

BLOQUE III

INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA(III)

Contenidos

1. Inducción electromagnética. Algunas experiencias de Henry y de Faraday.
 2. Flujo magnético.
 3. Ley de Faraday.
 4. Ley de Lenz.
 5. Unificación de las leyes de Faraday y Lenz.
 6. Otros casos de inducción.
 7. Generadores de corriente alterna.
 8. Motores eléctricos y dinamos.
 9. Transformadores de corriente alterna. Transporte de energía eléctrica.
 10. Actividades y ejercicios.
-

Criterios de evaluación

- III.16. Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas y determinar el sentido de las mismas.
- III.17. Conocer las experiencias de Faraday y de Henry que llevaron a establecer las leyes de Faraday y Lenz.
- III.18. Identificar los elementos fundamentales de que consta un generador de corriente alterna y su función.

1. Inducción electromagnética. Algunas experiencias de Henry y de Faraday.

En los años que siguieron al descubrimiento de *Oersted*, que demostraba cómo se genera un campo magnético a partir de corrientes eléctricas, se realizaron numerosos experimentos encaminados a demostrar el proceso contrario, es decir, la producción de electricidad a partir de campos magnéticos.

Estos esfuerzos culminaron con éxito en el año 1831, en que Joseph Henry (1797-1878) en Estados Unidos y, de manera independiente, Michael Faraday (1791-1867) en Inglaterra, pusieron de manifiesto que un campo magnético variable con el tiempo era capaz de producir electricidad. Notemos que en el proceso de *Oersted* no era necesario que la corriente fuera variable para producir magnetismo.

Los trabajos que realizaron ambos investigadores se resumen en una experiencia fundamental, que consiste esencialmente en lo siguiente: consideremos un circuito eléctrico, formado por una espira conectada a un galvanómetro, y un imán de barra colocado perpendicularmente a la espira (figura-1)

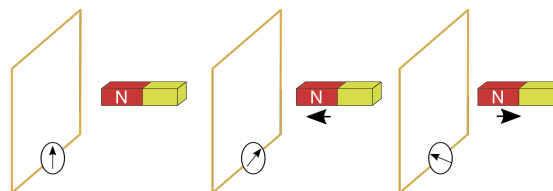


FIGURA 1

Cuando se acerca el imán a la espira, y mientras está en movimiento, se observa que el galvanómetro indica el paso de una corriente por la espira, corriente que cesa cuando el imán se detiene. Si ahora se aleja el imán de la espira, se vuelve a observar el paso de la corriente mientras el imán está en movimiento, pero esta vez en sentido contrario al anterior, como indica la aguja del galvanómetro ([ver simulación](#))

La interpretación que hizo Faraday de este fenómeno fue la siguiente: la corriente eléctrica aparece porque cuando el imán se acerca a la espira o se aleja de ella se produce un cambio en el número de líneas de campo magnético que atraviesan la espira.

2. Flujo magnético.

Para «contabilizar» el número de líneas que atraviesan la espira, Faraday introdujo la noción de flujo magnético, que lo definió como el producto del módulo de la intensidad del campo magnético por el área de la espira, es decir:

$$\phi = B \cdot S \quad \text{III_III.1}$$

Esta relación, III_III_1, sólo sirve cuando el campo magnético es uniforme y la superficie es perpendicular al mismo. Si la superficie no es perpendicular al campo, se debe utilizar la proyección perpendicular y, en estas circunstancias, el flujo resulta ser igual al producto escalar del vector campo por el vector representativo del área de la espira. El vector que representa a la superficie de la espira tiene por módulo la superficie de la espira, su dirección es perpendicular a la superficie, y su sentido es aquel en el cual avanza un tornillo de rosca derecha cuando gira en el sentido de orientación de la periferia

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \theta \quad \text{III_III.2}$$

Hay que indicar que con esta definición se hace necesario «orientar» la espira, es decir, distinguir entre una cara y otra de la misma. En efecto, cuando se cambia de cara también cambia el signo del coseno del ángulo, y por tanto el signo del flujo magnético.

En general, para definir el flujo cuando el campo no es uniforme, se divide la superficie en pequeños trozos en los que se pueda suponer que el campo es uniforme y después se suman todos los flujos. Como es sabido este proceso da lugar a una integral:

$$\phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{III_III.3}$$

En el caso de que se trate de una bobina con N vueltas, las relaciones anteriores quedan multiplicadas por el número de espiras N de la bobina.

