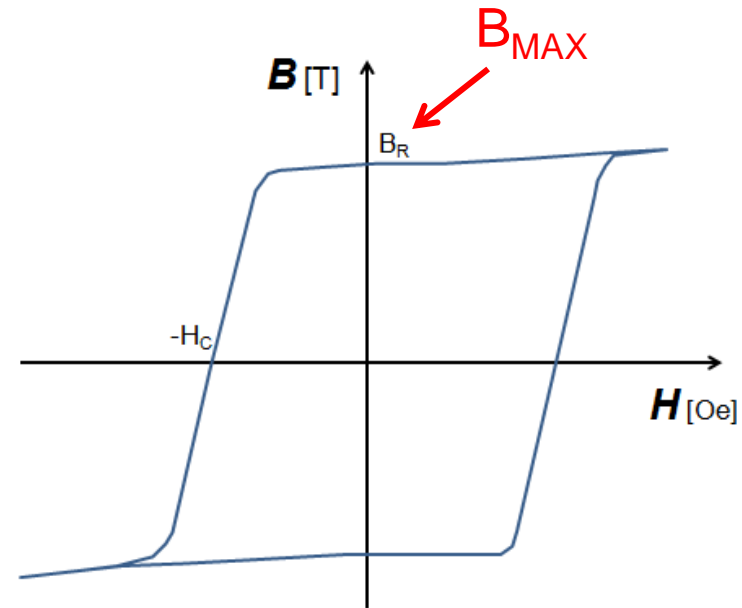
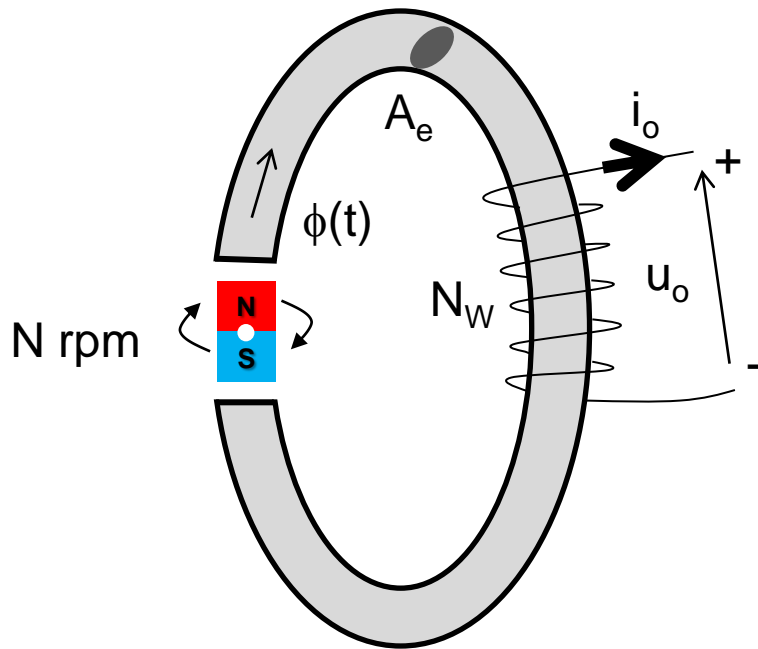


GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Concepto básico inicial:

Supongamos un imán girando en el entrehierro de un determinado toroide



Ejemplo de imán de neodimio



Block 20x20x20 mm

Dimension: 20x20x20mm / Volume: 8000mm³

NdFeB Magnet in N40 (1.29 Tesla)

