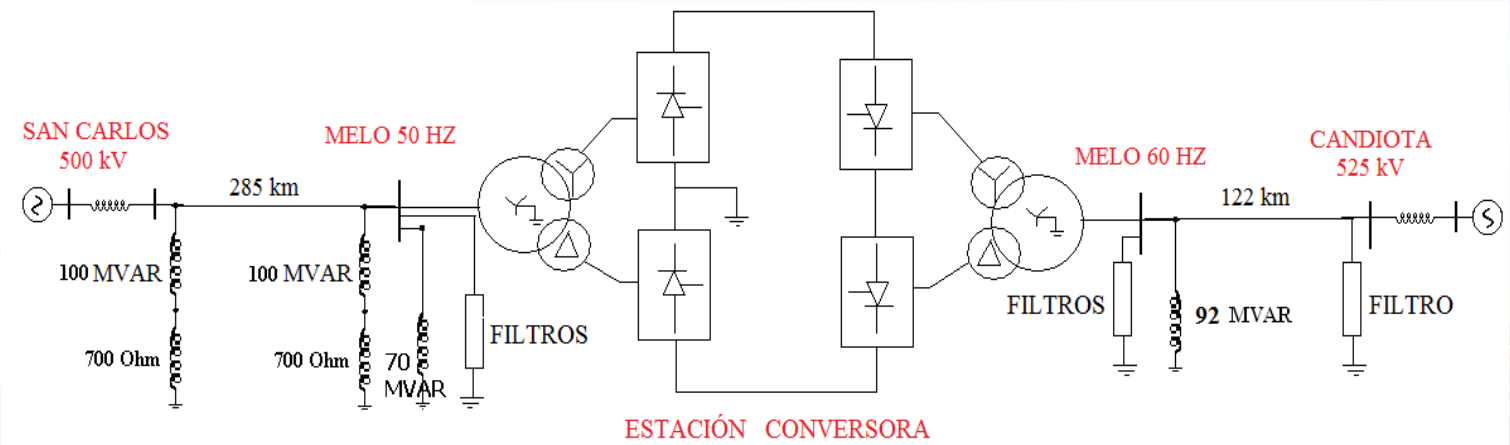
MODELADO EN ATP DE UNA ESTACIÓN CONVERSORA DE FRECUENCIA HVDC BACK-TO-BACK DE 500 MW ENTRE URUGUAY Y BRASIL

GAT/
G.Calzolari C.Saldaña

XXIV SNPTEE
Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BACK-TO-BACK

Una nueva estación conversora de frecuencia HVDC Back-to-Back (BtB) de 500 MW fue puesta en servicio en marzo del año 2016. Este BtB interconecta los sistemas eléctricos de potencia de Uruguay (500 kV, 50 Hz) y Brasil (525 kV, 60 Hz) con una potencia nominal transferida, en ambas direcciones, de 508 MW.



Sus principales características técnicas DC son: a) Potencias nominal y máxima iguales a 508 MW y 559 MW respectivamente b) Corriente nominal igual a 3206 A c) Voltaje nominal igual a ± 79.2 kV.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BACK-TO-BACK

En condiciones normales de operación el BtB puede ser operado, en cada lado, en uno de los siguientes modos de control:

a) el intercambio de potencia reactiva entre el Sistema de potencia y el BtB es monitoreado constantemente. Una acción de control es tomada si el intercambio sale de una banda predefinida

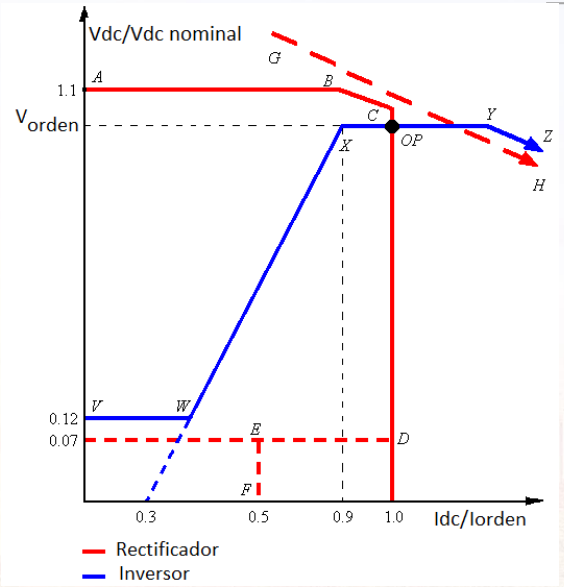
b) la tension AC del lado de alta tension es monitoreada constantemente. Una acción de control es tomada si la tension AC sale de una banda predifinida

c) el número de filtros en operación, definido de acuerdo a la orden de potencia DC, es monitoreado constantemente. Una acción de control es tomada si la consigna de la potencia DC es cambiada.

El diseño de la estación conversora consideró los siguientes valores mínimos de potencia de cortocircuito: a) Melo 50 Hz, 1250 MVA, X/R= 4 b) Melo 60 Hz, 1400 MVA, X/R=9.

Debido a la especificación técnica contenida en el pliego de la licitación, la estación conversora y su equipamiento asociado no fueron diseñados para un esquema de recierre monofásico en las líneas San Carlos – Melo 50 Hz y Melo 60 Hz – Candiota.

OPERACIÓN DINÁMICA



La operación de los loops de control DC se refleja en las denominadas Características Estáticas. Estas son graficadas en un plano V_{dc} – I_{dc} e ilustran los requerimientos de los sistemas de control de los puentes rectificador e inversor.

Los segmentos de la característica del rectificador corresponden a los siguientes loops de control: **AB** “máxima tensión DC”, **BC** “mínimo ángulo de disparo (α)”, **CD** “corriente DC”, **GH** “control del ángulo de extinción (γ) del inversor ”, **DEF** “low voltage current clamp (LVCC)”.

Los segmentos de la característica del inversor corresponden a los siguientes loops de control: **VW** “mínima tensión DC”, **WX** “voltage dependent current order limit (VDCOL)”, **XY** “tensión DC”, **YZ** “mínimo ángulo de extinción (γ) del inversor”.

En condiciones normales de operación el punto de trabajo (OP) del BtB es la intersección de los segmentos **CD** y **XY**.

OPERACIÓN DINÁMICA

Las “Características Estáticas” no representan todos los loops de control DC del rectificador y del inversor.

