

## Laboratorio de Transformadores y Máquinas Síncronas

Clave: 1131073

ÁREA DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Y ELECTROMAGNÉTICA<sup>∇2</sup>

Prof. Felipe González Montañez

e-mail: fjgm@azc.uam.mx

### 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 bajo estudio.

## 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 de alto y bajo voltaje. También dibujar el circuito equivalente exacto.
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. 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 de bajo voltaje del transformador y variarlo desde cero aumentándolo en 5 V hasta llegar a 1.25 veces el voltaje nominal del transformador en lado de alto voltaje (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  $P_{oc}$ .

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 120 VA, 120/24 V.

- 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 de alto voltaje y las siguientes ecuaciones:

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

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

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

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

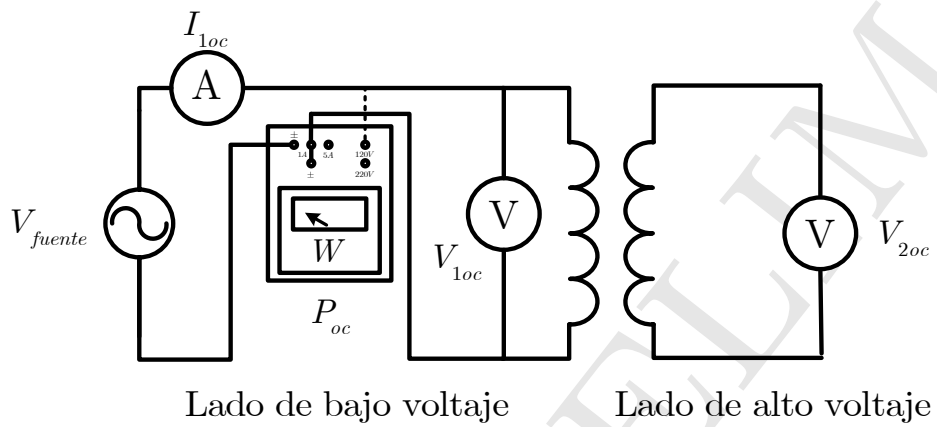
donde:  $X_{mL}$  es la reactancia de magnetización y  $R_{cL}$  es la resistencia de pérdidas en el núcleo. Los subíndices  $L$  indican que ambos parámetros están referidos al lado de bajo voltaje debido a que la prueba se realizó en ese lado.

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

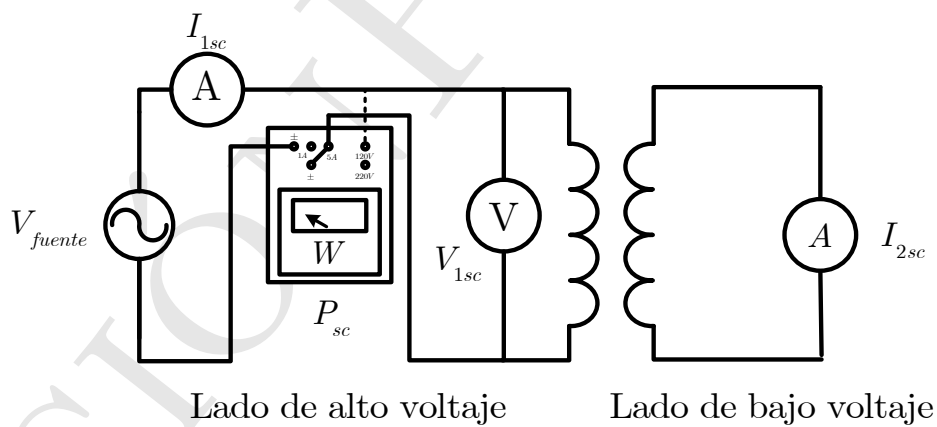
**NOTA: Es importante observar que la magnitud de la corriente  $I_{1oc}$  es menor en comparación con la magnitud de la corriente nominal del transformador en el lado de bajo voltaje.**

## 2. Prueba de cortocircuito.

- 2.1. Armar el circuito mostrado en la Figura 1 (b). Conectar la fuente de alimentación en el lado de alto voltaje del transformador y variar el voltaje desde cero hasta llegar a la corriente nominal del transformador en el lado de bajo voltaje (el cual está en cortocircuito a través del amperímetro



(a) Circuito abierto.



(b) Cortocircuito.

Figura 1: Pruebas al transformador.

**Tabla 2:** Prueba de circuito abierto.

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

$I_{2sc}$ ). 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 de bajo voltaje 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.**

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

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

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

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

**Tabla 3:** Prueba de cortocircuito.

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

#### 4. Actividades

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

1. Construir el circuito equivalente aproximado del transformador referido al lado de alto voltaje y de bajo voltaje. También trazar el circuito equivalente exacto.
2. Utilizando el circuito equivalente exacto del transformador, realizar cálculos de *Regulación de Voltaje*  $R_V$  % y *Eficiencia*  $\eta$  para distintas cargas y factores de potencia mediante el programa de MATLAB® que se presenta.

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 transformado 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.

