

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética



TRABAJO DE DIPLOMA

Guía de estudio de la asignatura Circuitos Eléctricos III para la carrera Ingeniería Eléctrica

Autor: Raúl Francisco Gorrin Martin

Tutores: MSc. Juan Curbelo Cancio

MSc. Alicia Hernández Maldonado

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética



TRABAJO DE DIPLOMA

Guía de estudio de la asignatura Circuitos Eléctricos III para la carrera Ingeniería Eléctrica

Autor: Raúl Francisco Gorrin Martin

Tutores: MSc. Juan Curbelo Cancio

MSc. Alicia Hernández Maldonado

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizo a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

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

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

DEDICATORIA

Es un honor para mí el poder dedicar el fruto de este trabajo que es la culminación de mi propósito como estudiante.

- A mis padres
- A mis tutores
- A mis compañeros de trabajo y amigos
- A todo aquellos presentes o no que de cierta forma aportaron su granito de arena para la realización de este trabajo y mi formación como ingeniero.

AGRADECIMIENTOS

La gratitud es el legítimo pago al esfuerzo ajeno, es reconocer que todo lo que somos es la suma del sudor de los demás, es tener conciencia de que un hombre solo no vale nada y la dependencia humana además de obligada es hermosa, por lo que le agradezco infinitamente a todas las personas que de una forma u otra brindaron su ayuda incondicional durante el desarrollo de este trabajo.

- A la Revolución por darme la oportunidad de formarme como profesional.
- A mis padres por su cariño y dedicación.
- A mis tutores Juan Curbelo Cancio y Alicia Hernández Maldonado por su experiencia, colaboración y dedicación en la elaboración de este trabajo.
- A mis profesores Avertano Hernández Stuart y Leonardo Rodríguez Jiménez por su ayuda en mi formación como profesional.
- A mi familia por confiar en mí.
- A mi esposa por su apoyo y dedicación que me ha brindado todo este tiempo.
- A todos mis compañeros de trabajo y amigos por su ayuda incondicional.

TAREA TÉCNICA

- Revisión y estudio de la bibliografía existente y materiales de estudio publicados en Internet, acerca de la elaboración de una guía de estudio para una asignatura o curso.
- Estudio de los contenidos fundamentales de la asignatura Circuitos Eléctricos III, que aparecen en los libros de texto, conferencias, clases prácticas y otros materiales empleados en la docencia.
- Elaboración de la guía de estudio para la asignatura Circuitos Eléctricos III de la carrera de Ingeniería Eléctrica, formada por Unidades Didácticas, correspondientes a los temas que forman parte del plan de estudio de la asignatura, dirigida en lo fundamental a los alumnos de la modalidad semipresencial.
- Estructuración adecuada de la tesis basándose en las orientaciones y normas aprobadas por el MES.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

Este trabajo presenta la guía de estudio de Circuitos Eléctricos III para la modalidad semipresencial de la carrera de Ingeniería Eléctrica, la cual se diseñó en su totalidad. Además contiene valoraciones sobre la enseñanza semipresencial, los recursos didácticos y las funciones, características y estructura de la guía de estudio; se tuvo en consideración, también, el programa de la asignatura correspondiente al Plan de Estudio D y el programa analítico existente. La guía de estudio se estructura en siete unidades didácticas, las que aparecen en este trabajo, así como los componentes estructurales generales de la guía.

La importancia del trabajo de diploma radica en la utilidad que ofrece como recurso didáctico para los alumnos que cursan la asignatura en la modalidad semipresencial y para los profesores como apoyo para la preparación de los encuentros presenciales.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. LA GUÍA DE ESTUDIO EN LOS CURSOS SEMIPRESENCIALES ...	5
1.1 Enseñanza semipresencial	5
1.2 Recursos didácticos en la enseñanza semipresencial	10
1.3 La guía de estudio	12
1.3.1 Características de la guía de estudio	14
1.3.2 Funciones de la guía de estudio	15
1.3.3 Estructura de la guía de estudio	16
1.4 Consideraciones finales del capítulo	24
CAPÍTULO 2. GUÍA DE ESTUDIO PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS III.....	26
2.1 Unidad didáctica 1. Circuitos Trifásicos desbalanceados.	27
2.1.1 Objetivos específicos	27
2.1.2 Requisitos previos.....	27
2.1.3 Introducción	27
2.1.4 Orientaciones para el estudio.....	27
2.1.5 Resumen.....	29
2.1.6 Ejercicios de autoevaluación	30

2.1.7	Solución de los ejercicios de autoevaluación	32
2.1.8	Materiales complementarios	32
2.1.9	Información sobre la próxima unidad didáctica	32
2.1.10	Bibliografía	33
2.2	Unidad didáctica 2. Método de las componentes simétricas.....	33
2.2.1	Objetivos específicos	33
2.2.2	Requisitos previos.....	33
2.2.3	Introducción	33
2.2.4	Orientaciones para el estudio	34
2.2.5	Resumen.....	34
2.2.6	Ejercicios de autoevaluación	40
2.2.7	Solución a los ejercicios resueltos	41
2.2.8	Materiales complementarios	42
2.2.9	Información sobre la próxima unidad didáctica	42
2.2.10	Bibliografía	42
2.3	Unidad Didáctica 3. Circuitos monofásicos no sinusoidales	42
2.3.1	Objetivos específicos	42
2.3.2	Requisitos previos.....	43
2.3.3	Introducción	43
2.3.4	Orientaciones para el estudio	43
2.3.5	Resumen.....	43
2.3.6	Ejercicios de autoevaluación	48
2.3.7	Solución a los ejercicios resueltos	51

2.3.8	Materiales complementarios	51
2.3.9	Información sobre la próxima unidad didáctica	51
2.3.10	Bibliografía	52
2.4	Unidad Didáctica 4. Circuitos trifásicos no sinusoidales.....	52
2.4.1	Objetivos específicos	52
2.4.2	Requisitos previos.....	52
2.4.3	Introducción.....	52
2.4.4	Orientaciones para el estudio.....	52
2.4.5	Resumen.....	53
2.4.6	Ejercicios de autoevaluación	56
2.4.7	Solución a los ejercicios resueltos	57
2.4.8	Materiales complementarios	58
2.4.9	Información sobre la próxima unidad didáctica	58
2.4.10	Bibliografía	58
2.5	Unidad Didáctica 5. La transformada de Fourier.....	58
2.5.1	Objetivos específicos	58
2.5.2	Requisitos previos.....	58
2.5.3	Introducción.....	59
2.5.4	Orientaciones para el estudio.....	59
2.5.5	Resumen.....	59
2.5.6	Ejercicios de autoevaluación	62
2.5.7	Solución a los ejercicios resueltos	63
2.5.8	Materiales complementarios	63

2.5.9	Información sobre la próxima unidad didáctica	64
2.5.10	Bibliografía	64
2.6	Unidad Didáctica 6. Transformada de Laplace.....	64
2.6.1	Objetivos específicos	64
2.6.2	Requisitos previos.....	64
2.6.3	Introducción	65
2.6.4	Orientaciones para el estudio.....	65
2.6.5	Resumen.....	65
2.6.6	Ejercicios de autoevaluación	71
2.6.7	Solución a los ejercicios resueltos	73
2.6.8	Materiales complementarios	73
2.6.9	Información sobre la próxima unidad didáctica	73
2.6.10	Bibliografía	73
2.7	Unidad Didáctica 7. Circuitos no lineales.....	74
2.7.1	Objetivos específicos	74
2.7.2	Requisitos previos.....	74
2.7.3	Introducción	74
2.7.4	Orientaciones para el estudio.....	74
2.7.5	Resumen.....	75
2.7.6	Ejercicios de autoevaluación	83
2.7.7	Solución a los ejercicios resueltos	84
2.7.8	Materiales complementarios	84
2.7.9	Bibliografía	84

2.8 Consideraciones finales del capítulo.....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
Conclusiones.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	89
Anexo I ELEMENTOS ESTRUCTURALES GENERALES DE LA GUÍA DE ESTUDIO	89

INTRODUCCIÓN

Los estudios de educación superior en Cuba después del triunfo de la Revolución Cubana y más aun después de la Reforma Universitaria de 1962, dieron un vuelco revolucionador en muchos aspectos, entre estos, la expansión de matrícula, aumento de centros de educación superior y diversificación de las modalidades de estudio. Con el comienzo de los Cursos para Trabajadores a inicios de la década del 70, se produce un proceso de transformación dirigido a un nuevo incremento del acceso a la educación superior.

La Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), que en ese entonces es una de las tres universidades del país, comienza a impartir cursos de nivelación, abrir carreras e incrementar las matrículas. En la rama tecnológica se abren un conjunto de carreras, entre ellas la de Ingeniería Eléctrica y más adelante antes de finalizar la década del 60 se abre el curso nocturno, que brinda posibilidad de estudios a trabajadores. Con el inicio del curso vespertino nocturno, comienza en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UCLV una primera versión de la modalidad semipresencial en la enseñanza universitaria. En el curso nocturno solamente se daba clases tres noches a la semana, por lo que algunos contenidos se orientan para su estudio y aprendizaje.

Posteriormente surgen los cursos por encuentros. Ambas modalidades, vespertino nocturno y por encuentros, se incluyen en lo que se denomina Cursos Regulares para Trabajadores. (Yee y Miranda, 2006)

Para Santos y Álvarez (2008)...“el comienzo de los Cursos para Trabajadores a inicios de la década del 70, se produce un proceso de transformación dirigido a un nuevo incremento del acceso a la educación superior”. (Santos y Álvarez: 2008: 396)

Estos cursos para trabajadores se imparten los fines de semana y para estos se comienzan a elaborar guías de estudio para cada asignatura, las que se modifican según se perfecciona el plan de estudio. Inicialmente se llaman cursos dirigidos, luego para trabajadores y actualmente por encuentro. La Educación Superior Cubana ha transitado por los planes de estudio siguientes: Plan de Estudio A; Plan de Estudio B; Plan de Estudio C, Plan de Estudio C modificado y actualmente Plan de Estudio D.

La disciplina Circuitos Eléctricos se imparte a todas las carreras de la rama eléctrica, es decir, Ingeniería en Automática, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e Ingeniería Biomédica. En el caso de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Las Villas se imparte para el curso regular diurno (CRD) y para el curso por encuentro (CPE), en este último solamente en las carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, que son las dos carreras donde se imparte esa modalidad de estudio.

Los circuitos eléctricos, para la formación del ingeniero de la rama eléctrica resultan esenciales pues proveen al alumno de las herramientas fundamentales para interpretar, aplicar, calcular, analizar otros fenómenos que ocurren en esa propia disciplina y las que le suceden que, en su mayoría, son propias de la profesión, de ahí la necesidad que el aprendizaje que alcance el alumno en dicha disciplina sea sólido.

En el caso de la carrera de Ingeniería Eléctrica se trabaja desde hace ya varios cursos en la elaboración de la guía de estudio de todas las asignaturas del currículo para esa modalidad de enseñanza. Con la implementación del Plan de Estudio D, los programas se modifican y hacen no adecuadas las guías de estudio existentes. Ellas son esenciales para los alumnos de los CPE, lo que lleva a declarar en este trabajo investigativo lo siguiente:

Problema científico

Carencia de unidades didácticas (guía de estudio) para la asignatura Circuitos eléctricos III de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la UCLV para el curso por encuentro (CPE)

La declaración del problema científico posibilita el establecimiento del objetivo general y los objetivos específicos.

Objetivo General

Diseñar la guía de estudio de la asignatura Circuitos eléctricos III de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la UCLV para el curso por encuentro (CPE)

Objetivos Específicos

- Revisar bibliografía relacionada con la enseñanza semipresencial y las guías de estudio para este tipo de enseñanza.
- Identificar, acorde con el programa de la asignatura Circuitos eléctricos III de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la UCLV para el curso por encuentro (CPE), las unidades didácticas necesarias.
- Elaborar las unidades didácticas correspondiente a la asignatura Circuitos eléctricos III de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la UCLV para el curso por encuentro (CPE).

Este trabajo de diploma es viable pues se dispone de las fuentes bibliográficas necesarias y adecuadas. Es pertinente porque contribuirá al proceso de aprendizaje del alumno de CPE, pues la guía de estudio es el elemento mediador fundamental para esta modalidad de estudio. La novedad se introduce en los componentes estructurales de la guía, los cuales difieren en relación con los que se usaron en los planes de estudios anteriores al Plan de Estudio D.

El trabajo se estructura en diferentes apartados o capítulos, estos son: resumen, introducción, cuerpo de trabajo o desarrollo, que lo constituyen dos capítulos, conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

El cuerpo del trabajo se estructuró en dos capítulos.

El primer capítulo presenta los fundamentos teóricos para la elaboración de las guías de estudio para la enseñanza semipresencial, se precisa el modelo pedagógico y los recursos didácticos que requiere. Se precisan las características, estructura y las funciones de la guía, así como un cuerpo de orientaciones para su instrumentación.

En el segundo capítulo contiene la guía de estudio de la asignatura Circuitos Eléctricos III, que se imparte en la carrera de Ingeniería Eléctrica, estructurada en cinco temas que a su

vez se componen por unidades didácticas. Se presentan las siete unidades didácticas diseñadas a partir los componentes siguientes: título, objetivos específicos, requisitos previos, introducción, orientaciones para el estudio y actividades de aprendizaje, resumen, ejercicios de autoevaluación, solución de los ejercicios, materiales complementarios y la información para la próxima unidad didáctica.

CAPÍTULO 1. LA GUÍA DE ESTUDIO EN LOS CURSOS SEMIPRESENCIALES

Hace ya mucho tiempo, en el ámbito universitario mundial, se emplean sistemas educativos que propician la adquisición de conocimientos y la capacitación a personas que no pueden asistir diariamente a clases, dígase, entre otros, trabajadores, amas de casas, personas que su lugar de residencia resulta distante.

Este hecho ha contribuido a que se diseñen programas de estudios universitarios semipresenciales, no presenciales o a distancia. El auge de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) posibilita aún más la expansión de estas modalidades de enseñanza en diversos campos del saber.

1.1 Enseñanza semipresencial

La enseñanza semipresencial, a veces nombrada educación semipresencial o aprendizaje semipresencial, se define de diversas maneras. Para Area la educación semipresencial es aquella donde se produce una separación física parcial entre alumnos y profesores, de manera que las interacciones entre ellos, tengan lugar, además de en los contactos presenciales, a través de medios impresos, mecánicos, electrónicos u otros para garantizar la formación y el aprendizaje. (Area, 2004)

Area (2004) plantea relacionado con la modalidad semipresencial que los estudiantes pueden acceder a una educación sin la necesidad de presentarse físicamente en la institución educativa todos los días. Por lo tanto, es una excelente opción para quienes trabajan, o bien, para aquellos que su labor en casa no les permite estar mucho tiempo en la

escuela. La ventaja que tiene este modelo es que el alumno desarrolla su aprendizaje de una manera un poco más autónoma, ya que la investigación es indispensable. En otras palabras, el estudiante es capaz de regir y proyectar el proceso de su propio aprendizaje.

Consideran en Profesiones (2011) en relación con la educación semipresencial que es una modalidad muy usada sobre todo por los adultos y por medio de la cual se puede estudiar el bachillerato, carrera de grado, especializaciones, capacitaciones o postgrado. En este tipo de educación el estudiante asiste periódicamente a sesiones en la universidad o instituto, con el fin de estar al corriente de las actividades, atender sus dudas e inquietudes, evaluaciones, tomar alguna clase o materia, asistir a algún foro, aumentar la formalidad, para corroborar que sea la misma persona la que se está capacitando y la que obtiene la acreditación, etc.

El Ministerio de Educación Superior (MES) define la formación o enseñanza semipresencial como la modalidad pedagógica que posibilita el amplio acceso y la continuidad de estudios de todos los ciudadanos, a través de un proceso de formación integral, enfatizando más en los aspectos que el estudiante debe asumir por sí mismo; flexible y estructurado, en el que se combina el empleo intensivo de los medios de enseñanza con las ayudas pedagógicas que brindan los profesores; adaptable en intensidad a los requerimientos de estos, y a los recursos tecnológicos disponibles para llevarse a cabo. (MES, 2005), (MES, 2006)

La semipresencialidad es una modalidad de la educación a distancia y a partir de ahí tiene sus raíces históricas. Surge, por un lado, como consecuencia de la necesidad de encontrar un modelo de formación intermedio entre la formación presencial y a distancia. Por una parte, la formación presencial con las excesivas cargas lectivas semanales, lo que no permite una mayor autopreparación y desarrollo de la independencia cognoscitiva del estudiante. Por otro lado, la formación a distancia con los escasos contactos profesor-estudiante. (MES, 2005), (MES, 2006)

Puede decirse que la enseñanza semipresencial lleva implícita un modelo pedagógico que combine las actividades conjuntas de alumnos y profesor, actividades presenciales, con las actividades de autopreparación donde el alumno estudia individualmente para alcanzar los

propósitos orientados por el profesor, actividades no presenciales. En estas últimas el alumno puede planificarse para ejecutarlas según su disponibilidad de tiempo. Para EUMED (2010) la autopreparación es la columna vertebral de la modalidad. Las actividades presenciales de este modelo posibilitan al docente orientar lo que ha de ser estudiado, laborar de manera conjunta en la adquisición de determinadas habilidades prácticas y retroalimentarse sobre lo que debe haberse aprendido. Para el buen desenvolvimiento de este proceso de enseñanza debe garantizarse un conjunto de recursos o ayudas que contribuyan a la adquisición de conocimientos y habilidades de los alumnos.

Silvestre et al (2002), opinan que el reto al que debe enfrentarse esta modalidad de docencia es conseguir que los estudiantes que la cursan adquieran una formación de calidad similar a la que consiguen los estudiantes que siguen el régimen tradicional, y que el rendimiento académico de la titulación en este formato sea razonable.

Los orígenes de la enseñanza semipresencial, considerada como modalidad de educación a distancia, se remontan a la antigüedad. Alfonso (2003) y IU (2009), expresan que de manera organizada esta modalidad de enseñanza surge en el siglo XVII, para ello se toma como referencia un anuncio que se publica en 1728 en la Gaceta de Boston donde Caleb Philips, profesor de caligrafía, promueve su curso a distancia, con material auto instructivo para enviar a los estudiantes mediante correo postal, así como la posibilidad de tutorías por medio de la misma vía. De esa fecha hasta la actualidad, esta enseñanza recorre un largo camino que contribuye a su perfeccionamiento en el ámbito organizacional, didáctico y comunicacional.

Las ventajas que presenta la educación semipresencial para los alumnos, Profesiones (2011), son:

- Los alumnos acceden a un proceso de formación que no requiere asistir diariamente a clases, lo que representa una excelente opción para quienes trabajan, viven alejados de las universidades, presentan dificultades familiares, etc.
- Promueve el aprendizaje por iniciativa propia.
- Hay flexibilidad en los plazos y en la dedicación a la formación académica.

- El alumno tiene posibilidad de organizar el tiempo de autopreparación
- Favorece la autorregulación personal lo que influye sobre aspectos de la propia personalidad como el autocontrol y la disciplina.
- Se economiza tiempo y dinero al no tener que trasladarse frecuentemente hasta la institución educativa.
- Si el modelo pedagógico se apoya en las TIC, se posibilita una mayor interacción entre los alumnos y las TIC; mayor acceso a grandes cantidades de información; retroalimentación continua; rapidez al acceso e intercambio de información; promueve el desarrollo de habilidades en la comunicación, interpretar y producir mensajes; desarrollo de la autonomía y el espíritu crítico, así como al desarrollo de la creatividad, actividad mental y valores del alumno.

Las desventajas para los alumnos, Profesiones (2011), se asocian a los aspectos siguientes:

- Puede generarse desconfianza ante la falta de comunicación entre el profesor y el alumno.
- La sensación de aislamiento que se puede dar cuando no existe interacción social física
- La falta de motivación ante el proceso de enseñanza.
- Falta de una estructura pedagógica adecuada, lo cual dificulta el proceso de aprendizaje.

Lo importante a considerar en este tipo de proceso de enseñanza-aprendizaje es que abarca todos los componentes de la didáctica, es decir, objetivos, contenidos, métodos, medios de enseñanza y evaluación y por tanto estos componentes deben estructurarse y concebirse de manera que contribuyan satisfactoriamente al alcance de los propósitos en los cursos o estudios.

