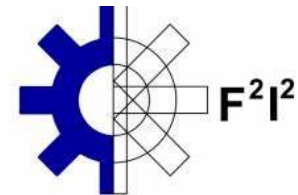


Instalación de Calibración Móvil para Sistemas Digitales de Medida de Energía en Alta Tensión

F. Garnacho ^{(1), (2)}, P. Simón ⁽¹⁾, A. Khamlichi ^{(1), (2)}, J. Rovira ⁽¹⁾, T. García ⁽¹⁾



POLITÉCNICA



FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO
DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL

Presentado por: Fernando Garnacho

- (1) Centro Tecnológico de Alta Tensión y Metrología del Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia (LCOE) de la F2I2.
- (2) Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la UPM, Madrid.

MOTIVACIÓN

INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS REDES DE BT Y MT
→ ↑ N° INSTALACIONES INVERSORAS.
ELECTRÓNICA DE POTENCIA → ENERGÍA CON ARMÓNICOS U e I.

LOS SISTEMAS DE MEDIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACTUALES
COMBINAN ELEMENTOS DE MEDIDA DIGITALES

OBJETIVO:

INSTALACIÓN DE GENERACIÓN Y MEDIDA DE REFERENCIA PARA
CALIBRAR SISTEMAS DE POTENCIA APARENTE, ACTIVA Y NO ACTIVA CON
ONDAS DISTORSIONADAS CON ARMÓNICOS DE HASTA 5 kHz
(PROYECTO MyRails)

SISTEMA DE GENERACIÓN COMPUESTO POR:

- GENERACIÓN Y MEDIDA DE TENSIÓN DE HASTA 25 kV; 50 Hz
- GENERACIÓN Y MEDIDA DE CORRIENTE DE HASTA 500 A; 50 Hz

PUEDEN INCLUIR COMPONENTES ARMÓNICAS ≤ 5 kHz.

LOS SISTEMAS DE MEDIDA DE TENSIÓN Y DE CORRIENTE:

- 2 MULTÍMETROS DE ALTA PRECISIÓN FUNCIONANDO COMO REGISTRADORES DIGITALES: MUESTREAN LAS ONDAS DISTORSIONADAS.

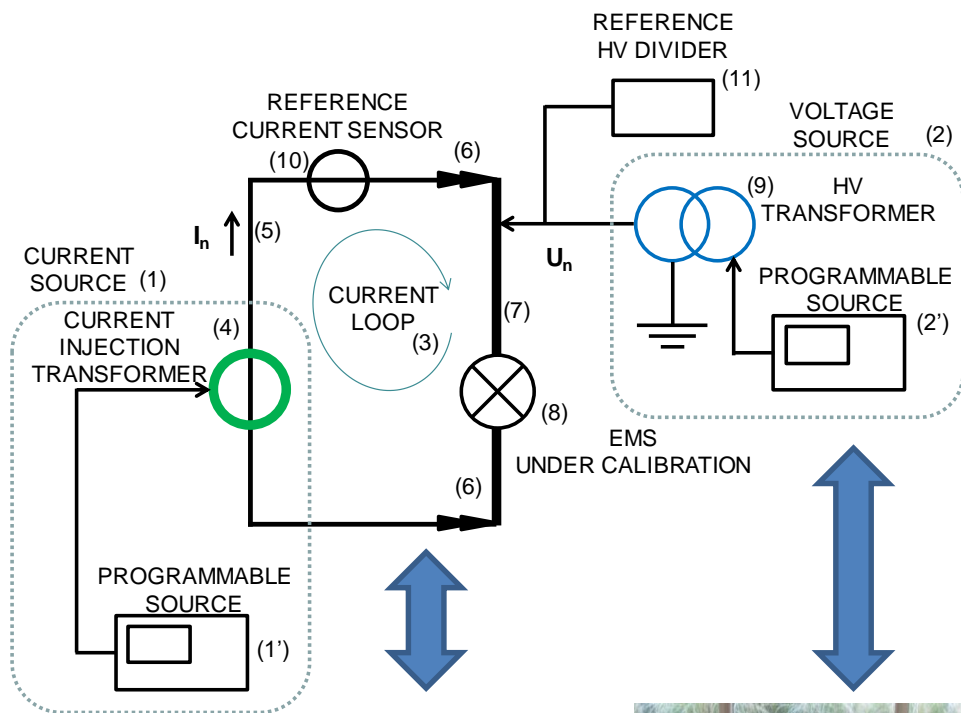
MAGNITUDES DE MEDIDA: PROCESAMIENTO DIGITAL SEÑALES U , I :

- POTENCIA APARENTE,
- POTENCIA ACTIVA y
- POTENCIA NO ACTIVA

DE ONDAS DE U e I CON ARMÓNICOS
INCERTIDUMBRES DE MEDIDA MEJOR 0,5%

Instalación de Calibración Móvil para Sistemas Digitales de Medida de Energía en Alta Tensión

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN



(1) Fuente I (50 Hz) 500 A, 50 Hz; 5% 5 kHz.

