

# Protecciones en las instalaciones eléctricas-MARCOMBO

## Capítulo 1 Generalidades

- 1.1 Desarrollo histórico
  - 1.1.1 Sistemas de protección directos
  - 1.1.2 Sistemas de protección indirectos
- 1.2 Planificación de las protecciones
- 1.3 Exigencias básicas de los equipos de protección
- 1.4 Instalaciones de un sistema eléctrico
  - 1.4.1 Elementos de un sistema eléctrico
  - 1.4.2 Incidente en un sistema eléctrico
- 1.5 Tratamiento del neutro en un sistema eléctrico
- 1.6 Cálculo de cortocircuitos
  - 1.6.1 Cálculo en valores óhmicos
  - 1.6.2 Cálculo en valores relativos
  - 1.6.3 Transformaciones estrella-triángulo
  - 1.6.4 Componentes simétricas
    - 1.6.4.1 Determinación de las componentes simétricas para diferentes tipos de cortocircuitos
  - 1.6.5 Tablas de valores

## Capítulo 2 Equipos asociados a las protecciones

- 2.1 Transformadores de medida
  - 2.1.1 Transformadores de intensidad
  - 2.1.2 Transformadores de tensión
- 2.2 Interruptores automáticos
- 2.3 Fuentes de alimentación auxiliar
  - 2.3.1 Baterías de acumuladores
  - 2.3.2 Cargadores
- 2.4 Equipos de señalización
- 2.5 Equipos de automatismo
- 2.6 Equipos de comunicación asociados a las protecciones

## Capítulo 3 Perturbaciones

- 3.1 Tipos de perturbaciones
- 3.2 Limitación de las perturbaciones
- 3.3 Especificaciones de ensayo para las protecciones
  - 3.3.1 Ensayo de tensión soportada
  - 3.3.2 Clasificación para ensayos de onda de choque y disturbios de alta frecuencia
  - 3.3.3 Ensayo de onda de choque
  - 3.3.4 Ensayo de disturbios de alta frecuencia
  - 3.3.5 Ensayos de disturbios por campos electromagnéticos radiados
  - 3.3.6 Ensayos de disturbios por descargas de electricidad estática
- 3.4 Perturbaciones y su medio ambiente

## Capítulo 4 Enumeración y descripción de los sistemas de protección más usuales

- 4.1 Protección de sobreintensidad
  - 4.1.1 Protección de sobreintensidad a tiempo independiente
  - 4.1.2 Protección de sobreintensidad a tiempo dependiente o tiempo inverso
  - 4.1.3 Protección de sobreintensidad con frenado de tensión
- 4.2 Protección de sobreintensidad direccional
  - 4.2.1 Principio de la protección de sobreintensidad direccional
  - 4.2.2 Protección direccional de fases
  - 4.2.3 Protección direccional de neutro
- 4.3 Configuraciones típicas en protecciones de sobreintensidad
- 4.4 Protección diferencial
  - 4.4.1 Principios básicos
  - 4.4.2 Mezclado de intensidades
  - 4.4.3 Detección de faltas resistentes
  - 4.4.4 Protección diferencial longitudinal

- 4.4.4.1 Protección diferencial longitudinal de intensidad
- 4.4.4.2 Protección diferencial longitudinal de tensión
- 4.4.4.3 Supervisión de los hilos piloto
- 4.4.5 Protecciones diferenciales de barras
  - 4.4.5.1 Protección diferencial de barras de alta impedancia
  - 4.4.5.2 Protección diferencial de barras con transductores lineales
  - 4.4.5.3 Protección diferencial de barras con estabilización
- 4.4.6 Protección diferencial transversal
- 4.5 Protección de comparación de fase
  - 4.5.1 Principios básicos
  - 4.5.2 Mezclado de intensidades
  - 4.5.3 Elementos de arranque
  - 4.5.4 Transmisión de la señal
  - 4.5.5 Análisis funcional
  - 4.5.6 Dispositivos de pruebas
- 4.6 Protección de comparación direccional
- 4.7 Protección de sobretensión y subtensión
- 4.8 Protección de frecuencia
- 4.9 Protección de distancia
  - 4.9.1 Sistemas de medida
  - 4.9.2 Escalones de medida
  - 4.9.3 Aplicación de las protecciones de distancia a redes trifásicas
  - 4.9.4 Particularidades de la medida en las faltas monofásicas
  - 4.9.5 Particularidades de la medida en las faltas bifásicas
  - 4.9.6 Particularidades de la medida en las faltas trifásicas
  - 4.9.7 Elementos de arranque
  - 4.9.8 Protecciones conmutadas

