

MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES

CAPITULO 1: FUNDAMENTOS ELECTROMECHANICOS

PREGUNTAS

1-1

a. Mencionar las cuatro divisiones principales de un sistema típico de potencia de ca.

- Generación.
- Transmisión.
- Distribución.
- Utilización.

b. Definir cada una de las divisiones que se mencionaron en la parte (a).

La Generación. – es el proceso de convertir energía de alguna forma alterna (mecánica, química, térmica, radiante, nuclear, etc.) en energía eléctrica mediante un proceso que se conoce como *conversión de energía electromagnética*.

La transmisión. – es el proceso mediante el cual la energía se transfiere, en general a distancias relativamente grandes, mediante líneas de transmisión, desde el punto de generación hasta determinada zona donde se ha de distribuir y emplear la energía.

La distribución. – es el proceso mediante el cual se suministra energía, en forma local, a diversas estaciones de distribución en una zona dada, desde una o más estaciones de transmisión.

La utilización. – es el proceso mediante el cual la energía eléctrica se conduce al punto en el cual se *consume*, es decir, se *convierte* de energía eléctrica a alguna otra forma como calor, luz, energía mecánica o química.

1-2

a. Dar el significado de cada una de las siguientes siglas: EAV, AV, MV y BV.

EAV. – Son las siglas de la palabra *Extra High Voltage*, es decir voltaje extra alto.

AV. – Alto Voltaje.

MV. – Voltaje medio.

BV. – Bajo voltaje.

b. Mencionar las limitaciones de voltaje de cada uno de ellos.

EAV. – En general ente 240 kV y 800kV.

AV. – En general de 100 kV a no más de 230 kV.

MV. – Usualmente desde 1 kV a menos de 100 kV.

BV. – En general menos de 1000 V.

1-3

a. Hacer una lista de tres tipos de transformadores, clasificándolos por su capacidad en voltamperes.

- Transformadores de potencia.
- Transformadores de distribución.
- Transformadores de utilización.

b. Definir el rango de voltamperes para cada uno de ellos.

Transformadores de potencia: 250KVA – 1000KVA

Transformadores de distribución: 20KVA – 250KVA

Transformadores de utilización: < 20KVA

1-4

Describir cuatro efectos de conversión de energía electromecánica.

- **Una fuerza de atracción.** – que existe entre las placas (con cargas opuestas) de un capacitor. Es la naturaleza mecánica; ya que si se colocara un dieléctrico entre las placas, tendería a moverse a la parte del campo con mayor densidad.
- **El principio de reluctancia.** – Se ejerce fuerza mecánica sobre una muestra de material magnético ubicado en un campo magnético. Esta fuerza tiende a actuar sobre el material de tal forma que lo lleva a donde el campo magnético es más intenso. Si el material es irregular, tenderá a alinearse en tal forma que se produzca una reluctancia mínima y como consecuencia una densidad máxima de flujo.
- **Inducción Electromagnética.** – Es el movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor de electricidad para generar una FEM.
- **Fuerza Electromagnética.** – Es la que se produce cuando el conductor, portador de corriente, se coloque en un campo magnético en una posición tal que exista una componente de la longitud activa del conductor perpendicular al campo.

1-5

Enunciar la ley de Faraday de la inducción electromagnética.

a. En palabras propias del lector.

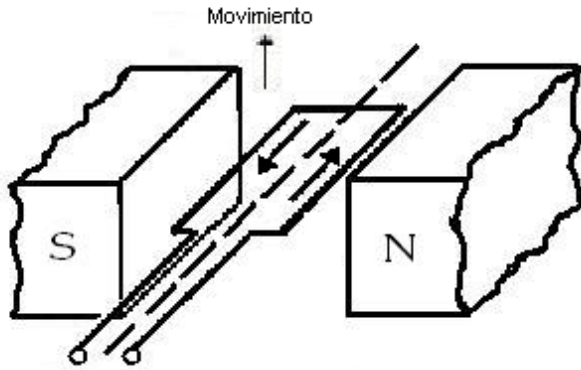
La fuerza electromotriz inducida en una espira es proporcional a las variaciones de flujo magnético en el tiempo, y a su vez es proporcional a la rapidez con que se cambia el flujo en una espira.

b. En términos de una ecuación, definiendo todos los factores en ella.

