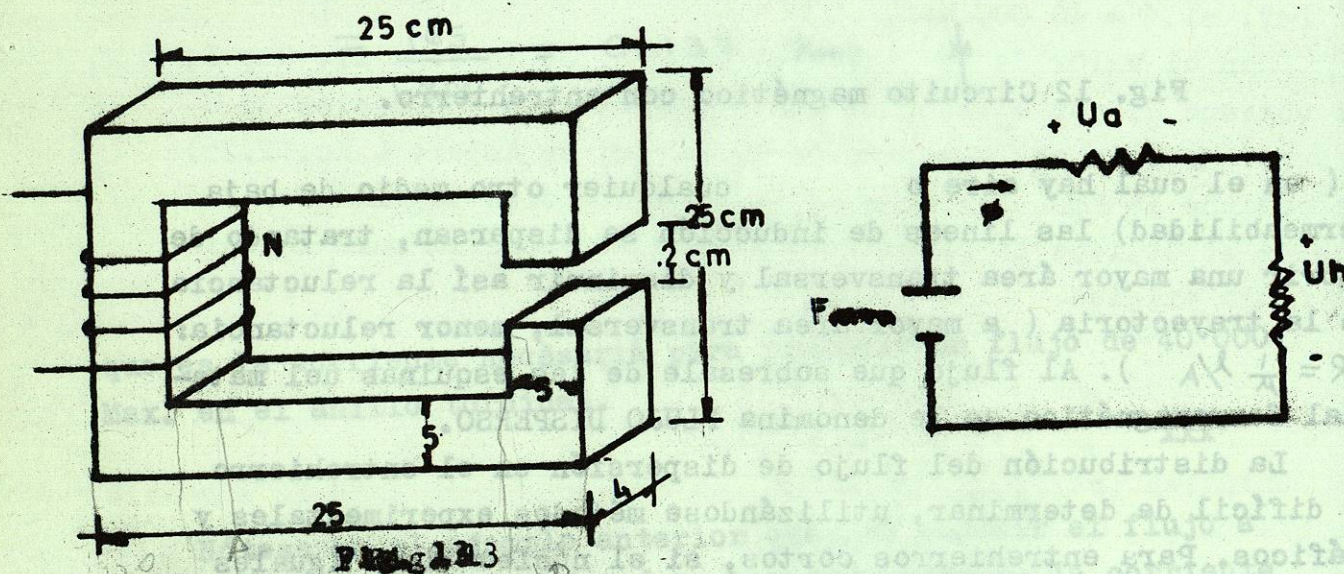


TK 25  
B4

una representando a la caída en el hierro y otra representando a la caída de Fmm en el entrehierro equivalente.

EJEMPLO 2

Se tiene un circuito magnético, ilustrado en la Fig. 13. El material del núcleo es acero de fundición ( curva # 5, Figs. 27 y 28, Cap.I) y la bobina tiene devanadas 5,000 espiras. a) ¿Qué corriente se requiere en la bobina para establecer un flujo de 200 000 Max. en el entrehierro? b) ¿Qué flujo producirá en el entrehierro una corriente de 0.583 Amp en la bobina?



SOLUCION

a) Conociéndose el flujo, se calculan las caídas de Fmm en el hierro y en el aire. Se suman las caídas de Fmm y se obtiene la Fmm que debe proporcionar la bobina; el problema consiste simplemente en una secuencia directa de operaciones.

En el entrehierro:

$$\phi_a = 200\ 000\ \text{Max.}$$

De la Ec. 2.27:

$$\begin{aligned} A_a &= (a + \delta)(b + \delta) \\ &= (5 + 0.2)(4 + 0.2) \\ &= 21.84\ \text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_a &= \frac{\phi_a}{A_a} \\ &= \frac{200\ 000}{21.84} = 9\ 158\ \text{gauss} \\ &= 0.9158\ \text{Tesla} \end{aligned}$$

Por definición:

$$\beta_a = \mu_0 H_a$$

Despejando:

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{\beta_a}{\mu_0} \\ &= \frac{0.9157}{4\pi \times 10^{-7}} = 7.287 \times 10^5\ \text{Amp/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_a &= H_a * \delta \\ &= 7.287 \times 10^5 (2 \times 10^{-3}) = 1\ 457\ \text{A-v} \end{aligned}$$

En el hierro:

Se desprecia el flujo de pérdidas (aquel flujo que retorna a la bobina sin recorrer todo el circuito magnético; Art. 2.3.1) y por lo tanto, el flujo que atraviesa el entrehierro es el mismo que recorre todo el circuito magnético.

