



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad Metalurgia-Electromecánica
Departamento de Eléctrica

Trabajo de Diploma *en opción al título de* *Ingeniero Eléctrico*

*Título: Actualización y perfeccionamiento de las
prácticas de laboratorio de la disciplina de
Circuitos Eléctricos.*

*Autores: Manuel Alejandro Soler Sánchez.
Yosvanis George Hernández Rojas.*

Tutor: Dr. Ángel Oscar Columbié Navarro.



Declaración de Autores

Nosotros:

Los Diplomantes: Manuel Alejandro Soler Sánchez
Yosvanis George Hernández Rojas.

Tutor: Dr. Ángel Columbié Navarro.

Autores de este Trabajo de Diploma titulado: **Actualización y perfeccionamiento de las prácticas de laboratorio de la disciplina Circuitos Eléctricos** certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Diplomante: Manuel A. Soler Sánchez

Diplomante: Yosvanis G. Hernández Rojas

Tutor: Dr. Ángel Columbié Navarro



Pensamiento

“Lo que la naturaleza le da a un grupo de hombres, se lo dará con tiempo a cualquier otro grupo lo bastante decidido y paciente como para formular las preguntas necesarias.”

Albert Einstein.

Dedicatoria

Dedicamos este Trabajo de Diploma a nuestras familias y profesores, quienes con responsabilidad inculcaron en nosotros la honradez, sencillez y valor para cumplir nuestras metas.

Muy especialmente a nuestros padres, a quienes siempre estaremos agradecidos por todo el apoyo y la confianza que nos brindaron, durante el transcurso de nuestras vidas para lograr nuestra formación como profesionales al servicio de la Revolución.

También a nuestros amigos y compañeros con los que hemos compartido estos años de estudios.

Manuel Alejandro Soler Sánchez.

Yosvanis George Hernández Rojas.

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que de una forma u otra tuvieron que ver con la realización de este trabajo:

A nuestro tutor Dr. Ángel Columbié Navarro y al profesor M.Sc. Wilbert Acuña Rodríguez que durante el periodo nos han brindado todo el apoyo y la dedicación que requeríamos.

A todos los profesores que participaron en nuestra formación como profesionales.

A nuestros padres por enseñarnos y darnos toda la confianza y ayuda para concluir nuestros estudios.

A nuestras familias en general por ayudarnos y brindarnos todo su apoyo.

Muchas gracias a todos.

Resumen

En el presente trabajo se realiza un diseño metodológico de las asignaturas Circuitos Eléctricos I, II y III pertenecientes a la disciplina de Circuitos Eléctricos, se hace la distribución por temáticas de estas asignaturas, y su división en conferencias, clases prácticas, seminarios y laboratorios para una mejor adquisición de conocimientos y habilidades; se perfeccionan y actualizan las guías de laboratorios existentes ajustándolas al plan D. También se analizan las potencialidades del nuevo equipamiento de laboratorio y se lleva a cabo su implementación.

Summary

In the present work the methodological design of the subjects Electric Circuits I, II and III belonging to the discipline of Electric Circuits is made. The design includes the distribution for matters of these subjects of study, and the division in conferences, practical lessons, laboratory practices, for a better acquisition of knowledge and abilities; the current guides for laboratory practices are improved, updated and adjusted to the plan D. The prospective use and implementation of the new equipment is also analyzed.

Índice

<i>Declaración de Autores</i>	I
<i>Pensamiento</i>	II
<i>Dedicatoria</i>	III
<i>Agradecimientos</i>	IV
<i>Resumen</i>	V
<i>Summary</i>	VI
<i>Índice</i>	VII
Introducción.....	1
Capítulo I. Programas de las asignaturas.	3
1.1 Fundamentación de la asignatura de Circuito Eléctrico I.....	3
1.1.1 Distribución del contenido y objetivos instructivos por temas.	5
1.1.2 Tema 1. Conceptos básicos y elementos de circuitos eléctricos.	6
1.1.3 Tema 2. Análisis de las redes resistivas lineales.....	7
1.1.4 Tema 3. Análisis de las redes dinámicas en el dominio del tiempo.	9
1.1.5 Bibliografía de la asignatura.	15
1.2 Fundamentación de la asignatura de Circuito Eléctrico II.....	16
1.2.1 Distribución del contenido y objetivos instructivos por temas.	18
1.2.2 Tema 1. Régimen sinusoidal en los circuitos eléctricos lineales.....	19
1.2.3 Tema 2. Fenómenos de resonancia.	21
1.2.4 Tema 3. Circuitos trifásicos.....	22
1.2.5 Tema 4. Circuitos con inductancia mutua y circuitos magnéticos.....	23
1.2.6 Tema 5. Cuadripolo.	24
1.2.7 Bibliografía de la asignatura.	29
1.3 Fundamentación de la asignatura de Circuito Eléctrico III.....	30
1.3.1 Distribución del contenido y objetivos instructivos por temas.	32
1.3.2 Tema 1. Régimen periódico no sinusoidal en los circuitos eléctricos.	33
1.3.3 Tema 2. Análisis de circuitos eléctricos no lineales.	34
1.3.4 Tema 3. Temas especiales de circuitos trifásicos.....	36
1.3.5 Tema 4. Análisis de circuitos lineales usando transformada de Laplace.	36
1.3.6 Bibliografía de la asignatura.	42
Capítulo II. Guía de laboratorios de Circuitos Eléctricos I.	43
2.a) Indicaciones metodológicas y de organización.....	43
2.b) Introducción al desarrollo de las guías de laboratorios.....	44
2.1 Laboratorio No.1	46
2.2 Laboratorio No.2	58
2.3 Laboratorio No.3	70
2.4 Laboratorio No.4	79
2.5 Laboratorio No.5	92
2.6 Laboratorio No.6	102
2.7 Cantidad de Puestos a montar por Laboratorio.	109
Capítulo III: Guía de los laboratorios de Circuito Eléctrico II.	112
3.1 Laboratorio No.1	112
3.2 Laboratorio No.2	125
3.3 Laboratorio No.3	134
3.4 Laboratorio No.4	144

3.5 Laboratorio No.5	153
3.6 Laboratorio No.6	164
3.7 Laboratorio No.7	173
3.8 Cantidad de Puestos a montar por Laboratorio.	183
Capítulo IV: Guía de los laboratorios de Circuito Eléctrico III.	186
4.3 Laboratorio No.3	186
4.4 Laboratorio No.4	195
4.5 Laboratorio No.5	203
4.6 Cantidad de Puestos a montar por Laboratorio.	211
4.7 Propuestas de nuevos Laboratorios.	212
<i>Conclusiones</i>	213
<i>Recomendaciones</i>	214
<i>Bibliografía</i>	215
<i>Anexos</i>	

Introducción

En la historia de la educación superior en nuestro país, se han desarrollado distintos planes de estudio con el objetivo fundamental de lograr una formación más integral del futuro profesional, este el caso del plan D, último plan de estudio que entró en vigor en el curso 2007 – 2008.

Dentro de este plan de estudio para los estudiantes se encuentra la Disciplina de Circuitos Eléctricos de la carrera de Ingeniería Eléctrica, esta asignatura constituye un pilar fundamental en la formación de futuros Ingenieros Eléctricos.

En el plan C Perfeccionado el sistema de conocimientos y habilidades se adquiría a través de conferencias, clases prácticas, seminarios y laboratorios sumando un total de 80 horas clases en los circuitos I, II, III para el circuito IV es opcional para los estudiantes. Como consecuencia de las modificaciones del plan de estudio y programas la cantidad de horas clase se redujo a 64 manteniendo la misma cantidad de conocimientos para las asignaturas de Circuitos Eléctricos I y II, no así para Circuitos III en el que se incrementaron nuevos temas y con ellos más actividades en el sistema de conocimiento.

En noviembre del 2007 como parte del plan de mejoramiento de los medios de laboratorio de las carreras de perfil eléctrico establecido por el MES, se recibió en el ISMM un nuevo equipamiento de laboratorio que permite una mejor preparación al estudiante ya que puede comprobar la teoría con equipos modernos.

La tesis cuenta con 4 capítulos, el primer capítulo lo ocupan los programas de las asignaturas de los tres Circuitos, el segundo, el tercer y cuarto corresponden a las guías de laboratorios de Circuitos Eléctricos I, II, y III respectivamente.

Problema

- La necesidad de modernizar el sistema de prácticas de laboratorios de las tres asignaturas de Circuitos Eléctricos a partir de la asimilación y puesta en marcha del nuevo equipamiento de laboratorio.

Hipótesis

- La asimilación del nuevo equipamiento de laboratorio de Circuitos Eléctricos permitirá modernizar el sistema de prácticas de las tres asignaturas de Circuitos Eléctricos y una mejor vinculación con de la teoría con la práctica.

Objetivo General

- Perfeccionar las prácticas de laboratorio de las asignaturas de Circuitos Eléctricos.

Objetivos Específicos

- Asimilar el nuevo equipamiento de laboratorio para Circuitos Eléctricos.
- Montar las prácticas de laboratorio según las posibilidades del equipamiento y los requerimientos del programa de la disciplina.

Resultados Esperados

- Puesta en funcionamiento del nuevo equipamiento de laboratorio.
- Montaje de las nuevas prácticas de laboratorio con el equipamiento actual.
- Guías metodológicas de las prácticas de laboratorios montadas.



Capítulo I. Programas de las asignaturas.

1.1 Fundamentación de la asignatura de Circuito Eléctrico I.

Asignatura: Circuitos Eléctricos I.

Carrera: Ingeniería Eléctrica.

Forma de enseñanza: Académica.

Tiempo total: 64 h.

Facultad: Metalurgia-Electromecánica.

Departamento: Ingeniería Eléctrica.

Disciplina: Circuitos Eléctricos y Mediciones Eléctricas.

Tipo de Curso: Regular Diurno.

Ubicación en el plan de estudio: 2^{do} año de Ingeniería Eléctrica, 1^{er} semestre.

Examen Final: Tiene.

1.1.1 Objetivos de la asignatura.

Objetivo general.

- Analizar circuitos eléctricos de corriente directa mediante la aplicación de diferentes métodos de cálculo y con el empleo de la computación.

Objetivos educativos.

1. Manifestar en sus actividades de estudio e investigación los más altos valores de nuestra sociedad: responsabilidad, incondicionalidad, honestidad, modestia, desinterés, patriotismo y el conjunto de valores compartidos del ISMMM.
2. Trabajar en forma organizada e independiente, o en colectivos autoinformándose y siendo capaces de orientarse y adaptarse a situaciones nuevas, sentir la necesidad de estudiar y superarse constantemente.
3. Poseer una formación integral, teórico-práctica, científico-técnica y estética de carácter profesional que le permita de forma independiente resolver las tareas



que les plantee la sociedad, desarrollando además la capacidad de adquirir conocimientos por ellos mismos.

4. Utilizar el idioma español con eficiencia en su forma oral y escrita, a través del oficio adquirido por medio de las respuestas a preguntas, elaboración y defensa de informes bien estructurados.

Objetivos instructivos.

1. Analizar circuitos resistivos lineales, pasivos y activos, en régimen de corriente directa.
2. Analizar circuitos dinámicos lineales de primer orden, con estímulos constantes, onda cuadrada o rampa.
3. Analizar circuitos dinámicos de segundo orden, serie y paralelo sencillos con estímulos de corriente directa.

1.1.2 Sistema de Conocimientos.

Conceptos básicos de circuito eléctrico, sus componentes, corriente, voltaje y potencia. El resistor. Fuentes de voltaje y de corrientes ideales y reales, dependientes e independientes. Leyes de Kirchhoff. El amplificador operacional ideal. Clasificación de los circuitos. Principales propiedades de los circuitos lineales. Ecuaciones de las redes resistivas. Concepto de funciones de entrada y de transferencia. Dualidad en circuitos resistivos. Transformaciones equivalentes en circuitos resistivos conectados en serie, paralelo. Divisores de voltaje y de corriente.

Transformaciones recíprocas delta-estrella. Transformaciones de fuentes reales. Método de los valores proporcionales. Nociones de Topología aplicada a los circuitos. Métodos de las corrientes de malla y de los voltajes de nodos. Teoremas de los circuitos lineales: superposición, Thevenin y Norton. Condición de máxima transferencia de potencia. Dualidad en redes lineales dinámicas. Propiedades de los elementos almacenadores ideales.

Método clásico para el cálculo de circuitos de primer orden y de segundo orden con elementos en serie o paralelo y estímulos de CD y otras formas de ondas relacionadas, frecuencias naturales, propiedades de la respuesta transitoria.



Sistema de habilidades.

- 1- Aplicar las leyes de Ohm y Kirchhoff, los divisores, las simplificaciones y transformaciones de las conexiones serie, paralelo, serie- paralelo, delta y estrella (incluyendo el retorno al circuito original, caso de ser necesario) al cálculo de voltajes, corrientes y potencias en circuitos resistivos lineales.
- 2- Aplicar los teoremas de Thevenin y de superposición, así como los métodos generales (mallas y nodos) al análisis de circuitos resistivos lineales.
- 3- Aplicar el método clásico al cálculo de circuitos de primer orden y de segundo orden (serie y paralelo) con diferentes estímulos.
- 4- Aplicar los programas de computación, existentes al análisis de circuitos resistivos o dinámicos de primer o segundo órdenes, incluyendo la interpretación de los resultados.
- 5- Medir voltajes, corrientes y otras magnitudes eléctricas.

1.1.1 Distribución del contenido y objetivos instructivos por temas.

Plan Temático

Temas	Título del tema	Horas por actividades				
		C	CP	L	S	Total
1	Conceptos básicos y elementos de circuitos eléctricos	6	6	2	-	14
2	Análisis de las redes resistivas lineales	6	16	4	-	26
3	Análisis de las redes dinámicas en el dominio del tiempo	10	8	6	-	24
Total		22	30	12	-	64



1.1.2 Tema 1. Conceptos básicos y elementos de circuitos eléctricos.

Objetivos instructivos.

1. Familiarizarse con los conceptos básicos del análisis de circuitos eléctricos.
2. Conocer los fundamentos teóricos del análisis de circuitos de corriente directa, mediante la aplicación de las leyes de Ohm y de Kirchhoff.
3. Caracterizar el amplificador operacional como elemento activo de circuitos.
4. Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos simples de corriente directa.
5. Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos ramificados de corriente directa, mediante la aplicación de las leyes de Ohm y de Kirchhoff.
6. Realizar balances de potencia en circuitos de corriente directa.
7. Seleccionar instrumentos adecuados para la medición de magnitudes eléctricas en circuitos de corriente directa.
8. Instalar circuitos simples de corriente directa.
9. Medir corriente, tensión y potencia en circuitos de corriente directa.
10. Interpretar los resultados de las mediciones en circuitos de corriente directa.

Sistema de conocimientos.

Conceptos básicos de circuito eléctrico, sus componentes, corriente, voltaje y potencia. El resistor. Fuentes de voltaje y de corrientes ideales y reales, dependientes e independientes. Leyes de Kirchhoff. El amplificador operacional ideal. Clasificación de los circuitos. Principales propiedades de los circuitos lineales.

Distribución de actividades.

Conferencia 1	Introducción. Nociones básicas sobre corriente, voltaje y potencia. Circuitos eléctricos y sus elementos. Resistor, inductor y capacitor. Fuentes de voltaje y de corriente, ideales y reales, dependientes e independientes.
Conferencia 2	El amplificador operacional ideal. Dualidad en redes lineales dinámicas (autoestudio).



Conferencia 3	Leyes de Kirchhoff. Nociones de topología. Dualidad en circuitos resistivos, clasificación y principales propiedades (autoestudio).
Clase práctica 1	Cálculo de tensión, corriente y potencia en circuitos simples.
Clase práctica 2	Aplicación de las leyes de Kirchhoff en forma general.
Clase práctica 3	Aplicación de las leyes de Kirchhoff en forma general.
Laboratorio 1	Medición de las principales magnitudes eléctricas.

1.1.3 Tema 2. Análisis de las redes resistivas lineales.

Objetivos instructivos.

- 1- Conocer los fundamentos teóricos del análisis de circuitos de corriente directa mediante transformaciones sucesivas.
- 2- Conocer los fundamentos teóricos de los métodos de las corrientes de mallas y potenciales de nodos
- 3- Conocer los fundamentos teóricos de los teoremas de Thevenin, Norton y superposición.
- 4- Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa mediante transformaciones equivalentes.
- 5- Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa mediante la aplicación del método de las corrientes de mallas.
- 6- Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa mediante la aplicación del método de los potenciales de nodos.
- 7- Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa mediante la aplicación del teorema de superposición.
- 8- Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa mediante la aplicación del teorema de Thevenin.
- 9- Calcular corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa mediante la aplicación del teorema de Norton..
- 10- Realizar balances de potencias en circuitos complejos de corriente directa.



- 11-Investigar experimentalmente el comportamiento de las redes resistivas lineales alimentadas con fuentes de corriente directa.
- 12-Instalar circuitos de corriente directa con más de una fuente de alimentación.
- 13-Medir corrientes, tensiones y potencias en circuitos de corriente directa con conexiones serie, paralela y mixta.
- 14-Comprobar experimentalmente métodos y teoremas en circuitos eléctricos lineales de corriente directa.
- 15-Interpretar los resultados de las mediciones realizadas en circuitos.
- 16-Simular en la computadora circuitos de corriente directa.

Sistema de conocimientos.

Ecuaciones de las redes resistivas. Concepto de funciones de entrada y de transferencia. Dualidad en circuitos resistivos. Transformaciones equivalentes en circuitos resistivos conectados en serie, paralelo.

Divisores de voltaje y de corriente. Transformaciones recíprocas delta-estrella. Transformaciones de fuentes reales. Método de los valores proporcionales. Nociones de Topología aplicada a los circuitos. Métodos de las corrientes de malla y de los voltajes de nodos. Teoremas de los circuitos lineales: superposición, Thevenin y Norton. Condición de máxima transferencia de potencia.

Distribución de actividades.

Conferencia 4	Ecuación de las redes resistivas. Concepto de función de entrada y de transferencia. Transformaciones equivalentes en circuitos resistivos conectados en serie, paralelo, y mixto. Divisores de tensión y de corriente. Transformaciones recíprocas delta – estrella. Transformaciones de fuentes.
Conferencia 5	Método de las corrientes de mallas. Método de las tensiones de nodos.
Conferencia 6	Teoremas de los circuitos lineales: superposición, Thevenin y Norton. Condiciones de máxima transferencia de potencia. Método de los valores proporcionales (autoestudio).



Clase práctica 4	Cálculo de circuitos de corriente directa, mediante transformaciones sucesivas en conexiones serie, paralela y mixta. Divisores de tensión y de corriente.
Clase práctica 5	Cálculo de circuitos de corriente directa mediante transformaciones sucesivas y transformaciones recíprocas delta-.estrella. Divisores de corriente y de tensión.
Clase práctica 6	Cálculo de circuitos de corriente directa, aplicando transformaciones de fuentes de corriente y de tensión.
Clase práctica 7	Cálculo de circuitos a través del método de las corrientes de mallas.
Clase práctica 8	Cálculo de circuitos a través del método de los potenciales de nodos.
Clase práctica 9	Cálculo de circuitos a través del teorema de superposición.
Clase práctica 10	Cálculo de circuitos a través del teorema de Thevenin.
Clase práctica 11	Cálculo de circuitos a través del teorema de Norton.
Laboratorio 2	Investigación de circuitos estimulados con fuentes de corriente directa, en conexiones serie, paralela y mixta.
Laboratorio 3	Investigación de los teoremas de cálculo de los circuitos lineales estimulados con fuentes de corriente directa.

1.1.4 Tema 3. Análisis de las redes dinámicas en el dominio del tiempo.

Objetivos instructivos.

1. Conocer los fundamentos teóricos del análisis de circuitos de corriente directa de primer orden sencillos en régimen dinámico
2. Conocer los fundamentos teóricos del análisis de circuitos de corriente directa de primer orden ramificados en régimen dinámico
3. Conocer los fundamentos teóricos del análisis de circuitos de corriente directa de segundo orden sencillos en régimen dinámico
4. Caracterizar los distintos tipos de respuesta dinámica de los circuitos de corriente directa de segundo orden.



5. Conocer los fundamentos teóricos del análisis de circuitos de corriente directa de segundo orden ramificados en régimen dinámico
6. Calcular procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de primer orden, estimulados con fuentes de corriente directa.
7. Calcular procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de primer orden, estimulados con fuentes de onda cuadrada o rampa.
8. Calcular procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de segundo orden no ramificados, estimulados con fuentes de corriente directa.
9. Calcular procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de segundo orden ramificados, estimulados con fuentes de corriente directa.
10. Investigar experimentalmente el comportamiento de los circuitos de primer orden sencillos RL y RC en régimen transitorio.
11. Investigar experimentalmente el comportamiento de los circuitos de segundo orden no ramificados RLC en régimen transitorio.
12. Investigar experimentalmente el comportamiento de los circuitos de segundo orden ramificados RLC en régimen transitorio.
13. Simular el comportamiento de circuitos con elementos R, L, C en régimen transitorio.
14. Interpretar los gráficos de corriente y tensión como funciones del tiempo en los circuitos que operan en régimen transitorio, estimulados con fuentes de corriente directa.

Sistema de conocimientos.

Dualidad en redes lineales dinámicas. Propiedades de los elementos almacenadores ideales. Método clásico para el cálculo de circuitos de primer orden y de segundo orden con elementos en serie o paralelo y estímulos de CD y otras formas de ondas relacionadas, frecuencias naturales, propiedades de la respuesta transitoria.



Distribución de actividades.

Conferencia 7	Método clásico para analizar redes sencillas con estímulo constante. Procesos transitorios en circuitos de primer orden.
Conferencia 8	Análisis de las redes ramificadas de primer orden. Análisis de circuitos de primer orden estimulados con una fuente cuadrada o rampa.
Conferencia 9	Procesos transitorios en circuitos de segundo orden. Respuesta libre de la red sin pérdidas. Respuesta sobreamortiguada, respuesta críticamente amortiguada, respuesta subamortiguada en un circuito RLC paralelo.
Conferencia 10	Análisis del circuito RLC serie. Respuesta completa del circuito RLC.
Conferencia 11	Análisis de procesos transitorios en redes ramificadas de segundo orden.
Clase práctica 12	Cálculo de procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de primer orden ramificados.
Clase práctica 13	Cálculo de procesos transitorios en circuitos de primer orden estimulados con una fuente de onda cuadrada o rampa.
Clase práctica 14	Cálculo de procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de segundo orden no ramificados.
Clase práctica 15	Cálculo de procesos transitorios en circuitos eléctricos lineales de segundo orden ramificados.
Laboratorio 4	Investigación de los procesos transitorios en los circuitos RL y RC.
Laboratorio 5	Investigación de los procesos transitorios en los circuitos RLC serie.
Laboratorio 6	Investigación de los procesos transitorios en los circuitos RLC ramificados.

Sistema de valores.

Mediante las actividades instructivas, se trabajará de forma tal que se logre desarrollar y consolidar en los estudiantes el conjunto de valores éticos y morales que deben caracterizar a un joven universitario en nuestra sociedad. Dichos valores incluirán los valores compartidos del ISMMANJ y serán desarrollados a partir de dos valores fundamentales:

1. Sentido de la responsabilidad
2. Sentido de pertenencia a la carrera.



Sistema de evaluación de la asignatura.

Tema	Forma de evaluación	Contenido esencial a evaluar
I	Trabajo extraclase 1	Leyes de Kirchhoff.
II	Trabajo extraclase 2	Métodos generales (mallas, nodos)
	Prueba parcial 1	Transformaciones sucesivas y Teoremas.
III	Prueba parcial 2	Procesos transitorios en redes ramificadas de primer orden.
	Examen final escrito	Contenido esencial de la asignatura

Distribución de las actividades de la asignatura (P - 0).

No. Actividad	Tipo de actividad	Objetivos específicos	Tema
1	C ₁	1	1
2	CP ₁	4	
3	C ₂	2	
4	C ₃	3	
5	CP ₂	5,6	
6	CP ₃	5,6	
7	L ₁	7, 8, 9, 10	
8	C ₄	1	2
9	CP ₄	4, 10	
10	CP ₅	4, 10	
11	CP ₆	4, 10	
12	C ₅	2	
13	CP ₇	5, 10	
14	CP ₈	6, 10	
15	C ₆	3	
16	CP ₉	7	
17	CP ₁₀	8	
18	CP ₁₁	9	
19	L ₂	11, 12, 13, 15, 16	3
20	L ₃	14, 15, 16	
21	C ₇	1	
22	C ₈	2	
23	CP ₁₂	6	
24	CP ₁₃	7	
25	C ₉	3	
26	C ₁₀	4	
27	CP ₁₄	8	
28	C ₁₁	5	
29	CP ₁₅	9	



30	L ₄	10, 13, 14	
31	L ₅	10, 13, 14	
32	L ₆	10, 13, 14	

Derivación de las estrategias curriculares a la asignatura.

Objetivo del plan director de economía en la asignatura.

Interpretar las terminologías eléctricas (corriente, voltaje, potencia, balance de potencias, consumo, pérdidas, etc.) y su vinculación con aspectos económicos y de eficiencia de un determinado circuito eléctrico.

Objetivo del plan director de idioma inglés en la asignatura.

- Reconocer terminologías eléctricas fundamentales presentes en los circuitos eléctricos.
- Utilizar bibliografía especializada (Texto: Engineering Circuits Analysis).
- Escribir pequeños resúmenes en la tarea extraclase e informes de prácticas de laboratorios.

Objetivo del plan director de computación en la asignatura.

- Utilizar softwares profesionales para la solución de sistemas de ecuaciones lineales en el trabajo de control extraclase.
- Aplicar softwares profesionales (priorizando MATLAB) en la simulación de circuitos eléctricos en el trabajo extraclase y las prácticas de laboratorio.

Indicaciones metodológicas y de organización de la asignatura.

A través de la impartición de esta asignatura debe tenerse presente que el análisis de circuitos no se limita al aspecto matemático (métodos para calcular distintas variables) sino que incluye, como cuestión esencial, la interpretación física de los fenómenos y resultados que se obtienen. Por este motivo, el análisis físico debe estar siempre incluido, aunque explícitamente no se haya resaltado como parte de un objetivo o habilidad determinados.



Esta asignatura se apoya en las Matemáticas, así como en la Física; por lo cual resulta imprescindible garantizar las coordinaciones horizontales y verticales necesarias. Es beneficioso que se incluyan en la mayor cantidad posible de ejercicios y problemas de aplicación directa en la carrera, con lo cual se le va enseñando al estudiante cómo se aplican en las disciplinas subsiguientes los conocimientos y habilidades circuitales y, por otro lado, se propicia la motivación interna por la profesión. Deben resolverse ejercicios que contengan fuentes tanto independientes como dependientes.

Para garantizar la consolidación de habilidades se realizará un trabajo extraclase que abarca el cálculo de un circuito eléctrico de cierta complejidad mediante la aplicación de las leyes de Kirchhoff y de los métodos de las corrientes de malla y de las tensiones de nodos, incluyendo la realización del balance de potencias como forma integral de comprobación de los resultados. Con vistas a lograr la mayor independencia de los estudiantes se impondrá un variante (circuito) para cada uno. Este TCE, con contenido de los temas I y II, se dividirá en dos partes: el primero dirigido al cálculo aplicando las leyes de Kirchhoff y el balance de potencia y el segundo mediante la aplicación de los métodos de mallas y nodos.

Forma parte de las evaluaciones dos pruebas parciales. La primera comprobará las habilidades adquiridas en la simplificación de circuitos mediante transformaciones sucesivas y la aplicación de los teoremas de superposición, Thevenin y Norton. El segundo abordará las habilidades de cálculo de procesos transitorios de circuitos ramificados primer orden. Como parte de las evaluaciones frecuentes deben incluirse preguntas escritas, fundamentalmente en las clases prácticas, sobre los distintos tópicos que progresivamente se imparten.

Resulta provechoso estimular a los mejores estudiantes mediante la realización de exámenes de premio, cuya sistematización debe llevarse a cabo. Las prácticas de laboratorio de la asignatura estarán dirigidas a comprobar los elementos teóricos abordados en las conferencias y clases prácticas. Se aprovecharán al máximo las



potencialidades del equipamiento existente, para lo cual se podrán programar actividades optativas fuera del tiempo establecido por este programa. Es obligatoria la realización de las 6 prácticas previstas en el programa. En todas las prácticas de laboratorio los estudiantes simularán los circuitos objeto de estudio.

1.1.5 Bibliografía de la asignatura.

Fundamental.

1. Engineering Circuit Analysis. Hayt and Kemmerly. Ediciones del MES, C. Habana, 1980. 2 tomos, 653 pág.

Complementaria.

2. Fundamentos de la Teoría de Circuitos I. Américo Montó y otros. Pueblo y Educación. 1989. 286 pág.
3. "Electric Circuits". Mahmood Nahvi. Mc. Graw- Hill. Schaum's Outline Series. Edic. 2003.
4. Guía de prácticas de laboratorios. Fichero Cirlab en el sitio WEB de la disciplina de Circuitos Eléctricos y Mediciones.