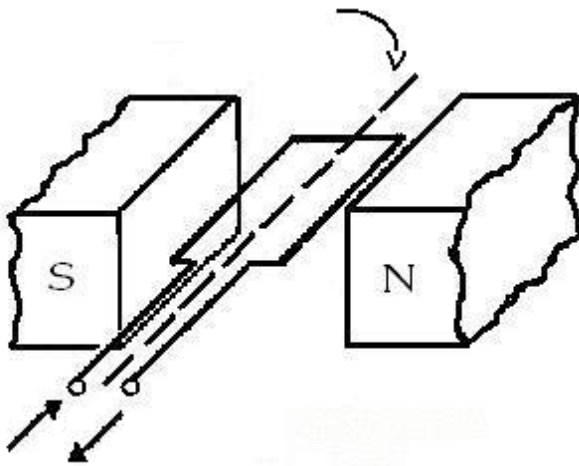
1-6

Trazar un diagrama de una bobina de una espira girando en un campo magnético uniforme. Indicar

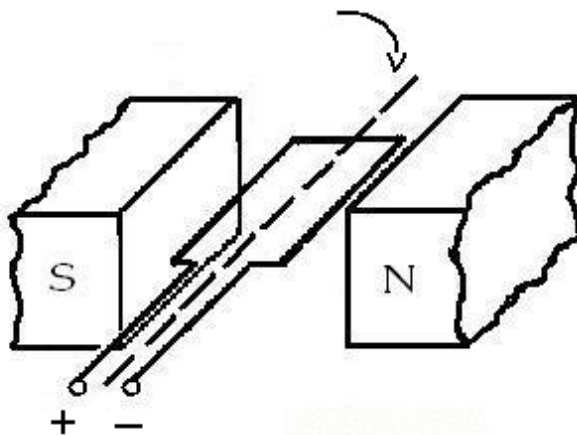
a. La dirección de la FEM inducida en cada lado de la bobina.



b. La dirección de flujo de la corriente si se conecta una carga a las terminales.



c. La polaridad de las terminales con respecto a la carga.



1-7

Para el diagrama que se dibujó en la pregunta 1-6, explicar, comenzando en la terminal positiva,

a. La dirección de flujo de la corriente dentro de la bobina.

Entra por el polo negativo y sale por el polo positivo, en sentido antihorario.

b. La dirección de flujo de la corriente en la carga.

Entra por el positivo y sale por el negativo.

c. Comparar lo anterior con el flujo de corriente dentro y fuera de una batería que suministra carga y explicarlo.

Considerar que el conductor se trata como una fuente de FEM, por ejemplo, una batería, si se conecta una carga externa a los terminales, la corriente pasaría de la terminal positiva, a través de la carga y regresaría a la terminal negativa de la fuente.

Es decir, por afuera de la batería la corriente circula de (+) a (-) y por dentro de (-) a (+), ya que dentro se comporta como una fuente y por fuera a la carga va de (+) a

(-).

1-8

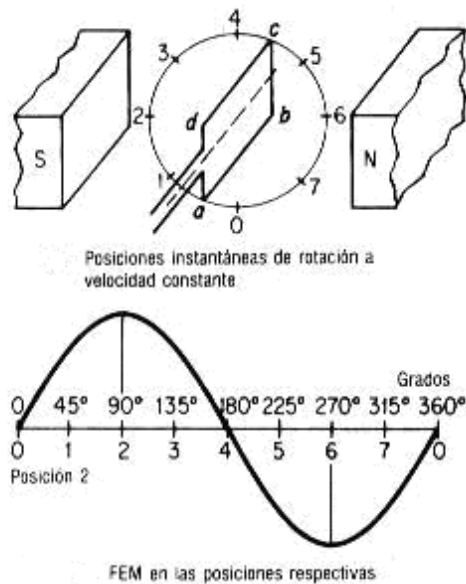
Explicar

a. Por qué se debe inducir una ca en un conductor que gira en un campo magnético bipolar.

El conductor al girar en el campo corta líneas de flujo con una variación de 0 a 90° y de 0 a 90°, completando así varios períodos con lo que se produce una onda sinusoidal y por tanto AC.

b. Por qué la onda que se produce es senoidal.

