

CASO DE ESTUDIO:

Guía de Selección de Compensadores de Caídas de Tensión

Escrito por Ing. María Vargas Campos e Ing. David Madrigal Miranda, 2025-06-30.

Sinopsis

Se analizan diversas topologías de compensadores para mitigar caídas de tensión, tales como restauradores de tensión dinámicos (DVR), transformadores de alta frecuencia tipo buck-boost, cambiadores de taps bajo carga (OLTC), entre otros dispositivos. Se evalúa la viabilidad de estas tecnologías considerando criterios como eficiencia, tiempo de respuesta y aplicabilidad con el fin de establecer criterios técnicos para su selección.

Compensadores de caídas de tensión

Una solución eficaz para mitigar problemas de calidad de energía es el Dynamic Voltage Restorer (DVR), que inyecta una tensión compensatoria en serie con la carga. Se caracteriza por su rápida respuesta, bajo costo y diseño compacto, ya que no requiere elementos de almacenamiento como capacitores o inductores, y está optimizado para operar en condiciones transitorias (Morán et al., 2002).

Akhtar et al. (2020) destacan su eficacia frente a sag y swell al integrarse con control rápido y topologías multietapa. Además, Khadkikar et al. (2012) subrayan su capacidad para compensar tensiones desequilibradas y eventos transitorios complejos, lo que mejora la estabilidad y adaptabilidad del sistema.

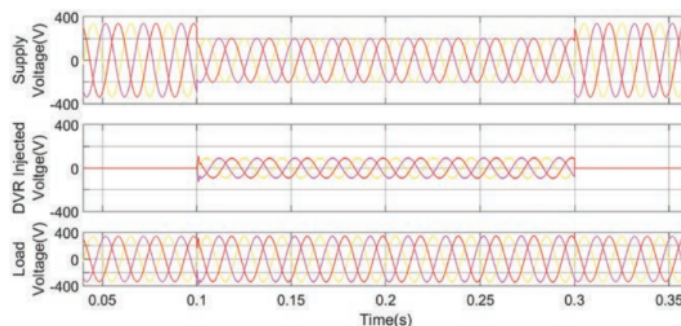


Figura 1. Compensación de la tensión de carga mediante un DVR con inversor trifásico.

Un avance reciente es el uso de transformadores de alta frecuencia integrados en convertidores buck-boost AC-AC, permitiendo compensar caídas sin necesidad de una fuente DC intermedia, lo que mejora la eficiencia y reduce el volumen del sistema (Abdoli, 2024). Estos sistemas pueden ofrecer un amplio rango de regulación, alta velocidad de respuesta ($<100 \mu\text{s}$) y alta densidad de potencia.

Otro método común para compensar caídas de tensión son los cambiadores de taps (OLTC), que ajustan la relación de transformación modificando el número de espiras en el devanado del transformador (Faiz & Siahkolah, 2005). Esto permite estabilizar el voltaje sin necesidad de compensación reactiva (Barua, 2025).

No obstante, los OLTC mecánicos tienen desventajas como respuesta lenta, altas pérdidas, elevados costos de mantenimiento y consumo de aceite (Hasan et al., 2018). Debido a lo anterior, se ha vuelto popular

utilizar cambiadores electrónicos de taps (TCE) que logran solventar los problemas de los OLTC mecánicos (Faiz & Siahkolah, 2005).

Por último, existen los transformadores de voltaje constante (CVT), que se utilizan por construcción sencilla en comparación con otras soluciones (Monsalve, 2019). Destacan por su buena regulación del voltaje RMS ante cargas constantes o de variación lenta, su capacidad para soportar interrupciones de hasta 2–4 ms y su efectividad en la atenuación de ruido en modo común (Monsalve, 2019).

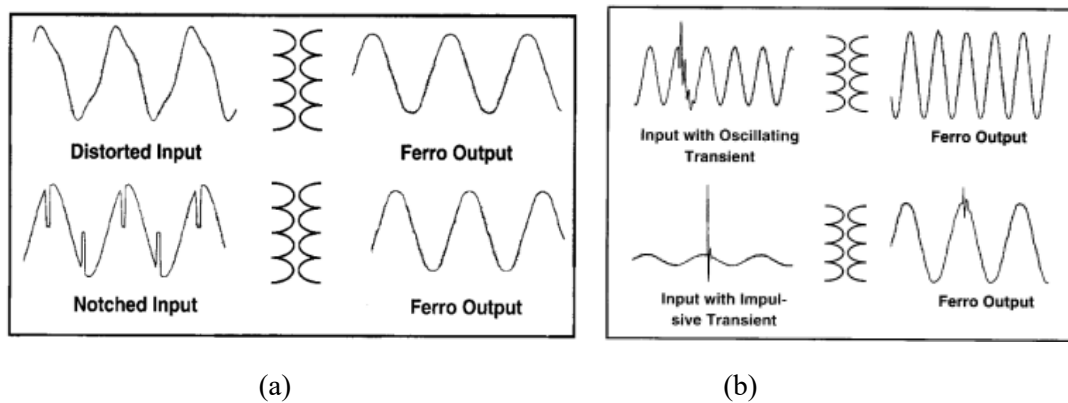


Figura 2. a) Tensión de salida del CVT con tensiones de entrada distorsionadas y con muescas a plena carga. b) Respuestas de salida del CVT a voltajes de entrada con transitorios oscilantes e impulsivos.

