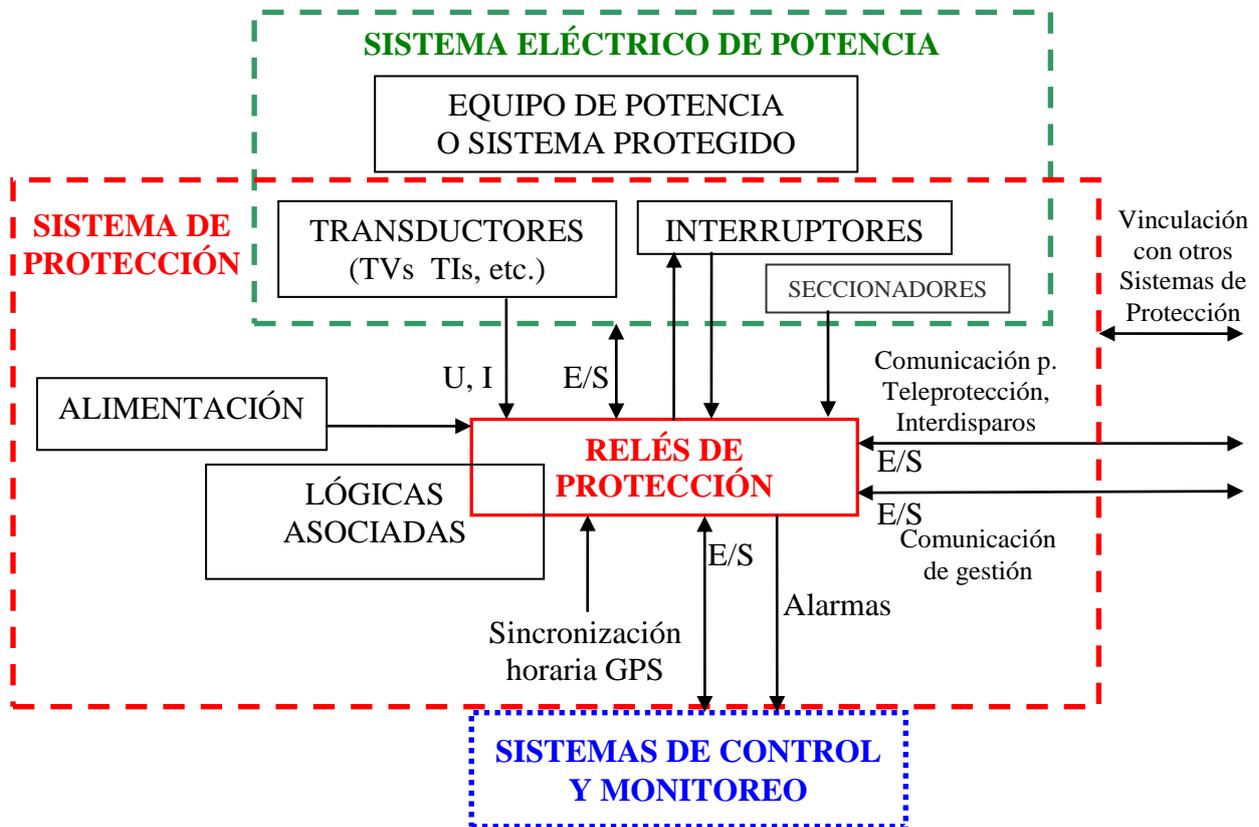


B-I. SISTEMAS DE PROTECCIÓN (Protection Systems) (SdP)

Un sistema de protección es el conjunto de dispositivos y elementos interrelacionados (y sus funciones) que permiten o aportan al objetivo del mismo: proteger el equipo de potencia que corresponde o al sistema de potencia.

Elementos de un sistema de protección.



Un sistema de protección tiene los siguientes componentes principales:

- Alimentación
- Transductores (transformadores de medida de corriente y tensión, etc.)
- Interruptores
- Sistemas de comunicación (teleprotección, gestión, lógicas de subestación, etc.)
- Alarmas y señalizaciones
- Cableados y elementos asociados (llaves de transferencia, relés auxiliares y de monitoreo, lógicas cableadas)
- Aterramiento de equipos y cableados
- Relés de protección
- Tomas para ensayo
- Sincronización horaria
- etc.

