

## **CAPITULO 7**

# **CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y APORTACIONES**

### **7.1 INTRODUCCION**

En este capítulo se presentan las conclusiones generales, las recomendaciones para trabajos futuros y las principales aportaciones de este trabajo.

### **7.2 CONCLUSIONES GENERALES**

- Un problema clásico en la protección de líneas de transmisión contra cortocircuitos es la estimación de la distancia eléctrica a la falla, y su comparación con un cierto umbral preestablecido para determinar si la línea se encuentra en estado de falla o no, con lo que se conforma una zona de protección. En esta tesis se propone una solución a este problema utilizando redes de neuronas artificiales. Se propone la estructura general de un relevador neuronal de líneas de transmisión, y se estudia en detalle el problema de la estimación de la zona de falla, que permite conformar la zona de protección.
- El problema se plantea en términos de un proceso de reconocimiento de patrones de información, utilizando una red de neuronas artificiales con propagación hacia adelante para resolverlo. Se utiliza un método heurístico para determinar la estructura de red más apropiada y el número de nodos de procesamiento requeridos. De la misma forma se establece el tipo y número de patrones necesarios para el entrenamiento de las redes.

- Se proponen estimadores neuronales tipos impedancia y mho, en que los patrones de entrada a la red se derivan de las muestras de voltajes y corrientes (cinco de cada una), combinándolos para formar señales del tipo de las que se aplican a los comparadores de amplitud y de fase en los relevadores analógicos tipos impedancia y mho, respectivamente.

### **7.2.1 Filtro digital de mínimos cuadrados**

- En este trabajo se investigó el filtro de mínimos cuadrados con un modelo de señal compuesto por una componente aperiódica exponencial, una componente fundamental, y un número de armónicas superiores. La componente exponencial se aproximó por una serie de Taylor, para evaluar el efecto del número de términos de la serie sobre el comportamiento del filtro.
- Se demostró que un modelo detallado de la componente aperiódica exponencial asegura un buen rechazo a esta componente, pero incide negativamente en el comportamiento del filtro en presencia de oscilaciones amortiguadas de alta frecuencia. Esto constituye una limitación a la aplicación de los filtros de mínimos cuadrados con este modelo de señal en protección de distancia, a menos que se utilice un filtro separado para eliminar las componentes de alta frecuencia.

### **7.2.2 Consideraciones sobre un relevador neuronal de distancia**

- La estructura de relevador neuronal de distancia propuesta en esta tesis tiene elementos independientes para los distintos tipos de fallas, a los que se aplican en forma paralela las señales de entrada apropiadas. Este es el equivalente al relevador de distancia convencional con unidades de medición independientes.

- El estimador neuronal de zona de falla propuesto está formado por un bloque algorítmico de formación de señales y una red de neuronas artificiales que hace la función de un comparador de amplitud o de fase. En el bloque algorítmico se procesan las muestras de voltaje y corriente y se forman las señales necesarias para obtener el tipo de relevador deseado. La RNA aprende las relaciones de amplitud o de fase de sus señales de entrada, lo que le permite discriminar entre fallas internas y externas, y así conformar la zona de protección.
- Las señales de entrada a la RNA del estimador tipo impedancia deben ser como las que se aplican al esquema de comparación de amplitud de un relevador analógico tipo impedancia. Las señales de entrada a la RNA del estimador tipo mho deber ser como las que se aplican al esquema de comparación de fase de un relevador analógico tipo mho.

### **7.2.3 Entrenamiento y pruebas del estimador neuronal de zona de falla con señales sinusoidales**

- Se demostró la capacidad de una red de neuronas para aprender la relación de amplitud existente entre las señales  $e_1 = iZ_r$ , y  $e_2 = v$  para diferentes condiciones de falla, para señales sinusoidales. Esta es la base para el estimador neuronal tipo impedancia propuesto en este trabajo. Se encontró que una estructura de red de neuronas que tiene diez entradas, dos capas ocultas con diez y cinco neuronas respectivamente, y una neurona de salida, es adecuada para esta aplicación.
- Se probó también que la red de neuronas es capaz de aprender la relación de fase de las señales  $e_1 = i\bar{Z}_r - v$  y  $e_2 = v$ , para señales sinusoidales. Sobre esta base se propone un estimador de distancia tipo mho. La estructura de la red para esta aplicación tiene diez

entradas, dos capas ocultas con veinte y diez neuronas respectivamente, y una neurona de salida.