Criterios para la Selección de la Solución Óptima

Para seleccionar el compensador de caídas de tensión más adecuado, deben considerarse criterios tanto técnicos como económicos. A partir del análisis realizado en este documento y las referencias, se identifican los siguientes aspectos clave:

Compensador	Respuesta	Rango de compensación de caídas	Potencia	Eficiencia energética (%)	Tipo de red y ubicación	Costo	Tamaño
DVR	Rápida (subciclo < 3 ms)	Hasta un 50%	Media-Alta	~98	Red sensibles, en serie (cargas críticas)	Alto	Medio-Grande
Buck-Boost AC/AC	Muy rápida (< 100 μ s)	Hasta un 30%	Baja - Media	~95	Redes industriales, en paralelo	Medio	Pequeño
OLTC	Muy lenta por cambios mecánicos (segundos)	Hasta un 20%, dependiendo del número de taps	Alta	~98	Subestaciones primarias. Redes de distribución y transmisión.	Medio	Grande
TCE	Rápida (ciclo completo)	Baja-Media	Media-Alta	~90-96	Redes industriales, paralelo o serie	Bajo relativo	Medio
CVT	Muy rápida (instantánea)	Hasta un 30%	Baja-Media	~92	Equipos críticos, baja tensión, local	Alto	Pequeño

Tabla 1. Guía de selección de compensadores de tensión.

Conclusión

Para garantizar una compensación efectiva de caídas de tensión, optimizando la continuidad operativa y la rentabilidad del sistema, es fundamental seleccionar el compensador adecuado según las necesidades específicas de cada aplicación. Esto implica analizar criterios técnicos como el rango y la velocidad de respuesta, la potencia, eficiencia energética y tipo de red, junto con factores económicos y de instalación.

Este trabajo muestra que no existe una solución única óptima; por ello, es necesario evaluar las ventajas y limitaciones de las distintas tecnologías para elegir la que mejor se ajuste a los requerimientos operativos y presupuestarios, garantizando así la protección y estabilidad del sistema eléctrico.

Referencias

1. Abdoli, F. (2024). *A high-frequency transformer-based buck-boost AC-AC converter with high efficiency and wide range conversion ratio for DVR application*. IET Power Electronics.
2. Akhtar, S., et al. (2020). *A Review on Mitigation of Voltage Sags and Swells Techniques for Improving Power Quality*. IJRASET.
3. Khadkikar, V., et al. (2012). *Dynamic Voltage Restorer (DVR) – A Review*. Journal of Electrical Power and Energy Systems.
4. Morán, L., Enjeti, P., & Kim, H. (2002). *Analysis and Design of a New Voltage Sag Compensator for Critical Loads in Electrical Power Distribution Systems*.
5. Ferraro, R. J., Osborne, R., & Stephens, R. (1998). *The Constant Voltage Transformer (CVT) for Mitigating Effects of Voltage Sags on Industrial Equipment*. Power Quality Solutions Inc., North Texas Electric Inc., and Pennzoil Products Co.
6. Barua, P. (2025). Transformer Tap Changers: Role in voltage regulation for grid stability. Recuperado de: <https://www.prasunbarua.com/2025/02/transformer-tap-changers-role-in.html>
7. Faiz, J., & Siahkolah, B. (2005). Sag mitigation by an electronic tapchanger: Specifications and comparisons with other custom power tools. IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution.
8. Hasan, E. O., Hatata, A. Y., Yossef, F. H., & Badran, E. A. (2018). Voltage control of distribution systems using electronic OLTC. Proceedings of the Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo University, Egypt.
9. Monsalve Pabón, F. S. (2019). Transformador de voltaje constante basado en ferresonancia [Trabajo de grado, Universidad de Pamplona]. Universidad de Pamplona.
10. Schneider Electric. (2022). *PowerLogic™ Dynamic Voltage Restorer 150–900 Operation Manual* (NNZ6555700-01).https://www.productinfo.schneider-electric.com/powerlogic_dvr_operation_guide/powerlogic-dvr-operational-manual/English/NNZ6555700-01.pdf
11. Maschinenfabrik Reinhausen GmbH. (2022). *OILTAP® R – On-load tap-changer for transformers: Technical data* (Rev. 02).
https://www.reinhausen.com/fileadmin/downloadcenter/products/oltc/oiltap_r/technical_data/td_r_en.pdf