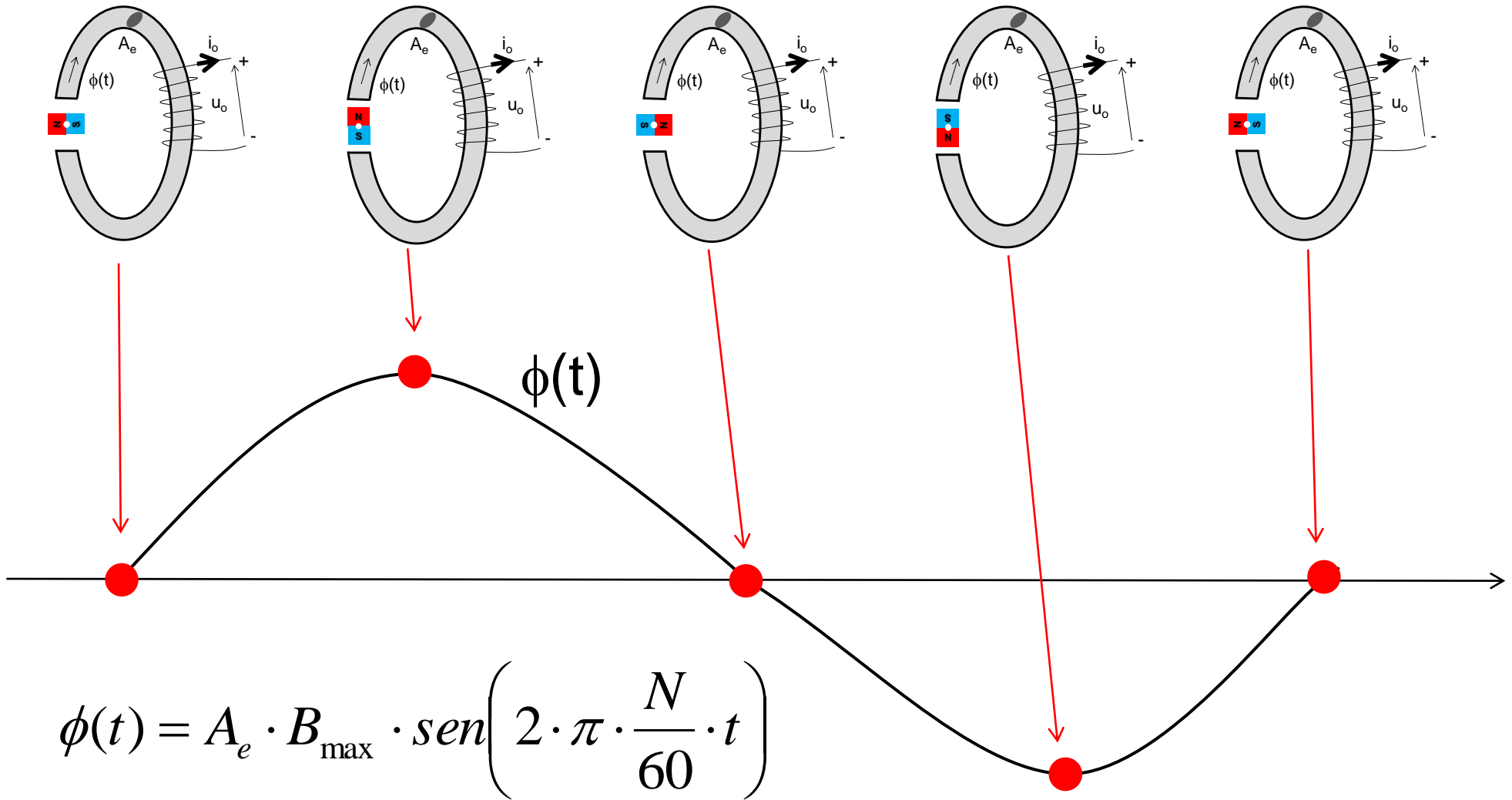
Magnetized Direction: through 20mm

Coating: Nickel

Max. Operating Temperature: 80°C

item # Q-020-020-20-N

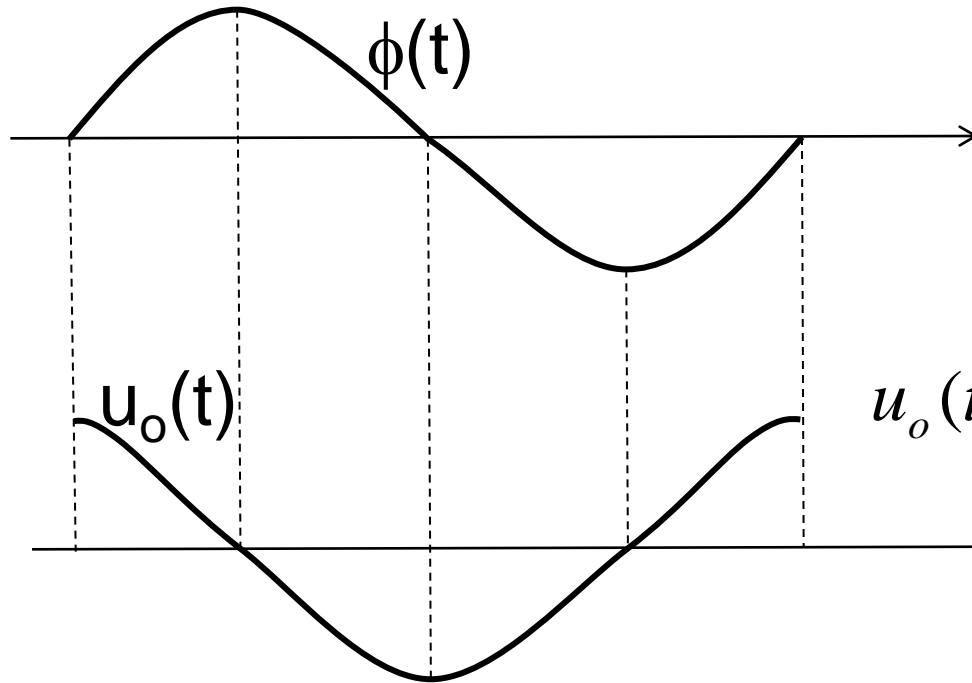
GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO



N [rpm] = Velocidad de rotación del imán

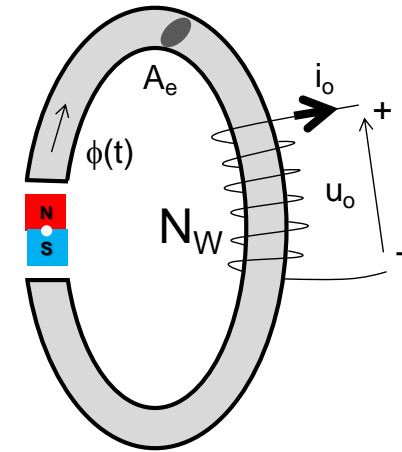
GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$\phi(t) = A_e \cdot B_{\max} \cdot \text{sen}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$



$$u_o(t) = N_W \cdot \frac{d\phi(t)}{dt}$$

N_W = Número de Espiras

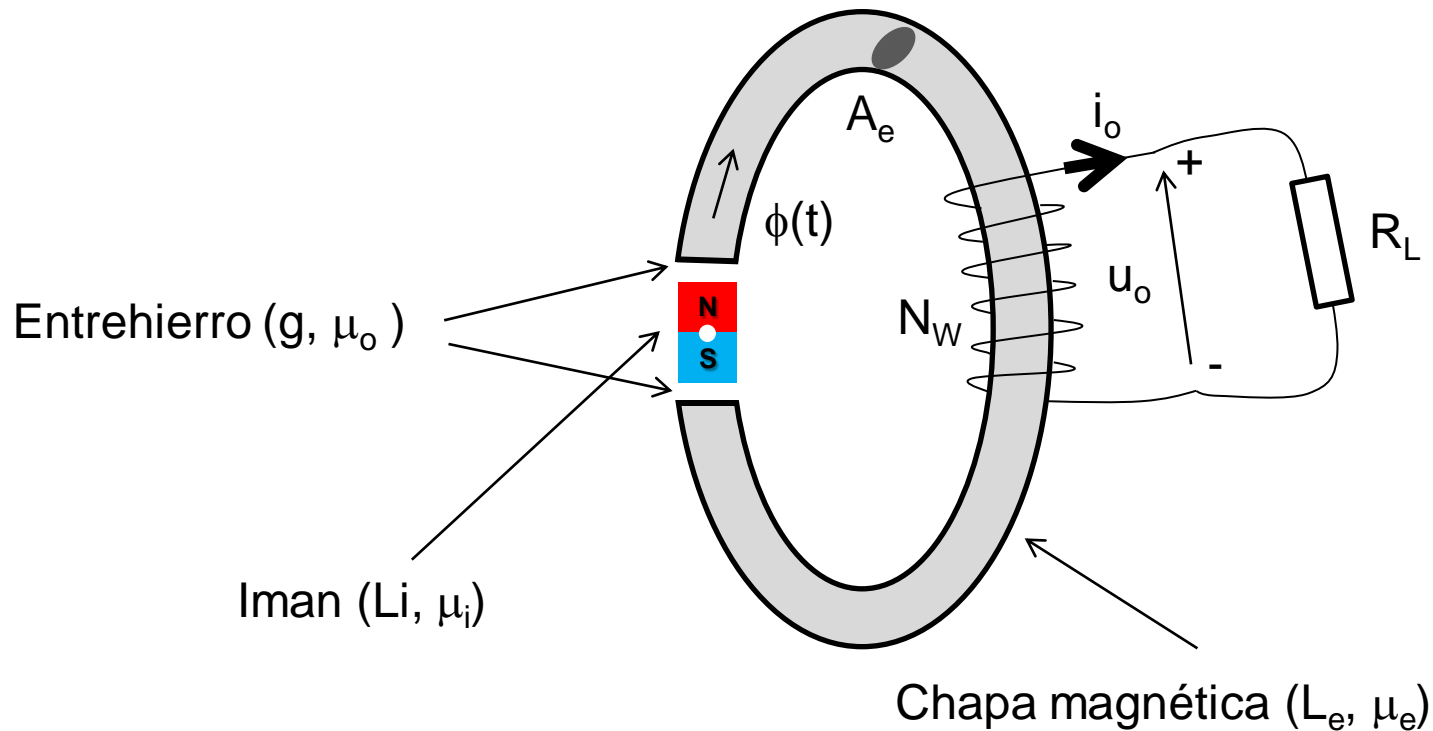


Tensión inducida en vacio

$$u_o(t) = N_W \cdot A_e \cdot B_{\max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$

