

TEMA 10

ELECTROMAGNETISMO

LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La inducción electromagnética constituye una pieza destacada en el sistema de relaciones mutuas entre electricidad y magnetismo que se conoce con el nombre de electromagnetismo.

Antecedentes históricos

El descubrimiento por Faraday y Henry de este fenómeno introdujo una cierta simetría en el mundo del electromagnetismo. Maxwell consiguió reunir en una sola teoría los conocimientos básicos sobre la electricidad y el magnetismo. Su teoría electromagnética predijo, antes de ser observadas experimentalmente, la existencia de ondas electromagnéticas. Hertz comprobó su existencia e inició para la humanidad la era de las telecomunicaciones.

En el año 1819 Hans Christian Oersted, profesor de física de la Universidad de Copenhague, descubrió que al acercar una brújula a un conductor por el que circulaba corriente eléctrica la aguja de ésta se movía disponiéndose perpendicularmente a la dirección del conductor.

Este descubrimiento de que una corriente eléctrica produce un campo magnético estimuló la imaginación de los físicos de la época y multiplicó el número de experimentos en busca de relaciones nuevas entre la electricidad y el magnetismo. También era conocido a través de los estudios de Ampère que algunos materiales como la magnetita, imanes y brújulas, debían sus propiedades magnéticas a la existencia de unas corrientes microscópicas.

En ese ambiente científico pronto surgiría la idea inversa de producir corrientes eléctricas mediante campos magnéticos.

Algunos físicos famosos y otros menos conocidos estuvieron cerca de demostrar experimentalmente que también la naturaleza apostaba por tan atractiva idea, de hecho Joseph Henry, físico norteamericano descubrió un año antes que Faraday la inducción electromagnética pero hizo público su descubrimiento unos meses más tarde que Faraday y por eso se le atribuye el descubrimiento a este último.

A las corrientes eléctricas producidas mediante campos magnéticos Faraday las llamó corrientes inducidas. Desde entonces al fenómeno consistente en generar campos eléctricos a partir de campos magnéticos variables se denomina inducción electromagnética.

Aplicaciones

La inducción electromagnética es la producción de corrientes eléctricas por campos magnéticos variables con el tiempo.

Se han desarrollado un sin número de aplicaciones prácticas de este fenómeno físico. El transformador que se emplea para conectar una calculadora a la red, la dinamo de una bicicleta o el alternador de una gran central hidroeléctrica son sólo algunos

ejemplos que muestran la deuda que la sociedad actual tiene contraída con ese modesto encuadernador convertido, más tarde, en físico experimental que fue Michael Faraday.

Las experiencias de Faraday

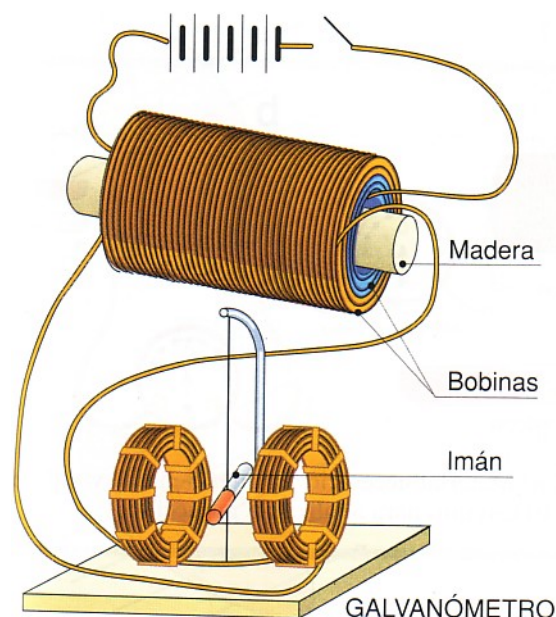
Las experiencias que llevaron a Faraday al descubrimiento de la inducción electromagnética pueden ser agrupadas en dos categorías: experiencias con corrientes y experiencias con imanes.

Primera experiencia de Faraday

En primer lugar preparó dos solenoides, uno arrollado sobre el otro, pero aislados eléctricamente entre sí.

Uno de ellos lo conectó a una pila y el otro a un galvanómetro y observó cómo cuando accionaba el interruptor del primer circuito la aguja del galvanómetro del segundo circuito se desplazaba, volviendo a cero tras unos instantes.

Sólo al abrir y al cerrar el interruptor el galvanómetro detectaba el paso de una corriente que desaparecía con el tiempo. Además, la aguja se desplazaba en sentidos opuestos en uno y otro caso.

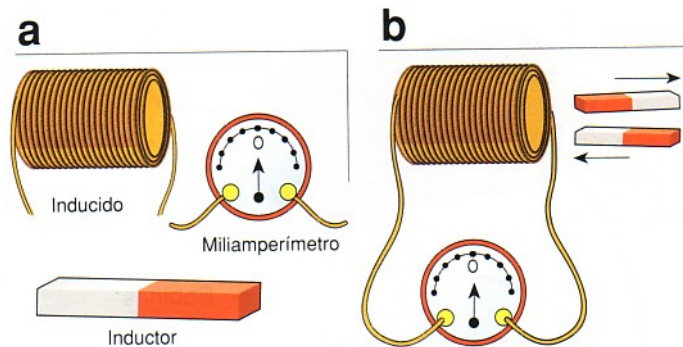


Segunda experiencia de Faraday

En el segundo grupo de experiencias Faraday utilizó un imán recto y una bobina conectada a un galvanómetro.

