

NOVA MIRÓN

Nota Técnica: “Especificación de transformadores. Parte 2.”

1. Introducción

En el presente artículo, Parte 2, vamos a describir, conceptualmente, aquellos parámetros que representan el conjunto básico de las Especificaciones de los transformadores.

Sabemos que, las etapas de Necesidad/Especificación y Adquisición de un transformador (de potencia o de distribución), representan procesos de toma de decisiones de características complejas (etapas iniciales del Ciclo de Vida).

Será en la etapa de Necesidad/Especificación del Ciclo de Vida del transformador, en donde el conjunto de parámetros derivados de la Especificación, deberá ser determinado con claridad y precisión, asegurando así, para la Gerencia de Activos e Ingeniería, un primer paso en alcanzar una Confiabilidad y Mantenibilidad inherentes, acorde a las metas fijadas.

Con los niveles acordes de Confiabilidad y Mantenibilidad inherentes, Gerencia de Activos e Ingeniería podrán asegurar una vida útil extendida del transformador, a lo largo del Ciclo de Vida, logrando así disminuir la carga estimada de Mantenimiento (disminución del OPEX).

2. Condiciones técnicas

A) Condiciones técnicas normales

A.1) Forma de onda de la tensión de alimentación

En forma general, se especifica una fuente de alimentación de tensión al transformador con una forma de onda senoidal.

Este requisito, por lo general, no es crítico en sistemas de potencia eléctrico de transmisión-distribución, pero es posible que deba considerarse en los casos de instalaciones con carga no lineal (rectificadores, convertidores, inversores).

En estos casos, se deberá recurrir a la condición en donde se especifica la deformación de la onda de tensión en una magnitud que no deberá exceder el 5 % del contenido armónico total y del 1 % del contenido armónico de orden par.

El espectro de la onda de tensión deberá especificarse en tales instalaciones, ya que permitirá a Ingeniería disponer de los armónicos de la carga, obteniendo así las pérdidas y el incremento de temperatura consecuente.

A.2) Simetría de la tensión trifásica de alimentación

Se especifica, para transformadores trifásicos, una fuente de alimentación de tensión, conformada por un conjunto de tensiones trifásicas que deben poseer una característica simétrica (magnitud y fase).

NOVA MIRON

A.3) Nivel de contaminación armónica

También se deberán especificar los contenidos de los armónicos de corriente, en donde estará instalado el transformador.

Esta información deberá ser provista e indicada en detalle, por el dueño de la máquina, en las Especificaciones Técnicas.

Esta información será clave, ya que permitirá establecer el factor K en la etapa de diseño del transformador, así como su desclase.

B) Condiciones técnicas y ambientales no normales

De igual forma, las condiciones anormales en el servicio del transformador, deberán ser especificadas en forma clara y precisa, ya que éstas poseen un impacto significativo en la etapa de diseño.

Se pueden especificar, detallando, por ejemplo: altitud elevada (4000 msnm), temperaturas extremas altas o bajas, actividad sísmica, alta humedad ambiente, nivel de polución alto o muy alto, operación con carga intermitente, cargas con alto contenido de armónicos, etc.

También se deben especificar las condiciones de transporte/carga, almacenamiento e instalación (se deberán tener en cuenta los pesos involucrados y las limitaciones de espacio).

3. **Condiciones del contexto operativo**

A.1) Altitud

Se especifica la altitud en que estará emplazado el transformador.

La altitud se refiere a valores en metros sobre el nivel del mar (msnm).

Por lo general, en condiciones normales, no supera los 1000 msnm (ver "Condiciones técnicas y ambientales no normales" ítem 2 punto B).

A.2) Temperatura ambiente

Se especificará el rango de temperatura ambiente (valor mínimo y valor máximo) en el cual el transformador deberá operar en condiciones adecuadas.

Por ejemplo, se puede especificar un rango de [-5 °C, +50 °C].

Temperatura ambiente mínima = -5 °C.

Temperatura ambiente máxima = +50 °C.

