

Desarrollo de un generador de Step Rápido para pruebas de divisores de tensión de impulso (*)

Ing. Jorge Fernández Daher e Ing. Daniel Slomovitz (**)

RESUMEN

Se presenta el diseño y la evaluación de un generador de escalones de muy bajo tiempo de establecimiento. Estos requisitos son necesarios para el ensayo de divisores de tensión de impulso, de acuerdo a las normas internacionales.

Alternativamente, se muestra la posibilidad de caracterizar el comportamiento de divisores de tensión de baja frecuencia. La respuesta al escalón permite modelar el divisor y calcular su error en magnitud y ángulo a bajas frecuencias.

1. INTRODUCCION

Las normas internacionales sobre divisores de impulso imponen un ensayo de onda escalón. El mismo consiste en la aplicación de un escalón de tensión de tiempo de subida muy corto (típicamente algunos ns), y el registro de la forma de onda de la respuesta del divisor.

En el caso de ensayos de divisores patrones de respuesta muy rápida, tiene influencia significativa la propia fuente de tensión escalón. Tiempos de subida largos, y oscilaciones parásitas de esta fuente, son interpretados como defectos de los divisores. Por otro lado, respuestas defectuosas de divisores son atribuidas a problemas en el generador de step. Estos motivos llevaron a analizar el comportamiento de estos generadores.

2. CIRCUITOS GENERADORES DE ESCALON

El circuito simplificado de este tipo de generadores se muestra en la Figura 1. Consiste en un relé rápido tipo reed switch que al ser excitado

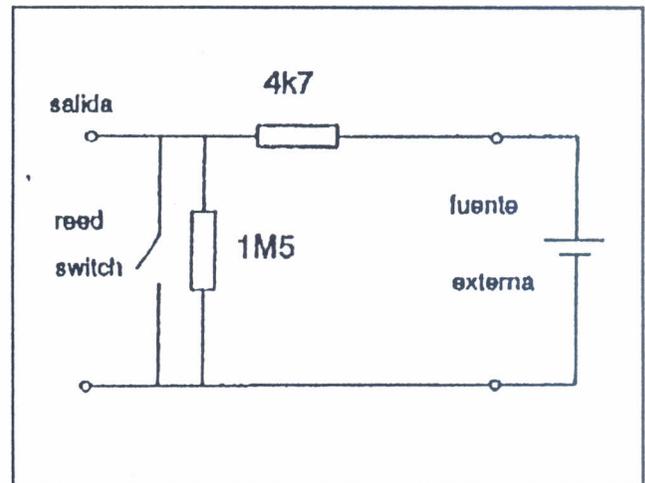


Fig. 1

cortocircuita la tensión proveniente de la fuente de continua externa. Para la evaluación del pulso generado se conecta la salida a la entrada de un osciloscopio.

En este trabajo se usó un osciloscopio digital de 300 Mhz de ancho de banda analógico, en la modalidad "sequential single shot". Esto significa que la adquisición se realiza durante múltiples escalones, siendo el tiempo entre muestras de tan solo de 100 ps.

Inicialmente se evaluó el comportamiento de un generador de escalones convencional para prueba de divisores de impulso. La Figura 2 muestra la conexión del conjunto osciloscopio-generador. En este caso, el generador se conectó, como es usual, mediante dos conductores de cobre de menos de 10 cm de largo. La Figura 3 muestra la respuesta. Se aprecian grandes oscilaciones amortiguadas, con un sobreimpulso del 60% y un tiempo de subida de unos 2 ns. Para amortiguar estas oscilaciones se dispuso un resistor entre los instrumentos. La respuesta obtenida se muestra en la Figura 4, en función del valor de resistencia. La frecuencia de oscilación es de 90 Mhz, aproximadamente, y su amplitud depende del valor de resistencia. Para 120Ω , la amortiguación es prácticamente completa. Sin embargo, el tiempo de subida aumenta considerablemente para este

(*) Trabajo presentado en el CEDE '94 en Buenos Aires, Argentina. Año 1994.

(**) UTE - Laboratorio - Uruguay.

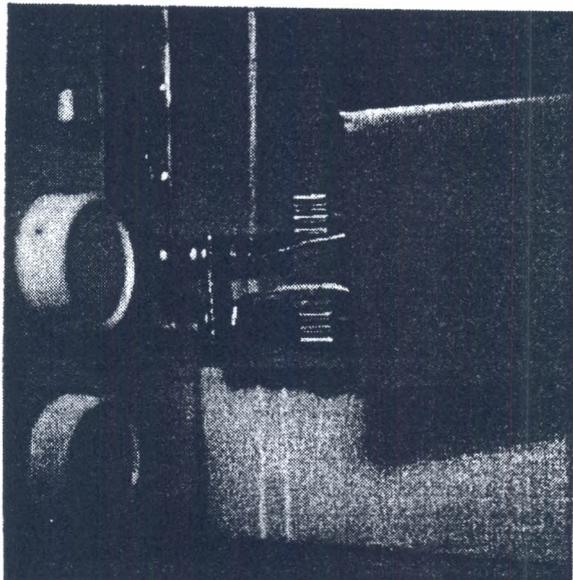


Fig. 2

último caso. Todo esto muestra que la capacidad de entrada del osciloscopio y las inductancias parásitas del circuito externo e interno del generador, forman un circuito resonante responsable de dichas oscilaciones.

