

Recibido 03 de diciembre de 2021. Aceptado 15 de marzo de 2022. Publicado 01 de agosto de 2022.

ISSN: 2448-7775

Diseño de prueba sintética de cortocircuito para interruptores de media tensión

JUAN CAMILO BELTRÁN SOLANO^{1*}, JUAN CAMILO HERNÁNDEZ MUÑOZ¹, GUILLERMO APONTE MAYOR¹, CESAR TULIO DELGADO².

¹Universidad del Valle, Colombia.

²Universidad del Valle, SENA, Colombia.

*Autor de correspondencia: juan.camilo.beltran@correounivalle.edu.co

RESUMEN Los interruptores automáticos son dispositivos fundamentales dentro del sistema eléctrico de potencia, por lo que deben ser sometidos a diferentes pruebas para verificar su comportamiento y capacidad interruptiva ante condiciones normales de trabajo y de falla. La prueba que permite evaluar la capacidad interruptiva del interruptor de manera directa ante un cortocircuito resulta poco factible debido a su alto costo de implementación o la gran afectación sobre la red eléctrica. En este trabajo, se presenta el diseño de una prueba sintética de cortocircuito para interruptores como alternativa al método directo, que es capaz de replicar las condiciones de falla a las que está expuesto el interruptor durante la prueba. También se presenta el modo como se realizó el diseño de los circuitos de tensión y de corriente de manera independiente, para que de forma sincronizada proporcionen las condiciones de falla para interruptores de 17 kV que establece el estándar IEC 62271-100/101, también se muestra como se hace la sincronización mediante simulación por software y en los anexos se presentan las especificaciones de los componentes de los circuitos, con los cuales se espera continuar en una siguiente fase la implementación de la prueba. Se evidenció que para la prolongación del tiempo de arco es necesario la implementación de un circuito externo de reencendido, cuyas características permitan superar el cruce por cero de la corriente de cortocircuito.

PALABRAS CLAVE— Prueba sintética de cortocircuito, tensión de recuperación transitoria, corriente asimétrica, sincronización, tiempo de arco.

I. INTRODUCCIÓN

En un sistema de potencia se debe garantizar la confiabilidad, seguridad y continuidad del servicio eléctrico. Uno de los dispositivos fundamentales que posibilita el cumplimiento de estas características es el interruptor. Dicho equipo, debe ser sometido a diferentes pruebas normalizadas que permiten evaluar su desempeño, siendo una de ellas la verificación de su capacidad interruptiva mediante el ensayo bajo condiciones de cortocircuito a tensión nominal.

La prueba de cortocircuito en interruptores de potencia puede ser realizada en laboratorios que cuenten con sistemas de prueba a través de métodos directos: como lo son los laboratorios tipo red, cuya fuente de suministro para la prueba es la misma red y los laboratorios tipo generador que cuentan con un sistema de generación independiente. Actualmente en Colombia no existen laboratorios que realicen la prueba de cortocircuito; la dificultad para contar con los laboratorios tipo red radica en que demandan altos valores de corriente que producen caídas de tensión en la red, desestabilizándola y comprometiendo el servicio de los usuarios. Por su parte, los laboratorios tipo generador requieren elevados costos de implementación debido a la

exigencia de equipos robustos que trabajan con grandes niveles de potencia.

Teniendo en cuenta la forma en que se da el proceso de interrupción de corriente [1] [2], una alternativa para suplir este tipo de prueba utilizando métodos indirectos corresponde a la prueba sintética de cortocircuito, que está conformada por una fuente de corriente y una fuente de tensión independientes, pero que sincronizadas permiten generar las condiciones requeridas por el interruptor [3][4].

La ventaja del sistema de prueba de cortocircuito de manera sintética es su capacidad de generar las condiciones reales a las cuales va a estar expuesto el interruptor sin comprometer el funcionamiento de la red eléctrica y, además, representa un ahorro económico respecto a los métodos directos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propuso realizar mediante un proyecto de pregrado en ingeniería, el diseño de una prueba sintética de cortocircuito para interruptores de media tensión, donde el problema radicaba en el desconocimiento sobre la conformación de las fuentes de corriente y tensión, así como el método utilizado para sincronizar las señales durante la prueba.