1.2 Fundamentación de la asignatura de Circuito Eléctrico II.

Asignatura: Circuitos Eléctricos II.

Carrera: Ingeniería Eléctrica.

Forma de enseñanza: Académica.

Tiempo total: 64 h.

Facultad: Metalurgia-Electromecánica.

Departamento: Eléctrica.

Disciplina: Circuitos Eléctricos y Mediciones Eléctricas.

Tipo de Curso: Regular Diurno.

Ubicación en el plan de estudio: 2^{do} año de Ingeniería Eléctrica, 2^{do} semestre.

Examen Final: Tiene.

Objetivos de la asignatura.

Objetivo general.

- Analizar circuitos eléctricos de corriente alterna mediante la aplicación de diferentes métodos de cálculo y con el empleo de la computación.

Objetivos educativos.

- 1- Manifestar en sus actividades de estudio e investigación los más altos valores de nuestra sociedad: responsabilidad, incondicionalidad, honestidad, modestia, desinterés, patriotismo y el conjunto de valores compartidos del ISMMANJ.
- 2- Trabajar en forma organizada e independiente, o en colectivos autoinformándose y siendo capaces de orientarse y adaptarse a situaciones nuevas, sentir la necesidad de estudiar y superarse constantemente.
- 3- Poseer una formación integral, teórico-práctica, científico-técnica y estética de carácter profesional que le permita de forma independiente resolver las tareas que les plantee la sociedad, desarrollando además la capacidad de adquirir conocimientos por ellos mismos.



- 4- Utilizar el idioma español con eficiencia en su forma oral y escrita, a través del oficio adquirido por medio de las respuestas a preguntas, elaboración y defensa de informes bien estructurados.

Objetivos instructivos.

1. Analizar circuitos eléctricos lineales, en estado estable, en régimen de corriente alterna, monofásicos (que pueden incluir inductancia mutua) y trifásicos.
2. Analizar circuitos en estado transitorio, con estímulo de corriente alterna.
3. Analizar circuitos resonantes serie, paralelo y serie - paralelo.
4. Analizar circuitos magnéticos en régimen de corriente directa.
5. Analizar cuadripolos lineales sencillos.

Sistema de conocimientos.

Definiciones básicas del método fasorial. Leyes de Kirchhoff en régimen de CA. Ley de Ohm en forma compleja para elementos R, L y C, impedancia, admitancia, reactancia, susceptancia, dependencia con la frecuencia. Circuitos serie, paralelo y serie-paralelo en régimen de CA, diagramas fasoriales. Ley de Ohm para un dipolo pasivo arbitrario, circuitos equivalentes serie y paralelo, dependencia con la frecuencia. Métodos generales y teoremas en CA. Potencia en un dipolo en régimen sinusoidal. Potencia activa, reactiva, aparente y aparente compleja. Factor de potencia. Mejoramiento del factor de potencia.

Máxima transferencia de potencia. Definiciones básicas sobre los circuitos trifásicos. Circuitos trifásicos conectados en delta y en estrella, balanceados y desbalanceados. Cargas trifásicas en paralelo, balanceadas y desbalanceadas. Potencias en circuitos trifásicos. Concepto de frecuencia compleja Resonancia en circuitos eléctricos, propiedades de los circuitos resonantes serie, paralelo y serie-paralelo. Circuitos con inducción mutua. Análisis fasorial de los circuitos con inductancia mutua.

El transformador y sus aplicaciones (transformadores ideal y lineal). Circuitos magnéticos en estado estable. Leyes de Ohm y de Kirchhoff de los circuitos



magnéticos. Cálculos de flujo magnético y de fuerza magnetomotriz. Concepto de cuadripolo. Simetría y reciprocidad. Clasificación de los cuadripolos. Ecuaciones básicas de los cuadripolos y relaciones de transferencia.

Sistema de habilidades.

- 1- Aplicar el método fasorial al análisis de circuitos de corriente alterna lo cual conlleva: Cálculos de impedancias y admitancia, trazado de diagramas fasoriales, simplificaciones y transformaciones, así como la aplicación de los teoremas de Thevenin y superposición y los métodos generales de análisis fasorialmente.
- 2- Aplicar el método fasorial al análisis de circuitos trifásicos, balanceados y desbalanceados, en delta y en estrella, incluyendo el caso de cargas trifásicas en paralelo.
- 3- Calcular e interpretar los procesos de transferencia de potencia en circuitos de corriente alterna monofásicos y trifásicos.
- 4- Aplicar el método clásico al análisis de procesos transitorios en circuitos de primer orden, estimulados sinusoidalmente.
- 5- Aplicar el concepto y las propiedades de los circuitos resonantes al análisis de redes RLC serie, paralelo y serie - paralelo.
- 6- Aplicar las leyes de Ohm y Kirchhoff fasorialmente al análisis de circuitos con inductancia mutua.
- 7- Aplicar las leyes de Ohm y Kirchhoff de los circuitos magnéticos al análisis de los mismos teniendo en cuenta su carácter no lineal.
- 8- Aplicar fasorialmente los métodos de análisis de circuitos al cálculo de parámetros y otras características de cuadripolos lineales sencillos.

1.2.1 Distribución del contenido y objetivos instructivos por temas.

Temas	Título del tema	Horas por actividades				
		C	CP	L	S	Total
1	Régimen sinusoidal en los circuitos eléctricos lineales.	8	8	6	0	22
2	Fenómenos de resonancia.	2	2	2	0	6



3	Circuitos trifásicos.	4	6	2	0	12
4	Circuitos con inductancia mutua y circuitos magnéticos.	6	4	2	2	14
5	Cuadripolos.	4	4	2	0	10
Total		24	24	14	2	64

1.2.2 Tema 1. Régimen sinusoidal en los circuitos eléctricos lineales.

Objetivos instructivos.

1. Conocer las definiciones básicas de las funciones sinusoidales
2. Familiarizarse con el álgebra de números complejos.
3. Conocer el concepto y significado de fasor como una magnitud asociada a una función sinusoidal.
4. Familiarizarse con la metodología de construcción de los diagramas fasoriales.
5. Conocer las características volt-ampere y de potencia de cada uno de los elementos R, L y C ante la presencia de un estímulo cosinusoidal.
6. Familiarizarse con la ley de Ohm en forma compleja.
7. Reconocer las peculiaridades de la aplicación de las leyes de Kirchhoff y los métodos generales y teoremas en forma fasorial.
8. Identificar las diferentes formas de la potencia en el régimen sinusoidal.
9. Conocer el concepto de factor de potencia y su gran importancia desde el punto de vista del ahorro de energía en el sector residencial e industrial.
10. Familiarizarse con las peculiaridades del análisis de los procesos transitorios en régimen sinusoidal.
11. Determinar magnitudes básicas de las funciones cosinusoidales.
12. Calcular circuitos simples de corriente alterna aplicando las leyes de Ohm.
13. Trazar diagramas vectoriales de tensión y corriente.
14. Calcular potencia en circuitos RLC ramificados.
15. Calcular factor de potencia en circuitos eléctricos.
16. Mejorar factor de potencia de circuitos eléctricos.
17. Calcular circuitos de corriente alterna ramificados aplicando las leyes de Kirchhoff.



18. Calcular circuitos de corriente alterna ramificados aplicando los teoremas y métodos generales.
19. Calcular procesos transitorios en circuitos de corriente alterna.
20. Investigar experimentalmente a través de la medición de tensión, corriente, factor de potencia y desfase las propiedades de los elementos R, L y C de un circuito estimulado con corriente alterna y directa.
21. Investigar experimentalmente a través de la medición de tensión, corriente, factor de potencia y desfase las propiedades de circuitos RL y RC serie y paralelo de corriente alterna.
22. Investigar experimentalmente a través de la medición de tensión, corriente y factor de potencia y desfase las propiedades de un circuito RLC serie y paralelo de corriente alterna.

Sistema de conocimientos.

Definiciones básicas del método fasorial. Leyes de Kirchhoff en régimen de CA. Ley de Ohm en forma compleja para elementos R, L y C, impedancia, admitancia, reactancia, susceptancia, dependencia con la frecuencia. Circuitos serie, paralelo y serie-paralelo en régimen de CA, diagramas fasoriales. Ley de Ohm para un dipolo pasivo arbitrario, circuitos equivalentes serie y paralelo, dependencia con la frecuencia. Métodos generales y teoremas en CA. Potencia en un dipolo en régimen sinusoidal. Potencia activa, reactiva, aparente y aparente compleja. Factor de potencia. Mejoramiento del factor de potencia. Máxima transferencia de potencia.

Distribución de actividades

Conferencia 1	Introducción. Nociones básicas sobre funciones sinusoidales. Concepto de valor eficaz. Valor eficaz de una función sinusoidal. Álgebra de los números complejos. Concepto de fasor. Diagramas fasoriales.
Conferencia 2	Ley de Ohm en forma compleja. Características volt-ampere y de potencia de los elementos R, L y C de un circuito. Ley de Ohm fasorialmente para dipolos pasivos. Análisis fasorial de circuitos. Leyes de Kirchhoff fasorialmente. Métodos generales y teoremas.
Conferencia 3	Potencia en un dipolo en régimen sinusoidal. Potencia activa, reactiva, aparente y aparente compleja. Factor de potencia. (Máxima transferencia de potencia: autoestudio).



Conferencia 4	Procesos transitorios en circuitos sencillos de primer orden estimulados sinusoidalmente. Concepto de frecuencia compleja.
Clase práctica 1	Cálculo de circuitos simples de corriente alterna aplicando la ley de Ohm para los resistores, inductores y capacitores. Diagramas vectoriales.
Clase práctica 2	Cálculo de circuitos de corriente alterna RLC ramificados (Diagramas vectoriales).
Clase práctica 3	Cálculo de circuitos de corriente alterna RLC ramificados (Cálculo de potencia, factor de potencia y mejoramiento del mismo).
Clase práctica 4	Cálculo de procesos transitorios en circuitos de corriente alterna.
Prueba Parcial #1	Cálculo de circuitos de corriente alterna.
Laboratorio 1	Investigación experimental de las propiedades de los elementos R, L y C en circuitos de corriente alterna.
Laboratorio 2	Investigación experimental de circuitos simples de corriente alterna.
Laboratorio 3	Circuitos desfasadores.

1.2.3 Tema 2. Fenómenos de resonancia.

Objetivos instructivos.

1. Familiarizarse con los conceptos básicos de la resonancia.
2. Calcular circuitos eléctricos en resonancia.
3. Investigar experimentalmente el circuito resonante RLC serie.

Sistema de conocimientos.

Resonancia en circuitos eléctricos, propiedades de los circuitos resonantes serie, paralelo y serie-paralelo.

Distribución de actividades.

Conferencia 5	Concepto de resonancia en circuitos eléctricos. Propiedades fundamentales de los circuitos eléctricos resonantes serie, paralelo y serie-paralelo.
Clase práctica 5	Cálculo de resonancia en circuitos ramificados y no ramificados.
Laboratorio 4	Investigación de la resonancia en circuitos RLC serie.



1.2.4 Tema 3. Circuitos trifásicos.

Objetivos instructivos.

1. Identificar las conexiones delta y estrella de fuentes y cargas en circuitos trifásicos.
2. Familiarizarse con las relaciones principales entre tensión y corriente en las conexiones delta y estrella de circuitos trifásicos.
3. Conocer las peculiaridades del análisis de la potencia en circuitos trifásicos y los métodos usados para su medición.
4. Calcular tensión, corriente y potencia en circuitos trifásicos conectados en estrella y en delta
5. Calcular tensión, corriente y potencia en circuitos trifásicos conectados en estrella y en delta, incluyendo casos de cargas paralelas.
6. Determinar el factor de potencia en circuitos trifásicos.
7. Calcular banco de capacitores para el mejoramiento del factor de potencia en circuitos trifásicos.
8. Investigar experimentalmente mediante la medición de tensión, corriente y potencia, las propiedades de un circuito trifásico conectado en delta y en estrella, balanceado y desbalanceado, y en el caso de la estrella con neutro y sin neutro.

Sistema de conocimientos.

Definiciones básicas sobre los circuitos trifásicos. Circuitos trifásicos conectadas en delta y en estrella, balanceados y desbalanceados. Cargas trifásicas en paralelo, balanceadas y desbalanceadas. Potencias en circuitos trifásicos.

Distribución de actividades.

Conferencia 6	Conceptos y definiciones básicas sobre los circuitos trifásicos. Circuitos trifásicos conectados en delta y en estrella, balanceados y desbalanceados.
Conferencia 7	Potencia en circuitos trifásicos. Medición de potencia.
Clase práctica 6	Cálculo de circuitos trifásicos balanceados en delta y estrella. Cálculo de potencia.



Clase práctica 7	Cálculo de circuitos trifásicos desbalanceados en delta y estrella. Cálculo de potencia.
Clase práctica 8	Cálculo de circuitos trifásicos en delta y estrella, incluyendo cargas paralelas. Cálculo de potencia.
Laboratorio 5	Investigación experimental de las conexiones delta y estrella en circuitos trifásicos.

1.2.5 Tema 4. Circuitos con inductancia mutua y circuitos magnéticos.

Objetivos instructivos.

1. Conocer las definiciones básicas de los circuitos con acoplamientos magnéticos.
2. Familiarizarse con las peculiaridades de la aplicación de las leyes de Kirchhoff y del método de las corrientes de mallas a circuitos con inductancia mutua.
3. Familiarizarse con las peculiaridades del análisis de circuitos magnéticos.
4. Identificar las leyes de Ohm y de Kirchhoff para los circuitos magnéticos.
5. Determinar en circuitos simples acoplados magnéticamente tensión, corriente, marcas de polaridad y diagramas fasoriales.
6. Calcular circuitos con inductancia mutua ramificados a través del método de las corrientes de mallas.
7. Analizar circuitos magnéticos sencillos (partiendo de ϕ calcular NI).
8. Investigar experimentalmente mediante la medición de tensión, corriente y desfase las propiedades de un circuito con inductancia mutua conectado en serie y paralelo, concordante y en oposición.
9. Interpretar el comportamiento de dos inductancias conectadas en serie y paralelo, concordante y en oposición.
10. Exponer los resultados de la investigación bibliográfica sobre las características del transformador (ideal y lineal) y sus aplicaciones.

Sistema de conocimientos.

Circuitos con inducción mutua. Análisis fasorial de los circuitos con inductancia mutua. El transformador y sus aplicaciones (transformadores ideal y lineal).



Circuitos magnéticos en estado estable. Leyes de Ohm y de Kirchhoff de los circuitos magnéticos. Cálculos de flujo magnético y de fuerza magnetomotriz.

Distribución de actividades.

Conferencia 8	Definiciones básicas. Flujo magnético. Marcas de polaridad. Análisis de circuitos con inductancia mutua en régimen sinusoidal. Conexiones simples serie y paralelo.
Conferencia 9	Análisis de los circuitos con inductancia mutua ramificados por las leyes de Kirchhoff y el método de las corrientes de mallas.
Conferencia 10	Circuitos magnéticos en estado estable. Leyes de Ohm y de Kirchhoff para los circuitos magnéticos. Determinación de flujo magnético y fuerza magnetomotriz.
Clase práctica 9	Cálculo de circuitos ramificados con inductancia mutua.
Clase práctica 10	Cálculo de circuitos magnéticos.
Seminario 1	El transformador y sus aplicaciones. Transformador ideal y lineal.
Laboratorio 6	Investigación de un circuito con inductancia mutua. (Cálculo de circuitos con inductancia mutua en serie y paralelo en conexiones concordante y en oposición. Marcas de polaridad. Diagrama fasorial)

1.2.6 Tema 5. Cuadripolo.

Objetivos instructivos.

1. Familiarizarse con el concepto de cuadripolo, así como con sus parámetros fundamentales.
2. Identificar las ecuaciones básicas que caracterizan al cuadripolo.
3. Conocer las propiedades de los cuadripolos recíprocos y simétricos.
4. Identificar la influencia de las condiciones de carga sobre las características de entrada, salida y de transferencia de un cuadripolo.
5. Calcular distintos tipos de matrices (parámetros) de cuadripolos.
6. Determinar el comportamiento externo del cuadripolo para condiciones de cargas distintas.



7. Investigar experimentalmente, a través de la medición de tensión, corriente y desfasaje, algunos de los parámetros fundamentales de un cuadripolo tipo T y tipo II.

Sistema de conocimientos.

Concepto de cuadripolo. Simetría y reciprocidad. Clasificación de los cuadripolos. Ecuaciones básicas de los cuadripolos y relaciones de transferencia.

Distribución de actividades.

Conferencia 11	Concepto de Cuadripolo. Teorema de la reciprocidad. Clasificación de los cuadripolos. Ecuaciones básicas de los cuadripolos. Propiedades de los cuadripolos recíprocos y simétricos.
Conferencia 12	Características de entrada, salida y transferencia para distintas condiciones de carga. (Asociación de cuadripolos: Autoestudio)
Clase práctica 11	Cálculo de parámetros de cuadripolos.
Clase práctica 12	Cálculo del comportamiento externo a partir de los parámetros del cuadripolo
Prueba Parcial #2	Cálculo de parámetros de cuadripolos.
Laboratorio 7	Investigación experimental de los parámetros de un cuadripolo.

1.2.10 Distribución de las actividades de la asignatura (P- 0).

No. Actividad	Tipo de actividad	Objetivos específicos	Tema	Computación
1	C ₁	1, 2, 3, 4	1	
2	C ₂	5,6, 6, 7		
3	CP ₁	11, 12, 13		
4	CP ₂	11, 13, 14		x
5	C ₃	8, 9		
6	CP ₃	14,15,16		
7	C ₄	10		
8	CP ₄	19		
9	L ₁	20		
10	L ₂	21		



11	L ₃	22		
12	C ₅	1	2	x
13	CP ₅	2		x
14	L ₄	3		
15	C ₆	1, 2	3	
16	C ₇	3		
17	CP ₆	4, 6		
18	CP ₇	4, 6		
19	CP ₈	5, 6		x
20	L ₅	8		x
21	C ₈	1	4	
22	C ₉	2		
23	CP ₉	6		
24	C ₁₀	3, 4		
25	CP ₁₀	7		
26	L ₆	5,9		
27	S ₁	10		
28	C ₁₁	1, 2, 3	5	
29	C ₁₂	4		
30	CP ₁₁	5		
31	CP ₁₂	6		
32	L ₇	7		

1.2.11 Sistema de valores.

Mediante las actividades instructivas, se trabajará de forma tal que se logre desarrollar y consolidar en los estudiantes el conjunto de valores éticos y morales que deben caracterizar a un joven universitario en nuestra sociedad. Dichos valores incluirán los valores compartidos del ISMMANJ y serán desarrollados a partir de dos valores fundamentales:

- Sentido de la responsabilidad.
- Sentido de pertenencia a la carrera.

Sistema de evaluación de la asignatura.

Tema	Forma de evaluación	Contenido esencial a evaluar
I	Prueba Parcial #1	Cálculo de circuitos de corriente alterna.
	Trabajo extraclase 1	Cálculo de circuitos de corriente alterna-2



		ejercicios: cálculo a partir de una potencia y métodos generales y teoremas
III	Trabajo extraclase 2	Cálculo de circuitos trifásicos con cargas paralelas.
IV	Trabajo extraclase 3	Método de las corrientes de mallas en circuitos con inductancia mutua. Cálculo de Circuitos magnéticos.
V	Prueba parcial #2	Cálculo de parámetros de cuadripolos. Cálculo del comportamiento externo a partir de los parámetros del cuadripolo.
	Examen final escrito	Todo el contenido de la asignatura.

Derivación de las estrategias curriculares a la asignatura.

Objetivo del plan director de economía en la asignatura.

Interpretar las terminologías eléctricas (corriente, voltaje, potencia, balance de potencias, consumo, pérdidas, etc.) y su vinculación con aspectos económicos y de eficiencia de un determinado circuito eléctrico.

Objetivo del plan director de idioma inglés en la asignatura.

- Reconocer terminologías eléctricas fundamentales presentes en los circuitos eléctricos.
- Utilizar bibliografía especializada (Texto: Engineering Circuits Analysis).
- Escribir pequeños resúmenes en la tarea extraclase e informes de prácticas de laboratorios.

Objetivo del plan director de computación en la asignatura.

- Utilizar softwares profesionales para la solución de sistemas de ecuaciones lineales en el trabajo de control extraclase.
- Aplicar softwares profesionales (priorizando MATLAB) en la simulación de circuitos eléctricos en el trabajo extraclase y las prácticas de laboratorio.



- Está dirigido hacia la explotación de paquetes de softwares (fundamentalmente Workbench y Matlab), para el cálculo y simulación de circuitos eléctricos de cierto nivel de complejidad.

Indicaciones metodológicas y de organización de la asignatura.

Análisis de la asignatura dentro del sistema y carrera.

Esta asignatura proporciona métodos de cálculos y contenidos necesarios para otras asignaturas básico-específicas y de la especialidad: su contenido permite la introducción de importantes teorías básicas para las disciplinas de:

Electrónica, Máquinas Eléctricas, Automatización, Mediciones Eléctricas y Sistemas Eléctricos. Se integra horizontalmente con Máquinas Eléctricas I, Mediciones Eléctricas I y II, Electrónica I y II, Electrónica Digital e Ingeniería Eléctrica. Se integra en el plano vertical con las asignaturas Física II (Electricidad y magnetismo), Matemática I y IV (Integrales y derivadas, ecuaciones diferenciales, matrices, transformada de Laplace y variables complejas), Métodos Numéricos (Interpolación y ajuste de curvas), Inglés (Con el contenido que le permita utilizar bibliografía especializada en idioma inglés), Simulación (Paquetes de software Workbench y Matlab), Circuitos Eléctricos I (Con todo su contenido), e Ingeniería Eléctrica I y II (Habilidades en el manejo de instrumentación eléctrica).

Es beneficioso que se incluyan en la mayor cantidad posible de ejercicios y problemas de aplicación directa en la carrera, con lo cual se le va enseñando al estudiante cómo se aplican en las disciplinas subsiguientes los conocimientos y habilidades circuitales y, por otro lado, se propicia la motivación interna por la profesión.

El sistema de evaluaciones dos pruebas parciales. La primera comprobará las habilidades adquiridas en la simplificación de circuitos mediante transformaciones sucesivas y la aplicación de los teoremas de superposición, Thevenin y Norton. El segundo abordará las habilidades de cálculo de procesos transitorios de circuitos ramificados primer orden.



Como parte de las evaluaciones frecuentes deben incluirse preguntas escritas, fundamentalmente en las clases prácticas, sobre los distintos tópicos que progresivamente se imparten. Resulta provechoso estimular a los mejores estudiantes mediante la realización de exámenes de premio, cuya sistematización debe llevarse a cabo. Las prácticas de laboratorio de la asignatura estarán dirigidas a comprobar los elementos teóricos abordados en las conferencias y clases prácticas.

Se aprovecharán al máximo las potencialidades del equipamiento existente, para lo cual se podrán programar actividades optativas fuera del tiempo establecido por este programa. Es obligatoria la realización de las 7 prácticas previstas en el programa. En todas las prácticas de laboratorio los estudiantes simularán los circuitos objeto de estudio.

1.2.7 Bibliografía de la asignatura.

Fundamental.

- 1- "Análisis de Circuitos en Ingeniería" Hayt and Kemmerly. McGraw- Hill/ Interamericana de México. Edición 1993. Traducido de la quinta edición de "Engineering Circuits Analysis" Hayt and Kemmerly.

Complementaria.

- 2- Engineering Circuit Analysis. Hayt and Kemmerly. Ediciones del MES, C. Habana, 1980. 2 tomos, 653 pág.
- 3- Fundamentos de la Teoría de Circuitos I. Américo Montó y otros. Pueblo y Educación. 1989. 286 pág.
- 4- Fundamentos de la Teoría de Circuitos II. Esperanza Ayllón y otros. Ediciones del MES, 1984, 620 págs.
- 5- "Electric Circuits". Mahmood Nahvi. Mc. Graw- Hill. Schaum's Outline Series. Edic. 2003.
- 6- Guía de prácticas de laboratorios. Fichero Cirlab en el sitio WEB de la disciplina de Circuitos Eléctricos y Mediciones.



1.3 Fundamentación de la asignatura de Circuito Eléctrico III.

Asignatura: Circuitos Eléctricos III.

Carrera: Ingeniería Eléctrica.

Forma de enseñanza: Académica.

Tiempo total: 64 h.

Facultad: Metalurgia-Electromecánica.

Departamento: Eléctrica.

Disciplina: Circuitos Eléctricos y Mediciones Eléctricas.

Tipo de Curso: Regular Diurno.

Ubicación en el plan de estudio: 3^{er} Año de Ingeniería Eléctrica, 1^{er} semestre.

Examen Final: Tiene.

Objetivos de la asignatura.

Objetivo general.

- Analizar circuitos eléctricos lineales, monofásicos y trifásicos en régimen no periódico, activos y pasivos y no lineales pasivos sencillos de corriente directa en estado estable y transitorio, mediante la aplicación de diferentes métodos de cálculo y con el empleo de la computación.

Objetivos educativos.

1. Manifestar en sus actividades de estudio e investigación los más altos valores de nuestra sociedad: responsabilidad, incondicionalidad, honestidad, modestia, desinterés, patriotismo y el conjunto de valores compartidos del ISMMANJ.
2. Trabajar en forma organizada e independiente, o en colectivos autoinformándose y siendo capaces de orientarse y adaptarse a situaciones nuevas, sentir la necesidad de estudiar y superarse constantemente.
3. Poseer una formación integral, teórico-práctica, científico-técnica y estética de carácter profesional que le permita de forma independiente resolver las tareas que les plantee la sociedad, desarrollando además la capacidad de adquirir conocimientos por ellos mismos.



4. Utilizar el idioma español con eficiencia en su forma oral y escrita, a través del oficio adquirido por medio de las respuestas a preguntas, elaboración y defensa de informes bien estructurados.

Objetivos instructivos.

1. Analizar circuitos lineales (monofásicos y trifásicos) en estado estable, con estímulo periódico no sinusoidal.
2. Analizar circuitos trifásicos por componentes simétricas.
3. Analizar circuitos lineales, activos y pasivos, en estado transitorio, operacionalmente.
4. Calcular funciones de redes de circuitos lineales activos y pasivos, operacionalmente. Trazar las características de frecuencia de los mismos e interpretarlas físicamente.
5. Analizar circuitos eléctricos no lineales pasivos sencillos en estado estable o transitorio, en régimen de corriente directa.

Sistema de conocimientos.

Concepto de estímulo periódico no sinusoidal. Espectros de las ondas periódicas no sinusoidales. Valor eficaz. Potencia en régimen periódico no sinusoidal. Análisis de circuitos monofásicos y trifásicos en régimen periódico no sinusoidal. Definiciones básicas sobre los elementos no lineales. Propiedades generales de los circuitos no lineales. Análisis de los circuitos resistivos no lineales sencillos: métodos estructurales y de linealización por partes. Procesos transitorios en circuitos sencillos de primer orden con un elemento no lineal.

Propiedades de los armónicos en los circuitos trifásicos. Análisis de circuitos trifásicos en presencia de armónicos. Análisis de circuitos trifásicos por el método de componentes simétricas. Leyes de Ohm y Kirchhoff en forma operacional, circuito operacional equivalente. Conceptos básicos sobre funciones de redes y sus diagramas de polos y ceros. Teoremas y métodos de análisis de los circuitos lineales operacionalmente. Introducción al estudio de la estabilidad de los circuitos. Características de frecuencia de los circuitos y su relación con el diagrama de polos y ceros de la función de la red.



Sistema de habilidades.

1. Calcular circuitos monofásicos y trifásicos en régimen periódico no sinusoidal aplicando el desarrollo en series de Fourier y el teorema de la superposición.
2. Calcular respuestas en el tiempo y fundamentalmente de funciones de redes aplicando operacionalmente los métodos y teoremas de los circuitos lineales.
3. Aplicar los diagramas de polos y ceros de la función de la red de un circuito al trazado aproximado de las características de frecuencia del mismo.
4. Cálculo de circuitos trifásicos desbalanceados por componentes simétricas.
5. Aplicar los conceptos básicos sobre los elementos no lineales y el método de linealización por partes, al análisis de circuitos resistivos no lineales sencillos; así como al de procesos transitorios en redes no lineales de primer orden, con un solo elemento no lineal.
6. Analizar circuitos lineales con estímulo aperiódico.
7. Aplicar los programas de computación existentes al análisis de circuitos de cierta complejidad, incluyéndose la interpretación de los resultados.

1.3.1 Distribución del contenido y objetivos instructivos por temas.

Plan temático

No	Título del tema	Horas por actividades				
		C	CP	L	S	Total
1	Régimen periódico no sinusoidal en circuitos eléctricos lineales.	6	4	4	-	14
2	Análisis de circuitos eléctricos no lineales.	8	10	8	-	26
3	Temas especiales de circuitos trifásicos.	4	2	2	-	8
4	Análisis de circuitos eléctricos lineales mediante la transformada de Laplace	6	8	2	-	16
Total		24	24	16	0	64



1.3.2 Tema 1. Régimen periódico no sinusoidal en los circuitos eléctricos.

Objetivos instructivos.

