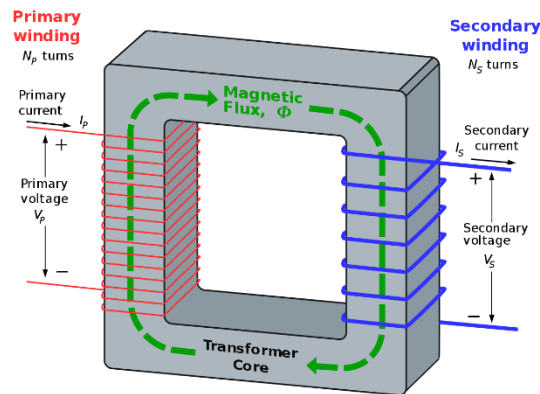


Construcción del transformador y diseño del núcleo del transformador

Una construcción simple de transformador de dos devanados consiste en que cada devanado se enrolle en una rama o núcleo de hierro blando por separado que proporciona el circuito magnético necesario.

Este circuito magnético, conocido más comúnmente como el "núcleo del transformador", está diseñado para proporcionar una ruta para que el campo magnético fluya, lo cual es necesario para la inducción del voltaje entre los dos devanados.



Sin embargo, este tipo de construcción de transformador donde los dos devanados están enrollados en extremidades separadas no es muy eficiente ya que los devanados primario y secundario están bien separados entre sí. Esto da como resultado **un bajo acoplamiento magnético** entre los dos devanados, así como grandes cantidades de fuga de flujo magnético desde el transformador. Pero además de esta construcción en forma de "O", existen diferentes tipos de "construcción de transformadores" y diseños disponibles que se utilizan para superar estas ineficiencias produciendo un transformador más pequeño y compacto.

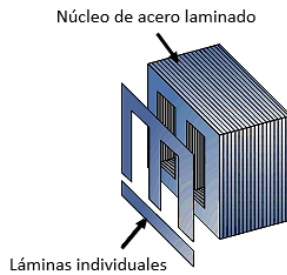
La eficiencia de una construcción de transformador simple puede mejorarse al poner los dos devanados en contacto cercano entre sí, mejorando así el acoplamiento magnético. Aumentar y concentrar el circuito magnético alrededor de las bobinas puede mejorar el acoplamiento magnético entre los dos devanados, pero también tiene el efecto de aumentar las pérdidas magnéticas del núcleo del transformador.

Además de proporcionar una ruta de baja reluctancia para el campo magnético, el núcleo está diseñado para evitar la circulación de corrientes eléctricas dentro del núcleo de hierro. Las corrientes circulantes, llamadas "corrientes parásitas", causan pérdidas de calor y energía dentro del núcleo, disminuyendo la eficiencia de los transformadores.

Estas pérdidas se deben principalmente a los voltajes inducidos en el circuito de hierro, que está constantemente sujeto a los campos magnéticos alternos configurados por el voltaje de suministro sinusoidal externo. Una forma de reducir estas pérdidas de energía no deseadas es construir el núcleo del transformador a partir de láminas de acero delgadas.

En todos los tipos de construcción de transformadores, el núcleo central de hierro está construido con un material altamente permeable hecho de láminas de acero de silicio delgadas. Estas laminaciones delgadas se ensamblan juntas para proporcionar el camino magnético requerido con el mínimo de pérdidas magnéticas. La resistividad de la lámina de acero en sí es alta, lo que reduce cualquier pérdida de corriente parásita al hacer que las laminaciones sean muy delgadas. Estas laminaciones de transformadores de acero varían en grosores de

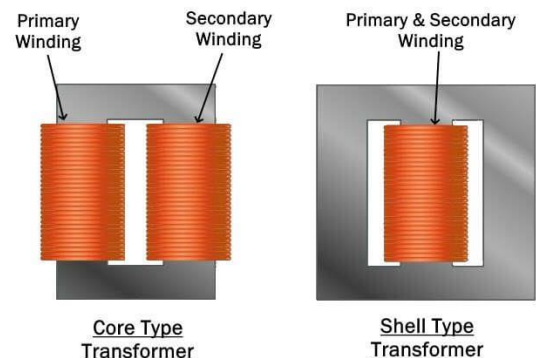
entre 0.25 mm a 0.5 mm y como el acero es un conductor, las laminaciones y cualquier perno de fijación, remache o perno están aislados eléctricamente entre sí por una capa muy delgada de barniz aislante o por el uso de la superficie.