Alimentación.

Los sistemas de protección tienen alimentación de corriente continua (DC).

La componen.

- Banco de baterías
- Cargador de baterías

- Barra y alimentadores y sus lógicas de conmutación
- Detector de puesta a tierra
- etc.

La función principal de un sistema de protección es eliminar faltas y condiciones anormales de funcionamiento. La habilidad de que un relé dispare un interruptor debe estar disponible siempre, aún cuando haya una falta y la magnitud de la tensión AC pueda no ser suficiente para alimentar al relé.

La potencia necesaria para el disparo y para alimentar los relés de protección, por lo tanto, no puede ser obtenida del sistema AC, y generalmente es provista por las baterías de la subestación.

Las baterías están se alimentan de un cargador que a su vez se alimenta de la tensión alterna de los servicios propios de la subestación.

Aunque las baterías sean los elementos más confiables en la subestación, en la subestaciones de extra alta tensión (EHV o EAT) es práctica común contar con dos fuentes independientes con posibilidad de conmutar en caso de falla.

Las baterías deben tener autonomía suficiente para mantener alimentados los sistemas de mando, control y protección durante varias horas de ausencia de servicios propios de alterna (apagón).

Normalmente ni el polo “+” ni “-“ están a tierra, lo que permite que la instalación soporte puestas a tierra.

La primer puesta a tierra no es un defecto, pero si hay una segunda puesta a tierra y es en el otro polo, se produce un cortocircuito en la continua de la subestación.

Para la detección de una puesta a tierra, los polos “+” y “-“ se conectan a un dispositivo detector que también se conecta a tierra. Por el dispositivo circulan corrientes muy bajas.

Las puestas a tierra no deseadas en los cableados de las polaridades son vistas por el detector como desequilibrios entre las tensiones “+” a tierra y “-” a tierra.

Las tensiones de alimentación comúnmente utilizadas: 250, 220, 125, 110 Vcc.

El ripple de la continua debe ser acotado.

En al distribución de continua dentro de la subestación se utilizan llaves termomagnéticas (TQ) de DC independientes para las distintas secciones y funciones que se alimentan.

Por ej. para cada sección pueden utilizarse llaves diferentes para:

- disparo,
- alarma,
- alimentación de fuentes de las protecciones, sus entradas y salidas de otras señales.

En sistemas redundantes se usan secciones de continua diferentes, por lo que se duplican las llaves antes mencionadas.

Si se pretende mayor confiabilidad se utilizan alimentaciones redundantes. En esos casos se duplican las barras y hasta los bancos de baterías y cargadores asociados.

Por cada sección de continua debe haber una alarma de falta de continua ya sea por contactos NC de la llave TQ, o por un relé auxiliar que sensa la tensión de cada salida de continua.

Los relés de protección que tiene incorporada la alarma de falla de su fuente o de su alimentación (e incluso falla interna) ya cumplen dicha función de sensado.

Hay relés numéricos que incluso supervisan la calidad de la continua de alimentación.

Transductores. Transformadores de medida (de tensión y de corriente)

Son los elementos que llevan las magnitudes eléctricas primarias (del sistema de potencia) a los relés de protección.

Los transformadores de medida tienen como función:

- adaptar las tensiones y corrientes elevadas a valores compatibles con los que trabajan los instrumentos de medida y los relés de protección
- proporcionar aislación galvánica a los instrumentos de medida y relés de protección con respecto a la alta tensión del circuito de potencia
- permitir el uso normalizado para las corrientes y tensiones nominales de los instrumentos de medida y relés de protección

Valores secundarios normalizados son:

- $I_n = 1$ o 5 A AC
- V_n compuesta = 115, 120 y 230V AC (EEUU y Canadá); 100, 110 y 200V AC (Europa, etc.)

Los transformadores de medida de corriente para protección son de tipo inductivo.