II. MÉTODO DE PRUEBA SINTÉTICA

Para el diseño se analizaron diversos tipos de fuente y se decidió implementar el método de inyección de corriente en paralelo del estándar IEC 62271-100 [5], debido a la no dependencia del circuito de corriente con respecto al circuito de tensión y viceversa, además de su equivalencia con el circuito directo correspondiente. Teniendo en cuenta las condiciones locales, es decir, la disponibilidad de un banco de condensadores de diversas capacidades, y la posibilidad de acceder a fuentes de AC con niveles diferentes de tensión en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad del Valle, se realizó el diseño de la prueba sintética utilizando el circuito Weil Dobke [6], que es una configuración de circuito sugerida por la norma IEC 62271-101 [7].

A. CIRCUITO DE TENSIÓN Y CORRIENTE

Como el objeto bajo estudio, o para el cual se pretende realizar la prueba, es el interruptor de media tensión, el circuito que proporciona la tensión de prueba (TRV) es caracterizado mediante 2 parámetros, siendo estos la base para la realización del diseño [8][9]. En cuanto al circuito que inyecta la corriente de prueba (Fig. 1), considerando que esta se realiza para una falla en terminales y al 100% de la corriente nominal de cortocircuito, el circuito de corriente debe generar una corriente asimétrica cumpliendo con los valores normalizados en el estándar IEC 62271-100 [5].

B. CONDICIONES Y RECOMENDACIONES

Para que la prueba sea válida se requiere cumplir con las siguientes restricciones y recomendaciones que se estipulan en la norma IEC 62271-100/101 [5][7][10]:

- Realizar 3 operaciones durante la prueba con tiempo de arco máximo, medio y mínimo.
- En el momento en que se da la orden de apertura de los contactos se debe tener un porcentaje de DC de la corriente por encima o igual al establecido en la norma [11].
- El circuito de tensión (TRV) se debe conectar en el momento en que se tenga una variación considerable en la tensión de los contactos del interruptor de prueba [12].
- La frecuencia de la corriente inyectada por el circuito de tensión debe tener una frecuencia entre 250 Hz y 1000 Hz [12].
- El tiempo de duración en el que solamente queda circulando la corriente inyectada por parte del circuito de tensión a través del interruptor de prueba debe ser menor o igual a un cuarto del periodo de dicha corriente [3][13].

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

En el diagrama de la Fig. 2. se muestra el proceso seguido en el diseño de las fuentes. El diseño del circuito de prueba se realizó para interruptores con una tensión de 13.2 kV y 34.5 kV, sin embargo, para el presente artículo se mostrará el diseño para interruptores con una tensión nominal de 13.2 kV.

A. DISEÑO DEL CIRCUITO DE TENSIÓN

La determinación de los valores de los componentes del circuito de tensión parte de la caracterización del tipo de onda requerida mediante los parámetros que establece la normativa y la adecuación del circuito que permite generar dicha onda; una vez obtenida la onda, se hace un análisis en el dominio de la frecuencia compleja y se formulan unas ecuaciones matemáticas que permiten relacionar los componentes con las características temporales de la onda. Se resuelven estas ecuaciones y se obtienen los valores requeridos. Finalmente, se verifica el cumplimiento de cada una de las condiciones que establece la norma.

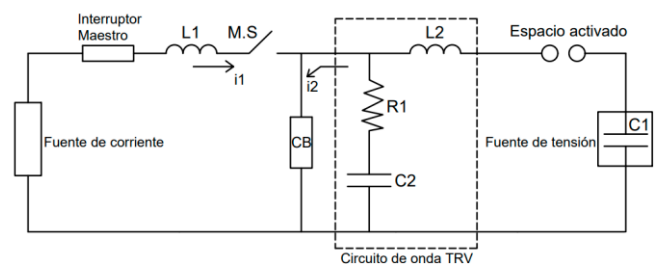


Fig. 1. Circuito de inyección de corriente en paralelo.

