0.4=28.8\,cm$
ضخامت شعاعی مجرای عایقی	$0.4\,cm$
قطر داخلی سیم پیچی hv	$28.8+2\times0.4=29.6\,cm$
ضخامت شعاعی یک کویل hv	$3.46\,cm$
قطر خارجی سیم پیچی hv	$29.6+2\times3.46=36.5\,cm$

طراحی ترانسفورماتور

قطر متوسط سیم پیچی

$$\frac{29.6+36.5}{2}=33\,cm$$

طول متوسط سیم پیچی

$$p\times 33=104 cm$$

مقاومت سیم پیچی

$$\frac{rlT}{a}\,\Omega$$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

پس از طراحی اولیه مشخصات خروجی ترانسفورماتور برای اطمینان ار تطبیق با شرایط مورد نظر، بایست تست شود. مهمترین موارد قابل بررسی بشرح زیر میباشد:

شامل

۱. عملکرد مغناطیسی ← جریان بی باری و تلفات بی باری

۲. عملکرد سیم پیچها ← تلفات بار و تنظیم ولتاژ

۳. عملکرد خروجی ← بهره ، بهره روزانه و...

طراحی ترانسفورماتور

جریان بی باری

جریان بی باری شامل دو مولفه میباشد: جریان مغناطیس کننده و جریان تلفات بی باری. مقدار جریان مغناطیس کننده بترتیب زیر بدست می آید :

- تعیین مقدار امپردور بر متر ستونها (یوغها) برحسب چگالی شار
- تعیین طول کلی ستونها (یوغها) و ضرب در مقدار فوق
- محاسبه مجموع آمپردور مورد نیاز
- محاسبه جریان مغناطیس کنندگی از طریق تقسیم عدد فوق به تعداد دورهای HV

طراحی ترانسفورماتور

جریان بی باری

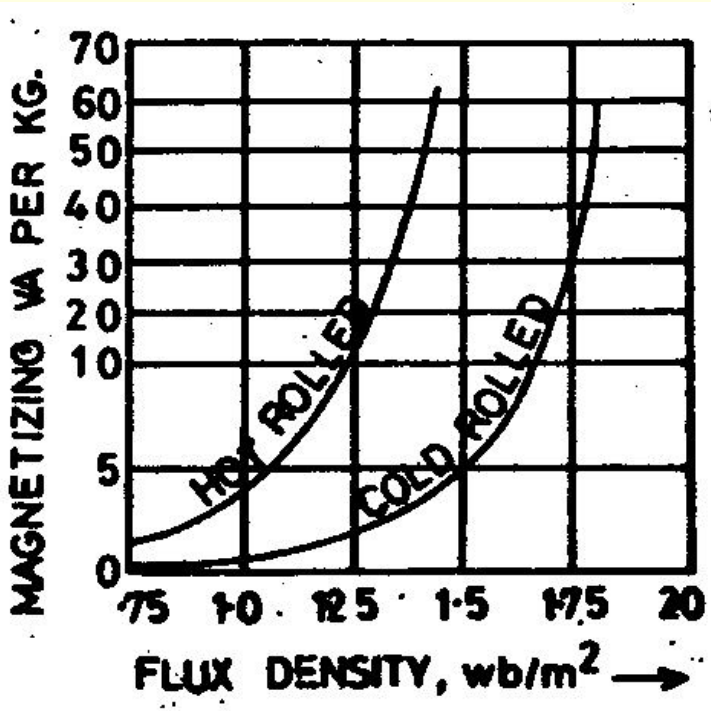


Fig.5.24. Magnetizing Volt-ampere Curve

طراحی ترانسفورماتور

محاسبه جریان بی باری میتواند از طریق منحنی ولت آمپر بر کیلوگرم بدست آید:

- تعیین مقدار ولت امپر بر کیلوگرم ستونها (یوغها) برحسب چگالی شار
- تعیین وزن کلی ستونها (یوغها) و ضرب در مقدار فوق
- محاسبه مجموع ولت آمپر مورد نیاز
- محاسبه جریان مغناطیس کنندگی از طریق تقسیم عدد فوق به ولتاژ HV

طراحی ترانسفورماتور

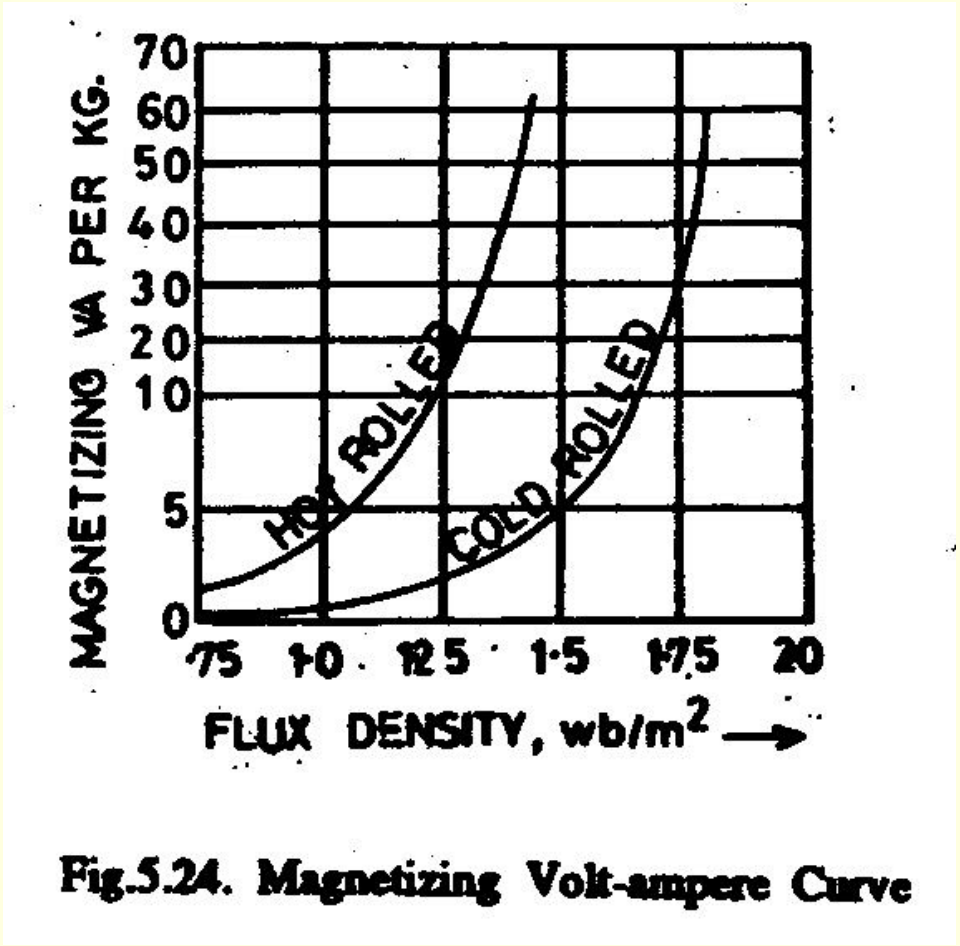


Fig.5.24. Magnetizing Volt-ampere Curve

معمولا مقدارمحاسبه شده 10 تا 15 در صد بزرگتر در نظر گرفته میشود.

جریان تلفات بی باری از تقسیم تلفات فاز بر ولتاژ فاز بدست میآید

مجموع دو جریان نباید از محوده مجاز بیشتر شود.

طراحی ترانسفورماتور

تلفات بی باری

محاسبه تلفات بی باری از روی منحنی تلفات در کیلوگرم بازای چگالی شار بدست می آید:

- تعیین مقدار تلفات ستنها (یوغها) بر حسب چگالی شار
- تعیین وزن ستونها (یوغها) و ضرب در مقدار فوق
- محاسبه مجموع تلفات
- تلفات بدست امده بخاطر مسائلی نظیر اتصالات، پانچ ورقها، توزیع نا متعادل چگالی شار در سطح مقطع ستون و یوغ و ... 5 تا 10 در صد اضافه گردد.

