



Facultad de ingeniería

Departamento de Mecánica

Trabajo de diploma opción al título de Ingeniero Mecánico

**Tema: Material Complementario para la asignatura de Electricidad
Aplicada a la Ingeniería Mecánica del plan de estudio E**

Autor: Francisco Luís Maselu

Tutores:

Dr. Arturo Padrón

Ing. Jorge Luis Soca Muñoz

Años 61 de la revolución

Curso 2018/2019

Declaración de autoridad.



Facultad de Ingeniería Mecánica.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica; autorizando a que el mismo sea utilizado para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total, y además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esa envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico – Técnica, Firma

Firma del Vicedecano

Firma del Tutor

Sistema de Documentación de Proyectos

Pensamiento

“La educación es el gran motor del desarrollo personal. Es a través de la educación como la hija de un campesino puede convertirse en médico, el hijo de un minero puede convertirse en el jefe de la mina, o el hijo de trabajadores agrícolas puede llegar a ser presidente de una gran nación”.

Nelson Mandela.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mi familia que es mi fortaleza y mi universo de motivación.

Agradecimientos

A Dios todo poderoso que me ha dado vida y la oportunidad de estar aquí.

A mi familia porque siempre cuando los necesite estuvieron allí para ayudarme, a mi novia que a lo largo de los años se preocupó por mi formación, en general a todos mis familiares y amigos.

A Lazara Pérez (mami Lachy) que me ha mostrado su amor de madre.

A los profesores que tanto aportaron a mi formación profesional, a los que dedicaron tiempo y paciencia.

A mis tutores Arturo Padrón y Jorge Luis Soca Muñoz que han dedicado su tiempo en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de estudio por ayudarme y brindar apoyo en los momentos en que los necesité.

Resumen

El presente trabajo tiene como proposito realizar un material complementario para la asignatura Electricidad Aplicada a la ingenieria Mecánica del plan de estudio E. Primeramente se realiza una revision bibliografica mediante la cual se explica la importancia que tiene la asignatura en el curriculo de la ingenieria Mecánica, los sistemas de objetivos, habilidades y conocimientos, además de la importancia del estudio individual en la formacion del profesional y la importancia de los materiales didacticos en la direccion del estudio individual. También se presenta los teóricos que permiten la resolución de los ejercicios propuestos. El material de estudio realizado prodrá ser utilizado para que los estudiantes de la carrera consoliden los conocimientos adquiridos en esta asignatura.

Palabras claves:

- ❖ Material complementario
- ❖ Electricidad Aplicada

Summary

The present work has as purpose to make a complementary material for the subject Applied Electricity to the Mechanical engineering of the study plan E. Firstly, a bibliographic review is carried out through which the importance of the subject in the Mechanical engineering curriculum is explained. the systems of objectives, skills and knowledge, in addition to the importance of individual study in the training of the professional and the importance of the didactic materials in the direction of the individual study. It also presents the theorists that allow the resolution of the proposed exercises. The study material will be used for the students of the race to consolidate the knowledge acquired in this subject.

Keywords:

- ❖ Complementary material
- ❖ Applied Electricity

Índice

Contenidos

Pensamiento.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimientos	5
Resumen	6
Índice	8
Introducción	1
CAPÍTULO 1: Fundamentación teórica sobre la necesidad de materiales complementarios en la asignatura Electricidad Aplicada del Plan de Estudios E.....	4
1.1. Importancia de la asignatura Electricidad Aplicada en currículo de Ingeniería Mecánica.	4
1.2. Sistema de objetivos, habilidades y conocimientos de la asignatura Electricidad Aplicada.....	5
1.2.1. Objetivos generales educativos.....	5
1.2.2. Objetivos generales instructivos	5
1.2.3. Sistema de habilidades de la asignatura.....	6
1.2.4. Sistema de conocimientos	7
1.3. Importancia del estudio individual en la formación del profesional.....	10
1.4. Importancia de los materiales didácticos en la dirección del estudio individual.....	11
1.4.1. Uso de las guías didácticas en la Educación Superior.	12
1.5. Conclusiones del capítulo	13
Capítulo 2- Fundamentos teóricos para la resolución de los ejercicios del material complementario.....	14
2.1. Corrientes y tensiones alternas	14
2.2. Fasores y álgebra compleja	17
2.2.1. Números complejos	17
2.2.2. Operaciones con números complejos	19
2.2.3. Representación de un fasor en forma instantánea.....	20
2.3. Circuito monofásico de corriente alterna.....	20

2.3.1.	Circuitos puros R , L y C	21
2.3.2.	Impedancia.....	21
2.3.3.	Impedancias conectadas en serie y paralelo	22
2.3.4.	Circuitos serie de impedancia resistivo-reactiva-inductiva capacitiva (RLC)	
23		
2.4.	Potencia en un circuito resistivo inductivo capacitivo real (RLC)	23
2.5.	Corrección del factor de potencia	26
2.6.	Circuitos trifásicos balanceados	29
2.6.1.	Circuitos conectados en estrella	29
2.6.2.	Circuitos conectados en delta.....	30
2.6.3.	Potencia en un circuito trifásico balanceado	31
2.7.	Transformadores eléctricos de potencia.....	32
2.8.	Máquinas trifásicas asincrónicas	35
2.9.	Conclusiones del capítulo	37
Capítulo 3- Ejercicios propuestos para el material.....		38
3.1.	Circuitos monofásicos de corriente alterna	38
3.1.1.	Operaciones con números complejos	38
3.1.2.	Cálculo de impedancia equivalente	40
3.1.3.	Resolución de circuitos RLC	42
3.2.	Potencia en circuitos monofásicos de corriente alterna.....	44
3.2.1.	Corrección del factor de potencia	47
3.3.	Circuitos trifásicos balanceados	49
3.4.	Transformadores eléctricos de potencia.....	50
3.5.	Motores trifásicos de inducción	52
3.6.	Conclusiones del capítulo	55
Conclusiones generales.....		56
Recomendaciones		57
Bibliografía.....		58
Anexos		60

Introducción

La búsqueda de la calidad es todo un reto en el desarrollo de la Educación Superior, la cual tiene su propio sistema de conocimiento y práctica social, históricamente construidas en función de la misión de las universidades en la sociedad (L. M. Pérez & Fuentes, 2018). En la educación superior cubana, este concepto de calidad engloba la educación basada en valores de la Revolución Cubana, la cual propende a la formación de profesionales que combine una elevada competencia profesional, con las más altruistas convicciones revolucionarias, es por tanto resultado de la conjugación coherente de una excelencia académica con una pertinencia integral (Addine & Garcia, 2017). La Constitución de la República de Cuba así lo registra en su artículo 73 al expresar que “la educación es un derecho de todas las personas y responsabilidad del Estado, que garantiza servicios de educación gratuitos, asequibles y de calidad para la formación integral, desde la primera infancia hasta la enseñanza universitaria de posgrado (*Constitución de la República de Cuba*, 2019).

En Cuba, en 1962, a través de la Reforma Universitaria, se sentaron las pautas para las transformaciones de esencia que necesitaba la Educación Superior. A partir de entonces se identificó la necesidad de perfeccionar de manera continua los planes y programas de estudio, para garantizar diseños curriculares pertinentes (Artola, tarifa, & Finalé, 2019). Esto tenía el objetivo de satisfacer las demandas del desarrollo socioeconómico del país en cada momento y también para valorar sistemáticamente las tendencias internacionales que resultara pertinente adaptar al contexto nacional en la formación de profesionales. Teniendo en cuenta esto, desde la creación del Ministerio de Educación Superior en el año 1976, una de sus funciones principales ha sido el perfeccionamiento continuo de los planes de estudio. De esta forma, desde el año 1977 hasta la actualidad se han aplicado cuatro generaciones de planes de estudio, siendo estos el resultado de los cambios económicos, culturales y sociales que ha experimentado el país en respuesta a las condiciones del contexto nacional e internacional en que está inmerso (MES, 2017). En los Lineamientos de la Política Económica y Social aprobados en el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba (Partido Comunista de Cuba, 2017), también se plantea dar continuidad al

perfeccionamiento de la educación (Lineamiento 118), continuar avanzando en la elevación de la calidad y el rigor del proceso docente-educativo, para incrementar la eficiencia del ciclo escolar (Lineamiento 120) y actualizar los programas de formación e investigación de las universidades en función de las necesidades del desarrollo, de las nuevas tecnologías y de la actualización del Modelo Económico y Social (Lineamiento 125).

El próximo curso escolar se comenzará a aplicar el Plan de estudios E en la carrera de Ingeniería Mecánica (IM) de la Universidad de Cienfuegos, en el que se reduce la duración de las carreras a cuatro años en el curso diurno. Esta reducción de la duración de las carreras necesita un análisis de contenidos y número de horas para adecuar el currículo de cada carrera sin afectar los rasgos fundamentales de la Educación Superior Cubana. Las asignaturas Electricidad Aplicada (EA) I y II de la disciplina Electricidad y Automatización se impartirán en una sola asignatura. A su vez, el estudiante necesitará mayor dedicación al estudio independiente y será el profesor el encargado de orientar, de forma sencilla y acertada, todo el proceso para poder lograr la formación integral del futuro profesional. Además, la formación de nuevos profesionales exige de procesos educativos que logren que los estudiantes sean protagonistas de su aprendizaje con capacidad para tomar decisiones tecnológicas eficientes, económicamente viables y medioambientalmente preservadoras, siendo la tarea del profesor la de ofrecer los materiales y medios de enseñanza que propicien el desarrollo de un profesional más sólido, preparado y eficiente. El estudiante necesita de materiales didácticos elaborados por el profesor los cuales guíen su aprendizaje al realizar el estudio independiente.

Por tanto, con la implementación del Plan de estudios E, será importante la elaboración de materiales de apoyo que faciliten el estudio independiente de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Problema científico

¿Cómo facilitar a los estudiantes de Ingeniería Mecánica el estudio independiente de los contenidos recibidos en la asignatura Electricidad Aplicada con vistas al plan de estudio E?

Hipótesis

La elaboración de un material de estudio complementario con ejercicios permitirá que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica consoliden los contenidos recibidos en la asignatura Electricidad Aplicada.

Objetivo general

Elaborar un material de estudio complementario de ejercicios que permita a los estudiantes de Ingeniería Mecánica consolidar los contenidos recibidos en la asignatura Electricidad Aplicada del plan de Estudio E.

Objetivos específicos

- ❖ Establecer la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de los materiales didácticos para orientar el estudio independiente.
- ❖ Describir la teoría básica fundamental sobre los contenidos de electricidad impartidos en la asignatura.
- ❖ Preparar un material de estudio complementario con ejercicios de los contenidos de electricidad de la asignatura.
- ❖ Presentar el material elaborado para su utilización en el proceso docente.

Resultados esperados

Con este trabajo se pretende contribuir al desarrollo de la asignatura Electricidad Aplicada al proveer de un material que facilitará a los estudiantes ejercitar los contenidos recibidos. Es importante destacar que el material elaborado en esta tesis abarca solamente los contenidos correspondiente a la parte de la electricidad, por lo que la parte de electrónica se deja para futuras investigaciones.

CAPÍTULO 1: Fundamentación teórica sobre la necesidad de materiales complementarios en la asignatura Electricidad Aplicada del Plan de Estudios E

En este capítulo se presenta el sistema de objetivos, habilidades y conocimientos que aparecen en el plan de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica y se explica la situación que existe respecto a la disponibilidad de literatura para los estudiantes y profesores y la necesidad de los materiales complementarios.

1.1. Importancia de la asignatura Electricidad Aplicada en currículo de Ingeniería Mecánica.

La electricidad influye notablemente en nuestra vida. Hay pocos momentos en que cada uno de nosotros no recurra a la electricidad para desarrollar una vida más fácil y cómoda. Se puede pensar, por ejemplo, en lo distinto que sería la vida actual si no existiera la electricidad. Está siempre presente a nuestro alrededor y afecta a nuestra vida de formas diferentes. Ha sido uno de los mayores bienes de la humanidad, desde que el hombre de las cavernas descubrió el fuego y pudo cocinar los alimentos.

El último cuarto del siglo XIX se ha visto el desarrollo de la industria del suministro eléctrico como una actividad nueva y de rápido crecimiento. Desde ese entonces las redes eléctricas han sufrido una inmensa transformación. Debido a la relativa seguridad y limpieza de la electricidad, se estableció rápidamente como una media para la generación de calor, luz y potencia mecánica. En la actualidad está estrechamente enlazada a actividades primarias como la producción industrial, el transporte, las comunicaciones y la agricultura (Acha, Agelidis, Anaya-Lara, & Miller, 2002).

Entre las características de la electricidad que la hacen excepcional en comparación con otras formas de energía es su movilidad y flexibilidad. La energía eléctrica puede ser transportada a otro lugar utilizando dos cables (en el más sencillo de los casos) y dependiendo de los requerimientos del usuario, es posible convertirla en luz, calor o movimiento (Svoboda & Dorf, 2014). Debido al gran uso de la energía eléctrica, es importante que el Ingeniero Mecánico desarrolle capacidades para la aplicación los principios básicos, la solución de problemas y la interpretación de situaciones

relacionadas con las leyes y fundamentos de la electricidad y los sistemas eléctricos de potencia industriales, comerciales y de servicio. Esto es también necesario para la evaluación y comprensión de las medidas encaminadas al ahorro y uso eficiente la energía eléctrica desarrolladas en el mundo moderno (de Armas & Gómez). La electrificación de los procesos tecnológicos de producción y de servicios, así como el desarrollo acelerado de la electrónica y su rápida aplicación en estos procesos hacen imprescindible el conocimiento por parte del ingeniero mecánico de los elementos básicos de estas ramas para su labor como tal, en la industria y en la sociedad cubana en general. Su contenido permite al ingeniero mecánico ser capaz de solucionar los problemas más frecuentes dentro del campo de la electricidad e interactuar con los ingenieros eléctricos en problemas de mayor complejidad.

1.2.Sistema de objetivos, habilidades y conocimientos de la asignatura Electricidad Aplicada.

La asignatura Electricidad Aplicada forma parte del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica. En este se plantea el sistema de objetivos, conocimientos y habilidades a desarrollar por los estudiantes que es el que se presenta a continuación.

1.2.1. Objetivos generales educativos.

- ❖ Contribuir al desarrollo científico y filosófico mostrando en forma dialéctica y materialista las raíces objetivas de conceptos y métodos.
- ❖ Desarrollar una adecuada formación básica que capacite a los especialistas para la comprensión de tecnologías modernas necesarias para la construcción de la sociedad del futuro.
- ❖ Desarrollar las formas del pensamiento lógico y del razonamiento en los alumnos mediante la ejercitación de habilidades de análisis y aplicación de conceptos que contribuyan a la formación de hábitos necesarios para su actividad profesional futura.
- ❖ Contribuir al desarrollo de la constancia en el estudio, del hábito de proceder reflexivamente y evaluar críticamente los resultados de su trabajo.

1.2.2. Objetivos generales instructivos

Los alumnos habrán cumplido los objetivos instructivos generales de la asignatura si son capaces de:

- ❖ Aplicar en la explotación de máquinas y equipos eléctricos utilizados en la industria mecánica los métodos para la solución de circuitos de corriente alterna.
- ❖ Efectuar mediciones de diferentes magnitudes físicas utilizando instrumentos eléctricos y electrónicos.
- ❖ Calcular y evaluar los medios técnicos utilizados en la mejora del factor de potencia.
- ❖ Conocer y evaluar los motores y transformadores como partes fundamentales que se aplican en los dispositivos mecánicos y en la industria moderna, así como las diferentes partes que componen los accionamientos eléctricos.
- ❖ Analizar los esquemas eléctricos típicos de fuerza y control de motores.
- ❖ Utilizar la información científica - técnica de los temas afines con la disciplina.
- ❖ Aplicar las normas de protección e higiene del trabajo.

1.2.3. Sistema de habilidades de la asignatura.

- ❖ Interpretar esquemas eléctricos. Calcular diferentes parámetros en circuitos de corriente alterna monofásica y trifásica.
- ❖ Seleccionar y utilizar equipos eléctricos de medición.
- ❖ Evaluar técnica y económicamente el funcionamiento de equipos tecnológicos y procesos productivos desde el punto de vista electro energético.
- ❖ Evaluar la mejora del factor de potencia.
- ❖ Interpretar y generalizar los principios de funcionamiento de diferentes equipos y dispositivos eléctricos.
- ❖ Calcular parámetros eléctricos (y otros) en las máquinas eléctricas.
- ❖ Evaluar las máquinas eléctricas según sus aplicaciones.
- ❖ Evaluar el comportamiento de conjuntos motor eléctrico - carga.

- ❖ Seleccionar y manipular dispositivos de protección eléctrica maniobra de circuitos eléctricos.
- ❖ Seleccionar motores eléctricos para diferentes aplicaciones.

1.2.4. Sistema de conocimientos

Los contenidos de esta asignatura se organizan en cinco temas que se relacionan a continuación:

Tema 1 Fundamentos básicos de circuitos eléctricos

Objetivos

1. Que el estudiante conozca las particularidades de la corriente alterna en comparación con la corriente directa.
2. Conocer y dominar la ley de Ohm en los circuitos de corriente alterna y los conceptos de reactancias e impedancias.
3. Que pueda resolver circuitos simples de corriente alterna monofásicos y trifásicos. Adquirir habilidades en el cálculo de circuitos eléctricos y de errores en las mediciones.
4. Que se relacione con los conceptos de potencia y energía en los sistemas eléctricos de corriente alterna.
5. Que conozca los instrumentos industriales de medición empleados en corriente alterna

Contenido

Generación de voltajes. Valores efectivos de voltaje y corriente. Impedancia. Potencia y energía en circuitos monofásicos. Circuitos trifásicos. Conexiones delta y estrella. Corrientes, voltajes, potencia y energía en circuitos trifásicos. Triángulo de potencia. Instrumentos. Mediciones Industriales.

Tema 2. Introducción a los sistemas de suministro eléctrico.

Objetivos

1. Que el estudiante sea capaz de conocer la estructura y comprender los diagramas mono lineales de los diferentes circuitos eléctricos de potencia empleados en la industria y los servicios.
2. Conocer los niveles de tensión empleados.
3. Observar el comportamiento de los gráficos de carga, sus parámetros, la demanda máxima y los medios de controlar la demanda máxima en un sistema.

Contenido

Aspectos generales de los sistemas de suministro eléctrico. Tipos de esquemas más comunes. Niveles de voltajes. Demanda máxima. Análisis del potencial de ahorro por control de la demanda máxima. Factor de carga. Gráficos de carga o perfiles de demanda Identificación de las cargas. Métodos de control de la demanda máxima. Ejemplos. Estudio de casos.

Tema 3. Mejora del factor de potencia.

Objetivos

1. Conocer y distinguir los componentes de potencia activa, reactiva y aparente en un sistema de corriente alterna.
2. Conocer la definición del factor de potencia, su impacto en los sistemas eléctricos y la importancia de su control. Conocer los medios de compensación.
3. Calcular los medios de compensación necesarios para mejorar el factor de potencia en un sistema
4. Conocer la ubicación de los medios de compensación.

Contenido

Factor de potencia. Inconvenientes de un bajo factor de potencia. Métodos de corrección del factor de potencia. Sin la aplicación de medios compensadores. Con la aplicación de medios compensadores. Determinación del factor de potencia en una instalación industrial. Cálculo de la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia. Consideraciones para la localización de los capacitores. Compensación

individual. Compensación en grupo o por sectores. Compensación central. Compensación mixta.

Tema 4. Transformadores eléctricos de potencia.

Objetivos

1. Que el estudiante conozca los principios de funcionamiento de los transformadores.
2. Que pueda determinar la eficiencia operacional de los mismos en diferentes estados de carga.
3. Que posea criterios para efectuar la selección de los mismos.

