

### *Visión General*

El Modelo Power Sentinel 1133A consiste de varios bloques. Estos son: receptor GPS y sincronización, entradas de corriente y voltaje, amplificadores de ganancia programables, multiplexores y convertidores análogo – digital, procesador de señales digitales, procesador host, pantalla y teclado.

El Modelo 1133A usa dos procesadores para manejar las numerosas tareas que son realizadas cada segundo en este instrumento altamente integrado. Las tareas de análisis de señal son hechas por una unidad DSP de punto flotante TI TMS320C32. Las funciones de E/S y las interfaces con el “mundo real” son manejadas por un controlador de 16 bits ST 10F167. Ambos procesadores tienen poder adicional de procesamiento que no fue usado en la versión original del 1133A. Esto permitirá futuras expansiones de funciones, que seguramente serán agregadas, con una mínima cantidad de cambios; de hecho, muchas mejoras futuras serán posibles sólo con una actualización de firmware.

### *Sincronización GPS*

El Modelo 1133A incluye un receptor GPS de ocho canales, el cual provee tiempo a una precisión de una fracción de un microsegundo en cualquier parte del mundo. Utilizando la tecnología propietaria desarrollada por Arbiter Systems y refinada en las diferentes generaciones de productos de relojes GPS, un oscilador interno de cristal de 10 MHz es esclavizado a la salida de 1PPS del receptor GPS, manteniendo su frecuencia en cualquier tiempo dentro de unas pocas partes de  $10^{10}$ . Todas las señales de tiempo internas son derivadas de esta precisa base de tiempo.

### *Entradas de corriente*

El Modelo 1133A tiene una entrada trifásica de corriente la cual está diseñada para tener una precisión de unos pocos ppm bajo cualquier tiempo y temperatura (ver Análisis de Error). Esta sección de corriente usa un proceso de dos etapas, similar a un transformador de corriente de dos etapas, excepto que la primera etapa está acoplada por dc.

Cada una de estas etapas tienen una precisión de unas pocas décimas de uno por ciento; juntas, tienen una precisión de unos pocos ppm.

### *Entradas de Voltaje*

Las entradas de voltajes utilizan una red divisora de voltaje (atenuadores) de TC bajos. Esta entrada puede ser configurada trifásica, tres elementos, con cuatro conexiones (A, B, C, y opcionalmente N); o puede ser configurada como entrada de dos elementos, con conexiones independientes a cada elemento (A+, A-, C+, C-, por ejemplo).

### *Autocalibración*

Las secciones de entradas están diseñadas para proveer una excelente estabilidad sobre tiempo y temperatura a través del uso de varios componentes de alto desempeño (y relativamente costosos). El resto del circuito análogo es implementado con componentes de menor costo. Para reducir (de hecho, esencialmente eliminar) los efectos de variación y sensibilidad por temperatura en los amplificadores de ganancia programables (PGAs) y en los convertidores análogo – digital (ADC), está provista una fuente de autocalibración. Cada entrada a los PGAs es multiplexada, a cuatro señales diferentes, las tres entradas de corriente (o voltaje), y la señal de calibración.

### *Análisis de Error*

Todas las fuentes de error identificadas en el Modelo 1133A han sido cuantificadas utilizando el peor de los casos de la data de fabricante. Estas han sido posteriormente combinadas usando el método de la suma de la raíz de los cuadrados (RSS) para conseguir un desempeño estimado. Todos los efectos debido a la calibración inicial, ruido medido, temperatura y envejecimiento están incluidos. La razón para usar análisis RSS va más allá del campo de este documento. Sin embargo, hemos encontrado en nuestros numerosos años de experiencia construyendo instrumentos de calibración que este método entrega los estimados más realistas de desempeño bajo las peores condiciones dado que numerosos errores contribuyen significativamente al desempeño global (p. ej. ningún error domina), y dado que la data de las peores condiciones es usada en el análisis.

El análisis de error para el Modelo 1133A para mediciones de potencia o energía está mostrado en la tabla 1. Análisis similares han sido realizados para otras funciones del instrumento, e incluyen muchos de los mismos factores que se muestran aquí.

