



CIGRE CHILE WG ELECTRÓNICA DE POTENCIA

SUB GRUPO REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

La primera sesión del Grupo de trabajo se realizó con fecha 15 de marzo de 2022. En ésta se comunicó la estrategia general para abordar el grupo de trabajo, la cual consistía en la división en tres grandes sub grupos. El primero de ellos es el de revisión bibliográfica. Se efectuó un llamado para conformar el sub grupo, ante el cual se conformó y comenzó el trabajo.

El cuadro siguiente resume las sesiones efectuadas:

Fecha	Tema	Presentador 1	Presentador 2
06-05-22	Primera Reunión SG1, Presentación sobre los Modelos	Ricardo Lizana	
30-05-22	Definiciones Básicas	Matias Veillón	Neil Sepúlveda
30-05-22	Interacción entre la inercia y la red.	Carlos Reusser	
28-06-22	Métodos de Control Avanzado	Tomas Baeza	
12-07-22	Comparación Grid Forming - Grid Following	Adelmo Santibáñez	
23-08-22	Convertidores Multinivel	Carlos Reusser	
20-09-22	Análisis del Sistema	Varios	
27-09-22	Análisis Sistémicos y Tipos de Control para simulaciones	Jorge Vega	

2. RESUMEN DE DISCUSIONES

Cabe señalar que para cada sesión se escogían documentos o presentaciones a ser expuestos por cada presentador, luego de lo cual se discutía al respecto. El resumen de las principales discusiones al respecto se resume a continuación.

2.1. Sesión de Definiciones básicas:

En esta sesión se analizaron conceptos claves y definiciones básicas respecto el marco teórico que define los alcances del aumento de la interconexión a la matriz eléctrica de sistemas con interfaz de electrónica de potencia. De esta forma, se analizaron los alcances del concepto de “inercia virtual”, definiéndose que a pesar de no tener un elemento giratorio propio el convertidor, este por tanto carece de la inercia mecánica, de todas maneras es posible utilizar el concepto de inercia, dado que por medio de distintas estrategias de control, las respuestas dinámicas de los sistemas de electrónica de potencia pueden emular u operar las respuestas de un sistema con generadores convencionales, de forma de recrear una respuesta dinámica con “inercia” similar a las máquinas rotatorias actuales.

De esta forma, se puede definir que **la respuesta dinámica entregada por el control de los convertidores** puede ser denominada **-inercia sintética-** debido a que no es una inercia proveniente del giro mecánico, y que además es impuesta

por el operador. Es importante recalcar y destacar que esta respuesta depende fuertemente de las estrategias y tipos de control que el convertidor tenga, dado que dependerá de estos ajustes, capacidades y límites, el cómo responde el conjunto convertidor-planta ante contingencias, perturbaciones o cambios en consignas.

En la sesión también se discutió que el hecho de entregar inercia sintética o lo que es lo mismo, hacer que el control se comporte de manera similar a máquinas rotatorias, implican efectuar limitaciones y retrasos de la dinámica de las interfaces de electrónica de potencia, para tener un sistema que opere lo más similar posible al sistema actual, de tal manera que las formas de operar, comportamiento y modelos de simulación del sistema actual continúen siendo las que se han utilizado comúnmente en el pasado. Lo anterior limita de forma importante las potencialidades de los convertidores, además de la incorporación de un sesgo -analítico y operacional real- innecesario que limita y esconde las bondades que tienen estos sistemas en cuanto a la velocidad de sus respuestas y comportamiento. Es por lo anterior que se abre la discusión de que varias consideraciones y parámetros de los SEP como capacidad de cortocircuito, ROCOF, etc., no han sido validados con una implementación con electrónica de potencia, pero explotando sus capacidades de operación intrínsecas, y no limitándolas a que operen o emulen lo más similar posible a los sistemas convencionales.

En relación con lo anterior se debe destacar que la inercia del sistema de potencia es una manifestación natural de la energía almacenada en las masas rotatorias de las plantas. El sistema de potencia funciona en sincronismo, esto es, todas las máquinas sincrónicas en rotación giran a la misma velocidad sincrónica $\omega = 2\pi f$ determinada por la frecuencia del sistema y el número de polos de la máquina sincrónica. El sistema de transmisión acopla electromecánicamente las masas en giro de las unidades de generación sincrónica como si se tratara de eje mecánico que las une. Cualquier perturbación del balance generación demanda, es contrarrestado con la inercia del sistema o respuesta inercial. La respuesta inercial es una manifestación de la energía que es entregada o absorbida por las plantas ante desbalances generación demanda.