Contenido

Principio de funcionamiento de los transformadores. Eficiencia de los transformadores. Criterios para la selección de transformadores. Régimen de trabajo económico de los transformadores. Operación con pérdidas mínimas. Ejemplos. Estudio de casos.

Tema 5. Explotación eficiente de las máquinas asincrónicas.

Objetivos

1. Que el estudiante conozca los principios de funcionamiento de los motores eléctricos, sus características y el comportamiento en diferentes estados de carga.
2. Que pueda determinar el momento, la eficiencia, y la corriente operacional de los mismos.
3. Que posea criterios para efectuar la selección de los motores eléctricos
4. Que conozcan cómo se afecta el momento y otras características operacionales con las variaciones de tensión, frecuencia y la contaminación armónica.

Contenido

Principios básicos de los motores eléctricos Especificaciones de los motores trifásicos asincrónicos. Características de momento contra velocidad. Conceptos de momento nominal, máximo y de arranque. Determinación de los parámetros operacionales. Tipo

de servicios de los motores eléctricos Selección del motor en cuanto a potencia. Selección para servicio continuo.

1.3.Importancia del estudio individual en la formación del profesional.

El incremento de los niveles de estudio individual de los estudiantes constituye una prioridad en el proceso de enseñanza - aprendizaje, lo cual favorece resultados académicos superiores, sobre todo en la preparación para empeños superiores. Estudios realizados demuestran la urgencia en la toma de decisiones de los profesores en la dirección de esta actividad y la toma de conciencia y responsabilidad de los estudiantes ante esta situación (Rodriguez, Estrada, & Yoel, 2012). El estudio individual contribuye al trabajo independiente porque el estudiante adquiere un conjunto de habilidades de carácter intelectual, como son: análisis, síntesis, inducción, deducción, comparación, entre otros, e incluye además habilidades docentes como la de orientarse en el libro de texto, organizar su trabajo, buscar materiales necesarios y planificar su acción para el cumplimiento de las diferentes tareas. Éste ha de verse como el ejercicio del pensar consciente y de forma sistemática sobre algo que se quiere aprender para interiorizar los contenidos aprendidos, traduciéndolos a la propia estructura personal del sujeto. Es esfuerzo constante para establecer prioridades de acuerdo a sus necesidades de aprendizaje. Su efectividad contribuye a un aprendizaje desarrollador puesto que posibilita tomar conciencia del motivo y la necesidad de aprender, se genera el deseo, el interés de aprender, lo que ya es expresión o manifestación emocional de la necesidad cognoscitiva, y favorece la preparación necesaria para un proceso donde es básico en la concepción curricular.

La dirección del estudio individual desde una perspectiva desarrolladora, implica que los profesores puedan asumir la responsabilidad en este proceso desde una posición creadora que les permita planificar, orientar, ejecutar y evaluar de manera sistemática todo el proceso. En relación con lo anterior, se considera entonces al estudiante como centro del proceso pedagógico y el papel del docente para dirigir este proceso a partir de las potencialidades y necesidades de desarrollo y su concreción en una enseñanza basada en el aprender a aprender (Rodriguez et al., 2012).

El estudio independiente puede ser considerado como un proceso dirigido hacia el autocontrol y autoevaluación, como una actividad orientada hacia la formación de habilidades intelectuales para la construcción ininterrumpida de conocimientos y aprendizaje, al asumir los elementos presentes en dicho proceso y las variables que intervienen en el quehacer académico de los sujetos a quienes se dirige una propuesta educativa (Obregón, Pacheco, Pando, Pérez, & Camargo, 2007).

También la concepción del trabajo independiente indica que no se refiere a tareas aisladas y que es necesario hacer una diferenciación entre actividad independiente y estudio individual. En el primer caso, su planificación está en manos del maestro y va dirigida a toda la clase; en el segundo caso, está en manos del alumno y tiene como objetivo resolver sus propios intereses, problemas y necesidades (R. G. Pérez, López, & Cruz, 2017).

1.4.Importancia de los materiales didácticos en la dirección del estudio individual.

La universidad actualmente afronta nuevos retos basados en la formación continua y sistemática del sujeto a lo largo de toda su vida; un sistema universitario centrado en la formación integral del estudiante, donde el profesor juega otro papel muy distinto a la función tradicional que siempre se le ha concedido, y se convierte en un orientador del proceso, al fomentar estilos de aprendizajes creativos y autónomos que contribuyan a desarrollar la independencia cognoscitiva del estudiante. (Romero & Crisol, 2012). Por otra parte, la educación se vuelve cada vez más competitiva y para alcanzar un mejor nivel educativo se requiere del apoyo de recursos que ayuden al docente en el proceso de enseñanza de los estudiantes. También se hace necesario potenciar el papel activo y responsable del estudiante y su mayor participación en el desarrollo de los conocimientos y habilidades, lo que les permitirá, finalmente, crear sus propios procesos de aprendizaje. Se ha comprobado que el uso de materiales didácticos genera buenos resultados en la comprensión y adquisición de los conocimientos requeridos y refuerza otras competencias (Olmos et al., 2014). Su uso tiende a guiar y motivar al estudiante en la construcción del conocimiento, es decir, que sirvan de apoyo en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Los materiales didácticos deben utilizarse en un ambiente educativo de modo que estos promuevan el aprendizaje y permitan al alumno desarrollarse, esto comprende todo instrumento o material que el docente aplique con el único objetivo de que sus alumnos lo asocien con el contenido que estén viendo, haciendo que este mejore y facilite la enseñanza del docente (Adriana, 2019).

Según (Adriana, 2019) los materiales didácticos son todos esos instrumentos de enseñanza que sirven como ayuda para el docente a su tarea de enseñar y a los alumnos les facilita llegar al objetivo de su aprendizaje siempre y cuando se les dé un buen uso. En (Manrique & Galleno, 2012) se expresa que “el material didáctico es una alternativa para el aprendizaje práctico-significativo, que depende, en gran medida, de la implementación y apropiación que haga el docente de ello en su propuesta metodológica”.

Existe gran variedad de materiales didácticos que un docente puede usar libremente y aplicarlos. Específicamente los materiales impresos como libros de texto, libros de consulta, cuadernos de ejercicios, manuales, artículos y folletos influyen de manera directa en el aprendizaje de los alumnos siendo esenciales para su formación y sirven para proponer actividades, dar seguridad al alumno, tomar decisiones a la hora de establecer los contenidos, aclarar dudas y como material de consulta (Adriana, 2019).

1.4.1. Uso de las guías didácticas en la Educación Superior.

En todo este proceso tienen un papel fundamental las guías didácticas o guías de estudio como también suelen denominarse, las cuales constituyen una herramienta pedagógica que ha sido utilizada tradicionalmente en la educación de diversas profesiones.

La guía didáctica es el material educativo que deja de ser auxiliar, para convertirse en herramienta valiosa de motivación y apoyo porque promueve el aprendizaje autónomo al aproximar el material de estudio al alumno (texto convencional y otras fuentes de información), a través de diversos recursos didácticos. De ahí la necesidad de que la guía didáctica, impresa o en formato digital, se convierta en un “andamiaje” que posibilite al estudiante avanzar con mayor seguridad en el aprendizaje autónomo. (Aguilar, 2006).

Las guías didácticas surgieron, fundamentalmente, para dar cobertura a la educación a distancia. Generalmente estas guías se asocian a la educación a distancia o la modalidad semipresencial, lo cual constituye un error, ya que una educación presencial, que abogue por la autonomía del aprendizaje, requiere también necesariamente que los profesores elaboren guías que les permitan no solo orientar, sino también contribuir a la organización del trabajo del estudiante y el suyo propio. Precisamente, el trabajo independiente y el desarrollo de la actividad cognoscitiva que este proporciona, son aspectos fundamentales a tener en cuenta en el proceso docente educativo. La independencia cognoscitiva se caracteriza por el dominio de conocimientos, hábitos y habilidades y por las relaciones de los individuos hacia el proceso de la actividad, sus resultados y condiciones de realización. Es importante tener en cuenta, en este sentido, las relaciones del estudiante con el objeto de aprendizaje, y otorgarle al profesor una función orientadora y mediadora en dicho proceso. Es él quien orienta y dinamiza el aprendizaje del estudiante, adquiriendo la figura de intermediario entre éste y los contenidos, de manera que juegan un papel importante en esa mediación las guías didácticas como elemento didáctico orientador y motivador del aprendizaje autónomo en la educación superior.

1.5. Conclusiones del capítulo

1. Al disminuir el número de horas en las disciplinas del Plan E, el estudiante necesitará mayor dedicación al estudio independiente y será el profesor el encargado de orientar todo el proceso para poder lograr la formación integral del futuro profesional.
2. Con los sistemas de objetivos educativos, instructivos, conocimientos y habilidad de los contenidos y el estudio individual de cada tema, a través de los materiales didácticos, el estudiante será capaz de consolidar los conocimientos adquiridos en clase.

Capítulo 2- Fundamentos teóricos para la resolución de los ejercicios del material complementario.

En este capítulo se presenta la teoría básica fundamental que permitirá al estudiante la resolución de los ejercicios propuestos en el material. Solo se tendrán en cuenta las principales leyes, conceptos y ecuaciones correspondientes a cada tema impartido en la asignatura y no se enfatizará en las demostraciones. Para la confección de la teoría se consultaron los libros (Amador, 1993, 2005; de Armas & Gómez).

2.1. Corrientes y tensiones alternas

La corriente alterna (Figura 2.1) es aquella en la cual las intensidades y tensiones no permanecen constantes, sino que varían con el tiempo siguiendo el patrón de una función sinusoidal (de Armas & Gómez).

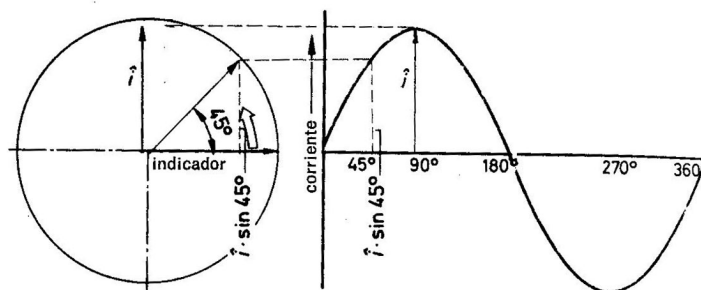


Figura 2.1. Corriente alterna senoidal

Los principales parámetros son los siguientes:

Ciclo: Evolución completa de valores de onda alterna de variable con el tiempo

Período (T): Tiempo necesario para completar un ciclo.

Frecuencia (f): Números de ciclos completados en la unidad de tiempo. La unidad de medida es el Hertz. Simbolizada por Hz . De acuerdo con la definición dada. La frecuencia resulta ser el inverso del periodo. O sea:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Velocidad angular (ω) de una onda: Es el valor de radianes (o grados) recorridos por la onda en la unidad de tiempo. Lo cual puede expresarse como:

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.2)$$

Diferencia de fase

Se define como la diferencia de fase entre dos ondas variables con el tiempo, de igual frecuencia, a la fracción del periodo (no mayor de la mitad de este) que separa sus puntos correspondientes.

Circuito de resistencia pura

Estos circuitos constan solamente del parámetro resistencia. En ellos existe coincidencia de fase entre la corriente y la tensión.

Circuito de inductancia pura

Estos circuitos constan solamente del parámetro inductancia, cuya unidad de medida es el Henry, simbolizada por H . En ellos existe un retraso de fase de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

Circuito de capacitancia pura

Estos circuitos constan solamente del parámetro capacitancia. Cuya unidad de medida es Farad, simbolizada por F . En ellos existe un adelanto de fase de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

Valor eficaz o efectivo

Dada una corriente alterna con cualquier forma de onda y los efectos caloríficos que produce en un resistor R , la corriente eficaz es la intensidad que debería poseer una corriente directa para producir en dicho resistor R idéntica cantidad de calor, durante el

mismo tiempo, que la corriente periódica considerada. Es decir, que el valor eficaz de una función periódica $i(t)$, la cual posee un periodo T , es por definición:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i(t))^2 dt} \quad (2.3)$$

Una expresión similar pudiera ser obtenida para el caso de la tensión eficaz. De acuerdo la ecuación (2.1), el valor eficaz de una onda sinusoidal cuya expresión instantánea es $i(t) = I_{\max} \text{sen}(\omega t)$ es:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2.4)$$

Donde $I_{\max}$ es la amplitud de la onda sinusoidal, en ampere.

Reactancia inductiva (X_L)

Término utilizado técnicamente para denominar al producto ωL . La diferencia de potencial efectiva producida a través de un inductor viene dada por la expresión:

$$V_L = \omega LI = 2\pi f LI \quad (2.5)$$

De acuerdo la definición anterior, la reactancia inductiva es igual a:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L \quad (2.6)$$

Reactancia capacitiva (X_C)

Término utilizado técnicamente para denominar a la relación $1/(\omega C)$. La diferencia de potencial efectiva producida a través de un capacitor viene dada por la expresión:

$$V_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \cdot I = \frac{1}{\omega C} \cdot I \quad (2.7)$$

De acuerdo con la definición anterior, la reactancia capacitiva es igual a:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = -\frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2.8)$$

2.2. Fasores y álgebra compleja

2.2.1. Números complejos

Un número complejo está compuesto por una componente real y una componente imaginaria. Por ejemplo; $a + jb$ es un número complejo, donde a y b son números reales $j = \sqrt{-1}$ (a es la parte real y b es la parte imaginaria del número).

Toda onda sinusoidal puede ser representada mediante un fasor y, por tanto, mediante un número complejo. Los fasores pueden expresarse en diferentes formas, las más utilizadas de las cuales son: la forma rectangular y la forma polar.

Forma rectangular

Considérese un fasor Z que forma un ángulo φ con la referencia. Este puede descomponerse en dos componentes: a , a lo largo del eje horizontal derecho de referencia y b a lo largo del eje 90° con el de referencia, lo que puede expresarse al escribir el fasor de forma siguiente:

$$Z = a + jb \quad (2.9)$$

Forma polar

Es posible especificar la longitud del fasor y su posición angular con respecto al eje horizontal derecho, en lugar de hacerlo en función de sus componentes a lo largo de ambos ejes como en la forma rectangular, o sea un fasor en forma polar queda especificado como:

$$Z = Z \angle \varphi \quad (2.10)$$

donde φ representa la rotación experimentada por la cantidad Z a través del ángulo $+$ φ . El signo positivo en el ángulo representa un giro en sentido contrario al de las agujas del reloj; el signo negativo representa un giro en sentido opuesto.

Conjugado de un número complejo

El conjugado de un número complejo $Z = a + jb$ es el número complejo que resulta de invertir el signo a la parte imaginaria del número complejo original, o sea, en este caso $Z' = a - jb$. En el caso de que el número se encuentre expresado en forma polar, el número conjugado se obtiene al convertir el signo del ángulo, o sea $Z' = Z \angle -\varphi$.

Conversor de Forma Rectangular A Polar

Cuando se dispone de un fasor expresado de forma rectangular, las cantidades conocidas son las dimensiones de sus componentes sobre los ejes real e imaginario. Por tanto, para convertir de la forma rectangular a polar, es necesario utilizar las relaciones siguientes:

Cálculo de la magnitud o módulo del fasor (Fig. 2.1):

$$Z = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.11)$$

Ángulo con respecto a la referencia:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{a}{Z}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{b}{Z}\right) \quad (2.12)$$

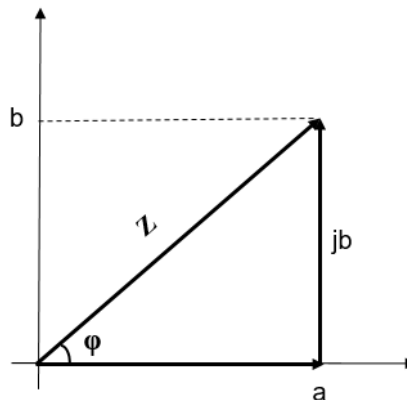


Figura 2.1. Representación de un número complejo.

Conversor de Forma polar a Rectangular

Cuando se dispone de un fasor expresado en forma polar, las cantidades conocidas son la magnitud o módulo del fasor y ángulo que forma con el eje de referencia. Por tanto, convertir de forma polar a la de forma rectangular, deben utilizarse las relaciones siguientes:

Cálculo de la componente sobre el eje real:

$$R_e(Z) = a = Z \cos \varphi \quad (2.13)$$

Cálculo de la componente sobre el eje imaginario:

$$I_m(Z) = b = Z \sin \varphi \quad (2.14)$$

2.2.2. Operaciones con números complejos

Dados los números complejos $Z = a + jb$ y $Y = c + jd$, se pueden definir las siguientes operaciones:

Suma

$$Z + Y = (a + jb) + (c + jd) = (a + c) + j(b + d) \quad (2.15)$$

Diferencia

$$Z - Y = (a + jb) - (c + jd) = (a - c) + j(b - d) \quad (2.16)$$

Producto

Cuando está expresado en forma rectangular

$$Z \cdot Y = ac + jad + jbc + j^2bd = (ac - bd) + j(ad + bc) \quad (2.17)$$

Cuando está expresado en forma polar

$$Z \cdot Y = Z \cdot Y \angle (\varphi_1 + \varphi_2) \quad (2.18)$$

División

Cuando está expresado en forma rectangular

$$\frac{\mathbf{Z}}{\mathbf{Y}} = \frac{a + jb}{c + jd} \cdot \frac{c - jd}{c - jd} = \frac{(ac + bd) + j(bc - ad)}{c^2 + d^2} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{bc - ad}{c^2 + d^2} \quad (2.19)$$

Cuando está expresado en forma polar

$$\frac{\mathbf{Z}}{\mathbf{Y}} = \frac{Z}{Y} \angle (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (2.20)$$

2.2.3. Representación de un fasor en forma instantánea

Para expresar un fasor en forma instantánea se hace necesario atender a la ecuación general de una onda sinusoidal:

$$a(t) = a_{\max} \text{sen}(\omega t) \quad (2.21)$$

Donde $a_{\max}$ es la amplitud de dicha onda.

Si se tiene un fasor $\mathbf{A} = A \angle \varphi$ expresado en forma polar, podrá representarse en forma instantánea si se procede de la forma siguiente:

- Multiplicar el valor efectivo de la onda (módulo del fasor en forma polar) por la raíz de dos, a fin de calcular su amplitud:

$$a_{\max} = A\sqrt{2} \quad (2.22)$$

- Sumar a ωt , algebraicamente, el valor de la diferencia de la fase del fasor con relación al origen de tiempo, tomando en cuenta su propio signo, o sea:

$$\mathbf{A} = A \angle \varphi \Rightarrow a(t) = a_{\max} \text{sen}(\omega t + \varphi) = A\sqrt{2} \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (2.23)$$

Además, para un fasor $\mathbf{A} = A \angle -\varphi$ se tiene que:

$$\mathbf{A} = A \angle -\varphi \Rightarrow a(t) = a_{\max} \text{sen}(\omega t - \varphi) = A\sqrt{2} \text{sen}(\omega t - \varphi) \quad (2.24)$$

Una vez que el fasor se expresa en forma instantánea, se deberá representar mediante una letra minúscula, puesto que ya constituye una cantidad variable con el tiempo.

2.3. Circuito monofásico de corriente alterna

2.3.1. Circuitos puros R , L y C .

Circuitos de corriente alterna de impedancia resistiva pura (R)

Los circuitos de corriente alterna a los que se considera solamente compuestos por resistores se denominan de resistencia pura o circuitos R . La expresión de la tensión a través del resistor o resistores, es:

$$V_R = I \cdot R \quad (2.25)$$

Circuitos de impedancia inductiva pura (L)

Los circuitos de corriente alterna a los que se considera exclusivamente compuestos por elementos puramente inductivos se denominan de impedancia inductiva pura o circuitos L . La expresión de la tensión eficaz a través del elemento o elementos, es:

$$V_L = I \cdot X_L \quad (2.26)$$

Circuitos de impedancia capacitiva pura (C)

Los circuitos de corriente alterna a los que se considera solamente compuestos por elementos puramente capacitivos se denominan de impedancia capacitiva pura o circuitos C . La expresión de la tensión eficaz a través del elemento o elementos, es:

$$V_C = I \cdot X_C \quad (2.27)$$

2.3.2. Impedancia

Se llama impedancia a la relación existente entre la diferencia de potencial alterna entre dos puntos y la corriente circulante a través de estos. Su unidad de medida es el ohm (Ω).

