

Dimensionamiento Adecuado de un Transformador ZigZag para Instalaciones de MT con Neutro Aislado de Tierra

Israel Terceros Vidal

Departamento de Estudios de Sistemas

israel.terceros@endetransmision.bo

ENDE TRANSMISION S.A.

Resumen

Este artículo tiene por objeto, establecer criterios para realizar un adecuado dimensionamiento de un transformador Zig-Zag en una red de media tensión (MT) con el neutro aislado de tierra.

1. Introducción

Los sistemas eléctricos de distribución son de vital importancia para los hogares e industrias, los mismos tienen que cumplir criterios de confiabilidad establecidos dependiendo la importancia del consumidor final.

Las redes de distribución en el casco urbano de las ciudades de Bolivia eran de neutro aislado, conforme el paso del tiempo, se evidenció en estas redes aisladas, múltiples accidentes del personal por choques eléctricos [1] y la falla permanente de los equipos por daño en la aislación de los mismos.

Actualmente la red de distribución considera un sistema con neutro franco a tierra en configuración estrella, sin embargo, el remplazo de la red del casco urbano representa una inversión considerable y un corte temporal del suministro para realizar estas acciones.

Por este motivo se ha implementado transformadores de puesta a tierra que permitan la conexión del sistema aislado a tierra de forma segura para poder utilizar protecciones de sobrecorrientes ante la falla de una fase y evitar sobretensiones que puedan dañar equipos domésticos.

2. Objetivo

Dimensionar adecuadamente un transformador Zig-Zag para evitar Sobrevoltajes y poder implementar rele proteccion de sobrecorrientes a tierra (51N) que permitan garantizar el despeje selectivo de un alimentador, limitando también, la corriente de falla a un valor definido por la soportabilidad de las instalaciones utilizando.

3. Desarrollo

3.1. Determinar condiciones iniciales

Para cumplir el objetivo, inicialmente necesitamos determinar la característica de la red en la que se pretende instalar un transformador Zig-Zag, la siguiente tabla muestra los parametros del transformador de distribución mostrado en la Tabla 1

Descripción	Valor	Unidad
Barra AT	69	kV
Barra MT	6.9	kV
Potencia	10	MVA
X1	0.088	pu
X0	0.075	pu
Grupo de Conexión	Ynd1	

Tabla 1.- Parametros del Sistema.

X_0/X_1 Ratio	Surge Voltages*					
	Faulted Phase		Unfaulted Phases		Across Neutral Reactor	
	One Restrike	Two Restrikes	One Restrike	Two Restrikes	One Restrike	Two Restrikes
1	170	170	160	100	0	0
2	165	168	140	142	45	45
3	165	165	180	193	100	100
4	165	165	190	215	115	130
6	185	185	200	230	150	155
8	190	190	260	260	180	180
10	280	430	285	400	175	270
12	...	460	...	450	...	300
14	400	440	390	490	250	350
20	390	400	410	450	250	270
30	370	400	390	500	250	300
50	330	370	400	430	230	300
100	280	260	400	410	230	280

*Expressed in percent of normal line-to-ground crest voltage.

Fig.1: Sobretensiones, sistema con reactor a tierra.

3.2. Cálculo de la Secuencia Positiva

Se realiza un cortocircuito trifásico franco a tierra en la barra de media tensión para obtener los parámetros de secuencia positiva.

La figura 1 es del libro Transmission and Distribution [3], se puede observar que para evitar sobretensiones en las fases sanas, se recomienda controlar el valor de X_0/X_1 . La Tabla 2 muestra el resultado del cálculo de falla trifásica.

Descripción	Valor	Unidad
Potencia CC	55.6	MVA
Corriente CC	4.655	kA
R1	0.09	ohms
X1	0.937	ohms

Tabla 2.-Cálculo de Falla Trifásica

Con los parámetros calculados en la Tabla 2, procedemos a calcular el valor de la reactancia de secuencia cero.

$$\frac{X_0}{X_1} \leq 3 \quad (1)$$

$$\frac{X_0}{0,937} \leq 3 \quad (2)$$

$$X_0 \leq 2,811 \text{ ohm/fase} \quad (3)$$

Se puede observar en la Figura 1 que con este valor de X_0/X_1 se puede obtener sobretensiones de hasta 1.93 pu (193 %) en las fases falladas ante el segundo reencendido del arco en falla.

La figura 1 también muestra que cuando la relación X_0/X_1 es mucho mayor, existe el riesgo de presentarse sobretensiones de hasta 5 veces la nomina (caso $X_0/X_1=30$).