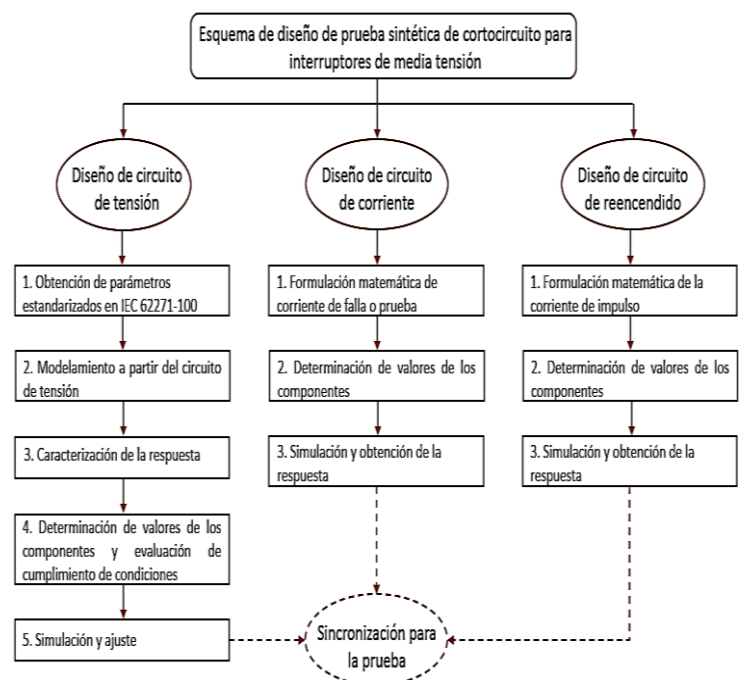


Fig. 2. Esquema básico de diseño de prueba sintética de cortocircuito para interruptores de media tensión.

El circuito que permite generar la onda de tensión transitoria requerida (sistema de segundo orden con un cero) [14] y que se puede representar mediante dos parámetros [15] para la prueba de cortocircuito de un interruptor de 13.2 kV, se muestra en la Fig. 3.

Los valores de los componentes determinados mediante cálculos se muestran en la Tabla I.

B. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CORRIENTE

El circuito de corriente se diseñó para generar una corriente de cortocircuito asimétrica [16] para un interruptor de vacío de 17 kV mostrado en la Fig. 4b y cuyas características generales son mostradas en el Anexo A [17][18]. El modelo del circuito de corriente se muestra en la Fig. 4a.

Como se planteó en la metodología de diseño, la obtención de los valores de los componentes del circuito de corriente parte de un circuito RL y del análisis o formulación matemática de la corriente de falla. Una vez se tiene la expresión en el tiempo de la corriente de cortocircuito, se plantean dos ecuaciones a partir de la magnitud de la ICC y la constante de tiempo del interruptor que se desea probar, cuya solución arroja las magnitudes requeridas de cada componente del circuito de inyección de corriente.

Los componentes determinados mediante cálculos se muestran en la Tabla II.

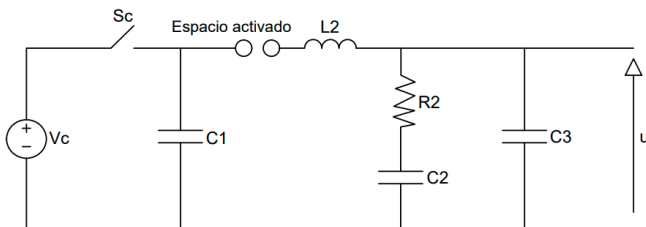


Fig. 3. Modelo del circuito TRV de 2 parámetros [6].

Tabla I. VALORES DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO OBTENIDO MEDIANTE CÁLCULOS.

Componentes	Cálculos
Banco de capacitores [μF] C_1	34
Banco de inductores [mH] L_2	8.17
Banco de capacitores [μF] C_2	0.07012
Banco de resistores [Ω] R_2	104
Banco de capacitores [nF] C_3	-

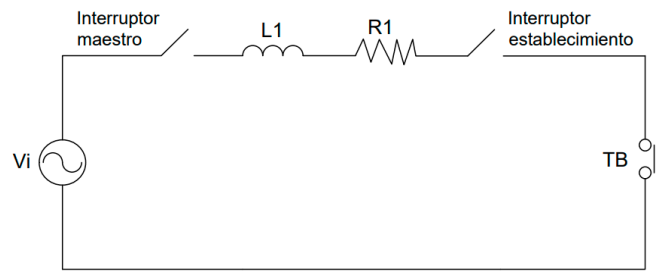


Fig. 4a. Modelo del circuito de corriente.



Fig. 4b. Interruptor de vacío de 17 kV [18].

Tabla II. VALORES DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO OBTENIDO MEDIANTE CÁLCULOS.