La corriente primaria es impuesta por el circuito de potencia y la corriente secundaria es reflejo de la primera.

Los transformadores de medida de tensión para protección pueden ser de dos tipos:

- inductivos
- capacitivos

Estos equipamientos se estudian luego en el curso con detalle.

Interruptores

El conocimiento sobre la operación y funcionamiento de los interruptores es esencial para entender los sistemas de protección. Es la acción coordinada tanto del interruptor como del sistema de protección, que resulta en una exitosa eliminación de la falta.

El interruptor aísla la falta, interrumpiendo la circulación de corriente, en un cruce por cero de la misma. El interruptor puede hacer esto, en el primer cruce por cero de la corriente luego de enviada la señal de disparo, aunque es más común abrir en el segundo o tercer cruce por cero. Como los contactos del interruptor se mueven (separándose) para interrumpir la circulación de corriente de falta, puede pasar que si la separación entre los contactos del interruptor no es suficiente el arco se reinicie y se debe esperar hasta el siguiente cruce por cero para interrumpir la corriente, en el cual los contactos del mismo ya estarán más separados.

Uno de los primeros diseños de interruptor de alta tensión utilizados constaba de un tanque de aceite en el cual estaban inmersos los contactos del interruptor y el mecanismo de operación. El aceite sirve de aislante entre el tanque y los contactos principales. El aceite actúa también como el medio para extinguir el arco cuando los contactos principales interrumpen una corriente de carga o de falta.

Como las tensiones usadas en los sistemas de potencia aumentaron, ya no era práctico construir tanques lo suficientemente grande como para proporcionar la rigidez dieléctrica necesaria. Aunque aún existen en operación interruptores de gran volumen de aceite.

Algunas características de los interruptores que se deben tener en cuenta son:

- Medio para la extinción del arco: aceite, gas, aire, vacío
- Medio para el aislamiento: aceite, gas, aire, vacío
- Mecanismo de operación: neumático, hidráulico, mecánico

Uno de los parámetros a tener en cuenta, en el momento de especificar un interruptor es el medio para la extinción del arco:

- aceite: no precisa de energía desde el mecanismo de operación para la extinción del arco.

- SF6: requiere de energía adicional, y debe operar a alta presión o desarrollando un ráfaga de gas durante la fase de interrupción del arco.
- Vacío.

Un interruptor normalmente debe poder realizar completo el siguiente ciclo: O-C-O (apertura – cierre – apertura).

Los interruptores pueden ser bloqueados por señales propias cuando no pueden cumplir dicho ciclo o ni siquiera una apertura, dando señalización externa (mediante contactos de salida) que se utilizan por los relés de protección para modificar sus funciones de recierre por ej.

Son críticos el tiempo de apertura de los interruptores ya que se suman a los tiempos de operación de las propias protecciones para sumados ser el tiempo total de operación del sistema de protección. Puede existir también una unidad de disparo que agrega su tiempo.

Los interruptores abren en un tiempo de entre 2 y 5 ciclos.

Tiempos típicos de apertura de un interruptor pueden ser:

- 50 ms para EAT
- 70 ms para AT
- 100 ms para MT

Cada polo puede tener una o más cámaras de corte, en especial en EAT.

Los interruptores pueden tener resistencias de pre-inserción al cierre (en paralelo con las cámaras de los polos).

El pole-spam eléctrico (o dispersión en la apertura de los polos) de un interruptor ante un disparo tripolar debe ser menor que por ej. 5 ms.

Un interruptor trifásico puede tener bobinas de apertura y cierre independientes por polo, o bobinas que comanden los 3 polos.

En el caso de líneas aéreas dado que se quiere recierre, la apertura debe ser por polo. En el caso de transformadores de potencia y cables, es suficiente con comandar los tres polos con una sola bobina.

Los interruptores (vistos como elemento trifásico) pueden tener 1, 2 o 3 entradas o bobinas independientes de apertura. Por ej se puede usar una para apertura por mando, otra para disparo por protección del relé principal y la otra para el disparo del relé de respaldo.