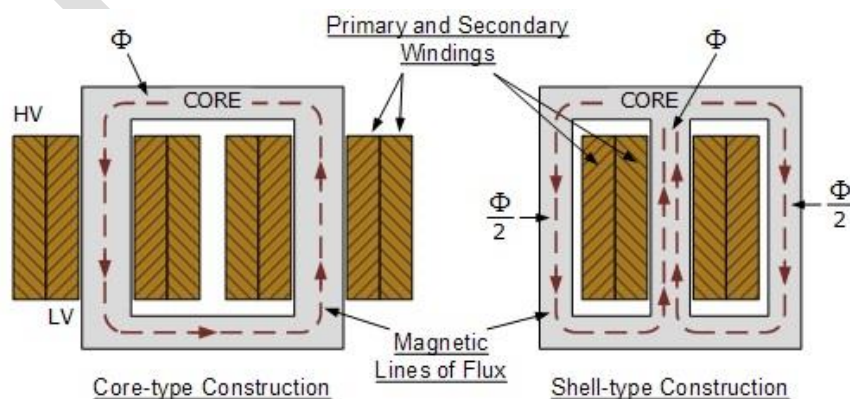
Construcción del núcleo

Generalmente, el nombre asociado con la construcción de un transformador depende de cómo se enrollan los devanados primario y secundario alrededor del núcleo central de acero laminado. Los dos diseños más comunes y básicos de la construcción del transformador son el **Cerrado-núcleo del transformador** y la **Shell-núcleo del transformador**.

En el transformador de tipo "núcleo cerrado" (forma de núcleo), los devanados primario y secundario se enrollan en el exterior y rodean el anillo del núcleo. En el transformador de "tipo de carcasa" (forma de carcasa), los devanados primario y secundario pasan dentro del circuito magnético de acero (núcleo) que forma una carcasa alrededor de los devanados como se muestra a continuación.



Construcción del núcleo del transformador



En ambos tipos de diseño de núcleo de transformador, el flujo magnético que une los devanados primario y secundario viaja completamente dentro del núcleo sin pérdida de flujo.

magnético a través del aire. En la construcción del transformador de tipo núcleo, la mitad de cada devanado se envuelve alrededor de cada pata (o extremidad) del circuito magnético de los transformadores como se muestra arriba.

Las bobinas no están dispuestas con el devanado primario en una pata y el secundario en el otro, sino que la mitad del devanado primario y la mitad del devanado secundario se colocan una sobre la otra concéntricamente en cada pata para aumentar el acoplamiento magnético permitiendo prácticamente todos de las líneas de fuerza magnéticas atraviesan los devanados primario y secundario al mismo tiempo. Sin embargo, con este tipo de construcción de transformador, un pequeño porcentaje de las líneas magnéticas de fuerza fluyen fuera del núcleo, y esto se denomina "flujo de fuga".

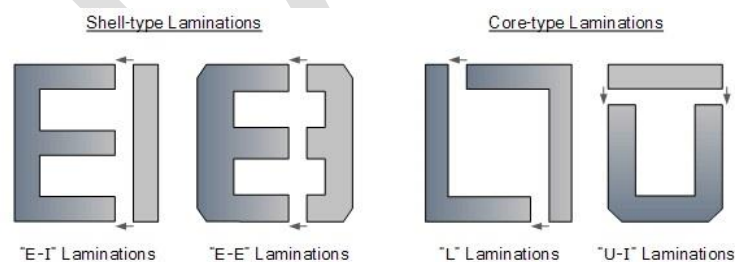
Los núcleos de transformador tipo carcasa superan este flujo de fuga ya que los devanados primario y secundario se enrollan en la misma pata central o extremidad que tiene el doble del área de la sección transversal de las dos extremidades externas. La ventaja aquí es que el flujo magnético tiene dos rutas magnéticas cerradas para fluir alrededor de las bobinas externas en los lados izquierdo y derecho antes de regresar a las bobinas centrales.

