

Analisis de ferorrresonancia en el circuito MU4073 de Jaguey Grande

Ferorrresonance analysis in the MU4073 circuit of Jaguey Grande

Dailen García del Sol^{I, *}, Ernesto Díaz Alfonso^I, Orestes Hernández Areu^I, Idelmis Pérez Rodríguez^{II}

^IFacultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba

^{II}Dirección de Redes de la UNE, Ministerio de Energía y Minas, Cuba

*Autor de correspondencia: dailenga@electrica.cujae.edu.cu

Recibido: 2 de enero de 2023

Aprobado: 8 de marzo de 2023

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) 

RESUMEN/ABSTRACT

Se presenta el estudio para determinar la probabilidad de ocurrencia de la ferorrresonancia en el primer tramo del circuito MU4073 de Jagüey Grande. Este tramo va desde la subestación de distribución hasta el primer banco de transformadores monofásicos. El conductor utilizado es ACSR 150 mm² y las estructuras de soporte, predominantes tipo A con cable protector AC70. Por no disponer de los datos de los transformadores específicos, se utilizaron parámetros de tres transformadores similares del mismo fabricante. El análisis se realiza para tres conexiones posibles; estrella con neutro aislado, con neutro puesto a tierra y delta. Además, se consideró para cada caso, dos configuraciones; banco de transformadores energizado y apertura de una de las fases y banco de transformadores desenergizado y cierre de una de las fases. Los resultados arrojan que en algunas configuraciones existe el peligro de ocurrencia de la ferorrresonancia y en otras, el fenómeno es improbable.

Palabras Clave: transformadores, ferorrresonancia, estudio de ferorrresonancia.

The study to determine the probability of occurrences of ferorrresonance in the first section of the circuit MU4073 of Jagüey Grande is presented. This section goes from the distribution substation to the first bank of single-phase transformers. The conductor used is ACSR 150 mm² and the support structures are predominantly type A with AC70 cable protector. As we did not have the data of the specific transformers, parameters of three similar transformers from the same manufacturer were used. The analysis is performed for three possible connections; star with isolated neutral, with grounded neutral and delta. In addition, two configurations will be required for each case; bank of transformers energized and opening of one of the phases and bank of transformers de-energized and closing of one of the phases. The results show that in some configurations there is a danger of ferorrresonance occurrences and in others, the phenomenon is improbable.

Keywords: transformers, ferorrresonance, ferorrresonance study.

INTRODUCCIÓN

El término de ferorrresonancia apareció por primera vez en la literatura en el año 1920 [1, 2]. La ferorrresonancia es un caso especial de resonancia serie que ocurre en circuitos donde, si la resistencia es despreciable, cuando las magnitudes de la reactancia capacitiva e inductiva se acercan en su valor, por tener signos opuestos, la impedancia total vista por la fuente se reduce, provocando corrientes elevadas que pueden ocasionar la desconexión del circuito o causar tensiones elevadas tanto en XL como en XC [3].

Cómo citar este artículo:

Dailen García del Sol, et al. Analisis de ferorrresonancia en el circuito MU4073 de Jaguey Grande. Ingeniería Energética. 2023. 44 (1), enero/abril. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

La IEEE la define como un fenómeno de resonancia no lineal que se caracteriza por producir sobretensiones muy altas y formas de onda irregulares con armónicas apreciables y está asociado con la excitación de una a más inductancias saturables en serie con una capacitancia [4]. Se desea analizar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de ferorrresonancia periódica en el primer tramo de 250 m de línea del circuito MU4073 de Jagüey Grande. Este tramo va desde la subestación de distribución hasta el primer banco trifásico de transformadores monofásicos (GB73 de 3 transformadores Latino de 50kVA). El tipo de conductor utilizado para la distribución de la energía es ACSR 150 mm² y las estructuras de soporte, predominantes tipo A con cable protector AC70. Por no disponer de los datos de los transformadores específicos, se utilizaron parámetros de tres transformadores similares del mismo fabricante.