La unidad de flujo magnético en el Sistema Internacional se denomina weber (Wb), en honor del físico alemán W. Eduard Weber (1804-1891), y según la definición se tiene:

$$1 \text{ weber} = 1 \text{ tesla} \cdot 1 \text{ m}^2$$

3. Ley de Faraday

Si se realizan medidas precisas en una experiencia de tipo Faraday-Henry se llega a la conclusión de que la intensidad de la corriente aumenta cuando se mueve el imán más rápidamente o dicho de otra manera cuando el flujo cambia de manera brusca. En concreto, se encuentra que si en un pequeño intervalo de tiempo Δt el flujo a través de la espira cambia en $\Delta\Phi$, resulta que en la espira se genera una fuerza electromotriz, $\mathcal{E}$, dada por la formula:

$$\mathcal{E}_{media} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{III_III.4}$$

expresión que se conoce con el nombre de **ley de Faraday**. Si tenemos un circuito cerrado, evidentemente se inducirá una intensidad de corriente (que dependerá del circuito)

4. Ley de Lenz

Otro aspecto fundamental de la experiencia de Faraday-Henry consiste en determinar el sentido de la corriente que se genera en la espira. Esta cuestión la resolvió el físico estonio **Heinrich Friedrich Lenz** (1804-1865), quien enunció la siguiente ley que lleva su nombre:

El sentido de la fem y de la intensidad de corriente inducida es tal que tienden a oponerse a la causa que lo provoca.

El significado de esta ley es el siguiente: cuando se acerca el imán a la espira, presentando por ejemplo su polo norte, el sentido de la corriente en la espira es tal que también presenta su cara norte al imán, con objeto de repelerlo (ver figura-2). Por el contrario, cuando el imán se aleja, el sentido de la corriente se invierte, de manera que la espira presenta su cara sur al imán, con objeto de atraerlo (ver figura-2).

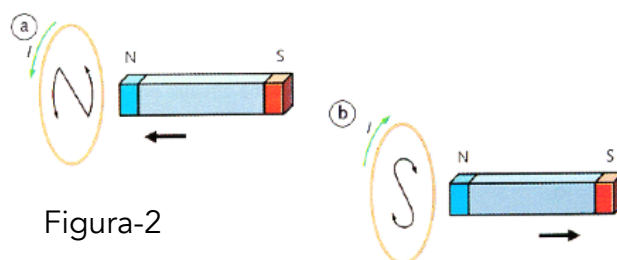


Figura-2

5. Unificación de las leyes de Faraday y Lenz.

Las leyes de Faraday y de Lenz, que afectan respectivamente al valor de la f.e.m. inducida en un circuito eléctrico y al sentido de la corriente inducida, se pueden reunir de manera elegante en una sola ley siempre y cuando se introduzca el concepto de **espira orientada**.

Se dice que una espira está orientada cuando se ha elegido una de sus caras como cara principal o positiva. A esta cara se la distingue orientando hacia el exterior de la misma el vector normal que caracteriza la superficie de la espira (ver figura-3).

Como es evidente, una espira tiene dos orientaciones posibles, que se corresponden con las dos caras de la espira. Cualquiera que sea la orientación adoptada en una espira concreta nosotros adoptaremos los siguientes convenios:

- ❖ Se dice que una f.e.m. inducida en una espira es positiva si genera una corriente cuyo sentido coincide con el de giro de un tornillo que avanza en el sentido del vector representativo de la cara positiva (ver figura-4 a). Por el contrario, se dice que es negativa si la corriente tiene el sentido opuesto.
- ❖ El flujo magnético de una espira orientada se debe calcular utilizando siempre la cara principal, es decir, mediante la fórmula III_III.2, siendo $\vec{S}$ el vector representativo de la cara positiva (ver figura-4 b).