1. Establecer las características fundamentales de ondas no sinusoidales.
2. Familiarizarse con el análisis de circuitos monofásicos estimulados con ondas periódicas no sinusoidales.
3. Identificar las peculiaridades del análisis de los circuitos trifásicos en régimen periódico no sinusoidal.
4. Calcular circuitos monofásicos RLC ramificados en régimen periódico no sinusoidal.
5. Calcular circuitos trifásicos en régimen periódico no sinusoidal.
6. Investigar experimentalmente circuitos monofásicos en régimen periódico no sinusoidal.
7. Investigar experimentalmente circuitos trifásicos en régimen periódico no sinusoidal.

Sistema de conocimientos.

Concepto de estímulo periódico no sinusoidal. Espectros de las ondas periódicas no sinusoidales. Valor eficaz. Potencia en régimen periódico no sinusoidal. Análisis de circuitos monofásicos y trifásicos en régimen periódico no sinusoidal.

Distribución de actividades.

Conferencia 1	Conceptos básicos de las ondas no sinusoidales. Espectro de las ondas periódicas no sinusoidales.
Conferencia 2	Análisis de circuitos monofásicos en régimen periódico no sinusoidal. Valor eficaz y potencia en régimen periódico no sinusoidales.
Conferencia 3	Análisis de circuitos trifásicos en régimen periódico no sinusoidal.
Clase práctica 1	Cálculo de potencia y valor eficaz en régimen periódico no sinusoidal. Cálculo de circuitos monofásicos en régimen no sinusoidal.
Clase práctica 2	Cálculo de circuitos trifásicos en régimen no sinusoidal.
Prueba Parcial #1	Cálculo de circuitos monofásicos y trifásicos en régimen sinusoidal



Laboratorio 1	Investigación experimental de circuitos monofásicos en régimen periódico no sinusoidal
Laboratorio 2	Investigación experimental de circuitos trifásicos en régimen periódico no sinusoidal.

1.3.3 Tema 2. Análisis de circuitos eléctricos no lineales.

Objetivos instructivos.

1. Familiarizarse con las principales propiedades de los circuitos no lineales.
2. Familiarizarse con la metodología para la determinación de las características de entrada y de transferencia.
3. Conocer el método de linealización por partes de las características de un elemento no lineal y la forma de determinación del punto de operación.
4. Conocer el método analítico de solución de circuitos no lineales.
5. Calcular circuitos con elementos no lineales utilizando la linealización por parte.
6. Calcular circuitos con elementos no lineales utilizando el punto de operación.
7. Identificar las principales propiedades de los circuitos inductivos y capacitivos no lineales.
8. Conocer la metodología para el cálculo de procesos transitorios en circuitos no lineales sencillos de primer orden.
9. Conocer las ecuaciones que rigen el comportamiento de circuitos no lineales dinámicos y como se realiza su formulación.
10. Familiarizar con la forma de valoración de la estabilidad del punto de operación.
11. Calcular circuitos no lineales resistivos utilizando la linealización por parte.
12. Calcular circuitos no lineales dinámicos sencillos de primer orden.
13. Conocer la metodología de solución de circuitos no lineales mediante la linealización armónica.
14. Calcular circuitos no lineales mediante la linealización armónica.
15. Investigar experimentalmente las características del diodo como elemento no lineal.
16. Investigar experimentalmente las características de un resistor no lineal.
17. Investigar experimentalmente las características de un inductor no lineal.
18. Investigar experimentalmente el proceso transitorio en un circuito dinámico no lineal sencillo.



Sistema de conocimientos.

Definiciones básicas sobre los elementos no lineales. Propiedades generales de los circuitos no lineales. Análisis de los circuitos resistivos no lineales sencillos: métodos estructurales y de linealización por partes. Procesos transitorios en circuitos sencillos de primer orden con un elemento no lineal.

Distribución de actividades.

Conferencia 4	Definiciones básicas sobre los elementos no lineales. Propiedades generales. Características de entrada y de transferencia.
Conferencia 5	Método estructural de linealización por partes. Punto de operación.
Conferencia 6	Linealización armónica. Análisis de circuitos resistivos no lineales sencillos.
Conferencia 7	Procesos transitorios en circuitos sencillos de primer orden con un elemento no lineal. Formulación de ecuaciones. Punto de operación. Nociones básicas sobre la estabilidad del punto de operación.
Clase práctica 3	Análisis de circuitos no lineales. Características de entrada y de transferencia.
Clase práctica 4	Cálculo de circuitos resistivos no lineales utilizando la linealización por partes.
Clase práctica 5	Solución de circuitos no lineales a través del punto de operación.
Clase práctica 6	Análisis de circuitos dinámicos no lineales utilizando la linealización armónica.
Clase práctica 7	Cálculo de procesos transitorios en circuitos sencillos de primer orden con un elemento no lineal.
Laboratorio 3	Investigación experimental del resistor no lineal.
Laboratorio 4	Investigación experimental de las características del diodo como elemento no lineal.
Laboratorio 5	Investigación experimental del inductor no lineal.
Laboratorio 6	Investigación experimental de un circuito dinámico no lineal sencillo.



1.3.4 Tema 3. Temas especiales de circuitos trifásicos.

Objetivos instructivos.

1. Familiarizarse con el método de las componentes simétricas y su aplicación al cálculo de circuitos trifásicos con alimentación no balanceada.
2. Aplicar el método de las componentes simétricas al cálculo de circuitos trifásicos con alimentación no balanceada.
3. Conocer las diferentes propiedades de los armónicos superiores en los circuitos trifásicos.
4. Investigar experimentalmente el comportamiento de los circuitos trifásicos en presencia de armónicos.

Sistema de conocimientos.

Propiedades de los armónicos en los circuitos trifásicos. Análisis de circuitos trifásicos en presencia de armónicos. Análisis de circuitos trifásicos por el método de componentes simétricas.

Distribución de actividades.

Conferencia 8	Método de las componentes simétrica. Análisis de circuitos trifásicos desbalanceados mediante las componentes simétricas
Conferencia 9	Propiedades de los armónicos en circuitos trifásicos. Análisis de circuitos trifásicos en presencia de armónicos.
Clase práctica 8	Cálculo de circuitos trifásicos desbalanceados a través de las componentes simétricas.
Laboratorio 7	Investigación experimental del comportamiento de los circuitos trifásicos en presencia de armónicos.

1.3.5 Tema 4. Análisis de circuitos lineales usando transformada de Laplace.

Objetivos instructivos.

1. Familiarizarse con los elementos esenciales del método operacional en circuitos eléctricos.
2. Identificar las leyes de Ohm y de Kirchhoff en forma operacional, así como los métodos de solución de circuitos lineales.



3. Resolver procesos transitorios en circuitos estimulados con fuentes constantes y de distintas formas de onda (sinusoidal, rampa y exponencial)
4. Conocer la metodología para la determinación de la función de la red y el trazado del diagrama de polos y ceros.
5. Conocer la relación existente entre la función de la red y otras características de los circuitos.
6. Conocer la metodología para la determinación de la característica de frecuencia de los circuitos y su relación con el diagrama de polos y ceros.
7. Calcular funciones de redes aplicando el método operacional.
8. Trazar características de frecuencia de los circuitos a partir de las funciones de redes y del diagrama de polos y ceros.
9. Interpretar físicamente los resultados obtenidos en el trazado de características de frecuencia.
10. Familiarizarse con la metodología de la construcción del diagrama de Bode y con el análisis de la estabilidad de los circuitos.
11. Construir diagramas de Bode y valorar la estabilidad de circuitos.
12. Aplicar MATLAB en el análisis de circuitos de cierta complejidad, incluyéndose la interpretación de los resultados
13. Determinar experimentalmente las características de frecuencia de un circuito.

Sistema de conocimientos y habilidades.

Leyes de Ohm y Kirchhoff en forma operacional, circuito operacional equivalente. Conceptos básicos sobre funciones de redes y sus diagramas de polos y ceros. Teoremas y métodos de análisis de los circuitos lineales operacionalmente. Introducción al estudio de la estabilidad de los circuitos. Características de frecuencia de los circuitos y su relación con el diagrama de polos y ceros de la función de la red.

Distribución de actividades.

Conferencia 10	Leyes de Ohm y Kirchhoff en forma operacional. Circuito equivalente operacional. Teoremas y métodos de análisis de los circuitos lineales operacionales. Análisis de circuitos en régimen transitorio.
-----------------------	--



Conferencia 11	Conceptos básicos sobre funciones de redes y sus diagramas de polos y ceros.
Conferencia 12	Características de frecuencia de los circuitos y su relación con los diagramas de polos y ceros. Diagrama de Bode. Introducción al estudio de la estabilidad de los circuitos.
Clase práctica 9	Solución de circuitos en régimen transitorio estimulados con fuentes constantes.
Clase práctica 10	Solución de circuitos en régimen transitorio estimulados con fuentes de distintas formas de onda.
Prueba Parcial #2	Cálculo de procesos transitorios aplicando la transformada de Laplace.
Clase práctica 11	Cálculo de funciones de redes y características de frecuencia de los circuitos, incluyendo el diagrama de polos y ceros. Aplicación de MATLAB.
Clase práctica 12	Construcción del diagrama de Bode. Análisis de la estabilidad de los circuitos. Aplicación de MATLAB.
Laboratorio 8	Determinación experimental de las características de frecuencia de un circuito.

Distribución de las actividades de la asignatura. (P-0).

No. Actividad	Tipo de actividad	Objetivos específicos	Tema
1	C ₁	1	1
2	C ₂	2	
3	CP ₁	4	
4	C ₃	3	
5	CP ₂	5	
6	L ₁	6	
7	L ₂	7	
8	C ₄	1, 2	2
9	C ₅	3	
10	CP ₃	5	
11	CP ₄	5	
12	CP ₅	6	
13	C ₆	4, 13	
20	L ₆	18	3
21	C ₈	1	
22	CP ₈	2	
23	C ₉	3	
24	L ₇	4	
25	C ₁₀	1, 2	4



26	CP ₉	3	
27	CP ₁₀	3	
28	C ₁₁	4	
29	CP ₁₁	7	
30	C ₁₂	5, 6, 10	
31	CP ₁₂	8, 9, 11, 12	
32	L ₈	13	

Sistema de valores.

Mediante las actividades instructivas, se trabajará de forma tal que se logre desarrollar y consolidar en los estudiantes el conjunto de valores éticos y morales que deben caracterizar a un joven universitario en nuestra sociedad. Dichos valores incluirán los valores compartidos del ISMMANJ y serán desarrollados a partir de dos valores fundamentales:

- Sentido de la responsabilidad.
- Sentido de pertenencia a la carrera.

Sistema de evaluación de la asignatura.

Tema	Forma de evaluación	Contenido esencial a evaluar
I	Prueba Parcial #1	Análisis de circuitos en régimen no sinusoidal.
IV	Prueba parcial #2	Aplicación de transformada de Laplace al análisis de circuitos eléctricos.
II	Trabajo extraclase 1	Análisis de circuitos no lineales.
III	Trabajo extraclase 2	Cálculo de circuitos trifásicos desbalanceados por el método de las componentes simétricas.
	Laboratorios	Contenido de los laboratorios.
	Examen final escrito	Todo el contenido de la asignatura.



Derivación de las estrategias curriculares a la asignatura.

Objetivo del plan director de economía en la asignatura.

Interpretar las terminologías eléctricas (corriente, voltaje, potencia, balance de potencias, consumo, pérdidas, etc.) y su vinculación con aspectos económicos y de eficiencia de un determinado circuito eléctrico.

Objetivo del plan director de idioma inglés en la asignatura.

- Reconocer terminologías eléctricas fundamentales presentes en los circuitos eléctricos.
- Utilizar bibliografía especializada (Texto: Engineering Circuits Analysis).
- Escribir pequeños resúmenes en la tarea extraclase e informes de prácticas de laboratorios.

Objetivo del plan director de computación en la asignatura.

- Utilizar softwares profesionales para la solución de sistemas de ecuaciones lineales en el trabajo de control extraclase.
- Aplicar softwares profesionales (priorizando MATLAB) en la simulación de circuitos eléctricos en el trabajo extraclase y las prácticas de laboratorio.

Indicaciones metodológicas y de organización de la asignatura.

Análisis de la asignatura dentro del sistema y carrera.

Esta asignatura proporciona métodos de cálculos y contenidos necesarios para otras asignaturas básico-específicas y de la especialidad: su contenido permite la introducción de importantes teorías básicas para las disciplinas de Electrónica, Máquinas Eléctricas, Automatización, Mediciones Eléctricas y Sistemas Eléctricos. Se integra horizontalmente con Máquinas Eléctricas I, Mediciones Eléctricas I y II, Electrónica I y II, Electrónica Digital e Ingeniería Eléctrica. Se integra en el plano vertical con las asignaturas Física II (Electricidad y magnetismo), Matemática I y IV (Integrales y derivadas, ecuaciones diferenciales, matrices, transformada de Laplace y variables complejas).



Álgebra, Métodos Numéricos (Interpolación y ajuste de curvas), Inglés (Con el contenido que le permita utilizar bibliografía especializada en idioma inglés), Simulación (Paquetes de software Workbench y Matlab), Circuitos Eléctricos I y II (Con todo su contenido), e Ingeniería Eléctrica I II (Habilidades en el manejo de instrumentación eléctrica).

Es beneficioso que se incluyan en la mayor cantidad posible de ejercicios y problemas de aplicación directa en la carrera, con lo cual se le va enseñando al estudiante cómo se aplican en las disciplinas subsiguientes los conocimientos y habilidades circuitales y, por otro lado, se propicia la motivación interna por la profesión.

Para garantizar la consolidación de habilidades se realizarán dos trabajos extractases. El primero estará dirigido al cálculo de circuitos de circuitos no lineales e incluye 2 ejercicios: uno para el cálculo de un circuito en estado estable y el segundo en régimen transitorio. El segundo TCE abarca la aplicación del método de las componentes simétricas al cálculo de circuitos trifásicos con alimentación no balanceada. Con vistas a lograr la mayor independencia de los estudiantes se impondrá un variante (circuito) para cada uno.

Forma parte de las evaluaciones dos pruebas parciales. La primera comprobará las habilidades adquiridas en el cálculo de circuitos monofásicos y trifásicos en régimen periódico no sinusoidal. El segundo abordará el empleo de la transformada de Laplace al cálculo de circuitos. Como parte de las evaluaciones frecuentes deben incluirse preguntas escritas, fundamentalmente en las clases prácticas, sobre los distintos tópicos que progresivamente se imparten.

Resulta provechoso estimular a los mejores estudiantes mediante la realización de exámenes de premio, cuya sistematización debe llevarse a cabo. Las prácticas de laboratorio de la asignatura estarán dirigidas a comprobar los elementos teóricos abordados en las conferencias y clases prácticas.



Se aprovecharán al máximo las potencialidades del equipamiento existente, para lo cual se podrán programar actividades optativas fuera del tiempo establecido por este programa. Son obligatorias las 8 prácticas previstas en el programa. En todas las prácticas de laboratorio los estudiantes simularán los circuitos objeto de estudio.

1.3.6 Bibliografía de la asignatura.

Fundamental.

1. "Análisis de Circuitos en Ingeniería" Hayt and Kemmerly. McGraw- Hill/ Interamericana de México. Edición 1993. Traducido de la quinta edición de "Engineering Circuits Analysis" Hayt and Kemmerly.

Complementaria.

1. Engineering Circuit Analysis. Hayt and Kemmerly. Ediciones del MES, C. Habana, 1980. 2 tomos, 653 pág.
2. Fundamentos de la Teoría de Circuitos III. Emiliano Alba y otros. Américo Montó y otros. Ediciones del MES, 1985, 588 págs.
3. "Electric Circuits". Mahmood Nahvi. Mc. Graw- Hill. Schaum's Outline Series. Edic. 2003.
4. Guía de prácticas de laboratorios.



Capítulo II. Guía de laboratorios de Circuitos Eléctricos I.

2.a) Indicaciones metodológicas y de organización.

Las formas fundamentales de docencia en las asignaturas son conferencias, clases prácticas, seminarios y laboratorios.

En las conferencias se explican los fundamentos teóricos de electricidad, así como sus leyes, tanto la aplicación a fenómenos físicos reales apoyándose en conocimientos alcanzados por los estudiantes en disciplinas tales como Matemática, Física, Ingeniería Eléctrica, Filosofía, Computación y Mediciones Eléctricas.

En las clases prácticas los estudiantes adquieren habilidades en la modelación y cálculo de circuitos eléctricos de diferentes grados de complejidad y ante la presencia de diferentes estímulos.

Las prácticas de laboratorios son las que permiten complementar el objetivo instructivo fundamental de la asignatura. En las mismas se debe tratar de asegurar el trabajo individual de los alumnos y la posibilidad de ejercitar las habilidades para el montaje y manejos de los instrumentos, así como el análisis de los resultados de cada práctica de laboratorio. Estas prácticas se imparten de manera frontal y cíclica. Además pueden variar de un curso a otro en dependencia de la posibilidad de tiempo y medios.

En los seminarios, como tipo de clases que tiene los objetivos instructivos fundamentales de que los estudiantes consoliden, amplíen profundicen, discutan, generalicen los contenidos orientados y aborden las resoluciones de problemas mediante la utilización de los métodos propios de la rama del saber y de la investigación científica, desarrollan la expresión oral, el ordenamiento lógico de los contenidos y las habilidades en la utilización de las diferentes fuentes de conocimiento.



2.b) Introducción al desarrollo de las guías de laboratorios.

Las prácticas de laboratorio tienen por esencia la adquisición de habilidades prácticas a través de un trabajo independiente, aplicativo y creador de los estudiantes, lo cual se logra mediante la utilización activa de los métodos y leyes que rigen el análisis de cada una de las prácticas dándole a éstas un enfoque investigativo.

La manera frontal y cíclica de impartir las prácticas de laboratorio requiere de una planificación, organización, control y una correcta base orientadora para la preparación previa y la ejecución de la tarea.

La orientación del docente para este tipo de enseñanza comienza desde el primer encuentro de práctica, a través del cual el estudiante se familiariza con el laboratorio, los objetivos que con él se persiguen y las habilidades que debe adquirir. En este encuentro el docente indicará los diferentes puestos de trabajo, los cuales deben estar identificados con la enumeración de las prácticas en correspondencia con lo indicado en las guías de estudio, y realizará un recorrido a través del laboratorio familiarizando a los estudiantes con los objetivos de cada práctica e indicando los instrumentos a utilizar, lo que contribuirá a la motivación para la búsqueda de información.

Un factor importante son las condiciones laboratorio, donde deben quedar bien definidos los puestos, la iluminación y limpieza del local como elementos que influyen en el buen desarrollo de las tareas, resultando primordial garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad establecidas para trabajos realizados bajo la acción de la corriente eléctrica.

Planificación, organización y control de las prácticas.

Planificación

El profesor de manera anticipada debe indicar el número de prácticas a realizar, así como la tarea que debe realizar el estudiante en las computadoras, asociadas a cada una de las mismas, tomando en cuenta las condiciones existentes y realizar la distribución de los estudiantes en subgrupos, no excediendo a un número mayor de tres estudiantes por puesto siempre que las condiciones lo permitan.



Debe realizar un gráfico de distribución de prácticas por semanas a partir del horario de clases donde se indicará la fecha de realización para cada subgrupo.

Organización

Para una correcta organización deben existir ciertas condiciones como son las siguientes:

- Existencias de al menos un puesto de trabajo para cada práctica.
- Medios técnicos requeridos para la realización de la práctica.
- Computadoras habilitadas con los softwares necesarios para el complemento de las actividades en el caso que se necesiten.
- Literatura con el contenido adecuado para una correcta autopreparación. A través de la autopreparación se logra el trabajo independiente de los estudiantes, por tanto las guías de laboratorio deben incluir:
 - Tema.
 - Introducción teórica.
 - Estudio previo.
 - Bibliografía.
 - Preguntas de control.
 - Programa de trabajo.
 - Orden de realización del trabajo.
 - Instrumentos a utilizar.
 - Contenido del informe.

Control

El control del aprendizaje puede ser variado. Las formas frontal y cíclica de realización de las prácticas implican un control sistemático obligatorio de los conocimientos y habilidades, esto se puede realizar de la siguiente forma:

- A través de la resolución de la tarea indicada como autopreparación en las guías de laboratorios en las computadoras.
- A través de preguntas de entrada oral o escritas que permitan valorar el conocimiento adquirido de los objetivos de la práctica, así como de las



expresiones para la determinación de las magnitudes básicas, derivadas y de los medios técnicos a emplear para la realización de las prácticas.

- Mediante la realización de cada práctica, el profesor mediante la observación del trabajo que realizan los estudiantes, podrá verificar la asimilación de los contenidos, permitiéndose la corrección en los casos necesarios.
- Al concluir cada práctica, o en el transcurso de la misma, el estudiante demostrará sus habilidades en el montaje del esquemas.
- Se le permitirá al estudiante realizar la siguiente práctica solo después de haber efectuado el informe de la práctica anterior, su calificación estará en dependencia de la objetividad del análisis por medio de las conclusiones, y la demostración de las habilidades adquiridas.

2.1 Laboratorio No.1

Tema

Medición de las principales magnitudes eléctricas.

Objetivos

- Adquirir habilidades en el montaje de los circuitos eléctricos, y en la medición de sus principales magnitudes, tanto de forma práctica como simulada, apoyándose en los softwares existentes.

Introducción teórica.

El conjunto de elementos o dispositivos a través de los cuales puede circular una corriente eléctrica se llama circuito eléctrico. Los circuitos eléctricos están destinados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Las fuentes de energía eléctrica, los receptores y los conductores que unen a ambos son los elementos principales de los circuitos eléctricos. Las fuentes de energía eléctrica son los elementos del circuito donde ocurre la transformación de otro tipo de energía en eléctrica, por el contrario en los receptores se transforma la energía eléctrica en otro tipo de energía disipativa.



Los conductores sirven para la transmisión de la energía eléctrica de la fuente al receptor.

Las características principales de una fuente de energía eléctrica son su fuerza electromotriz (f.e.m.) y su impedancia interna. La característica de los conductores y los receptores es su impedancia.

La fuente de corriente directa se marca con los signo + y -, el terminal de mayor potencial corresponde al signo +. La dirección de la corriente directa en el circuito exterior a la fuente es de mayor a menor potencial.

Para proteger y controlar los circuitos eléctricos se conectan elementos auxiliares: interruptores, instrumentos de medición, lámparas de señalización y fusibles. Los interruptores, fusibles e instrumentos para la medición de la corriente se conectan en serie y forman parte de los circuitos principales. Las lámparas de señalización y los instrumentos para la medición de la tensión se conectan en paralelo y forman circuitos auxiliares.

La representación gráfica de un circuito eléctrico se denomina esquema eléctrico.

Todos los elementos de los circuitos eléctricos tienen sus representaciones (símbolos convencionales) Los principales símbolos eléctricos están representados en la tabla 1.

Instrumentos de medición.

Los instrumentos eléctricos de medición sirven para la valoración cuantitativa de los fenómenos electromagnéticos que se investigan. La determinación del valor numérico de una magnitud física por vía experimental empleando medios técnicos especiales, cifrados en valores de magnitudes físicas tomadas como unidades se llama medición.

Las mediciones se clasifican de acuerdo a la forma de obtención de los resultados en directas e indirectas. Las mediciones directas son aquellas en que el valor de la magnitud investigada se obtiene a través de la lectura directa del instrumento. Las mediciones indirectas son aquellas en que el valor de la magnitud investigada se obtiene por el cálculo o a partir de un juego de lectura y leyes conocidas.



Los instrumentos eléctricos de medición se clasifican por una serie de indicadores:

- Por el tipo de magnitud medida:
 - Tensión, corriente, potencia, etc.
- Por el tipo de corriente:
 - Corriente directa, corriente alterna y directa- alterna.
- Por el principio de funcionamiento:
 - Magnetoeléctrico..... ME
 - Electromagnético..... EM
 - Electrodinámico..... ED
 - Ferrodinámico..... FD
 - Inductivo..... I
- Por el grado de precisión o clase:
 - 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; 4.0

Los instrumentos analógicos de límites múltiples tienen selectores de límites de indicación o terminales complementarios cerca de los cuales se indica los límites de medición. Las escalas de los instrumentos se gradúan en divisiones. Para determinar el valor de la magnitud medida es necesario dividir el valor establecido por el selector de límites por el número de divisiones de la escala y multiplicarlo por el número de divisiones que está marcando la aguja del instrumento. El valor máximo de la potencia de los watímetros se determina multiplicando el límite de medición de tensión por el límite de medición de corriente.

La clase representa el máximo error admisible en tanto por ciento respecto a la desviación a plena escala y se indica en la escala del instrumento. En la escala del instrumento se indican sus magnitudes nominales (corriente, resistencia, tensión, frecuencia) también se muestra la posición de trabajo del instrumento.

La mayoría son aparatos portátiles de mano y se utilizan para el montaje; hay otros instrumentos como los digitales que son cada vez más utilizados en el ámbito industrial, profesional y privado. Se demandan, sobre todo, instrumentos de medida



prácticos, que operen de un modo rápido y preciso y que ofrezcan resultados durante la medición, además de otras ventajas.

Principales símbolos eléctricos.

Tabla 1

No.	Nombre del elemento	Símbolo
	Conductor del circuito principal	
	Conductor del circuito auxiliar	
	Dirección de transmisión de la corriente	
	Flexión de conductor	
	Intersección de conductores	
	Conexión de conductores	
	Terminal de conexión	
	Puesta a tierra	
	Resistor lineal no regulable	
	Condensador	
	Bobina de reactancia sin núcleo	
	Resistor, condensador e inductancia regulable	
	Resistor no lineal	
	Bobina de reactancia con núcleo ferromagnético	
	Inductancia	
	Capacitancia	
	Interruptor unipolar	
	Interruptor automático	



No.	Nombre del elemento	Símbolo
	Interruptor tripolar	
	Instrumento de medición	
	Amperímetro	
	Voltímetro	
	Watímetro	
	Ohmímetro	
	Frecuencímetro	
	Fasímetro	
	Contactos de inversores	
	Diodo	
	Bobina de reactancia sin núcleo	
	Lámpara de incandescencia (bombilla)	
	Bombilla de señales	

Medición de las principales magnitudes eléctrica.

Medición de la corriente.

El esquema más simple de medición de la corriente es el esquema de conexión directa del amperímetro en serie con el receptor de energía eléctrica (Fig.1.1) Para la medición de corriente en un circuito ramificado es necesario tener un amperímetro para cada rama. Para elegir el límite de medición del amperímetro, si no se conoce el rango aproximado de variación de la corriente, debe tomarse el máximo valor



posible del instrumento, y luego ir disminuyendo éste hasta lograr una medición visualmente más cómoda.

Medición de la tensión.

Para medir la tensión en cualquier elemento, el voltímetro se conecta directamente entre los bornes donde se quiere medir la tensión. Para realizar la medición de la tensión en circuitos ramificados es necesario conectar tantos voltímetros como tensiones se quieran medir, o si se dispone solo de un voltímetro se deben medir las tensiones consecutivamente de la manera explicada anteriormente. Para elegir el límite de medición del voltímetro es necesario saber el valor de la tensión de la fuente de alimentación y los límites de variación de la resistencia.

Medición de la potencia.

La potencia en circuitos eléctricos puede ser medida indirectamente. La potencia puede ser calculada mediante las indicaciones del voltímetro y el amperímetro. En el caso de corriente alterna, se requiere además de un cofímetro. La potencia eléctrica puede medirse también directamente a través del watímetro, el cual posee dos bobinas, una de tensión que se conecta de igual forma que el voltímetro y una de corriente que se conecta en serie con el circuito. El watímetro de límites múltiples tiene varios terminales de corriente, varios de tensión y para elegir los límites de medición del mismo es necesario conocer los límites de variación de la corriente y de tensión en el circuito.

✓ Notas aclaratorias.

La realización de este laboratorio contará de dos partes fundamentales, una como autopreparación para la práctica, el estudiante deberá simular los circuitos propuestos en la guía del laboratorio, y la otra parte que correspondería con la realización de la actividad de forma práctica, y las mismas estarán en función de las indicaciones que se brindarán a continuación.



Estudio previo.

- Libro de texto Fundamento de la Teoría de Circuitos Eléctricos I y Mediciones Eléctrica I.
- Software simulador.

Preguntas de control.