Frías y Malagón (2007), plantean que el proceso enseñanza-aprendizaje semipresencial ocurre a través de la mediación, didáctica o tecnológica, con carácter intencional, y se manifiesta a través de interacciones e interactividad, con los materiales y los sujetos respectivamente, provocando el desarrollo personal y profesional de los estudiantes. Para ellos, la formación semipresencial ocurre en contextos socioculturales complejos, por lo

que el estudiante, a partir de su autonomía y bajo la orientación del profesor, debe decidir qué necesita aprender, cómo aprender, qué recursos tiene que obtener para hacerlo y qué procesos debe implementar para obtener productos individual y socialmente valiosos.

Matos (2005) considera en el proceso de formación semipresencial el carácter sistémico integrador entre la orientación didáctica, la comprensión, la sistematización y la generalización del contenido. Para Matos 2005, esta lógica integradora se manifiesta como expresión del movimiento entre comprender preliminarmente el contenido desde la orientación didáctica como un primer acercamiento cognitivo, penetrar entonces a su sistematización desde el estudio individual y su ejercitación para llegar a generalizaciones teóricas y prácticas como un nivel particular de mayor complejidad.

De ahí que resulten muy importantes para la modalidad semipresencial, los medios de enseñanza y las ayudas pedagógicas que se pongan a disposición de los alumnos. En esto juega un rol decisivo el profesor o los profesores que desarrollen y ejecuten los medios y las ayudas.

Las ayudas pedagógicas para Rey et al (2011) las constituyen, entre otras, la clase encuentro, la consulta y la tutoría, que son actividades que se realizan de conjunto entre el profesor y el alumno o un grupo de alumnos

En IU (2009) se expresa en relación con las ayudas pedagógicas que pueden ser tutorías individuales y/o grupales, consultas o clases para temas específicos; además lo debates que se plantean en los foros y en las clases presenciales.

Otros como Alfonso (2003), dan un gran valor a los medios como ayudas pedagógicas al decir... "los medios utilizados no son simples ayudas didácticas sino que constituyen los vectores del conocimiento que complementan al profesor".

Resulta imprescindible para el éxito de esta modalidad un adecuado diseño y manejo de los medios y las ayudas de manera que puedan mediar eficazmente en el proceso de aprendizaje del alumno.

1.2 Recursos didácticos en la enseñanza semipresencial

Como recursos didácticos se consideran los medios de enseñanza y las ayudas pedagógicas. Ambos están presentes en las actividades presenciales como en las actividades de autopreparación del alumno.

Esta modalidad requiere de medios de enseñanza con características específicas, que favorezcan la actividad independiente del estudiante, proporcionándole orientaciones metodológicas y bibliográficas para que pueda dominar el sistema de conocimientos de forma lógica y estructurada, a partir de sus propias estrategias de aprendizaje. En este contexto los medios están orientados a favorecer la autonomía, motivar el estudio y mantener la atención, relacionar la experiencia y los conocimientos, propiciar la adquisición del conocimiento, la solución de problemas y la creatividad, y despertar curiosidad científica en el destinatario, lo que debe contribuir al logro de los objetivos previstos. (MES, 2007)

Rey et al, (2011) expresan...“los materiales didácticos que deben ser elaborados con las peculiaridades propias de un proceso formativo que carece de constantes encuentros presenciales, por lo que deben ser elaborados de modo que permita atenuar la ausencia de la relación directa con el docente. Por tanto, el material didáctico es pertinente porque potencia la comprensión, la sistematización y la generalización del contenido desde el encuentro de orientación, como eslabones de la dinámica”. (Rey et al, 2011: págs. 47-48)

Para Ballesteros (2003), los medios son parte integrante de los procesos comunicativos en el proceso de enseñanza-aprendizaje, potenciadores de habilidades de los estudiantes, no deben ser sólo facilitadores del aprendizaje, sino también objeto del conocimiento.

“Los medios de enseñanza constituyen un conjunto de materiales docentes y de recursos tecnológicos destinados a apoyar las actividades presenciales y la autopreparación de los estudiantes. Son, incuestionablemente, elemento determinante para el éxito de la enseñanza semipresencial, vistos no como un fin en sí mismos, sino como herramientas pedagógicas que deben estimular el proceso de comunicación, que contribuyen a resolver los problemas que se derivan de la disminución de la presencialidad respecto a otras modalidades. Claro, siempre y cuando estén bien concebidos”. EUMED (2010):

Los medios se clasifican, (MES, 2007), (EUMED, 2010) de la forma siguiente:

- Medios impresos: texto o fuentes de información básica, guía de estudio, guía de la carrera, guía del profesor, bibliografía complementaria y otros documentos.
- Medios audiovisuales e informáticos: videos, transparencias, audio casetes, radio y TV educativa, maquetas, software educativo, materiales en formato digital, laboratorio virtuales, multimedia, correo electrónico, plataformas interactivas, y otros.

Otra clasificación más detallada sobre los medios la presenta Area (2000) y es la siguiente:

- Manipulativos, son objetos y recursos reales, así como los simbólicos. Los objetos y recursos reales, manipulados intencionalmente sirven para representar el conocimiento en determinado contexto de estudio, como motores, instrumentos de medición, circuitos electrónicos, osciloscopios, etc. Los simbólicos representan y codifican una realidad que los trasciende como meros objetos, entre estos bloques lógicos, figuras geométricas, juegos, etc.
- Textuales o impresos, que pueden ser orientados al profesor y orientados al alumno, son los que emplean principalmente los códigos verbales como sistema simbólico determinante, entre estos están libros, guías de estudio, carteles, materiales complementarios, documentos organizativos, etc.
- Audiovisuales compuestos por medios de imagen fija y de imagen en movimiento. La imagen es la modalidad simbólica con que se representa el conocimiento. Entre los de imagen fija están el retroproyector, proyector de diapositivas y de imagen en movimiento están los proyectores de películas, la televisión, el video.
- Auditivos donde el sonido es la modalidad simbólica predominante. El sonido se manifiesta en la música, la palabra oral, sonidos reales. Los más usuales la radio, el equipo de audio y música.
- Informáticos, posibilitan desarrollar, utilizar y combinar cualquier modalidad de codificación simbólica de la información. Entre estos están la computadora, plataformas

interactivas, materiales en formato digital, laboratorios virtuales, software educativos, internet, entre otros.

En todos estos debe existir una intención de facilitar la adquisición de conocimiento, por lo que deben ser diseñados con ese propósito.

También suelen clasificarse los medios en atención a sus funciones principales, Ballesteros (2003), en los grupos siguientes:

- Naturales: plantas, animales.
- Modelos, maquetas, instrumentos, juguetes, etc.
- Impresos: libros, guías de estudios, carteles, etc...
- Audiovisual: retroproyector, proyector de diapositivas, radio, tv, video.
- Medios informáticos: computadora, aplicaciones de software, servicios de Internet, videoconferencias, realidad virtual, etc.

En todas las clasificaciones que se presentan aparece, con ligeras modificaciones, toda la diversidad de medios de enseñanza. Entre los medios impresos está incluida en todos los casos la guía de estudio, la cual resulta esencial como elemento mediador en el aprendizaje para la modalidad semipresencial.

1.3 La guía de estudio

La mayoría de las propuestas de formación que se ofrecen en la modalidad de educación a distancia, tienen como soporte básico el material impreso, de ahí que el proceso de enseñanza-aprendizaje a distancia vaya precedido de un cuidadoso diseño y elaboración de los materiales, que permita obviar las dificultades de la separación física profesor-alumno. (Panchí, 2002)

La guía de estudio también suele denominarse guía didáctica o unidad didáctica Panchí (2002), independiente de cómo se nombre, lo importante que esté concebida adecuadamente en función del propósito de aprendizaje que se desea lograr.

Panchí (2002) define la guía didáctica como...es un instrumento impreso con orientación técnica para el estudiante, que incluye toda la información necesaria para el correcto uso y manejo provechoso del libro de texto, para integrarlo al complejo de actividades de aprendizaje para el estudio independiente de los contenidos de un curso”. (Panchí, 2002:2). Refiere además, que debe apoyar al estudiante a decidir qué, cómo, cuándo y con ayuda de qué, estudiar los contenidos de un curso, a fin de mejorar el aprovechamiento del tiempo disponible y maximizar el aprendizaje y su aplicación.

Montoya (2006) al referirse a la guía de estudio la denomina como guía de aprendizaje. En la guía de aprendizaje se incorporan diferentes elementos que le dan forma y sentido a la elaboración de un texto o recurso didáctico, en ella se evidencian la intencionalidad comunicativa y la relación sujeto–objeto en la búsqueda de construcción de conocimiento. La guía de aprendizaje se centra en el proceso de aprendizaje del alumno y está a su vez al servicio del docente y del alumno para facilitar procesos de enseñanza–aprendizaje. La guía de aprendizaje actúa como dispositivo en el proceso, es decir, activa mecanismos internos en el alumno para facilitar aprendizajes. Desde el punto de vista lingüístico la guía de aprendizaje es un signo con significante y significado, en tanto hace parte de un texto común y se vale del lenguaje para su construcción. Es elaborada por el docente para él y los alumnos; en su formulación se tiene en cuenta el contexto en el cual se construye. Es una ruta o mapa a seguir en el proceso de formación o en una parte de él, pues permite crear una imagen mental del todo y sus partes. El contexto es otro aspecto importante que caracteriza la guía de aprendizaje.

La guía de estudio para Ulloa (2006), es, basado en una definición popular, “un manual que estructura los esfuerzos de estudio e intenta mejorar el aprendizaje a ser derivado de los materiales de estudio, sugiriendo a los estudiantes una secuencia dosificada para trabajarlos”. (Ulloa, 2006:2-3). Constituye un marco de referencia para el curso y puede ser considerada como la descripción de un sistema de enseñanza, considera además, que representa una herramienta para el desarrollo de contenidos.

Las Orientaciones para la elaboración de la Guía de estudio del MES (MES, 2007) establecen que la guía de estudio es “un material didáctico importante que orienta y facilita

el aprendizaje de los estudiantes que desarrollan sus estudios en la modalidad semipresencial, reforzando la actividad del profesor en las condiciones de menor tiempo de contacto con el alumno que caracteriza a esta modalidad". (MES, 2007:8).

En MES (2007) se enfatiza que la guía de estudio de la asignatura o curso en la modalidad semipresencial, juega un papel esencial, ya que asume gran parte de las actividades que los profesores realizan en las clases presenciales tradicionales, ya que existe menos frecuencia y menos tiempo de contacto alumno-profesor y a su vez ejerce una función articuladora de los restantes medios didácticos.

1.3.1 Características de la guía de estudio

Algunas características generales, Llivina et al (2003) que deben satisfacer las guías para responder a los indicadores definidos para el aprendizaje, son:

- Elaborarse para cada tema de la asignatura o del módulo.
- Relativo a la actividad intelectual productivo - creadora (o el componente cognitivo del aprendizaje), que se materializa mediante:
 - La independencia de los procesos psíquicos que intervienen en el aprendizaje, es decir, graduar los problemas y las tareas, de manera que a medida que avanza el curso el alumno pueda ser independiente de los otros protagonistas del proceso.
 - El tratamiento a profundidad de los contenidos de cada tema, es decir, que propicie a el alumno penetrar en la esencia de los diferentes hechos y fenómenos del aprendizaje, aprenda a generalizar, favorezca la tendencia a buscar lo relevante, a hacer abstracción de lo que no lo es, para posteriormente llegar incluso a realizar transferencias para su actuación en otros contextos.
 - Los contenidos deben presentarse con lógica, sin saltos inadecuados que hagan perder la racionalidad de las diferentes tareas que se establezcan.
- Ser consecuentes con la necesaria flexibilidad del pensamiento, lo que se traduce que no pueden concebirse de manera esquemática.

- Alentar la generación de nuevas ideas o producciones para utilizar en un contexto determinado, propiciando con ello la fluidez en el aprendizaje.
- Potenciar el desarrollo de habilidades y estrategias para regular el proceso de autoaprendizaje
- Propiciar la motivación por aprender.

En general esas son las características esenciales que deben tener las guías de estudio, que implícitamente determinan sus funciones.

1.3.2 Funciones de la guía de estudio

La guía de estudio para DTS (2010) tiene las funciones siguientes:

- a) Motivadora
- b) Facilitadora de la comprensión y activadora del aprendizaje
- c) De orientación y diálogo
- d) Evaluadora

Por otra parte en MES (2007) se plantea, de una forma más fundamentada, las funciones principales de la guía de estudio. Estas son:

- Articuladora del sistema de medios de enseñanza, pues contiene indicaciones sobre cómo abordar la bibliografía básica y los otros materiales de estudio, así como, sobre la forma de relacionar las distintas fuentes de información.
- Orientadora del aprendizaje de los alumnos, debe contribuir a desarrollar la capacidad de aprender, enseñar al alumno a pensar, a orientarse independientemente, despertar su creatividad y a desenvolverse en el aprendizaje colaborativo, lo que la convierte en un medio fundamental de comunicación pedagógica entre los profesores y los alumnos. Tal condición exige un cuidadoso diseño y elaboración.
- Formadora, debe propiciar la formación integral del estudiante, el fortalecimiento de sus valores, su educación patriótica y humanista, su desarrollo como activista de la revolución socialista, así como la orientación profesional de los estudios que realiza.

- Estimuladora del proceso de aprendizaje, debe suscitar motivaciones que animen a emprender el esfuerzo y a renovarlo en cada etapa, permitir que en el alumno se despierte el espíritu de búsqueda e indagación, así como facilitar el autocontrol del proceso por el estudiante mediante la retroalimentación y la autoevaluación.
- De organización, debe responder a los distintos momentos del proceso de aprendizaje que tiene que realizar el estudiante para favorecer el estudio independiente, por lo que facilita de forma concreta, tema a tema, dicho proceso.
- De adecuación, pues debe tener en cuenta el amplio acceso de la matrícula, la diversidad de las fuentes de ingreso, los diferentes escenarios educativos que caracterizan a la modalidad semipresencial y ofrecer la posibilidad de que el alumno marche a su propio ritmo.

1.3.3 Estructura de la guía de estudio

Las componentes estructurales que debe poseer una guía de estudio, propuestas por Panchí (2002) son las siguientes: índice, presentación, objetivos generales, esquema-resumen de contenidos, objetivos específicos, temática de estudio, lecturas, actividades para el aprendizaje, ejercicios de autoevaluación, bibliografía de apoyo. Resulta interesante la propuesta en cuanto a la presentación que orienta cómo utilizar la guía; en esquema-resumen orienta presentar de manera esquemática y resumida los puntos contenidos en el temán correspondiente; para el desarrollo de contenidos indica ubicar el tema en el contexto del curso así como su utilidad para el futuro de la labor profesional o para la carrera.

La guía didáctica acompaña un libro de texto o bien una compilación de lecturas, que en el mejor de los casos es una antología, los cuales constituyen la bibliografía básica de un curso o una asignatura. (IUED, 2009)

Para Montoya (2006), la guía de aprendizaje debe constar de las partes siguientes:

1. Encabezado, que debe explicitar la identificación institucional (Centro, Especialidad, Bloque Modular, Módulo Instruccional).
2. Cuerpo de la guía, es más extensa y desarrolla los componentes específicos de la temática, y contiene como mínimo los elementos siguientes:
 - Identificación del tema o título.

- Justificación, incluye antecedentes, la importancia y el alcance del tema.
- Introducción, aporta los aspectos relativos de la temática, de la organización y de la metodología tenida en cuenta para el desarrollo del tema, habla sobre los elementos que constituyen el asunto y de las relaciones que tienen entre sí. Es fundamental que se incluya en este aparte aspectos que incentiven la motivación hacia el aprendizaje. Es recomendable que en la guía de aprendizaje se incluyan los dos elementos, justificación e introducción. Sin embargo, puede obviarse uno de los dos según criterio profesional y metodológico de acuerdo con la pertinencia del contexto, debe tenerse en cuenta que no puede prescindirse del componente motivacional.
- Objetivos, deben declararse tanto el general como los específicos. Los objetivos deben contener la acción a realizar (verbo), el conocimiento a adquirir (objeto) y el alcance y contexto la relación sujeto-objeto (condición).
- Contenidos, teóricos y prácticos, que hacen referencia a los conocimientos cognitivos, procedimentales y actitudinales que debe apropiarse el alumno.
- Actividades, las acciones que se diseñan y se formulan en función del desarrollo del proceso de aprendizaje. Deben evidenciar el modelo pedagógico y didáctico en el cual se enmarca la estrategia de aprendizaje propiciar el aprender a aprender, aprender a hacer y aprender a ser.
- Estrategias, el factor diferenciador que establece la ventaja competitiva en el medio o contexto en el cual se aplica. La estrategia debe guardar estrecha relación con los demás elementos constitutivos de la guía de aprendizaje.
- Medios y Recursos, permiten establecer vínculo entre el docente, los contenidos, las actividades y el alumno, pueden ser de diferentes tipos.
- Apreciación del Aprendizaje (Evaluación). Se explicitan todos los criterios e indicadores que se tendrán en cuenta para verificar, controlar y ajustar la calidad del proceso, para apuntar al logro del aprendizaje. Está directamente relacionado con los objetivos del aprendizaje propuestos en la guía de aprendizaje. Debe informar al alumno desde dónde y cómo va a ser evaluado y cómo él mismo debe autoevaluarse y autoevaluar su proceso de aprendizaje.

- Fuentes, medios que hacen referencia a documentos textuales, direcciones de Internet, y cualquier otro tipo de información pertinente al tema de la guía de aprendizaje. éstas pueden darse clasificadas como: utilizadas, requeridas y recomendadas y en lo posible con citas específicas de capítulos y páginas.

3. Pie de la guía, donde se identifica el autor de la misma y fecha de elaboración, de aplicación y/o de modificación. Este aspecto es clave en los procesos de gestión de la calidad, pues informa sobre el proceso y evolución.

Otra propuesta estructural para la guía de estudio la aporta el MES (2007), donde se orienta que debe contener aspectos generales de la asignatura o curso, como presentación, el papel que juega en el plan de estudio, los objetivos generales, fuentes de información básica, materiales complementarios y otros que se consideren necesarios, así como los aspectos específicos relacionados con la orientación del estudio y la realización de las actividades de aprendizaje. Estos últimos se abordarán por temas y unidades didácticas.

La guía de estudio, en esta estructura, abarca toda una asignatura o curso y está compuesta por un conjunto de unidades didácticas. “La unidad didáctica se concibe como la estructura curricular de un determinado tema del programa de estudio, que potencia un objeto de aprendizaje, en tanto en la relación entre conocimientos, habilidades y valores se estructura un núcleo básico e invariante que es lo que el estudiante debe aprender, con una dedicación de tiempo racional”.(MES, 2007:11). Esta estructura curricular facilita al alumno la consolidación del aprendizaje mediante el alcance de objetivos parciales, pero alrededor de un objeto de aprendizaje bien definido y se estructura como una derivación del objetivo general del tema, que lleva a una dirección secuenciada de la habilidad funcional y a una secuenciación de conocimientos. Estos elementos permiten definir y potenciar las actitudes a desarrollar en los alumnos en atención a los valores o significados que se desea que ellos den a esos conocimientos y habilidades, en el contexto social en el que se desarrollan.

La estructura que orienta el MES (2007) para la educación universitaria del país consta de las partes siguientes:

- I) Denominación de la guía y presentación de los autores. Debe encabezar la guía de estudio, así como coincidir con la denominación de la asignatura o curso y si consta

de varias partes, aclarar de cual se trata. En relación con los autores, lo cual puede contribuir a prestigiar a la institución, debe aparecer el nombre y apellidos de los autores con una breve caracterización de cada uno de ellos que haga constar su categoría docente, grado científico y responsabilidades académicas.

