



La electrónica en auxilio de los transformadores de corriente. Transformador de corriente seudosaturable

Alberto N. Basanta
Orestes Hernández

Julio del 2001

Resumen / Abstract

Los transformadores de corriente (TC) que se utilizan para mediciones, deben garantizar, además de una buena clase de exactitud, la protección de los equipos a ellos conectados, cuando la corriente alcance un valor peligroso. La manera tradicional de proveer esta protección en los TC, es mediante la utilización de núcleos ferromagnéticos especiales, denominados núcleos saturables; estos últimos tienen un costo que como promedio es once veces superior al núcleo de acero silicio corriente. A la solución que aquí se presenta se le ha denominado transformador de corriente seudo saturable, logrado mediante la conexión en paralelo de un módulo electrónico, al secundario de un transformador de corriente de acero silicio corriente, lo que garantiza la protección que necesitan los instrumentos de medición a él conectados, con un costo 6,6 veces menor respecto al TC tradicional con núcleo saturable. Esta simple propuesta es una patente cubana.

Palabras clave: Transformadores para instrumentos, transformadores de corriente, transformadores de medición

Measurement currents transformer (CT), should warrant in addition to a good accurate class, the protection to the measurement equipments connecting them, while the current be a dangerous magnitude. The traditional manner to provide this protection to the CT, is using specials ferromagnetics cores, namely saturables cores, these cores have a cost that is eleven times higher than the commune silicon steel core cost. The present solution is called pseudo saturable current transformer, obtained by the parallel connection of an electronic module to the secondary winding of silicon steel core current transformer, this warrant the necessary protection to the connecting measurement instruments, with a cost 6,6 times smaller than the traditional saturable core CT cost.

Key word: Current transformer, instrumentation transformers, measurement transformers

INTRODUCCIÓN

Hasta el momento, los transformadores de corriente (TC) destinados para alimentar equipos de medición tienen que ser capaces de comenzar el proceso de saturación cuando la corriente en el primario excede a la nominal en una magnitud que está determinada por el factor nominal de seguridad (FNS), lográndose así limitar la corriente inducida en el secundario y con ello dar una adecuada protección a las bobinas de corriente de los instrumentos a él conectados, ante una sobrecorriente peligrosa, como por ejemplo, una

corriente de cortocircuito. A este tipo de TC con núcleo saturable se le denomina transformador de corriente saturable (TCS).¹

El FNS se define como:

$$FNS = CMS/I_{pn}$$

donde:

CMS: Valor que se escoja o se considere apropiado como corriente máxima de seguridad que circulará por el primario del TC.

I_{pn} : Corriente nominal del primario de TC.

Cuando por el primario del TCS circula la CMS debe cumplirse que la corriente por su secundario, multiplicada por el inverso de la relación de transformación nominal (I_{pn}/I_{sn} ; donde I_{sn} es la corriente nominal del secundario), sea menor o igual a 0,9 veces la CMS. Por ejemplo, si se desea un FNS=5 para un TCS de 50A/5 A, su núcleo (especial) deberá comenzar a saturarse cuando en el primario circulen 250A, lo que implicaría que en su secundario circularan 22,5 A. Nótese que si no hubiese comenzado a aparecer el proceso de saturación, la corriente en el secundario sería 25 A. Un incremento de la corriente primaria por encima de la CMS, hace que el núcleo del TC se sature abruptamente y la corriente en el secundario crecería muy poco por encima de los 22,5 A, dando protección por tanto a los instrumentos a él conectados. Se considera que un FNS es de valor bajo, si el mismo es menor o igual a 10.

De lo anterior se evidencian las ventajas de un núcleo saturable, que se logra con aleaciones precisas, aunque a un costo relativamente elevado, que como promedio es 11 veces superior al de un núcleo de acero silicio corriente. Un núcleo muy utilizado en estos TCS, es el de chapas de acero al níquel (o mumetal), que posee una elevada permeabilidad magnética y una saturación abrupta.

Pretender producir en Cuba un TC para uso en medición con núcleo de acero especial sería una opción casi prohibitiva.

ANTECEDENTES QUE PERMITIERON LOGRAR UN NUEVO TIPO DE TC

Desde hace algunos años la Unión Nacional Eléctrica (UNE), ha manifestado su interés de producir TC en Cuba. Con este fin se trabajó en una colaboración entre la Organización Básica Eléctrica (OBE) de Ciudad de La Habana (la empresa de la UNE que da el servicio de transmisión y distribución de energía eléctrica en Ciudad de La Habana) y el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), de la Facultad de Ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE); para llevar a cabo las investigaciones, diseños y prototipos que condujeron a una producción reducida de diez TC en el año 1989. Esta serie cero en la que se utilizaron núcleos disponibles de acero silicio corriente, calidad M-3, se concibió de modo experimental con el fin de poder valorar en la práctica la factibilidad de la fabricación de estos equipos nacionalmente.

