

Laboratorio de Transformadores y Máquinas Síncronas

Clave: 1131073

ÁREA DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Y ELECTROMAGNÉTICA^{∇2}

Profesor: Dr. Víctor Manuel Jiménez Mondragón

e-mail: vmjm1986@gmail.com

Práctica 2: Pruebas en un transformador monofásico

IEE _____ IEE

1. Objetivos

- Llevar a cabo las pruebas de circuito abierto y de cortocircuito a un transformador monofásico.
- Determinar los parámetros representativos del modelo real de un transformador monofásico.
- Obtener la curva de magnetización del transformador monofásico.

2. Cuestionario

En esta sección se presenta el cuestionario necesario para el desarrollo de la Práctica 2.

1. ¿Cuál es la diferencia entre un transformador ideal y uno real?
2. ¿Cómo se representa un transformador real?
3. Dibujar el circuito equivalente aproximado de un transformador real referido al lado primario y al lado secundario.
4. ¿En qué lado se recomienda realizar las pruebas de cortocircuito y de circuito abierto? ¿Por qué?
5. ¿Por qué la prueba de circuito abierto y cortocircuito se realizan a valores nominales?

3. Material y equipo

En la Tabla 1 se muestra el material y equipo a utilizar en la práctica.

Tabla 1: Material y equipo a ser empleado

Cantidad	Material
1	Wáttmetro monofásico de precisión (marca YEW).
2	Vóltmetro de precisión (marca YEW).
2	Amperímetro de precisión (marca YEW).
2	Juego de cables.
Cantidad	Equipo
1	Transformador monofásico 60 VA, 208/120 V.

4. Desarrollo Experimental

En esta sección se describen los pasos a seguir para el desarrollo de la práctica.

1. Prueba de circuito abierto

- 1.1. Armar el circuito mostrado en la Figura 1 (a). Conectar la fuente de alimentación al lado secundario del transformador y variarlo desde cero aumentándolo en 5 V hasta llegar a 1.25 veces el voltaje nominal del transformador en lado primario (el cual se encuentra abierto). Medir y anotar en la Tabla 2 el voltaje V_{1oc} , la corriente I_{1oc} , el voltaje V_{2oc} y la potencia suministrada P_{oc} .
- 1.2. A partir de los datos obtenidos en la Tabla 2, calcular los parámetros del modelo real del transformador que representan las pérdidas en el núcleo. Para los cálculos, utilizar las lecturas que se tomen cuando se tenga el voltaje nominal en el lado primario y las siguientes ecuaciones:

$$S_{oc} = V_{1oc}I_{1oc} \quad (1)$$

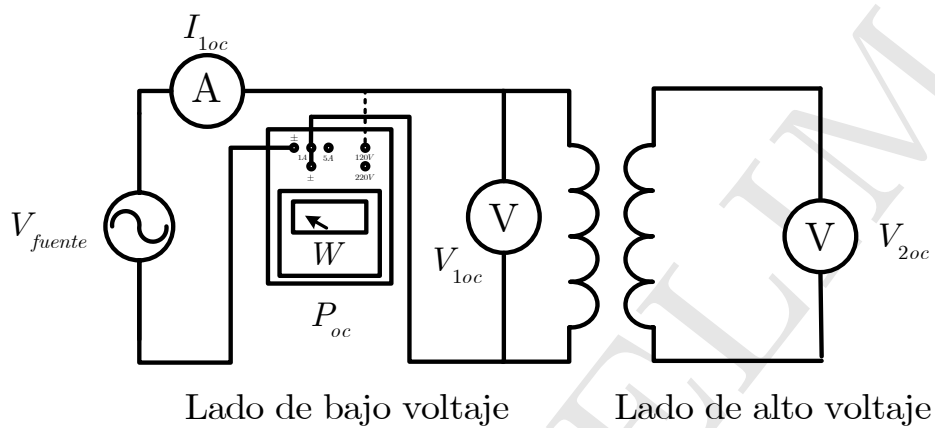
$$Q_{oc} = \sqrt{S_{oc}^2 - P_{oc}^2} \quad (2)$$