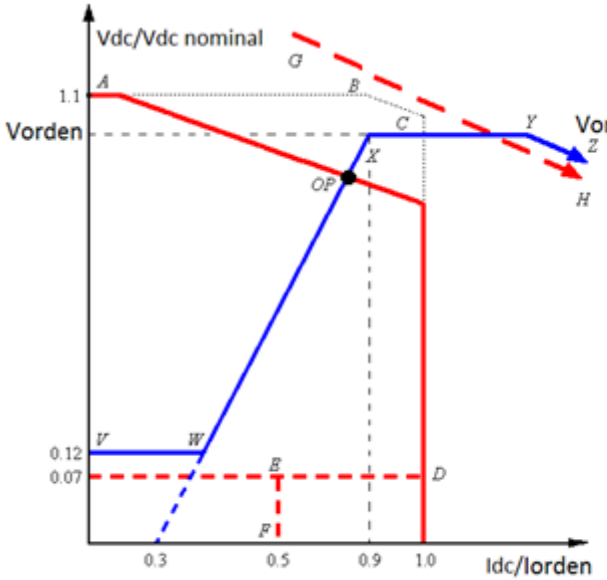
Los restantes loops de control del rectificador son:

a) loop “Mínimo ángulo de extinción”. Cuando el rectificador pasa a operar como inversor este loop evita que el valor del ángulo de extinción alcance un valor menor que el valor mínimo permitido.
b) loop “Sobretensión AC”. Este loop actúa cuando se producen sobretensiones AC variando el ángulo α con el objetivo de reducir las mismas.
c) loop “Máximo ángulo α”. Este loop evita que el ángulo α alcance un valor mayor que el valor máximo permitido.

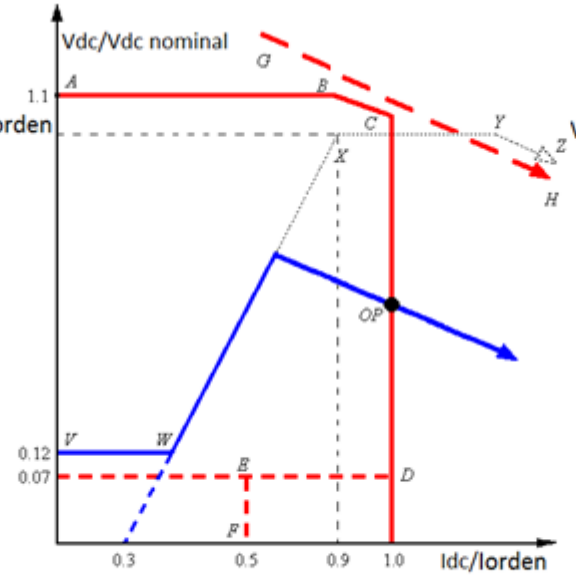
Los restantes loops de control del inversor son:

a) loop “Sobretensión AC”
b) loop “Máximo ángulo α”
c) loop “Mínimo ángulo α”. Este loop evita que el ángulo α alcance un valor menor que el valor mínimo permitido.

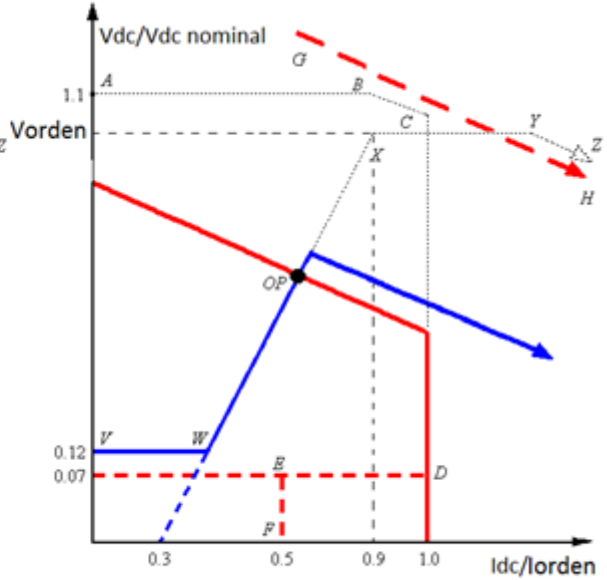
OPERACIÓN DINÁMICA



– Reducción de tensión AC lado rectificador



– Reducción de tensión AC lado inversor – loop **CD**



– Reducción de tensión AC lado inversor – loop **GH**

MODELADO EN ATP

A partir de la información suministrada por el fabricante a través de notas técnicas, un modelo completo del BtB fue desarrollado por los autores para el programa ATP.

Transformadores convertidores

Cada uno de los bancos de transformadores monofásicos fueron modelados utilizando el Saturable Transformer Component del ATP. Este modelo permite variar facilmente la posición del tap de acuerdo a los diferentes escenarios de operación del BtB.

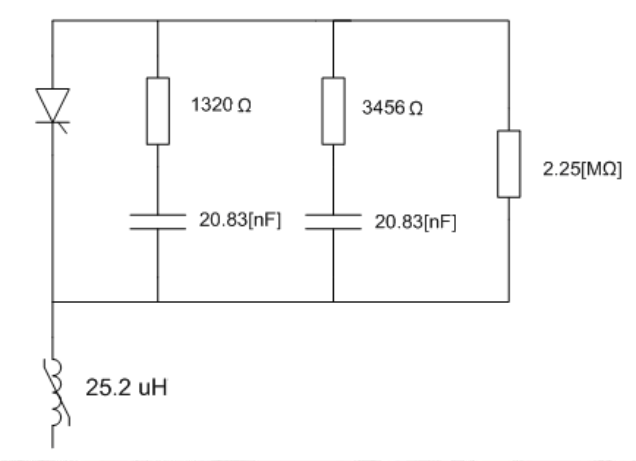
Para cada unidad monofásica el fabricante suministró la característica del ensayo en vacío, el knee point y la inductancia de núcleo de aire. A partir de estos datos se obtuvieron dos características flujo - corriente resultantes de la utilización de las rutinas SATURA e HYSTERESIS HEVIA, de forma de tener en cuenta el efecto de la saturación, ciclo de histéresis y flujo residual.

Después de un recierre exitoso en una de las líneas que alimentan el BtB, el transformador convertidor y los filtros deben ser re-energizados. Es importante determinar la magnitud y evolución de los flujos residuales, lo cual depende de las capacidades, histeresis del material magnético y de la corriente “chopped”.

