

SISTEMA Y FUENTE DE ALTA CORRIENTE PARA PRUEBAS DE CORTOCIRCUITO SOBRE EQUIPOS ELÉCTRICOS EN BAJA TENSIÓN

5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se relaciona con el campo técnico de los dispositivos y sistemas de suministro de alta corriente, en particular, con dispositivos y sistemas de suministro de alta corriente para el desarrollo de pruebas en equipos eléctricos en baja tensión.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

De acuerdo con el Programa de Transformación Productiva (PTP) en Colombia (PTP, 2022), el sector de energía eléctrica, bienes y servicios conexos tiene gran potencial de crecimiento. Sin embargo, se requiere el desarrollo de capacidades para la internacionalización de sus productos. La poca investigación en este tema y la escasez de laboratorios con capacidad de pruebas de alta corriente en baja tensión ha impedido que los fabricantes nacionales de equipos eléctricos como tableros y transformadores diversifiquen sus productos e incursionen en mercados emergentes en Latinoamérica y el Caribe. En este contexto, según un estudio de la asociación de tableristas de Colombia ATEC (ATEC, 2022), en el país existen 120 fabricantes de tableros a nivel nacional que están en riesgo de desaparecer debido a la deficiencia de oferta en pruebas y certificación, lo que reduce la competitividad de la industria manufacturera nacional del sector eléctrico colombiano.

El reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) en Colombia, establece que todos los equipos y tableros que vayan a ser instalados deben contar con certificado de producto, lo cual exige que se realicen las pruebas tipo y una de ellas es la prueba de cortocircuito (RETIE, 2013). La prueba de resistencia al cortocircuito de tableros y celdas es definida por las normas IEC 61439 y NTC 3278, donde se presentan tres formas de verificar la resistencia al cortocircuito de los tableros de baja tensión: 1) Comparación teórica con un diseño de referencia sometido a prueba, es decir, el tablero es comparado con otro que tiene características similares; 2) comparación teórica con un diseño de referencia mediante cálculo, en este caso, la fuerza entre el sistema de barras debido a un cortocircuito es calculada de conformidad con la norma IEC 60865-1 de 2011; y 3) prueba de resistencia al cortocircuito en caso de que los dos criterios anteriores no puedan revisarse.

Durante la prueba de cortocircuito cualquier deformación en algún elemento del tablero conduce a que el ensamble no cumpla con los requisitos de la prueba.

Los sistemas de pruebas de alta corriente en baja tensión han sido conformados tradicionalmente por instalaciones con un transformador de cortocircuito dedicado, con características especiales para asegurar el suministro de muy altas corrientes en baja tensión, los bobinados secundarios deben poder conectarse en paralelo o serie y tener salidas de baja tensión regulable de 0 a 1200 V. La alimentación de la prueba se realiza a través de un generador especial o por medio de una conexión a un nodo del sistema eléctrico con capacidad para suministrar altas corrientes transitoriamente sin afectar la operación del sistema. Este tipo de instalaciones han sido implementadas en diferentes laboratorios alrededor del mundo, por ejemplo, el Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM) en México, el Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) en Brasil, Tecnalía en España, CESI en Italia, KEMA en Países Bajos, e IPH en Alemania.

Por otra parte, se han implementado prototipos de sistemas de alta corriente en baja tensión, como los presentados por Kim et al. (2015), Pleșca y Scîntee (2010), Wang et al. (2012) y Normandeau y Mahseredjian (2018). En el caso de Kim et al. (2015), los autores proponen el diseño e implementan una instalación para pruebas de cortocircuito DC y AC en sistemas de protección de baja tensión, con base en un arreglo de dos transformadores de cortocircuito en paralelo que permiten la realización de pruebas de hasta 20 kA en AC. Por su parte, Pleșca y Scîntee (2010) presentan un prototipo de fuente trifásica de alta corriente basada en transformadores monofásicos con módulos ferromagnéticos individuales, desarrollada para realizar pruebas sobre interruptores industriales de baja tensión. En la misma línea de investigación, Wang et al. (2012) presentan el diseño y simulación de las impedancias limitadoras de un sistema de inyección de alta corriente en baja tensión. Finalmente, Normandeau y Mahseredjian (2018) implementaron una fuente de alta corriente de hasta 65 kA pico para realizar pruebas de cortocircuito sobre transformadores de instrumentación utilizados en aplicaciones de protección de generadores. Esta fuente se desarrolló con base en un simulador digital en tiempo real acoplado con amplificadores de corriente, logrando así un banco de pruebas para reproducir corrientes asimétricas con el fin de certificar sistemas de protección.

