	MASTER DE FORMACIÓN B1.1 y B1.3 MÓDULO 3 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	Edición: 3 Revisión: 9 Fecha: 31/07/2017
---	---	--

ÍNDICE M3

Capítulo11 – Inductancia / Inductor

11.1. ACCION DE INDUCCION DE UN VOLTAJE EN UN CONDUCTOR EN MOVIMIENTO EN UN CAMPO MAGNETICO. PRINCIPIOS DE LA INDUCCION.	3.11.2
11.2. LEYES DE FARADAY. EFECTOS DE LA VARIACION DE FLUJO Y NUMERO DE ESPIRAS DEL CONDUCTOR SOBRE EL VOLTAJE INDUCIDO.....	3.11.4
11.3. INDUCCION MUTUA. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE CAMBIO DE LA CORRIENTE PRIMARIA Y LA INDUCTANCIA MUTUA SOBRE LA FEM INDUCIDA.	3.11.5
11.4. INDUCTANCIA PROPIA. FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ.....	3.11.7
11.5. EXTRACORRIENTES DE CIERRE Y APERTURA.	3.11.8
11.6. ASOCIACION DE BOBINAS.	3.11.9
11.7. PRINCIPALES UTILIZACIONES DE LOS INDUCTORES.	3.11.9
11.8. PRUEBA DE LOS INDUCTORES.	3.11.9
11.9. CONSTANTES DE TIEMPO EN UN CIRCUITO LR.....	3.11.9
11.10. CONSTANTES DE TIEMPO MEDIAS, CORTAS Y LARGAS EN CIRCUITOS RC Y LR. ONDAS TRIANGULARES.	3.11.14

CAPÍTULO 11

INDUCTANCIA / INDUCTOR

11.1. ACCION DE INDUCCION DE UN VOLTAJE EN UN CONDUCTOR EN MOVIMIENTO EN UN CAMPO MAGNETICO. PRINCIPIOS DE LA INDUCCION.

Cuando un conductor se mueve en el interior de un campo magnético, se induce en él una fuerza electromotriz que, si el circuito esta cerrado, daría lugar una corriente eléctrica inducida. Se ha comprobado experimentalmente que **un conductor que se mueve cortando perpendicularmente las líneas de flujo de un campo magnético se induce en él una fuerza electromotriz**, que será proporcional al campo, a la longitud del conductor y a la velocidad de desplazamiento del conductor con respecto al campo. La figura 3.11.1 siguiente muestra un ejemplo.

Fig. 3.11.1. Principio de la inducción electromagnética

El valor de la f.e.m. inducida sería:

$$E = B \cdot v \cdot l \quad (\text{voltios})$$

B = campo (teslas)
 l = longitud (metros)
 v = velocidad (m / s)

(si el conductor estuviese girando, v = velocidad tangencial en m/s).

(si el desplazamiento del conductor no fuese perpendicular a las líneas de fuerza del campo, la fem vendría afectada por el seno del ángulo formado por el vector velocidad con el vector campo).

Recordando que se definía el flujo magnético como el campo magnético contenido en una unidad de superficie:

$$\phi = B \times S \quad \text{o} \quad B = \frac{\phi}{S} \quad \text{luego} \quad E = \frac{\phi}{l^2} \cdot l \cdot v = \frac{\phi \cdot l \cdot v}{l^2} \quad \text{T}$$

Entonces, el valor de la f.e.m. inducida se puede escribir en la forma:

$$E = \frac{\Delta \phi}{\Delta T} \quad \left(\text{voltios} = \frac{\text{weber}}{\text{segundo}} \right)$$

Si, como se ve en la figura 11.1 anterior, el conductor se desliza sobre otro conductor, la fem inducida hará circular una corriente en un sentido tal que dará lugar a una fuerza que se oponga al movimiento del conductor en el campo magnético. Esto es lógico, puesto que si el sentido de la corriente fuese tal que favoreciese el incremento de la fem, solo con dar el movimiento inicial se incrementaría el movimiento y la intensidad de corriente, lo que es contrario al principio de la conservación de la energía. Esto se conoce como la **Ley de Lenz: La fuerza electromotriz inducida tiene un sentido tal que tiende a oponerse a la causa que la produce.**

De igual modo, si un conductor por el que circula una corriente se sumerge en el seno de un campo magnético de modo que el conductor se pueda mover con libertad, se ejercerá una fuerza, F , que hará que el conductor se desplace en el sentido indicado en la figura 11.2 siguiente. En a) de esa figura 3.11.2. se ha representado el campo magnético perpendicular al papel y el conductor paralelo al papel, apreciándose que, al aplicar la ley de la mano derecha al conductor, el campo B que genera se suma al campo existente por debajo del conductor provocando un reforzamiento del campo, mientras que por la parte superior del conductor se restan los campos provocando un debilitamiento del campo resultante, lo que da lugar a que el conductor se desplace hacia arriba, o hacia donde se ha debilitado la inducción.