- Si el ruido de las señales no es eliminado por filtros separados, y la red es entrenada con señales sinusoidales, ese ruido introduce error en la estimación de la zona de falla. Por tal motivo, se propone que se entrenen las redes de neuronas con patrones sinusoidales contaminados con componentes aperiódicas exponenciales, y se eliminen las componentes transitorias de alta frecuencia de las señales mediante un filtro analógico previo.

#### **7.2.4 Entrenamiento y pruebas del estimador neuronal de zona de falla con señales que contienen componente aperiódica exponencial**

- Se estudió el proceso de entrenamiento y prueba de redes de neuronas artificiales con señales contaminadas, para conformar un estimador neuronal tipo mho. Las señales utilizadas son un voltaje sinusoidal y una corriente que puede tener componente aperiódica. Esta componente aperiódica tiene una constante de tiempo única, y cuatro niveles iniciales (positivo máximo y medio, y negativo máximo y medio).
- Para lograr un comportamiento adecuado del estimador neuronal tipo mho para fallas en ambas direcciones es necesario entrenarlo para esas fallas. La capacidad de generalización de las RNA no genera direcciónalidad cuando las señales de corriente están contaminadas con componentes aperiódicas exponenciales.
- El estimador neuronal tipo mho entrenado con señales contaminadas con una componente exponencial en la corriente tiene una buena respuesta ante señales que presentan componentes aperiódicas de la misma constante de tiempo e iguales polaridades y niveles que las de entrenamiento.

### 7.3 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- En esta tesis se propone eliminar por filtrado previo las componentes de alta frecuencia y sólo se considera la presencia de componente aperiódica exponencial en las señales de entrada. Se recomienda conformar patrones de entrenamiento de la RNA utilizando componentes de alta frecuencia en las señales de entrada y analizar los resultados.
- En esta tesis se considera en el entrenamiento y pruebas de la RNA que la componente aperiódica exponencial tiene una constante de tiempo fija, determinada por los parámetros de la línea. Sólo se admiten variaciones de su polaridad y su magnitud. Se recomienda probar adicionalmente a la RNA utilizando señales que contengan componentes aperiódicas exponenciales que correspondan a diferentes constantes de tiempo, y que tengan magnitudes diferentes.
- Sólo se considera en las señales de entrenamiento y pruebas la presencia de componente aperiódica exponencial en la corriente y voltaje sinusoidal. Se recomienda incluir contaminación en ambas señales.
- Una alternativa muy atractiva es la de entrenar la RNA utilizando 16 ventanas de datos diferentes para cubrir el ciclo completo de ambas señales de entrada. Se recomienda la búsqueda de las estructuras de la red y los métodos de entrenamiento capaces de procesar la información para el ciclo completo de señales de entrada.
- Se recomienda estudiar en trabajos futuros el efecto sobre el estimador neuronal del cruce de la ventana de datos por la discontinuidad que la falla provoca en las señales de voltaje y corriente.

