



Pràcticas de sistemas elèctricos de potencia

Manuel Alcázar Ortega
Carlos Álvarez Bel



Editorial
Universitat Politècnica
de València

Manuel Alcázar Ortega
Carlos Álvarez Bel

Prácticas de sistemas eléctricos de potencia

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Alcázar Ortega, M.; Álvarez Bel, C. (2020). *Prácticas de sistemas eléctricos de potencia*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© Manuel Alcázar Ortega
Carlos Álvarez Bel

© 2020, Editorial Universitat Politècnica de València
Venta: www.lalibreria.upv.es / Ref.:0461_04_01_01

Imprime: Byprint Percom, S. L.

ISBN: 978-84-9048-848-5
Impreso bajo demanda

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es

Impreso en España

Contenidos

Introducción.....	1
Práctica 1. El Colapso de Tensión.....	3
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Fundamento teórico.....	3
1.3. Desarrollo de la práctica	6
1.4. Ejemplo resuelto.....	9
1.5. Cuestiones propuestas	11
1.6. Bibliografía	12
Práctica 2. Elementos de un sistema eléctrico de potencia.....	13
2.1. Objetivos.....	13
2.2. Fundamento teórico.....	13
2.2.1 PowerWorld Simulator	13
2.2.2 Representación de elementos de un S.E.P. en PowerWorld	14
a. Generalidades	14
b. Nudos	14
c. Líneas.....	17
d. Generadores	19
e. Cargas.....	23
f. Transformadores de potencia.....	25
g. Reactancia de control.....	28
2.3. Desarrollo de la práctica	31
2.4. Ejemplo resuelto.....	31
2.5. Cuestiones propuestas	35
2.6. Bibliografía	38

Práctica 3. Flujo de carga: análisis del S.E.P en régimen permanente	39
3.1. Objetivos	39
3.2. Fundamento teórico	39
3.2.1 Resolución del flujo de carga por Gauss-Seidel:	40
3.2.2 Resolución del flujo de carga por Newton-Raphson desacoplado:	41
3.2.3 Cómo trabajar en Excel con complejos y matrices	43
3.3. Desarrollo de la práctica	45
3.3.1 Método 1: Resolución con PowerWorld Simulator	45
3.3.2 Método 2: Resolución con Excel mediante Gauss-Seidel	45
3.3.3 Método 3: Resolución con Excel mediante Newton-Raphson desacoplado	46
3.4. Ejemplo resuelto	47
3.5. Cuestiones	50
3.6. Bibliografía	51
Práctica 4. Despacho económico: estrategias de operación de un S.E.P.	53
4.1. Objetivos	53
4.2. Fundamento teórico	53
4.2.1 Despacho económico sin pérdidas del sistema	54
4.2.2 Despacho económico con pérdidas del sistema.....	54
4.3. Desarrollo de la práctica	56
4.3.1 Despacho económico sin pérdidas ni límites de los generadores	56
a. Solución con PowerWorld Simulator.....	56
b. Solución con Microsoft Excel	58
4.3.2 Despacho económico sin pérdidas y con límites de los generadores	60
a. Solución con PowerWorld Simulator.....	60
b. Solución con Microsoft Excel	60

4.3.3 Despacho económico con pérdidas y con límites de los generadores.....	61
4.4. Ejemplo resuelto.....	62
4.5. Cuestiones	65
4.6. Bibliografía	69
Práctica 5. Estabilidad transitoria	71
5.1. Objetivos.....	71
5.2. Fundamento teórico.....	71
5.2.1 Ecuación de movimiento de un generador.....	71
5.2.2 Criterio de igualdad de áreas	72
5.3. Desarrollo de la práctica	75
5.3.1 Representación del diagrama unifilar del sistema propuesto.....	75
5.3.2 Análisis transitorio de estabilidad.....	80
a. Definición del tipo de falta.....	81
b. Definición de los parámetros de la simulación y ejecución.....	82
c. Representación gráfica de los resultados	84
5.4. Ejemplo resuelto.....	85
5.5. Cuestiones	89
5.6. Bibliografía	90

Introducción

Este libro presenta un conjunto de cinco casos prácticos de aplicación correspondientes a diferentes aspectos relacionados con el dimensionamiento y la operación de los sistemas eléctricos de potencia. A través de ellos, se pretende que el lector se familiarice con los sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica, con los problemas que surgen durante el funcionamiento de estos sistemas y con las técnicas analíticas que existen para su resolución.

