

Plan de contingencia Pedagógica Para 4to Año
Incluye Bibliografía y Ejercicios de Repaso



Instrucciones: Leer el material y luego tratar de resolver las actividades que se proponen.

Ante cualquier duda consultar al siguiente mail: hugowojczys@yahoo.com.ar

6. Generador de corriente continua

La fuerza electromotriz producida en un generador depende de las características constructivas de la máquina, del flujo magnético y de la velocidad de rotación. Las características constructivas del generador, polos, ramas y número de conductores, son constantes para cada máquina una vez fabricada.

Fuerza electromotriz generada

$$E = K \cdot \Phi \cdot n$$

E : f.e.m. generada en voltios (V)

K : Constante que depende de las características de la máquina

Φ : Flujo magnético por cada polo en webers (Wb)

n : Velocidad de giro en revoluciones por minuto o r.p.m. (min^{-1})

La constante de la máquina se puede determinar conociendo las características de la misma. En el cálculo de K se incluye el factor de conversión para pasar las revoluciones por minuto (n) a revoluciones por segundo o r.p.s.

$$K = \frac{p \cdot N}{a \cdot 60}$$

p : Número de pares de polos del generador

N : Número de conductores del inducido

a : Número de pares de ramas

A partir de la expresión de la f.e.m. podemos determinar cómo varía esta en función de la variación del flujo y de la velocidad de giro.

Para un flujo Φ_1 y velocidad n_1 el valor de la f.e.m. es:

$$E_1 = K \cdot \Phi_1 \cdot n_1$$

Para un flujo Φ_2 y velocidad n_2 el valor de la f.e.m. es:

$$E_2 = K \cdot \Phi_2 \cdot n_2$$

El valor de K es el mismo en las dos expresiones, ya que se trata de la misma máquina. Si dividimos estas expresiones, tenemos:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 \cdot n_1}{\Phi_2 \cdot n_2}$$

Según tengamos el flujo constante o la velocidad constante la expresión se simplifica y nos permite calcular la variación de la f.e.m.

Clasificación de los generadores de corriente continua

Los generadores de corriente continua se clasifican en función del tipo de conexión entre el bobinado de excitación o **inductor** y las bobinas del **inducido**. Según sea esta conexión tenemos:

- a) Generadores de **excitación en serie**, en los que ambos bobinados están conectados en serie.
- b) Generadores de **excitación en paralelo** o derivación (también denominada *shunt*), en los que los bobinados se conectan en paralelo.
- c) Generadores de **excitación compuesta**, en los que el bobinado inductor está dividido en dos partes, una de las cuales se conecta en serie y la otra en paralelo con el bobinado inducido.

En todos los casos anteriores, la corriente de excitación la provoca el propio generador, por lo que hablamos de **generadores autoexcitados**. En ellos, para que se empiece a generar f.e.m., es necesario que exista un pequeño campo magnético remanente en las masas polares del inductor. A este respecto, recuerda el concepto de **magnetismo remanente** visto en el apartado 6.3 de la Unidad 2.

Si la corriente de excitación no es suministrada por el mismo generador, sino que procede de otra máquina o de una línea independiente, hablamos de **generadores de excitación independiente**. También estamos en esta situación si el campo magnético del inductor proviene de un imán permanente, en cuyo caso, el flujo Φ tendrá un valor constante.

A continuación describiremos en primer lugar los generadores de excitación independiente y posteriormente cada uno de los tres casos de generadores autoexcitados.



Ejemplo

4. La f.e.m. inducida en un generador de corriente continua vale 100 V cuando aplicamos un flujo de 8 mWb. Determina la nueva f.e.m. que se genera si, manteniendo constante la velocidad aplicamos un flujo de 7 mWb.

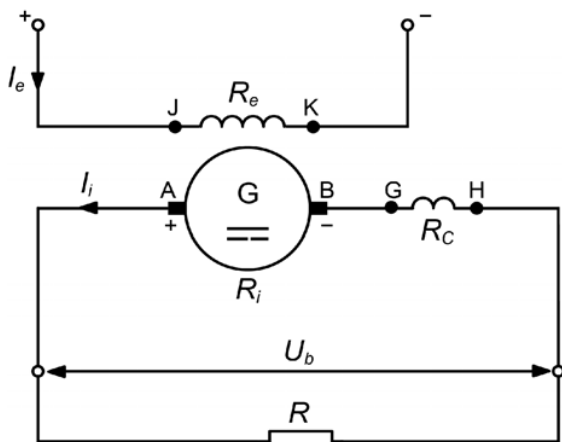
Solución:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 \cdot n_1}{\Phi_2 \cdot n_2} ; \text{ como la velocidad permanece constante, } n_1 = n_2, \text{ entonces:}$$

