

Generador Real de Tensión

1. OBJETIVOS

- Estudiar la influencia que ejerce la resistencia interna de un generador sobre la tensión que suministra.
- Determinar la resistencia interna y la fuerza electromotriz de un generador de tensión.
- Verificar experimentalmente el teorema de máxima transferencia de potencia.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un generador real de tensión es equivalente a una fuente ideal de voltaje, V_0 , en serie con una resistencia interna, r . Esta resistencia interna se puede considerar constante, si no se calienta excesivamente.

Cuando conectamos el generador real (representado por la caja gris en la figura), en serie con una resistencia externa (o resistencia de carga), podemos calcular la intensidad que recorre el circuito con la ley de Ohm:

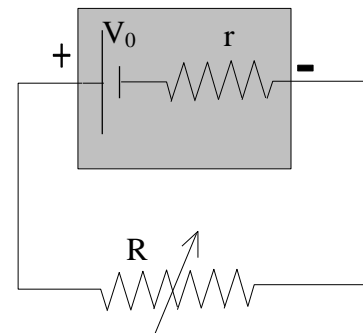
$$I = \frac{V_0}{R + r} \quad (1)$$

siendo

V_0 : fuerza electromotriz del generador

r : resistencia interna del generador

R : resistencia exterior (en este caso, es variable)



La ecuación (1) también se puede escribir: $V_0 = IR + Ir = V + V_i$ (2)

$V = IR$ = caída de potencial entre los extremos del generador (que es también la caída de potencial en R)

$V_i = Ir$ = caída de potencial en la resistencia interna del generador.

O, escrita de otra forma:

$$V = V_0 - rI \quad (3)$$

Es decir, que la diferencia de potencial entre los extremos del generador, V , no es constante, sino que depende de la intensidad de la corriente I que pasa a su través. Y además, esta diferencia de potencial disminuye al aumentar la intensidad, y lo hace en forma lineal.

Si, en la ecuación (3), hacemos $I = 0$ obtendremos que $V = V_0$. Esto quiere decir que, si abrimos el circuito (no circula corriente por él, y por tanto, $I = 0$) la diferencia de potencial que mediríamos con un polímetro ideal entre los extremos de la fuente, sería justamente la *fuerza electromotriz (FEM o f.e.m.)*, V_0 o *tensión en vacío del generador* → **La fuerza electromotriz del generador puede determinarse midiendo la diferencia de potencial entre los terminales de la fuente, cuando el circuito está abierto.**

Ya que medimos V_0 , podremos calcular la resistencia interna del generador; si medimos simultáneamente la intensidad en el circuito y la diferencia de potencial entre los terminales de la fuente, obtenemos la resistencia interna:

$$r = \frac{V_0 - V}{I} \quad (4)$$

Teorema de transferencia máxima de potencia

La potencia que se disipará en la resistencia externa, R , por efecto Joule, se calcula a partir de:

$$P = I^2 R \quad (5)$$

El teorema de transferencia de máxima potencia establece que la potencia disipada en la resistencia externa alcanzará su valor máximo cuando ambas resistencias, la interna y la externa, sean iguales, es decir, cuando $R = r$. Esta sería una forma aproximada y alternativa de determinar el valor de la resistencia interna.

3. MATERIAL

- 2 Polímetros
- Generador de corriente continua (fuente de alimentación, batería o pila).
- Resistencia variable

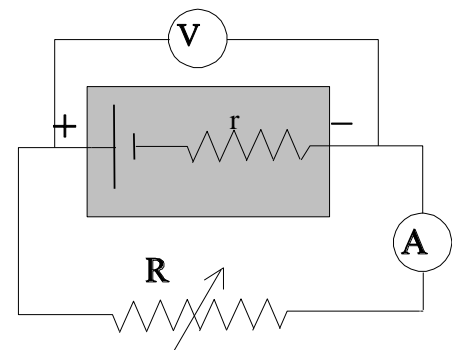
4. METODO DE TRABAJO

El objetivo principal es determinar la fuerza electromotriz y la resistencia interna de una fuente real de voltaje, y para ello utilizaremos **dos métodos** diferentes.