Para disminuir dichos elementos parásitos, se cambió la construcción del generador. La idea fue reducir el área entre los conductores de salida todo lo posible. Para esto se colocó el relé dentro de una malla de cobre de tal forma de poder colocar la bobina de excitación sobre ésta. Todo el conjunto se monta directamente sobre un conector BNC. El esquema correspondiente se muestra en la Figura 5 y la construcción en la Figura 6. La respuesta de este dispositivo se muestra en la Figura 7. Las oscilaciones son fuertemente amortiguadas, aunque el sobreimpulso llega al 30%. El tiempo de subida bajó a unos 600 ps. Para amortiguar el sobrepico, se añadió un resistor de 15 Ω , tal como indica la Figura 8. Teniendo en cuenta una capacidad parásita del osciloscopio de 20 pF, dicho resistor formaría un filtro pasabajos con una frecuencia de corte de 500 Mhz, superior al ancho de banda del osciloscopio, y muy superior a las frecuencias involucradas en ese transitorio (100 Mhz, aproximadamente). Sin embargo, la forma de onda cambia sustancialmente, debido a la amortiguación del circuito resonante formado por la capacidad parásita del osciloscopio y la inductancia parásita del relé.

La Figura 9 muestra la onda lograda, con un tiempo de subida de unos 700 ps y un sobreimpulso inferior al 10%. Seguramente el generador tiene un tiempo de subida menor aún, ya que por el ancho de banda del osciloscopio usado no es posible determinar tiempos menores. Igualmente, los tiempos logrados y la respuesta libre de oscilaciones, son suficientes para la evaluación de los divisores de impulso más rápidos disponibles.

3. DIVISORES DE TENSION DE BAJA FRECUENCIA

Este tipo de divisores se usa en diversos instrumentos de medida a frecuencia industrial [1]. El ancho de banda suele abarcar el rango de audio frecuencias. El ensayo propuesto resulta útil para determinar errores muy pequeños en magnitud y desfase, típicamente del orden de décimas de ppm (partes por millón). Ambos errores son importantes cuando se usan estos divisores en instrumentos medidores de potencia. El desfase influye principalmente, en las medidas a bajo factor de potencia.

Las ventajas del método propuesto residen en la sencillez del generador y en el hecho de no requerir patrones externos, que a su vez deban ser calibrados. El único instrumento usado, además del propio generador, es un osciloscopio. La performance de todo el conjunto osciloscopio-generador es evaluada en el mismo ensayo.

Como ejemplo de aplicación se discute la compensación de un divisor de 200:1 de baja tensión, para uso con ondas de frecuencia industrial (50 Hz y armónicos).

Divisor coaxial de baja tensión

Los objetivos del diseño fueron lograr un divisor resistivo de relación 200:1 con 11 k Ω en la rama de entrada, con variaciones de relación con la frecuencia inferiores a 0.1 ppm en una banda de 5 kHz, y desfases menores a 0.1 μ rad a 50 Hz, e inferiores a 10 μ rad en la banda de 5 kHz.

Para esto se utilizaron en la rama de entrada 5 resistores en serie, mientras que en la rama de salida se usó un solo resistor 50 Ω . La configuración es coaxial, estando dispuestos todos los resistores sobre el eje de un caño metálico, el cual constituye el borne de referencia (común de entrada y salida). Esto apantalla totalmente el divisor eliminando problemas causados por variación de capacidades parásitas a objetos cercanos. Por otro lado, minimiza problemas causados por ruidos e interferencias, baja la inductancia, pero agrega capacidades parásitas a tierra. Estas capacidades limitan el rango de frecuencias de uso, afectando la relación de división en función de la frecuencia y los valores del desfase. Varios trabajos proponen métodos para eliminar o compensar dicho efecto [2], pero no indican un método de ensayo que permita el ajuste de dichas compensaciones, salvo la comparación contra otro equipo similar.

La respuesta al escalón, del divisor sin ningún tipo de compensación, se muestra en la Figura 10. El comportamiento es el de un pasabajos formado por las resistencias y las capacidades a tierra. Para modelar este sistema, se utilizó un programa comercial de simulación de circuitos electrónicos [3]. El modelado implica proponer un modelo del circuito y ajustar los valores de los componentes hasta lograr