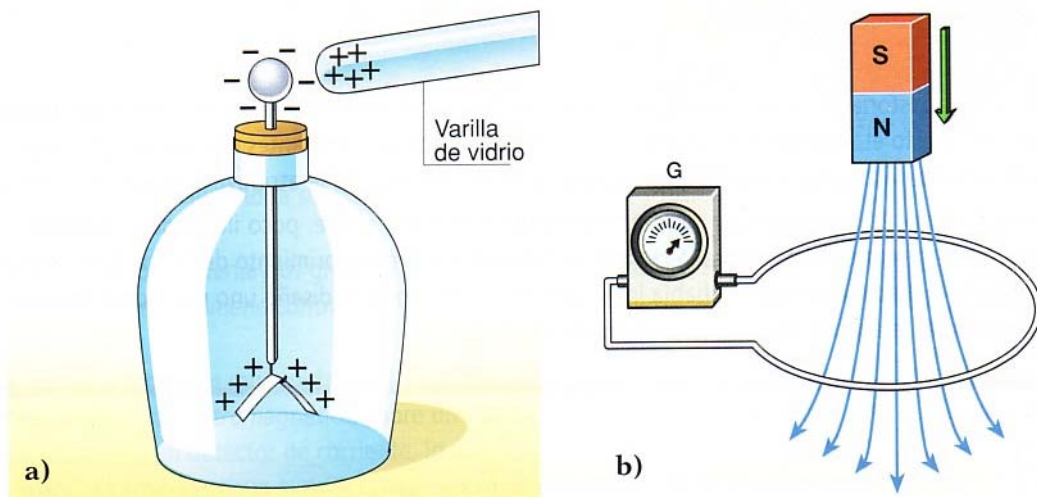
Al introducir bruscamente el imán en la bobina observó una desviación en la aguja, desviación que desaparecía si el imán permanecía inmóvil en el interior de la bobina. Cuando el imán era retirado la aguja del galvanómetro se desplazaba de nuevo, pero esta vez en sentido contrario. Cuando repetía todo el proceso completo la aguja

oscilaba de uno a otro lado y su desplazamiento era tanto mayor cuanto más rápido era el movimiento del imán entrando y saliendo en el interior de la bobina. Lo mismo sucedía cuando mantenía quieto el imán y movía la bobina sobre él.



La representación del campo magnético en forma de líneas de fuerza permitió a Faraday encontrar una explicación intuitiva para este tipo de fenómenos: Para que se produjera una corriente inducida en la bobina era necesario que las líneas de fuerza producidas por el imán fueran cortadas por el hilo conductor de la bobina como consecuencia del movimiento de uno u otro cuerpo.

En el primer grupo de experiencias, las líneas de fuerza, al aparecer y desaparecer junto con la corriente debida a la pila, producían el mismo tipo de efectos.



(figura a) Las experiencias llevadas a cabo con electroscopios evidenciaban la existencia de fuerzas de atracción y repulsión entre cargas de distinto o igual signo respectivamente. Basta con aproximar una varilla de vidrio previamente frotada para que se pusieran de manifiesto los fundamentos de la electrostática.

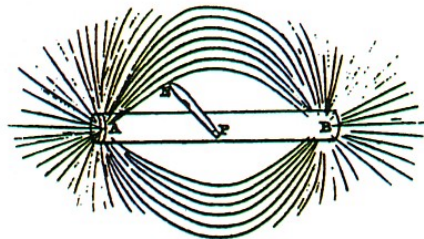
(figura b) Al disponer un conductor y acercar y alejar un imán aparecía corriente eléctrica que era detectada al moverse la aguja de un galvanómetro. Si simplemente se sitúa un imán próximo al conductor pero no hay movimiento relativo entre ellos (ya sea por parte del conductor o del imán) no se crea ningún tipo de corriente.

Las experiencias anteriores a las de Faraday, al no tener en cuenta los aspectos dinámicos, o de cambio con el tiempo, de esta clase de fenómenos, no pudieron detectar este tipo de corrientes que aparecen en un circuito eléctrico sin que exista dentro del propio circuito ninguna pila que las genere.

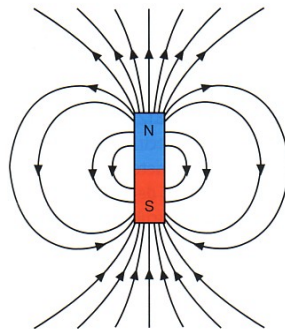
FLUJO MAGNÉTICO

La representación de la influencia magnética de un imán o de una corriente eléctrica en el espacio que les rodea mediante líneas de fuerza fue ideada por Faraday y aplicada en la interpretación de la mayor parte de sus experimentos sobre electromagnetismo.

Mediante este tipo de imágenes Faraday compensaba su escasa preparación matemática, apoyándose así su enorme habilidad gráfica y su no inferior intuición científica. La noción de flujo magnético recoge esa tradición iniciada por Faraday de representar los campos mediante líneas de fuerza, pero añade, además, un significado matemático.



Cuando se observa, con la ayuda de limaduras de hierro, el campo magnético creado por un imán recto, se aprecia que, en los polos, las líneas de fuerza están más próximas y que se separan al alejarse de ellos.

