

EDITORIAL

The future electrical networks

In recent years, significant efforts have been made to encourage the use of new energy sources in electricity generation, thereby reducing the use of fossil fuels in the search for sustainability and environmental preservation. These incentives have generated a new scenario for electricity grids, where the concepts of flexibility, resilience, and Smart Grids acquire great importance¹, considering the permanent needs of quality and stability. On the one hand, it is required flexibility to include new energy sources, new types of consumption and to allow hybrid operation by interconnecting grids of different frequencies, voltage levels, alternating current, or direct current. On the other hand, Resilience is required to keep the system's operation or recover it when it faces problematic natural phenomena that could threaten its infrastructure and the continuity of supply.

Traditionally, electrical systems operate by classifying their components into three sectors according to the role they play: Generation, Transmission, and Distribution. The first sector transforms the energy from a primary source into electrical energy. The second sector, Transmission, provides the infrastructure and ancillary services to transport electrical energy to the consumers. The third sector, Distribution, delivers energy to low and medium voltage levels, i.e., delivers it to industrial, urban, or residential centers. This last sector allows the power flow in only one direction, from the substation to the consumers, giving no possibility to implement flexibility, bidirectional power flows, or strategies that allow microgrids formation or island isolated operation mode. Along with this paradigm, it is possible to find traditional devices to preserve the stability and quality of service, among them, tap changing transformers, capacitors banks, and reactors. These devices have a high level of reliability and efficiency, but with a low control capacity and flexibility, not allowing the use of updated control strategies, the use of technological progress in new topologies, and new power electronics devices.

However, some technological advances have impacted the transmission sector, using Flexible Alternating Current Transmission Systems² (FACTS) or high-voltage direct-current power transmission, allowing flexibility when controlling power flows and other dynamic characteristics of the system. Nevertheless, it is still possible to give one step further in the operation of power grids, making them more flexible, without compromising system stability and resilience, particularly with applications into the distribution sector.

Currently, the research and developments in areas such as Power Electronics, Automatic Control, Computing, Communications, Energy Storage, among others, have allowed us to expand the number of participants in the electrical networks. They have set as a key requirement the need to integrate Distributed Generation Means, Microgrids, Electric Vehicles, and Prosumers³ into the grid. All of them are enabled by power converters, which allow decentralizing the electricity generation, but on

¹ B. K.Bose, "Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy Systems," Proceedings of the IEEE, vol. 105, N° 11, pp. 2011-2018, 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2745621.

² F.Z. Peng, "Flexible AC Transmission Systems (FACTS) and Resilient AC Distribution Systems (RACDS) in Smart Grid", Proceedings of the IEEE, vol. 105, N° 11, pp. 2099-2115, 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2714022.

³ C. Roncero-Clemente, N. Vilhena, V. Delgado-Gomes, E. Romero-Cadaval, and J.F. Martins, "Control and operation of a three-phase local energy router for prosumers in a smart community," IET Renewable Power Generation, vol. 14, N° 4, pp. 560-570. [Online]. Available: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-rpg.2019.0589>

the other hand, they set the challenge of thinking about how electrical networks will work in the coming decades.

A first approach to the future characteristics that the electric grids may require are: a flexible, resilient, stable, and reliable distribution sector that allows the interconnection of new actors at different levels, in a distributed form across the grid, and with bidirectional power flows; a transmission sector, also flexible, that allows the integration of new means of generation, in direct or alternating current, and a large-scale of energy storage systems; finally, a generation sector that reduces the use of fossil fuels. With the above, it is possible to foresee that the whole operation of each sector into the electrical system, necessarily, have to be opened to include new actors, from an economic point of view, as well as technical assessment. The first step towards that direction is the implementation of Distributed Generators, which consists of the connection of generator systems into the distribution network. The installation of home generation systems has also been an outstanding contribution. However, new challenges continue appearing, such as the connection of electric vehicles (both as loads and generators), and new topologies for low-power networks such as microgrids.