Componentes	Valor
Banco de resistencias (R1)	0.00073232 Ω
Banco de inductores (L1)	32.95 μH

C. DISEÑO DEL CIRCUITO DE REENCENDIDO

El circuito de reencendido es el que permite prolongar la duración del arco en bornes del interruptor cuando se requiere verificar la respuesta del interruptor con tiempo de arco medio y máximo, en donde aparecen cruces por cero intermedios en la onda de corriente [8][19][20]. En la Fig. 5 se muestra el modelo implementado que permite generar la onda de corriente de impulso para garantizar dicha prolongación.

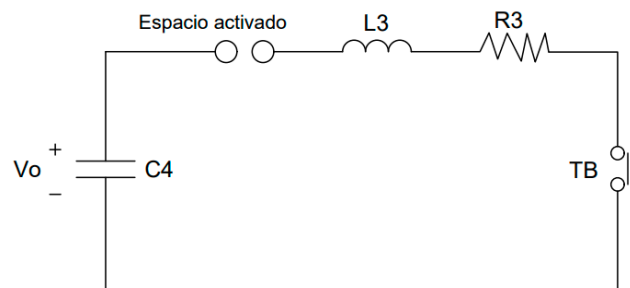


Fig. 5. Modelo del circuito de reencendido.

La obtención de los valores de los componentes del circuito de reencendido parte de la formulación matemática de un circuito RLC serie. Mediante las características de la onda de impulso generada e implementando la técnica desarrollada por F. Roman [20], en donde se relaciona la tensión de precarga, el valor pico de impulso, el tiempo de frente y el tiempo de cola en valores unitarios, con los valores de los componentes del circuito se obtuvo los valores requeridos.

La onda de impulso que genera tiene las siguientes características: tensión de precarga de 36.4 kV, valor pico del impulso de 5 kA, tiempo de frente (T_s) de 50 μ s y tiempo de cola (T_r) de 160 μ s. Los valores de los componentes determinados mediante cálculos se muestran en la [Tabla III](#).

D. SIMULACIÓN

El interruptor de prueba se simuló mediante el módulo de interruptor monofásico con arco que tiene la librería de Simulink/MATLAB, dicho módulo está programado a partir de los parámetros de arco determinados por la teoría de Mayr. Estos parámetros dependen en gran medida de la velocidad de apertura del interruptor de prueba y de su medio de extinción del arco.

Los parámetros de Mayr estimados para interruptores de vacío de media tensión [9] fueron: Potencia: $P_o = 25$ kW, Ángulo: $\Theta = 0.273$ μ s [21].

Al correr la simulación del circuito implementado en Simulink/MATLAB, se obtiene la respuesta por parte del circuito de prueba y del interruptor bajo prueba para una operación con tiempo de arco máximo, mostrada en la [Fig. 6a](#) [9].

Las características que tiene el circuito de prueba para cumplir con la validez de la prueba son:

- Tiempo de arco máximo: 12.11 ms.
- Inicio apertura de contactos: 41.9373 ms.
- Componente DC: 34.64%.
- Frecuencia de la corriente inyectada por el circuito de tensión: 301.52 Hz.
- Tiempo de conexión circuito de reencendido: 150 μ s antes del cruce por cero.

A continuación, en la [Fig. 6b](#) se puede observar la superposición de corrientes en el interruptor de prueba, en donde la secuencia inicia con el flujo de la corriente de cortocircuito, seguido de la inyección del impulso de corriente 150 μ s antes del cruce por cero (prolongando el arco hasta el siguiente cruce por cero), y por último la inyección de corriente por parte del circuito TRV, garantizando que la corriente se extinga en el último bucle.

TABLA III. VALORES DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO OBTENIDO MEDIANTE CÁLCULOS.

Componentes	Valor
Banco de resistencias (R3)	4.82 Ω
Banco de inductores (L3)	0.20088 mH
Banco de capacitores (C4)	18.668 μ F

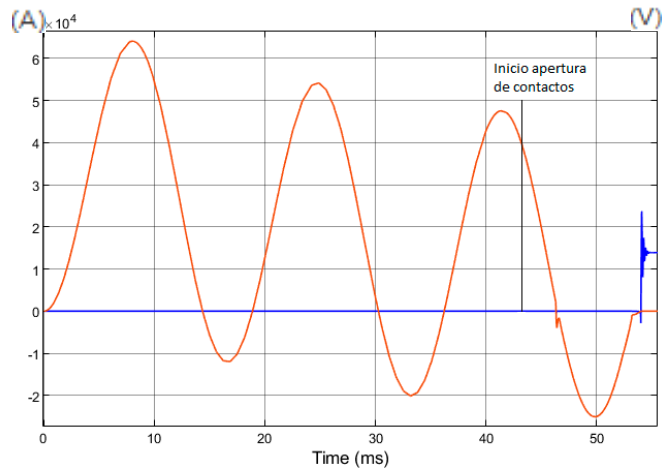


Fig. 6a. Respuesta del interruptor de prueba de 17 kV nominal ante prueba sintética con tiempo de arco máximo.