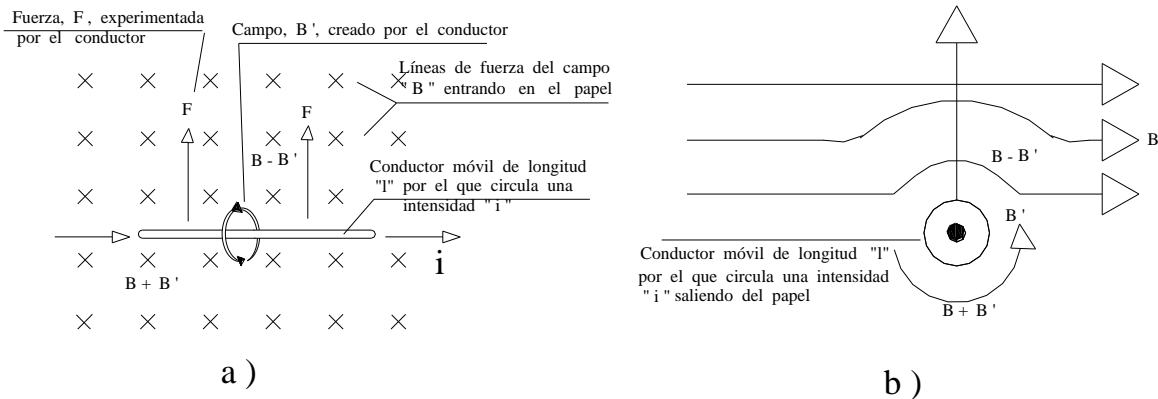


Fig. 3.11.2. Fuerza experimentada por un conductor en un campo magnético

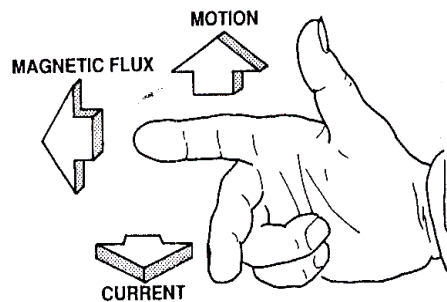
En b) de la misma figura 3.11.2 el campo se ha dibujado paralelo al papel mientras que el conductor es perpendicular al papel y saliendo de él produciendo un debilitamiento del campo resultante en el espacio existente sobre el conductor y un reforzamiento bajo el conductor, tal como se muestra. El conductor se desplace en el sentido del debilitamiento del campo.

El valor, en Newton, de la fuerza experimentada por el conductor, conocida como fuerza de Lorentz, es:

$$F \text{ (Newton)} = B \cdot i \cdot l$$

B = campo (tesla)
 i = intensidad (amperios)
 l = longitud (metros)

Las magnitudes Fuerza, Campo e Intensidad de corriente son tres vectores perpendiculares entre sí y de los sentidos indicados por las reglas, **de la mano izquierda cuando un conductor por el que circula una corriente se sumerge en un campo magnético (motor) y de la mano derecha cuando un conductor en movimiento se sumerge en un campo magnético (generador)**, de modo que si se disponen los dedos índice, pulgar y medio se sitúan perpendiculares entre sí, **el dedo medio marca el sentido de la intensidad de corriente o fem inducida, el dedo índice marca el sentido del campo magnético y el dedo pulgar marca el sentido del movimiento del conductor o el de la fuerza que actúa sobre el conductor**. Esto es muy interesante en el estudio de motores y generadores. Ver la figura siguiente.



11.2. LEYES DE FARADAY. EFECTOS DE LA VARIACION DE FLUJO Y NÚMERO DE ESPIRAS DEL CONDUCTOR SOBRE EL VOLTAJE INDUCIDO.

Se ha visto que cuando un conductor se mueve en un campo magnético cortando líneas de inducción se induce en él una f.e.m. Este fenómeno fue estudiado por Faraday y se conoce como inducción electromagnética.

Si ahora, tal como se ve en la figura 3.11.3 siguiente, se acerca un imán a una espira donde se monta un amperímetro, de modo que el imán se mueve sobre el papel y la espira es perpendicular al papel, se observa que por él circulará una corriente que será tanto mayor cuanto mayor sea la velocidad con que se acerca el imán. El sentido de esa corriente será tal que se tiene que crear una cara norte en la izquierda de la espira de modo que se oponga al acercamiento del imán. Cuando el imán se aleje, se creará una cara sur en la izquierda de la espira para atraer al imán e impedir que se aleje.

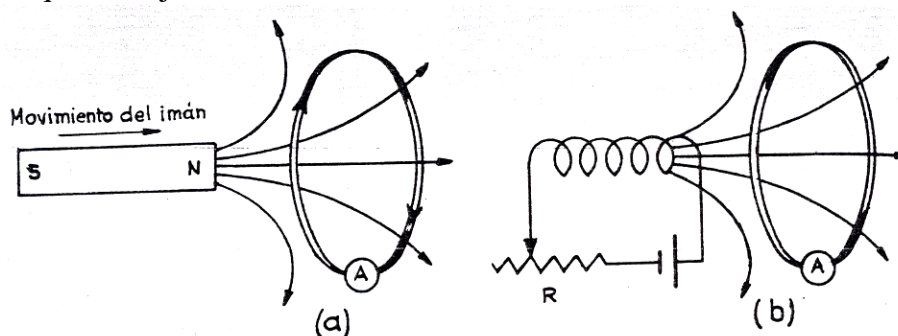


Fig. 3.11.3. Inducción electromagnética en una espira

Lo mismo se observa si, en lugar de un imán, se monta un solenoide por el que circula una corriente. En este caso, no es necesario que el solenoide se mueva, sino que basta con variar

la corriente que recorre el solenoide ya que al variar la intensidad varia el campo creado y por tanto el campo abarcado por la espira donde esta el amperímetro.

La Ley de Faraday dice que la fuerza electromotriz inducida en un solenoide sometido a una variación de flujo es proporcional al número de espiras del solenoide y a la variación del flujo abarcado por el solenoide en unidad de tiempo.

$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta T}$$

Estando medidas, la f.e.m. inducida en voltios, el flujo en Weber y el tiempo en segundos, como se ha visto anteriormente. Nótese que si NO HAY VARIACIÓN DE FLUJO con respecto al tiempo NO HAY FEM INDUCIDA.