#### 7.4 APORTACIONES

- Se presenta una evaluación del filtro digital de mínimos cuadrados para su aplicación en protección de distancia, y se ponen de manifiesto sus limitaciones, para el caso en que el modelo de señal está compuesto por una componente aperiódica exponencial, una componente fundamental y un número de armónicas superiores.
- Se propone la estructura funcional de un relevador neuronal de protección de líneas de transmisión.
- Se presenta un método basado en RNA para la solución del problema de la estimación de la zona de falla, como un paso intermedio hacia el diseño de un relevador neuronal para protección.
- Se demuestra la capacidad de una RNA para ejecutar la comparación de amplitud de las señales de entrada de un relevador de distancia tipo impedancia convencional. Esta es la base del estimador tipo impedancia propuesto en esta tesis.
- Se demuestra también que la RNA es capaz de identificar la relación de fase de las señales de entrada de un relevador de distancia tipo mho convencional. Esta es la base del estimador tipo mho propuesto en la tesis.
- Los resultados obtenidos confirman la factibilidad de la aplicación de redes de neuronas artificiales para estimar la zona de falla en la protección de distancia de líneas de transmisión.

**REFERENCIAS**

- [1] M. Ramamoorty, "Application of digital computers to power system protection," *Journal of Inst. Eng. (India)*, vol. 52, no. 10, June 1972, pp. 235-238.
- [2] D. D' Amore and A. Ferrero, "A simplified algorithm for digital distance protection based on Fourier Techniques," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 1, January 1989, pp. 157-163
- [3] E.O. Schweitzer and Daqing Hou, "Filtering for protective relays," *19<sup>th</sup> Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, Washington, October 1992.
- [4] R. G. Luckett, P.J. Munday and B.E. Murray, "A substation based computer for control and protection," *IEEE Conference Publication No. 125*, London, March 1975.
- [5] H. J. Altuve, E. Vázquez e I. Díaz, "Un nuevo algoritmo de filtrado digital para protección de distancia de líneas de transmisión," *VII Reunión de Verano de Potencia del IEEE Sección México*, Acapulco, Gro. México, Julio de 1994
- [6] A.M. Ranjbar and B.J. Cory, "An improved method for the digital protection of high voltage transmission lines," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 94, No. 2, March/April 1975, pp. 544-550.
- [7] M.S. Sachdev and M.A. Baribeau, "A new algorith for digital impedance relays," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 98, No. 6, Nov/Dec. 1979, pp. 2232-2240.
- [8] M.S. Sachdev and M. Nagpal, "A recursive least error squares algorithm for power system relaying and measurement applications," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol 6, No. 3, July 1991, pp. 1008-1015.
- [9] E.O. Schweitzer and A.J. Flechsing, Jr., "An efficient directional distance algorithm for digital computer relaying," *IEEE Publication No. 77CH1193-2 PWR*, Paper No. A77 725-5, IEEE PES Summer Power Meeting, México City, July 1977, pp. 1-5.
- [10] G. Benmouyal, "Removal of DC-offset in current waveforms using digital mimic filtering," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 2, April 1995, pp. 621-630.

- [11] M.S. Sachdev and M.M. Giray, "Measurement of local frequency from digitized bus voltage samples," *Transactions of the Engineering and Operating Division, Canadian Electrical Association*, vol. 23, part 3, 1984, Paper no. 84-SP-149, pp. 1-14.
- [12] A. G. Phadke and J. S. Thorp, *Computer Relaying for Power Systems*, Great Britain: Research Studies Press LTD, 1988.
- [13] M.S. Sachdev (Co-ordinator), *Microprocessor Relays and Protection Systems*, IEEE Tutorial Course Text, Publication No. 88EH0269-1-PWR, February 1988.
- [14] H.J. Altuve, I. Díaz and E. Vázquez, "Fourier and Walsh digital filtering algorithms for distance protection," *Proceedings of the 1995 IEEE Power Industry Computer Applications Conference*, Salt Lake City, Utah, May 1995, pp. 423-428.
- [15] A.A. Girgis and R. G. Brown, "Application of Kalman filtering in computer relaying," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 102, no. 9, September 1983, pp. 2834-2841.
- [16] A.M. Ranjbar and B.J. Cory, "An improved method for the digital protection of high voltage transmission lines," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 94, No. 2, March/April 1975, pp. 544-550.
- [17] T. Dalstein and B. Kulicke, "Neural network approach to fault type classification for high speed protective relaying," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 2, April 1995, pp. 1002-1011.
- [18] T. Dalstein, D.J. Sobajic, B. Kulicke and Y. H. Pao, "Neural network approach to fault direction identification in electric power systems," *Proceedings of the Twenty-Five Annual North American Power Symposium*, Howard University, Washington, DC, October 1993, pp. 290-299.
- [19] T.S. Siddhu, H. Singh and M.S. Sachdev, "Design, implementation and testing of an artificial neural network based fault direction discriminator for protecting transmission lines," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 2, April 1995, pp. 697-706.
- [20] H.J. Altuve, *Introducción a los Relevadores y Sistemas Digitales de Protección*, Programa Doctoral de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L., México, Noviembre de 1993.
- [21] G.D. Rockefeller, "Fault protection with a digital computer," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 88, no. 4, April 1969, pp. 438-461.

