



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SANTO DOMINGO. (UASD)

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
ESCUELA DE ING.ELECTROMECANICA MENC. ELECTRICA.

Sincrofasores

Análisis de Sistemas de Potencia I

IEM-5500-03

PROFESOR:

Félix Cabral

Ayudante.: Russell Bautista

SUSTENTANTE:

Osvaldo Bienvenido Villaman Payamps -----100309697.

FECHA:

11/02/2019

Indice

Introducción.....	3
Historia de los sincrofasores.....	4
Sincrofasores.....	5
Marco teórico.....	5
Redes Fasoriales.....	8
La norma sobre sincrofasores. IEEE C37.118.....	9
PMU (Phasor Measurement Unit).....	10
Aplicaciones de los Sincrofasores.....	12
Conclusión.....	14
Bibliografía.....	15

Introducción

En el presente seminario se trata el tema de Sincrofasores, los cuales consisten en el cálculo de un fasor con respecto a una referencia absoluta de tiempo. Con este cálculo o medida se puede determinar la relación absoluta entre las fases (ángulos) de fasores en distintos lugares del sistema eléctrico de potencia.

Estos son de suma importancia ya que es posible reducir los problemas de sistemas de potencia, de protección y automatización, esto es, monitoreando y controlando en tiempo real, otorgándoles a los operadores de este una mayor información al momento de tomar una decisión.

En este seminario abordaremos el concepto de sincrofasores así como sus aplicaciones, también veremos los PMU, mediante los cuales podemos hacer las mediciones fasoriales en tiempo real de las variables voltaje y corriente en los sistemas eléctricos de potencia para así tener una buena supervisión, protección y control de dicho sistema.

Historia de los sincrofasores

Las nuevas tecnologías en medición fasorial sincronizada (sincrofasores) se presentan como una importante herramienta de evaluación para los operadores del sistema al medir el estado del sistema eléctrico en tiempo real, de manera que el controlador tenga información suficiente para decidir las acciones propicias a efectuar sobre el Sistema Interconectado cuando se presenten violaciones de los límites de operación y oscilaciones que puedan ser perjudiciales para la estabilidad del sistema.

Sus orígenes se pueden extender hasta los 70's, época en la cual aparecen los Relés de Distancia de Componentes Simétricas (SDCR) los cuales utilizaban componentes simétricas de voltajes y corrientes para convertir 6 ecuaciones de falla, de una línea de transmisión trifásica, en una única ecuación.

En la primera etapa de la década de los 80's los satélites GPS se desplegaban en un número significativo, haciéndose claro que el uso de señales de tiempo GPS, como entradas de los sistemas de medida de los relés digitales, sería una gran herramienta que haría posible la estimación instantánea del estado del sistema de potencia.

Es así como en 1988 nace la primera Unidad de Medición Fasorial o PMU (por sus siglas en inglés) sincronizada mediante un pulso de reloj proveniente de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), ésta fue desarrollada por el tecnológico de Virginia. Pero es hasta 1995 que se desarrolla el estándar IEEE1344, en el cual se denomina a la PMU sincronizada mediante GPS como sincrofasor.

El estándar IEEE 1344, denominado "la norma del sincrofasor" fue reemplazado por la norma IEEE C37-118 en el 2005. Esta última ha sido ampliamente aceptada como el método preferido para adaptar las mediciones de sincrofasores. Esta norma define las mediciones de fasores sincronizados usados en aplicaciones del sistema de Potencia, además brinda métodos para cuantificar las medidas, pruebas para garantizar las mediciones, límites de error para las pruebas y protocolos de comunicación de los datos en tiempo real.

Con los nuevos avances en procesamiento de señales y equipo, los sincrofasores pueden ser usados para resolver una gran variedad de problemas de protección, automatización y control del sistema de potencia. Estos proveen una nueva forma de analizar disturbios grandes y pequeños en un sistema de potencia siendo

aprovechados en aplicaciones de estimación de estado, control y protección; esquemas que han sido estudiados durante años, aunque su implementación en sistemas reales es reducida actualmente.