Tabla 1 – Análisis de Error de Potencia/Energía

Errores de Temperatura, 0-50° C	Error, ppm
Entrada de corriente, resistor TCR	63
Entrada de voltaje, relación de resistor	50
Referencia de voltaje (x2)	50
Cal, fuente, relación de resistor (x2)	25
Estabilidad de tiempo, 1 año	
Entrada de corriente, resistor TCR	25
Entrada de voltaje, relación de resistor	<20
Referencia de voltaje (x2)	36
Cal, fuente, relación de resistor (x2)	<40
Ruido de medición	10
Error RRS total, básico	117
Errores de calibración	
Cal, aparato, ROTTEK MSB-001A	50
Rastreabilidad a los estándares nacionales	50
Error RRS Total	136
Especificación (0.025%)	250

### *Muestreo de las señales*

Las señales, que representan las entradas de voltaje y corriente y la señal de calibración son multiplexadas en un ADC de dos canales. Cada señal es muestreada a razón de 10240 muestras por segundo. Las señales de corriente y voltaje son muestreadas simultáneamente para eliminar los errores en los cálculos de potencia que podrían ocurrir en muestreos no simultáneos. El reloj de muestreo en el Modelo 1133A está sincronizado con UTC-USNO (GPS) a un microsegundo, permitiendo mediciones de ángulo de fase a través de un cuadrículado de potencia para ser comparadas directamente, y asegurando que la medición para facturación sea cobrada a las razones correctas

### *Potencia y Energía*

La potencia y la energía son determinadas haciendo veinte mediciones separadas por segundo del producto cruz de voltaje y corriente para cada fase. Cada medición usa 1024 muestras (p. ej. toma data de una ventana de 100 milisegundos), dando un traslape de 50%.

La potencia aparente (VA) y potencia reactiva (VAR) son determinadas por el resultado de las mediciones de la magnitud de corrientes y voltajes (ver próxima sección), utilizando identidades estándares. Las mediciones de potencia activa y reactiva son luego compensadas por correcciones de PT y CT (ver a continuación) usando una multiplicación compleja, y además, si es activado, se hacen correcciones para compensar pérdidas en el hierro y cobre.

En este punto, dos cosas diferentes son hechas con los resultados de la data medida. Primero, una determinación del cuadrante en que la data debe ser registrada (Wh entregados o recibidos, VARh entregados o recibidos). Los resultados de cada ciclo de medición (20/sec) son añadidos a cada propio juego de registros. Estos registros son guardados periódicamente, y la acumulación se inicia nuevamente de cero. El usuario puede configurar la unidad para registrar la data en diferentes intervalos.

Lo segundo que se hace con la data es determinar el nivel de la potencia. Este número será mostrado en la pantalla del panel frontal (como watts o vars), y será enviada vía interface serial si una simple solicitud de "potencia" (power) es realizada. Este resultado es calculado promediando las 20 mediciones de potencia hechas durante cada segundo. Por tanto, la razón de actualización de estas cantidades se da una vez por segundo. Esta data no está registrada separadamente dependiendo del cuadrante, como lo es la data de energía; por lo tanto es teóricamente posible, que si la dirección de flujo cambia periódicamente, la suma de mediciones reportadas a través de la interface del puerto serial puede gradualmente apartarse de la data de energía registrada. Esto se debe a la pérdida de información en el proceso de promedio; la data registrada es la más precisa. La data promedio se provee principalmente para conveniencia o para propósitos

de control; no está hecha ni debe ser tomada para realizar facturación.

### *Voltajes y Corrientes*

Los voltajes y las corrientes son medidas de una manera similar a la potencia, usando 1024 puntos de medición de traslape. Sin embargo, en este caso, el producto cruz es reemplazado con el cuadrado de las muestras de corriente o voltaje. La raíz cuadrada de esta suma resulta en el valor RMS de corriente y voltaje durante el intervalo de medición. Este valor es corregido por los factores de corrección para CT y PT antes de cualquier otro uso.

La data resultante es usada para corregir las mediciones de energía, como se describieron anteriormente, y promediadas bajo intervalos de un segundo para proveer datos para la pantalla y reportes a un sistema remoto.

### *Compensación de CT y PT*

La compensación de CT y PT puede ser habilitada para corregir las imprecisiones de los CTs y PTs usados en la medición. El sistema de voltaje es relativamente constante, así que es solo un único factor complejo de compensación de PT (p. ej. fase y magnitud, o factor de corrección real e imaginario).

La compensación de CT es más complicada. Debido al hecho de que las corrientes magnetizantes en los CT no son exactamente proporcionales a las corrientes de la carga, se utiliza una matriz, permitiendo la entrada de diferentes factores de corrección, medidos a diferentes niveles de corriente. El Modelo 1133A interpola entre los números de esta tabla (también complejos) para determinar el factor de corrección a usarse.