Esto significa que el flujo magnético que circula alrededor de las extremidades externas de este tipo de construcción de transformador es igual a $\Phi / 2$. Como el flujo magnético tiene una ruta cerrada alrededor de las bobinas, esto tiene la ventaja de disminuir las pérdidas del núcleo y aumentar la eficiencia general.

Laminaciones de transformadores

Pero es posible que se pregunte cómo se enrollan los devanados primario y secundario alrededor de estos núcleos de hierro o acero laminado para este tipo de construcciones de transformadores. En primer lugar, las bobinas se enrollan en un molde que tiene una sección transversal cilíndrica, rectangular u ovalada para adaptarse a la construcción del núcleo laminado. En las construcciones de transformador de tipo carcasa y núcleo, para montar los devanados de la bobina, las laminaciones individuales se estampan o perforan a partir de láminas de acero más grandes y se forman en tiras de acero delgado que se asemejan a las letras "E", "L", Las "U" y las "I" se muestran a continuación.

Tipos de núcleo de transformador



Estos estampados de laminación cuando se conectan entre sí forman la forma de núcleo requerida. Por ejemplo, dos estampados "E" más dos estampados "I" de cierre final para dar un núcleo EI que forma un elemento de un núcleo de transformador de tipo carcasa estándar. Estas laminaciones individuales se unen estrechamente durante la construcción de los transformadores para reducir la resistencia del entrehierro en las juntas produciendo una densidad de flujo magnético altamente saturada.

Las laminaciones del núcleo del transformador generalmente se apilan alternativamente entre sí para producir una junta superpuesta con la adición de más pares de laminación para formar el grosor del núcleo correcto. Este apilamiento alternativo de las laminaciones también le da al transformador la ventaja de reducir las fugas de flujo y las pérdidas de hierro. La

construcción del transformador laminado con núcleo El se utiliza principalmente en transformadores de aislamiento, transformadores elevadores y reductores, así como en transformadores automáticos.

Arreglos de bobinado de transformador

Los devanados de transformadores forman otra parte importante de la construcción de un transformador, porque son los principales conductores que transportan corriente enrollados alrededor de las secciones laminadas del núcleo. En un transformador monofásico de dos devanados, dos devanados estarían presentes como se muestra. El que está conectado a la fuente de voltaje y crea el flujo magnético llamado devanado primario, y el segundo devanado llamado secundario en el que se induce un voltaje como resultado de la inducción mutua.

Si el voltaje de salida secundario es menor que el voltaje de entrada primario, el transformador se conoce como "transformador reductor". Si el voltaje de salida secundario es mayor que el voltaje de entrada primario, se denomina "transformador elevador".

El tipo de cable utilizado como conductor principal de corriente en un devanado de transformador es cobre o aluminio. Si bien el cable de aluminio es más liviano y generalmente menos costoso que el cable de cobre, se debe usar un área de sección transversal más grande del conductor para transportar la misma cantidad de corriente que con el cobre, por lo que se usa principalmente en aplicaciones de transformadores de potencia más grandes.

Los transformadores de potencia y voltaje de kVA pequeños utilizados en circuitos eléctricos y electrónicos de bajo voltaje tienden a utilizar conductores de cobre, ya que tienen una mayor resistencia mecánica y un tamaño de conductor más pequeño que los tipos de aluminio equivalentes. La desventaja es que cuando se completa con su núcleo, estos transformadores son mucho más pesados.

Los devanados y bobinas de transformadores se pueden clasificar ampliamente en bobinas concéntricas y bobinas intercaladas. En la construcción de transformadores de tipo núcleo, los devanados generalmente están dispuestos concéntricamente alrededor de la extremidad del núcleo como se muestra arriba con el devanado primario de mayor voltaje enrollado sobre el devanado secundario de menor voltaje.