Se montará el circuito de la figura. El generador se conecta en serie con una resistencia variable y con un amperímetro, (inicialmente, se pone en la mayor escala). Entre los terminales del generador se conecta un voltímetro en paralelo (seleccionando la mayor escala).

Tal y como se ha explicado, mediremos el voltaje en vacío, V_0 , y también mediremos parejas de valores I y V variando la resistencia externa. El motivo es que una sola pareja de valores es insuficiente para tener un valor fiable; utilizando la ecuación (5) ya tendríamos el resultado que buscamos, V_0 y r .

Pero veremos que este proceso tiene un inconveniente, y es que (ver Cuestión 1) está influido por la resistencia interna del voltímetro R_V (que, como todo instrumento, no es perfecto), de forma que el valor V_0 que se mide directamente no es el verdadero valor de la fuerza electromotriz. Y es por ello que, con los mismos datos, haremos uso de otro método.



5. TOMA DE DATOS

1) Conectar la fuente y comprobar que, según se mueve el cursor de la resistencia variable, cambian las lecturas del voltímetro y del amperímetro. Fijarse en los rangos de la intensidad y el voltaje cuando nos movemos entre un extremo y otro, porque nos servirá para ver que escalas vamos a utilizar en el proceso.

2) Abrir el circuito (se interrumpe así el paso de la corriente), y anotar la lectura que indica el voltímetro: esta es la tensión en vacío o FEM del generador, V_0 . Cerrar el circuito de nuevo. Este valor debería ser constante, y conviene medirlo varias veces a lo largo de la práctica, y calcular su valor medio.

3) Realizar lecturas del amperímetro (I , en mA) y del voltímetro (V , en voltios) para 10 diferentes posiciones de la resistencia variable y anotarlas en una tabla como la siguiente. No es necesario anotar las distintas posiciones de la resistencia externa, porque se utiliza sólo para variar la intensidad de la corriente que circula por el circuito.

| $I \text{ (mA)}$ | $V \text{ (V)}$ |
|------------------|-----------------|
| ... | ... |

4) Antes de concluir la toma de datos, verificar la tabla, inspeccionando visualmente que no haya datos “raros”. **No olvidar anotar los errores de medida de los instrumentos con que se está trabajando.**

6. PROCESADO DE DATOS Y RESULTADOS

Método 1

- Obtener el valor medio de la FEM, V_0 .
- Calcular el resto de los datos de la tabla ampliada (sin olvidar las unidades de medida, ni los errores de las magnitudes):

| I | V | $V_0 - V$ | r_i | R |
|-----|-----|-----------|-------|-----|
| ... | ... | | | |

r se determina a partir de (5), y el valor de la resistencia externa (R) se calcula como $R = V/I$.

- El valor de la resistencia interna del generador se calcula como el valor medio de los valores de su columna correspondiente. El error de esta resistencia se calculará como se ha visto en la sección correspondiente del cálculo de errores.
- Ya disponemos, por tanto, los valores de la fuerza electromotriz y de la resistencia interna de la fuente. **Expresar estos valores, junto a su error y sus unidades, como resultados finales de este apartado.**

Método 2

Como la resistencia interna del voltímetro que hemos utilizado no es infinita (como sería si fuese un voltímetro perfecto), el valor medido de V_0 no es la verdadera fuerza electromotriz del generador, ya que la medida está afectada por este hecho. Por tanto, lo mismo le pasa al resto de las variables que se han calculado utilizando este valor. Para evitar este inconveniente, vamos a ver un método que no utiliza el valor de V_0 .

