

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2014

MEMORIA DEL PROYECTO Nº SV-14-GIJON-01-02

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Investigación y desarrollo de baterías de flujo para el almacenamiento de energía en sistemas de microgeneración distribuida en entornos urbanos.

Investigador responsable: Juan Manuel Guerrero Muñoz

Tfno: 98 518 2531

E-mail: guerrero@uniovi.es

Otros investigadores: Pablo García Fernández, Cristina González Morán, Jorge García García, Pablo Arboleya Arboleya, Manuel Coto García

Empresas o instituciones colaboradoras.

AZ RENOVABLES

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo (modifique y complete según corresponda)

Este proyecto está concebido para proponer soluciones de Sistemas de Almacenamiento de Energía (ESS) que faciliten el despliegue de microrredes (μ G) de corriente alterna (AC) permitiendo cambiar el paradigma de la distribución de energía eléctrica desde el concepto convencional de Generación Centralizada hacia la Generación Distribuida (DG). El proyecto aborda el tema propuesto desde dos puntos de vista; el primero engloba el análisis, el desarrollo y la implementación de estructuras de Convertidores de Potencia (PEC) para la integración de ESS en la red de distribución eléctrica. El segundo campo de trabajo se centra en la inserción de estos ESS en el esquema general de gestión de la μ G.

En este sentido, el proyecto tratará de dar solución a algunos de los inconvenientes clave para la integración de ESS en la red eléctrica:

1. Desarrollo de PEC válidos para la integración de ESS.
2. Dimensionamiento del ESS para atender a las demandas de la μ G.
3. Problemas derivados de la integración de ESS en la estructura de la μ G.

Estas líneas de investigación se afrontarán por medio de los siguientes objetivos:

1. Estudio de topologías de PEC alternativas para la integración de ESS. Este objetivo se llevará a cabo mediante dos posibles alternativas: uso de convertidores no aislados y empleo de topologías aisladas.
2. Algoritmos para el cálculo de PF desequilibrados en μ G AC, incluyendo PEC y ESS. Los algoritmos se desarrollarán en un sistema de referencia ortogonal estacionario en el cual se analizarán los modelos y los sistemas de control.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución (modifique y complete según corresponda)

La hipótesis inicial de esta investigación se basa en dar solución a varios de los problemas técnicos que suponen una barrera al mayor despliegue de microrredes (μ G) de AC, desde un enfoque holístico del proyecto. La representación esquemática del proyecto se muestra en la (Figura 1). Los mayores obstáculos que impiden un uso más extendido del concepto de μ G y a la integración de generadores distribuidos (DG), normalmente de pequeña escala y cercanos a los consumidores (prosumers) son:

- ✓ Las redes resultantes tienden a ser más débiles debido a la reducción de la inercia del sistema.
- ✓ Inyección y/o demanda de potencia activa desequilibrada debido a la presencia de pequeños generadores monofásicos y cargas desequilibradas; así como distorsión de las tensiones y corrientes con alto contenido en armónicos debido al uso de convertidores electrónicos.
- ✓ Carencia de métodos de cálculo del flujo de cargas que permitan analizar redes con convertidores de potencia y generadores distribuidos.

En este proyecto se tratará de dar solución a algunos de estos inconvenientes. El estudio se llevará a cabo por un equipo de investigación multidisciplinar de manera que se abordará el problema desde dos puntos de vista: 1) a nivel del convertidor electrónico, considerando sistemas de control en detalle; 2) a nivel de μ G: cálculo de flujos de carga.

