

# Pinzas de corriente

Daniel Slomovitz

Instituto de Ingeniería Eléctrica

Facultad de Ingeniería

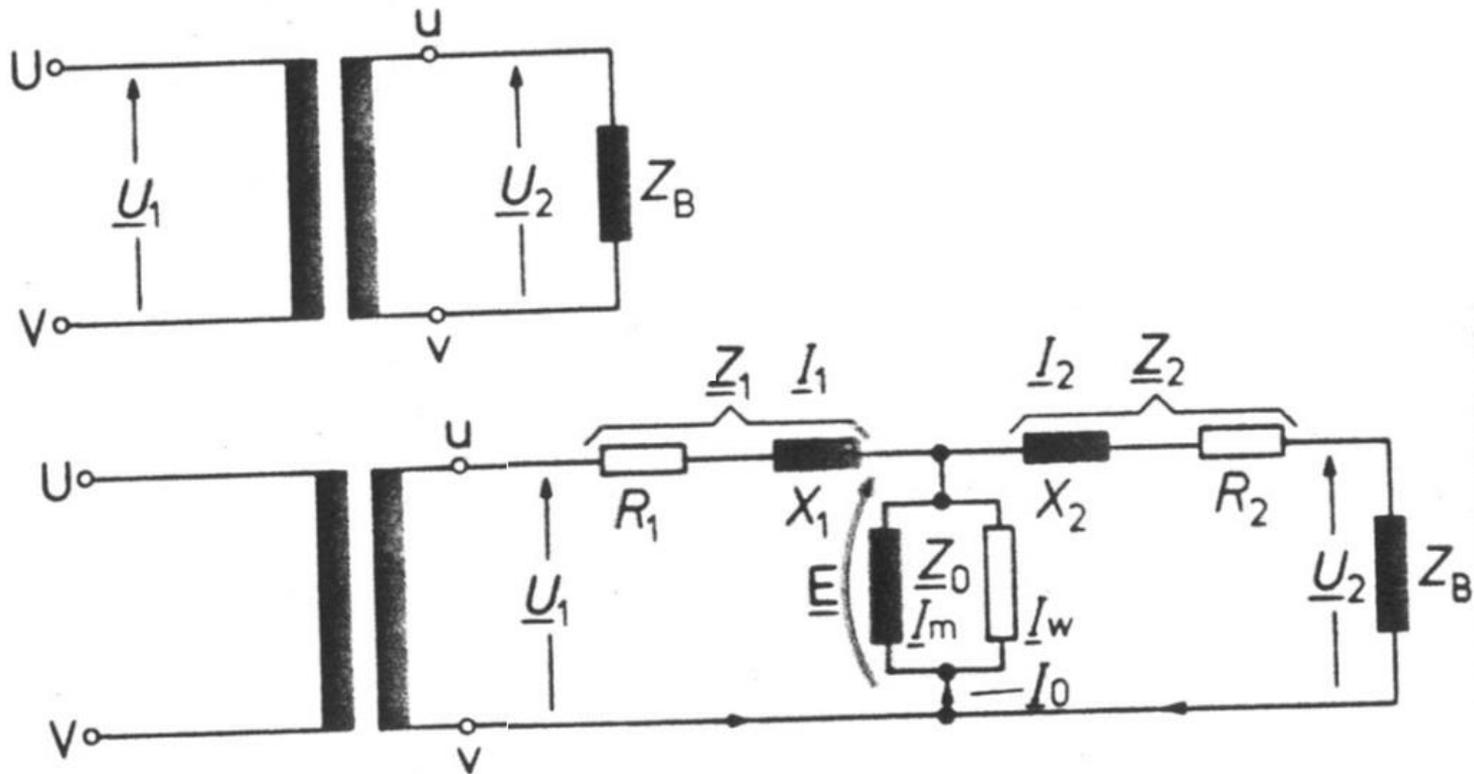
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