طراحی ترانسفورماتور

تلفات بی باری

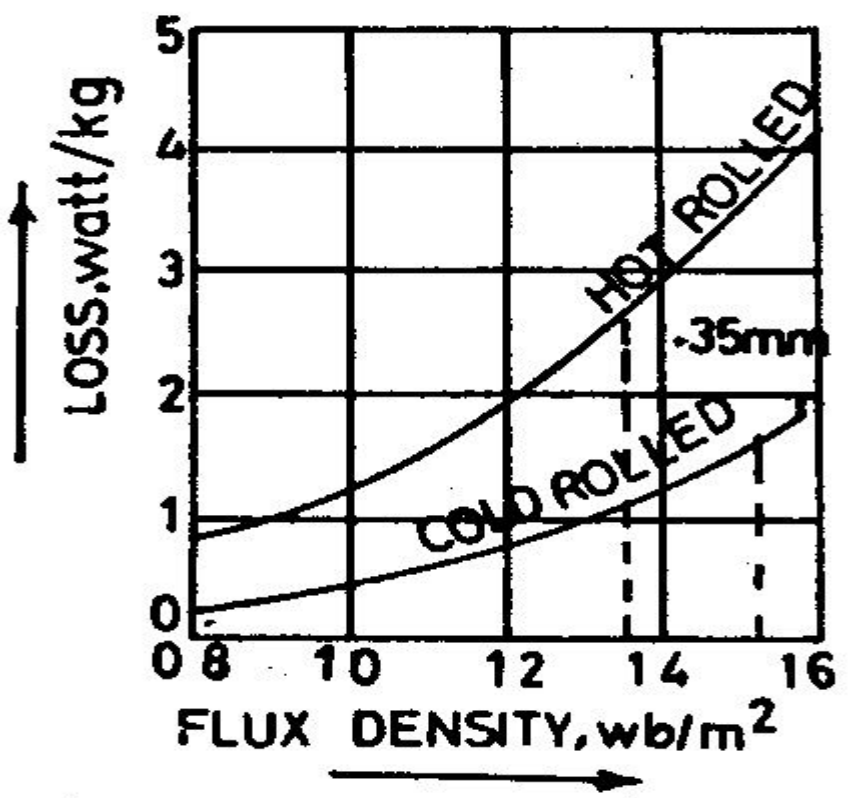


Fig.5.25 Core loss

طراحی ترانسفورماتور

تلفات مسی

محاسبه تلفات مسی در بار کامل از طریق مقدار مقاومتها و جریانها محاسبه میشود.

- تعیین تلفات در سایر بارها بر اساس مقدار بار مورد نظر انجام میشود
- تلفات بدست امده بخاطر مسائلی نظیر اتصالات و تفات گردشی 5 تا 8 در صد اضافه میشود
- تلفات محاسبه شده بر حسب ابعاد ترانسفورماتور از حدود (1 تا 1/5 یا 0/3 تا 1 در صد) نباید افزایش پیدا کند.

طراحی ترانسفورماتور

بهره

محاسبه بهره، بهره روزانه و بهره ماکزیمم بر اساس تلفات مسی و اهنی محاسبه شده صورت میگیرد.

- بهره محاسبه شده بر حسب ابعاد ترانسفورماتور از حدود (98 یا 98تا 99/2 در صد) نبایدکمتر شود.

امپدانس

برای محاسبه امپدانس ابتدا راکتانس سری ترانسفورماتور از طریق روابط تجربی- نظری موجو محاسبه شده سپس با افزودن مفدار مقاومت اهمی امپدانس سری بدست می آید..