- II) Índice. Constituye la forma de presentación de los tópicos que se abordan, debe garantizarse que los títulos coincidan plenamente con los de las diferentes partes de la misma, en especial con los temas y unidades didácticas. Debe aparecer después del acápite uno, algunos autores acostumbran ubicarlo al fin la de la guía.
- III) Introducción general. La introducción debe ser motivadora y esclarecedora, en ella se debe abordar, entre otros, aspectos los siguientes:
- Enunciar claramente los objetivos generales de la asignatura o curso, lo cual ofrece la posibilidad al alumno y al profesor de darse cuenta de las finalidades de la asignatura o curso.
 - Expresar los conocimientos previos y habilidades que se requieren para el estudio de la asignatura o curso. Pueden indicarse los textos u otros materiales que deben cubrir los aspectos fundamentales previos al inicio del estudio de dicha asignatura o curso.
 - Explicar la importancia del texto básico o de las fuentes de información básica, según sea el caso, para el proceso de aprendizaje de la asignatura o curso.
 - Dejar claros los materiales complementarios que se consideran necesarios, así como el tipo de soporte desde el que se puede acceder a la información.
 - Realizar recomendaciones para hacer una buena planificación y organización del aprendizaje.
 - Analizar los criterios generales de evaluación. Debe dejarse claro el sistema de evaluación y la forma en que va a evaluar, tipo de evaluaciones, en estas últimas deben incluirse las actividades y ejercicios de autoevaluación.
 - Detallar el temario con los contenidos como un documento integrado que permita la visión general de la asignatura o curso y su estructura en temas y unidades didácticas.

IV) Orientaciones para el estudio y el desarrollo de actividades de aprendizaje por unidades didácticas. Este aspecto se desarrolla por cada unidad didáctica y deben responder a objetos de aprendizaje bien delimitados que puedan ser alcanzados por los alumnos con una racional dedicación al estudio. Esta estructura, unidad didáctica, posibilita una mejor organización del aprendizaje.

Cada guía de estudio para una asignatura o curso puede estar compuesta por varios temas y las unidades didácticas necesarias, tanto los temas como las unidades didácticas deben poseer títulos concretos y esclarecedores del tema a tratar. En UJI (2007) se propone esta misma composición para la guía de estudio, solo que la denominan guía didáctica/docente y tiene una finalidad diferente a la orientada por el MES (2007), para UJI (2007) la finalidad está dada por la necesidad de facilitar la homologación de créditos en el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) mediante Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (ECTS).

La estructura que se recomienda adoptar para las unidades didácticas es la siguiente:

1. Título. Da idea adecuada del contenido, actúa como un resumen del contenido de la misma, debe funcionar cuando se lee fuera de contexto, debe tener una cercana relación con los contenidos que aborda. Se recomienda tenga entre 3 y 12 palabras.
2. Objetivos específicos. Expresan lo que los alumnos deben ser capaces de saber, hacer y actuar al final de la unidad didáctica; facilitan que los alumnos centren su atención en los aspectos más importantes. Los objetivos deben expresar la unidad de lo educativo y lo instructivo y ser específicos, comprensibles, relevantes, motivadores, alcanzables y evaluables.
3. Requisitos previos. Corresponden a contenidos y conceptos de temas anteriores. Orientan sobre los conocimientos que deben poseer con antelación los alumnos para comprender y asimilar correctamente los contenidos de la unidad didáctica. Deben expresarse de forma muy sintética al comienzo de cada unidad didáctica, con un lenguaje dialógico para que los alumnos se preparen antes de comenzar. Además debe brindarse información bibliográfica sobre dónde encontrar estos contenidos e sepan qué conocimientos necesitan para la comprensión de esta parte del tema.

4. Introducción. Deber ser motivadora y esclarecedora. En ella se resalta la importancia de la unidad didáctica para el alumno, la relación de esta unidad con las restantes de la asignatura, los apoyos externos que se requieren, de manera que prepare al alumno para su estudio.
5. Desarrollo de las orientaciones para el estudio. Actividades. Las orientaciones deben contener actividades para el aprendizaje intercaladas, seguidas de respuestas comentadas y acompañadas de figuras, y demás recursos gráficos que sean necesarios. Es la parte más importante de la unidad didáctica y la que requiere mayor creatividad y dedicación por parte de los profesores que la elaboran. En esta parte se orienta el estudio del contenido recogido en las diferentes fuentes de información y plantea las actividades que el alumno debe desarrollar. Pueden incluirse los principales conceptos y definiciones que deben ser aprendidos por el alumno, debe lograrse un adecuado balance en el esclarecimiento de los conceptos esenciales en la propia guía y la búsqueda de los mismos en las fuentes de información básica.

Las actividades como parte de las orientaciones constituyen un elemento clave para que los alumnos fijen, refuercen, apliquen y comprueben frecuentemente los conocimientos que adquieren, desarrollen habilidades y fortalezcan valores. Son aquellos ejercicios, tareas, análisis, preguntas, interpretaciones, entre otras, que el alumno debe realizar y que se desarrollan en la propia guía o se orientan desde ella. Deben estar vinculadas a la solución de problemas reales de su contexto y al desarrollo de las habilidades profesionales de los estudios que realiza. Deben ser variadas, atrayentes, creativas y claras. Contribuyen a una autoevaluación constante y conminan al alumno a interrelacionarse con los contenidos. Hay que combinar las actividades de manera que favorezcan el autoaprendizaje, el aprendizaje colaborativo y el trabajo grupal. Tanto el trabajo grupal como el colaborativo contribuyen fortalecer las relaciones entre los alumnos y pueden fomentar los valores de solidaridad, colectividad, responsabilidad, honestidad y laboriosidad. Deben conjugarse diferentes tipos de actividades según lo demande el momento del aprendizaje: orientación, sistematización, retroalimentación, pero en

su conjunto deben guardar unidad, estar relacionadas entre sí, favorecer la articulación de los contenidos y la relación de éstos con los objetivos. Debe lograrse la integración y evitarse un largo inventario de actividades para su realización. Se orienta, además, que haya una actividad final que integre el contenido recibido hasta el momento, no solo de la propia unidad, sino de las unidades precedentes.

En resumen y coincidente con Penzo et al (2010), las actividades deben ser: efectivas, en cuanto a su contribución a fijar, reforzar, aplicar y comprobar los conocimientos y valores; atractivas, al propiciar un adecuado ambiente afectivo-motivacional en el aprendizaje, así como representar un desafío a la capacidad de razonamiento, lo que favorece el desarrollo del pensamiento lógico, la capacidad de análisis y de deducción; diversas según demande el momento del aprendizaje: de orientación, sistematización, retroalimentación, que guarden unidad entre sí, favorezcan la articulación de los contenidos y la relación de éstos con los objetivos; variadas en cuanto al tipo de situación, grado de dificultad y formas de presentación; portadoras en ocasiones, de situaciones que ofrezcan diversas estrategias de solución y formuladas dentro de contextos cercanos a los alumnos, de forma que favorezcan su comprensión y conocimiento de la realidad; sugerentes, que den pie a nuevas interrogantes y a la búsqueda de la respuesta a dicha interrogante.

6. Resumen. Se expone una versión breve del contenido de aprendizaje. Presenta los conceptos claves del tema, omite información redundante, relaciona y estructura ideas. Favorece el aprendizaje ya que permite un rápido repaso de las ideas y conceptos fundamentales y sirve como modelo para que los alumnos elaboren sus propios resúmenes.
7. Ejercicios de autoevaluación. Posibilitan, a los alumnos, comprobar y valorar la calidad de lo aprendido. Deben elaborarse cuidadosamente y procurar que al resolver éstos, los alumnos integren y valoren. Ayudan al alumno a que se evalúe por sí mismo, pretenden guiar al alumno y ayudarlo a pedir consejo. Posibilitan identificar las dificultades y problemas para aprender, los aspectos confusos,

difíciles y débiles, a descubrir dónde se requiere asesoría, a identificar el desempeño realizado y evaluar los productos de dicho desempeño. Pueden ser diversos, entre estos están cuestionarios de relación de columnas, planteamientos de verdadero o falso, complementación, preguntas de ensayo, de interpretación y de repaso, análisis de casos. Constituyen actividades de aprendizajes, pueden entremezclarse con las de orientación, sistematización y retroalimentación, sin embargo se aconseja que al final de la unidad didáctica aparezcan un conjunto de ellos que le permita al alumno comprobar y valorar la calidad de lo aprendido.

8. Soluciones a los ejercicios de autoevaluación. Se exponen las respuestas correctas de las actividades de autoevaluación, sirven de retroalimentación al alumno pues puede comprobar sus soluciones con estas. Se recomienda comentar muy brevemente las respuestas.
 9. Materiales complementarios. Se mencionan los materiales que dispone el alumno para profundizar y ampliar el estudio de la unidad didáctica. Debe especificarse las lecturas que se recomiendan, así como comentar brevemente los aspectos de interés que contienen los materiales complementarios que se recomiendan, para que el alumno los pueda consultar en dependencia de sus necesidades.
 10. Información sobre la próxima unidad didáctica, se sitúa y motiva al alumno sobre los nuevos contenidos a abordarse en la unidad didáctica siguiente.
 11. Glosario. Es opcional y deben aparecer los conceptos y categorías más generales definidas. Los conceptos que se incluyen en el mismo deben resaltarse en el texto. Puede aparecer al final de la unidad didáctica o de la guía de estudio.
- V) Bibliografía. Aparecer las obras fundamentales que sirven de referente para la escritura de la guía. Se ordenan alfabéticamente. Debe emplearse la Norma Cubana en su tratamiento. Es muy importante dejar claro que la principal bibliografía para la escritura de la guía es el texto básico o las fuentes de información básica, esto no excluye que se utilicen otros materiales complementarios que actualicen y enriquezcan el contenido que se aborda.

Con similitud en lo que se plantea por el MES (2007) en Guía para la Elaboración de Actividades de Aprendizaje, Penzo et al (2010), propone las preguntas guías o guías de

estudio, las cuales deben orientar al alumno en su aprendizaje. Para Penzo et al (2010) éstas...”constituyen una recapitulación, como su nombre indica, tienen la función de guiar la lectura, es decir, de dirigir la atención del lector hacia lo que el docente considera que es relevante en el texto. De hecho, las preguntas guía están al servicio de las actividades de aplicación. Es difícil aplicar un contenido de información si no se conoce con la debida profundidad. Las preguntas guía serían un recurso para facilitar o asegurar que el estudiante dispone de la información necesaria para resolver las actividades de aplicación. Sólo cuando esta finalidad esté asegurada, pueden dirigirse a otros contenidos relativamente menos importantes”. (Penzo, 2010:33-34)

En la elaboración de las preguntas guías (Penzo 2010), debe asegurarse que sean las adecuadas, es decir, que las preguntas no sean demasiado fáciles (tales que puedan contestarse tras una lectura muy superficial e incluso sin lectura) ni presenten dificultades no pertinentes, es decir, ajenas a lo que es propio de la tarea. Los principales criterios son:

1. La información puede localizarse con razonable facilidad. De ahí que es preferirse basarse en un texto, en lugar de en varios textos.
2. La relación entre la pregunta guía y la parte del texto a que se refiere también debe ser razonable. En lugar de una pregunta para todo un párrafo, son preferibles tres o cuatro para otras tantas frases clave dentro de él. En su mínima expresión, las preguntas guía cumplen la misma función que el subrayado y, generalmente, no es necesario subrayar todo un párrafo.
3. Tienen que formularse con la tarea precisa que se pretende realice el alumno
4. Es conveniente, si el texto lo permite, que el orden de las preguntas guía sea el mismo que la información en el texto.

El formato de las preguntas y, en concreto, si son de producción o de reconocimiento y su grado de complejidad debe quedar claramente establecido.

1.4 Consideraciones finales del capítulo

A partir de la revisión bibliográfica que se presenta en este capítulo se establece que si bien, todas las propuestas de desarrollo de guías de estudio contemplan en gran medida las

características, funciones y estructuras de ellas, así como sugerencias para los profesores diseñadores de estas, se considera que la propuesta por el MES (2007) es la más abarcadora de las que se analizan en este capítulo, pues precisa detenidamente cada una de las componentes estructurales.

Además en MES (2007) se da una conceptualización de la guía de estudio como un ente aglutinador de una asignatura o curso. Es decir, la visión de la guía de estudio como una estructura integradora del currículo de una asignatura a través de las unidades didácticas y demás componentes.

CAPÍTULO 2. GUÍA DE ESTUDIO PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS III

La guía de estudio para las asignaturas de los cursos CPE, resultan elemento esencial para el aprendizaje en los alumnos matriculados en esta modalidad.

La asignatura Circuitos Eléctricos III, que se imparte en la carrera de Ingeniería Eléctrica está estructurada en cinco temas. Estos son: circuitos trifásicos desbalanceados, componentes simétricas, circuitos energizados por ondas periódicas no sinusoidales, transformada de Fourier y Laplace y circuitos no lineales y circuitos activos.

Para su impartición en el CPE eso temas, metodológicamente, se estructuraron por unidad didáctica (UD), se conformaron siete unidades didácticas. Se tomaron como componentes estructurales los orientados por el MES (2007).

La distribución de estas por tema se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Distribución de unidades didácticas por tema

Tema	Unidades didácticas
Circuitos trifásicos desbalanceados	1
Componentes simétricas	1
Circuitos energizados por ondas periódicas no sinusoidales	2
Transformada de Fourier y Laplace	2
Circuitos no lineales y circuitos activos	1

En el Anexo 1, se presentan los componentes estructurales generales de la guía de estudio para la asignatura Circuitos Eléctricos III del CPE, estos son título, índice, objetivos generales, introducción general y bibliografía. A continuación se detallan todas las unidades didácticas que se diseñaron para esta asignatura.

2.1 Unidad didáctica 1. Circuitos Trifásicos desbalanceados.

Inicie a escribir el texto

2.1.1 Objetivos específicos

- Describir las propiedades de los circuitos trifásicos desbalanceados.
- Identificar los métodos de solución de los circuitos trifásicos desbalanceados.
- Distinguir las formas de cálculo de la potencia activa, reactiva y aparente en un sistema trifásico desbalanceado.

2.1.2 Requisitos previos

Para alcanzar los resultados deseados, es necesario dominar los aspectos principales relacionados con el tema Circuitos trifásicos balanceados, el cual fue impartido en la asignatura CE II.

2.1.3 Introducción

En este tema se aprende a reconocer las diferentes formas de conexión de los circuitos trifásicos desbalanceados, se estudian sus características y la determinación de voltajes, corrientes y potencias en los mismos. El tema *Circuitos trifásicos desbalanceados*, constituye un contenido recurrente en las diferentes asignaturas de la carrera Ingeniería Eléctrica, que se cursan a partir del tercer año, como Máquinas eléctricas, Sistemas de energía y otras.

2.1.4 Orientaciones para el estudio

- Leer cuidadosamente las páginas 198 a 204 del libro Materiales Complementarios Circuitos Eléctricos II. Este material brinda una información clara y concisa acerca del

método a emplear para el análisis de circuitos trifásicos desbalanceados con diferentes configuraciones (estrella-estrella con neutro ideal, estrella-estrella con neutro con impedancia, estrella-estrella sin neutro y estrella-delta)

- Analizar los ejercicios resueltos 1 y 2 que aparecen en las páginas 205 a 209 del libro. Relacionar la información aprendida en el punto anterior con el proceso de solución de los ejercicios resueltos.
- Resolver el ejercicio propuesto 1 que aparece en la página 263 del libro. Debe tenerse en cuenta que uno de los pasos más importantes en el proceso de solución de un circuito trifásico desbalanceado, es determinar la configuración del mismo; en este ejercicio se observa que la configuración es la de un circuito estrella-estrella sin neutro, que puede ser analizado como el caso límite de un circuito estrella-estrella con neutro cuando la admitancia Y_n es nula. La respuesta en la página 268 permite verificar el trabajo.
- Leer detenidamente las páginas 226 a 230 del libro. En estas páginas se explica el proceso de cálculo de las distintas potencias en circuitos trifásicos desbalanceados (activa, reactiva, aparente, compleja) y se define el factor de potencia trifásico. En todos los casos se enfatiza que la potencia trifásica no es el triple de la disipada en alguna de las fases, como sucede en los circuitos trifásicos balanceados, sino que es necesario calcularla aplicando el principio de conservación de la potencia, de acuerdo con el cual la potencia total es la suma de las que se disipan en cada una de las fases.
- Analizar los ejercicios resueltos 6 y 7 que aparecen en las páginas 230 a 238 del libro. Estudiar detenidamente el ejemplo resuelto 8 que se encuentra en la página 247. Observar con detenimiento en el proceso de solución de los ejercicios, la aplicación de los conceptos teóricos aprendidos en el punto anterior.
- Resolver el ejercicio propuesto 2 que aparece en las páginas 263 del libro. En este ejercicio, como se conocen los voltajes entre las líneas, un método adecuado sería la conversión de la estrella desbalanceada en una delta equivalente, calcular las corrientes en las fases de dicha delta aplicando la ley de Ohm y determinar las corrientes por las líneas basándose en la ley de Kirchhoff de las corrientes. Las corrientes por las fases de

la estrella original coinciden con las de líneas halladas, pudiéndose calcular fácilmente las potencias consumidas por la carga desbalanceada en estrella. La respuesta en la página 268 permite comprobar el resultado del trabajo.

2.1.5 Resumen

Los circuitos trifásicos desbalanceados estudiados, corresponden a los siguientes tipos:

- Estrella-estrella con neutro ideal
- Estrella-estrella sin neutro
- Estrella-estrella con neutro con impedancia
- Estrella-delta

Sus características son:

Sistema estrella-estrella con neutro ideal

Los puntos n' y n son equipotenciales.

Las corrientes de línea se obtienen aplicando la ley de Ohm en cada fase de la carga.

Sistema estrella-estrella sin neutro

Los puntos n' y n no son equipotenciales (corrimiento del neutro).

$$V_{n'n} = \frac{E_a Y_a + E_b Y_b + E_c Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c} \quad (2.1.1)$$

Las corrientes de línea se obtienen mediante:

$$I_a = (E_a - V_{n'n})Y_a, I_b = (E_b - V_{n'n})Y_b, I_c = (E_c - V_{n'n})Y_c \quad (2.1.2)$$

Sistema estrella-estrella con neutro con impedancia

Los puntos n' y n no son equipotenciales (corrimiento del neutro).

$$V_{n'n} = \frac{E_a Y_a + E_b Y_b + E_c Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_n} \quad (2.1.3)$$

Las corrientes de línea se obtienen mediante:

$$I_a = (E_a - V_{n'n})Y_a, I_b = (E_b - V_{n'n})Y_b, I_c = (E_c - V_{n'n})Y_c, I_n = V_{n'n}Y_n \quad (2.1.4)$$

Sistema estrella-delta

La delta puede ser convertida en estrella y se tendría un sistema estrella-estrella sin neutro. Puede emplearse también un método general de solución (corrientes de mallas o voltajes de nodos)

2.1.6 Ejercicios de autoevaluación

Responde verdadero (V) o falso (F) a las afirmaciones siguientes:

1. Si tres impedancias diferentes, conectadas en estrella, se conectan a un generador a través de cuatro líneas con impedancias, el voltaje entre el neutro de carga y el neutro del generador, será cero.
2. En un sistema estrella-estrella desbalanceado, con neutro sin impedancia (ideal), el voltaje entre el neutro de carga y el neutro del generador, siempre será cero.
3. En un sistema estrella-estrella desbalanceado, sin neutro, el voltaje entre el neutro de carga (n') y el neutro del generador (n), se obtiene mediante la expresión:

$$V_{n'n} = \frac{E_a Y_a + E_b Y_b + E_c Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}$$

4. En un sistema estrella-estrella desbalanceado, con neutro con impedancia, el voltaje entre el neutro de carga y el neutro del generador, se obtiene mediante la expresión:

$$V_{n'n} = \frac{E_a Z_a + E_b Z_b + E_c Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c + Z_n}$$

5. En un sistema con el generador en estrella y la carga en delta desbalanceada, la carga en delta puede ser convertida en una estrella equivalente desbalanceada y aplicar los procedimientos para resolver un sistema estrella-estrella sin neutro.
6. En los circuitos trifásicos desbalanceados, la secuencia de los voltajes de la fuente necesariamente coinciden con la de las corrientes.

