



ETAP 143AR

Coordinación de las protecciones de sistemas eléctricos industriales

Los temas cubiertos en este curso corresponden a los fundamentos de la protección del equipamiento y su coordinación en sistemas eléctricos de potencia industriales, particularmente aquellos que poseen generación propia. El énfasis del curso está puesto en las técnicas analíticas que se necesitan para calcular la condición del sistema en el punto de ocurrencia de la falla, y en los métodos que permiten una rápida y eficiente detección de la misma. La adecuada selección, aplicación y coordinación de los componentes que conforman el esquema de protecciones de un sistema eléctrico industrial permite minimizar el daño al equipamiento limitando la extensión y duración de cualquier interrupción del servicio que ocurra en cualquier porción del sistema eléctrico industrial. En primer término, se presentará el modelado en ETAP®16 de dispositivos de medición y protección, así como de las características asociadas al cortocircuito de todos aquellos componentes de la planta industrial que aportan al mismo. Seguidamente, se presentará el módulo STAR de ETAP®16, con todas sus funcionalidades, especialmente la evaluación automática de la protección y coordinación de relevadores de sobrecorriente. Finalmente, se revisarán los principales esquemas de protección de componentes: barras, líneas, cables, transformadores y reactores, generadores y motores; y su aplicación en sistemas de distribución radiales y mallados. A través de ejemplos y ejercicios desarrollados usando ETAP®16, los asistentes adquirirán experiencia, conocimientos y habilidades que le facilitarán la realización de estudios de coordinación de las protecciones en sistemas eléctricos industriales.

El curso está dirigido a Ingenieros Electricistas; en consecuencia se supone que los participantes poseen una base de conocimiento teórico-práctico de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. Por otra parte, se asume que los participantes del curso tienen un conocimiento previo de las funciones de edición básicas del software **ETAP POWER SYSTEM SIMULATOR** en alguna de sus versiones. Los conceptos teóricos se complementarán con simulaciones numéricas que se implementarán empleando **ETAP®16**.

El curso tiene una duración total de veinticuatro (24) horas reloj distribuidas según el cronograma siguiente:



Cronograma y Contenidos

PRIMER DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Modelado de dispositivos de instrumentación y protección. Transformadores de potencial. Transformadores de corriente. Amperímetros. Voltímetros. Multímetros. Relevadores: de sobrecorriente, de sobrecarga, diferencial, de tensión, de frecuencia, de potencia inversa, con módulo de disparo de estado sólido, multifunción, térmico. Fusibles. Interruptores. Reconectores. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución. Módulo STAR. Editor del Caso de Estudio. Funciones del módulo STAR. Característica tiempo-corriente: STAR TCC. Funciones STAR-TCC. Evaluación automática de la protección y coordinación de relevadores de sobrecorriente. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16.

SEGUNDO DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Protección contra fallas en sistemas de distribución radiales. Estrategias de protección en sistemas de distribución radiales. Coordinación de dispositivos en sistemas de distribución radiales: fusible - fusible, reconector - reconector, reconector - fusible; reconector - relé. Coordinación de relés en sistemas de distribución radiales: procedimiento para relés de fase y de tierra; procedimiento para ajuste de disparo instantáneo. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16. Protección en sistemas industriales. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Análisis de Aceleración de Motores. Modelado de Motores Asíncronos y Síncronos. Modelos dinámicos de la carga. Biblioteca de componentes. Módulo MA. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16. Estimación de parámetros de Motores Asíncronos. Módulo PE. Editor del Caso de Estudio. Editor de actualización de parámetros del motor. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16.

TERCER DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Protección del motor. Requerimientos. Protección del estator; protección del rotor; otras protecciones. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16. Protección de transformadores y reactores. Requerimientos. Protección contra fallas incipientes; protección contra fallas activas. Esquemas de protección combinados líneas-transformadores. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Protección de generadores. Requerimientos. Protección del estator; protección del rotor; protección por pérdida de excitación; otras protecciones. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16. Protección de bancos de capacitores shunt. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16. Protección de conductores. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16. Protección de barras. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP® 16.