MODELADO EN ATP

Puentes de Tiristores

Cada puente de tiristores fue modelado con 6 tiristores equivalentes, con inductancias saturables externas y “snubber circuits”. Cada tiristor fue modelado por una llave “Type 11 TACS-controlled switch”. Los valores de los parametros son:
V_{ig}=2.4 kV, I_{hold}=0.35A and t_{DEION}=550 μs .



Loops de control DC

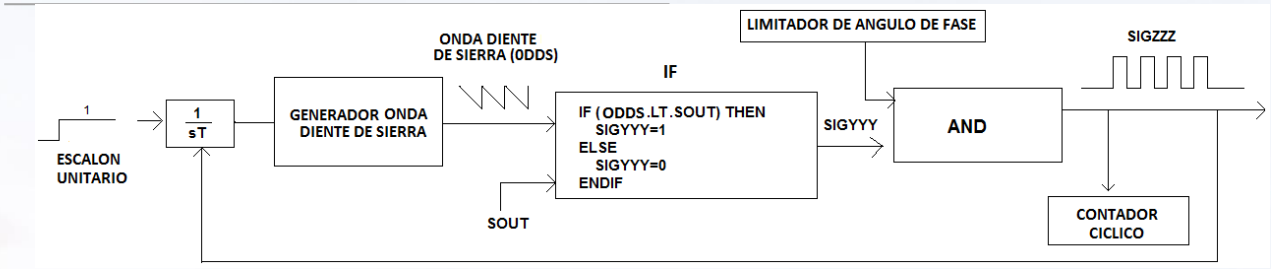
Todos los loops de control DC son básicamente controles del tipo P y ellos fueron implementados en TACS con “S-blocks”.

Las señales de salida de todos los loops de control DC son combinadas a través de compuertas lógicas con el objetivo de seleccionar solamente una de ellas (SOUT), la cual será envíada a un “Phase Locked Oscillator”. La combinación de compuertas lógicas fue implementada en TACS con el dispositivo “Type 63”.

MODELADO EN ATP

<u>Esquema de Disparo</u>

Consiste de un generador de tren de pulsos, un limitador del ángulo de fase y un contador cíclico (ring counter).

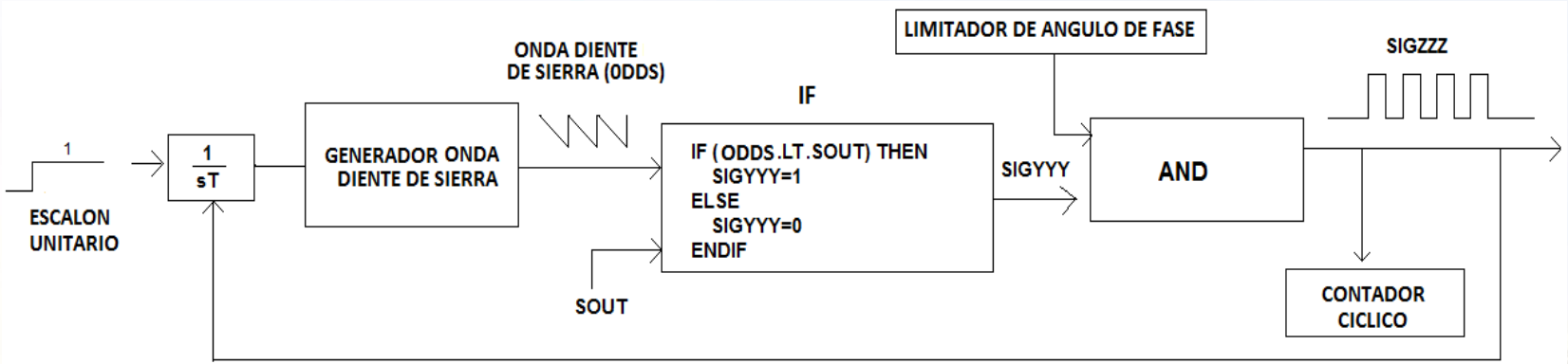


El sistema de control “Phase Locked Oscillator” (PLO) genera pulsos de disparo a intervalos relativos de 30º, altamente precisos, siendo este control casi independiente de las posibles distorsiones en los voltajes AC.

Un integrador controlado, con T= ciclo/12, comienza a integrar un escalón unitario como señal de entrada, la resultante señal de salida en rampa entra a un bloque que genera una onda diente de sierra como señal de salida. Esta es una señal de entrada a un bloque “IF”.

La otra señal de entrada a este bloque es SOUT cuyo valor es igual a cero en régimen permanente. En el instante en que la onda diente de sierra es menor que cero se genera un pulso de amplitud uno denominado SIGYYY.

MODELADO EN ATP

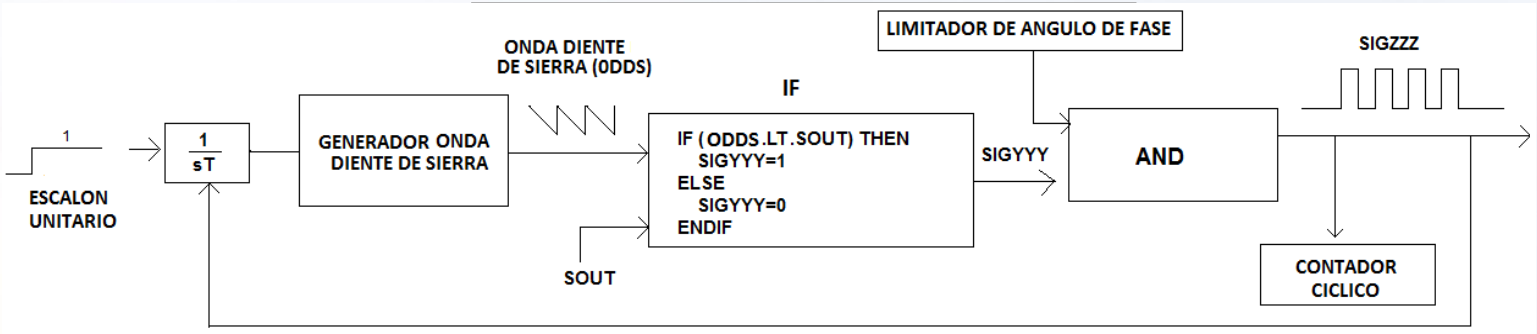


El limitador de ángulo de fase controla que la tensión aplicada en bornes del tiristor sea positiva, cuando esto sucede la señal de salida de este bloque es igual a uno. Este bloque es relevante en particular durante la recuperación del BtB después de una gran perturbación en el sistema AC.