La corrección para energía es hecha usando el producto (complejo) de los factores de PT y CT. La corrección para voltaje o corriente es hecha usando la magnitud del factor apropiado. Las correcciones para el ángulo de fase es hecha usando la fase de la componente apropiada, p. ej. el arco tangente de del valor complejo. El cálculo hecho puede ser diferente a lo expresado en esta descripción, debido a consideraciones computacionales (una multiplicación compleja es más rápida que una operación trigonométrica como el arco tangente, por

ejemplo); sin embargo el resultado final será igual a lo descrito.

### *Compensación de Transformadores*

Hay dos diferentes tipos de compensación de transformadores. Estas son usadas para corregir las pérdidas en un transformador cuando se usa la medición del lado primario para medir la energía entregada a un cliente en el secundario del transformador.

La compensación del cobre es usada para corregir las pérdidas  $I^2R$  en los embobinados de los transformadores, debido principalmente a su (no nula) resistencia. Como se podría esperar, este efecto es principalmente activo (resistivo), aunque deben haber algunos efectos reactivos menores, y es proporcional al cuadrado de la corriente. Este factor permite al usuario corregir estas pérdidas. Es un factor complejo, que permiten correcciones tanto de watts como VARs, y es proporcional al cuadrado de la corriente; p. ej. un cantidad de watts y VARs deben ser abstraídos de la cantidad registrada por amperios cuadrados de la corriente de carga.

Las pérdidas del hierro (también conocidas como pérdidas del núcleo) se debe a corrientes de magnetización (la pequeña cantidad de corriente requerida para generar flujo en el cobre, y que no tienen ninguna relación con la corriente de carga), y también se debe a las pérdidas de corrientes de Eddy en el núcleo del material. Esto es aproximadamente proporcional al cuadrado del voltaje, y la compensación es realizada usando el mismo método básico descrito anteriormente para pérdidas del cobre.

### *Offset de DC*

Aunque no es común, los offsets de dc pueden estar presentes en las señales aplicadas a la entrada del Modelo 1133A. Más común, es que pequeños errores de dc en los circuitos de medición de la misma unidad resulten en un promedio no nulo de las muestras.

Como el Modelo 1133A hace mediciones de potencia, voltaje y corriente en una larga banda (p. ej. componentes a cualquier frecuencia dentro del ancho de banda de la medida – que incluye dc –

afectarán la medición), esta es una fuente potencial de error que debe ser corregida para obtener una máxima precisión. Por lo tanto, parte del proceso de medición es promediar la ventana de datos, midiendo los componentes dc. Los efectos de estos componentes son abstraídos del resultado.

### *Fase y Frecuencia*

Como parte de su proceso de medición, el Modelo 1133A realiza una transformada rápida de Fourier (FFT) de las muestras de las ventanas de voltaje y corriente. De acuerdo con la norma IEC 1000-4-7, este proceso es realizado veinte veces por segundo, usando traslapes de 1024 muestras de la ventana de datos. Esto da nuevos resultados de FFT veinte veces por segundo para cada entrada de corriente y voltaje, para un total de 120 FFTs por segundo. El ángulo de fase puede ser determinado de la relación entre las componentes real e imaginaria del bin de frecuencia fundamental de la FFT. (Como la ventana es de 100 ms, cada bin está 10 Hz aparte; por lo tanto, este bin es 5 para 50 Hz y 6 para 60 Hz.)

Así que siempre que haya una significativa energía medida en el bin, los desajustes de la frecuencia no afectarán el ángulo de fase medido. Esto es cierto siempre y cuando la señal medida es la fuente principal de energía en el bin, p. ej. hay fugas y ruidos mínimos de los bins adyacentes. Con tal que la frecuencia sea cualquiera cerca de la nominal (dentro de 10 Hz aproximadamente), la medición de fase es perfectamente utilizable.

Las mediciones de fase deben ser comparados para determinar los ángulos de fase entre voltajes y corrientes. Como el procesos de muestreo es sincronizado vía GPS a UTC, se pueden hacer mediciones de ángulos absolutos de fase y comparados a través de dos unidades localizadas a distancia una de la otra.

La frecuencia es medida tomando la diferencia en ángulo de fase entre las mediciones subsecuentes, basadas en la identidad  $f = d\Phi/dt$ . La frecuencia es promediada sobre un segundo antes de ser mostrada o estar disponible para la salida.

