

CFDE 1994 - Bs As.

ANALISIS DE LOS DIVISORES DE IMPULSO SEGUN LA NUEVA  
NORMATIVA INTERNACIONAL

Ing. Daniel Slomovitz, Ing. Jorge Fernández Daher  
UTE LABORATORIO, Paraguay 2385, Montevideo, Uruguay  
FAX: 942004, E.MAIL: labute@chasque.apc.org

*Resumen.* Los requisitos impuestos para los divisores de impulso de alta tensión, están dados por las normas IEC. La IEC 60-3 (1976) está actualmente en proceso de revisión. El proyecto (42.2.2) refiere a sistemas de medida de referencia y a divisores aprobados.

*En este trabajo se muestra que divisores en acuerdo con la norma actual, no cumplen con el proyecto referido. Este proyecto se encuentra en etapa de votación, por lo cual entrará en vigencia rápidamente. Se proponen modificaciones a los divisores en uso que mejoran su performance, como alternativa al cambio de todo el sistema de medida, y se presenta el diseño de un divisor resistivo patrón.*

*El trabajo discute también la importancia y el desarrollo de un sistema de intercomparación de divisores a nivel regional, de forma de mantener patrones de divisores de impulso en los países integrantes del Mercosur.*

## 1. INTRODUCCION

De acuerdo a las normas los equipamientos de alta tensión deben ensayarse con ondas de impulso plenas y recortadas. Las formas de onda de tensión se miden con un sistema compuesto por un divisor de impulso y un medio de registro, sea osciloscopio analógico o digital o un digitalizador. Debido a las limitaciones de respuesta de un divisor la onda de salida puede estar distorsionada no reflejando fielmente la tensión que se quiere medir. Esto puede inducir a errores en la evaluación de la tensión de pico y otros parámetros de la forma de onda. Para ensayos de rutina con formas de onda normalizadas se utilizan una serie de parámetros para poder caracterizar a un divisor de impulso. Si se conocen estos parámetros de respuesta entonces es posible decidir si éste es apto o no para la medida de la tensión dentro de los errores máximos admitidos por las normas.

## 2. NORMAS VIGENTES

La performance de los divisores de impulso está regulada por las normas IEC 60-3 [1] y 60-4 [2]. Sin embargo, muchos trabajos han demostrado que divisores de acuerdo con estas normas, producen errores inaceptables en la medición de ondas de impulso [3], [4]. Las normas IEC vigentes califican el comportamiento del divisor a través del parámetro básico T. Este valor es la sumatoria algebraica de las áreas comprendidas entre la respuesta al escalón normalizada y un escalón unitario ideal. El valor de |T| debe ser inferior a 0.2  $\mu$ s. Para ensayos de impulso de rayo no se especifican límites para los otros parámetros como ser las áreas parciales, el origen convencional, etc. Actualmente se está estudiando una revisión de las normas IEC. Se propone un cambio de filosofía, considerando a los divisores de impulso en forma similar a los restantes patrones eléctricos. Por

esto, en forma adicional a los ensayos convencionales (respuesta al escalón, relación de división, etc) se proponen rutinas de intercomparación entre laboratorios. Dicho proyecto [5] define una serie de parámetros que se describen a continuación (ver figura 1).

Origen virtual  $O_1$ .

La intersección con el eje de tiempo de una recta trazada tangente a la parte con mayor pendiente del frente de la respuesta al escalón.

Respuesta al escalón normalizada  $g(t)$ .

La respuesta al escalón normalizada a valor unitario.

Integral de respuesta  $T(t)$ .

La integral desde  $O_1$  a  $t$ , de 1 menos la respuesta normalizada.

Tiempo de respuesta experimental  $T_N$ .

El valor de la integral de respuesta hasta  $t_{max}$ .  $T_N = T(t_{max})$

Tiempo de respuesta parcial  $T_a$ .

El valor máximo de la integral de respuesta.

Sobreimpulso  $\beta$ .

La cantidad por la cual el valor máximo de la respuesta excede la unidad.

Tiempo de distorsión inicial  $T_0$ .

El área encerrada por el eje de tiempo, la respuesta normalizada  $g(t)$  y la línea recta usada para determinar  $O_1$ .