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{v(t)}{i(t)} \quad (2.28)$$

Posee una parte real y una imaginaria. La parte real se denomina impedancia resistiva (R) y la parte imaginaria impedancia reactiva (X), formando así lo que se denomina

triángulo de impedancias. La impedancia reactiva puede ser inductiva o capacitiva. Como los efectos de las impedancias reactivas inductivas y capacitivas sobre un mismo circuito son opuestos, se considera, como convenio, la impedancia reactiva inductiva de signo positivo y la capacitiva de signo negativo. Por consiguiente, la expresión general de la impedancia es:

$$\mathbf{Z} = R \pm j(X_L - X_C) \quad (2.29)$$

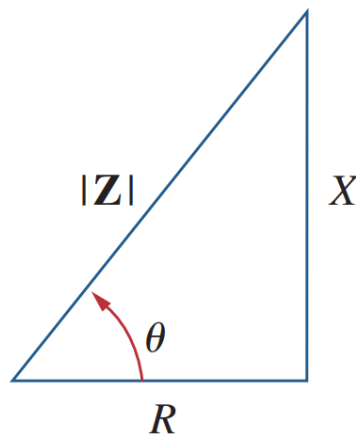


Figura 2.2. Triángulo de impedancias [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

2.3.3. Impedancias conectadas en serie y paralelo

La impedancia equivalente de varias conectada en serie es la siguiente:

$$\mathbf{Z}_{eq} = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2 + \mathbf{Z}_3 \cdots + \mathbf{Z}_n = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{I}} \quad (2.30)$$

En forma rectangular se tiene que:

$$\mathbf{Z}_{eq} = (R_1 + R_2 + \cdots + R_n) + j(X_1 + X_2 + \cdots + X_n), \quad (2.31)$$

De donde se deduce que:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (2.32)$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2 + \cdots + X_n \quad (2.33)$$

En el caso de impedancias reactivas capacitivas se mantiene la ecuación (2.33), pero la suma se compone de cantidades negativas.

De modo análogo a lo referente a resistores en serie, la impedancia equivalente de varias conectadas en paralelo es:

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n}} \quad (2.34)$$

En el caso de que se consideren solamente dos impedancias en paralelo, la expresión anterior deduce a:

$$Z_{eq} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.35)$$

2.3.4. Circuitos serie de impedancia resistivo-reactiva-inductiva capacitiva (RLC)

Son aquellos circuitos que se encuentran compuesto por uno o más elementos resistivos, uno o más elementos inductivos y uno o más elementos capacitivos, todos conectados en serie.

Los valores de X_L y X_C se restan debido a sus efectos opuestos, prevaleciendo la impedancia reactiva mayor sobre la menor. El valor modular de la impedancia y el argumento total de esta pueden determinarse a través de las expresiones que siguen:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.36)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = \text{sen}^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{Z}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{R}{Z}\right) \quad (2.37)$$

2.4. Potencia en un circuito resistivo inductivo capacitivo real (RLC)

Dado un circuito RLC a través del cual circula una corriente cuyo valor instantáneo es $i(t) = I_{\max} \text{sen}(\omega t)$ en ampere y supóngase arbitrariamente que esta posee una diferencia de fase en atraso, dada con respecto a la tensión. La ecuación de la potencia instantánea será:

$$p(t) = i(t) \cdot i(t) = I_{\max} \cdot V_{\max} \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (2.38)$$

De la ecuación anterior, se obtiene:

$$p(t) = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{2} \cos \varphi - \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{2} \cos 2\omega t \cdot \text{sen} \varphi + \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{2} \text{sen} 2\omega t \cdot \text{sen} \varphi$$

$$p(t) = VI \cos \varphi - VI \cos 2\omega t \cdot \cos \varphi + VI \text{sen} 2\omega t \quad (2.39)$$

Donde:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \theta_v - \theta_i \quad (2.40)$$

De acuerdo con la expresión anterior, los dos primeros términos de la ecuación corresponden a la potencia activa o real instantánea, la cual posee un valor promedio P dado por:

$$P = VI \cos \varphi \quad (2.41)$$

El término $\cos \varphi$ se denomina factor de potencia (fp). El ángulo φ es el ángulo del factor de potencia y está comprendido en el intervalo $-90^\circ \leq \varphi \leq +90^\circ$, de donde se deduce que $\cos \varphi$, y por tanto P , siempre poseen signos positivos.

Se dice que un circuito posee un factor de potencia en atraso cuando la corriente posee cierta diferencia de fase y está retrasada con respecto a la tensión (circuito inductivo), y que posee un factor de potencia en adelanto cuando la corriente posee cierta diferencia de fase y está adelantada con respecto a la tensión (circuito capacitivo).

El tercer miembro de la ecuación representa la potencia reactiva instantánea:

$$P_x = VI \text{sen} 2\omega t \cdot \text{sen} \varphi \quad (2.42)$$

Al valor máximo del tercer miembro de la ecuación se le llama potencia reactiva (Q) y su unidad de medida es VAR , o sea:

$$Q = VI \sin \varphi \quad (2.43)$$

De acuerdo a la ecuación 2.43, puede notarse que:

- $Q = 0$ para cargas resistivas puras (factor de potencia unitario).
- $Q < 0$ para cargas capacitivas (factor de potencia en adelanto)
- $Q > 0$ para cargas inductivas (factor de potencia en atraso)

El producto de la tensión por la corriente, con sus valores modulares respectivos, se denomina potencia aparente (S) y su unidad de medida es el volt ampere (VA).

De acuerdo con las relaciones obtenidas para P , Q y S , estas pueden representarse geométricamente mediante los catetos e hipotenusas de un triángulo rectángulo denominado triángulo de potencias.

$$P = VI \cos \varphi = I^2 R = V^2 / R \quad (2.44)$$

$$Q = VI \sin \varphi = I^2 X = V^2 / X \quad (2.45)$$

$$S = VI = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2} = P / \text{fp} \quad (2.46)$$

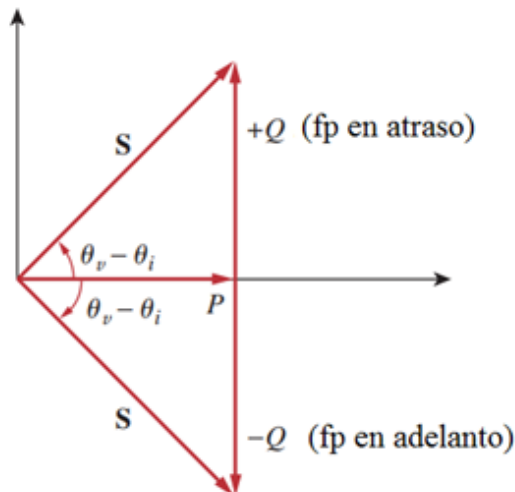


Figura 2.2. Triángulo de potencias [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

2.5. Corrección del factor de potencia

La mayoría de las cargas domésticas (como las lavadoras, los acondicionadores de aire y los refrigeradores) y las cargas industriales (como los motores de inducción) son inductivas y funcionan con un factor de potencia en atraso bajo. Aunque la naturaleza inductiva de la carga no se puede cambiar, podemos aumentar su factor de potencia. El proceso de aumentar el factor de potencia sin alterar el voltaje o la corriente a la carga original se conoce como corrección del factor de potencia. Alternativamente, la corrección del factor de potencia puede verse como la adición de un elemento reactivo (generalmente bancos de capacitores) en paralelo con la carga para hacer que el factor de potencia se acerque más a la unidad. Los condensadores que se fabrican con estos propósitos poseen como dato nominal en su chapa los kVA o $kVAR$ que son capaces de producir.

Diversos son los beneficios de un factor de potencia alto (Legrand). Un buen factor de potencia posibilita la optimización de una instalación eléctrica y proporciona las siguientes ventajas:

- No existen multas por energía reactiva.
- Disminución en la potencia total en kVA .
- Limitación de pérdidas de energía activa en cables gracias a la disminución en la corriente que se transmite en la instalación.
- Mejora en el nivel de tensión al final de la línea.
- Potencia disponible adicional en los transformadores de potencia si la compensación se desarrolla en las bobinas secundarias.

Las cargas que consumen la mayor cantidad de energía reactiva son:

- motores de carga baja
- máquinas soldadoras
- hornos en arco y de inducción
- rectificadores de potencia

Debido a que la mayoría de las cargas industriales y residenciales son inductivas, como se muestra en la Figura 2.3 (a), el factor de potencia de la carga se mejora o corrige al instalar deliberadamente un capacitor en paralelo con la carga, como se muestra en la Figura 2.3 (b). El efecto de agregar el capacitor se puede ilustrar usando el triángulo de potencia o el diagrama fasor de las corrientes involucradas. La Figura 2.4 muestra este último, donde se asume que el circuito en la Figura 2.3 (a) tiene un factor de potencia mientras que el de la Figura 2.3 (b) tiene un factor de potencia. Es evidente de la Figura 2.4 que agregar la el condensador ha provocado que el ángulo de fase entre la tensión suministrada y la corriente se reduzca para aumentar así el factor de potencia. También notamos por las magnitudes de los vectores en la Figura 2.4 que con el mismo voltaje suministrado, el circuito en la Figura 2.3 (a) dibuja una corriente mayor que la corriente dibujada por el circuito en la Figura 2.3 (b). Las compañías de energía cobran más por las corrientes más grandes, ya que resultan en mayores pérdidas de energía (desde un factor cuadrado, desde entonces). Por lo tanto, es beneficioso para la compañía eléctrica y para el consumidor que se haga todo lo posible para minimizar el nivel actual o mantener el factor de potencia lo más cerca posible de la unidad. Al elegir un tamaño adecuado para el condensador, se puede hacer que la corriente esté completamente en fase con el voltaje, lo que implica un factor de potencia de unidad.

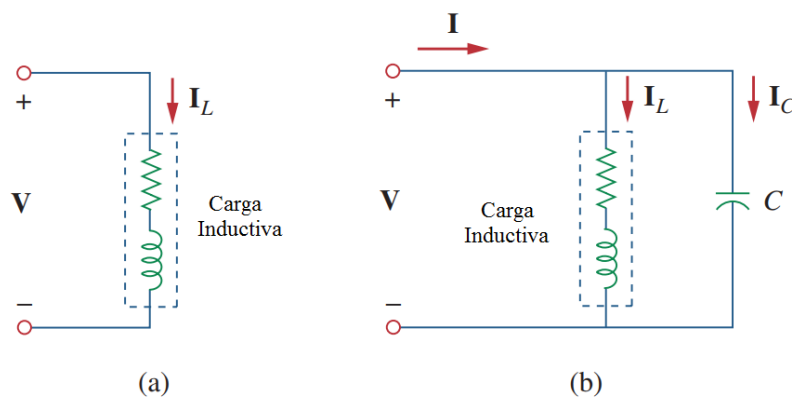


Figura 2.3. Corrección del factor de potencia: a) carga inductiva original b) carga inductiva con factor de potencia mejorado [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

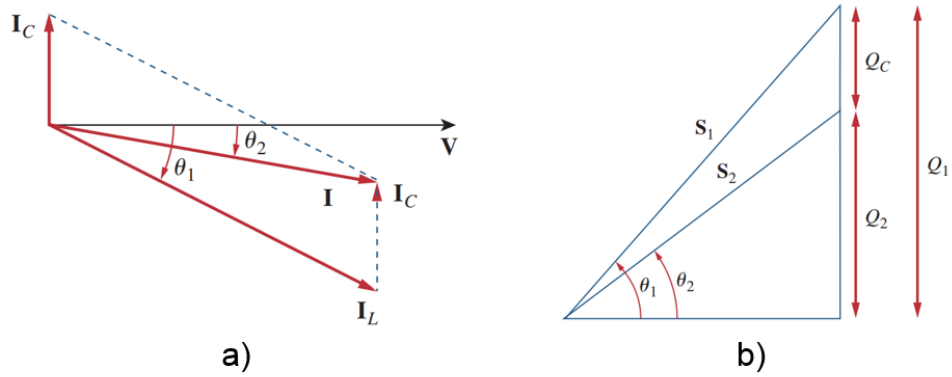


Figura 2.4. Efecto de corregir el factor de potencia: a) diagrama fasorial b) triángulo de potencias [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

La corrección del factor de potencia puede ser visto desde otra perspectiva, es decir, considerando el triángulo de potencias. Si la carga inductiva original tiene una potencia aparente , entonces:

$$P = S_1 \cos(\theta_1), \quad Q_1 = S_1 \sin(\theta_1) = P \tan(\theta_1) \quad (2.47)$$

Al adicionar un capacitor en paralelo con la carga para aumentar el factor de potencia de $\cos(\theta_1)$ hasta $\cos(\theta_2)$, la potencia activa no cambiará, pero la reactiva sí y su nuevo valor será:

$$Q_2 = P \tan(\theta_2) \quad (2.48)$$

La potencia reactiva del capacitor a colocar en paralelo es:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P(\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)) \quad (2.49)$$

Teniendo en cuenta que $Q_C = V^2 / X_C = \omega C V^2$, el valor de la capacitancia requerida es:

$$C = \frac{Q_C}{\omega V^2} = \frac{P(\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2))}{\omega V^2} \quad (2.50)$$

2.6. Circuitos trifásicos balanceados

Los circuitos trifásicos balanceados están constituidos por tres fases a, b y c, con idénticas características, en cada una de las cuales ocurren fenómenos que se repiten en forma similar en los dos restantes, pero con diferencias de fase de 120° en tiempo, como se muestra en el diagrama de corriente en función del tiempo.

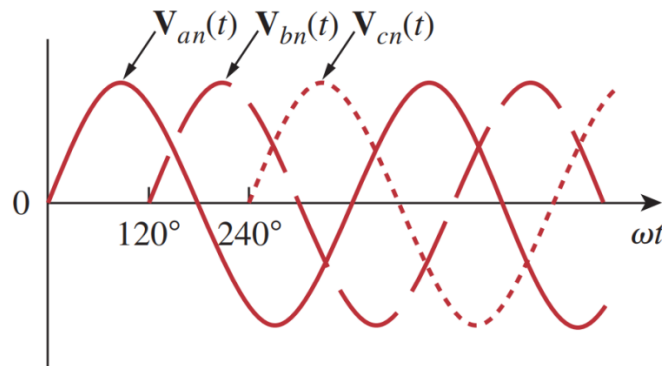


Figura 2.5. Voltajes trifásicos generados desfasados 120° [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

Los sistemas trifásicos pueden tener sus fases interconectadas fundamentalmente en dos formas: estrella y delta.

2.6.1. Circuitos conectados en estrella

Los circuitos conectados en estrella (Y) poseen un punto común (punto n) al que se denomina neutro. A la tensión medida entre los extremos libres de dos fases (V_{ab} , V_{bc} o V_{ca}) se denomina tensión de línea a línea o simplemente tensión de línea. Por otro lado, a la tensión medida de una línea al punto neutro n se denomina tensión de línea a neutro, lo que corresponde a la tensión aplicada a una de las fases, también denominado tensión de fase.

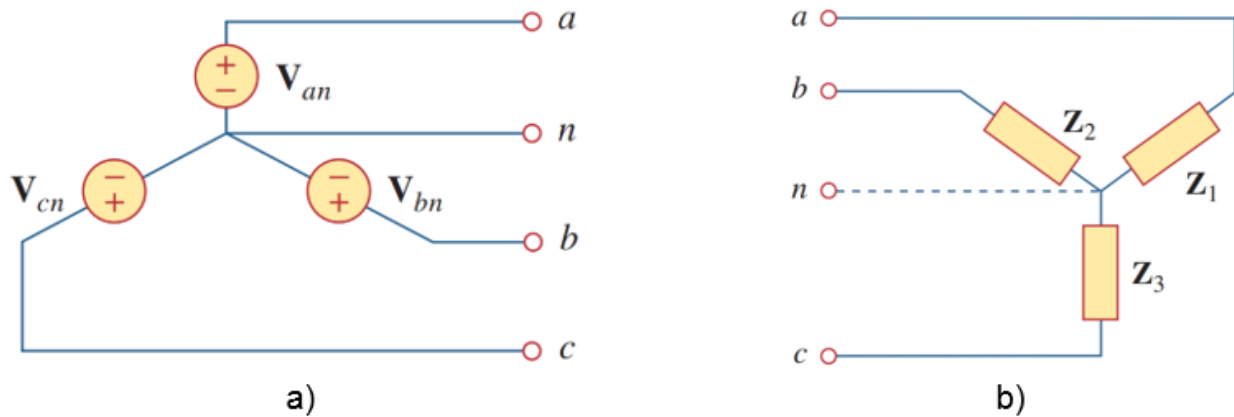


Figura 2.6. Conexión en estrella de: a) Generador trifásico b) Carga trifásica [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

Del diagrama fasorial que puede ser trazado para el caso particular de una conexión en estrella puede comprobarse que cualquier tensión de línea posee una magnitud igual $\sqrt{3}$ veces el valor de la tensión de fase, correspondiente, y posee una diferencia de fase de 30° con respecto a este, o sea:

$$V_l = \sqrt{3} \cdot V_f \angle -30^\circ \quad (2.51)$$

Por otro lado, la corriente de línea es la misma corriente de fase, es decir: $I_l = I_f$

2.6.2. Circuitos conectados en delta

Los circuitos conectados en delta (Δ) poseen a diferencia de la configuración en estrella, la tensión de línea aplicada a cada fase, mientras que la corriente de línea sufre una bifurcación al pasar de la línea a dos de las fases.

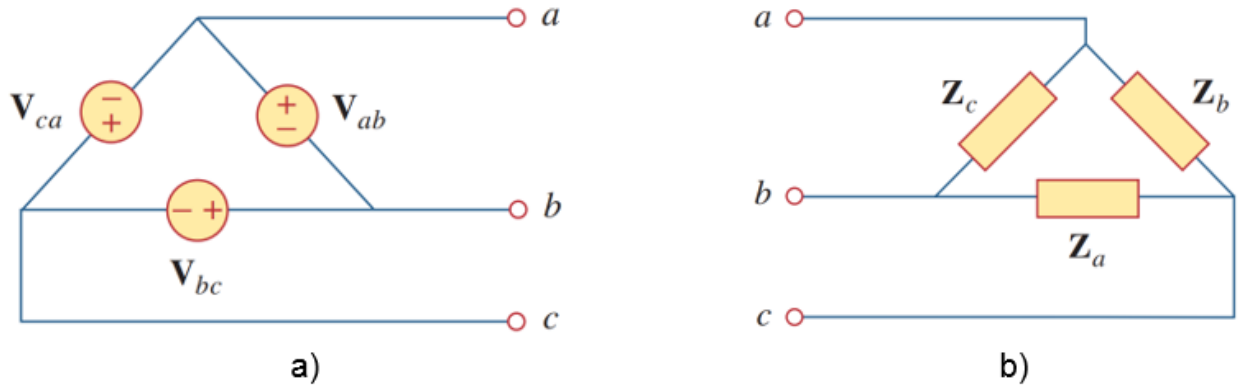


Figura 2.7. Conexión en delta de: a) Generador trifásico b) Carga trifásica [Fuente: (Alexander & Sadiku, 2012)].