Debido a la poca disponibilidad de pruebas para certificación descrita anteriormente, resulta necesaria la implementación de sistemas de alta corriente en baja tensión para ensayos de cortocircuito en tableros y transformadores para fortalecer la oferta de este tipo de pruebas en el sector eléctrico.

En este contexto, la presente invención resuelve la problemática técnica planteada mediante el desarrollo de una fuente de alta corriente, cuya configuración de elementos estructurales, permite suministrar tensiones trifásicas de hasta 1 kV y niveles de corriente de hasta 65 kA para cubrir las necesidades en ensayos de alta corriente sobre equipos eléctricos de baja tensión.

OBJETO DE LA INVENCION.

En un primer objeto, la presente invención revela un sistema basado en una fuente de alta corriente, con capacidad de suministro de niveles de corriente de hasta 65 kA y tensiones trifásicas de hasta 1 kV, para pruebas de cortocircuito sobre equipos eléctricos en baja tensión. Donde la fuente de alta corriente de la presente invención comprende un arreglo de transformadores toroidales.

El sistema comprende, además, al menos un módulo metrológico, barras de baja y media tensión, módulo de control, estructura de soporte y módulo de protecciones.

La implementación de la presente invención fortalece la investigación y el desarrollo experimental en equipos como tableros, celdas y transformadores.

Los objetos anteriormente descritos, al igual que los objetos adicionales a que hubiere lugar, serán expuestos al detalle y con la suficiencia necesaria en el capítulo descriptivo que se divulga a continuación, el cual constituirá el fundamento del capítulo reivindicatorio.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS.

FIGURA 1. Muestra el sistema general de la fuente de alta corriente en baja tensión.

FIGURA 2. Muestra el esquema de detalle de la fuente de alta corriente en baja tensión a partir del arreglo de transformadores toroidales.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención surge como respuesta a la necesidad de proveer soluciones tecnológicas para el desarrollo de pruebas de alta corriente y de verificación de equipos de medida para la fabricación de equipos de muy alta corriente, teniendo portabilidad para pruebas en sitio.

La descripción de la realización de la presente invención no pretende limitar su alcance, sino servir como un ejemplo particular de la misma. Se espera que una persona versada en la materia comprenda que las modalidades equivalentes no se apartan del espíritu y alcance de la presente invención en su forma más amplia.

- 5 La presente invención revela una fuente de alta corriente en baja tensión (BT) para la realización de pruebas de resistencia a cortocircuitos.

La fuente de alta corriente en baja tensión (BT) suministra tensiones trifásicas de hasta 1 kV y niveles de corriente de hasta 65 kA.

- 10 En la modalidad preferida de realización, la fuente se encuentra conectada a una red de media tensión (MT) (34,5 kV) con una fuente de alimentación dedicada proporcionada por el operador del sistema de distribución, como se muestra en la parte superior de la Figura 1.

- 15 La fuente de alta corriente comprende la conexión de módulos de baja tensión en paralelo, asociados a un módulo de media tensión. Posteriormente, se interconectan los módulos de media tensión para alcanzar la corriente requerida.

Además de los módulos de potencia de media y baja tensión, el sistema integra un conjunto de módulos y componentes para garantizar su operación en las condiciones técnicas y de seguridad apropiadas.

- 20 A continuación se describen los componentes estructurales del sistema de suministro de alta corriente en baja tensión:

Transformadores toroidales

Los transformadores toroidales son los elementos principales en la fuente de alta corriente. La fuente se construye con base en un arreglo de toroides en paralelo. En la modalidad preferida de la invención, la fuente es trifásica.

- 25 Los toroides están conectados en paralelo a la red y la salida estará conectada en serie para alcanzar la tensión y corriente objetivo para cada prueba, donde la tensión de salida es la sumatoria de tensiones de los toroides energizados.