Sincrofasores

Marco teórico

A medida que la red de potencia eléctrica sigue aumentando, las líneas de transmisión alcanzan sus límites de operación, por lo tanto, el funcionamiento dinámico del sistema de potencia se ha convertido en una preocupación y se ha vuelto más difícil determinar con precisión el modelo de dicho sistema. Además, la capacidad de controlar en tiempo real el sistema se está convirtiendo en una necesidad a fin de evitar interrupciones en cascada a gran escala. Durante décadas, los centros de control han estimado el estado del sistema de potencia (la tensión de secuencia positiva y el ángulo en cada nodo de red) por medio de las mediciones de los flujos de corriente a través de la red eléctrica. Es muy conveniente ser capaz de medir el estado del sistema directamente o, si no es posible con los equipos actuales, aumentar los estimadores existentes con información adicional, esto para evitar salidas de operación.

Un fasor es la representación de las ondas senoidales de la red eléctrica (voltajes ó corrientes) a través de la proyección en el eje real, de un vector que rota a una velocidad angular ω formando en un instante $t=0$, un ángulo ϕ con respecto al eje real. (Figura). Los instantes de tiempo de la "fotografía" del vector rotativo definen los valores máximos de una onda coseno de referencia de forma que la fase del fasor X representa el desfase entre dicha onda de referencia y la onda coseno observada.

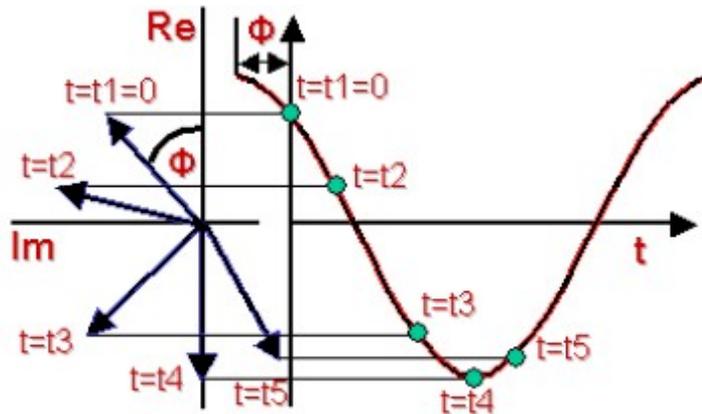


Figura. Equivalencia entre una onda coseno y un vector rotativo

En el sistema de potencia, los fasores se utilizan para el análisis de las cantidades de corriente alterna suponiendo una frecuencia constante, sin embargo ha sido desarrollada una variante relativamente nueva de esta técnica de medición, la cual sincroniza el cálculo de un fador en un tiempo absoluto, que se conoce como la medición de fasores sincronizados o sincrofasores. Con el fin de normalizar las medidas sincronizadas, varios aspectos de la creación de un fador, tales como la velocidad de transmisión de datos y la sincronización de los dispositivos, entre otros, tuvieron que ser codificados y establecidos en el estándar.

Para la definición de fasores en tiempo real es necesario obtener el ángulo de fase de manera sincronizada, esto se logra comparando la señal con una función coseno que presenta la frecuencia nominal del sistema y que sigue el estándar UTC (Coordinated Universal Time). Bajo esta explicación, la fase será el desplazamiento que tiene la señal muestreada frente a la función coseno elaborada internamente dentro de cada unidad de medida fasorial.

Los sincrofasores, en términos generales, son mediciones de fasores que están sincronizadas con la hora UTC (Universal Time Coordinated), donde los dispositivos encargados de realizar estas mediciones (PMU) crean internamente una onda coseno de frecuencia nominal (50 ó 60 Hz) como referencia. Dicha sincronización debe ser precisa ya que un desfase de tan solo $1 \mu\text{s}$ provocará un error en el ángulo de fase de 0.0216° para un sistema a 60 Hz ó de 0.018° para un sistema a 50 Hz.

El error en la determinación del ángulo de fase se debe, en gran medida, a la fuente de sincronización. Una fuente confiable para determinar el tiempo es el Sistema de

Posicionamiento Global o GPS el cual fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) y consiste en 24 satélites en órbita alrededor de la Tierra, garantizando una cobertura de mínimo 4 satélites. El GPS ofrece una precisión de 0.2 μ s.