- امپدانس محاسبه شده بر حسب ابعاد ترانسفورماتور ابايد در حدود (4/6 تا 10 در صد) تغییر کند.

طراحی ترانسفورماتور

تنظیم ولتاژ

محاسبه تنظیم ولتاژ بر اساس رابطه تقریبی زیر میتواند صورت گیرد :

$$R = \frac{I_1(R_1 \cos j \pm X_1 \sin j)}{E_s}$$

- در صورتی که عملکردهای محاسبه شده مطلوب نبود میتوان با تغییر عوامل تاثیر گذار نسبت به اصلاح آن اقدام کرد.

طراحی ترانسفورماتور

انواع سیم پیچی های ترانسفورماتور و موارد کاربرد:

سیم پیچی های فشار قوی

- سیم پیچی سیلندری با سیم با مقطع دایره
- سیم پیچی متقاطع یا صلیبی
- سیم پیچی دیسکی پیوسته

سیم پیچی های فشار ضعیف

- سیم پیچی هلیکال
- سیم پیچی سیلندری با سیم با مقطع مستطیل

طراحی ترانسفورماتور

سطح مقطع هادی :

$$a_1 = \frac{I_1}{d_1}$$

برای این ترانسفورماتور با لحاظ کردن چگالی جریان متوسط 2/4 آمپر بر میلیمتر مربع و سطح مقطع عملی :

$$I_2 = \frac{300000}{3 \times 231} = 433\,A$$

$$a_2 = \frac{433}{2.3} = 188\,mm^2$$

طراحی ترانسفورماتور

هادی با سطح مقطع 188، اجرائی نیست و از رشته ها استفاده میشود(6 رشته هر کدام با مقطع 31/3) :

$$a_2 = \frac{I_2}{d_t}$$

حال هادیها را در پنجره میچینیم :

$$h_w = 0.8 \times 54 = 43$$

$$= \frac{43}{20} = 2.15$$

ارتفاع قابل دسترس برای هر رشته :

$$= \frac{2.15}{2} = 1.08$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

با استفاده از جداول مربوطه :

$10mm \times 32mm$

$31.1\ mm^2$

$10.3mm \times 3.5\ mm$

اکنون که جایگذاری محوری بررسی شد ، جایگذاری شعاعی را بررسی میکنیم :

ضخامت شعاعی یک رشته :

$=3.5mm$

ضخامت شعاعی یک دور سیم پیچی :

$3\times3.5=10.5mm$

بین بیست دورها، یک سیلندر یک میلیمتری حائل شده است بنابر این ضخامت محوری سیم پیچی 22 میلیمتر است.

.

طراحی ترانسفورماتور

قطر داخلی سیلندر عایقی	$19\ cm$
ضخامت سیلندر عایقی	$0.4\ cm$
قطر خارجی سیلندر عایقی	$19 + 2 \times 0.4 = 19.8\ cm$
ضخامت شعاعی مجرای عایقی	$1.5\ cm$
قطر داخلی سیم پیچی	$19.8 + 2 \times 1.5 = 22.8\ cm$
ضخامت شعاعی یک دور سیم پیچی	$2.2\ cm$
قطر خارجی سیم پیچی	$22.8 + 2 \times 2.2 = 27.2\ cm$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

قطر متوسط سیم پیچی

$$\frac{22.8 + 27.2}{2}\ cm$$

طول متوسط سیم پیچی

$$p\ \frac{22.8 + 27.2}{2} cm$$

مقاومت سیم پیچی

$$\frac{r\ lT}{a}\ \Omega$$

دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی ترانسفورماتور

پس از طراحی اولیه مشخصات خروجی ترانسفورماتور برای اطمینان ار تطبیق با شرایط مورد نظر، بایست تست شود. مهمترین موارد قابل بررسی بشرح زیر میباشد:

شامل

۱. عملکرد مغناطیسی ← جریان بی باری و تلفات بی باری

۲. عملکرد سیم پیچها ← تلفات بار و تنظیم ولتاژ

۳. عملکرد خروجی ← بهره ، بهره روزانه و...

