

Comportamiento de una red eléctrica frente a las sobretensiones



El problema de las sobretensiones afecta a todas las redes eléctricas, cuya vulnerabilidad varía en función de su topología, niveles de tensión, los tipos de equipos utilizados y los métodos de explotación.

Todo funcionamiento de una red eléctrica está sujeta a la aparición de perturbaciones de tensión que dan lugar a valores de cresta o valores máximos fuera de los límites de una norma o especificación.

La noción de sobretensión en una red se cuantifica por la amplitud y la forma de la onda y la duración de la perturbación:

- coeficiente de sobretensión, relación entre amplitud de cresta de la sobretensión respecto al valor eficaz de la tensión de servicio,
- sobretensión sinusoidal permanente (a frecuencia industrial), de larga duración (superior a 1 hora),
- sobretensión sinusoidal temporal (en torno a la frecuencia industrial), de duración relativamente larga (entre 1,5 veces el periodo industrial y 1 hora),
- sobretensión transitoria, que puede o no ser oscilatoria generalmente amortiguada rápidamente, de corta duración (inferior al periodo industrial); esta categoría incluye las sobretensiones de frente lento (tipo sobretensión de maniobra), frente rápido (sobretensión tipo rayo), frente muy rápido.

Objetivos

El estudio del comportamiento de una red frente a las sobretensiones se centra en:

- identificar situaciones de riesgo, que pueden dar lugar a:
 - ✓ destrucción de equipos por ruptura dieléctrica, esfuerzos electrodinámicos y envejecimiento,
 - ✓ mal funcionamiento de los dispositivos electrónicos.
- determinar las medidas que deben adoptarse para reducir al mínimo sus efectos, garantizando así un funcionamiento eficaz de los equipos de la red.

Estas medidas se refieren a:

- el diseño de las instalaciones.
- la previsión de los dispositivos de protección (tipo, ubicación y dimensionamiento),
- el dimensionamiento adecuado de los equipos,
- asesoramiento sobre el funcionamiento.

Fenómenos y orígenes

Los fenómenos observados son intercambios oscilatorios amortiguados de energía entre circuitos (reactancias, condensadores, resistencias) puestos en marcha en el momento de una discontinuidad local (por ejemplo, maniobra de un aparato). Según el tipo de sobretensión se manifiestan en la red por:

- su aparición en el punto de discontinuidad,
- su propagación hacia el resto de la red, siguiendo las leyes de reflexión, refracción y superposición de ondas transmitidas, con atenuación en función de las frecuencias implicadas (mayor amortiguación cuanto mayor sea la frecuencia).
- la posible combinación de diferentes tipos de sobretensiones, susceptible de aumentar las tensiones.

Las sobretensiones que afectan a las redes tienen varios orígenes:

- en la explotación normal de la red: conmutación de cargas, conmutación de circuitos inductivos o capacitivos (cables, líneas, condensadores, transformadores, motores), el funcionamiento propio de los equipos de maniobra.
- la estructura de la red eléctrica: esquemas de conexión a tierra o regímenes de neutro, niveles de tensión, longitud de las líneas eléctricas;
- las perturbaciones accidentales: los defectos y su eliminación, disparos intempestivos, caídas de rayos.

Desde un punto de vista eléctrico, estas sobretensiones pueden clasificarse según sus formas principales (ver fig. 1):

- ✓ a frecuencia industrial, que pueden tener causas como: fallos de aislamiento, asimetría de cargas, sobrecompensación de energía reactiva, etc.

- ✓ impulsos de maniobra, resultantes de una conexión o desconexión normales durante la explotación de la red eléctrica, de equipos como transformadores, motores, reactancias, condensadores o conexión de cables/líneas;
- ✓ impacto sobre un defecto en el momento de su eliminación: el defecto es considerado como una maniobra involuntaria o inevitable, seguida de una segunda maniobra cuando se despeja la falta;
- ✓ impacto de rayos resultantes de descargas atmosféricas: un rayo es una descarga repentina de corriente que puede alcanzar varios miles de amperios.