Las unidades de medición fasorial muestrean el voltaje y corriente del sistema de potencia a través de los transformadores de instrumentación instalados en la subestación, en la conexión de estos equipos se emplean filtros y atenuadores. Una vez medido el fasor, la unidad de medición (PMU) prepara un mensaje con la marca del tiempo y los datos del fasor en un formato definido inicialmente por la norma IEEE1344 en 1995, de tal modo que pueda transmitirse a un lugar distante a través de cualquier enlace de comunicaciones que se encuentre disponible.

Los sincrofasores han sido usados principalmente para validaciones del modelo del sistema de potencia, análisis posterior a eventos, visualización en tiempo real y otras actividades similares. No obstante, los sincrofasores tienen un potencial más allá del monitoreo y la visualización, los sincrofasores contribuirán a la operación de sistemas de potencia de manera confiable y económica aprovechando las estructuras de control en tiempo real y los esquemas de protección aplicados en sistemas de supervisión y control de área amplia (WAMS / WACS), incluyendo entre sus funciones:

- Detección y corrección de estabilidad de voltaje
- Detección de inestabilidad de pequeña señal
- Control de Islas
- Control de fuentes de generación intermitentes e interconexión de red

Además de determinar el estado del sistema con menos datos que en los métodos tradicionales, los sincrofasores mejoran ampliamente la confiabilidad de dichos datos y los resultados obtenidos, al establecer una referencia de tiempo única para todas las medidas del sistema, logrando compilar los datos específicos de un solo estado del sistema eléctrico para la estimación de variables, reduciendo la incertidumbre ocasionada por los retardos en las vías de comunicación y transferencia de los datos medidos entre las subestaciones y los centros de control para la estimación de estado con métodos convencionales.

en el muestreo de la onda a frecuencia constante y múltiplo de la frecuencia nominal, la medición del retardo, con respecto a una onda patrón creada por el instrumento de medida y la posterior aplicación de la transformada Discreta de Fourier sobre las muestras tomadas para obtener el fasor de una única frecuencia paso necesario debido a que la señal medida es una onda compuesta por muchas ondas senoidales a frecuencias diferentes. Aplicando algunas operaciones sobre el resultado se obtienen la amplitud y fase del fasor representativo de la onda muestreada.

Para que el fasor característico obtenido sea denominado sincrofasor, la onda de referencia con la cual fue comparada la muestra, debe estar sincronizada con la Onda coseno universal. La forma más simple de conseguir esto es mediante la utilización de una fuente externa de sincronismo (por ejemplo una señal procedente de un GPS), a partir de la cual cada equipo resincronice la fase de su fasor de referencia. En términos generales, una PMU utiliza un fasor de referencia constituido por una onda coseno a frecuencia nominal y que se sincroniza de tal forma que el inicio de cada segundo coincida con uno de sus máximos.

Entonces cada medidor transmitirá, por algún medio de comunicación, a un procesador central los ángulos calculados junto con el tiempo específico en el que se hizo la medición, dicho procesador calculará el desfase como la substracción entre los ángulos tomando como minuendo el ángulo medido por una de las PMU, predefinida como referencia.

La norma sobre sincrofasores. IEEE C37.118.

La norma IEEE sobre sincrofasores (fasores sincronizados) utilizada mundialmente es la C37.118 y su versión actual es la 2011.

Esta nueva versión tiene fecha reciente del 28 de diciembre de 2011.

Está dividida en dos documentos:

- IEEE C37.118.1-2011 Norma para Medidas de Sincrofasores para Sistemas de Potencia [IEEE C37.118.1, 2011],
- IEEE C37.118.2-2011 Norma para Transferencia de Datos de Sincrofasores para Sistemas de Potencia [IEEE C37.118.2, 2011].

Ambas partes de la versión 2011 de la norma son la revisión y división de la versión anterior IEEE C37.118-2005 [IEEE C37.118, 2005]. Tanto la versión 2011 como la 2005 están en estado “activo

El propósito principal de la norma IEEE C37.118 es asegurar la interoperabilidad de PMUs (*Phasor Measurement Units*) o equipos que miden sincrofasores de diferentes fabricantes y/o de diferentes modelos (equipos que tienen distintos algoritmos y/o distinto hardware, en particular distintos circuitos analógicos).