La polaridad y el sentido de la corriente se obtienen aplicando la Ley de Lenz. Así, en la figura anterior, al acercar el imán a la espira, aumenta el flujo abarcado por la espira, por lo que la fem tiene que tener un sentido tal que se oponga al aumento de flujo creando un flujo de sentido contrario, o sea la espira tiene que crear un Norte en el lado por el que se aproxima el imán oponiéndose a su acercamiento. Lógico, pues si crease un Sur, el campo de la espira atraería al imán, cortando más líneas de fuerza e induciéndose más fem sin trabajo adicional, lo que es contrario a la ley de la conservación de la energía.

11.3. INDUCCION MUTUA. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE CAMBIO DE LA CORRIENTE PRIMARIA Y LA INDUCTANCIA MUTUA SOBRE LA FEM INDUCIDA.

En la figura 3.11.4 siguiente se representa una bobina de N_1 espiras con una intensidad I_1 que pasa de cero a ese valor en un tiempo T .

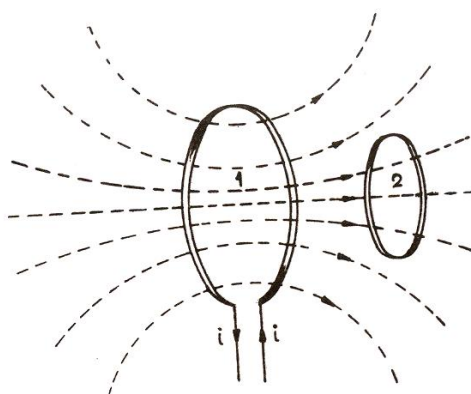


Fig. 3.11.4. Inducción mutua entre dos espiras



Cerca de ella se sitúa una bobina de N_2 espiras. El flujo que atraviesa la bobina 2 será ϕ_{21} , o flujo ligado a la bobina 2 creado por la bobina 1 y, como se conocen las espiras de la bobina 2, el flujo inducido en ella será $N_2 \phi_{21}$. Por tanto, la fem inducida en la bobina 2 será:

$$E_2 = - N_2 \frac{\Delta \phi_{21}}{\Delta T}$$

negativa, por ser de signo opuesto a la causa que la creó, según la Ley de Lenz. Pero como el flujo que atraviesa la bobina 2 es proporcional a la intensidad de circula por la bobina 1:

$$\phi_{21} = K I_1 \quad K = \frac{\phi_{21}}{I_1}$$

Se ve que K define la cantidad de flujo generado por la bobina 1, como función de la intensidad que circula por ella, y que atraviesa a la bobina 2. Si la distancia entre las bobinas disminuyera, K aumentaría.

Sustituyendo en la formula anterior: $E_2 = - k N_2 \frac{\Delta I_1}{\Delta T}$

O lo que es igual $E_2 = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta T}$

En donde se ha sustituido la constante $k N_2$ por otra constante M , que se conoce con el nombre de **inductancia mutua o coeficiente de inducción mutua, que se mide en henrios y se define: La inducción mutua de dos circuitos es de 1 henrio si se induce en uno de ellos la fuerza electromotriz de un voltio cuando la intensidad en el otro varia a razón de un amperio por segundo.**

$$M = \frac{- E_2}{\Delta I_1 / \Delta T} = N_2 K \quad M = N_2 \frac{\phi_{21}}{I_1}$$

El coeficiente es el mismo cualquiera que se tome como primario, luego

$$M = N_1 \frac{\phi_{12}}{I_2}$$

11.4. INDUCTANCIA PROPIA. FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ.

Hasta ahora la fem inducida en un circuito se ha producido por la variación de un campo magnético ajeno al circuito. Sin embargo, siempre que circule una corriente por una bobina se produce un flujo que atraviesa a la propia bobina. Si se hace variar la intensidad de la corriente que circula por la bobina, se hará variar el flujo que atraviesa la bobina y se producirá en la bobina una f.e.m. inducida. En la figura 3.11.5, al variar el cursor del potenciómetro se hace variar la corriente que circula por la bobina.

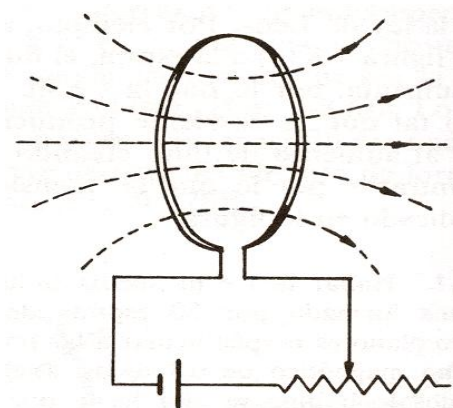


Fig. 3.11.5. Inductancia propia

El flujo generado por la bobina será $K \cdot I$ y la fem inducida será:

$$E = - N \frac{\Delta \phi}{\Delta T} = - N K \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

y substituyendo NK por L , al igual que se hacía entre NK y M :

$$E = - L \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

Donde L es la **Inductancia propia o coeficiente de autoinducción** que se mide en henrios y se define: **La inductancia de un circuito es de un henrio si se induce en él una fem de un voltio cuando la intensidad varía en el propio circuito a razón de un amperio por segundo.**

Esta fem autoinducida se conoce como **fuerza contraelectromotriz** y su sentido se obtiene aplicando la Ley de Lenz. Si la intensidad aumenta la fem se opone al aumento y su sentido es tal que se opone a la intensidad. Si la intensidad disminuye, la fem se opone a esa disminución y su sentido es el mismo de la intensidad, como se ve en la figura 3.11.6 siguiente.