Puede probarse que las tensiones de fase (V_f) y de línea (V_l) coinciden, mientras que las corrientes de línea (I_l) tienen un valor igual a $\sqrt{3}$ veces el valor de la corriente de cada fase (I_f) y poseen una diferencia de fase de 30° con respecto a la corriente de fase correspondiente, o sea $V_l = V_f$. También se cumple que:

$$I_l = \sqrt{3}I_f \angle 30^\circ \quad (2.52)$$

2.6.3. Potencia en un circuito trifásico balanceado

Por ser las tres fases similares en su estructura y comportamiento, puede comprenderse que la potencia activa, reactiva y aparente total del circuito deben ser la correspondiente a cada fase multiplicada por tres, o sea:

$$P_T = 3 \cdot P_f = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = (I_f)^2 \cdot R_f \quad (2.53)$$

$$Q_T = 3 \cdot Q_f = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi = (I_f)^2 \cdot X_f \quad (2.54)$$

$$S_T = 3 \cdot S_f = 3 \cdot V_f \cdot I_f = 3 \cdot (I_f)^2 \cdot Z_f = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \quad (2.55)$$

En función de las tensiones y corrientes de línea, la potencia puede calcularse como:

$$P_T = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi \quad (2.56)$$

$$Q_T = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \cdot \sin\varphi \quad (2.57)$$

$$S_T = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \quad (2.58)$$

2.7. Transformadores eléctricos de potencia

El transformador es un dispositivo estático que no posee partes rotatorias, cuya función es transmitir la potencia de un sistema a otro mediante inducción electromagnética, manteniendo constante la frecuencia y variando los valores de tensión y corriente, de modo que esa energía pueda ser utilizada en los diversos usuarios o consumidores de acuerdo con sus características propias de tensión y potencia. Los transformadores existen en todos los rangos de tensiones estandarizadas y de potencia necesarios.

Existen los que se encargan de elevar la tensión hasta cientos de miles de voltios para efectuar la transmisión de grandes bloques de energía a largas distancias en las redes de potencia de un país, por ejemplo, las conocidas de 110, 220, 500, 750 o más *kV*, hasta los más elementales y sencillos, pero también útiles, que adaptan la tensión existente en el hogar a los servicios de pequeñas calculadoras, equipos de audio, cargadores de baterías, etc.

El transformador está constituido básicamente por dos partes. Estas son el núcleo formado por láminas de acero de un espesor que oscila entre 0,2 y 0,35 *mm* y los devanados, generalmente de cobre, que se enrollan en sus columnas y ocupan el área disponible en la ventana. En un transformador de dos devanados, al cual se le aplica la tensión externa se le denomina devanado primario y al segundo, al cual se le conecta la carga a servir, se le llama devanado secundario.

Cuando se aplica la tensión alterna al devanado primario se establece una corriente denominada corriente de excitación. Esta corriente es la encargada de crear el flujo magnético que circula fundamentalmente por la estructura de acero del núcleo, ya que su permeabilidad es cientos de veces superior a la permeabilidad del aire. Como consecuencia de este flujo magnético, suceden cuestiones fundamentales que permiten comprender los principios de funcionamiento del transformador.

Debido a la ley de inducción electromagnética, surge en cada devanado una fuerza electromotriz proporcional al número de vueltas en cada uno de ellos y aproximadamente igual a las tensiones existentes en los mismos, es decir:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (\text{relación de transformación}) \quad (2.59)$$

Las pérdidas de núcleo están presentes independientemente de que exista o no una carga conectada al transformador, de modo que también se le conoce como pérdidas en vacío o sin carga. Como estas pérdidas son consecuencia del flujo y éste surge por la tensión aplicada en el primario, que puede considerarse constante ante cualquier estado de carga sin introducir grandes errores en los cálculos se asume, en muchos cálculos de ingeniería, que las pérdidas de núcleo son constantes e independientes de estado de carga del transformador, recibiendo el nombre también de pérdidas constantes. Estas pérdidas se identifican con el símbolo P_0 o $P_{\text{núcleo}}$

Al conectar una carga en al transformador, inmediatamente circula la corriente por el secundario, la cual es proporcional a la magnitud de la carga que se va a alimentar. Estas corrientes producen pérdidas debido a la resistencia existente en los devanados. Estas pérdidas son conocidas como pérdidas de cobre y su magnitud es variable en función de la carga. Las pérdidas de cobre se identifican con el símbolo P_{CU} . De esta forma se resume que:

Las pérdidas en los transformadores se clasifican en pérdidas en vacío y pérdidas bajo carga. Las pérdidas en vacío pérdidas histerésicas y parásitas en el núcleo del transformador y dependen, en primer orden, de la tensión y la frecuencia; de manera que varían sólo ligeramente con el estado de carga y las fluctuaciones del sistema. Las pérdidas con carga se deben a la circulación de corriente en el transformador y son la suma de las pérdidas de cobre en ambos devanados ($P_{CU} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$), más un grupo de pérdidas menores denominadas pérdidas adicionales, debidas a la inducción del flujo disperso y a las corrientes parásitas.

Como los transformadores de distribución permanecen conectados todo el tiempo, las pérdidas de vacío se mantienen todo el tiempo mientras que las pérdidas de cobre

varían según lo hace la carga. De esta forma, lograr la máxima economía depende de una acertada selección de la capacidad del banco y una adecuada evaluación de sus pérdidas. En ello existe un compromiso. Si se reduce la capacidad, se reducen las pérdidas de vacío y el costo inicial, pero se incrementan las pérdidas de cobre en operación. Por tal motivo, sólo será energéticamente ventajoso realizar la sustitución de un banco por uno de capacidad inferior si el incremento de las pérdidas con carga del nuevo banco o transformador es inferior a la reducción de las pérdidas en vacío del sustituido.

En un transformador ideal, donde no existan pérdidas, se puede plantear que la potencia aparente del devanado primario es igual a la potencia aparente del devanado secundario. Esto es:

$$S_1 = S_2 \Rightarrow V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \quad (2.60)$$

Por lo tanto

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \quad (2.61)$$

Es decir, las corrientes son inversamente proporcionales a la relación de transformación, o sea si la tensión se reduce la corriente aumenta y viceversa.

La eficiencia en los transformadores se determina por la relación entre la potencia de salida y la de entrada. Algo más común es utilizar la potencia de salida y las pérdidas, aunque también se utiliza la relación entre los kVA nominales y éstos más las pérdidas:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} = \frac{P_{SALIDA}}{P_{SALIDA} + \text{Pérdidas}} = \frac{S_{CARGA} \cdot \cos(\varphi)}{S_{CARGA} \cdot \cos(\varphi) + \text{Pérdidas}} \quad (2.62)$$

Además, cuando el transformador no está trabajando en condiciones nominales, las pérdidas de núcleo pueden calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{CU} = \left(\frac{S_{CARGA}}{S_{NOMINAL}} \right)^2 \cdot \Delta P_{CU_{NOM}} = K_C^2 \cdot \Delta P_{CU_{NOMINAL}} \quad (2.63)$$

La máxima eficiencia en el transformador se alcanza cuando las pérdidas en el núcleo son iguales a las pérdidas de cobre, es decir:

$$\Delta P_{\text{núcleo}} = \Delta P_{CU}$$

2.8. Máquinas trifásicas asincrónicas

Las máquinas trifásicas asincrónicas se utilizan casi exclusivamente como motores, y solamente en muy contados casos como generadores de inducción.

Los motores trifásicos asincrónicos se clasifican fundamentalmente en:

- ❖ Motores de jaula de ardilla.
- ❖ Motores de rotor bobinado.

En ambos casos, el estator está compuesto por tres devanados desplazados en el espacio 120° entre sí, a los cuales se alimentan corrientes alternas, también trifásicas, con una diferencia de fase de 120° entre sí. Como resultado, el flujo magnético asociado con las corrientes alternas trifásicas del estator posee una magnitud constante y hace girar al rotor a una velocidad constante denominada sincrónica (n_s), cuya ecuación viene dada por:

$$n_s = 120 \frac{f}{p}. \quad (2.64)$$

Donde:

$f \rightarrow$ frecuencia de la tensión aplicada a los devanados estáticos en Hertz;

$p \rightarrow$ número de polos del motor.

A la relación de velocidades se denomina deslizamiento (s)

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}. \quad (2.65)$$

Donde:

$n_s \rightarrow$ velocidad del campo sincrónico del estator (en revoluciones por minutos);

$n_r \rightarrow$ velocidad del rotor (en revoluciones por minuto).

El deslizamiento (s) puede ser expresado en tanto por ciento en cuyo caso se multiplica por 100.

De la ecuación anterior se desprende que:

$$n_r = n_s(1-s) \quad (2.66)$$

Al girar el rotor de la máquina con un deslizamiento s con respecto a n_s , la frecuencia de la fem inducida en los conductores del rotor (f_r) es :

$$f_r = s \cdot f \quad (2.67)$$

La impedancia inductiva del rotor depende directamente de la frecuencia de la fem inducida en este, por lo que su valor (X_r) también se verá afectado por el deslizamiento, o sea:

$$X_r = s \cdot X_{2r} \quad (2.68)$$

Donde:

$X_{2r} \rightarrow$ impedancia inductiva de los devanados del rotor cuando éste se encuentra en reposo ($s=1$) en (ohm).

El motor asincrónico trifásico posee la característica de que es capaz de desarrollar un momento proporcional al cuadrado de la tensión aplicada en los terminales de los devanados del estator, por lo que:

$$M = k \cdot V^2 \quad (2.69)$$

Donde:

$k \rightarrow$ constante de proporcionalidad $\left(\frac{N \cdot m}{V^2} \right)$

$V \rightarrow$ valor efectivo de la tensión aplicada de línea a línea del devanado estático (en volt).

Por otra parte se cumple que la potencia de salida del motor es igual al producto entre el momento desarrollado y la velocidad angular del rotor, esto es:

$$P_{sal} = M \cdot \omega_r = M \cdot \frac{2\pi \cdot n_r}{60} \quad (2.70)$$

Donde ω_r es la velocidad angular del rotor.

La eficiencia en un motor puede calcularse por la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \times 100 = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + P_{\text{Pérdidas}}} \times 100 \quad (2.71)$$

2.9. Conclusiones del capítulo

1. Los fundamentos teóricos básicos, principales leyes, conceptos y ecuaciones correspondientes a cada tema impartido en la asignatura, permitirán al estudiante la resolución de los ejercicios propuestos en el material.
2. El enfoque a menor y didáctico de los contenidos facilita el aprendizaje individual de los estudiantes.

Capítulo 3- Ejercicios propuestos para el material.

En este capítulo se presentan los ejercicios propuestos para el material de estudios. Solo analizarán ejercicios típicos de cada tema y su solución, por lo que el material completo aparece en los Anexos de la tesis. Se buscó además que existiera diferentes niveles de complejidad en los ejercicios.

3.1. Circuitos monofásicos de corriente alterna

3.1.1. Operaciones con números complejos

Estos ejercicios tienen como objetivo desarrollar en los estudiantes habilidades en el cálculo con números complejos pues lo largo de la asignatura tendrán que aplicar estos conocimientos. También sucede que muchos de los alumnos al ingresar a la universidad tienen poco conocimiento en esta área de las matemáticas. Los ejercicios ejercitan operaciones como suma, resta, multiplicación y división con números complejos, así como la conversión de forma polar a rectangular y viceversa. Otro aspecto importante es la conversión de funciones tipo sinusoidales a la forma fasorial y viceversa.

Ejemplo 1 - Evalúe la siguiente expresión y dé su respuesta en forma polar:

$$\left(\frac{10\angle 25^\circ}{5\angle -10^\circ} + \frac{3\angle 15^\circ}{3-j5} \right) j2$$

Solución:

Primero se realiza cada división de forma independiente, teniendo en cuenta que al dividir dos números complejos en forma polar se dividen los módulos y se restan los ángulos:

$$\frac{10\angle 25^\circ}{5\angle -10^\circ} = \frac{10}{5} \angle (25^\circ - (-10^\circ)) = 2\angle 35^\circ$$

En el caso de la segunda división se debe convertir el divisor a la forma polar. Para esto se utiliza la expresión siguiente:

$$3 - j5 = \sqrt{3^2 + 5^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{-5}{3}\right) = 5.83 \angle -59^\circ \Rightarrow \frac{3 \angle 15^\circ}{5.83 \angle -59^\circ} = \frac{3}{5.83} \angle (15^\circ - (-59^\circ)) = 0.51 \angle 74^\circ$$

La expresión queda ahora

$$(2 \angle 35^\circ + 0.51 \angle 74^\circ) j2$$

Para efectuar la suma dentro del paréntesis se debe convertir la expresiones a la forma cartesiana de la siguiente forma

$$2 \angle 35^\circ = 2 \cdot \cos(35^\circ) + j \cdot 2 \cdot \sin(35^\circ) = 1.64 + j1.15$$

$$0.51 \angle 74^\circ = 0.51 \cdot \cos(74^\circ) + j \cdot 0.51 \cdot \sin(74^\circ) = 0.14 + j0.49$$

Para sumar dos números complejos se realiza la suma de sus partes reales y la suma de sus partes imaginarias:

$$[(1.64 + j1.15) + (0.14 + j0.49)] \cdot j2 = [(1.64 + 0.14) + j(1.15 + 0.49)] \cdot j2 = (1.78 + j1.64) \cdot j2$$

El producto de dos números complejos que están expresados en la forma cartesiana se realiza igual que el producto de dos binomios algebraicos. Otra forma puede ser convirtiendo ambos números a la forma polar y con el resultado multiplicar los módulos y sumar los ángulos. Esta última forma es la que se aplicará para que el resultado final quede expresado en la forma polar:

$$1.78 + j1.64 = \sqrt{1.78^2 + 1.64^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{1.64}{1.78}\right) = 2.42 \angle 42.7^\circ$$

$$j2 = 2 \angle 90^\circ \text{ (Este número está sobre el eje imaginario)}$$

Por lo tanto la expresión queda de la siguiente forma:

$$2.42 \angle 42.7^\circ \cdot 2 \angle 90^\circ = (2.42 \cdot 2) \angle (42.7^\circ + 90^\circ) = 4.84 \angle 132.7^\circ$$

Ejemplo 2 - Usando fasores, encuentra:

$$40 \sin 50t + 30 \sin(50t - 45^\circ)$$

Solución

Primero se convierte estas funciones sinusoidales a la forma fasorial. Como el resultado se expresará nuevamente en forma sinusoidal, no se trabaja con el valor RMS sino con el valor máximo para hacer el cálculo más sencillo.

$$40\sin 50t \Rightarrow 40\angle 0^\circ = 40\cos 0^\circ + j \cdot 40\sin 0^\circ = 40$$

$$30\sin(50t - 45^\circ) \Rightarrow 30\angle -45^\circ = 30\cos(-45^\circ) + j \cdot 30\sin(-45^\circ) = 21.21 - j21.21$$

Por lo tanto:

$$40\sin 50t + 30\sin(50t - 45^\circ) = (40) + (21.21 + j21.21) = 61.21 + j21.21$$

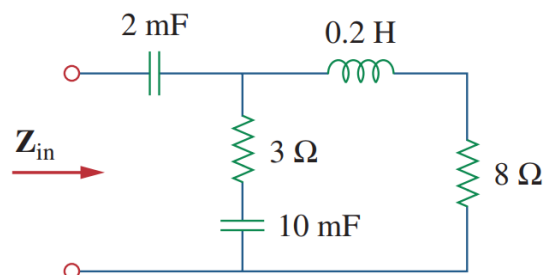
Convirtiendo el resultado a forma polar y luego a la forma instantánea se obtiene:

$$61.21 + j21.21 = \sqrt{61.21^2 + 21.21^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{21.21}{61.21}\right) = 64.78\angle 19.1^\circ = 64.78\sin(50t + 19.1^\circ)$$

3.1.2. Cálculo de impedancia equivalente

Los ejercicios propuestos en este acápite buscan desarrollar en los estudiantes la habilidad en el cálculo de la impedancia correspondiente a cada elemento del circuito así como de reducir circuitos de corriente alterna complejos haciendo uso de las fórmulas correspondientes a circuitos series y paralelos. A continuación se presentan dos ejercicios propuestos. En el primero de ellos solo calcula el circuito equivalente y en el segundo se tiene que utilizar además la Ley de Ohm.

Ejemplo 1- Encuentre la impedancia de entrada del circuito en la figura. Suponga que el circuito opera a $\omega = 50 \text{ rad/s}$.



Solución

Primero se definen las siguientes impedancias:

- Z_1 = Impedancia del condensador con capacitor de $2mF$
- Z_2 = Impedancia de la resistencia 3Ω en serie con el condensador con capacitor de $10mF$
- Z_3 = Impedancia del inductor $0,2H$ en serie con la resistencia 8Ω

Cada uno de estos valores es calculado haciendo uso de la fórmula correspondiente a cada elemento del circuito:

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j50 \times 2 \times 10^{-3}} = -j10\Omega$$

$$Z_2 = 3 + \frac{1}{j\omega C} = 3 + \frac{1}{j50 \times 10 \times 10^{-3}} = (3 - j2)\Omega$$

$$Z_3 = 8 + j\omega L = 8 + j50 \times 0,2 = (8 + j10)\Omega$$

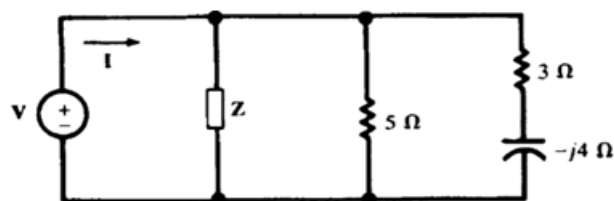
La impedancia de entrada es una combinación serie de Z_1 con el paralelo entre Z_2 y Z_3 , por lo tanto:

$$\begin{aligned} Z_{ent} &= Z_1 + (Z_2 \parallel Z_3) = -j10 + \frac{(3 - j2)(8 + j10)}{11 + j8} \\ &= -10j + \frac{(44 + j14)(11 - j8)}{11^2 + 8^2} = -10j + 3,22 - j1,07\Omega \end{aligned}$$

Así,

$$Z_{ent} = 3,22 - j1,07\Omega$$

Ejemplo 2- Determinar Z en el circuito paralelo de la figura, si $V = 50\angle 30^\circ V$ e $I = 27,9\angle 57,8^\circ A$.



Solución: $5\angle -30^\circ \Omega$

Primero se definen las siguientes impedancias:

- $Z_1 = 5\Omega$ es la segunda impedancia en paralelo
- $Z_2 = 3 - j4\Omega$ es la tercera impedancia en paralelo
- Z_{eq} es la impedancia equivalente del circuito

Aplicando la Ley de Ohm se obtiene la impedancia equivalente:

$$Z_{eq} = \frac{V}{I} = \frac{50\angle 30^\circ V}{27.9\angle 57.8^\circ A} = 1.79\angle -27.8^\circ \Omega$$

Por otra parte, la impedancia equivalente de tres impedancias en paralelo se calcula mediante la siguiente forma

$$Z_{eq} = \frac{Z \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z \cdot Z_1 + Z \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_2} \Rightarrow Z_{eq} \cdot Z \cdot Z_1 + Z_{eq} \cdot Z \cdot Z_2 + Z_{eq} \cdot Z_1 \cdot Z_2 = Z \cdot Z_1 \cdot Z_2$$

$$Z_{eq} \cdot Z \cdot Z_1 + Z_{eq} \cdot Z \cdot Z_2 - Z \cdot Z_1 \cdot Z_2 = -Z_{eq} \cdot Z_1 \cdot Z_2 \Rightarrow Z(Z_{eq} \cdot Z_1 + Z_{eq} \cdot Z_2 - Z_1 \cdot Z_2) = -Z_{eq} \cdot Z_1 \cdot Z_2$$

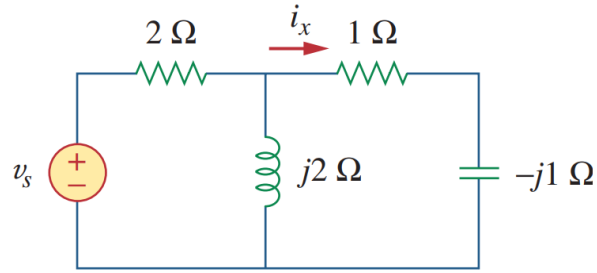
$$Z = \frac{-Z_{eq} \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z_{eq} \cdot Z_1 + Z_{eq} \cdot Z_2 - Z_1 \cdot Z_2}$$

Sustituyendo los valores de Z_{eq} , Z_1 y Z_2 en la expresión anterior y efectuando los cálculos correspondientes se llega a que $Z_{eq} = 5\angle -30^\circ \Omega$.