7. En los circuitos trifásicos no balanceados, la variación de la secuencia de los voltajes de la fuente, implica, en general, variación en el módulo y argumento de las corrientes y voltajes, o al menos en uno de ellos.
8. Para calcular la potencia activa trifásica en los circuitos desbalanceados, se aplica el principio de conservación de la potencia, de acuerdo con el cual, la potencia activa total o trifásica, es igual a la suma de las que se disipan en cada una de las fases.
9. En los circuitos trifásicos desbalanceados, el reactivo total o trifásico es el triplo del demandado por alguna de las fases.
10. La potencia aparente total o trifásica, es igual a la suma de las potencias aparentes de las fases.
11. La potencia compleja total o trifásica, es igual a la suma de las potencias complejas de las fases.
12. La potencia aparente trifásica es igual al módulo de la potencia compleja trifásica.
13. Para determinar el factor de potencia en circuitos trifásicos desbalanceados, se recurre directamente a su definición, o sea, es el cociente entre la potencia activa trifásica y la potencia aparente trifásica.
14. En el método de los tres watímetros, el cual consiste en la conexión de un instrumento en cada fase de la carga; cada watímetro está midiendo la potencia disipada en una fase.
15. En un sistema trifásico desbalanceado, sin neutro, es posible medir la potencia activa total, empleando solamente dos watímetros (método de Blondel).
16. El método de Blondel solamente es válido si las cargas están conectadas en estrella.
17. Si $V_{bob.p}$ representa el voltaje aplicado a la bobina de potencial de un watímetro e $I_{bob.c}$ representa la corriente que circula por su bobina de corriente, la lectura del watímetro se obtendrá mediante la expresión:

$$W = |V_{bob.p}| |I_{bob.c}| \cos(\alpha_{V_{bob.p}} - \alpha_{I_{bob.c}})$$

18. Al emplear el método de los dos watímetros (Blondel), la potencia activa total se obtiene mediante la suma algebraica de las lecturas de ambos instrumentos.

2.1.7 Solución de los ejercicios de autoevaluación

1.F	7.V	13.V
2.V	8.V	14.V
3.V	9.F	15.V
4.F	10.F	16.F
5.V	11.V	17.V
6.F	12.V	18.V

2.1.8 Materiales complementarios

C1. Circuitos trifásicos desbalanceados; CP1.Circuitos trifásicos desbalanceados (I); CP2. Circuitos trifásicos desbalanceados (II); CP3. Circuitos trifásicos desbalanceados (III); CP4. Circuitos trifásicos desbalanceados (IV); L1(S). Circuitos trifásicos desbalanceados. Disponibles en <http://moodle2.uclv.edu.cu/course/> Circuitos Eléctricos III.

2.1.9 Información sobre la próxima unidad didáctica

Componentes simétricas.

En esta unidad didáctica se estudia el método de las componentes simétricas para resolver sistemas trifásicos desbalanceados por voltaje (carga balanceada). El método permite transformar un sistema de tres voltajes (relacionados) desbalanceados en tres sistemas de voltajes balanceados, que son las componentes simétricas de los voltajes originales. Una vez obtenidas las componentes simétricas se obtiene la respuesta del circuito a cada una de

ellas y finalmente se antitransforman los resultados parciales obtenidos para llegar a la respuesta buscada. El contenido de esta unidad didáctica está estrechamente vinculado a la teoría de los circuitos trifásicos y es de gran aplicación en diversas asignaturas de la carrera

2.1.10 Bibliografía

Montó A, Ayllón E y Álvarez F. (sf) *Materiales Complementarios Circuitos Eléctricos II*. Taller de ediciones VRD: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

2.2 Unidad didáctica 2. Método de las componentes simétricas

2.2.1 Objetivos específicos

- Enumerar el sistema de componentes de secuencia.
- Definir los métodos para el cálculo de las componentes de secuencia.
- Establecer las expresiones para la aplicación del método de las componentes simétricas en la solución de circuitos trifásicos desbalanceados por voltaje.

2.2.2 Requisitos previos

Para obtener los resultados esperados, es necesario tener dominio de los elementos teóricos tratados en el tema *Circuitos trifásicos desbalanceados*.

2.2.3 Introducción

En este tema se introduce un método poderoso para trabajar con circuitos polifásicos desbalanceados, el Método de las componentes simétricas establecido por Fortescue, donde se demuestra que un sistema desbalanceado formado por n fasores relacionados entre sí, se puede descomponer en n sistemas de fasores balanceados nombrados componentes simétricas de los fasores originales. Los n fasores de cada sistema (componentes de secuencia) son iguales en magnitud, y el ángulo entre los fasores adyacentes de un sistema son iguales. En este tema el método se limitará a los sistemas trifásicos, aunque puede ser aplicado a cualquier sistema polifásico desbalanceado.

En esta unidad didáctica se abordarán las propiedades de las componentes de secuencia, además se obtendrán las ecuaciones de estas en función de los voltajes originales.

2.2.4 Orientaciones para el estudio

- Lee detalladamente las páginas 298 a la 304 del libro Elements of power system analysis. El material bibliográfico ofrece información sobre el procedimiento a emplear para el análisis del método de las componentes simétricas donde n sistema de fasores no balanceados se puede descomponer en n sistemas de fasores balanceados con diferentes configuraciones ya sea (generador en estrella y carga en estrella, generador en estrella y carga en delta).
- Considera ejemplos resueltos 12.1 y 12.2 páginas 304 a la 309 del libro. La información y conceptos asimilados en el punto anterior están relacionadas directamente con el procedimiento empleado en la solución de los ejercicios.
- Resuelve ejercicio propuesto 12.3, 12.5 12.6 y 12.8 del texto. Estos ejercicios exponen el análisis de los pasos a seguir para el cálculo de las variables de un circuito con carga balanceada y alimentado por un sistema desbalanceado con diferentes configuraciones.
- Lee detenidamente las páginas 204 a la 218 del libro Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II. El material bibliográfico ofrece información sobre el procedimiento a emplear para el análisis del método de las componentes simétricas donde n sistema de fasores no balanceados se puede descomponer en n sistemas de fasores balanceados con diferentes configuraciones (generador en estrella y carga en estrella, generador en estrella y carga en delta).
- Ver figura 3.14 página 205. Constituye el procedimiento para descomponer un sistema desbalanceado de tres fasores en las componentes de secuencia.
- Estudia ejemplos resueltos 3.5.1 y 3.5.2 página 210 y 213 del libro de texto. Una vez estudiado el punto anterior se puede comprender con mejor facilidad el método empleado en la solución de los ejemplos.

2.2.5 Resumen

Síntesis de fasores asimétricos a partir de sus componentes de secuencia

Si se tiene en cuenta el Teorema de Fortescue, tres fasores relacionados, no balanceados de un sistema trifásico se pueden descomponer en tres sistemas de fasores balanceados. Los conjuntos balanceados de componentes son:

- Componentes de secuencia positiva, consiste en tres fasores de igual magnitud y desplazados 120 grados entre sí, con igual secuencia de fase que los voltajes del sistema original.
- Componentes de secuencia negativa, consiste en tres fasores de igual magnitud y desplazados entre sí 120 grados, pero de secuencia opuesta a la de los voltajes del sistema original.
- Componentes de secuencia cero, consiste en tres fasores de igual magnitud y que se encuentran en fase, uno con respecto al otro, es decir con un desfase de cero grado entre ellos.

Al asumir una secuencia de fase abc en los voltajes originales, los voltaje serán $V(a)$, $V(b)$ y $V(c)$ y las componentes de secuencia se designaran por $V(a_1)$, $V(b_1)$ y $V(c_1)$ para las componentes de secuencia positiva, $V(a_2)$, $V(b_2)$ y $V(c_2)$ para las de secuencia negativa y $V(a_0)$, $V(b_0)$ y $V(c_0)$ para las de secuencia cero.

En la figura 2.2.1 y la 2.2.2 se muestran los tres sistemas de componentes simétricas. La validez del método se demuestra por medio de las ecuaciones siguientes:

$$V(a) = V(a_1) + V(a_2) + V(a_0) \quad (2.2.1)$$

$$V(b) = V(b_1) + V(b_2) + V(b_0) \quad (2.2.2)$$

$$V(c) = V(c_1) + V(c_2) + V(c_0) \quad (2.2.3)$$

Las ecuaciones darán como resultado un sistema de voltajes desbalanceados $V(a)$, $V(b)$ y $V(c)$.

Si se tiene en cuenta que la suma de las componentes de secuencia da como resultado un sistema desbalanceado de voltajes, se puede decir que todo sistema desbalanceado de

voltajes se puede descomponer en tres sistemas balanceados de secuencia positiva, negativa y cero.

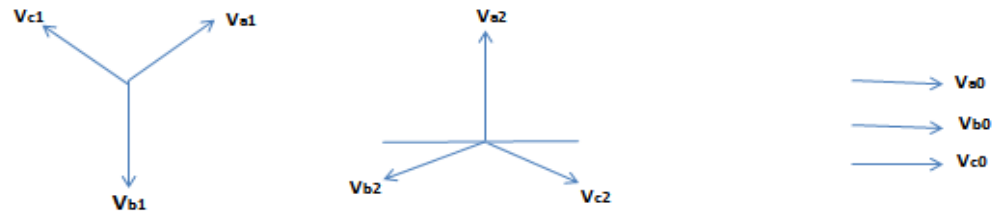


Figura 2.2.1: Gráfica que muestran los tres conjuntos de componentes simétricas.

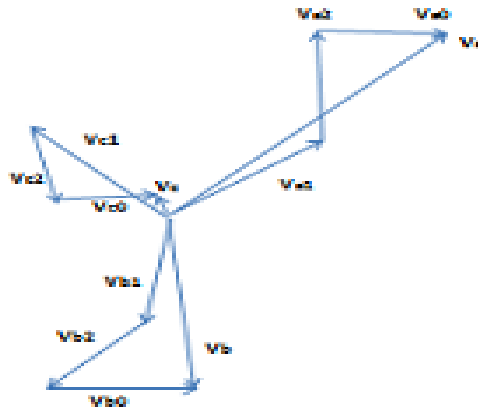


Figura 2.2.2: Gráfica que muestra la tensión de los voltajes originales.

Para el trabajo con las componentes de secuencia se introduce el operador a cuyo valor viene dado por $1\angle 120^\circ$, es decir, un operador que al multiplicarse por un fasor (número complejo) da por resultado un fasor de igual magnitud al original pero desfasado 120° en el sentido positivo.

Ecuaciones para obtener los componentes de secuencia

Para establecer las ecuaciones de las componentes de secuencia en función de los voltajes originales tendremos que expresar cada componente de $V(b)$ y $V(c)$ como el producto de la componente correspondiente de $V(a)$ por alguna función del operador $a = 1 \angle 120^\circ$. A partir de la Figura 2.2.2 se tiene que:

$$\begin{aligned} V(b_0) &= V(a_0) & V(c_0) &= V(a_0) \\ V(b_1) &= a^2 V(a_1) & V(c_1) &= a V(a_1) \\ V(b_2) &= a V(a_2) & V(c_2) &= a^2 V(a_2) \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

Al sustituir los valores hallados en {2.2.4}, en las ecuaciones {2.2.2} y {2.2.3} quedará:

$$V(a) = V(a_0) + V(a_1) + V(a_2) \quad (2.2.5)$$

$$V(b) = V(a_0) + a^2 V(a_1) + a V(a_2) \quad (2.2.6)$$

$$V(c) = V(a_0) + a V(a_1) + a^2 V(a_2) \quad (2.2.7)$$

Al resolver el sistema de ecuaciones {2.2.5}, se obtienen las expresiones que permiten descomponer tres fasores asimétricos en sus componentes simétricas:

$$V(a_0) = 1/3 [V(a) + V(b) + V(c)] \quad (2.2.8)$$

$$V(a_1) = 1/3 [V(a) + a V(b) + a^2 V(c)] \quad (2.2.9)$$

$$V(a_2) = 1/3 [V(a) + a^2 V(b) + a V(c)] \quad (2.2.10)$$

A partir de estas ecuaciones y con el empleo del operador a se pueden encontrar el resto de las componentes de secuencia. Resultados similares se pueden encontrar para los voltajes de línea a línea sustituyendo simplemente $V(a)$, $V(b)$ y $V(c)$ por $V(ab)$, $V(bc)$ y $V(ca)$ respectivamente.

Aplicación del método de las componentes simétricas en la solución de los circuitos trifásicos desbalanceados

Generador en Y y carga en Y

El circuito de la Figura 2.2.3 consiste en un generador con voltajes desbalanceados conectado en Y, secuencia *abc*, que alimenta una carga balanceada con neutro.

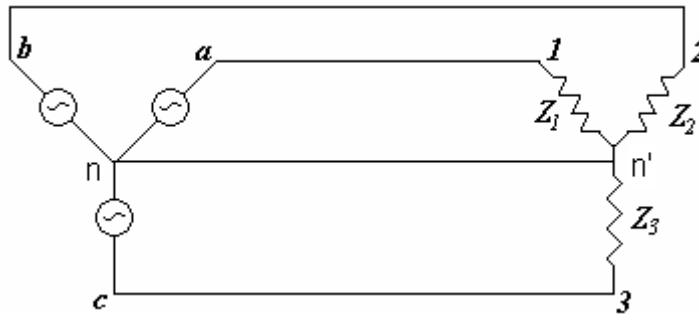


Figura 2.2.3: Generador desbalanceado conectado en estrella, secuencia *abc*, que alimenta una carga balanceada conectada en estrella.

Para obtener la solución de este circuito se descompone el sistema de voltajes desbalanceados, en tres sistemas de secuencia y se aplica el principio de superposición, es decir, se halla en base a las ecuaciones encontradas anteriormente, los tres sistemas de secuencia y se le aplica, uno a uno, al sistema de cargas balanceadas, obteniéndose las corrientes para cada uno de los sistemas. Posteriormente se hallan las corrientes reales sumando las que circulan debido a los efectos de cada sistema de secuencia.

Efecto del sistema de secuencia positiva

Al aplicar un sistema de voltajes de fase de secuencia positiva (sistema balanceado) a un sistema de cargas balanceadas, las corrientes debidas a este sistema constituirán un sistema balanceado de corrientes de igual magnitud y desfasadas 120 grados unas de otras, las que solamente circularán por las líneas y la corriente por el neutro igual a cero. Es decir conocido el voltaje de fase y el valor de la impedancia, se puede afirmar que:

$$I_{a1} = \frac{V_{a1}}{Z} \quad I_{b1} = \frac{V_{b1}}{Z} \quad I_{c1} = \frac{V_{c1}}{Z} \quad (2.2.11)$$

La corriente por el neutro debido al sistema de voltaje de secuencia positiva es, evidentemente, igual a cero. El voltaje de línea de esta secuencia es igual a $\sqrt{3}$ veces el voltaje de fase correspondiente y se adelanta 30 grados a este voltaje.

Efecto del sistema de secuencia negativa

El análisis de este caso es similar al anterior ya que se trata de un sistema balanceado pero con secuencia acb . Debe recordarse que para la secuencia negativa los voltajes de fase adelantan a los de línea.

$$I_{a2} = \frac{V_{a2}}{Z} \quad I_{b2} = \frac{V_{b2}}{Z} \quad I_{c2} = \frac{V_{c2}}{Z} \quad (2.2.12)$$

La corriente que circula por el neutro debido al sistema de voltaje de secuencia negativa es, indudablemente, igual a cero. El voltaje de línea de esta secuencia es igual a $\sqrt{3}$ veces el voltaje de fase correspondiente y se atrasa 30 grados a este voltaje.

Efecto del sistema de secuencia cero

Al tratarse de un sistema de voltajes monofásicos que se encuentran en fase y de igual magnitud se cumple que:

$$V(a_0) = V(b_0) = V(c_0) = I(a_0) \cdot Z + 3I(a_0) \cdot Z_n \quad (2.2.13)$$

Es decir:

$$I_{a0} = \frac{V_{a0}}{(Z + 3Z_n)} \quad (2.2.14)$$

Por lo tanto, por el neutro circula tres veces la corriente de línea de secuencia cero. Debe apreciarse que el voltaje de secuencia cero de línea a línea es igual a cero, luego se obtiene que:

$$V(ab_0) = V(an_0) + V(nb_0) = 0 \quad (2.2.15)$$

Las corrientes desbalanceadas (reales) que circulan por las líneas se calculan de la siguiente forma:

$$I(a) = I(a_1) + I(a_2) + I(a_0) \quad (2.2.16)$$

$$I(b) = I(b_1) + I(b_2) + I(b_0) \quad (2.2.17)$$

$$I(c) = I(c_1) + I(c_2) + I(c_0) \quad (2.2.18)$$

$$I(n) = 3I(a_0) = 3I(b_0) = 3I(c_0) \quad (2.2.19)$$

En el caso en que no exista unión entre los neutros, la corriente de secuencia cero se hace igual a cero ya que no existe el retorno para la misma, y el voltaje de secuencia cero será igual al existente entre ambos neutros $V(n'n)$. Las corrientes de secuencia positiva y negativa no se afectan ya que los voltajes de estas secuencias no contribuyen a la circulación de la corriente por el neutro.

Generador en estrella y carga en delta

Al analizar este caso debe recordarse que un sistema de cargas conectadas en delta se puede sustituir, por una simple transformación en un sistema equivalente de cargas conectadas en estrella, por lo tanto, todo lo analizado para el caso del sistema Y-Y sin neutro se cumple para este caso.

2.2.6 Ejercicios de autoevaluación

Completa el espacio en blanco en las afirmaciones siguientes:

1. En el método de las componentes simétricas se prueba que un sistema desbalanceado de n fasores relacionados, se puede descomponer en _____ sistemas de fasores balanceados llamados componentes simétricas de los fasores originales.
2. Las componentes de secuencia positiva consisten en tres fasores de igual magnitud desplazados uno de otro por un ángulo de _____ grados.
3. Las componentes de secuencia negativa consisten en tres fasores de _____ magnitud desplazados uno de otro por un ángulo de 120 grados.
4. Las componentes de secuencia cero consisten en tres fasores iguales en _____ y con un desplazamiento de fase de cero grados entre ellos.
5. Para el trabajo con las componentes de secuencia se introduce el operador _____ cuyo valor viene dado por $1 \angle 120^\circ$.
6. La ecuación $1/3 [V(a) + V(b) + V(c)]$ permite obtener la componente _____.
7. La ecuación $1/3 [V(a) + a V(b) + a^2 V(c)]$ permite obtener la componente _____.

8. La ecuación $\frac{1}{3} [V(a) + a^2 V(b) + a V(c)]$ permite obtener la componente_____.
9. La expresión $V(a_1) + V(a_2) + V(a_0)$ da como resultado el voltaje original_____.
10. Los voltajes $V(b_1)$ y $V(c_1)$ se obtienen a partir de $V(a_1)$ mediante rotaciones de_____ grados.
11. Al aplicar el sistema de voltajes de secuencia positiva a un sistema de cargas balanceadas, la corriente por el _____ es igual a cero.
12. Al aplicar el sistema de voltajes de secuencia negativa a un sistema de cargas balanceadas, la corriente por el _____ es igual a cero.
13. Al aplicar el sistema de voltajes de secuencia cero a un sistema de cargas balanceadas, por el neutro circula_____ veces la corriente de línea de secuencia cero.
14. En el caso en que no exista_____ entre el neutro de carga y el neutro del generador, la corriente de secuencia cero que circula por las líneas, se hace igual a cero.
15. En el caso en que no exista unión entre el neutro de carga y el neutro del generador, el voltaje entre ambos neutros será igual a_____.
16. En un sistema con neutro o sin neutro se cumple que el voltaje de secuencia cero de línea a _____ es igual a cero.

2.2.7 Solución a los ejercicios resueltos

- | | | | |
|----------|---------------|----------------|---------------|
| 1) n | 2) 120 | 3) igual | 4) magnitud |
| 5) a | 6) $V_{(a0)}$ | 7) $V_{(a1)}$ | 8) $V_{(a2)}$ |
| 9) V_a | 10) 120 | 11) neutro | 12) neutro |
| 13) Tres | 14) unión | 15) $V_{(a0)}$ | 16) línea |

2.2.8 Materiales complementarios

C2. Componentes simétricas; CP3. Componentes simétricas (I); CP5. Componentes simétricas (II); CP6. Componentes simétricas (III); Disponibles en [http://moodle2.uclv.edu.cu/course/ Circuitos Eléctricos III](http://moodle2.uclv.edu.cu/course/Circuitos%20El%C3%A9ctricos%20III).

2.2.9 Información sobre la próxima unidad didáctica

• Circuitos monofásicos no sinusoidales

Esta unidad didáctica se dedica al análisis de los circuitos cuando el estímulo no es sinusoidal, sino que tiene forma de onda arbitraria, pero periódica. El procedimiento consistirá en obtener para cada señal una representación en forma de una suma discreta de funciones sinusoidales. El método fasorial y el principio de superposición permitirán obtener la respuesta deseada.

