



Consideraciones sobre el diseño de las protecciones eléctricas en sistemas industriales

Consideration about the electric protection design in industrial systems

Orlys Ernesto Torres- Breffe
Leonardo Rosell- López
Iván Pérez - Carrión
Alberto - Menéndez

Héctor Gorra- Espinosa
Javier Caballero - Aguilera

Recibido: junio del 2009

Aprobado: julio del 2009

Resumen/ Abstract

Las tendencias tecnológicas de los desarrolladores de equipamientos de protecciones eléctrica va hacia la creación de dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs), que son capaces de concentrar la protección y las funciones de control en una misma unidad. En la actualidad las industrias cubanas tienen la necesidad de modernizar sus instalaciones, encontrándose los ingenieros en el dilema de cual tecnología de protecciones eléctricas utilizar. En este trabajo son mostradas 4 diferentes estrategias para enfrentar este dilema basado en un análisis técnico y económico orientativo. Un caso de estudio real es presentado para permitir comparar las estrategias mostradas.

Palabras claves: dispositivos electrónicos Inteligentes, protecciones eléctricas

Technological tendencies of the developers of equipment of electric protection, go to the creation of Intelligent Electronic Devices (IEDs) that are able to concentrate the protection and control functions in one unit. At the present the Cuban industries have the necessity to modernize their facilities, being the engineers in the dilemma of what technology of electric protection to use. In this work are shown four different strategies to face this alternative on the base of technical analysis – economicorientatives. A case of real study is presented that allows to compare the strategies.

Keyword: Intelligent electronic devices, electric protections

INTRODUCCIÓN

Algunas de las industrias del territorio de moa poseen sistemas de protección, medición y control poco confiables y caducos por los años de explotación. Muchos de ellos corresponden con tecnología soviética o americana, pero de los años 50 o anteriores del siglo pasado.

Por las condiciones de periodo especial y más aún por las condiciones de bloqueo económico, una gran cantidad de industrias en el país presentan estas mismas condiciones tecnológicas atrasadas.

En la actualidad, a partir de la recuperación económica, se está llevando un proceso de modernización de los sistemas eléctricos tanto en los sistemas de potencia como en los sistemas industriales. La tecnología de las protecciones eléctricas ha avanzado mucho desde las primeras tecnologías electromagnéticas de los años 30 y 50 hasta la fecha. En la actualidad, modernos dispositivos electrónicos inteligentes de protección, concentran en una sola unidad las protecciones, la medición y el control necesario para un sistema dado [1-2].

ANTECEDENTES

Muchas de las industrias del territorio ya han comenzado este proceso de modernización, desde finales del siglo pasado 1995, con la adquisición de equipamientos digitales modernos, pero en casi todos los casos siguiendo una sola estrategia la cual consiste en la selección de un dispositivo electrónico inteligente para cada interruptor.

La familia de relés SR de la compañía GE Industrial Power Management está siendo instalada en casi todas las industrias del territorio con resultados aceptables hasta el momento. Más de 4 empresas poseen ya 5 años o más de experiencias con la instalación de dicha tecnología. [3]

Las industrias del níquel son consideradas grandes industrias en nuestro país y los sistemas eléctricos de potencia en ellas son muy ramificados con hasta 3 niveles diferentes de tensión. Poseen subestaciones de hasta 64 interruptores conectados a una barra colectora, generación propia, etc.

La selección de un dispositivo electrónico inteligente por cada interruptor pudiera incrementar los costos de modernización y por ende bajar productividad de las empresas. En estos dispositivos mientras más funciones posean más elevado es su precio.

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS INTELIGENTES

Los actuales dispositivos pueden realizar 3 funciones importantes: la medición, la protección y el control de los equipamientos eléctricos. Estos dispositivos corresponden con una tecnología digital basada en microcontroladores muy potentes y veloces, que permiten la realización de varias funciones simulando un trabajo en paralelo.

Actualmente se desarrollan equipos compactos [4] que pueden medir varias magnitudes eléctricas, tensión, corriente, potencia, energía entre otras, incluso varias formas de realizar la medición: mediciones cronometradas, periódicas, medición de las formas ondas, por eventos, etc.

Estos mismos dispositivos pueden poseer varias funciones de protección destinadas a la protección de un elemento del sistema eléctrico de potencia, ya sea un generador [5], un transformador [6], un motor [7], una barra, un alimentador, etc.

