



Sistemas HVDC

SESIÓN 3 :
Estado del arte en Metodologías y modelos para HVDC

Simulación en tiempo real y pruebas HIL para eliminar el riesgo de la integración de HVDC



LUIS GIRALDO
IEB S.A.



Agenda

- Introducción y Teoría de Operación de RTDS
- RTDS - Hardware & Software
- Aplicaciones y Ejemplos en HVDC
- Conclusiones y Referencias
- Preguntas

Antecedentes de la Simulación en tiempo Real: EMT

Transient Network Analyzers (TNA)

RMS & Transitorios/Instantáneos



RMS - FASOR (50/60Hz)

Análisis:

- Flujos de Carga
- Cortocircuito

RMS - FASOR (50/60Hz)

Herramientas:

- Computadores Analógicos
- BPA, PSS&E, DIgSILENT & otros

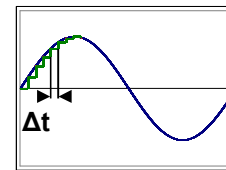
Análisis: Fasor

- Flujos de Carga
- Cortocircuito
- Estabilidad transitoria (TSA)
 $\Delta t \sim 8 \text{ ms}$

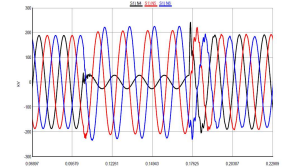


INSTANTÁNEOS - OFF LINE

- Algoritmo de Dommel (1960-UBC & S. Meyer de BPA) de análisis Nodal, usado en EMTP, RTDS, PSCAD, DIgSILENT, etc...
- OMICRON – Relay SymTest (iterativo)

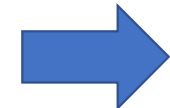
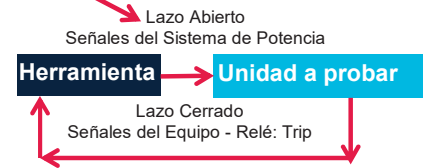


0 – 3 kHz (>15 kHz)
 $\Delta t \sim 1 - 50 \mu\text{s}$



INSTANTÁNEOS - ON LINE

- Real Time Digital Simulator - RTDS® (1994)
- Tiempo Real:
- Cálculos $< \Delta T \sim 50 \mu\text{s}$ (CC a 3 kHz)
- Los cálculos y servicios de I/O se completan en un ΔT
- Mímico – Consola
- Pruebas Automáticas: C, reportes y gráficas
- HIL: CHIL & PHIL:
- Múltiples dispositivos y esquemas completos a la vez
- Representación detallada, ej: electrónica de potencia