2.2.10 Bibliografía

Ayllón, E (1987). *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Impreso por el Combinado Poligráfico Haydée Santamaría: Pueblo y Educación.

Stevenson W. (1981). *Elements of Power System Analysis*, Primera reimpresión, 1981, tomado de la 3ra, edición, 1975. Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana: Pueblo y educación.

2.3 Unidad Didáctica 3. Circuitos monofásicos no sinusoidales

2.3.1 Objetivos específicos

- Identificar la serie de Fourier en forma trigonométrica para representar señales no sinusoidales periódicas.
- Valorar la influencia de la simetría en la serie de Fourier en forma trigonométrica.
- Definir el cálculo de valores eficaces y potencias en circuitos alimentados con fuentes no sinusoidales periódicas.

2.3.2 Requisitos previos

Para poder obtener los resultados esperados, es necesario tener dominio del método fasorial y el principio de superposición empleado en los temas anteriores.

2.3.3 Introducción

En esta unidad didáctica se estudian los métodos para determinar el comportamiento de un circuito bajo la influencia de ondas no sinusoidales periódicas.

Cualquier función periódica puede representarse como la suma de un número infinito de funciones seno y coseno, relacionadas armónicamente. Por tanto, ya que la respuesta forzada debida a cada componente sinusoidal puede determinarse si se usa el análisis en estado estable sinusoidal, la respuesta de la red lineal debida a la frecuencia de excitación periódica general puede obtenerse si se superponen las respuestas parciales.

2.3.4 Orientaciones para el estudio

- Leer detenidamente las páginas 419 a la 432 del libro Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II. Este libro ofrece una información detallada y profunda acerca del procedimiento a emplear para el análisis de circuitos monofásico no sinusoidales.
- Estudiar los ejemplos resueltos 6.3.1, 6.3.2 y 6.4.1 página 433, 443 y 457 del libro. En los ejemplos se aplican los conceptos más importantes de este tema.
- Considerar ejemplos resueltos 18.1, 18.2 y 18.4 páginas 694, 703 y 709 del libro Análisis de Circuitos en Ingeniería. Identificar el objetivo del problema y la técnica que se ajusta mejor para dar solución, observar que se emplean muchos de los conceptos más generales en este capítulo y demás capítulos precedentes.

2.3.5 Resumen

Cualquier función periódica puede representarse como la suma de un número infinito de funciones seno y coseno, relacionadas armónicamente. Por tanto, ya que la respuesta forzada debida a cada componente sinusoidal puede determinarse usando el análisis en estado estable sinusoidal, la respuesta de la red lineal debida a la señal de excitación periódica general puede obtenerse con la superposición de las respuestas parciales.

Puede obtenerse cierta idea de la validez de representar una función periódica general por medio de una suma infinita de funciones seno y coseno, considere un ejemplo sencillo. Supongamos primero una función coseno de frecuencia angular, ω_0

$$v_1(t) = 2 \cos \omega_0 t \quad (2.3.1)$$

Donde: $\omega_0 = 2\pi f$ (2.3.2)

Y el periodo T es:

$$T = \frac{1}{f_0} = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (2.3.3)$$

T, representa el periodo de la frecuencia fundamental.

Las armónicas de esta senoide tienen frecuencias ($n\omega_0$) donde ω_0 es la frecuencia fundamental y $n = 1, 2, 3, \dots$. La frecuencia fundamental es la frecuencia de la primera armónica.

Forma trigonométrica de la serie de Fourier

Se considera una función periódica $f(t)$, definida por la relación funcional:

$$f(t) = f(t + T) \quad (2.3.4)$$

Donde: T es el periodo. Además se supondrá que $f(t)$ satisface las propiedades siguientes:

1. $f(t)$ es univaluada en todo punto es decir $f(t)$ satisface la definición matemática de función.
2. La integral $\int_{t_0}^{t_0+T} |f(t)| dt$ existe (no es infinita) para cualquier valor de t_0 .
3. $f(t)$ tiene un número finito de discontinuidades en un periodo.
4. $f(t)$ tiene un número finito de máximos y mínimos en un periodo.

Se considerará que $f(t)$ representa una onda de voltaje o de corriente, y cualquier onda de voltaje o de corriente que se pueda producir en la realidad deberá satisfacer estas condiciones.

Dada una función periódica $f(t)$ con estas características, el teorema de Fourier establece que $f(t)$ puede representarse por la serie infinita:

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots + b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + \dots$$

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (2.3.5)$$

Donde la frecuencia fundamental se relaciona con el periodo por $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ y donde a_0 , a_n y b_n son constantes que dependen de n y $f(t)$.

La ecuación (2.3.5) es la forma trigonométrica de la serie de Fourier para $f(t)$, y el proceso de determinar los valores de a_0 , a_n y b_n recibe el nombre de análisis de Fourier. Si se parte de un desarrollo matemático se obtiene que

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.3.6)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad (2.3.7)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega_0 t dt \quad (2.3.8)$$

Uso de la simetría

Se dice que $f(t)$ tiene la propiedad de simetría par si:

$$f(t) = f(-t)$$

La simetría impar se define si se tiene en cuenta que:

$$f(t) = -f(-t)$$

Si $f(t)$ se sustituye por $f(-t)$ entonces se obtiene el negativo de la función dada.

Pueden demostrarse los siguientes efectos de la simetría en una serie de Fourier:

Si $f(t)$ tiene simetría par entonces $b_n = 0$ y recíprocamente si $b_n = 0 \rightarrow f(t)$ tiene simetría par.

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad (2.3.9)$$

Si $f(t)$ tiene simetría impar, entonces $a_n = 0$ y $a_0 = 0$ y su recíproco, por lo tanto una función impar no puede tener un término constante o términos coseno en su expansión de Fourier.

Una función $f(t)$ tiene simetría de media onda si:

$$f(t) = -f\left(t + \frac{1}{2}T\right) \quad (2.3.10)$$

Excepto por un cambio de signo, cada medio ciclo es igual a los medios ciclos adyacentes. Cuando una onda tiene simetría de media onda y simetría par o impar, es posible reconstruir la onda si se conoce la función en un intervalo de un cuarto de período.

$$\left. \begin{array}{l} a_n = \frac{8}{T} \int_0^{T/4} f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad \rightarrow \quad n \text{ impar} \\ a_n = 0 \quad \rightarrow \quad n \text{ par} \\ b_n = 0 \quad \rightarrow \quad \text{toda } n \end{array} \right\} \text{Simetría de media onda y par}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 a_n = 0 \quad \rightarrow \quad \text{toda } n \\
 b_n = \frac{8}{T} \int_0^{T/4} f(t) \operatorname{sen} n\omega_0 t \, dt \quad \rightarrow \quad n \text{ impar} \\
 b_n = 0 \quad \rightarrow \quad n \text{ par}
 \end{array} \right\} \text{Simetría de media onda e impar}$$

Dedicar unos instantes a investigar la simetría de una función para la cual se quiere hallar la serie de Fourier correspondiente, permite simplificar en muchos casos el análisis de Fourier.

Forma compleja de la serie de Fourier

Es la forma más conveniente y concisa de la serie de Fourier, los senos y cosenos se expresan como funciones exponenciales con constantes multiplicativas complejas. Se expresa a través de dos relaciones básicas.

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t} \\
 C_n &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_0 t} \, dt
 \end{aligned} \tag{2.3.11}$$

Valor eficaz de una onda no sinusoidal periódica

Para una onda de voltaje (corriente) no sinusoidal periódica, conocida su serie de Fourier en forma trigonométrica, el valor eficaz se calcula mediante:

$$V_{rms} = \sqrt{V_0^2 + \frac{Vm_1^2 + Vm_2^2 + \dots + Vm_n^2}{2}} \tag{2.3.12}$$

Potencia debido a voltajes y corrientes no sinusoidales

La potencia activa se calcula como:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T vi \, dt = V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Vm_n \operatorname{Im}_n}{2} \cos(\alpha_{v_n} - \alpha_{i_n}) \tag{2.3.13}$$

La potencia aparente se determina multiplicando el voltaje eficaz por la corriente eficaz:

$$|S| = V_{rms} I_{rms} \quad (2.3.14)$$

El factor de potencia se calcula como:

$$fp = \frac{P}{|S|} \quad (2.3.15)$$

Análisis de circuitos con fuentes no sinusoidales

Debe hacerse teniendo en cuenta que:

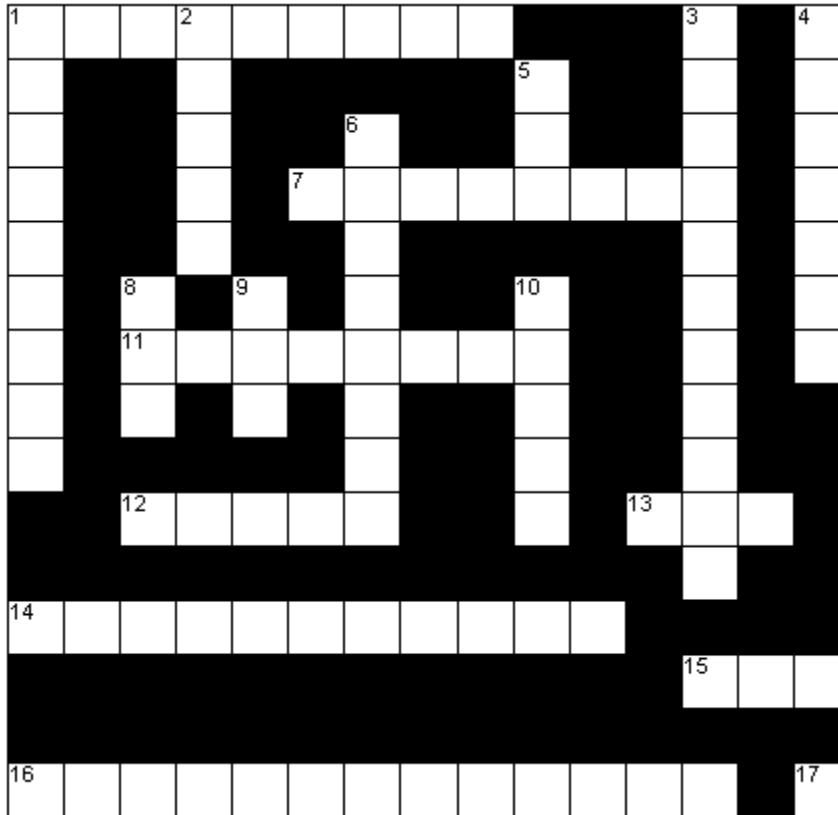
- Cada fuente no sinusoidal se sustituye por $(n - 1)$ fuentes sinusoidales cuyas frecuencias corresponden a la fundamental y a cada uno de los armónicos analizados y una de corriente directa.
- La respuesta del circuito se determina si se aplica el principio de superposición, es decir, para cada armónico se calculan las corrientes y voltajes deseados, previa desactivación de las fuentes correspondientes a los armónicos no analizados.
- Las soluciones obtenidas para cada armónico por separado se consideran en conjunto para establecer la respuesta total.

Debe tenerse en cuenta que las reactancias varían de acuerdo a la frecuencia de cada armónico.

$$\begin{aligned} X_{L1} &= \omega_0 L & X_{C1} &= \frac{1}{\omega_0 C} \\ X_{Ln} &= n\omega_0 L = nX_{L1} & X_{Cn} &= \frac{1}{n\omega_0 C} = \frac{X_{C1}}{n} \end{aligned} \quad (2.3.16)$$

2.3.6 Ejercicios de autoevaluación

Resuelve el crucigrama siguiente:



Horizontales:

- 1- Tipo de función que puede representarse como la suma de un número infinito de funciones seno y coseno.
- 7- Denominación del espectro en el que cualquier intervalo finito de frecuencias contiene solo un número finito de componentes de frecuencia.
- 11 - Potencia que se determina multiplicando el voltaje eficaz por la corriente eficaz.
- 12 - Armónicos cuyas frecuencias son múltiplos pares de la frecuencia fundamental.
- 13 - Tipo de simetría de una función.
- 14 - Nombre dado a la frecuencia de la primera armónica.
- 15 - Tipo de función que posee simetría espejo con respecto al eje $f(t)$.
- 16 -Principio que se aplica para obtener la respuesta de un circuito lineal con fuentes no sinusoidales.

17 - Letra usada para representar el período de la frecuencia fundamental.

Verticales:

1 - Nombre de la función que se repite a si misma cada T segundos.

2 - Tipo de simetría de una función periódica en la cual se cumple que $f(t) = f(-t)$

3 - Forma compacta de expresar la serie de Fourier en forma trigonométrica.

4 - Armónico cuya frecuencia es n veces la frecuencia de la fundamental.

5 - Tipo de simetría de una función periódica en la cual se cumple que $f(t) = -f(-t)$

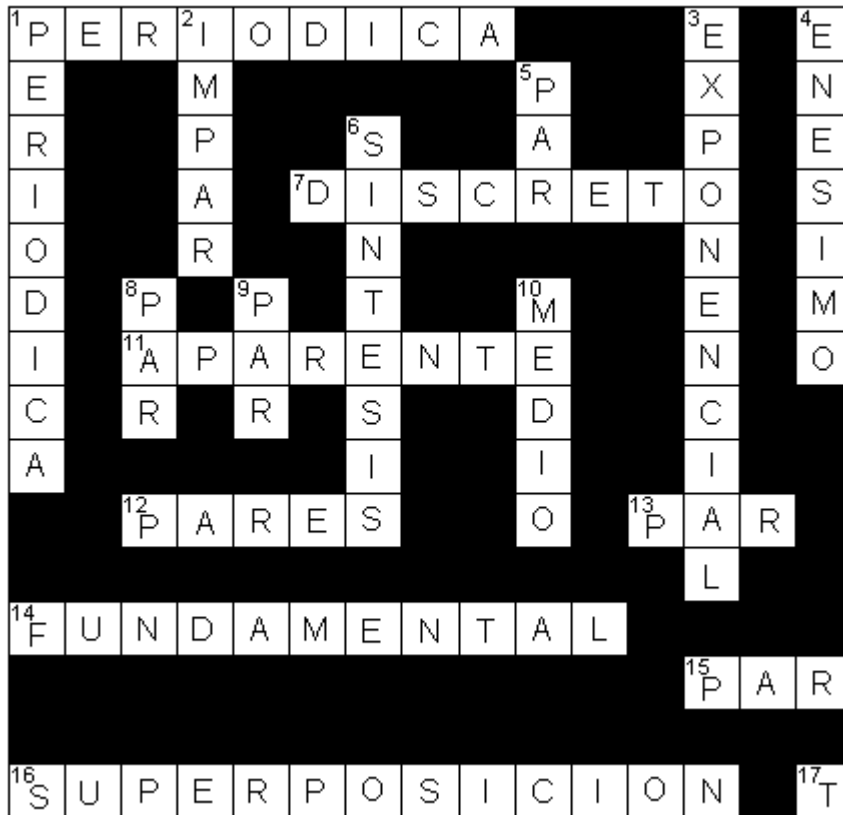
6 - Recombinación de los términos de la serie de Fourier trigonométrica, ordinariamente los cuatro o cinco primeros, para reproducir la onda original.

8 - Simetría de la función que resulta de multiplicar dos funciones con simetría par.

9 - Simetría de la función que resulta de multiplicar dos funciones con simetría impar.

10 - Valor de $f(t)$ que se obtiene mediante la expresión $a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$.

2.3.7 Solución a los ejercicios resueltos



2.3.8 Materiales complementarios

C3. Circuitos monofásicos no sinusoidales; CP8. Circuitos monofásicos no sinusoidales (I).
Disponibles en <http://moodle2.uclv.edu.cu/course/> Circuitos Eléctricos III

2.3.9 Información sobre la próxima unidad didáctica

- **Circuitos trifásicos no sinusoidales.**

En esta unidad se estudiarán los sistemas trifásicos, cuando las fem generadas son ondas periódicas no sinusoidales. Se considerarán circuitos trifásicos energizados por voltajes distorsionados pero balanceados, que poseen simetría de media onda por lo que las componentes pares son cero y no existe componente de CD.

2.3.10 Bibliografía

Ayllón, E (1987). *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Impreso por el Combinado Poligráfico Haydée Santamaría: Pueblo y Educación.

Hayt W., Kemmerly J. y Durbin S. (2012). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. Sexta Edición. Editorial Félix Varela. Holguín.

2.4 Unidad Didáctica 4. Circuitos trifásicos no sinusoidales

2.4.1 Objetivos específicos

- Analizar las características de los circuitos en presencia de armónicos
- Establecer las expresiones de voltaje y corriente de línea y de fase de un circuito trifásico energizado por una fuente de voltaje no sinusoidal.
- Definir las expresiones para el cálculo de la potencia activa y reactiva en un circuito trifásico energizado por ondas no sinusoidales.

2.4.2 Requisitos previos

Para alcanzar los resultados anhelados, es necesario poseer dominio de los conceptos y métodos relacionados con el tema *Circuitos monofásicos no sinusoidales*, el cual fue estudiado en la unidad anterior.

2.4.3 Introducción

En esta unidad se estudia el procedimiento a seguir para el análisis de los sistemas trifásicos, cuando las fem generadas son ondas periódicas no sinusoidales.

Se considerarán circuitos trifásicos energizados por voltajes distorsionados pero balanceados, que poseen simetría de media onda, por lo que las componentes pares son cero y no existe componente de CD. Se considerará que la carga es balanceada.

2.4.4 Orientaciones para el estudio

- Lee cuidadosamente las páginas 464 a la 481 del libro de texto *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Este material bibliográfico ofrece una información

precisa y detallada acerca del método a emplear para el estudio de circuitos trifásicos no sinusoidal con diferentes configuraciones (estrella-estrella con y sin neutro, generador en estrella y carga en delta y generador conectado en delta).

- Estudia los ejercicios resueltos 6.5.1, 6.5.2 y 6.5.3 que aparecen en las páginas 474, 477 y 478 del libro. Relacionar la información asimilada en el punto anterior con el proceso de solución de los ejercicios resueltos.

2.4.5 Resumen

Solución de circuitos trifásicos energizados por ondas no sinusoidales

Sea un sistema de voltajes trifásicos dado por:

Fase “a”

$$v = V_{m1} \cos(\omega t + \alpha_1) + V_{m3} \cos(3\omega t + \alpha_3) + V_{m5} \cos(5\omega t + \alpha_5) + V_{m7} \cos(7\omega t + \alpha_7) \quad (2.4.1)$$

Fase “b”

$$v = V_{m1} \cos(\omega t + \alpha_1 - 120) + V_{m3} \cos(3\omega t + \alpha_3 - 360) + V_{m5} \cos(\omega t + \alpha_5 - 600) + V_{m7} \cos(\omega t + \alpha_7 - 840) \quad (2.4.2)$$

Lo que se describe como:

$$v = V_{m1} \cos(\omega t + \alpha_1 - 120) + V_{m3} \cos(\omega t + \alpha_3) + V_{m5} \cos(\omega t + \alpha_5 + 120) + V_{m7} \cos(\omega t + \alpha_7 - 120) \quad (2.4.3)$$

Fase “c”

$$v = V_{m1} \cos(\omega t + \alpha_1 + 120) + V_{m3} \cos(\omega t + \alpha_3 + 360) + V_{m5} \cos(\omega t + \alpha_5 + 600) + V_{m7} \cos(\omega t + \alpha_7 + 480) \quad (2.4.4)$$

Lo que puede describirse como:

$$v = V_{m1} \cos(\omega t + \alpha_1 + 120) + V_{m3} \cos(\omega t + \alpha_3) + V_{m5} \cos(\omega t + \alpha_5 - 120) + V_{m7} \cos(\omega t + \alpha_7 + 120) \quad (2.4.5)$$

Al comparar las tres ecuaciones anteriores se observa que:

- Los armónicos fundamentales (primeros armónicos) constituyen un sistema de voltajes balanceados de secuencia abc.
- Los terceros armónicos son de igual magnitud y están en fase.

- Los quintos armónicos constituyen un sistema de voltajes balanceados y de secuencia acb.