En la actualidad se están creando dispositivos mucho más avanzados que no solo hacen todas estas funciones de protección, medición y control sino que incluso las informaciones se envían a la computadora, se comunican entre ellos y mucho más, sus hardware pueden ser modificados [8].

Muchos son los fabricantes con liderazgo a nivel mundial en el desarrollo de estos dispositivos y en casi todas las firmas se podrán encontrar equipamientos con las mismas prestaciones.

GENERALIDADES DE LAS ESTRATEGIAS

Si se hace un análisis detallado de las tecnologías actuales [9], las no tan actuales y las futuras, se podrán obtener las siguientes estrategias para llevar a cabo estas modernizaciones industriales:

1. Concentración total
2. Superconcentración
3. Descentralización total
4. Descentralización parcial

CONCENTRACIÓN TOTAL

Esta es la variante más empleada hasta el momento en las empresas del territorio de moa. Consiste en emplear un dispositivo compacto multifunción por cada interruptor (figura 1). Este dispositivo se encargaría de las mediciones, la protección y el control necesario para el dispositivo conectado a un interruptor en particular.

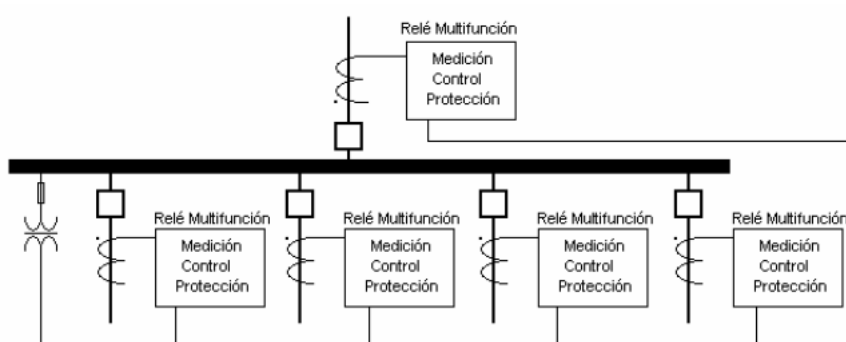


Fig. 1
ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ESTRATEGIA DE CONCENTRACIÓN

Esta variante posee muchas ventajas, entre las que se pueden enumerar las siguientes:

1. **Alta tecnología.** Eventos, comunicación con la PC y todas las ventajas que esta tecnología ofrece [10].
2. **Reducción del mantenimiento.** Como es un solo dispositivo que además debería ser compacto, entonces el mantenimiento se reduce mucho. Además son extraíbles sin afectar la continuidad del servicio.
3. **Reducido costo de instalación.** La instalación de estos dispositivos es muy rápida y sencilla.
4. **Bajo costo de Ingeniería.** Su proyección es muy sencilla. Son muy flexibles y versátiles.

Pero al mismo tiempo tienen desventajas:

1. **Alto costo por unidad.** No existen equipos a la medida de lo que se quiere y por tanto se utilizan equipos con funciones que no se necesitan para una instalación dada.
2. **Pocas reservas en el almacén.** Debido a su alto costo no es factible tener estos equipos en el almacén.
3. **Vulnerabilidad.** Si se deteriora el equipo, se pierde al mismo tiempo la protección, la medición y el control de este elemento del sistema eléctrico.
4. **Variabilidad tecnológica.** Se emplearán diferentes equipos según el consumidor que se esté protegiendo.

Estos dispositivos poseen monitores para visualizar los parámetros que se deseen por el usuario u operario, pero son pequeños monitores en los que se dificulta la visualización a distancia.

SUPERCONCENTRACIÓN

Empleando la más alta tecnología de hardware abierto se han creado dispositivos que permiten la protección, la edición y el control, de no solo un elemento del sistema sino de varios (figura 2).