El análisis se realiza para tres conexiones posibles de los devanados primarios del banco de transformadores, estas fueron; estrella con neutro aislado, estrella con neutro puesto a tierra y aunque en Cuba es improbable, se completó el análisis con la conexión delta. Además, se consideró para cada caso, dos configuraciones; banco de transformadores energizado y apertura de una de las fases y banco de transformadores desenergizado y cierra de una de las fases. Los estudios han demostrado que ciertas configuraciones del sistema de energía aumentan la susceptibilidad de una red a la ferorrresonancia. Las protecciones monofásicas pueden dejar una sección de la red en circuito abierto, creando un circuito LC en serie que es excitado por las fases restantes[5].

DESARROLLO

Las sobretensiones, sobre corrientes y distorsiones en las ondas, provocan sobreesfuerzos térmicos o dieléctricos frecuentemente peligrosos para los materiales eléctricos (destrucción, pérdida de propiedades y envejecimiento acelerado) [6]. La ferorrresonancia es normalmente clasificada en cuatro modos en base a su comportamiento en régimen permanente, es decir luego que el transitorio inicial haya acabado, ya que resulta dificultoso diferenciar el estado transitorio normal de los transitorios ferorrresonantes. Estos son: Modo fundamental, Modo sub-armónico, Modo cuasi-periódico y Modo caótico [7]. El fenómeno de ferorrresonancia periódica, en su mayoría, es un caso particular de la resonancia serie que ocurre en los circuitos trifásicos en el instante de energización o desenergización monopolar de alguna fase. En ese momento, la fuente de energía queda alimentando un circuito que involucra las reactancias capacitivas de secuencia cero de las líneas eléctricas desde el interruptor hasta el transformador y las reactancias de magnetización de cada fase del transformador en una configuración que dependerá de la conexión del devanado primario y que se transformará en un circuito equivalente donde habrá una reactancia capacitiva de secuencia cero equivalente de las líneas, X_{CEQ} en serie con una reactancia de magnetización equivalente X_{LEQ} , cuyas expresiones dependerán de la configuración que ve la fuente de energía en el momento de la maniobra [8].

De esta forma, la ferorrresonancia es posible cuando las reactancias inductiva y capacitiva del circuito serie, son iguales o comparables y es imposible que se verifique si se cumple alguna de estas dos situaciones [9, 10]: Vea ecuaciones (1 y 2).

$$X_{CEQ} > X_{LEQ} \quad (1)$$

$$X_{CEQ} < X_{LSEQ} \quad (2)$$

Donde:

X_{CEQ} : Reactancia capacitiva de secuencia cero equivalente de la línea. X_{LEQ} :

Reactancia de magnetización equivalente en el circuito.

X_{LSEQ} : Reactancia de magnetización en saturación equivalente en el circuito.

Obtención de las reactancias capacitivas y de magnetización necesarias

En la tabla 1, se muestran los datos de los tres transformadores Latino de 50 kVA, similares a los del banco GB73 [5].

Tabla 1. Datos de los transformadores de 50kVA

Transformador	kVA	U (V)	Po (W)	Io(A)	L(kH)	XL(kΩ)	LS (kH)	XLS(kΩ)
Transformador1	50	19100	154,0	0,015	4,005	1509,85	1,082	407,914
Transformador2	50	19100	157,0	0,015	4,037	1521,91	1,091	411,307
Transformador3	50	19100	170,0	0,020	2,828	1066,13	0,808	304,616

En esta tabla:

U: tensión nominal primaria; V.

Po: Pérdidas de vacío a tensión nominal; W.

Io: Corriente de vacío a tensión nominal, referida al devanado primario; A.

L: Inductancia de magnetización primaria del transformador a tensión nominal; kH. LS:

Inductancia de magnetización primaria del transformador en saturación; kH.

XL: Reactancia de magnetización primaria del transformador a tensión nominal; kΩ. XLS:

Reactancia de magnetización primaria del transformador en saturación; kΩ.