Las bobinas intercaladas o "panqueque" consisten en conductores planos enrollados en forma de espiral y se denominan así debido a la disposición de los conductores en los discos. Los discos alternativos se hacen en espiral desde el exterior hacia el centro en una disposición intercalada con bobinas individuales que se apilan juntas y separadas por materiales aislantes como papel de lámina de plástico. Las bobinas y bobinados de sándwich son más comunes con la construcción del núcleo tipo carcasa.

Los devanados helicoidales, también conocidos como devanados de tornillo, son otra disposición de bobina cilíndrica muy común utilizada en aplicaciones de transformadores de alta tensión y baja tensión. Los devanados están formados por grandes conductores rectangulares de sección transversal enrollados en su lado con los hilos aislados enrollados en paralelo de forma continua a lo largo de la longitud del cilindro, con separadores adecuados insertados entre giros o discos adyacentes para minimizar las corrientes circulantes entre los hilos paralelos. La bobina avanza hacia afuera como una hélice que se parece a la de un sacacorchos.

El aislamiento utilizado para evitar que los conductores se cortocircuiten en un transformador suele ser una capa delgada de barniz o esmalte en transformadores enfriados por aire. Este barniz delgado o pintura de esmalte se pinta sobre el alambre antes de enrollarlo alrededor del núcleo.

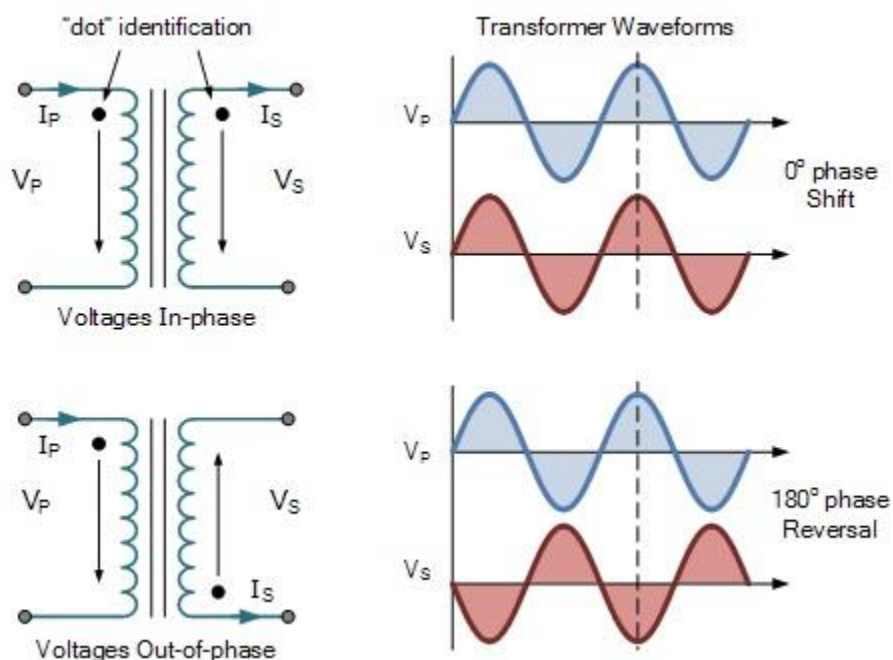
En transformadores de mayor potencia y distribución, los conductores están aislados entre sí utilizando papel o tela impregnada de aceite. Todo el núcleo y los devanados están sumergidos y sellados en un tanque protector que contiene aceite para transformadores. El aceite del transformador actúa como aislante y también como refrigerante.

Orientación de punto de transformador

No podemos simplemente tomar un núcleo laminado y envolver una de las configuraciones de bobina a su alrededor. Podríamos, pero podemos encontrar, que el voltaje y la corriente secundarios pueden estar desfasados con los del voltaje y la corriente primarios. Los dos bobinados tienen una orientación distinta de uno con respecto al otro. Cualquiera de las bobinas podría enrollarse alrededor del núcleo en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario a las agujas del reloj, de modo que para realizar un seguimiento de sus orientaciones relativas, se utilizan "puntos" para identificar un extremo dado de cada devanado.