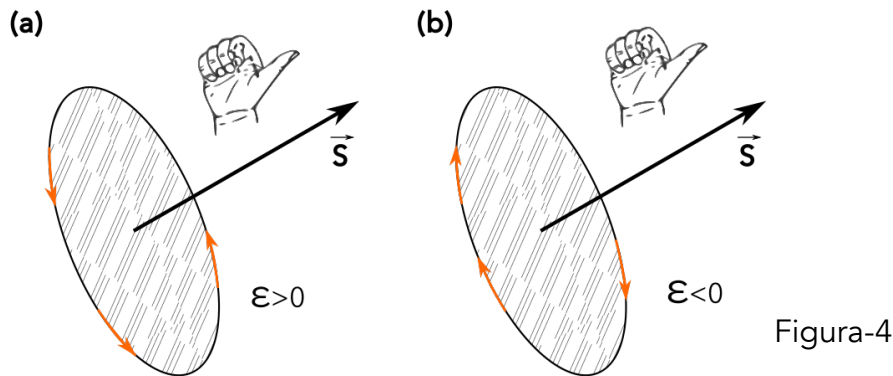
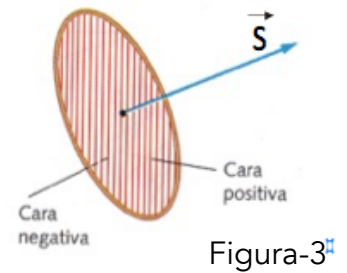


Figura-4

Con estos criterios las leyes de Faraday y de Lenz se pueden unificar en el siguiente enunciado, que por costumbre histórica también recibe el nombre de ley de Faraday:

Cuando una espira orientada es atravesada por un flujo magnético variable con el tiempo, se genera en la misma una f.e.m. que es igual a la derivada del flujo con respecto al tiempo cambiada de signo, es decir:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} \quad \text{III_III.5}$$

El signo menos de la ley de Faraday-Lenz significa que la fem tendrá un sentido tal que se opone a la variación del flujo.

Comprobaremos con un ejemplo cualitativo la veracidad de este enunciado. Para ello consideremos otra vez un imán de barra que se acerca perpendicularmente a una espira presentando su polo norte y supongamos que la espira está orientada en el sentido sur norte del imán. Teniendo en cuenta los criterios tratados el flujo será positivo, pues todas las líneas de campo forman un ángulo menor de 90° con el vector de la espira. En consecuencia, el valor del flujo magnético aumenta a medida que el imán se acerca, lo cual implica que la derivada es positiva. Utilizando ahora III_III.5 resulta que la f.e.m. es negativa con respecto a la orientación de la espira, por lo que la corriente inducida tendrá el sentido que proporciona la ley de Lenz.

Si se orienta la espira en el sentido contrario, se obtiene el mismo resultado, ya que se trata de la misma situación física. En efecto, en este caso el flujo es negativo y al acercarse el imán su valor se hace cada vez más negativo, es decir, disminuye. En consecuencia, la derivada será negativa y la f.e.m. inducida resulta ser positiva con respecto a la orientación de la espira, lo que significa un sentido de la corriente idéntico al del caso anterior.

6. Otros casos de inducción.

Otra forma de explicar la inducción es la siguiente: analicemos el movimiento de un conductor en el seno de un campo magnético.

Al mover el conductor hacia la derecha en un campo magnético uniforme perpendicular a la varilla y a la dirección del movimiento, la carga negativa se acumula en la parte inferior del conductor, o dicho de otro modo, se establece una diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

Si la varilla tiene una longitud L y se mueve con velocidad v en un campo magnético, sobre los electrones actúa una fuerza (fuerza de Lorentz); dicha fuerza desplaza a los electrones, dando lugar a una acumulación de carga neta en los extremos de la varilla (ver figura-5)

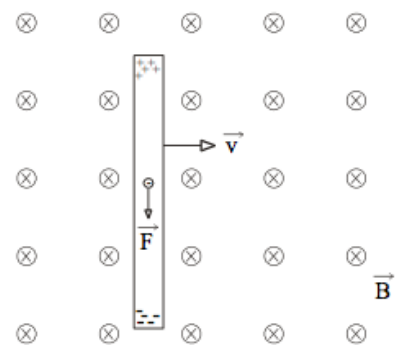


Figura-5

Consideremos el circuito de la figura-6, que representa una espira rectangular, con dos lados prolongables, inmersa en un campo magnético uniforme B perpendicular al plano de la espira. Para simplificar supondremos que la espira está orientada según el campo, de manera que el ángulo formado por el vector campo y el vector de la espira sea cero, es decir, el flujo magnético sea positivo.

