# SINTONIZACIÓN PESOS MEDIDAS ESTIMADOR DE ESTADO COCOON

Dos estrategias a la hora de especificar unas desviaciones típicas de las medidas iniciales en la estimación de estado de Huber:

1. Valores específicos pre-establecidos en base a la experiencia y la clase de medida de los equipos utilizados en la obtención de medidas (sin tener en cuenta el nivel de la medida registrada)
2. Valores obtenidos de la precisión de la clase de medida de los equipos utilizados en la obtención de medidas, pero incorporado en la misma el nivel de la medida registrada en cada caso

## PESOS EN FUNCIÓN DE LA CLASE DE PRECISIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDA

La desviación típica de referencia para magnitud de tensión es la siguiente:

5

En las medidas potencia activa o reactiva, tanto inyección como flujo, se toma la siguiente desviación típica como valor:

Y para la intensidad, tanto inyección como flujo:

En caso de que las medidas de potencia o corriente sean menores que la desviación típica indicada, se disminuye la desviación típica dividiéndola por 10, por 100, o por el valor múltiplo de 10 necesario para evitar que sea mayor que la medida. Hay que tener cuenta que el ruido que se incorpora a las medidas es proporcional a la desviación típica, y de ser esta mayor que la medida, estaríamos introduciendo con seguridad medidas erróneas.

Para las medidas de corriente, si se trabaja con la magnitud elevada al cuadrado, la desviación debe de corregirse como

## PESOS EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE MEDIDA

El concepto de **incertidumbre** de una medida está asociado a la calidad con la que se realiza una determinada medición. Tradicionalmente la calidad de las medidas se asociaba al concepto de error de medidas. La incertidumbre es un concepto más amplio que abarca la duda sobre la validez del resultado de una medición. Puede definirse como “parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mesurando“.

La incertidumbre de medida puede ser bien una **desviación típica**, o bien la amplitud de un intervalo con un nivel de confianza determinado. En estimación de estado se utiliza la desviación típica de una medida para cuantificar su incertidumbre. Sin embargo, habitualmente las especificaciones de los sensores e instrumentos de medida vienen caracterizadas mediante **intervalos de confianza**. A continuación, se empleará la metodología propuesta en [1,2] para establecer la relación entre las desviaciones típicas y los intervalos de confianza mediante el empleo del **factor de cobertura**.

Para relacionar una incertidumbre expresada mediante su desviación típica con la misma incertidumbre, pero expresada como intervalo de confianza, se emplea el factor de cobertura 𝑘. Para ello la incertidumbre típica combinada 𝜎*y* se multiplica por un factor de cobertura,obteniéndose la denominada **incertidumbre expandida** 𝑈*y*.

𝑈*y=*𝑘𝜎*y* ( 1 )

El propósito de esta incertidumbre expandida es proporcionar un intervalo en torno al resultado de medida que pueda contener una gran parte de la distribución de valores que razonablemente podrían ser atribuidos al mensurando. De esta forma el resultado de una medida *y* se expresa como:

𝑦 ± 𝑈*y* = [𝑦 - 𝑈*y* , 𝑦 + 𝑈*y* ] ( 2 )

La elección del factor 𝑘, habitualmente comprendido entre los valores 2 y 3, se fundamenta enla probabilidad o nivel de confianza requerido para el intervalo. En este documento se adopta 𝑘 = 2, lo que supone aproximadamente un nivel de confianza del 95%.

Se entiende por cadena de medida al conjunto de todos los elementos que intervienen desde el sensor hasta la disponibilidad por parte del estimador del valor de una medida y que pueden ser fuentes de incertidumbre. En el ámbito de los sistemas eléctricos, de manera general, la cadena de media está constituida por los siguientes elementos:

* Sensores o transformadores de medida: en las instalaciones eléctricas son los transformadores de tensión e intensidad.
* Convertidores: son los instrumentos que permiten obtener medidas eléctricas a partir de las lecturas obtenidas por los transformadores de medida. Por ejemplo, valores eficaces y potencias.
* Canal de comunicación: constituidos por los protocolos de comunicación entre los convertidores hasta las bases de datos de entrada del estimador.

Cada componente va a tener asociada una incertidumbre. Aquí solo se considera la de los sensores, que por tanto caracterizarán la incertidumbre de la medida.

Los sensores de medida en instalaciones eléctricas son los transformadores de tensión y los transformadores de intensidad. Estos equipos se instalan en niveles de tensión de Media Tensión o superior, mientras que no siempre se instalan en BT. Por ejemplo es frecuente que

algunos contadores digitales realicen una medición directa sin necesidad de transformadores de medida externos.

Las normas relativas a sensores cuantifican las incertidumbres extendidas según el tipo de

medida realizada por el sensor (tensión o intensidad). A partir de la incertidumbre extendida

empleando el factor de cobertura en la expresión ( 1 ) es posible determinar la desviación típica de la incertidumbre de los sensores.