## Capítulo 5 Recomendaciones para la protección de instalaciones eléctricas

- 5.1 Protecciones de generadores
  - 5.1.1 Protección diferencial de generador
  - 5.1.2 Protección de sobretensión
  - 5.1.3 Protección de subtensión
  - 5.1.4 Protección contra falta a tierra en la red exterior
  - 5.1.5 Protección de pérdida de excitación (sub-excitación)
  - 5.1.6 Protección de cortocircuitos entre espiras
  - 5.1.7 Protección de contactos a tierra en el estator
  - 5.1.8 Protección de falta a tierra en el rotor
  - 5.1.9 Protección de retornos de energía
  - 5.1.10 Protección de carga asimétrica
  - 5.1.11 Protección de mínima impedancia en la estrella del generador
  - 5.1.12 Protección de mínima impedancia en el lado de A.T. del transformador
  - 5.1.13 Protección de subfrecuencia
  - 5.1.14 Protección de sobrevelocidad
  - 5.1.15 Protección de energización involuntaria o de «máquina muerta»
  - 5.1.16 Fatiga en el eje
  - 5.1.17 Disparos de las protecciones
- 5.2 Protecciones de transformadores
  - 5.2.1 Protección primaria contra sobretensiones
  - 5.2.2 Protección de las instalaciones de refrigeración
  - 5.2.3 Protección Buchholz
  - 5.2.4 Protección de sobrecarga
  - 5.2.5 Protección del dispositivo de regulación
  - 5.2.6 Protección diferencial
  - 5.2.7 Protección diferencial de neutro
  - 5.2.8 Protección de cuba
  - 5.2.9 Protección de sobreintensidad
  - 5.2.10 Protección de mínima impedancia
  - 5.2.11 Protección de sobretensión
  - 5.2.12 Protección de sobreexcitación

- 5.3 Protecciones de líneas y cables
  - 5.3.1 Protección de sobrecarga
  - 5.3.2 Protección de sobreintensidad
  - 5.3.3 Protección de sobreintensidad direccional
  - 5.3.4 Protección de distancia
  - 5.3.5 Protección de distancia con dispositivos de teleprotección
  - 5.3.6 Protección de antipenduleo de potencia
  - 5.3.7 Protección de falta a tierra en un sistema con neutro aislado
  - 5.3.8 Protección para faltas resistentes
  - 5.3.9 Protección diferencial longitudinal
  - 5.3.10 Protección de comparación de fases
  - 5.3.11 Protección de comparación direccional
  - 5.3.12 Protección de discordancia de polos
  - 5.3.13 Equipos de normalización del servicio
  - 5.3.14 Equipos de localización de averías
- 5.4 Protección de barras
  - 5.4.1 Protección de barras M.T.
  - 5.4.2 Protección de barras A.T.
- 5.5 Protecciones de baterías de condensadores
  - 5.5.1 Fenómenos de conexión y desconexión en las baterías de condensadores
  - 5.5.2 Protección de baterías de condensadores derivación
  - 5.5.3 Cálculo del desequilibrio en baterías de condensadores derivación
  - 5.5.4 Protección de baterías de condensadores serie
- 5.6 Protecciones de motores
  - 5.6.1 Protección contra fallo de cojinetes
  - 5.6.2 Protección térmica del estator
  - 5.6.3 Protección diferencial de fases
  - 5.6.4 Protección de sobreintensidad
  - 5.6.5 Detección de condiciones anormales de funcionamiento
  - 5.6.6 Protecciones adicionales para motores síncronos
  - 5.6.7 Relé universal para protección de motores
- 5.7 Protecciones comunes para la red
  - 5.7.1 Protección de frecuencia
  - 5.7.2 Detección de pérdida de estabilidad
  - 5.7.3 Protección contra colapsos de tensión
- 5.8 Protecciones en instalaciones de baja tensión
  - 5.8.1 Dispositivos de protección reglamentarios
  - 5.8.2 Protección contra sobrecargas
  - 5.8.3 Protección de cortocircuitos
  - 5.8.4 Protección de contactos a tierra
  - 5.8.5 Cortacircuitos fusibles