- 1- ¿A que se le denomina circuito eléctrico?
- 2- ¿Cómo se determina el valor de la magnitud medida?
- 3- ¿Cómo se conecta el voltímetro?
- 4- ¿Cómo se conecta el amperímetro?
- 5- Explique la forma de conexión del watímetro en un circuito.
- 6- ¿Que indica la cifra del grado de precisión del instrumento?
Determinar el valor de la potencia que está midiendo un watímetro si su aguja está marcando 70 divisiones y el mismo tiene una escala de 100 divisiones con límite de medición de tensión de 150V, y límite de medición de corriente 5A.
a) $P=700W$ b) $P=7,5W$ c) $P=525W$.
- 7- Determinar el valor de U que está midiendo un voltímetro, si su aguja marca 40 divisiones, y el mismo tiene una escala de 150 divisiones, con límite de medición de 300 V.
- 8- Si al resistor R2 de la Fig.1.1 en el circuito simulado, se le conecta al mismo tiempo en paralelo un voltímetro y un amperímetro:
 - ¿Que sucede con la tensión? Y ¿Por qué?
- 9- Si a la fuente se le conecta un amperímetro en paralelo:
 - ¿Que sucede con la corriente? Y ¿Por qué?
- 10-Si a la R1 se le conecta un voltímetro en serie:
 - ¿Que sucede con la tensión? y ¿Por qué?

Programa de trabajo.

- 1- Estudio de las principales propiedades de los instrumentos eléctricos de medición.
- 2- Estudio de las reglas de montaje de los circuitos eléctricos, tanto en forma práctica en el laboratorio como en la simulación.

3- Medición de tensión, corriente y potencia en circuitos simples de corriente directa, tanto de forma práctica en el laboratorio como simulado.

Protocolo a presenta.

- Dibujar los esquemas eléctricos mostrados en las figuras 1.1 y 1.2, así como la conexión de los instrumentos de medición de tensión, corriente y potencia.
- Indicar en el esquema los límites de medición de los instrumentos viejos si los valores de la fuente de alimentación, y las resistencias se dan en la tabla 1.1

Fig. 11

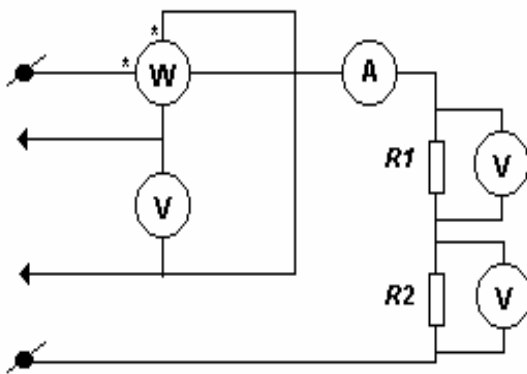


Fig. 1.2

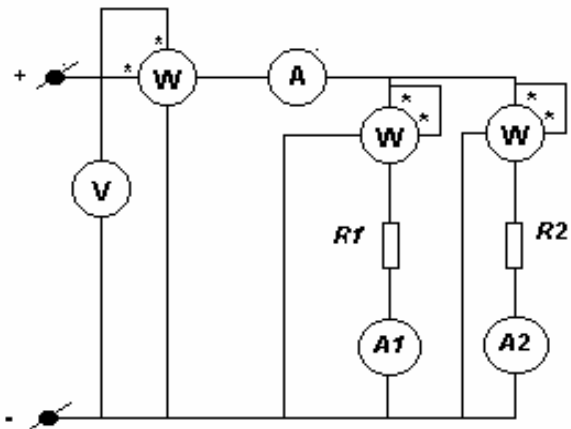


Tabla 1.1

R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	U_T (V)
160	135	60

- Confeccionar las tablas 1.2 y 1.3 con los resultados de las mediciones, la 1.2 para la conexión serie, y la 1.3 para paralelo según los instrumentos viejos.



Tabla 1.2

U_T (V)			U_1 (V)			U_2 (V)			I_T (A)			P_1 (W)			P_2 (W)			P_T (W)			
div.	cu	V	div.	cu	V	div.	cu	V	div.	ca	A	div.	cp	W	div.	cp	W	div.	cp	W	

Tabla 1.3

U_T (V)			I_T (A)			I_1 (A)			I_2 (A)			P_1 (W)			P_2 (W)			P_T (W)			
div.	cu	V	div.	cu	V	div.	cu	V	div.	ca	A	div.	cp	W	div.	cp	W	div.	cp	W	

- Confeccionar las tablas 1.4 y 1.5 con los resultados de las mediciones en la simulación del circuito serie y paralelo respectivamente.

Tabla 1.4

U_T (V)	U_1 (V)	U_2 (V)	I_T (A)	P_1 (W)	P_2 (W)	P_T (W)

Tabla 1.5

U_T (V)	I_T (A)	I_1 (A)	I_2 (A)	P_1 (W)	P_2 (W)	P_T (W)



Orden de realización del trabajo.

Previamente a la realización de esta práctica, y como autopreparación para la misma, cada integrante del equipo deberá simular con ayuda de un software simulador en las computadoras, los circuitos propuestos para el laboratorio.

- 1- Montar los circuitos de los esquemas 1.1 y 1.2, prestándole especial interés al orden del montaje de cada elemento, junto con toda la instrumentación.
- 2- Al montar los circuitos realizar las mediciones de tensión, corriente y potencia en las diferentes ramas de los mismos.
- 3- Tomar los datos que se obtengan de las mediciones.
- 4- Presentar al profesor el informe previo de la práctica, y recibir la autorización para la realización de laboratorio.
- 5- Medición de las principales magnitudes eléctricas en un circuito con conexión serie de los resistores.
- 6- Montar el circuito del esquema 1.1 con todos los instrumentos de medición, primero con los analógicos y luego con los digitales.
- 7- Llamar al profesor para la revisión del circuito y la autorización para su conexión.
- 8- Al conectar el circuito, realizar las mediciones de la corriente, tensión y potencia en las diferentes ramas del circuito.
- 9- Mostrar los resultados de la medición al profesor, y solicitar permiso para desmontar el circuito.
- 10-Medición de las principales magnitudes eléctricas en un circuito con conexión en paralelo de resistores.
- 11-Montar el circuito 1.2 con todos los instrumentos de medición, primero con los analógicos y luego con los digitales.
- 12-Después de recibir la autorización, conectar el circuito, realizar las mediciones de las tensiones, corrientes y potencia en las diferentes ramas del circuito.
- 13-Mostrar los resultados de las mediciones al profesor, y solicitar la autorización para desmontar el circuito.
- 14-Comparar los resultados de las mediciones de los instrumentos analógicos con los digitales.



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Trackable Regulated DC Power Supply. (operación paralelo)
- 4 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 2 Decimal Resistance Box.
- 3 Wattimeter/Cofimeter JWΦ-33 (C.D/C.A).
- 1 Voltímetro.
- 3 Amperímetros.
- 3 Wattímetros.

Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Tablas con los resultados.
- Cálculos.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la práctica y la simulación.

Circuito conexión serie.

Resultados de la práctica						
U_T (V)	U_1(V)	U_2 (V)	I_T (A)	P_T (W)	P_1 (W)	P_2 (W)
60	32.53	27.40	0.21	12.6	6.83	5.75
Resultados de la simulación						
60	32.54	27.46	0.20	12	6.51	5.49

Circuito conexión paralelo.

Resultados de la práctica						
U_T (V)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_T (A)	P_1 (W)	P_2 (W)	P_T (W)
60	0.37	0.43	0.81	22.20	25.80	48.60
Resultados de la simulación						
60	0.37	0.45	0.82	22.2	27.0	49.20



2.2 Laboratorio No.2

Tema

Investigación de circuitos estimulados con fuentes de corriente directa, en conexiones serie, paralela y mixta.

Objetivos

- Investigar de forma práctica en el laboratorio, y de forma virtual en la computadora, los circuitos de corriente continua, con conexión de resistencias en serie, paralelos y mixtos.

Introducción teórica.

Conexión de resistencias en serie.

En caso de elementos conectados en serie, aplicando la primera ley de Kirchhoff y la ley de Ohm a cada resistencia por separado obtenemos:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (1)$$

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n$$

$$U = I (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

$$U = I R_e$$

Donde

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

R_e – resistencia equivalente del circuito

Para la conexión serie, el régimen de trabajo de los receptores es dependiente, es decir, la variación de la resistencia de cualquiera de los receptores provoca la variación del régimen de trabajo (tensión, corriente, y potencia de todos los receptores)



Multiplicando la expresión (1) por la magnitud de la corriente del circuito, obtenemos:

$$UI = U_1I + U_2I + U_3I + \dots + U_nI = P \quad (2)$$

$$UI = I^2R_1 + I^2R_2 + I^2R_3 + \dots + I^2R_n = P$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

La potencia total consumida por el circuito es igual a la suma de las potencias consumida en cada uno de los resistores conectados en serie. Para un circuito de dos resistores en serie según la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Por consiguiente la tensión en cada uno de los resistores es:

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

y las potencias consumidas en cada uno es:

$$P_1 = U_1I = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{U}{R_1 + R_2} = U^2 \frac{R_1}{(R_1 + R_2)^2} \quad (6)$$

$$P_2 = U_2I = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{U}{R_1 + R_2} = U^2 \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2} \quad (7)$$



Cuando se varía R_1 , las tensiones, corrientes y potencias también varían de acuerdo con las expresiones (4, 5, 6 y 7)

Si deseamos obtener para qué valor de R_2 se obtiene el mayor valor de la potencia en ella, se halla la derivada de la potencia respecto a R_2 :

$$\frac{dP_2}{dR_2} = \frac{U^2(R_1 + R_2)^2 - 2(R_1 + R_2)R_2U^2}{(R_1 + R_2)^4} = 0$$

al simplificar se obtiene que la condición de máxima potencia en R_2 se alcanza para $R_2=R_1$.

Conexión de resistores en paralelo.

En la conexión de resistores en paralelo aplicando la ley de Ohm para todos los resistores, y la primera ley de Kirchhoff, se puede obtener el valor de la resistencia equivalente, corrientes, tensiones y potencias en cada rama del circuito.

Como todos los elementos están sometidos a la misma tensión:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = UG_1$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = UG_2$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = UG_3$$

$$I_n = \frac{U}{R_n} = UG_n$$

Donde



$$G = \frac{1}{R}$$

es la conductancia expresada en Siemens

La corriente total del circuito aplicando la primera ley de Kirchhoff es:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n} = \frac{U}{R_e}$$

$$I = UG_1 + UG_2 + UG_3 + \dots + UG_n = UG_e$$

Donde:

$$G_e = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

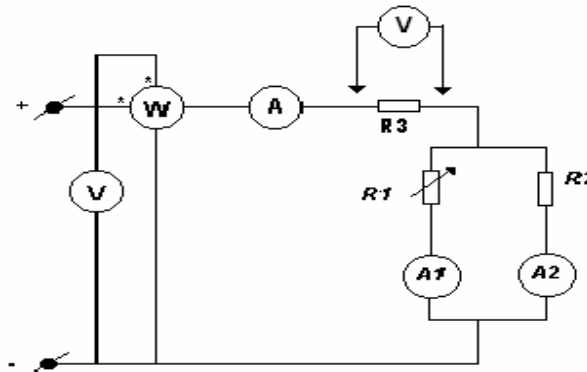
$$G_e = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_e}$$

Al estar todos los receptores sometidos a la misma tensión, la corriente que circula por cada uno de ellos, no depende de las resistencias de las demás ramas del circuito. El régimen de trabajo de los receptores conectados en paralelo es independiente.

Estudio previo.

- Leyes de Kirchhoff.
- Expresiones para la resistencia equivalente en circuitos serie, paralelo y mixto.
- Libro de texto Fundamento de la Teoría de Circuitos Eléctricos I.
- Software simulador.

Fig. 2.3



Programa de trabajo.

- 1 - Conexión en serie de los resistores.
 - Determinación de las tensiones, corrientes y potencias en cada elemento del circuito para distintos valores de R_1 , tanto de forma simulada en la computadora, como de forma práctica en el laboratorio.
 - Construcción de los gráficos de dependencia de I_T , U_1 , U_2 , P_T , P_1 , P_2 en función de la resistencia R_1 con los resultados obtenidos en la simulación.
- 2 - Conexión en paralelo de los resistores.
 - Determinación de las tensiones, corrientes y potencias en cada rama del circuito, para distintos valores de R_1 , tanto de forma simulada en la computadora, como de forma práctica en el laboratorio.
 - Construcción de los gráficos de dependencia de U_T , I_T , I_1 , I_2 , P_T , P_1 , P_2 en función de la resistencia R_1 , con los resultados obtenidos en la simulación.
- 3 - Conexión mixta de los resistores.
 - Determinación de las tensiones, corrientes y potencias en cada rama del circuito, para distintos valores de R_1 , tanto de forma simulada en la computadora, como de forma práctica en el laboratorio.
 - Construcción de los gráficos de dependencia de U_T , U_1 , U_2 , U_3 , I_T , I_1 , I_2 , P_T , P_1 , P_2 y P_3 en función de la resistencia R_1 , con los resultados obtenidos en la simulación.
- 4 - Comparación de los resultados obtenidos en la simulación y en la práctica.



Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Investigación del circuito con conexión en serie de resistores.
- Dibujar el esquema eléctrico mostrado en la Fig. 2.1, con la conexión de los instrumentos de medición.
- Para los resultados de las mediciones obtenidas en la práctica del laboratorio, y en la simulación confeccionar la tabla 2.1 para cada caso.
- Construir los gráficos de variación de las magnitudes I_T , U_1 , P_T , P_1 y P_2 en función de la resistencia R_1 , con los resultados obtenidos en la simulación.
- Investigación del circuito con conexión en paralelo de resistores.
- Dibujar el esquema eléctrico de la Fig. 2.2 con los instrumentos eléctricos de medición conectados.

Tabla 2.1

$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$U_1 (V)$	$U_2 (V)$	$I_T (A)$	$P_T (W)$	$P_1 (W)$	$P_2 (W)$
30							
60							
90							
120							
150							
180							

Tabla 2.2

$U_T (V)$	$R_2 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$
30	140	110

- Para los resultados obtenidos en las mediciones de la práctica del laboratorio, y en la simulación confeccionar la tabla 2.3 para cada caso.

Tabla 2.3

$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$I_T (A)$	$I_1 (A)$	$I_2 (A)$	$P_T (W)$	$P_1 (W)$	$P_2 (W)$
30							
60							
90							
120							
150							
180							



- Construir los gráficos de dependencia de las magnitudes I_T , I_1 , I_2 , U_T , P_T , P_1 , P_2 en función de R_1 con los valores obtenidos en la simulación.
- Investigación de un circuito con conexión mixta.
- El circuito de la Fig. 2.3

Tabla 2.4

$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$U_{1-2} (V)$	$U_3 (V)$	$I_T (A)$	$I_1 (A)$	$I_2 (A)$	$P_T (W)$	$P_1 (W)$	$P_2 (W)$	$P_3 (W)$
30										
60										
90										
120										
150										
180										

- Con los resultados obtenidos en las mediciones prácticas del laboratorio, y en la simulación confeccionar la tabla 2.4 para cada caso.
- Construir los gráficos de dependencia de las magnitudes I_T , I_1 , I_2 , P_3 , P_T , P_1 , P_2 en función de R_1 , con los valores obtenidos en la simulación y en el laboratorio.

Orden de realización del trabajo.

- 1- Como autopreparación para la práctica, el estudiante deberá realizar la simulación en las computadoras de los circuitos propuestos para la misma.
Realizar el montaje del esquema del circuito 2.1 con los valores de los parámetros que se indican en las tablas 2.1, y 2.2.
 - Realizar las mediciones de los parámetros eléctricos que se indican en el esquema.
 - Construir los gráficos de variación de las magnitudes I_T , U_1 , P_T , P_1 , P_2 en función de R_1 , en algún software graficador.
 - Realizar el montaje del esquema del circuito 2.2, con los valores de los parámetros que se indican en las tablas 2.2, y 2.3.
 - Realizar las mediciones de los parámetros eléctricos que se indican en el esquema.



- Construir los gráficos de variación de dependencia de las magnitudes I_T , I_1 , I_2 , U_T , P_T , P_1 , P_2 en función de R_1 , en algún software graficador.
 - Realizar el montaje del esquema del circuito 2.3, con los valores de los parámetros que se indican en las tablas 2.2, y 2.4.
 - Realizar las mediciones de los parámetros eléctricos que se indican en el esquema.
 - Construir los gráficos de variación de dependencia de las magnitudes I_T , I_1 , I_2 , P_3 , P_T , P_1 , P_2 en función de R_1 , en algún software graficador.
- 2 - Presentar al profesor el informe previo de la práctica y recibir la autorización para la realización del laboratorio.
- 3 - Conexión en serie de resistores.
- Montar el esquema de la figura 2.1 con los instrumentos necesarios para realizar las mediciones.
 - Instalar la magnitud de R_1 en 30Ω .
 - Después de la verificación del profesor conectar el esquema.
 - Cambiando la magnitud de la resistencia R_1 según los valores indicados en la tabla 2.1, realizar las mediciones.
 - Enseñar los resultados de las mediciones al profesor, y recibir la autorización para desmontar el circuito.
 - Practicar y verificar el divisor de tensión.
- 4 - Conexión en paralelo de los resistores.
- Montar el esquema de la Fig. 2.2 con los instrumentos necesarios para realizar las mediciones.
 - Instalar la magnitud de R_1 en 30Ω .
 - Después de la verificación del profesor, conectar el esquema.
 - Cambiando la magnitud de la resistencia R_1 según los valores indicados en la tabla 2.3 realizar las mediciones.
 - Practicar y verificar el divisor de corriente.
- ✓ Nota: Debe tener cuidado de no situar el valor de R_1 en cero, pues provocaría un cortocircuito.
- Enseñar los resultados de las mediciones al profesor y recibir la autorización para desmontar el circuito.
- 5- Conexión mixta de resistores.



- Montar el esquema de la Fig. 2.3 con los instrumentos necesarios para realizar las mediciones.
- Instalar la magnitud de R_1 en 30Ω .
- Después de la verificación del profesor conectar el esquema.
- Cambiando la magnitud de la resistencia R_1 según los valores indicados en la tabla 2.4, realizar las mediciones.
- Enseñar los resultados de las mediciones al profesor, y recibir la autorización para desmontar el circuito.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Trackable Regulated DC Power Supply . (operación independiente)
- 4 True RMS Multimeter.
- 2 Decimal Resistance Box .
- 1 Rheostat (0 - 200Ω)
- 4 Wattimeter/Cofimeter JWΦ-33 (C.D/C.A)

Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Cálculos.
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados prácticos y simulados.

Conexión en serie del resistor.

Resultados de la práctica							
$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$U_1 (V)$	$U_2 (V)$	$I_T (A)$	$P_T (W)$	$P_1 (W)$	$P_2 (W)$
30	30.01	5.23	24.68	0.17	5.10	0.88	4.19
60	29.92	8.76	20.94	0.15	4.48	1.31	3.14
90	29.98	11.75	18.2	0.13	3.89	1.52	2.37
120	29.93	13.74	16.13	0.11	3.29	1.51	1.77
150	29.95	15.43	14.44	0.10	2.99	1.54	1.44
180	29.84	16.76	13.09	0.09	2.68	1.5	1.18
Resultados de la Simulación							
30	30	5.29	24.71	0.18	5.29	0.93	4.36
60	30	9	21	0.15	4.5	1.35	3.15
90	30	11.74	18.26	0.13	3.91	1.53	2.38
120	30	13.85	16.15	0.12	3.46	1.59	1.86
150	30	15.52	14.48	0.10	3.1	1.61	1.49
180	30	16.88	13.13	0.09	2.81	1.58	1.23

Conexión en paralelo de resistores.

Resultados de la práctica							
$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$I_T (A)$	$I_1 (A)$	$I_2 (A)$	$P_T (W)$	$P_1 (W)$	$P_2 (W)$
30	29.89	1.22	1.01	0.21	36.46	30.18	6.28
60	29.90	0.71	0.5	0.22	21.23	14.95	6.58
90	29.91	0.54	0.33	0.21	16.15	9.87	6.28
120	29.89	0.46	0.25	0.21	13.75	7.47	6.27
150	29.9	0.41	0.2	0.22	12.25	5.98	6.58
180	29.91	0.37	0.17	0.21	11.06	5.08	6.28
Resultados de la Simulación							
30	30	1.21	1	0.21	36.43	30	6.43
60	30	0.71	0.5	0.21	21.43	15	6.43
90	30	0.55	0.33	0.21	16.43	10	6.43
120	30	0.46	0.25	0.21	13.93	7.5	6.43
150	30	0.41	0.2	0.21	12.43	6	6.43
180	30	0.38	0.17	0.21	11.43	5	6.43



Conexión mixta de resistores.

Resultados de la práctica										
$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$U_{1,2}(V)$	$U_3 (V)$	$I_T (A)$	$I_1 (A)$	$I_2 (A)$	$P_T (W)$	$P_1 (W)$	$P_2 (W)$	$P_3 (W)$
30	29.9	5.45	24.43	0.22	0.19	0.04	6.57	1.03	0.22	5.37
60	29.89	8.29	21.59	0.2	0.14	0.06	5.98	1.16	0.49	4.31
90	29.92	10.07	19.88	0.18	0.11	0.08	5.38	1.11	0.8	3.57
120	29.91	11.11	18.76	0.17	0.09	0.08	5.08	0.99	0.88	3.19
150	29.91	11.9	17.99	0.16	0.08	0.09	4.78	0.95	1.07	2.87
180	29.9	12.5	17.36	0.16	0.07	0.09	4.77	0.87	1.12	2.78
Resultados de la Simulación										
30	30	5.5	24.5	0.22	0.18	0.04	6.68	1	0.22	5.46
60	30	8.29	21.71	0.19	0.14	0.06	5.92	1.14	0.5	4.29
90	30	9.97	20.03	0.18	0.11	0.07	5.46	1.11	0.71	3.65
120	30	11.1	18.9	0.17	0.09	0.08	5.15	1.03	0.88	3.25
150	30	11.91	18.09	0.16	0.08	0.09	4.93	0.95	1.01	2.98
180	30	12.52	17.48	0.16	0.06	0.1	4.76	0.87	1.12	2.78



2.3 Laboratorio No.3

Tema

Investigación experimental de los teoremas de cálculo de circuitos lineales estimulados con fuentes de corriente directa.

Objetivos

- Verificar experimentalmente tanto de forma práctica como simulada, el cumplimiento de los teoremas de superposición y de Thevenin.

Introducción teórica.

Teorema de superposición.

El teorema de superposición está basado en una propiedad esencial de los circuitos lineales el cumplimiento del principio de superposición, que establece el carácter lineal de la relación existente entre cualquier respuesta, y los distintos estímulos en un circuito lineal. A partir de la corriente que circula por una rama se puede obtener la tensión aplicando la ley de Ohm, la cual constituye una relación lineal.

El teorema de superposición puede enunciarse de la siguiente forma: la respuesta (tensión o corriente) de un circuito lineal a la acción simultánea de varias fuentes es igual a la suma algebraica de los diferentes aportes que hacen a dicha respuesta las distintas fuentes cuando cada una de ellas actúa individualmente.

Según las leyes de Kirchhoff para el circuito de la Fig. 3.2 se pueden escribir las siguientes ecuaciones.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_2$$



Al resolver el sistema de ecuaciones tenemos

$$I_1 = \frac{R_2 + R_3}{\Delta} U_1 - \frac{R_3}{\Delta} U_2$$

donde

$$\Delta = R_2 R_1 + R_3 R_1 + R_3 R_2$$

Análogamente se obtienen expresiones para las corrientes I_2 e I_3 .

La corriente I_1 puede ser escrita de la siguiente forma:

$$I_1 = I_1' + I_1''$$

donde

$$I_1' = \frac{R_2 + R_3}{\Delta} U_1$$

$$I_1'' = \frac{R_3}{\Delta} U_2$$

Por todo lo antes expuesto se infiere que cualquier respuesta de un circuito lineal está matemáticamente relacionada con los distintos estímulos de forma lineal, o sea:

$$I_t = c_1 E_1 + c_2 E_2 + \dots + c_{m-1} I_{m-1} + c_m I_m$$

- c_1, c_2, \dots, c_m - son coeficientes constantes de proporcionalidad.
- E_1, E_2, \dots - son f.e.m. de las distintas fuentes de tensión.
- \dots, I_{m-1}, I_m - son corrientes de las diferentes fuentes de corriente.

Del enunciado del teorema se infiere que en cada caso se hallara la acción individualmente de una sola fuente, por lo que hay que desactivar las restantes, sustituyendo por un cortocircuito las fuentes de tensión y por un circuito abierto las fuentes de corriente.



Thevenin

Se denomina dipolo a cualquier parte de una red que se analiza respecto a un par de terminales. Los dipolos que contienen fuentes interrmales se denominan dipolos activos, y los que no la poseen son dipolos pasivos.

El circuito equivalente más simple de un dipolo pasivo es su propia resistencia, y la representación equivalente para cualquier dipolo activo es dada por el teorema de Thevenin, el cual puede ser enunciado de la siguiente manera: *todo dipolo activo lineal puede ser sustituido por una fuente real de tensión, donde el valor y polaridad de la fuente son iguales a la de la tensión que existe entre los terminales del dipolo cuando este se encuentra en circuito abierto. El resistor conectado en serie con dicha fuente tiene una resistencia igual a la equivalente entre los terminales del dipolo cuando se han desactivado todas las fuentes internas.*

El teorema de Thevenin es ventajoso fundamentalmente cuando solo interesa conocer las variables de una rama especificada.

La esencia del método consiste en que toda la parte compleja del circuito que contiene las fuentes se sustituyen por un generador equivalente con la tensión U_{th} , y la resistencia interna R_{th} . La magnitud de la tensión del generador es igual a la tensión en los terminales del dipolo cuando estos están desconectados del elemento que se está analizando, y la resistencia equivalente es igual a la resistencia respecto a ese par de terminales sin el elemento analizado, y desactivada todas las fuentes.

En la figura 3.5 la corriente por la rama a-b es:

$$I_1 = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_1}$$

Estudio previo.

- Estudio de los teoremas de Thevenin y superposición.
- Libro de texto Fundamento de la Teoría de circuitos Eléctricos I.
- Software simulador.



Preguntas de control.

- 1 - ¿En que consiste el teorema de superposición?
- 2 - ¿En que caso conviene emplear el teorema de superposición?
- 3 - ¿Se cumple el teorema de superposición para las potencias?
- 4 - ¿Cuándo se emplea el teorema de Thevenin?
- 5 - ¿Explique la esencia y orden de cálculo de circuitos complejos por el teorema de Thevenin?
- 6 - En el circuito de la Fig. 3.1 la corriente en la resistencia R3 bajo la acción solo de la fuente U1 es de $I_3 = 5$ A. ¿A qué es igual la corriente I_3 si al circuito se conectan las dos fuentes, $U_1 = U_2 = 50$ V y $R_1 = R_2 = R_3 = 6$ ohm?, señale la respuesta correcta.
a) 10 A b) 12.5 A c) 20 A d) 15 A.
- 7 - Determinar en el circuito de la Fig. 3.1 la tensión y la resistencia de Thevenin en los terminales a y b con los siguientes parámetros: $U_1 = 65$ V; $U_2 = 30$ V; $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ω . Seleccionar la respuesta correcta.
a) $U_{th} = 50$ V b) $U_{th} = 80$ V c) $U_{th} = 80$ V
 $R_{th} = 5$ Ω $R_{th} = 20$ Ω $R_{th} = 5$ Ω

Programa del trabajo.

Teorema de superposición.

- 1- Cálculo de la corriente en el resistor R_1 en el circuito complejo de la Fig. 3.2.
- 2- Verificar experimentalmente el cumplimiento del teorema de superposición, tanto de forma práctica como simulada, y comparar con los resultados del cálculo.

Teorema de Thevenin.

- 1- Cálculo de la corriente en el resistor R_1 según el teorema de Thevenin en la Fig. 3.2.
- 2- Verificar experimentalmente el cumplimiento del teorema de Thevenin, tanto de forma como simulada, y comparar con los resultados del cálculo.



Protocolo a presentar.

- Determinar la corriente en el resistor R_1 de la Fig. 3.2 por el método de superposición con los valores de los parámetros indicados en la tabla 3.1 por medio del cálculo.
- Determinar la corriente en el resistor R_1 de la Fig. 3.2 por medio de la simulación del circuito en las máquinas computadoras, con los valores de los parámetros indicados en la tabla 3.1.
- Determinar la corriente en el resistor R_1 de la Fig. 3.3 por medio de la simulación del circuito en las máquinas computadoras, con los valores de los parámetros indicados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

U_1 (V)	U_2 (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
40	60	160	135	138

- Determinar la corriente I''_1 , del esquema de la Fig. 3.4 por medio de la simulación.
- Construir la tabla 3.2 para colocar los resultados del cálculo, la práctica y de la simulación.

Tabla 3.2

	I'_1 (A)	I''_2 (A)	I_1 (A)
Cálculo			
Simulación			
Práctico			

- Calcular la corriente en el resistor R_1 de la Fig. 3.2 por el teorema de Thevenin con los parámetros indicados en la tabla 3.1.
- Construir la tabla 3.3 con los resultados del cálculo, simulación y de la práctica.

Tabla 3.3

	U_{R1} (V)	I_1 (A)	U_{th} (V)	R_{th} (Ω)	U'_{R1} (V)	I'_1 (A)
Cálculo						
Simulación						
Práctico						

- Dibujar los esquemas de los circuitos de investigación con los instrumentos de medición necesarios.