clase de sobretensión	baja frecuencia		transitoria		
	permanente	temporal	de frente lento	de frente rápido	de frente muy rápido
forma					
gama de formas (frecuencia, frente de subida, duración)	$f = 50 \text{ ó } 60 \text{ Hz}$ $T_1 \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 < f < 500 \text{ Hz}$ $3 \text{ 600} \geq T_1 \geq 0,03 \text{ s}$	$5 \text{ 000} > T_p > 20 \text{ }\mu\text{s}$ $20 \text{ ms} \geq T_2$	$20 > T_1 > 0,1 \text{ }\mu\text{s}$ $300 \text{ }\mu\text{s} \geq T_2$	$100 > T_f > 3 \text{ ns}$ $0,3 > f_1 > 100 \text{ MHz}$ $30 > f_2 > 300 \text{ kHz}$ $3 \text{ ms} \geq T_1$
forma normalizada	$f = 50 \text{ ó } 60 \text{ Hz}$ $T_1 (*)$	$48 \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_1 = 60 \text{ s}$	$T_p = 250 \text{ }\mu\text{s}$ $T_2 = 2 \text{ 500 }\mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \text{ }\mu\text{s}$ $T_2 = 50 \text{ }\mu\text{s}$	(*)
ensayo de tensión soportada normalizada	(*)	Ensayo a frecuencia industrial de corta duración	Ensayo de choque de maniobra	Ensayo de choque de rayo	(*)

(*) a especificar por el Comité del producto considerado

Figura 1: Formas de sobretensiones

Efectos y soluciones

Dependiendo de su forma, las sobretensiones tienen diferentes efectos y, por tanto, las soluciones para evitarlas deben ser adaptadas

■ A frecuencia industrial

- ✓ Un fallo de aislamiento en una red genera una sobretensión cuyo coeficiente puede alcanzar teóricamente 1,7 (defecto monofásico en el caso de un neutro aislado). Del mismo modo, el corte del hilo neutro genera sobretensiones por desplazamiento del punto neutro.
- ✓ La asimetría de las cargas en una red trifásica puede desequilibrar el sistema hasta el punto de saturar los transformadores e interferir con funcionamiento de los motores.
- ✓ La sobrecompensación de energía reactiva debida a los condensadores shunt en caso de baja carga eleva la tensión.
- ✓ Una línea en vacío se comporta como una serie de elementos LC con una ganancia superior a 1 (efecto Ferranti), lo que provoca una sobretensión permanente cuya amplitud se hace apreciable más allá de los 300 km (1,05 u.p.); este efecto se amplifica en el final de una larga línea cuando se desconecta la carga o cuando esta es pequeña.
- ✓ Ferroresonancia, oscilación no lineal entre un condensador y una inductancia saturable, puede dar lugar a sobretensiones en determinados montajes particulares: un transformador de tensión en serie con un interruptor automático abierto o entre fase y neutro en una red con régimen de neutro IT, etc.

Todos estos riesgos se limitan mediante precauciones de diseño y explotación: por ejemplo repartición simétrica de cargas, control de puesta en servicio de condensadores, relés de tensión en las entradas de línea.

■ Impulsos de maniobra

Las sobretensiones producidas dependen de las condiciones de carga o de vacío, con o sin carga residual, según una cierta periodicidad teniendo en cuenta el comportamiento físico real de la aparamenta de maniobra: precebado, tensión soportada a la tensión transitoria de restablecimiento (recebado, reencendido), y arranque de corriente (corte de corriente antes de su paso por cero).

- ✓ Cuando un condensador se conecta a la máxima tensión de red, el coeficiente de sobretensión es 2; en la desconexión, este coeficiente puede llegar a 3.
- ✓ Durante la maniobra de un transformador o de un motor, el coeficiente de sobretensión puede alcanzar 2, y las puntas de conexión transitorias provocan tensiones especialmente elevadas en las primeras espiras de estas máquinas.
- ✓ Durante las maniobras de líneas, el coeficiente de sobretensión puede superar 3, este es el caso de una reconexión de una línea larga con una carga residual (carga capacitiva).

Las sobretensiones de maniobra tienen los efectos de destrucción dieléctrica de los equipos y el mal funcionamiento de los sistemas.

Los dispositivos de protección recomendados actúan limitando y amortiguando las oscilaciones de energía entre circuitos: resistencia de inserción resistencia en disyuntores o contactores, control de los tiempos de maniobra mediante sincronizadores, protectores de sobretensión RC e incluso descargadores de sobretensión.

■ Los impactos sobre defecto (durante su aparición o eliminación)

La aparición de un defecto conlleva generalmente un coeficiente de sobretensión inferior a 2, y son más bien las sobreintensidades las que hay que temer.

La eliminación de un defecto provoca una sobretensión inferior a 2,5 (el caso más grave es un defecto monofásico en el caso de un régimen de neutro aislado), se produce superposición de los transitorios y del régimen temporal vinculado al defecto.