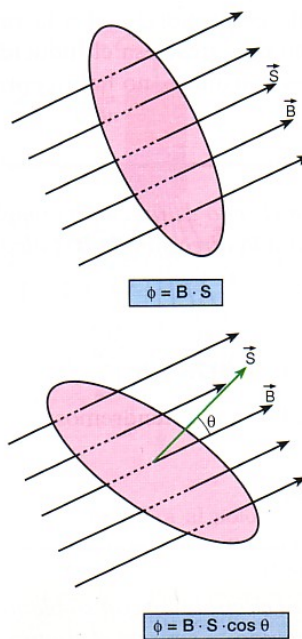


Dado que la intensidad del campo magnético B disminuye con la distancia a los polos, parece razonable relacionar ambos hechos y establecer por convenio una proporcionalidad directa entre la intensidad del campo B y la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan una superficie de referencia unidad.

El número de líneas de fuerza del campo B que atraviesa una superficie unidad depende de cómo esté orientada tal superficie con respecto a la dirección de aquéllas. Así, para un conjunto de líneas de fuerza dado, el número de puntos de intersección o de corte con la superficie unidad será máximo para una orientación perpendicular y nulo para una orientación paralela.

El número de líneas de fuerza del campo B que atraviesa perpendicularmente una superficie constituye entonces una forma de expresar el valor de la intensidad de dicho campo.

Se define el flujo del campo magnético B a través de una superficie, y se representa por la letra griega Φ , como el número total de líneas de fuerza que atraviesan tal superficie.



La idea de flujo se corresponde entonces con la de «cantidad» de campo magnético que atraviesa una superficie determinada. En el Sistema Internacional se expresa en *weber* (Wb).

En términos matemáticos, para un campo magnético constante y una superficie plana de área S , el flujo magnético se expresa en la forma:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \theta$$

Siendo θ el ángulo que forman las líneas de fuerza (el vector B) con la perpendicular a la superficie.

Dicha ecuación recoge, mediante el $\cos\theta$, el hecho de que el flujo varíe con la orientación de la superficie respecto del campo B y también que su valor dependa del área S de la superficie atravesada. Para $\theta = 0^\circ$ (intersección perpendicular) el flujo es máximo e igual a $B \cdot S$; para $\theta = 90^\circ$ (intersección paralela) el flujo es nulo.

FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA

La ley de Faraday-Henry

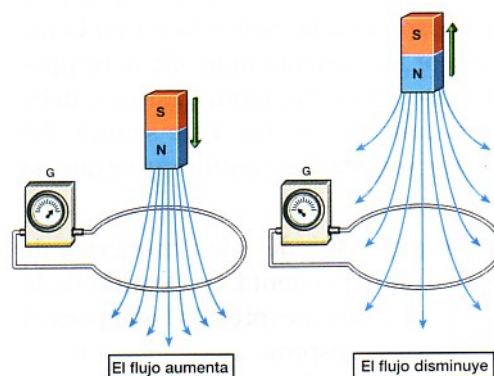
Independientemente de Faraday, Joseph Henry, en los Estados Unidos, había observado que un campo magnético variable produce en un circuito próximo una corriente eléctrica. Los resultados concordantes de las experiencias de ambos físicos pueden resumirse en un enunciado que se conoce como ley de Faraday-Henry: La fuerza electromotriz inducida en un circuito es proporcional a la rapidez con la que varía el flujo magnético que lo atraviesa.

O en forma matemática:

$$\varepsilon = - \Delta\Phi / \Delta t$$

Siendo ε la fuerza electromotriz inducida y $\Delta\Phi$ la variación de flujo magnético que se produce en el intervalo de tiempo Δt .

De acuerdo con esta ecuación, la magnitud de f. e. m. inducida coincide con lo que varía el flujo magnético por unidad de tiempo. La presencia de la fuerza electromotriz ε en la ley de Faraday-Henry en lugar de la intensidad de corriente resalta una característica de la inducción, su capacidad para sustituir a un generador, es decir, para producir los mismos efectos que éste en un circuito eléctrico.



Por su parte, el signo negativo recoge el hecho, observado experimentalmente por Faraday y Henry, de que aumentos ($\Delta\Phi > 0$) y disminuciones ($\Delta\Phi < 0$) de flujo magnético producen corrientes inducidas de sentidos opuestos.

Si no hay variación con el tiempo del flujo magnético que atraviesa un circuito, el fenómeno de la inducción electromagnética no se presenta. Tal circunstancia explica los fracasos de aquellos físicos contemporáneos de Faraday que pretendieron conseguir corrientes inducidas en situaciones estáticas, o de reposo, del circuito respecto del imán o viceversa.

Cuando la ley de Faraday-Henry se aplica a una bobina formada por N espiras iguales toma la forma