- [22] B.J. Mann and I.F. Morrison, "Digital calculation of impedance for transmission line protection," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 90, no. 1, January/February 1971, pp. 270-279.
- [23] B.J. Mann and I.F. Morrison, "Relaying a three-phase transmission line with a digital computer," *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, vol. 90, no. 2, March/April 1971, pp. 742-750.
- [24] R. Poncelet, "The use of digital computers for network protection," *CIGRE Paper 32-08*, August 1972.
- [25] J. M. Zurada, *Artificial Neural Systems*, U.S.A.: West Publishing Co., 1992.
- [26] R. Hecht Nielsen, "Neurocomputing: Picking the Human Brain," *IEEE Spectrum 25*, vol. 3, March 1988, pp. 36-41.
- [27] Vemuri, "Artificial neural networks: an introduction," *IEEE Computer Society Press Technology Series*, vol. I, 1988, pp. 1-12.
- [28] R.P. Lippman, "An introduction to computing with neural nets," *IEEE ASSP Magazine*, April 1987, pp. 4-22.
- [29] J.A. Anderson and E. Rosenfeld, *General introduction neurocomputing: foundations of research*, Massachusetts, United States of America: The MIT Press, 1989, pp. xiii-xxi.
- [30] Warren McCulloch and Pitts, "A logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity," *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5, pp. 115-133, 1943.
- [31] K.S. Fu, R.C. González and C.S.G. Lee, *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, New York, St. Louis, San Francisco, Auckland, United States of America: Mc Graw Hill, 1987.
- [32] H. Skhildt, *Artificial Intelligence Using C*, Berkeley, California, United States of America: Mc. Graw Hill, 1987.
- [33] R.R. Yager, S. Orchinnikov, R M. Tong and H.T. Nguyen, *Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L. A. Zadech*, New York, United States of America: Wiley Interscience, 1987.
- [34] A. Kaufmann, *Introduction to the Tehory of Fuzzy Subsets*, vol. 1, San Diego, California, United States of America: Academic Press, 1975.
- [35] W. T. Miller III, R. S. Sutton and P. J Werbos, *Neural Networks for Control*, A

Bradford Book, Massachusetts, United States of America: The MIT Press Cambridge, 1990.