- 30 En el sistema de la invención, los toroides se conectan dependiendo del rango y del nivel de corriente que se necesite aplicar a la prueba, donde se calculará el número de toroides que se deben conectar a la salida para aplicar la tensión y corriente requerida para la respectiva prueba.

- 35 La fuente de alta corriente del sistema de la invención, cuenta, además, con una herramienta de cálculo de los toroides a utilizar, de acuerdo con los tiempos de operación y de retardo de los dispositivos de activación y de los mecanismos de operación de los elementos de corte, que se conectan mediante el módulo de control.

En la modalidad preferida de la invención, el arreglo de toroides es una fuente de tensión variable y la corriente es un parámetro derivado de la relación entre la tensión aplicada y la impedancia de todo el lazo de la prueba, desde la impedancia Thevenin de la fuente hasta la impedancia del elemento bajo prueba.

- 5 En una modalidad particular de realización que se expone a continuación, la fuente de alta corriente presenta cuatro tipos de toroides, llamados T0 (uno por fase), T1 (uno por fase), T2 (uno por fase) y T3 (quince por fase). Por lo tanto, en esta modalidad particular, la fuente de alta corriente estará conformada por un total de 54 toroides.
- 10 En la modalidad de realización de realización reportada, la red es de 34.5 kV. Todas las conexiones se realizan en estrella. En la referida modalidad de realización, los toroides tipo T1, T2 y T3 pueden conectarse a 20 kVLN o a 1 kVLN. El Toroide T0 está asociado al autotransformador tipo variac, que regula la tensión de salida de la fuente de forma continua alimentado a una tensión de 230 VLN. Este tipo de
- 15 variación solo se usa en el rango de 0 a 10 kA. Para el rango de corriente mayor que 10 kA el variac no se usa debido a que las magnitudes de corriente son muy altas y el ajuste fino no es viable con este tipo de dispositivos. Para conectar y desconectar el lazo de variación continua, se utilizan dos elementos de seccionamiento.

20 ***Módulo metrológico***

- El módulo metrológico mide tres variables eléctricas: 1) corriente aplicada, donde la corriente aplicada a la prueba se mide con sensores tipo Bobina Rogowski; 2) tensión aplicada: conformado por transformadores de tensión y un osciloscopio para capturas de forma onda durante las pruebas; y 3) tiempo de duración de la prueba:
- 25 tanto la entrada de corriente, como la de tensión, se medirán y registrarán en un osciloscopio digital en el cual se calculan los tiempos de operación con base en la medición del tiempo transcurrido por las formas de onda. Adicionalmente se medirá la relación entre la máxima corriente de cresta y la corriente RMS en estado estable. Dicho factor está relacionado con el factor de potencia de la red
 - 30 equivalente.

Barras de baja y media tensión

- La fuente de alta corriente presenta dos tensiones de alimentación, una de 20 kVLN y otra de 1 kVLN. La fuente de 20 kVLN se empleará para las pruebas de corriente de las escalas I y II indicadas en las especificaciones generales. La escala
- 35 I va hasta 150 kA pico por 0.1 s y 65 kA por 1 s y la escala II va hasta 40 kA por 3 s. La escala III es para 10 kA en régimen permanente y empleará tanto la alimentación de 20 kVLN como de 1 kV LN.

En la modalidad preferida de la invención, los transformadores toroidales contarán con contactores de vacío para seleccionar la tensión a la cual será conectado el juego binario de toroides respectivo.

En una modalidad particular de realización, los conductores seleccionados para los
5 barrajes de 20 kV LN y 1 kV LN son los siguientes: barraje de 20 kV LN 1/0 AWG Semi Aislado a 25 kV y barraje de 1 kVLN 1/0 AWG THHN 2 kV.

Así mismo, se seleccionaron los conductores para la alimentación de los toroides como se indica a continuación: alimentadores de 20 kV LN 2 AWG Semi Aislado a 25 kV y alimentadores de 91 kV LN 2 AWG THHN 2 kV.

10 **Módulo de control**

El módulo de conmutación de la fuente de alta corriente tiene como función activar la alimentación de tensión para que la fuente produzca la alta corriente en el equipo bajo prueba durante el tiempo que se determine de acuerdo con el tipo de ensayo que se realice.