A.3) Temperatura del medio refrigerante

NOVA MIRON

La temperatura del medio refrigerante también deberá especificarse, atendiendo al tipo del medio.

Por ejemplo, para transformadores enfriados a través del medio refrigerante agua, se especifica que la temperatura de entrada de la misma no supere los +30 °C.

Para los transformadores en aceite y los secos, se establecen limitaciones en la refrigeración, atendiendo a las normas respectivas.

A.4) Actividad sísmica

Un ambiente sometido a perturbaciones por actividad sísmica, puede determinar consideraciones especiales en el diseño del transformador.

En tal sentido, se deberá especificar el nivel sísmico (aceleración de la superficie del suelo) del lugar de emplazamiento del transformador.

A.5) Nivel de contaminación ambiental

La especificación del Grado de Polución, asociado al entorno de instalación del transformador, permitirá decidir la necesidad o no de diseños o consideraciones especiales en el aislamiento o geometría (línea de fuga) de los bushings, o bien en el aislamiento del transformador.

4. Características

Tensión Nominal del Bobinado

Corresponde a la tensión asignada a un bobinado, con el fin de ser aplicada sin carga, entre los terminales del mismo, ya sea sin tomas de regulación, o bien de un bobinado con toma de regulación, conectado a la línea principal.

Para un bobinado trifásico se especifica a través del valor de la tensión entre terminales de línea.

Para transformadores monofásicos, destinados a ser conectados en estrella, con el fin de formar un banco trifásico, se especifica la tensión nominal del bobinado a través de la tensión entre fases dividida por $\sqrt{3}$.

Potencia Nominal

Valor convencional de potencia aparente, asignada a un bobinado que, en conjunto con la tensión nominal, determina su corriente nominal.

En un transformador de dos bobinados, éstos poseen el mismo valor de la potencia nominal, que por definición es la potencia nominal del transformador.

NOVA MIRON

Corriente Nominal

Representa la corriente que circula a través del terminal de entrada de un bobinado del transformador, la cual se deriva de la relación entre la potencia nominal (S_n) y la tensión nominal (U_n), para dicho bobinado.

En un transformador trifásico viene dada por:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n}$$

Frecuencia Nominal

Representa el valor de la frecuencia de la tensión de alimentación, a la que el transformador estará diseñado para operar.

Determina el nivel del flujo magnético y las pérdidas de la máquina.

Relación de Tensión Nominal

Representa la relación proporcional entre la tensión nominal de un bobinado con respecto a la tensión nominal de otro bobinado, asociado a un nivel de tensión igual o inferior.

Regulación de Tensión

Conexión específica de un bobinado, la cual representa un número efectivo definido de vueltas en el bobinado con regulación y, en consecuencia, una relación de vueltas definida entre este bobinado y cualquier otro con un número fijo de vueltas.

Una de las tomas de regulación es la principal y las otras tomas se describen en relación con la primera.

Regulación Principal

Nivel de regulación a través del cual se relacionan otras cantidades nominales.

Factor de Regulación

Se especifica a una dada regulación.

NOVA MIRON

$$FR = \text{Factor de Regulación (\%)} = 100 \frac{U_0}{U_n}$$

Donde:

U_0 = tensión que se obtendría sin carga en los terminales del bobinado, en el nivel de regulación indicado, aplicando la tensión a un bobinado sin regulación.

U_n = tensión nominal del bobinado.

Regulación Positiva

Regulación cuyo factor es mayor que 1 ($FR > 1$).

Regulación Negativa

Regulación cuyo factor es menor que 1 ($FR < 1$).

Paso de Regulación

La diferencia entre los factores de regulación, expresados como valores porcentuales, de dos tomas de regulación adyacente.

Rango de Regulación

Representa el rango de variación del factor de regulación, expresado en valor porcentual, comparado con el valor "100".

Si este factor varía en el rango de $(100 + a)$ a $(100 - b)$, el rango de regulación será "+a%", "- b%" o " $\pm a\%$ ", si $a = b$.

Relación de Tensión de Regulación

Este parámetro se asocia y especifica a un par de bobinados.