2021

# Pinzas convencionales



# Modelo transformador



# Origen de los errores

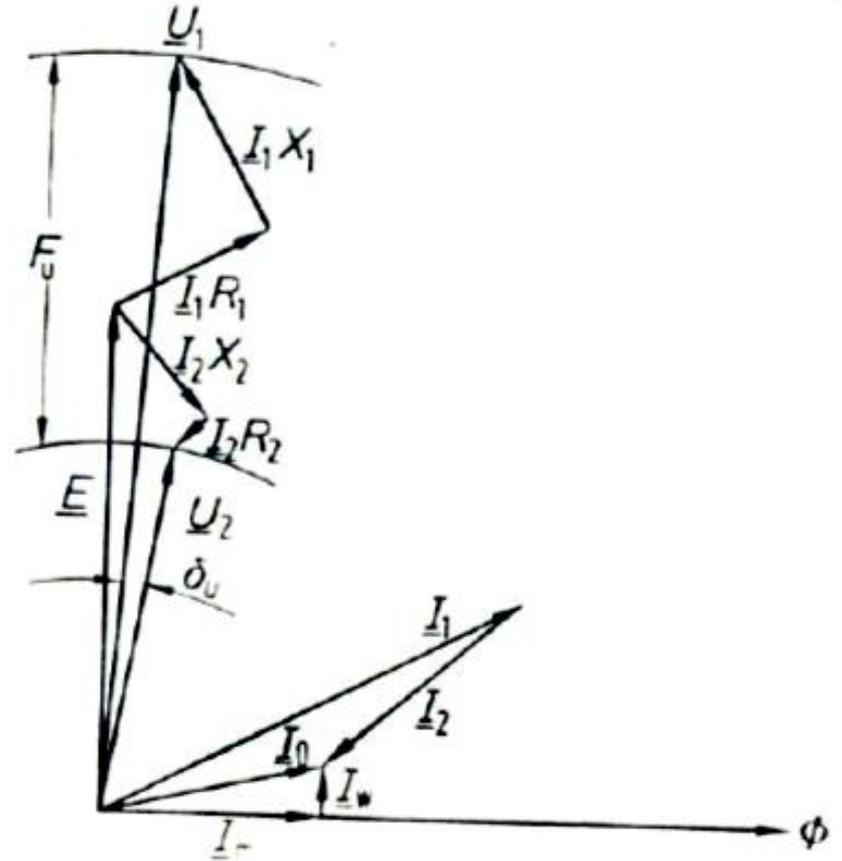
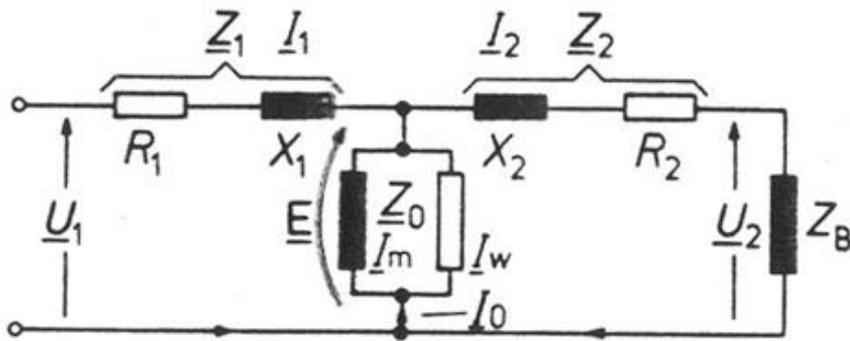


Fig. 7a

# Orígenes de los errores

- Los **errores en los transformadores** de corriente, a bajas frecuencias, como es el caso, están determinados principalmente por la **corriente de magnetización**.
- Cuanto más baja sea la corriente de magnetización, menores serán los errores.
- Idealmente, los errores son nulos si la corriente de magnetización vale cero y no se consideran otros efectos de segundo orden.