15 La fuente cuenta, además, con elementos de apertura y cierre de interruptores y seccionadores. Para los rangos de corriente I y II, en la fuente se podrá ajustar el cierre en el cruce por cero de la tensión de una de las fases, para garantizar los valores de las corrientes asimétricas. El módulo de control deberá garantizar una desconexión de la fuente mediante una señal externa de disparo.

20 *Estructura soporte*

La fuente presenta una estructura de soporte que tiene como propósito soportar los transformadores toroidales. La estructura de soporte, preferiblemente, presenta una estructura metálica de soporte para cada grupo de toroides T0, T1, T2 y T3.

Módulo de protecciones

25 El módulo de protecciones se refiere al conjunto de dispositivos necesarios para la operación segura de la fuente y el sistema. Para garantizar la operación segura, el sistema de protecciones tiene como propósitos: despejar una falla en caso de que se presente cortocircuito en el equipo, abrir el circuito en caso de una sobrecarga térmica, realizar una parada de emergencia en caso de una situación adversa
30 percibida por el personal operador del sistema, proteger el sistema de sobretensión y baja tensión, entre otros.

Así mismo, el sistema cuenta, además, con un módulo de puesta a tierra automático para la protección del personal.

El esquema general de la Figura 1 muestra los componentes principales de la fuente
35 de alta corriente en BT (7): transformadores toroidales (8), módulos de conmutación y protección principal (13) y para los transformadores toroidales (14), módulo de

control (15) y módulo de medición (16). La fuente se alimenta desde el punto de conexión de 34,5 kV (6) a través de un módulo de conmutación y protección (13).

Los niveles de tensión para el funcionamiento de la fuente de alta corriente de BT, es decir, en los barrajes de 20 LN (17), 1 kVLN (18) y 230 VLN (19), son proporcionados por un transformador de tres devanados (20).

El componente principal de la fuente es la novedosa disposición de transformadores toroidales (8) que suministran niveles adecuados de corriente y tensión, es decir, hasta 65 kA y 1 kVLL, para realizar las pruebas requeridas en los equipos. Estos transformadores toroidales también están protegidos y operados a través de dispositivos de protección y conmutación dedicados (14).

Además, el módulo de control (15) opera los dispositivos de conmutación y protección a través de señales de control, ajustando así los niveles de tensión y corriente, la duración y otras condiciones específicas para realizar las pruebas de manera adecuada y segura.

El suministro de tensión y corriente al equipo o elemento bajo prueba, así como la duración de las pruebas, son monitoreados por el módulo de medición (16). Por lo tanto, la fuente de alta corriente permite realizar pruebas en diversos elementos y equipos de BT (22), como transformadores de distribución y potencia, conectores de potencia, cables, interruptores de potencia de BT, transformadores de medida, fusibles y otros dispositivos de protección, entre otros.

La fuente de alta corriente en BT se basa en una disposición en serie-paralelo de cuatro tipos de transformadores toroidales, a saber, T0 (9) (uno por fase), T1 (10) (uno por fase), T2 (11) (uno por fase) y T3 (12) (quince por fase), como se muestra en la Figura 2, por lo que la fuente está formada por un total de 54 transformadores toroidales.

Los equipos presentes en el sistema proporcionados por el operador del sistema de distribución (1) incluye dos transformadores de 60 MVA (3), alimentado por una red aguas arriba de 115 kV (2) y con un nivel de tensión en el lado de baja de 34,5 kV. El sistema equivalente de 34,5 kV proporciona una corriente de cortocircuito trifásica de 25 kA. El operador de red además dispone de elementos de protección y maniobra como dos seccionadores (4) y un interruptor (5) para permitir un adecuado y seguro funcionamiento del sistema de potencia y de la fuente de alta corriente en BT, mediante su conexión a un nodo de la red (6).

La prueba de resistencia al cortocircuito de tableros y celdas eléctricas está definida en las respectivas normas técnicas aplicables en cada jurisdicción. En Colombia, por ejemplo, las normas IEC 61439 y NTC 3278 regulan dicha prueba de resistencia, detallando las tres formas de verificar la resistencia al cortocircuito en tableros de baja tensión.