Bibliografía

ETAP® 16 User Guide

P. M. Anderson **Power System Protection** IEEE Press Power Engineering Series. 1.999.

S. H. Horowitz & A. G. Phadke **Power System Relaying, Third Edition**. Wiley. 2.008.



- J. L. Blackburn & T. J. Domin **Protective Relaying: Principles and Applications, Third Edition.** CRC Press. 2006.
- L. G. Hewitson, M. Brown, R. Balakrishnan **Practical Power System Protection.** Elsevier. 2004.
- D. Reimert **Protective Relaying for Power Generation Systems.** CRC Press. 2006.
- C. R. Mason **The Art & Science of Protective Relaying.** General Electric Series.
- S. Kahn **Industrial Power Systems.** CRC Press. 2.008.
- P. M. Anderson **Analysis of Faulted Power Systems** IEEE Press Power Engineering Series. 1.995.
- N. Tleis **Power System Modelling and Fault Analysis: Theory and Practice.** Elsevier. 2008.
- I. Kasikci **Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909.** Wiley-VCH. 2002.
- IEEE Std 242TM-2001 (Buff Book)** IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE Std 399TM-1997 (Brown Book)** IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis.
- IEEE Std 3001.5TM-2013** - IEEE Recommended Practice for the Application of Power Distribution Apparatus in Industrial and Commercial Power Systems
- IEEE Std 551TM-2006 (Violet Book)** Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems
- IEEE Std C37.2TM -2008** IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations
- IEEE Std C57.13TM – 2.008:** IEEE Standard Requirements for Instruments Transformers.
- IEEE Std C57.13.1TM – 2.006:** IEEE Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers.
- IEEE Std C57.13.2TM – 2.005:** IEEE Standard Conformance Test Procedure for Instrument Transformers.
- IEEE Std C57.13.3TM – 2.005:** IEEE Guide for Grounding of Instrument Transformer Secondary Circuits and Cases.
- IEEE Std C57.13.5TM – 2.009:** IEEE Standard for Performance and Test Requirements for Instrument Transformers of a Nominal System Voltage of 115 kV and Above.
- IEEE Std C57.13.6TM – 2.005:** IEEE Standard for High-Accuracy Instrument Transformers.
- IEEE Std C37.110TM – 2.007:** IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes
- IEC 60044-1 1.996** Instrument Transformers Part 1: Current Transformers.
- IEC 60044-2 1.997** Instrument Transformers Part 2: Inductive Voltage Transformers.
- IEC 60044-3 2.002** Instrument Transformers Part 3: Combined Transformers.
- IEC 60044-5 2.004** Instrument Transformers Part 5: Capacitor Voltage Transformers.
- IEC 60044-6 1.992** Instrument Transformers Part 6: Requirements for Protective Current Transformers for transient performance.
- IEEE Std C37.5TM-1979** Guide for Calculation of Fault Currents for Application of AC High -Voltage Circuit Breakers Rated on a Total Current Basis.



IEEE Std C37.04TM–1979 (1988): Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

IEEE Std C37.04fTM –1990: Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

IEEE Std C37.04gTM–1986: Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

IEEE Std C37.04hTM–1990: Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

IEEE Std C37.04iTM–1991: Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

IEEE Std C37.04TM–1999: Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

IEEE Std C37.010TM–1979 (1988): IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.

IEEE Std C37.010bTM–1985: IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.

IEEE Std C37.010eTM–1985: IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.

IEEE Std C37.010TM–1999: IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.

IEEE Std C37.13TM–1990: Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures.

IEEE Std C37.013TM–1997: Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.

IEEE Std C37.20.1TM– 2002: Standard for Metal Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breakers Switchgear.

IEC 60909- 0 Ed. 1.0 2001-0. Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 0: Calculation of Currents .

IEC 60909- 1 Ed. 2.0 2002-0. Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0.

IEC 60909- 2 Ed. 2.0 2008-11. Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 2: Data of Electrical Equipment for short-circuit currents calculations.

IEC 60909- 3 Ed. 3.0 2009-03. Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous line-to-earth short-circuits and partial short-circuit currents flowing through earth.

IEC 60909- 4 Ed. 1.0 2000-07. Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents.

IEC 61363- 1 Ed. 1.0 1998-02. Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units – Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c.



- IEC 60947- 1 Ed. 5.0 2007-06.** Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General Rules.
- IEC 60947- 2 Ed. 4.1Consol. With am1 2009-05.** Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-Breakers.
- IEC 60282- 1 Ed. 7.0 2009-10.** High-voltage Fuses – Part 1: Current-limiting Fuses.
- IEC 60282- 2 Ed. 3.0 2008-04.** High-voltage Fuses – Part 1: Expulsion Fuses
- IEC 62271-SER Ed. 1.0 2010-06.** High-voltage switchgear and controlgear. ALL PARTS
- IEEE Std C37.60™–2012:** High-voltage switchgear and controlgear – Part 111: Automatic circuit reclosers and fault interrupters for alternating current systems up to 38 kV
- IEEE Std C37.90™–2005:** IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus
- IEEE Std C37.91™–2008:** IEEE Guide for Protecting Power Transformers
- IEEE Std C37.102™–2006:** IEEE Guide for AC Generator Protection
- IEEE Std C57.109™-1993 (R2008)** IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformer Through-Fault-Current Duration
- IEEE Std 37.96™-2012:** IEEE Guide for AC Motor Protection.
- IEEE Std 620™-1996** IEEE Guide for the Presentation of Thermal Limit Curves for Squirrel Cage Induction Machines
- NEMA Standards Publication MG 1-2009:** Motors and Generators.
- IEC 60034-30-1** Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)
- IEC/TS 60034-31** Rotating electrical machines – Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications – Application guide
- General Electric** Distribution System Feeder Overcurrent Protection. Manual GET-6450.
- General Electric** Distribution Data Book. Manual GET-1008L.
- General Electric** Ground-Fault Protection for Solidly Grounded Low-Voltage Systems. Manual GET-6533A 3691BLE.
- General Electric** Sensitive Ground Protection in the F60. Manual GET-8390.
- General Electric** Instrument Transformer Basic Technical Information and Application.
- Cooper Power Systems** Comparison of Recloser and Breaker Standards. R280-90-5
- Cooper Power Systems** Coordination of Fuse Links with oil circuit reclosers. R240-30-3
- ABB Power T&D Company Inc.** Differential Relays for Protection of AC Generators, Transformers, and Station Bus. Application Data 41-301-E. April, 1991.
- ABB Power T&D Company Inc.** Three Phase Automatic Vacuum Circuit Reclosers Type ESV. Descriptive Bulletin 38-726. October, 1990.
- ABB Power T&D Company Inc; J. Burke.** Hard To Find Information About Distribution. 5th Edition. 2002.
- Schneider Electric** Ground Fault Protection. Low Voltage Experts Guides N° 2. 2008.
- Schneider Electric** Protección de redes de AT industriales y terciarias. Cuaderno Técnico N° 174. 1995.