طراحی ترانسفورماتور

جریان بی باری

جریان بی باری شامل دو مولفه میباشد: جریان مغناطیس کننده و جریان تلفات بی باری. مقدار جریان مغناطیس کننده بترتیب زیر بدست می آید :

- تعیین مقدار امپردور بر متر ستونها (یوغها) برحسب چگالی شار
- تعیین طول کلی ستونها (یوغها) و ضرب در مقدار فوق
- محاسبه مجموع آمپردور مورد نیاز
- محاسبه جریان مغناطیس کنندگی از طریق تقسیم عدد فوق به تعداد دورهای HV

طراحی ترانسفورماتور

جریان بی باری

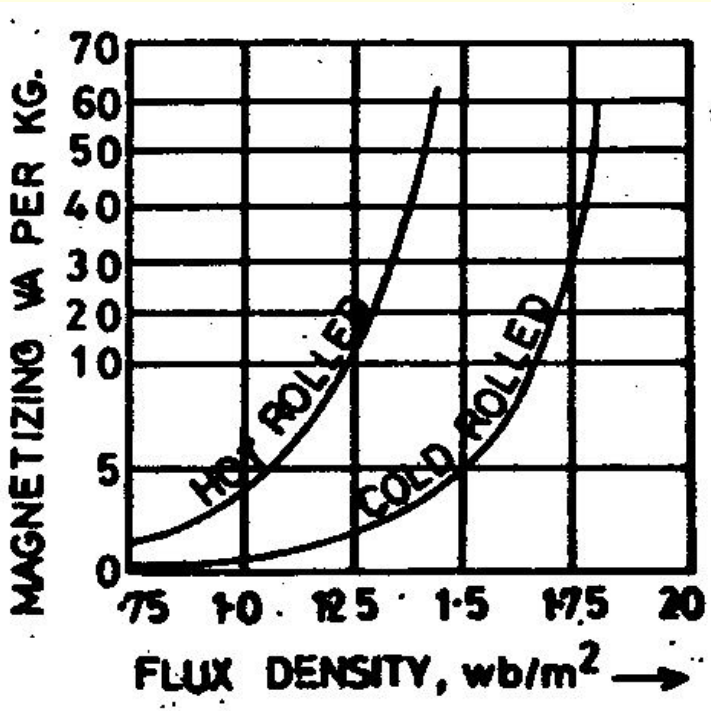


Fig.5.24. Magnetizing Volt-ampere Curve

طراحی ترانسفورماتور

محاسبه جریان بی باری میتواند از طریق منحنی ولت آمپر بر کیلوگرم بدست آید:

- تعیین مقدار ولت امپر بر کیلوگرم ستونها (یوغها) برحسب چگالی شار
- تعیین وزن کلی ستونها (یوغها) و ضرب در مقدار فوق
- محاسبه مجموع ولت آمپر مورد نیاز
- محاسبه جریان مغناطیس کنندگی از طریق تقسیم عدد فوق به ولتاژ HV