3.1.3. Resolución de circuitos RLC

Con estos ejercicios se pretende ejercitar la Ley de Ohm y las leyes de Kirchoff en circuitos.

Ejemplo - En el circuito siguiente determine $v_s(t)$ si $i_x(t)$ a través de la resistencia de 1Ω es $0,5\sin 200t$ A.



Solución

Primero se convierte i_x a la forma fasorial

$$i_x(t) = 0,5 \sin 200t \Rightarrow I_x = 0.5 \angle 0^\circ \text{ A}$$

El voltaje que se cae en las ramas en paralelo se calcula utilizando la Ley de Ohm

$$V_x = Z_{1-j} \cdot I_x = (1 - j) \cdot 0.5 \angle 0^\circ = \sqrt{2} \angle -45^\circ \cdot 0.5 \angle 0^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \angle -45^\circ \text{ V}$$

Este mismo procedimiento se utiliza para calcular la corriente que circula por el inductor de impedancia $j2\Omega$:

$$I_{j2} = \frac{V_x}{Z_{j2}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \angle -45^\circ \text{ V}}{2 \angle 90^\circ \Omega} = \frac{\sqrt{2}}{4} \angle -135^\circ \text{ A}$$

Aplicando la Ley de Kirchhoff de las corrientes se obtiene la impedancia que circula por la fuente:

$$I_s = I_{j2} + I_x = 0.5 \angle 0^\circ + \frac{\sqrt{2}}{4} \angle -135^\circ = 0.25 - j0.25 \text{ A}$$

Aplicando la Ley de Kirchhoff de los voltajes se calcula V_s

$$V_s = V_2 + V_x = I_s \cdot Z_2 + V_x = 2(0.25 - j0.25) + \frac{\sqrt{2}}{2} \angle -45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \angle -45^\circ + \frac{\sqrt{2}}{2} \angle -45^\circ = \sqrt{2} \angle -45^\circ \text{ V}$$

Convirtiendo a la forma instantánea resulta que:

$$v_s(t) = \sqrt{2} \sin(200t - 45^\circ) \text{ V}$$

Como se puede observar, estos tipos de ejercicios involucran los contenidos vistos anteriormente.

3.2. Potencia en circuitos monofásicos de corriente alterna

Para el cálculo de potencia en circuitos monofásicos de corriente alterna se presenta fundamentalmente dos tipos de ejercicios. El primer tipo es el cálculo de potencia a partir del circuito y el segundo es haciendo uso solamente del cálculo de la potencia total.

Ejemplo 1 - Las impedancias $Z_1 = 5,83\angle -59^\circ \Omega$ y $Z_2 = 8,94\angle 63,43^\circ \Omega$ están conectadas en serie y por ellas circula una intensidad de corriente de valor eficaz 5A. Determinar los valores totales de las potencias que consumen ambas impedancias y el factor de potencia.

Solución

$$Z_1 = 5,83\angle -59^\circ = 5,83\cos(-59^\circ) + j5,83\sin(-59^\circ) = 3 - j5\Omega$$

$$Z_2 = 8,94\angle 63,43^\circ = 8,94\cos(63,43^\circ) + j8,94\sin(63,43^\circ) = 4 + j8\Omega$$

$$Z_T = Z_1 + Z_2 = (3 - j5) + (4 + j8) = 7 + j3\Omega$$

Por tanto,

$$P_T = I^2 R = (5)^2 (7) = 175W$$

$$Q_T = I^2 X = (5)^2 (3) = 75VAr \text{ (inductiva)}$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(175)^2 + (75)^2} = 190,4VA$$

$$fp = \frac{P_T}{S_T} = \frac{175}{190,4} = 0,919 \text{ en atraso}$$

Ejemplo 2- Determinar las potencias que consumen tres cargas conectadas en paralelo: carga #1, 250VA, $fp = 0,5$ en atraso; carga #2, 180W $fp = 0,80$ en adelanto; carga #3, 300VA, 100VAr (inductiva).

Solución

Se calcula la potencia activa P y la reactiva Q de cada carga.

Carga #1 Dados $S_1 = 250VA$, $\cos\theta_1 = 0,5$ en atraso. Entonces.

$$P_1 = S_1 \cdot \cos\theta_1 = 250(0,5) = 125W$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{(250)^2 - (125)^2} = 216,5VAr \text{ (inductiva)}$$

Carga #2 Dados $P_2 = 180W$, $\cos\theta_2 = 0,8$ en adelante. Entonces

$$\theta_2 = \cos^{-1}(0,8) = -36,87^\circ$$

$$Q_2 = P_2 \tan(\theta_2) = 180 \tan(-36,87) = 135VAr \text{ (capacitiva)}$$

Carga #3 Dados $S_3 = 300VA$, $Q_3 = 100VAr$ (inductiva).

Entonces,

$$P_3 = \sqrt{S_3^2 - Q_3^2} = \sqrt{(300)^2 - (100)^2} = 282,8W$$

Combinando los componentes:

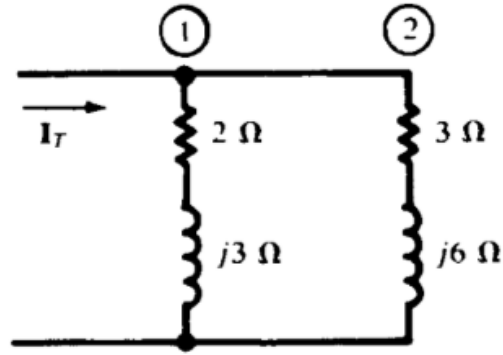
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 125 + 180 + 282,8 = 587,8W$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 216,5 + 135 + 100 = 451,5VAr \text{ (inductiva)}$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(587,8)^2 + (451,5)^2} = 741,2VA$$

$$\text{fp} = P_T / S_T = 587,8 / 741,2 = 0,793$$

Ejemplo 3 - Obtener el triángulo de potencias y la intensidad de corriente total en el circuito en paralelo de la figura, si en la rama 2, $S_2 = 1490VA$.



Solución

$$\text{De } S_2 = I_2^2 Z_2 = V_2^2 / Z_2,$$

$$I_2^2 = \frac{S_2}{Z_2} = \frac{1490}{\sqrt{3^2 + 6^2}} = 222,12 A^2$$

$$V^2 = S_2 \cdot Z_2 = 1490 \cdot \sqrt{3^2 + 6^2} = 9995,2 \Rightarrow V = 99,9V$$

Por tanto:

$$P_2 = I_2^2 R_2 = 222,12 \cdot 3 = 666,4W \text{ y } Q_2 = I_2^2 X_2 = 222,12 \cdot 6 = 1332,7VAr$$

Por otra parte:

$$I_1 = V / Z_1 = 99,97 / \sqrt{2^2 + 3^2} = 27,7A$$

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 27,7^2 \cdot 2 = 1534,6W \text{ y } Q_1 = I_1^2 X_1 = 27,7^2 \cdot 3 = 2301,9VAr$$

Por tanto

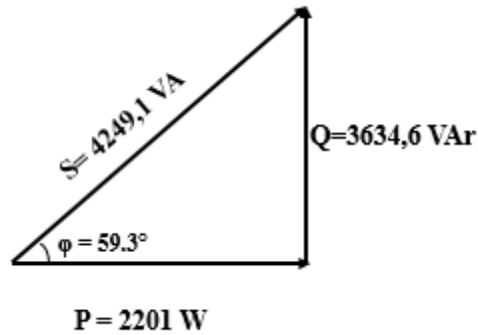
$$P_T = P_1 + P_2 = 1534,6 + 666,4 = 2201W$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 = 2301,9 + 1332,7 = 3634,6W$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(2201)^2 + (3634,6)^2} = 4249,1VA$$

$$S_T = V \cdot I_T \Rightarrow I_T = S_T / V = 4249,1 / 99,97 = 42,5A$$

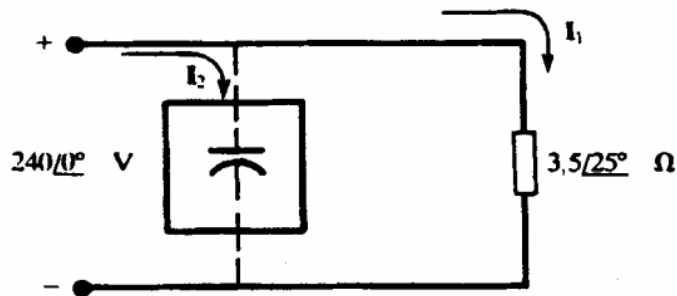
$$fp = P_T / S_T \Rightarrow 2201 / 4249,1 = 0,51 \Rightarrow \theta = \cos^{-1}(0,51) = 59,3^\circ$$



3.2.1. Corrección del factor de potencia

Estos ejercicios tienen gran importancia ya que la corrección o mejoramiento del factor de potencia constituye un problema práctico al que se enfrentan los ingenieros en las industrias debido al gran número de cargas de carácter inductiva presentes.

Ejemplo 1 - ¿Qué potencia reactiva capacitiva Q debe ser proporcionada por la batería de condensadores de la figura para corregir el factor de potencia hasta 0,95 en retraso?



Solución

Antes de conectar la batería de condensadores, $fp = \cos(25^\circ) = 0,906$ en atraso, y

$$I_1 = \frac{V}{Z} = \frac{240\angle 0^\circ}{3,5\angle 25^\circ} = 68,6\angle -25^\circ \text{ A}$$

$$Q = VI \sin \theta = 240 \cdot 68,6 \cdot \sin(25^\circ) = 6957 \text{ VAR}$$

$$P = VI_1 \cos \theta = 240 \cdot 68,6 \cdot \cos(25^\circ) = 14921 \text{ W}$$

Después de la corrección, el triángulo tiene la misma P , pero su ángulo cambia. Haciendo uso del triángulo de potencias

$$\frac{Q - Q_C}{P} = \tan(18,19^\circ) \Rightarrow Q_C = Q - P \tan(18,19^\circ) = 2054,1 \text{VAr (capacitiva)}$$

El capacitor a utilizar debe ser de

$$C = \frac{Q_C}{\omega V^2} = \frac{2054,1}{60 \cdot 240^2} = 594,4 \mu\text{F}$$

En este caso se consideró la frecuencia a la que trabaja el circuito de 60 Hz.

Ejemplo 2 - Se ha corregido el factor de potencia de una carga de 300kW , con un factor de potencia inicial de 0,65 en atraso, hasta 0,9 en atraso mediante condensadores en paralelo. ¿Cuántas kVAr deben suministrar esos condensadores, y cuál es el porcentaje de reducción de la potencia aparente?

Solución

En primer lugar, se obtienen los ángulos correspondientes a los factores de potencia:

$$\cos^{-1}(0,65) = 49,46^\circ \quad \cos^{-1}(0,9) = 25,84^\circ$$

Entonces,

$$Q = 300 \tan(49,46^\circ) = 350,7 \text{kVAr (inductiva)}$$

$$Q - Q_C = 300 \tan(25,84^\circ) = 145,3 \text{kVAr (inductiva)}$$

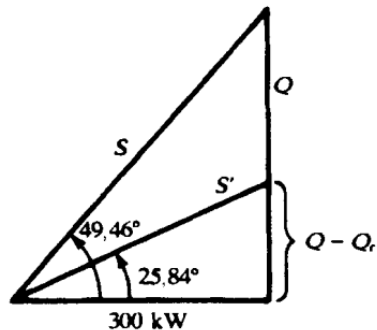
De donde,

$$Q_C = 205,4 \text{kVAr (capacitiva)}.$$

Como

$$S = \frac{P}{fp} = \frac{300}{0,65} = 461,5 \text{kVA} \quad S' = \frac{P}{fp} = \frac{300}{0,9} = 333,3 \text{kVA}$$

La reducción es $\frac{461,5 - 333,3}{461,5}(100\%) = 27,8\%$



3.3. Circuitos trifásicos balanceados

Las industrias se caracterizan por presentar circuitos trifásicos, por los que es necesario que los estudiantes dominen los diferentes conceptos relacionados con este tema. Aspectos importantes en este tópico lo constituyen las configuraciones delta y estrella en las que pueden estar los circuitos y las relaciones que existen entre voltajes y corrientes de fase y línea en estas configuraciones.

Ejemplo 1 - Un sistema trifásico balanceado con un voltaje de línea de 300V suministra una carga conectada en Y de 1200W y fp de 0,8 en adelante. Encuentre la corriente de línea y la impedancia de carga por fase.

Solución

El voltaje de fase es $300/\sqrt{3}V$ y la potencia por fase es $1200/3 = 400W$. Por lo tanto, la corriente de línea se puede encontrar por la relación

$$P_f = V_f \cdot I_f \cdot fp \Rightarrow 400 = \frac{300}{\sqrt{3}}(I_L)(0,8)$$

y la corriente de línea es, por lo tanto, de 2.89A. La magnitud de la impedancia de fase es dada por:

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{300/\sqrt{3}}{2,89} = 60\Omega$$

Dado que el fp es 0,8 adelanto, el ángulo de la fase de impedancia es $-36,9^0$; así

$$Z_f = 60 \angle -36,9^0 \Omega$$

Ejemplo 2 - Determine la amplitud de la corriente de línea en un sistema trifásico con un voltaje de línea de $300V$ que suministra $1200W$ a una carga conectada en delta de fp 0.8 en atraso. Encuentre la impedancia por fase.

Solución

Consideremos una sola fase. Esta consume $400W$ a fp 0,8 en atraso y una tensión de línea de $300V$. Así,

$$400 = 300(I_f)(0,8)$$

$$I_f = 1,667 A$$

y la relación entre las corrientes de fase y las corrientes de líneas

$$I_L = \sqrt{3}I_f = \sqrt{3}(1,667) = 2,89A$$

A continuación, el ángulo de fase de la carga es $\cos^{-1}(0,8) = 36,9^0$ y por lo tanto la impedancia en cada fase debe ser;

$$Z_p = \frac{300}{1,667} \angle 36,9^0 = 180 \angle 36,9^0 \Omega$$

3.4. Transformadores eléctricos de potencia

Otro aspecto importante respecto a los sistemas eléctricos industriales lo constituye los transformadores eléctricos de potencia. Es importante que el ingeniero mecánico domine las principales relaciones entre las variables que caracterizan a los transformadores: relaciones de entrada-salida, capacidad, pérdidas, eficiencia, condiciones de máxima eficiencia, etc.

Ejemplo 1 - Un transformador monofásico de $50kVA$ posee una tensión primaria de $440V$ y el secundario es de $220V$. Determine:

- a) La corriente primaria I_1

- b) La corriente secundaria I_2
- c) La relación de transformación

Solución

$$I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{50 \times 10000}{440} = 113,6 A$$

$$I_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{50 \times 10000}{220} = 227,2 A$$

Ejemplo 2 - Un transformador tiene los siguientes datos nominales: 10kVA 240/120V . Calcule:

- a) La tensión que se obtiene en el lado de baja cuando en el de alta e aplican 180V .
- b) Corriente nominal de cada enrollado.
- c) Corriente en cada enrollado para una carga de 7,5kVA cuando trabaja con tensiones nominales.
- d) Eficiencia para una carga de 5kVA y $\cos \varphi = 0,8$ conectada por el lado de baja, si se sabe que la eficiencia máxima ocurre a plena carga y factor de potencia unitario y que tiene un valor de 0,975.

Solución

- a) La relación de transformación puede calcularse como

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{240 \text{ V}}{120 \text{ V}} = 2$$

A partir de este valor se tiene que

$$V_2 = \frac{V_1}{a} = \frac{180 \text{ V}}{2} = 90 \text{ V}$$

- b)

$$I_{1_{NOM}} = \frac{S_{NOMINAL}}{V_1} = \frac{10 \text{ kVA}}{240 \text{ V}} = 41.67 \text{ A}$$

$$I_{2_{NOM}} = \frac{S_{NOMINAL}}{V_2} = \frac{10 \text{ kVA}}{120 \text{ V}} = 83.33 \text{ A}$$

c)

$$I_1 = \frac{S_{CARGA}}{V_1} = \frac{7.5 \text{ kVA}}{240 \text{ V}} = 31.25 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S_{CARGA}}{V_2} = \frac{7.5 \text{ kVA}}{120 \text{ V}} = 62.5 \text{ A}$$

d) Primeramente se calculan las pérdidas a máxima eficiencia conociendo que esta máxima eficiencia ocurre a $S_{NOMINAL}$ y factor de potencia $\cos \varphi = 1$, o sea:

$$\eta_{MAX} = \frac{P_{SALIDA}}{P_{SALIDA} + \Delta P} = \frac{S_{NOMINAL} \cdot fp}{S_{NOMINAL} \cdot fp + \Delta P} \Rightarrow \Delta P = \frac{S_{NOMINAL} \cdot fp}{\eta_{MAX}} - S_{NOMINAL} \cdot fp$$

$$\Delta P = \frac{10 \times 10^3}{0.975} - 10 \times 10^3 = 256.41 \text{ W}$$

Por otra parte, en condiciones de máxima eficiencia se cumple que las pérdidas de hierro y de cobre son iguales:

$$\Delta P = \Delta P_{núcleo} + \Delta P_{CU_{NOM}} = 2 \cdot \Delta P_{núcleo} \Rightarrow \Delta P_{núcleo} = \Delta P_{CU_{NOM}} = \Delta P / 2 = 128.2 \text{ W}$$

Calculando las pérdidas de cobre se obtiene que:

$$\Delta P_{CU} = \left(\frac{S_{CARGA}}{S_{NOMINAL}} \right)^2 \cdot \Delta P_{CU_{NOM}} = \left(\frac{5 \text{ kVA}}{10 \text{ kVA}} \right)^2 \cdot (128.2 \text{ W}) = 32 \text{ W}$$

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{SALIDA} + \Delta P_{núcleo} + \Delta P_{CU}} = \frac{S_{CARGA} \cdot fp}{S_{CARGA} \cdot fp + \Delta P_{núcleo} + \Delta P_{CU}}$$

$$\eta = \frac{5 \times 10^3 \cdot 0.8}{5 \times 10^3 \cdot 0.8 + 128.2 + 32} = 0.961$$

$$\eta = 96.1\%$$

3.5. Motores trifásicos de inducción

La mayoría de los motores existentes en las industrias son trifásicos de inducción con rotor jaula de ardilla. Estos motores también consumen gran parte de la energía que se consume en las industrias. De aquí la importancia de este tema.