Fig 3.1

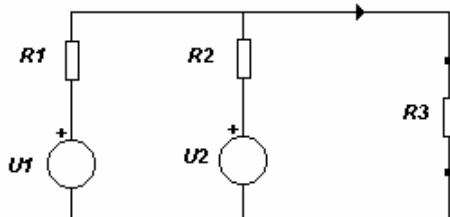


Fig 3.2

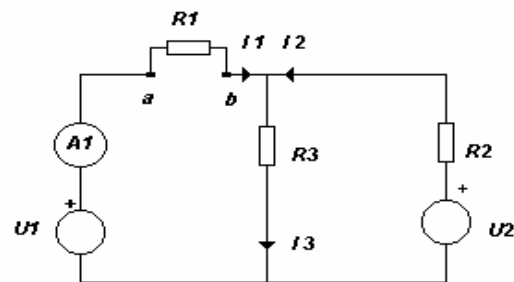


Fig. 3.3

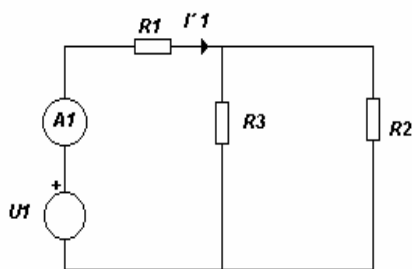


Fig. 3.4

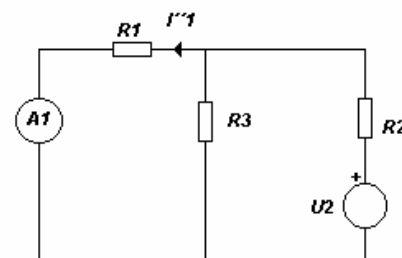
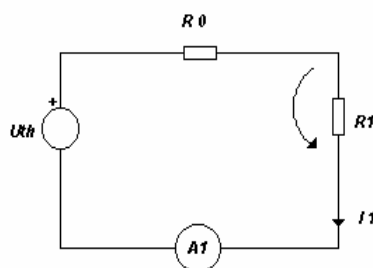


Fig. 3.5





Orden de realización del trabajo.

Teorema de superposición.

- 1- El estudiante como preparación para la práctica y previa a la misma, debe realizar en las máquinas computadoras la simulación de los circuitos propuestos en los esquemas:
 - 3.2, y obtener el valor de corriente I_1 en el resistor R_1 .
 - 3.3, y obtener el valor de corriente I_1' en el resistor R_1 .
 - 3.4, y obtener el valor de corriente I_1'' en el resistor R_1 .
- 2- Presentar al profesor el informe previo de la práctica y recibir la autorización para la realización del laboratorio.
- 3- Instalar el esquema del circuito eléctrico de la Fig. 3.2 con los instrumentos de medición requeridos.
- 4- Después de la verificación del esquema por el profesor, conectar el circuito, y medir la corriente I_1 .
- 5- Montar el circuito de la Fig. 3.3. Después de la verificación del circuito por el profesor, conectar y medir la corriente I_1' .
- 6- Montar el circuito de la Fig. 3.4, y después de la verificación por el profesor conectarlo, y medir I_1'' .
- 7- Con los resultados de la medición llenar la tabla 3.2. Comparar los resultados del cálculo, de la simulación y del experimento.

Teorema de Thevenin.

- 1- Montar el circuito de la Fig. 3.2, y después de la verificación por el profesor, conectarlo y medir la tensión U_{R_1} y la corriente I_1 .
- 2- Desenergizar el circuito, desconectar el resistor R_1 .
- 3- Conectar el circuito y medir la tensión entre los bornes a y b (U_{Th})
- 4- Desenergizar el circuito, y cortocircuitar los terminales a y b.
- 5- Conectar el circuito, y medir la corriente I_{ab} .
- 6- Calcular la resistencia equivalente.

$$R_{th} = \frac{U_{ab}}{I_{ab}}$$



- 7- Montar la Fig. 3.5 con la fuente de Thevenin igual a U_{ab} y con los parámetros R_{th} y R_1 . La R_{th} en el laboratorio se logra con una caja de resistencia decimal, a partir de los cálculos de la R_{th} y del dato de la tensión de la fuente se determina la corriente circulante que se fijará con un amperímetro.
- 8- Conectar el circuito y medir la corriente I'_1 , y la tensión U_{R1} .
- 9- Con los resultados del experimento, y del cálculo llenar la tabla 3.3.
- 10- Comparar los resultados del cálculo, y del experimento.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Trackable Regulated DC Power Supply.
- 2 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 3 Decimal Resistance Box

Contenido del informe

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Número del puesto de trabajo utilizado.
- Circuitos montados.
- Cálculos de los dos teoremas.
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la práctica y la simulación.

Teorema de superposición.

Resultados de la práctica				
I' (A)	I'' (A)	I (A)	U_1 (V)	U_2 (V)
0.18	0.14	0.04	39.9	59.7
Resultados de la simulación				
0.17	0.13	0.4	40	60

Teorema de Thevenin.

Resultados de la práctica						
U_{R1} (V)	I_1 (A)	U_{th} (V)	I_{ab} (A)	R_{th} (Ω)	U_1 (V)	U_2 (V)
6.95	0.04	9.94	0.16	62	39.9	59.7
Resultados de la simulación						
6.89	0.03	9.91	0.14	62	40	60



2.4 Laboratorio No.4

Tema

Investigación de los procesos transitorios en los circuitos RC y RL

Objetivos

- Investigación de los fenómenos transitorios durante la conexión y desconexión de los circuitos RC, y RL en corriente directa tanto de forma práctica como simulada, por medio de los softwares simuladores existentes.

Introducción teórica.

A diferencia de los circuitos resistivos en los cuales el modelo matemático que los describe es puramente algebraico, en los circuitos que contienen elementos almacenadores de energía, las ecuaciones que describen su comportamiento incluyen derivadas e integrales, debido a la relación tensión-corriente en dichos elementos, por lo que el comportamiento de estos circuitos depende de como varíe el estímulo en función del tiempo, razón por la cual estos circuitos se denominan dinámicos.

El comportamiento de dichos circuitos también depende de las condiciones iniciales en los elementos almacenadores de energía, o sea, las tensiones iniciales en los capacitores y las corrientes iniciales en los inductores.

En las redes eléctricas frecuentemente ocurre que una rama se conecta o desconecta.

Estos cambios se supone que ocurran al cierre o apertura de uno o varios interruptores que operan instantáneamente.

Si un circuito se encuentra en estado estable, y ocurre uno de los cambios señalados, antes de que el mismo alcance su siguiente estado estable, tendrá lugar un período transitorio debido a la necesaria redistribución de energía en los elementos almacenadores, lo cual no puede efectuarse instantáneamente.



Si le llamamos $t(0^-)$ y $t(0^+)$ a los instantes antes y después de la conmutación respectivamente, en virtud del principio de continuidad de las condiciones iniciales en los elementos almacenadores de energía, se tiene para el circuito de la Fig. 4.1 que:

$$U_c(t_c^-) = U_c(t_c^+)$$

Conexión del circuito RC.

En el circuito de la Fig. 4.1 el interruptor se cierra en el instante $t=0$.

A partir del instante inicial ocurre un proceso transitorio al final del cual se alcanza el estado estable.

Planteando la ley de Kirchhoff de las tensiones en este circuito tenemos:

$$-e + Ri + u_c = 0 \tag{1}$$

$$Ri + U_c = e$$

En el capacitor se cumple que:

$$i = c \frac{du_c}{dt}$$

utilizando la ecuación (1) obtenemos:

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = e \tag{2}$$

Esta ecuación diferencial es ordinaria, lineal y con coeficientes constantes. La solución completa de la ecuación (2) tiene dos sumandos, la solución de la ecuación particular y la de la homogénea, lo cual se obtiene haciendo cero el miembro de la derecha. A la solución de la ecuación homogénea se le denomina respuesta transitoria y a la de la ecuación particular que depende del estímulo aplicado se le denomina respuesta forzada.



Respuesta = respuesta estable + respuesta transitoria

La solución de la ecuación homogénea

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

es de la forma exponencial

$$u_c(t) = ke^{\lambda t}$$

donde λ es la raíz de la ecuación característica

$$RC\lambda + 1 = 0 \quad \lambda = -\frac{1}{RC}$$

a λ se le denomina frecuencia natural

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = RC$$

y se le denomina constante de tiempo y su unidad de medida es el segundo.

Como Habíamos dicho la respuesta total del circuito es:

$$u_c = u_{ct} + u_{cf}$$

$$u_c = ke^{-\frac{t}{\tau}} + u_{cf} \quad (3)$$

U_{ct} - componente transitoria de la tensión.

U_{cf} - componente forzada de la tensión.

Para hallar el valor de la constante K es necesario evaluar la ecuación (3) en el instante t (0+), suponiendo que antes de la conmutación $U_c(0^-) = U_0$ en virtud de la



condición de continuidad de la tensión en los capacitores $U_c(0^+) = U_0$. Evaluando en (3) para $t = (0^+)$ se obtiene que:

$$u_0 = ke^0 + u_{cf}(0^+)$$

$$k = u_0 - u_{cf}(0^+)$$

Sustituyendo en la ecuación (3) obtenemos:

$$u_c = (u_0 - u_{cf}(0^+))e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{cf} \quad (4)$$

El valor de U_{cf} que es la componente forzada de la tensión en el capacitor se calcula para el estado estable del circuito y depende del estímulo aplicado.

En el caso particular del circuito que se está analizando se observa que $U_c(0^-) = U_c(0^+) = 0$ ya que antes de la conmutación el circuito se encuentra desenergizado, por lo que la ecuación (4) toma la forma:

$$u_c = -u_{cf}(0^+)e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{cf}$$

La interpretación física de la constante de tiempo τ es que es igual al intervalo de tiempo que tiene que transcurrir después de la conmutación para que la respuesta alcance el 63% del valor final.

Las respuestas transitorias teóricamente solo desaparecen para $t = \infty$, pero si evaluamos para $t = (3\tau)$ nos damos cuenta que para este valor de tiempo la respuesta alcanza el 95% de su valor final por lo que en la práctica se considera que la respuesta transitoria ha concluido cuando $t = (3\tau)$.

Desconexión del circuito RC.

Para el circuito de la Fig. 4.2 en el cual el interruptor pasa de la posición 1 a la posición 2, después de la conmutación ocurre un proceso de respuesta libre debido a que a partir de este momento no hay estímulo aplicado.



Para calcular la tensión en el capacitor u_c se emplea la ecuación (4), pero teniendo presente que en este caso la componente forzada es cero.

Suponiendo que en el instante previo a la conmutación la tensión en los capacitores tenía el valor $u_c(0^-)=u_0$, en virtud de la condición de continuidad de la tensión en los capacitores $u_c(0^+)=u_0$. Por lo tanto la ecuación (4) aplicada al circuito de la Fig. 4.2 quedara de la siguiente forma.

$$u_c = u_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

La interpretación de la constante de tiempo es la misma que en el caso anterior por lo que puede suponerse que la respuesta libre del circuito a concluido para $t = 3\tau$.

Circuito RL serie.

El circuito de la Fig. 4.3(a) después que el interruptor opera en el instante $t=0$ queda como se muestra en la Fig. 4.3 (b) la corriente se ha simbolizado i , pero aunque se le ha omitido el subíndice con el objetivo de resaltar que es la misma en todos los elementos, tienen que cumplir la condición de continuidad en el inductor. Si el valor de dicha corriente antes de la conmutación era $i(0^-)=I_0$ entonces sucederá que $i(0^+) = I_0$.

Para calcular el proceso transitorio a partir del instante de la conmutación se plantea la ley de Kirchhoff de las tensiones en el circuito de la Fig. 4.3 (b)

$$-e + Ri + L \frac{di}{dt} = 0$$
$$L \frac{di}{dt} + Ri = e \tag{5}$$

La solución completa de esta ecuación tiene dos partes: la solución de la ecuación particular (la propia ecuación 5)

Y la solución de la ecuación homogénea que es la siguiente.

$$L \frac{di}{dt} + Ri = 0 \tag{6}$$



Esta ecuación diferencial ordinaria, homogénea, lineal y a coeficientes constantes tiene como la solución una exponencial. Simbolizando por i_t a la solución de (6) se puede afirmar que.

$$i_t = ke^{\lambda t} \quad (7)$$

t - tiempo transcurrido después de la conmutación

λ - raíz de la ecuación característica

k - constante de integración

La ecuación característica de la ecuación (6) es:

$$L\lambda + R = 0$$

$$\lambda = -\frac{R}{L}$$

Sustituyendo en (7) se obtiene:

$$i_t = ke^{-\frac{R}{L}t}$$

Obsérvese que la solución hallada es decreciente, y tiende a desaparecer en la medida que transcurre el tiempo, por ello circuitalmente es la respuesta transitoria, por lo que se simboliza i_t .

La solución de la ecuación particular (5) depende del estímulo aplicado, y circuitalmente se denomina respuesta forzada, la cual se simboliza i_f .

De acuerdo con las explicaciones anteriores se tiene que:

$$i = i_t + i_f = ke^{-\frac{R}{L}t} + i_f$$

En el instante $t = 0^+$ la corriente tiene el valor i_0 . Con vista a determinar la constante k que aparece en (8) se evalúa la expresión en el instante $t = 0^+$:

$$i(0^+) = ke^0 + i_f(0^+)$$



$$i_0 = 1ke^0 + i_f(0^+)$$

$$k = I_0 - i_f(0^+)$$

Sustituyendo en (8) se halla:

$$i = [I_0 - i_f(0^+)]e^{-\frac{R}{L}t} + i_f$$

A la raíz de la ecuación característica se le denomina frecuencia natural, ya que el producto λt que es el exponente de una exponencial debe ser adimensional por lo que t que es el exponente de una exponencial debe ser adimensional por lo que λ debe tener dimensión de tiempo⁻¹, y constituye una frecuencia.

En general la respuesta del circuito RL serie no se acostumbra a expresar como aparece en (9), sino que se utiliza la definición de constante de tiempo τ que se expresa de la manera siguiente:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{L}{R}$$

La interpretación física de la constante de tiempo es la misma que la definida para el circuito RC.

Si se desea obtener la expresión de la tensión en el resistor, en el circuito de la Fig. 4.3 (b), aplicando la ley de Ohm se obtiene que:

$$u_r = Ri = R \left\{ [I_0 - i_f(0^+)]e^{-\frac{t}{\tau}} + i_f \right\}$$

$$u_R = [RI_0 - Ri_f(0^+)]e^{-\frac{t}{\tau}} + Ri_f$$

pero

$$RI_0 = U_R(0^+)$$



$$Ri_f = u_{Rf}$$

$$Ri_f(0^+) = u_{Rf}(0^+)$$

donde

$U_R(0^+)$ - valor de la tensión U_R en el instante $t=0^+$.

U_{Rf} - componente forzada de la tensión U_R .

$U_{Rf}(0^+)$ - valor de la respuesta forzada en el instante $t=0^+$

Sustituyendo en (10) se tiene:

$$u_R = [u_R(0^+) - U_{Rf}(0^+)]e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{Rf}$$

Estudio previo.

- Libro de texto: Fundamento de la Teoría de Circuitos Eléctrico I.
- Software simulador.

Preguntas de control.

- 1 - ¿ A qué se denomina proceso transitorio?.
- 2 -¿Por qué es imposible en un circuito que contiene elementos L o C la transición instantánea de un estado estable a otro?.
- 3 -¿A que se llama constante de tiempo del circuito eléctrico?.
- 4 -¿Qué significado físico tiene la constante de tiempo?
- 5 -¿Cuál es la duración teórica de los procesos transitorios, y a que es igual su duración en la práctica?
- 6 - Para el circuito de la Fig. 4.1 indicar el gráfico aproximado de la tensión en el condensador a partir del instante $t=0$.
- 7 - Determinar el valor inicial de la tensión u_c en 0^+ , la componente forzada u_{cf} y la constante de tiempo para el esquema de la Fig. 4.1 con los siguientes parámetros:
 $E=100$ V; $R=20$ ohm; $C=15$ μ F.
a) $u_c(0^+) = 100$ V; $u_{cf}=100$ V; $\tau=0.3$ ms.

- b) $u_c(0^+) = 0$ V; $u_{cf} = 100$ V; $\tau = 0.3$ ms.
c) $u_c(0^+) = 0$ V; $u_{cf} = 100$ V; $\tau = 30$ ms.

Fig.4.1

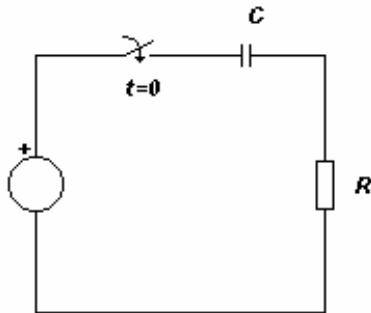


Fig.4.2

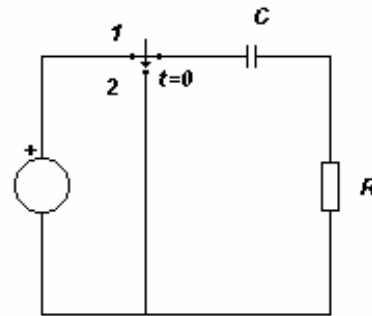


Fig.4.3

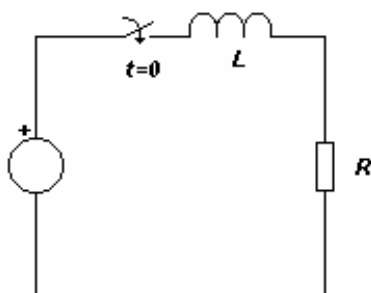
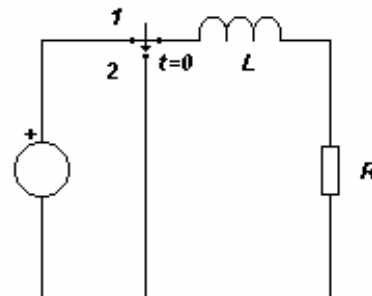


Fig. 4.4



Programa del trabajo.

- 1 - Cálculo de los procesos transitorios en el circuito RC.
 - a) Conexión del circuito RC.
 - b) Desconexión del circuito RC.
- 2 - Simulación del proceso transitorio en el circuito RC, y RL.
- 3 - Construcción de los gráficos por medio de algún software graficador de $i_c(t)$ y $u_c(t)$, con los resultados de la simulación en el circuito RC.
- 4 - Determinación experimental de los procesos transitorios durante la conexión, y desconexión del circuito RC.
- 5 - Comparar los resultados del cálculo, de la simulación y del experimento.



Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Calcular el proceso transitorio en el circuito de la Fig. 4.1 con los valores de los parámetros siguientes:
 $R=68\text{ k}\Omega$; $C=2000\mu\text{F}$; $U= 17\text{ V}$.
 - Dibujar el circuito y calcular la constante de tiempo.
 - Calcular la duración aproximada del proceso transitorio.
- Simular el circuito de la Fig. 4.1 con los mismos parámetros del inciso anterior por medio de algún software simulador:
 - Determinar la duración del proceso transitorio de carga del condensador.
 - Construir en algún software graficador los gráficos de $i_c(t)$, y $u_c(t)$ con los resultados de la simulación.

Tabla 4.1

Resultados de la práctica(carga del condensador)													
t(min)													
$I_c(\mu\text{A})$													
$U_c(\text{V})$													
Resultados de la práctica (descarga del condensador)													
t(min)													
$I_c(\mu\text{A})$													
$U_c(\text{V})$													
Resultados de la simulación (carga del condensador)													
t(min)													
$I_L(\mu\text{A})$													
$U_L(\text{V})$													
Resultados de la simulación (descarga del condensador)													
t(min)													
$I_L(\mu\text{A})$													
$U_L(\text{V})$													



- Calcular el proceso transitorio en el circuito de la Fig. 4.2 con los valores de los parámetros siguientes $R=68\text{ k}\Omega$; $C=2000\text{ }\mu\text{F}$; $E=17\text{ V}$.
 - Dibujar el circuito, y calcular la constante de tiempo.
 - Calcular la duración aproximada del proceso transitorio.
- Simular el circuito de la Fig. 4.2 con los parámetros del inciso anterior por medio de algún software simulador.
 - Determinar la duración del proceso transitorio de descarga del condensador.
 - Construir en algún software graficador, el gráfico de $i_{ce}(t)$ y $u_c(t)$ con los resultados de la simulación.
- Construir la tabla 4.1 para colocar los resultados de la simulación, y de la práctica tanto de la carga como de la descarga del condensador, tomando los valores de corriente y tensión cada 1 minuto.
- Simular el circuito RL de la Fig. 4.4 con parámetros arbitrarios, por medio de algún software simulador.
 - Determinar la duración del proceso transitorio de carga y descarga del inductor.
- Construir la tabla 4.2 para colocar los resultados de la simulación.

Tabla 4.2

Resultados de la simulación (carga del inductor)													
t(min)													
$I_L(\mu\text{A})$													
$U_L(\text{V})$													
Resultados de la simulación (descarga del inductor)													
t(min)													
$I_L(\mu\text{A})$													
$U_L(\text{V})$													



Orden de realización del trabajo.

- 1 - Presentar el protocolo de la investigación.
- 2 - Montar el circuito de la Fig. 4.1 con los valores de los parámetros utilizados en el cálculo.
- 3 - Energizar el circuito, y medir la corriente por el condensador cada 1 min.
- 4 - Con los resultados de las mediciones llenar la tabla 4.1.
- 5 - Construir los gráficos $i_c(t)$ y $u_c(t)$, y determinar gráficamente la constante de tiempo τ .
- 6 - Para el circuito de la Fig. 4.2 repetir los puntos 2, 3, 4 y 5.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Trackable Regulated DC Power Supply.
- 1 cronómetro.
- 2 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 1 Resistencia de 68 k Ω
- 1 Condensador de 2000 μ F.

Contenido del informe.

- Título.
- Objetivo.
- Circuitos montados.
- Cálculos teóricos.
- Gráficos teóricos.
- Tablas con los resultados del experimento.
- Gráficos experimentales.
- Conclusiones.



Tabla con los resultados de la práctica.

Carga del Capacitor.

Resultado de la práctica														
t(min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I _c (μ A)	240	210	184.3	165.3	148.8	137	127	119.8	113.2	108.9	104	100.4	97.2	94.4
U _c (V)	0.5	2.6	4.3	5.7	6.7	7.6	8.3	8.8	9.3	9.6	9.9	10.2	10.4	10.6

Descarga del Capacitor.

Resultado de la práctica														
t (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I _c (μ A)	175	137	104	81	64.3	51.6	41.4	33.4	26.9	21.8	17.8	14.5	11.9	9.8
U _c (V)	12	9.5	7.2	5.6	4.4	3.5	2.8	2.3	1.8	1.5	1.2	1	0.8	0.6



2.5 Laboratorio No.5

Tema

Investigación de los procesos transitorios en circuitos RLC serie.

Objetivo

- Investigar en forma virtual los aspectos más importantes, referidos al proceso transitorio en circuitos RLC serie.

Introducción teórica.

Hallar la solución de la ecuación de estado, equivale a determinar las expresiones de las distintas variables que la satisfacen. Como se sabe, cualquiera de las respuestas tiene dos componentes: una forzada y otra transitoria. Empleando la simbología anterior, cabe afirmar en consecuencia que:

$$x_1 = x_{it} + x_{if}$$

donde:

- x_i : Variable de Estado total, de cualquiera naturaleza
- x_{it} : Variable de Estado durante el proceso transitorio (respuestas transitorias)
- x_{if} : Variable de Estado luego de concluido el fenómeno transitorio (respuesta forzada)

-Las respuestas forzadas dependen de los estímulos particulares que se apliquen.

-Las respuestas transitorias corresponden, matemáticamente, a la solución de la ecuación homogénea que se obtiene cancelando los estímulos. A partir de:

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_{n \times 1} = [A]_{n \times n} [X]_{n \times 1} + [B]_{n \times m} \times [e]_{m \times 1} \quad (1)$$



se encuentra por tanto que la ecuación homogénea es:

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_{n \times 1} = [A]_{n \times n} [X]_{n \times 1} \quad (2)$$

La forma de la respuesta transitoria depende de las frecuencias naturales o raíces de la ecuación características asociadas a la ecuación 2. Se precisa en consecuencia determinar la expresión de dicha ecuación característica. Por analogía con las ecuaciones diferenciales escalares, cabe suponerse que la solución de la ecuación 2 es del tipo siguiente:

$$[x_t]_{n \times 1} = [K]_{n \times 1} e^{\lambda t} \quad (3)$$

donde:

λ - frecuencias naturales;

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_n \end{bmatrix} -$$

Matriz columna formada por constantes arbitrarias o de integración.

Como las respuestas transitorias satisfacen la ecuación homogénea porque matemáticamente son su solución, sustituyendo la formula 3 en la 2, se encuentra:

$$[K] \lambda e^{\lambda t} = [A][K] e^{\lambda t}$$

Si se cancelan los exponenciales (son escalares que aparecen en ambos miembros), y si se opera algebraicamente se halla:

$$[K] \lambda = [A][K],$$



$$[A][K] - [K]\lambda = 0 \quad (4)$$

En la ecuación 4 la matriz $[K]$ se puede extraer factor común pero teniendo presente que hay que extraerla postmultiplicando; ya que ella postmultiplica a $[A]$ por otro lado es necesario introducir la matriz unitaria Δ como factor de la frecuencia natural λ ; ya que en caso contrario aparecerá la diferencia de una matriz y un escalar, lo cual no está definido matemáticamente. De acuerdo con los razonamientos anteriores se encuentra que:

$$[A - \lambda\Delta][K] = 0$$

$$[A - \lambda\Delta]_{n \times n} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_n \end{bmatrix}_{n \times 1} = 0 \quad (5)$$

El orden que se le señala a cada matriz en la fórmula 5 ha estado implícito a partir de la fórmula 2 y la fórmula 3.

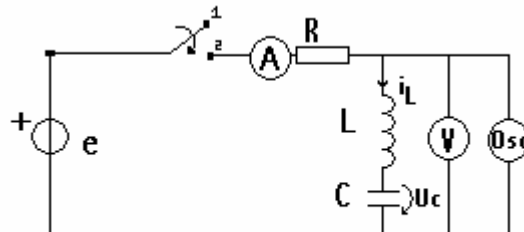
La ecuación 5 siempre es compatible, o sea, siempre tiene solución. En efecto analícese que $k_1 = k_2 = \dots = k_n = 0$ sería siempre una solución, pero resulta trivial ya que físicamente no es aceptada. Obsérvese la fórmula 3 que la ecuación anterior implicaría que nunca existirán respuestas transitorias, lo cual evidentemente es falso. En consecuencia la fórmula 5 tiene necesariamente otra solución lo cual implica que el rango de $[A - \lambda\mathbf{1}]$ sea menor que n , implica que su determinante es 0, o sea:

$$[A - \lambda\mathbf{1}] = 0$$

Como se sabe la respuesta forzada depende del estímulo particular que se aplique. La forma de la respuesta transitoria depende de las raíces de la ecuación

características, que en el caso del circuito RLC serie (Fig. 5.1) toma la forma siguiente:

Fig. 5.1



$R= 20\Omega$, $L=50\text{ mH}$ y $C= 20\ \mu\text{F}$ (datos del circuito de la Fig. 5.1)

✓ **Nota:** se debe tener presente la resistencia del inductor para montar el laboratorio.

$$\lambda^2 + \frac{R}{L}\lambda + \frac{1}{LC} = 0$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (6)$$

Por razones que físicamente se justifican en esta teoría se utiliza la simbología y nomenclatura siguiente:

$$\alpha = \frac{R}{2L} - \text{factor de amortiguamiento} \quad (7)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} - \text{se denomina frecuencia de las oscilaciones libres del circuito sin pérdidas.} \quad (8)$$

Sustituyendo ecuación 7 y 8 en ecuación 6, se obtiene:



$$\lambda_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (9)$$

La ecuación anterior es la expresión general de las frecuencias naturales del circuito RLC serie como se aprecia en la ecuación (9), en dependencia de los valores relativos del factor de amortiguamiento α y de la frecuencia ω_0 , existen diferentes tipos matemáticos de solución para las frecuencias naturales λ_1 y λ_2 lo cual implica, por supuesto, diferentes formas para la respuesta transitoria en los distintos casos.

De la ecuación (9) se infiere que:

$$\text{Si } \alpha = 0 \rightarrow \lambda_{1,2} = \pm \sqrt{-\omega_0^2} = \pm j\omega_0 \quad (10)$$

Donde $j = \sqrt{-1}$ es la unidad imaginaria, en este caso se le denomina a la respuesta: **respuesta libre del circuito sin pérdidas.**

En este caso las frecuencias naturales son imaginarias conjugadas.