En la tabla 2, se muestran los parámetros calculados para la línea de 250m contres variantes del conductor AC150 y estructura tipo A sin y con cable protector. Se considera la flecha de los conductores de 0,8 la altura de los conductores y la flecha del cable protector; 0,8 la flecha de los conductores [6].

Tabla 2. Parámetros de secuencia cero de 250 m de línea con conductor AC150, siny con cable protector

Conductor	B(0) (S/km)	Xc(k Ω/km)	C(0) (F/km)	C(0) (F)	Xc(kΩ)
Sin cable protector					
AC150/19	$2,0557 \times 10^{-6}$	486,452	$0,0054529 \times 10^{-6}$	$0,0013632 \times 10^{-6}$	1945,768
AC150/24	$2,0593 \times 10^{-6}$	485,560	$0,0054624 \times 10^{-6}$	$0,0013656 \times 10^{-6}$	1942,384
AC150/34	$2,0640 \times 10^{-6}$	484,478	$0,0054750 \times 10^{-6}$	$0,0013688 \times 10^{-6}$	1937,914
Con cable protector AC70					
AC150/19	$2,3364 \times 10^{-6}$	427,998	$0,0061975 \times 10^{-6}$	$0,0015937 \times 10^{-6}$	1711,993
AC150/24	$2,3410 \times 10^{-6}$	427,151	$0,0062098 \times 10^{-6}$	$0,0015524 \times 10^{-6}$	1708,602
AC150/34	$2,3471 \times 10^{-6}$	426,039	$0,0062260 \times 10^{-6}$	$0,0015565 \times 10^{-6}$	1704,156

En la tabla:

B(0): Suceptancia de secuencia cero de lalínea.

Xc: Reactancia capacitiva de secuencia cero de lalínea. C(0):

Capacitancia de secuencia cero de lalínea.

Análisis del circuito

El análisis se realiza para cada uno de los conductores de la línea, con y sin cable protector y en cada caso, tomando en consideración tres conexiones posibles de los de vanados primarios del banco de transformadores, es decir; estrellacon neutro aislado, estrellacon neutro puesto a tierra y delta.

Además, se consideró para cada caso, dos configuraciones;

- Banco de transformadores energizado y apertura de una de las fases.
- Banco de transformadores desenergizado y cierra de una de las fases.

En todos los casos es necesario relacionar las reactancias capacitivas de secuencia cero y las reactancias de magnetización de los transformadores a tensión nominal y en saturación. En las tablas 3, 4 y 5, se muestran estas relaciones para cada conductor de línea, con y sin cable protector.

Tabla 3. Parámetros relacionados para el conductor AC150/19

Banco	Conductor	Xc (kΩ)	XL (kΩ)	XLS (kΩ)	JXC/JXL	JXC/JXLS
Sin cable protector						
Transformador1	AC150/19	1945,77	1509,85	407,91	1,29	4,77
Transformador2		1945,77	1521,91	411,31	1,28	4,73
Transformador3		1945,77	1066,13	304,62	1,82	6,39
Con cable protector						
Transformador1	AC150/19	1711,99	1509,85	407,91	1,13	4,20
Transformador2		1711,99	1521,91	411,31	1,12	4,16
Transformador3		1711,99	1066,13	304,62	1,60	5,62

Tabla 4. Parámetros relacionados para el conductor AC150/24

Banco	Conductor	Xc(kΩ)	XL(kΩ)	XLS(kΩ)	JXC/JXL	JXC/JXLS
Sin cable protector						
Transformador1	AC150/24	1942,38	1509,85	407,91	1,29	4,76
Transformador2		1942,38	1521,91	411,31	1,28	4,72
Transformador3		1942,38	1066,13	304,62	1,82	6,37
Con cable protector						
Transformador1	AC150/24	1708,60	1509,85	407,91	1,13	4,19
Transformador2		1708,60	1521,91	411,31	1,12	4,15
Transformador3		1708,60	1066,13	304,62	1,60	5,61