11402A DIGITIZING OSCILLOSCOPE
date: 24-JAN-96 Time: 12:23:38

{exp:3.3.,dig:3.0,dsv:3.10}
Instrument ID# B010581

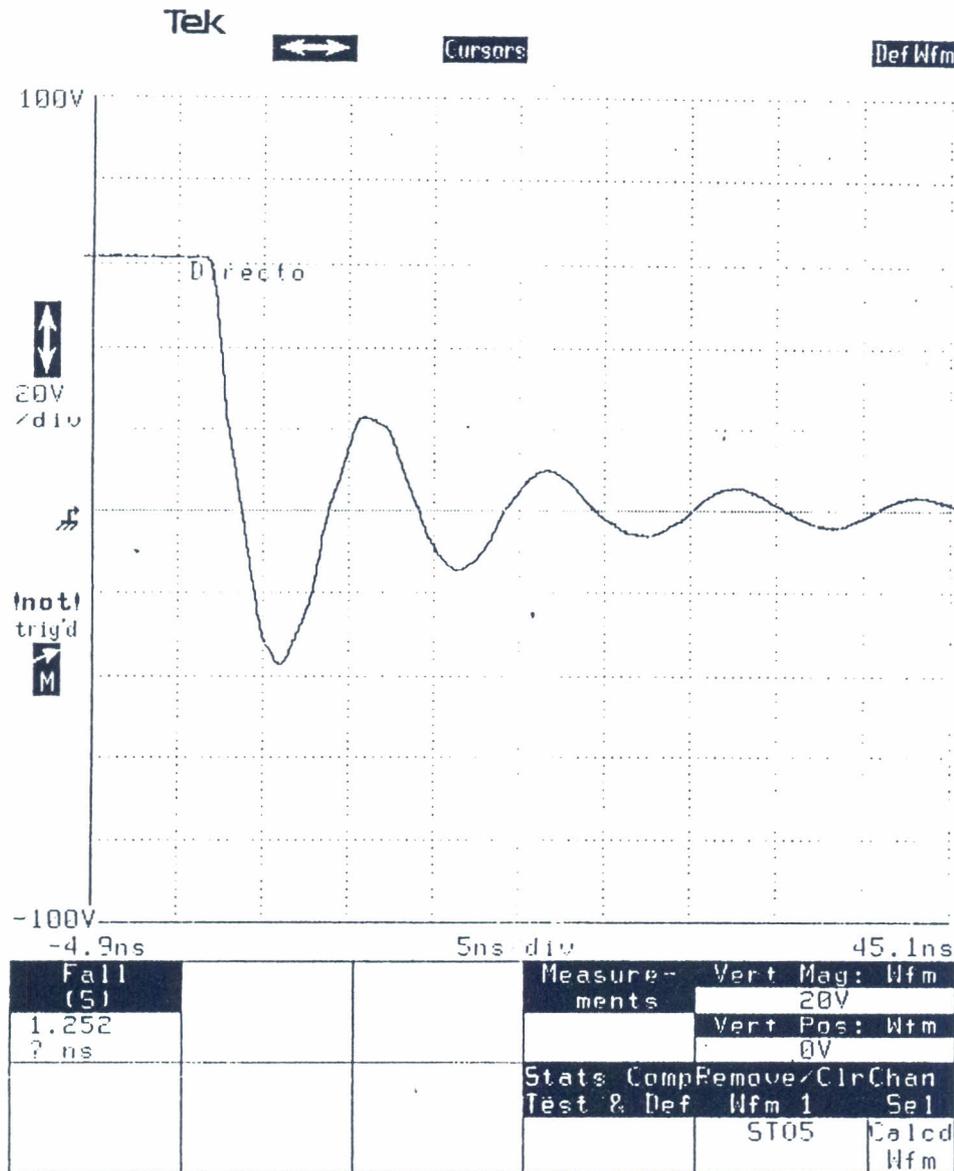


Fig. 3

que la respuesta al escalón sea similar a la real. En principio podría parecer que este método es muy engorroso por la gran cantidad de parámetros que se pueden llegar a proponer y que hay que ajustar. Sin embargo, el valor de muchos de ellos es previsible en función de las dimensiones del dispositivo. En la Figura 11 se muestra el modelo propuesto y la respuesta del programa simulador la cual prácticamente coincide con la real.

A partir de ese modelo, se calculó el desfase y el error en magnitud en función de la frecuencia. En este caso se usó el mismo programa simulador. Para frecuencias de 50 Hz, el error en magnitud es inferior a 0.1 ppm, pero el desfase es de 1.3 μ rad. Este valor sube a 130 μ rad en 5 kHz, aunque el error en magnitud se mantiene inferior a 0.1 ppm. Para las aplicaciones previstas el valor de desfase es alto, dado que afecta directamente la medida de potencia en bajos factores de potencia.

Para disminuir estos errores, se usó una pantalla de blindaje. Esta técnica de compensación está descrita en [4]. La Figura 12 muestra un esquema de la ubicación del blindaje. Dicho elemento deriva parte de las capacidades parásitas con tierra, al electrodo de tensión de entrada. Ajustando la longitud de la pantalla, se varía la respuesta al escalón hasta lograr la óptima. Los ajustes son diferentes si lo que se pretende es lograr el menor desfase o el menor error en magnitud. Sin embargo, una buena solución se obtiene si se ajusta la respuesta para que el sobreimpulso sea sólo el producido por las oscilaciones amortiguadas iniciales. Respecto a éstas, debe notarse que la aplicación de la pantalla de compensación produce grandes oscilaciones iniciales, por no existir ningún elemento que las amortigüe. Para evitarlas se agregó resistores de bajo valor entre el terminal de entrada y la pantalla.