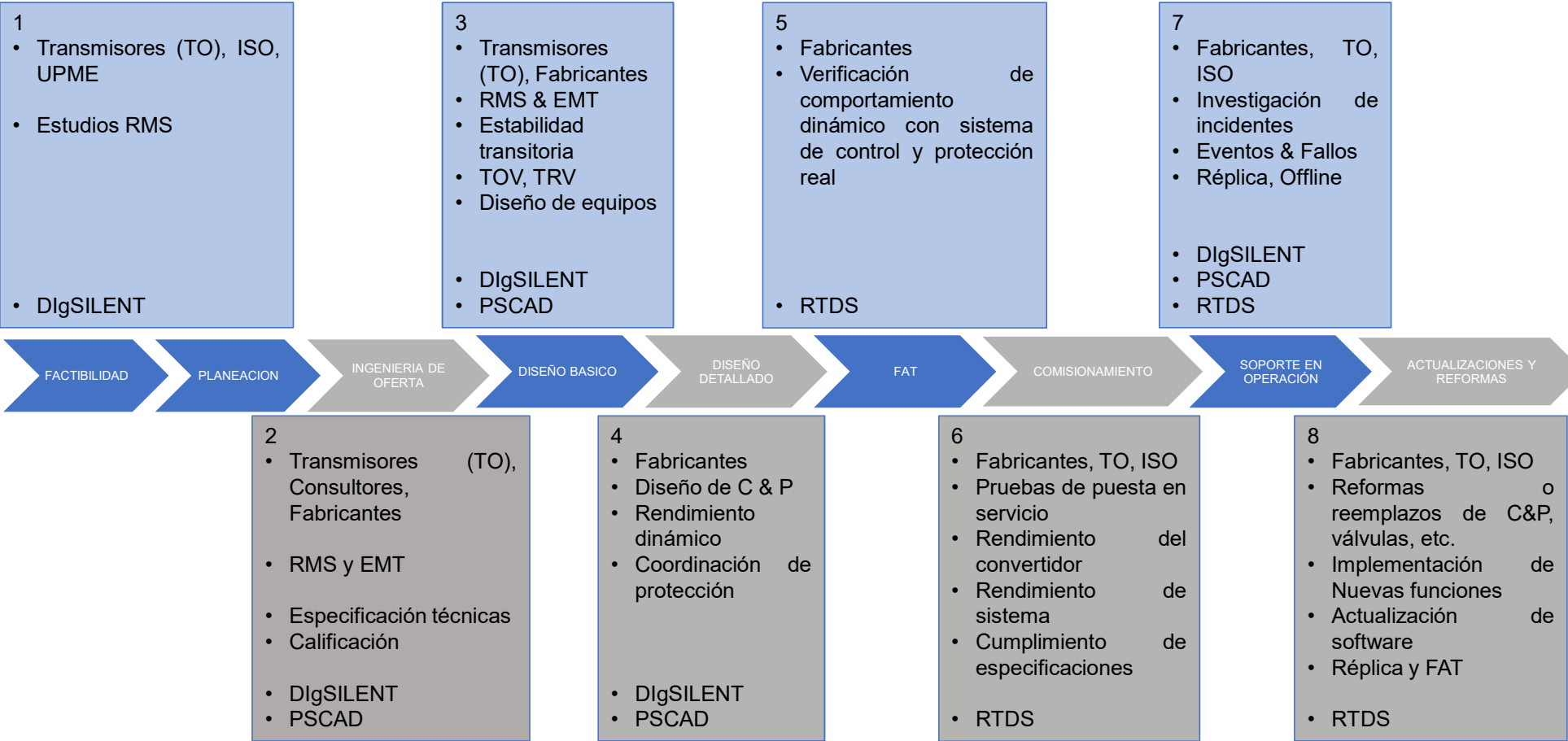
Simulación a gran Escala





Estudios y herramientas del Proyecto HVDC

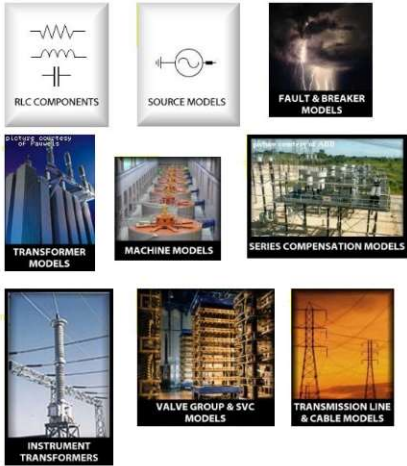
[5]