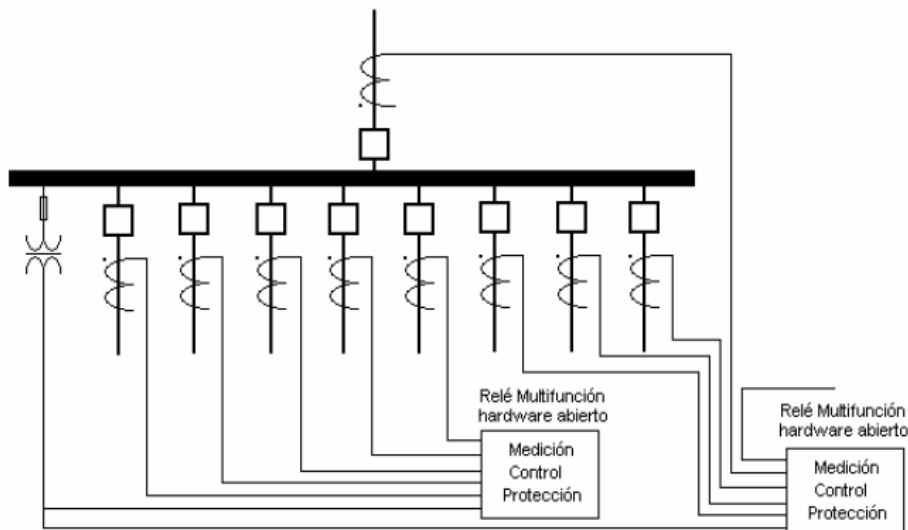


Fig. 2
ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ESTRATEGIA DE SUPERCONCENTRACIÓN.

Esta variante posee muchas ventajas, que se pueden enumerar de la forma siguiente:

1. **Alta tecnología.** Eventos, comunicación con la PC y todas las ventajas que esta tecnología ofrece. Es mucho más avanzada que la estrategia de concentración total.
2. **Reducción del mantenimiento.** Como es un solo dispositivo, entonces el mantenimiento se reduce mucho.
3. **Reducido costo de instalación.** La instalación de estos dispositivos es muy rápida y sencilla.
4. **Bajo costo de Ingeniería.** Su proyección es muy sencilla. Son muy flexibles y versátiles.
5. **Estandarización de los equipos.** Se emplearía un mismo dispositivo para varios equipamientos y por tanto la preparación de los técnicos es mucho menos costosas, la sustitución más sencilla y menos costosa.
6. **Modularidad.** Estos equipos funcionan con la combinación de varios módulos, por tanto se pueden tener respaldo de estos en los almacenes.

Pero al mismo tiempo tiene desventajas:

1. **Alto costo.** Los dispositivos que se crean con esta tecnología tienen alto costo, pero cuando se analiza por unidad el costo disminuye varias veces, en la medida que aumenta el número de interruptores concentrados.
2. **Vulnerabilidad.** Si se deteriora el equipo, se pierde al mismo tiempo la protección, la medición y el control de varios elementos del sistema eléctrico.

DESCENTRALIZACIÓN TOTAL

A partir del desarrollo del Bus de Campo se han construido dispositivos de medición, protección y control que se conectan a un BUS y se transmiten información entre ellos y hacia una PC remota. Este desarrollo ha alcanzado hasta los propios Transformadores de Corrientes, sensores, analizadores de red, relés, PLC, etc.

Esta tecnología propone una descentralización total de los sistemas. Para controlar un interruptor serían necesarios varios equipos pero todos con un funcionamiento autónomo.

Esta variante posee varias ventajas que se pueden enumerar de la forma siguiente:

1. **Alta tecnología.** Eventos, comunicación con la PC y todas las ventajas que esta tecnología ofrece.
2. **Relativamente baja vulnerabilidad.** La rotura o defecto de cualquier equipo no representa la detección del sistema. Cada equipo trabaja de forma autónoma e independiente de otros.

3. **Bajos Costo por unidad.** Estos equipos que se pueden seleccionar a la medida no son muy costosos, pero el sistema en su conjunto es más caro que las variantes anteriores.
4. **Reservas en almacenes.** Garantizando una estandarización adecuada, se pueden tener reservas en el almacén por que sus costos no son elevados.
5. **Flexibilidad para la ampliación.** Cada equipo puede cambiarse por uno más moderno sin que eso represente un cambio total y radical de la tecnología.

Pero al mismo tiempo tiene desventajas:

1. **Costo de ingeniería.** La proyección de tales instalaciones se hace más compleja y costosa. Serían muchos equipos y muchos de ellos funcionarían combinados, la selección de los protocolos de comunicación, los rangos de operación, y otros aspectos deben seleccionarse de forma muy precisa.
2. **Nuevos TC y TP.** No se pueden emplear los mismos transformadores de corriente (TC) y potencial (TP) que antes, estos también deben estar conectado al BUS. Eso representan un costo muy elevado.
3. **Vulnerabilidad.** Aunque la vulnerabilidad es baja, los defectos en el BUS detienen el funcionamiento del sistema por completo. Los BUS son partes muy vulnerables.