(1') Fuente de calibración programable.

(2) Fuente de U 25 kV, 50 Hz 5% 5 kHz.

(2') Fuente de calibración programable.

(3) Lazo de corriente.

(4) Trafo de I de inyección (*).

(5) Cable aislado MT.

(6) Terminaciones de cable MT.

(7) Barra de Cu.

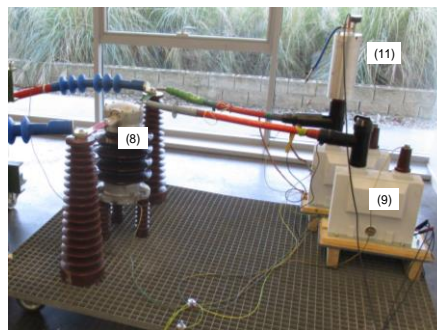
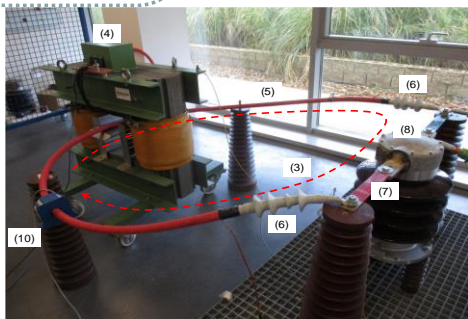
(8) Medidor de Energía a calibrar.

(9) Transformadores de U de inyección (*).

(10) Sensor de medida de I.

(11) Divisor de medida de MT.

(*) Caracterizados en frecuencia.



SISTEMAS DE MEDIDA

- Sistemas de medida de tensión y corriente sincronizados.
- Divisor de alta tensión de tipo mixto resistivo-capacitivo como transductor de tensión.
- Sensor Fluxgate: tipo LEM ITN-900-S con una resistencia shunt como transductor de corriente.
- Dos multímetros idénticos Keithley DMM7510, como registradores de frecuencia de muestreo de 1 MS/s, para adquirir las formas de onda de tensión y de corriente. Un multímetro funciona como maestro, mientras que el otro está controlado por el primero (esclavo).
- Software de control, adquisición y tratamiento numérico para medir señales de tensión y corriente y calcular la potencia activa, aparente y no activa de las formas de onda sinusoidales y distorsionadas

FUNCIONES MODELO DE LOS VALORES DE LA TENSIÓN E INTENSIDAD

Muestra de Tensión del lado de AT:

$$V_k = v_k \cdot \left(1 + \delta_{v1} + \delta_{v2} \cdot \frac{V_{FS}}{|v_k|} \right) \cdot SF_{VD} \cdot \left(1 + \sum_j \delta_{j,VD} \right) \cdot \left(1 + \sum_j c_j \cdot \delta_{j,t} \right)$$

v_k : es la muestra adquirida en el lado de baja tensión.

δ_{v1} : incertidumbre del DMM, para medidas en continua (% lectura).

δ_{v2} : término adicional de incertidumbre del DMM relación medida/fondo escala

SF_{VD} : Factor de escala calibrado del transductor de alta tensión.

$\delta_{j,VD}$: correcciones del factor de escala del divisor de alta tensión:
Deriva, Coef. T^a ; estabilidad a corto plazo; no linealidad.

c_j : coeficiente de sensibilidad del desfase de la onda de tensión.

$\delta_{j,t}$: correcciones del valor de la muestra de tensión debido a los desfases:
Desfase por DMM (despreciable) , por el divisor de tensión,

FUNCIONES MODELO DE LOS VALORES DE LA TENSIÓN E INTENSIDAD

Muestra de Corriente del lado de AT

$$I_k = v'_k \cdot \left(1 + \delta'_{v1} + \delta'_{v2} \cdot \frac{U'_{FS}}{|v'_k|} \right) \cdot SF_{CT} \cdot \left(1 + \sum_j \delta_{j,CT} \right) \cdot \frac{1}{R_s} \cdot \left(1 + \sum_j \delta_{j,R_s} \right) \cdot \left(1 + \sum_j c_j \cdot \delta'_{j,t} \right)$$

v'_k : es la muestra adquirida en el lado de baja tensión.

δ'_{v1} : incertidumbre del DMM , para medidas en continua (% lectura).

δ'_{v2} : término adicional de incertidumbre del DMM relación medida/fondo escala

SF_{CT} : Factor de escala calibrado del transductor de corriente.

$\delta_{j,CT}$: correcciones del factor de escala del transductor de corriente.

Deriva, Coef. T^a ; estabilidad a corto plazo; no linealidad.

R_s : valor calibrado de la Resistencia shunt.

δ_{j,R_s} : correcciones del valor de la Resistencia Shunt.

Deriva, Coef. T^a ; estabilidad a corto plazo; Variación vs frecuencia.

c_j : coeficiente de sensibilidad del desfase de la onda de tensión.