Nowadays, mainly in the academic context, one of the topics that is getting more attention is precisely how to integrate all these elements keeping a stable, resilient, reliable, and quality operation, considering the integration of different sources and loads, with different frequencies in the case of alternating current or direct current. This integration of elements will be possible only with the use of solid-state converters. New devices based on silicon carbide (SiC), which allow the operation on a wider frequency range and at higher voltage levels, are expected to support the development and design of new converters for this task. In addition, progress in the generation of new converters connection topologies, such as multilevel converters, new control strategies, and advances in computational capacity, will make these systems more reliable and, over time, more economical. These last two characteristics (reliability and cost) are precisely the only two advantages of the traditional devices. However, the future will help to overcome them.

There is an interesting new architecture proposal for future electrical grids at the distribution level, and it is based on conceiving the grid in a similar way to an internet network. In this conception, the connection of prosumers (microgrids, electric vehicles, distributed generation means, and others.) into the electric grid would be as simple as connecting a computer to the Internet. In this framework, the current distribution substations would operate as network routers, allowing the interconnection and the intelligent management of power flows. This concept for the future electrical network is called Energy Internet⁴, and the replacement for substations are called Energy Router, Intelligent Power Transformer, Smart Transformer, Power Router, among others⁵. The cornerstone to implementing it lies in the study of solid-state transformers⁶ (SST) and integrating the characteristics of new power electronics, control, computing, and cybersecurity devices, to become not only efficient and reliable but also intelligent.

All the above will be possible in the future, provided that further progress in academia is achieved, higher popularity in the industrial sector is received, and, above all, greater awareness of sustainability

⁴ A. Joseph and P. Balachandra, "Smart Grid to Energy Internet: A Systematic Review of Transitioning Electricity Systems", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 215787-215805, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041031.

⁵ Y. Ma, H. Liu, X. Zhou and Z. Gao, "An Overview on Energy Router Toward Energy Internet", in 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 5-8 Aug. 2018, pp. 259-263, doi: 10.1109/ICMA.2018.8484645. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8484645/>

⁶ M.A. Shamsuddin, F. Rojas, R. Cardenas, J. Pereda, M. Diaz and R. Kennel, "Solid State Transformers: Concepts, Classification, and Control" *Energies*, vol. 13, N° 9, p. 2319, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/9/2319>.

in the use of new means of electricity generation is reached. It has to start from home users, through industries, to the generation, transmission, and distribution sectors, i.e., becoming an active part of the electricity grid as energy generators or consumers and becoming an active part of the cycle of transforming nature into electrical energy.

Pablo Guicharrousse
Universidad de Tarapacá
Departamento de Ingeniería y Tecnologías
Iquique, Chile
E-mail: pguichar@academicos.uta.cl
<https://orcid.org/0000-0003-0116-5555>

EDITORIAL

Las redes eléctricas del futuro

En los últimos años, grandes esfuerzos se han realizado para incentivar la utilización de nuevas fuentes de energía en la generación de electricidad, y con ello disminuir el uso de combustibles fósiles en la búsqueda de la sustentabilidad y preservación del medio ambiente. Estos incentivos han generado un nuevo escenario para las redes eléctricas, donde los conceptos de flexibilidad, resiliencia y redes inteligentes (*Smart Grids*) adquieren gran importancia¹, frente a las necesidades permanentes de calidad y estabilidad. Por una parte, se requiere de flexibilidad para la incorporación de nuevas fuentes de energía, nuevos tipos de consumos y para permitir la operación de forma híbrida interconectando redes de diferentes frecuencias, niveles de tensión, de corriente alterna o de corriente continua. Por otra parte, se necesita resiliencia para mantener la operación del sistema, o su recuperación, frente a grandes fenómenos naturales que atenten contra su infraestructura y la continuidad de suministro.