DESCENTRALIZACIÓN PARCIAL

Existen equipos, que empleando la misma tecnología del BUS de Campo, permiten descentralizar los sistemas de medición, protección y control en equipamientos por separados que concentren cada sistema por separado.

Los analizadores de redes se ocuparían de las mediciones. Los relés digitales multifunción a la medida de la instalación se ocuparían de las protecciones. Los Controladores Lógicos Programables se ocuparían de las funciones de control que son varias (figura 3).

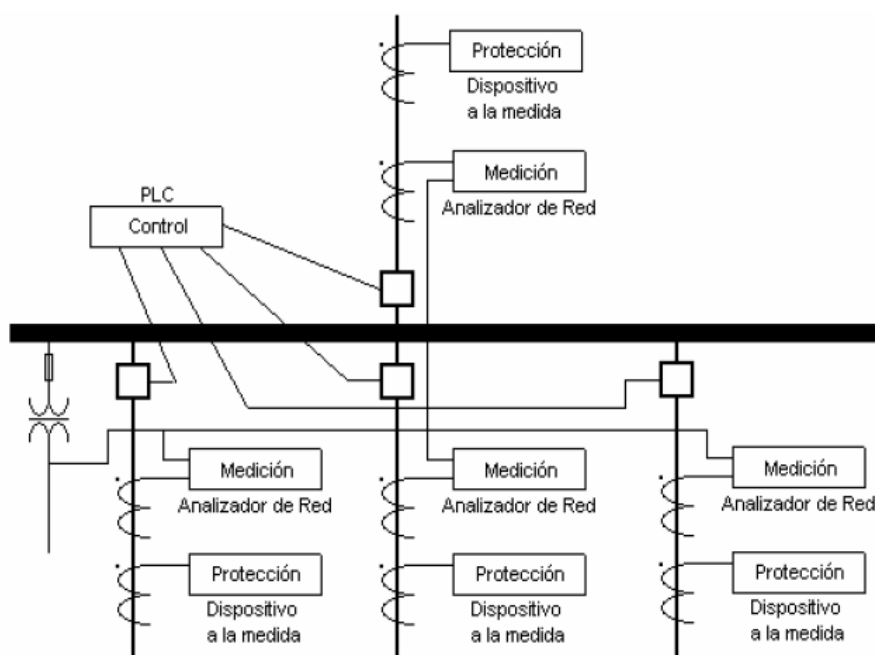


Fig. 3

ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ESTRATEGIA DE DESCENTRALIZACIÓN PARCIAL

Esta variante posee varias ventajas que se pueden enumerar de la forma siguiente:

1. **Alta tecnología.** Eventos, comunicación con la PC y todas las ventajas que esta tecnología ofrece.
2. **Relativamente baja vulnerabilidad.** Todos los sistemas no se ven afectados con la rotura de un sistema, por el contrario, solo un sistema se vería afectado, el que está afectado.
3. **Relativo bajo costo.** El costo de estos equipos son menores que las variantes 1 y 2, dado que se pueden seleccionar la medida de lo que se necesita.
4. **Equipos a la medida.** Aunque los elementos del Sistema Eléctrico de Potencia sean diferentes (motores, transformadores, alimentadores, u otros) las funciones de medición, protección y control pueden que sean las mismas y por tanto se empleen los mismo equipos en cada interruptor.

5. **Reservas en almacenes.** Por su bajo costo se podrán tener reservas en los almacenes de estos equipos que deben ser los mismos dado que se seleccionan a la medida de las necesidades.
6. **Flexibilidad para la ampliación.** Cada sistema puede desarrollarse de forma separada, la instalación o modernización incluso puede ser paulatina.

Pero al mismo tiempo tiene desventaja:

1. **Costo de ingeniería.** La proyección de tales instalaciones se hace más compleja y costosa. Serían más equipos proyectar e instalar.

CASO DE ESTUDIO

La subestación 1PP de la Empresa de Níquel Comandante Ernesto Che Guevara es de 10 kV y están conectados los consumidores de mayor importancia productiva. Está compuesta por 4 sesiones de barras con 64 interruptores, pero de ellos 56 activos. Cada sesión de barra se alimenta mediante un interruptor de potencia a diferentes fuentes y por su importancia productiva, entre ellos debe existir posibilidad de interconexión automática. Además, en estas sesiones se realiza la descarga instantánea y por frecuencia de una gran cantidad de equipamientos. Estas descargas y las transferencias antes mencionadas son funciones de control generales de la subestación.