Debido a la variación de la bobina según su posición, tal como se muestran en los gráficos produce una variación 0 a 90° y de 0 a -90°.



1-9

Si se conecta una carga externa a las escobillas de un generador con anillo de gramme,

a. Hacer una lista de cuatro factores que determinan la corriente que pasa por la carga.

- FEM.
- Trayectoria.
- Resistencia de carga.
- Resistencia interna de las trayectorias del devanado de armadura.

b. ¿Cuál es la relación entre la corriente, la trayectoria y la corriente de carga?

La corriente total en la rama es la suma de todas las corrientes presentes en la rama:

$$I_c = I_s + I_n$$

1-10

a. Con las tablas 1-1 y 1-2, explicar por qué la capacidad de potencia de cada bobina determina la capacidad de potencia de la dínamo, independientemente del método de conexión.

La potencia es la misma a pesar de que el número de conductores, trayectoria, número de trayectorias, voltaje nominal entre terminales de la dínamo, varíe, esto indica que la potencia no depende de estos valores.

Tabla 1-1 Efecto del número de polos en las relaciones de voltaje, en la corriente y en la potencia de una dínamo						
y en la potencia de una dínamo						
					Número de polos	
Parámetro				2		4
Número de conductores de la armadura			40		40	
Número de trayectorias			2		4	
Número de conductores por trayectoria			20		10	
FEM por trayectoria (volts)			129,6		64,8	
Corriente por trayectoria (amperes)			10		10	
Voltaje nominal entre terminales de la dínamo (V)				127,6		63,8
Capacidad nominal de corriente de armadura de la dínamo (A)				20		40
Potencia de la dínamo (watts)					2552	
					2552	

Tabla 1-2 Efecto del número de trayectorias paralelas en una armadura			
Trayectorias	Voltaje	Corriente	Potencia
en paralelo	nominal (V)	nominal (A)	nominal (W)
2	600	20	12000
4	300	40	12000
6	200	60	12000
8	150	80	12000
10	120	100	12000

20	60	200	12000
----	----	-----	-------

Por ejemplo si capacidad de voltaje y corriente de cada conductor en una armadura dada son 10 V y 10 A, respectivamente. La armadura contiene 120 conductores, conectados en varios números de trayectorias paralelas, *se observa que la potencia esta fija:*

$$120 \text{ conductores } 100 \text{ w/conductor}$$

pero la capacidad de voltaje disminuye en la misma proporción en la que aumenta la capacidad de corriente.

b. Explicar por qué el tamaño físico es una indicación aproximada de la capacidad de potencia de la máquina eléctrica.

El único modo de aumentar la potencia en una dinamo es de acuerdo a las consideraciones precedentes, es decir empleando una armadura más grande que tenga más conductores y bobinas de mayor diámetro

1-11

a. Escribir la ecuación 1-5a en forma algebraica para determinar el número de trayectorias,

b. Repetir (a) arriba, para el número de polos, P.

$$P = \frac{E_g}{\phi} \frac{60}{Z} \frac{a}{S} 10^{-8}$$

c. Si para cualquier dinamo dada ya construida el número de conductores, Z, el número de polos, P y el número de trayectorias a, están fijos, formular la ecuación 1-5 en términos de las variables implicadas.

$$E_g = K \frac{\phi}{60} \frac{S}{Z} 10^{-8} V$$

pero;

$$K = \frac{Z}{a} \frac{P}{S} = cte$$

1-12

Formular la expresión que exprese la relación entre la fuerza electromagnética sobre un conductor portador de corriente en un campo magnético empleando

a. Unidades SI.

$$e = B L v \quad 1 \frac{V}{Wb}$$

volts (V)

b. Unidades inglesas.

$$e = B L v 10^{-8} \frac{V s}{l n e a}$$

volts (V)

c. Unidades cgs.

$$F = \frac{B I l}{10} \text{ dinas}$$

1-13

Empleando como ejemplo la figura 1-15, explicar la universalidad de los enunciados de que la acción de motor siempre viene acompañada por la acción de generador y, viceversa, que la acción de generador siempre viene acompañada por la acción de motor.