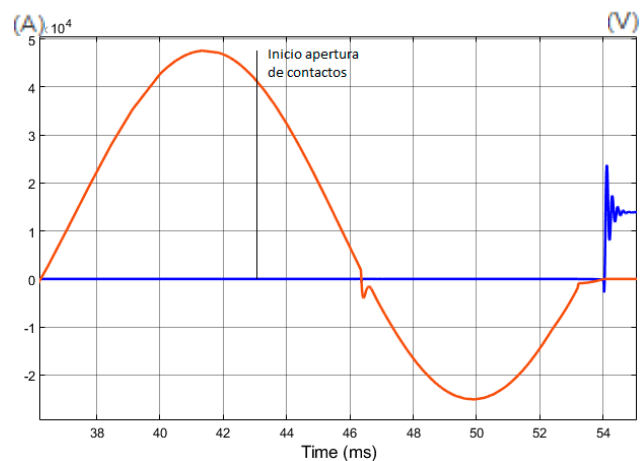


Fig. 6b. Superposición de corrientes en el interruptor de prueba de 17 kV nominal ante prueba sintética con tiempo de arco máximo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar las características de las ondas generadas por cada uno de los circuitos, con respecto a los parámetros de diseño, se obtuvo los resultados mostrados en la [Tabla IV](#) para el circuito de tensión, y en la [Tabla V](#) para el circuito de corriente.

Como podemos observar en la [Tabla IV](#), existe una pequeña diferencia entre los parámetros representativos de la onda TRV calculados, y los de simulación. Esto se debe a que

en simulación se evidencia una onda con una cantidad considerable de oscilaciones que pueden llegar a afectar a los componentes. Por esta razón, se decidió implementar el banco de capacitores C3 que permite reducir el número de oscilaciones para garantizar la seguridad de los componentes, afectando en pequeña medida los parámetros del circuito.

Como se puede observar en la [Tabla V](#), existe un porcentaje de error bastante bajo al comparar los parámetros obtenidos mediante cálculos y simulación, esto se debe a que en simulación los modelos de los componentes presentan una resistencia interna que afecta la resistencia total del circuito y por consiguiente la corriente de cortocircuito.

En cuanto a la comparación de las características de la onda de impulso generada por el circuito de reencendido en simulación, y los parámetros de diseño calculados, se obtuvo los resultados mostrados en la [Tabla VI](#).

Como se puede observar en la [Tabla VI](#), existe una pequeña diferencia entre los parámetros representativos de la onda de impulso calculados y los de simulación. Para que el circuito de reencendido genere la onda de impulso deseada, se requieren valores de componentes bastante bajos y la presencia de parámetros internos en los modelos de los componentes afectan la onda final generada. El mayor porcentaje de error se encuentra en el tiempo de frente y esto es debido a que en simulación el inductor requiere introducir en su modelo el valor de conductancia en paralelo que por defecto extiende esta variable.

TABLA IV. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO CALCULADOS Y SIMULADOS DE LA ONDA DE TENSIÓN TRANSITORIA.

Parámetros	Datos calculados	Datos simulación	Porcentaje de error
Valor pico TRV U_c [kV]	22.6	22.7	0.32%
Tiempo de llegada t_3 [μs]	76	74.8	1.58%
Tasa de rizado RRRV	0.2978	0.3035	1.91%

TABLA V. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO CALCULADOS Y SIMULADOS DE LA ONDA DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Parámetros [A]	Datos calculados	Datos simulación	Porcentaje de error
$I_{rms} (sim) = I_{AC}$	25000	25003.3	0.01%
$I_p (sim)$	35355.34	35360	0.01%
$I_{rms} (asim)$	40000	40005.28	0.01%
$I_p (asim)$	63750	64010	0.41%

TABLA VI. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO CALCULADOS Y SIMULADOS DE LA ONDA DE IMPULSO DE CORRIENTE.