A partir de la visión de que la energía no es un subsistema sino una materia prima, el conocimiento de la energía consumida o transferida a otras partes se hace mayor y por tanto, en cada consumidor sería necesario un sistema medición adecuado.

Como en la empresa ya han venido empleándose los equipos de la compañía Canadiense GE Power Management se hará una comparación de 3 de las 4 variantes empleadas con equipamientos de la misma compañía. Se desprezará el costo de instalación, de transportación, aduana, mantenimientos porque se considerará el mismo para cualquiera de las variantes. Solo se tomará en cuenta el costo de los equipamientos dejando al análisis solo al nivel de lo orientativo, sin pretender hacer un estudio de factibilidad en detalles.

CONCENTRACIÓN TOTAL

Para concentrar todas las exigencias de medición, control y protección de esta subestación, se debe escoger un relé del tipo SR-750. El relé SR-750 tiene un precio de 5.947\$ lo que de instalarlo en los 56 interruptores activos de la subestación sería necesario un financiamiento de 333.032\$.

Claro que la instalación y puesta en marcha sería más costosa y para las condiciones de contaminación de la industria sería necesario incrementar el IP de equipamiento seleccionado.

SUPERCONCENTRACIÓN

En esta compañía GE Power Management, existe un relé UR-F35 que es conocido como Multifeeder, dado que se emplea para concentrar hasta 6 alimentadores en un mismo equipo. De la misma alta tecnología o superior que la variante anterior.

Estos relés tienen un precio de 13000\$ por unidad, que de instalarlos para 56 alimentadores, se necesitaría 10 dispositivos de este tipo, lo que incrementa un financiamiento de 130.000\$ (figura 4).

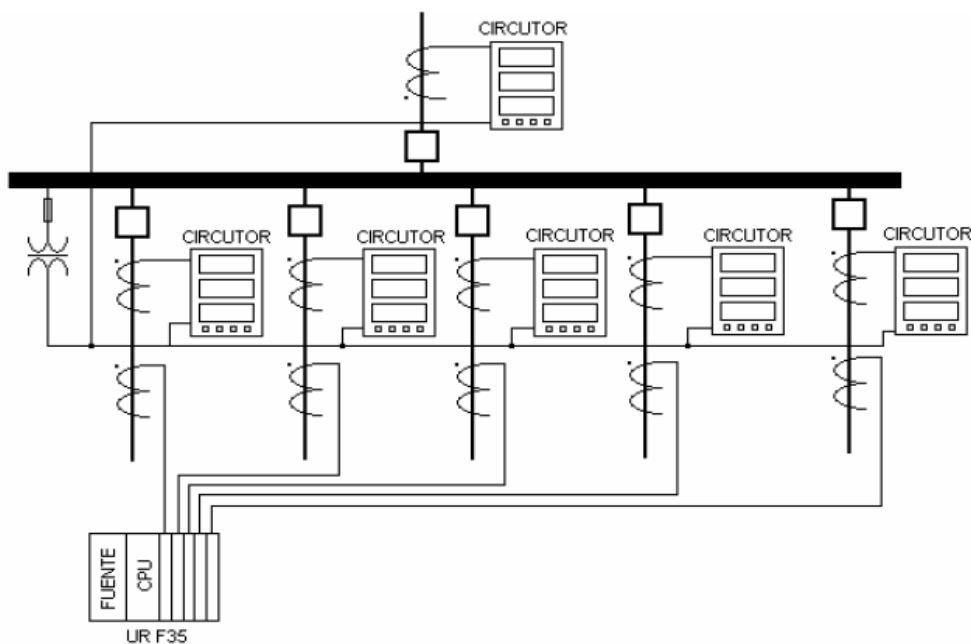


Fig. 4

ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ESTRATEGIA DE SUPERCONCENTRACIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO.

Utilizándolo para concentrar 6 consumidores en un mismo equipo aunque se pueden hacer todas las funciones que se necesiten, no se pueden hacer las mediciones necesarias, por tanto sería necesario adicionar un analizador de red.

