

Requisitos para la medida Caracterización de transformadores de medida de tensión y corriente de 9 kHz a 150 kHz

Ángel Ramírez
FFII - LCOE

cigre
For power system expertise

Contenido

01 El problema en alta frecuencia
02 La norma IEC 61869
03 Ensayos de armónicos
04 El proyecto ADMIT
05 Tensión: generación y medida
06 Corriente: generación y medida
07 Intercomparación de 9 kHz a 150 kHz
08 Conclusiones

El problema

Las redes eléctricas ya no son solo 50 Hz.

1

Nuevo escenario

- Electrónica de potencia
- Redes HVDC y renovables
- Perturbaciones 2–150 kHz

2

Qué se mide

- Tensión y corriente
- Transformadores de medida
- Sensores y divisores

3

Dónde falla

- Diseñados para 50 Hz
- Respuesta desconocida en AF
- Sin trazabilidad

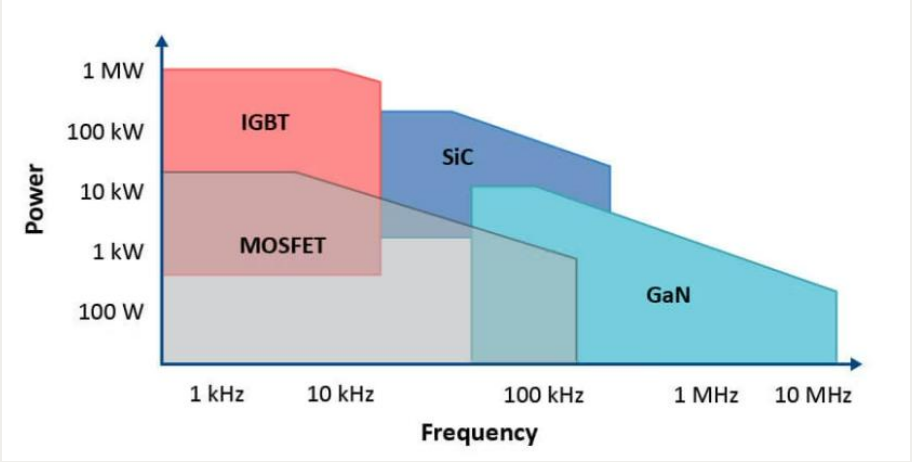
4

Consecuencia

- Facturación incierta
- Protecciones engañadas
- Calidad mal evaluada

Necesidad

Caracterizar y calibrar los transductores en alta frecuencia.



Fuente: Dewesoft

IEC 61869-1 y la alta frecuencia

Marco común y extensiones de banda ancha (ap. 5.7.4).

Qué establece

- Clases de exactitud y ensayos
- Ámbito: transformadores, LPIT, sensores y divisores
- Extensiones de ancho de banda y armónicos
- Fija límites, no procedimientos de ensayo

1 kHz
Inicio de supraarmónicos

150 kHz
Límite de WB3

Extensión	Banda	Uso típico (ilustrativo)
WB0	Armónico 13	LPIT y SAMU
WB1	1 kHz - 3 kHz	Supraharmónicos
WB2	3 kHz - 20 kHz	
WB3	20 kHz - 150 kHz	
WB4	500 kHz	Ondas viajeras

Extensiones y bandas: UNE-EN IEC 61869-1:2026, ap. 5.7.3 y Tabla 8. Uso típico: elaboración propia.

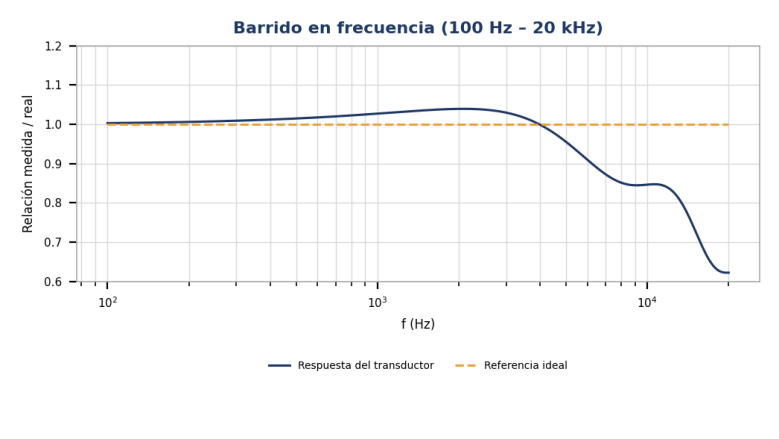
IEC 61869. Ensayos de armónicos

Dos ensayos: IEC 61869-14 (corriente CC) y IEC 61869-15 (tensión CC).