Circuito estrella - estrella con y sin neutro

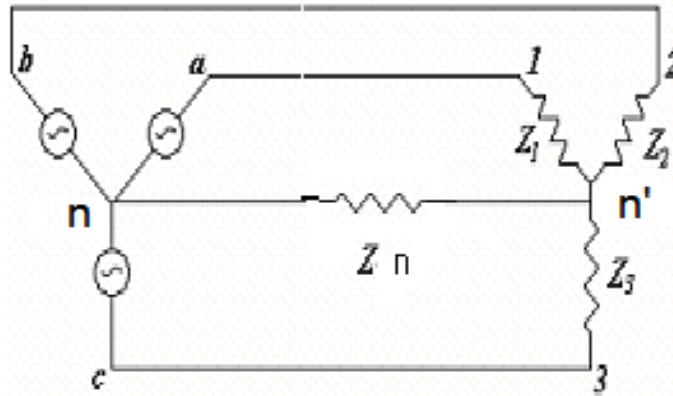


Figura 2.4.1: Generador en estrella con carga en estrella.

Desde el punto de vista del primer y quinto armónico, se tiene un sistema trifásico balanceado de secuencia positiva y negativa respectivamente, cuya solución fue estudiada en el tema *Circuitos trifásicos balanceados* y se retoma en el tema *Componentes simétricas*.

Con respecto al tercer armónico es evidente que las corrientes de línea son iguales y están en fase, sumándose en el neutro de la carga, por lo que la corriente por el neutro (I_N) de tercer armónico es tres veces la corriente de fase del tercer armónico. El voltaje de línea de tercer armónico es igual a cero.

La corriente del tercer armónico se determina mediante:

$$I_3 = \frac{V_3}{Z_{c3} + 3Z_{n3}} \tag{2.4.5}$$

Cuando no existe conductor neutro, las corrientes de línea del tercer armónico se hacen cero ya que no existe el conductor de retorno para esas corrientes. Es de destacar que en ambos casos (con o sin neutro) los voltajes de tercer armónico entre líneas serán cero.

Circuito con generador en estrella y carga en delta

Si una carga en delta se convierte en una carga en estrella, se tiene un sistema estrella – estrella sin neutro, ya analizado, en las líneas no existirán corrientes del tercer armónico que circulan tanto en las líneas como en las fases de la delta solamente las corrientes del primer y quinto armónico.

Generador conectado en delta

La Figura 2.4.4 permite analizar lo que sucede en un banco de transformadores o en un generador conectado en delta, en el que se genera una onda no sinusoidal que contiene solamente armónicos impares.

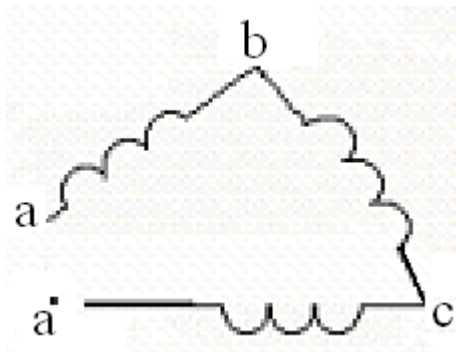


Figura 2.4.4: Generador en delta abierta

Cuando los puntos a y a' están unidos (delta cerrada) se tiene:

$$3V_3 = 3I_3Z_3$$

Es decir, circulará una corriente de tercer armónico en la delta cerrada aun cuando no exista carga conectada y además se cumplirá que la subida producida por el voltaje generado por fase del tercer armónico es igual a la caída producida al circular la corriente por la impedancia de fase, lo que significa que el voltaje de línea del tercer armónico será igual a cero.

Una vez que se abren los terminales a y a', la lectura de un voltímetro conectado entre ellos será igual a $3V_3$, y es igual a cero los voltajes del primer y quinto armónicos.

2.4.6 Ejercicios de autoevaluación

Relacione la columna A con la B.

Columna A

Columna B

a) Las fem solo tienen armónicas de orden	a) 120°
b) Las tres fem constituyen un sistema balanceado y sus armónicas fundamentales están desfasados	b) trifásico
c) Las componentes de las quintas armónicas son un sistema trifásico	c) tercera armónica
d) Las armónicas primera, séptima, decimotercera, etc son sistemas trifásico balanceado de secuencia	d) Impar
e) Las armónicas tercera, novena, decimoquinta, etc no constituyen un sistema	e) balanceado
f) Son sistemas trifásicos balanceados las armónicas quinta, decimoprimer decimoséptima pero de secuencia	f) abc
g) Un sistema estrella- estrella con conexión entre neutros la corriente de la tercera armónica que circula por el neutro es	g) cero
h) El voltaje de línea de la tercera armónica en un sistema estrella- estrella con conexión entre	h) líneas

neutros es	
i) El voltaje del tercer armónico en un sistema estrella- estrella sin conexión entre neutros es	i) acb
j) Un generador conectado en delta esté o no conectado a una carga existe una corriente internamente circulante de tercer	j) corriente circulante
k) En un circuito estrella – estrella trifilar sin conexión entre neutro tampoco existe voltaje de tercer armónica entre	k) igual a la fem de dicha armónica que se genera en la fase de la fuente trifásica
l) Un generador trifásico conectado en delta la corriente de la tercera armónica por razones históricas se denomina	l) el triple de la que circula por cualquiera de las líneas o de las fases

2.4.7 Solución a los ejercicios resueltos

a → d	e → b	i → k
b → a	f → i	j → c
c → e	g → l	k → h
d → f	h → g	l → j

2.4.8 Materiales complementarios

C4. Circuitos trifásicos no sinusoidales; CP 9. Circuitos trifásicos no sinusoidales (I); CP10. Circuitos trifásicos no sinusoidales (II); CP11. Circuitos trifásicos no sinusoidales (III). Disponibles en [http://moodle2.uclv.edu.cu/course/ Circuitos Eléctricos III](http://moodle2.uclv.edu.cu/course/Circuitos%20El%C3%A9ctricos%20III).

2.4.9 Información sobre la próxima unidad didáctica

• La transformada de Fourier

En esta unidad didáctica se estudia la transformada de Fourier la cual extiende la descripción en el dominio de la frecuencia a funciones que no son periódicas. La transformada de Fourier es útil en teoría de las comunicaciones y procesamiento de señales.

En la unidad didáctica se ilustra como emplear la transformada de Fourier para encontrar la respuesta de un circuito a una señal no periódica.

2.4.10 Bibliografía

Ayllón, E (1987). *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Impreso por el Combinado Poligráfico Haydée Santamaría: Pueblo y Educación.

Thompson H. (1955). *Alternating- Current and Transient Circuit Analysis*: Copyright Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. Printed in the United States of America.

2.5 Unidad Didáctica 5. La transformada de Fourier

2.5.1 Objetivos específicos

- Definir las propiedades de la transformada de Fourier.
- Aplicar la Transformada de Fourier en la solución de circuitos eléctricos.

2.5.2 Requisitos previos

Para alcanzar los resultados a que se aspiran, es preciso tener dominio de los conocimientos acerca del análisis de los circuitos estimulados con funciones periódicas no sinusoidales.

2.5.3 Introducción

La unidad didáctica aborda el estudio de la transformada de Fourier la cual permite el paso del dominio. La transformada de Fourier puede tratar circuitos con entradas o estímulos para $t < 0$ al igual que para $t > 0$.

La magnitud de $F(j\omega)$ da el espectro continuo de frecuencia y su forma es idéntica a la envolvente del espectro de líneas para la misma función periódica. Para funciones no periódicas (un pulso rectangular, una función rampa), por ejemplo puede obtenerse el espectro de frecuencia, pero serán espectros continuos.

2.5.4 Orientaciones para el estudio

- Lee detenidamente a partir de la página 495 hasta la 526 del libro de texto Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II. El material bibliográfico ofrece una información clara acerca del método a emplear para el estudio de las propiedades de la transformada de Fourier así como su aplicación en circuitos reales.
- Estudia los ejercicios resueltos 6.7.1 y 6.12 páginas 499 y 548 del libro. Referirse a la información confrontada en el sitio anterior con el proceso de solución de los ejercicios resueltos.
- Lee detenidamente a partir de la página 712 a la 736 del libro de texto. Análisis de Circuitos en Ingeniería. El material ilustra de manera precisa las propiedades de la transformada de Fourier y su aplicación en circuitos reales.
- Resuelve los ejercicios propuestos 26, 33 y que aparecen en la página 741 y 742 del libro. Para dar solución a los ejercicios debe tenerse en cuenta la definición de la transformada de Fourier y sus propiedades.

2.5.5 Resumen

Expresión de la forma exponencial de la serie de Fourier

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_0 t} \quad (2.5.1)$$

Definición de la Transformada de Fourier:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-jn\omega t} dt \quad (2.5.2)$$

Transformada inversa de Fourier:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) e^{jn\omega t} d\omega \quad (2.5.3)$$

La relación del par de transformadas de Fourier es única, es decir, para una $f(t)$ dada existe solo una $F(j\omega)$ específica.

Propiedades de la Transformada de Fourier

Tabla 2.5.1: Propiedades de la Transformada de Fourier.

1.	$f_1(t) \pm f_2(t)$	$(j\omega) \pm F_2(j\omega)$	Superposición
2.	$Kf(t)$	$KF(j\omega)$	Homogeneidad
3.	$\frac{d^n f}{dt^n}$	$(j\omega)^n F(j\omega)$	Diferenciación
4.	$\int_{-\infty}^{\tau} f(\tau) d\tau$	$\frac{1}{j\omega} F(j\omega)$	Integración
5.	$f(t - t_0)$	$F(j\omega) e^{-j\omega t_0}$	Corrimiento en el dominio del tiempo
6.	$f(t) e^{j\omega_0 t}$	$F[j(\omega - \omega_0)]$	Corrimiento en el dominio de la frecuencia
7.	$f(at)$	$\frac{1}{ a } F\left(j\frac{\omega}{a}\right)$	Escalamiento en el tiempo
8.	$f_1(t) * f_2(t)$	$F_1(j\omega) * F_2(j\omega)$	Convolución en el dominio del tiempo

Teorema de Parseval:

Si se considera que $f(t)$ representa el voltaje o la corriente en un resistor de 1Ω , se tiene que $f^2(t)$ es la potencia instantánea entregada por $f(t)$ al resistor de 1Ω . Si se integra esta potencia sobre todo el tiempo se obtiene la energía total entregada por $f(t)$ a dicho resistor.

El Teorema de Parseval permite una mejor comprensión e interpretación de la transformada de Fourier. Si se considera un voltaje $v(t)$ cuya transformada de Fourier es $Fv(j\omega)$, la energía $W_{1\Omega}$ entregada a un resistor de 1Ω se obtiene mediante la expresión:

$$W_{1\Omega} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |Fv(j\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |Fv(j\omega)|^2 d\omega \quad (2.5.4)$$

por ser $|Fv(j\omega)|^2$ una función par de ω .

Como $\omega = 2\pi f$, puede escribirse:

$$W_{1\Omega} = \int_{-\infty}^{\infty} |Fv(j\omega)|^2 df = 2 \int_0^{\infty} |Fv(j\omega)|^2 df \quad (2.5.5)$$

Aplicación de la Transformada de Fourier en la solución de circuitos eléctricos.

La transformada de de Fourier generaliza la técnica fasorial a las funciones no periódicas. Por eso las transformadas de Fourier pueden aplicarse a circuitos con excitaciones no sinusoidales, exactamente en la misma forma en que se aplican las técnicas fasoriales en circuitos con excitaciones sinusoidales. Por tanto, se mantiene válida la ley de Ohm:

$$V(j\omega) = Z(j\omega)I(j\omega) \quad (2.5.6)$$

Donde $V(j\omega)$ e $I(j\omega)$ son las transformadas de Fourier del voltaje y la corriente, $Z(j\omega)$ es la impedancia. Se utilizan las mismas expresiones para las impedancias de los resistores, inductores y capacitores que se utilizan en el análisis fasorial.

$$R \Rightarrow R$$

$$L \Rightarrow j\omega L$$

$$C \Rightarrow \frac{1}{j\omega C}$$

Una vez transformadas las funciones de los elementos del circuito al dominio de la frecuencia y determinadas las transformadas de Fourier de los estímulos, pueden ser empleadas las técnicas de análisis de circuitos eléctricos: divisores de voltaje y corriente, transformaciones de fuentes, métodos de solución (nodos o mallas) o aplicación de teoremas como el de Thevenin y Norton, para hallar la corriente o el voltaje desconocido. Finalmente se utiliza la transformada inversa de Fourier para obtener la respuesta en el dominio del tiempo.

Aunque la transformada de Fourier produce una respuesta que existe para $-\infty < t < \infty$, el análisis de Fourier no puede manejar circuitos con condiciones iniciales.

2.5.6 Ejercicios de autoevaluación

Responde las interrogantes siguientes:

1. ¿Cuáles son las frecuencias armónicas de una senoide con frecuencia fundamental ω_0 ?
2. ¿Cuál es la función que da lugar a la transformada de Fourier de $f(t)$?
3. ¿Cuál es la transformada inversa de Fourier para la función $F(j\omega)$?
4. ¿Cuándo puede considerarse una señal aperiódica como el límite de una periódica?
5. ¿Cuál es el valor de la frecuencia en un circuito cuando el capacitor se comporta como un circuito abierto y el inductor como un cortocircuito?
6. ¿Cuál es el valor de la frecuencia en un circuito cuando el inductor se comporta como un circuito abierto y el capacitor como un cortocircuito?
7. ¿Qué diferencias existen entre la Transformada de Fourier y la Serie de Fourier?

8. Si se desea realizar el análisis espectral de una función. ¿Qué usted utilizaría la serie o la Transformada de Fourier?
9. Enuncie el Teorema de Parseval.

2.5.7 Solución a los ejercicios resueltos

1 Son $n\omega_0$

2 La función es $F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-jn\omega t} dt$

3 Es $f(t)$

4 Cuando el periodo tiende a infinito

5 La frecuencia es cero

6 La frecuencia es infinita

7 Ambas están formadas por sumas infinitas de funciones, solo que para la serie los armónicos existen para valores discreto de frecuencia y para la transformada para todo valor de frecuencia.

8 La Transformada de Fourier.

9 La energía asociada con $f(t)$ puede obtenerse ya sea por medio de una integración sobre todo el tiempo (en el dominio del tiempo) o por $\frac{1}{2\pi}$ veces la integración sobre toda la frecuencia (en el dominio de la frecuencia).

2.5.8 Materiales complementarios

C5 .Transformada de Fourier; Cp. 12 Transformada de Fourier (I).Cp. 13 Transformada de Fourier (II). Disponibles en <http://moodle2.uclv.edu.cu/course/> Circuitos Eléctricos III

- **Transformada de Laplace**

En la siguiente unidad didáctica se estudia la transformada de Laplace. Es una integral que transforma una función en el tiempo en una nueva función de variable compleja. La

transformada de Laplace es una eficaz herramienta matemática para el análisis y diseño de los circuitos eléctricos.

2.5.9 Información sobre la próxima unidad didáctica

En la siguiente unidad didáctica se estudia la transformada de Laplace. Es una integral que transforma una función en el tiempo en una nueva función de variable compleja. La transformada de Laplace es una eficaz herramienta matemática para el análisis y diseño de los circuitos eléctricos.

2.5.10 Bibliografía

Ayllón, E (1987). *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Impreso por el Combinado Poligráfico Haydée Santamaría: Pueblo y Educación.

Hayt W., Kemmerly J. y Durbin S. (2012). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. Sexta Edición. Editorial Félix Varela. Holguín.

2.6 Unidad Didáctica 6. Transformada de Laplace

2.6.1 Objetivos específicos

- Ilustrar los beneficios del uso de la Transformada de Laplace.
- Analizar las propiedades matemáticas de la transformada.
- Mostrar los métodos que se utilizarán para hallar la transformada inversa de Laplace.

2.6.2 Requisitos previos

Para poder alcanzar los resultados anhelados, es necesario tener dominio de otros capítulos precedentes donde se han expuesto los fundamentos del método clásico del análisis de redes eléctricas, el cual consiste en el planteamiento y resolución de las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de los circuitos.

2.6.3 Introducción

En la presente unidad didáctica se expone el procedimiento para el análisis de los circuitos eléctricos lineales, basado en la aplicación de la transformada de Laplace.

Este método consiste en la obtención de esquemas operacionales equivalentes, donde las condiciones iniciales aparecen representadas como fuentes, se trabaja con ecuaciones algebraicas, no diferenciales. Al aplicar el método operacional, son válidos los métodos generales, teoremas y transformaciones de las redes lineales, estudiadas en temas anteriores.

2.6.4 Orientaciones para el estudio

- Lee cuidadosamente las páginas 499 a la 518 del libro de texto Análisis de Circuitos en Ingeniería. Este material bibliográfico ofrece una información precisa y detallada acerca de la transformada de Laplace.
- Estudia detenidamente las páginas 527 a la 542 del libro de texto Análisis de Circuitos en Ingeniería. Este material bibliográfico ofrece una información precisa y puntualizada acerca del método para obtener los esquemas operacionales equivalentes, donde las condiciones iniciales aparecen representadas como fuentes y la aplicación de las técnicas generales del análisis de circuitos que se asocian con el concepto de frecuencia compleja.

2.6.5 Resumen

Definición de la transformada de Laplace

La transformada de Laplace se define como:

$$F(s) = \int_{0^-}^{\infty} f(t) e^{-st} dt \quad (2.6.1)$$

Solución de la transformada inversa

En el proceso de aplicación de la transformada de Laplace es de vital importancia hallar la transformada inversa, es decir hallar la respuesta en el campo del tiempo, pero resulta muy frecuente que la función respuesta en el campo s no se encuentre en las tablas de

transformada, por lo que es necesario la utilización de métodos para hallar la función respuesta en el tiempo, para esto se usa el método de las fracciones parciales y el teorema de Heaviside.

Fracciones parciales:

Polos diferentes:

$$F(s) = 1/s(s+a) = A/s + B/(s+a) \quad (2.6.2)$$

Al multiplicar por s ambos lados de la ecuación y luego evaluándola para $s = 0$ se obtiene:

$$A = \frac{1}{a} \quad (2.6.3)$$

Se multiplica por $s+a$ ambos lados de la ecuación y luego se evalúa para $s = -a$ se obtiene:

$$B = -\frac{1}{a} \quad (2.6.4)$$

Por tanto:

$$f(t) = \left[\frac{1}{a}(1 - e^{-at}) \right] u(t) \quad (2.6.5)$$

En el caso de polos repetidos y polos complejos, estudiar los ejemplos en el libro de texto.

Aplicación del Teorema de Heaviside

El Teorema de Heaviside se expresa como:

$$f(t) = \sum \{N(S)/D'(S)\} e^{st} \quad (2.6.6)$$

Para aplicar el teorema a una función debe cumplirse que:

- Todos los polos son simples.
- La función es una fracción propia, es decir, el grado del numerador es menor que el del denominador.

En el caso de hayan funciones con polos múltiples se puede utilizar el método de las fracciones parciales.