$\delta_{j,t}$: correcciones del valor de la muestra de tensión debido a los desfases:

Desfase por DMM (despreciable) , por el divisor de tensión,

INCERTIDUMBRES

Table 2. Balance de incertidumbres de la potencia activa.

Parámetros de influencia X_i	Símbolo	Estimación	Incertidumbre Standard	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_i	Contribución de incertidumbre $u_i(y)$
Digitilización de tensión If $V_{RMS}(t) = 10\% U_{FS}$	$\delta_{v1}\%$	0	0.012/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0069%
	$\delta_{v2}\%$	0	0.0075/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	$\sqrt{0.82} \cdot 10 = 9.06$	0.039%
Digitalización de Corriente If $I_{RMS}(t) = 10\% I_{FS}$	$\delta'_{v1}\%$	0	0.012/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0069%
	$\delta'_{v2}\%$	0	0.0075/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	$\sqrt{1.62} \cdot 10 = 12.73$	0.055%
Divisor de tensión Calibración del factor de escala (SF)	SF_{VD}	1059	0.1/2 %	Normal	1	0.05 %
Divisor de tensión deriva del SF	δ_{1VD}	0	0.02/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.011 %
Divisor de tensión coeficiente de temperatura	δ_{2VD}	0	0.0075/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0043 %
Divisor de tensión estabilidad a corto plazo	δ_{3VD}	0	0.06/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.035 %
Divisor de tensión No linealidad	δ_{4VD}	0	0.03/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.017 %
Divisor de tensión incertidumbre de desfase	δ_{1t}	0	58/2 μ rad	Normal	$-6.26 \cdot 10^{-5} \%$ / μ rad	0.0018%
Divisor de tensión error residual de fase	δ_{2t}	0	1452/2 μ rad	Normal	$-6.26 \cdot 10^{-5} \%$ / μ rad	0.045%

INCERTIDUMBRES

Table 2. Balance de incertidumbres de la potencia activa.

Parámetros de influencia X_i	Símbolo	Estimación	Incertidumbre Standard	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad C_i	Contribución de incertidumbre $u_i(y)$
Sensor de Corriente: incertidumbre de calibración	SF_{CT}	1500	0.0070/2%	Normal	1	0.0035 %
Sensor de Corriente: Deriva del SF	$\delta_{1,CT}$	0	0.005/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0029 %
Sensor de Corriente: coeficiente de temperatura	$\delta_{2,CT}$	0	0.006/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0034 %
Sensor de Corriente: no linealidad del SF	$\delta_{3,CT}$	0	0.0036/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0021 %
Sensor de Corriente calibración del SF	$\delta'_{3,t}$	0	58/2 μ rad	Normal	$-6.26 \cdot 10^{-5}$ %/ μ rad	0.0018%
Sensor de Corriente: deriva del error de fase del SF	$\delta'_{4,t}$	0	293/ $\sqrt{3}$ μ rad	Rectangular	$-6.26 \cdot 10^{-5}$ %/ μ rad	0.0106%
Sensor de Corriente error residual de fase	$\delta'_{5,t}$	0	668/2 μ rad	Normal	$-6.26 \cdot 10^{-5}$ %/ μ rad	0.021%
Incertidumbre de la calibración del Shunt	R_s	9.979 Ω	0.05/2%	Normal	1	0.025 %
Deriva del Shunt	$\delta_{1,R}$	0	0.01/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0057 %
Shunt: Coeficiente de temperatura.	$\delta_{2,R}$	0	0.05/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.029 %
Shunt variación vs frecuencia	$\delta_{3,R}$	0	0.01/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0057 %
Shunt error residual de fase	$\delta'_{6,t}$	0	negligible	Normal	1	0 %
Regla de Integración trapezoidal de la tensión	$SP_{1,t}$	0	0.02/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0115%
Regla de Integración trapezoidal de la corriente	$SP'_{1,t}$	0	0.02/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.0115%
Muestras de V tomadas durante un periodo	$SP_{2,t}$	0	0.00005/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.00003 %
Muestras de I tomadas durante un periodo	$SP'_{2,t}$	0	0.00005/ $\sqrt{3}$ %	Rectangular	1	0.00003 %
Sincronización entre los DMM	$SP_{3,t}$	0	314 μ rad/ $\sqrt{3}$	Rectangular	$-6.26 \cdot 10^{-5}$ %/ μ rad	0.011%
Incertidumbre standard combinada.	$u_c(y)$					0.117%
Incertidumbre Expandida	$U[P](\%) = k \cdot u_c(y) \quad (k = 2)$					0.23%

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una instalación de calibración móvil para sistemas digitales de medida de energía en alta tensión que permite medir ondas de tensión y de corriente distorsionadas en el lado de alta tensión (25 kV, 500 A; 50 Hz) con un contenido de armónicos de hasta 5 kHz.

La instalación de calibración desarrollada permite efectuar calibraciones de medida de potencia activa, aparente y no activa con una incertidumbre mejor del 0,5% en todos los casos.

Incertidumbre expandida	%
U[P](%)	0.23%
U[S](%)	0.18%
U[N](%)	0.43%