$$R_{cS} = \frac{V_{1oc}^2}{P_{oc}} \quad (3)$$

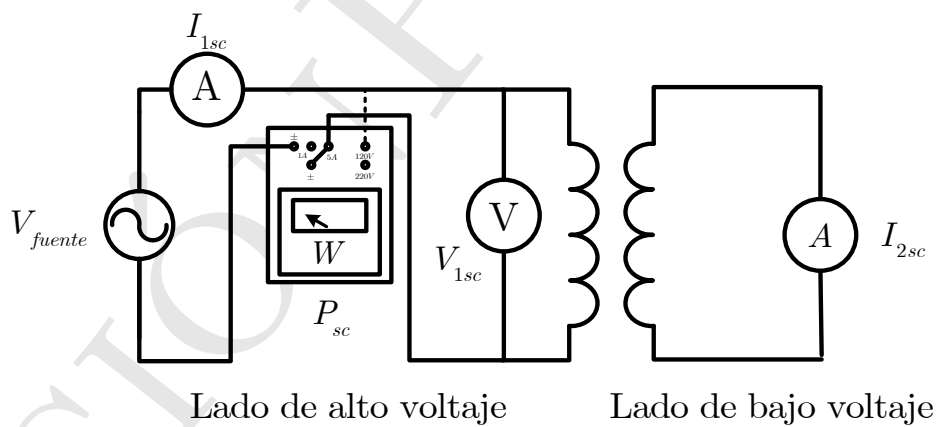
$$X_{mS} = \frac{V_{1oc}^2}{Q_{oc}} \quad (4)$$

donde: X_{mS} es la reactancia de magnetización y R_{cS} es la resistencia de pérdidas en el núcleo. Los subíndices S indican que ambos parámetros están referidos al lado secundario debido a que la prueba se realizó en ese lado.

- 1.3. Trazar la curva de magnetización $V_{1oc}=f(I_{1oc})$.



(a) Circuito abierto.



(b) Cortocircuito.

Figura 1: Pruebas al transformador.

1.4. Obtener la relación de transformación.

NOTA: Es importante observar que la magnitud de la corriente I_{1oc} es menor en comparación con la magnitud de la corriente nominal del transformador en el lado de bajo voltaje.

2. Prueba de cortocircuito.

2.1. Armar el circuito mostrado en la Figura 1 (b). Conectar la fuente de alimentación en el lado primario del transformador y variar el voltaje desde cero hasta llegar a la corriente nominal del transformador en el lado primario. Medir y anotar en la Tabla 3 el voltaje de entrada V_{1sc} , la corriente I_{1sc} , la corriente I_{2sc} y la potencia suministrada P_{sc} .

NOTA: Revisar el factor de multiplicidad de cada Wáttmetro, el cual depende de las terminales utilizadas.

2.2. A partir de los datos obtenidos en la Tabla 3, calcular los parámetros del modelo real del transformador que representan las pérdidas en el cobre y por flujo de dispersión. Para los cálculos, utilizar las lecturas que se tomen cuando se tenga la corriente nominal en el lado secundario y las siguientes ecuaciones:

NOTA: Es importante observar que la magnitud del voltaje V_{1sc} es menor en comparación con el voltaje nominal del transformador en el lado de alto voltaje.

$$Z_{eqP} = \frac{V_{1sc}}{I_{1sc}} \quad (5)$$

$$R_{eqP} = \frac{P_{sc}}{I_{1sc}^2} \quad (6)$$

$$X_{eqP} = \sqrt{Z_{eqP}^2 - R_{eqP}^2} \quad (7)$$

donde: R_{eqP} es la resistencia equivalente de los devanados y X_{eqP} es la reactancia equivalente de dispersión. Los subíndices P indican que ambos parámetros están referidos al lado primario debido a que la prueba se realizó en ese lado.

5. Actividades

En esta sección se presentan las actividades que se deberán incluir en el reporte correspondiente y serán necesarias para desarrollar la Práctica 3.