11.6. ASOCIACION DE BOBINAS.

Las bobinas se pueden asociar, al igual que las resistencias, en serie y en paralelo. Si no hay acoplamiento entre ellas, la inductancia total se calcula igual que en las resistencias.

Bobinas dispuestas en serie: $L = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

$$\text{Bobinas en paralelo: } L = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Con las mismas particularidades estudiadas para todos los casos de resistencias en paralelo.

En una instalación, lo habitual es que todas las bobinas estén conectadas en paralelo. En capítulos siguientes se estudiarán diferentes combinaciones en función de la instalación de que se trate.

11.7. PRINCIPALES UTILIZACIONES DE LOS INDUCTORES.

Las bobinas o inductores encuentran multitud de usos en electricidad y electrónica, como:

- . Fabricación de relés, solenoides y contactores.
- . Fabricación de transformadores.
- . Fabricación de filtros.
- . Fabricación de motores y generadores.
- . Fabricación de choques de Radio Frecuencia para Radio.

Y otros. El estudio de todos estos componentes se desarrollará a lo largo de este texto.

11.8. PRUEBA DE LOS INDUCTORES.

Una bobina se comprueba midiendo continuidad entre sus extremos, de modo que una marcación en el óhmetro de unos pocos ohmios, o fracciones de ohmio, indicará una bobina útil y una medida de infinito o circuito abierto indicará una bobina inútil o defectuosa.

11.9. CONSTANTES DE TIEMPO EN UN CIRCUITO LR.

Si a una bobina, L, se le aplica una diferencia de potencial, V_{ab} , a través de una resistencia, R, poniendo el conmutador de la figura 3.11.8. en la posición 1, en el instante de cerrar el interruptor la intensidad tiende a crecer por lo que la bobina desarrolla una fuerza contraelectromotriz que impide el crecimiento de la corriente de modo que la intensidad será

cero en el instante inicial, o para $t = 0$, luego toda la caída de tensión está en la bobina siendo nula la caída de tensión en la resistencia. En efecto:

Según la 1ª Ley de Kirchoff: $V_{ab} = V_R + V_L$
 Para $t = 0$ $I = 0$ y $V_R = I \cdot R = 0$ luego $V_{ab} = V_L$

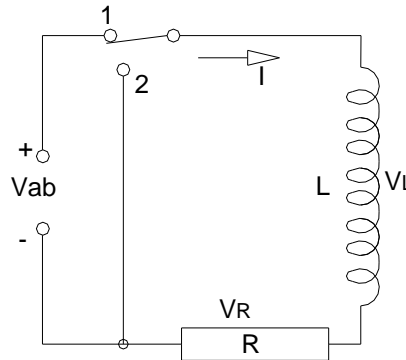


Fig. 3.11.8. Corrientes de carga y descarga de una bobina

La intensidad empezará a crecer rápidamente en el circuito de modo que cuando la intensidad alcance la mitad de su valor máximo, la mitad de la tensión aplicada habrá caído en R y la otra mitad en L, por lo que el ritmo de crecimiento de la intensidad será también la mitad. El resultado es que va disminuyendo progresivamente el aumento de la intensidad hasta que prácticamente deja de crecer alcanzando su valor máximo a:

$$I_{max} = \frac{V_{ab}}{R} \quad (\text{se supone nula la resistencia del hilo de la bobina})$$

Se puede demostrar que los valores que alcanzan la intensidad, y las caídas en bobina y

$$I_L = \frac{V_{ab}}{R} (1 - e^{-tR/L})$$

$$V_R = V_{ab} (1 - e^{-tR/L})$$

$$V_L = V_{ab} \times e^{-tR/L}$$

En estas fórmulas se puede apreciar que son iguales los regímenes de variación en la intensidad de corriente y en la caída en la resistencia, e inversos al de la caída en la bobina. Si se

$$\begin{aligned} \text{Para } \frac{tR}{L} = 1 \quad & V_L = V_{ab} \times e^{-1} = 0,37 V_{ab} \\ & V_R = V_{ab} (1 - e^{-1}) = 0,63 V_{ab} \\ \text{Para } \frac{tR}{L} = 2 \quad & V_L = V_{ab} \times e^{-2} = 0,14 V_{ab} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & V_R = V_{ab} (1 - e^{-2}) = 0,86 V_{ab} \\
 \text{Para } \frac{t R}{L} = 3 & \quad V_L = V_{ab} \times e^{-3} = 0,05 V_{ab} \\
 & \quad V_R = V_{ab} (1 - e^{-3}) = 0,95 V_{ab} \\
 \text{Para } \frac{t R}{L} = 4 & \quad V_L = V_{ab} \times e^{-4} = 0,02 V_{ab} \\
 & \quad V_R = V_{ab} (1 - e^{-4}) = 0,98 V_{ab} \\
 \text{Para } \frac{t R}{L} = 5 & \quad V_L = V_{ab} \times e^{-5} = 0,0067 V_{ab} \\
 & \quad V_R = V_{ab} (1 - e^{-5}) = 0,9933 V_{ab} \\
 \text{Para } \frac{t R}{L} = 10 & \quad V_L = V_{ab} \times e^{-10} = 0,00005 V_{ab} \\
 & \quad V_R = V_{ab} (1 - e^{-10}) = 0,99995 V_{ab}
 \end{aligned}$$