Es normal que usen alimentaciones de continua independientes.

El cierre por mando y el recierre por protección de los interruptores debe realizarse cuando:

- no haya tensión en ambos lados del mismo,
- hay tensión de un lado y no hay tensión del otro,
- hay tensiones en sincronismo (amplitud, fase y frecuencia similares) a ambos lados.

En caso contrario el interruptor puede resultar dañado y el sistema de potencia puede sufrir un transitorio severo y los generadores pueden verse afectados.

Los interruptores (al igual que los seccionadores) tienen contactos repetidores de la posición de su contacto de potencia.

Hay contactos tipo

- “a” o normalmente abiertos (NA o NO), abiertos cuando el polo principal está abierto.
- “b” o normalmente cerrados (NC), cerrados cuando el polo principal está abierto.

Usualmente un contacto tipo “a” se pone en serie con la llegada del disparo a la bobina de apertura del interruptor, de manera que sea este contacto potente quien cuando abre el interruptor, abra la corriente continua que circula por la bobina. Si así no fuera, dicha corriente debería abrirla un relé

auxiliar del sistema de protección o un relé de disparo. Las sobretensiones en la apertura de un circuito muy inductivo de continua son importantes y puede ser una situación no soportada por contactos débiles.

Señales digitales hacia y desde las protecciones o sus equipos auxiliares.

En los sistemas de protección hay señales desde y hacia los equipos de playa.

Posición de equipos de maniobra (mono o tripolares, contactos en serie o paralelo, tipo “a” o tipo “b”)

- Seccionadores
- Interruptores

Disparos

- Disparos desde otros equipos o sistemas
- Interdisparos

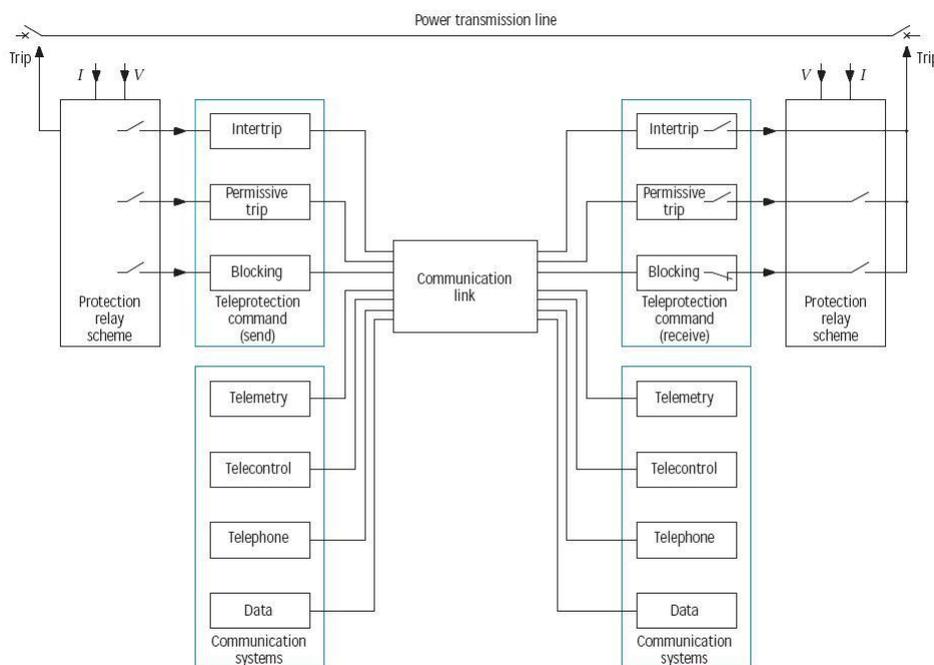
Orden de re-cierre

Otras señales digitales

- Indisponibilidad de equipos (bloqueados, baja presión, etc.)
- Interbloqueos y habilitaciones

Comunicación para teleprotección

Se muestran los posibles usos de la comunicación entre subestaciones (se dibujan las comunicaciones solamente en un sentido, aunque son bidireccionales).