Si, siempre que se presenta la acción de motor, se desarrolla también la acción de generador. La acción de generador se muestra en la fig. a 1-15b en la que la fuerza mecánica mueve a las espiras hacia arriba induciendo una FEM en la dirección indicada unas entrando y otras saliendo. Cuando fluye una corriente como resultado de esta FEM, habrá un conjunto de espiras portadoras de corriente existente en un campo magnético; por lo tanto se desarrolla la acción de motor. Representada como una dirección opuesta como se especifica en el gráfico, la fuerza desarrollada como resultado de la acción de motor se opone al movimiento que la produjo. Se puede entonces categóricamente que la acción de generador y la acción de motor se representan simultáneamente en toda máquina eléctrica rotativa. Por tanto la misma máquina puede hacerse trabajar ya sea como motor, como generador, o como ambas cosas.

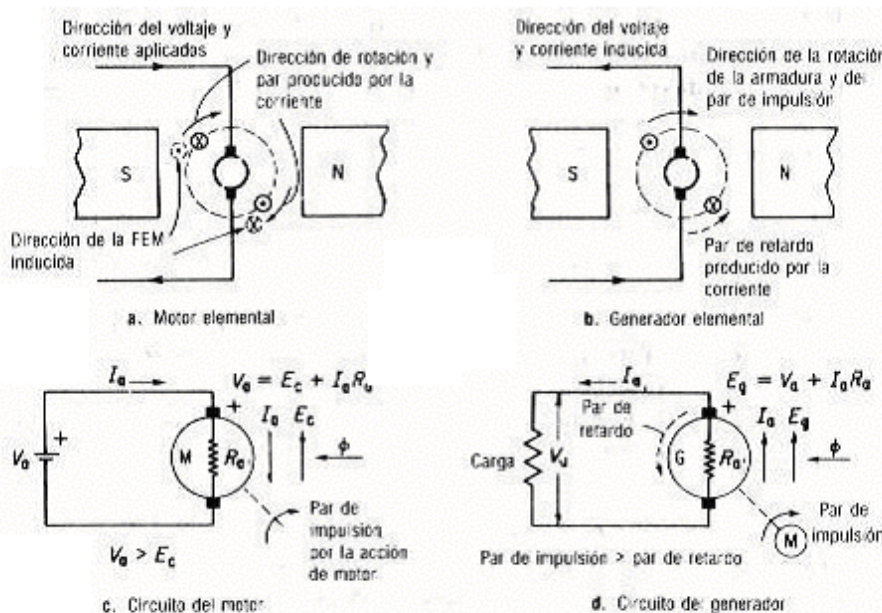


Figura 1-15 Acción elemental de motor en comparación con la acción de generador.

1-14

- **Emplear la ecuación 1-8 y explicar por qué es imposible que la fuerza contraelectromotriz iguale al voltaje aplicado a un motor.**

volt (V).

El voltaje generado nunca puede ser igual a la fuerza contraelectromotriz, debido q que no se puede conseguir el 100% de eficiencia ya que en todo el recorrido siempre existen pérdidas, como por ejemplo en la resistencia del conductor.

- **Con la ecuación 1-9, explicar bajo qué condiciones son iguales el voltaje generado, E_g y el voltaje a través de la armadura, V_a , para un generador.**

El voltaje generado únicamente podría ser igual el voltaje terminal, en el caso de no existir pérdidas durante el proceso, es decir se estaría hablando de una máquina ideal, que en la práctica no existe.

PROBLEMAS

- **Una bobina de una espira de alambre está enlazada por un flujo magnético de 4×10^6 líneas. Si el flujo disminuye a cero en 100ms, calcular la FEM promedio que se induce en la espira.**

Datos:

$$\phi = 4 \times 10^6 \text{ l nea.}$$

$$t = 100 \text{ ms}$$

sistema inglés

Nota: en el sistema inglés hay: $10^{-8} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{l nea}}$

$$E = \frac{\phi}{t} 10^{-8}$$

$$E = \frac{4 \times 10^6}{100 \times 10^{-3}} \frac{\text{l neas}}{\text{s}} 10^{-8}$$

$$E = 0,4 \text{ V}$$

- **Si una bobina de varias espiras de alambre es llevada al eslabonamiento de flujo con un campo magnético de 50 mWb en un tiempo de 200ms, calcular**

- El voltaje inducido en cada espira.
- El voltaje de la bobina, si ésta tiene 500 espiras.