La Figura 13 muestra la respuesta obtenida y la

11402A DIGITIZING OSCILLOSCOPE {exp:3.3,dig:3.0,dsy:3.10}
 date: 24-JAN-96 time: 12:21:40 Instrument ID# B010581

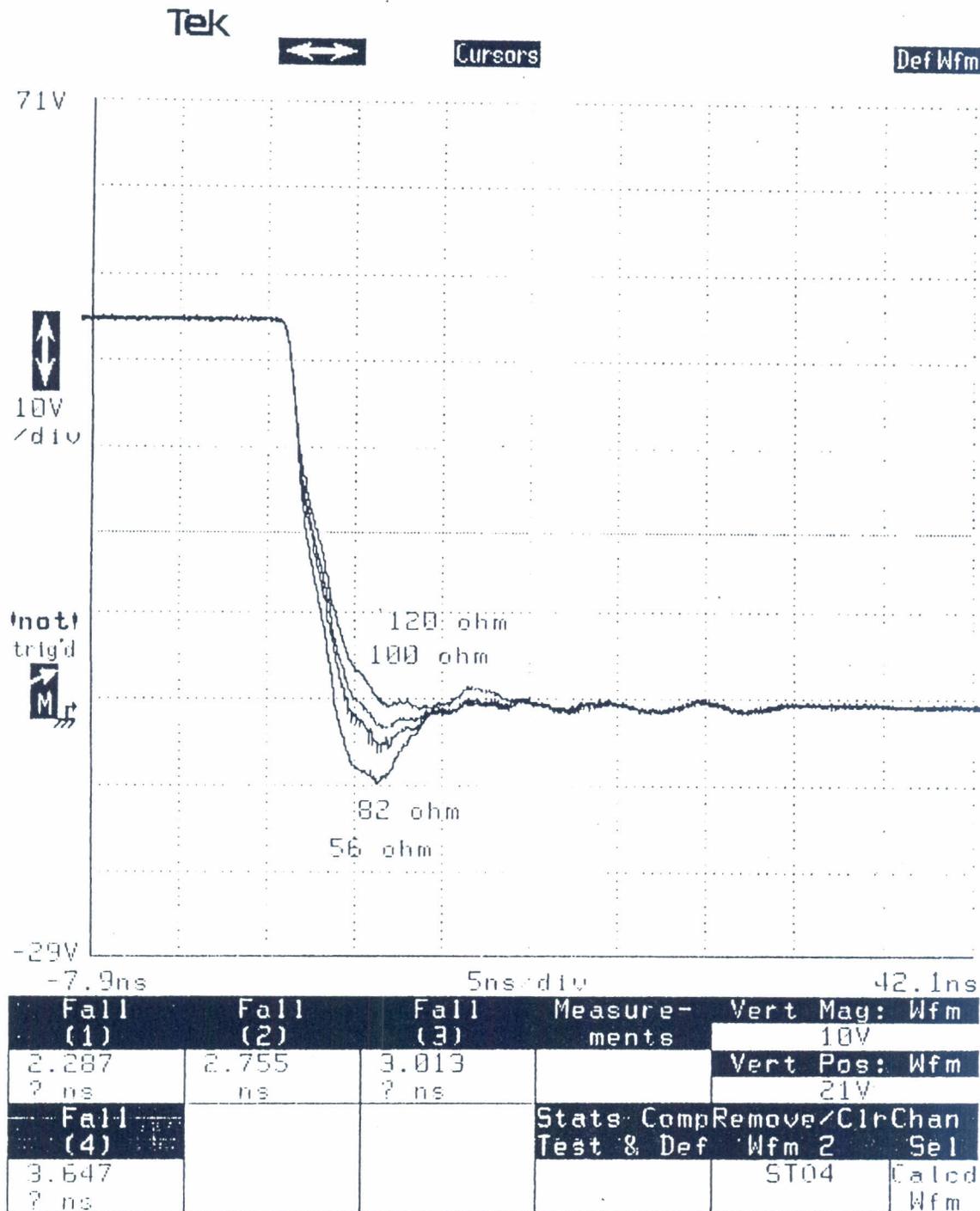


Fig. 4

simulada. El modelo usado se muestra en la Figura 14. En base a este modelo se calcularon los errores y desfases en función de la frecuencia. El error en magnitud se mantiene por debajo de 0.1 ppm hasta 50 kHz, mientras que los desfases son inferiores a 0.1 μ rad a 50 Hz, llegando a 7 μ rad a 5 kHz. De la comparación con el comportamiento inicial se concluye que los errores de magnitud se mantienen por debajo de 0.1 ppm para un ancho de banda 10 veces mayor y los desfases disminuyeron en unas 20 veces.