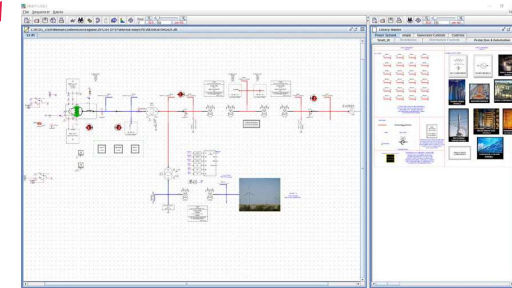
Proceso con Simulador en Tiempo Real



Componentes de Potencia, Control, Protección & Automatización



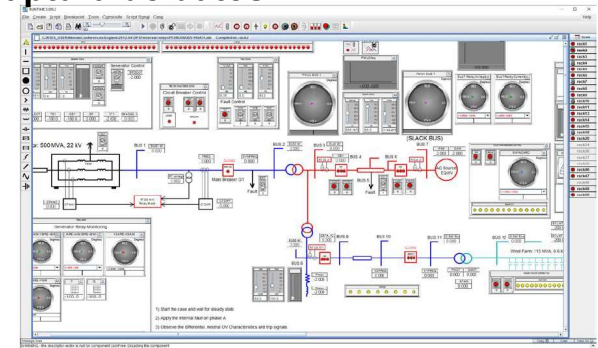
RSCAD: Creación del caso Draft



IMPORTACIÓN: PSS/E, PSCAD, CYME, Matlab/Simulink

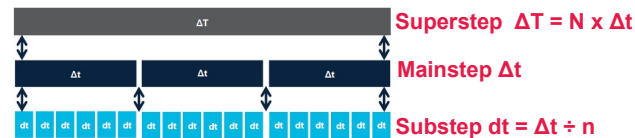
COMPILACIÓN

RUNTIME: Consola de interacción y captura de datos

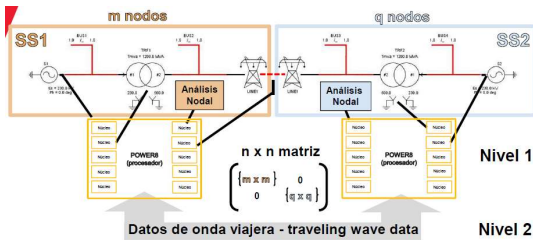


Pruebas Automáticas

Simulación Multi-Paso (Multi-Rate)



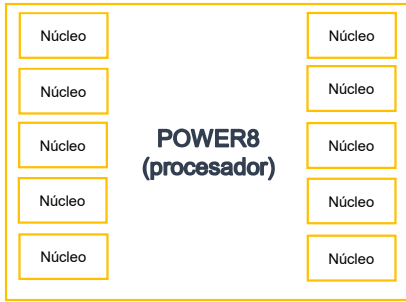
Procesamiento paralelo en dos niveles



1º Congreso Latinoamericano de Protecciones
Buenos Aires - 6 y 7 de noviembre, 2019

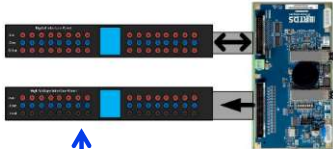


Arquitectura del Hardware de Simulación



I/O basadas en Ethernet

GDDI / GTDO



Amplificador

Lazo Cerrado
Señales del Equipo - Relé: Trip

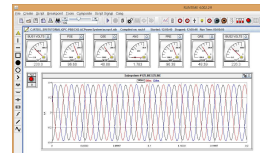
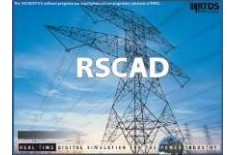
Link Cableado

Equipo bajo Prueba

Ethernet Link



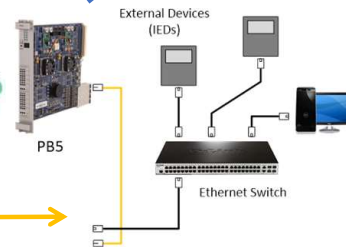
Ethernet Link



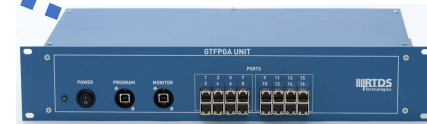
GTAI / GTAO



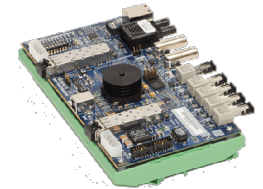
GTNETx2



GTFFPGA



GTSYNC



SCADA, IEC 61850, PMU, MODBUS, TCP/UDP



Aplicaciones del Simulador en Tiempo Real



HIL – Hardware in the loop
CHIL – Control hardware in the loop
PHIL / Power Hardware in the loop

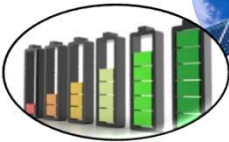
Electrónica de potencia HVDC & FACTS

- Estándar de la industria HVDC & FACTS: FAT & Réplicas
- Conversión de energía & Drives
- Protecciones y control DC



Integración de recursos energéticos distribuidos & Micro-redes:

- Pruebas de Renovables: BESS, PV y eólica
- Automatización de distribución
- Pruebas de Inversores
- Control de Generadores eólicos
- Movilidad Eléctrica

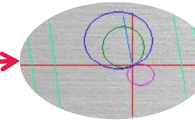


Pruebas a la medida en el punto de conexión



Redes inteligentes 24/7:

- Pruebas WAMPAC & PMU
 - Ciberseguridad
 - Sistemas aislados
- Restauración en línea - black Start (WG B5.54)



Protecciones & Control HIL:

- IEC61850 & Subestaciones digitales
 - Pruebas de Relés
- Esquemas Especiales de Protección (SPS) y Esquemas Remediales
 - Ondas Viajeras (WG B5.55)
- Compensaciones Serie (JWG C4.B5.41)