Ejemplo 1 - Un motor trifásico de jaula de ardilla, 440 V , 6 polos, 60 Hz , 1185 rpm y 33 A , tiene sus devanados de fase interconectados en estrella. En condiciones nominales el motor consume de la fuente de alimentación 20 kW. Las pérdidas de fricción, batimiento y núcleo (P_{fbn}) totalizan 850 W , mientras que la pérdida de cobre es de 885 W. En condiciones nominales, calcule:

- a) Deslizamiento (s)
- b) Factor de potencia
- c) Potencia de salida
- d) Momento

Solución:

- a) Para determinar el valor de deslizamiento es necesario conocer primeramente el valor de la velocidad sincrónica es:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 60}{6} = 1200 \text{ rpm}$$

Como ya tenemos el valor de la velocidad sincrónica entonces el deslizamiento queda:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1200 - 1185}{1200} = 0,0125 \Rightarrow s = 1.25\%$$

- b) Para determinar el factor de potencia partimos de la ecuación de la potencia de entrada que es:

$$P_{ent} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi$$

Por lo tanto

$$\cos\varphi = \frac{P_{ent}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 33} = 0,87$$

$$\cos\varphi = 0,87$$

- c) La potencia de salida del motor puede ser determinada de la siguiente ecuación:

$$P_{sal} = P_{ent} - \text{Pérdidas}$$

$$P_{sal} = P_{ent} - (P_{fbn} + P_{cu}) = 20000 - (850 + 885) = 18265W$$

- d) El momento de salida, partiendo del dato de la potencia de salida determinado queda:

$$M = \frac{P_{sal} \cdot 60}{2\pi \cdot n_r} = \frac{18265 \cdot 60}{2\pi \cdot 1185} = 147,2 N \cdot m$$

Ejemplo - Un motor trifásico de jaula de ardilla posee los datos nominales siguientes:

$P_{nom} = 27 kW$, $V_{nom} = 220 V$, $f = 60 Hz$, $p = 4$, conexión delta. Cuando el motor opera bajo condiciones de plena carga, toma una corriente de línea de $85,66 A$ de la fuente de alimentación con un deslizamiento nominal $s_{nom} = 0,028$ y una eficiencia en dichas condiciones $\eta = 94\%$. Calcular en condiciones nominales:

- Momento de salida
- Pérdidas totales
- Factor de potencia en los terminales de entrada al motor.

Solución:

- a) El momento de salida del motor puede ser determinado a partir de la potencia de salida y la velocidad nominales del motor. Previamente es necesario calcular las velocidades sincrónica y nominal del motor, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 60}{4} = 1800 r/min$$

$$n_{nom} = n_s (1 - s_{nom}) = 1800(1 - 0,028) = 1750 r/min$$

Por lo tanto:

$$P_{sal} = M \cdot \frac{2\pi \cdot n_r}{60} \Rightarrow M = \frac{60 P_{sal}}{2\pi \cdot n_r} = \frac{60 \cdot 27000}{2\pi \cdot 1750} = 147,3 N \cdot m$$

- b) Para el cálculo de las pérdidas totales en el motor es necesario encontrar el valor de la potencia de entrada P_{ent} al motor mediante la ecuación de eficiencia:

$$Ef = P_{sal} / P_{ent} \text{ y } P_{ent} = P_{sal} / Ef = 27000W / 0,94 = 28723,4W$$

Y

$$P_{pérd} = P_{ent} - P_{sal} = 287234W - 270000W = 17234W$$

- c) El factor de potencia puede ser determinado al aplicar la siguiente ecuación para las condiciones en la entrada del motor:

$$P_{ent} = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \cdot \cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{P_{ent}}{\sqrt{3} \cdot V_f \cdot I_f} = \frac{287234}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 85,66} = 0,88$$

3.6. Conclusiones del capítulo

1. El material propuesto abarca todos los temas de la asignatura y los ejercicios presentan diferentes niveles de complejidad.
2. Los ejercicios responden a los problemas relacionados con la energía eléctrica que con más frecuencia se enfrenta el ingeniero Mecánico en el sector industrial y de servicio.

Conclusiones generales

- ❖ Al establecer los fundamentos teóricos de esta investigación se justifica la necesidad de la elaboración de materiales didácticos para apoyar el estudio independiente de los estudiantes a partir de la disminución de horas clases de las asignaturas según la concepción del Plan de estudios E.
- ❖ Los fundamentos teóricos básico, conceptos y ecuaciones correspondientes a cada tema impartido en la asignatura Electricidad Aplicada evidencia la importancia de este material en la formación de los ingenieros Mecánicos.
- ❖ La presentación amena de los contenidos facilita el estudio individual.
- ❖ Los ejercicios del material de estudio complementario de la asignatura Electricidad Aplicada facilitará a los estudiantes ejercitar los contenidos recibidos en clase.
- ❖ El material complementario contiene un compendio de ejercicios con ejemplos prácticos de las industrias cubana.

Recomendaciones

1. Colocar este material en la red para que pueda ser utilizado por todos los que lo necesiten, tanto estudiantes como profesores.
2. Continuar con la elaboración de otros materiales didácticos, que abarquen mayor cantidad de contenidos, en los cuales los ejercicios tengan vinculación con la práctica.

Bibliografía

- Acha, E., Agelidis, V. G., Anaya-Lara, O., & Miller, T. J. E. (2002). *Power Electronic Control in Electrical Systems*: Elsevier.
- Addine, F., & Garcia, G. A. B. (2017). Evaluación de la calidad en las instituciones de educación superior cubanas: un reto a certificar. *Congreso Universidad*, 6(1).
- Adriana, C. B. M. (2019). Los materiales Didácticos en el Proceso de Enseñanza de las Ciencias Sociales. *Unidad académica de Ciencias Sociales*.
- Aguilar, R. M. F. (2006). La guía didáctica un material educativo a promover el aprendizaje Autónomo. *Universidad Técnica de Loja*. Ecuador
- Alexander , C. K., & Sadiku, M. O. N. (2012). *Fundamentals of Electric Circuits* (5th ed.).
- Amador, E. M. (1993). *Electrotecnia Básica. Problemas resueltos y propuestos*: Editorial Pueblo y Educación.
- Amador, E. M. (2005). *Electrotecnia Básica*: Editorial Félix Varela.
- Artola, M. L. P., tarifa, L. L., & Finalé, L. C. (2019). Planes de Estudio E en la Educación Superior Cubana una mirada Desde la Educación Continua. *Universidad y Sociedad*, 11(2), 364-371.
- Constitución de la República de Cuba*. (2019). *Documento Gubernamental*.
- de Armas, M. T., & Gómez, J. S. Temas fundamentales de electrocténia aplicada.
- Manrique, A. M. O., & Galleno, A. M. H. (2012). El material didáctico para la construcción de aprendizajes significativos. *Colombiana de ciencias sociales*, 4(1).
- Ministério de la Enseñanza Superior. (2017). *Documento base Para el Diseño de los Planes de Estudio E*. Cuba.
- Obregón, C. T., Pacheco, D. C., Pando, G. A. J., Pérez, T. M., & Camargo, M. F. J. (2007). El estudio independiente como componente esencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Ciencias Médicas.*, 11(4).
- Olmos, G., Ruiz, M. p. T., Calleros, L., Alicia, M. C., de Frutos, S., Ospina, R., & Rodriguez, M. P. (2014). Elaboración y empleo de materiales didácticos para la mejora de la enseñanza práctica *Revista universitaria y Sociedad del Conocimiento*, 11(1).

- Partido Comunista de Cuba. (2017). *Lineamiento de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el Período 2016-2021*. Cuba.
- Pérez, L. M., & Fuentes, H. C. G. (2018). Fundamentos de la Gestión de la Calidad en los Procesos Formativos en las Universidades. *Opuntia Brava*, 10(2).
- Pérez, R. G., López, M. G., & Cruz, J. R. M. (2017). Los sistemas de tareas docentes y el estudio individual de los estudiantes. *Revista Dilemas contemporáneos: Educación Política y Valores*, 3(12).
- Rodriguez, M. J., Estrada, S. I., & Yoel, R. P. (2012). La dirección del estudio individual de los estudiantes universitario una necesidad en el accionar de la comunidad universitaria *Revista Congreso Universitario*, 1(3).
- Romero, A. L., & Crisol, E. M. (2012). Las guías de aprendizaje Autónomo como Herramienta Didáctica de Apoyo a la Docencia. *Escuela Abierta*, 15, 9-31.
- Svoboda, A. J., & Dorf, C. R. (2014). *Introduction to Electric Circuits* (9th ed.): Wiley.

Anexos

Anexo 1: Material complementario propuesto

Parte 1 - Circuitos monofásicos de corriente alterna

1.1- Operaciones con números complejos

Ejercicio 1 - Evalúe las siguientes expresiones y exprese el resultado en forma polar:

a) $4 \cdot (8 - j8)$

b) $4\angle 5^\circ - 2\angle 15^\circ$

c) $(2 + j9) - 5\angle 0^\circ$

d) $\frac{-j}{10 + 5j} - 3\angle 40^\circ + 2$

e) $(10 + j5) \cdot (10 - j5) \cdot (3\angle 40^\circ) + 2$

f) $\frac{2 + j3}{1 + 8\angle 90^\circ} - 4$

g) $\left(\frac{10\angle 25^\circ}{5\angle -10^\circ} + \frac{3\angle 15^\circ}{3 - j5} \right) j2$

h) $\left[\frac{(1 - j)(1 + j) + 1\angle 0^\circ}{-j} \right] \cdot (3\angle -90^\circ) + \frac{j}{5\angle -45^\circ}$

Ejercicio 2 - Realiza las siguientes operaciones con números complejos y expresa el resultado en forma rectangular y polar:

a) $\frac{60\angle 45^\circ}{7,5 - j10} + j2$

b) $\frac{32\angle -20^\circ}{(6 - j8) \cdot (4 + j2)} + \frac{20}{-10 + j24}$

c) $20 + (16\angle -50^\circ) \cdot (5 + j12)$

$$d) 5\angle 30^\circ \left(6 - j8 + \frac{3\angle 60^\circ}{2 + j} \right)$$

$$e) \frac{(10\angle 60^\circ) \cdot (35\angle -50^\circ)}{(2 + j6) - (5 + j)}$$

$$f) \frac{2 + j3}{1 - j6} + \frac{7 - j8}{-5 + j11}$$

$$g) \frac{(5\angle 10^\circ) \cdot (10\angle -40^\circ)}{(4\angle -80^\circ) \cdot (6\angle 50^\circ)}$$

$$h) \frac{(5 - j6) - (2 + j8)}{(-3 + j4) \cdot (5 - j) + (4 - j6)}$$

$$i) \frac{(240\angle 75^\circ + 160\angle -30^\circ) \cdot (60 - j80)}{(67 + j84) \cdot (20\angle 32^\circ)}$$

1.3. Trabajo con fasores

Ejercicio 3 - Transforma los siguientes sinusoides en fasores:

$$a) -20\cos(4t - 135^\circ)$$

$$b) 8\sin(20t - 30^\circ)$$

$$c) 20\cos(2t) + 15\sin(2t)$$

Ejercicio 4 - Obtener los sinusoides correspondientes a cada uno de los siguientes fasores:

$$a) V_1 = 60\angle 15^\circ V, \omega = 1\text{rad/s}$$

$$b) V_2 = 6 + j8V, \omega = 40\text{rad/s}$$

$$c) I_1 = 2,8e^{-j\pi/3} A, \omega = 377\text{rad/s}$$

$$d) I_2 = -0,5 - j1,2A, \omega = 10^3 \text{ rad/s}$$

Ejercicio 5 - Dos voltajes v_1 y v_2 aparecen en serie, de modo que su suma es

$$v = v_1 + v_2. \text{ Si } v_1 = 10\cos(50t - \pi/3)V \text{ y } v_2 = 12\cos(50t + 30^\circ)V, \text{ encuentre } v.$$

Ejercicio 6 - Usando fasores, encuentra:

a) $3\cos(20t + 10^\circ) - 5\cos(20t - 30^\circ)$

b) $40\sin 50t + 30\sin(50t - 45^\circ)$

c) $5\cos(2t + 15^\circ) - 4\sin(2t - 30^\circ)$

d) $8\sin t + 4\cos(t + 50^\circ)$

f) $20\sin 400t + 10\sin(400t + 60^\circ) - 5\sin(400t - 20^\circ)$

Ejercicio 5- Aplique el análisis de fasor para evaluar las siguientes expresiones:

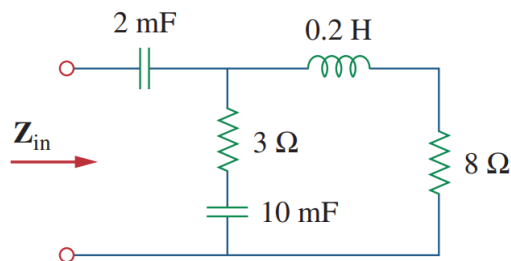
a) $v = [110\sin(20t + 30^\circ) + 220\cos(20t - 90^\circ)]V$

b) $i = [30\cos(5t + 60^\circ) - 20\sin(5t + 60^\circ)]A$

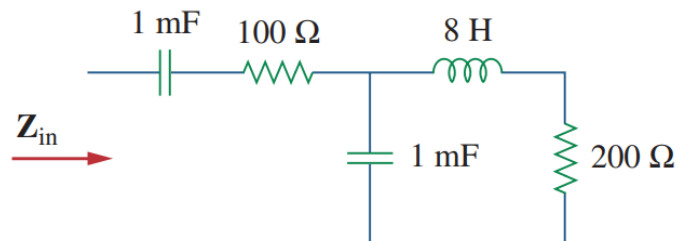
1.4. Cálculo de impedancia equivalente

Ejercicio 6 – Encuentre la impedancia de entrada del circuito en la figura. Suponga que el circuito opera a $\omega = 60\text{rad/s}$.

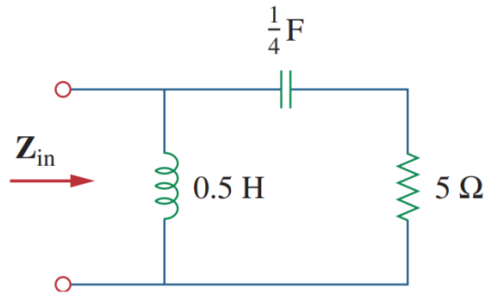
a)



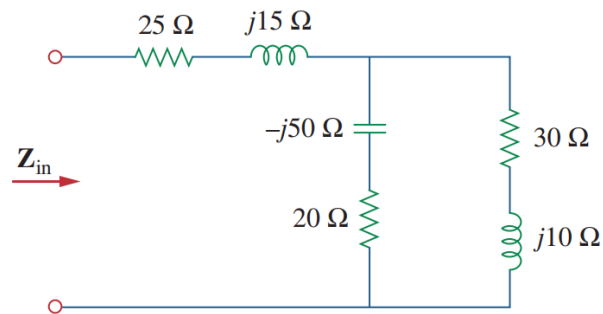
b)



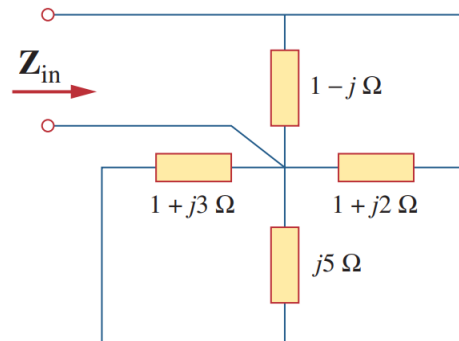
c)



d)

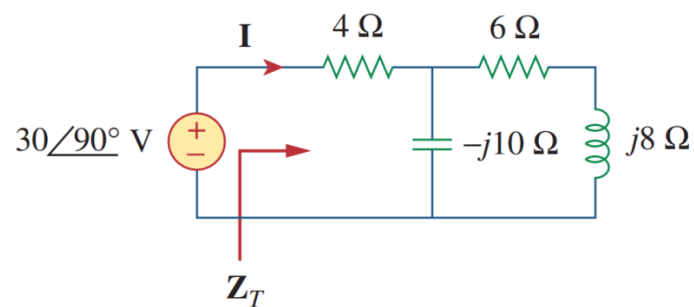


e)

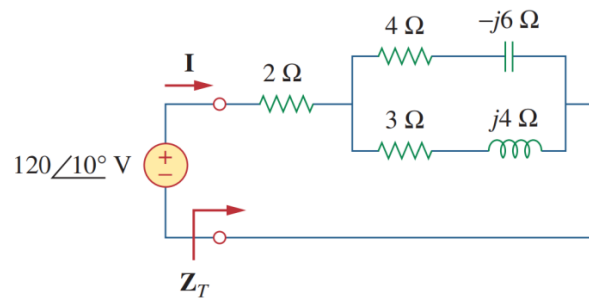


Ejercicio 7 - Encuentre Z_T , I , ó V_{ab} en los circuitos de las siguientes figuras según corresponda. Considere la frecuencia $f = 60 \text{ Hz}$.

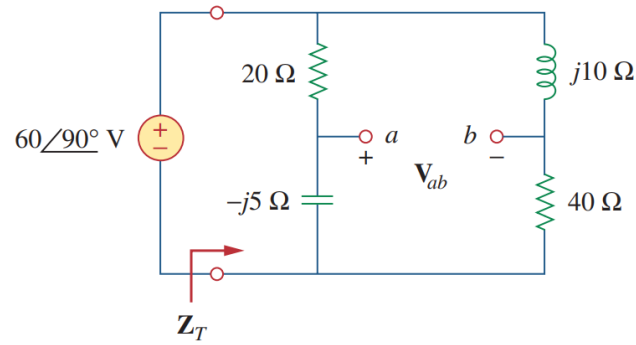
a) Z_T y I



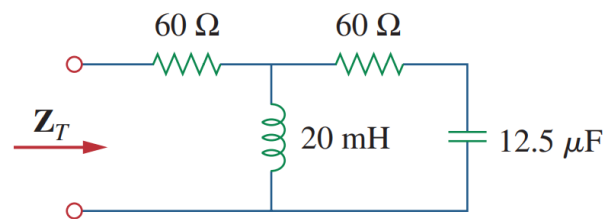
b) Z_T y I



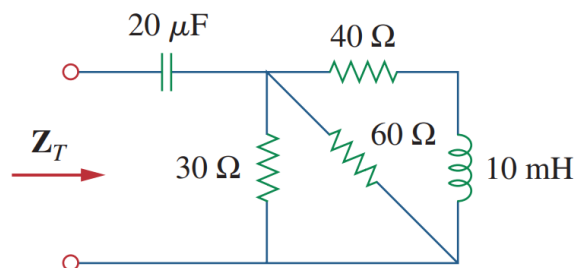
c) Z_T y V_{ab}



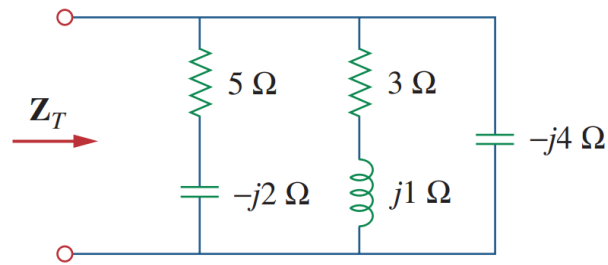
d) Z_T



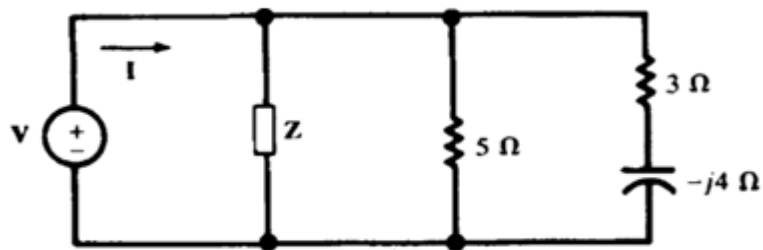
e) Z_T



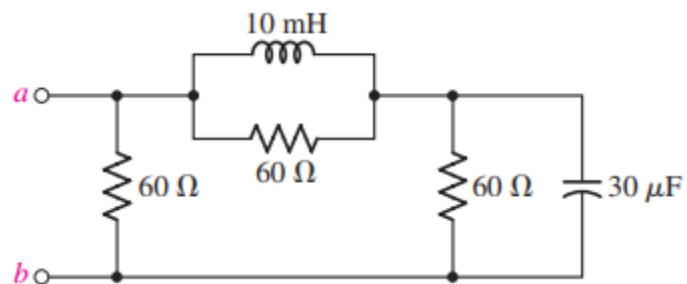
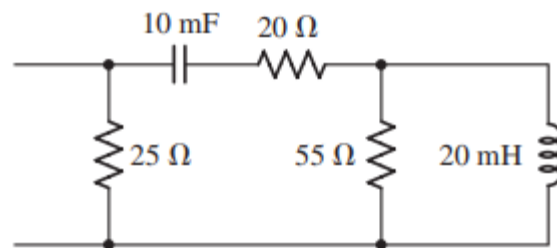
f) Z_T



Ejercicio 8 - Determinar Z en el circuito paralelo de la figura , si $V = 50\angle 30^\circ \text{ V}$ e $I = 27,9\angle 57,8^\circ \text{ A}$.