# Error en función de parámetros constructivos

$$|F| = \frac{I_E}{\omega w_2^2 A_E \cdot \mu_0 \cdot \mu_r} \cdot Z$$

En las mismas significan:

$I_E$  longitud del camino magnético en el núcleo

$w_2$  número de espiras del secundario

$A_E$  área transversal del núcleo

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$  constante del campo magnético

$\mu_r$  permeabilidad relativa

$Z$  impedancia del circuito secundario

# Influencia de la carga

- En la transparencia anterior además de parámetros constructivos vemos que el error es proporcional a la carga y la impedancia del circuito secundario.
- Esto se debe a que aumenta la tensión sobre la rama magnetizante haciendo aumentar  $I_0$ , que redundará en un aumento del error.

# Disminución de los errores

- Para reducir el valor de la corriente magnetizante existen dos métodos:
  - o bien se incrementa la impedancia magnetizante usando grandes núcleos, de muy alta permeabilidad, y gran cantidad de espiras,
  - o bien se reduce la tensión sobre la rama magnetizante bajando la impedancia del arrollado secundario y la carga.

# Influencia del entrehierro

- Efecto de entrehierro de aire
  - Baja la inductancia magnetizante.
  - Varía con cada operación de apertura cierre.
  - Aumenta la influencia de la posición del conductor dentro de la ventana.
  - Aumenta influencia de campos magnéticos externos.

# Efecto del entrehierro en la inductancia

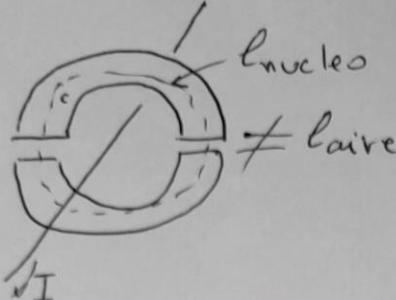


Diagram of a toroidal core with an air gap. The core length is labeled  $l_{nucleo}$  and the air gap length is labeled  $l_{aire}$ . A current  $I$  is shown flowing through the core.

$$I = \int_c H dl = \int_{nucleo} \frac{B}{\mu \mu_0} + \int_{aire} \frac{B}{\mu_0}$$

$$I = \frac{B}{\mu_0} \left[ \frac{l_{nu}}{\mu} + l_{ai} \right]$$

$$I = \frac{B \cdot l_{nu}}{\mu_0 \mu} \left[ 1 + \mu \frac{l_{ai}}{l_{nu}} \right]$$

Factor de reducción de  $\mu$

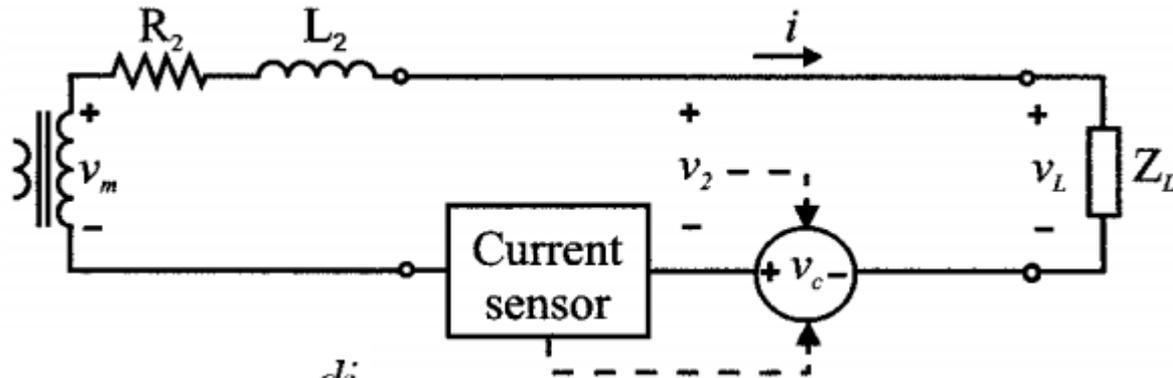
Si  $\mu = 50\,000$   
 $l_{ai} = 2\text{ mm}$   
 $l_{nu} = 200\text{ mm}$

$$1 + \mu \frac{l_{ai}}{l_{nu}} = 501$$

$$L = \frac{B}{I} N^2 A$$

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{l_{nu} \left( 1 + \mu \frac{l_{ai}}{l_{nu}} \right)} N^2 A$$