Los sistemas para realizar estas pruebas de alta corriente en baja tensión tradicionalmente han sido conformados por instalaciones con un transformador de cortocircuito dedicado, con características especiales para asegurar el suministro de muy altas corrientes a baja tensión. La alimentación de la prueba se realiza a través de un generador especial o por medio de una conexión a un nodo del sistema eléctrico con capacidad para suministrar transitoriamente altas corrientes sin afectar la operación del sistema.

En general, estas fuentes de alta corriente están conformadas por tres módulos, incluyendo uno de potencia, uno de alimentación y un sistema de control y protección. A continuación, se describe cada uno de los módulos.

Módulo de potencia: El módulo de potencia está conformado por un transformador o transformadores con diseño especial para soportar los esfuerzos térmicos y dinámicos generados por las corrientes de cortocircuito. Estos equipos proporcionan una baja impedancia para facilitar las pruebas de interruptores de diferentes capacidades.

La salida es regulada con un autotransformador ajustable que permite variar la alimentación del módulo. Generalmente, el autotransformador se ajusta de forma manual o automática a través de un control motorizado.

Sistema de control y protección: El sistema cuenta con protecciones de temperatura para el barraje de salida y el sistema en general.

La fuente del sistema de inyección de alta corriente en baja tensión de la invención, al suministrar tensiones trifásicas de 1 kV y niveles de corriente de hasta 65 kA, debe tener un punto de conexión con la capacidad transitoria para suplir los requerimientos de potencia transitoria requerida. Por lo tanto, preferiblemente, el sistema de generación de alta corriente debe estar conectado a una red de media tensión (34.5 kV) con una alimentación dedicada. El sistema de alimentación presenta elementos de protección, como el descargador de sobretensiones, un seccionador y un interruptor para llevar a cabo la conexión y desconexión de la fuente de alta corriente de manera segura, y un sistema de protección y medición de tensión y corriente sobre la bahía de conexión.

Para la medición de la tensión y corriente se usarán un transformador de potencial (TP) y un sensor tipo Rogowsky, respectivamente.

El sistema divulgado por la presente invención, a partir de una fuente de alta corriente en baja tensión para pruebas de cortocircuito en equipos eléctricos, cumple con las exigencias técnicas que requiere el sector eléctrico.

Para el caso de la República de Colombia, cumple con lo estipulado en el RETIE y la norma técnica NTC 3278.

Por lo tanto, este sistema permitirá atender el mercado nacional y aumentar la competitividad del país en términos de pruebas de certificación, permitiendo consolidar una infraestructura para ensayos y certificación para el sector eléctrico, lo que ayudará al desarrollo de nuevos equipos y materiales, así como a la verificación de prototipos.

Aunque la presente invención ha quedado descrita con las realizaciones preferentes mostradas, queda entendido que las modificaciones y variaciones que conserven el espíritu y el alcance de esta invención se entienden dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

15

20

25

30 **Listado de referencias.**

En aras de brindar una mejor comprensión del funcionamiento de la invención y, en especial, en relación con las figuras anexadas a la presente memoria descriptiva, se presenta a continuación el listado de componentes con sus respectivas referencias:

- 5 1. Equipos del operador del sistema de distribución.
2. Red de distribución.
3. Transformadores principales 2 x 60 MVA.
4. Seccionadores.
5. Interruptor.
- 10 6. Punto de conexión de la fuente de alta corriente.
7. Fuente de alta corriente.
8. Transformadores toroidales.
9. Transformador toroidal tipo T0.
10. Transformadores toroidales tipo T1.
- 15 11. Transformadores toroidales tipo T2.
12. Transformadores toroidales tipo T3.
13. Sistema de conmutación y protección principal.
14. Sistema de conmutación y protección para los transformadores toroidales.
15. Sistema de control.
- 20 16. Sistema metrológico.
17. Barraje de 34.5 kVLL.
18. Barraje de 1,63 kVLL.
19. Barraje de 0.4 kVLL.
20. Transformador tridevanado.
- 25 21. Autotransformador variable.
22. Equipo/elemento bajo prueba.
23. Elementos de seccionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aponte, G., Herrera, W., González, C., y Pleite, J., Implementación de un Modelo de un Transformador Eléctrico para el Análisis de su Respuesta en Frecuencia, *Inf. Tecnol.*, 22(4), 59-72 (2011).