Tabla 5. Parámetros relacionados para el conductor AC150/34

Banco	Conductor	Xc (kΩ)	XL (kΩ)	XLS (kΩ)	JXC/JXL	JXC/JXLS
Sin cable protector						
Transformador1	AC150/34	1937,91	1509,85	407,91	1,29	4,75
Transformador2		1937,91	1521,91	411,31	1,28	4,71
Transformador3		1937,91	1066,13	304,62	1,82	6,36
Con cable protector						
Transformador1	AC150/34	1704,15	1509,85	407,91	1,13	4,18
Transformador2		1704,15	1521,91	411,31	1,12	4,14
Transformador3		1704,15	1066,13	304,62	1,60	5,59

Primer análisis. Conexión primaria en estrella con neutro aislado, cierre de una fase

La figura 1(a), muestra la condición de banco de transformadores desenergizado, conectado por el primario en estrella, con neutroaislado y energización de una fase. La figura 1 (b), muestra el circuito equivalente de *The venin*, correspondiente con las reactivancias equivalentes.

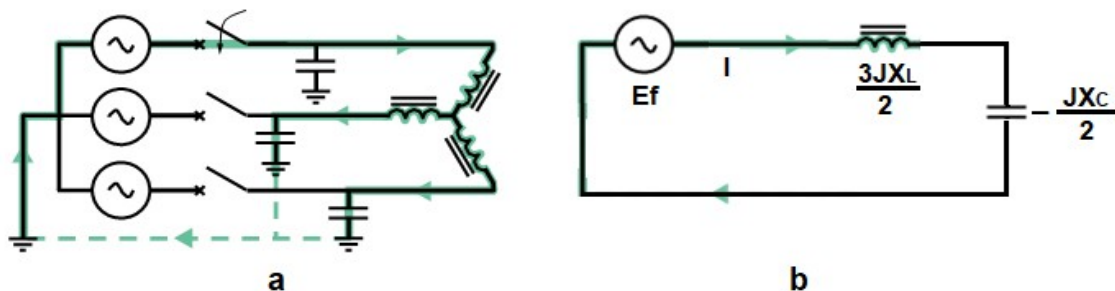


Fig. 1. Banco de transformadores desenergizado, en estrella con neutro aislado y cierre de una fase

Según las ecuaciones (1 y 2), no habrá ferorrresonancia si se cumple alguna de estas condiciones: Vea ecuaciones (3 y 4).

$$\frac{JX_c}{2} < \frac{3JX_L}{2} \quad (3)$$

$$\frac{JX_c}{2} < \frac{3JX_{LS}}{2} \quad (4)$$

Lo que es igual a: Vea ecuaciones (5 y 6).

$$\frac{JX_c}{JX_L} < 3 \quad (5)$$

$$\frac{JX_c}{JX_{LS}} < 3 \quad (6)$$

Primera conclusión parcial

Como se aprecia en las tablas 3, 4 y 5, en ningún caso se cumple alguna de las condiciones por lo que, para el caso de que el banco de transformadores esté conectado por el primario en estrella aislada y se cierre una fase, habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.

Segundo análisis. Conexión primaria en estrella con neutro aislado, apertura de una fase

La figura 2(a), muestra la condición de banco de transformadores energizado, conectado por el primario en estrella, con neutro aislado y apertura de una fase. La figura 2(b), muestra el circuito equivalente de Thevenin correspondiente con las reactancias equivalentes.