1 Exactitud frente a armónicos

Ensayo de tipo · 7.2.1402 / 7.2.1502

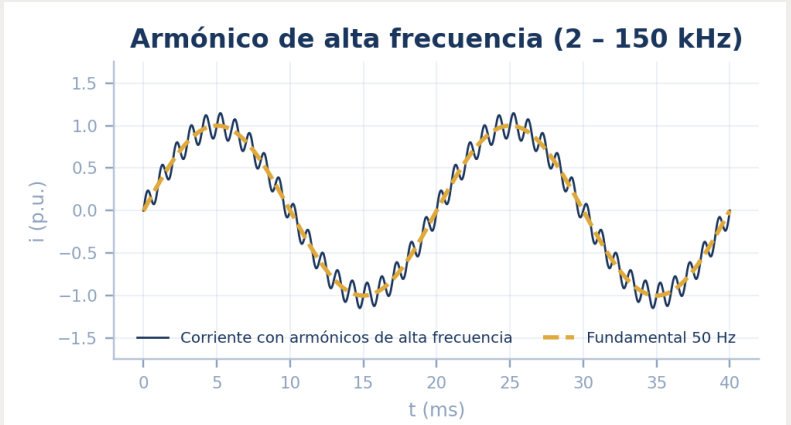
- Aplica el Anexo 6A de IEC 61869-6:2016
- Armónicos puros, aplicados uno a uno
- Error de relación y de fase por frecuencia



2 Exactitud con señal compuesta

Ensayo especial · 7.4.1402 / 7.4.1502

- CC y armónicos aplicados a la vez
- Baja banda: 100 Hz a 3 kHz
- Alta banda: 100 Hz a 20 kHz



ADMIT: cerrar la brecha metrológica

22NRM06 ADMIT: caracterización de transformadores de medida de MT, CA y CC, hasta 150 kHz.

La brecha

- Nadie verifica hoy la exactitud a tan alta frecuencia
- IEC TC 38 pidió investigación específica
- Ninguna norma cubre aún el tema

Qué aporta ADMIT

- Requisitos y parámetros de exactitud
- Generación de ensayo: <36 kV y <2 kA
- Sistemas de referencia trazables a 150 kHz

Hacia la norma

- Datos, métodos y guías para IEC TC 38
- Entrada a la familia IEC 61869
- Procedimientos simplificados para laboratorios

La brecha detectada es el objetivo del proyecto: exactitud verificable hasta 150 kHz.

METROLOGY PARTNERSHIP | EURAMET

ADMIT
AC & DC High Frequency Instrument Transformers

Generador de tensión: circuito serie

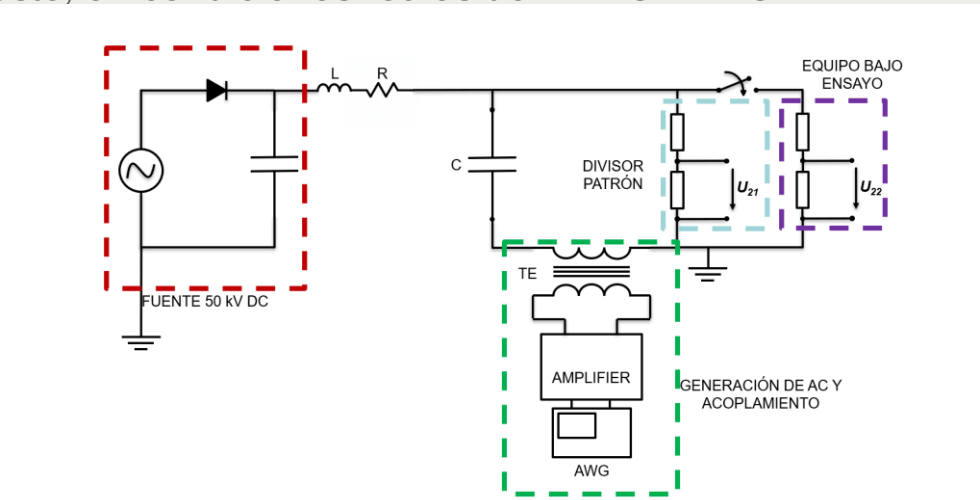
Caracterizar divisores de MT con armónico superpuesto, en condiciones reales de HVDC/HVAC.