Si bien los controles de convertidores pueden diseñarse para emular la respuesta inercial, la planta de ERV confirmada por el convertidor y fuente primaria de energía debe contar la capacidad de absorber o entregar energía al sistema para emular la inercia mecánica y su efecto en el sistema. Los convertidores por su naturaleza electrónica no poseen la capacidad de almacenar cantidades significativas de energía, más allá que la que puedan almacenar en capacitores. De este modo para proveer servicios comparables a la inercia mecánica, las plantas deben contar con sistemas de almacenamiento de energía.

Otro elemento discutido, guarda relación con las distintas formas o inestabilidades que pueden surgir un sistema, derivados o gobernados por convertidores de potencia. Se pueden agrupar en interacciones rápidas o lentas, además de que pueden ocurrir incluso dentro de cada planta.

De esta forma, la discusión llega al punto que una de las tantas claves para poder operar los sistemas con interfaz de electrónica de potencia es el esquema de control de los convertidores, el cual puede dar la flexibilidad y estabilidad de operación del sistema.

Papers abordados:

- Stability definitions and characterization of dynamic behavior in systems with high penetration of power electronic interfaced technologies
- Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin

2.2. Sesión de Métodos de control avanzados:

En esta sesión se analizaron las diferentes estrategias de control disponibles, que permiten operar la dinámica del sistema de forma óptima. Se muestran esquemas de control básico basado en controladores lineales PI, métodos de control predictivo y finalmente la capacidad de implementar sistemas de control basados en Inteligencia Artificial (IA).

De estas definiciones y estudios de métodos de control, se llega a la conclusión de que en un futuro cercano, gracias a la gran cantidad de datos de operación del sistema, los métodos de control basados en IA serán una alternativa muy clara y que permitirá abstraernos de tener que obtener un modelo real del sistema eléctrico nacional, si no que bastaría con los parámetros de tensión/corriente obtenidos de forma local. Sin embargo mientras se levanten esas bases de datos con respecto a la operación del Sistema Eléctrico, los métodos lineales tradicionales permiten obtener una respuesta adecuada. Comienza una discusión acerca de los alcances de los dos esquemas de control tradicional: el Grid forming y el Grid following, los cuales fueron propuestos para ser analizados en la siguiente sesión.

Papers abordados:

- Advanced Control Methods for Power Converters in DG Systems and Microgrids

2.3. Definiciones de Grid Forming y Grid Following:

Se acepta como definición básica que el sistema **Grid Forming** es el sistema basado en convertidores de electrónica de potencia, que por medio de su estrategia de control, puede mantener un voltaje y frecuencia coherente en sus terminales inclusive, frente a perturbaciones en el nivel de carga. Para lograr esto, su sistema de control se basa en controladores lineales Pis que mantienen referencias de tensión y corriente, careciendo de una PLL que este sintonizada a la red del sistema. Se asume que en este caso los convertidores-plantas, deben tener el grado de libertad de poder imponer la frecuencia del sistema.

Por su parte, se puede definir que los sistemas **Grid Following** son el sistema basado en convertidores de electrónica de potencia, que por medio de su estrategia de control, puede controlar las potencias activa/reactiva entregadas al sistema. Para lograr esto, su sistema de control se basa en controladores lineales Pis que mantienen referencias de tensión y corriente, y requieren de una PLL que permita la sintonización con respecto a la red.

De esta forma, como sub grupo de estudio se analiza que se ha puesto un enfoque considerable en las estrategias de control, pero limitando el análisis a que la interfaz de electrónica de potencia es un convertidor de dos niveles de frente activo (2L-VSC), y no se ha comentado la opción de sistemas más complejos y que permiten mejorar las respuestas dinámicas y componentes armónicas que generan estos sistemas. Es por esto que queda como tema a continuación el hablar sobre configuraciones de electrónica de potencia avanzados tales como Convertidores Multinivel.