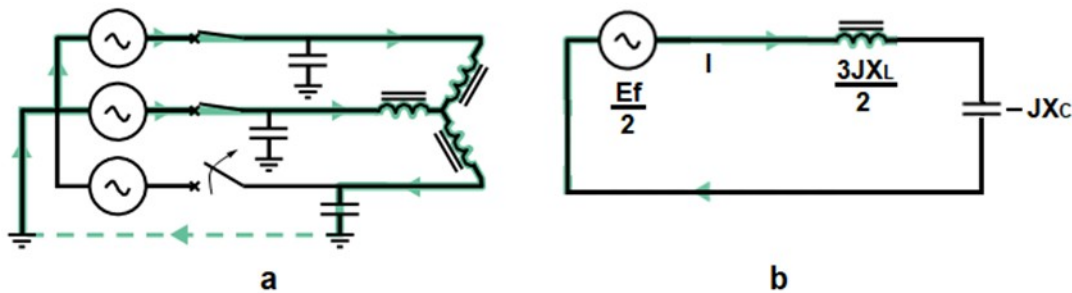


Fig. 2. Banco de transformadores energizado, en estrella con neutro aislado y apertura de una fase

Según las ecuaciones (1 y 2), no habrá ferorrresonancia si se cumple alguna de estas condiciones: Vea ecuaciones (7 y 8).

$$JX_c > \frac{3JX_L}{2} \quad (7)$$

$$JX_c > \frac{3JX_{LS}}{2} \quad (8)$$

Lo que es igual a: Vea ecuaciones (9 y 10).

$$\frac{JX_c}{JX_L} > 1,5 \quad (9)$$

$$\frac{JX_c}{JX_{LS}} < 1,5 \quad (10)$$

Segunda conclusión parcial

Como se aprecia en las tablas 3, 4 y 5, solo en el caso de que el banco de transformadores tenga las características del transformador 3, no habrá probabilidad de resonancia magnética. En todos los demás casos, cuando el banco de transformadores esté conectado por el primario en estrella aislada y se abra una fase, habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.

Tercer análisis. Conexión primaria en estrella con neutro puesto a tierra, cierre de una fase

La figura 3(a), muestra la condición de banco de transformadores desenergizado, conectado por el primario en estrella, con neutro puesto a tierra y cierre de una fase. La figura 3(b), muestra el circuito equivalente de Thevenin correspondiente con las reactancias equivalentes.

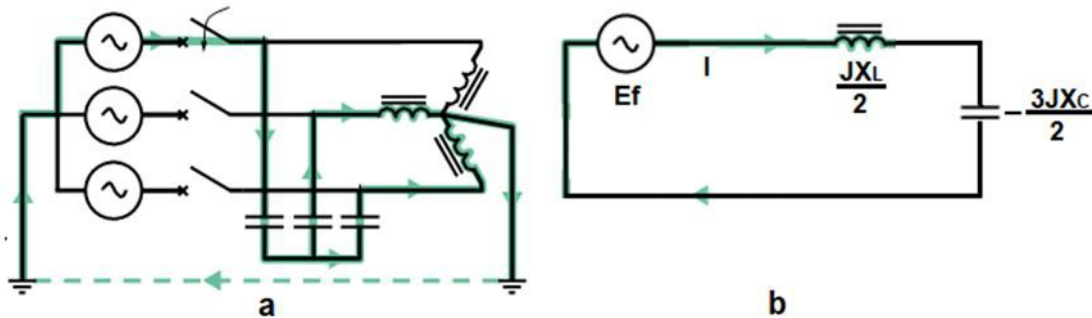


Fig. 3. Banco de transformadores desenergizado, en estrella con neutro puesto a tierra y cierre de una fase

Según las ecuaciones (1 y 2), no habrá ferorrresonancia si se cumple alguna de estas condiciones: Vea ecuaciones (11 y 12).

$$\frac{3JX_C}{2} < \frac{JX_L}{2} \quad (11)$$

$$\frac{3JX_C}{2} < \frac{JX_{LS}}{2} \quad (12)$$

Lo que es igual a: Vea ecuaciones (13 y 14).

$$\frac{JX_C}{JX_L} < 0,33 \quad (13)$$

$$\frac{JX_C}{JX_{LS}} < 0,33 \quad (14)$$

Tercera conclusión parcial

Como se aprecia en las tablas 3, 4 y 5, en todos los casos se cumple la primera condición, por lo que cuando el banco de transformadores esté conectado por el primario en estrella con el neutro puesto a tierra y se cierre una fase, no habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.