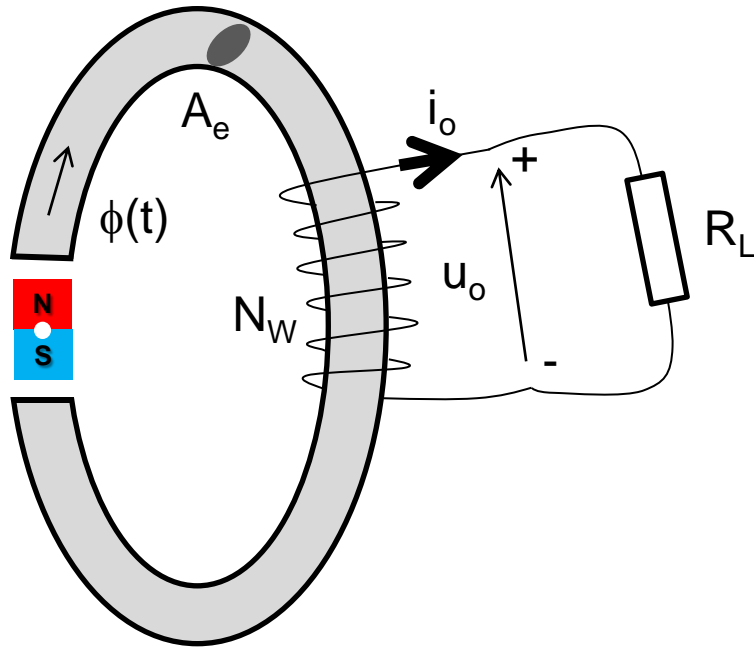
GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

¿Qué pasa cuando extraemos energía mediante una determinada carga R_L ?



GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Si la carga es resistiva, la relación entre la tensión y la corriente de salida es lineal



$$i_o(t) = \frac{u_o(t)}{R_L}$$

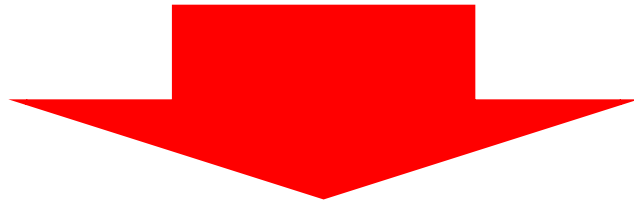
$$p_o(t) = \frac{u_o^2(t)}{R_L}$$

$$p_{o_MEDIA} = \frac{u_{O_RMS}^2}{R_L}$$

$$u_{o_vacio}(t) = N_W \cdot A_e \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$P_{o_MEDIA} = \frac{u_{O_RMS}^2}{R_L} \quad u_{o_RMS_vacio} = N_W \cdot A_e \cdot B_{\max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$



