

5.5 DIAGRAMAS FASORIALES DEL TRANSFORMADOR REAL

xxx

La palabra "fasor" se define como una cantidad cuya magnitud puede expresarse por un número complejo. Reemplaza al término "vector", utilizado antiguamente para designar la representación gráfica de tensiones, corrientes, etc., alternas, con objeto de que la palabra vector pueda reservarse para designar magnitudes dirigidas, como fuerzas y velocidades. Análogamente, el término "diagrama de fasores" substituye al término "diagrama vectorial" utilizado anteriormente. (Véase: American Standards Association ASA Z10.8 Par. 9).

xxx

El transformador es un dispositivo que sólo funciona con valores variables de voltaje aplicado. En la práctica, los transformadores de potencia trabajan generalmente con voltajes de C.A. senoidal. Como se demostró en los análisis desarrollados en el apartado 5.4.2, si la onda de voltaje aplicado es senoidal, la forma de onda del flujo será también senoidal. Se afirmó también, sin demostración, que aunque la onda de la corriente de excitación no es senoidal, puede descomponerse en la suma aproximada de dos ondas senoidales desfasadas 90° , las corrientes de magnetización y de pérdidas de núcleo.

Pueden entonces representarse estas tres variables, voltajes, flujos y corrientes en un diagrama fasorial, en el cual queden manifiestas sus relaciones de fase.

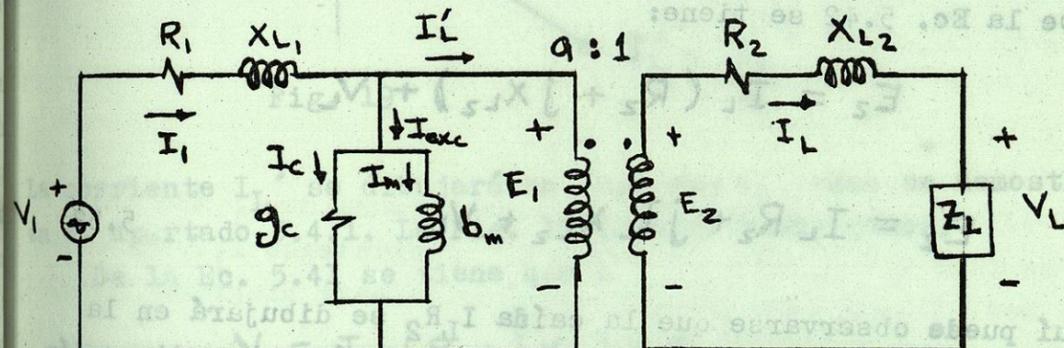
Se presupone que el lector ha cursado ya un semestre de circuitos eléctricos de C.A., por lo cual no se entrará en los pormenores del fundamento matemático del análisis fasorial. Se aclarará simplemente, que una onda sinusoidal puede ser representada en un diagrama rectangular, por medio de un radio giratorio, denominado FASOR (o vector giratorio; como lo definen algunos autores) que tiene una longitud igual al valor eficaz de la onda sinusoidal y que es representado a un ángulo determi-

nado, con respecto a una referencia fija. Para que un conjunto de ondas sinusoidales pueda ser representado en un solo diagrama fasorial, deben ser todas de la misma frecuencia. La referencia fija se coloca usualmente sobre el eje positivo de los números reales (eje positivo de las " X ", en un plano cartesiano) y los ángulos de desplazamiento en sentido de las manecillas del reloj se consideran negativos o en atraso, mientras que los ángulos contrarreloj se consideran positivos o en adelanto.

Se desarrollarán los diagramas fasoriales del transformador a partir de los siguientes datos conocidos:

1. Los parámetros del circuito equivalente.
2. Las condiciones de la carga.
3. Las magnitudes de I_c e I_m .
4. La razón de transformación "a".

Primer paso: el circuito equivalente:

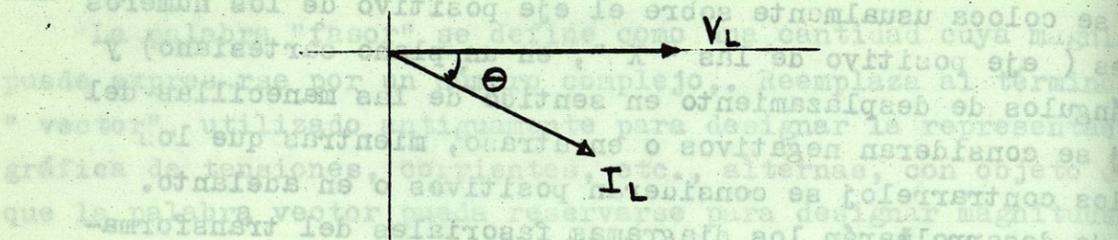


Como se mencionó en el apartado 5.4.1, generalmente se escoge el voltaje de la carga como fasor de referencia:



Se dibuja a escala con una longitud proporcional a su valor eficaz. Si la carga es de tipo inductivo-resistivo (usualmente se le denomina de f.p. en atraso), la corriente I_L se dibuja retra-

sada un ángulo θ del voltaje V_L . El valor de θ es igual al \cos^{-1} de f.p.:



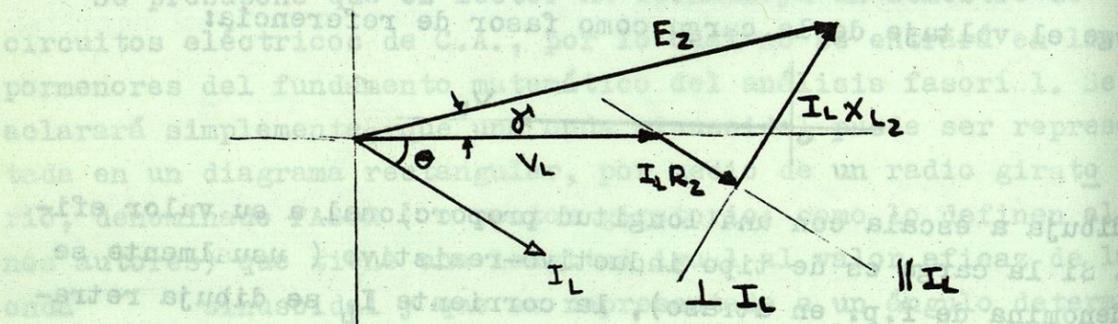
Se dibuja I_L con una longitud igual a su valor eficaz, en la escala seleccionada para corrientes. En el desarrollo de la presente sección, utilizaremos la siguiente convención: los voltajes se representarán con flechas de punta llena (\longrightarrow); las corrientes se representarán con flechas de punta llana (\longrightarrow) y el flujo será representado por una flecha de punta estilizada (\longrightarrow).

De la Ec. 5.42 se tiene:

$$E_2 = I_L (R_2 + jX_{L2}) + V_L$$

$$E_2 = I_L R_2 + jI_L X_{L2} + V_L \quad 5.52$$

De aquí puede observarse que la caída $I_L R_2$ se dibujará en la dirección de I_L , y la caída $jI_L X_{L2}$ se dibujará en una dirección 90° adelante de I_L . Agregando la Ec. 5.52 al diagrama fasorial:



La Fig. 18 representa, entonces, el diagrama fasorial del secundario con carga R-L.

Se desarrollará ahora el diagrama fasorial del primario. Se dibuja inicialmente el fasor E_1 , del cual se demostró está en fase con el fasor E_2 , para los sentidos de voltajes tomados en base a la convención del apartado 5.3.

Según la Ec. 5.46, el fasor E_1 se dibujará a un ángulo con respecto a la referencia y de una magnitud igual a "a" veces la magnitud de E_2 :

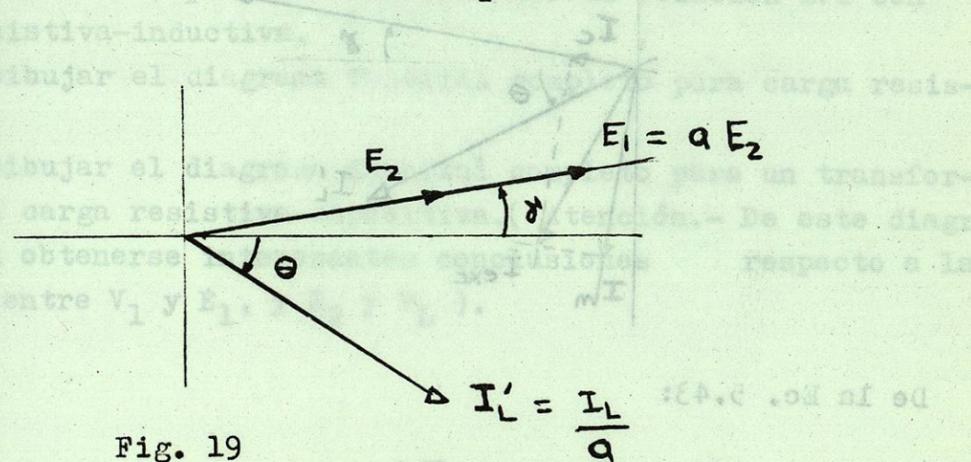


Fig. 19

La corriente I_L' se dibujará en fase con I_L , como se demostró en el apartado 5.4.1. La Fig. 19 ilustra estos pasos.