Tiempo de establecimiento  $t_s$ .

El menor tiempo para el cual el tiempo de respuesta residual  $TR(t_s)$  toma un valor y se mantiene menor al 2% de  $t_s$  para cualquier tiempo entre  $t_s$  y  $t_{max}$ .

Los cambios principales a la norma vigente en lo que a divisores se refiere, consisten en definir dos tipos de sistema de medida. Se define un sistema de medida aprobado y un sistema de medida de referencia. Las exigencias de performance sobre este último son mayores. Los sistemas de medida aprobados son los que se utilizarían para la realización de ensayos de rutina en equipamiento de alta tensión. Los sistemas de referencia serían patrones, considerándolos en la misma forma como el resto de los patrones eléctricos ya conocidos. La nueva norma propone rutinas de intercomparación entre laboratorios con un período entre ensayos de 5 años para así poder mantener la trazabilidad de los patrones hacia un laboratorio reconocido.

Para los sistemas de medida aprobados se admite una gama de valores para el sobreimpulso y la relación  $T_a/T_1$ , donde  $T_a$  es el tiempo de respuesta parcial y  $T_1$  es el tiempo de frente del impulso a medir. En la figura 2 la zona sombreada indica la gama de valores permitida.

Para los sistemas de medida de referencia y dependiendo para qué tipo de ensayos se van a utilizar, hay límites para otros parámetros tal como se muestra en la tabla 1.

Comparando ambos documentos, resulta que la norma actual sólo limita

la suma algebraica de las áreas. Por tanto un divisor cuya respuesta tenga grandes apartamientos de un escalón podría resultar aprobado si las áreas positivas y negativas fueran similares. Por otro lado el proyecto impone entre otros límites, un valor máximo a la primer área ( $T_a$ ). Esta condición es mucho más severa que la anterior y divisores que actualmente están en uso, quedarán fuera de norma al entrar en vigencia el proyecto referido.

### 3. RESPUESTA AL ESCALON.

Para la determinación de los parámetros de respuesta de los divisores de impulso es necesario registrar la respuesta a un escalón. Para ello se utilizó el montaje recomendado en la revisión de la norma. El mismo consta de un plano vertical y un piso eléctricamente conectados entre sí y a tierra. El generador de escalones se monta en el plano vertical a la altura del extremo superior del divisor bajo ensayo de tal forma que el conductor de alta tensión quede horizontal. El generador de escalones consiste básicamente en una fuente de tensión continua cuya salida se cortocircuita con una llave rápida. Esta llave se conmuta a una frecuencia de 100 Hz para tener un tren de escalones. Los registros de las formas de onda se realizaron con un osciloscopio digital de 10 bits utilizándolo en el modo "sequential single shot". De esta manera es posible obtener mayor precisión usando osciloscopios de baja velocidad pero mayor cantidad de bits de resolución vertical.

### 4. RELEVAMIENTO DE LOS PARAMETROS

Se relevó la respuesta de varios divisores de distinto tipo, algunos de ellos comerciales. En la figura 3 se muestra la respuesta al escalón de un divisor comercial de 200 kV de tipo mixto capacitivo-resistivo (DIV1).

Los valores de los parámetros de respuesta de éste y el resto de los divisores están resumidos en la tabla 2. Como muestra la misma, este divisor cumple con las exigencias de las normas vigentes pero no así con las exigencias de la nueva norma, ni siquiera para sistemas aprobados. En efecto, el tiempo de respuesta  $T$  es menor a 200 ns pero si observamos la figura 2 vemos que la relación entre su sobreimpulso  $\beta$  y  $T_a/T_1$  cae fuera del rango admitido por el proyecto para ensayos de impulso de rayo. Se diseñó un nuevo divisor de impulso (UTE1) cuyos requisitos fueron lograr mayor velocidad y menor sobreimpulso. Se eligió el tipo de divisor resistivo con resistencias en baño de aceite. En la figura 4 se muestra su respuesta. De los valores de la tabla 1, se concluye que es apto como sistema aprobado de acuerdo al proyecto para ondas plenas y cortadas en el frente, aunque no cumple con las "condiciones de divisor de referencia". Ultimamente se adquirió un nuevo divisor comercial de tipo resistivo (DIV2) de 300 kV. Su respuesta se muestra en la figura 5. De acuerdo a esos valores y según la nueva norma, este divisor es apenas aceptable como divisor de referencia para ensayos de impulso con onda completa.