Este método para identificar la orientación o dirección de los devanados de un transformador se denomina "convención de puntos". Luego, se enrollan los devanados de los transformadores para que existan las relaciones de fase correctas entre los voltajes de los devanados, definiéndose la polaridad de los transformadores como la polaridad relativa del voltaje secundario con respecto al voltaje primario como se muestra a continuación

Construcción de transformadores con orientación de punto



El primer transformador muestra sus dos "puntos" uno al lado del otro en los dos devanados. La corriente que sale del punto secundario está "en fase" con la corriente entrando en el punto lateral primario. Por lo tanto, las polaridades de los voltajes en los extremos punteados también están en fase, de modo que cuando el voltaje es positivo en el extremo punteado de la bobina primaria, el voltaje a través de la bobina secundaria también es positivo en el extremo punteado.

El segundo transformador muestra los dos puntos en los extremos opuestos de los devanados, lo que significa que los devanados de la bobina primaria y secundaria de los

transformadores están enrollados en direcciones opuestas. El resultado de esto es que la corriente que sale del punto secundario es 180° o "fuera de fase" con la corriente entrando en el punto primario. Por lo tanto, las polaridades de los voltajes en los extremos punteados también están fuera de fase, por lo que cuando el voltaje es positivo en el extremo punteado de la bobina primaria, el voltaje a través de la bobina secundaria correspondiente será negativo.

Entonces, la construcción de un transformador puede ser tal que el voltaje secundario puede estar "en fase" o "fuera de fase" con respecto al voltaje primario. En los transformadores que tienen varios devanados secundarios diferentes, cada uno de los cuales está aislado eléctricamente entre sí, es importante conocer la polaridad de punto de los devanados secundarios para que puedan conectarse entre sí en serie (se suma el voltaje secundario) o configuraciones opuestas en serie (el voltaje secundario es la diferencia).

La capacidad de ajustar la relación de espiras de un transformador a menudo es deseable para compensar los efectos de las variaciones en la tensión de alimentación primaria, la regulación del transformador o las condiciones de carga variables. El control de voltaje del transformador generalmente se realiza cambiando la relación de espiras y, por lo tanto, su relación de voltaje, por lo que una parte del devanado primario en el lado de alto voltaje se extrae permitiendo un ajuste fácil. La derivación se prefiere en el lado de alto voltaje ya que los voltios por vuelta son más bajos que el lado secundario de bajo voltaje.

Pérdidas principales del transformador

La capacidad del hierro o el acero para transportar flujo magnético es mucho mayor que en el aire, y esta capacidad para permitir que fluya flujo magnético se llama permeabilidad. La mayoría de los núcleos de transformadores están contruidos con aceros de bajo carbono que pueden tener permeabilidades del orden de 1500 en comparación con solo 1.0 para el aire.

Esto significa que un núcleo laminado de acero puede transportar un flujo magnético 1500 veces mejor que el del aire. Sin embargo, cuando un flujo magnético fluye en el núcleo de acero de un transformador, se producen dos tipos de pérdidas en el acero. Una denominada "pérdidas por corrientes parásitas" y la otra denominada "pérdidas por histéresis".

Pérdidas de histéresis

Las pérdidas por histéresis del transformador se deben a la fricción de las moléculas contra el flujo de las líneas de fuerza magnéticas necesarias para magnetizar el núcleo, que cambian constantemente de valor y dirección primero en una dirección y luego en la otra debido a la influencia de la sinusoidal.

Esta fricción molecular hace que se desarrolle calor, lo que representa una pérdida de energía para el transformador. La pérdida excesiva de calor puede acortar las horas de vida útil de los materiales aislantes utilizados en la fabricación de los devanados y estructuras. Por lo tanto, el enfriamiento de un transformador es importante.

Además, los transformadores están diseñados para operar a una frecuencia de suministro particular. Bajar la frecuencia del suministro dará como resultado una histéresis aumentada y una temperatura más alta en el núcleo de hierro. Por lo tanto, reducir la frecuencia de suministro de 60 Hertz a 50 Hertz aumentará la cantidad de histéresis presente y disminuirá la capacidad de VA del transformador.