PMU (Phasor Measurement Unit).

El equipo que calcula sincrofasores se llama PMU (*Phasor Measurement Unit*). Una PMU es un tipo de IED (*Intelligent Electronic Device*) o una función de un IED.

Definición [IEEE C37.118.1, 2011]

Una PMU es un equipo que produce estimaciones de fasores sincronizados, de frecuencia y de variación de frecuencia (ROCOF o *Rate Of Change Of Frequency*) a partir de señales de voltaje y/o corriente y una señal de sincronización horaria o temporal. El mismo equipo IED además de la función de PMU puede desarrollar otras funciones y hasta tener otro nombre funcional.

Una PMU debe calcular los sincrofasores y poder reportarlos a una tasa constante. Las estimaciones deben incluir sincrofasores de fase o de secuencia positiva o ambos y estas medidas deben poder ser seleccionables por el usuario.

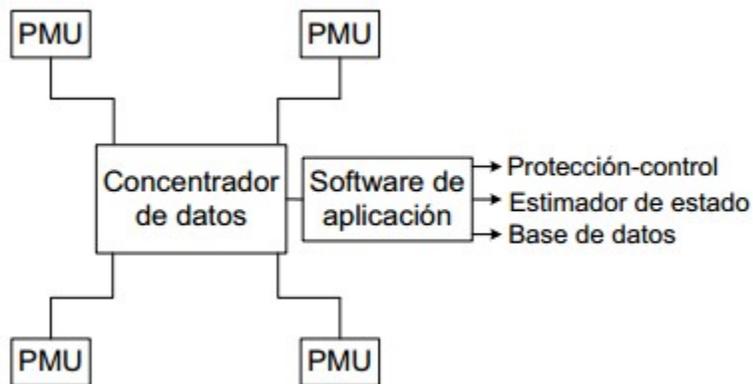
Una PMU puede realizar otras medidas de forma sincronizada con las medidas anteriormente especificadas (sincrofasores, frecuencia y ROCOF), como ser estados booleanos, muestreos de formas de onda u otros datos calculados.

Evidentemente PMUs idénticas (con igual *hardware* y algoritmos) deben producir los mismos fasores en todas las condiciones.

La estructura de PMU se compone de un sistema adquisitivo de datos que cuenta con un filtro antialiasing apropiado. Un módulo o conversor análogo-digital, microprocesador para los cálculos de los fasores y receptor de GPS, el cual le proporciona una señal de un pulso por segundo y la etiqueta de tiempo.

Continuamente el sistema GPS transmite a las unidades receptoras una señal de un pulso por segundo (PPS), la cual sincroniza todas las unidades para que empiecen su proceso de adquisición de datos y procesamiento. Internamente en cada PMU, la señal de un PPS es dividida por el oscilador PLL (Phase-Locked Loop) para realizar un muestreo simultáneo de las señales analógicas de tensión y corrientes que llegan desde los transformadores de medida.

Una vez se realiza el proceso de conversión análoga-digital, el microprocesador calcula los fasores de frecuencia fundamental de cada una de las fases de la tensión y las corrientes mediante la transformada discreta de Fourier (DFT).



Esquema general de un sistema de medición fasorial centralizado.

Aplicaciones de los Sincrofasores

Dividiendo sus aplicaciones en aplicaciones académicas podemos mencionar:

1- **Monitoreo en tiempo real de variables de estado:**

Con los medidores fasoriales se puede obtener el ángulo de fase del voltaje de secuencia positiva (PSV: Positive-Sequence Voltage), variable de estado más importante de la red debido a que éstas están relacionadas a los márgenes de estabilidad transientes, flujos de potencia por las líneas y seguridad en el voltaje.

2- **Transductor de fase y registro dinámico:**

El registro de variables de estados, en puntos estratégicos de la red, otorga información valiosa antes y después de contingencias que puedan afectar al sistema eléctrico, además facilita la toma de decisiones por parte de los operadores para responder a estos eventos.