ALCANCE

Tensión	50 kV CC / 36 kV CA
Armónico	750 V ef., 3 kV pico
Frecuencia	9 kHz - 150 kHz
Medida	Escala y fase

CADENA DE GENERACIÓN

- Fuente 50 kV CC / 36 kV CA
- Protección y filtrado
- Amplificador de banda ancha
- Acoplamiento capacitivo: 750 V ef. superpuestos





Medida de referencia y señal combinada

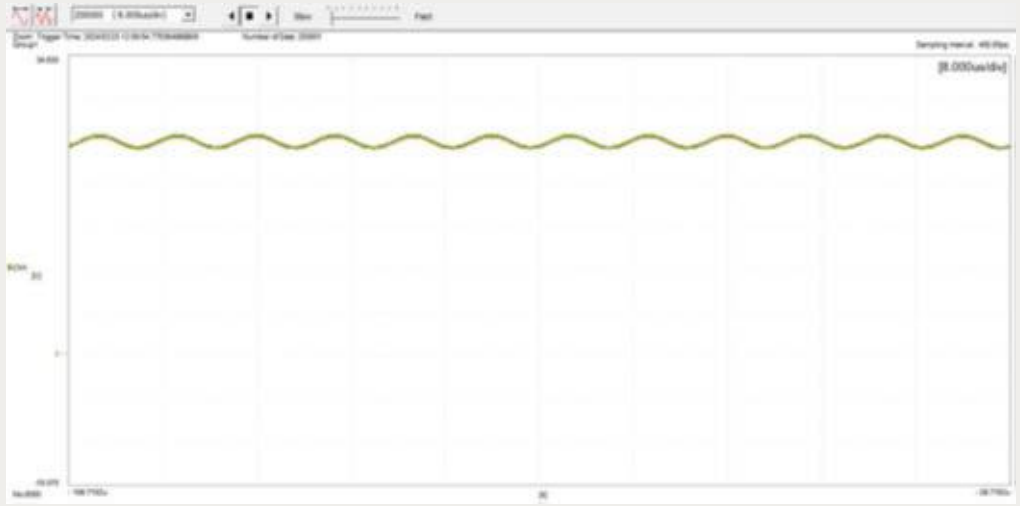
Divisor RC trazable en amplitud y fase; continua y armónico registrados a la vez.

CADENA DE REFERENCIA

- Divisor RC, CC a 150 kHz
- Digitalizador de alta resolución
- Registro continuo de la onda
- Procesado por FFT

Procedimiento validado frente a los efectos del montaje.





Continua y armónico superpuesto registrados simultáneamente.

Salidas

Error de escala y fase

Implementación

100 kV, relación 1014,5:1

Generación de corriente: dos fuentes en paralelo

Corriente de 50 Hz con transitorios amortiguados de alta frecuencia superpuestos.

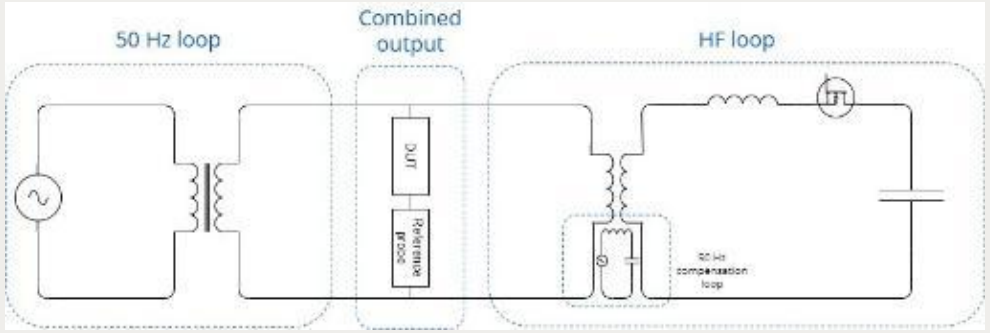
ALCANCE

Corriente	Hasta 2 kA a 50 Hz
Armónico	30 A ef; 500 A pico
Frecuencia	9 kHz - 150 kHz
Montaje	Dos lazos en paralelo