## Capítulo 6 Coordinación de los sistemas de protección

- 6.1 Criterios sobre la selectividad
- 6.2 Trazado de curvas de intensidad-tiempo
- 6.3 Consideraciones sobre los valores límite de ajuste
- 6.4 Resolución de un ejemplo práctico
  - 6.4.1 Análisis de la zona A
  - 6.4.2 Análisis de la zona B
  - 6.4.3 Análisis de la zona C
  - 6.4.4 Análisis de la zona D
  - 6.4.5 Análisis de la zona E
  - 6.4.6 Análisis de la zona F

## Capítulo 7 Etapas fundamentales para la definición, instalación y conservación de las protecciones

- 7.1 Definición del esquema de protección
- 7.2 Proyecto
- 7.3 Recepción
- 7.4 Instalación y verificación

- 7.4.1 Verificación del aislamiento de los circuitos secundarios
- 7.4.2 Comprobaciones en los transformadores de intensidad
- 7.4.3 Comprobaciones en las protecciones diferenciales
- 7.4.4 Verificación de un relé de secuencia inversa
- 7.4.5 Dispositivos de conmutación para pruebas
- 7.5 Puesta en marcha
- 7.5.1 Procedimiento de verificación y ajuste
- 7.5.2 Hojas de filiación
- 7.5.3 Comprobaciones en los transformadores de tensión
- 7.5.4 Verificación de un relé direccional de neutro
- 7.6 Seguimiento del funcionamiento
- 7.7 Mantenimiento
- 7.8 Reparación de averías
- 7.9 Investigación

## Capítulo 8 Experiencias y ensayos en los sistemas de protección

- 8.1 Ensayo de la protección diferencial de un transformador 62 MVA 110/6,9 kV
  - 8.1.1 Antecedentes
  - 8.1.2 Ensayo de los transformadores de intensidad auxiliares
  - 8.1.3 Registros de intensidad de conexión del transformador
  - 8.1.4 Ensayos en la protección diferencial
  - 8.1.5 Conclusiones
- 8.2 Comportamiento de las protecciones de distancia en líneas de aportación débil de corriente de cortocircuito fase a tierra
  - 8.2.1 Antecedentes
  - 8.2.2 Registro de un cortocircuito monofásico
  - 8.2.3 Diseño complementario para situaciones de aportación débil de cortocircuito fase a tierra en un extremo de la línea
  - 8.2.4 Conclusiones
- 8.3 Respuesta de una protección de distancia electrónica conmutada ante faltas evolutivas
  - 8.3.1 Antecedentes
  - 8.3.2 Ensayos de la protección de distancia con magnitudes estacionarias. Funcionamiento de la protección
  - 8.3.3 Ensayo de la protección en un simulador de red
  - 8.3.4 Comprobación del funcionamiento de la protección con un analizador lógico
  - 8.3.5 Conclusiones
- 8.4 Efectos de la componente continua de la corriente de cortocircuito en el funcionamiento de las protecciones de distancia
  - 8.4.1 Antecedentes
  - 8.4.2 Ensayos reales de cortocircuito
  - 8.4.3 Ensayos sobre una maqueta
  - 8.4.4 Conclusiones
- 8.5 Actuaciones incorrectas de relés de frecuencia al desenergizar una subestación
  - 8.5.1 Antecedentes
  - 8.5.2 Ensayos del relé de frecuencia
  - 8.5.3 Ensayos de los transformadores de tensión
  - 8.5.4 Registros del transitorio de desconexión en la subestación
  - 8.5.5 Conclusiones
- 8.6 Influencia de la capacidad conductor-pantalla de los cables de control en perturbaciones conducidas
  - 8.6.1 Antecedentes
  - 8.6.2 Registros de perturbaciones en la central
  - 8.6.3 Medidas provisionales
  - 8.6.4 Registros de perturbaciones en la subestación
  - 8.6.5 Conclusiones
- 8.7 Actuaciones incorrectas de relés direccionales de fases
  - 8.7.1 Antecedentes
  - 8.7.2 Comprobación de la instalación
  - 8.7.3 Incidencia de los transformadores 25/11 kV
  - 8.7.4 Modificación de los ángulos de conexión y de par máximo