Un analizador de red de la familia CIRCUTOR con las exigencias de comunicación con PCs a través de un BUS, que mida energía entre otras funciones tiene un precio de 448\$ por tanto para instalarlo en 56 consumidores sería necesario un financiamiento de 25.088\$.

En total esta variante por equipamiento solo necesitaría de 155.088\$ lo cual representa -178.232 \$ que la variante anterior. Es decir, que con 53.5% del costo de la variante anterior se puede llevar a cabo esta nueva variante.

Claro que la subestación está diseñada para tener los equipos instalados en cada consumidor y por tanto se adicionaría costos porque ahora la protección no estaría situada en el mismo gabinete del interruptor del consumidor.

Aunque esta variante es mucho menos costosa que la anterior su vulnerabilidad es mucho mayor. Si se deteriora uno de estos relés UR-F35 se quedan sin protección 6 consumidores.

DESCONCENTRACIÓN PARCIAL

Para lograr las exigencias de las mediciones en cada consumidor se puede emplear un analizador de red de la firma CIRCUTOR con un precio de 448 \$ y por tanto sería necesario un financiamiento de 25.088\$ para las mediciones.

Las exigencias de protección no pasan de:

- 50 - Relé de sobrecorriente instantáneo.
- 51 - Relé de sobrecorriente de tiempo.
- 51G - Relé de sobrecorriente de tiempo de tierra.

Estas son funciones de protección muy básicas y se pueden lograr con relés muy baratos y sencillos. El relé SR-735 tiene un precio de 1.988\$ y para instalarlo en los 56 interruptores activos de la subestación sería necesario un financiamiento de 111.350\$

Para realizar las funciones de control se emplearía un PLC de gama baja. La empresa está adquiriendo PLC de la compañía SIEMENS y seleccionando una arquitectura basada en un S7-200, con redundancia sería necesario un financiamiento de 15.350\$

En total esta variante (figura 5) solo por equipamiento necesitaría un financiamiento de 151.788\$ lo cual representa - 181.244\$. Es decir, que con el 45.6% del costo de la primera variante se hace esta variante.

Esta variante es mucho menos costosa que la primera variante y al mismo tiempo menos vulnerable que las variantes anteriores, pero el trabajo de ingeniería es mucho mayor. El costo de instalación es ligeramente superior a los anteriores porque son mucho más equipamientos por cada consumidor.