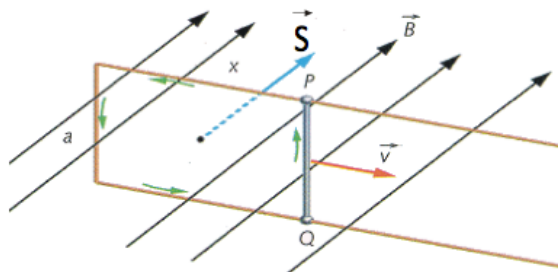


Figura-6

La variación del flujo magnético a través de la espira se provocará obligando a que, mediante algún procedimiento, el lado PQ del rectángulo se desplace con velocidad constante v , de forma que aumente la superficie de la espira.

Si designamos por $a = PQ$ la longitud constante del lado vertical y por x la longitud variable del lado horizontal en un instante cualquiera, resulta que el flujo magnético a través de la espira en ese instante será el siguiente:

$$\phi = + B a x$$

de donde se deduce, de acuerdo con la ley de Faraday, que la f.e.m. inducida en el circuito tendrá la siguiente expresión:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} = - B a \frac{dx}{dt} = - B a v$$

III_III.6

Desde el punto de vista de la ley de Lenz, el sentido de la corriente inducida es tal que genera un campo magnético B' cuyo flujo a través de la espira contrarresta el del campo uniforme (figura - 7a). Visto de otra manera, el sentido de la corriente inducida hace que el campo magnético uniforme B ejerza sobre el lado PQ una fuerza F hacia la izquierda que lo frena hasta que se detiene (figura. - 7b), oponiéndose así al aumento del flujo inicial y a la propia

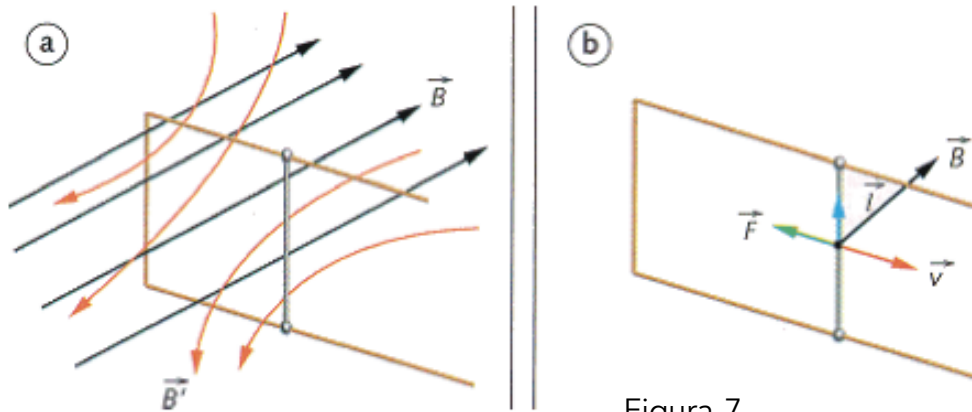


Figura-7

existencia de la corriente.

Una consecuencia importante de este resultado es que la ley de Lenz es una manifestación más del principio de conservación de la energía. En efecto, según lo anterior, para mantener la velocidad constante del lado PQ es necesario aplicarle una fuerza hacia la derecha que contrarreste la ejercida por el campo B . Esto significa la realización de un trabajo y por tanto un aporte de energía, la cual acaba disipándose por efecto Joule en la resistencia óhmica del circuito.

Recordando la ley de Laplace, la potencia suministrada por la fuerza será la siguiente:

$$P = Fv = IaBv \quad \text{III_III.7}$$

Y la potencia disipada por efecto Joule:

$$P = I^2 R$$

Siendo I la intensidad de corriente inducida y R la resistencia óhmica del circuito. Igualando las dos expresiones anteriores:

$$Bav = IR \quad \text{III_III.8}$$

Ésta última expresión nos indica que la fem inducida es igual a la caída de potencial del circuito, de acuerdo con la ley de Ohm.

7. Generadores de corriente alterna

Las experiencias de Oersted, Henry y Faraday constituyeron el auténtico comienzo de la era industrial, ya que permitieron la construcción de los primeros motores eléctricos y la

producción de electricidad a partir de energía mecánica, es decir, sin recurrir a las pilas químicas, que eran hasta entonces la única fuente de energía eléctrica.