Si las dos señales de entrada de la compuerta lógica AND son iguales a uno, un pulso de amplitud uno y duración un paso de integración, denominado SIGZZZ es generado.

El PLO comanda un contador cíclico de doce escalones el cual se mueve de un escalón al siguiente por cada pulso de entrada SIGZZZ.

MODELADO EN ATP

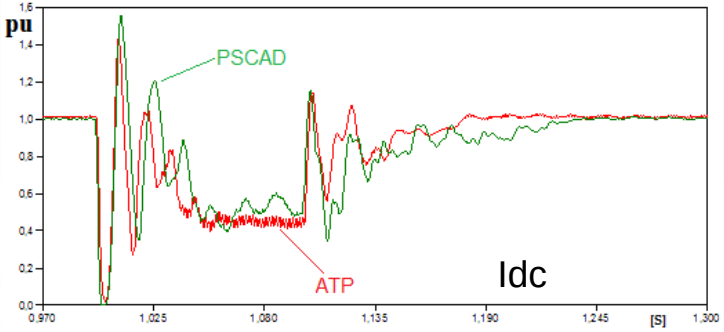


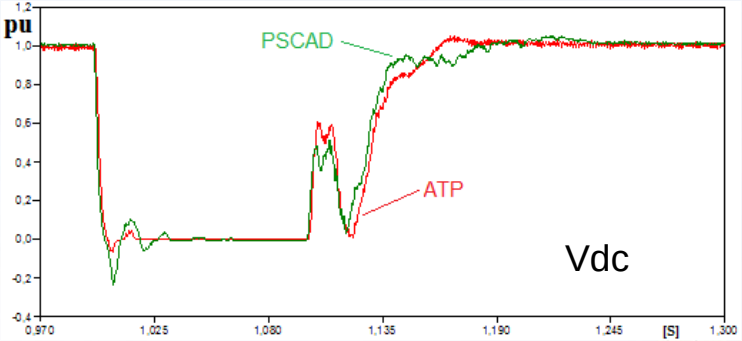
Durante la transición de un escalón a otro el contador envía este pulso SIGZZZ a un circuito monoestable que genera un pulso rectangular de amplitud uno y duración 120º eléctricos, el cual es enviado al gate del tiristor.

Cuando el pulso SIGZZZ es generado el integrador controlado es reseteado a cero y el proceso de generación de un pulso de disparo arranca nuevamente. La frecuencia del tren de pulsos de disparo es igual a 12*f, siendo f la frecuencia del sistema AC.

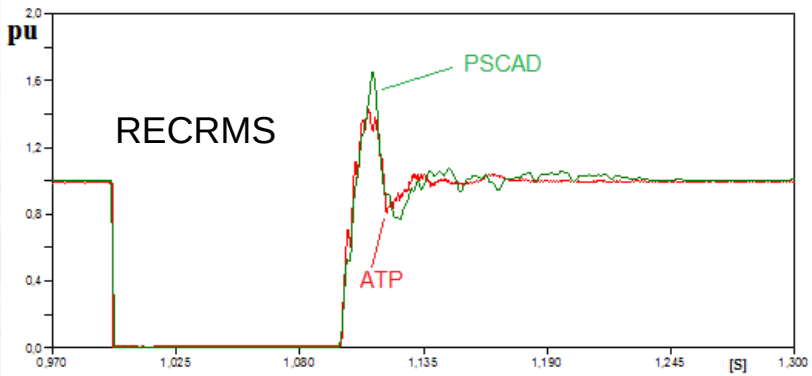
Todos los elementos entre la señal de entrada en escalón y la señal de salida SIGYYY fueron modelados utilizando la rutina TACS. El limitador de ángulo de fase, el tren de pulsos y el contador cíclico fueron implementados como “modelo de usuario” en TACS usando el dispositivo “Type 69”.

APLICACIÓN Y REMOCIÓN DE UNA FALTA TRIFÁSICA RECTIFICADOR

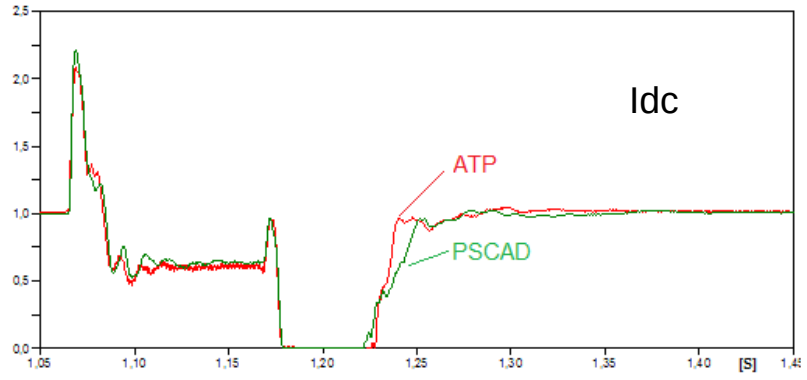


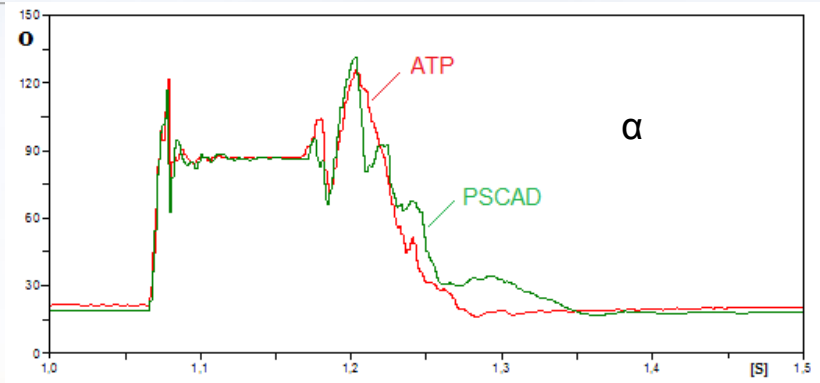


Pdc= 512 MW desde Brasil a Uruguay
Idc= 3212.4 A
Vdc= 159.4 kV
VAC= 1.0 pu.
Duración falta= 100 ms