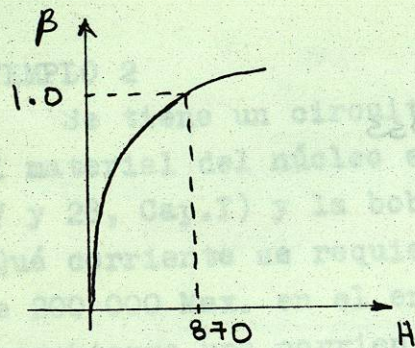
$$\phi_h = \phi_a = 200\ 000\ \text{Max.}$$

$$\begin{aligned} A_h &= a * b \\ &= 5(4) = 20\ \text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_h &= \frac{\phi_h}{A_h} \\ &= \frac{200\ 000}{20} = 10\ 000\ \text{gauss} = 1.0\ \text{T} \end{aligned}$$

TK 25  
B4

Utilizando la curva # 5, Fig. 27-I:



$$H_h = 870 \text{ A-cm}$$

$$U_h = H_h \cdot l_{mh}$$

La longitud media de la trayectoria del flujo en el hierro será:

$$l_{mh} = (25-5)(2) + (25-5 + 25-5 - 0.2) \\ = 79.8 \text{ cm} = 0.798 \text{ m}$$

y 
$$U_h = 870 (0.798) = 694 \text{ A-cm}$$

Nótese que el entrehierro, a pesar de tener una longitud 400 veces menor que la del hierro, exige una magnitud dos veces mayor de Fmm para mantener el flujo requerido. En otras palabras, la reluctancia del hierro es dos veces menor que la del aire del entrehierro.

De la ley circuital de Ampere:

$$NI = U_a + U_h \\ 5000 I = 1457 + 694$$

$$I = 0.43 \text{ Amp}$$

b)  $I=0.583 \text{ Amp}$ ;  $\phi=?$

El problema es sencillo en apariencia; sin embargo, no lo es. Se conoce la Fmm aplicada y se sabe de la ley de Ampere que la suma de caídas de Fmm debe ser igual a la Fmm aplicada:

$$F_{mm} = NI \\ = 5000 (0.583) = 2915 \text{ A-cm}$$

$$F_{mm} = \sum U$$

$$2915 = U_a + U_h$$

Aquí, aunque se sabe que la suma de caídas en el aire y hierro es constante, no se conoce la proporción en que éstas se reparten, pudiendo tan sólo aventurar la hipótesis de que si el hierro no trabaja en saturación, la caída de Fmm del aire será mayor que la del hierro.

De la definición de U:

$$U_a = H_a \cdot \delta$$

$$U_h = H_h \cdot l_{mh}$$

El campo magnético no es (salvo casualmente) de la misma magnitud para ambos materiales, ya que, aunque ambos tuviesen la misma densidad de flujo (la misma área transversal), no tienen la misma permeabilidad. Este problema no es susceptible entonces de una solución analítica directa. Existen métodos gráficos para resolver problemas de este tipo, que en la solución de problemas de índole repetitiva son de gran utilidad (véase: M.I.T. E.E. Staff, CIRCUITOS MAGNETICOS Y TRANSFORMADORES, ED. Reverté, 1980, Buenos Aires). Sin embargo, en la solución de problemas específicos resulta práctico utilizar el método de aproximaciones sucesivas (método de "prueba y error"), que resulta de gran versatilidad.

xxx

El método consiste en plantear ecuaciones de acuerdo a las condiciones del sistema. Se supone un valor para una de las variables (puede ser necesario el suponer dos o más valores a la vez), de ese valor supuesto se obtiene el valor de la otra (u otras) variable, y si al substituirlos en las ecuaciones planteadas se satisfacen éstas, los valores supuestos son co-

TK 25  
B4

rectos. Si no se cumplen con la exactitud deseada las ecuaciones mencionadas, se elige a criterio un nuevo valor para la variable inicial. A la variable que recibe valores supuestos se le denominará VARIABLE DE SONDEO, y a la Ec. que verifica la certidumbre del tanteo se le denominará ECUACION DE CONTROL.