Si $0 < \alpha < \omega_0$, entonces la cantidad subradical de la ecuación (9) es negativa, por lo tanto, operando matemáticamente se encuentra que:

$$\text{Si } 0 < \alpha < \omega_0 \rightarrow \lambda_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{(-1)(\omega_0^2 - \alpha^2)}$$

$$\lambda_{1,2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} \quad (11)$$

como se aprecia en este caso las frecuencias naturales son complejas conjugadas, y se le denomina a este tipo de respuesta: **respuesta subamortiguada.**

$$\text{Si } \alpha = \omega_0 \rightarrow \lambda_{1,2} = -\alpha \quad (12)$$

En ese caso las frecuencias naturales son reales e iguales, y se denomina a respuesta: **respuesta críticamente amortiguada.**



Si $\alpha > \omega_0$ la cantidad subradical de la ecuación (9) es positiva y por tanto está definida la raíz el conjunto de los números reales. En este caso las frecuencias naturales son en consecuencia reales y desiguales, y se le denomina a este tipo de respuesta: **respuesta sobreamortiguada**.

Designando R_c al valor de la resistencia R para el cual el circuito se encuentra críticamente amortiguado, se infiere que:

$$\text{Si } \alpha = \omega_0 \rightarrow \frac{R_c}{2l} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

A este valor de resistencia se le denomina **resistencia crítica**. Del análisis precedente se deduce fácilmente que:

$R < R_c$, $\alpha < \omega_0 \rightarrow$ respuesta subamortiguada.

$R = R_c$, $\alpha = \omega_0 \rightarrow$ respuesta críticamente amortiguada.

$R > R_c$, $\alpha > \omega_0 \rightarrow$ respuesta sobreamortiguada.

Estudio previo.

- Estudio del análisis de las redes dinámicas en el dominio del tiempo.
- Libro de texto Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos I.

Preguntas de control.

- 1 - Explique las características fundamentales de la corriente en un circuito RLC serie de Corriente Directa.
- 2 - ¿Cuál es el significado físico de α ?
- 3 - ¿Cuál es el significado físico de ω_0 ?
- 4 - ¿De que depende la respuesta forzada de un circuito RLC serie?
- 5 - ¿De que depende la forma de la respuesta transitoria?
- 6 - ¿Si $\alpha = 0$ como se denominan las frecuencias naturales, y como se conoce el tipo de respuesta?
- 7 - ¿Si $0 < \alpha < \omega_0$ como se denominan las frecuencias naturales, y como se conoce al tipo de respuesta?



- 8 - ¿Si $0 < \alpha < \omega_0$ como se denominan las frecuencias naturales, y como se conoce al tipo de respuesta?
- 9 - ¿Si $\alpha = \omega_0$ como se denominan las frecuencias naturales, y como se conoce a este tipo de respuesta?
- 10 - A partir de la ecuación que caracteriza un circuito críticamente amortiguado, infiera la relación para hallar la capacitancia crítica (C_c), y la inductancia crítica (L_c), y deduzca en que proporción se deben encontrar los valores de L y C con respecto a los valores críticos para que los circuitos obtengan los tres tipos de respuestas.

Orden de realización del trabajo.

- 1- Calcular los valores de R_c , L_c , C_c
- 2- Montar el circuito de la Fig. 5.1 en el software simulador con los valores especificados, y la instrumentación necesaria.
- 3- Pasar el interruptor de la posición 1 a la posición 2.
- 4- En dependencia de las variaciones de la tensión en el capacitor (U_c), registrada por el osciloscopio, definir el tipo de respuesta del circuito.
- 5- Variando la resistencia hacer pasar el circuito por los tres tipos de respuesta, hacerlo de forma teórica y comprobarlo de forma simulada.
- 6- Variando la inductancia hacer pasar el circuito por los tres tipos de respuesta, hacerlo de forma teórica y comprobarlo de forma simulada
- 7- Variando la capacitancia hacer pasar el circuito por los tres tipos de respuesta, hacerlo de forma teórica y comprobarlo de forma simulada.
- 8- Construir y mostrar el gráfico de (U_c) contra tiempo (t) que contemple los tres tipos de respuesta para el caso de la variación de capacitancia.
- 9- Construir y mostrar el gráfico de (I) contra tiempo (t) que contemple los tres tipos de respuesta para el caso de la variación de inductancia.
- 10- Con los resultados obtenidos, llene la tabla 5.1.



Tabla 5.1

Valores de los parámetros			
Tipo de Respuesta	R(Ω)	L(mH)	C(μ F)
Subamortiguada			
Críticamente amortiguada			
Sobreamortiguada			

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Trackable Regulated DC Power Supply.
- 2 True RMS Multimeter .
- 1 Osciloscopio.
- 1 Decimal Inductance Box.
- 1 Decimal Resistance Box.
- 1 Condensador de 20 μ F.

Contenido del informe

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuito montado.
- Tabla con los resultados.
- Gráficos.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Resultado de la práctica según el Osciloscopio Digital para:
 $R < R_c$, $\alpha < \omega_0 \rightarrow$ respuesta subamortiguada.

Gráfico de corriente en el capacitor.

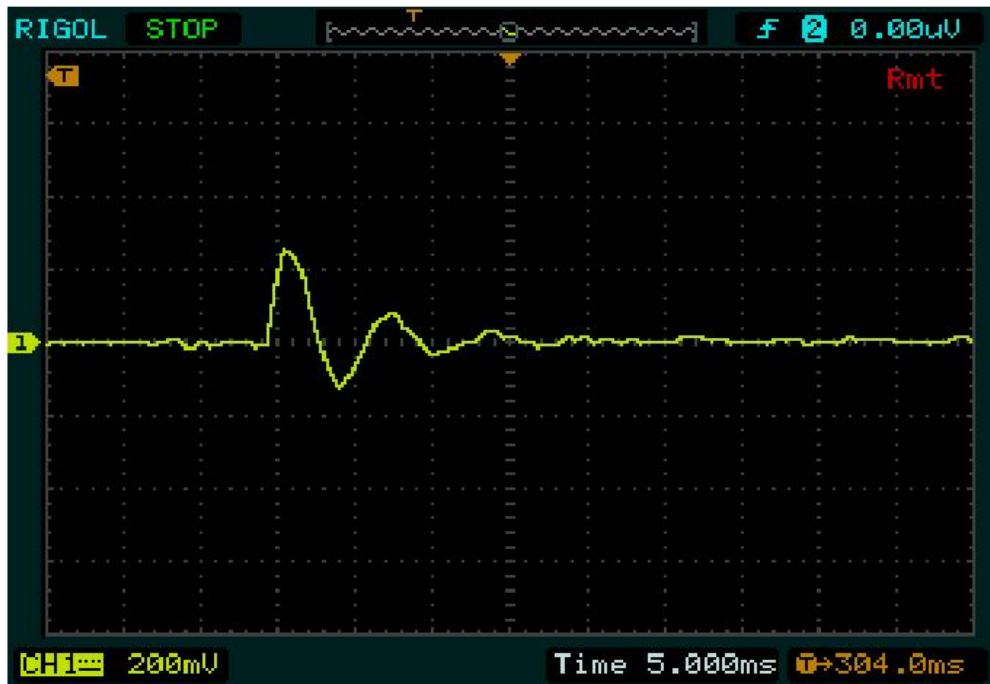
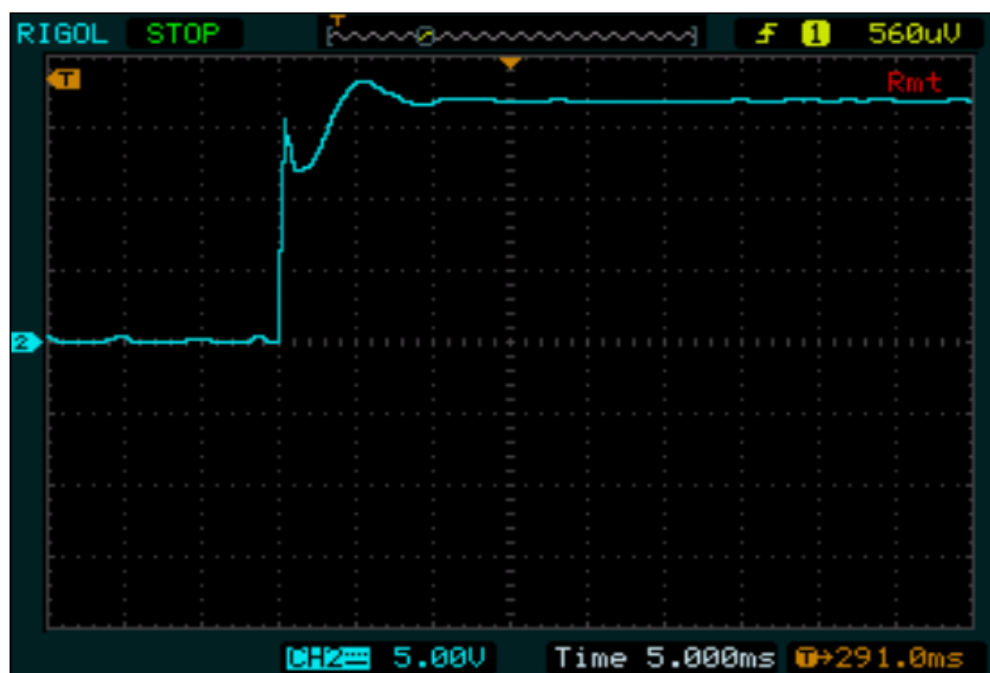


Gráfico de tensión en el capacitor.



Resultado de la simulación según Multisim 10 para:
 $R < R_c$, $\alpha < \omega_0 \rightarrow$ respuesta subamortiguada.

Gráfico de corriente en el capacitor.

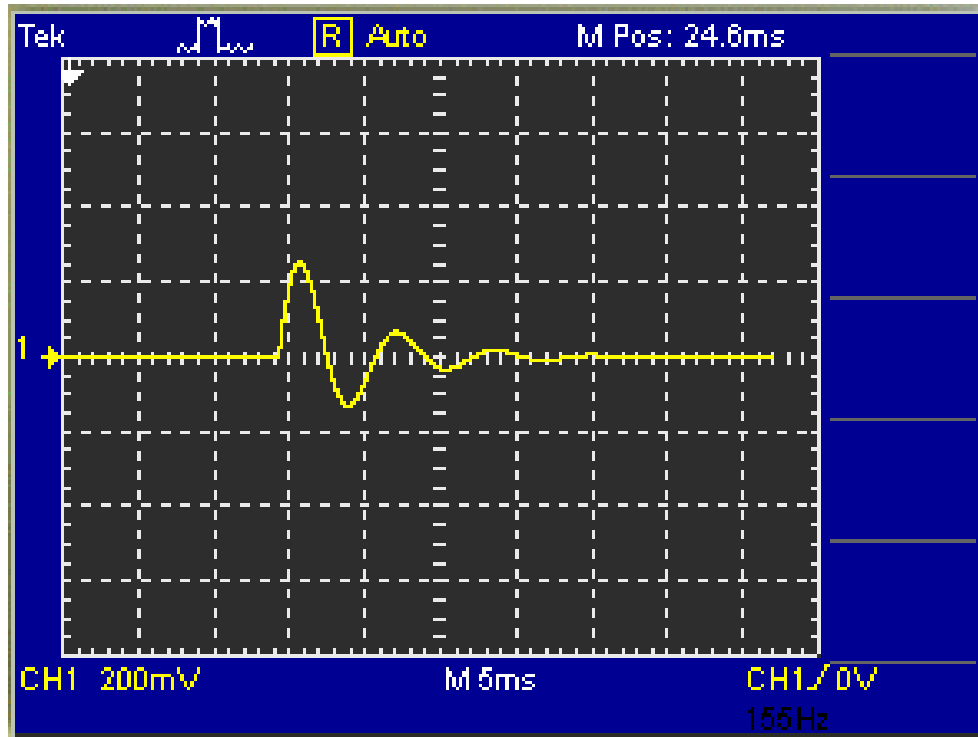
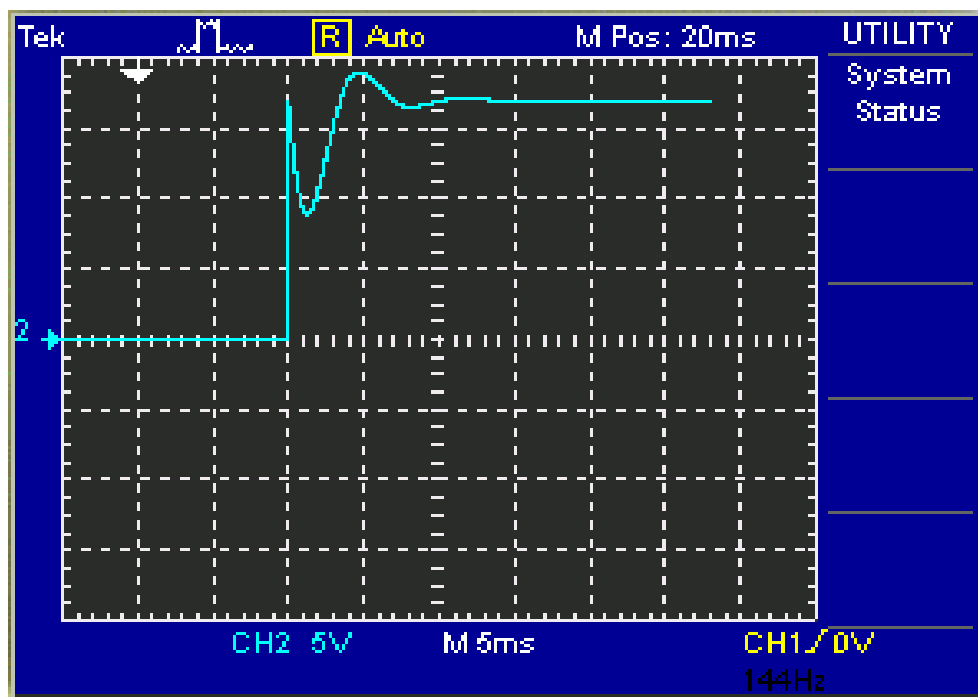


Gráfico de tensión en el capacitor.





2.6 Laboratorio No.6

Tema

Investigación de los procesos transitorios en los circuitos RLC ramificados.

Objetivos

- Investigar de forma práctica a través de las ecuaciones que caracterizan un circuito RLC ramificado, y del montaje del propio circuito, sus principales características en el dominio del tiempo.

Introducción teórica.

Una característica esencial de las ecuaciones de estado, o sea: de aquellas en las cuales las variables independientes son las de estado, es que todas las corrientes en los inductores y todas las tensiones en los capacitores se toman, simultáneamente como incógnitas. En esto se diferencian entre otros aspectos, de los de sistemas de ecuaciones, en el que las variables independientes son todas las corrientes y no necesariamente continuas. Otra característica importante es que las ecuaciones de estado son siempre de primer orden, independientemente de cuantos elementos almacenadores contenga el circuito dinámico.

Escalarrmente las ecuaciones de estado se escriben en la denominada forma de Cauchy, que se muestra a continuación:

Simbolizando

x_1, x_2, \dots, x_n – las n variables de estado; donde están incluidas todas las corrientes en los inductores y todas las tensiones en los capacitores;

e_1, e_2, \dots, e_m – los m estímulos; donde están incluidas todas las fuentes tanto de tensión como de corriente;

$a_{11}, a_{12}, \dots, b_{11}, b_{nm}$ – distintos coeficientes, constantes en el caso de los circuitos lineales.



Las ecuaciones de estado se escriben de la manera siguiente:

$$\begin{aligned}
 &\frac{dx_1}{dt} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_{11}e_1 + \dots + b_{1m}e_m \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 &\frac{dx_i}{dt} a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + b_{i1}e_1 + \dots + b_{im}e_m \qquad (1) \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 &\frac{dx_n}{dt} a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n + b_{n1}e_1 + \dots + b_{nm}e_m
 \end{aligned}$$

Analícese que se trata de n ecuaciones, o sea, tantas como variables de estado se supuso que existen en el circuito.

El sistema de ecuaciones anterior puede escribirse matricialmente, lo cual es más práctico, obteniéndose la denominada ecuación matricial de estado. Con este fin se emplean la simbología y nomenclatura siguiente:

$$[x] = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} - \text{matriz columna formada por las n variables de estado que}$$

existan en el circuito. Se denomina vector de estado

$$\left[\frac{dx}{dt} \right] = \begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \cdot \\ \frac{dx_n}{dt} \end{bmatrix} - \text{matriz columna que incluye a todas las derivadas de las}$$

variables de estado;



$$[e] = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ e_m \end{bmatrix} -$$

matriz columna formada por los m estímulos que existen

en el circuito. Se denomina vector de los estímulos;

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1n} \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdot & a_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} -$$

matriz cuadrada de orden n, formada por los coeficientes

de las variables de estado. En algunos textos se denomina matriz básica;

$$[B] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdot & b_{1n} \\ b_{i1} & b_{i2} & \cdot & b_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdot & b_{nm} \end{bmatrix} -$$

matriz rectangular de orden n x m, formada por los

coeficientes de los estímulos. En algunos textos se denomina matriz de transmisión.

Si se emplea la simbología anterior, la ecuación (1) puede escribirse matricialmente de la manera siguiente:

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_{n \times 1} = [A]_{n \times n} [X]_{n \times 1} + [B]_{n \times m} [e]_{m \times 1} \quad (2)$$

Analícese detenidamente que en la ecuación matricial de estado, solo aparecen las propias variables de estado, sus derivadas y los estímulos. Es conveniente resaltar, además, que el vector de estado incluye a todas las corrientes en los inductores y a todas las tensiones en los capacitores; así como que el vector de los estímulos incluye a todas las fuentes, ya sean de tensión o de corriente.



El método de las variables de estado, ofrece las siguientes ventajas:

- 1- Todas las ecuaciones son de primer orden siempre, cuyos métodos de resolución tanto analítica como numéricamente están muy desarrollados y son relativamente sencillos.
- 2- Como el vector de estado $[x]$ es necesariamente continuo, todas las derivadas que se necesitan conocer en el instante $t=0^+$ se evalúan mecánicamente.
- 3- Este método combinado con las matrices topológicas, facilita la formulación sistemática de las ecuaciones, lo que resulta esencial para analizar circuitos con el empleo de las computadoras digitales.

Todo lo referente al tipo de respuesta ha sido tratado en el laboratorio anterior.

Estudio previo.

- Estudio del análisis de las redes dinámicas en el dominio del tiempo.
- Libro de texto Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos I.

Preguntas de control.

- 1- ¿Cuales son las características fundamentales de las ecuaciones de estado?
- 2- ¿En que forma escalar se escriben las ecuaciones de estado?
- 3- ¿En que forma se escriben las ecuaciones de estado?
- 4- ¿Que ventaja ofrece el método de las variables de estado?

Orden de realización del trabajo.

- 1- Montar le circuito RLC de la Fig. 6.1 con los valores de al tabla 6.1.
- 2- Variando los parámetros iniciales de la R hacer pasar el circuito por los tres tipos de respuesta.
- 3- Variando los parámetros iniciales de la L hacer pasar el circuito por los tres tipos de respuesta.
- 4- Variando los parámetros iniciales de la C hacer pasar el circuito por los tres tipos de respuesta.
- 5- Llene la tabla 6.2 con los diferentes valores obtenidos de R, L y C para los tres tipos de respuestas.

Fig.6.1

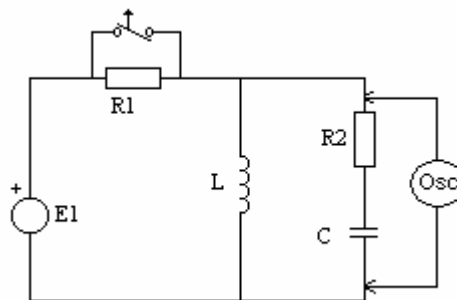


Tabla 6.1

U_{CD} (V)	C_1 (μ F)	L (mH)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
17	20	100	240	10

Tabla 6.2

Tipo de Respuesta	R(Ω)	L(mH)	C(μ F)
Subamortiguada			
Críticamente amortiguada			
Sobreamortiguada			

- 6- Observar y salvar las curvas que se muestren en el osciloscopio.
- 7- Montar el circuito en un Software simulador, y con ayuda de un osciloscopio determinar el tipo de respuesta del circuito.
- 8- Comparar las respuestas obtenidas en la práctica con la simulación.



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Trackable Regulated DC Power Supply
- 1 Osciloscopio Digital.
- 2 Decimal Resistance Box.
- 1 Decimal Inductance Box.
- 1 Capacitor de $20\mu\text{F}$.

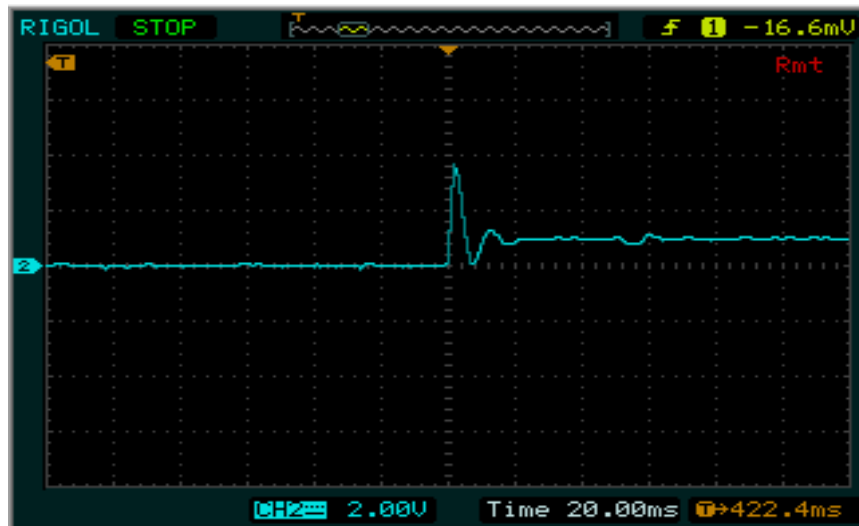
Contenido del informe.

- Título del laboratorio.
- Objetivos.
- Circuito montado.
- Tabla con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Resultado de la práctica según el Osciloscopio Digital.

Respuesta Subamortiguada





2.7 Cantidad de Puestos a montar por Laboratorio.

1- Laboratorio No. 1

- ✓ Se pueden montar 2 puestos.
- 2 Trackable Regulated DC Power Supply. (operación paralelo).
- 8 True RMS Multimeter.
- 4 Decimal Resistance Box.
- 6 Wattimeter/Cofimeter JWΦ-33 (C.D/C.A).
- 2 Voltmetro.
- 6 Amperímetros.
- 6 Wattímetros.

2- Laboratorio No. 2

- ✓ Se pueden montar 2 puestos.
- 2 Trackable Regulated DC Power Supply . (operación independiente)
- 8 True RMS Multimeter.
- 4 Decimal Resistance Box .
- 2 Rheostat (0 - 200Ω)
- 8 Wattimeter/Cofimeter JWΦ-33 (C.D/C.A)

3- Laboratorio No. 3

- ✓ Se pueden montar 6 puestos.
- 6 Trackable Regulated DC Power Supply.
- 6 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 6 True RMS Multimeter
- 9 Decimal Resistance Box.
- 9 Rheostat (0 - 200Ω).



4- Laboratorio No. 4

- ✓ Se pueden montar 7 puestos
- 7 Trackable Regulated DC Power Supply.
- 7 Cronómetros.
- 7 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 7 True RMS Multimeter.
- 7 Resistencia de 68 k Ω .
- 7 Condensador de 2000 μ F.

5- Laboratorio No. 5

- ✓ Se pueden montar 5 puestos
- 5 Trackable Regulated DC Power Supply.
- 10 True RMS Multimeter.
- 5 Osciloscopios Digitales.
- 5 Decimal Inductance Box.
- 5 Decimal Resistance Box.
- 5 Condensador de 20 μ F.

6- Laboratorio No. 6

- ✓ Se pueden montar 5 puestos
- 5 Trackable Regulated DC Power Supply
- 5 Osciloscopio Digital.
- 10 Decimal Resistance Box.
- 5 Decimal Inductance Box.
- 5 Capacitor de 20 μ F.



En los laboratorios 1 y 2 solo se pueden realizar 2 puestos en cada uno debido a la falta de watímetros para la medición de potencia en las ramas. Por lo antes expuesto estos laboratorios no se pueden realizar de forma frontal ni cíclica, se debe dividir el subgrupo en 2 para una mejor asimilación del conocimiento.

En los laboratorios 3 y 4 se pueden realizar al menos 6 puestos. El 5to solamente tiene 5 puestos, pero se propone que se realice de forma frontal al igual que el 3 y 4, lo cual es una ventaja para los estudiantes y profesores a la hora de evaluar los conocimientos adquiridos en la práctica. Para eso el subgrupo debe dividirse de forma equitativa, si es posible 2 por puesto, como máximo 3.



Capítulo III: Guía de los laboratorios de Circuito Eléctrico II.

Los aspectos relacionados con la organización, planificación y control de las prácticas se tratarán en esta asignatura de la forma abordada el capítulo señalado con 2.a) y 2.b).

3.1 Laboratorio No.1

Tema

Investigación experimental de las propiedades de los elementos R, L y C en un circuito de corriente alterna.

Objetivos

- Investigar experimentalmente las propiedades del resistor, el inductor y el capacitor mediante la determinación de sus parámetros.
- Comparar el comportamiento de los elementos R, L y C ante la aplicación de diferentes estímulos (corriente directa y alterna).

Introducción teórica.

El resistor ideal.

- El resistor ideal es el elemento de un circuito eléctrico que representa la transformación de la energía eléctrica en otro tipo de energía disipativa, y donde no tiene lugar el almacenamiento de la energía en forma de campo eléctrico ni magnético.
- El parámetro fundamental del resistor es la resistencia (R), la conductancia (G), las cuales son el factor de proporcionalidad entre la tensión y la corriente expresada a través de la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{R}$$



$$I = GU$$

Para una tensión sinusoidal

$$i = \hat{i} \sin[\omega(t) + \alpha_i] = \frac{\hat{u}}{R} \cos[\omega(t) + \alpha_u]$$

Comparando los términos se obtiene:

$$\hat{i} = \frac{\hat{u}}{R}$$

$$\alpha_i = \alpha_u$$

donde \hat{i} - corriente máxima.

\hat{u} - tensión máxima.

Es importante señalar que no existe desfase entre la corriente y tensión en el resistor, ya que tanto la resistencia como la impedancia son magnitudes reales.

$$\underline{Z}_R = \frac{\underline{\hat{u}}}{\underline{\hat{i}}} = \frac{U}{I} = R \angle 0$$

Donde \underline{U} - fasor tensión a través del valor eficaz.

\underline{I} - fasor corriente a través del valor eficaz.

Los resistores pueden clasificarse en lineales, y no lineales dependiendo de la forma de la característica volt-ampere $u = f(i)$. Un resistor lineal es aquel en el cual la tensión entre sus terminales y la corriente que circula por él, están relacionadas mediante un operador lineal, o sea, la resistencia es una constante. En caso de que ésta varíe el resistor es no lineal.



La potencia instantánea en el resistor es:

$$p = \hat{u} \hat{i} \cos^2[\omega t + \alpha_u] = \frac{\hat{u} \hat{i}}{2} [1 + \cos 2(\omega t + \alpha_u)] = \frac{R \hat{i}^2}{2} [1 + \cos 2(\omega t + \alpha_u)]$$

El valor medio de la potencia se define como la potencia activa:

$$P = \frac{1}{T} \int p dt = UI = RI^2$$

El resistor real.

En los resistores reales junto a la resistencia como parámetro fundamental, existen campos magnéticos y eléctricos asociados al conductor. Además de la resistencia los resistores presentan reactancias y capacitancia, aunque la influencia de las últimas solo se considera en las altas frecuencias.

En un conductor el campo magnético alterno desplaza la corriente de la región central a la superficie del conductor, aumentando la resistencia del conductor. Este fenómeno se conoce con el nombre de efecto pelicular, y se manifestará más mientras mayor sea la frecuencia, el diámetro y la conductividad específica del conductor. Por lo general para las frecuencias industriales los resistores se consideran ideales.

Inductor ideal.

Es el elemento del circuito de corriente alterna que representa el almacenamiento de la energía en forma de campo magnético, no existiendo el campo eléctrico alrededor de tal elemento y no ocurre transformación de la energía eléctrica en otro tipo de energía disipativa.

El coeficiente de proporcionalidad entre las concatenaciones de flujo (ϕ) y la corriente i se denomina inductancia y se representa con la letra L y su unidad e medida es el Henry (H)

$$L = \frac{\phi}{i}$$

Un inductor es lineal cuando su característica $\phi(i)$ es una línea recta, es decir la inductancia es una constante.