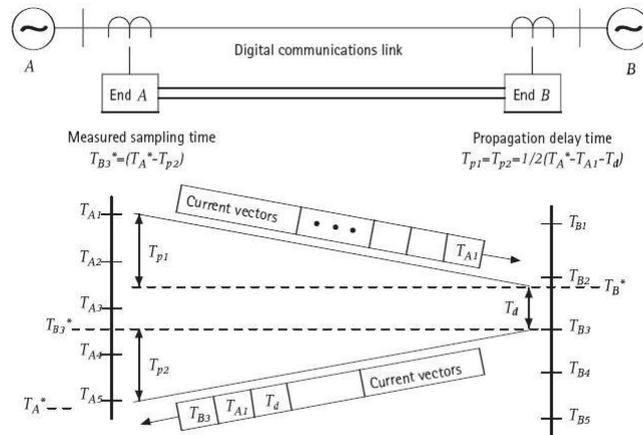
La comunicación hace posibles ciertas funciones instantáneas de protección:

- Teleprotección en protección de líneas y cables (distancia, direccionales)
- Comunicación de la protección diferencial de líneas o cables
- Interdisparos

La telecomunicación de señales discretas y los interdisparos no tienen demasiados requerimientos respecto del ancho de banda del canal de comunicación.

Mientras que las comunicaciones diferenciales si tienen más requerimientos de ancho de banda, ya que se comunican señales analógicas (fasores o valores instantáneos) y la frecuencia de refresco de datos debe ser alta.

Los links de comunicación digital tienen varios canales digitales, con capacidades de 64 kbps (norma internacional) o 56kbps (norma EEUU). La comunicación diferencial por ej. utiliza estas capacidades.



Los parámetros más importantes de los sistemas de telecomunicación para protección son su:

- Tiempo de transmisión (latencia)
- Ancho de banda
- Relación señal/ruido en la entrada del receptor
- Security y dependability

Equipos.

A los equipos y sistemas de comunicación para protección se les requiere que bajo condiciones de falta en el sistema de potencia se mantengan en operación y que no aparezcan en sus salidas señales espurias, de manera de permitir la correcta operación de los sistemas de protección.

Deben tener alta disponibilidad, dependabilidad y seguridad y sus retardos deben ser compatibles con las funciones de protección.

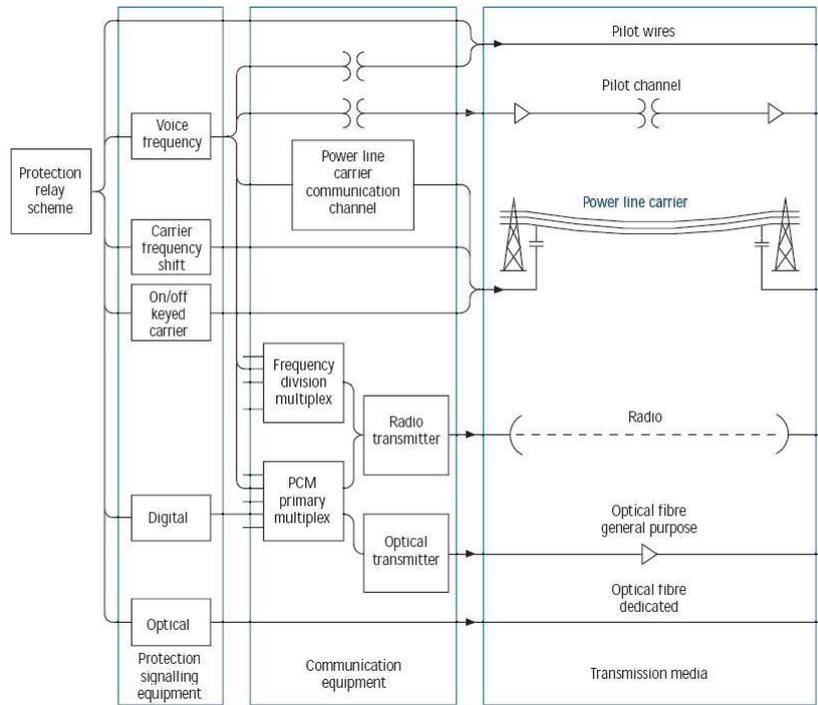
Medios físicos.