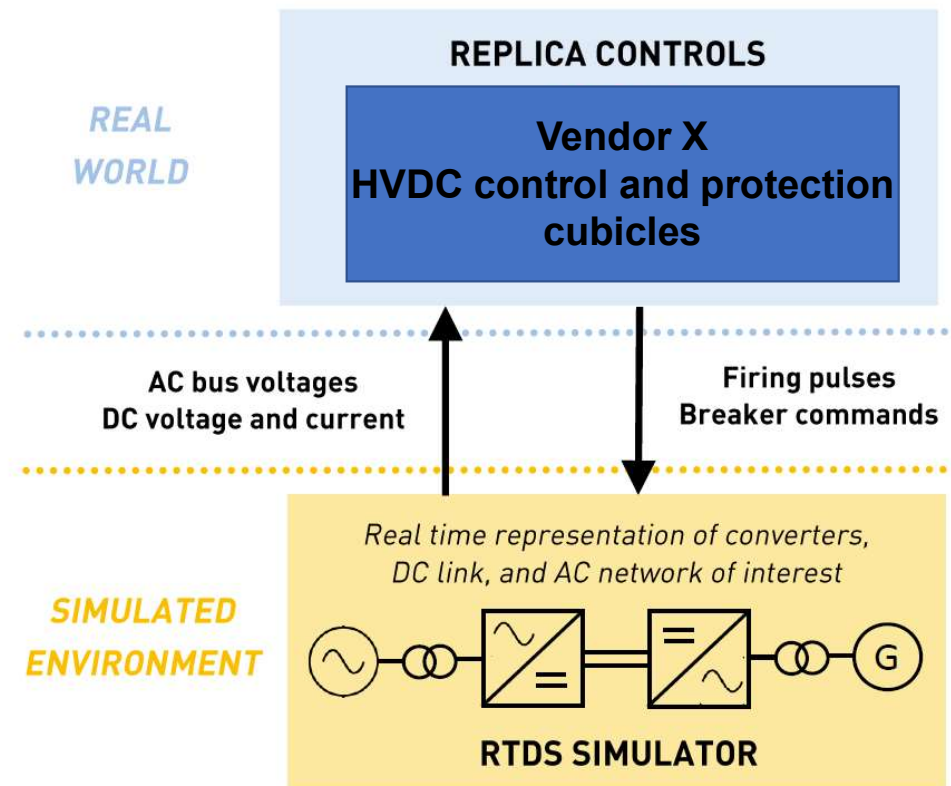
Estudios a Gran Escala & 24/7:

- Especificaciones, Normatividad y Regulación
- Capacitación y Prevención de errores humanos, análisis de eventos, procedimientos, estandarización



Factory Acceptance Testing (FAT)

- Usadas con RTDS por los fabricantes de HVDC para pruebas de aceptación de fábrica - FAT
- Las pruebas incluyen escenarios operativos estándar (inicio, apagado, etc.) y pruebas de rendimiento para varios escenarios de contingencia
- Las simulaciones se ejecutan durante horas o días para realizar pruebas exhaustivas.
- Muchas empresas de electricidad compran controles réplica y simuladores en tiempo real como parte de sus proyectos (incluidos en la especificación)