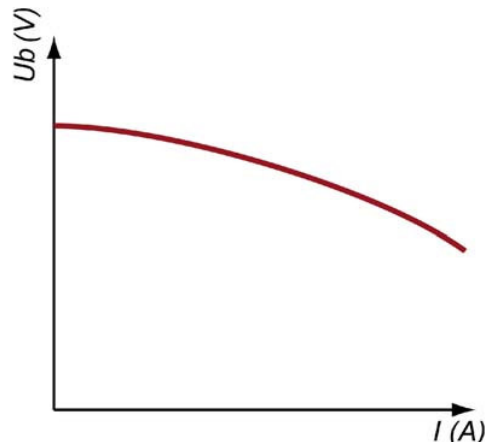
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \Rightarrow \frac{100}{E_2} = \frac{8 \text{ mWb}}{7 \text{ mWb}} \Rightarrow E_2 = \frac{100 \cdot 7}{8} = 87,5 \text{ V}$$

6.1. Generador de excitación independiente

El generador de excitación independiente tendrá el devanado del inductor conectado a una fuente externa a la máquina. En este tipo de generador no sería necesaria la magnetización previa del inductor para conseguir magnetismo remanente, simplemente hacemos girar el rotor de la máquina y conectamos una fuente de tensión al bobinado inductor para provocar la corriente de excitación I_e .



Generador de cc con excitación independiente. (C.A.L.)



Curva característica del generador con excitación independiente. (C.A.L.)

Tensión suministrada a la carga:

$$U_b = E - (R_i + R_c)I - 2U_e$$

E : Fuerza electromotriz en voltios (V)

R_i : Resistencia interna del inducido en ohmios (Ω)

R_c : Resistencia del devanado de conmutación en ohmios (Ω).

I : Intensidad de corriente por la carga R en amperios (A)

U_e : Caída de tensión escobilla-colector en voltios (V)

La curva característica del generador con excitación independiente nos indica que el generador es **estable**. A medida que aumenta el valor de la corriente de carga disminuye levemente el valor de la tensión entre bornes del generador.



Ejemplo

5. Una dinamo de excitación independiente tiene entre bornes una tensión de 48 V y alimenta un receptor a plena carga con una corriente de 10 A. La resistencia del inducido es de 0,1 Ω y la del devanado de conmutación 0,06 Ω . Si despreciamos la caída de tensión entre escobillas y colector, calcula:

- La potencia útil del generador.
- La fuerza electromotriz generada.
- La potencia producida por el inducido.

Soluciones:

a) $P_u = U_b \cdot I = 48 \cdot 10 = 480 \text{ W}$

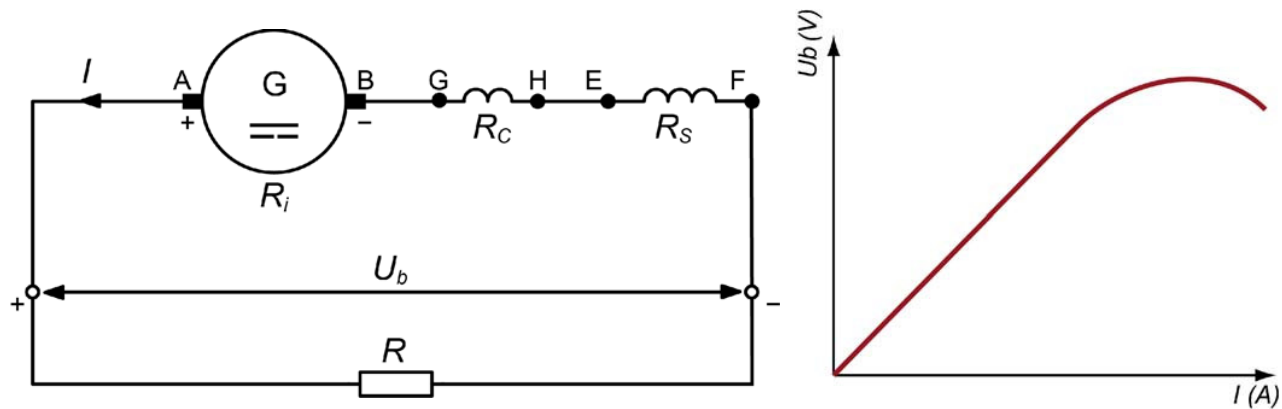
b) Teniendo en cuenta que $U_e = 0$ Calculamos la f.e.m.:

$$E = U_b + (R_i + R_c) \cdot I = 48 + (0,1 + 0,06) \cdot 10 = 49,6 \text{ V}$$

c) $P_{em} = E \cdot I = 49,6 \cdot 10 = 496 \text{ W}$

6.2. Generador de excitación en serie

En el generador de excitación en serie, el devanado inductor, conectado en serie con el inducido, tiene pocas espiras y mucha sección, ofreciendo una resistencia pequeña. Para que se produzca la autoexcitación la máquina debe estar funcionando conectada a la carga, con el circuito cerrado.



Generador de corriente continua con excitación en serie. (C.A.L.)

Curva característica del generador con excitación en serie. (C.A.L.)

Tensión suministrada a la carga:

$$U_b = E - (R_i + R_c + R_s)I - 2U_e$$

R_s : Resistencia del devanado inductor en ohmios (Ω).

La corriente que circula por el inductor es la misma que circula por el inducido y por la carga, esto es:

$$I = I_i = I_e$$

En la curva característica del generador con excitación en serie podemos observar que la máquina aumenta la tensión entre bornes al aumentar la corriente suministrada hasta llegar a un valor máximo en el que la tensión comienza a disminuir. Este tipo de conexión del bobinado de excitación no es bueno cuando necesitamos aportar una tensión constante.



Ejemplo

6. En un generador de excitación en serie conectamos una carga que se alimenta a 220 V y 40 A. La resistencia del devanado del inducido, incluido el bobinado de conmutación es de 0,18 Ω , la del devanado del inductor es de 0,2 Ω y la caída de tensión entre escobilla y colector es de 1 V. Calcula:

- La f.e.m. generada.
- La potencia que aporta el generador a la carga o potencia útil.
- La potencia perdida por el efecto Joule y en las escobillas.

Soluciones:

a) De la expresión $U_b = E - (R_i + R_c + R_s)I - 2U_e$ obtenemos E :

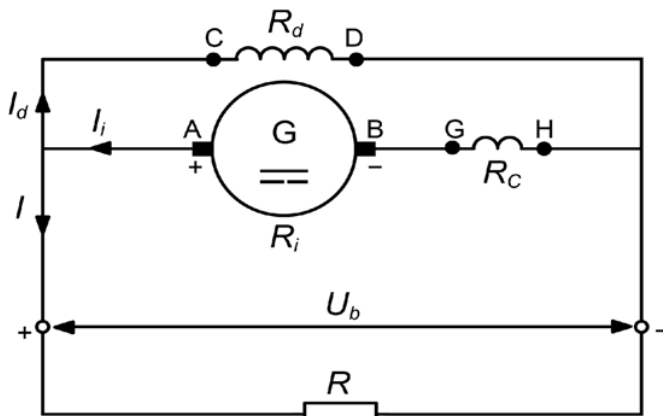
$$E = U_b + (R_i + R_c + R_s) \cdot I + 2U_e = 220 + (0,18 + 0,2) \cdot 40 + 2 \cdot 1 = 237,2 \text{ V}$$

b) $P_u = U_b \cdot I = 220 \cdot 40 = 8800 \text{ W}$

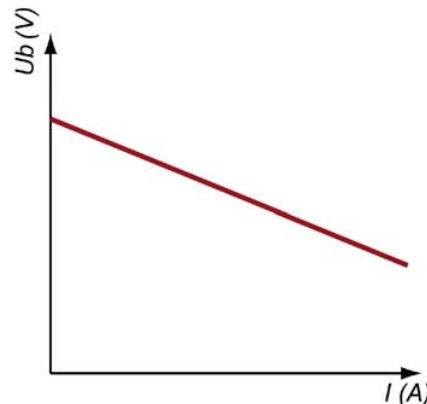
c) $P_{Cu} = (R_i + R_c + R_s) \cdot I^2 + 2U_e \cdot I = (0,18 + 0,2) \cdot 40^2 + 2 \cdot 1 \cdot 40 = 688 \text{ W}$

6.3. Generador de excitación en derivación o paralelo

En el generador de excitación en derivación, el devanado del inductor está conectado en paralelo con el inducido. Tiene muchas espiras y poca sección, ofreciendo una resistencia alta. En este caso para que se produzca la autoexcitación se arranca en vacío, de esta forma, la corriente que se genera en el inducido alimenta al devanado de excitación.



Generador de corriente continua con excitación en derivación (C.A.L.)