Corrientes de Foucault

Las pérdidas de corriente de Foucault del transformador, por otro lado, son causadas por el flujo de corrientes circulantes inducidas en el acero causadas por el flujo del flujo magnético alrededor del núcleo. Estas corrientes circulantes se generan porque el flujo magnético del núcleo actúa como un solo bucle de cable. Como el núcleo de hierro es un buen conductor, las corrientes parásitas inducidas por un núcleo de hierro sólido serán grandes.

Las corrientes de Foucault no contribuyen en nada a la utilidad del transformador, sino que se oponen al flujo de la corriente inducida al actuar como una fuerza negativa que genera calentamiento resistivo y pérdida de potencia dentro del núcleo.

Laminado del núcleo de hierro

Las pérdidas de corriente parásita dentro del núcleo de un transformador no se pueden eliminar por completo, pero se pueden reducir y controlar en gran medida al reducir el grosor del núcleo de acero. En lugar de tener un gran núcleo de hierro sólido como material del núcleo magnético del transformador o bobina, el camino magnético se divide en muchas formas delgadas de acero prensado llamadas "laminaciones".

Las laminaciones utilizadas en la construcción de un transformador son tiras muy delgadas de metal aislado unidas para producir un núcleo sólido pero laminado como vimos anteriormente. Estas laminaciones están aisladas entre sí por una capa de barniz o papel para aumentar la resistividad efectiva del núcleo, aumentando así la resistencia general para limitar el flujo de las corrientes parásitas.

El resultado de todo este aislamiento es que la pérdida de potencia de corriente parásita inducida no deseada en el núcleo se reduce en gran medida, y es por esta razón por la cual el circuito de hierro magnético de cada transformador y otras máquinas electromagnéticas están todos laminados. El uso de laminaciones en la construcción de un transformador reduce las pérdidas por corrientes parásitas.

Las pérdidas de energía, que aparecen como calor debido tanto a la histéresis como a las corrientes parásitas en el camino magnético, se conocen comúnmente como "pérdidas del núcleo del transformador". Dado que estas pérdidas ocurren en todos los materiales magnéticos como resultado de campos magnéticos alternos. Las pérdidas del núcleo del transformador siempre están presentes en un transformador cada vez que se energiza el primario, incluso si no hay carga conectada al devanado secundario. Además, estas histéresis y las pérdidas por corrientes parásitas a veces se denominan "pérdidas de hierro del transformador", ya que el flujo magnético que causa estas pérdidas es constante en todas las cargas.



Pérdidas de cobre

Pero también hay otro tipo de pérdida de energía asociada con los transformadores llamada "pérdidas de cobre". Las pérdidas de cobre del transformador se deben principalmente a la resistencia eléctrica de los devanados primario y secundario. La mayoría de las bobinas de transformadores están hechas de alambre de cobre que tiene resistencia en ohmios (Ω). Esta resistencia se opone a las corrientes magnetizantes que fluyen a través de ellas.

Cuando se conecta una carga al devanado secundario del transformador, grandes corrientes eléctricas fluyen tanto en el devanado primario como en el secundario, se producen pérdidas de energía eléctrica y potencia (o $I^2 \cdot R$) como calor. En general, las pérdidas de cobre varían con la corriente de carga, siendo casi cero sin carga y como máximo a plena carga cuando el flujo de corriente es máximo.

Se puede aumentar la clasificación VA de los transformadores mediante un mejor diseño y construcción del transformador para reducir estas pérdidas de núcleo y cobre. Los transformadores con altas tensiones y clasificaciones de corriente requieren conductores de gran sección transversal para ayudar a minimizar sus pérdidas de cobre. Aumentar la tasa de disipación de calor (mejor enfriamiento) por aire forzado o aceite, o mejorar el aislamiento de los transformadores para que pueda soportar temperaturas más altas también puede aumentar la clasificación VA de los transformadores.

EJEMPLO DE CALCULO GRAFICO DE UN TRANSFORMADOR

Supongamos necesitar un transformador pequeño, que tenga tres secundarios, uno para 700 V a 100 mA; otro para 5 V a 3 A, y un tercero para 6,3 V a 4 A.

Un típico transformador para transceptor de BLU.

El primario es para 220 V. Se trata de un modelo común en receptores radioeléctricos. Calcularemos sus dimensiones.