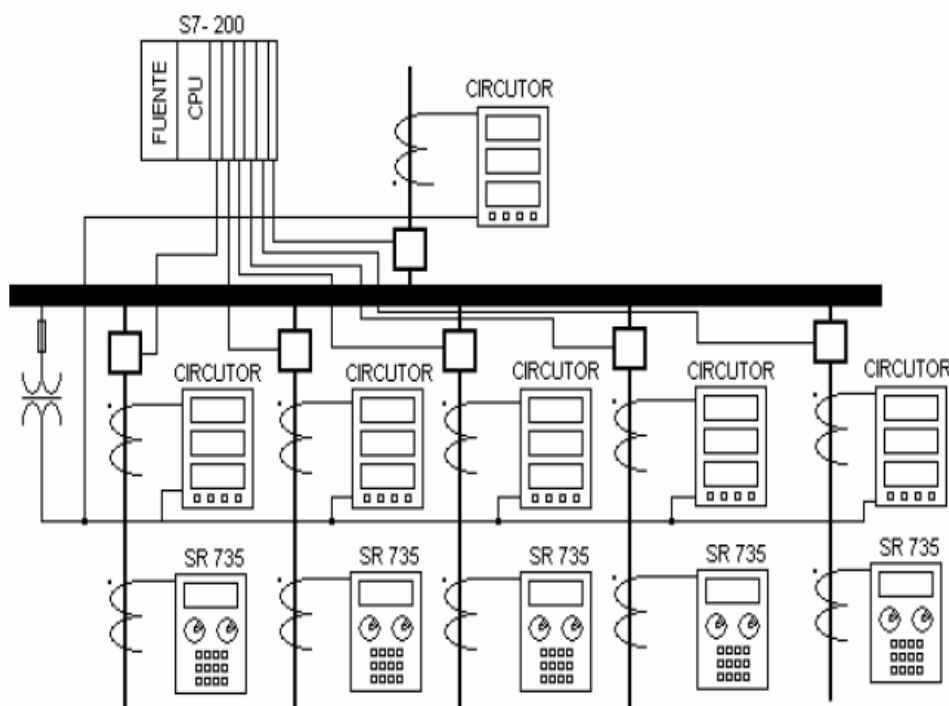


Fig. 5

ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ESTRATEGIA DE DESCENTRALIZACIÓN PARCIAL PARA EL CASO DE ESTUDIO

La mayoría de las empresas del níquel del territorio de moa, están realizando las modernizaciones de sus protecciones siguiendo la primera de las variantes explicadas. Con un cambio de estrategia hacia cualquiera de las otras dos variantes ejemplificadas (superconcentración o descentralización parcial) representaría un ahorro significativo de recursos financieros para las empresas.

La empresa Comandante Pedro Soto Alba está introduciendo a partir de este año 2007, este concepto en los diseños de protección que aplica a sus subestaciones de distribución. En las subestaciones de esta empresa se están instalando relés UR-C60 y UR-F35 en lugar de la estrategia inicial empleada con relés SR-750.

CONCLUSIONES

Como conclusión de este trabajo se puede destacar lo siguiente:

1. Existen numerosas tecnologías en la actualidad que permiten realizar las modernizaciones de los sistemas de protecciones, medición y control a una muy elevada calidad.
2. Las tecnologías que utilizan la estrategia de superconcentración y la descentralización parcial de los sistemas de protección, medición y control se destacan por sus inversiones menos costosas.
3. La superconcentración tiene como desventaja la alta vulnerabilidad de los sistemas en caso de la rotura de una unidad, pero es muy ventajosa en cuanto a la operatividad y el proceso de mantenimiento futuro de la tecnología.
4. La descentralización parcial tiene como desventaja el aumento de la ingeniería de detalle, pero como ventaja la menor vulnerabilidad y el mantenimiento futuro de la tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Al taller eléctrico de las empresas Comandante Ernesto Che Guevara y Comandante Pedro Soto Alba, fundamentalmente a los compañeros de los laboratorios de protecciones eléctricas, el grupo técnico y desarrollo; así como a los ingenieros de la empresa René Ramo Latour de Nicaro y la Termoeléctrica de Felton.

REFERENCIAS

- [1] SCHNEIDER (España)_ SEPAM 2000 Relé Multifunción _2004.
- [2] SIEMENZ (Alemania)_ Catálogo de Relé Multifunción SIEMENZ_ 2004.
- [3] GE POWER MANAGEMENT (Canada)_ Multifunction Relay_2004
- [4] GE POWER MANAGEMENT (Canada)_ SR-750 Feeder Management Relay _2004.
- [5] GE POWER MANAGEMENT (Canada)_ SR-489 Generator Management Relay _2004.
- [6] GE POWER MANAGEMENT (Canada)_ SR-745 Transformer Management Relay _2004.
- [7] GE POWER MANAGEMENT (Canada)_ SR-469 Motor Management Relay _2004.
- [8] GE POWER MANAGEMENT (Canada)_ UR-F35 Multifeeder Management Relay _2004.
- [9] Kezunovic, M. Sidhu, T. S. et al. Bibliography of Relay Literature 1996. IEEE Transaction on Power Delivery, 13(1), pp. 78-84, Jan. 1998.
- [10] L & K INTERNATIONAL VIDEOTRAINING. Introducción a Relés Estáticos. Ontario, 1991.

AUTORES

Orlys Ernesto Torres Breffe

Ingeniero Eléctrico, Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Auxiliar. Centro de Investigaciones y pruebas eléctricas, CIPEL. Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cujaje, La Habana, Cuba.
otorres@ismm.edu.cu

Leonardo Rosell López

Ingeniero Eléctrico. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara
rosell@ECG.moa.minbas.cu

Iván Pérez Carrión

Ingeniero Eléctrico, Master en Ciencias. Profesor Auxiliar. Empresa de Servicios del Níquel (SERCONI).
jperez@SERCONI.moa.minbas.cu

Alberto Menéndez

Ingeniero Eléctrico, Profesor Instructor. Central termoeléctrica de Felton.
albertom@ctefelton.une.cu

Hector Gorra Espinosa

Ingeniero Eléctrico, Empresa Comandante Pedro Soto Alba.
hgorra@moanickel.com.cu

Javier Caballero Aguilera

Ingeniero Eléctrico, Profesor Instructor. Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez.
jcaballero@ismm.edu.cu