# Compensación electrónica

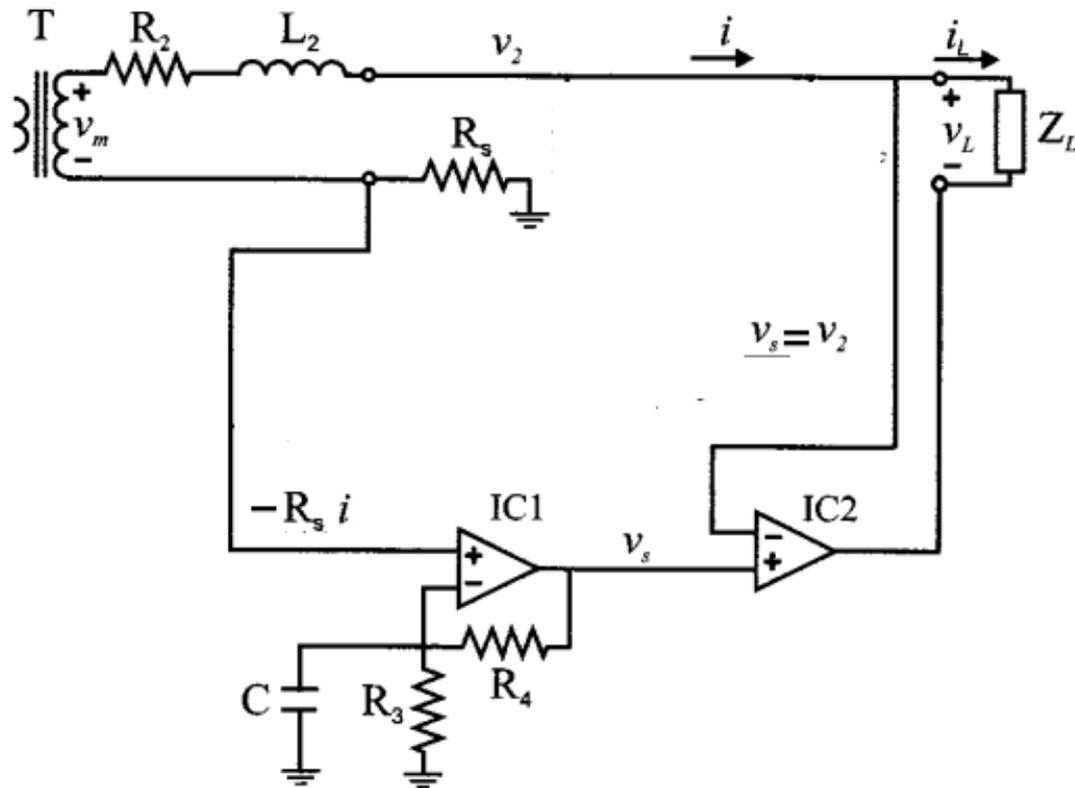


$$v_m = v_2 + R_2 i + L_2 \frac{di}{dt}$$

$$\text{Si } v_2 = k_1 i + k_2 \frac{di}{dt} \quad v_m = k_1 i + k_2 \frac{di}{dt} + R_2 i + L_2 \frac{di}{dt}$$

Para  $v_m=0$ ,  $k_1=-R_2$ ,  $k_2=-L_2$

# Compensación electrónica



$$v_s = -R_s \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) i - R_s R_4 C \frac{di}{dt}$$