La relación de tensión de regulación, será igual a la tensión nominal:

a) multiplicada por el factor de regulación del bobinado, si éste es el de alta tensión.

b) dividida por el factor de regulación del bobinado, si éste es el de baja tensión.

NOVA MIRON

Pérdidas y Corriente en Vacío

Los valores se especifican para la regulación principal, a menos que se indique otra regulación de referencia.

Pérdidas en Vacío

Es la potencia activa absorbida por el transformador, cuando la tensión nominal a la frecuencia nominal, es aplicada a los terminales de uno de los bobinados, mientras los otros bobinados se encuentran en vacío.

Corriente de Vacío

Valor eficaz de la corriente que circula a través de un terminal de línea de un bobinado, cuando la tensión nominal se aplica a la frecuencia nominal, estando el otro bobinado (u otros) en vacío (circuito abierto).

Para un transformador trifásico, el valor se especifica como la media aritmética de los valores de corriente en las tres fases.

Se expresa, por lo general, como un valor porcentual referido a la corriente nominal de ese bobinado.

Para un transformador de múltiples bobinados, se refiere al bobinado que posee la potencia nominal más alta.

Pérdidas en Carga

Representa la potencia activa absorbida a la frecuencia nominal y a la temperatura de referencia, asociada a un par de bobinados, cuando la corriente nominal circula a través de los terminales de línea de uno de los bobinados, y los terminales del otro bobinado están en cortocircuito.

Si existen múltiples bobinados, los restantes deben estar a circuito abierto.

Para un transformador de dos bobinados, sólo hay un valor de pérdida de carga.

En el caso de múltiples bobinados, existen varios valores de pérdida de carga, correspondientes a las diferentes combinaciones entre dos.

En el caso de que el par de bobinados posean diferentes potencias nominales, los valores de la pérdida de carga se referirán a la corriente nominal en el bobinado con la potencia nominal más baja. Esta potencia de referencia deberá ser mencionada en la Especificación.

Pérdidas Totales

Representa la suma de las pérdidas en vacío (sin carga) y las pérdidas en carga.

NOVA MIRON

Impedancia de Cortocircuito

Es la impedancia equivalente serie de un par de bobinados ($Z = R + jX$, (Ω)), a frecuencia nominal y temperatura de referencia, medida entre los terminales de uno de los bobinados del par, cuando los terminales del otro bobinado están en cortocircuito.

Para bobinados múltiples, los restantes al par deberán estar a circuito abierto.

Para un transformador trifásico, la impedancia de cortocircuito se expresa en referencia a una equivalente de fase (conexión en estrella equivalente).

En un transformador que tiene un bobinado con regulación, la impedancia de cortocircuito se refiere a una toma o derivación en particular.

A menos que se especifique lo contrario, la toma de regulación principal será la considerada.

Este parámetro podrá expresarse en términos relativos, como una magnitud adimensional (en valor en tanto por uno, como así también en un valor porcentual), la cual estará referida a la impedancia del bobinado del par (impedancia de referencia).

Impedancia Homopolar

Impedancia que presenta el transformador en sus terminales ante una alimentación de tensión de secuencia cero.

Se mide por fase, a la frecuencia nominal, entre los terminales de línea del transformador trifásico, conectado en estrella o en zig-zag, y el terminal de neutro.

Puede expresarse a través de un valor relativo, de igual forma que la impedancia de cortocircuito.

Caída o Subida de Tensión

Representa la diferencia aritmética entre la tensión en vacío de un bobinado y la tensión establecida en los terminales del mismo bobinado, a una carga y factor de potencia especificados.

Este valor se especifica, por lo general, como un valor porcentual de la tensión en vacío del bobinado.

Para transformadores de bobinados múltiples, este parámetro dependerá no solamente de la carga y el factor de potencia del bobinado medido, sino también de la carga y el factor de potencia de los otros bobinados.

NOVA MIRÓN

En la Parte 3, vamos a describir los tipos de conexiones y grupos de conexión de los transformadores, los cuales conforman una parte principal y esencial de toda Especificación.

Departamento de ingeniería.
Nova Mirón S.A