

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- El continuo crecimiento de los niveles de cargabilidad de los elementos del SEP, el uso de nuevas tecnologías y controles, así como las interconexiones entre sistemas, han producido un incremento de eventos relacionados con otras formas de inestabilidades diferentes a la de ángulo, tomando especial importancia la inestabilidad de voltaje.
- El manejo de un esquema de alivio de carga ante problemas de voltaje, sobre la base de un monitoreo del IEVZ planteado en esta tesis, permite dar un mayor nivel de confiabilidad al mismo por cuanto su operación resulta efectiva siempre que ocurran dos condiciones: presencia de un máximo IEVZ y voltaje inferior a un umbral ajustado.
- Mediante la variación del exponente de impedancia " $n$ ", es posible modificar el porcentaje de cargabilidad en el que ocurrirá el IEVZ máximo, con lo cual se mejora el criterio de establecimiento de un escenario cercano a la inestabilidad.
- Mediante el desarrollo del IEVZ es posible plantear indicadores de inestabilidad de voltaje, los mismos que no necesariamente generen desconexión de carga, sino también alarmas a los centros de control, de tal manera de permitir alertar al operador de sistema sobre los niveles de cargabilidad del SEP y su cercanía a un escenario de inestabilidad. Esto podría ser posible de implementar mediante los Energy Manager Systems (EMS) disponibles en los centros de control actualmente existentes.
- La correcta modelación de los elementos del sistema de potencia es de suma importancia para un buen desempeño de cualquier esquema de alivio de carga por bajo voltaje, por lo que se requiere de un adecuado levantamiento y validación de los modelos, especialmente en lo

relacionado con los limitadores de excitación de los generadores y de los modelos de las cargas.

- Es posible definir bandas de voltaje ante operación normal considerando una combinación de niveles de voltaje con monitoreo del IEVZ, de esta manera se tendría una flexibilización de los límites en operación normal los cuales se ajustarían a las condiciones reales del sistema.
- Se debe desarrollar mayores análisis, tanto técnicos como económicos, a fin de establecer el mejor mecanismo de mitigación ante inestabilidad de voltaje en un sistema. En la implementación del EACIV sobre la base del monitoreo del IEVZ, se debe considerar el desarrollo adicional a nivel de software que debe realizarse a fin de permitir el cálculo del IEVZ.
- La posibilidad de que los dispositivos permitan el acceso a la manipulación de las señales eléctricas a fin de plantear algoritmos y esquemas personalizados para cada sistema de potencia resulta de gran utilidad, tal como se demuestra en el desarrollo de esta tesis.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda analizar la posibilidad de manejar esquemas de protección sistémicos de manera integrada con los distribuidores, de tal manera que sea posible implementar esquemas selectivos de desconexión de carga. Este análisis debe incluir la posibilidad de que se implementen medios de comunicación para estos fines.
- Se recomienda realizar la validación de los modelos de red, por cuanto los desarrollos planteados parten de la consideración de que estos modelos responden a la realidad, situación que solo puede asegurarse mediante la comparación de registros reales con los resultados de la simulación.

- Durante el desarrollo de un análisis de estabilidad de voltaje se debe conocer los alcances y limitaciones de las herramientas utilizadas, ya que, como se detalla en esta tesis, algunos algoritmos no consideran particularidades de los elementos del SEP, tales como curva de capacidad variable de generadores, cambios en las características de carga ante bajos voltajes, entre otros.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions. "Definition and Classification of Power System Stability". IEE Transactions on Power Systems, Vol 19, N°2, Mayo 2004.
- [2] University of Waterloo – Department of Electrical & Computer Engineering. E&CE664 Power System Computer Applications – Lecture 7b. Marzo 2005.
- [3] T. Van Cutsem, C. Vournas. "Voltage Stability of Electric Power Systems". Power Electronics and Power Systems. Springer, 2008.
- [4] American National Standard Institute. "ANSI C50.13-1977 American National Standard Requirements for Cylindrical – Rotor Synchronous Generators". 1977.
- [5] T. S. Johansson, F. Sjögren. "Voltage Collapse in Power Systems – the influence of generator current limiter, on load-tap-changers and load dynamics". Licentiate Thesis. Chalmers University of Technology, 1995.
- [6] IEEE/PES. "Voltage Stability Assessment: Concepts, Practices and Tools". Final Document. Editor: C. Cañizares. 2002.
- [7] K. Morison. "Practical Methods of Voltage Stability Analysis". IEEE 2002 Summer Meeting, Chicago.
- [8] B. Gao, K. Morison, P. Kundur. "Towards the Development of a Systematic approach for Voltage Stability Assessment of Large Scale Power Systems". IEEE Transactions on Power Systems, August 1996.
- [9] Klaus – Peter Brand, Volker Lohman, Wolfgang Wimmer. "Substation Automation Handbook". ABB - 2005.
- [10] DIgSILENT Technical Documentation. "Manual DIgSILENT Simulation Language (DSL) – Version 13.1". DIgSILENT GmbH, Germany. 2005.
- [11] Ch. Mozina. "Undervoltage Load Shedding". Beckwith Electric Co., Inc. 2005.
- [12] Guzman A, Tziouvaras D, Schweitzer E, Martin K. "Local and Wide-Area Network Protection Systems Improve Power System Reliability", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc y Bonneville Power Administration. Pullman y Vancouver- USA. 2005.

- [13] DIgSILENT Technical Documentation. “General Load Model”. DIgSILENT GmbH, Germany. 2007.
- [14] Z. Gajic, D. Karlsson, Ch. Andrieu, P. Carlsson, N. Rahmat, S. Okuboye. “Intelligent Load Shedding”. ABB, EnerSearch. 2005.
- [15] S. Bernard, T. Van Cutsem. “Undervoltage Load Shedding Scheme for the Hydro-Québec system”. Hydro-Quebec and University of Liège. Montreal – Canadá 2004.
- [16] Granda Nelson. “Análisis de Estabilidad de Voltaje del Sistema Nacional Interconectado”. Tesis de Grado. EPN - 2006.
- [17] K. Mena, C. Cañizares. “Modeling and Simulation of IEEE 14 bus system with FACTS controllers” Technical Report #2003 – 3.
- [18] DIgSILENT Technical Documentation. “Manual DIgSILENT Programming Language (DPL) – Version 13.1”. DIgSILENT GmbH, Germany. 2005.
- [19] International Electrotechnical Commission. “IEC 909-1988 Short-Circuit Current Calculation in Three-Phase A.C. Systems”. 1988.
- [20] CONELEC. “Regulación 006 – Procedimientos de Despacho y operación”.

## ANEXOS

ANEXO A: Datos del sistema barra infinita – carga.....	i
ANEXO B: Datos del sistema IEEE14.....	ii
ANEXO C: Código de programación del EACIV .....	vii
ANEXO D: Datos del Sistema Nacional Interconectado SNI .....	ix