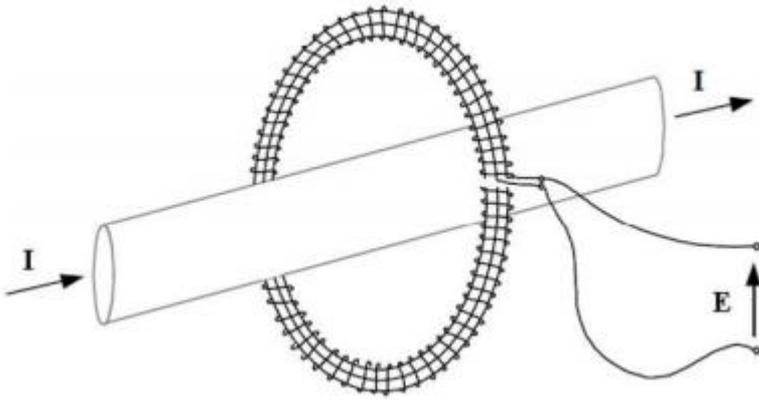
$$v_m = R_2 i + L_2 \frac{di}{dt} + v_2 + R_s i.$$

$$v_m = \left( R_2 - \frac{R_s R_4}{R_3} \right) i + (L_2 - R_s R_4 C) \frac{di}{dt}$$

# Bobinas de Rogowski



# Bobinas de Rogowski

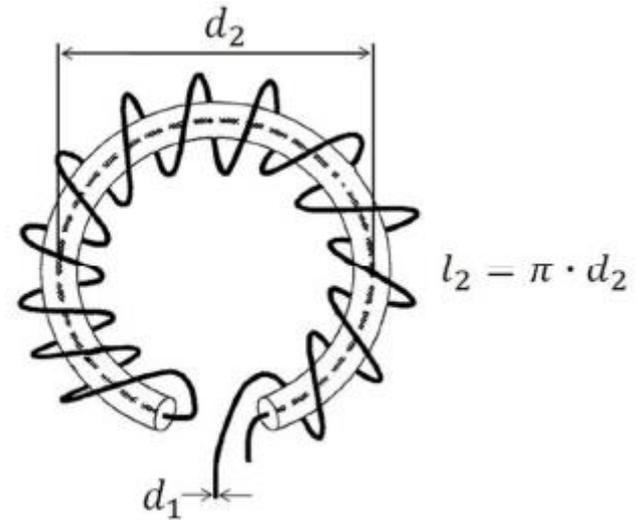
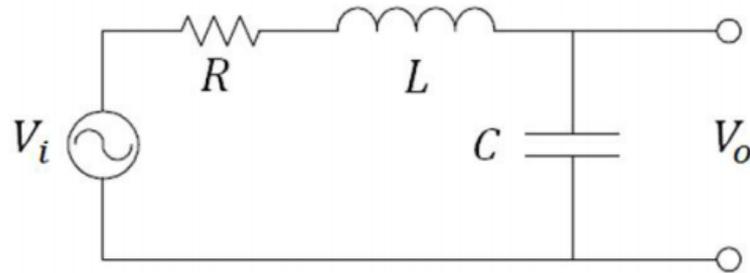