Un medio físico generalmente soporta varios canales de telecomunicación.

Los medios físicos de comunicación más usados en transmisión son

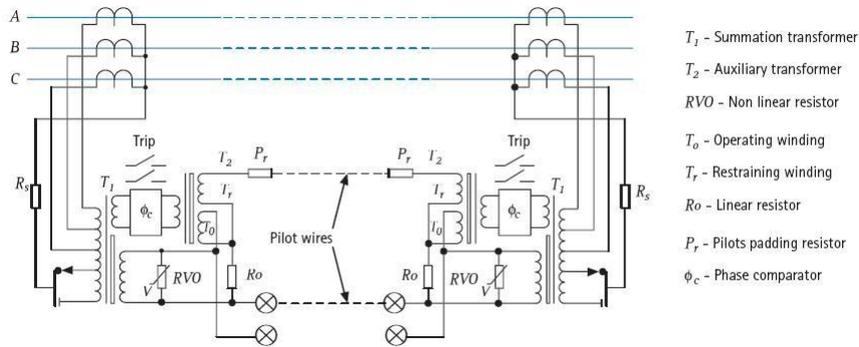
- hilo piloto
- onda portadora (power line carrier o PLC),
- microonda, y
- fibra óptica (FO, dedicada o no).

Radio no es normalmente empleada en sistemas de protección de transmisión.



Hilo piloto.

Un hilo piloto consiste en un cable multipar subterráneo o aéreo, entre subestaciones. Los pares de hilo piloto se utilizan para transmisión de contactos y señales analógicas de la protección diferencial longitudinal de líneas y cables de hasta 15 km aprox., además de brindar otros servicios (telefonía, alarmas, etc.)

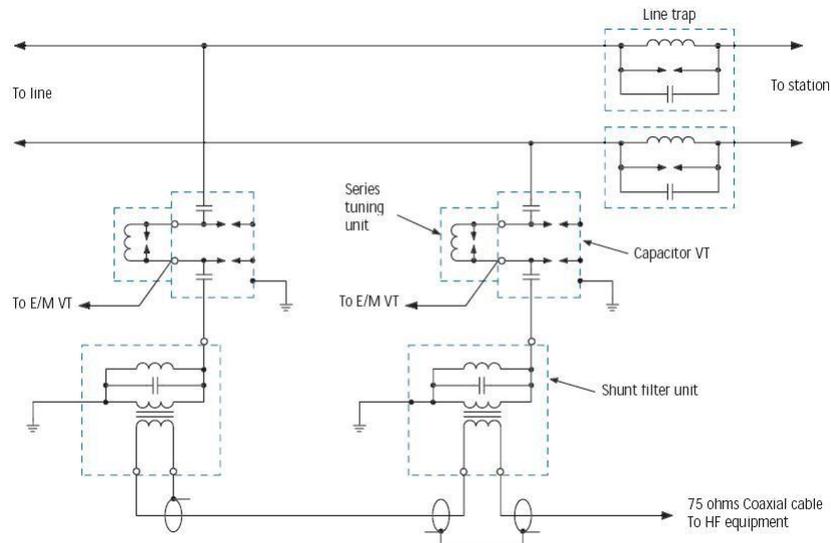


Onda portadora (PLC).

La onda portadora o power line carrier trasmite por la propia línea de trasmisión (generalmente por 2 fases).

Los equipos de comunicación se conectan a la línea de trasmisión mediante transformadores de medida de tensión capacitivos.

Las trampas de onda evitan que las señales de alta frecuencia sigan hacia la subestación, de manera que van solamente al TV capacitivo y por él al equipo receptor.



Microondas.

Los canales de comunicación por este medio tienen buen ancho de banda.
No son los más usados.

Fibra óptica (FO).