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

El sentido de las corrientes inducidas

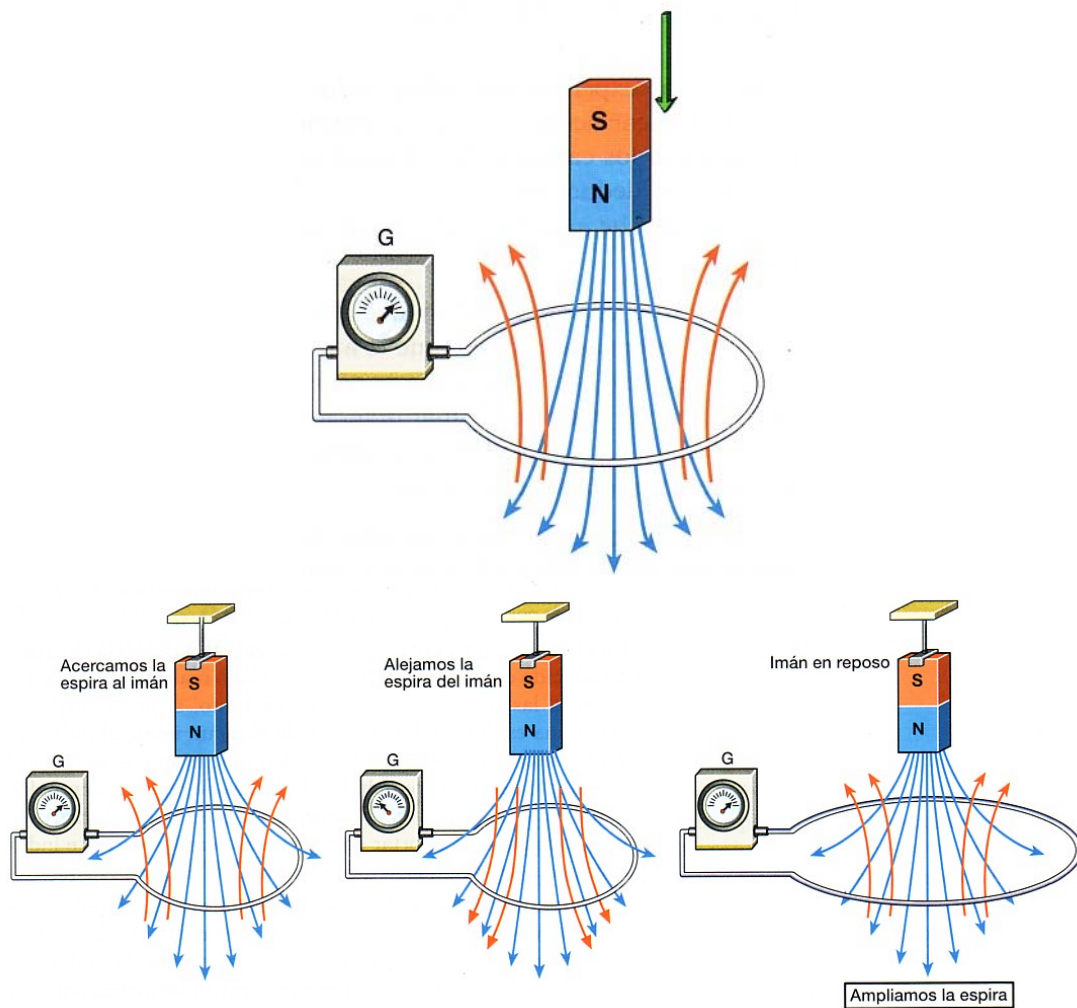
Aunque la ley de Faraday-Henry, a través de su signo negativo, establece una diferencia entre las corrientes inducidas por un aumento del flujo magnético y las que resultan de una disminución de dicha magnitud, no explica este fenómeno.

Lenz (1804-1865), un físico alemán que investigó el electromagnetismo en Rusia al mismo tiempo que Faraday y Henry, propuso la siguiente explicación del sentido de circulación de las corrientes inducidas que se conoce como ley de Lenz: Las corrientes que se inducen en un circuito se producen en un sentido tal que con sus efectos magnéticos tienden a oponerse a la causa que las originó.

Así, cuando el polo norte de un imán se aproxima a una espira, la corriente inducida circulará en un sentido tal que la cara enfrentada al polo norte del imán sea también Norte, con lo que ejercerá una acción magnética repulsiva sobre el imán, la cual es preciso vencer para que se siga manteniendo el fenómeno de la inducción.

Inversamente, si el polo norte del imán se aleja de la espira, la corriente inducida ha de ser tal que genere un polo Sur que se oponga a la separación de ambos.

Sólo manteniendo el movimiento relativo entre espira e imán persistirán las corrientes inducidas, de modo que si se detiene el proceso de acercamiento o de separación cesarían aquéllas y, por tanto, la fuerza magnética entre el imán y la espira desaparecería.



La ley de Lenz, que explica el sentido de las corrientes inducidas, puede ser a su vez explicada por un principio más general, el principio de la conservación de la energía.

La producción de una corriente eléctrica requiere un consumo de energía y la acción de una fuerza desplazando su punto de aplicación supone la realización de un trabajo.

En los fenómenos de inducción electromagnética es el trabajo realizado en contra de las fuerzas magnéticas que aparecen entre espira e imán el que suministra la energía necesaria para mantener la corriente inducida. Si no hay desplazamiento, el trabajo es nulo, no se transfiere energía al sistema y las corrientes inducidas no pueden aparecer. Análogamente, si éstas no se opusieran a la acción magnética del imán, no habría trabajo exterior, ni por tanto cesión de energía al sistema.

Cálculo de la f.e.m. inducida

Cuando se produce un movimiento entre imanes y conductores aparece una f.e.m. que podemos calcular estudiando la variación del flujo en un tiempo determinado.

Para determinar la f. e. m deberemos calcular tanto el flujo inicial como el final aplicando la relación:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\theta$$

A continuación hallaremos la fuerza electromotriz inducida aplicando:

$$\varepsilon = \Phi_o - \Phi_f / t$$

Si en lugar de una espira de superficie S tenemos una bobina o devanado o solenoide no olvides que deberemos multiplicar por el número de espiras pues el campo magnético generado será tanto más intenso cuanto mayor sea el número de espiras.

Observa que se creará f.e.m. cuando varíe el flujo, es decir, cuando varíe el campo, o la superficie o la posición de la superficie (el ángulo que forma el vector superficie con el campo).