Tabla 2: Prueba de circuito abierto.

V_{1oc} [V]	I_{1oc} [A]	V_{2oc} [V]	P_{oc} [W]

Tabla 3: Prueba de cortocircuito.

V_{1sc} [V]	I_{1sc} [A]	I_{2sc} [A]	P_{sc} [W]

1. Construir el circuito equivalente aproximado del transformador referido al lado primario y lado secundario. También trazar el circuito equivalente exacto.
2. El Código 1 muestra un programa que calcula los parámetros del circuito equivalente aproximado y exacto del transformador utilizando las lecturas de las pruebas realizadas en esta práctica. El programa básicamente requiere los datos de placa del transformador así como el sitio en donde se realizó cada prueba. Al proporcionar esta información, el programa obtiene los parámetros de los circuitos equivalentes y simula la conexión de distintas cargas a diferente factor de potencia para evaluar el desempeño del transformador. Correr el programa en Matlab y comparar los valores de los parámetros, con los obtenidos en esta práctica.

Listing 1: Evaluación del transformador, archivo: TRANS.m.

```

1
2 S=60; %Potencia aparente del transformador (VA)
3 V1_nom=208; %Voltaje en el lado primario
4 V2_nom=120; %Voltaje en el lado secundario
5 a=V1_nom/V2_nom; %Relacion de transformacion
6
7 %Nota: Se considera que el lugar donde se encuentran los parametros del nucleo en el
8 %circuito exacto siempre es en el lado primario
9
10 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
11 %SECCION B:Datos de las pruebas
12 %Prueba circuito abierto
13 Sitio_circuito_abierto='secundario'; %Sitio en donde se realizo la prueba
14 Vvacio=23.54; %Lectura de voltaje
15 Ivacio=0.441; %Lectura de corriente
16 Pvacio=5.2; %Lectura de potencia activa
17 Svacio=Vvacio*Ivacio; %Calculo de la potencia aparente
18 Qvacio=sqrt((Svacio^2)-(Pvacio^2)); %Calculo de la potencia reactiva
19 %Prueba cortocircuito
20 Sitio_cortocircuito='primario'; %Sitio en donde se realiza la prueba
21 Vcc=14; %Lectura de voltaje
22 Icc=0.97; %Lectura de corriente
23 Pcc=6.6; %Lectura de potencia activa
24 Zeq=Vcc/Icc; %Calculo de la impedancia equivalente
25
26 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
27 %SECCION C:Calculo de parametros del circuito equivalente aproximado
28 Rc=(Vvacio^2)/Pvacio; %Resistencia de perdidas en el nucleo
29 Xm=(Vvacio^2)/Qvacio; %Reactancia de magnetizacion
30 Req=Pcc/(Icc^2); %Resistencia equivalente de los devanados
31 Xeq=sqrt((Zeq^2)-(Req^2)); %Reactancia de dispersion equivalente
32
33 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
34 %SECCION D:Refiriendo parametros
35 if Sitio_circuito_abierto=='primario'
36 Rc_p=Rc; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado primario
37 Xm_p=1*Xm; %Reactancia de magnetizacion referida al lado primario
38 Rc_s=Rc_p/a^2; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado secundario
39 Xm_s=Xm_p/a^2; %Reactancia de magnetizacion referida al lado secundario
40 else
41 Rc_s=Rc; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado secundario
42 Xm_s=1*Xm; %Reactancia de magnetizacion referida al lado secundario
43 Rc_p=(a^2)*Rc_s; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado primario
44 Xm_p=(a^2)*Xm_s; %Reactancia de magnetizacion referida al lado primario
45 end
46
47 if Sitio_cortocircuito=='secundario'
48 Req_s=Req; %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado secundario
49 Xeq_s=1*Xeq; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado secundario
50 Req_p=Req_s*a^2; %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado primario
51 Xeq_p=Xeq_s*a^2; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado primario
52 else
53 Req_p=Req; %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado primario
54 Xeq_p=1*Xeq; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado primario
55 Req_s=Req_p/a^2; %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado secundario
56 Xeq_s=Xeq_p/a^2; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado secundario
57 end
58
59 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
60 %SECCION E:Calculo de los parametros del circuito equivalente exacto