$$P_{o_MEDIA} = \frac{u_{O_RMS_vacio}^2}{R_L}$$

Despreciando la reacción del inducido

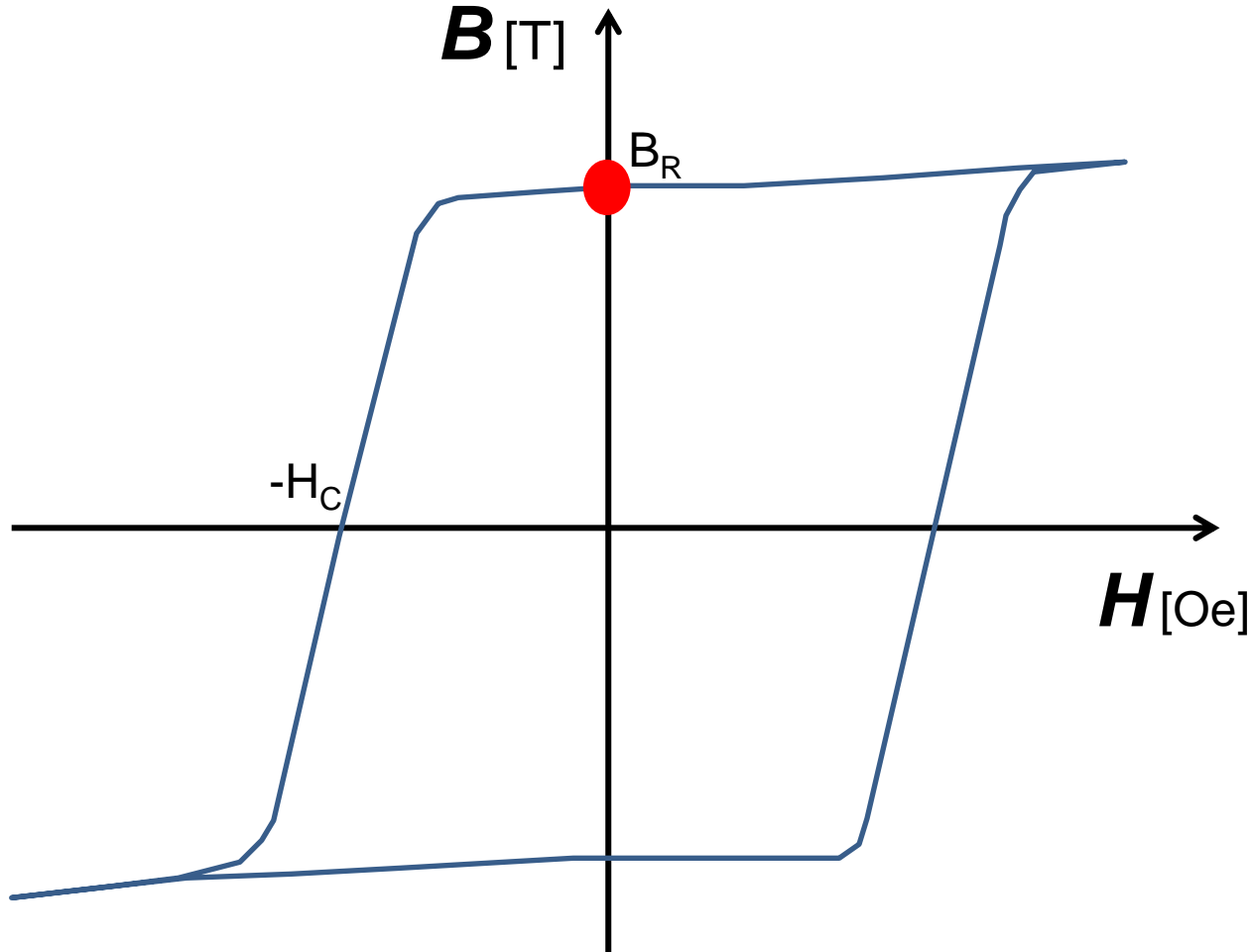
GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$\phi(t) = A_e \cdot B_{\max} \cdot \text{sen}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) - \frac{N_w \cdot A_e}{\frac{2 \cdot g}{\mu_o} + \frac{l_i}{\mu_i} + \frac{l_e}{\mu_e}} \cdot i_o(t)$$

Reacción de inducido

El devanado por el que extraemos energía genera un flujo que se opone al generado por la rotación del imán

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO



Para el iman de neodimio de material (Nd Fe B)
Grado N40
Bloque 20x20x20 mm
(www.neomagnete.com) los datos son:

Remanence (B_R)

1.26 – 1.29 Tesla
(1 Tesla = 10^4 Gauss)

Coercitivity (HC)

10.000 – 12.000 Oersted

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$\phi(t) = A_e \cdot B_{\max} \cdot \text{sen}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) - \frac{N_W \cdot A_e}{\frac{2 \cdot g}{\mu_o} + \frac{l_i}{\mu_i} + \frac{l_e}{\mu_e}} \cdot i_o(t)$$

$$u_o(t) = N_W \cdot \frac{d\phi(t)}{dt}$$

$$i_o(t) = \frac{u_o(t)}{R_L}$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

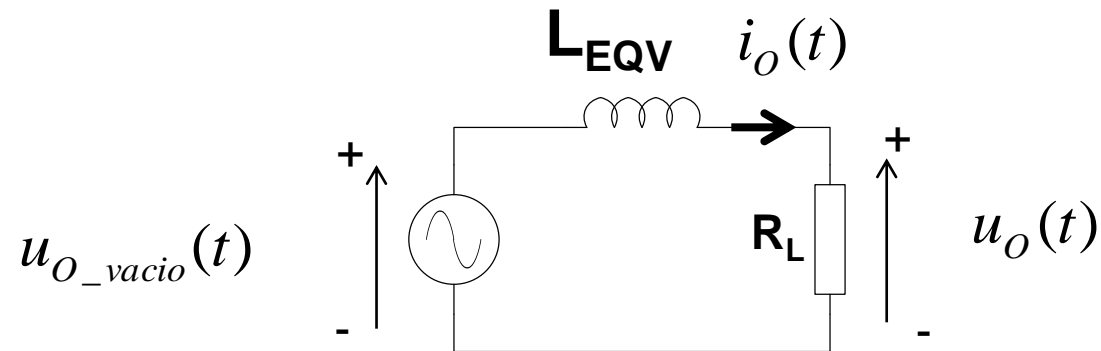
$$u_o(t) = N_W \cdot A_e \cdot B_{\max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) - \frac{N_W^2 \cdot A_e}{\frac{2 \cdot g}{\mu_o} + \frac{l_i}{\mu_i} + \frac{l_e}{\mu_e}} \cdot \frac{di_o(t)}{dt}$$