Estudiaremos a continuación estos tres casos:

Caso 1: Varía el campo magnético

Ejemplo:

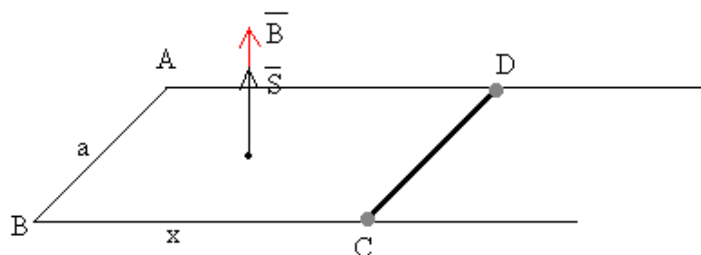
Una espira circular de 2cm de radio está situada perpendicularmente en un campo magnético que varía de 0,5 a 0,1 T en 3 segundos. Calcula el valor de la f.e.m. inducida.

Caso 2: Varía la superficie

Supongamos que el campo magnético B es constante y es perpendicular al plano donde se mueve una varilla. El flujo del campo magnético a través del circuito de forma rectangular ABCD señalado en la figura es

$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = Bax$$

Donde a·x es el área del rectángulo ABCD.



Al moverse la varilla CD la dimensión x del rectángulo aumenta o disminuye, haciendo variar el flujo con el tiempo.

Ejemplo:

Una varilla de 40 cm. de longitud se mueve a una velocidad de 10 cm/seg en el seno de un campo magnético de 0,5 T. perpendicular al plano en que se produce el desplazamiento. Determina la fuerza electromotriz inducida:

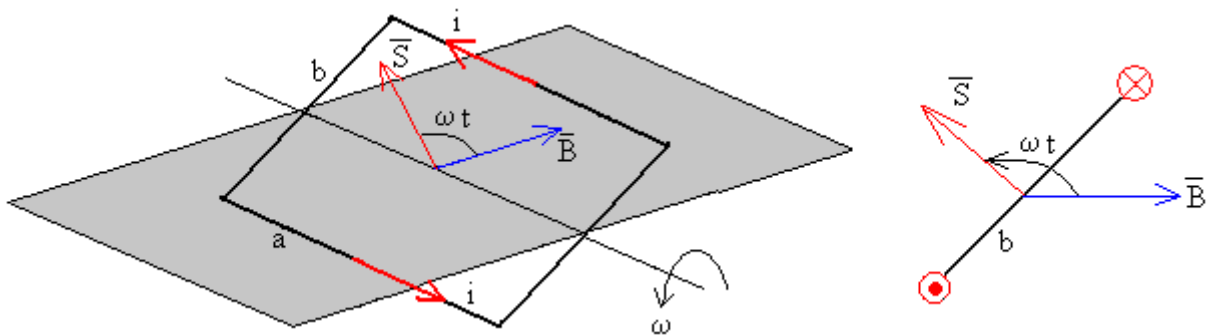
Nota: Puedes considerar cualquier intervalo de tiempo y la solución no variará.

Por ejemplo:

para $t = 0 \rightarrow S = 0$ (la varilla aún no se ha movido)

para $t = 1 \rightarrow S = 0,4 \cdot 0,1$ (rectángulo de 10 x 40 cm)

Caso 3 : Cuando cambia el ángulo



Supongamos que la espira gira con velocidad angular constante ω . Al cabo de un cierto tiempo t el ángulo que forma el campo magnético y la perpendicular al plano de la espira es ωt .

El flujo del campo magnético B a través de una espira de área S es:

$$\Phi = B \cdot S = B \cdot S \cdot \cos(\omega t)$$

La f. e. m en la espira es:

$$\varepsilon = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

La fuerza electromotriz va cambiando continuamente será máxima cuando $\sin(\omega t) = 1$ y será mínima cuando valga cero.

EN EJERCICIOS TEN PRESENTE:

La velocidad angular ω suele darse en revoluciones o vueltas por minuto (r. p. m.) pero debemos pasar siempre a radianes por segundo.

Para ello recuerda que una vuelta son 2π radianes y que un minuto tiene 60 segundos, por ejemplo:

$$\omega = 120 \text{ r.p.m} = 120 \cdot 2\pi / 60 = 4\pi \text{ rad /seg}$$

Si vamos a trabajar con la velocidad angular en radianes por segundo el ángulo vendrá también en radianes, para lo cual no olvides en este tipo de ejercicio poner la calculadora en modo radianes a la hora de calcular $\sin(\omega t)$.

PRODUCCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

La corriente alterna se caracteriza porque su sentido cambia alternativamente con el tiempo. Ello es debido a que el generador que la produce invierte periódicamente sus dos polos eléctricos, convirtiendo el positivo en negativo y viceversa, muchas veces por segundo.

La ley de Faraday-Henry establece que se induce una fuerza electromotriz (f. e .m.) ε en un circuito eléctrico siempre que varíe el flujo magnético Φ que lo atraviesa. Pero de acuerdo con la definición de flujo magnético , éste puede variar porque varíe el área S limitada por el conductor, porque varíe la intensidad del campo magnético B o porque varíe la orientación entre ambos dada por el ángulo θ .

En las primeras experiencias de Faraday las corrientes inducidas se conseguían variando el campo magnético B ; no obstante, es posible provocar el fenómeno de la inducción sin desplazar el imán ni modificar la corriente que pasa por la bobina, haciendo girar ésta en torno a un eje dentro del campo magnético debido a un imán. En tal caso el flujo magnético varía porque varía el ángulo.