Curva característica del generador con excitación en derivación. (C.A.L.)

Tensión suministrada a la carga: $U_b = E - (R_i + R_c)I_i - 2U_e$

I_i : Intensidad de corriente por el inducido en amperios (A).

Corriente por el bobinado inductor: $I_d = \frac{U_b}{R_d}$

La corriente suministrada por el inducido se reparte para alimentar al inductor y a la carga: $I_i = I + I_d$

La curva característica del generador con excitación en derivación nos indica que este generador tiene un **funcionamiento estable**. Al aumentar la corriente por la carga, disminuye la tensión entre sus bornes.



Ejemplo

7. Un generador de excitación en derivación alimenta una carga con una tensión 100 V y una corriente de 20 A. La resistencia del devanado inductor es de 50 Ω y la del devanado inducido y de conmutación de 0,08 Ω . La caída de tensión en el contacto entre escobilla y colector es de 1,2 V. Con la máquina funcionando a plena carga, calcula:

- La intensidad de corriente por el inductor.
- La intensidad de corriente por el inducido.
- La f.e.m. generada en el inducido.
- La potencia aportada a la carga o potencia útil.

Soluciones:

a) $I_d = \frac{U_b}{R_d} = \frac{100}{50} = 2 \text{ A}$

b) $I_i = I_d + I = 2 + 20 = 22 \text{ A}$

c) De la fórmula $U_b = E - (R_i + R_c)I_i - 2U_e$ despejamos la f.e.m. E :

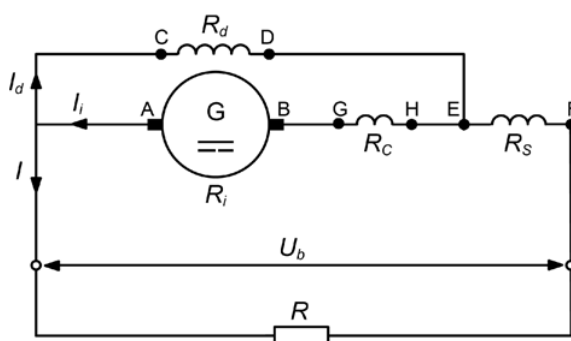
$$E = U_b + (R_i + R_c) \cdot I_i + 2 \cdot U_e = 100 + 0,08 \cdot 22 + 2 \cdot 1,2 = 104,16 \text{ V}$$

d) $P_u = U_b \cdot I = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ W}$

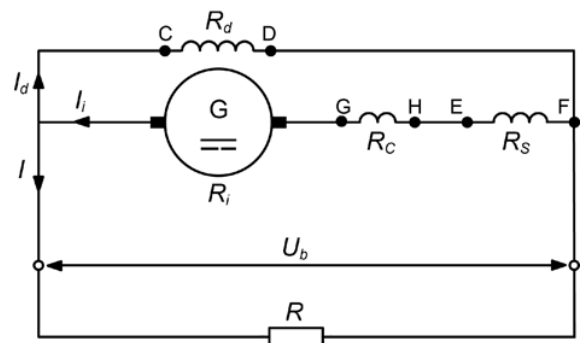
6.4. Generador de excitación compuesta

El generador de excitación compuesta se basa en la combinación de la excitación serie y derivación; de hecho, tiene el devanado inductor dividido en dos partes, una conectada en serie con el inducido y otra en paralelo. Para que se produzca la autoexcitación se debe arrancar en vacío; así, tal como sucede en el generador de excitación derivación, la corriente que se genera en el inducido alimenta al devanado de excitación conectado en paralelo.

Según cómo esté conectado el devanado paralelo distinguimos dos tipos de conexiones: conexión corta y conexión larga. La diferencia en cuanto al funcionamiento es mínima.



Generador de corriente continua con excitación compuesta corta. (C.A.L.)



Generador de corriente continua con excitación compuesta larga. (C.A.L.)

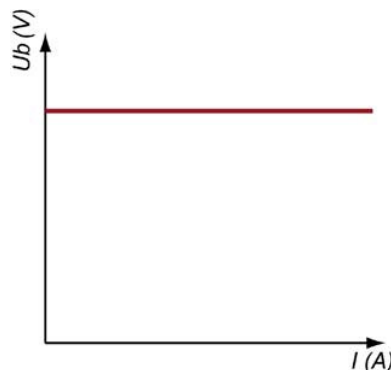
Tensión suministrada a la carga en la conexión corta: $U_b = E - (R_i + R_c) \cdot I_i - R_s \cdot I - 2U_e$

Tensión suministrada a la carga en la conexión larga: $U_b = E - (R_i + R_c + R_s)I_i - 2U_e$

Intensidades de corriente por los devanados en la conexión corta:
$$\begin{cases} I_d = \frac{U_b - I \cdot R_s}{R_d} \\ I_i = I + I_d \end{cases}$$

Intensidades de corriente por los devanados en la conexión larga:
$$\begin{cases} I_d = \frac{U_b}{R_d} \\ I_i = I + I_d \end{cases}$$

Curva característica:



Curva característica del generador con excitación compuesta. (C.A.L.)