Ejemplo:

$$f(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{2s^2 - 4}{(s+1)(s-2)(s-3)}\right] \quad (2.6.7)$$

Solución:

$$F(s) = P(s)/Q(s) = \left[\frac{2s^2 - 4}{(s+1)(s-2)(s-3)}\right] \quad (2.6.8)$$

$$P(s) = 2s^2 - 4 \quad (2.6.9)$$

$$Q(s) = (s+1)(s-2)(s-3) = s^3 - 4s^2 + s + 6 \quad (2.6.10)$$

$$Q'(s) = 3s^2 - 8s + 1 \quad (2.6.11)$$

Los polos son $s_1 = -1$, $s_2 = 2$, $s_3 = 3$, luego hay tres polos reales simples, si se utiliza la expresión del teorema de Heaviside se tiene:

$$f(t) = \left\{ [P(-1)/Q'(-1)]e^{-t} + [P(2)/Q'(2)]e^{2t} + [P(3)/Q'(3)]e^{3t} \right\} \quad (2.6.12)$$

Por tanto:

$$f(t) = -(1/6)e^{-t} - (4/3)e^{2t} + (7/2)e^{3t} \quad (2.6.13)$$

Características fundamentales de la transformada de Laplace

Propiedad de linealidad:

$$\{f(t) + f(t) = F(s) + F(s)\} \quad (2.6.14)$$

La transformada del producto de una constante por una variable es igual a la constante por la transformada de la variable y se expresa como:

$$Kf(t) = KF(s) \quad (2.6.15)$$

La transformada de la derivada se expresa como:

$$dv/dt = sV(s) - v(0^-) \quad (2.6.16)$$

La transformada de la integral se expresa como:

$$\int v(t)dt = V(s)/s \quad (2.6.17)$$

La transformada de una constante es la constante dividida por s y se expresa como:

$$K = K/s \quad (2.6.18)$$

Convolución:

$$f1(t)*f2(t) = F1(s)*F2(s) \quad (2.6.19)$$

Desplazamiento en tiempo:

- Si una función se atrasa en el tiempo “a” segundos al pasarla al campo (s) aparecerá multiplicada por la expresión e^{-as} :

$$f(t) = u(t-2) - u(t-5)$$

Como la transformada de $u(t)$ es $u(s) = 1/s$

La transformada de $f(t)$ será:

$$F(s) = (1/s)e^{-2s} - (1/s)e^{-5s} \quad (2.6.20)$$

Nociones de impedancia y admitancia

En el contexto de la transformada, la impedancia y la admitancia son generalizaciones dependientes de s , lo que no existe en el dominio del tiempo. Para concretar esta idea transformemos la ecuación:

$$v_L = L di/dt$$

$$V_L(s) = L(sI(s) - i(0^-))$$

Si se asumen condiciones iniciales iguales a cero, la impedancia de un inductor estará dada por:

$$Z_L(s) = V_L(s)/I(s) = Ls \quad (2.6.21)$$

Por un procedimiento similar, la impedancia de un capacitor se expresará mediante:

$$Z_C(s) = V_C(s)/I(s) = \frac{1}{sC} \quad (2.6.22)$$

La impedancia de un resistor será igual a su resistencia (no depende de s)

$$Z_R(s) = V_R(s)/I(s) = R \quad (2.6.23)$$

La impedancia $Z(s)$ de un circuito de dos terminales (dipolo), relaciona el voltaje y la corriente de entrada, si se asume las condiciones iniciales iguales a cero, se tiene:

$$Z(s) = V(s)/I(s) \quad (2.6.24)$$

La admitancia se define como $I(s)/V(s)$

Función transferencial

Matemáticamente, en un circuito con una entrada V y una salida V_o , sin fuentes internas y sin condiciones iniciales, la función transferencial se define como:

$$H(s) = V_o(s)/V(s) \quad (2.6.25)$$

Se destaca que si la entrada es la función impulso $v(t) = \delta(t)$, $V(s) = 1$ en ese caso la función transferencial $H(s) = V_o(s)$, es decir, $H(s)$ es la transformada de la respuesta al impulso aplicado a la entrada del circuito.

Aplicación de la transformada en la solución de ecuaciones diferenciales

$$\text{Sea la función } d^2y(t)/dt^2 + 5dy(t)/dt + 6y(t) = e^{-t} \quad (2.6.26)$$

Siendo: $y(0^-) = 1$; $y'(0^-) = 1$ (primera derivada de $y(t)$)

Transformando ambos lados de la igualdad:

$$s^2y(s) - sy(0^-) - y'(0^-) + 5[sy(s) - y(0^-)] + 6y(s) = 1/(s+1) \quad (2.6.27)$$

Sustituyendo las condiciones iniciales, se resuelve y se antitransforma:

$$y(t) = (0,5e^{-t} + 3e^{-2t} - 2,5e^{-3t})u(t) \quad (2.6.28)$$

Leyes de Kirchhoff en forma operacional

Supóngase que en el circuito que se muestra (Figura 2.6.1) el interruptor ha permanecido en **a** un largo tiempo y en $t = 0$ pasa al punto **b**.

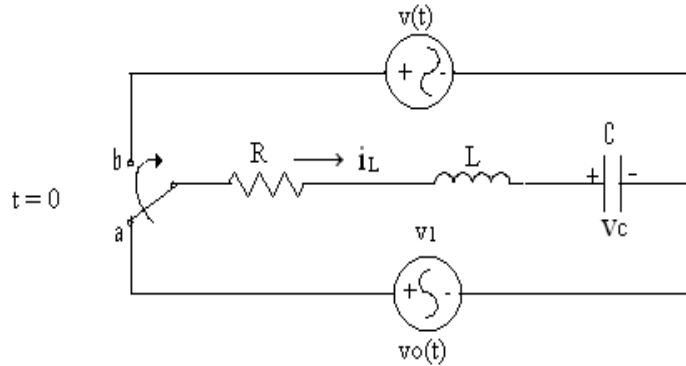


Figura 2.6.1: Circuito RLC serie.

Aplicando LKV al lazo:

$$v(t) = Ri(t) + L\left(\frac{di}{dt}\right) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t)dt + v_C(0^-) \quad (2.6.29)$$

Se transforma la ecuación:

$$V(s) = RI(s) + sLI(s) - Li(0^-) + 1/(sC)I(s) + v_C(0^-)/s \quad (2.6.30)$$

Se agrupa:

$$V(s) = I(s)(R + sL + 1/sC) - Li(0^-) + v_C(0^-)/s \quad (2.6.31)$$

La ecuación dada se corresponde con el circuito que se muestra a continuación (Figura 2.6.2):

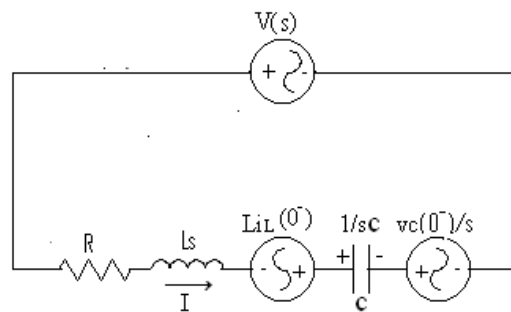


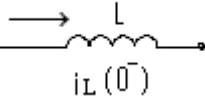
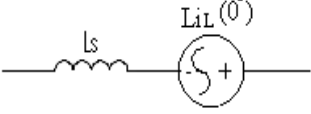
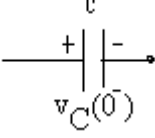
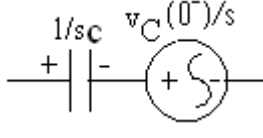


Figura 2.6.2: Circuito serie transformado.

Tabla 2.6.1: Transformaciones de los elementos al pasar del campo (t) al campo (s).

(t)	(s)
	
	
	

Se observa que un inductor por el que circula una corriente $i(0^-)$ antes de $t=0$ se transforma, al llevarlo al campo s , en un inductor con una impedancia operacional igual a sL en serie con una fuente de voltaje de valor $Li(0^-)$, la polaridad + de la fuente coincide con el sentido de la corriente antes de $t=0$, además el capacitor con un voltaje, antes de $t=0$ de valor $v_C(0^-)$ se transforma en un capacitor con una impedancia operacional igual a $1/sC$ en serie con una fuente de voltaje de valor $v_C(0^-)/s$, la polaridad + de la fuente coincide con la polaridad de carga del capacitor antes de $t=0$. La resistencia se mantiene inalterable al pasar al campo s .

2.6.6 Ejercicios de autoevaluación

Responde verdadero (V) o falso (F) a las afirmaciones siguientes:

- 1 Es posible considerar σ y ω como parte real e imaginaria de una frecuencia compleja.
- 2 La transformada de Laplace convierte la función general $f(t)$ en dominio del tiempo, a una representación correspondiente $F(s)$ en el dominio de la frecuencia.

- 3 La transformada de Laplace de una constante multiplicada por una función es igual a la constante multiplicada por la transformada de Laplace de la función.
- 4 Los valores de s que originan que $N(s)=0$ se conocen como polos de $V(s)$, y los valores de s que dan lugar a $D(s)=0$, como ceros de $V(s)$.
- 5 El concepto de frecuencia compleja nos permite considerar de manera simultánea las componentes amortiguada exponencialmente y oscilatoria de una función.
- 6 El análisis de circuitos en el dominio de s da lugar a la conversión de las ecuaciones integro diferenciales en el dominio de la frecuencia a ecuaciones algebraicas en el dominio del tiempo.
- 7 La transformada de Laplace de la suma de una o más funciones del tiempo es igual a la suma de las transformadas de las funciones del tiempo individuales.
- 8 La transformada inversa de Laplace convierte las expresiones en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.
- 9 Los teoremas de diferenciación e integración no nos permite convertir ecuaciones integro diferenciales en el dominio del tiempo a ecuaciones algebraicas simples en el dominio de la frecuencia.
- 10 Dado el carácter puramente algebraico de la relación entre el voltaje y la corriente de un resistor, este elemento tiene la misma representación en un esquema operacional equivalente que en el circuito original.
- 11 En un circuito para obtener el esquema operacional equivalente es necesario conocer las condiciones iniciales.
- 12 Si un circuito energizado con CD se encuentra en estado estable, cuando ocurre el transiente ($t=0$) el inductor se comporta como un circuito abierto y el capacitor como un cortocircuito.
- 13 La derivada en el tiempo se corresponde con una multiplicación en el campo (s).

- 14 La integración en el tiempo no se corresponde con una división en el campo s.
- 15 La convolución permite estudiar la respuesta del circuito para señales que son cero desde menos infinito a infinito
- 16 La convolución es un concepto muy importante y de amplia aplicación en el análisis de los circuitos.

2.6.7 Solución a los ejercicios resueltos

1. V	5. V	9. F	13. V
2. V	6. F	10. V	14. F
3. V	7. V	11. V	15. F
4. F	8. F	12. F	16. V

2.6.8 Materiales complementarios

C6.Transformada de Laplace; CP. 14 Transformada de Laplace (I); CP. 15 Transformada de Laplace (II); CP .16 Transformada de Laplace (III); CP. 17 Transformada de Laplace (IV). Disponibles en [http://moodle2.uclv.edu.cu/course/ Circuitos Eléctricos III](http://moodle2.uclv.edu.cu/course/Circuitos%20El%C3%A9ctricos%20III).

2.6.9 Información sobre la próxima unidad didáctica

- **Circuitos no lineales**

En la próxima unidad didáctica se estudian las propiedades de los elementos resistivos no lineales y los métodos gráficos para resolver circuitos con presencia de dichos elementos.

2.6.10 Bibliografía

Ayllón, E (1987). *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Impreso por el Combinado Poligráfico Haydée Santamaría: Pueblo y Educación.

Hayt W., Kemmerly J. y Durbin S. (2012). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. Sexta Edición. Editorial Félix Varela. Holguín.

2.7 Unidad Didáctica 7. Circuitos no lineales

2.7.1 Objetivos específicos

- Explicar las características y propiedades de los elementos y circuitos no lineales.
- Analizar los métodos de solución de los circuitos no lineales.
- Caracterizar algunos dispositivos no lineales y sus aplicaciones.

2.7.2 Requisitos previos

Para alcanzar los resultados deseados, es necesario dominar las leyes de Kirchhoff de las corrientes y los voltajes, el teorema de Thevenin y el trabajo con gráficos.

2.7.3 Introducción

En esta unidad se aprende que en el análisis de circuitos eléctricos es de suma importancia conocer las características, propiedades y métodos de solución de los circuitos no lineales, dado que muchos dispositivos prácticos no cumplen la condición de linealidad, o la cumplen de forma aproximada dentro de cierto límite. El principio de superposición no es aplicable; las ecuaciones que hay que resolver no tienen solución analítica o esta es muy difícil de hallar. En otros casos no se tiene una representación analítica del elemento, sino solo tablas de valores. No existe una teoría matemática general, el procedimiento de solución depende del problema en particular, donde los métodos más frecuentes son los métodos aproximados o numéricos. El tema *Circuitos no lineales*, se retoma con frecuencia en las diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

2.7.4 Orientaciones para el estudio

- Lee cuidadosamente las páginas 62 a la 80 de la 131 a la 139 del libro Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos III. Este material brinda una información clara acerca del método a emplear para el estudio de los circuitos no lineales, sus propiedades y métodos de solución.
- Analizar el ejemplo resuelto 2.5 que aparece en la página 140 del libro. Relacionar la información aprendida en el punto anterior con el proceso de solución del ejercicio resuelto.

2.7.5 Resumen

Elementos resistivos no lineales

Para describir las características de los elementos no lineales resistivos se utilizan las funciones $i = i(u)$ y $u = u(i)$, definidos los intervalos de variación de la corriente y del voltaje en que trabajará el elemento no lineal.

En la figura 2.7.1 se muestra el símbolo de un resistor no lineal y un ejemplo de la forma que puede tener la característica.

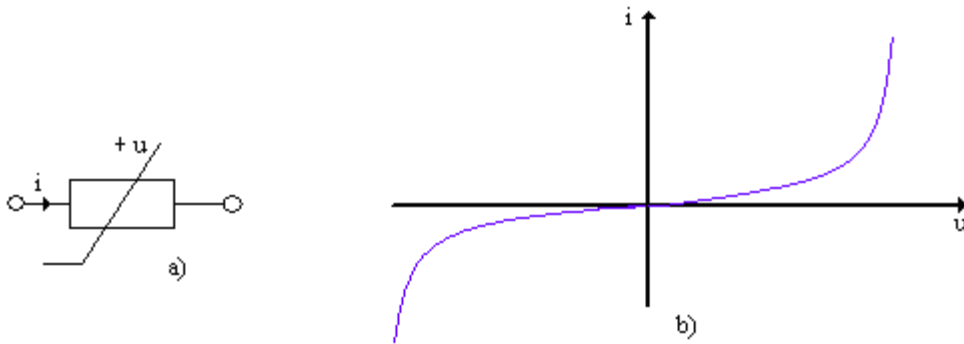


Figura 2.7.1 Símbolo del resistor no lineal y característica volt-ampere.

En dependencia de la forma de la característica, los elementos resistivos se clasifican en:

- Bilaterales: Su comportamiento es independiente del sentido de la corriente y del voltaje.
- Unilaterales: La característica volt-ampere varía al cambiar el sentido de la corriente y el voltaje.

Igualmente según su forma las características pueden ser monótonas y no monótonas:

- Monótonas: Son aquellas en las que no varía el signo de la derivada en todo el intervalo de variación; siempre: $\partial i / \partial u > 0$ o $\partial i / \partial u < 0$.
- No monótonas: Son, por el contrario, las características en las cuales puede cambiar el sentido de la derivada.

Las curvas características de los elementos no lineales son obtenidas experimentalmente. Un ejemplo de ello son las denominadas características estáticas, que se obtienen al utilizar corrientes o voltajes constantes (CD), cuya magnitud se varía hasta formar la curva. Dichas características estáticas definen el comportamiento del elemento no solo a CD, sino también a bajas frecuencias donde el valor mínimo de esta variable depende del dispositivo en específico

Parámetros estáticos y dinámicos. Sea, por ejemplo, la característica de un elemento no lineal mostrado en la figura 2.7.2, si el mismo se encuentra operando en el punto B la conductancia estática en dicho punto se define como $G_{EB} = I_B / U_B$, análogamente la resistencia estática será:

$$R_{EB} = 1 / G_{EB} . \quad (2.7.1)$$

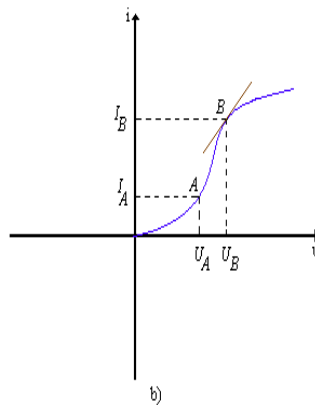


Figura 2.7.2 Característica de un elemento no lineal.

El carácter no lineal del elemento hace que sus parámetros estáticos sean diferentes para cada punto de operación, luego:

$$G_{EA} = I_A / U_A \neq G_{EB} . \quad (2.7.2)$$

Los parámetros estáticos son siempre positivos, su mayor utilidad se encuentra en aquellos circuitos en los que la corriente y el voltaje no varían con respecto al tiempo.

La conductancia dinámica también puede definirse en el mismo punto B de la figura 2.7.2 como el límite de la relación entre los incrementos de corriente y voltaje (Δi y Δu) o lo que es lo mismo, la derivada en el punto B .

$$G_{DB} = \partial i / \partial u \Big|_U = U_B \quad (2.7.3)$$

Análogamente también puede definirse la resistencia dinámica en B (R_{DB}).

En dependencia de la forma que tengan las características de los elementos no lineales, los parámetros dinámicos pueden ser positivos o negativos. Hay zonas donde la derivada es negativa, es decir, a incrementos de voltaje corresponde una disminución de la corriente (característica tipo N); en otras ocurre todo lo contrario, a incrementos de corriente corresponde una disminución del voltaje (característica tipo S). En estos casos los parámetros dinámicos son negativos.

En el libro de texto pueden verse las características de los resistores no lineales para cada una de las clasificaciones señaladas.

Algunos dispositivos resistivos prácticos y sus aplicaciones

En la técnica moderna existe un grupo numeroso de dispositivos resistivos no lineales, los cuales son de gran utilidad tanto en la esfera eléctrica como la electrónica.

Estos dispositivos en dependencia a su comportamiento externo pueden dividirse en tres grupos fundamentales:

a) Dipolos

Aquellos dispositivos de dos terminales cuyo comportamiento se determina por las características $u - i$ representadas en un plano a través de una curva.

b) Dipolos controlados

Presentan también dos terminales y su comportamiento depende de otro parámetro que puede ser la luz, la temperatura, etc. La magnitud que controla no está entre las variables del circuito donde se conecta el dipolo, sino que es externa a este.

c) Tripolos

Como su nombre lo indica, estos dispositivos presentan tres terminales aunque pueden considerarse también como cuadripolos donde existe un terminal común para la entrada y salida.

Entre los elementos resistivos no lineales se encuentran:

- Varistor (se usa como elemento de control)
- Diodo ideal o de vacío (se utiliza en rectificadores)
- Diodo semiconductor (se usa en rectificadores)
- Diodo Tener (se emplea en estabilizadores de voltaje)
- Diodo Túnel (se utiliza en osciladores electrónicos)
- Diodo de cuatro capas (se emplea en aplicaciones de electrónica de potencia)
- Tiristor (es empleado en rectificadores controlados, en controladores de velocidad de motores)
- Transistor (es utilizado ampliamente en la electrónica, radio, televisión)

Método Estructural

El método Estructural no resulta complejo de entender, aunque su realización conlleva determinada cantidad de trabajo numérico. Este resulta ser un método gráfico y se hace compleja su aplicación cuando se está en presencia de circuitos con varias ramas, de manera que es de mucha utilidad sobre todo en circuitos en escalera y con una sola fuente como el que se muestra en la figura 2.7.3 (a).

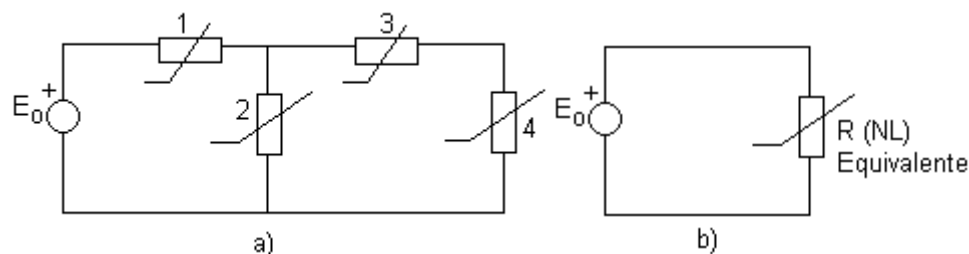


Figura 2.7.3 Circuito en escalera compuesto por una sola fuente y varias ramas no lineales y su circuito equivalente.

Mediante la reducción de las combinaciones serie-paralelo puede llegarse a un circuito serie elemental como el que aparece en la figura 2.7.3 (b).

Es importante señalar, que si hay varias fuentes, este método es aplicable cuando sea posible reducir a un circuito equivalente con una sola fuente.

Conexión de elementos no lineales en serie:

En la figura 2.7.4 (a) se muestra la conexión serie de dos resistores no lineales 1 y 2 cuyas características aparecen en la figura 2.7.4 (b).