Datos:

$$\phi = 50 \text{ mWb}$$

$$t = 200 \text{ ms}$$

N = número de espiras.

Sistema SI

Nota: en el sistema SI hay: $1 \frac{V \cdot s}{Wb}$

a.

$$E = \frac{\Phi}{t}$$

$$E = \frac{50 \times 10^{-3} \frac{Wb}{s}}{200 \times 10^{-3} \frac{s}{Wb}} \frac{Vs}{Wb}$$

$$E = 0,25 \frac{V}{vuelta}$$

b.

$$E = N \frac{\Phi}{t}$$

$$E = 500 \frac{50 \times 10^{-3} \frac{Wb}{s}}{200 \times 10^{-3} \frac{s}{Wb}} \frac{Vs}{Wb}$$

$$E = 125V$$

- El conductor que se muestra en la figura 1-2 tiene una longitud activa de 6 pulgadas. Si la densidad de flujo es 15000 líneas/pulg² y si el conductor tiene una velocidad uniforme de 50 pulgadas por segundo, calcular el voltaje, promedio e instantáneo, inducido en el conductor cuando éste se mueve a través del campo en
- Un ángulo de 90°
- Un ángulo de 60°, con respecto al campo de referencia.

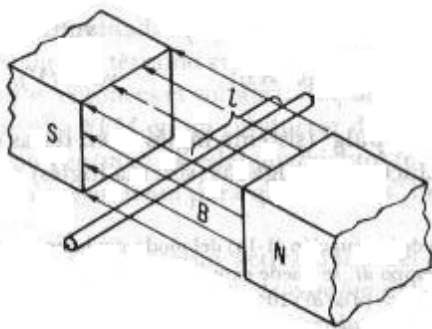


FIGURA 1-2

Datos:

$$l = 6 \text{ pul}$$

$$B = 150000 \text{ líneas/pulg}^2$$

$$v = 50 \text{ pul/s}$$

a.

$$e = Blv \sin(\theta) \cdot 10^{-8}$$

$$e = 150000 \frac{l \text{ neas}}{\text{pul}^2} \cdot 6 \text{ pul} \cdot 50 \frac{\text{pul}}{s} \sin(90) \cdot 10^{-8}$$

$$e = 0,45V$$

b.

$$e = Blv \sin(\theta) \cdot 10^{-8}$$

$$e = 150000 \frac{l \text{ neas}}{\text{pul}^2} \cdot 6 \text{ pul} \cdot 50 \frac{\text{pul}}{s} \sin(60) \cdot 10^{-8}$$

$$e = 0,3897V$$

- El conductor que aparece en la figura 1-2 tiene una longitud activa igual a 0.15 m. La densidad de flujo es 1.6 tesla (o sea, 1.6 Wb/m²), y la velocidad del conductor es 2m/s. Si la velocidad es uniforme, calcular el voltaje promedio e instantáneo inducido en el conductor.
- Cuando θ es 90°.
- Cuando θ es 75°.

Datos:

$$l = 0,15m$$

$$B = 1,6Wb/m^2$$

$$v = 2m/s$$

a.

$$e = Blv \sin(\phi)$$

$$e = 1,6 \frac{Wb}{m^2} \cdot 0,15m \cdot 2 \frac{m}{s} \sin(90)$$

$$e = 0,48 \frac{Wb}{s} \cdot \frac{V \cdot s}{Wb}$$

$$e = 0,48V$$

b.

$$e = Blv \sin(\phi)$$

$$e = 1,6 \frac{Wb}{m^2} \cdot 0,15m \cdot 2 \frac{m}{s} \sin(75)$$

$$e = 0,4636 \frac{Wb}{s} \cdot \frac{V \cdot s}{Wb}$$

$$e = 0,4636V$$

- Un conductor único de 1m de longitud se mueve perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 25000 gauss (maxwells/cm²) a una velocidad uniforme de 15 m/s. Calcular, empleando unidades inglesas,

- La FEM instantánea inducida en el conductor.
- El voltaje promedio inducido en el conductor.