$$E = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$I = Hl = Bl/\mu_0$$

$$I = \frac{l}{N\mu_0 A} \int E dt$$

# Bobinas de Rogowski



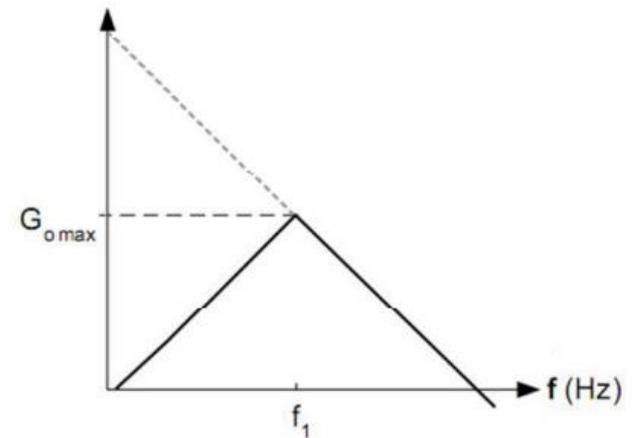
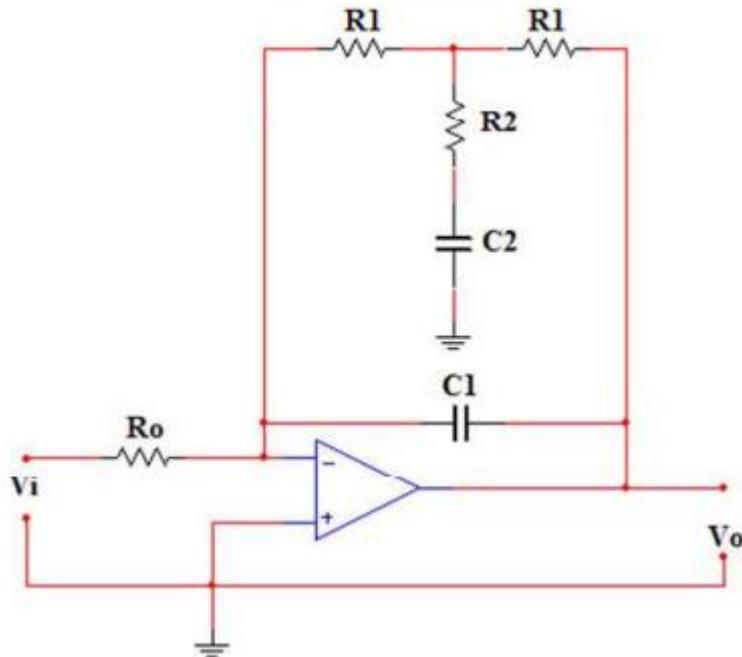
$$R = \rho \cdot \frac{l_1}{S_1}$$

$$L = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l_2} \cdot S_2$$

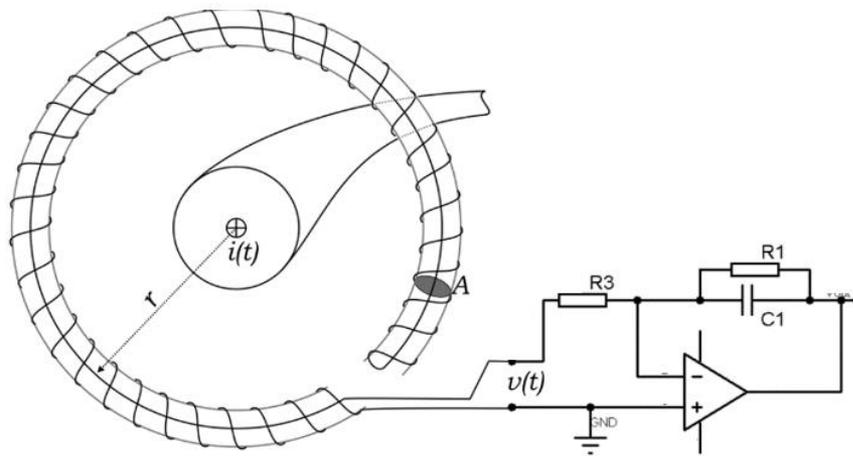
$$C = \frac{16 \cdot \epsilon \cdot l_2}{\pi \cdot \ln \frac{S_2}{S_1}}$$

Bobina Rogowski como sensor de corriente para monitoreo de transformadores de distribución, Sergio A. Campos Montiel(1), René D. Carranza López Padilla(1), Adrián González Parada(2) 1) Centro Nacional de Metrología, CENAM.