En la ecuación (4) se ve que la relación entre la intensidad que recorre el circuito y el voltaje entre los extremos de la fuente, es la ecuación de una línea recta, en la cual, como muestran las ecuaciones siguientes, la pendiente (a) cambiada de signo, será la resistencia interna del generador, y la ordenada en el origen (b) será la *FEM*:

$$V = V_0 - rI$$

$$y = b + ax$$

Podemos, por tanto, utilizar el método de ajuste lineal por mínimos cuadrados a los pares de valores que hemos medido, para determinar el valor de la pendiente de la recta y la ordenada en el origen. Para ello:

- Representar en una gráfica los valores de I (abscisas) y V (ordenadas). Los puntos medidos deberían aparecer situados sobre una línea recta de pendiente negativa.
- Efectuar el ajuste lineal para los datos, y determinar los coeficientes de la recta de regresión (y sus errores correspondientes). **Expresar estos valores, junto a su error y sus unidades, como resultados finales de este apartado.**

3. Verificación del teorema de máxima transferencia de potencia

- Crear una tabla como la siguiente (las tres primeras columnas también se encuentran en la tabla anterior). La potencia disipada (P) se calcula a partir de la expresión (6):

| I | V | R | R/r | P |
|-----|-----|-----|-------|-----|
| ... | ... | | | |

- Representar en una gráfica la potencia frente al valor de R/r y verificar (al menos visualmente) que alcanza su valor máximo cuando $R/r = 1$.

4. Obtención de la resistencia interna de pilas.

Se suministrarán pilas nuevas y usadas.

- *Montar de nuevo el circuito utilizado, pero sustituir el generador de tensión por una pila de las suministradas.*
- *Realizar de nuevo la toma de datos. En este caso es importante efectuar todas las medidas muy rápido, para evitar el calentamiento y que se gaste la pila. Las medidas para intensidades bajas (alta resistencia exterior) son más estables, es importante realizar la toma de datos en esta región.*
- *Tabular los datos obtenidos y realizar el ajuste lineal, obteniendo la tensión en vacío y la resistencia interna de la pila.*
- *Realizar las medidas y el tratamiento de datos para la otra pila, obteniendo también su tensión en vacío y la resistencia interna.*

Analizar los resultados sobre los valores de tensión en vacío y resistencia interna. Comparar lo obtenido para cada pila, para las dos pilas y globalmente para todos los generadores estudiados.

7. CUESTIONES

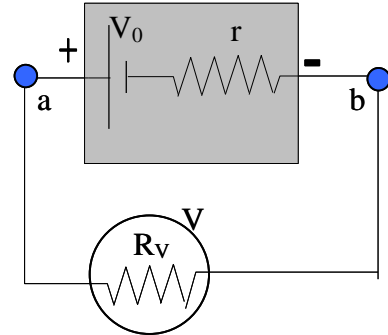
1. Comparar los valores obtenidos para la resistencia interna y la fuerza electromotriz mediante los dos métodos propuestos y comentar los resultados.

Método 1: $FEM =$ _____ ; $r =$ _____

Método 2: $FEM =$ _____ ; $r =$ _____

2. Si R_v es la resistencia interna del voltímetro, demostrar, utilizando la figura adjunta, que la tensión que mide dicho voltímetro, V_{ab} , entre los extremos del generador es:

$$V_{ab} = \frac{V_0}{1 + r / R_v}$$



De acuerdo con la expresión anterior, ¿Cuál es la resistencia interna del voltímetro que se ha utilizado en esta práctica?.

3. En la gráfica que se ha construido para el método 2, extrapolando la recta hasta que corte con el eje de abscisas, obtenemos la corriente de cortocircuito del generador. ¿Qué valor aproximado tiene?. ¿Qué significado tiene esta corriente?

4. Justificar que se ha verificado el teorema de máxima transferencia de potencia

5. La resistencia interna de un generador nos da información útil para detectar problemas, e indicar por ejemplo cuando una batería debe ser reemplazada. Un aumento de resistencia del 25 % indica una caída de rendimiento de aproximadamente un 80 %. ¿Qué disminución del rendimiento se produce en las pilas analizadas?