Nótese que el cociente entre el tiempo transcurrido desde que se aplica tensión a la bobina y el cociente L / R es el determinante del estado de carga de la bobina y, por tanto, de la tensión en la resistencia y de la corriente que circula por el circuito. Nótese igualmente, que se puede considerar la intensidad máxima en el circuito desde

$$\frac{t R}{L} = 5$$

Como quiera que el tiempo que tarda la intensidad en alcanzar un valor es directamente proporcional a la inductancia de la bobina y el valor máximo de la corriente es inversamente proporcional al valor de la resistencia, pero si la intensidad es menor tardará menos tiempo en

cociente L / R se define con el nombre de

constante de tiempo. Y comoquiera que el tiempo que se está aplicando tensión a la bobina va a determinar el valor de la corriente en el circuito y, por tanto, tensiones en bobina y resistencia, se define el **número de constantes de tiempo** como el cociente entre el tiempo que se tiene aplicada tensión al circuito y la constante de tiempo. Así, se tiene:

$$\text{Constante de tiempo (segundos)} = \frac{L \text{ (henrios)}}{R \text{ (ohmios)}}$$

$$\text{Número de constantes de tiempo} = \frac{t}{\frac{L}{R}} = \frac{t R}{L}$$

Los valores obtenidos anteriormente demuestran que:

a) Si el tiempo que se mantiene aplicada la tensión al circuito es menor que el cociente L / R , o sea si el número de constantes de tiempo es muy inferior a 5, la corriente del circuito alcanza un valor bajo.

b) Si el tiempo que se mantiene aplicada la tensión al circuito es desde igual hasta 5 veces mayor que el cociente L / R , o sea si el número de constantes de tiempo es de 1 a 5, la corriente del circuito crecerá desde el 63% de su valor máximo hasta casi el 100%. De hecho, a partir de las 5 constantes de tiempo se considera que la intensidad en el circuito es máxima.

c) Si el tiempo que se mantiene aplicada la tensión al circuito es mucho mayor que el cociente L / R , o sea si el número de constantes de tiempo es muy superior a 5, la intensidad alcanzará su valor máximo y se mantendrá sin variación el resto del tiempo.

Representando en una curva los valores de la intensidad de corriente que circula por el circuito en función del tanto por ciento del valor de la intensidad máxima y de la tensión en la resistencia en función del tanto por ciento de la tensión aplicada, y en otra curva el voltaje en la bobina, también en tanto por ciento de la tensión aplicada, se obtienen las curvas de la figura 3.11.9.

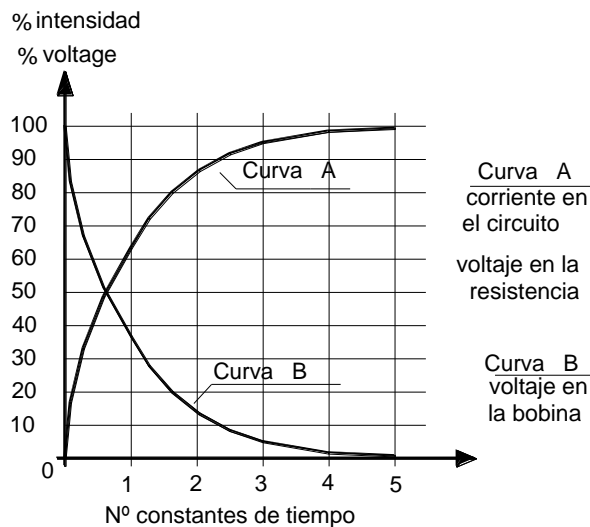


Fig. 3.11.9. Curvas de carga de una bobina

Nótese que estas curvas obtenidas son idénticas a las obtenidas en un circuito RC, o formado por un condensador y una resistencia en serie.

Si, una vez establecida la corriente, se desconecta la bobina de la fuente y se conecta en paralelo con la resistencia, o sea se pasa al conmutador a la posición 2 en la figura 3.11.8, la intensidad tiende a decrecer bruscamente a lo que vuelve a oponerse la bobina creando una fcm, esta vez en el mismo sentido de la corriente, haciendo que sea más lenta la disminución de la intensidad. También se puede demostrar que la corriente en el circuito es, ahora:

$$I = I_0 \times e^{-tR/L}$$

Siendo I_0 la intensidad que circulaba por el circuito en el instante de cambiar el conmutador a la posición 2.

Y, por tanto, las caídas en bobina y resistencia serían:

$$V_R = R I$$

$$V_L = V_{ab} - V_R$$

Al igual que en el condensador, el régimen de funcionamiento será:

Nº Constantes de tiempo	Intensidad (% de I)	Tensión en R (% de E)	Tensión en L (% de E)
1	63,2	63,2	36,8
2	86,5	86,5	13,5
3	95	95	5
4	98,2	98,2	1,8
5	99,3	99,3	0,7

La figura 3.11.10 muestra el régimen de funcionamiento del circuito RL de la figura 3.11.7 cuando se pasa el conmutador a la posición 2.

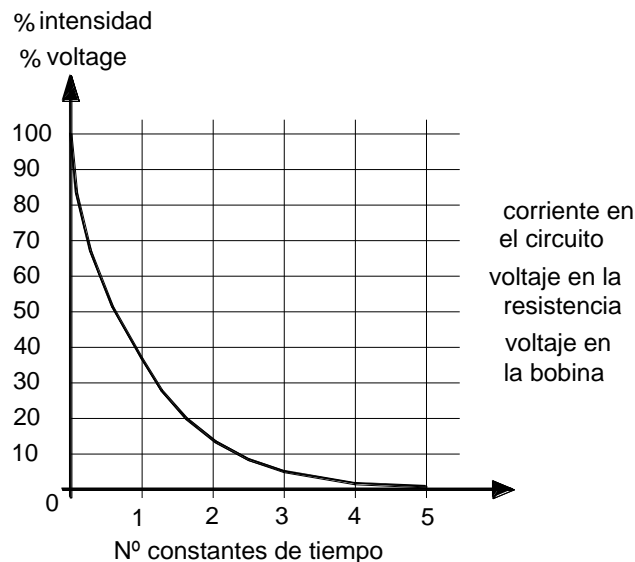


Fig. 3.11.10. Curva de descarga de una bobina

En efecto, en el instante cero la intensidad tiende a hacerse cero, por lo que la bobina crea una f.c.e.m. que se opone manteniendo a la intensidad en su mismo valor. Al estar en paralelo, los valores de tensiones en bobina y resistencia son iguales y de valor máximo. Con el tiempo, va disminuyendo la intensidad de corriente y, con ella, los valores de voltajes en bobina y resistencia. El resultado es la curva de la figura 3.11.10.