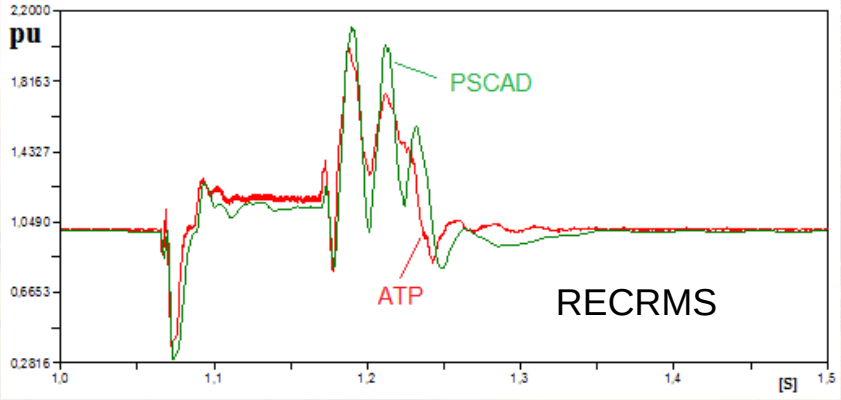


APLICACIÓN Y REMOCIÓN DE UNA FALTA TRIFÁSICA INVERSOR





Pdc= 512 MW desde Brasil a Uruguay
Idc= 3212.4 A
Vdc= 159.4 kV
VAC= 1.0 pu.
Duración falta= 100 ms



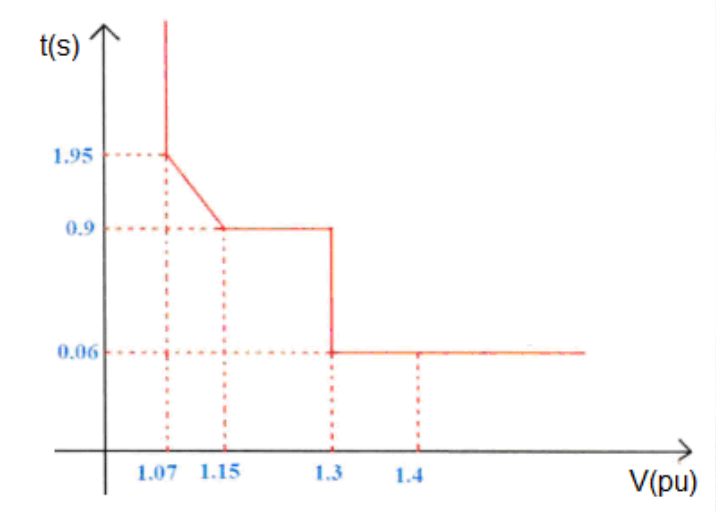
CONCLUSIONES

Se realizaron también simulaciones de aplicaciones de faltas monofásicas con recierre exitoso y se hicieron comparaciones con los resultados del fabricante obtenidos con PSCAD y RTDS.

Se concluye que los resultados con ATP se ajustan adecuadamente con los del fabricante.

La principal conclusión es que este modelo de usuario en ATP permite llevar a cabo estudios de transitorios electromagnéticos con el objetivo de evaluar el impacto de este nuevo equipo en los sistemas de potencia de Uruguay y Brasil.

CONTROL DE SOBRE/SUB TENSIÓN TEMPORARIA



Este control maniobrará el reactor shunt de 70 MVAr y los filtros capacitivos cuando la magnitud de la tensión AC del lado de alta tensión alcance valores fuera de la banda de operación. Esta banda fue ajustada entre 0.0 pu y 1.07 pu.

El valor del límite inferior significa que el control de subtensión fue deshabilitado por el fabricante con el objetivo de evitar un indeseable “bang-bang switching” entre los equipos de compensación de potencia reactiva.
El control de sobretensiones temporarias tiene dos tipos de características una de “tiempo inverso” y otra de “tiempo definido”.

La característica fue modelada utilizando la rutina TACS, las maniobras de bancos de filtros capacitivos fueron implementadas utilizando llaves tipo “Type 11 TACS - controlled switch” tomando en cuenta los pasajes por cero de las corrientes por los filtros, para la apertura de las mismas.

INICIALIZACIÓN DEL MODELO DEL BtB

Para un determinado escenario de operación del sistema de potencia, el procedimiento de inicialización consta de las siguientes etapas:

a) A partir de los resultados de una simulación de flujo de carga se obtienen la magnitud y ángulo de las tensiones AC en las barras Melo 50 Hz y Melo 60 Hz, la posición de los taps en los transformadores convertidores, número de bancos de filtros en servicio a ambos lados y las potencia activa y reactiva intercambiadas entre el BtB y ambas redes de potencia.

b) Potencia, tensión y corriente DC en los lados rectificador/inversor, ángulo α de disparo del rectificador, ángulo γ de extinción del inversor y potencia reactiva absorbida por el rectificador/inversor, son también obtenidas del flujo de carga.

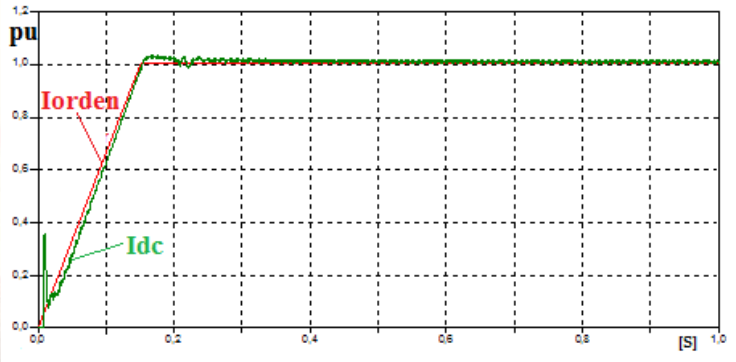
c) Dos fuentes trifásicas de tensión AC, “Type 14”, con parámetros iguales a las magnitudes y ángulos de los voltajes en las barras Melo 50 Hz y Melo 60 Hz se conectan a éstas desde el comienzo de la simulación con ATP y se retiran cuando las corrientes y tensiones DC son cercanas a sus valores de régimen permanente.