Cuarto análisis. Conexión primaria en estrella con neutro puesto a tierra, apertura de una fase

La figura 4 (a), muestra la condición de banco de transformadores energizado, conectado por el primario en estrella, con neutro puesto a tierra y apertura de una fase. La figura 4 (b), muestra el circuito equivalente de Thevenin, correspondiente con las reactancias equivalentes.

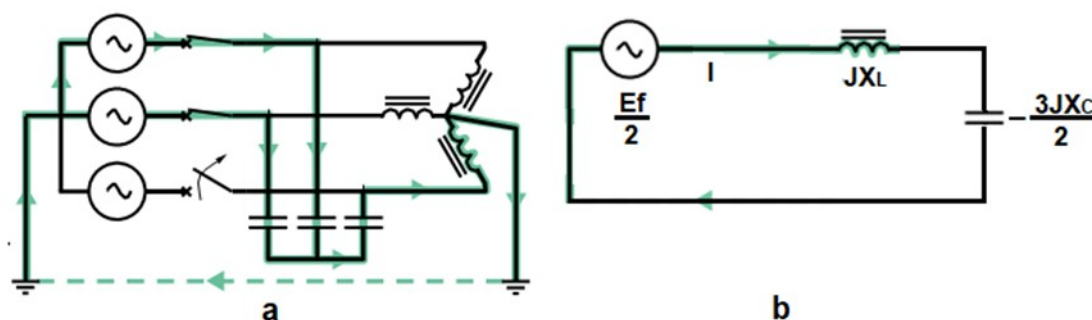


Fig. 4. Banco de transformadores energizado, en estrella con neutro puesto a tierra y apertura de una fase

Según las ecuaciones (1 y 2), no habrá ferorrresonancia si se cumple alguna de estas condiciones: Vea ecuaciones (15 y 16).

$$\frac{3JX_C}{2} < JX_L \quad (15)$$

$$\frac{3JX_C}{2} < JX_{LS} \quad (16)$$

Lo que es igual a: Vea ecuaciones (17 y 18).

$$\frac{JX_C}{JX_L} < 0,33 \quad (17)$$

$$\frac{JX_C}{JX_{LS}} < 0,33 \quad (18)$$

Cuarta conclusión parcial

Como se aprecia en las tablas 3, 4 y 5, en todos los casos se cumple la primera condición, por lo que cuando el banco de transformadores esté conectado por el primario en estrella con el neutro puesto a tierra y se abra una fase, no habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.

Quinto análisis. Conexión primaria en delta, cierre de una fase

Esta es una conexión que no se emplea en Cuba por el primario de los bancos de transformadores, debido a las tensiones nominales primarias de cada unidad, pero con el fin de completar el estudio, se analizará.

La figura 5 (a), muestra la condición de banco de transformadores desenergizado, conectado por el primario en delta y cierre de una fase. La figura 5 (b), muestra el circuito equivalente de Thevenin, correspondiente con las reactancias equivalentes.

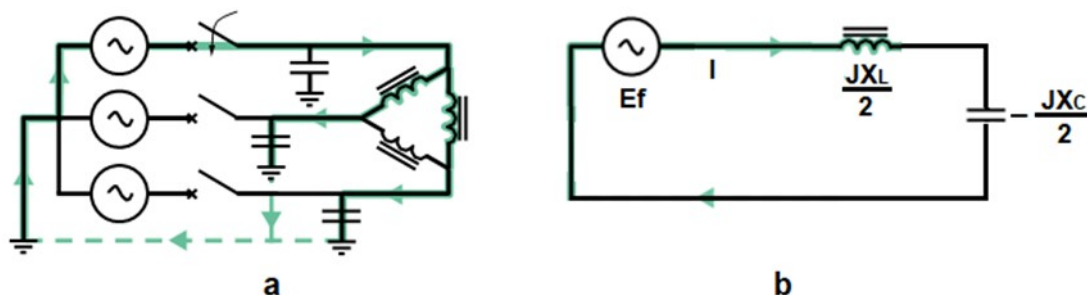


Fig. 5. Banco de transformadores desenergizado, en delta y cierre de una fase

Según las ecuaciones (1 y 2), no habrá ferorrresonancia si se cumple alguna de estas condiciones: Vea ecuaciones (19 y 20).