$$u_o(t) = u_{o_vacio}(t) - \overset{L_{EQV}}{\frac{N_W^2 \cdot A_e}{\frac{2 \cdot g}{\mu_o} + \frac{l_i}{\mu_i} + \frac{l_e}{\mu_e}}} \cdot \frac{di_o(t)}{dt}$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$u_o(t) = u_{O_vacio}(t) - L_{EQV} \cdot \frac{di_o(t)}{dt}$$



GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$u_o(t) = N_w \cdot A_e \cdot B_{\max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) - \frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot \frac{du_o(t)}{dt}$$



$$u_o(t) = u_{o_vacio}(t) - L_{EQV} \frac{1}{R_L} \cdot \frac{du_o(t)}{dt}$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Ecuación diferencial que incluye la reacción de inducido del iman de neodimio

$$u_o(t) + \frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot \frac{du_o}{dt} = u_{o_vacio}(t)$$

$$u_{o_vacio}(t) = \underbrace{N_W \cdot A_e \cdot B_{\max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}}_{K1=cte} \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Vamos a realizar un primer diseño, suponiendo que la reacción de inducido sea despreciable y la tensión de salida en carga y en vacío sean muy parecidas.

$$u_o(t) \approx u_{o_vacio}(t) \longrightarrow u_o(t) \approx K1 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$

Es decir:

$$K1 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) - \frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot K1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot \text{sen}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) \approx K1 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$

Debe de ser despreciable

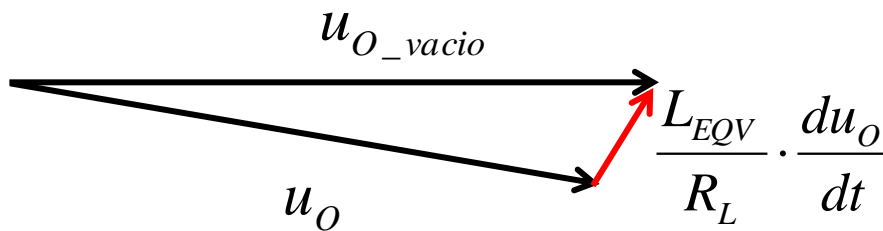
$$u_o(t) + \frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot \frac{du_o}{dt} = u_{o_vacio}(t)$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

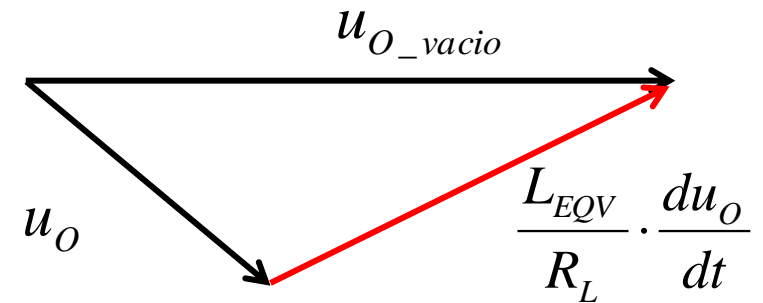
$$K1 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) - \frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot K1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot \text{sen}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right) \approx K1 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot t\right)$$

Debe de ser despreciable

$$u_O(t) + \frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot \frac{du_O(t)}{dt} = u_{O_vacio}(t)$$



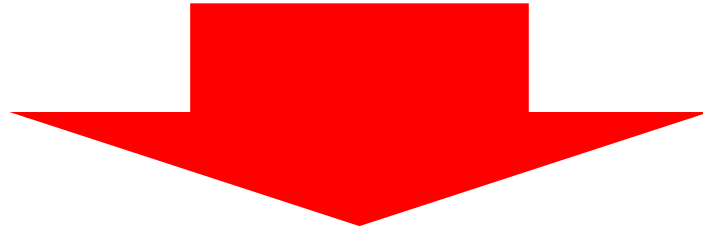
Reacción de inducido débil



Reacción de inducido fuerte

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

$$\frac{L_{EQV}}{R_L} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \ll 1$$



$$L_{EQV} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \ll R_L$$

Nos da una idea de la carga RL que se puede poner en el devanado

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Si llamamos:

$$R_{CRITICA} = L_{EQV} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}$$

$$R_L = k \cdot R_{CRITICA}$$

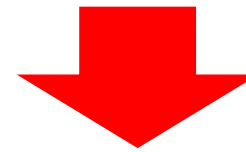
(por ejemplo $k = 10$)