### *Armónicas*

Las armónicas son medidas utilizando una ventana de traslape de FFT de 1024 muestras y una ventana de 100 ms de largo. Basados en la frecuencia instantánea, se determina la localización de los bins de cada armónica que contienen energía significativa. Esto da un total de tres bins, uno aproximadamente centrado en la armónica y los otros dos adyacente a ella. Luego, la energía en esos tres bins es totalizada, resultando en la energía total para esa determinada armónica. Esto luego puede ser fácilmente expresado como un porcentaje del nivel de señal rms, o de cualquier forma que se requiera. Aunque hay una forma cercana de corrección que puede ser empleada para encontrar la magnitud de la armónica en la presencia de errores de frecuencia, esta aproximación fue elegida por que es mucho más rápida y da un desempeño adecuado.

Hay un error en esta aproximación, debido al hecho que habrá una pequeña cantidad de fuga en los bins cercanos, la cual no será incluida en los tres bins que se miden. Esto generalmente tiene muy pocas consecuencias. Primero que nada, cuando la frecuencia es cercana a la exacta (lo cual se da la mayor parte del tiempo), entonces la cantidad de energía sumada fuera de los tres bins es muy pequeña. De hecho, con la ventana de datos, no hay ninguna señal fuera de estos tres bins si la frecuencia es exacta.

Sin embargo, en el mundo real, la frecuencia estará algo desviada, y es razonable preguntarse cuan grande este error puede ser. Para errores de frecuencias pequeños, digamos 0.01 Hz, la 50<sup>ava</sup> estará a 0.05 Hz del centro del bin nominal. Estos resulta en un error insignificante de 0.005%. El error del peor caso ocurrirá cuando una armónica está cerca y centrada entre dos bins. En este caso, el algoritmo descrito anteriormente perderá un bin que contiene una señal de amplitud de casi 17% de la misma armónica. La energía contenida en este bin es  $(0.17)^2$  ó aproximadamente 2.9% de la energía total, resultando en una energía medida de  $0.971 \times$  lo que debe ser. Esta amplitud medida de armónica será  $(0.971)^{0.5}$  o cerca de 1.5% de error. Esto está por encima de las especificaciones de la norma IEC 1000-4-7 de 5%. Este error de "peor

caso" ocurrirá para la armónica 50<sup>ava</sup> con un error en la frecuencia fundamental de 0.1Hz. A menores armónicas, el error de frecuencia debe ser progresivamente mayor, por ejemplo, para tener un error de 1.5% en la medición de la novena armónica se requeriría un desvío en la frecuencia fundamental de 0.556 Hz

El ángulo de fase de las armónicas puede ser determinado tomando el arcotangente de los componentes reales e imaginarios de bin más cercano a la armónica. Sin embargo, esta información no puede ser usada en el proceso de promedio descrito en la norma IEC 1000-4-7, por que esta especificaciones requieren el promedio rms de una serie de mediciones. Esto, por definición, requiere solamente datos de magnitud. Por lo tanto, la fase de la armónica no se calcula normalmente, pero puede ser solicitada o mostrada en pantalla. En este caso, el resultado será el ángulo de fase determinado por una sola medición, y será calculado "por demanda" p ej., solamente cuando se solicita por el usuario.

#### *Flicker*

El flicker es medido de acuerdo con IEC-4-15, la norma sucesora del estándar IEC 868. A diferencia de otras mediciones descritas anteriormente, la medición del flicker es un proceso continuo. Este proceso es realizado usando una razón de muestreo de 640 muestras por segundo (sps). Filtrado de Antialias (decimación) es realizado en los 10240 sps del curso de data, y los muestreos resultantes son posteriormente procesados siguiendo el diagrama de bloque sugerido en el estándar IEC-1000-4-15. Las mediciones resultantes de perceptibilidad de flicker son clasificadas usando un clasificador logarítmico de 256 niveles a la completa razón de 640 sps. El  $P_{st}$  es posteriormente determinado cada diez minutos como se describe en el estándar.

Aunque ningún estándar actual lo requiere, el Modelo 1133A también mide flicker en las entradas de corrientes. Esta información puede ser usada para determinar si es la carga el cliente la que está causando flicker sobre el sistema eléctrico o si es el cliente quien está recibiendo el flicker de otras fuentes. Es ilógico penalizar a una empresa eléctrica por "pobre calidad de energía" en la carga de un cliente, cuando el problema es de la misma carga.

#### *Interrupciones*

Las interrupciones son monitoreadas en las entradas de voltaje comparando las 20 mediciones de voltaje por segundo con un umbral prefijado por el usuario. Los eventos donde el voltaje cae por debajo del umbral de disparo, pueden causar registro de la data de pre y post falla, cierre de contactos y cualquier otra de las acciones descrita bajo "Registro de eventos".