■ El impacto de un rayo

La enorme descarga de corriente puede alcanzar cientos de kiloamperios, con una tensión asociada que depende de las impedancias por las que circula. Esta corriente puede descargar:

- ✓ en una línea o estructura metálica, al propagarse, las ondas de tensión resultantes crean cebamientos en los aisladores y sobretensiones;
- ✓ en el suelo aumentan el potencial, que al propagarse, provoca subidas de tensión en las puestas a tierra de las instalaciones.

Las corrientes de rayo tienen efectos térmicos y mecánicos (efectos electrodinámicos), mientras que las sobretensiones del rayo tienen como efecto la destrucción dieléctrica de los equipos y el mal funcionamiento de los sistemas eléctricos.

Los dispositivos de protección actúan de dos maneras:

- ✓ en primer lugar, evitan el impacto directo del rayo sobre las instalaciones eléctricas y lo desvían hacia tierra (pararrayos, cables de guarda y pozos de tierra);
- ✓ en segundo lugar, descargan a tierra las corrientes de rayo conducidas a través de la red hacia tierra con el fin de limitar las sobretensiones y evitar su destrucción dieléctrica (explosores, pararrayos, varistores, calidad de las tierras...en AT/MT/BT).

Ventajas de un estudio

Un estudio diseñado para prevenir una instalación de los efectos nocivos de las sobretensiones comporta las siguientes etapas:

- evaluación cualitativa de los fenómenos de riesgo en función de la red considerada,
- cálculo de los niveles de sobretensiones generadas y transmisión al sistema,
- análisis de sensibilidad de los parámetros influyentes,
- definición de los dispositivos de protección
- determinación del aislamiento de los equipos de acuerdo con las normas vigentes.

Ejemplo

El caso elegido procede de un estudio relativo al diseño de una subestación de distribución de AT que debe protegerse eficazmente contra las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas en su línea de entrada.

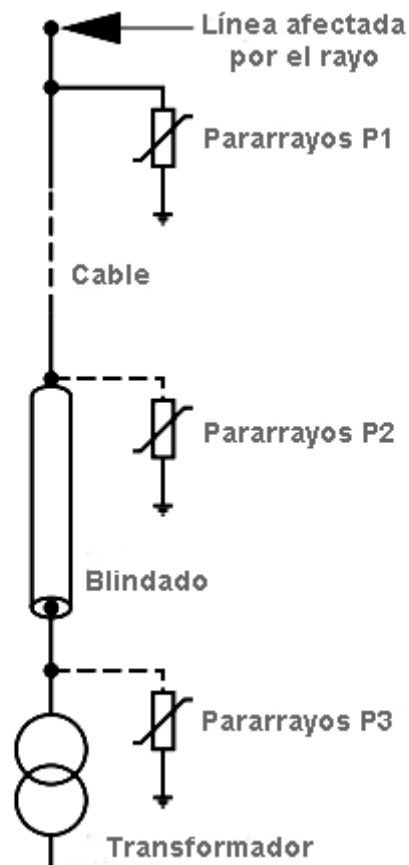
■ Objetivo del cálculo

Dimensionar los equipos para resistir una sobretensión de rayo. Debe cumplir recomendaciones de la norma sobre la coordinación de aislamiento IEC 60071-1 y 2, que cuantifica el valor de riesgo: el tiempo medio entre dos defectos destructivos se sitúa en un intervalo de 250 a 1000 años.

■ Resultados de los cálculos

La simulación estadística de la caída de rayos en la línea utilizando el modelo electrogeométrico proporciona la distribución de las sobretensiones que se propagan en la subestación, y ha permitido una estimación probabilística del riesgo resultante (véase la tabla de la figura 2).

La protección óptima de la subestación contra rayos, cuantificada según la normalización en la coordinación del aislamiento, se ha definido por la elección simultánea de descargadores de sobretensiones en la subestación y el nivel de protección de los equipos, como se muestra figura 2.



Pararrayos instalados	Riesgo sobre:		
	Cable de guarda (LIWL* 650 kV)	Sub. Blindada (LIWL* 650 kV)	Transformador (LIWL* 650 kV)
P1	1454 años	425 años	299 años
P1+P3	2053 años	812 años	592 años
P1+P2+P3	10^9 años	10^9 años	$2,7 \cdot 10^6$ años

(*) LIWL: Abreviatura inglesa «lighting impulse withstand level» en español «nivel de resistencia al impacto del rayo»

Figura 2: Estudio de las sobretensiones por rayos para el diseño de una subestación de AT, esquema y estimación del riesgo.