Parámetros	Datos calculados	Datos simulación	Porcentaje de error
Valor pico del impulso	5 kA	4.93 kA	1.40%
Tiempo de frente	50 μs	52.5 μs	5.00%
Tiempo de cola	160 μs	156.8 μs	2.00%

A. ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS Y COMPONENTES

A continuación, se muestran las características principales que deben tener cada uno de los componentes tanto del circuito de tensión, del circuito de corriente como del circuito de reencendido para garantizar las condiciones dadas por parte del circuito de prueba.

1. Especificación del circuito de tensión

TABLA VII. ESPECIFICACIÓN DE COMPONENTES Y EQUIPOS QUE CONFORMAN EL CIRCUITO DE TENSIÓN.

Equipo	Valor
Banco de capacitores C_1	34 μF
Fuente de tensión directa V_c	13.2 kV _{DC}
Banco de inductores L_2	8.2 mH
Banco de capacitores C_2	0.087 μF
Banco de resistores R_2	104 Ω
Banco de capacitores C_3	1.4 nF
Brecha de sobretensión SG	En 3 rangos de tensión
Unidad de disparo	Con retraso: ±10 μs

2. Especificación del circuito de corriente

TABLA VIII. ESPECIFICACIÓN DE COMPONENTES Y EQUIPOS QUE CONFORMAN EL CIRCUITO DE CORRIENTE.

Equipo	Valor
Fuente de tensión alterna de la red	$U_r = 440$ V
	$L = 32.95$ μH
	$U_n = 1$ kV
Reactor limitador de corriente L_{ci}	$I_{sc} = 25$ kA
	$BIL = 60$ kV
	$U_r = 17.5$ kV
	$I_n = 1250$ A
(MS) Interruptor de establecimiento SF6	$I_{sc} = 25$ kA
	$BIL = 60$ kV
	Tipo: VD4
	$U_r = 17.5$ kV
	$I_n = 1250$ A
(Master CB) Interruptor de respaldo SF6	$I_{sc} = 25$ kA
	$BIL = 60$ kV
	Tipo: HD4

3. Especificación del circuito de reencendido

Para la especificación de la fuente que carga el banco de capacitores principal, o el cargador DC, se debe garantizar la polaridad en ambos sentidos y el tiempo de carga.

TABLA IX. ESPECIFICACIÓN DE COMPONENTES Y EQUIPOS QUE CONFORMAN EL CIRCUITO DE REENCENDIDO.

Equipo	Descripción	Cantidad
Banco de capacitores	Capacitancia/tolerancia	18.668 $\mu\text{F}/+10\%$
	Voltaje nominal	36.4 kV _{DC}
Resistencia serie	Resistencia	4.821192 Ω
Reactor serie	Inductancia	0.20088 mH
	Voltaje nominal	36.4 kV _{DC}
Cargador DC	Max. Rizado	$\leq 3\%$
	Polaridad	Positivo & negativo
	Tiempo de carga	≤ 50 s
Unidad de disparo	Tipo	GAP vacío
	Voltaje aislamiento	200 kV _{DC}
	Voltaje de operación	30 - 150 kV _{DC}
	Retardo	≤ 1 μs

B. DIAGRAMA DE CONEXIÓN

El diagrama de conexión para el circuito de prueba se muestra en el [Anexo B](#).

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera viable implementar un circuito de prueba sintética, debido a que tanto el circuito de corriente como el circuito de tensión se pueden diseñar de manera independiente, este además permite aislar ambos circuitos.
- Para la realización de la prueba con prolongación de arco (operación con tiempo de arco máximo y medio), no solo basta con generar un impulso de corriente con una pendiente lo suficientemente grande en comparación a la pendiente de decaimiento de la onda de cortocircuito, sino que también influye el momento de conexión del circuito de reencendido antes del cruce por cero.
- La polaridad del último bucle de corriente de cortocircuito en el instante antes de su interrupción determina la polaridad de la carga requerida del banco de condensadores principal del circuito de tensión.
- Debido a que, durante la sincronización de la prueba, los equipos del circuito de corriente se ven expuestos a la onda transitoria de tensión (onda de gran magnitud en muy corto tiempo), estos deben tener un valor de BIL de dos veces el valor pico de la tensión alcanzada.
- Si bien los circuitos de tensión, de corriente y de reencendido precisan valores de resistencias, inductancias y capacitancias con cierta precisión en cifras decimales, el desarrollo tecnológico ha permitido la