Los datos nominales de los TC logrados fueron:²

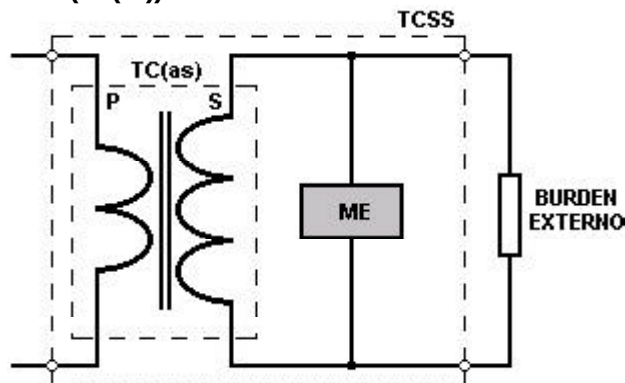
- Clase de aislamiento 15 kV
- Clase de exactitud 0,5
- Corriente primaria 50 A
- Corriente secundaria 5 A
- Burden de exactitud 15 VA

Como es lógico estos TC no podían brindar protección ante sobrecorrientes peligrosas a los equipos de medición que se le conectasen, pues en ellos no fueron utilizados núcleos especiales (saturables).

EL NUEVO TC

Para dar solución a la necesidad de diseñar un TC para medición, que brindase protección a los instrumentos que se le conecten sin utilizar un núcleo especial, se decidió, adicionar al TC(as) logrado en el año 1989, un bloque al que se le ha denominado módulo electrónico (ME), que sin necesidad de una fuente de energía adicional, detecta si la de corriente máxima de seguridad (CMS) es superada y mientras esa condición permanezca presente, derivará a través de él a la misma. De esta forma, al no circular la sobrecorriente por los instrumentos conectados en el secundario del TC se logra un efecto de protección semejante (aunque con otro principio de funcionamiento) al tradicional TC saturable (TCS). A este nuevo TC logrado se le ha denominado transformador de corriente seudosaturable (TCSS). Para el prototipo se escogió un FNS=5 (que se considera un factor bajo), lo que determina una CMS de 250 A en el primario, por lo que, al no ser su núcleo saturable y atendiendo a la relación de transformación, en el secundario la corriente será 25 A.

En la figura 1 puede verse el esquema que representa el TCSS, logrado mediante la conexión en paralelo del módulo electrónico (ME), al secundario (S) de un, (TC(as)).



Transformador de corriente seudosaturable (TCSS). Transformador de corriente de acero silicio corriente (TC(as)). Módulo electrónico (ME).

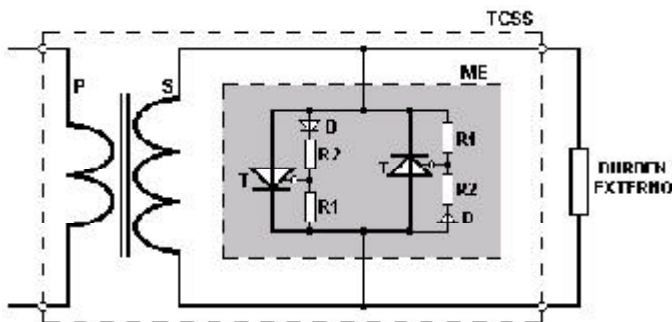
La impedancia equivalente resultante del (ME), en paralelo con el (o los) instrumentos de medición (burden externo), constituyen la carga (burden total del TC) conectada al secundario (S) del TC(as), como se muestra en la figura 2.

Como es lógico, el ME se diseña para que el mismo tome una corriente despreciable en comparación con la que toma el burden externo, no obstante, esta carga inherente a la nueva solución técnica, es considerada en el diseño del TCSS, para que el mismo cumpla la relación de transformación con la clase de exactitud nominal prevista, que en este caso es 0,5.

En el esquema eléctrico del ME de la figura 2, los dos tiristores (T) en conexión en antiparalelo, son los encargados de derivar casi la totalidad de la corriente del secundario del TC, a partir de la CMS que por relación de transformación aparecerá en el mismo, lo que se logra gracias al divisor de tensión formado por R1 y R2 que tiene asociado cada T. La tensión en R1 constituye la tensión de compuerta del tiristor. Por otro lado la suma de los valores de R1 y R2 debe ser la mayor posible para que "cargue" poco al TC, pero que a la vez permita circular la necesaria corriente de compuerta para el encendido seguro del T, cuando sea sobrepasada la corriente de ajuste.