En el primer enfoque se cubrirá el análisis de estructuras de convertidores de potencia para la integración de ESS en la μ G de AC (Figura 2). Teniendo en cuenta los problemas a los que los convertidores deben dar solución, las ideas principales del proyecto desde el primer punto de vista se pueden definir como;

- ✓ Desarrollo de una topología de convertidor para integrar EES de manera que estos sistemas de almacenamiento permitan la compensación de contingencias de red que requieren inyección de potencia activa (desvíos en la frecuencia), así como la operación de la μ G en modo isla (aislada de la red principal de distribución). (Objetivo 1).
- ✓ Capacidad para compensar desequilibrios tanto de tensión como de corriente, en el punto de conexión con la red del convertidor y en el punto común de conexión de cada nanorred (ver Figura 1). (Objetivo 1).
- ✓ Soluciones a otros problemas derivados del uso de of PEC y de redes débiles, como pueden ser armónicos y gestión de la potencia reactiva. (Objetivo 1).

En el segundo enfoque se considerará la incorporación de convertidores en el esquema general de gestión de la μ G, específicamente en el cálculo del flujo de cargas y sus restricciones. Este enfoque se centrará en el desarrollo de modelos en régimen permanente que permitan el estudio del impacto en la red debido a una penetración masiva de DG, PEC y ESS, prestando especial atención a las

restricciones tanto técnicas como económicas. Con este enfoque se pretende obtener información sobre el sistema de gestión del conjunto de la μ G para coordinar y optimizar el uso de estos dispositivos. Desde este enfoque, el objetivo principal se pueden expresar como sigue:

- ✓ Flujos de carga mejorados para incluir μ G de AC con desequilibrios, con PEC y ESS. Se considerarán todos los parámetros que sean necesarios para la introducción de un gran número de PEC. (Objetivo 2).
1. **OBJETIVO 1:** Estudio de las diferentes topologías de convertidores y estrategias de control para la integración de EES en una μ G de laboratorio.
 - a. **Objetivo 1.1** Estimación de la energía de almacenamiento necesaria para la compensación de contingencias.
 - b. **Objetivo 1.2:** Análisis y selección de distintas tecnologías, diseño, implementación y validación experimental de soluciones para la integración de ESS utilizando convertidores bidireccionales aislados.
 2. **OBJETIVO 2:** Algoritmos para el cálculo del flujo de cargas desequilibrado aplicado a μ G de AC incluyendo DG basados en convertidores de potencia y ESS.
 - a. **Objetivo 2.1:** Desarrollo de una técnica de flujo de cargas adaptada para ser de aplicación a redes desequilibradas con DG y ESS.
 - b. **Objetivo 2.2:** Desarrollo de modelos para cada uno de los dispositivos descritos en el Objetivo 1.
 - c. **Objetivo 2.3:** Adaptación de los modelos de dispositivos y sus controles para ser incluidos en el algoritmo del flujo de cargas.

La meta final de este objetivo es el desarrollo de una herramienta de cálculo del flujo de cargas capaz de incluir dispositivos convencionales, como transformadores de potencia convencionales, y también dispositivos como DG y ESS bajo condiciones de desequilibrio.

2.3 Tareas realizadas

Dentro de los objetivos del proyecto, se han realizado las siguientes tareas.

OBJETIVO 1.

1. **TAREA 1.1.** Realización de simulaciones y construcción de prototipos para la evaluación de las alternativas en las topologías de potencia. En concreto, se han realizado los siguientes trabajos:
 1. *“Compensación de frecuencia en microrredes débiles de alterna utilizando un sistema de almacenamiento de energía”.* En esta tarea se han dimensionado las necesidades de energía y potencia para la compensación de contingencias que requieren potencia activa y, por lo tanto, del uso del sistema de almacenamiento.
 2. *“Investigaciones en la compensación de la potencia reactiva y el tiempo muerto en un Double Active Bridge”.* Una de las topologías propuestas en la investigación era el transformador de estados sólido, como alternativa a los transformadores tradicionales de baja frecuencia. En esta tarea se han

realizado simulaciones y validación experimental sobre un prototipo de 10kW basado en un transformador plano.