# Bobinas de Rogowski

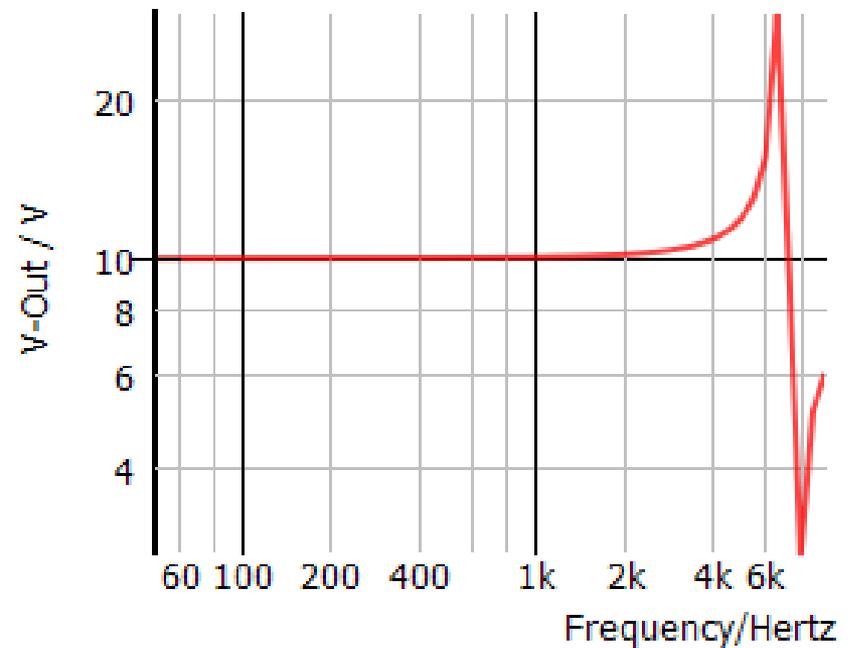
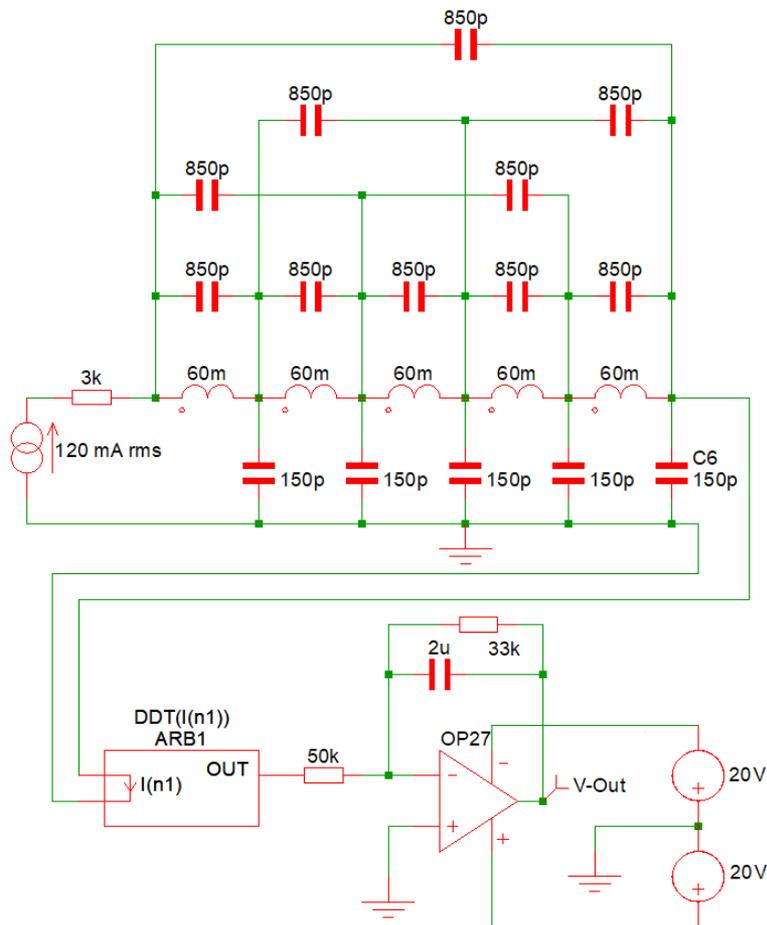