- [36] G.T. Vuong and G. Paris, "Rule-based relay modelling for transient-stability studies," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, no. 3, August 1988, pp. 1306-1309.
- [37] G. F. Luger and W. A. Stubblefield, *Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems*, Redwood City, California, United States of America: Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1989.
- [38] R. J. Schilling, *Fundamentals of Robotics: Analysis & Control*, Englewood Cliffs, New Jersey, United States of America: Practice Hall, 1990.
- [39] J.G. Gilbert and R.J. Shovlin, "High speed transmission line fault impedance calculation using a dedicated minicomputer," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 94, no. 3, May/June 1975, pp. 872-883.
- [40] H.J. Altuve, E. Vázquez, J.V. Lorenzo y A. Martínez, "Efecto de las funciones de ponderación de ventana sobre los filtros digitales para relevadores de distancia," *Memoria Técnica del II Simposio Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*, Monterrey, N.L., México, Noviembre de 1993, pp. 215-224.
- [41] J.L. Blackburn, *Protective Relaying: Principles and Applications*, New York and Bassel: Marcel Dekker Inc., 1987.
- [42] A. R. van C. Warrington, *Protective Relays: Their Theory and Practice*, vol. II, Great Britain: John Wiley, 1977.
- [43] E.O. Schweitzer, J. Roberts and A. Guzmán, "Z=V/I does not make a distance relay," *Memoria Técnica del II Simposio Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*, Monterrey, N.L., México, Noviembre de 1993, pp 158-164.
- [44] V. Cook, *Analysis of Distance Protection*, Letchworth, Hertfordshire, England: Research Studies Press Ltd., 1985.
- [45] D. D' Amore and A. Ferrero, "A simplified algorithm for digital distance protection based on Fourier techniques," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 1, January 1989, pp. 157-163
- [46] J.W. Horton, "The use of Walsh functions for high speed digital relaying," *IEEE Publication No. 75ch1034-8 PWR, Paper No. A 75 582 7, IEEE PES Summer Meeting*, San Francisco, July 1975, pp 1-9.

- [47] E. O. Schweitzer and J. Roberts, "Distance relay element design," *Proceedings of the 47th Annual Protective Relaying Conference*, Georgia Tech, Atlanta, GA, April 1993.
- [48] C.R. Mason, *The Art and Science of Protective Relaying*, New York, United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 1979.
- [49] S. J. Russel y P. Norving, *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno*, London: Prentice Hall, 1996
- [50] M. A. Boden, *Filosofía de la Inteligencia Artificial*, Fondo de Cultura Económica S.A. de C.V., 1994.
- [51] A. Greenwood, *Electrical Transients in Power Systems*, New York, United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 1991.
- [52] Z. Zhang, G. Hope and O. Milik, "Expert systems in electric power systems-A bibliographical survey," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, no. 4, October 1989, pp. 1355-1362.
- [53] T.S. Dilton and M.A. Laughton (Editors), *Expert Systems Applications in Power Systems*, London: Prentice Hall, 1990.
- [54] Chen-Ching Liu, et al., "Practical use of expert systems in planning and operation of power systems," *Final Report of the CIGRE Task Force 38-06-03*, Paris, September 1992.
- [55] M. Kezunovic, et. al., "Expert system applications to protection, substation control and related monitoring functions," *Electric Power System Research*, vol. 21, 1991, pp. 71-86.
- [56] IEEE Power Systems Relying Committee Working Group Report, "Potential applications of expert systems to power system protection," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, April 1994, pp. 720-728.
- [57] H. Wayne Hong, Chuen-Tsai Sun, V.M. Mesa, and Steven Ng, "Protective device coordination expert system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 6, January 1991, pp. 359-365.
- [58] C. Kim, B. Don Rusell, and K. Watson, "A parameter-based process for selecting high impedance fault detection techniques using decision making under incomplete knowledge," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, July 1990, pp. 1314-1320.