#### *Fluctuaciones de Voltaje*

Las fluctuaciones de voltajes son monitoreadas clasificando la 20 datos de voltaje por segundo por fase, con un clasificador lineal de 256 pasos que cubre un rango de  $\pm 20\%$  del voltaje nominal. Esta data es sumada como una tabla de probabilidad acumulativa sobre un intervalo específico, típicamente 15 minutos. Adicionalmente, el máximo, el mínimo, el peor y la desviación estándar son calculados. La data puede er grabada en memoria flash ya sea continuamente o bajo demanda.

#### *Desviación del Sistema de Tiempo*

La desviación del sistema de tiempo, el cual es el error acumulado de un reloj usando el sistema de frecuencia como referencia, comparado con una referencia absoluta como UTC, está determinado por la 20/segundo data de fase descrita anteriormente. La desviación del sistema de frecuencia es acumulada como un ciclo de integrales de errores más la fase fraccional, y es convertido a segundo cuando se necesita. El ángulo de fase del voltaje de la fase A es utilizada para estas mediciones. Como esto es un valor integrado, la constante de integración (valor de desvío de tiempo inicial) debe ser especificada por el usuario.

#### *Medición de Fasores*

La data de fasores es formateada y extraída de acuerdo al estándar de la IEEE 1344-1995. Los fasores consisten de las componentes real e imaginaria para voltaje y corriente en un punto particular en un sistema de distribución, junto con campos de sincronización y otras informaciones. Estas informaciones están disponibles en tiempo real, y son basada en el voltaje, corriente y el ángulo de fase fundamental descrito anteriormente,

medido, a una razón de 20 registros por segundo. Hay un retraso en la medición debido al retraso de adquisición de datos de 50 ms, tiempo de proceso de la señal de aproximadamente 15 ms, y transferencia de la data la cual depende de la razón de la data.

### ***Balance de Fase***

El Modelo 1133A mide balances de fase calculando las secuencias simétricas de las componentes (secuencias positivas, negativas y ceros) para las entradas trifásicas de voltaje. Normalmente, si la unidad está conectada correctamente, la secuencia positiva será igual a la línea de voltaje y las secuencias negativa y cero serán aproximadamente cero. En el evento que el límite del desbalance especificado por el usuario (como porcentaje del voltaje nominal) sea excedido, se reconocerá un evento. Adicionalmente, las secuencias de las componentes son promediadas sobre un intervalo especificado por el usuario (típicamente 10 ó 15 minutos) y puede ser registrado si es deseado. Estos cálculos son hechos usando las magnitudes de voltaje e informaciones de fase, 20 veces por segundo.

### ***Balance de Carga***

El balance de carga es calculado muy similarmente al balance de fase, excepto por la corriente de carga del cliente. Ambas mediciones pueden ser usadas para identificar graves problemas en el sistema de potencia, tales como caída de fase, que puede causar un daño severo tanto a la empresa eléctrica como al equipo del cliente.

### ***Memoria Flash y Registro de Eventos***

El Modelo 1133A incluye 16 megabytes estándares de memoria flash para registro de datos y eventos. Hasta un total 32 megabytes pueden ser opcionalmente instalados. Esta memoria puede ser usada para grabar dos tipos básicos de información: cantidades registradas, que son registradas bajo un patrón fijo (y que puede incluir otros muchos detalles que solo mediciones de energía típica, incluyendo casi todas las funciones que el instrumento puede medir); y datos de eventos. Los

datos de eventos son registrados al ocurrir un evento designado para ser registrado.

Estos eventos pueden consistir de cantidades medidas excediendo las especificaciones de umbral del usuario, disparos internos, o un estado interno del Modelo 1133A (llenado de la memoria, por ejemplo). Adicionalmente para causar el registro de la data especificada, un evento puede activar una llamada vía módem, reportando el evento; o bien puede cerrar o abrir los contacto de salida.

Hay un alto grado de flexibilidad en lo que puede ser grabado en la memoria flash al momento que se reconoce un evento. El tiempo, tipo de evento, estado de cualquier número de las cantidades medidas al momento de la medición, pre y post data de evento, las cuales pueden ser cantidades medidas (voltaje, potencia, etc.) o data de forma de onda, puede ser grabada. El Modelo 1133A debe ser configurado inicialmente, para especificar que eventos reconocer y que acciones llevar a cabo.