Los canales de comunicación por este medio tienen buen ancho de banda.
La fibra óptica puede ser dedicada o compartida para múltiples usos.
Es normal transmitir datos por SDH.

SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Tecnología para transportar muchas señales de diferentes capacidades a través de una jerarquía óptica síncrona y flexible. Esto se logra por medio de un esquema de multiplexado por interpolación de bytes.

La fibra óptica dedicada puede estar tendida dentro del hilo de guardia de las líneas de transmisión (OPWG) o ser subterránea.
La fibra óptica puede ser del transportista o contratada a empresas de comunicaciones.

Canales.

En los equipos de telecomunicación para protección normalmente hay:

- canales de teleprotección (más rápidos, menos seguros)
- canales de teledisparo (algo más lentos, más seguros)

Tiempos normales de operación entre la entrada del equipo de teleprotección de una subestación y la salida del equipo de teleprotección en la otra subestación son:

	Canal de teleprotección	Canal de teledisparo
Fibra óptica (FO) / SDH	5 ms	10 ms
PLC (carrier u onda portadora)	10 ms	20 ms

Las señales de teleprotección se usan tanto para habilitar como para bloquear el disparo en el extremo remoto.

Comunicación para gestión de las protecciones

Los relés de protección deben poder ser gestionados vía comunicación con un PC o sistema. Cada vez más esto se convierte en un requisito vital, en particular para analizar accionamientos y cambiar ajustes.

Según la ubicación de la computadora o sistema, la gestión es:

- Local
 - Comunicación directa sobre la propia protección
 - Comunicación mediante una red de datos local
- Remota

Funciones posibles de la comunicación para gestión son:

- Descarga de Oscilografía
- Visualización y descarga de eventos internos
- Cambio de ajustes y lógicas
- Cambio de fecha y hora
- Reinicio

Comunicación presente y futuro.

Diversos protocolos se usan para comunicar IEDs.

En particular la comunicación de datos entre protecciones y SCADAs permite eliminar las alarmas cableadas, así como transmitir y recibir datos analógicos.

Norma IEC 61850

Señales digitales ya pueden ser enviadas y recibidas mediante mensajes GOOSE entre IEDs (protecciones en particular).

En la medida que los retardos de los mensajes GOOSE sean aceptables o despreciables, muchos cableados de interconexión entre IEDs son innecesarios.

En el futuro cuando se implemente el “bus de proceso” de la norma IEC61850 los equipos intercambiarán información analógica por dicho bus.

Los transformadores de medida enviarán sus medidas por el bus de proceso y las protecciones y demás IEDs las recibirán de la misma forma.

En la medida que los interruptores soporten la norma IEC61850, los disparos de protección podrían dejar de enviarse por cableado.

Pero debe ser comparable en confiabilidad, rapidez, disponibilidad, etc.

Alarmas y señalizaciones

Las protecciones y el sistema de protección deben comunicar señales, eventos y alarmas al sistema de mando (paneles de mando, SCADA local) y el centro de control (SCADA remoto).

- Arranques y/o disparos
- Bloqueos y enclavamientos
- Falla protección
- Falla comunicación (teleprotección)
- Pérdida de continua
- etc.

También hay señalizaciones en:

- el propio relé (banderas, LEDs)
- relés auxiliares del sistema de protección para señalización

Cableados, relés auxiliares

Estos componentes juegan un papel esencial en los sistemas de protección, por lo cual deben ser elegidos, instalados y mantenidos muy cuidadosamente para mantener la confiabilidad del sistema de protección.

Los cableados interconectan los elementos del sistema de protección entre sí y con su entorno (relés, transformadores de medida, bobinas de disparo y cierre y circuitos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento del sistema).

Los cableados de los paneles e interconexión deben ser de muy alta calidad, identificando los cableados y manteniendo los planos de los mismos actualizados, para facilitar el mantenimiento, la detección de fallas y la actualización de los sistemas.

Las borneras y terminales, deben estar numeradas para su fácil identificación y para evitar conexiones que pueden ocasionar daños al equipamiento. Las borneras o terminales deben poseer la clase de aislación y resistencia mecánica que se requieren para esta clase de instalaciones.