```

Tabla 4: Cargas

R [Ω]	RL [Ω]	RC [Ω]
300//600//1200	$(300//600//1200)+j(300//600//1200)$	$(300//600//1200)-j(300//600//1200)$
300//600	$(300//600)+j(300//600)$	$(300//600)-j(300//600)$
300	$300+j300$	$300-j300$
600//1200	$(600//1200)+j(600//1200)$	$(600//1200)-j(600//1200)$
600	$600+j600$	$600-j600$
1200	$1200+j1200$	$1200-j1200$

```

61 Rs=Req_s/2;
62 Rp=Req_p/2;
63 Xs=Xeq_s/2;
64 Xp=Xeq_p/2;
65 Rc=Rc_p;
66 Xm=Xm_p;
67
68 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
69 %SECCION F: Evaluacion del transformador a distintos porcentajes de carga y factores de potencia.
70 % La carga se conecta en el lado de alto voltaje del transformador
71 for magIs=0:0.1:0.6 %Variacion de la magnitud de la corriente, lo que significa variar el porcentaje de la carga
72
73 angulo=-90:1:90;%Variacion del angulo de fase de la corriente fasorial (angulos positivos indican fp
74 ang=angulo*pi/180;
75 Is=(magIs*cos(ang))+1i*(magIs*sin(ang));
76 Es=(V2_nom)+(Is*(Rs+Xs));
77 Ep=Es*a;
78 Ipl=Is/a;
79 Iexc=(Ep/Rc)+(Ep/Xm);
80 Ip=Iexc+Ipl;
81 Vp=(Ip*(Rp+Xp))+Ep;
82
83 %% CHECAR
84
85 RV=100*((abs(Vp)-(V2_nom*a))/(V2_nom*a));
86 n=100*real((V2_nom).*(conj(Is))./real((Vp).*(conj(Ip)))); %Eficiencia
87 %Graficar
88 figure(1)
89 plot(angulo,RV,'LineWidth',1)
90 grid on
91 xlabel('Angulo de desfase entre voltaje y corriente','FontSize',14)
92 ylabel('RV [%]','FontSize',14)
93 legend('0 %','20 %','40 %','60 %','80 %','100 %','120 %');
94 legend boxoff
95 hold on
96 set(gca,'FontSize',14)
97 figure(2)
98 plot(angulo,n,'LineWidth',1)
99 grid on
100 xlabel('Angulo de desfase entre voltaje y corriente','FontSize',14)
101 ylabel('Eficiencia [%]','FontSize',14)
102 legend('0 %','20 %','40 %','60 %','80 %','100 %','120 %');
103 legend boxoff
104 hold on
105 set(gca,'FontSize',14)
106 end

```

3. Medir utilizando el puente de Wheatstone y Multímetro las cargas R, RL y RC que se presentan en la Tabla 4. Se recomienda medir estas cargas al finalizar la Práctica 2, ya que estas mismas serán conectadas al transformador durante la Práctica 3.

Bibliografía Recomendada

- [1] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. y Stephen D. Umans, “Máquinas Eléctricas”, 6° Edición, McGraw Hill.
- [2] Bhag S. Guru, Huseyin R. Hiziroglu, ”Máquinas Eléctricas y Transformadores”, 3° Edición, Oxford University Press, 2003.
- [3] Jimmie J. Cathey, “Máquinas eléctricas: análisis y diseño con Matlab”, McGraw-Hill/Interamericana, 2002.
- [4] Stephen J. Chapman, “Máquinas Eléctricas”, 5° Edición, McGraw-Hill, 2012.
- [5] Jesús Fraile Mora, “Máquinas Eléctricas”, 5° Edición, McGraw-Hill.