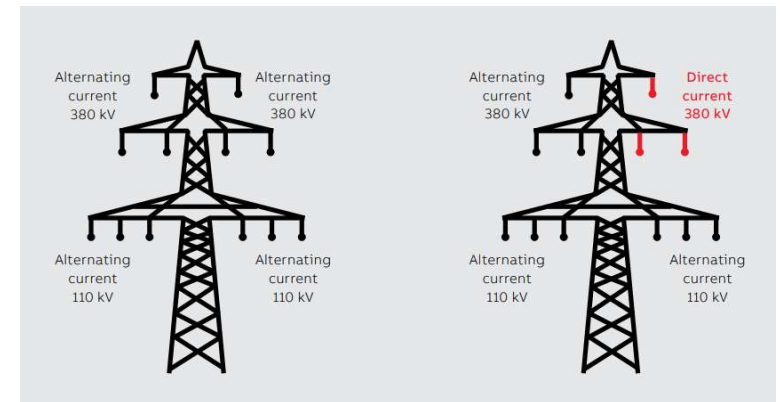
Simuladores Replica

- Asistir durante la puesta en marcha
- Investigar
 - Cambios en la topología de la red
 - Modificaciones de control
- Mejoras y reformas del esquema
- Capacitar al personal en teoría y operación de esquemas
 - Certificación de competencias
- Ejemplos:
 - Furnas (Brazil)
 - TNB (Malaysia)
 - CSG (China)
 - SEPC (China)
 - ESKOM (South Africa)
 - SEC (Saudi Arabia)
 - Power Grid (India)
 - Powerlink (Australia)
 - REE (Spain)
 - Equinor (Norway)
 - DEWA (UAE)
 - ONS (Brazil)
 - NamPower (Namibia)
 - RTE (France)
 - BPA (USA)
 - Manitoba Hydro (Canada)
 - Transpower (New Zealand)
 - SSE (UK)
 - Zhejiang EPRI (China)
 - Amprion (Germany)



Ejemplo: ULTRANET HVDC PROJECT

- Primer proyecto de reacondicionamiento de torres de línea de CA de doble circuito existentes con HVDC: Las mismas torres de transmitirán en CA y también CC.
- Obsérvese el hecho de que el Simulador RTDS se usará para eliminar el riesgo eléctrico de esta nueva tecnología.
- Conectando regiones norte y sur de Alemania
- Para ser comisionado en 2021
- 340 km, enlace de +/- 380 kV
- Tecnología MMC
- Este es un proyecto de Amprion



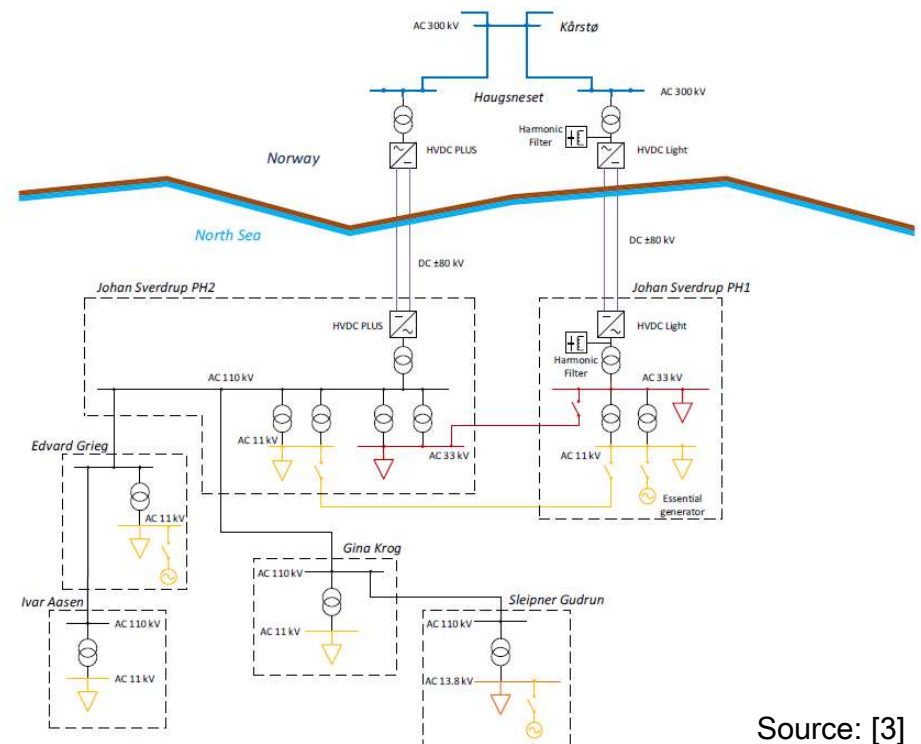
Ejemplo: THE NATIONAL HVDC CENTRE

- Primera instalación de NovaCor en todo el mundo (6 chasis, 3 bastidores)
- Controles de réplica de HVDC suministrados por el proveedor
- **Enlace Caithness-Moray**: las pruebas HIL abordaron desafíos técnicos y garantizaron la entrega oportuna
- Primer proyecto diseñado para operación multi-terminal en Europa
- Obsérvese el hecho de que el Simulador RTDS se uso y usará para eliminar el riesgo eléctrico de este enlace.