طراحی ترانسفورماتور

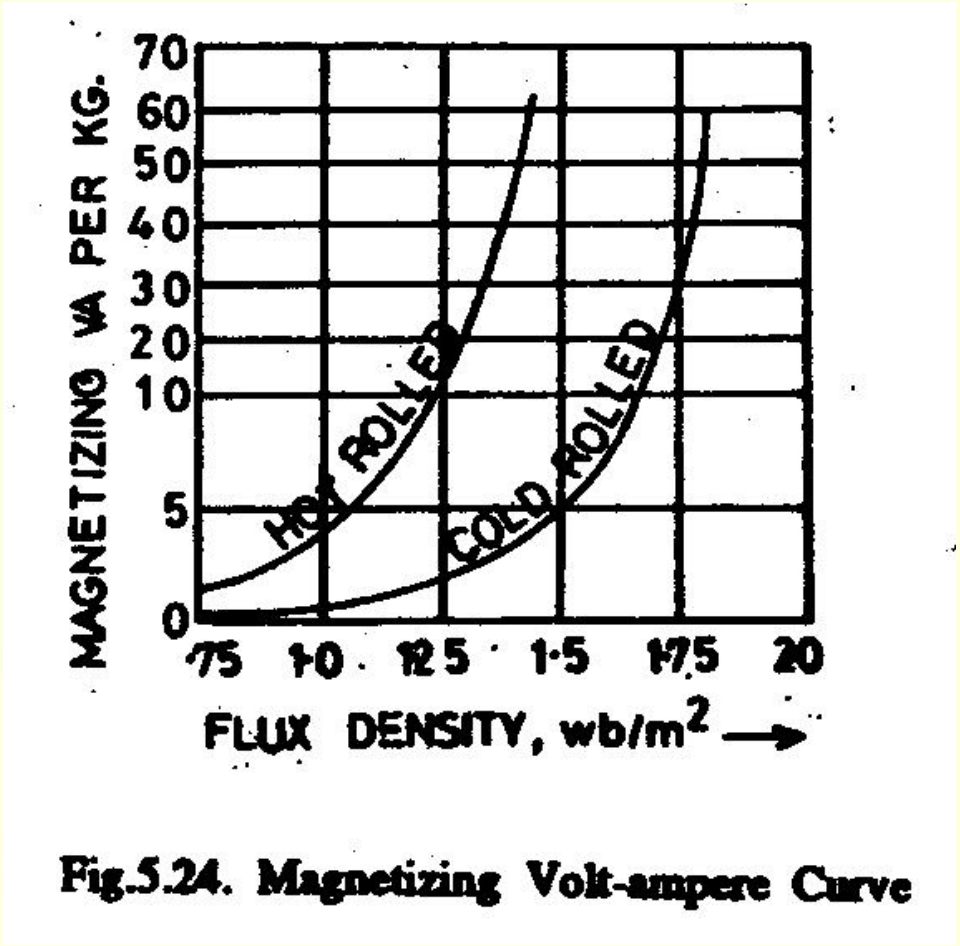


Fig.5.24. Magnetizing Volt-ampere Curve

معمولا مقدارمحاسبه شده 10 تا 15 در صد بزرگتر در نظر گرفته میشود.

جریان تلفات بی باری از تقسیم تلفات فاز بر ولتاژ فاز بدست میآید

مجموع دو جریان نباید از محوده مجاز بیشتر شود.

طراحی ترانسفورماتور

تلفات بی باری

محاسبه تلفات بی باری از روی منحنی تلفات در کیلوگرم بازای چگالی شار بدست می آید:

- تعیین مقدار تلفات ستنها (یوغها) بر حسب چگالی شار
- تعیین وزن ستونها (یوغها) و ضرب در مقدار فوق
- محاسبه مجموع تلفات
- تلفات بدست امده بخاطر مسائلی نظیر اتصالات، پانچ ورقها، توزیع نا متعادل چگالی شار در سطح مقطع ستون و یوغ و ... 5 تا 10 در صد اضافه گردد.