fabricación de bobinas y capacitores con capacidades nominales específicas que anteriormente no eran posibles. En este sentido, la obtención de dichos elementos no sería el reto más importante por superar en una fase de implementación práctica del circuito de prueba. El verdadero reto de la fase práctica sería la conformación del circuito de corriente, ya que, la resistencia interna de cada elemento afecta en gran proporción la magnitud de la corriente de cortocircuito por lo que esta variable se convierte en un criterio de gran importancia en la especificación de los equipos.

REFERENCIAS

- [1] G. A. Mayor, "UNIVALLE Introducción a las subestaciones Cap VI - Interruptores," pp. 1–12.
- [2] J. G. Jamnani and S. A. Kanitkar, "Computer aided optimized design and simulation of synthetic test circuit for testing 800kV rating circuit breakers," *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON, Nirma Univ. M.S Univ.*, no. i, pp. 1–6, 2009, doi: 10.1109/TENCON.2009.5396232.
- [3] K. M. Takami and E. Dahlquist, "MODELING AND SIMULATION OF SHORT CIRCUIT CURRENT AND TRV TO DEVELOP A SYNTHETIC TEST SYSTEM FOR CIRCUIT BREAKERS," no. Sims 55, pp. 21–22, 2014.
- [4] I. Std *et al.*, "IEEE Guide for Synthetic Capacitive Current Switching Tests of AC High-Voltage Circuit Breakers," *Engineering*, 1999.
- [5] International Electrotechnical Commission, "IEC 62271 High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating-current circuit-breakers," p. 346, 2008.
- [6] B. L. Sheng, "Design considerations of Weil-Dobke Synthetic testing Circuit for the Interrupting Testing for HV AC Circuit Breakers," *IEEE*, no. C, pp. 295–299, 2001.
- [7] International Electrotechnical Comition, "IEC 62271-101 Ed.2: High-voltage switchgear and controlgear - Part 101: Synthetic testing," 2016.
- [8] E. D. Taylor, A. Lawall, and D. Gentsch, "Single-Phase Short-Circuit Testing of Vacuum Interrupters Power Systems with an Effectively Earthed Neutral," *IEEE*, 2018.
- [9] G. Fei and Y. Yuan, "Synchronous Control Method for Weil Synthetic Circuit," pp. 1–6.
- [10] International Electrotechnical Comition, "IEC 62271-100 Ed.2. Appareillage à haute tension - Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif," no. Cdv, pp. 1–365, 2006.
- [11] S. Time, C. Test, D. Testing, and I. E. C. Standards, "Methods of Testing Circuit-Breakers : a Review," no. 1.
- [12] A. American and N. Standard, "An American National Standard IEEE Guide for Synthetic Fault Testing of AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis," 1988.
- [13] T. Betz and D. Koenig, "Fundamental Studies on Vacuum Circuit Breaker Arc Quenching Limits with a Synthetic Test Circuit," pp. 365–369, 1997.
- [14] M. Ram, E. Emilio, R. Garc, and U. D. E. L. Valle, "Fundamentos de control de sistemas lineales," 2008.
- [15] M. S. . K. J.G Jamnani, "DESIGN AND SIMULATION OF 2-PARAMETERS TRV SYNTHETIC TESTING CIRCUIT FOR MEDIUM VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS," *M.S Univ. , Nirma Univ. India.*, no. December, pp. 19–21, 2006.
- [16] G. L. Ferro, "Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna," 2015.
- [17] ABB, "Interruptores automáticos de MT en SF6 para distribución secundaria (HD4 / R)," 2002.
- [18] ABB, "Interruptores MT en vacío para la distribución secundaria (VD4/R)," 2015.
- [19] C. Jong-hyuk, L. E. E. Sang-yun, S. Yoon-taek, Y. Hak-dong, and K. Maeng-hyun, "New Arc Extension Circuit Design and Specifications for 4000MVA High Power Test facility Expansion Project," pp. 447–450, 2015.
- [20] F. Roman, "Construcción de un generador de impulsos de corriente para ensayo de pararrayos y del sistema asociado de medida."
- [21] W. F. Giménez Gutiérrez, "Tesis Doctoral: Modelización de Interruptores Eléctricos de Potencia 7.7.," 1995.