El dispositivo básico para la producción de energía eléctrica a partir de energía mecánica está formado esquemáticamente por una espira que puede girar transversalmente en un campo

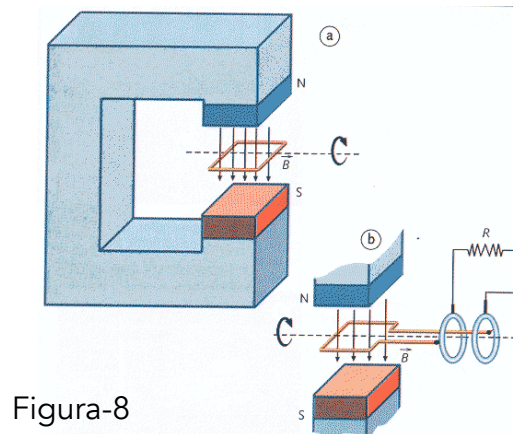


Figura-8

magnético uniforme (figura-8). Mediante cualquier acción mecánica externa, por ejemplo con una manivela, se obliga a girar a la espira, lo que da lugar a una corriente eléctrica inducida en la espira como consecuencia de la ley de Faraday, ya que el flujo magnético a su través cambia en el transcurso de la rotación.

En la práctica, y para poder extraer la energía eléctrica, se corta la espira y sus extremos se conectan a sendos anillos metálicos que giran solidariamente con la espira (figura-8b). El circuito se cierra utilizando dos barras de grafito, denominadas **escobillas**, que rozan continuamente con los anillos metálicos.

Si suponemos que la espira gira con velocidad angular constante ω , resulta que el ángulo θ formado en cada instante por el campo magnético $\vec{B}$ y el vector $\vec{S}$ que orienta la espira tiene la siguiente expresión:

$$\theta = \omega t + \alpha \quad \text{III_III.9}$$

siendo α el ángulo entre los dos vectores en el instante inicial. Por lo tanto, el flujo magnético a través de la espira se expresará:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos(\omega t + \alpha) \quad \text{III_III.10}$$

en consecuencia la fem inducida en la espira será la siguiente en virtud de la ley de Lenz-Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = BS\omega \sin(\omega t + \alpha) \quad \text{III_III.11}$$

es decir, se trata de una f.e.m. que varía con el tiempo de forma sinusoidal y por tanto cambia periódicamente de sentido. Por esta razón recibe el nombre de **f.e.m. alterna**, en contraposición a la tensión continua que proporciona una batería química.

El valor máximo de la f.e.m. así generada es el siguiente:

$$\varepsilon_o = BS\omega$$

III_III.12

y por tanto depende del campo magnético utilizado, de las características geométricas de la espira y de la velocidad de rotación de la misma. No obstante, en la realidad esta expresión es más complicada, pues no se utiliza una sola espira sino un bobinado relativamente complejo. El dispositivo conjunto que genera la f.e.m. alterna recibe el nombre de **alternador**.

Debemos indicar que si se tratase de N espiras, deberíamos multiplicar las anteriores relaciones por N.

Para producir energía eléctrica de manera industrial se utilizan grandes alternadores, que aprovechan la energía mecánica procedente de un salto de agua o de la expansión de vapor de agua obtenido mediante calentamiento de la misma, ya sea quemando carbón o a partir de la fisión nuclear.

8. Motores eléctricos y dinamos.

Un generador de corriente alterna también puede servir como motor eléctrico, es decir, como un convertidor de energía eléctrica en energía mecánica. Para ello basta conectar las escobillas del alternador a otro generador de corriente alterna. Cuando pasa la corriente por la espira, el campo magnético ejerce un par de fuerzas sobre la espira, obligándola a girar hasta situarla perpendicularmente a las líneas de campo. Ahora bien, si en ese momento cambia el sentido de la corriente, lo cual se produce antes o después por tratarse de corriente alterna, también se invierten las fuerzas del par, de manera que la espira sobrepasa la posición perpendicular y sigue girando. Este proceso se repite cada 180° y la espira gira indefinidamente, produciendo energía mecánica mientras haya aporte de energía eléctrica.

También es posible construir un motor eléctrico de corriente continua, es decir, que se alimente con una batería química. Si sustituimos los dos anillos del montaje anterior por dos semianillos en la posición adecuada, resulta que cuando la espira alcanza la posición perpendicular al campo magnético se invierte la polaridad de la f.e.m. y, por tanto, se produce el mismo fenómeno giratorio que en el caso de corriente alterna. A los semianillos que dan lugar a este proceso se les llama **delgas** y al conjunto de ambos se le llama **colector**.