### 5. MODIFICACION DEL DIVISOR DIV1

Se modificó el divisor comercial DIV1, de forma que su respuesta al

escalón cumpla con las exigencias del proyecto para sistemas aprobados. El procedimiento consiste en elaborar un modelo con parámetros concentrados, de forma que la respuesta al escalón coincida con la real. En base al modelo, se modificó la rama de baja tensión del divisor, de tal forma que la constante de tiempo de la rama de alta tensión junto con la resistencia amortiguadora se aproxime a la constante de la rama de baja tensión. En estas modificaciones deben cuidarse las capacidades e inductancias parásitas que se agregan, las que pueden afectar seriamente las mejoras proyectadas. En la figura 6 se muestra la respuesta al escalón del divisor modificado (DIV3). En la tabla 2 se muestran los valores de sus parámetros de respuesta y en la figura 2 puede verse que luego de la modificación el divisor puede considerarse como divisor aprobado para ensayo de impulso de rayo.

## 6. DESARROLLO DE UN DIVISOR DE REFERENCIA

Se desarrolló un nuevo divisor resistivo (UTE2) con la intención de usarlo como divisor de referencia. Se relevó su respuesta al escalón la cual se muestra en la figura 7. Se calcularon los parámetros de respuesta al escalón. Esos valores están dentro de los límites exigidos a un divisor de referencia para uso en ensayos de impulso de onda plena y recortada. En efecto, se puede ver en la figura 2 que su relación entre  $\beta$  y  $T_a/T_1$  cae dentro del rango aceptado y los demás parámetros,  $T$ ,  $T_a$ ,  $\beta$ ,  $T_0$  y  $t_s$ , están por debajo de los límites impuestos por el proyecto para divisores de referencia para impulso de rayo completo y cortado en el frente.

## 7. TRABAJO FUTURO

Se están coordinando esfuerzos en la región para poder tener un divisor de referencia que se utilizará como patrón viajero. Existe en Brasil otro divisor que cumple con las exigencias del proyecto. Es necesario definir entonces cual será el divisor viajero basándose en los resultados de diversos ensayos. No sólo es importante la respuesta al escalón, sino también la robustez frente a vibraciones mecánicas, estabilidad con la temperatura, etc. Será necesaria además una comparación contra patrones de laboratorios del exterior para poder tener trazabilidad fuera de la región.

## 8. CONCLUSIONES

Realizando una comparación de las normas vigentes con el proyecto en aprobación se ve que los sistemas actualmente en uso difícilmente serán aptos para su uso como divisores de referencia cuando entre en vigencia el proyecto. Más aún, hay algunos divisores que ni siquiera podrán ser usados como sistemas aprobados para uso en ensayos de rutina con impulsos de rayo plenos. Sin embargo, es posible modificarlos y evitar así la adquisición o desarrollo de nuevos divisores para ensayos de rutina. Es obvio que para poder tener un divisor patrón es necesario realizar un diseño cuidadoso para poder lograr configuraciones de divisores que se ajusten con mayor exactitud a un divisor ideal. Actualmente en los países integrantes del Mercosur

no existen divisores de impulso patrones aprobados. Los desarrollos existentes, la circulación de un patrón viajero y su posterior contraste contra el patrón del PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Alemania) será de gran importancia para la región.

#### 9.REFERENCIAS

- [1] IEC 60-3, "High-Voltage Test Techniques", 1976.
- [2] IEC 60-4, "High-Voltage Test Techniques", 1977.
- [3] Mc Comb T.R., et al, "Comparative measurement of HV impulses to evaluate different sets of response parameters", IEEE PWRD-6, 1991.
- [4] Hylten-Cavallius N., "A new approach to minimize response errors in the measurement of high voltage impulses", IEEE PAS-102, 1983.
- [5] "High Voltage Test Techniques", project number 42.2.2, June 1992.