Hay una diferencia fundamental entre cantidades registradas y data de evento registrada. La cantidad de memoria para grabar cierto número de items registrados por un cierto período puede ser determinada exactamente, sin embargo la cantidad de memoria requerida para registrar eventos depende del número y tipo de eventos, y el número de items que serán grabados para cada uno. Como el número y tipo de eventos no se conoce de antemano, la cantidad de memoria requerida tampoco puede ser determinada con certeza. El Modelo 1133A maneja esto alojando la cantidad de memoria que se requiere para las cantidades registradas sobre el período de tiempo especificado, y luego haciendo disponible lo que queda de memoria para el registro de eventos. Se puede configurar el Modelo 1133A para iniciar una llamada automática o cierre de contactos cuando la cantidad de memoria de evento (o memoria de registro) cae por debajo de cierto límite. La memoria está localizada en bloques de 64 Kbytes, que es el tamaño del bloque de la memoria flash.

La memoria flash puede ser borrada en bloques, y la data no puede ser re escrita al menos que el bloque esté completamente borrado. Por lo tanto, el proceso normal será primero leer la data deseada y luego borrar los bloques, haciéndolos disponibles

para reusarlos. Cada bloque de data es protegido por una clave de acceso (password), y tiene dos niveles de seguridad: uno acceder la data, y dos limpiar la memoria. La data registrada puede ser separada en dos bloques, cada una con su propia seguridad. Esto sería normalmente usado para separar datos de factura de datos de operación.

En adición a las claves de seguridad, la memoria flash está localizada en un módulo separado, montado internamente en el Modelo 1133A. En el evento de una falla o sabotaje al mismo instrumento, el módulo de memoria puede ser removido y leído en otro Modelo 1133A, previniendo la pérdida de datos de factura importantes así como el resto de la data.

#### Salida de Contactos

Cuatro salidas de contactos pueden ser usadas para reportar eventos reconocidos por el Modelo 1133A, o pueden ser controlados remotamente por comandos. Ellos también pueden ser operados en un calendario, que puede ser bajado hasta por 30 días de adelanto. En adición al los reporte de eventos, estos contactos pueden ser usados para sincronizar equipos externos o para operar cerradores de control de cargas.

#### Entrada de eventos

Se proveen también cuatro entradas de eventos. Estas están opto aisladas y aceptan señales de dc a niveles entre 24 y 240 voltios. Al aplicar una señal a una de estas entradas, esta será "adherida" al tiempo con una resolución de un microsegundo y reconocida como un evento, que puede realizar cualquiera de las funciones descritas en "Registro de Eventos"

#### *Puertos Seriales*

El Modelo 1133A incluye dos puertos seriales. Cada uno de estos pueden ser configurados al momento de ordenar la unidad con Puerto RS-232 ó RS-485, ó con un módem V.34bis de 33.6 K. Cada canal puede tener acceso a todas las funciones del Modelo 1133A; alternativamente, ciertas funciones (como la disponibilidad de borrar la data de factura) puede ser habilitada o deshabilitada independientemente. Cada canal tiene un conector modular RJ11(6 posiciones) con un cable de interconexión de 2

metros (7 ft.), y para las funciones RS-232 y RS-485 se provee un adaptador conector DB-9 (macho).

Ambos canales seriales, y el canal Ethernet, puede ser operado simultáneamente, cada uno sirviendo a computadoras separada con su autorización correspondiente, enviando independientemente cualquier información que se esté requiriendo.

#### *Interface Ethernet MMS*

El Modelo 1133A tiene una interface Ethernet que soporta el naciente estándar para automatización de subestaciones MMS. Esta interface 10/100 BaseT se hace a través de un conector modular RJ-485 (8 posiciones).

### *Visión General*

El Modelo Power Sentinel™ 1133A de Arbiter Systems® ofrece una precisión para las medidas de energía de 0.025%. Los CTs existente proveen una precisión de unas décimas de un por ciento. Como puede, realmente, el Modelo 1133A alcanzar la precisión de 0.025% en el campo?

La respuesta es: Calibración de CTs. Si comparamos cada CT a un CT de referencia preciso, rastreado a los estándares nacionales (por ejemplo, NIST en los EUA), los errores del CT a prueba pueden ser determinados a diferentes corrientes y los factores de corrección introducidos a en una tabla en el Modelo 1133A. El modelo 1133A usa estos factores de corrección, interpolando entre ellos basados en la corriente medida, para luego corregir la potencia medida (y corriente) a sus valores reales, en tiempo real y dentro de la precisión especificada del instrumento.

### *Proceso de Calibración*

Para calibrar los CTs se requieren tres cosas: primero, un CT de referencia calibrado; segundo, una fuente de alta corriente; y tercero, algún medio de comparación. Cada uno de estos equipos están detallados a continuación.