Como se puede observar, el funcionamiento del motor eléctrico de corriente continua se basa únicamente en las leyes de Oersted y Ampère relativas a las fuerzas entre imanes y corrientes. Sin embargo, de acuerdo con la ley de Faraday se puede utilizar el mismo esquema de un motor eléctrico de corriente continua en el proceso inverso, es decir, para obtener energía eléctrica a partir de energía mecánica. Si hacemos girar la espira, el flujo magnético va cambiando con el tiempo y, por tanto, se genera en la misma una corriente eléctrica, además, según la ley de Lenz y gracias a las delgas, la corriente siempre circula en el mismo sentido por el circuito externo, aunque su intensidad sea variable. El generador de corriente así obtenido recibe el nombre de **dinamo** y es el que se utiliza, por ejemplo, para alimentar el foco de una bicicleta a partir del movimiento de la rueda.

9. Transformadores de corriente alterna. Transporte de energía eléctrica.

Un transformador de corriente alterna consta esencialmente de dos solenoides arrollados a un núcleo común de hierro en forma de cuadro (figura-9). Cuando se conecta un generador de corriente alterna a una de las dos bobinas, se produce un flujo magnético variable en el interior del cuadro de hierro, lo que da lugar a una tensión alterna, de idéntica frecuencia a la del generador, en la otra bobina. De esta manera, una tensión alterna entre los bornes de la primera bobina, que recibe el nombre de primario, se transforma en una tensión alterna entre los bornes de la segunda, que se denomina secundario. La relación entre ambas tensiones depende de las características tanto del cuadro como de los solenoides.

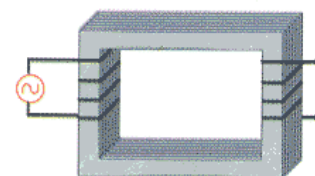


Figura-9

Para simplificar el estudio supondremos que no se producen pérdidas, ni por efecto Joule en los arrollamientos ni como consecuencia de las corrientes de Foucault en el interior del hierro. Estas últimas son pequeñas corrientes circulares inducidas en el interior del hierro que producen disipación de energía, y que se denominan así en honor de su descubridor, el físico francés Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868). En la práctica estas suposiciones se cumplen bastante bien si los arrollamientos son de un buen conductor, como el cobre, y si el cuadro de hierro se construye con láminas separadas por un material aislante.

Designemos por N_1 y N_2 el número de espiras del primario y del secundario respectivamente, y por Φ el flujo magnético a través de cada una de las espiras de ambos arrollamientos, pues suponemos que el cuadro de hierro no tiene fugas magnéticas. Una corriente alterna que circule por el primario creará en el núcleo un flujo variable, que al atravesar el circuito secundario, inducirá en él una fem alterna:

$$\varepsilon_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{III_III.13}$$

Por otro lado, en el primario:

$$\varepsilon_p = -N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{III_III.14}$$

Dividiendo ambas ecuaciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad \text{III_III.15}$$

lo que nos indica que si el secundario tiene más espiras que el primario la tensión aumenta, mientras que si es menor disminuye.

Si no hay pérdidas energéticas y por tanto la potencia se transfiere totalmente, resulta la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_s \cdot I_s = \varepsilon_p \cdot I_p \quad \text{III_III.16}$$

Este resultado es la base del transporte de energía eléctrica desde las centrales de producción hasta las zonas de consumo.

Si P es la potencia del generador, la potencia que llega al lugar del consumo será la que suministra el generador menos la que se disipa en pérdidas en forma de calor Joule. Para que la potencia disipada por efecto Joule sea mínima, tenemos que conseguir que la resistencia sea mínima, al igual que la intensidad que circula. La potencia desarrollada por el generador es directamente proporcional a la intensidad y al voltaje. Si la intensidad tiene que ser pequeña (minimizar el efecto Joule) el voltaje debe ser elevado.

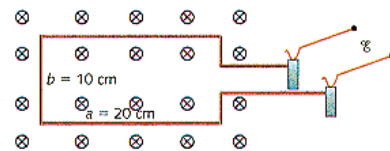
Después del transporte, en las proximidades de los lugares de consumo, se realiza la operación inversa con los transformadores adecuados.