De la Ec. 5.41 se tiene que:

$$V_1 = I_1 (R_1 + jX_{L1}) + E_1$$

$$V_1 = I_1 R_1 + jI_1 X_{L1} + E_1 \quad 5.53$$

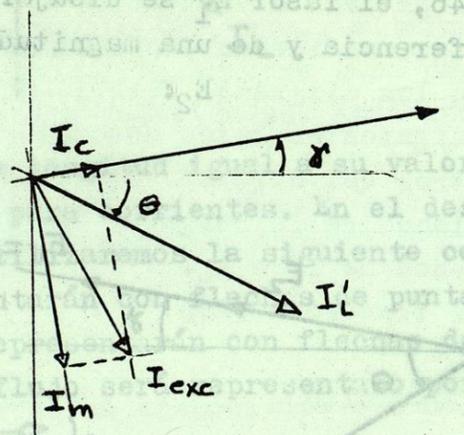
De la rama de excitación, se tiene que:

$$I_{exc} = E_1 Y_{exc}$$

$$I_{exc} = E_1 (g_c - jb_m) = E_1 g_c - jE_1 b_m \quad 5.54$$

Que indica que la corriente de excitación puede descomponerse en

una componente en la dirección de E_1 , que resulta ser I_c , y en una componente 90° atrás de E_1 , que resulta ser I_m (se recuerda al lector que multiplicar a un fasor por $-j$ equivale a girarlo 90° hacia atrás). El diagrama presenta entonces la siguiente disposición:

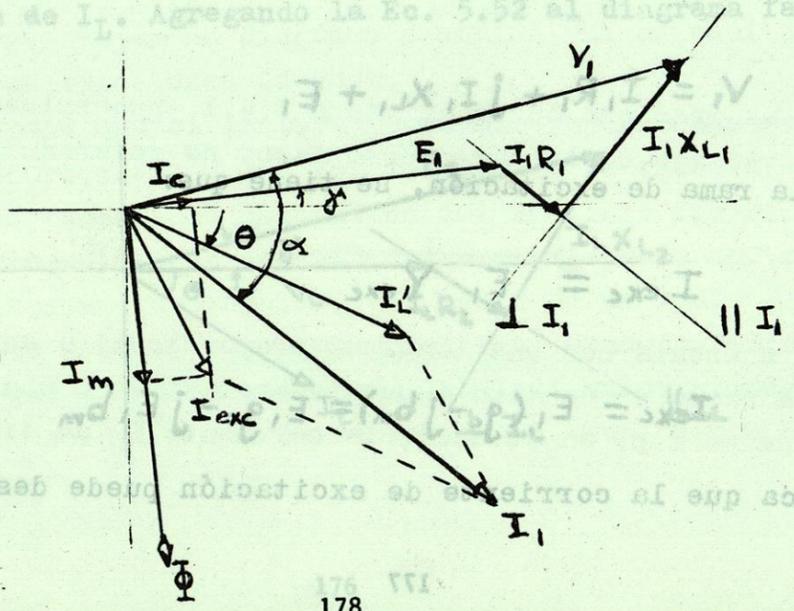


De la Ec. 5.43:

$$I_1 = I_{exc} + I'_1$$

5.55

La Ec. 5.53 expresa al voltaje V_1 como la suma de E_1 más una caída en fase con I_1 más una caída 90° adelante de I_1 . Agregando las Ecs. 5.53 y 5.55 se obtiene el siguiente diagrama fasorial del primario:



El flujo Φ se dibuja en la dirección de I_m , según se definió en la Fig. 15. El ángulo α es el ángulo de atraso de la corriente de entrada I_1 con respecto al voltaje de entrada V_1 . Puede observarse que dicho ángulo tiende a ser mayor que el ángulo θ entre V_L e I_L .

EJERCICIO 5.2

- Dibujar el diagrama fasorial completo (primario y secundario a la vez) para un transformador de relación 1:1 con carga resistiva-inductiva.
- Dibujar el diagrama fasorial completo para carga resistiva.
- Dibujar el diagrama fasorial completo para un transformador con carga resistiva-capacitiva. (Atención.- De este diagrama pueden obtenerse interesantes conclusiones respecto a la relación entre V_1 y E_1 , y E_2 y V_L).