# Measurement of High Voltage Harmonics

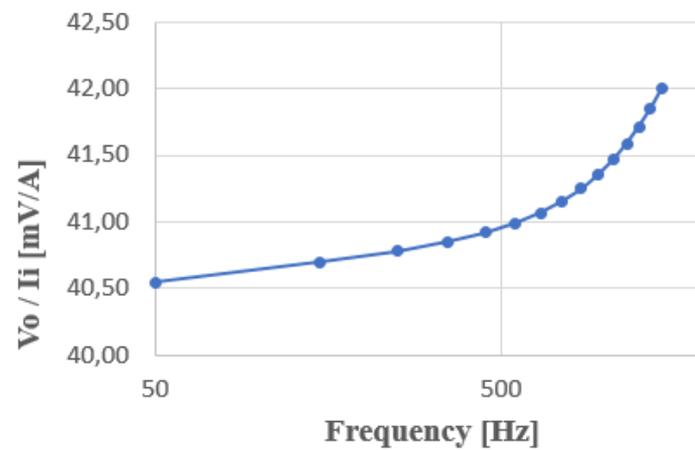
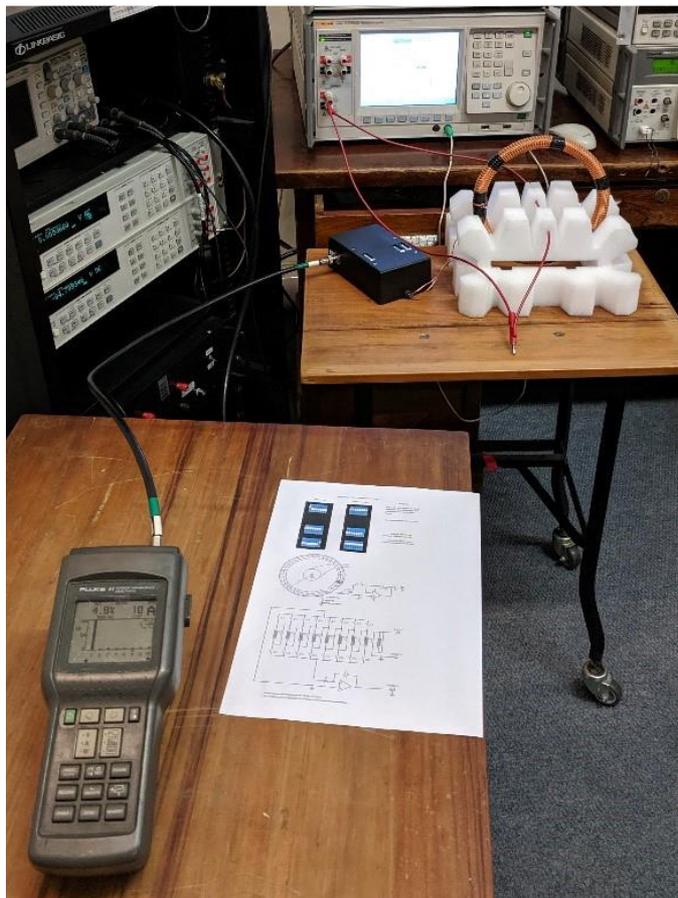


R. Sandler, M. Brehm, D. Slomovitz and G. Barreto, "Rogowski Coil Design for the Measurement of High Voltage Harmonics," 2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D LA), 2020, pp. 1-5,

# Measurement of High Voltage Harmonics



# Measurement of High Voltage Harmonics



# Pinzas de gancho



Fin