Datos:

$$l = 1m$$

$$B = 25000 \text{ gauss}$$

$$v = 15 \text{ m/s}$$

a.

$$l = 1m \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \frac{1 \text{ pul}}{2,54 \text{ cm}} = 39,37 \text{ pul}$$

$$B = 25000 \frac{Mx}{cm^2} \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pul}} \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pul}} = 161290 \frac{Mx}{pul^2}$$

$$v = 25 \frac{m}{s} \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \frac{1 \text{ pul}}{2,54 \text{ cm}} = 984,25 \frac{pul}{s}$$

$$e = B l v 10^{-8}$$

$$e = 161290 \frac{Mx}{pul^2} 39,37 \text{ pul} 984,25 \frac{pul}{s} 10^{-8}$$

$$e = 62,5V$$

b.

$$e = 62,5V$$

- Repetir las partes del problema 1–5 empleando unidades SI.

Datos:

$$l = 1m$$

$$B = 25000 \text{ gauss}$$

$$v = 15 \text{ m/s}$$

a.

b.

- Una bobina mide 12 pulgadas por 18 pulgadas, y su eje es paralelo a un campo magnético uniforme de 5000 líneas/pulg². La bobina tiene 20 vueltas y su eje pasa por el centro de su dimensión más corta. La bobina gira sobre su eje de modo que se pone perpendicular al campo magnético uniforme (una rotación

de 90°) en 0.1 s. Calcular

- *La FEM inducida promedio en un cuarto de vuelta (de 0° a 90°).*
- *La FEM instantánea inducida en la posición 0° (original), al instante de ponerse en movimiento la bobina.*
- *La FEM instantánea inducida en la posición de 90°, el eje perpendicular al campo magnético.*
- *La FEM promedio inducida si la bobina gira continuamente a una velocidad de 20 rps.*

a.

b.

c.

d.

- *El voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético uniforme es 25 V cuando la velocidad es 60 cm/s. Calcular la FEM inducida cuando*

- *El flujo del campo aumenta en 15 por ciento.*
- *La velocidad disminuye en 30 por ciento.*
- *La velocidad aumente 20 por ciento y el flujo se reduce 10 por ciento.*

a.

Al aumentar el flujo del campo, aumentará el voltaje inducido.

b.

Si disminuye la velocidad, disminuye el voltaje inducido.

c.

- *El flujo por polo en un generador de dos polos es 10×10^6 líneas. Está impulsado a una velocidad de 1500 rpm. Para inducir un voltaje de 20 V/bobina, calcular*
- *El tiempo en que se completa una revolución y un cuarto de revolución, que es el tiempo para pasar desde cero al flujo máximo por polo.*
- *En número de vueltas en serie por bobina, empleando la ecuación (1-1a).*
- *Comprobar la parte (b) por medio de la ecuación (1-4a).*

Datos:

a.

en un cuarto de revolución

en una revolución:

b.

c.

- *Una armadura que tiene 5 espiras por bobina gira a una velocidad angular igual a 200 rad/s en un campo uniforme de 30 mWb de flujo. Calcular el voltaje promedio que se genera en la bobina.*

Datos:

- *Una armadura que tiene 20 bobinas en serie entre las escobillas gira a una velocidad angular igual a 188.5 rad/s en un campo uniforme de 33.3 mWb y desarrolla un voltaje de 240 V entre escobillas. Calcular*
- *El voltaje promedio generado por bobina*
- *El número de vueltas en serie por bobina*

Datos:

20 bobinas entre escobillas

a.

b.

- *El flujo por polo en un generador de cuatro polos es 10×10^6 líneas es impulsado a una velocidad de 1500 rpm. Para inducir un voltaje de 20 V/bobina, calcular*
- *El tiempo en que se completa un octavo de revolución (tiempo empleado en ir de cero al flujo máximo por polo).*
- *El número de espiras en serie usando las ecuaciones (1-1) y (1-5a), respectivamente.*
- *Explicar la diferencia en las espiras en serie necesarias para los problemas 1-9b y 1-12b, respectivamente.*
- *El número de conductores que se necesitan entre escobillas para generar 120 V.*

a.

b.

2 conductores = 1 espira

c.

La diferencia de espiras en los problemas 1-9b y 1-12b, se deben al número de polos empleados según el caso.

d.