El TC(as), parte integrante de TCSS, no se saturará para un FNS = 5, por lo que existirá prácticamente una dependencia lineal entre la corriente del secundario del TC y su tensión, lo que hace posible realizar la selección de las resistencias del divisor, para así garantizar la excitación de los T cuando se alcance o sobrepase el FNS.

Los diodos D evitan que los divisores de excitación de cada T queden en paralelo entre sí, garantizando que el ME tenga una impedancia mayor y por tanto el mismo represente una menor carga, mientras el TCSS opere en condiciones normales.



Esquema circuitual del módulo electrónico (ME), atributo principal del TCSS.

2

Los D también permiten que no aparezca tensión inversa en las compuertas de los T. Como se evidencia, sobrepasado el FNS, cada T con sus elementos de excitación, se hacen activos alternadamente en cada semiciclo de la tensión secundaria del TC(as).

Para diseñar el TCSS son necesarios los siguientes datos:

- Factor nominal de seguridad deseado (FNS).
- Corrientes nominales del primario y del secundario del TCSS.
- Volt-Amper nominales del TCSS.
- Tensión y corriente de disparo seguro, para la excitación de los tiristores del ME.
- Mayor valor de corriente de cortocircuito en el lugar previsto para la instalación del TCSS.

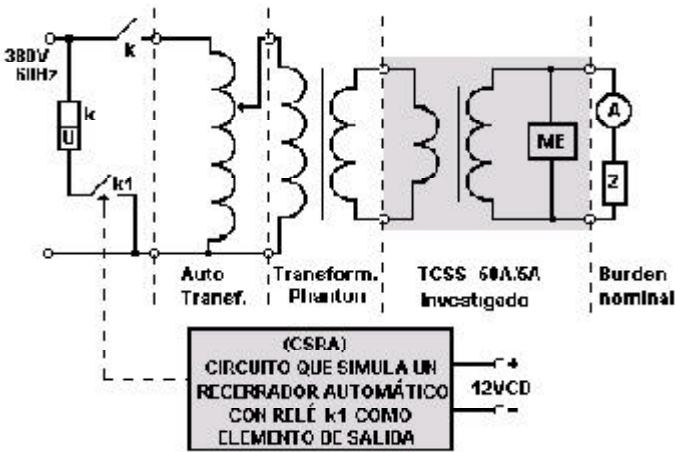
UNA COMPROBACIÓN IMPRESCINDIBLE QUE SE LE REALIZÓ AL TCSS

Como se sabe, cuando en un sistema electroenergético ocurre una sobrecorriente no permisible, el mayor tiempo que permanecerá este estado anormal de operación, estará determinado en última instancia, por el recerrador automático que respalda a los diferentes dispositivos que coordinadamente deben dar protección a una determinada línea. Por lo anterior, durante ese tiempo todos los elementos componentes del sistema electroenergético deben soportar el elevado esfuerzo termodinámico a que estarán sometidos sin sufrir avería, a lo cual no estaría exento un TCSS que estuviese en servicio en la línea sometida a la sobrecorriente, ni su bloque más sensible, el ME.

Era imprescindible entonces evaluar este nuevo TC, para lo cual se preparó una posición de investigación en el laboratorio que responde al esquema de la figura 3, escogiéndose como valor de sobrecorriente para el primario del TC, la máxima de diseño del ME, que para este prototipo era de 500A, o sea, 10 veces superior a la corriente primaria nominal del TCSS investigado. Esta intensidad de corriente de 500 A constituye el doble de la CMS de ajuste del ME, pues como se indicó más arriba, el mismo se hizo para dar protección a partir de 250 A en el primario del TCSS o sea FNS = 5.

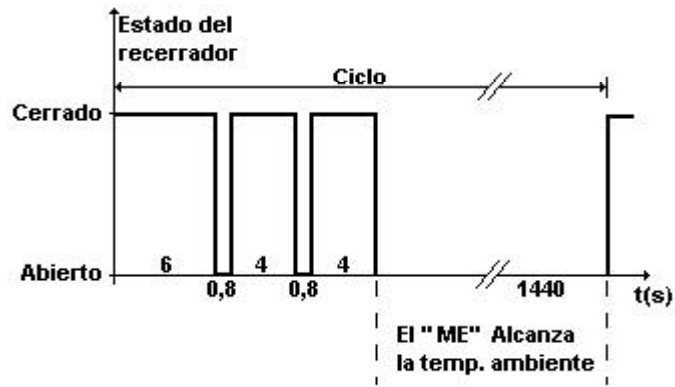
CIRCUITO SIMULADOR DEL RECERRADOR AUTOMÁTICO (CSRA)

Estas temporizaciones son muy conservadoras, pues los tiempos de cierre son superiores y los de apertura inferiores a los de ajustes prácticos, además, se consideraron tres recierres que es el mayor número de ellos en la práctica (figura 4).



Esquema circuital básico de la posición de laboratorio para efectuar prueba al TCSS.