Según la segunda ley de Kirchhoff:



$$u + e_L = 0$$

De acuerdo con la ley de la inducción electromagnética:

$$u = -e_L = \frac{d\phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

De la expresión anterior se deduce que la tensión en el inductor es proporcional a la rapidez de cambio de la corriente. Por eso si la corriente que circula por él es directa, la tensión será cero y el inductor se podrá representar como un cortocircuito. Para una tensión cosinusoidal, la corriente también será cosinusoidal y de la misma frecuencia por lo que:

$$\hat{u} \cos(\omega t + \alpha_u) = L \frac{d[\hat{i} \cos(\omega t + \alpha_i)]}{dt} = -\omega L \hat{i} \operatorname{sen}(\omega t + \alpha_i) = \omega L \hat{i} \cos(\omega t + \alpha_i + 90^\circ)$$

Comparando ambos miembros obtenemos que:

$$\hat{u} = \omega L \hat{i}$$

$$\alpha_u = \alpha_i + 90^\circ$$

A la expresión ωL se le llama reactancia inductiva y se simboliza por X_L , y relaciona la corriente y la tensión en el inductor tanto para valores máximos como para los eficaces.

$$X_L = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U}{I}$$

Es importante resaltar que existe un desfase de noventa grados entre la tensión y la corriente en el inductor, y que la corriente atrasa la tensión. Si se le aplica al inductor la definición de impedancia, se obtiene que:



$$\underline{Z}_L = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} = \frac{U}{I} = \omega L e^{90^\circ} = j\omega L = jX_L$$

La potencia instantánea para el inductor es:

$$p = ui = \hat{u} \cos(\omega t + \alpha_u) \hat{i} \cos(\omega t + \alpha_u - 90^\circ)$$

Operando mediante relaciones trigonométricas, obtenemos:

$$p = ui \mathbf{sen} 2(\omega t + \alpha_u)$$

La potencia instantánea cambia por una ley sinusoidal de doble frecuencia. El valor medio de la potencia instantánea se llama potencia activa, y se calcula como:

$$P = \frac{1}{2\pi} \int ui \mathbf{sen} 2(\omega t + \alpha_u) d\omega t = 0$$

La bobina ideal no consume energía, sino que oscila entre su campo magnético y la fuente de alimentación.

Inductor Real.

En las bobinas reales una parte de la energía eléctrica se convierte en calor en las resistencias que presentan los conductores, y al mismo tiempo existe en ella un campo eléctrico entre las espiras. Por eso un inductor real presenta una inductancia L , una resistencia activa R , la cual es necesaria tener en cuenta en los cálculos prácticos, y una capacidad C que solo es de importancia para las altas frecuencias.

Capacitor Ideal.

Es el elemento ideal del circuito eléctrico donde solo ocurre el almacenamiento de la energía en forma de campo eléctrico, no existiendo disipación de la energía eléctrica al pasar la corriente a través del, ni campo magnético a su alrededor.

A baja frecuencia los condensadores poseedores de buenos dieléctricos se aproximan bastante a esta condición. Si a este elemento se le aplica una tensión entre sus placas aparecen en ellas cargas de igual magnitud y signos contrarios, y



en su dieléctrico aparecerá un campo eléctrico debido a las cargas. El coeficiente de proporcionalidad entre la carga y la tensión es igual a la capacitancia C y su unidad de medida es el farad (F)

$$c = \frac{q}{u} \quad C = \frac{q}{u}$$

Un capacitor es lineal cuando su característica coulomb-volt $q(u)$ es una línea recta, es decir, que su capacitancia es una constante.

Para obtener la relación corriente-tensión en el capacitor basta diferenciar la expresión:

$$q = Cu$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

La corriente en el capacitor es proporcional a la rapidez de cambio de la tensión. En caso de que el estímulo sea constante (Corriente directa) la corriente será cero y el elemento podrá representarse por un circuito abierto.

Para una tensión cosinusoidal, la corriente también será cosinusoidal y de la misma frecuencia:

$$\hat{i} \cos(\omega t + \alpha_i) = C \frac{d[\hat{u} \cos(\omega t + \alpha_u)]}{dt} = -\omega C \hat{u} \operatorname{sen}(\omega t + \alpha_u) = \omega C \hat{u} \cos(\omega t + \alpha_u + 90^\circ)$$

Comparando ambos miembros:

$$\hat{i} = \omega C \hat{u}$$

$$\hat{u} = \frac{\hat{i}}{\omega C}$$

$$\alpha_i = \alpha_u + 90^\circ$$



A la expresión $1/\omega C$ se le denomina reactancia capacitiva y se simboliza por X_c , depende de la frecuencia y relaciona los valores máximos y eficaces de la tensión y corriente en el capacitor.

$$X_c = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U}{I}$$

Es de gran interés resaltar que existe un desfase de 90° entre tensión y corriente en el capacitor, y que la tensión atrasa a la corriente. Si se le aplica al capacitor la definición de impedancia tenemos que:

$$Z_c = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C} e^{-90^\circ} = -j \frac{1}{\omega C} = -jX_c$$

La potencia instantánea de un capacitor se expresa como:

$$p = ui = \hat{u} \cos(\omega t + \alpha_u) \hat{i} \cos(\omega t + \alpha_u + 90^\circ)$$

Operando mediante relaciones trigonométricas se obtiene:

$$p = -ui \text{ sen } 2(\omega t + \alpha_u)$$

El valor medio de la potencia instantánea se define como potencia activa:

$$P = \frac{1}{2\pi} \int -ui \text{ sen } 2(\omega t + \alpha_u) d\omega t = 0$$

por lo que el capacitor ideal no consume energía.

Capacitor real.

El condensador real además de su capacitancia presenta una inductancia debido al campo magnético que en él existe, aunque este es solo de importancia para alta frecuencia, también posee la resistencia de sus placas y las pérdidas de energía por el calentamiento del dieléctrico.



Generalmente el condensador se presenta por su capacitancia y la resistencia de aislamiento conectado en paralelo.

Estudio Previo.

- Estudio de las propiedades y comportamiento del resistor, del inductor y el capacitor ante el estímulo de corriente directa y corriente alterna.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos I.

Preguntas de control.

- 1- ¿Depende la magnitud de la resistencia de un resistor de la frecuencia de la corriente?
- 2- ¿Cuál es el ángulo de desfasaje entre la corriente y la tensión en el resistor?
- 3- ¿Que parámetros caracterizan los inductores reales?
- 4- ¿A que se llama reactancia inductiva y de que parámetros depende?
- 5- ¿Cuál es el ángulo de desfasaje entre la corriente y la tensión en el inductor ideal?
- 6- ¿Que parámetros caracterizan a los condensadores reales?
- 7- ¿A que se llama reactancia capacitiva y de que parámetros depende?
- 8- Si la reactancia de una bobina $X_1 = 100\Omega$ y $\omega = 5000$ Rad/seg. Determinar cual será la inductancia de la bobina:
 - a) $L = 50$ mH
 - b) $L = 20$ mH
 - c) $L = 10$ mH
- 9- La tensión aplicada a un inductor es de 100 V y la corriente es de 1A, si la frecuencia es de 60 Hz. Determinar la inductancia de la bobina:
 - a) $L = 0.18$ H
 - b) $L = 0.265$ H
 - c) $L = 315$ H
- 10-La corriente en el condensador ideal es:

$$i = 5 \operatorname{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{4} \right)$$

Determinar la tensión entre las placas del condensador si $X_C = 10 \Omega$

$$u_c = 50 \text{ sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$u_c = 0.5 \text{ sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$u_c = 50 \text{ sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$$

Determinar entre esos valores cual es el correcto.

Programa de trabajo.

- 1- Estudio de las propiedades de los elementos principales del circuito eléctrico, resistencia, inductancia y capacitancia.
- 2- Comparación de los parámetros ante los estímulos de corriente directa, y corriente alterna.
- 3- Investigación del desfasaje entre la corriente y la tensión en los principales elementos así como los factores que determinan su magnitud y carácter.
- 4- Determinar la variación de los parámetros del inductor en dependencia de la posición del núcleo.

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Dibujar los esquemas de los circuitos eléctricos de las figuras 1.1, 1.2 y 1.3, con los instrumentos de medición necesarios y las fuentes de tensión.

Fig. 1.1

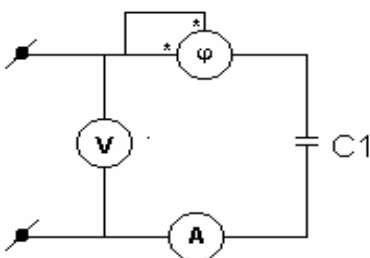


Fig. 1.2

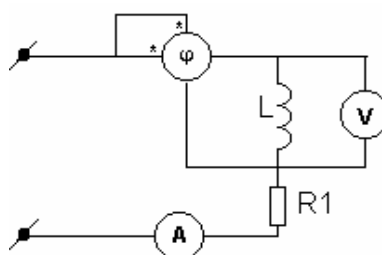
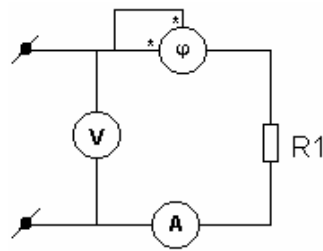


Fig. 1.3



- Realizar el cálculo de la corriente, tensión, $\cos\phi$, ϕ y potencia en cada circuito con los valores de los parámetros que se indican en la tabla 1.1, tanto para corriente directa como para corriente alterna.

Tabla 1.1

R_1 (Ω)	C_1 (μF)	L (mH)	U_{CD} (V)	U_{CA} (V)
100	100	100	10.24	10.24

Orden de realización del trabajo.

Investigación de las propiedades de los elementos R, L y C en circuitos estimulados con corriente directa.

1. Montar el circuito eléctrico de la Fig. 1.1.
2. Al recibir la autorización del profesor conectar el circuito, y realizar la medición de la corriente, tensión, potencia, $\cos\phi$ y ϕ en el circuito.
3. Con los resultados obtenidos confeccionar la tabla 1.2.

Tabla 1.2

Estimulo	I_T (A)	U_T (V)	P_T (W)	ϕ (grado)	$\cos\phi$
CD					
CA					

4. Montar el circuito de la Fig. 1.2, y confeccionar la tabla 1.3.



Tabla 1.3

Resultados de la práctica						
Estímulo	I_T (A)	U_T (V)	U_L (V)	P_T (W)	$\cos\phi$	ϕ (grado)
C.D						
C.A						

5. Montar el circuito de la Fig. 1.3.
6. Realizar las mediciones indicadas, y confeccionar la tabla 1.4.

Tabla 1.4.

Estimulo	I_T (A)	U_T (V)	P_T (W)	$\cos\phi$	ϕ (grado)
CD					
CA					

Investigar las propiedades de los elementos R, L y C en corriente alterna.

- 1- Montar el circuito de la Fig. 1.1 y realizar las mediciones de la corriente, tensión, potencia, $\cos\phi$ y ϕ . Llenar la tabla 1.2.
- 2- Montar el circuito de la Fig. 1.2, y realizar las mediciones de la corriente, tensión, potencia, $\cos\phi$ y ϕ . Llenar la tabla 1.3.
- 3- Montar el circuito de la Fig. 1.3 y realizar las mediciones de la corriente, tensión, potencia y $\cos\phi$ y ϕ . Llenar la tabla 1.4.

Investigación de la dependencia de los parámetros del inductor.

- 1- Montar el circuito de la Fig. 1.2 con los instrumentos de medición requeridos y los valores que se indican en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5

R_1 (Ω)	U_{CA} (V)
30	10.24

- 2- Variar la inductancia según los valores de la Tabla 1.6.



3- Según las mediciones de los instrumentos, llenar la Tabla 1.6.

Tabla 1.6

Posición	I_T (A)	U_T (V)	U_L (V)	P_T (W)	ϕ (grado)	$\cos\phi$
20(mH)						
40(mH)						
60(mH)						
80(mH)						
100(mH)						

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 1 Decimal Inductance Box.
- 1 Decimal Resistance Box.
- 1 Condensador de $100\mu\text{F}$.
- 1 True RMS Multimeter.
- 1 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A)

Contenido del informe

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Tabla con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados.

Resultados de la investigación del resistor.

Resultados de la práctica					
Estímulo	I_T (A)	U_T (V)	P_T (W)	$\cos\phi$	ϕ (grado)
C.D	0.10	10.44	1.07	1	0
C.A	0.09	10.04	0.99	1	0

Resultados de la investigación del inductor.

Resultados de la práctica						
Estímulo	I_T (A)	U_T (V)	U_L (V)	P_T (W)	$\cos\phi$	ϕ (grado)
C.D	0.09	10.4	1.22	0.95	1	0
C.A	0.08	10.08	3.38	0.78	0.93	20

Resultados de la investigación del capacitor.

Resultados de la práctica					
Estímulo	I_T (mA)	U_T (V)	P_T (W)	$\cos\phi$	ϕ (grado)
C.D	0.17	13.73	0	1	0
C.A	0.32	10.20	0.36	0.2	80

Resultados de la investigación del inductor con el cambio de la posición.

Resultados de la práctica						
Posición	I_T (A)	U_T (V)	U_L (V)	P_T (W)	ϕ (grado)	$\cos\phi$
20(mH)	0.27	10.05	2.53	2.65	12	0.97
40(mH)	0.24	10.10	4.18	2.27	22	0.92
60(mH)	0.21	10.13	5.45	1.88	30	0.87
80(mH)	0.19	10.14	6.39	1.57	35	0.82
100(mH)	0.17	10.15	7.11	1.32	40	0.77

3.2 Laboratorio No.2

Tema

Investigación experimental de circuitos simples serie y paralelo de corriente alterna.

Objetivos

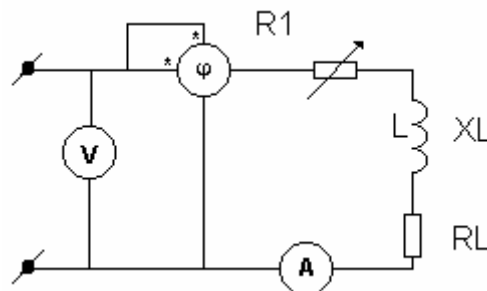
- Investigar experimentalmente los circuitos eléctricos RL y RC serie y paralelo.

Introducción teórica.

Conexión en serie de elementos.

Para el circuito de la Fig. 2.1 es posible escribir según la segunda ley de Kirchhoff:

Fig. 2.1



$$\underline{U} = (R_1 + R_L + jX_L)\underline{I} = \underline{U}_a + \underline{U}_r \quad (1)$$

$$X_L = \omega L$$

Las componentes activa y reactiva de la tensión resultan

$$\underline{U}_a = (R_1 + R_L)\underline{I}$$

$$\underline{U}_r = jX_L \underline{I}$$



La caída de tensión en la resistencia es proporcional al valor de la corriente en el circuito y no depende de la frecuencia (sino se considera el efecto pelicular)

La caída de tensión en la inductancia es proporcional al valor de la corriente, y de la frecuencia. Para corriente continua ($\omega=0$) la caída de tensión en el inductor es cero.

La componente activa de la tensión coincide en fase con la corriente y caracteriza la caída de tensión en la resistencia del circuito. La componente reactiva está desfasada en 90° respecto a la corriente, y caracteriza la caída de tensión en la inductancia.

La expresión (1) se puede escribir en valores modulares de la siguiente forma

$$U = \sqrt{(R_1 + R_L)^2 + (X_L)^2} I = ZI \quad (2)$$

El ángulo de desfasaje de la tensión respecto a la corriente es:

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

donde φ_u - fase inicial de la tensión;

φ_i - fase inicial de la corriente.

$$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R_1 + R_L}$$

Cuando por el circuito circula corriente, en la resistencia R_1 y R_L se libera energía.

$$P = (R_1 + R_L) I^2 = U_a I$$

Si determinamos I de la expresión (2), y la sustituimos en la anterior obtenemos

$$P = \frac{R_1 + R_L}{(R_1 + R_L)^2 + X_L^2} U^2 \quad (3)$$



La potencia depende de la magnitud de la resistencia R_1 , con el aumento de la cual al principio crece y luego disminuye.

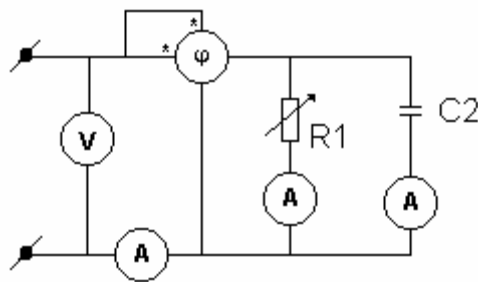
Al hallar el máximo de la expresión (3), se tiene que la potencia liberada tiene el valor máximo en la condición siguiente:

$$R_{10} + R_L = X_L$$

Conexión en paralelo de elementos.

Para el circuito de la Fig. 2.2, considerando el condensador como ideal, se pueden escribir las siguientes ecuaciones:

Fig. 2.2



$$\underline{I}_1 = \frac{U}{R_1} = UG_1$$

$$\underline{I}_2 = \frac{U}{-jX_{C_1}} = jB_{C_1}U \quad (4)$$

La corriente total en el circuito será:

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 \quad (5)$$

La corriente en la resistencia R_1 coincide en fase con la tensión aplicada y representa la componente activa de la corriente en el circuito.

La corriente en el condensador se adelanta 90° y representa la componente reactiva de la corriente.



Con la disminución de la frecuencia la magnitud de la reactancia capacitiva aumenta, y para corriente continua ($\omega=0$) es igual a ∞ .

Según las expresiones (4) y (5)

$$\underline{I} = \underline{U}G_1 + jB_{C_1}\underline{U}$$

que escrita en forma modular

$$I = \sqrt{G_1^2 + B_{C_1}^2}U = YU$$

donde

$$Y = \sqrt{G_1^2 + B_{C_1}^2}$$

es la admitancia, que es el inverso de la impedancia.

El ángulo de desfase entre la corriente total y la tensión será:

$$\varphi = \arctan \frac{B_1}{G_1}$$

Estudio previo.

- Estudio del cálculo de la conexión en serie y paralelo de los elementos en corriente alterna.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos I

Preguntas de control.

- 1 - Escribir la fórmula para el cálculo de la impedancia, así como la tensión activa y reactiva en la conexión en serie de los elementos.
- 2 - ¿A qué es igual la potencia disipada en el circuito con la conexión en serie de una resistencia con un inductor real?
- 3 - ¿Cómo se calculan los parámetros G, B y Y para la conexión en paralelo de una resistencia y un condensador?
- 4 - En el circuito de la Fig. 2.1 las indicaciones de los instrumentos son $I=5$ A, $U=100$ V, $P=400$ W. Determinar Z, R y X.



a) $Z=20$ ohm	b) $Z=20$ ohm	c) $Z=10$ ohm
$R=16$ ohm	$R=25$ ohm	$R=20$ ohm
$X=12$ ohm	$X=4$ ohm	$X=12$ ohm

5 - Las indicaciones de los instrumentos en el circuito de la Fig. 2.2 son $P=1$ kW, $I_R=10$ A, $I_C=15$ A. Determinar G, B y Y.

a) $G=0,2$ S	b) $G=0,1$ S	c) $G=0,1$ S
$B=0,141$ S	$B=0,2$ S	$B=0,16$ S
$Y=0,23$ S	$Y=0.141$ S	$Y=0,032$ S

Programa de trabajo.

1. Análisis de las propiedades que caracterizan los circuitos de corriente alterna con la conexión serie y paralelo de los elementos.
2. Determinación de los parámetros de los elementos según los resultados del experimento.
3. Investigación del carácter de variación de la potencia, corriente, tensión y ángulo de fase en los diferentes elementos del circuito durante la variación de uno de los parámetros.

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Dibujar el esquema del circuito eléctrico de la Fig. 2.1 con los instrumentos de medición necesarios.
- Calcular los parámetros $U_T, U_{R1}, U_L, I_T, P_T$ y φ para diferentes valores de R_1 .
- Construir la tabla 2.1 para plasmar los resultados del cálculo y del experimento.



Tabla 2.1

R_1 (Ω)	U_T (V)	U_{R1} (V)	U_L (V)	I_T (A)	P_T (W)	ϕ (grado)
60						
90						
120						
150						

- Construir los gráficos de la dependencia de U_{R1} , U_L , I_T , P_T y ϕ en función de R_1 .
- Construir el diagrama vectorial para $R_1 = 60\Omega$.
- Dibujar el esquema de la Fig. 2.2 con los instrumentos de medición necesarios.
- Calcular los parámetros U_T , I_T , I_{R1} , I_C , P_T y ϕ para los diferentes valores de R_1 .

Tabla 2.2

R_1 (Ω)	U_T (V)	I_T (A)	I_{R1} (A)	I_C (A)	P_T (W)	ϕ (grado)
60						
90						
120						
150						

- Construir los gráficos de dependencia de I_T , ϕ , P_T en función de R_1 .
- Construir el diagrama vectorial para $R_1 = 150\Omega$.

Orden de realización del trabajo.

Conexión en serie de elementos. (Resistor e inductor)

- 1- Montar el circuito de la Fig. 2.1 con los instrumentos de medición necesarios para realizar el experimento.



- 2- Colocar el valor de la resistencia R_1 en 60Ω .

Tabla 2.3

U (V)	L (mH)
20.11	100

- 3- Variando la magnitud de R_1 según la tabla 2.1 medir U_T , I_T , P_T , φ , U_{R1} , U_L .
- 4- Con los resultados de las mediciones llenar la tabla 2.1.
- 5- Construir los gráficos de dependencia U_T , I_T , P_T , φ , U_R y U_L en función de R_1 .
- 6- Comparar los resultados del cálculo y del experimento.

Conexión en paralelo de los elementos. (Resistor y capacitor)

- 1- Montar el circuito de la Fig. 2.2.
- 2- Colocar el valor de la resistencia $R_1 = 60\Omega$ y el valor de capacitancia y tensión señalado en la tabla 2.4

Tabla 2.4

U (V)	$C_2(\mu F)$
20.11	20

- 3- Variando la magnitud de R_1 según los valores indicados en la tabla 2.2, medir U_T , I_T , P_T , φ , I_R y I_C en función de R_1 con los resultados del experimento.
- 4- Comparar los resultados del cálculo y del experimento.



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 1 Rheostat (0 - 200 Ω).
- 1 Decimal Inductance Box.
- 1 Condensador de 20 μ F.
- 4 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 1 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).

Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Cálculos
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados.

Resultados de la investigación del circuito RL serie.

Resultados de la práctica						
$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$U_{R1} (V)$	$U_L (V)$	$I_T (A)$	$P_T (W)$	ϕ (grado)
60	19.65	12.68	8.6	0.21	3.75	+25
90	19.72	14.81	6.66	0.16	3	+20
120	19.67	15.87	5.38	0.13	2.46	+16
150	19.66	16.63	4.52	0.12	2.08	+12

Resultados de la investigación del circuito RC paralelo.

Resultados de la práctica						
$R_1(\Omega)$	$U_T (V)$	$I_T (A)$	$I_{R1} (A)$	$I_C (A)$	$P_T (W)$	ϕ (grado)
60	19.9	0.38	0.33	0.17	6.63	-26
90	20.03	0.29	0.22	0.17	4.51	-35
120	20.02	0.25	0.16	0.17	3.43	-42
150	20.08	0.24	0.13	0.17	2.79	-48

✓ **Nota:** El signo (+) significa carga inductiva y el (-) capacitaba.

3.3 Laboratorio No.3

Tema

Circuitos desfasadores.

Objetivo

- Investigación de los esquemas desfasadores simples de tensión, y de corriente.

Introducción teórica.

Esquemas desfasadores de tensión.

En los dispositivos de automática y de regulación de tensión de las instalaciones de rectificación se utilizan diferentes esquemas que permiten desfasar la tensión en la salida U_2 respecto a la entrada U_1 cuando varía uno de los parámetros del esquema. En las figuras. 3.1a y 3.1b están representados dos esquemas desfasadores de tensión.

Fig. 3.1a

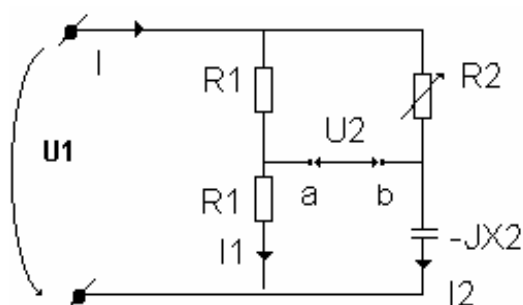
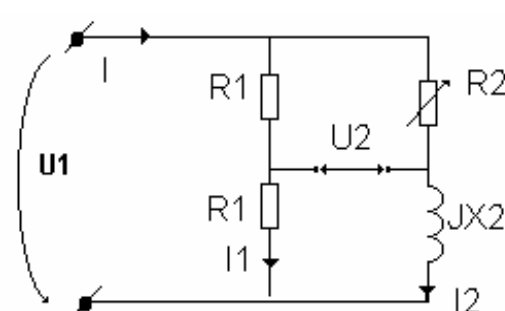


Fig. 3.1 b



El principio de trabajo de los esquemas anteriores es igual, por esta razón examinaremos el trabajo del esquema que esta representado en la parte izquierda.

Las corrientes en las ramas paralelas del esquema son:



$$I_1 = \frac{U_1}{2R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_1}{R_2 - jX_2}$$

tensión en la salida del esquema U_2 se determina como la diferencia de los complejos potenciales U_a y U_b :

$$U_2 = U_a - U_b = I_1 R_1 - I_2 (-jX_2) = -U_1 \left(\frac{1}{2} - \frac{jX_2}{R_1 - jX_2} \right)$$

$$U_2 = \frac{U_1 Z_2 e^{j\varphi_2}}{2 Z_2 e^{-j\varphi_2}} = \frac{U_1}{2} e^{j2\varphi_2}$$

donde:

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$$

$$\varphi_2 = \arctan\left(\frac{X_2}{R_2}\right)$$

De la ecuación (2) se deduce que la tensión en la salida del esquema modularmente es dos veces menor que la de la entrada y la fase de la tensión en la salida respecto a la entrada es igual.

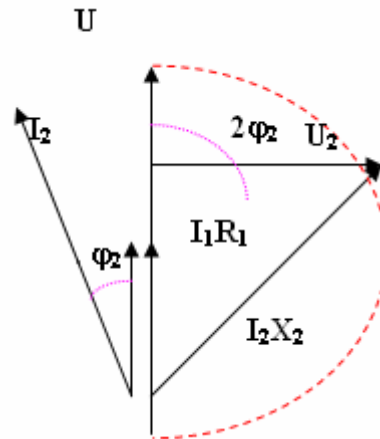
$$\varphi = 2\varphi_2 = 2\arctan\left(\frac{X_2}{R_2}\right)$$

es decir, está en función de la resistencia R_2 con la variación de la misma en los límites de 0 a ∞ , el ángulo de desfase $\varphi = 2\varphi_2$ varía en los límites de π hasta 0.



El diagrama vectorial de tensiones está representado en la Fig.3.2. El extremo del vector U_2 describe una circunferencia con radio:

Fig.3.2.

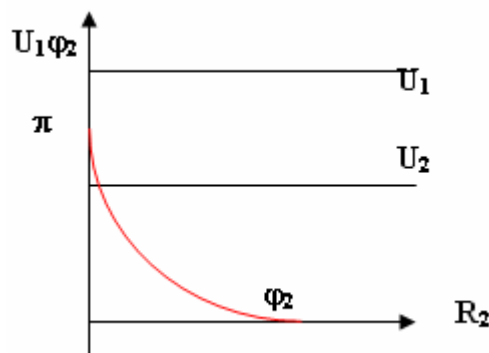


$$r = \frac{U_1}{2}$$

En la Fig.3.3 están representadas las dependencias $U_2, \varphi = f(R_2)$

Las relaciones de dependencias son válidas cuando no existe carga en la salida del esquema ($R_{carga} = \infty$). Para una resistencia bastante grande las relaciones prácticamente son iguales a la existentes cuando ($R_{carga} = \infty$)

Fig. 3.3

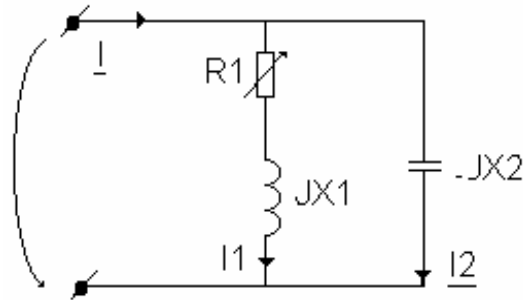


$$\frac{R_{carga}}{R_1} \geq 10$$

Esquemas desfasadores.

El cambio de la fase de la corriente I sin variar su módulo puede ser realizado con la utilización del esquema representado en la Fig.3.4. La corriente general del circuito:

Fig. 3.4



$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{U} \left(\frac{1}{R_1 + jX_1} + \frac{1}{-jX_2} \right) = \frac{\underline{U}}{-jX_2} \frac{R_1 + j(X_1 - X_2)}{R_1 + jX_1}$$

si $X_2 = 2X_1$ entonces

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{-jX_2} \frac{R_1 - jX_1}{R_1 + jX_1} = \frac{\underline{U}}{-jX_2} \frac{Z_1 e^{-j\varphi_1}}{Z_1 e^{j\varphi_1}} = \frac{\underline{U}}{X_2} e^{j\left(\frac{\pi}{2} - 2\varphi_1\right)}$$

donde:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$$

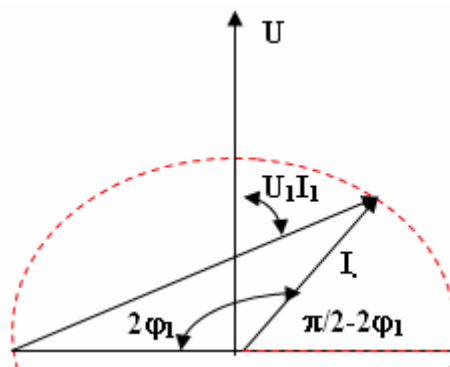
$$\varphi_1 = \arctan\left(\frac{X_1}{R_1}\right)$$

De la ecuación (4) tiene magnitud constante $\frac{U}{X_2}$ y no depende de la magnitud R_1 . La

fase de la corriente general varía en función de R_1 , por ejemplo para $R_1=0$, $\varphi = -\frac{x}{2}$,

es decir la corriente tiene un retardo de fase de $\frac{x}{2}$ para $R_1 = \infty$, tenemos $\varphi = \frac{x}{2}$ es decir la corriente general está adelantada en fase 90° . Durante la variación de R_1 el vector de la corriente I circunscribe un arco de círculo con radio $r=I$. El diagrama vectorial de corriente del circuito está representado en la Fig.3.5.