Asociación de Tableristas Eléctricos de Colombia ATEC. ¿Por qué ATEC?,
5 <http://www.atec.net.co/info.php?a=4> (2022)

Chmielewski, T., Oramus, P., Szewczyk, M., Kuczek, T., y Piasecki, W., Circuit breaker models for simulations of short-circuit current breaking and slow-front overvoltages in HV systems, <http://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.046>, *Electr. Power Syst. Res.*, 143, 174-181 (2017)

10 CREG 038-2014, Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, Resolución 038 de 2014, Bogotá, Colombia (2014)

Curcanu, G., Iancu, C., y Truta, D., Considerations regarding testing of low voltage equipment at electrical arc and thermal factor actions, <http://doi.org/10.24084/repqj05.203>, *Renew. Energy Power Qual. J.*, 1(5), 14-20
15 (2007)

Delgado, F., Renedo, C. J., Ortiz, A., Fernández, I., y Santisteban, A., 3D thermal model and experimental validation of a low voltage three-phase busduct, <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.002>, *Appl. Therm. Eng.*, 110, 1643-1652 (2017)

20 Dolgosheev, P. I., Sytnikov, V. E., Radchenko, I. P., y Vahtinski, N. A., Inductive Method for A.C. and D.C. Testing, Creation and Testing of Installations, <http://doi.org/10.1109/20.133726>, *IEEE Trans. Magn.*, 27(2), 2499-2502 (1991)

Hall, W. M., y Gregory, G. D., Short-circuit ratings and application guidelines for molded-case circuit breakers, <http://doi.org/10.1109/28.740857>, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 35(1), 135-143 (1999)
25

Hernández, I., De León, F., y Gómez, P. Design formulas for the leakage inductance of toroidal distribution transformers, <http://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2157536>, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 26(4), 2197-2204 (2011)

IGT ingeniería total, Catálogo de productos, Cali, Colombia (2022)

30 Kim, D.-S., Ryu, J.-N., y Kim, C.-H., A study on the development of AC and DC short-circuit test facility for the low-voltage protective equipment, <http://doi.org/10.1109/ICEPE-ST.2015.7368428>, 2015 3rd International Conference on Electric Power Equipment – Switching Technology, ICEPE-ST 2015, 592-595 (2015)

Normandeau, M., y Mahseredjian, J., Evaluation of Low-Power Instrument Transformers for Generator Differential Protection, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 33(3), 1143-1152 (2018)

Orduña, I. F., Aponte, G., y Echeverry, D. F., Compensación paralelo de reactivos durante la prueba de aptitud al cortocircuito en transformadores de distribución, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000500006>, *Inf. Tecnol.*, 23(5), 47-56 (2012)

Parise, G., y Scarpino, P. A., A Basic Assessment of Arc Flash in Low Voltage AC, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 57(5), 4513-4519 (2021)

10 Pires Corrêa, H., y Teles Vieira, F. H., An Approach to Steady-State Power Transformer Modeling Considering Direct Current Resistance Test Measurements, <http://doi.org/10.3390/s21186284>, *Sensors*, 21(18) (2021)

Pleşca, A., y Scîntee, A., Testing of power electrical apparatus using modular high current source, *International Review of Electrical Engineering*, 5(3), 1236-1243
15 (2010)

Programa de transformación productiva PTP, Estadística de los 20 sectores del PTP que transforman a Colombia, <http://ptp.amagi4all.com/informacion-estadistica/energia> (2022)

Szulborski, M., Łapczyński, S., y Kolimas, Ł., Thermal analysis of heat distribution in busbars during rated current flow in low-voltage industrial switchgear, <http://doi.org/10.3390/en14092427>, *Energies*, 14(9) (2021)
20

Tsovilis, T. E., Critical Insight into Performance Requirements and Test Methods for Surge Protective Devices Connected to Low-Voltage Power Systems, <http://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3032763>, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 36(5),
25 3055-3064 (2021)

Wang, F., Qi, Y., y Fu Z., Calculation of peak output current of short circuit test equipment used for the low-voltage switching devices, <http://doi.org/10.1109/ICHVE.2012.6357007>, *ICHVE 2012 – 2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 72-75 (2012)

30

5

10

15

20

25

5

10

15