La respuesta al escalón tiene limitaciones, deri-

vada fundamentalmente del ancho de banda de 300 Mhz del osciloscopio usado. El generador utilizado es el de tipo coaxil descrito anteriormente. Por estas limitaciones, modelos que produzcan respuestas al escalón similares pueden tener, sin embargo, comportamientos distintos a frecuencia industrial. En particular, el valor del desfase es sensible a ciertas variaciones de la respuesta al escalón. Para delimitar la validez de los modelos, por estos efectos, se realizó un estudio de sensibilidad variando diversos parámetros de dichos modelos. La incertidumbre estimada para el desfase a 50 Hz es de 0.1 μ rad. En

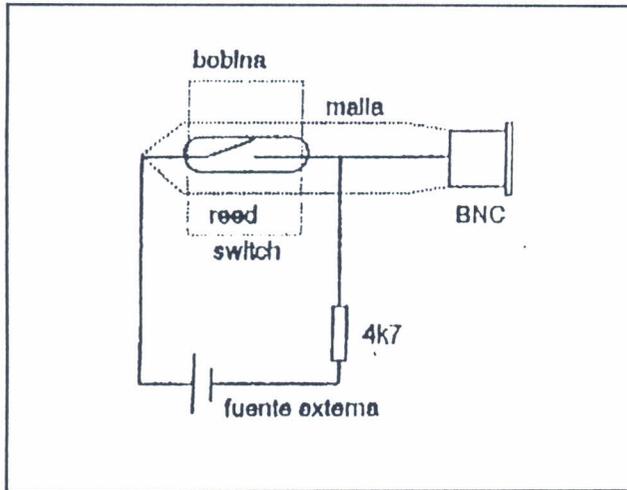


Fig. 5

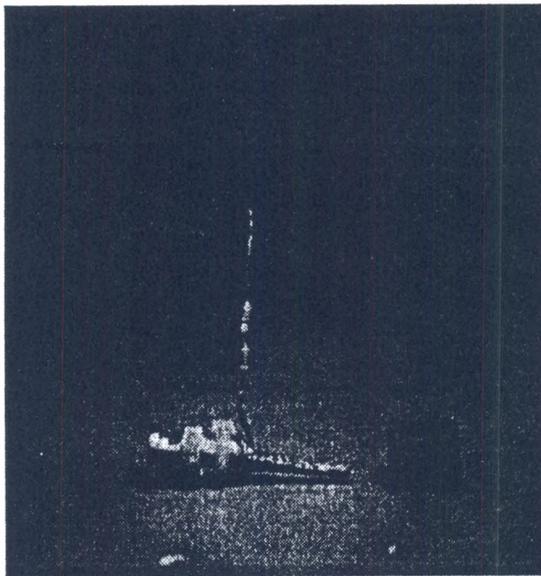


Fig. 6

el caso planteado, la compensación puede ajustarse de forma de lograr un incremento de 10 veces en la respuesta en frecuencia. Sin embargo, ajustes más finos no pueden ser evaluados por caer dentro del rango de incertidumbre. De todas formas el incremento logrado es grande y justifica la aplicación del método propuesto.

4. CONCLUSIONES

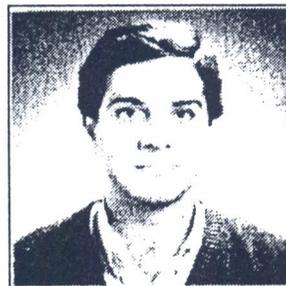
Se analizó el comportamiento de generadores de escalones mostrando que equipos convencionales pueden producir oscilaciones que confunden la respuesta del sistema a analizar. Se propone un diseño coaxial que tiene tiempos de subida inferiores a 1 ns, sin oscilaciones posteriores. Estas características

son ampliamente satisfactorias, aún para los divisores más rápidos en uso actualmente.

Como ejemplo de aplicación se utiliza este generador, y la respuesta al escalón, para evaluar el comportamiento de un divisor resistivo. Este método permite determinar muy pequeñas variaciones de la relación en función de la frecuencia y desfasajes a baja frecuencia. Se propone el mismo como alternativa a ensayos tradicionales, con la ventaja que no requiere de un divisor patrón como referencia.

5. REFERENCIAS

- [1] "RMS voltmeter based power and power-factor measuring system", P. Braga, D. Slomovitz, *Int. J. Elec.*, vol. 75, pp. 561-565, 11993.
- [2] "AC-DC Differences of high voltage thermal converters", D.X. Huang, J.R. Kinard, *Measurement Science Conference, California, U.S.A., Jan. 1992.*
- [3] MICROCAP II, Spectrum Software, 1021 S. Wolfe Rd., Sunnyvale, CA 94086, U.S.A.
- [4] "Thermal voltage converters for accurate voltage measurements to 30 Mhz", F.L. Hermach, E.S. Williams, *AIEE*, vol. 79, pp. 200-206, Jul. 1960.



Ing. Jorge Fernández Daher. Nació en Montevideo, Uruguay, el 25 de junio de 1961. Recibió el título de Ingeniero Industrial opción Electrónica de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, en 1987.

Desde 1980 trabaja en UTE, la empresa nacional de energía eléctrica del Uruguay, desempeñándose en el Departamento de Electro-

tecnia del Laboratorio desde el año 1984.

Es miembro activo de la Sección Uruguay del IEEE desde 1987, siendo en este momento el Secretario de la Sección.

Ha dictado cursos relativos a instrumentación y publicó artículos en publicaciones internacionales del IEEE. Es editor de la columna de Potencia e Instrumentación y Medidas del Boletín IEEE.



Ing. Daniel Slomovitz. Nació en Uruguay y se graduó como Ingeniero Eléctrico en 1978 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República de Uruguay.