11.10. CONSTANTES DE TIEMPO MEDIAS, CORTAS Y LARGAS EN CIRCUITOS RC Y LR. ONDAS TRIANGULARES.

Ya se ha visto que la carga de un condensador en un circuito RC y la corriente que circula por un circuito RL dependen del número de constantes de tiempo o de la relación entre el tiempo que se aplica voltaje al circuito y la duración de la constante de tiempo. También se ha visto que las curvas de respuesta de los componentes de esos circuitos RC o RL son exponenciales y con la forma mostrada en la figura 3.11.11.

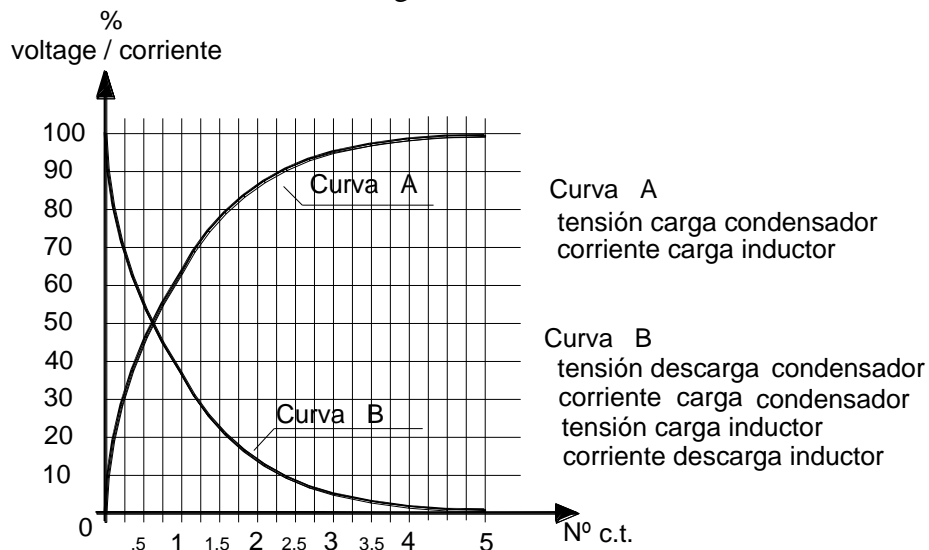


Fig. 3.11.11. Curva universal de Constantes de Tiempo

Si, en un circuito RC, la resistencia y el condensador son de pequeño valor, la c_t es pequeña y si el tiempo que está aplicada la tensión es superior a $5c_t$, el condensador se cargará en la quinta constante de tiempo, permaneciendo cargado el resto del tiempo. Por el contrario, si el tiempo que está aplicada la tensión es inferior a $5c_t$, el condensador iniciará su descarga antes de haber finalizado la carga. De aquí que según sea el tiempo que se aplica tensión a un circuito RC comparado con la constante de tiempo del circuito, se obtendrán distintos tipos de salida.

NOTA. Se ha elegido un circuito RC, aunque se comporta igual un circuito RL.

Se han clasificado las constantes de tiempo en:

Constante de tiempo corta: Cuando el voltaje está aplicado durante 5 c_t o más (c_t menor que el tiempo de impulso más de 5 veces)

$$\frac{t}{RC} > 5 \quad \text{ò} \quad RC \ll t$$

Constante de tiempo media: Cuando el voltaje esta aplicado al circuito entre 1 y 5 ct (ct entre 1 y 5 veces el tiempo de impulso)

$$1 < \frac{t}{RC} < 5 \quad \text{ó} \quad RC \cong t$$

Constante de tiempo larga: Cuando el voltaje está aplicado durante menos de 1 ct (ct mayor que el tiempo de impulso más de 5 veces)

$$\frac{t}{RC} < 1 \quad \text{ó} \quad RC \gg t$$

A efectos de determinar el comportamiento de un circuito RC, se utilizará una onda cuadrada, definida como aquella en el que el voltaje sube bruscamente de un valor cero a su valor máximo, se mantiene en ese valor durante un tiempo determinado para caer, de nuevo, bruscamente a cero, como se ve en la figura 3.11.12, en la que el voltaje pasa de cero a 28 voltios, se mantiene en 28 V. durante 80 milisegundos, cae a cero, donde se mantiene 100 milisegundos, para volver a 28 voltios.

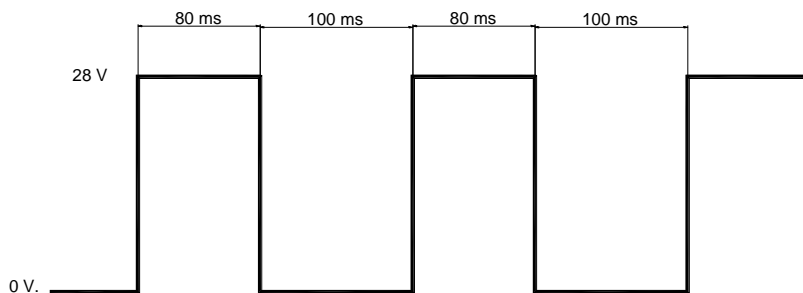


Fig. 3.11.12. Onda cuadrada

Ejemplo: Considérese una onda cuadrada de 50 períodos por segundos aplicada a un circuito RC. Esto significa que en un segundo se realiza 50 veces el efecto de pasar de cero a un máximo. Por tanto:

$$T = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

o 10 ms en valor alto y otros 10 ms en valor cero.