### *CT calibrado de referencia*

Arbiter Systems planea desarrollar un CT de referencia, preciso y de múltiples relaciones, apropiado para estas calibraciones, y apropiado para calibración por los laboratorios de estándares nacionales, a una precisión que excede 0.01% (el presente límite de rastreabilidad a NIST). Este CT tendrán relaciones de 1000:5, 800:5, 750:5, y 600:5. Operará con alta precisión con corrientes entre rangos de 0 a 200% de. Utilizando un diseño de amplificador de dos etapas, este CT debería ser capaz de dar una precisión de 10 ppm (0.001%).

Utilizando un primario multivuelas a través del centro del CT de referencia, podemos brindar también relaciones de corriente de  $(1000/N):5$ ,  $(800/N):5$  y  $(600/N):5$  (donde N es igual al número de vueltas). Utilizando un primario multivuelas en el CT bajo prueba, podemos brindar relaciones de  $(1000*M):5$ ,  $(800*M):5$ . Y finalmente utilizando

tanto N vueltas a través del CT de referencia y M vueltas a través del CT bajo prueba podemos brindar relaciones de  $(1000*M/N):5$ ,  $(800*M/N):5$  y otros. Esto permite un rango bastante amplio de relación para la calibración de CTs, un único y preciso artefacto de referencia.

### *Fuente de excitación de corriente*

Para proveer la alta corriente requerida para realizar la calibración, también pensamos en suministrar una fuente de excitación de corriente. Esta trabajará bajo el principio de "CT en reversa", esto es una "llanta" que tiene un primario multi vuelta excitado a un nivel de corriente razonable (5 a 10 amperios máximo). Este aparato permitirá a que cables pesados de alto calibre sean ubicados a través del centro del CT, excitándolos a las altas corrientes requeridas (hasta 2000 amperios - vuelta).

Aunque es posible, y quizás deseable para algunas cuentas, proveer una fuente regulada de estado sólido, que maneje la excitación de la bobinas, esto sería sumamente caro y pesado considerando la potencia que envuelve (hasta 1000 VA). Debido a las precisas técnicas de medición de relación que serán propuestas en la siguiente sección, no es necesario tener una corriente de excitación precisa y ni siquiera estable. Por lo tanto podemos usar un diseño más simple basado en Variacs y transformadores multi taps para ajustar la corriente. El diseño contemplado ofrecerá ajustes para rangos de voltajes (100, 120, 200, 220, y 240 Vrms) y para rangos de salida (100, 50, 20, 10 y 5% de la escala completa), y ajustes continuos de cero al rango de salida seleccionado. Este aparato podrá ser alimentado con cualquier salida ac que el usuario posea.

### *Técnicas de comparación*

El método más directo de comparación envuelve hacer mediciones utilizando el CT de referencia, luego utilizando el CT desconocido, y luego calculando el factor de corrección de la relación y fase utilizando la data recopilada (figura 1).

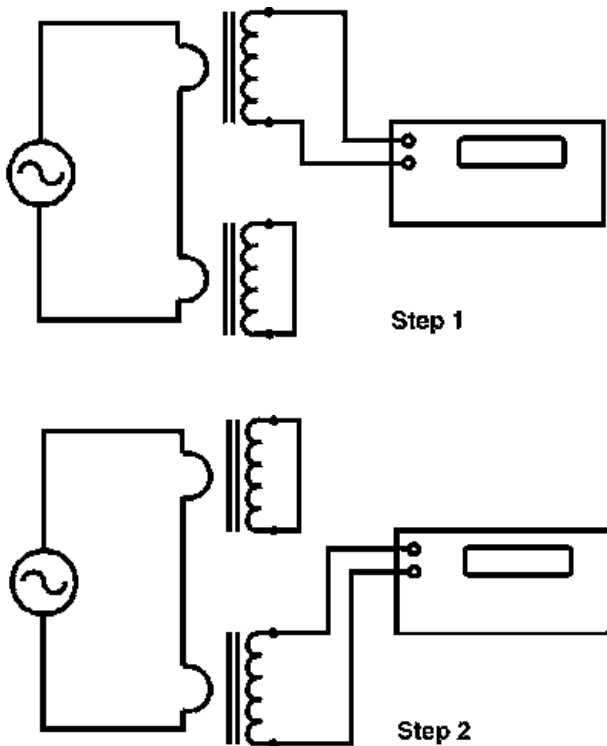


Figura 1

Esto tiene la desventaja de que la fuente de corriente y el equipo de medición deben ser substancialmente más precisos y estables que el resultado de la medición deseada, típicamente por un factor de 4 ó 5. Si esto fuese posible, incrementaría grandemente el costo y el tamaño del equipo.