Desde 1977 se desempeña en el Laboratorio de UTE (Usinas y Trasmisiones Eléctricas del Uruguay), ocupando el cargo de Jefe del Laboratorio desde 1979. Ha dictado numerosos cursos sobre su especialidad, siendo profesor catedrático en la Facultad de Ingeniería.

Se desempeña como consultor en las áreas de ensayos, instrumentación y mediciones.

Ha publicado más de 40 trabajos sobre su especialidad.

11402A DIGITIZING OSCILLOSCOPE
 date: 24-JAN-96 time: 12:25:46

{exp:3.3,dig:3.0,dsy:3.10}
 Instrument ID# B010581

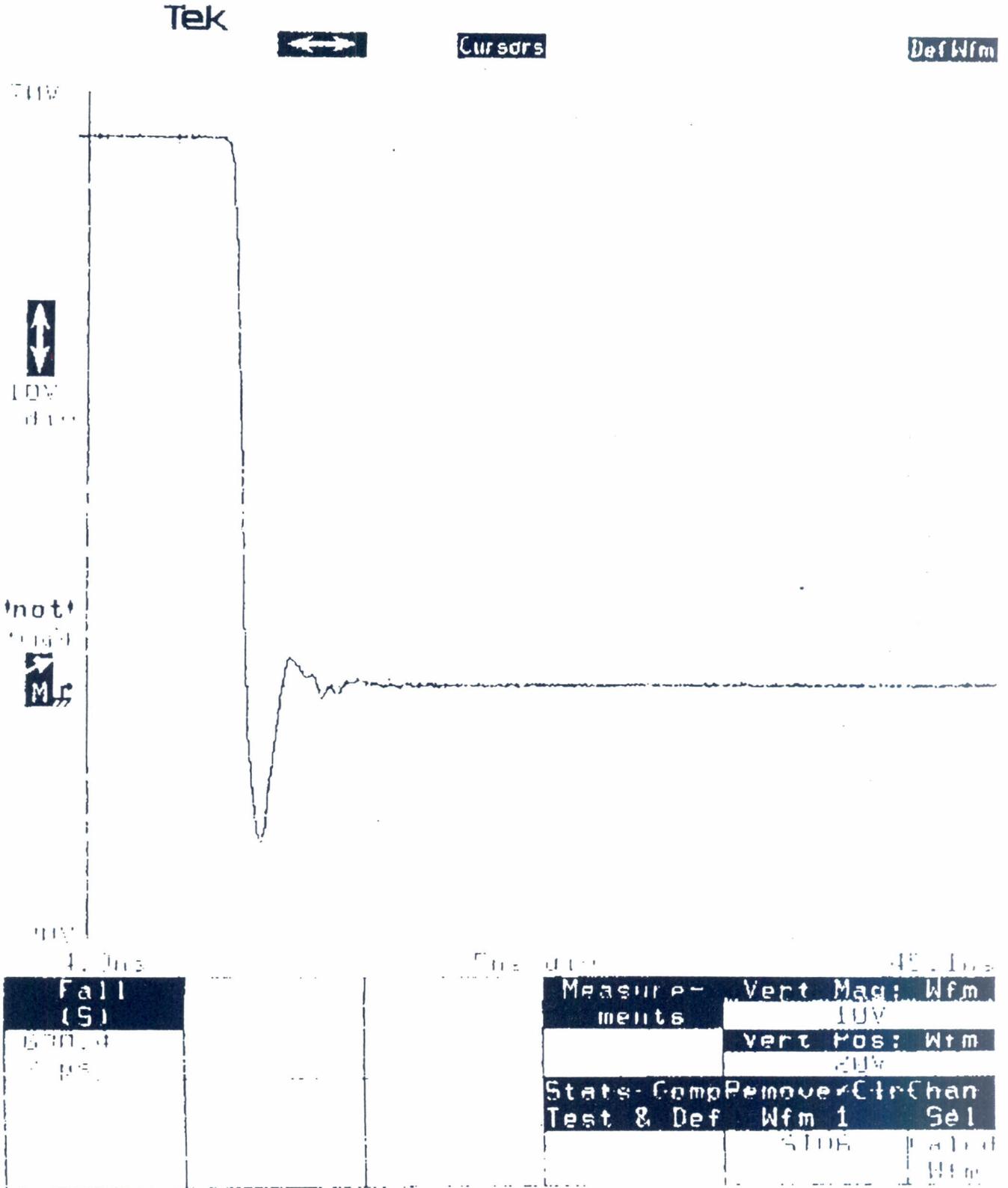


Fig. 7

11402A DIGITIZING OSCILLOSCOPE
 date: 24-JAN-96 time: 12:27:18

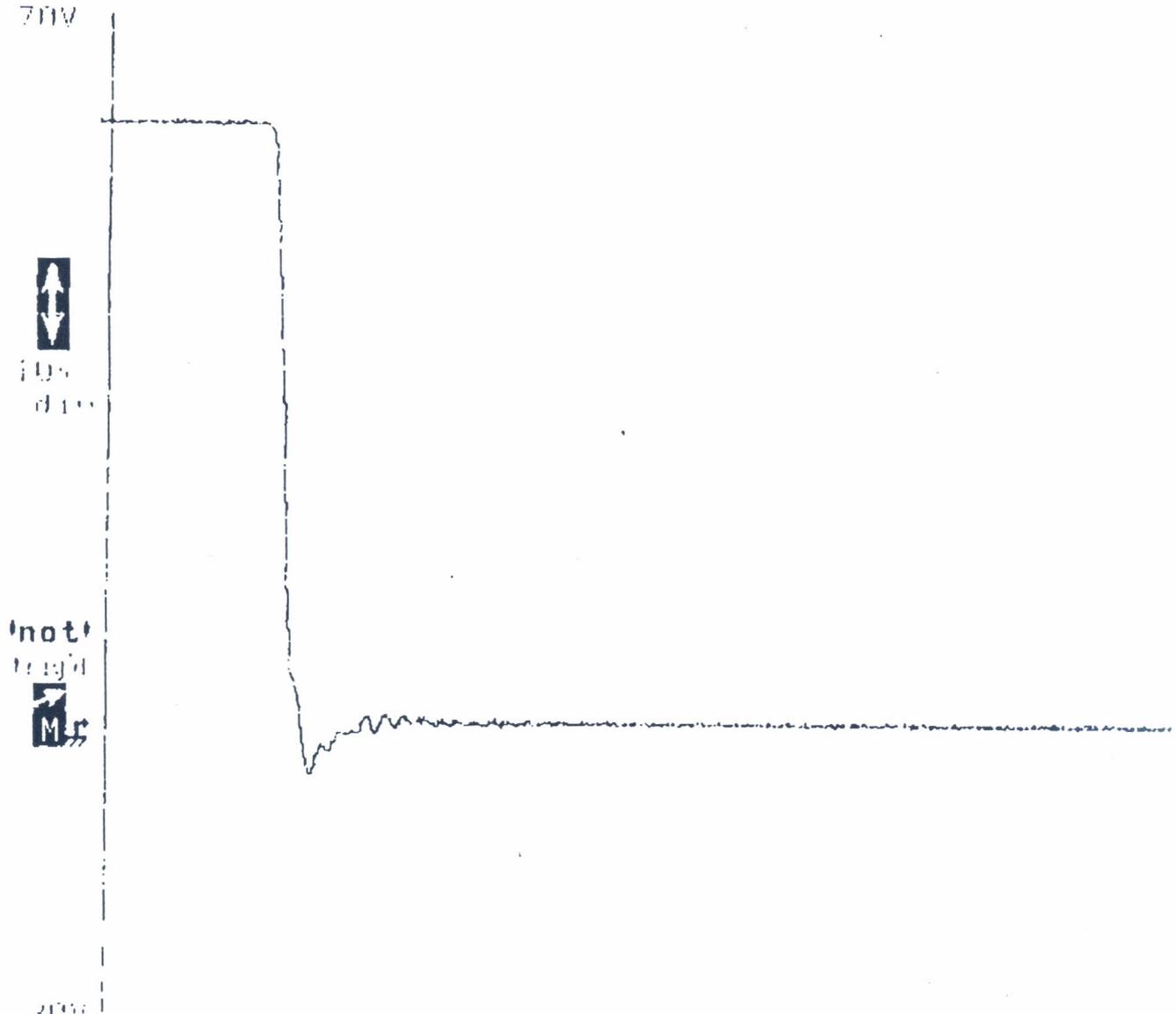
{exp:3.3,dig:3.0,dsy:3.10}
 Instrument ID# B010581

Tek



Cursors

Def Wfm



1.0ns	500ns	40.1ns
Fall	Measurements	Vert Mag: Wfm
(5)		10V
703.7		Vert Pos: Wfm
2 ps		0V
	State Comp Remove	Clr Chan
	Test & Def	Wfm 1 Set
		500V
		Auto
		High

Fig. 9

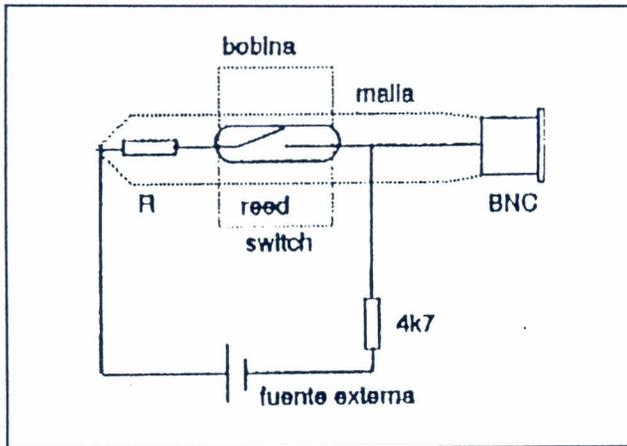
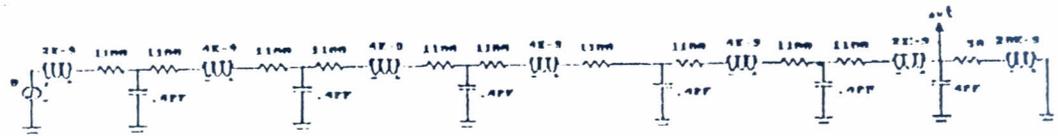