En el cálculo de circuitos magnéticos prácticos, se considera admisible un error de 5%, debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales ferromagnéticos, y a que se manejan valores promedio de  $\beta$  y  $H$ .

xxx

Volviendo al ejemplo considerado, después de esta provechosa digresión:

Ecuaciones del sistema:

$$F_{mm} = U_a + U_h \quad (1)$$

$$\phi_a = \phi_h \quad (2)$$

$$F_{mm} = H_a l_a + H_h l_h \quad (1)$$

$$\beta_a A_a = \beta_h A_h \quad (2)$$

$$F_{mm} = H_a l_a + H_h l_h \quad (1)$$

$$\mu_0 A_a H_a = \beta_h A_h \quad (2)$$

Substituyendo 2 en 1

$$F_{mm} = \frac{A_h l_a}{\mu_0 A_a} \beta_h + H_h l_h$$

Substituyendo los valores conocidos:

$$2915 = \frac{20 (2 \times 10^{-3})}{4\pi \times 10^{-7} (21.84)} \beta_h + 0.798 H_h$$

$$2915 = 1457 \beta_h + 0.798 H_h \quad (3)$$

Se elige como variable de sondeo  $\beta_h$ , por ser la de menor rango, y se define una variable de control igualando a cero la Ec. 3 ( que sería entonces la Ec. de control).

$$D = 2915 - 1457 \beta_h - 0.798 H_h \stackrel{?}{=} 0$$

Cuando D sea igual a cero, la solución será exacta. Utilizando la curva # 5 de la Fig. 27-I:

$\beta_h$ (T)	$H_h$ (Lenz)	D
0.9	600	1125

Del primer tanteo se observa que  $\beta_h = 0.9$  es muy baja, ya que D representa la diferencia entre la  $F_{mm}$  aplicada y la suma de las caídas en el material, de acuerdo al valor supuesto. Continuando:

$\beta_h$	$H_h$	D
1.2	1300	129.2
1.25	1400	-23.5

Se suspende aquí el cálculo, ya que D representa el 0.8% de la  $F_{mm}$  aplicada ( el cálculo resultó bastante exacto).

$$\begin{aligned} \phi_a = \phi_h &= \beta_h A_h \\ &= 1.25 (20 \times 10^{-4}) = 2.5 \times 10^{-3} \text{ Wb} \\ &= 250 \text{ 000 Maxwell} \quad * \end{aligned}$$

TK 25  
B4

### 2.6.3 FACTOR DE APILAMIENTO

Cuando la estructura magnética está constituida por chapas delgadas recortadas en forma adecuada y apretadas entre sí, el volumen ocupado por ellas no es igual al volumen de hierro que realmente conduce el flujo. Entre las láminas existen regiones de permeabilidad igual a la del aire, debido a la presencia de irregularidades o grietas en las superficies de las chapas, debido a la delgada capa de barniz aislante aplicado deliberadamente para evitar el contacto entre chapas y reducir las pérdidas por corrientes de Foucault ( véase Art. 4.2), o debido a rebabas en el canto de las chapas, originadas al troquelarlas. Esta región conduce muy poco flujo debido a lo relativamente bajo de su permeabilidad; así, para tener en cuenta su efecto disminuyendo el volumen total de hierro, se acostumbra a expresar el área eficaz de la sección recta del hierro como igual al producto de la sección recta de la pila de chapas por un factor, llamado FACTOR DE APILAMIENTO. El factor de apilamiento, definido como el cociente entre el área de la sección recta de hierro y el área de la sección recta de la pila, en los casos tratados en este curso, tiene valores entre 0.97 y 0.9, aunque en aplicaciones de otro tipo toma valores hasta de 0.4.

$$A_{\text{Neta del Hierro}} = A_{\text{Aparente del Hierro}} * \text{Factor de Apilamiento}$$

### 2.6.4 CIRCUITO MAGNETICO PARA UN NUCLEO LAMINADO CON SECCION RECTA VARIABLE ( CASO # 3 ).

Obsérvese de la Fig. 14, que aunque no se interrumpe la continuidad de material ferromagnético ( no hay entrehierro), y todo el circuito es del mismo material, no puede substituirse el efecto total del circuito por una sola caída de Fmm, como en el anillo del caso # 1. Al ser variable la sección, la densidad de flujo variará de un tramo a otro y por ende el campo mag-