Ejemplo: EQUINOR HVDC PROJECT

- Plataforma Offshore conectada a la red terrestre noruega a través de dos enlaces HVDC
- Enlace VSC de 2 niveles suministrados por ABB y enlace MMC-VDC de Siemens
- Pruebas HIL de cubículos C&P [3]
 - Los fabricantes de HVDC no tienen acceso al modelo offline del sistema completo.
 - Los esquemas de C&P de acción más lenta no están incluidos en los modelos offline.
 - Controlador global para coordinar los dos enlaces no disponible para su inclusión en el modelo offline.



Source: [3]

Ejemplo: ONS (BRASIL)

- Al momento de la prueba, el enlace de Rio Madeira era el más largo del mundo (2,375 km)
- Controles de múltiples proveedores: NARI Relays, ABB, Siemens, GE / Alstom
- Belo Monte link es de 2 bipoles con control de múltiples proveedores más un controlador maestro



Ejemplo: Simulación a Gran Escala



NARI/SGEPRI

- 40 Chasis/Bastidores & 18 PB5 Racks
- Puede simular > 3600 buses trifásicos y 20 enlaces HVDC
- Validar esquemas de protección y control de área amplia, coordinación de CA y HVDC múltiple, control de estabilidad del sistema
- Restauración / Blackstart
- Seguridad y confiabilidad de la red



Ejemplo: Simulación a Gran Escala

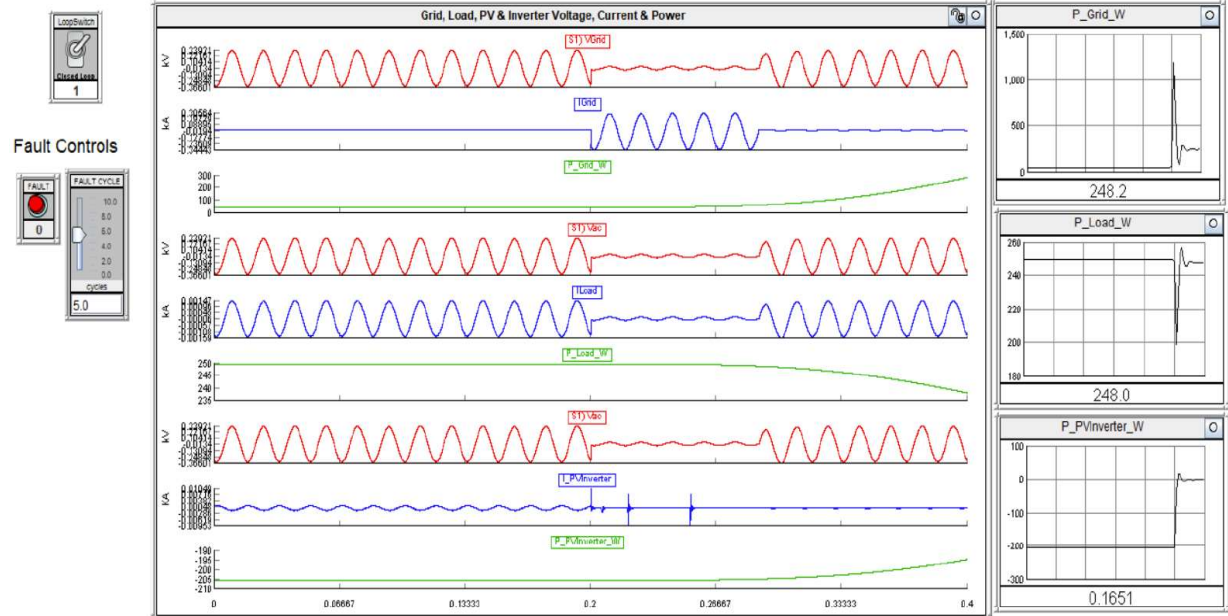
TasNetworks

- Se modelaron todas las líneas de 110/220 kV más las líneas de 500 kV en el lado de Victoria
- Modelado de las interconexiones existentes LCC-HVDC a Australia continental y 2 futuros enlaces MMC-HVDC
- Más de 2000 MW de energía eólica, 1000 MW de almacenamiento con bombeo