Primero, determinamos la potencia total secundaria:

$$700 \times 0,1 = 70 \text{ W}$$

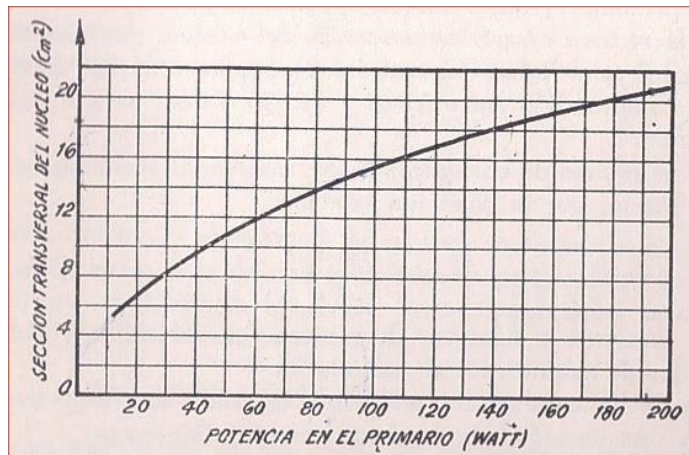
$$5 \times 3 = 15 \text{ W}$$

$$6,3 \times 4 = 25 \text{ W}$$

$$\text{Total} = 110 \text{ W}$$

Cifra, que, para tener en cuenta el rendimiento, debe incrementarse aproximadamente en un 20 %.

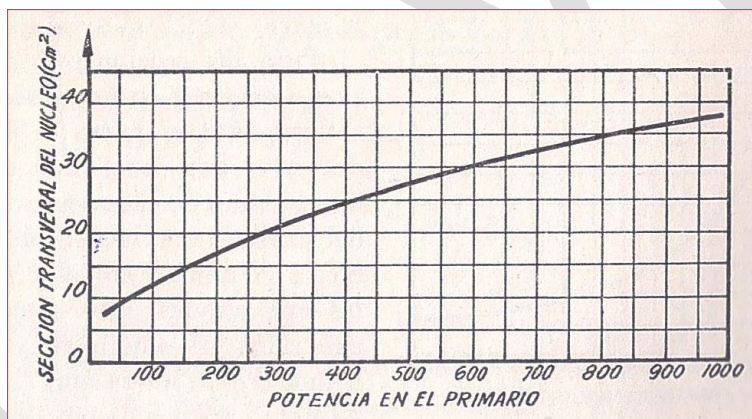
Resulta una potencia total de 130 W. Con este valor vamos a la curva de la figura 95.



Curva 95 Potencias hasta 200 W

Obteniendo una sección del núcleo de:

$$S = 16 \text{ cm}^2 = 3 \text{ cm} \times 5,3 \text{ cm}$$



Potencias de 100 a 1000 W.

Con cuyo dato pasamos de inmediato a la figura 97 que nos da el número de espiras del bobinado primario:

$$N_1 = 750 \text{ espiras}$$

Ahora calculamos los números de espiras de los tres secundarios:

$$750 \times 700$$

$$N_2 = \frac{750 \times 700}{220} = 2.400 \text{ espiras}$$

$$220$$

$$750 \times 5$$

$$N'_2 = \frac{750 \times 5}{220} = 17 \text{ espiras}$$

$$220$$

750 x 6,3

N''2 = ----- = 22 espiras

220

Y Ahora determinamos los diámetros de los alambres con ayuda de la tabla siguiente:

Diámetros y secciones de los alambres		
Corriente Amper	Diámetro mm	Sección mm ²
0,015	0,10	0,0078
0,020	0,11	0,0095
0,025	0,12	0,0113
0,035	0,15	0,0176
0,050	0,18	0,0254
0,065	0,20	0,0314
0,075	0,22	0,038
0,100	0,25	0,050
0,130	0,28	0,062
0,150	0,30	0,070
0,190	0,35	0,096
0,250	0,40	0,126
0,320	0,45	0,160
0,400	0,50	0,196
0,450	0,55	0,238
0,550	0,60	0,283
0,650	0,65	0,332
0,750	0,70	0,385
0,850	0,75	0,442
1,000	0,80	0,503
1,130	0,85	0,567
1,270	0,90	0,636
1,600	1,00	0,785
2,250	1,20	1,13
3,500	1,50	1,77
5,000	1,80	2,54
6,500	2,00	3,14
10,000	2,50	4,91

N2 = 0,1 Amper necesita 0,25 mm

N'2= 3 Amperes necesita 1,5 mm

N''2 = 4 Amperes necesita 1,8 mm

Para el bobinado primario N1 será $I_1 = 130 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0,6 \text{ Amper}$ y necesita 0,6 mm.