Generador de corriente alterna

Utilizando el tipo de razonamiento de Faraday, podría decirse que la bobina al rotar corta las líneas de fuerza del campo magnético del imán y ello da lugar a la corriente inducida.

En una bobina de una sola espira la f. e. m. media que se induce durante un cuarto de vuelta al girar la bobina desde la posición paralela ($\theta = 90^\circ$) a la posición perpendicular ($\theta = 0^\circ$) puede calcularse a partir de la ley de Faraday - Henry en la forma:

$$\bar{\varepsilon} = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = - \frac{B \cdot S}{t}$$

Como el flujo inicial es cero ($\cos 90^\circ = 0$) y el final es $B \cdot S$ ($\cos 0^\circ = 1$), la variación $\Delta\Phi$ o diferencia entre ambos es igual al producto $B \cdot S$.

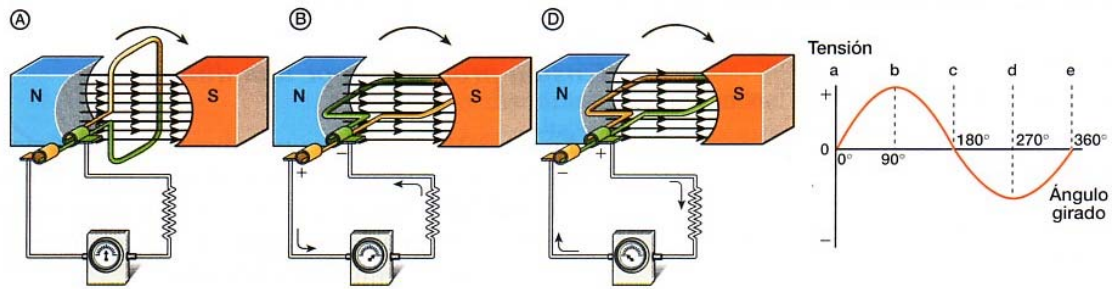
Considerando el instante inicial igual a cero, resulta $\Delta t = t - 0 = t$, siendo t el tiempo correspondiente al instante final después de un cuarto de vuelta. De este modo se obtiene el resultado anterior.

Sentido de la corriente alterna

Si se hace rotar la espira uniformemente, ese movimiento de rotación periódico da lugar a una variación también periódica del flujo magnético o, en otros términos, la cantidad de líneas de fuerza que es cortada por la espira en cada segundo toma valores iguales a intervalos iguales de tiempo.

La f. e. m. inducida en la espira varía entonces periódicamente con la orientación y con el tiempo, pasando de ser positiva a ser negativa, y viceversa, de una forma alternativa.

Se ha generado una f. e. m. alterna cuya representación gráfica, en función del tiempo, tiene la forma de una línea sinusoidal.

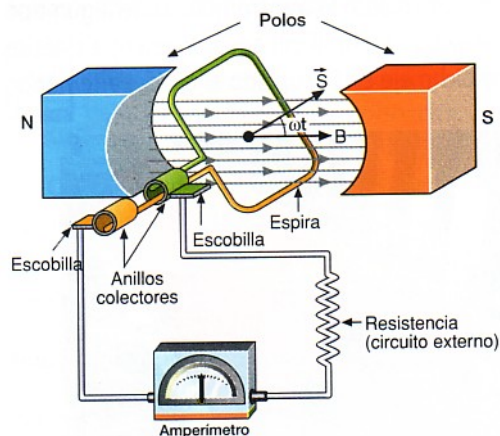


1.- El alternador

Es el nombre que recibe el generador de corriente alterna. Se basa en la producción de una fuerza electromotriz alterna mediante el fenómeno de inducción electromagnética.

Funcionamiento

El imán que genera el campo magnético se denomina inductor y la bobina en la que se induce la fuerza electromotriz recibe el nombre de inducido. Los dos extremos de hilo conductor del inducido se conectan a unos anillos colectores que giran junto con la bobina. Las escobillas, que suelen ser de grafito, están en contacto permanente, mediante fricción, con los anillos colectores y transmiten la tensión eléctrica producida a los bornes del generador en donde puede conectarse a un circuito exterior.



Por lo general, la bobina del inducido se monta sobre un núcleo de hierro. La elevada permeabilidad magnética de este material hace que el campo magnético que atraviesa la bobina aumente; ello significa que las líneas de fuerza se aproximan entre sí aumentando el flujo magnético y, consiguientemente, el valor máximo de la f. e. m. inducida. Un efecto semejante se consigue aumentando el número de espiras del inducido.

Tipos de alternador

En los grandes alternadores, el inducido está fijo y es el inductor el que se mueve, de modo que en este caso no son necesarios los anillos colectores ni las escobillas. Aunque la inducción electromagnética depende del movimiento relativo entre el campo magnético y el conductor, con este procedimiento se consigue salvar algunos inconvenientes relacionados con el paso de corrientes elevadas por el colector y las escobillas.

Por lo general, en los alternadores comerciales el campo magnético es producido por un electroimán y no por un imán natural; en tales casos el inductor se denomina también excitador, pues es una corriente eléctrica la que excita la producción del campo magnético externo.

Aplicaciones

Los alternadores son los elementos esenciales en las centrales eléctricas. En ellos se genera una muy alta tensión eléctrica que se transporta a través de una red de tendidos eléctricos y es transformada en estaciones intermedias para llegar finalmente hasta los enchufes domésticos con un valor eficaz de 220 V. La frecuencia de oscilación de esta tensión alterna es en Europa de 50 Hz, lo que equivale a 50 ciclos por segundo.