$$\frac{JX_C}{2} < \frac{JX_L}{2} \quad (19)$$

$$\frac{JX_C}{2} < \frac{JX_{LS}}{2} \quad (20)$$

Lo que es igual a: Vea ecuaciones (21 y 22).

$$\frac{JX_C}{JX_L} < 1 \quad (21)$$

$$\frac{JX_C}{JX_{LS}} < 1 \quad (22)$$

Quinta conclusión parcial

Como se aprecia en las tablas 3, 4 y 5, en todos los casos se cumple la primera condición, por lo que cuando el banco de transformadores esté conectado por el primario en delta y se cierre una fase, no habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.

Sexto análisis. Conexión primaria en delta, apertura de una fase

La figura 6 (a), muestra la condición de banco de transformadores energizado, conectado por el primario en delta y apertura de una fase. La figura 6 (b), muestra el circuito equivalente de *Thevenin*, correspondiente con las reactancias equivalentes.

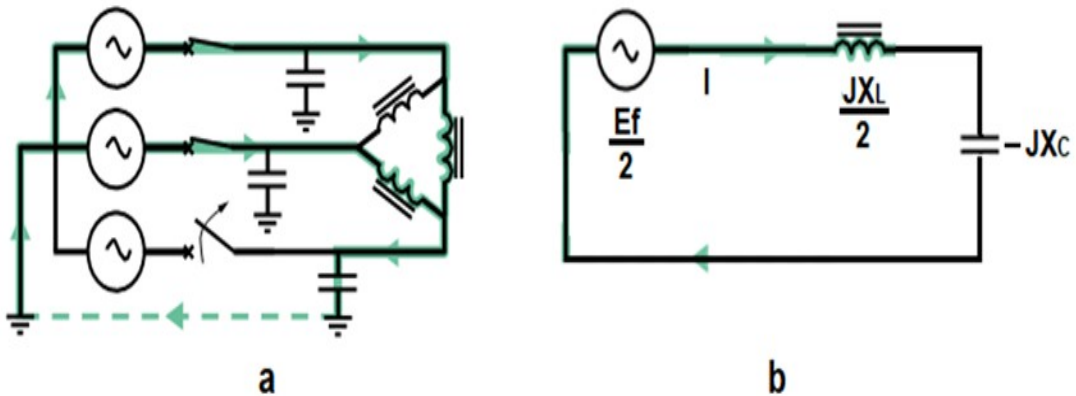


Fig. 6. Banco de transformadores energizado, en delta y apertura de una fase

Según las ecuaciones (1 y 2), no habrá ferorrresonancia si se cumple alguna de estas condiciones: Vea ecuaciones (23 y 24).

$$JX_C > \frac{JX_L}{2} \quad (23)$$

$$JX_C < \frac{JX_{LS}}{2} \quad (24)$$

Lo que es igual a: Vea ecuaciones (25 y 26).

$$\frac{JX_C}{JX_L} > 0,5 \quad (25)$$

$$\frac{JX_C}{JX_{LS}} < 0,5 \quad (26)$$

Sexta conclusión parcial

Como se aprecia en las tablas 3, 4 y 5, en todos los casos se cumple la primera condición, por lo que cuando el banco de transformadores esté conectado por el primario en delta y se cierre una fase, no habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.

Conclusiones generales

De acuerdo con las características de las líneas y los transformadores sometidos a análisis, se llegan a estas conclusiones generales para estos 250 m de línea:

1. Para el caso de que el banco de transformadores esté conectado por el primario en estrella aislada y se cierre o abra una fase monopolarmente, habrá probabilidad de ferorrresonancia, haya o no cable protector.
2. En las conexiones primarias estrella con neutro puesto a tierra, no habrá probabilidad de ferorrresonancia.
3. En las conexiones primarias en delta, no habrá probabilidad de ferorrresonancia.
4. La existencia del cable protector en la línea no afecta los resultados del análisis.