En este caso, el circuito:

- a) Tendrá una constante de tiempo corta cuando el producto RC sea inferior a 2 ms.
- b) Tendrá una constante de tiempo media cuando el producto RC esté comprendido entre 10 y 2 ms.
- c) tendrá una constante de tiempo larga cuando el producto RC sea superior a 2 ms.

El efecto de una constante de tiempo corta se puede ver en el circuito de la figura 3.11.13 siguiente.

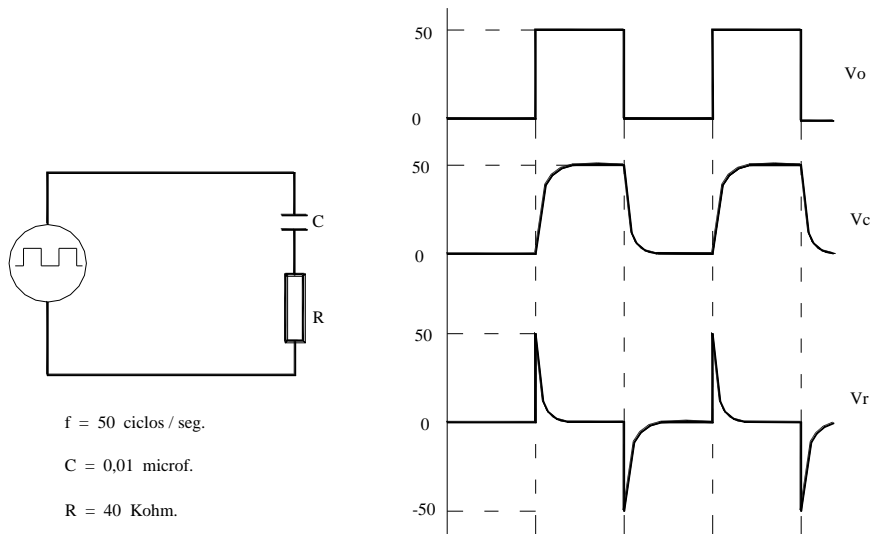


Fig. 3.11.13. Efecto Constante de Tiempo corta (Diferenciación)

En este circuito $RC = 0,01 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3 = 0,4 \text{ ms}$ cuando el impulso aplicado dura 10 mseg (tener en cuenta que $t = 1 / f \Rightarrow t = 1 / 50 = 0,02$ o sea 20 ms, por lo que el impulso es positivo durante 10 ms y cero durante otros 10 ms). El condensador carga completamente en $5 \times 0,4 = 2 \text{ ms}$ y queda cargado durante la 20 ct restantes. La tensión en la resistencia depende de la intensidad que circula por el circuito que será máxima en el inicio de la carga del condensador y cero cuando éste esté cargado, luego presentará la forma de onda indicada en la figura.

Cuando la tensión aplicada cae a cero, el condensador iniciará su descarga a través de la resistencia, generando en ella una ddp en sentido contrario a la producida durante la carga del condensador y que será cero cuando el condensador haya descargado completamente.

El efecto de una constante de tiempo media en un circuito RC se ve en la figura 3.11.14. siguiente:

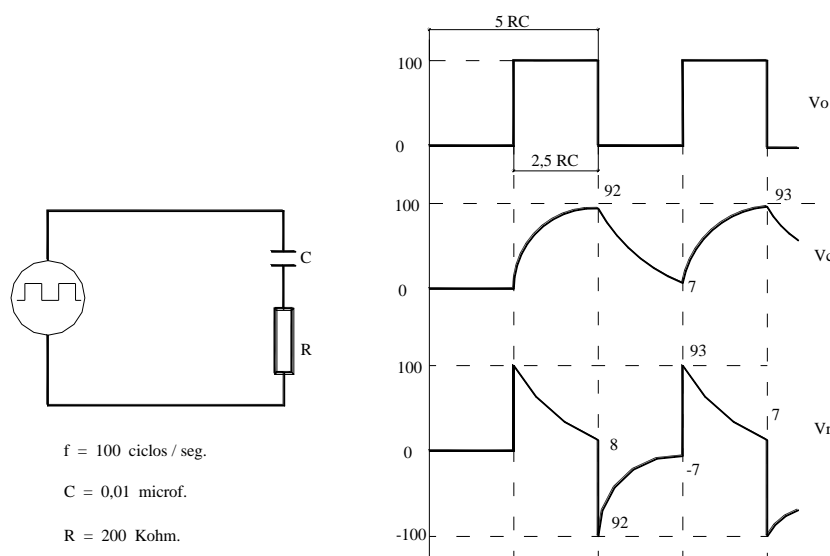


Fig. 3.11.14. Efecto Constante de Tiempo Media

En este circuito se ve que

$$N^{\circ} ct = \frac{1}{2} \times \frac{t}{RC} = \frac{1}{2} \times \frac{1/100}{10^{-8} \times 2 \times 10^5} = 2,5.$$

El impulso positivo se está aplicando durante 2,5 ct al condensador, por lo que antes de que éste haya cargado se inicia su descarga. Como el condensador esta siempre cargándose y descargándose, siempre hay corriente en el circuito y siempre hay ddp en los extremos de la resistencia.

Los efectos de la constante de tiempo larga se aprecian en el circuito de la figura 3.11.15.