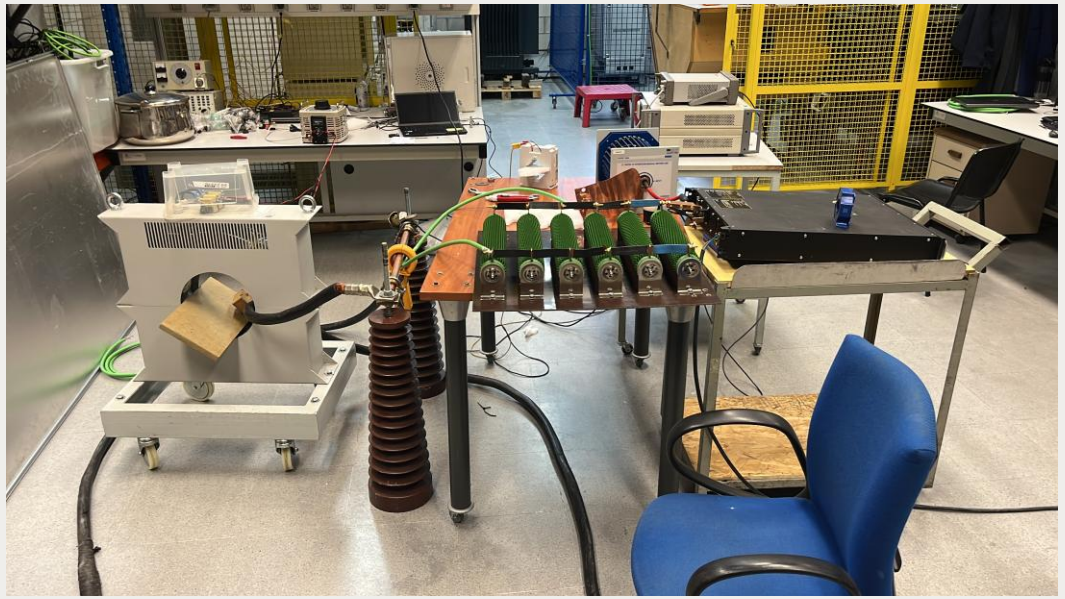
CADENA DE GENERACIÓN

- Fuente de 50 Hz
- Circuito RLC resonante: 0,3 µF a 75 µF
- Transformador de inyección de AF
- Disparo por MOSFET con activación por fibra óptica

Ambas fuentes alimentan el mismo lazo sin interferirse, gracias a la red de acoplamiento.



Esquema conceptual de los dos generadores en paralelo.



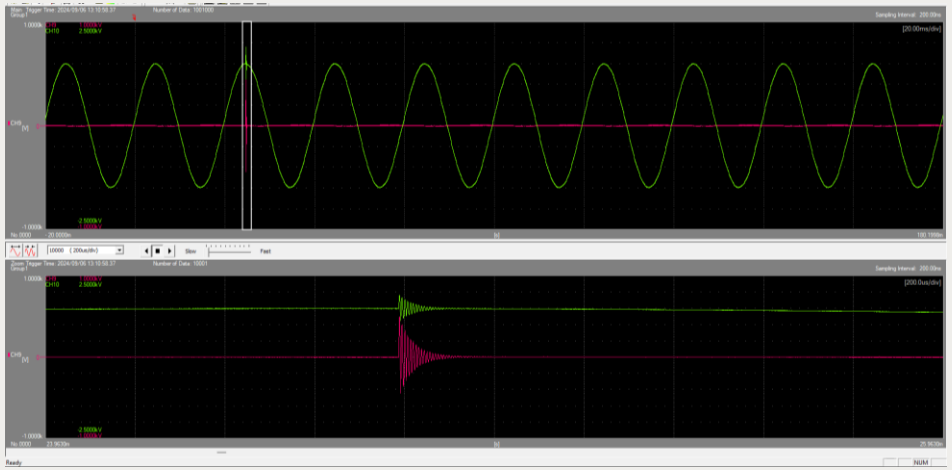
Medida de referencia y señal combinada

Pinza de banda ancha trazable; la componente de alta frecuencia se aísla por ajuste sinusoidal.