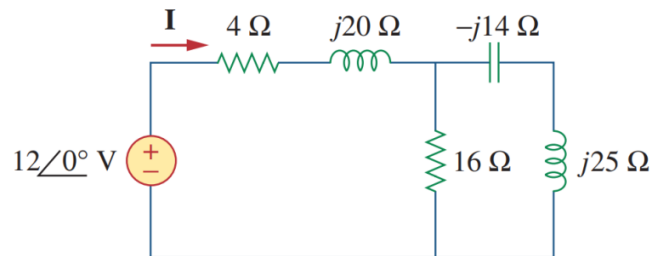


Ejercicio 9 - Determine la impedancia equivalente para los circuitos de la siguiente figura.

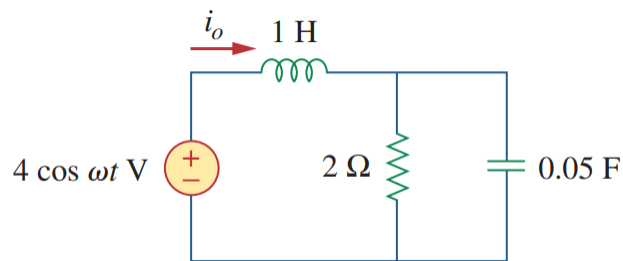


Ejercicio 10 - Para los circuitos que se muestran a continuación, busque la impedancia equivalente y use este resultado para encontrar la corriente que consume el circuito.

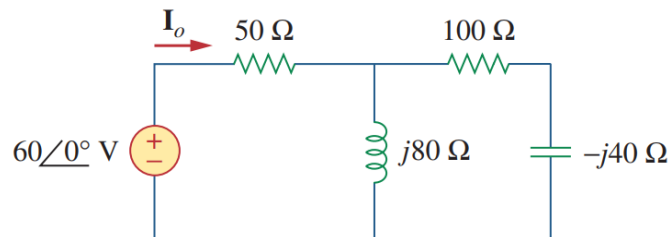
a) $\omega = 10 \text{ rad/s}$.



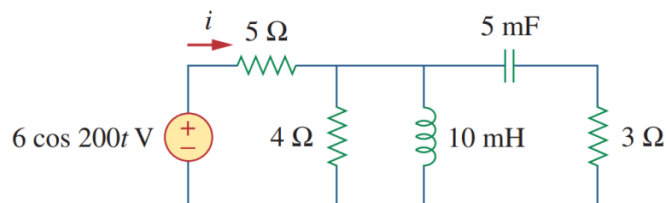
b) $\omega = 5 \text{ rad/s}$



c)



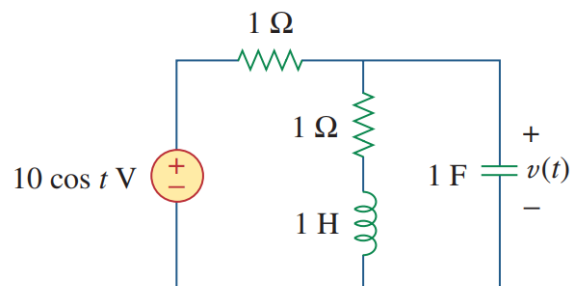
d)



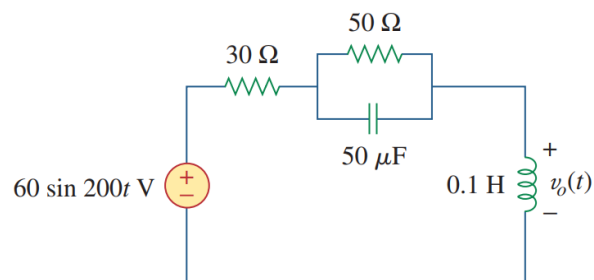
1.5. Resolución de circuitos RLC

Ejercicio 11 - En los circuitos siguientes determine las variables pedidas:

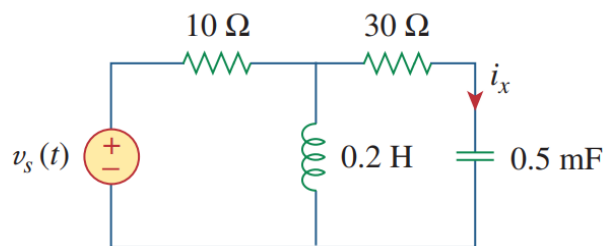
a) $v(t) = ?$



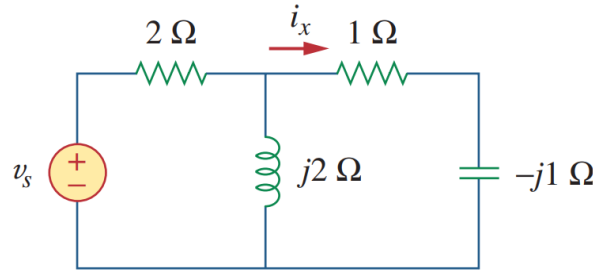
b) $v_o(t) = ?$



c) $i_x(t) = ?$ dado que $v_s(t) = 20 \sin(100t - 40^\circ)$



d) $v_s(t) = ?$ dado que la corriente i_x a través de la resistencia de 1Ω es $0,5 \sin 200t \text{ A}$

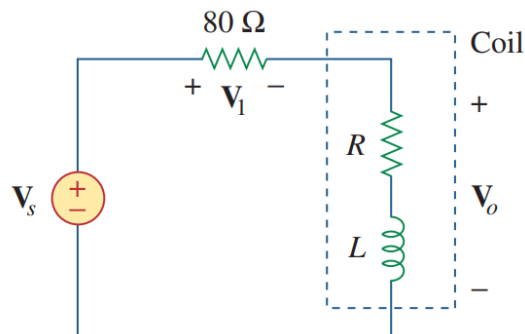


Ejercicio 12 - Una bobina con impedancia $8 + j6\Omega$ está conectada en serie con una reactancia capacitiva X . La combinación en serie está conectada en paralelo con una resistencia R . Dado que la impedancia equivalente del circuito resultante es $5\angle 0^\circ\Omega$, encuentre el valor de R y X .

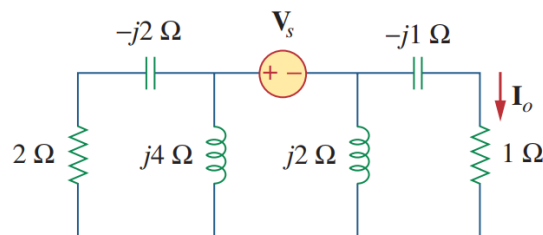
Ejercicio 13 - Una bobina industrial se modela como una combinación en serie de una inductancia L y una resistencia R , como se muestra en la figura. Un voltímetro de corriente alterna mide solo la magnitud, las siguientes mediciones se toman a 60Hz cuando el circuito opera en estado estable:

$$|V_s| = 145\text{V}, \quad |V_1| = 50\text{V}, \quad |V_o| = 110\text{V}$$

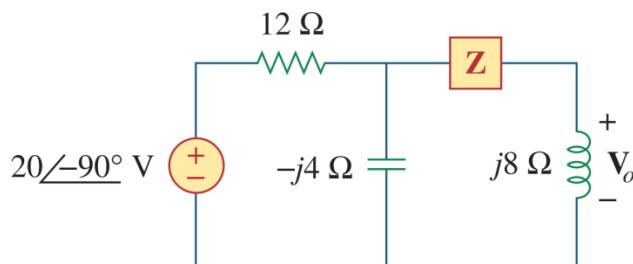
Usa estas medidas para determinar los valores de L y R .



Ejercicio 14 - En el circuito de la figura, busque V_s si $I_o = 2\angle 0^\circ\text{A}$.



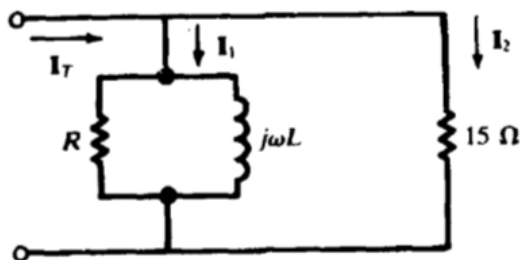
Ejercicio 15 - Encuentre la impedancia en la red de la figura, dado que $V_o = 4\angle 0^\circ V$.



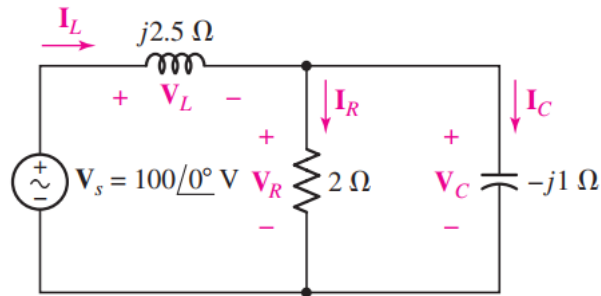
Ejercicio 16 - Un circuito serie con $R = 10\Omega$ y $C = 40\mu F$ tiene una tensión aplicada $v(t) = 500\cos(2500t - 20^\circ)(V)$. Determinar la intensidad de la corriente por el circuito.

Ejercicio 17 - Sean tres impedancias conectadas en serie: $Z_1 = 3\angle 45^\circ \Omega$, $Z_2 = 10\sqrt{2}\angle 45^\circ \Omega$, $Z_3 = 5\angle -90^\circ \Omega$. Determinar la tensión aplicada V , si la tensión entre los extremos de $Z_1 = 27\angle -10^\circ V$.

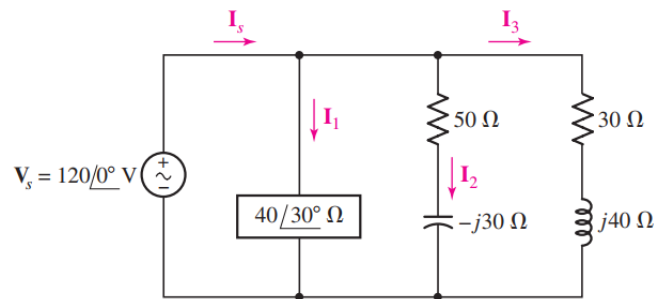
Ejercicio 18 - En el circuito de la figura se conocen los valores de las intensidades de corriente a 60Hz : $I_T = 29,9A$, $I_1 = 22,3A$ e $I_2 = 8A$. Obtener las constantes R y L del circuito.



Ejercicio 18 - Calcule los valores de I_L, I_R, I_C, V_L, V_R y V_C para el circuito que se muestra en la figura.

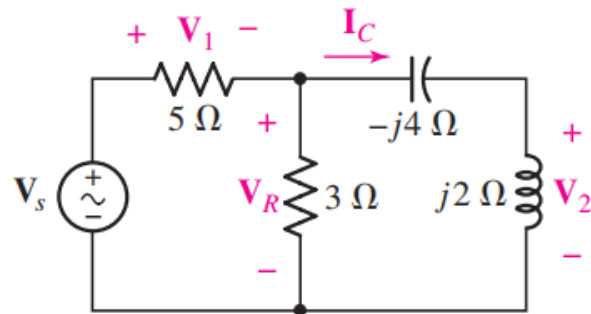


Ejercicio 19 - En el circuito de la figura, encuentre los valores para I_1 , I_2 e I_3 .



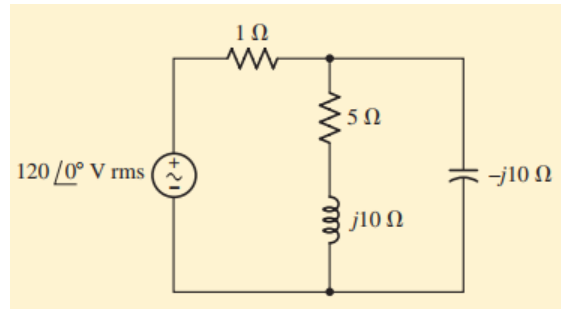
Ejercicio 20 - La fuente de voltaje V_s en la figura se elige de manera que $I_C = 1\angle 0^\circ$ A.

Determine los valores de V_1 , V_2 , V_s y V_R .

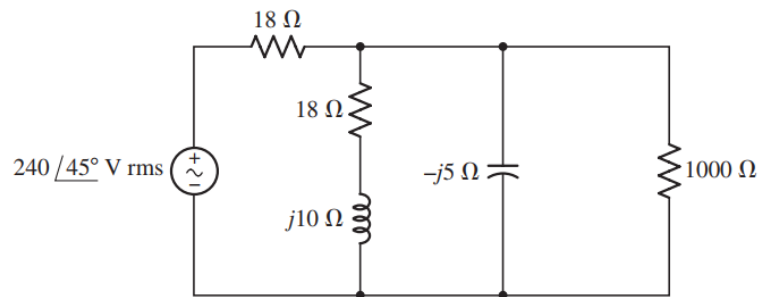


Parte 2 - Potencia en circuitos monofásicos de corriente alterna

Ejercicio 21 - Calcule la potencia consumida por el siguiente circuito:

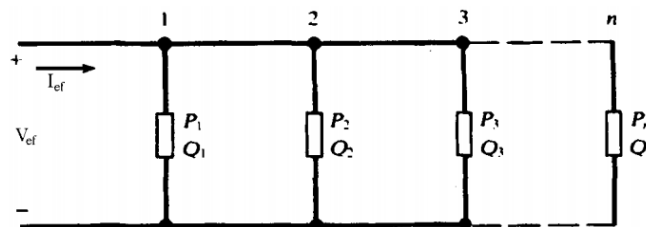


Ejercicio - 22 Determine la potencia activa y reactiva absorbida por cada componente pasivo en el circuito de la figura, y el factor de potencia en el cual la fuente está operando.



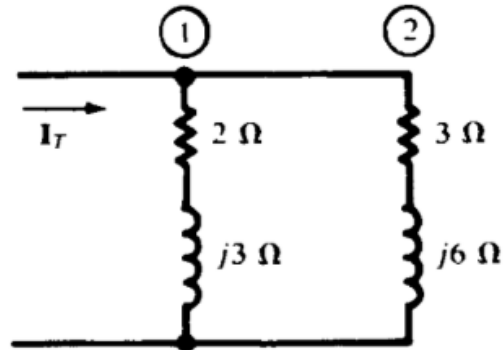
Ejercicio - 23 Las impedancias $Z_1 = 5,83 \angle -59^\circ \Omega$ y $Z_2 = 8,94 \angle 63,43^\circ \Omega$ están conectadas en serie y por ellas circula una intensidad de corriente de valor eficaz 5A. Determinar los valores totales de las potencias que consumen ambas impedancias.

Ejercicio 24 - Se conectan tres cargas en paralelo a una línea de corriente alterna de 6kV, como se ve en la figura. Sabiendo que $P_1 = 10kW$, $fp_1 = 1$; $P_2 = 20kW$, $fp_2 = 0,5$ en retraso; $P_3 = 15kW$, $fp_3 = 0,6$ en retraso, calcular P_T , Q_T , S_T , fp_T y la intensidad de corriente I_{ef} .

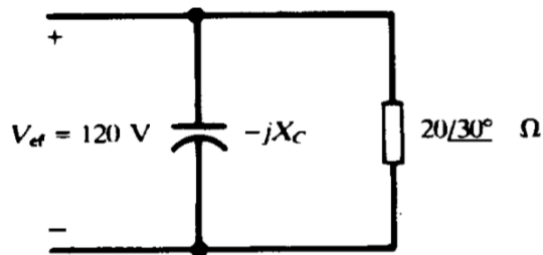


Ejercicio 25 - Determinar las potencias que consumen tres cargas conectadas en paralelo: carga #1, 250VA , $fp = 0,5$ en retraso; carga #2, 180W $fp = 0,80$ en adelanto; carga #3, 300VA , 100VAR (inductiva).

Ejercicio 26 - Obtener el triángulo de potencias y la intensidad de corriente total en el circuito en paralelo de la figura, si en la rama 2, $S_2 = 1490\text{VA}$.

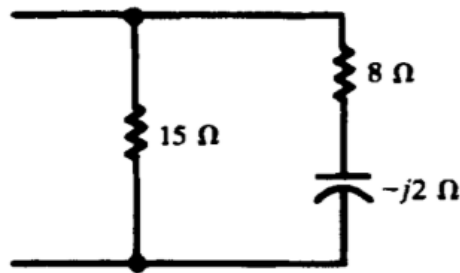


Ejercicio 27 - Calcular la capacidad C necesaria para corregir el factor de potencia a $0,95$ en retraso en el circuito de la figura, si la tensión eficaz de 120V tiene una frecuencia de 60Hz .



Ejercicio 28 - Un circuito con dos ramas en paralelo, con $Z_1 = 10\angle 0^\circ \Omega$ y $Z_2 = 8\angle -30^\circ \Omega$, consume una intensidad de corriente total $i(t) = 7,07 \cos(\omega t - 90^\circ) \text{ (A)}$. Obtener las potencias totales.

Ejercicio 29 - Calcular la potencia activa que consumen las resistencias de 15Ω y 8Ω de la figura, si la potencia activa total consumida en el circuito es 2000W .



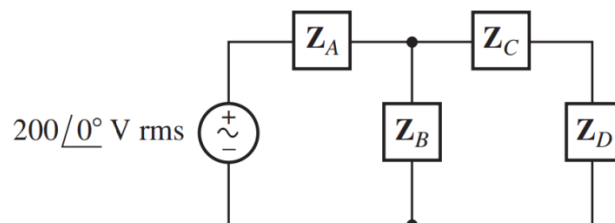
Ejercicio 30 - Obtener el triángulo de potencias total de las siguientes cargas conectadas en paralelo: carga #1, 15kW , $fp = 0,8$ en retraso; carga #2, 4kVA , 2kVAr (capacitiva); carga #3, 6kVA , $fp = 0,9$ en retraso.

Ejercicio 31 - Obtener el triángulo de potencias total de las siguientes cargas conectadas en paralelo: carga #1, 200VA , $fp = 0,7$ en retraso; carga #2, 350VA , $fp = 0,5$ en retraso; carga #3, 275VA , $fp = 1$.

Ejercicio 32 - Una carga Z consume 12kVA a un factor de potencia de $0,856$ retrasado desde una fuente sinusoidal rms 120V . Calcule:

- la potencia activa y reactiva entregadas a la carga,
- la corriente máxima
- la impedancia de la carga.

Ejercicio 34 - Para el circuito de la figura, encuentre la potencia aparente entregada a cada carga y el factor de potencia en el que opera la fuente, si $Z_A = 5 - j2\Omega$, $Z_B = 3\Omega$, $Z_C = 8 - j4\Omega$ y $Z_D = 15\angle -30^\circ\Omega$.



Ejercicio 35 - Calcule la potencia S (en forma polar) de cierta carga si se sabe que (a) consume una potencia de 100W a factor de potencia $0,75$; (b) consume una

corriente $I = 9 + j5A$ cuando está conectado a la tensión $120\angle 32^\circ V$; (c) consume una potencia activa de $1000W$ y $10VAR$ de potencia reactiva y fp en adelanto; (d) consume una potencia aparente de $450W$ a un fp de 0,65 en atraso.