Tradicionalmente, los sistemas eléctricos funcionan clasificando a sus componentes en tres sectores según el rol que cumplen: Generación, Transmisión y Distribución. El primero transforma la energía desde una fuente primaria a energía eléctrica. El segundo, Transmisión, provee la infraestructura y los servicios auxiliares para transportar la energía eléctrica a los centros de consumo. El tercero, Distribución, entrega la energía a niveles de baja y media tensión en centros industriales, urbanos o domiciliarios. Este último sector permite el flujo de potencia en un solo sentido, desde la subestación hacia los consumidores, no existiendo la posibilidad de implementar flexibilidad, flujos de potencia bidireccionales o estrategias que permitan la formación de microrredes u operación aislada en modo isla. Junto a este paradigma se encuentra el uso de dispositivos tradicionales para mantener la estabilidad y la calidad del servicio, entre ellos, transformadores con cambio de derivación, bancos de condensadores y reactores, dispositivos con un alto grado de confiabilidad y eficiencia, pero con una baja capacidad de control y flexibilidad, no permitiendo el uso de estrategias actuales de control, el uso del avance tecnológico en nuevas topologías y dispositivos de electrónica de potencia.

De todas formas, algunos avances tecnológicos si han logrado impactar en el sector de transmisión, al incluir el uso de Sistemas Flexibles de transmisión de Corriente Alterna² (FACTS, por su sigla en inglés) o la transmisión de energía eléctrica en corriente continua de alta tensión, permitiendo flexibilidad al controlar los flujos de potencia y otras características dinámicas del sistema. Sin embargo, aún es posible realizar un paso más allá respecto a la flexibilización en la operación de las redes eléctricas, sin perjudicar la estabilidad y la resiliencia del sistema, particularmente aplicables al sector de Distribución.

En la actualidad, el desarrollo en áreas como la Electrónica de Potencia, Control Automático, Computación, Comunicaciones, Almacenamiento de la Energía, entre otras, ha permitido ampliar la cantidad de participantes en nuestras redes eléctricas, considerando como necesidad clave la integración de Medios de Generación Distribuida, Microrredes, Vehículos Eléctricos y Prosumidores³, todos

¹ B.K. Bose, "Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy Systems", Proceedings of the IEEE, vol. 105, N° 11, pp. 2011-2018, 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2745621.

² F.Z. Peng, "Flexible AC Transmission Systems (FACTS) and Resilient AC Distribution Systems (RACDS) in Smart Grid", Proceedings of the IEEE, vol. 105, N° 11, pp. 2099-2115, 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2714022.

³ C. Roncero-Clemente, N. Vilhena, V. Delgado-Gomes, E. Romero-Cadaval and J.F. Martins, "Control and operation of a three-phase local energy router for prosumers in a smart community", IET Renewable Power Generation, vol. 14, N° 4, pp. 560-570. [Online]. Available: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-rpg.2019.0589>

ellos habilitados por convertidores de potencia, lo cuales permiten descentralizar la Generación de electricidad, pero por otro lado, creando el desafío de pensar en cómo las redes eléctricas funcionarán en las próximas décadas.

Las características preliminares que las redes eléctricas podrían requerir en el futuro son: un sector de Distribución flexible, resiliente, estable y confiable, que permita la interconexión de nuevos actores a distinto nivel y de forma distribuida, y con flujos de potencia bidireccionales; un sector de Transmisión también flexible, que permita la integración de nuevos medios de generación, en corriente continua o alterna, y almacenamiento energético a gran escala; finalmente, un sector de Generación que disminuya el uso de combustibles fósiles. Con lo anterior, es posible prever que la exclusividad en la operación de cada sector en el sistema eléctrico necesariamente tendrá que abrirse a incluir nuevos participantes, tanto desde un punto de vista económico y como técnico. Un primer paso en esa dirección es la implementación de la Generación Distribuida, que consiste en la conexión de sistemas de generación a la red de distribución. También el fomento a la instalación de sistemas de generación domiciliarios ha sido un gran aporte. De todas formas, continúan apareciendo nuevos desafíos como la conexión de vehículos eléctricos (tanto como carga o como generadores), así como también las nuevas topologías para redes de baja potencia como son las microrredes.