CADENA DE REFERENCIA

- Pinza Fluke i800s, 10 mV/A
- Digitalizador de alta resolución
- Registro continuo de la onda
- Procesado por FFT

Procedimiento validado frente a los efectos del montaje.



Componente de 50 Hz y transitorio registrado simultáneamente.

Salidas

Error de escala y fase

Implementación

2 kA, relación 100:1

Intercomparación de 9 a 150 kHz: tensión

LNE (Francia), VTT (Finlandia) y FFII (España) miden los mismos dos transformadores de tensión con procedimiento común.

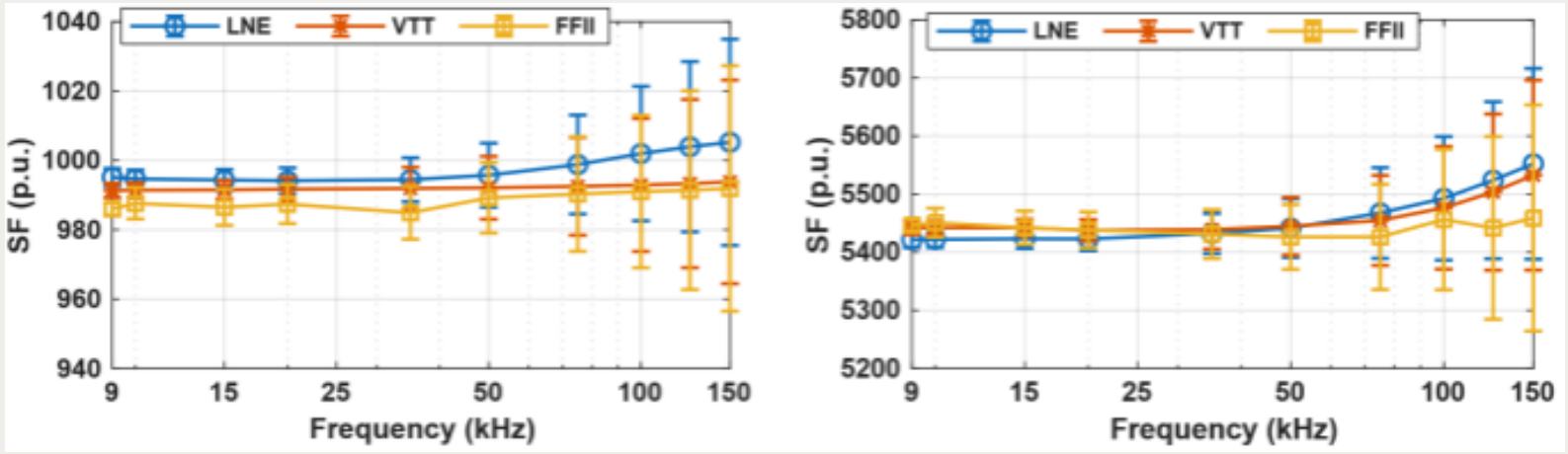
HALLAZGOS

- Buen acuerdo por debajo de 20 kHz - 30 kHz
- Dispersión creciente por encima de 50 kHz
- Medidas compatibles entre diferentes laboratorios nacionales

CAUSAS

- Divisores de referencia distintos
- Arquitectura de generación
- Elementos parásitos y carga

Tendencias coherentes, diferencias medibles en alta frecuencia.



Factor de escala VT 1 y VT 2 medido por varios laboratorios.

VT 1

Respuesta suave; 1 % respecto al valor a 50 Hz

VT 2

Respuesta a alta frecuencia distinta que a 50 Hz.
SF (50 Hz): 6100.
SF (9 kHz – 150 kHz) ~ 5400.

12%

Intercomparación de 9 a 150 kHz: corriente

VSL (Holanda), FFII (España) (España) e INRIM (Italia) miden los mismos dos transformadores de corriente.