12 conductores

- *Dado un generador que tiene 1 espira/bobina, cuatro polos, cuatro trayectorias, un flujo por polo igual a 10×10^6 líneas y una velocidad de 1500 rpm, calcular*
- *El número de conductores conectados en serie en la armadura completa, necesarios para producir un voltaje de 120 V entre escobillas.*
- *El número de conductores conectados en serie por trayectoria; compararlo con lo obtenido en el problema 1-12d.*

- **Hacer la diferencia entre las ecuaciones (1-4a) y (1-5a) sobre la base de la comparación en el punto anterior.**

Datos:

a.

b.

número de conductores =

Se obtiene el mismo resultado que en el problema 12-d.

c.

Con la ecuación 1-4a, nos es posible encontrar el voltaje promedio inducido en el devanado de armadura, al igual que en la ecuación 1-5a se calcula la FEM promedio entre escobillas, lo que implica la similitud de los resultados obtenidos.

Ecuación (1-4a)

Ecuación (1-5^a)

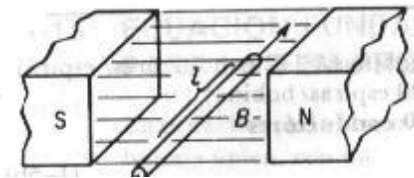
- **Un generador de seis polos tiene un total de 288 conductores de armadura conectados en seis trayectorias paralelas. El flujo por polo $1,6 \times 10^6$ líneas, y la velocidad es 1800 rev/min. Calcular el voltaje promedio que se genera entre escobillas.**

Datos:

- **Convertir todas las cantidades que se dieron en unidades inglesas, a unidades SI y repetir el problema 1-14 usando la ecuación (1-5b).**

Datos:

- **El conductor en la figura 1-13 lleva un corriente de 10 A en dirección hacia el papel. La cara polar es cuadrada, con 8 pulgadas por lado, y el flujo es 5×10^5 líneas. Calcular**
- **La magnitud de la fuerza en onzas.**
- **La dirección de la fuerza sobre el conductor.**



Datos:

cara polar = 8 pul por lado

a.

b.

La fuerza está dirigida hacia arriba.

- **Suponer que el conductor de la figura 1-13a lleva una corriente de 20 A hacia afuera del papel. La cara polar es cuadrada y mide 0,02 m por lado, y el flujo es 5 mWb. Calcular**
- **La magnitud de la fuerza en newtons y en libras.**
- **La dirección de la fuerza sobre el conductor.**

Datos:

cara polar = 0,02m por lado

a.

b.

La fuerza está dirigida hacia abajo.

- **Una dínamo trabaja a una velocidad de 1200 rpm. Su armadura tiene una resistencia total igual a 0,04 Ω , una longitud de 16 pulgadas, un total de 630 conductores, y 6 trayectorias. El diámetro de la armadura es 18 pulgadas y el entrehierro es 0,100 pulgadas. Los seis polos cubren el 80 por ciento de la circunferencia de la armadura. La corriente nominal de la dínamo (por trayectoria) por conductor es 25 A. Cuando se hace trabajar a la dínamo a su velocidad y flujo nominales, el voltaje generado por trayectoria es 120 V. Calcular**
- **El flujo por polo y la densidad de flujo.**
- **El voltaje terminal a través de la armadura cuando la dínamo trabaja como generador.**
- **La fuerza por conductor que se desarrolla por la acción del motor.**
- **El voltaje aplicado a través de la armadura, que se requiere para desarrollar un voltaje generado igual a 120 V cuando la dínamo se hace trabajar como motor.**

Datos:

a.

b.

$$V_t = 120 - (25 \cdot 6) \cdot 0,04$$

$$V_t = 114 \text{ V.}$$

c.

$$F = \frac{B \cdot I \cdot L}{1,13} \cdot 10^{-7}$$

$$F = \frac{7808 \cdot 25 \cdot 16}{1,13} \cdot 10^{-7}$$

$$F = 0,276 \frac{lb}{conductor}$$

d.

$$E_c = V_t - I_a R_a$$

$$V_t = E_c + I_a R_a$$

$$V_t = 120 + (25 \text{ A}) (0,04 \Omega)$$

$$V_t = 126V$$