El libro está especialmente pensado para estudiantes de ingeniería que ya han recibido formación específica y han trabajado desde el punto de vista aplicado diferentes materias del campo de la ingeniería eléctrica, tales como teoría de circuitos, tecnología e instalaciones o máquinas eléctricas. Para ellos, estos casos prácticos de aplicación suponen un complemento esencial para comprender cómo interactúan todos los elementos de un sistema eléctrico en su conjunto y cómo se gestiona, opera y controla la red.

Dada la imposibilidad de realizar prácticas en un sistema eléctrico real, los casos presentados se basan en la utilización de dos paquetes informáticos de cálculo. El primero es el simulador *PowerWorld*®, diseñado inicialmente como herramienta docente para enseñar sistemas de potencia y presentar los resultados de forma sencilla a personas tanto con como sin formación técnica específica. Junto con el simulador, la aplicación *Microsoft*® *Excel* resulta fundamental para comprender la manera en la que el simulador trabaja internamente, así como para disponer de una herramienta de cálculo potente a la vez que asequible, presente en cualquier ordenador personal o empresa.

Práctica 1. El Colapso de Tensión

1.1. Objetivos

La realización de esta práctica tiene tres objetivos principales:

- Revisar conceptos básicos relacionados con el modelado de las líneas eléctricas de transporte.
- Familiarizarse con el entorno de Microsoft Excel para la resolución de problemas relacionados con los sistemas eléctricos de potencia.
- Finalmente, introducir al lector en la problemática de la operación de los sistemas eléctricos mediante el fenómeno del colapso de tensión.

1.2. Fundamento teórico

El colapso de tensión es un fenómeno que se produce cuando un sistema eléctrico no posee los recursos adecuados para el control de energía reactiva que mantenga la estabilidad de la tensión en los nudos de la red dentro de unos límites adecuados.

Un colapso de tensión puede provocar apagones en los elementos del sistema, causando la interrupción del servicio a los clientes.

Las causas principales por las que se puede producir un colapso de tensión son las siguientes:

- Ajuste incorrecto de las tensiones de consigna en la regulación de potencia reactiva de los generadores.
- Diferencias significativas entre la generación y la demanda dentro de un área, lo que provoca grandes transferencias de energía entre áreas.
- Saturación del límite máximo de generación de potencia reactiva de los generadores, provocando la disminución de su tensión de consigna.
- Pérdida de elementos de la red (líneas, generadores, transformadores, etcétera), lo que provoca un reparto de flujos de potencia por otras líneas que se pueden ver sobrecargadas.

La siguiente figura muestra el modelo de una red simple formada por dos nudos unidos por una línea puramente inductiva de impedancia Z_L . Un generador ideal, con una tensión V_1 inyecta potencia en un extremo de la línea, que alimenta una carga S en el extremo contrario.

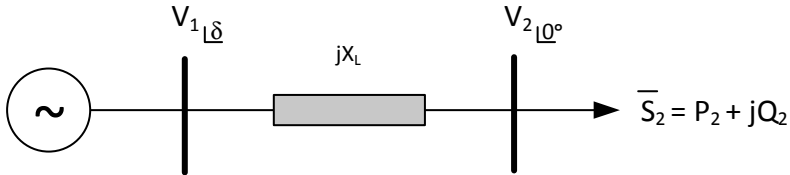


Figura 1.1. Modelo simple de una red eléctrica de 2 nudos

Situando el origen de ángulos en el nudo 2 ($\delta_2=0$ y, por tanto, $\delta_1=\delta$), las ecuaciones de potencia activa y reactiva que transporta la línea y alimentan a la carga S son las siguientes:

$$P = \frac{|V_1||V_2|}{X_L} \text{sen}(\delta) \quad (\text{eq. 1})$$

$$Q = \frac{|V_1||V_2|}{X_L} \text{cos}(\delta) - \frac{|V_2|^2}{X_L} \quad (\text{eq. 2})$$

Elevando al cuadrado ambas expresiones y sumándolas, se obtiene la expresión:

$$\left(\frac{1}{X_L^2} \right) |V_2|^4 + \left(\frac{2Q}{X_L} - \frac{|V_1|^2}{X_L^2} \right) |V_2|^2 + (P^2 + Q^2) = 0 \quad (\text{eq. 3})$$

La expresión anterior es una ecuación de segundo grado en la variable $|V_2|^2$.

Las potencias activa y reactiva están relacionadas a partir de la siguiente expresión:

$$Q = P \cdot \tan(\arccos(\cos(\varphi))) \quad (\text{eq. 4})$$

Para seguir leyendo haga click aquí