3.3. Cálculo de la Falla Monofásica

Con ayuda del software Power Factory, se implementa un transformador Zig-Zag con el parámetro de reactancia de secuencia cero obtenido anteriormente, posteriormente se calcula la corriente monofásica y se configura la ventana de resultados de la falla.

Se puede observar en la figura 2 el resultado de la corriente de falla, la secuencia positiva y la secuencia cero.

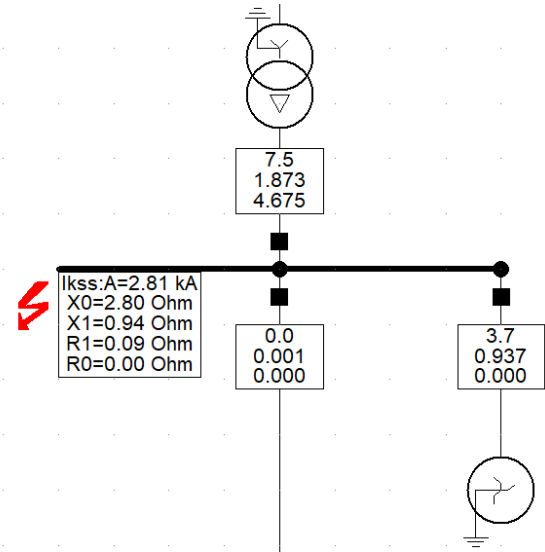


Figura 2.- Simulación de Falla monofásica en Power Factory.

La tabla 3 muestra el resultado de las sobretensiones temporales en las fases sanas cuando se calcula una falla monofásica (1Ft) y cuando se calcula una falla bifásica a tierra (2Ft). Esto para obtener las sobretensiones temporales presentes con la implementación del valor de X_0 calculado.

Como se puede observar, las sobretensiones se encuentran con valores por debajo de 1.5 pu cuando la relación X_0/X_1 es menor a 3.

Descripción	Falla 1Ft	Falla 2Ft	Unidad
Va	0.0	1.41	pu
Vb	1.40	0.16	pu
Vc	1.35	0.16	pu

Tabla 3.- Sobretensiones Temporales durante falla

El resultado de las simulaciones establece una corriente de 2.81 kA como corriente de falla que circulará por el transformador Zig-Zag, esto es equivalente a 84.3 A continuos por el neutro [2].

3.4. Limitando la Corriente de Neutro

En las redes de distribución, es muy común la presencia de desbalance de cargas en las fases, el convertir una red aislada a una red con una impedancia de aterramiento provocará que existe una corriente de circulación a través del neutro cuando se instale el transformador Zig-Zag; esta corriente circulará permanentemente por el neutro por lo que el Zig-Zag tiene que ser dimensionado para que soporte el desbalance de carga de manera permanente [1].

Como ejemplo consideramos que existe una corriente de neutro permanente de 30 A por temas de desbalance de fases, según la ANSI/IEEE Std 32-1972 tabla

de corriente de servicio continuo respecto a la corriente termica (figura 3), es posible determinar la corriente de falla de acuerdo a cuanto puede soportar el transformador Zig-Zag [2]. Para el ejemplo se considera un tiempo de 10 segundos; esto implica que la corriente de servicio continuo será el tres por ciento de la corriente de falla, es así que:

$$\frac{I_{cont}}{I_{falla}} = 3\% \quad (4)$$

$$I_0 = 333,33A \quad (5)$$

$$I_{falla} = 3 * I_0 = 1000A \quad (6)$$

Continuous Duty Current in Percent of Thermal Current Rating		
Rated Time of Device	Reactors, Ground-Fault Neutralizers, and Transformers Used For Grounding	
		Resistors
10 s	3	0
1 min	7	0
10 min	30	0
Extended Time	30	0

NOTE — Where there is a third harmonic component of current, it shall not exceed 15 percent of the rated continuous duty current.

Figura 3.- Corriente Continua de servicio.

Una vez determinada la corriente de falla, procedemos a simular el parametro de secuencia cero que cumpla con este valor de falla, es así que se determina que se necesita un $X_0=11.27$ ohms/fase para que la corriente de falla sea solamente 1000 A, sin embargo, este valor de reactancia de secuencia cero determina una relacion $X_0/X_1= 12$.