Hoy en día, y principalmente en el entorno académico, uno de los ámbitos de estudio que mayor atención está obteniendo, en referencia a las redes eléctricas del futuro, es precisamente el cómo lograr integrar todos estos elementos para mantener una operación estable, resiliente, confiable y de calidad, considerando la integración de distintos medios, con diferentes frecuencias en el caso de corriente alterna o de corriente continua. Lo anterior solo es posible con el uso de convertidores de estado sólido. Se espera que los nuevos dispositivos basados en carburo de silicio (SiC, por su sigla en inglés), que permiten operar en un mayor rango de frecuencia y a mayores niveles de tensión, apoyen el desarrollo y diseño de convertidores para esta tarea. Además, el avance en la generación de nuevas topologías de conexión para convertidores, como son los Convertidores Multinivel, las nuevas estrategias de control y el avance en capacidad de cómputo, permitan a su vez hacer de estos sistemas más confiables y, con el tiempo, más económicos. Estas últimas dos características (confiabilidad y costo) son precisamente las únicas ventajas que los dispositivos tradicionales mantienen, pero que el futuro ayudará a superar.

Existe una propuesta muy interesante de arquitectura para las redes eléctricas del futuro a nivel de Distribución, y se trata de concebirla de forma similar a una red de internet. En esta conceptualización la conexión de prosumidores (microrredes, vehículos eléctricos, medios de generación distribuida, etc.) a la red eléctrica sería tan simple como la conexión de un equipo computacional a internet. En este concepto, las actuales subestaciones de distribución operarían como enrutadores de red, permitiendo al interconexión y administración inteligente de los flujos de potencia. Esta proyección hacia el futuro recibe el nombre de Energy Internet⁴, y el reemplazo para las subestaciones reciben el nombre de *Energy Router*, *Intelligent Power Transformer*, *Smart Transformer*, *Power Router*, entre otros⁵. La clave para su implementación se encuentra en el estudio de los transformadores de estado sólido⁶ (SST, por sus siglas en inglés) y en cómo integrar en ellos las características de los nuevos dispositivos de

⁴ A. Joseph and P. Balachandra, "Smart Grid to Energy Internet: A Systematic Review of Transitioning Electricity Systems", IEEE Access, vol. 8, pp. 215787-215805, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041031.

⁵ Y. Ma, H. Liu, X. Zhou and Z. Gao, "An Overview on Energy Router Toward Energy Internet", in 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 5-8 Aug. 2018 2018, pp. 259-263, doi: 10.1109/ICMA.2018.8484645. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8484645/>

⁶ M.A. Shamsuddin, F. Rojas, R. Cardenas, J. Pereda, M. Diaz, and R. Kennel, "Solid State Transformers: Concepts, Classification, and Control" Energies, vol. 13, Nº 9, p. 2319, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/9/2319>.

electrónica de potencia, control, computación y ciberseguridad, de tal forma que su operación, además de eficiente y confiable, sea inteligente.

Todo lo anterior será posible en el futuro, siempre que se logren mayores avances en la academia, popularidad en el sector industrial y, por sobre todo, mayor conciencia sobre la sustentabilidad en el uso de nuevos medios de generación de energía eléctrica, partiendo desde los usuarios domiciliarios, pasando por las industrias, hasta los sectores de generación, transmisión y distribución, es decir, no solo convertirnos en parte activa de la red eléctrica generando o consumiendo energía, si no también, convertirnos en parte activa del ciclo que considera la transformación de la naturaleza en energía eléctrica.

Pablo Guicharrousse
Universidad de Tarapacá
Departamento de Ingeniería y Tecnologías
Iquique, Chile
E-mail: pguichar@academicos.uta.cl
<https://orcid.org/0000-0003-0116-5555>