Ejemplo: PHIL - Power hardware in the loop

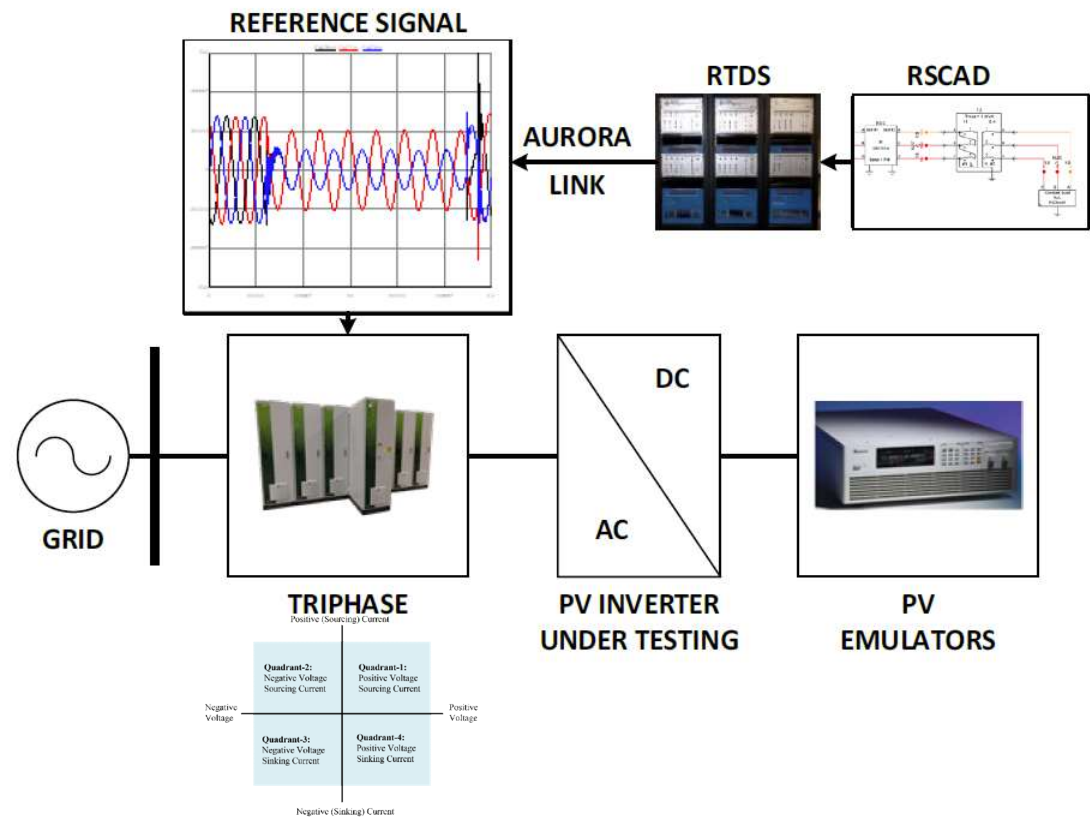
- Caracterizar el comportamiento del inversor.
- Investigar los impactos del comportamiento del inversor en otros sistemas de protección y control.



Ejemplo: PHIL - Power hardware in the loop

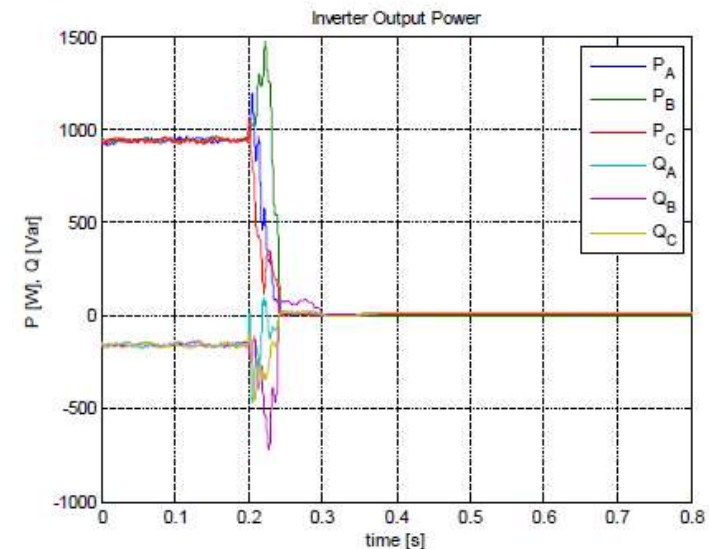
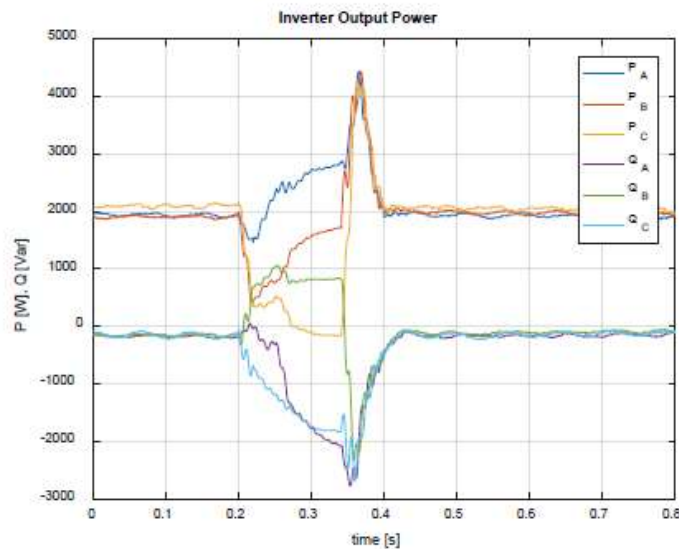
Power Networks Demonstration Centre, UK University of Strathclyde