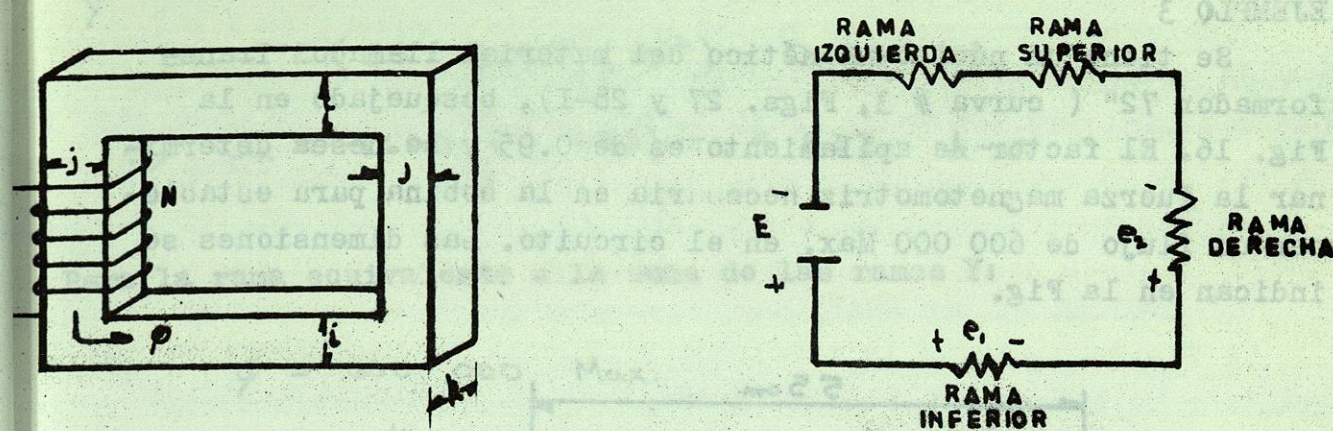


Fig. 14

nético también. El método a seguir consiste en substituir a cada tramo de sección constante y material uniforme por una caída de Fmm, de ahí se obtienen las Ecs. escritas al pie de la Fig. 14.

Cuando en el circuito existen dos o más tramos de igual sección constante, del mismo material, y son atravesados por el mismo flujo, su efecto puede ser considerado como una sola caída de Fmm, actuando sobre una rama de una longitud igual a la suma de las longitudes medias de cada tramo, de la misma sección y material que los tramos componentes. Así, para la Fig. 14, pueden unirse ( operacionalmente) las ramas verticales en una sola caída de Fmm, y lo mismo es válido para las ramas horizontales, Fig. 15.

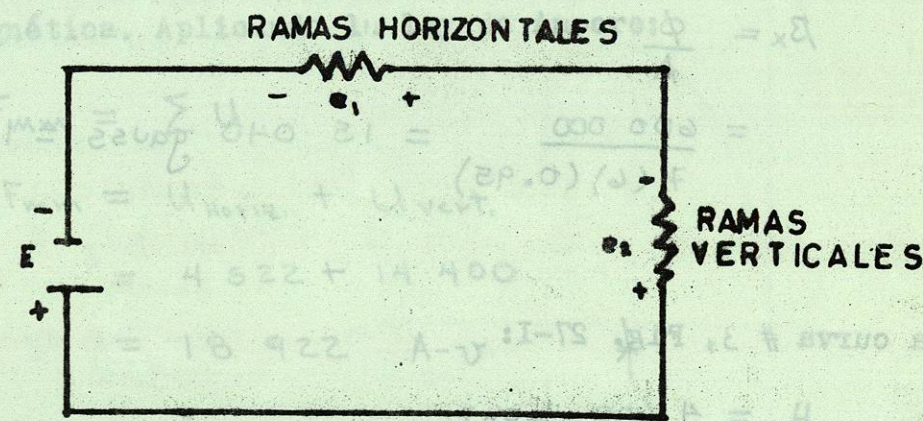


Fig. 15