- 8.7.5 Conclusiones
- 8.8 Actuaciones incorrectas de los relés direccionales de neutro
  - 8.8.1 Antecedentes
  - 8.8.2 Comprobación de la instalación
  - 8.8.3 Análisis de la saturación de los transformadores de intensidad
  - 8.8.4 Conclusiones
- 8.9 Explosión de un transformador de tensión originada por el fenómeno de resonancia
  - 8.9.1 Antecedentes
  - 8.9.2 Análisis de la instalación
  - 8.9.3 Registros de las tensiones secundarias de los T/T
  - 8.9.4 Conclusiones
- 8.10 Consecuencias de la falta de sincronismo entre los contactos principales y auxiliares de los interruptores
  - 8.10.1 Antecedentes
  - 8.10.2 Análisis de la instalación
  - 8.10.3 Comprobación del sincronismo de los contactos principales y auxiliares de los interruptores A.T.
  - 8.10.4 Conclusiones
- 8.11 Influencia de las perturbaciones en el funcionamiento de los equipos electrónicos
  - 8.11.1 Antecedentes
  - 8.11.2 Señales inducidas entre circuitos de un cable multiconductor
  - 8.11.3 Señales inducidas en los circuitos de los cables al maniobrar seccionadores A.T.
  - 8.11.4 Efectos de los filtros contra perturbaciones en las señales de entrada
  - 8.11.5 Conclusiones

## Capítulo 9 Las protecciones del futuro, una nueva concepción

## Capítulo 10 Perspectivas de evolución de los sistemas eléctricos y su equipamiento

- 10.1 Los medios de generación
  - 10.1.1 Concentración de los medios de generación
  - 10.1.2 Evolución de los generadores
  - 10.1.3 Sistemas de control y medida
- 10.2 Los medios de transporte
  - 10.2.1 La regulación de la tensión
  - 10.2.2 Estabilidad de la red
  - 10.2.3 El diseño de las subestaciones del futuro
  - 10.2.4 Aspectos ambientales
- 10.3 Los medios de distribución
  - 10.3.1 Planificación de la distribución de energía eléctrica
  - 10.3.2 Evolución de los diseños y equipamiento
    - 10.3.2.1 Estaciones de maniobra y transformación
    - 10.3.2.2 Ventajas de las estaciones prefabricadas
    - 10.3.2.3 El interruptor automático
- 10.4 Supervisión y control
- 10.5 Fiabilidad, disponibilidad y seguridad en los sistemas eléctricos y las protecciones
  - 10.5.1 Criterios de seguridad en los sistemas eléctricos
  - 10.5.2 Fiabilidad de los sistemas de protección
    - 10.5.2.1 Fiabilidad de los aparatos
    - 10.5.2.2 Fiabilidad de los sistemas de protección