10. Ejercicios y actividades.

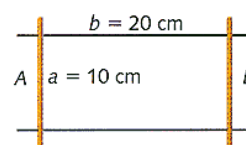
1. Colocamos un solenoide circular, formando 50 espiras de radio 4 cm, en el seno de un campo magnético uniforme de intensidad 0,05 T, de modo que el plano de las espiras sea perpendicular a la dirección del campo magnético. Calcula el valor medio de la fem inducida si giramos el solenoide 90° en 0,1 segundos.
2. Una bobina de 400 espiras y $r = 10$ cm de radio está situada con su plano perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,8 T. Calcula la fem media inducida en la bobina si el campo se anula en 0,2 segundos.
3. Una espira de 50 cm^2 gira alrededor de un eje de su plano con una velocidad de 100 rad/s dentro de un campo magnético uniforme de 0,50 T. Calcula la máxima fem inducida en la espira, si para $t=0$ el flujo es máximo.
4. Una espira se coloca en un campo magnético $\vec{B} = 0,1\vec{i} \text{ T}$. Halla el flujo a través de la espira si su vector superficie vale $\vec{S} = 5\vec{i} + 4\vec{j} - 20\vec{k} \text{ cm}^2$
5. El plano de una espira coincide con el plano XY. Calcula el flujo a través de ella si el campo magnético vale $\vec{B} = 0,2\vec{i} + 0,01\vec{j} \text{ T}$
6. Una bobina de 50 espiras de 8 cm^2 está colocada en un campo magnético de manera que el flujo sea máximo. Si el campo varía según la función $B=0,2-0,01t$, halla la fem inducida en la bobina.
7. El flujo que pasa por una espira de 15 cm^2 varía según la función $\Phi = 0,0005 \cos 100t \text{ Wb}$. Calcula la inducción del campo suponiendo que es uniforme y la fem inducida en la bobina.
8. Una espira de 10 cm de radio y resistencia eléctrica 2 ohmios está situada en una zona en la que hay un campo magnético horizontal uniforme de 0,1 T y puede girar con una velocidad angular constante de dos vueltas por minuto, alrededor de un diámetro vertical.

Si el plano de la bobina es paralelo inicialmente al campo magnético, determinar la fuerza electromotriz media inducida en un cuarto de vuelta y la carga que se desplaza a través de una sección del conductor en ese tiempo.

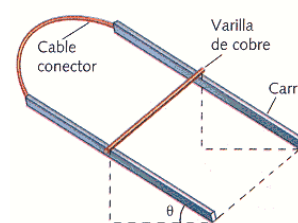
9. Se quiere construir un alternador para obtener una fem alterna de frecuencia 60 Hz y valor máximo 140 voltios, utilizando una bobina rectangular que gira con velocidad angular constante alrededor de un eje perpendicular a las líneas de inducción de un campo magnético uniforme de 0,1 teslas, según se indica en la figura. Determinar el número de vueltas a utilizar y la velocidad angular de la bobina.



10. En el esquema de la figura, los conductores A y B se desplazan paralelamente a sí mismos a velocidad constante, en sentido contrario, existiendo un campo magnético uniforme de 0,1 T perpendicular al plano de los conductores. Determinar la f.e.m. inducida en el circuito si la distancia entre los conductores A y B se hace nula en 10 segundos.



11. Un transformador proporciona una potencia de 2,0 kW a una tensión de 125 voltios. Se conecta a una línea de 3 ohmios de resistencia. Determinar: a) la caída de potencial en la línea; b) el porcentaje de pérdida de potencia en la línea; c) se sustituye el transformador por otro de igual potencia pero de mayor tensión. ¿Aumenta o disminuye el porcentaje de pérdidas en la línea?
12. El secundario de un transformador monofásico proporciona una potencia de 150 kW. Calcular la intensidad de corriente que circula por el primario si está conectado a una línea de 6,6 kV. Suponer un rendimiento del transformador del 95%.
13. Una varilla cilíndrica de cobre se coloca sobre dos carriles metálicos paralelos que tienen una inclinación θ respecto de la horizontal. Los carriles están conectados eléctricamente por su parte superior y podemos considerar despreciable el rozamiento al rodar. El conjunto está situado en una zona en la que hay un campo magnético uniforme perpendicular al plano de los carriles. El movimiento de caída es tal que la varilla alcanza una velocidad constante, velocidad límite. a) Una vez adquirido el régimen de velocidad constante se comprueba que la varilla recorre 5,4 metros en medio minuto. Determina el valor del módulo del campo magnético. b) Comprobar que durante el descenso con la velocidad límite, la pérdida de energía mecánica de la varilla es igual al calor disipado por efecto Joule.