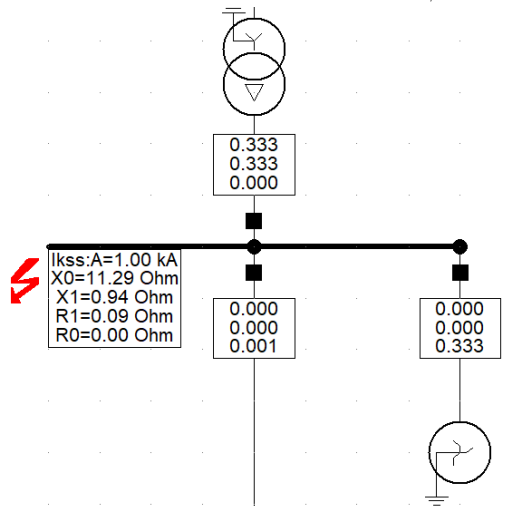


Figura 4.- Falla Monofasica limitada por el Zig.-Zag

La tabla 4 muestra la simulación de la falla monofásica a tierra y la simulación de una falla bifásica a tierra para un $X_0/X_1= 12$.

Descripción	Falla 1Ft	Falla 2Ft	Unidad
Va	0.0	1.58	pu
Vb	1.72	0.03	pu
Vc	1.69	0.03	pu

Tabla 4.-Sobretensiones Temporales durante falla ($X_0/X_1=12.03$)

Se pudo observar que las tensiones temporales incrementaron de valor cuando se incrementa el valor de la impedancia de aterramiento, esta relacion X_0/X_1 segun la figura 1, deja de ser recomendable por las elevadas sobretensiones que pueden llegar a presentarse si se presenta el fenomeno llamado arcing fault [3] por lo que en este caso se recomienda el incluir una resistencia de aterramiento que sintonice adecuadamente con el transformador Zig-Zag

4. Datos de Dimensionamiento del Zig-Zag

Despues de realizar las simulaciones respectivas y determinar la corriente de falla y la corriente permanente que se desea o se obtiene al implementar el transformador, se procede a especificar la potencia del transformador Zig-Zag de la siguiente forma:

$$S_{falla} = \frac{\sqrt{3} * I_{falla} * U_{f-f}}{3} \quad (7)$$

$$S_{falla} = \frac{\sqrt{3} * 1000 * 6900}{3} \quad (8)$$

$$S_{falla} = 3,984 \text{ MVA} \quad (9)$$

$$S_{cont} = S_{falla} * 0,03 \quad (10)$$

$$S_{cont} = 115,52 \text{ kVA} \quad (11)$$

Estos son los parametros de diseño del Zig-Zag para una corriente de falla de 10 segundos.

4.1. Especificaciones Técnicas de un Zig-Zag

Las características del transformador Zig-Zag como especificacion tecnica son los siguientes:

- **Tension de Operación** – Voltaje f-f en [kV] de operación normal que tendrá el Zig-Zag.
- **Potencia Continua** – Potencia en [kVA] para condiciones de operación normal.

- **Corriente Continua por fase** – Corriente en [A] permitido a travez de cada fase en operación normal, debido al desbalance de cargas en las fases. Este valor es la division de la corriente de neutro entre tres.
- **Potencia en Falla** – Potencia en [kVA] de Corto circuito Monofasico en el punto de conexión
- **Corriente en Falla** – Corriente en [kA] de Corto circuito Monofasica maxima solicitada, en el punto de conexión
- **Tiempo de Falla** – Tiempo [s] máximo que el Zig-Zag puede soportar la corriente de falla monofasica según la ANSI/IEEE Std 32-1972 [2].
- **Impedancia de Sec 0** – Impedancia de secuencia cero en [ohms/fase] que debe tener el Zig-Zag.
- **BIL interno** – Nivel de aislacion externo en [kV].
- **BIL externo** – Nivel de aislacion interno en [kV].
- **Clase de Aislamiento** – Puede ser tipo A, B, C o D segun la ANSI/IEEE Std 32-1972 [2] .

Referencias

- [1] Ieee guide for the application of neutral grounding in electrical utility systems, part iv - distribution systems. *IEEE Std C62.92.4-1993*, pages 1–30, 1994.
- [2] Ieee standard for requirements, terminology, and test procedures for neutral grounding devices. *IEEE Std C57.32-2015 (Revision of IEEE Std 32-1972)*, pages 1–83, 2016.
- [3] J. J. Paserba. Westinghouse transmission and distribution book: A reference for the rest of us [history]. *IEEE Power and Energy Magazine*, 17(2):78–88, 2019.