La curva es prácticamente una línea horizontal, esto quiere decir que el generador mantiene la tensión constante aunque varíe la carga.



Ejemplo

8. Un generador de excitación compuesta en conexión larga con una potencia de 50 kW y una tensión en bornes de 200 V, tiene una resistencia del inducido de 0,05 Ω , una resistencia del devanado de conmutación de 0,04 Ω , una resistencia del devanado de excitación serie de 0,06 Ω y una resistencia del devanado de excitación paralelo de 80 Ω . La caída de tensión entre escobilla y colector es de 1 V. Considerando que la máquina funciona a plena carga, calcula:

- La intensidad suministrada a la carga.
- La intensidad en el inducido.
- El valor de la f.e.m.

Soluciones:

$$\text{a) } P_u = U_b \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_u}{U_b} = \frac{50000}{200} = 250 \text{ A}$$

b) Para determinar I_i , en primer lugar calculamos I_d :

$$I_d = \frac{U_b}{R_d} = \frac{200}{80} = 2,5 \text{ A}$$

$$I_i = I + I_d = 250 + 2,5 = 252,5 \text{ A}$$

c) De la expresión $U_b = E - (R_i + R_c + R_s)I_i - 2U_e$ despejamos E :

$$E = U_b + (R_i + R_c + R_s) \cdot I_i + 2 \cdot U_e$$

$$E = 200 + (0,05 + 0,04 + 0,06) \cdot 252,5 + 2 \cdot 1 = 239,875 \text{ V}$$



Actividades

- La f.e.m. inducida en un generador de corriente continua vale 150 V cuando la máquina gira a 250 r.p.m. manteniendo el flujo constante. Determina la nueva f.e.m. si hacemos girar la máquina a 100 r.p.m.
- Un generador de excitación independiente produce una f.e.m de 110 V y entre bornes tiene una diferencia de potencial de 100 V. La resistencia del inducido es 0,1 Ω , la de conmutación 0,06 Ω y la caída de tensión entre escobilla y colector es de 0,8 V. Calcula:
 - La intensidad de corriente que circula por la carga.
 - La potencia que el generador cede a la carga o potencia útil.
 - El rendimiento eléctrico del generador (despreciando las pérdidas mecánicas y magnéticas).
- Un generador de excitación en serie produce una tensión entre bornes de 125 V y tiene una potencia útil de 4 kW. La resistencia del inducido es de 0,08 Ω , la de conmutación 0,04 Ω y la del devanado de excitación 0,8 Ω . Si despreciamos la caída de tensión entre escobillas y colector, determina la f.e.m. a plena carga.
- Un generador de excitación en derivación tiene entre los bornes una tensión de 200 V cuando se conecta a una carga de 10 Ω . La resistencia del devanado inductor es de 80 Ω . La resistencia del devanado inducido y los polos de conmutación es de 0,12 Ω y la caída de tensión en el contacto entre escobilla y colector es de 0,8 V. Calcula:
 - Las Intensidades que circulan por el generador.
 - La f.e.m. generada.
 - La potencia electromagnética generada, la potencia útil y el rendimiento eléctrico.

19. Un generador de excitación compuesta en conexión corta suministra a plena carga una tensión de 100 V y una corriente de 30 A. La resistencia del devanado inducido y los polos de conmutación es de $0,16 \Omega$, la resistencia de la excitación serie es de $0,08 \Omega$ y la resistencia del devanado paralelo 90Ω . Despreciando la caída de tensión entre escobilla y colector, calcula:
- La intensidad de corriente por el inducido.
 - La f.e.m.
 - La potencia útil y la potencia electromagnética producida.



Recuerda

- ✓ La **fuerza electromotriz** producida en un generador depende de las **características constructivas** de la máquina, del **flujo magnético** y de la **velocidad de rotación**.
- ✓ Para que los generadores autoexcitados comiencen a funcionar es necesario la existencia de **magnetismo remanente** en el inductor.