Datos: $\theta = 3^\circ$; Densidad de la varilla: $9,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; Resistividad del cobre: $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; Resistencia eléctrica de los raíles y del cable despreciable. $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; La resistividad es

la resistencia de un determinado material $\rho = R \frac{S}{l}$

14. Una varilla conductora de 20 cm de longitud se desliza paralelamente a sí misma con una rapidez de 0,4 m/s, sobre un conductor en forma de U y de 8 ohmios de resistencia. El conjunto está situado en el seno de un campo magnético uniforme de 0,5 T y perpendicular al circuito formado por los conductores. Determina: a) el valor de la fem inducida. b) el valor y sentido de la intensidad que recorre el circuito. c) la energía disipada por la resistencia en 3 segundos. d) la potencia que suministra la varilla como generador de corriente. e) el módulo, dirección y sentido de la fuerza que hay que aplicar para mantener la varilla en movimiento. f) el trabajo que realiza esta fuerza para transportar la varilla a lo largo de 1,2 metros. g) la potencia necesaria para mantener la varilla en movimiento.
15. Una espira de 10 cm² de área está situada perpendicularmente en el seno de un campo magnético de 1 T. Si el campo disminuye proporcionalmente hasta anularse al cabo de 2 segundos, calcula la fem inducida. Representa, de forma gráfica, el campo magnético y la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo.
16. Una espira circular de 4,0 cm de radio gira en torno a uno de sus diámetros con una frecuencia de 20 Hz, dentro de un campo magnético uniforme de 0,10 T. Si en el instante inicial el plano de la espira es perpendicular al vector campo magnético, determina: a) el flujo magnético que atraviesa la espira en cualquier instante. b) los instantes en los que se anula el flujo. c) el valor de la fem inducida en cualquier instante.
17. La diferencia de potencial a la entrada de un transformador es de 20 voltios y la intensidad a la salida de 5 A. Si en el circuito secundario hay diez veces más espiras que en el primario, determina: la diferencia de potencial a la salida, la intensidad a la entrada y la potencia de salida.
18. Una bobina circular de 200 espiras y de 10 cm de radio se encuentra situada perpendicularmente a un campo magnético de 0,2 T. Determina la fem inducida en la bobina si, en 0,1 segundos: a) se duplica el campo magnético; b) se anula el campo; c) se invierte el sentido del campo; d) se gira la bobina 90° en torno al eje paralelo al campo; e) se gira la bobina 90° en torno al eje perpendicular al campo.

Soluciones:

- | | |
|---|--|
| 1. 0,1 V. | 9. 186 vueltas; 120π rad/s |
| 2. $5 \cdot 10^1$ V. | 10. $2 \cdot 10^{-4}$ V |
| 3. 0,25 V | 11. a) 48 V; b) 38%; c) disminuye. |
| 4. $5 \cdot 10^{-5}$ Wb | 12. 24 A |
| 5. 0 | 13. $2 \cdot 10^{-2}$ T |
| 6. 0,4 mV | 14. a) 0,04 V; b) $5 \cdot 10^{-3}$ A; c) $6 \cdot 10^{-4}$ J; d) $2 \cdot 10^{-4}$ W; e) $5 \cdot 10^{-4}$ N; f) $6 \cdot 10^{-4}$ J; g) $2 \cdot 10^{-4}$ W. |
| 7. 0,3 T; 0,05 sen 100 t V | 15. $5 \cdot 10^{-4}$ V |
| 8. $4 \cdot 10^{-4}$ V (419 μ V); 2 mC (157 mC) | |

16. a) $\phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \pi \cos 40\pi t$ Wb; b) $t = (2n+1)/80$; c) $\varepsilon = 6,4 \cdot 10^{-3} \pi^2 \sin 40\pi t$ V
17. 200 V; 50 A; 1 kW

18. a) 4π V; b) 4π V (signo contrario de a));
c) 8π V; d) 0; e) 4π V.

Bibliografía:

Tipler, Paul A. Física Editorial Reverté SA

Física 2º Bachillerato Carrascosa, Martínez y Alonso

Física universitaria. Young y Freedman. 12 Ed.