طراحی ترانسفورماتور

تلفات بی باری

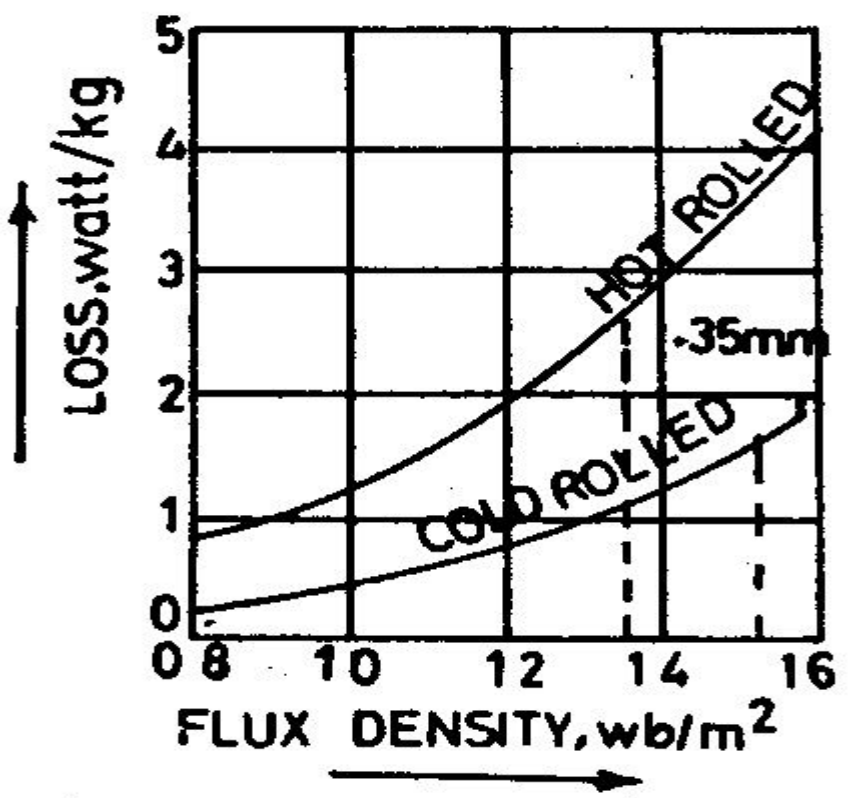


Fig.5.25 Core loss

طراحی ترانسفورماتور

تلفات مسی

محاسبه تلفات مسی در بار کامل از طریق مقدار مقاومتها و جریانها محاسبه میشود.

- تعیین تلفات در سایر بارها بر اساس مقدار بار مورد نظر انجام میشود
- تلفات بدست امده بخاطر مسائلی نظیر اتصالات و تفات گردشی 5 تا 8 در صد اضافه میشود
- تلفات محاسبه شده بر حسب ابعاد ترانسفورماتور از حدود (1 تا 1/5 یا 0/3 تا 1 در صد) نباید افزایش پیدا کند.

طراحی ترانسفورماتور

بهره

محاسبه بهره، بهره روزانه و بهره ماکزیمم بر اساس تلفات مسی و اهنی محاسبه شده صورت میگیرد.

- بهره محاسبه شده بر حسب ابعاد ترانسفورماتور از حدود (98 یا 98تا 99/2 در صد) نبایدکمتر شود.

امپدانس

برای محاسبه امپدانس ابتدا راکتانس سری ترانسفورماتور از طریق روابط تجربی- نظری موجو محاسبه شده سپس با افزودن مفدار مقاومت اهمی امپدانس سری بدست می آید..

- امپدانس محاسبه شده بر حسب ابعاد ترانسفورماتور ابايد در حدود (4/6 تا 10 در صد) تغییر کند.

طراحی ترانسفورماتور

تنظیم ولتاژ

محاسبه تنظیم ولتاژ بر اساس رابطه تقریبی زیر میتواند صورت گیرد :

$$R = \frac{I_1(R_1 \cos j \pm X_1 \sin j)}{E_s}$$

- در صورتی که عملکردهای محاسبه شده مطلوب نبود میتوان با تغییر عوامل تاثیر گذار نسبت به اصلاح آن اقدام کرد.

طراحی ترانسفورماتور

انواع سیم پیچی های ترانسفورماتور و موارد کاربرد:

سیم پیچی های فشار قوی

- سیم پیچی سیلندری با سیم با مقطع دایره
- سیم پیچی متقاطع یا صلیبی
- سیم پیچی دیسکی پیوسته

سیم پیچی های فشار ضعیف

- سیم پیچی هلیکال
- سیم پیچی سیلندری با سیم با مقطع مستطیل