## Transformadores de tensión

La norma UNE 61869‐3 contienen los requisitos que deben cumplir los transformadores de medida de tensión inductivos. La norma contempla dos tipos de errores: el error de tensión o relación relacionado con la magnitud de la tensión medida, y el error de desfase.

1. El error de relación 𝜀V se refiere al error de magnitud y es expresado en porcentaje según la expresión

 (3)

donde 𝑘r es la relación de transformación asignada; 𝑉P es la tensión primaria real y 𝑉S es la tensión secundaria real cuando se aplica 𝑉P en las condiciones de medida.

La norma establece diferentes clases de precisión en función de la calidad de medida. La siguiente tabla recogida de la norma indica los límites de error según la clase de precisión del transformador de tensión.

Word

Descripción generada automáticamente con confianza media*Tabla 1. Límites de error en transformadores de tensión según UNE 61869‐3.*

Señalar que en el caso de los transformadores de tensión el error de relación no depende del valor medido.

La incertidumbre expandida al realizar una medida de valor eficaz de tensión 𝑉 se obtiene como

𝑈 = 𝜀V x 𝑉 ( 4 )

V

100

donde el valor del error de relación 𝜀V depende de la clase de precisión del transformador de

tensión.

Ejemplo: un transformador de tensión de relación 20000/√3:110/√3 de clase 0.2 tiene un error de relación 𝜀V = 0.2%. Si el transformador se encuentra realizando una medida de tensión de valor eficaz de 𝑉 = 11893 V (fase‐tierra), la incertidumbre expandida 𝑈V será:

𝑈 = Ev

V

100

𝑉 = 23.79 V

La desviación típica asociada a esta medida adoptando un factor de cobertura 𝑘 = 2 es

𝜎 = Uv = 11.89 V

V

k

Por otra parte, la tabla 1 también recoge los límites de error de desfase en términos absolutos en función de la clase de transformador.

Ejemplo: la incertidumbre expandida de una medida de fase de un transformador de tensión de clase 0.2 sería

𝑈cpv

= 10 ° = 0.0029 rad

60

Si bien no es habitual ofrecer directamente medidas de fase de una tensión, esta incertidumbre es empleada en la caracterización de la incertidumbre de potencias.

## Transformadores de intensidad

La norma UNE 61869‐2 contienen los requisitos que deben cumplir los transformadores de medida de intensidad inductivos.

La norma contempla dos tipos de errores: el error de relación relacionado con la magnitud de la intensidad medida y el error de desfase.

El error de relación 𝜀i expresado en porcentaje se define según

𝑘r x 𝐼S - 𝐼P

𝜀i = 𝐼P x 100 [%] ( 5 )

donde 𝑘r es la relación de transformación asignada; 𝐼P es la intensidad primaria real y 𝐼S es la intensidad secundaria real cuando circula 𝐼P en las condiciones de medida.

La norma establece diferentes clases de precisión en función de la calidad de medida. Las siguientes tablas recogidas de la norma indican los límites de error según la clase de precisión del transformador de intensidad y el rango de medida.

*Tabla 2. Límites de error en transformadores de intensidad según UNE 61869‐3.*

Tabla

Descripción generada automáticamente

*Tabla 3. Límites de error en transformadores de intensidad según UNE 61869‐3.*

Tabla

Descripción generada automáticamente

Señalar que en el caso de los transformadores de intensidad para una misma clase de precisión el error de relación es variable dependiendo del valor medido de intensidad.

La incertidumbre expandida al realizar una medida de valor eficaz de intensidad 𝐼 se obtiene como

𝜀i

𝑈i = 100x 𝐼 (6 )

donde el valor del error de relación 𝜀i depende de la clase de precisión del transformador de tensión y del valor medido.

Ejemplo: un transformador de intensidad de relación 200/5 de clase 0.2S que se encuentra realizando una medida de intensidad de valor eficaz de 𝑧 = 10 A. Esta medida se encuentra en el rango de medida del 10/200=5% por lo que según la tabla 3 tiene un error de relación 𝜀i = 0.35%. La incertidumbre expandida 𝑈i será:

𝑈 = 𝜀i /100 \* 𝑧 = 0.35 A

i

La desviación típica asociada a esta medida adoptando un factor de cobertura 𝑘 = 2 es

𝜎 = Ui = 0.175 A

i

k

Por otra parte, las tablas 2 y 3 también recogen los límites de error de desfase en términos absolutos en función de la clase de transformador y del rango de la medida de intensidad.

Ejemplo: la incertidumbre expandida de una medida de fase de un transformador de intensidad de relación 300/5 de clase 0.2 que mide 180 A, es decir en un 180/300=60% del rango de medida sería

𝑈cpi=12,5 o/60 = 0.0036 rad

Si bien no es habitual ofrecer directamente medidas de fase de una intensidad, esta incertidumbre es empleada en la caracterización de la incertidumbre de potencias.