Los cables muchas veces deben ser apantallados, ya que las subestaciones son instalaciones “ruidosas” en que deben cuidarse los aspectos de interferencia electromagnética, especialmente en instalaciones aisladas en SF6.

Las secciones de los cableados deben ser adecuadas.

Especial cuidado debe ponerse en las secciones de los cableados de corriente (pues puede afectar la precisión de las medidas de corriente si la impedancia es alta) y de disparo a las bobinas de los interruptores (pues su consumo es alto y debe considerarse la caída de tensión).

La aislación de los cableados también debe ser cuidada.

Los relés auxiliares como temporizadores, multiplicadores de contactos, relés biestables de bloqueo de cierre y enclavamiento de disparo, relés de disparo, etc. hacen a la entrada-salida entre equipos del sistema de protección y a sus lógicas.

Los relés modernos permiten realizar lógicas programables (tanto de protección como de control), que reducen las lógicas cableadas fuera de las protecciones, simplificando los cableados y mejorando la confiabilidad y disponibilidad y reduciendo el mantenimiento de relés auxiliares.

La comunicación entre IEDs (por ej. según norma IEC61850) permiten reducir los cableados entre equipos de la misma sección o de distintas secciones de una subestación. En vez de señales cableadas se mandan mensajes GOOSE.

Esto también lleva a la reducción de cableados de interconexión.

Aterramiento

Los neutros de los circuitos secundarios de medida de corriente y tensión deben estar aterrados en un solo punto.

Las cajas y gabinetes de los equipos (en particular los relés de protección y demás IEDs) y los propios paneles deben estar adecuadamente aterrados.

Los apantallados de los cables también deben ser adecuadamente aterrados.

El aterramiento debe ser efectivo tanto a frecuencia industrial como frente a los transitorios de alta frecuencia (producidos por maniobras, descargas atmosféricas, etc.).

Relés de protección o protecciones

Pueden verse como el centro de los sistemas de protección.

Los relés de protección modernos tienen funciones, capacidades y características que se tratan más adelante en detalle en el curso.

Tomas para ensayo.

Es altamente conveniente que los sistemas de protección tengan tomas de ensayo.

Se utilizan cuando se precisa ensayar o mantener un relé de protección. Mediante las tomas de ensayo se aísla momentáneamente a la protección del resto del sistema y de la instalación. Luego mediante la inserción de una ficha de ensayo en la toma de ensayo se conecta a la protección el equipo de inyección secundaria para ensayo (inyecta corrientes y tensiones al relé, maneja E/S digitales con el relé (disparo, etc.).

Hay fichas y tomas de ensayo que automatizan la actividad, cortocircuitando corrientes antes de abrirlas hacia el relé, abren las tensiones y señales de E/S, dan señal de que el relé está bajo prueba, etc.

Las actividades de ensayo podrían también hacerse desde las borneras del panel de protección si son adecuadas: seccionables, algunas cortocircuitables, con receptáculos para enchufar fichas banana, etc.

Pero la gran ventaja de las tomas y fichas de ensayo es que la manipulación es mínima y confiable. Terminado el ensayo se retira la ficha de ensayo de la toma de ensayo y se coloca su tapa. De esta manera el relé de protección vuelve a quedar operativo, minimizando la posibilidad de errores. Si se ensayara desde borneras, habría por ej. que garantizar que todas las borneras que se abrieron fueron vueltas a cerrar.

Sincronización horaria

En la actualidad y cada vez más es un requisito crítico que los IEDs tengan su hora sincronizada. La sincronización de las oscilografías, eventos y alarmas de las protecciones con los de otras protecciones e IEDs es cada vez más una necesidad relevante.

Se trata específicamente en el curso más adelante.

Bibliografía y figuras:

- Protective Relaying Theory and Applications, W. A. Elmore.
- Network Protection & Automation Guide (NPAG), ALSTOM (2002 y 2011).
- Seminario: Relay Protection in Power Systems. Sture Lindahl, Lars Messing. SwedPower.