2.- La dinamo

Puede ser considerada como una modificación del alternador que permite generar corrientes continuas.

Funcionamiento

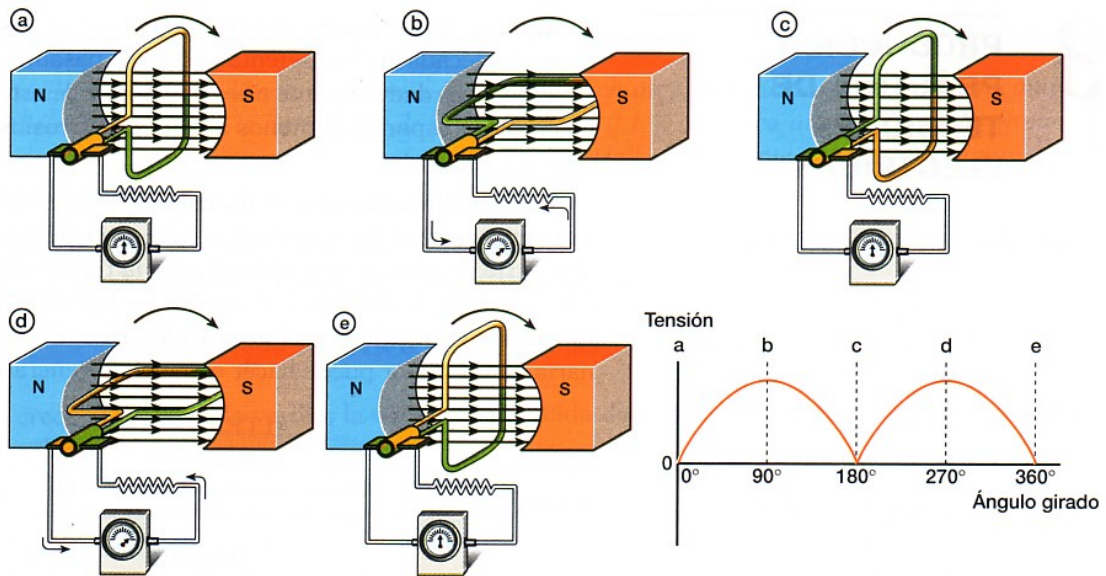
Para lograr que la corriente que circula por la bobina tenga un único sentido, se han de invertir las conexiones justo en el instante en el que la f.e.m. cambia de signo. Ello se consigue sustituyendo los anillos colectores por un cilindro metálico compuesto de dos mitades aisladas entre sí o delgas y conectadas cada una a un extremo de hilo conductor de la bobina.

Esa pieza se denomina conmutador porque cambia o conmuta en cada media vuelta la polaridad del generador, de tal forma que la tensión que llega a los bornes a través de las escobillas tiene siempre el mismo signo y al conectarlo al circuito exterior produce una corriente continua.

Tipo de corriente producida

En las dinamos sencillas la tensión producida, aunque tiene siempre el mismo signo, no mantiene un mismo valor, sino que varía de una forma ondulada o pulsante. Sin embargo, es posible conseguir una f. e. m. prácticamente constante introduciendo un número suficiente de bobinas, dividiendo otras tantas veces el anillo colector y añadiendo los correspondientes pares de escobillas.

Por este procedimiento la ondulación de la tensión, que es pronunciada en una dinamo sencilla, se reduce a un ligero rizado despreciable.



Aplicaciones

Las bicicletas utilizan la dinamo para producir luz a partir del movimiento. Tratándose por lo general de una dinamo sencilla, puede observarse cómo a baja velocidad la intensidad luminosa aumenta y disminuye alternativamente a un ritmo que depende de la velocidad. Cuando ésta es suficiente, la rapidez de la oscilación unida a la inercia del sistema hace que la intensidad luminosa de la lámpara se mantenga prácticamente constante. Este efecto es semejante al que se consigue al aumentar el número de bobinas, de delgas y de escobillas.

La dinamo es una máquina reversible que puede actuar como motor si se le aplica a través de las escobillas una corriente continua de intensidad conveniente. En el primer caso, funcionando como dinamo, la máquina transforma energía mecánica en energía eléctrica; en el segundo transforma energía eléctrica en movimiento.

FUNDAMENTO DEL TRANSFORMADOR

Inducción mutua

En sus primeras experiencias sobre el fenómeno de la inducción electromagnética Faraday no empleó imanes, sino dos bobinas arrolladas una sobre la otra y aisladas eléctricamente.

Cuando variaba la intensidad de corriente que circulaba por una de ellas, se generaba una corriente inducida en la otra. Este es, en esencia, el fenómeno de la inducción mutua, en el cual el campo magnético es producido no por un imán, sino por una corriente eléctrica.

La variación de la intensidad de corriente en una bobina da lugar a un campo magnético variable. Este campo magnético origina un flujo magnético también variable que atraviesa la otra bobina e induce en ella, de acuerdo con la ley de Faraday-Henry, una fuerza electromotriz. Cualquiera de las bobinas del par puede ser el elemento inductor y cualquiera el elemento inducido, de ahí el calificativo de mutua que recibe este fenómeno de inducción.

Autoinducción

El fenómeno de la autoinducción, como su nombre indica, consiste en una inducción de la propia corriente sobre sí misma.