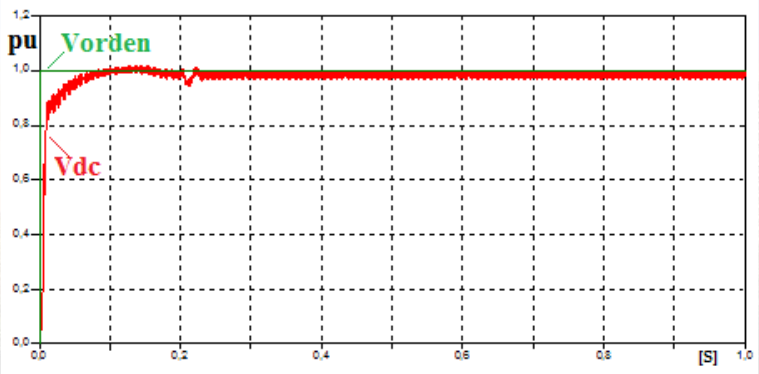
INICIALIZACIÓN DEL MODELO DEL BtB

d) La orden de tensión DC (Vorden) se define como una función escalón entre cero y su valor de consigna.

e) La orden de corriente DC (Iorden) se define como una función rampa entre cero y su valor de consigna, con una pendiente ajustada para cada escenario de operación.

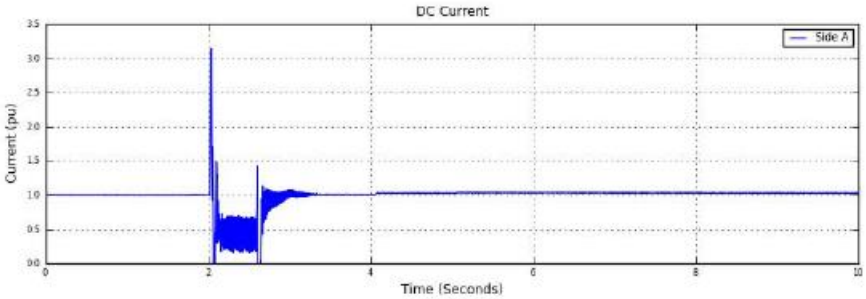
f) Una vez que las principales variables en la simulación con ATP alcanzan su condición de régimen permanente se deben comparar los valores obtenidos contra los resultados del flujo de carga.



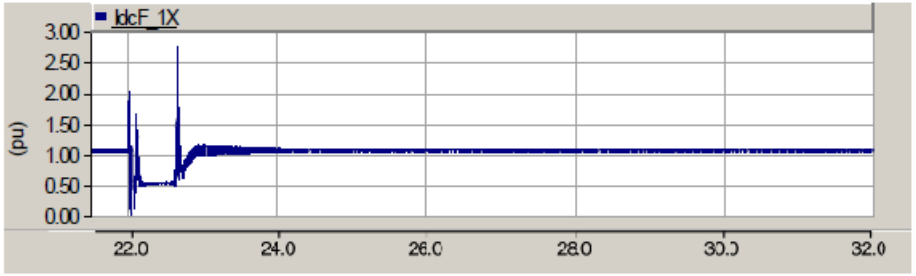


Las fuentes dummy fueron retiradas luego de 200 ms y se alcanzaron las condiciones de régimen permanente en 300 ms.