Fig. 8

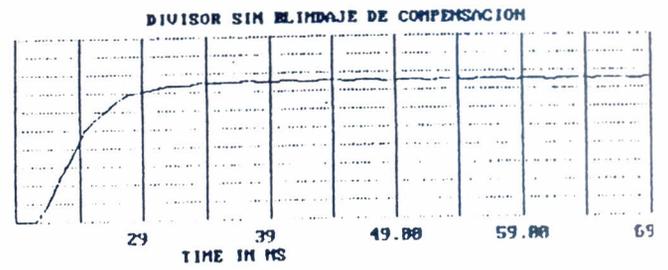


Fig. 11

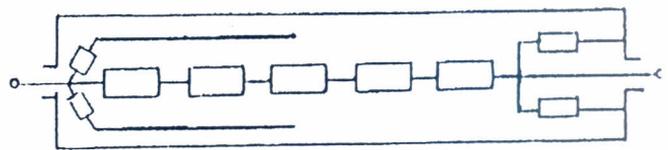
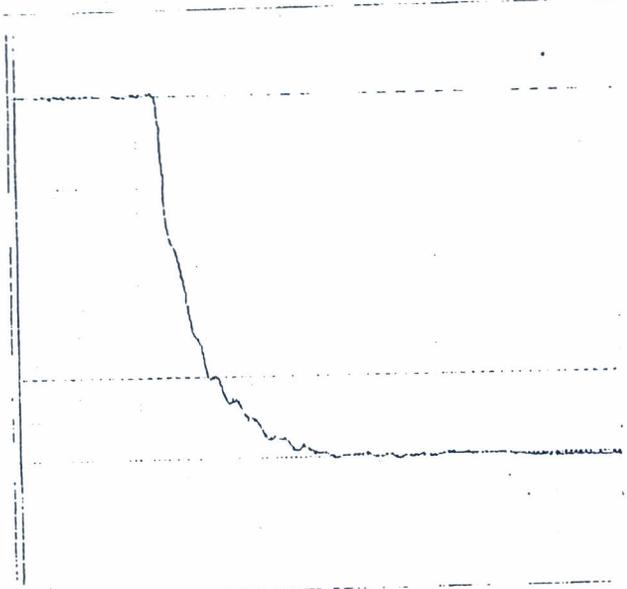
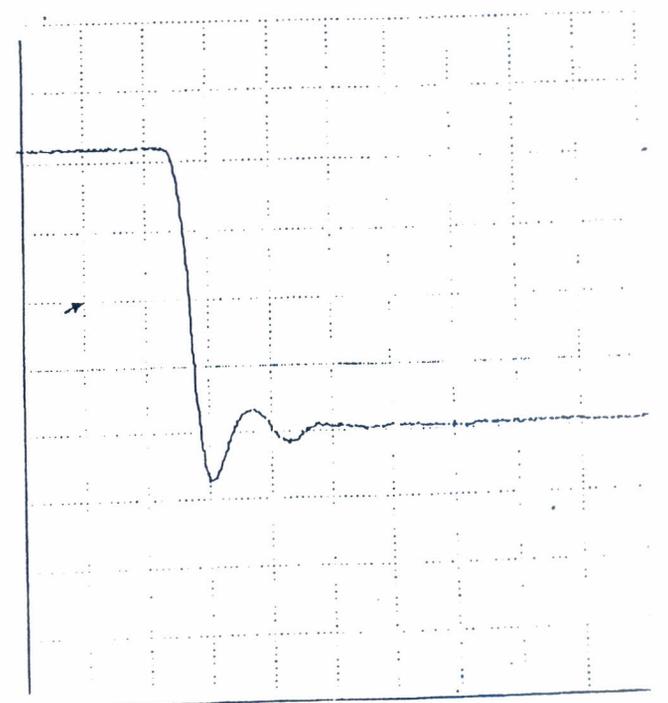


Fig. 12



5ns/div

Fig. 10



2ns/div

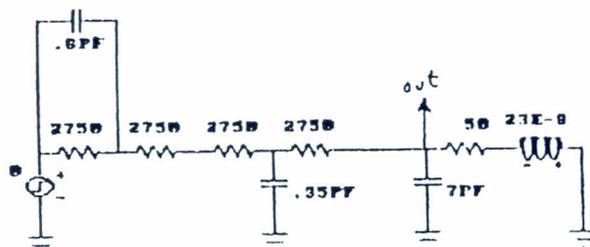


Fig. 14

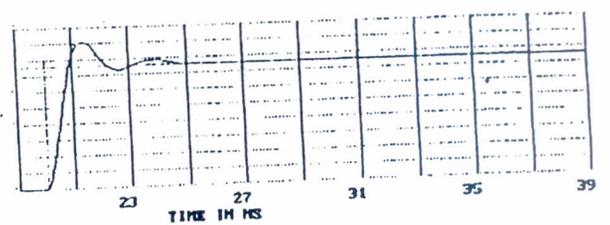


Fig. 13