Una bobina aislada por la que circula una corriente variable puede considerarse atravesada por un flujo también variable debido a su propio campo magnético, lo que dará lugar a una fuerza electromotriz autoinducida. En tal caso a la corriente inicial se le añadirá un término adicional correspondiente a la inducción magnética de la bobina sobre sí misma.

Coefficiente de autoinducción

El coeficiente de autoinducción (L) de una bobina depende de cómo está constituida la misma:

- del material empleado en su elaboración (μ)
- del número de espiras o vueltas (N)
- de la longitud (l)
- de la superficie de la bobina (S)

Se determina a través de la siguiente relación:

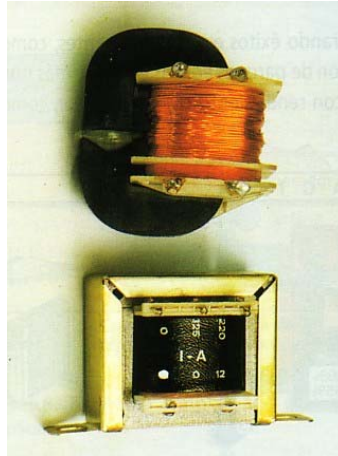
$$L = \mu \cdot N^2 \cdot S / l$$

Todas las bobinas en circuitos de corriente alterna presentan el fenómeno de la autoinducción, ya que soportan un flujo magnético variable; pero dicho fenómeno, aunque de forma transitoria, está presente también en los circuitos de corriente continua. En los instantes en los que se cierra o se abre el interruptor, la intensidad de corriente varía desde cero hasta un valor constante o viceversa.

Esta variación de intensidad da lugar a un fenómeno de autoinducción de duración breve, que es responsable de la chispa que se observa en el interruptor al abrir el circuito; dicha chispa es la manifestación de esa corriente adicional autoinducida.

Transformadores: elevadores y reductores de tensión

La fabricación de un transformador se consigue situando en un núcleo de hierro dos bobinas o arrollamientos, el primario y el secundario, tales que efectúen la elevación o la reducción de tensión.

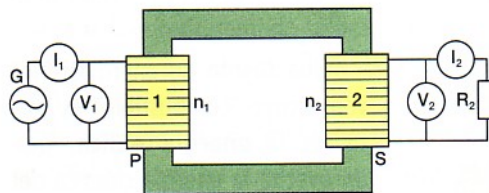


Los fenómenos de la autoinducción y de la inducción mutua constituyen el fundamento del transformador eléctrico, un aparato que permite elevar o reducir tensiones alternas.

Funcionamiento

Un transformador consta, en esencia, de dos bobinas arrolladas a un mismo núcleo de hierro.

La bobina o arrollamiento donde se aplica la f. e. m. alterna exterior recibe el nombre de primario y la bobina en donde aquélla aparece ya transformada se denomina secundario.



Cuando al primario se le aplica una fuerza electromotriz alterna, el flujo magnético variable que produce atraviesa tanto al primario como al secundario.

Si N_1 es el número de espiras del primario y N_2 el del secundario, de acuerdo con la ley de Faraday-Henry, resultará para el primario la fuerza electromotriz autoinducida:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

y para el secundario la fuerza electromotriz inducida por el primario:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

La presencia del núcleo de hierro evita la dispersión del flujo magnético, por lo que puede aceptarse que es igual en ambos casos. Combinando las anteriores ecuaciones resulta:

$$\frac{\varepsilon_1}{N_1} = \frac{\varepsilon_2}{N_2}$$

Esta expresión puede escribirse para un transformador ideal, es decir, considerando que no hay resistencia interna y por tanto $\varepsilon = V$ en la forma:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

Sin embargo, en la práctica, como consecuencia de las resistencias de los circuitos correspondientes, la tensión V_1 aplicada al primario es algo mayor que la f. e. m. inducida ε_1 y la tensión V_2 que resulta en el secundario es algo menor que la f. e. m. (ε_2) inducida en él.

Despejando de la expresión anterior podemos llegar también a la relación:

$$V_1 / V_2 = N_1 / N_2$$

Esta expresión indica que estando el circuito secundario abierto la relación entre la tensión aplicada en el primario y la tensión transformada disponible en los bornes del secundario, coincide con el cociente de sus respectivos números de espiras.

Relación de transformación

Este cociente N_1/N_2 recibe el nombre de **relación de transformación**. Según sea la transformación deseada, así habrá de ser la relación entre el número de espiras de los dos arrollamientos.

En los elevadores ($V_1 < V_2$) el número de espiras del primario ha de ser menor que el del secundario y la relación de transformación resulta, por tanto, menor que la unidad.

En los reductores ($V_1 > V_2$) sucede lo contrario.

En los transformadores comerciales el rendimiento es muy elevado, lo que significa que se pierde poca energía en el proceso de transformación. En tal supuesto la potencia eléctrica en el primario puede considerarse aproximadamente igual que en el secundario, es decir:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

Esta propiedad de la transformación eléctrica explica el hecho de que la energía eléctrica se transporte en líneas de alta tensión y baja intensidad de corriente.

Aplicaciones

En las estaciones transformadoras situadas cerca de los núcleos de consumo, es posible convertirla, de acuerdo con la anterior expresión, en otra de menor tensión y mayor intensidad con poca pérdida de potencia.

El transporte a baja intensidad reduce considerablemente las pérdidas en forma de calor (efecto Joule) a lo largo del trayecto que separa las centrales eléctricas de las ciudades.