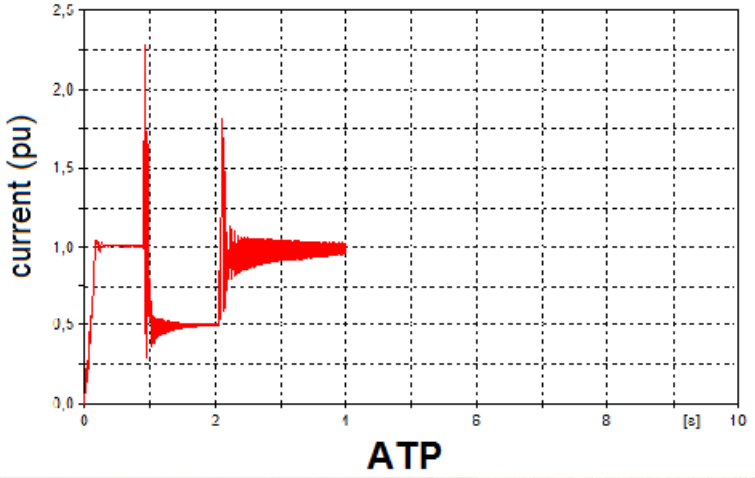
BRASIL >>>>>>> URUGUAY 1FT URUGUAY



RTDS

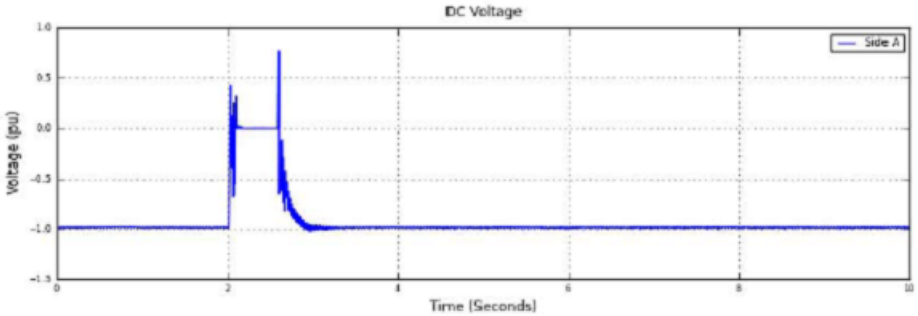


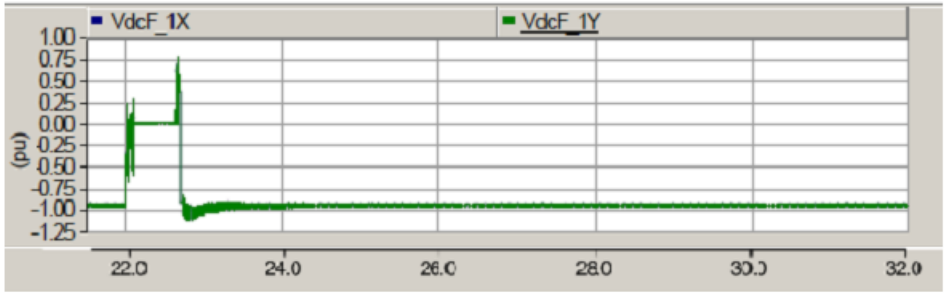
PSCAD



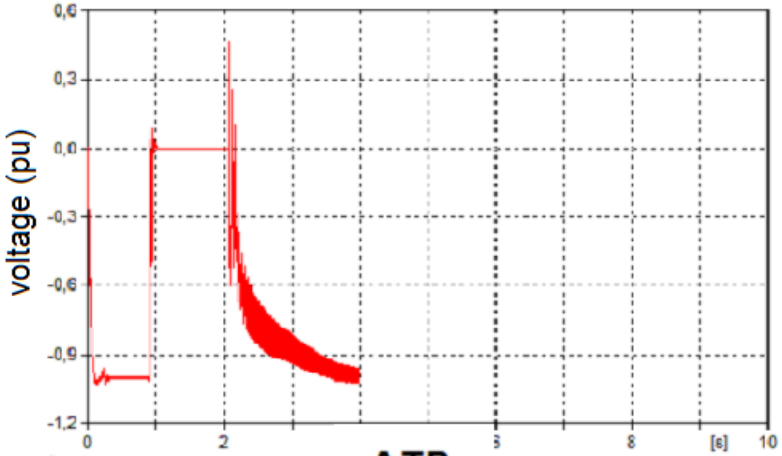
ATP

BRASIL >>>>>>> URUGUAY 1FT URUGUAY





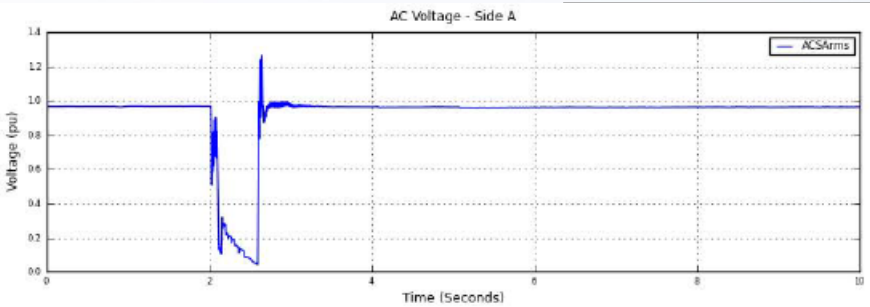
RTDS



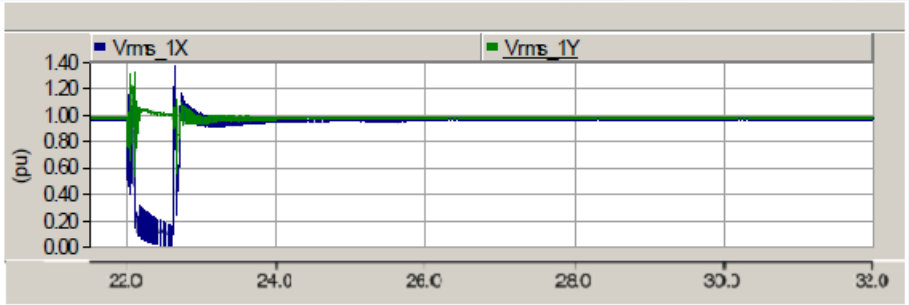
ATP

PSCAD

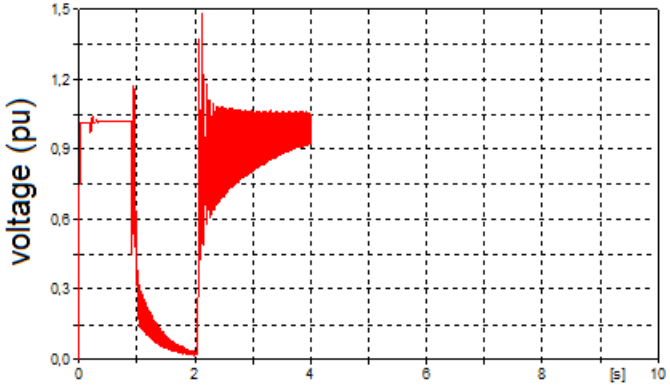
BRASIL >>>>>>> URUGUAY 1FT URUGUAY



RTDS

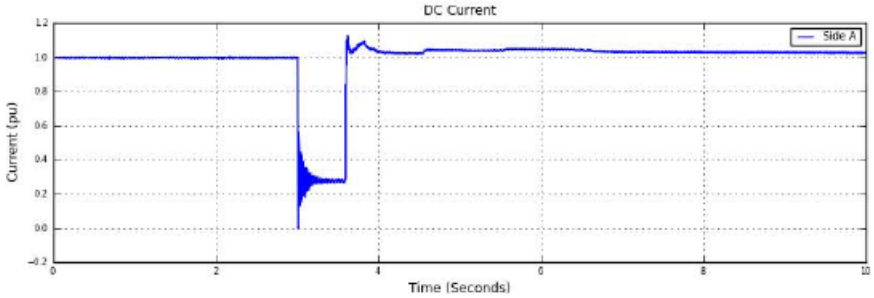


PSCAD