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

```

1 clear;
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %SECCION A: Datos nominales del transformador
4 S=120;           %Potencia aparente del transformador
5 V1_nom=125;     %Voltaje en el lado de alta (primario)
6 V2_nom=24;     %Voltaje en el lado de baja (secundario)
7 a=V1_nom/V2_nom; %Relacion de transformacion
8
9 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
10 %SECCION B: Datos de las pruebas
11 %Prueba circuito abierto
12 Sitio_circuito_abierto='baja'; %Sitio en donde se realizo la prueba
13 Vvacio=23.54; %Lectura de voltaje
14 Ivacio=0.441; %Lectura de corriente
15 Pvacio=5.2; %Lectura de potencia activa
16 Svacio=Vvacio*Ivacio; %Calculo de la potencia aparente
17 Qvacio=sqrt((Svacio-(Pvacio)); %Calculo de la potencia reactiva
18 %Prueba cortocircuito
19 Sitio_cortocircuito='alta'; %Sitio en donde se realiza la prueba
20 Vcc=14; %Lectura de voltaje

```

```

21 Icc=0.97; %Lectura de corriente
22 Pcc=6.6; %Lectura de potencia activa
23 Zeq=Vcc/Icc; %Calculo de la impedancia equivalente
24
25 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
26 %SECCION C:Calculo de parametros del circuito equivalente aproximado
27 Rc=(Vvacio/Pvacio; %Resistencia de perdidas en el nucleo
28 Xm=(Vvacio/Qvacio; %Reactancia de magnetizacion
29 Req=Pcc/Icc; %Resistencia equivalente de los devanados
30 Xeq=sqrt((Zeq-Req); %Reactancia de dispersion equivalente
31
32 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
33 %SECCION D:Refiriendo parametros
34 if Sitio_circuito_abierto=='baja'
35     RcL=Rc; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado de bajo voltaje
36     XmL=1*i*Xm; %Reactancia de magnetizacion referida al lado de bajo voltaje
37     RcH=RcL/a; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado de alto voltaje
38     XmH=XmL/a; %Reactancia de magnetizacion referida al lado de alto voltaje
39 else
40     RcH=Rc; %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado de alto voltaje
41     XmH=1*i*Xm; %Reactancia de magnetizacion referida al lado de alto voltaje
42     RcL=(a*RcH); %Resistencia de perdidas en el nucleo referida al lado de bajo voltaje
43     XmL=(a*XmH); %Reactancia de magnetizacion referida al lado de bajo voltaje
44 end
45
46 if Sitio_cortocircuito=='alta'
47     ReqH=Req; %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado de alto voltaje
48     XeqH=1*i*Xeq; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado de alto voltaje
49     ReqL=ReqH/a; %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado de bajo voltaje
50     XeqL=XeqH/a; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado de bajo voltaje
51 else
52     ReqL=Req; %Resistencia equivalente de los devanados referida al bajo de alto voltaje
53     XeqL=1*i*Xeq; %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado de bajo voltaje
54     ReqH=(a*ReqL); %Resistencia equivalente de los devanados referida al lado de alto voltaje
55     XeqH=(a*XeqL); %Reactancia de dispersion equivalente referida al lado de alto voltaje
56 end
57
58 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
59 %SECCION E:Calculo de los parametros del circuito equivalente exacto
60
61 R1=ReqH/2; %Resistencia del devanado de alto voltaje
62 R2=ReqL/2; %Resistencia del devanado de bajo voltaje
63 X1=XeqH/2; %Reactancia de dispersion del devanado de alto voltaje
64 X2=XeqL/2; %Reactancia de dispersion del devanado de bajo voltaje
65
66 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
67 %SECCION F: Evaluacion del transformador a distintos porcentajes de carga y factores de potencia.
68 % La carga se conecta en el lado de alto voltaje del transformador
69
70 for magI1=0:0.2:1.2 %Variacion de la magnitud de la corriente, lo que significa variar el porcentaje de ...
    la carga.
71 angulo=-90:1:90; %Variacion del angulo de fase de la corriente fasorial (angulos positivos indican fp ...
    en (+) y (-)).
72 ang=angulo*pi/180; %Conversion del angulo de la corriente fasorial a radianes.
73 I1=(magI1*cos(ang))+i*(magI1*sin(ang)); %Corriente fasorial en el lado de baja (secundario).
74 E1=(V1_nom)+(I1*(R1+X1)); %Voltaje inducido en el transformador.
75 E2=E1/a; %Voltaje inducido en el transformador en el lado de alto voltaje (corresponde al ...
    voltaje aplicado.
76 Ip=I1*a; %Corriente primaria
77 Iexc=(E2/RcH)+(E2/XmH); %Corriente de excitacion
78 I2=Iexc+Ip; %Corriente I1
79 V2=(I2*(R2+X2))+E2; %Voltaje primario
80 RV=100*((abs(V2)*a)-(V1_nom))/(V1_nom); %Regulacion de voltaje.
81 n=100*real((V1_nom).*(conj(I1))./real((V2).*(conj(I2)))); %Eficiencia
82
83 %Graficar
84 figure(1)
85 plot(angulo,RV,'LineWidth',1)
86 grid on
87 xlabel('Angulo de desfase entre voltaje y corriente','FontSize',14)
88 ylabel('RV [%]','FontSize',14)
89 legend('0 %','20 %','40 %','60 %','80 %','100 %','120 %');
90 legend boxoff
91 hold on
92 set(gca,'FontSize',14)
93
94 figure(2)
95 plot(angulo,n,'LineWidth',1)
96 grid on
97 xlabel('Angulo de desfase entre voltaje y corriente','FontSize',14)
98 ylabel('Eficiencia [%]','FontSize',14)
99 legend('0 %','20 %','40 %','60 %','80 %','100 %','120 %');
100 legend boxoff

```

**Tabla 4:** Cargas

$R$ [ $\Omega$ ]	$R_L$ [ $\Omega$ ]	$R_C$ [ $\Omega$ ]
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	$1200+j1200$	$1200-j1200$

```

101 hold on
102 set(gca,'FontSize',14)
103 end

```

3. Medir utilizando el puente de Wheatstone, Multímetro y medidor RCL las cargas  $R$ ,  $R_L$  y  $R_C$  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.

[h!]

### 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.