- [59] R. Patterson, W. Tyska, B. Don Russell and M. Aucoin, "A microprocessor-based digital feeder monitor with high-impedance fault detection," *Memoria Técnica del II Simposio Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*, Monterrey, N.L, México, Noviembre de 1993, pp. 165-182.
- [60] E. Vázquez, O. Chacón y H. Altuve, "Sistema de diagnóstico de ubicación de fallas en tiempo real," *Memoria Técnica del II Simposio Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*, Monterrey, N.L., México, Noviembre de 1993, pp. 202-214.
- [61] B. Jeyasurya, S. Venkata, S. Vadari and J. Postforoosh, "Fault diagnosis using substation computer," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, April 1990, pp. 1195-1201.
- [62] H. Dijk and N. Kema, "Exformer, an expert system for transformer fault diagnosis," *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Power Computation Conference*, September 1987, pp. 715-721.
- [63] R. Ramírez, J. Rico, O. Chacón y H. Altuve, "Uso de redes de neuronas artificiales en la detección de fallas en sistemas eléctricos de potencia," *IV Reunión de Verano de Potencia del IEEE Sección México, Tomo 3-Sistemas de Potencia*, Acapulco Gro., Julio de 1991, pp. 203-211.
- [64] A Cichocki and T. Lobos, "Artificial neural network for real-time estimation of basic waveforms of voltages and currents," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 2, May 1994, pp. 612-618.
- [65] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, *Power System Relaying*, Great Britain: Research Studies Press LTD., 1992.
- [66] V. Cook, *Analysis of Distance Protection*, Great Britain: Research Studies Press LTD., 1985.
- [67] T. Dalstein, et al., "Multi neural network based fault area estimation for high speed protective relay," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996, 740-747.
- [68] H.J. Altuve, *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*, Universidad Autónoma de Nuevo León y Comisión Federal de Electricidad Monterrey, N.L., México, 1992.
- [69] I. Diaz, *Estudio Comparativo de Algoritmos de Filtrado Digital para Protección de Líneas de Transmisión*, Tesis de Maestría en Ciencias, FIME-UANL, Diciembre de 1994.

- [70] B. Widrow and M. A. Lehr, "30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation," *Proceedings of the IEEE*, vol. 78, no. 9, September 1990, pp. 1415-1442.
- [71] R.P. Lippmann, "An introduction to computing with neural nets," *IEEE ASSP Magazine*, April 1987.
- [72] M. El-Sharkawi and D. Neibur (Editors), *Artificial Neural Networks with Applications to Power Systems*, IEEE Tutorial Course Text, Publication no. 96 TP 112-0, 1996.
- [73] M. El-Sharkawi and R. J. Marks (Editors), *Proceedings of the First International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems Delivery*, vol. 6, no. 1, January 1991, pp. 359-365.
- [74] S. A. Khaparde, *et al.*, "Application of artificial neural networks in protective relaying of transmission lines," *Proceedings of the First ANNPS'91*, Seattle, Washington, July 1991, pp. 107-111.
- [75] D. Lubkeman, *et al.*, "Unsupervised learning strategies for the detection and classification of transient phenomena on electric power distribution systems," *Proceedings of the First ANNPS'91*, Seattle, Washington, July 1991, pp. 107-111.
- [76] R. K. Aggarwal, *et al.*, "Neural network techniques based adaptive single pole autoreclosure for EHV transmission systems," *IEE Proceedings-Generation, Transmission, Distribution*, vol. 141, no. 2, March 1994.
- [77] Z. Q. Bo., *et al.*, "A new approach to phase selection using fault generated high frequency noise and neural networks," *IEEE PES Winter Meeting, Paper no. 96 WM 023-2-PWRD*, Baltimore, January 1996.
- [78] A. G. Jongepier, "Adaptive distance protection of double-circuit lines using artificial neural networks," *IEEE PES Winter Meeting, Paper no. 96 WM 023-2-PWRD*, Baltimore, January 1996.
- [79] D. Novosel, *et al.*, "Algorithms for locating fault on series compensated lines using neural networks and deterministic methods," *IEEE PES Winter Meeting, Paper no. 96 WM 021-6-PWRD*, Baltimore, January 1996.
- [80] D. S. Fitton, *et al.*, "Design and implementation of an adaptive single pole autoreclosure technique for transmission lines using artificial neural networks," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996, pp. 748-756.

- [81] M. Kezunovic, *et al.*, "High speed fault detection and classification with neural nets," *Electric Power Systems Research*, vol. 34, 1995, pp. 109-116.
- [82] M. Kezunovic, *et al.*, "Real-time and off-line transmission line fault classification using neural networks," *Engineering Intelligent Systems*, vol. 1, 1996, pp. 57-63.
- [83] S. H. Kang, K. H. Kim, K. R. Cho and J. K. Park, "High speed offset free distance relaying algorithm using multilayer feedforward neural network," *Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems*, Publications no. 96TH8152, January-February 1996, pp. 210-214