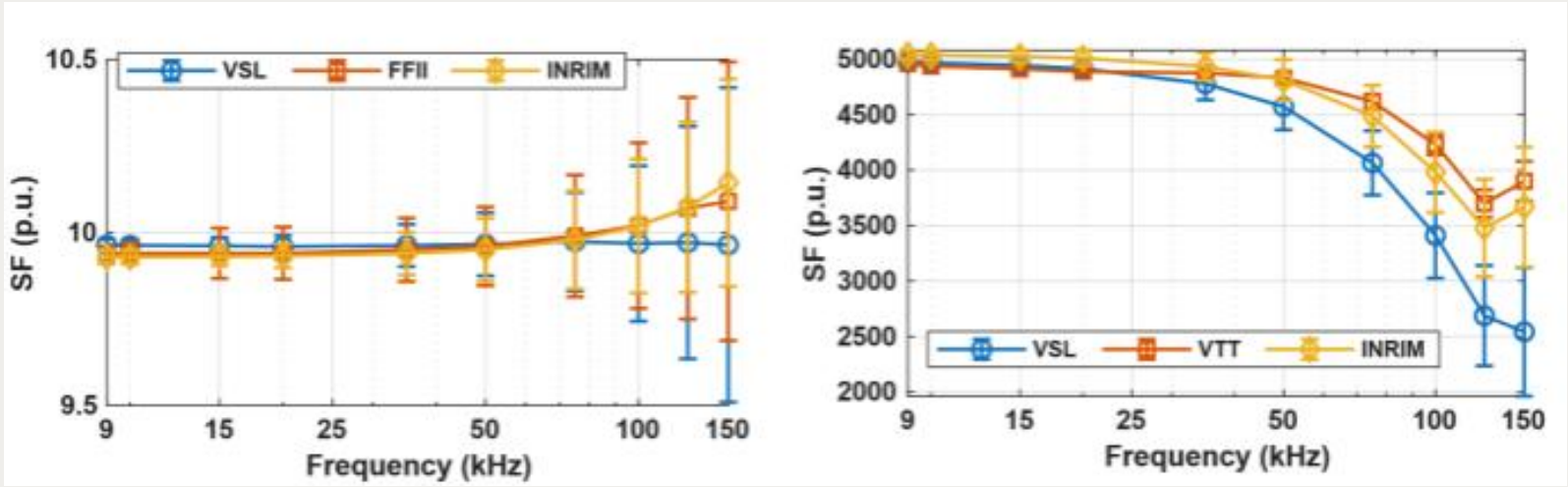
HALLAZGOS

- Dispersión mayor que en tensión
- Buen acuerdo por debajo de 20 kHz - 30 kHz
- Medidas compatibles entre diferentes laboratorios nacionales

CAUSAS

- Sensores de referencia diferentes
- Efectos de acoplamiento
- Posición del conductor primario

Tendencias coherentes, diferencias medibles en alta frecuencia.



Factor de escala CT 1 y CT 2 medido por varios laboratorios.

CT 1

Respuesta suave. Error inferior al 1% en todas las frecuencias.

CT 2

Pérdida de respuesta a alta frecuencia. Sensor declarado con ancho de banda hasta 1 MHz

Conclusiones

1 Brecha normativa	2 ADMIT	3 Tensión	4 Corriente
La IEC 61869 aún no cubre la verificación de exactitud de 9 kHz -150 kHz.	Aporta generación de ensayo y sistemas de referencia trazables.	50 kV CC / 36 kV CA con armónico superpuesto y divisor RC de referencia.	2 kA a 50 Hz con transitorios de hasta 150 kHz y sonda de corriente de banda ancha.

LECCIONES APRENDIDAS

Intercomparación

La intercomparación confirma tendencias coherentes, con dispersión creciente por encima de 50 kHz.

Caracterización obligada

Los divisores de tensión y de corriente declarados de banda ancha deben caracterizarse a estas frecuencias para aplicar las correcciones oportunas.

Variaciones en el circuito de generación y de ensayo producen variaciones altas en los resultados: ¿cómo será la situación in situ?

Gracias por su atención

Ángel Ramírez
FFII-LCOE

Agradecimientos
Proyecto 22NRM06 ADMIT, European Partnership on Metrology y Horizonte Europa.