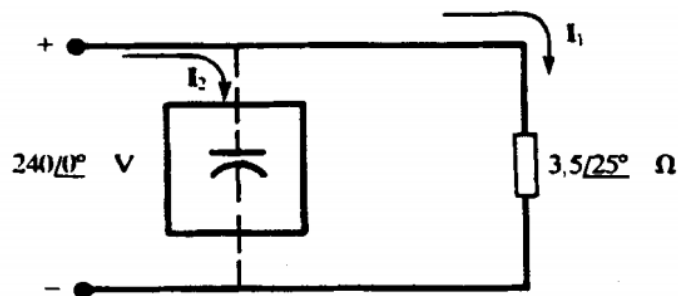
Ejercicio 36 - A una carga de $25kVA$ con un factor de potencia de 0,8 en atraso se conecta en paralelo un grupo resistivo de unidades de calor con factor de potencia unidad. ¿Cuántos kW consumen esas unidades, si el nuevo factor de potencia global es 0,85 en atraso?

Ejercicio 37 - Una carga de $65kVA$ con factor de potencia en retraso se combina con un motor síncrono de $25kVA$ que funciona con un $fp = 0,6$ en adelanto. Calcular el factor de potencia de la carga de $65kVA$, si el global es 0,85 en atraso.

Ejercicio 38 - Un motor de inducción de $2000kVA$ tiene un factor de potencia 0,8 en retraso. Se añaden varios motores síncronos con una potencia aparente total de $500kVA$ y funcionando con factor de potencia en adelanto. Si el factor de potencia global es 0,9 en atraso, ¿cuál es el factor de potencia de los motores síncronos?

Parte 3 - Corrección del factor de potencia

Ejercicio 39 - ¿Qué potencia reactiva capacitiva Q debe ser proporcionada por la batería de condensadores de la figura para corregir el factor de potencia hasta 0,95 en atraso?



Ejercicio 40 - Un circuito con una impedancia $Z = 10\angle 60^\circ \Omega$ tiene su factor de potencia corregido por una reactancia capacitiva en paralelo de 20Ω . ¿Qué porcentaje de reducción resulta en la intensidad de corriente?

Ejercicio 41 - Una carga de $P = 1000kW$ con un $fp = 0,5$ en retraso es alimentada por una fuente de $5kVA$. Se añade un condensador en paralelo para corregir el factor de potencia hasta $0,8$. Calcular la reducción en la intensidad de corriente suministrada por el generador.

Ejercicio 42 - Se ha corregido el factor de potencia de una carga de $300kW$, con un factor inicial de $0,65$ en atraso, hasta $0,9$ en atraso mediante condensadores en paralelo. ¿Cuántas $kVAr$ deben suministrar esos condensadores, y cuál es el porcentaje de reducción de la potencia aparente?

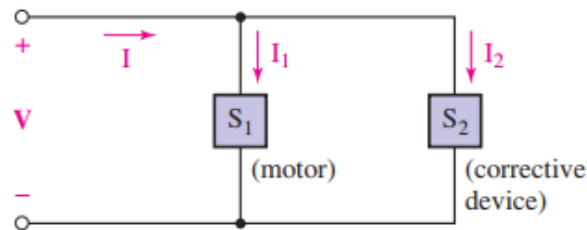
Ejercicio 43 - En el Ejercicio 24 se añade una cuarta carga Q_4 en paralelo con las otras tres, de forma que el factor de potencia total suba a $0,8$ mientras se mantiene el consumo de potencia activa total. Calcular Q_4 y la potencia aparente S resultante. Explicar el efecto sobre la corriente.

Ejercicio 44 - Una carga de $4500VA$ con un factor de potencia $0,75$ en atraso se alimenta desde una fuente a $60Hz$ con una tensión de valor eficaz $240V$. Determinar la capacidad a instalar en paralelo para corregir el factor de potencia hasta $0,9$ en atraso.

Ejercicio 45 - En el ejercicio anterior, ¿qué porcentaje de reducción en la intensidad de corriente de línea y en la potencia aparente total se consigue en el apartado a) ¿Qué porcentaje adicional se consigue en el apartado b)?

Ejercicio 46 - La instalación de una batería de condensadores de $20kVAr$ mejora el factor de potencia de una carga hasta $0,9$ en atraso. Determinar la potencia activa y reactiva antes de la instalación de los condensadores, si la potencia aparente final es $185kVA$.

Ejercicio 47 - Refiriéndose a la red representada en la figura, si el motor consume una potencia de $150\angle 24^\circ \text{ VA}$, (a) determine el fp en el que está funcionando la fuente; (b) determine la impedancia del dispositivo correctivo requerido para cambiar el fp de la fuente a 0,98 en atraso (c) ¿Es físicamente posible obtener un fp de la fuente en adelante? Explique.



Ejercicio 48 - Un transformador de 500kVA funciona a plena carga con un factor de potencia 0,6 en atraso. Se conecta una batería de condensadores que corrige el factor de potencia hasta 0,9 en atraso. Después de la corrección, ¿qué porcentaje de la potencia aparente nominal está proporcionando el transformador?

Parte 4 - Circuitos trifásicos balanceados

Ejercicio 49 - Un sistema trifásico balanceado con un voltaje de línea de 300V suministra una carga conectada en Y de 1200W en un fp de 0,8 en adelante. Encuentre la corriente de línea y la impedancia de carga por fase.

Ejercicio 50 - Determine la amplitud de la corriente de línea en un sistema trifásico con un voltaje de línea de 300V que suministra 1200W a una carga conectada en delta de fp 0,8 en atraso. Encuentre la impedancia por fase.

Ejercicio 51 - Determine la amplitud de la corriente de línea en un sistema trifásico con un voltaje de línea de 300V que suministra 1200W a una carga con fp de 0,8 en atraso conectada en Y.

Ejercicio 51 - Una carga equilibrada conectada en Y de $100 + j50\Omega$ está conectada a una balanza de fuente trifásica. Si la corriente de línea es de $42A$ y la fuente suministra $12kW$, determinar:

- a) el voltaje de línea;
- b) La tensión de fase.

Ejercicio 52 - Un sistema trifásico se construye a partir de una fuente equilibrada conectada en Y que funciona a $50Hz$ y tiene un voltaje de línea de $210V$, y cada fase de la carga equilibrada consume $130W$ con un factor de potencia principal de $0,75$.

- a) Calcule la corriente de línea y la potencia total suministrada a la carga.
- b) Si una carga puramente resistiva de 1Ω está conectada en paralelo con cada carga existente, calcule la nueva corriente de línea y la potencia total suministrada a la carga.

Ejercicio 53 - Un sistema trifásico balanceado está suministrando a una carga conectada en delta con $10kW$ a un factor de potencia de $0,7$. Si la tensión de fase es de $208V$ y la fuente funciona a $50V$.

- a) calcule la corriente de línea;
- b) determinar la impedancia de fase;
- c) calcule el nuevo factor de potencia y la nueva potencia total entregada a la carga si un inductor de $2,5H$ está conectado en paralelo con cada fase de la carga.

Ejercicio 54 - Si cada una de las tres fases en una carga conectada en delta balanceada está compuesta por un condensador de $10mF$ en paralelo con una resistencia 470Ω conectada en serie y una combinación de inductor de $4mH$, suponga un voltaje de fase de $400V$ a $50Hz$.

- a) Calcule la corriente de fase;
- b) la corriente línea;
- c) la tensión de línea;

d) el factor de potencia en el que opera la fuente;

e) La potencia total entregada a la carga.

Ejercicio 55 - Una carga trifásica debe ser alimentada por una fuente conectada en Y que tenga un voltaje de fase de $400V$ y que funcione a $50Hz$. Cada fase de la carga consiste en una combinación paralela de una resistencia de 500Ω , un inductor de $10mH$ y un condensador de $1mF$.

a) Calcule la corriente de línea, el voltaje de línea, la corriente de fase y el factor de potencia de la carga si la carga también está conectada en Y.

b) Considere la carga de modo que esté conectada en delta y encuentre las mismas cantidades solicitadas en el inciso (a).

Ejercicio 56 - Dos cargas en delta están conectadas en paralelo y son alimentadas por un sistema balanceado conectado en Y. La menor de las dos cargas consume $10kVA$ a un factor de potencia en atraso de $0,75$, y la mayor consume $25kVA$ a un factor de potencia en adelanto de $0,80$. El voltaje de línea es de $400V$. Calcule:

a) el factor de potencia en el que está funcionando la fuente;

b) la potencia total extraída por las dos cargas;

c) La corriente de fase de cada carga.

Ejercicio 57 - A un sistema de trifásico balanceado se conectan dos cargas en Δ conectadas en paralelo. La carga 1 consume $40kVA$ a un fp de $0,8$ en atraso, mientras que la carga 2 consume $24kW$ a fp $0,9$ en adelanto. Suponga que no hay resistencia de línea y que el voltaje de línea es de $440V$. Encontrar: (a) la potencia total consumida por las cargas; (b) la corriente de fase para la carga 1; (c) la corriente de fase para la carga 1; (d) La corriente de línea.

Ejercicio 58 - Tres cargas balanceadas conectadas en Y se instalan en un sistema trifásico de tres cables balanceado. La carga 1 consume una potencia total de $6kW$ a fp unitario, la carga 2 consume $10kVA$ a fp de 0.96 en atraso y la carga 3 demanda

$7kW$ a fp de 0.85 en atraso. Si la tensión de fase en las cargas es de $135V$ y cada línea tiene una resistencia de $0,1\Omega$, encuentre: (a) la potencia total consumida por las cargas; (b) el fp combinado de las cargas; (c) la potencia total perdida en las líneas; (d) la tensión de fase en la fuente; (e) el factor de potencia en el que opera la fuente.

Parte 5 - Transformadores eléctricos de potencia

Ejercicio 59 - Un transformador monofásico de $50kVA$ posee una tensión primaria de $440V$ y el secundario es de $220V$. Determine:

- d) La corriente primaria I_1
- e) La corriente secundaria I_2
- f) La relación de transformación

Ejercicio 60 - Un transformador monofásico de $100kVA$, $40/220V$, alimenta una carga de $80kVA$ con un factor de potencia de 0,8 en atraso. Si las pérdidas nominales son:

$$\Delta P_{nucleo} = 0.332kW \text{ y } \Delta P_{CU} = 1.18kW$$

Determine:

- a). Las corrientes nominales primarias y secundarias
- b). La eficiencia en el estado de carga actual

Ejercicio 61 - Un transformador trifásico con una potencia aparente nominal de $1250kVA$ y voltajes primario y secundario de $13800/480V$, alimenta una carga de $725kVA$ con un factor de potencia de 0,9 en atraso. Determine:

- a) Las corrientes nominales primaria y secundaria.
- b) Las pérdidas si trabaja con una eficiencia de 0,97

Ejercicio 62 - Un transformador monofásico de $100kVA$, $440/220V$ alimenta una carga de $80kVA$ con un factor de potencia de 0,8. Si las pérdidas nominales de núcleo y de cobre son $0,9kW$ y $1,2kW$ respectivamente, determine:

- a) Las corrientes nominales primarias y secundarias
- b) La eficiencia en el estado de carga actual

Ejercicio 63 - Un transformador de $1,5kVA$, $440/110V$ fue sometido a pruebas obteniéndose los resultados siguientes:

$$P_{núcleo} = 25W \quad P_{cu} = 40W$$

Calcular:

- a) Corriente nominal por el secundario del transformador.
- b) Eficiencia a $1/4$, $1/2$ y plena carga para factor de potencia igual a 1.
- c) Valor de los kVA en condiciones de máxima eficiencia.
- d) Valor máximo de eficiencia.

Ejercicio 64 - Un transformador cuyos datos de chapa son los siguientes: tensiones primarias y secundarias de $2300V$ y $230V$, respectivamente, y pueden suministrar $25kVA$ desde su devanado secundario. Si este transformador se suministra con $2300V$ y está conectado a cargas secundarias que requieren $8kW$ a fp unitario y $15kVA$ a $fp = 0.8$ en atraso.

- a) ¿cuál es la corriente por primario?
- b) ¿Cuántos kilovatios puede suministrar el transformador a una carga que funciona a $fp = 0.95$ en atraso?

Ejercicio 65 - En un sistema industrial se monta un transformador monofásico de $15kVA$, $480/240V$ con unas pérdidas de núcleo de $0,084kW$ y pérdidas de cobre nominales de $0,251kW$. Calcule:

- a) Corriente nominal por el secundario del transformador.
- b) Eficiencia a $1/4$, $1/2$ y plena carga para factor de potencia igual a 1.
- c) Valor de los kVA para condiciones de máxima eficiencia.
- d) Valor de la máxima eficiencia.

Ejercicio 66 - Un transformador trifásico de $1000kVA$, $6300/480V$, alimenta una carga de $600 + j200kVA$.

- a) Calcule la relación de transformación.
- b) Calcule la corriente nominal por cada devanado.
- c) A qué porcentaje de carga se encuentra trabajando el transformador?

Ejercicio 67 - Un Transformador de $50kVA$; $4160/440V$; $60Hz$ tiene las siguientes pérdidas: $P_{núcleo} = 700W$ y $\Delta P_{cu} = 1,9W$.

- a) Calcule la eficiencia del transformador cuando alimenta una carga igual a la nominal, a factor de potencia unitario.
- b) Calcule la eficiencia del transformador cuando alimenta una carga de $400kW$ a factor de potencia $0,9$ en atraso.
- c) Diga el valor de las pérdidas de cobre para la condición de máxima eficiencia.

Parte 6 - Motores trifásicos de inducción

Ejercicio 68 - Un motor de inducción con una potencia de salida de $1,5kW$ tiene un rendimiento del 85% . A plena carga, el factor de potencia es $0,8$ en atraso. Obtener la potencia de entrada al motor.

Ejercicio 69 - Un motor asincrónico de 4 polos y $60Hz$ se mueve a $1785rpm$ cuando se encuentra a plena carga. Calcular:

- a) Velocidad sincrónica del motor
- b) Deslizamiento

Ejercicio 70 - El campo magnético del estator de un motor asincrónico gira a una velocidad de $3600rpm$, mientras que el rotor del propio motor se mueve a una velocidad de $3550rpm$ a plena carga. La fuente de alimentación mantiene una tensión en los terminales del estator del motor de $440V$ a $60Hz$. Determinar:

- a) Número de polos del motor.

- b) Deslizamiento a plena carga.
- c) Frecuencia de la fem inducida en los conductores del rotor cuando este está detenido.

Ejercicio 72 - Un motor trifásico de jaula de ardilla, 440 V , 6 polos, 60 Hz , 1185 rpm y 33 A , tiene sus devanados de fase interconectados en estrella. En condiciones nominales el motor consume de la fuente de alimentación 20 kW . Las pérdidas de fricción, batimiento y núcleo (P_{fbn}) totalizan 850 W , mientras que la pérdida de cobre es de 885 W . En condiciones nominales, calcule:

- a) Deslizamiento (s)
- b) Factor de potencia
- c) Potencia de salida
- d) Momento

Ejercicio 73 - Un motor trifásico de jaula de ardilla posee los datos nominales siguientes: $P_{nom} = 27\text{ kW}$, $V_{nom} = 220\text{ V}$, $f = 60\text{ Hz}$, $p = 4$, conexión delta. Cuando el motor opera bajo condiciones de plena carga, toma una corriente de línea de $85,66\text{ A}$ de la fuente de alimentación con un deslizamiento nominal $s_{nom} = 0,028$ y una eficiencia en dichas condiciones $\eta = 94\%$. Calcular en condiciones nominales:

- a) Momento de salida
- b) Pérdidas totales
- c) Factor de potencia en los terminales de entrada al motor.

Ejercicio 74 - El campo sincrónico de un motor asincrónico trifásico de 60 Hz gira a una velocidad de 1200 rpm , mientras que el rotor se mueve a 1180 . Determinar:

- a) Número de polos del motor
- b) Porcentaje de deslizamiento

Ejercicio 75 - Un motor asincrónico trifásico de 440 Hz y 4 polos, posee un deslizamiento en condiciones de plena carga de 2% . Calcular:

- a) Velocidad sincrónica del campo magnético del estator
- b) Velocidad del rotor a plena carga
- c) Frecuencia de la fem inducida en los conductores del rotor cuando el motor se mueve a plena carga.

Ejercicio 76 - Un motor trifásico de inducción de $10kW$, 880 rpm , $220V$,eficiencia 90% y factor de potencia $0,8$ en atraso tiene sus devanados de estator conectados en delta. Calcular para condiciones nominales:

- a) Potencia de entrada
- b) Corriente de línea
- c) Corriente circulante por cada devanado de fase
- d) Momento electromagnético

Ejercicio 77 - Un motor de $22kW$, 1750 rpm , 4 polos, $60Hz$, $440V$, 92% de eficiencia y con un factor de potencia de $0,89$, acciona un ventilador de tiro forzado de un generador de vapor en una industria. Determine:

- a) El deslizamiento
- b) Las pérdidas de potencia
- c) La corriente nominal
- d) El momento nominal

Ejercicio 78 - Un motor de $10kW$ demanda una corriente de $16A$ cuando se alimenta de una fuente de $440V$. $60Hz$. Si la máquina es de 4 polos y gira a 1725 rpm . Determine:

- a) El torque nominal
- b) El torque si el voltaje se reduce a $220V$.

Ejercicio 79 - Un motor trifásico de $55kW$ demanda una corriente de $89A$ cuando es alimentado de una fuente de $440V$. $60Hz$. Si en estas condiciones la máquina posee un factor de potencia de $0,86$ y gira a 1725 rpm . Determine:

- a) El torque nominal

- b) El torque si el voltaje se reduce a $415V$.
- c) La eficiencia con que está operando para esas condiciones

Ejercicio 80 - Un motor trifásico asincrónico de jaula de ardilla tiene en condiciones nominales los valores siguientes:

$$P = 20kW , 440V , 60Hz , 6 \text{ polos, conexión } Y, \text{ eficiencia} = 0,91$$

En esas condiciones el motor toma una corriente de línea de $33,5A$. y su deslizamiento es de $0,025$. Calcule:

- a) La velocidad nominal
- b) Momento de salida nominal
- c) Pérdidas totales
- d) Factor de potencia

Ejercicio 81 - Un motor asincrónico trifásico de potencia nominal $22,5kW$ demanda una corriente de $35A$ cuando es alimentado de una fuente de $440V$ y $60Hz$. Si en estas condiciones la máquina posee un factor de potencia de $0,89$ y gira a $1725rpm$. Determine:

- a) El momento que desarrolla en $N \cdot m$
- b) Las pérdidas y la eficiencia con que está operando para esas condiciones.
- c) El momento si la tensión se reduce a $390V$.

Ejercicio 82 - Un motor eléctrico posee una placa similar a la mostrada en la figura. A partir de la información dada en la misma calcule:

- a) Momento nominal del motor.
- b) Eficiencia nominal.
- c) La capacidad en $kVAr$ que debe conectarse en paralelo con el motor para elevar el factor de potencia hasta $0,92$.

Typ 250M			
3~	Mot.	Nr.	IM B3
Δ	440	V	102 A
S1	55	kW	cos φ 0,86
1775		U/min	60 Hz
Iso.-Kl. F	IP 44	t	
IEC34-1 / VDE 0530			

Ejercicio 83 - Un motor trifásico asíncrono jaula de ardilla tiene los siguientes datos de chapa: 20kW ; 440V ; 60Hz ; conexión estrella; 1190 rpm ; $\cos\varphi = 0,87$; 25A .
Calcule:

- Número de polos.
- Deslizamiento.
- Potencia de entrada.
- Eficiencia del motor.
- Pérdidas Totales.
- Momento de Salida.

Ejercicio 84 - Un motor trifásico asíncrono jaula de ardilla tiene los siguientes datos de chapa: 27kW ; 220V ; 60Hz ; conexión delta; 91% de eficiencia; 3445 rpm y $\cos\varphi = 0,85$. Calcule:

- Número de polos.
- Deslizamiento o Resbalamiento.
- Potencia de entrada.
- Pérdidas Totales.
- Momento de Salida.
- Corriente que toma el motor.