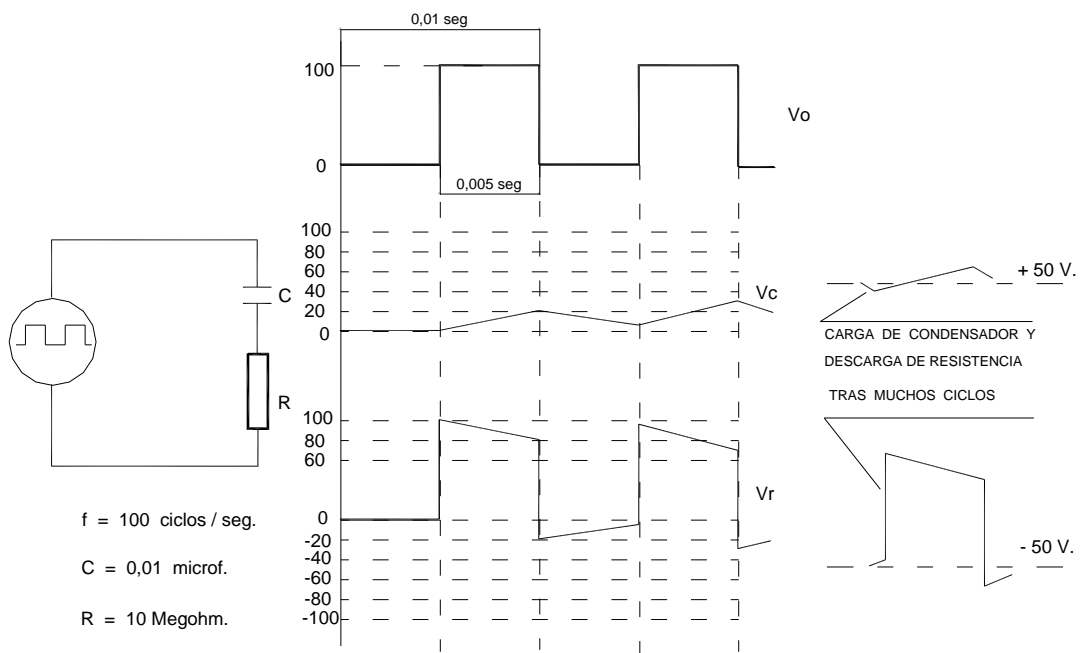


Fig. 3.11.15. Efecto Constante de Tiempo larga (Integración)

La constante de tiempo (100 ms) es mucho más larga que el tiempo que está aplicado el impulso (5 ms) por lo que el condensador inicia una serie de ciclos muy rápidos de carga y descarga que se efectúan en la parte más lineal de la curva por lo que las pendientes de carga y descarga del condensador serán rectas. Dicho de otra manera, el condensador no tiene tiempo de cargar y descargar, cuando apenas ha iniciado una carga, cesa la señal aplicada y se inicia el proceso de descarga, pero cuando inicia la carga siguiente, tampoco ha descargado totalmente, sino que empieza con una carga inicial, lo que hace que la 2º carga sea superior a la primera y así sucesivamente, o sea en cada ciclo se carga un poco más que en el anterior, hasta que llega a un límite. En este circuito siempre hay corriente y las pendientes de carga y descarga de condensador y resistencias son prácticamente lineales.

Circuito diferenciador.

El proceso mediante el que se transforma una onda cuadrada en onda de pico se llama diferenciación (que matemáticamente consiste en obtener una función que sea en todo momento proporcional a la pendiente o derivada de la función primitiva). En un circuito RC, la constante de tiempo tiene que ser muy corta y la salida se toma de la resistencia.

Circuito integrador.

El proceso por el que se cambia una onda cuadrada a triangular se llama integración (que matemáticamente consiste en la integración de la función primitiva). En un circuito RC, la constante de tiempo tiene que ser muy larga y la salida se toma de condensador.

En la figura siguiente 3.11.16 se muestra un ejemplo de integración y diferenciación de una onda cuadrada, donde se ve que en la integración se obtiene una onda triangular.

No es tan perfecta en la realidad.

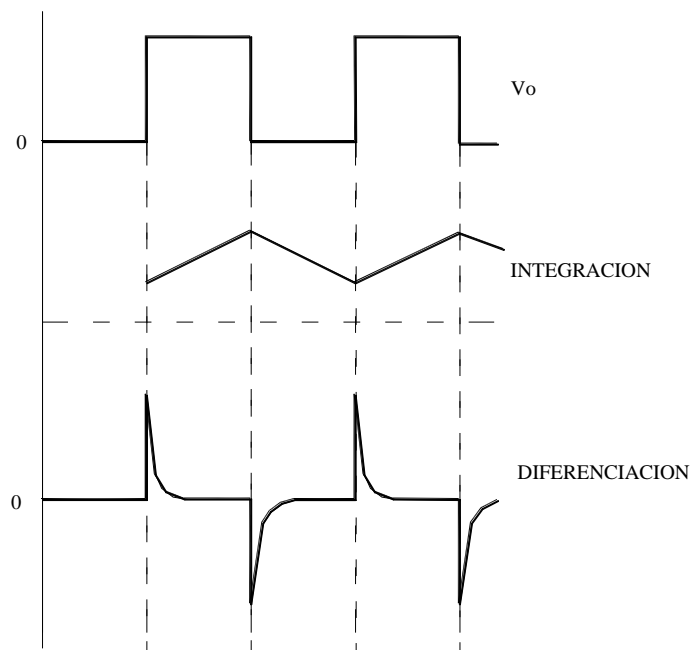


Fig. 3.11.16. Diferenciación e Integración