## Medidas de potencia

Los elementos que intervienen en la cadena de medida de potencia son: transformadores de tensión y de intensidad, convertidor y el canal de comunicación. De nuevo sólo se consideran los transformadores de medida, obviando el resto convertidor y canal de comunicación.

Una medida de potencia se obtiene como resultado de aplicar una determinada relación entre diferentes magnitudes medidas. Considerando una medida de potencia activa y reactiva de fase la relación es

𝑃 = 𝑉𝐼cos(𝜙V - 𝜙i) ( 7)

𝑄 = 𝑉𝐼sen(𝜙V - 𝜙i) ( 8 )

donde 𝑉 es la medida del valor eficaz de tensión (fase‐tierra); 𝐼 es la medida del valor eficaz de la intensidad y 𝜙V, 𝜙i la fase de la tensión e intensidad.

Aplicando la ley de propagación de las incertidumbres a las expresiones anteriores permiten obtener la deviación típica:



donde las desviaciones típicas de las medidas de potencia activa y reactiva se expresan en función de las desviaciones típicas de las medidas de magnitud y fase de la tensión e intensidad.

Es interesante operar en las expresiones anteriores para utilizar las incertidumbres expandidas de tensiones e intensidades. Para ello, empleando el factor de cobertura 𝑘 se obtiene

Texto, Carta

Descripción generada automáticamente

Por último, las incertidumbres extendidas de las magnitudes de tensión e intensidad pueden expresarse en función de los errores relativos y de las medidas de tensión e intensidad, evitando de esta forma el posible mal condicionamiento que puede producirse en medidas de intensidad de reducido valor.

 (9) y (10)

siendo 𝑒i = 𝜀i⁄100 y 𝑒V = 𝜀V⁄100 los errores de relación de intensidad y de tensión expresados en pu.

Las expresiones (9) y (10) se refieren a medidas de potencia de fase. Para una medida de potencia trifásica que se obtiene mediante la suma de las potencias en cada fase





donde 𝑃 3Φ, 𝑄 3Φ son las medidas de potencia trifásica y 𝑃i, 𝑄i las medidas de potencia de la fase. Aplicando la ley de propagación de incertidumbres sobre las expresiones anteriores se obtiene

 (11) y (12)

donde 𝜎sP3Φ , 𝜎sQ3Φ son las desviaciones típicas asociadas a las medidas de potencia activa y reactiva trifásica, y 𝜎i,sP , 𝜎i,sQ las desviaciones típicas de los sensores de medidas de potencia activa y reactiva de fase.

Las expresiones (11) y (12) permiten obtener la incertidumbre asociada a las medidas de potencia trifásicas a partir de la incertidumbre de las medidas de potencia de fase, dadas por las expresiones (9) y (10). Las desviaciones típicas de cada fase, por ejemplo las de potencia activa 𝜎1,sP, 𝜎2,sP, 𝜎 ,sP adoptan en general valores distintos, dado que en cada fase el valor de la potencia medida puede ser distinto.

Es posible que en un determinado punto de medida solamente sea conocido el valor de la potencia trifásica, en cuyo caso no sería de aplicación las expresiones (11)‐(12). En estos casos, asumiendo unas condiciones de funcionamiento equilibradas del sistema eléctrico, sería de aplicación las expresiones de la potencia trifásica dadas por:

𝑃 3Φ = 3𝑉𝐼cos(𝜙V - 𝜙i) ( 26 )

𝑄 3Φ = 3𝑉𝐼sen(𝜙V - 𝜙i) ( 27 )

Siendo 𝑉 la tensión fase‐neutro. Procediendo de manera similar a lo realizado para potencias de fase se obtienen las incertidumbres mediante



Ejemplo: Se obtienen mediante un convertidor de clase 0.5 y fondo de escala de 1 MW y 750 kvar, medidas trifásicas de potencia activa y reactiva de valores 428.2 kW y 321.1 kvar que toma lecturas de 11893 V (fase‐tierra) desde un transformador de tensión de clase 0.2 y relación 20000/√3:110/√3, y de 15 A desde un transformador de intensidad de clase 0.2 y relación 200/5. La medida es enviada a través de un canal de comunicación que se actualiza cada 15 minutos y donde la tasa de variación de las potencias es de 0.01 W/s y 0.005 var/s.

El error de relación tensión en pu es

𝑒V = 𝜀V⁄100 = 0.2⁄100 = 0.002

La incertidumbre extendida del error de fase del transformador de tensión es

𝑈cpv

= 20 ° = 0.0058 rad

60

15

La lectura del transformador de intensidad de 15 A supone el 200 x 100 = 60 % del valor de la intensidad primaria asignada del transformador de intensidad, el error de relación máximo y el de fase se obtienen extrapolando en los valores de la tabla 2. El error de relación de intensidad en pu es

𝑒i = 𝜀i⁄100 = 0.00275

y la incertidumbre extendida de la medida de fase de intensidad es:



Las desviaciones típicas de las medidas de potencia resultan según (9) y (10):