Una mejor técnica es llamada "nulling" (anulación) (figura 2). En este método, las salidas de los dos CTs, de referencia y bajo prueba, son abstraídas eléctricamente utilizando el principio de superposición (Ley de Kirchhof), y la diferencia (error) medida directamente. Esta substracción es exacta, y no introduce errores. Utilizando un segundo canal del instrumento de medición, la corriente real secundaria también puede ser medida, y el factor de corrección de relación y fase son determinados matemáticamente. Lo mejor de todo es que, si el instrumento puede hacer las dos mediciones simultáneas, entonces el efecto de las variaciones de la fuente se cancelan. Aún más, como la cantidad medida es un pequeño error, igual,

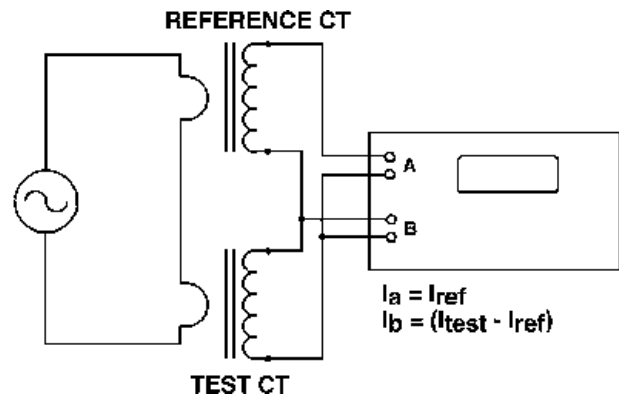


Figura 2

en el peor de los casos a, 1% de la corriente secundaria, la precisión requerida por el instrumento puede ser también más abierta.

El instrumento ideal para hacer estas comparaciones es el Power System Analyser™ Modelo 931 de Arbiter Systems®. Este instrumento hace un muestreo simultáneo en ambos canales de entrada seleccionados, cumpliendo con el enunciado mencionado anteriormente. Lo mejor de todo es que, al medir el error con una precisión de 0.05%, el 931A es capaz de hacer estas comparaciones a niveles de 5 ppm de la corriente secundaria (0.05% de 1%). Este desempeño de estándar de laboratorio, puede ser alcanzado en el campo utilizando, este fuerte y portátil equipo diseñado para trabajos de campo, operado por técnicos de servicio con poco o ningún entrenamiento en técnicas metrológicas.

### *Accesorios*

Este kit será provisto con los accesorios necesarios para realizar las calibraciones requeridas. El cable que llevará la corriente primaria será cable estañado calibre 4/0 AWG, capaz de llevar corriente de hasta 500 amperios. Para aplicaciones donde el cable pueda ser pasado a través del centro de los CT de pruebas, un cable de largo (15 m ó 50 pies), permitiendo ajustes multivuelas, será suministrado. Para realizar calibraciones para, por ejemplo, CTs 1000:5 a corrientes de 2000 amperios, cuatro vueltas son requeridas a través de cada CT de excitación, el CT bajo prueba y el CT de referencia.

Para aplicaciones donde la corriente debe ser provista a una barra que va a través de los CT, se proveerán cuatro cables más cortos (3 m ó 15 pies). Las puntas salientes de todos los cables son conectados al primario del CT. Esto formará un circuito de una vuelta, con cada cable llevando 500 de los 2000 amperios de corriente.

Se proveerá un Software que automatizará la recolección de la data y el proceso de reducción, utilizando una conexión serial al Modelo 931A, apuntando al operador a realizar las conexiones y ajustes apropiados del resto de los equipos. La data puede ser impresa posteriormente, y puede ser almacenada en un archivo apropiado para usarse cuando se configura el Modelo 1133A, eliminando el paso manual que puede introducir errores en el proceso.

El hardware requerido para conectar las puntas salientes de los cables juntos, para completar los circuitos de alta corriente y las herramientas para apretar todo el hardware según la especificación, también serán parte de este kit.

### *Conclusión*

Para tomar mayor ventaja de la completa precisión del Power Sentinel™ Modelo 1133A, la calibración de los CTs en uso es requerida. Este documento presenta un método para realizar estas calibraciones. Usando los dos nuevos productos desarrollados por Arbiter Systems, una CT de referencia de alta precisión y una fuente de corriente de excitación más el Power System

Analyser 931A, las calibraciones serán realizadas a corrientes primarias hasta de 2000 amperios (mayores bajo algunas condiciones) con una precisión de transferencia de 5 ppm y una precisión total rastreada de 0.01% o mejor.