- Estudiar la respuesta del inversor a fallas de nivel de transmisión
- En última instancia, alimentará las recomendaciones del código de distribución del Reino Unido, los procedimientos estándar de prueba del inversor



Ejemplo: PHIL - Power hardware in the loop

Pruebas de Inversores



- Potencia de salida del inversor tipo “F” de 20kW durante falla sólida A-B-G aplicada al circuito de HV

- Potencia de salida del inversor tipo “G” de 10kW durante falla sólida A-B-G aplicada al circuito de HV

Inversores, Baterías, Movilidad Eléctrica

- Prueba de estabilidad de inversores fotovoltaicos de **baja tensión** durante perturbaciones de magnitud de voltaje y desplazamiento de vector
- Validación de cumplimiento **dinámico y transitorio** de los requerimientos técnicos solicitados en la regulación, incluyendo posibles resonancias sub-sincronas con la electrónica de potencia.
 - Verificación de los ajustes del control (V, P, f) ante eventos sin implicar **riesgos a la seguridad**
 - Cumpliendo **criterios de estabilidad y velocidad de respuesta**
- Caracterización y homologación de los equipos
 - Verificar con fabricantes de inversores pruebas FAT & SAT utilizando RTDS
 - Validar cumplimiento de normativo o sugerir sus cambios
- Entrenamiento de Operadores
- **Para vehículos:** Modelamiento de los efectos de las estaciones de carga en la red
- **Para Sistemas Masivos - Trenes & Buses:** Modelar el suministro del sistema de potencia al sistema de potencia a las carrileras y probar el sistema de protecciones.

Conclusiones y Referencias

- **Modo Consola:** El simulador RTDS permite **Diseñar, Implementar y Probar** sistemas eléctricos, su protección y Control incluyendo modelos con comportamiento genérico o real y equipos y algoritmos reales.
- **Pruebas Automáticas (reportes & graficas):** La simulación RTDS es prometedora en pruebas de puesta en servicio, **ejecutando miles de casos y detectando problemas antes de la instalación** y aumentando la confianza en la instalación final, mientras minimiza el gran esfuerzo de cuadrillas coordinadas en múltiples subestaciones.
- El simulador RTDS permite Pruebas de aceptación de fábrica – FAT con Bancos de pruebas basados en **pruebas de consola y pruebas automatizadas** con multitud de combinaciones de escenarios y salidas de elementos.

Referencias:

- [1] B. Badrzadeh, Z. Emin, February 2020. The need for enhanced power system modelling techniques and simulation tools. CIGRE ELECTRA No. 308.
- [2] ABB Review: Power. Convert from AC to HVDC for higher power transmission.
- [3] M. Barnes, March 2020. John Sverdrup Control and Protection Progress. VSC-HVDC Newsletter, Vol. 8 Issue 03.
- [4] Schweitzer Engineering Laboratories 2019, The Modernization Story of PNM, accessed May 17 2019, <<https://selinc.com/featured-stories/pnm/>>.
- [5] National HVDC Research Centre - UK

Luis.Giraldo@ieb.co



Gracias