3



Ciclo de operación preprogramado al circuito simulador del recerrador automático

4

De esta manera, el ME estuvo sometido en los trabajos de evaluación de laboratorio a un régimen severo de pruebas. Cabe señalar que el CSRA cuenta además con un contador de eventos que acumula el número de operaciones de recierre efectuadas al TCSS investigado, con el esquema de la figura 3 y con el ciclo de temporizaciones descrito en la figura 4. Como se muestra, después de concluido el último recierre de cada ciclo, transcurre un tiempo de apertura de 1440 s (24 min), previsto para que el TC(as) y el ME alcancen la temperatura ambiente, pues en la práctica, cuando se completa el período de recierres programado en un recerrador automático, el mismo permanece abierto (y con él la línea) y transcurre un tiempo superior a este antes de "calentar" o energizar nuevamente la línea abierta, pues es imprescindible esperar que los especialistas analicen y evalúen las causas de la apertura, para que finalmente los operarios efectúen las acciones precisas antes de producir un nuevo cierre.

BREVE REFLEXIÓN EN EL ÁMBITO ECONÓMICO

Un núcleo saturable de acero al níquel o mumetal, tiene un costo 11 veces superior con respecto a un núcleo de acero al silicio corriente. Si este último núcleo es utilizado en un TC, el mismo representaría el 60 % de su costo total. Si a este TC se le adiciona un ME entonces su costo total se incrementa en un 6%. Por todo lo anterior un TCSS tiene un costo 6,6 veces menor en comparación con un TCS, lo cual representa un sustancial ahorro (tabla 1).

Tabla 1				
Tipo de TC	Costo (%)			(Costo TC) (costo TCSS)
	Núcleo	Resto de los componentes	Costo del TC	
TC (as)	60	40	100	0,94
TCSS	60	46	106	1,00
TCS	660	40	700	6,60

CONCLUSIONES

Se logró un transformador de corriente seudosaturable, TCSS, del cual se resumirán sus principales características, pruebas realizadas y sus ventajas:¹

- Se obtuvo un TCSS para uso en medición de 50 A/5 A, 15 VA, clase de aislamiento 15 kV, clase de exactitud 0,5, factor nominal de seguridad 5, adicionando un módulo electrónico a un TC con núcleo de acero silicio corriente.
- No se necesita un núcleo de acero especial, si no uno de acero silicio corriente con un costo aproximado 11 veces inferior.
- El módulo electrónico es extremadamente simple y barato y no requiere fuente de alimentación externa.
- A diferencia de los TC saturables, la corriente máxima de seguridad puede ser ajustada fácilmente y de manera precisa.
- Las condiciones de operación se restablecen automáticamente cuando la corriente primaria es menor a la máxima de seguridad (al igual que en el tradicional TC saturable).
- Con el esquema de la figura 3 se le efectuaron al TCSS en pruebas de laboratorio, 48 ciclos completos de operación (como el de la figura 4) con el doble del factor nominal de seguridad, o sea, 500 A durante cada uno de los 144 recierres "simulados". Estos 500 A coinciden con la máxima de diseño del ME (para este prototipo en particular).

- El costo del TCSS es 6,6 veces menor en comparación con el convencional TC saturable.

Por último, este TCSS constituye una Patente, cuyos datos pueden encontrarse en la referencia 3.

REFERENCIAS

1. Hernández Aréu, O.; A. Basanta y D. Terrero J.: "Diseño de transformadores de corriente seudo saturable", en *Memorias de la II Jornadas Latinoamericanas en alta Tensión y Aislamiento Eléctrico*, Aguas Calientes, México, 1998.
2. Hernández Aréu, O. y D. Terrero J.: "Diseño y construcción de transformadores de corriente", *Ingeniería Energética*, Vol. XV, No. 3, Ciudad de La Habana, 1994.
3. Basanta Otero, Alberto N.; Orestes N. Hernández Aréu: "Transformador de corriente seudosaturable",

Certificado de Autor de Invención No. 22576, Resolución No. 884/1999, mayo 21/1999, Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. Clasificación Internacional de Patentes de la Sexta Edición, HO2H 9/02.

AUTORES

Alberto N. Basanta Otero

Ingeniero Electricista, Máster en Ciencias, Asistente, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE)

Orestes Hernández Aréu

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Titular, CIPEL, ISPJAE, Ciudad de La Habana.

e-mail: orestes@electrica.ispjae.edu.cu



LATINO

Usted puede contactarnos en:

FÁBRICA DE TRANSFORMADORES LATINO
 Ave. Independencia km 6 ½
 Capdevila, Boyeros.
 Ciudad de La Habana.
 CUBA
 Teléfono: 45-1067
 Email: homero@obech.cu

Si de Transformadores se trata Latino es su Destino.