3. *“Hibridación de un sistemas de almacenamiento para el soporte de red utilizando convertidores de potencia bidireccionales”*. A la hora de determinar el sistema de almacenamiento más apropiado, la solución es en muchas ocasiones no única. En este trabajo se analizó la posibilidad de utilizar diferentes tecnologías de almacenamiento de forma conjunta, construyendo un emulador para evaluar las prestaciones de cada una de las tecnologías evaluadas.

OBJETIVO 2.

1. *Objetivo 2.1: Desarrollo de una técnica de flujo de cargas adaptada para ser de aplicación a redes desequilibradas con DG y ESS*. Es necesaria el desarrollo de una formulación específica para redes de distribución que pueda albergar dispositivos de generación y almacenamiento así como sus controles. Se utilizarán las características específicas de este tipo de redes para conseguir formulaciones sencillas que puedan ser resueltas de una forma muy rápida dado que se han de simular una gran variedad de escenarios con un número de nodos elevado.
2. *Objetivo 2.2: Desarrollo de modelos para cada uno de los dispositivos descritos en el Objetivo 1*. Para extrapolar lo que sucede en una red extensa de distribución con un gran numero de generadores instalados, los prototipos desarrollados en el objetivo 1 han de ser modelados y dichos modelos validados para poder probar a continuación los efectos de una penetración elevada de este tipo de modelos en una red de distribución.
3. *Objetivo 2.3: Adaptación de los modelos de dispositivos y sus controles para ser incluidos en el algoritmo del flujo de cargas*. Para estudiar el efecto que sobre la red de distribución tienen los convertidores desarrollados en el objetivo 1, los algoritmos de flujo de cargas desarrollados en la primera parte del presente objetivo, han de ser adaptados para que puedan incluir los modelos de convertidores y sistemas de almacenamiento desarrollados.

2.4 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos, referidos a los objetivos planteados, se resumen en:

1. Análisis de diferentes tecnologías electroquímicas de almacenamiento (baterías de Li-ion y Vanadio Redox) como sistemas de aporte de potencia activa en red. Se ha construido un emulador que permite evaluar en tiempo real el comportamiento de ambas tecnologías así como determinar el tamaño, en términos de potencia y energía, requerido para diferentes aplicaciones.
2. Se han construido cuatro prototipos de convertidores para evaluar las alternativas en el interfaz de los sistemas de almacenamiento en red. En particular, se han desarrollado dos prototipos basados en transformadores de estado sólido (el primero de ellos implementado mediante un transformador devanado y el segundo empleando un transformador plano) y dos prototipos para la integración de los sistemas de almacenamiento sin aislamiento.

3. Se han determinado, tanto de forma simulada como de forma experimental, diversos algoritmos de control para la compensación de transitorios en la frecuencia de red utilizando sistemas de almacenamiento de energía.
4. Se ha desarrollado una formulación sencilla que permite describir redes de distribución desequilibradas con transformadores de potencia y reguladores de tensión con múltiples configuraciones. Dicha formulación se ha desarrollado en una referencia estacionaria ortogonal, lo que simplifica mucho la inclusión de los transformadores y los reguladores de tensión, pero a su vez también simplificará en un futuro la implementación de los controles de los generadores y sistemas de almacenamiento que se conecten a la red a través de los convertidores de potencia. Además se ha trabajado sobre los algoritmos de resolución de este tipo de formulación empezando por algoritmos convencionales basados en técnicas de Newton-Raphson. Estos algoritmos resultaron demasiado lentos por lo que se diseñó un algoritmo de resolución basado en técnicas Backward-Forward Sweep (BFS) que ha incrementado mucho la velocidad de simulación.
5. Se ha trabajado sobre el modelado de las cargas en las redes de distribución, dichos modelos permitirán evaluar el impacto de la instalación de los prototipos del objetivo 1 en un entorno mucho más real.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

Los trabajos futuros se enmarcan en las siguientes direcciones:

1. Validación experimental de los prototipos desarrollados en una aplicación industrial completa. Esto requerirá por un lado el funcionamiento en condiciones reales de forma continua y, por otro, la validación del sistema según la reglamentación vigente de aislamiento.
2. Integración de los convertidores de potencia con sistemas de almacenamiento/generación reales en lugar de los emuladores empleados hasta la fecha.
3. Desarrollo de los modelos de generadores y sistemas de almacenamiento conectados a red a través de convertidores de potencia.
4. Adaptación de la formulación y algoritmos de resolución de flujo de cargas a este tipo de modelos.
5. Análisis del impacto en las redes de distribución de los prototipos propuestos

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

Artículos:

Arboleya, P., Gonzalez-Moran, C., Coto, M., "Unbalanced power flow in distribution systems with embedded transformers using the complex theory in alpha-beta-0 stationary reference frame" Power Systems, IEEE Transactions on, Volume XX, XXXXX 2013, Pages 1-12. Accepted for publication

Ponencias presentadas:

Pablo García, Juan M. Guerrero, Jorge Garcia, Ángel Navarro-Rodríguez, Mark Sumner “Low Frequency Signal Injection for Grid Impedance Estimation in Three Phase Systems”. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE, pp. 1542 – 1549. DOI: 10.1109/ECCE.2014.6953602

Martirano, L. Falvo, M.C., Sbordone, D., DiPietra, B., Bertini I., Arboleya, P., Gonzalez-Moran, C., Coto, M. Zero Network-Impact Buildings and Smart Storage Systems in Micro-Grids 13. International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)- Wroclaw, Poland, 10 - 12 May 2014

Ponencias en preparación:

En el congreso ECCE 2015 se presentará dos artículos en el campo del presente proyecto. Concretamente, basados en los resultados de las tesis fin de máster de Ángel Navarro y Ramy Georgious Zaher Georgious.

Se han enviado dos artículos para ser presentados en el IEEE PESGM 2015 (General meeting the la sociedad “Power and Energy” del IEEE) cuyos títulos son “Step-Voltage Regulator Model Test System” y “Unified Generating and Storing Capacity Reliability Evaluation in Nearly-Zero Energy Buildings”

Trabajos fin de máster:

1. Ramy Georgious Zaher Georgious. “Hybridization of Energy Storage Systems for Grid Support by Means of Bidirectional Power Electronic Converters”.
2. Ángel Navarro. “Transient Frequency Drift Compensation on Weak 3-phase AC Microgrids using an Energy Storage System”.
3. Javier Gómez-Aleixandre Tiemblo. “Investigations on Reactive Power and Dead Time Compensation for a Double Active Bridge with a Planar Transformer”.
4. Edwin Xavier Domínguez Gavilanes. “Power Demand Modeling and Reliability Analysis for Residential Nearly-Zero Energy Buildings”.
5. Felix Manuel Lorenzo Bernardo “Computer Tool for Power Generation Modeling and Economic Analysis for Nearly-Zero Energy Buildings”.
6. Md. Rejwanur Rashid Mojumdar .“Step-Voltage Regulator Modeling to Imbalance Reduction of Smart Distribution Systems using Unbalanced Power Flow Model in $\alpha\beta 0$ Stationary Reference Frame”

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-14-GIJÓN-1.	4.500 €			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				

Personal Becario	Nombre	GABRIEL BORGE MARTÍNEZ
	Tareas	
	Período	DEL 1 AL 30 DE JUNIO Y DEL 1 DE AGOSTO AL 31 DE DICIEMBRE

4. OTROS PROYECTOS O ACTIVIDADES FORMATIVAS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto	DESARROLLO DE UNA APROXIMACION HOLISTICA Y SISTEMATICA AL DISEÑO Y LA GESTION DE MICRORREDES DE ALTERNA
Referencia	ENE2013-44245-R
Investigador/a/es principal/es	Pablo García Fernández, Cristina González Morán
Equipo investigador	Jorge García García, Pablo Arboleya Arboleya
Periodo de vigencia	01/01/2014 AL 31/12/2016
Entidad financiadora	MINECO
Cantidad subvencionada	205.700,00€