BIOGRAFÍAS



JUAN CAMILO BELTRÁN SOLANO Ingeniero Electricista egresado de la Universidad del Valle en Cali, Colombia. Originario de la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia. Su área de investigación se centra en los Sistemas de Potencia y el uso eficiente de la energía. Se formó como líder energético en el Programa de formación de líderes energéticos Ed. 11 con el Consejo Mundial de energía, Colombia.



JUAN CAMILO HERNÁNDEZ MUÑOZ Ingeniero Electricista egresado de la Universidad del Valle en Cali, Colombia. Originario de la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia. Su área de investigación se centra en los Sistemas de Potencia y en la Automatización Industrial. También cuenta con un título Técnico en Mantenimiento de Equipos Automatizados del Sena en Cali, Colombia.



GUILLERMO APONTE MAYOR Ingeniero Electricista egresado de la Universidad del Valle en Cali, Colombia. Originario de la ciudad de Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Posee una Maestría en Ingeniería de Alta Tensión del Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Manchester, Manchester, Reino Unido, y un Doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Actualmente es Catedrático de la

Universidad del Valle y director del Grupo de Investigación en Alta Tensión GRALTA.

CESAR TULIO DELGADO Egresado de la Universidad del Valle, realizó estudios de Licenciatura, Ingeniería Eléctrica, Especialización y Maestría en la enseñanza y aprendizaje, especialmente en dispositivos de interrupción de circuitos eléctricos de potencia. Se ha desempeñado como Técnico e Ingeniero por 26 años en subestaciones, y como docente de Tecnología e Investigador en aprendizaje activo y enseñanza de enfoque Cooperativo-Colaborativo por más de 10 años.

ANEXOS

Anexo A. CARACTERÍSTICAS GENERALES TÍPICAS DE INTERRUPTORES DE MT EN VACÍO (17 KV) Y SF6 (36 KV).

		VD4/R 17			HD4/R 36		
Distancia entre polos	P = 230 mm	"			"		
	P = 300 mm	"			"		
	P = 350 mm	--			--		
Normas	IEC pub.60056	IEC 62271-100			"		
Tensión asignada	Ur[kV]	17.5			36		
Tensión asignada de aislamiento	Us[kV]	17.5			36		
Tensión de ensayo a 50 Hz	Ud (1 min) [kV]	38			70		
Tensión de ensayo a impulso	Up [kV]	95			170		
Frecuencia asignada	fr [Hz]	50-60			50-60		
Intensidad térmica asignada (40°C)	Ir [A]	630	800	1250	630	800	1250
Poder de corte asignado	Isc [kA]	12.5	---	---	12.5	12.5	12.5
		16	16	16	16	16	16
		20	20	20	---	---	---
		25	25	25	---	---	---
Intensidad de breve duración admisible asignada (3 s)	Ik [kA]	12.5	---	---	12.5	12.5	12.5
		16	16	16	16	16	16
		20	20	20	---	---	---
		25	25	25	---	---	---
Poder de cierre	Ip [kA]	31.5	---	---	31.5	31.5	31.5
		40	40	40	40	40	40
		50	50	50	---	---	---
		63	63	63	---	---	---
Secuencia de maniobra	[O-0,3min-CO-3min-CO]	"			"		
	[0-0,3s-CO-15S-CO]	"			"		
Tiempo de apertura	[ms]	40-60			45		
Tiempo de arco	[ms]	10-15			10-15		
Tiempo de interrupción	[ms]	50-75			55-60		
Tiempo de cierre	[ms]	30-60			80		
Aplicación del relé de protección con sensores de corriente	PR521	"			---		
	(I) In [A]	40 80 250 1250			---		
Dimensiones generales máximas	H [mm]	785			770		
	L [mm]	317			286.5		
	P [mm]	1029 (1) / 1170 (2)			1348 (P=350 mm)		
Temperatura de funcionamiento	[°C]	-5°C ...+40°C			-5°C ...+40°C		
Tropicalización	IEC: 60068-2-30, 721-2-1	"			"		
Compatibilidad electromagnética	IEC: 60694, 61000-6-2,-6-4	IEC 62271-1			"		

Anexo B. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL CIRCUITO DE PRUEBA SINTÉTICO PARA INTERRUPTORES DE MEDIA TENSIÓN (17 KV Y 36 KV).