REFERENCIAS

- [1] Ferrari P. Cuaderno Técnico No. 190. “La Ferorrresonancia”. Schneider Electric. Francia 2001. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/General/CT190.pdf>
- [2] Rajat Shubhra Pal, Madhab Roy “Study and Verification of Ferorrresonance Simulated with Rudenburg’s Method”. Conference Paper · February 2021. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.researchgate.net/publication/350505951>
- [3] M. R. Iravani, *et al.* “Modeling and Analysis Guidelines for Slow Transients-Part 111: The Study of Ferorrresonance”. IEEE Transaction On Power Delivery, vol. 15, n. 4,p. 1950 – 1955, 2000. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/473358>
- [4] Oviannyelis Caridad Pérez Pérez y Julio Fernando Valle García, “Simulación del fenómeno de ferorrresonancia en transformadores”, Ingeniería Energética, junio2014. vol. 41, n. 3, p. 10, ISSN: 1815-5901. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/605>
- [5] B. Vahidi, *et al.* “Ferorrresonant Over voltage Investigation in Wye-Wye Transformers on Transmission System by Using MATLAB”, Department of Electrical Engineering, Tehran – Iran, abril2020.[Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/228-VAHIDI.pdf>
- [6] Orestes Hernández, Dora Terrero y José G. Sánchez, “Investigación de la falla masiva de transformadores de distribución en la OBE Jagüey Grande”. Ingeniería Energética, 2004, vol 25, n. 3, p. 55-63, ISSN: 1815-5901 [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en:<http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/228-VAHIDI.pdf>
- [7] I. L. Ávila Mangano, G. F. di Mauro, and J. A. Suárez. ”Ferorrresonancia en Sistemas de Distribución Eléctrica Rural: Análisis y Predicción” , Reporte Técnico, Abril 2015. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.researchgate.net/publication/314404514>.
- [8] Orestes Hernández Areu, *et al.* “Monografía: La Ferorrresonancia en sistemas de distribución”. Ingeniería Energética, 2014, vol. 35, n. 2. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en:<http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v35n2/rie09214.pdf>
- [9] Orestes Hernández Areu, Oviannyelis Pérez Pérez y Julio Fernando Valle García. “Simulación del fenómeno de ferorrresonancia en transformadores”.Ingeniería Energética 2020, vol. 41, n. 3, sept/dic, ISSN: 1815-5901. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012020000300001
- [10] Dailen García del Sol “Análisis del fenómeno de ferorrresonancia en sistemas de distribución eléctrica.”, Tesis de maestría, p. 19, 2022. [Consultado el 12 de diciembre de 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/314404514_Ferorrresonancia_en_Sistemas_de_Distribucion_Electrica_Rural_Analisis_y_Prediccion

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Dailen García del Sol:<https://orcid.org/0000-0002-1425-7371>

Diseño de la investigación, búsqueda bibliográfica, recopilación de datos, corrida del software, análisis de los resultados, redacción del artículo y revisión crítica del contenido hasta su aprobación final.

Ernesto Díaz Alfonso:<https://orcid.org/0000-0003-1837-058X>

Diseño de la investigación, recopilación de datos, reprogramación y adaptación del algoritmo, programación y corrida del software, análisis de los resultados, redacción del artículo y revisión crítica del contenido y aprobación final.

Orestes Hernández Areu:<https://orcid.org/0000-0002-2672-239X>

Búsqueda bibliografía, recopilación de datos, corrida del software, análisis de los resultados y revisión del contenido del artículo y aprobación final.

Idelmis Pérez Rodríguez:<https://orcid.org/0000-0001-5885-3522>

Búsqueda bibliografía, recopilación de datos, corrida del software, análisis de los resultados y revisión del contenido del artículo y aprobación final.