Schneider Electric Protección de los transformadores de los centros de transformación MT/BT. Cuaderno Técnico N° 192. 2001.

Schneider Electric Protecciones eléctricas en MT. Publicación Técnica N° 071. 2003.

Siemens Planning of Electric Power Distribution Technical Principles. 2014.

J. P. Nelson "System Grounding and Ground-fault Protection in the Petrochemical Industry: A Need for a Better Understanding". *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 38, No. 6, November/December 2002, pp. 1633-1640.

J.J. Burke "**Philosophies of Overcurrent Protection**". Paper APT 153-14-18 IEEE/NTUA Athens Power Tech Conference: "Planning, Operation and Control of Today's Electric Power Systems", Athens, Greece, Sept. 5-8, 1993.

M. Diedesch & J. Harms – Avista Utilities "**Distribution Device Coordination**". Presented March 14, 2011 At the 28th Annual HANDS-ON Relay School Washington State University Pullman, Washington

Khan, S.; Brown, R.; Naamani, Z. *Protection Philosophy and Relay Selection for Large AC Motors*. **Pulp and Paper Industry Technical Conference**, 1.991. pp.177-181.

Patel, S.; Tseng, S.; Weeks, K. *Protection of Motors: Examples and setting with and without complete data*. **IEEE Industry Applications Magazine**, Nov/Dec 2014, pp.64-78.

Padden, L.& Pillai, P. *Simplifying Motor Coordination Studies*. **IEEE Industry Applications Magazine**, March/April 1.999, pp.38-52.

Vico, J. & Hunt, R. *Principles in Motor Protection*. **IEEE Industry Applications Magazine**, Nov/Dec 2.011, pp.52-61.

Dymond, J. *Stall time, acceleration time, frequency of starting: The myths and the facts* **IEEE Trans. Industry Applications**, vol. 29, no. 1, pp. 1–8, Jan./Feb. 1.993.

Bredthauer, J. & Struck, N. *Starting of Large Medium Voltage Motors: Design, Protection, and Safety Aspects* **IEEE Trans. Industry Applications**, vol. 31, no. 5, pp. 1.167–1.176, September/October 1.995.

Zocholl, S. *Motor Analysis and Thermal Protection* **IEEE Trans. On Power Delivery**, vol. 5, no. 3, pp. 1.275–1.280, July 1.990.

Zocholl, S. *Motor Analysis for Protection Engineers* **IEEE Computer Applications in Power**, pp. 22–26, October 1.991.

NOTA: Se entregarán copias en soporte magnético del material teórico presentado por los instructores, así como los archivos ETAP de los ejemplos y ejercicios desarrollados durante el curso.

Instructores ETAP

Diego Moitre obtuvo el grado académico de Magíster en Ciencias de la Ingeniería por la Pontificia Universidad Católica, Chile. Egresó como Ingeniero Mecánico-Electricista y como Licenciado en Matemática de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Córdoba, Argentina. Actualmente se desempeña como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la UNRC y desarrolla su actividad académica en el Grupo de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (GASEP) de la Facultad de



Raien Ingeniería y Sistemas
Tecnología para la Ciencia y la Industria



Ingeniería de la UNRC. Es Senior Member de la IEEE, Power & Energy Society, Reliability Society. Está matriculado en el Colegio de Ingenieros Especialistas de Córdoba, Argentina.

Juan Carlos Amatti obtuvo el grado académico de Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia. España. Egresó como Ingeniero Mecánico Electricista de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. Actualmente se desempeña como Profesor Asociado con dedicación exclusiva en el Departamento de Electricidad y Electrónica de la UNRC. Es miembro y desarrolla sus actividades en el Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia (IPSEP) de la Facultad de Ingeniería de la UNRC. Ha participado como profesor extranjero en la Maestría en Generación Distribuida y Energías Renovables de la Universidad de Córdoba, España; además ha dictado numerosos cursos en la rama de protecciones eléctricas. Sus principales áreas de interés son protecciones eléctricas, operación y control de sistemas de distribución, generación distribuida y gestión de la red eléctrica.

www.raien.com.ar