Papers abordados:

- Advanced Control Methods for Power Converters in DG Systems and Microgrids
- Comparison of Grid Following and Grid Forming Control for a High Inverter Penetration Power System



2.4. Plenaria Charla sobre Grid-Forming/Following para CIGRE Chile WG Electrónica de Potencia

Con fecha 21 de julio se efectuó una sesión plenaria en la cual la Ingeniera Carmen Cardozo presentó respecto grid forming y grid following. En el siguiente link se puede tener un resumen de la presentación <https://www.youtube.com/watch?v=HfXuXb8Xk1U> :Demonstration of grid forming capabilities and synchronisation services.

2.5. Sesión de Sistemas avanzados de electrónica de potencia:

En esta sesión, se mostraron diferentes configuraciones de Electrónica de Potencia que permite optimizar la operación, obteniendo:

- Sistemas distribuidos de almacenamiento.
- Optimización de las respuestas dinámicas de voltaje/corriente.
- Disminución de THD de las formas de onda del sistema.
- Capacidad de operación frente a fallas.

En general se abordaron los convertidores Neutral Point Clamped (NPC), Cascaded H-Bridge (CHB) y Modular Multilevel Converter (MMC). De esta reunión, se analiza que en los ejercicios de análisis o modelación de los SEP, en realidad los modelos implementados para los análisis de estabilidad de los SEP, se abstraen u omiten la estructura del convertidor, por lo que es de mucho interés el incorporar modelos más completos en las simulaciones, para recoger la realidad de los equipos que se encuentran instalados en el sistema. Es por esto que se define que la siguiente sesión se mostrarán los métodos de análisis y simulaciones sistémicos.

2.6. Análisis Sistémicos y Tipos de Control para simulaciones

En esta sesión, se demuestra que las debilidades de los modelos simulados y los sesgos involuntarios que se introducen, en el cual frente a diferentes formas de modelos con los cuales se puede representar un sistema, se pueden obtener como conclusión que el sistema es estable o también inestable, dependiendo de la decisión inicial de utilización de un modelo u otro. Frente a estas consideraciones, se aborda las principales dificultades actuales:

- Carencia de suficientes datos del sistema para modelar y validar la operación del sistema.
- Carencia de integración de las dinámicas de electrónica de potencia y sus esquemas de control en los modelos sistémicos.
- Simplificación de plantas o grupos de plantas que esconden dinámicas.
- Imposibilidad de discernir modelaciones u respuestas correctas de simulaciones.

3. Elementos importantes discutidos

En el transcurso de los análisis y discusiones han surgido diferentes elementos que subyacen y condicionan la discusión misma, así como también eventuales recomendaciones que pueden ser efectuadas, éstas se pueden resumir en lo siguiente:

3.1. Nivel de Conocimiento de las nuevas tecnologías y nuevas problemáticas

Para efectos de poder analizar y discutir distintas problemáticas que ocurren en los sistemas eléctricos de potencia comúnmente se recurre por parte de los actores a definiciones o conocimiento respecto los aspectos clásicos de los SEP. En los sistemas con alta penetración de fuentes con interfaz de electrónica de potencia, se deben visitar y re estudiar conceptos de los SEP y las dinámicas de ellos, para no cometer sesgos reduccionistas o aplicar respuestas o estrategias equivocadas, dado que en general las nuevas problemáticas y las dinámicas por las cuales se generan no son de conocimiento general.

3.2. Aspectos Formativos de los SEP y de sus dinámicas

Lo que se ha observado en términos generales, es que las distintas problemáticas de los SEP se ha enfrentado de manera compartimentada y de esa manera se ha efectuado la formación de los diferentes profesionales que se involucran en los análisis. En este sentido el desafío surge desde el punto de vista que las dinámicas y dificultades futuras al que se verán enfrentados los SEP no podrán ser divididos o compartimentados. Hasta el momento – en general – se ha asumido por parte del sistema que las plantas son capaces de operar en el sistema interconectado y por parte de las plantas que el sistema interconectado podrá soportarlas, pero con la incorporación a gran escala de fuentes renovables con interfaz de electrónica de potencia, ya no se podrá ni asumir lo anteriormente dicho, ni compartimentar el análisis de SEP con la electrónica de potencia y dinámica de convertidores. Lo anterior lleva a un desafío a los centros de formación, a efectuar un cambio para tender a tener profesionales en el futuro que puedan hacer frente al sistema completo, desde el control y estrategias de la electrónica de potencia, hasta los más altos niveles de tensión de las redes. Lo anterior en base a que por ejemplo ajustes en la forma del control o sus estrategias de los convertidores que ocurren en tiempos muy distintos a los del SEP, interactúan y pueden derivar en inestabilidades, no siendo a priori descartable ni despreciable sus efectos.