3- **Sistemas de protección especial basada en Out-of-Step:**

Cuando una parte del sistema empieza a perder el sincronismo con respecto a otra, los esquemas de protección detectan inestabilidad, pudiendo aislar sectores, realizar desprendimiento de cargas y de generadores.

Frente a esta pérdida de sincronismo, se han propuesto dos aplicaciones:

- Medir el fasor en barras estratégicas del sistema. Frente a una contingencia, el ángulo de fase entre los puntos se calcula en tiempo real, y mediante un algoritmo de predicción se determina las condiciones de estabilidad o inestabilidad.
- En la medida en que un sistema de dos máquinas pueda representar la red, se puede realizar una medición simultánea del ángulo de fase entre las reactancias transitorias de las máquinas. Frente a una contingencia, se calcula el nuevo ángulo entre las máquinas y con el algoritmo de áreas iguales, implementado en tiempo real, se puede determinar si el nuevo punto de operación es estable.

4- Análisis en subestaciones:

- Verificación de la fase del voltaje y corriente Generalmente, los equipos de medida presentan una fase como referencia y a partir de ésta obtienen las medidas de las otras fases. Sin embargo, utilizando un relé que incluya sincrofasores, se pueden obtener las magnitudes y fase de los voltajes y corrientes referenciados a un tiempo absoluto.
- Verificación SCADA y de respaldo; Las medidas fasoriales presentan una mejora con respecto a sistemas SCADA tradicionales, esto debido principalmente a que la tasa de muestreo es mayor, por lo que la visualización del sistema o de los puntos de interés resulta ser más exacta.
- Refinamiento de la medición en tiempo real del voltaje; Utilizando una configuración adecuada se pueden obtener diversas medidas de un mismo punto. Como cada una de éstas puede presentar un error aleatorio, debido a los instrumentos de medida, se puede obtener un promedio de las mediciones, reduciendo el error.

5- Análisis en sistemas de potencia:

- Monitoreo de la frecuencia en sistemas de área amplia; Utilizar estos equipos de medida en distintos puntos del sistema, desde la transmisión hasta la distribución, permite analizar en tiempo real posibles contingencias del sistema, correlacionando los datos.
- Almacenamiento de perturbaciones en sistemas de área amplia El almacenamiento preciso de las variables relevantes de un sistema de potencia, permite a las autoridades respectivas analizar y explicar los eventos producidos por una contingencia.

Conclusión

En este seminario se pudo aprender sobre los sincrofasores, los que hoy día son una herramienta fundamental para los sistemas eléctricos ya que por medio de estos y otros dispositivos podemos monitorear, supervisar, controlar y proteger los sistemas eléctricos de cualquier eventualidad que se presente.

También vimos los PMU que no es más que el equipo que calcula sincrofasores y que ofrecen opciones atractivas para mejorar las acciones de control y protección de los sistemas modernos de potencia

Se puede concluir que, los sincrofasores son ahora una herramienta clave para resolver una gran variedad de problemas de protección, automatización y control del sistema de potencia. Los sincrofasores proveen una nueva forma de analizar disturbios grandes y pequeños en un sistema de potencia siendo aprovechados en aplicaciones de estimación de estado, control y protección.

Bibliografía

<https://selinc.com/es/solutions/synchrophasors/>

SINCROFASORES Y SU APLICACIÓN EN CONTROL DE ÁREA AMPLIA EN SISTEMAS DE POTENCIA / ANDRÉS EDUARDO PÉREZ FERNÁNDEZ / 2012 /

<https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3145/1/TEL01011.pdf>

Unidades de medicion fasorial (PMUs) / Hernando D'iaz / 30 de marzo de 2012 /

http://www.rcgsas.com/Documentos/Seminario/SRI-UN_s06b.pdf

Uso de Sincrofasores para la Detección de Oscilaciones de Potencia y Pérdida de Sincronismo. Aplicación al Sistema Eléctrico Uruguayo para la Separación Controlada en Islas. / Ricardo FRANCO / Setiembre 2012 /

<file:///C:/Users/User/Desktop/libros/Ingenieria/Analisis%20de%20sistema%20de%20potencia/Fra12.pdf>