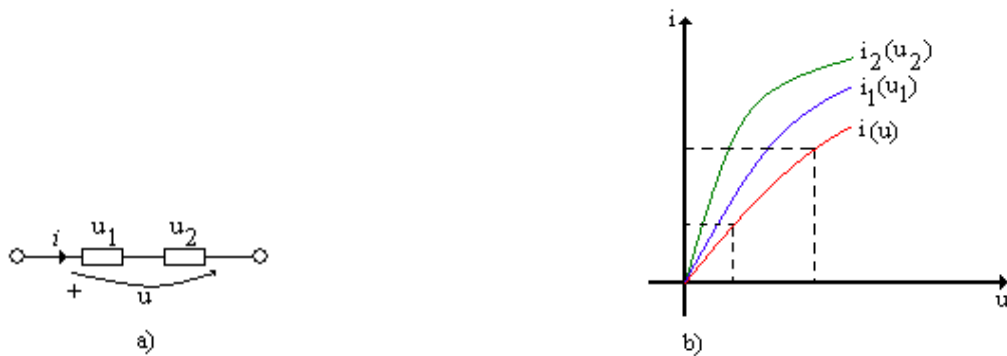


Figura 2.7.4 Conexión de elementos no lineales en serie.

Como por estos elementos circula la misma corriente y el voltaje total es la suma de los voltajes de ambos elementos, puede plantearse que:

$$i_1 = i_2 = i$$

$$u_1 + u_2 = u$$

Para varios valores de corriente se determinan los voltajes en los resistores 1 y 2 y el voltaje total es la suma de ambos, de esta forma se obtiene la característica del resistor equivalente $u(i)$.

Este procedimiento no solo es aplicable para dos elementos, sino también para la combinación de múltiples elementos conectados en serie.

Igualmente, si alguno de los resistores es lineal, se trabaja de la misma forma, pero en este caso con la característica lineal.

Conexión de elementos no lineales en paralelo:

En la figura 2.7.5 se muestra el circuito y las características correspondientes a cada uno de los elementos.



Figura 2.7.5 Conexión de elementos no lineales en paralelo.

Como los resistores 1 y 2 se encuentra conectados en paralelo, se cumple entonces que:

$$u_1 = u_2 = u \quad (2.7.7)$$

$$i_1 + i_2 = i \quad (2.7.8)$$

Para varios valores de voltaje se determinan las corrientes en los resistores 1 y 2 y la corriente total es la suma de ambas, de esta forma se obtiene la característica del resistor equivalente $i(u)$.

Este circuito es el dual del circuito serie y por tanto se cumple también dualidad en el proceso de análisis.

Circuitos con fuentes

Ejemplo:

Del resistor no lineal del circuito de la figura 2.7.6 (a) se tiene la característica correspondiente, mostrada en la figura 2.7.6 (b).

1. Si en los terminales a - b se conecta una fuente de voltaje de valor 0.25 V. ¿Cuál será la corriente total del circuito?
2. Si en los terminales a - b se conecta una fuente de corriente de valor 200 μ A y cuyo sentido coincide con el indicado en la figura 2.7.6 a) para i_1 . ¿Cuál será el voltaje total?
3. Si se cambia el sentido de la fuente en el inciso anterior. ¿Cuál será ahora el voltaje total?

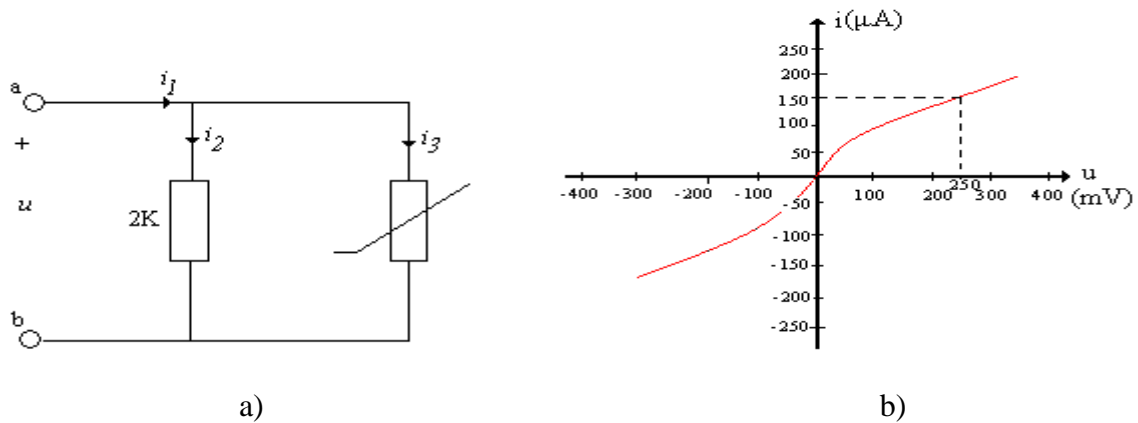


Figura 2.7.6 Circuito con un resistor no lineal.

Solución:

1.

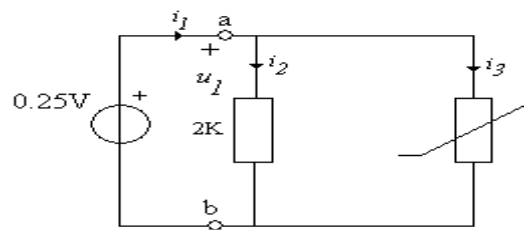


Figura 2.7.7 Circuito compuesto por fuente de voltaje y resistores conectados en paralelo.

Este es el caso más simple, como se está en presencia de una fuente de voltaje y los elementos se encuentran conectados en paralelo, puede decirse que:

$$u_1 = u_2 = u_3 = 0.25\text{V}$$

$$i_1 = i_2 + i_3$$

La corriente i_2 se calcula directamente como:

$$i_2 = \frac{0.25}{2 * 10^3} = 125 \mu\text{A}$$

La corriente i_3 se obtiene de la característica del resistor no lineal. Para un voltaje de 0.25 V una $i_3 = 150 \mu\text{A}$.

Luego, la corriente total del circuito será:

$$i_1 = 125 \mu\text{A} + 150 \mu\text{A} = 275 \mu\text{A}$$

2.

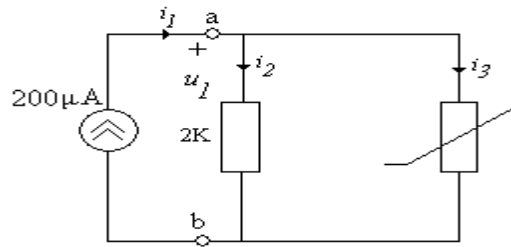


Figura 2.7.8 Circuito compuesto por fuente de corriente y resistores conectados en paralelo.

En este caso no es posible obtener la respuesta tan simple como en el inciso anterior. Si se conocen las características de los elementos y se tiene en cuenta que ambos se encuentran conectados en paralelo, puede determinarse entonces la resistencia equivalente. En la figura 2.7.9 se muestran las características del resistor no lineal $i_3(u_1)$, la del resistor lineal $i_2(u_1)$ y la total $i_1(u_1)$. La característica $i_2(u_1)$ es, por supuesto, una línea recta. La característica $i_1(u_1)$ se ha obtenido con la suma, para cada valor de voltaje, los valores de las corrientes i_2 e i_3 debido a la combinación en paralelo y por tanto se trabaja a voltaje común.

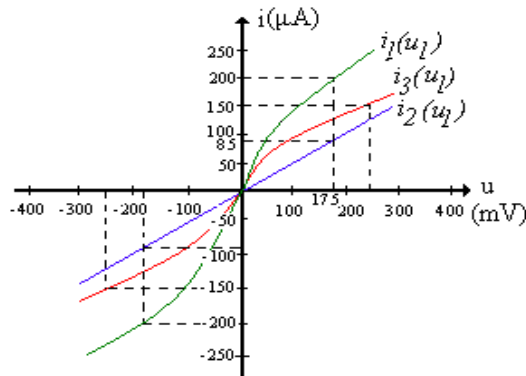


Figura 2.7.9 Características del resistor no lineal, del resistor lineal y la total.

A partir de la característica equivalente obtenida, puede determinarse el voltaje total y aunque no se pidan, las corrientes por cada una de las ramas, entrando con el valor de corriente $200 \mu\text{A}$. Estos valores son:

$$u_1 = u_2 = u_3 = 175 \text{ mV}$$

$$i_2 = 85 \mu\text{A}$$

$$i_3 = 115 \mu\text{A}$$

3.

Si se cambia el sentido de la fuente, debido a la bilateralidad del elemento no lineal (y por supuesto, del lineal) los valores numéricos serán los mismos pero todas las variables tendrán sentido contrario. Entonces:

$$u_1 = u_2 = u_3 = -175 \text{ mV}$$

$$i_2 = -85 \mu\text{A}$$

$$i_3 = -115 \mu\text{A}$$

2.7.6 Ejercicios de autoevaluación

Responde verdadero (V) o falso (F) a las afirmaciones siguientes:

1. El principio de superposición es aplicable para los circuitos no lineales.
2. En el caso de circuitos no lineales los métodos aproximados o numéricos son los más frecuentes.
3. En un elemento no lineal la relación entre las variables no sigue una ley lineal.
4. En los métodos de solución numéricos aplicados a los circuitos no lineales se acepta un determinado error.
5. Existen funciones que no pueden ser realizadas con circuitos lineales.
6. Los circuitos resistivos no lineales no se describen mediante ecuaciones algebraicas no lineales.
7. En circuitos no lineales con un solo elemento almacenador de energía la relación estímulo-respuesta no es a través de derivadas e integrales.
8. Los circuitos dinámicos se describen mediante ecuaciones diferenciales no lineales.
9. Para describir la característica de los elementos no lineales resistivos se utilizan las funciones $i = i(u)$ y $u = u(i)$.

10. El comportamiento del elemento bilateral es independiente del sentido de la corriente y el voltaje.
11. La potencia instantánea $p(t) = u(t)i(t)$ siempre será positiva para el elemento unilateral.
12. En la característica monótona el signo de la derivada cambia de signo.

2.7.7 Solución a los ejercicios resueltos

1. F	5. V	9. V
2. V	6. F	10. V
3. V	7. F	11. F
4. V	8. V	12. F

2.7.8 Materiales complementarios

C7.Circuitos no lineales; CP18. Circuitos no lineales. Disponibles en [http://moodle2.uclv.edu.cu/course/ Circuitos Eléctricos III](http://moodle2.uclv.edu.cu/course/Circuitos%20El%C3%A9ctricos%20III)

2.7.9 Bibliografía

Alba E, Álvarez I, Fernández F y Montó. A.(1987). *Fundamento de la Teoría de Circuitos Elécticos III*. Impreso por el combinado poligráfico "Aydée Santamaarí". (1987): Editorial Pueblo y Educación.

2.8 Consideraciones finales del capítulo

En este capítulo se presentaron todas las unidades didácticas elaboradas para la asignatura Circuitos Eléctricos III se tomó como referencia lo que orientó el MES en cuanto a las componentes estructurales y las recomendaciones relacionadas con cómo redactar las unidades didácticas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se diseñó la guía de estudio de Circuitos Eléctricos III, para ello se tuvo en cuenta el programa analítico de la asignatura y los temas de éstas. Además, las orientaciones dadas por el MES para su elaboración.

La guía de estudio de Circuitos Eléctricos III quedó conformada por siete unidades didácticas, cada una de estas se estructuró con una secuencia lógica del contenido para facilitar la comprensión de éstos.

La guía diseñada debe contribuir satisfactoriamente al aprendizaje de los alumnos, puede utilizarse, además, para los alumnos del curso regular diurno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso I. (2003). La educación a distancia. ACIMED, Vol.11, no.1, ene-feb 2003. ISSN 1024-9435 *versión impresa*. Ciudad de la Habana.
- Area M. (2000). *Los Medios de Enseñanza: Conceptualización y tipologías*. [En línea]. Accesible en <http://www.ull.es/departamentos/tecnologia> (Consultado 10/1/2013)
- Area M. (2004). Nuevas tecnologías, educación a distancia y la mercantilización de la formación. Revista Iberoamericana de Educación (ISSN: 1681-5653). [En línea]. Accesible en: <http://www.rieoei.org/deloslectores/578Area.PDF> consultado (27/5/2014)
- Ballesteros R. (2003). Laboratorios Virtuales. Monografía .Editorial Feijoo UCLV. Documento digital.
- DTS (2010). Capítulo III. Conceptualización de la guía didáctica. Dirección Técnica de Sistemas. [En línea] Accesible en:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/672/5/CAPITULO%20III.pdf>. Consultado (21/5/2014)
- EUMED (2010). Características del modelo pedagógico semipresencial. [En línea]. Accesible en: <http://www.eumed.net/libros-librosgratis/2011a/901/Caracteristicas%20del%20modelo%20pedagogico%20semipresencial.htm>. Consultado (27/5/2014)
- FRÍAS G. y MALAGÓN M. (2004). Modelo para el desarrollo del proceso de orientación-aprendizaje en condiciones de Universalización. Memorias del Congreso Internacional Universidad 2004. La Habana.

- IU (2009). Educación semi-presencial. Internacional university. Panamá. [En línea]. Accesible en: <http://www.internationaluniversity.edu/semipresencial.html>. Consultado (27/5/2014)
- IUED (2009). Orientaciones para la elaboración de la guía de estudio de las asignaturas de grado. Vicerrectorado de Calidad e Innovación Docente. UNED. [En línea]. Accesible en: <http://web.ua.es/es/ice/documentos/recursos/materiales/guia-docente.pdf>. Consultado (14/5/2014)
- Llivina M. et al (2003). Las guías de aprendizaje para los/las estudiantes en la formación inicial de profesores a distancia. MINED.
- MATOS E. (2005). Alternativas metodológicas para la dirección de encuentros presenciales. Evento provincial. CEES “Manuel F. Gran” Universidad de Oriente.
- MES (2005). Modelo pedagógico de la semipresencialidad en las carreras universitarias. Primera Versión (2005). La Habana. Ministerio de Educación Superior. Dirección de Formación de Profesionales.
- MES (2006). Modelo pedagógico de la semipresencialidad en las carreras universitarias. (2006). La Habana. Ministerio de Educación Superior. Dirección de Formación de Profesionales.
- MES (2007). Orientaciones para la elaboración de la Guía de estudio. Dirección de Tecnología Educativa. Ministerio de Educación Superior. Ciudad de la Habana.
- Montoya J. (2006). La guía de aprendizaje. Formación de docentes-diseño de un programa de formación basado en competencias. Grupo Colaborativo: División de Investigación y Desarrollo Técnico Pedagógico. Medellín. [En línea]. Accesible en: <http://www.slideshare.net/joma72/como-hacer-guas-de-aprendizaje#>. Consultado (21/5/2014)
- Panchí V. (2002). La guía didáctica, componentes estructurales. Dirección de Educación a Distancia. Universidad Autónoma del Estado de México. Ciudad de México. [En línea]. Accesible en http://asset-6.soup.io/asset/2982/3433_6cbe.pdf. Consultado (28/5/2014)

- Penzo W. et al (2010). Guía para la elaboración de actividades de aprendizaje. Cuaderno de docencia Universitaria. Editorial OCTAEDRO. Accesible en: <http://www.octaedro.com/ice/pdf/16515.pdf> Consultado (28/5/2014)
- Profesiones (2011). Ventajas y desventajas educación semipresencial. [En línea]. Accesible en: http://www.profesiones.com.mx/ventajas_y_desventajas_educación_semipresencial.htm. Consultado (27/5/2014)
- Rey P. et al (2011). La enseñanza semipresencial y la formación laboral: su influencia en la apropiación activa del conocimiento en la educación superior. Revista Pedagogía Universitaria. Vol. XVI, no. 4
- Santos S. y Álvarez F. (2008). Revolución Cubana y Educación Superior. Avaliação, Campinas; Sorocaba, SP, v. 13, n. 2, p. 391-424, jul. 2008. Accesible en: <http://www.scielo.br/pdf/aval/v13n2/08.pdf>. Consultado (4/6/2014)
- Silvestre S. et al (2002). La titulación de ingeniería electrónica de la UPC en régimen semipresencial. Parte I: el proyecto académico. Accesible en <http://espacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=taee:congreso-2002-1064&dsID=S3B02.pdf>. Consultado (3/6/2014)
- UJI (2007). Documento-guía para la elaboración de Guías Didácticas/DocentesECTS. Valencia [en línea] Accesible en: <http://www.recursoseees.uji.es/guia/g20061010.pdf>. Consultado (3/6/2014)
- Ulloa R. (2006). La guía de estudio. Función y construcción .UdG. [En línea]. Accesible en: <http://recursos.udgvirtual.udg.mx/biblioteca/bitstream/123456789/380/1/VIEI-GuiaEstudio-UdeG.pdf>. Consultado (3/6/2014)
- Yee M. y Miranda A. (2006). Cuba: La Educación a Distancia en la Universidad de la Habana. AIESAD.RIED v. 9: 1 y 2, 2006, pp 185-213 I.S.S.N.: 1138-2783. Accesible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/141664.pdf>. Consultado (4/6/2014)

ANEXOS

Anexo I ELEMENTOS ESTRUCTURALES GENERALES DE LA GUÍA DE ESTUDIO

→ **Título: Guía de Estudio de Circuitos Eléctricos III**

Diseñada y elaborada por: Raúl Francisco Gorrín Martín

→ **Índice**

Introducción general

Objetivos Generales

UD 1. Circuitos trifásicos desbalanceados

UD 2. Método de las componentes simétricas

UD 3. Circuitos monofásicos no sinusoidales

UD 4. Circuitos trifásicos no sinusoidales

UD 5. Transformada de Fourier

UD 6. Transformada de Laplace

UD 7. Circuitos no lineales

Bibliografía

→ **Introducción General**

Esta asignatura, una vez adquiridos los conocimientos y habilidades generales relacionados con los circuitos de corriente directa y de corriente alterna en las dos asignaturas precedentes, aspira a que adquieras conocimientos y habilidades sobre los circuitos trifásicos desbalanceados, cómo se calculan los voltajes, corrientes, potencias, entre otras magnitudes, para esos casos y del método de las componentes simétricas

para la solución de esos circuitos. Conocimientos estos que aplicarás en un futuro en las máquinas eléctricas, sistemas eléctricos, protecciones, etc.

Además aprenderás a resolver circuitos monofásicos y trifásicos alimentados por ondas periódicas no sinusoidales, lo cual es muy común en los accionamientos eléctricos de corriente alterna modernos. Otro contenido de interés son los circuitos no lineales y los circuitos activos, para adquirir conocimientos sobre éstos deberás aprender a aplicar la transformada de Laplace y la transformada de Fourier en su solución.

Para abordar el estudio de estas temáticas deberás aplicar algunos aspectos del cálculo diferencial e integral como por ejemplo la solución de ecuaciones y sistemas de ecuaciones diferenciales, así como su simulación mediante el Matlab. Necesitas aplicar además, aspectos relacionados con electromagnetismo y la mecánica clásica. Todos estos temas han sido cursados con anterioridad a esta asignatura.

→ **Objetivos Generales**

1. Resolver circuitos trifásicos desbalanceados, calculando voltajes, corrientes y potencias.
2. Analizar circuitos trifásicos empleando el método de las componentes simétricas.
3. Analizar circuitos lineales monofásicos en estado estable, con estímulo periódico no sinusoidal.
4. Analizar circuitos lineales trifásicos en estado estable, con estímulo periódico no sinusoidal.
5. Analizar circuitos lineales, activos y pasivos, empleando las técnicas de la transformada de Fourier.
6. Analizar circuitos lineales, activos y pasivos, empleando las técnicas de la transformada de Laplace.
7. Analizar circuitos eléctricos no lineales resistivos puros en régimen de corriente directa.

→ **Orientaciones para el estudio y actividades de aprendizaje**

Unidad Didáctica 1.

Unidad Didáctica 2.



Unidad Didáctica n.

→ **Bibliografía**

Alba E, Álvarez I, Fernández F y Montó. A.(1987). *Fundamento de la Teoría de Circuitos Elécticos III*. Impreso por el combinado poligráfico "Aydeé Santamaarí". (1987): Editorial Pueblo y Educación.

Ayllón, E (1987). *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II*. Impreso por el Combinado Poligráfico Haydeé Santamaría: Pueblo y Educación.

Hayt W., Kemmerly J. y Durbin S. (2012). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. Sexta Edición. Editorial Félix Varela. Holguín

Montó A, Ayllón E y Álvarez F. (sf) *Materiales Complementarios Circuitos Eléctricos II*. Taller de ediciones VRD: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

Stevenson W. (1981). *Elements of Power System Analysis*, Primera reimpresión, 1981, tomado de la 3ra, edición, 1975. Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana: Pueblo y educación.

Thompson H. (1955). *Alternating- Current and Transient Circuit Analysis*: Copyright Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. Printed in the United States of America.