Considerando:

$$u_{o_RMS_vacio} = N_W \cdot A_e \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$L_{EQV} = \frac{N_W^2 \cdot A_e}{\frac{2 \cdot g}{\mu_o} + \frac{l_i}{\mu_i} + \frac{l_e}{\mu_e}}$$

$$P_{o_MEDIA} = \frac{u_{O_RMS_vacio}^2}{R_L}$$



$$P_{o_MEDIA} = \frac{\left(\frac{2 \cdot g}{\mu_o} + \frac{l_i}{\mu_i} + \frac{l_e}{\mu_e} \right) \cdot A_e \cdot \pi \cdot N \cdot B_{MAX}^2}{2 \cdot k}$$

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Ejemplo:

$$A_e = 400 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$B_{\max} = 1.3 \text{ [T]}$$

$$\mu_o = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

$$\mu_i = 10 \cdot \mu_o \text{ [H/m]}$$

$$\mu_e = 1000 \cdot \mu_o \text{ [H/m]}$$

$$g = 2 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$l_e = 600 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$N = \text{desde } 10 \text{ hasta } 1000 \text{ [rpm]}$$

$$R_L = 10 R_{\text{CRITICA}} \text{ [\Omega]}$$

$$R_{\text{CRITICA}} = 1.148 \cdot 10^{-4} \text{ N [\Omega]}$$

$$\text{Para } N = 1000 \text{ [rpm]}$$

$$R_{\text{CRITICA}} = 0.1148 \text{ [\Omega]}$$

Muy pequeña

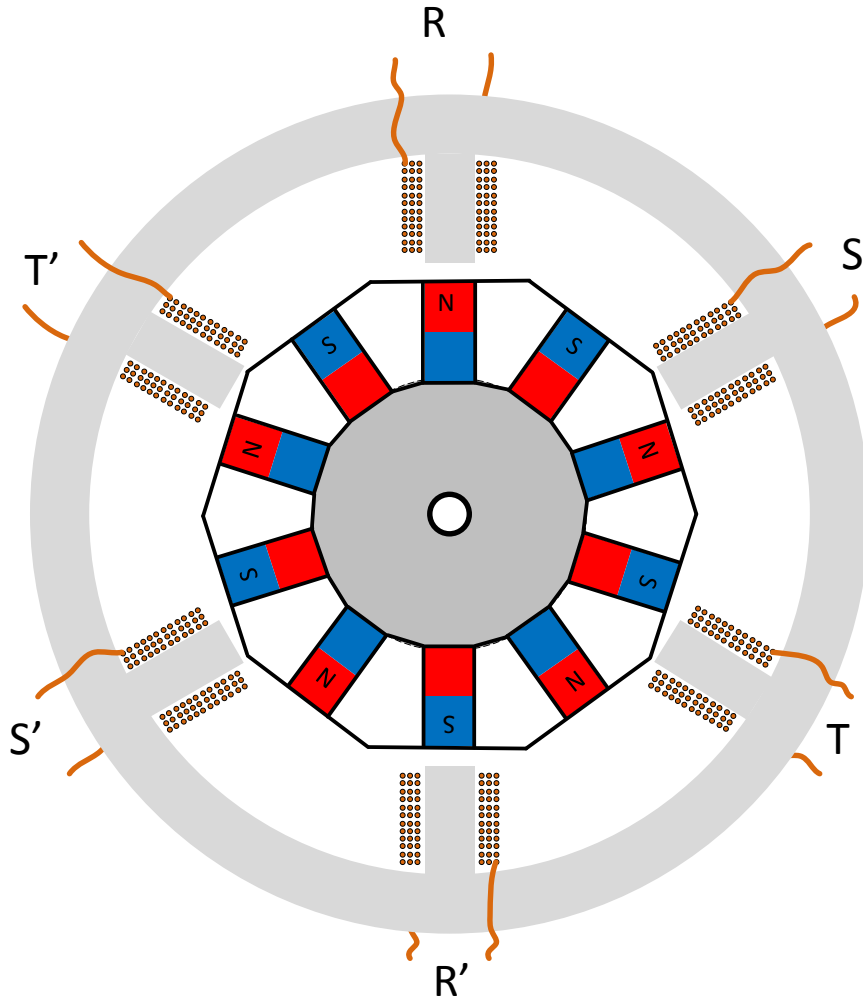
$$L_{\text{EQV}} = 1.097 \text{ [mH]}$$

$$P_{\text{O_MEDIA}} = 0.558 \text{ N [W]}$$



GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

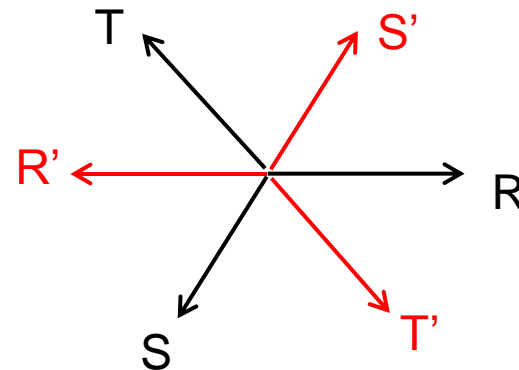
EJEMPLO PRÁCTICO DE MONTAJE CON 10 IMANES DE NEODIMIO (5 POLOS)



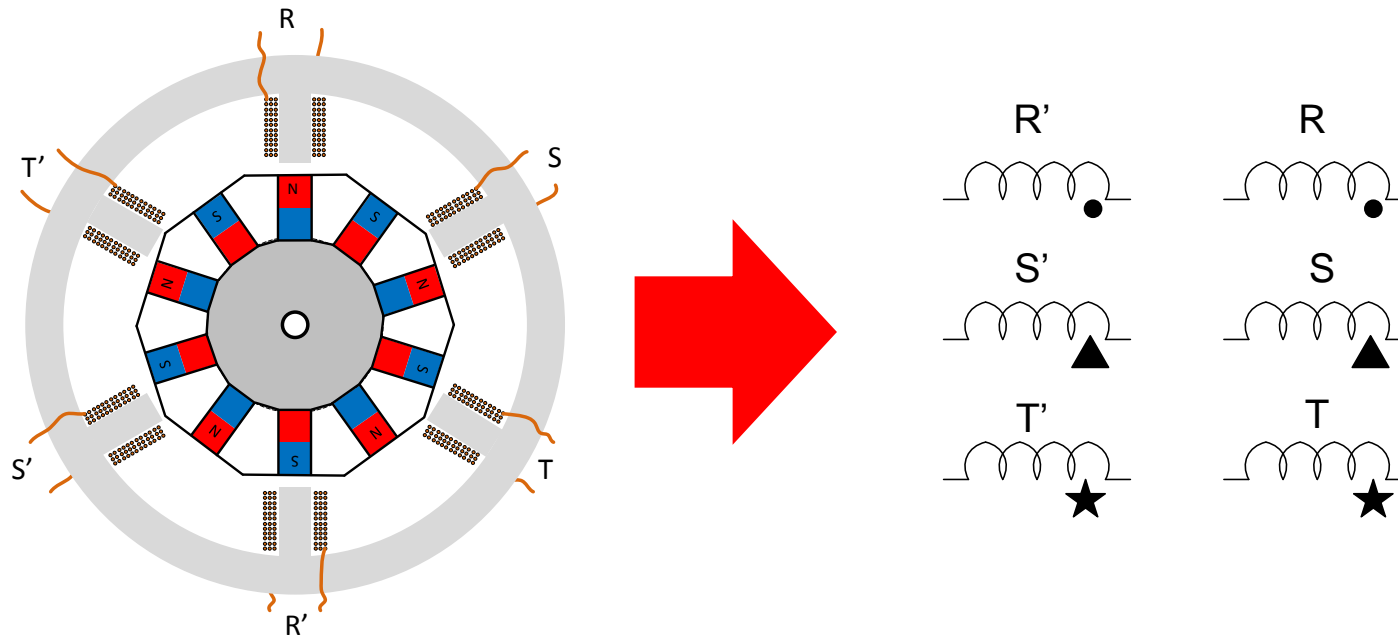
$$\phi(t) = A_e \cdot B_{\max} \cdot \text{sen}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{5 \cdot N}{60} \cdot t\right)$$

Tensión inducida en cada devanado

$$u_o(t) = N_W \cdot A_e \cdot B_{\max} \cdot \pi \cdot \frac{N}{6} \cos\left(\pi \cdot \frac{N}{6} \cdot t\right)$$



GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO



Varias estrategias de conexión y de extracción de la energía son posibles

GENERACIÓN DE ENERGÍA CON IMANES DE NEODIMIO

Posible ejemplo de conexión del generador