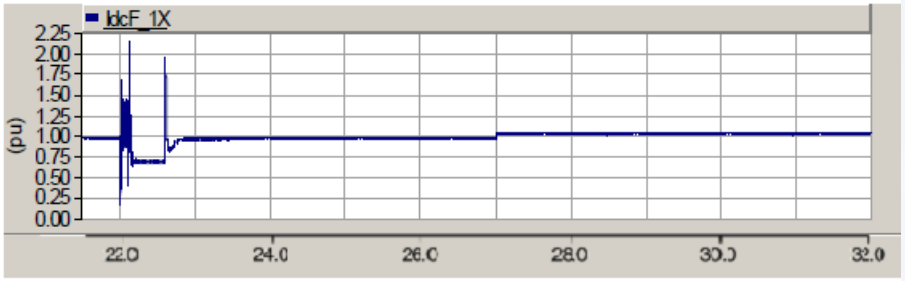


ATP

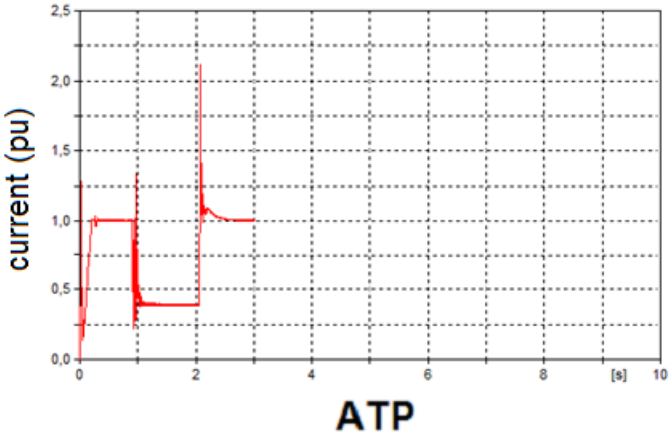
URUGUAY >>>>>>>> BRASIL 1FT URUGUAY



RTDS

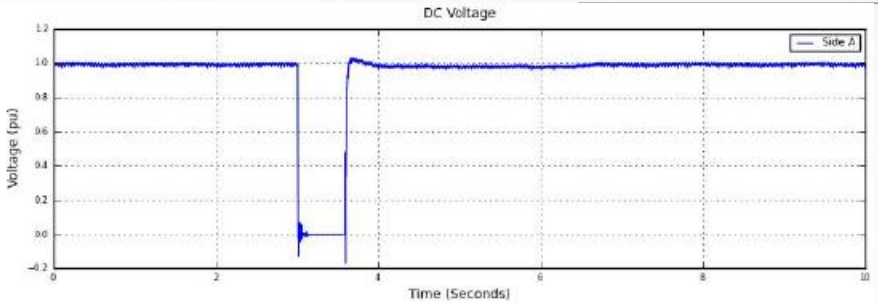


PSCAD

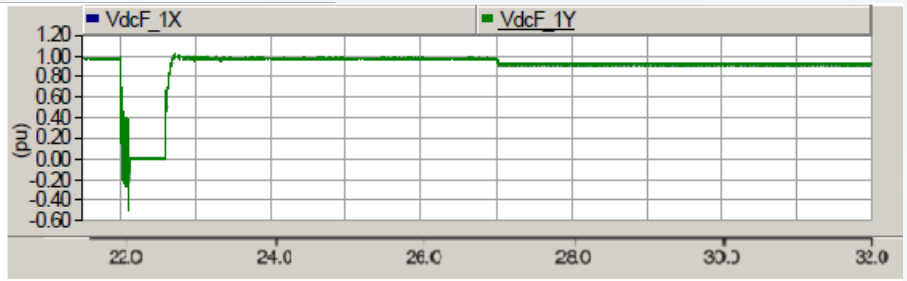


ATP

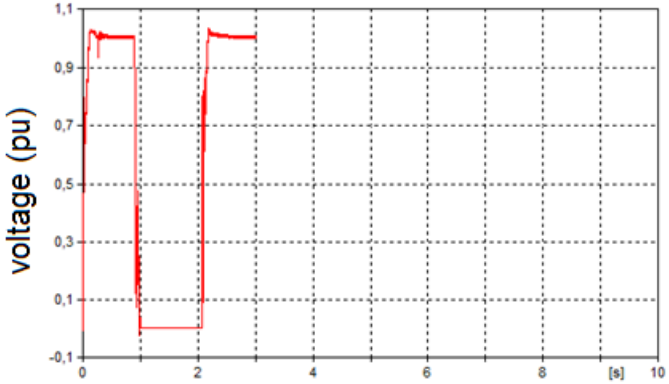
URUGUAY >>>>>>> BRASIL 1FT URUGUAY



RTDS

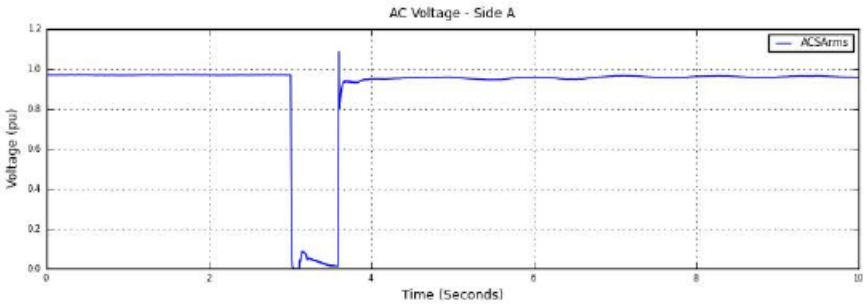


PSCAD

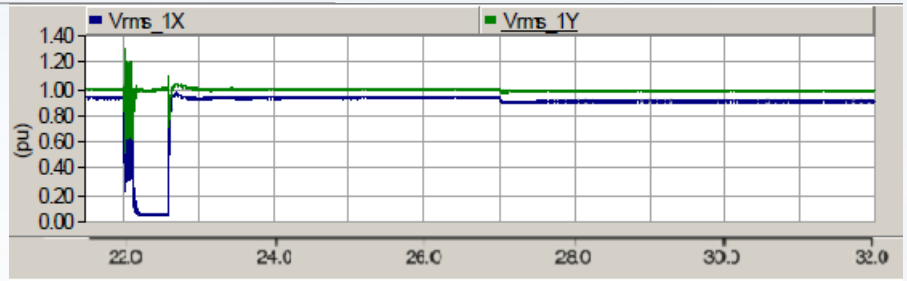


ATP

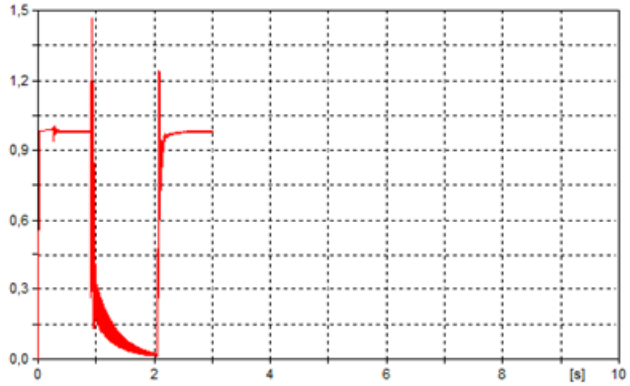
URUGUAY >>>>>>> BRASIL 1FT URUGUAY



RTDS



PSCAD



ATP