Ahora veremos la superficie de la ventana:

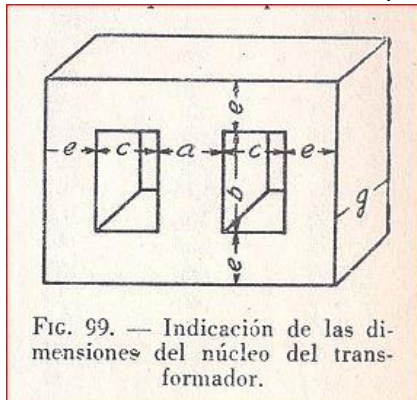


Fig. 99. — Indicación de las dimensiones del núcleo del transformador.

$$g = 1,5 a$$

$$e = 0,5 a$$

$$b = 1,5 c$$

$$\text{espesor} = 0,1 d \sqrt{N}$$

Número de espiras por cm² transversal

Diámetro (mm) alambre de aluminio	Esmaltado			Esmaltado			
	Simple	Esmalte y forro		Rec.	seda	Rec.	algodon
	unavar	da Esmalte y seda	Esmalte algodón	1 cape	2 capes	1 cape	2 capes
0,05	27556	12.321		15625	10000		
0,06	20500	10000		12300	8270		
0,07	15600	8270		8270	5050		
0,08	12300	6900		6900	4350		
0,09	10000	5920		5920	3850		
0,10	7569	4096	3025	5041	3481	2500	1089
0,11	6400	3600	2700	4480	3020	2210	1020
0,12	5476	3480	2500	3814	2704	2025	961
0,15	3480	2500	1849	2704	2025	1600	784
0,18	2500	1850	1440	2030	1600	1290	675
0,20	2025	1600	1225	1681	1369	1024	625
0,22	1720	1370	1090	1440	1160	960	575
0,25	1600	1090	900	1160	960	780	483
0,28	1140	900	728	960	780	673	440
0,30	961	784	625	841	675	530	400
0,32	840	675	530	730	625	483	360
0,35	710	575	483	625	530	400	325
0,38	610	483	435	530	440	380	300
0,40	529	475	380	492	433	330	279
0,45	441	381	330	400	350	279	235
0,50	361	320	279	331	296	237	204
0,55	303	268	237	275	252	204	176
0,60	253	216	204	237	204	177	156
0,65	215	187	176	204	176	156	139
0,70	188	163	156	177	156	137	123
0,75	161	144	137	156	137	119	110
0,80	144	128	123	137	123	106	92
0,85	128	114	110	123	110	96	83
0,90	114	104	100	110	100	86	75
0,95	106	94	90	100	90	79	70
1,0	92	82	79	90	82	54	64
1,2	65	59	56	64	59	42	47
1,4	47	44	39	47	43	36	37
1,5	41	39	32	41	38	26	31
1,8	29,2	28	27	29,2	27	21,4	23,5
2,00	23,8	22,8	22,3	23,8	22,8	14,1	19,8

Para N1: 253 espiras/cm²; 750/253 = 3 cm²

Para N2: 1.600 espiras/cm²; 2.400/1600 = 1,5 cm²

Para N'2=41 espiras/cm²; 17/41 = 0,5 cm²

Para N''2=29,2 espiras/cm² = 22/29,2 = 0,8 cm²

TOTAL de superficie de ventana = 5,8 cm²

Esta superficie debe aumentarse, por las aislaciones, un 38% o sea tendremos 8 cm = 2 cm x 4 cm.

Hemos terminado de encontrar todas las dimensiones y queda terminado el cálculo del transformador.

73 LU1XU