3.3. Sesgos de Análisis y potenciales impactos

Un elemento que surgió de manera recurrente a lo largo de la discusión es el hecho de que el nuevo problema se esté analizando con las mismas herramientas de siempre o con los conceptos BAU del sistema. Esto a su vez lleva a que eventuales soluciones o recomendaciones siempre estarán dentro de un área más limitada de soluciones. Al descubrir esta problemática se devela la existencia de sesgos o la eventual dependencia de las decisiones tomadas en el pasado para efectuar análisis y presentar soluciones para el futuro. En este sentido, se presenta por ejemplo el sesgo que representa el exigir que las plantas se comporten como una máquina sincrónica, mediante impedancia/admitancias virtuales en los controles, el exigir por ejemplo que la frecuencia y los tiempos de respuesta del sistema se mantenga de manera “constante”, la utilización de softwares de análisis de redes que utilizan modelos que representan plantas los cuales se basan en la presencia de máquinas rotatorias y las respectivas dinámicas asociadas. Lo anteriormente señalado se combina con los mencionado en los puntos 3.1 y 3.2 anteriores que incide aún más en las formas y caminos de solución. Es de señalar que el grupo de trabajo se ha enfocado en tener en debida cuenta los sesgos señalados para efectos de analizar y posteriormente efectuar las potenciales recomendaciones.



- Imponer comportamientos “más lentos”, es decir, proveer inercia sintética a los convertidores impide y limita aprovechar toda la potencialidad de la electrónica de potencia.
- Exigir métricas de frecuencia y tiempos de respuesta, impedirá utilizar la rapidez con la que los convertidores pueden soportar el sistema ante fallas y contingencias.
- Simuladores y simulaciones necesitan de representar dinámicas rotatorias, además de representación agrupada de una planta, esto introduce limitaciones al comportamiento del sistema y además esconde o simplifica interacciones que pueden ocurrir en los sistemas.

3.4. Información de los SEP

Otro elemento que surge de la revisión de la literatura y de los análisis del sub grupo, es que el nivel de información que se requerirá en el mediano plazo para hacer frente a las nuevas problemáticas es de un nivel superior al que actualmente se tiene. Sin perjuicio de que en el caso del sistema Chileno se ha avanzado bastante en el nivel de información, detalle y modelamiento en especial de las plantas de generación, para el caso de los análisis futuros que surgen de la incorporación masiva de fuentes renovables con interfaz de electrónica de potencia, se requiere un detalle ahora de las topologías de convertidores y del control del mismo. Esto también implica incluso la revisión de los softwares de simulaciones y las limitaciones que éstos tienen para enfrentar los nuevos análisis.

3.5. Alta Penetración de Plantas con Interfaz de Electrónica de Potencia

Dentro de los potenciales efectos es posible observar que el depender solamente de convertidores basados solamente en PLL puede llevar a complicaciones en los sistemas, dado que al depender de la calidad de la señal de enganche – forma de onda –, por el ingreso masivo de este tipo de plantas, la señal se contaminará ya sea por insuficiente nivel de cortocircuito o por otras contingencias en el sistema, lo cual llevará a problemas de sincronización de las plantas produciendo desconexiones y eventualmente caídas de amplias zonas del sistema. Existen diferentes experiencias en la literatura en la que se muestra que la interacción de los convertidores derivan en inestabilidades, por lo cual es una problemática que debe ser enfrentada con antelación en el sistema Chileno. Así como los convertidores pueden ser causantes de las problemáticas, al mismo tiempo pueden ser fuente de la solución. Esto requiere de importante trabajo sobre las actuales plantas y sobre sus sistemas de control para efectuar a tiempo los cambios que se requieren, para que éstas puedan operar en el futuro.