Fig.3.5.



Estudio previo.

- Estudio de la guía de trabajo.
- Circuitos desfasadores. Folleto de 1999.

Preguntas de control.

- 1- ¿En qué dispositivos se emplean los circuitos desfasadores?
- 2- ¿En qué límites varía la fase de la tensión de salida cuando varía R_2 de 0 a ∞ ?
- 3- ¿A qué es igual el módulo de la tensión de salida respecto a la tensión de entrada?
- 4- ¿Cómo varía el ángulo de desfasaje entre U_1 y U_2 en la Fig.3.1 b?
- 5- ¿En qué límites varía la fase de la corriente cuando varía R_1 de 0 a ∞ en la Fig.3.4?

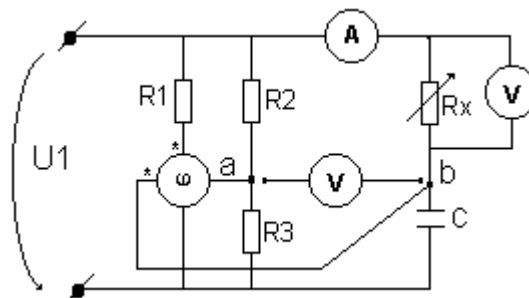
Programa de trabajo.

- 1- Determinación experimental de las dependencias U_2 , $\varphi = f(R_2)$ en el esquema desfasador de tensión.
- 2- Determinación experimental de las dependencias I , $\varphi = f(R_1)$ en el esquema desfasador de corriente.

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Esquema desfasador de tensión.
 - Dibujar el esquema desfasador de tensión con los instrumentos necesarios para la medición de tensión y ángulos de desfasajes entre las tensiones de entrada y de salida. Fig.3.6.

Fig.3.6



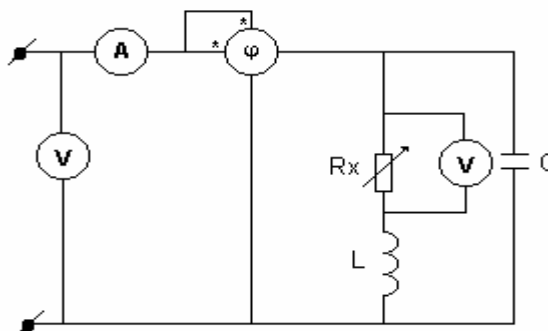
- Para medir el ángulo de desfasaje entre U_T y U_{a-b} hay que utilizar el fasímetro. El devanado de tensión del mismo se conecta a la tensión U_{a-b} y el devanado de corriente a través de la resistencia R_1 a la tensión U_T .
- Preparar la tabla 3.1 para apuntar los resultados de las mediciones

Tabla 3.1

Resultado de la práctica					
$R_X(\Omega)$	$U_T(V)$	$U_{a-b}(V)$	$U_{RX}(V)$	$I(A)$	$\phi(\text{grado})$
1000					
800					
600					
400					
200					

- Esquemas desfasadores de corriente.
 - Dibujar el esquema de la Fig.3.7 con los instrumentos de medición necesarios.

Fig.3.7



- Determinar el ángulo de desfase entre corriente y tensión a través del fasímetro.
- Llenar la tabla 3.2 con los resultados de las mediciones.



Tabla 3.2

Resultado de la práctica				
$R_x(\Omega)$	$U_T(V)$	$U_{RX}(V)$	$I_T(A)$	$\phi(\text{grado})$
100				
80				
60				
46				
40				
20				
10				

Orden de realización del trabajo.

Escoger los instrumentos necesarios para realizar las mediciones.

Esquemas desfasadores de tensión.

1- Montar el esquema eléctrico de la Fig.3.6 y establecer los valores de las magnitudes que se indican en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_x(\Omega)$	$L(mH)$	$C(\mu F)$	$U(V)$
18	20	20	variable	100	20	19.70

2- Variar la magnitud de la resistencia R_x según los valores indicados en la Tabla 3.1. Realizar las mediciones de U_T , U_{a-b} , U_{RX} , I y ϕ .

3- Reflejar los resultados de las mediciones en la tabla 3.1, con estos resultados construir los gráficos $U_2=f(R_x)$ y $\phi =f(R_x)$



Esquemas desfasadores de corriente.

- 1- Montar el esquema eléctrico de la Fig.3.7 y establecer los valores de las magnitudes que se indican en la tabla 3.3.
- 2- Variar la magnitud de la resistencia R_x según los valores indicados en la tabla 3.2. Realizar las mediciones de U_T , U_{RX} , I_T , y φ .
- 3- Reflejar los resultados de las mediciones en la tabla 3.2. Con estos resultados construir los gráficos $I = f(R_x)$ y $\varphi = f(R_x)$.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 2 True RMS Multimeter.
- 1 Decimal Inductance Box
- 3 Decimal Resistance Box
- 1 Rheostat (0 - 200 Ω)
- 1 Condensador de 20 μ F.
- 1 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).

Contenido del informe.

- Título.
- Objetivos.
- Esquemas montados.
- Tabla de los resultados.
- Gráficos de dependencias.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la investigación.

Circuitos defasadores de tensión.

Resultado de la práctica					
$R_X(\Omega)$	$U_T(V)$	$U_{a-b}(V)$	$U_{RX}(V)$	$I(A)$	$\varphi(\text{grado})$
1000	9.98	4.94	9.84	0.017	+15
800	9.99	4.92	9.78	0.021	+20
600	9.99	4.91	9.68	0.028	+25
400	9.98	4.87	9.41	0.042	+36
200	9.98	4.71	8.30	0.076	+66

Circuitos defasadores de corriente.

Resultado de la práctica				
$R_X(\Omega)$	$U_T(V)$	$U_{RX}(V)$	$I_T(A)$	$\varphi(\text{grado})$
100	10.22	8.50	0.098	-36
80	10.19	8.07	0.102	-26
60	10.18	7.37	0.111	-12
46	10.03	6.49	0.117	0
40	10.19	6.17	0.125	+6
20	10.18	3.98	0.148	+27
10	10.19	2.27	0.167	+42

✓ **Nota:** El signo (+) significa carga inductiva y el (-) capacitaba.

3.4 Laboratorio No.4

Tema

Investigación de la resonancia en circuitos RLC serie.

Objetivos

- Investigar las características de un circuito de resonancia en serie, siendo variable la inductancia y la capacitancia tanto de forma práctica como simulada.

Introducción teórica.

Fenómenos de resonancia en circuitos eléctricos.

Un fenómeno importante en el análisis de los circuitos eléctricos es la resonancia mediante la cual se obtienen determinados efectos en algunas redes, que pueden mejorar o empeorar el comportamiento para el cual están diseñadas.

Este fenómeno se aplica en comunicaciones donde es necesario seleccionar señales en un rango de frecuencias. En ocasiones este fenómeno de ser casual resulta indeseable, como ocurre en algunos sistemas de energía, pues debido a las propiedades de estos circuitos pueden aparecer valores altos de tensión o corriente que sobrepasen los límites permisibles.

Definición de resonancia: se define en un circuito lineal que contiene inductores y capacitores estimulado con tensión sinusoidal como la condición para la cual la corriente y la tensión en los terminales del circuito están en fase, y la impedancia total del circuito tiene un valor mínimo $Z=R$, o sea $X=0$; $\varphi =0$.

Las figuras 4.1a y 4.1b representan circuitos resonantes en serie.

Fig. 4.1a

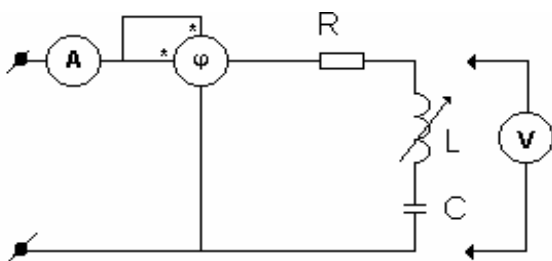
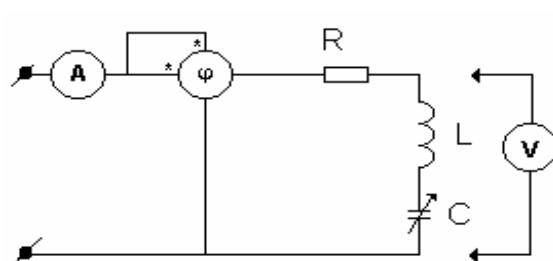


Fig. 4.1b





La impedancia compleja del circuito es:

$$\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = Ze^{\varphi} \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right) \quad (3)$$

En este circuito se produce la resonancia cuando $X_L = X_C$, es decir:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

Cuando $X_L = X_C$, las tensiones en el inductor y en el capacitor son iguales en magnitud pero desfasados en 180° . Por esto a la resonancia serie se le conoce también como resonancia de tensión.

$$\underline{U} = \underline{U}_R + j(\underline{U}_L - \underline{U}_C)$$

y como $\underline{U}_L = \underline{U}_C$, se tiene $\underline{U} = \underline{U}_R$, por lo tanto, toda la tensión de la fuente del circuito queda aplicada a los terminales del resistor.

La impedancia cuando $X=0$ tiene un mínimo:

$$Z = R + jX = R$$

y la corriente tiene un máximo



$$I_0 = \frac{U}{R}$$

Como se había expresado, en este circuito se produce la resonancia cuando las reactancias capacitivas e inductivas se igualan. De la relación (4) se observa que en este circuito se puede lograr la resonancia variando los parámetros L, C o la frecuencia de la fuente de alimentación. Si de esta expresión se despeja la frecuencia angular, se obtiene la frecuencia de resonancia del circuito que se denomina ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

En resonancia se obtiene que:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$$

donde ρ es llamada impedancia característica de un circuito resonante serie.

La relación que existe entre las tensiones del inductor, y el capacitor en resonancia, y la tensión aplicada es:

$$U_L = U_C$$

$$\omega_0 L I_0 = \frac{1}{\omega_0 C} I_0$$

pero

$$I_0 = \frac{U}{R}$$

donde

$$U_L = \omega_0 L \frac{U}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} U = QU$$



$$U_c = \frac{1}{\omega_0 C} \frac{U}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} U = QU$$

Donde Q es llamado factor de calidad del circuito y muestra cuantas veces mayor es la tensión en el inductor o en el capacitor, que la tensión de alimentación aplicada al circuito, o sea, si $Q > 1$ entonces $U_L > U$, y $U_C > U$. Se observa que Q es adimensional. Se puede obtener otra expresión para Q:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{\omega_0 LI_0}{U} = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}} LI_0}{RI_0} = \frac{\rho I_0}{RI_0} = \frac{\rho}{R}$$

El módulo Z y fase φ de la impedancia del circuito RLC serie dependen de la frecuencia.

La dependencia del módulo de la impedancia de la frecuencia se llama característica amplitud – frecuencia, la de fase respecto a la frecuencia se llama fase – frecuencia.

Si $\omega > \omega_0$ la impedancia del circuito tiene un carácter (inductivo o capacitivo) y si $\omega < \omega_0$ otro.

Estudio previo.

- Estudio del circuito de resonancia serie y sus propiedades.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II.
- Software simulador.

Preguntas de control.

- 1- ¿A qué se llama resonancia?
- 2- ¿Bajo qué condición puede suceder la resonancia en un circuito serie?
- 3- ¿Porque en un circuito RLC serie, alimentado con corriente alterna el factor de potencia no puede llegar a ser 1?
- 4- Escribir las fórmulas para determinar la frecuencia de resonancia.
- 5- ¿A qué es igual la impedancia de un circuito serie en resonancia?
- 6- ¿Qué significa el factor de calidad del circuito?
- 7- ¿A qué se llama característica amplitud-frecuencia y fase-frecuencia?



Programa de trabajo.

- 1- Estudio del fenómeno de la resonancia en el circuito RLC serie.
- 2- Cálculo del circuito RLC serie y determinación de todos sus parámetros alrededor del punto de resonancia:
 - Con inductancia L variable de forma simulada.
 - Con capacitancia C variable de forma simulada.
 - Con inductancia L variable de forma práctica.
 - Con capacitancia C variable de forma práctica.
- 3- Comparación de los resultados del cálculo y de las prácticas.

Protocolo a presentar.

Cálculo del circuito serie con inductancia L variable.

- Dibujar el circuito de la Fig. 4.1a con los instrumentos de medición necesarios para realizar las mediciones.
- Con los valores de los parámetros indicados en la tabla 4.1 realizar los cálculos de U_T , U_C , U_L , I_T , P_T , y ϕ en función de la inductancia L.

Tabla 4.1

U(V)	R(Ω)	C(μ F)	L ₁ (mH)	L ₂ (mH)	L ₃ (mH)	L ₄ (mH)
19.70	40	100	100	80	40	20

- Cálculo del factor de calidad Q.
- Con los resultados del cálculo confeccionar la tabla 4.2 y las gráficas de dependencia de los parámetros calculados en función de L.

Tabla 4.2

Resultados del cálculo						
L(mH)	U _T (V)	U _C (V)	U _L (V)	I _T (A)	P _T (W)	ϕ (grado)
L ₁						
L ₂						
L ₃						
L ₄						



Cálculo del circuito serie con capacitancia variable.

- Con los valores de los parámetros indicados en la tabla 4.3 realizar los cálculos de U_T , U_C , U_L , I_T , P_T , y φ en función de la capacitancia C .

Tabla 4.3

U(V)	R(Ω)	L(mH)	C ₁ (μ F)	C ₂ (μ F)	C ₃ (μ F)	C ₄ (μ F)
19.70	40	100	20	50	100	200

- Cálculo del factor de calidad Q .
- Con los resultados del cálculo confeccionar la tabla 4.4 y las gráficas de dependencia de los parámetros calculados en función de C .

Tabla 4.4

Resultados del cálculo						
C(μ F)	U_T (V)	U_C (V)	U_L (V)	I_T (A)	P_T (W)	φ (grado)
C ₁						
C ₂						
C ₃						
C ₄						

Orden de realización del trabajo.

Obtención de resonancia en el circuito RLC serie mediante la variación de la inductancia de forma simulada.

- 1- Montar el circuito de la Fig. 4.1a con los instrumentos de medición necesarios en el software simulador, para realizar la investigación.
- 2- Colocar los valores de los parámetros de los elementos y de la fuente de alimentación según lo indicado en la tabla 4.1 con el valor de la inductancia en el mínimo indicado.
- 3- Variando el valor de la inductancia según los valores de la tabla 4.1, registrar las mediciones en la tabla 4.2.



Obtención de resonancia en el circuito RLC serie mediante la variación de la capacitancia de forma simulada.

- 1- Montar el circuito de la Fig.4.1b con los instrumentos de medición necesarios en el software simulador para realizar la investigación.
- 2- Colocar los valores de los parámetros de los elementos y de la fuente de alimentación según lo indicado en la tabla 4.3.
- 3- Variando el valor de la capacitancia según los valores de la tabla 4.3, registrar las mediciones en la tabla 4.4.

Obtención de resonancia en el circuito RLC serie mediante la variación de la inductancia de forma práctica.

- 1- Montar el circuito de la Fig.4.1a con los instrumentos de medición necesarios, para realizar la práctica.
- 2- Colocar los valores de los parámetros de los elementos y de la fuente de alimentación según lo indicado en la tabla 4.1 con el valor de la inductancia en el mínimo indicado.
- 3- Variando el valor de la inductancia según los valores de la tabla 4.1, registrar las mediciones en la tabla 4.2.

Obtención de resonancia en el circuito RLC serie mediante la variación de la capacitancia de forma práctica.

- 1- Montar el circuito de la Fig.4.1b con los instrumentos de medición necesarios, para realizar la práctica.
- 2- Colocar los valores de los parámetros de los elementos y de la fuente de alimentación según lo indicado en la tabla 4.3.
- 3- Variando el valor de la capacitancia según los valores de la tabla 4.3, registrar las mediciones en la tabla 4.4.
- 4- Con los resultados experimentales construir los gráficos de la dependencia de los parámetros medidos en función de C.



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 2 True RMS Multimeter.
- 1 Decimal Inductance Box.
- 1 Decimal Resistance Box.
- 1 Condensador de 20, 50, 100 y 200 μF .
- 1 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).

3.4.10 Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Cálculos.
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la investigación.

Resultados con la inductancia variable.

Resultados de la práctica						
L(mH)	U_T (V)	U_C (V)	U_L (V)	I_T (A)	P_T (W)	ϕ (grado)
L ₁	19.5	8.46	13.56	0.34	6.34	+14
L ₂	19.5	9.02	11.45	0.36	6.83	+6
L ₃	19.45	10.5	6.01	0.37	6.85	-12
L ₄	19.4	11.4	3.26	0.36	6.43	-21

Resultados de la capacitancia variable.

Resultados de la práctica						
C(μ F)	U_T (V)	U_C (V)	U_L (V)	I_T (A)	P_T (W)	ϕ (grado)
C ₁	19.63	23.25	7.54	0.12	2.02	+52
C ₂	19.68	16.87	13.39	0.34	6.63	+10
C ₃	19.66	8.11	13.7	0.34	6.42	-14
C ₄	19.60	3.35	12.98	0.32	5.54	-26

✓ **Nota:** El signo (+) significa carga inductiva y el (-) capacitaba.



3.5 Laboratorio No.5

Tema

Investigación experimental de un circuito trifásico conectado en estrella y en delta.

Objetivos

- Investigar experimentalmente las propiedades de un circuito trifásico conectado en estrella balanceado y desbalanceado, con neutro y sin neutro.
- Investigar experimentalmente las propiedades de un circuito trifásico conectado en delta balanceado y desbalanceado.

Introducción teórica.

Los sistemas trifásicos son de mucha importancia en los sistemas electroenergético, pues gran parte de la energía se transmite a través de estos. En un sistema trifásico con alimentación balanceada las tensiones de las fases están desfasadas 120° una con respecto a las otras, y se expresan a través de las siguientes ecuaciones:

$$e_A(t) = e \cos(\omega t)$$

$$e_B(t) = e \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C(t) = e \cos(\omega t + 120^\circ)$$

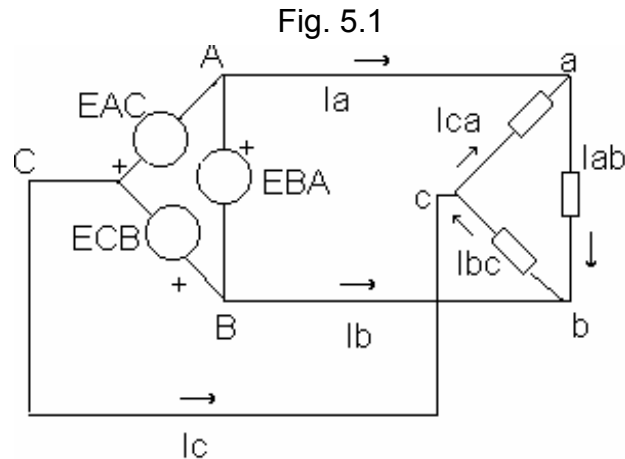
si se suman fasorialmente estas ecuaciones se obtiene que:

$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0$$

En los sistemas trifásicos existen dos formas fundamentales de conexión, tanto de las fuentes como de los receptores: la delta y la estrella.

Conexión en delta.

En un circuito con conexión en delta (Fig. 5.1):



se observa que la tensión de cada fase del generador coincide con la tensión de línea, igualmente en la carga conectada en delta. La tensión en cada fase de la carga es igual a la tensión de línea. Los puntos comunes entre el enrollado del generador y de las ramas del receptor se unen a través de los conductores de línea. Las corrientes que circulan por los enrollados de cada fase del generador se llaman corrientes de fase, las que circulan por las fases de la carga se conocen como corrientes de fase de la carga, y las corrientes que circulan por las líneas son nombradas corrientes de línea.

Como se puede ver en la Fig. 5.1 si se conocen las tensiones de línea de una carga en delta balanceada o desbalanceada, también son conocidas las tensiones de fase de la carga. Luego conociendo las impedancias de cada fase de la carga (Z_{ab} , Z_{bc} , y Z_{ca}), se puede determinar la corriente en cada fase:

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}}$$

$$I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}$$

$$I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}}$$



Las corrientes de línea pueden ser determinadas sumando fasorialmente las corrientes de fase que llegan al terminal de la línea que se trate.

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$$

$$\underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}$$

$$\underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$$

Para una carga balanceada

$$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = \underline{Z}e^{j\varphi_f}$$

se obtiene un sistema balanceado de corriente:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}} = I_f e^{-j\varphi_f}$$

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}} = I_f e^{-j(120^\circ + \varphi_f)}$$

$$\underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}} = I_f e^{j(120^\circ - \varphi_f)}$$

para este sistema balanceado de corriente se puede obtener que

$$I_L = \sqrt{3} I_f e^{-j30^\circ}$$

Conexión en estrella.

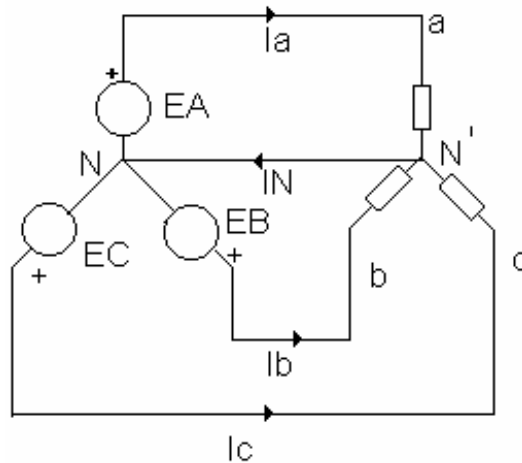
Un sistema con conexión en estrella (Fig. 5.2) se forma uniendo los terminales de todos los enrollados del generador en un punto común.

Los puntos comunes del generador (n) y de la carga (n') se llaman puntos neutros.

Los conductores que unen los enrollados del generador con la carga se llaman conductores de línea, las corrientes que circulan por estos se nombran corrientes de línea. Las corrientes que circulan por la fase del generador se llaman corrientes de fase.

Como puede observarse en la Fig. 5.2 en una conexión en estrella las corrientes de línea coinciden con las corrientes de fase, es decir, $I_L = I_f$, no ocurriendo así con las tensiones de línea que van a ser igual a la diferencia de las tensiones de las fases correspondientes.

Fig. 5.2



$$U_{ab} = E_a - E_b$$

$$U_{bc} = E_b - E_c$$

$$U_{ca} = E_c - E_a$$

Mediante el cálculo se puede demostrar que

$$U_L = \sqrt{3}U_f e^{j30^\circ}$$

Es decir, la tensión de línea es raíz de tres veces mayor que la tensión de fase, y la adelanta en 30° .

En un sistema con conexión en estrella con sus neutros sólidamente unidos es fácil determinar las corrientes si son conocidas las tensiones de fase y las impedancias



de la carga, ya que cuando los neutros están unidos ($Z_n=0$) las tensiones aplicadas a la carga son las tensiones de fase

$$I_a = \frac{U_a}{Z_a}$$

$$I_{=b} = \frac{U_{=b}}{Z_{=b}}$$

$$I_c = \frac{U_c}{Z_c}$$

si las tres impedancias son iguales, las corrientes serán de igual magnitud y desfasadas 120 grados, por lo que:

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

y por el conductor neutro no circula corriente.

Si las impedancias de carga son diferentes, las corrientes serán diferentes en modulo y fase.

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = \underline{I}_n = 0$$

Por lo tanto el conductor neutro circulará una corriente igual a la suma de las corrientes de línea.

Si en una conexión en estrella no existe conductor neutro, o este presenta una impedancia $Z_n \neq 0$, por el método de las tensiones de nodos se obtiene:

$$\underline{U}_{nn'} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_a + \underline{E}_B \underline{Y}_b + \underline{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_n}$$



donde

$$Y_a = \frac{1}{Z_a}$$

$$Y_b = \frac{1}{Z_b}$$

$$Y_c = \frac{1}{Z_c}$$

$$Y_n = \frac{1}{Z_n}$$

Del circuito de la Fig. 5.2 tenemos que:

$$U_{an'} = E_a - U_{nn'}$$

$$U_{bn'} = E_b - U_{nn'}$$

$$U_{cn'} = E_c - U_{nn'}$$

$$I_a = \frac{U_{an'}}{Z_a}$$

$$I_b = \frac{U_{bn'}}{Z_b}$$

$$I_c = \frac{U_{cn'}}{Z_c}$$

Potencia en circuitos trifásicos.

Para calcular la potencia en circuitos trifásicos no balanceados, se aplica el principio de la conservación de la potencia, según el cuál la potencia total es igual a la suma de la potencia de cada una de las fases.



$$P_{3\phi} = \sum_{q=1}^3 P_f$$

donde

$$P_f = U_f I_f \cos \varphi_f$$

es la potencia de una fase.

Igualmente para la potencia reactiva

$$Q_{3\phi} = \sum_{q=1}^3 Q_f$$

donde

$$Q_f = U_f I_f \operatorname{sen} \varphi_f$$

Para sistemas balanceados se cumple que:

$$P_{3\phi} = 3P_f = 3U_f I_f \cos \varphi_f = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_f$$

$$Q_{3\phi} = 3Q_f = 3U_f I_f \operatorname{sen} \varphi_f = \sqrt{3}U_L I_L \operatorname{sen} \varphi_f$$

Estudio previo.

- Estudio de los métodos y vías de resolución de circuitos trifásicos.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II.

Preguntas de control.

- 1 - ¿A qué tensiones se les llama de línea y de fase?
- 2 - ¿Qué relación existe entre las corrientes de líneas y de fase en una conexión en estrella?
- 3 - ¿Cómo se calculan las corrientes de fase en una conexión en delta?
- 4 - ¿Qué relación existe entre las tensiones de líneas y fases en una conexión en estrella?



- 5 - ¿Cómo se calcula la potencia trifásica en un sistema balanceado?
- 6 - ¿Para un circuito con conexión en estrella balanceado, se tiene que $I_L = 5$ A, $\cos\phi = 0.8$ y $U_L = 380$ V. Determinar la corriente de fase, tensión de fase, potencia aparente, activa y reactiva.
- a) $I_f = 5$ A; $U_f = 219,39$ V; $S = 3290,8$ VA; $P = 2632,7$ W; $Q = 1974,5$ Var
- b) $I_f = 2.88$ A; $U_f = 380$ V; $S = 1900.3$ VA; $P = 2632.7$ W; $Q = 1974.5$ VAR
- c) $I_f = 5$ A; $U_f = 127$ V; $S = 110.3$ VA; $P = 880.2$ W; $Q = 660.25$ Var

Programa de trabajo.

1. Cálculo de los regímenes de funcionamiento de los circuitos trifásicos con carga balanceada, y con carga desbalanceada.
 2. Cálculo y determinación experimental de las corrientes, tensiones y potencia en un circuito con conexión estrella con carga balanceada y desbalanceada con neutro y sin neutro.
 3. Cálculo y determinación experimental de las corrientes, tensiones y potencia en un circuito con conexión en delta con carga balanceada y desbalanceada.
 4. Comparación de los datos del cálculo y de los experimentos.
- ✓ Nota 1: Conecte en paralelo con la fase A la resistencia R_7 para desbalancear la carga.
 - ✓ Nota 2: para obtener las impedancias Z_a (Z_{ab}), Z_b (Z_{bc}), Z_c (Z_{ca}) conectar en paralelo la resistencia y el condensador que se indican en la tabla 5.1.

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Dibujar el circuito trifásico de la Fig. 5.2 con los instrumentos de medición necesarios para las mediciones.
- Realizar el cálculo del circuito de la Fig. 5.2 con los valores de los parámetros correspondientes a los elementos indicados en la tabla 5.1.



Tabla 5.1

Pto. No.	$Z_a (Z_{ab})$		$Z_b (Z_{bc})$		$Z_c (Z_{ca})$		$U_f(V)$	$U_L(V)$	$R_7(\Omega)$
	R	C	R	C	R	C			
1	R ₅	C ₅	R ₄	C ₄	R ₈	C ₃	75	129	147
2	R ₂	C ₉	R ₄	C ₂	R ₉	C ₇	75	129	160
3	R ₃	C ₉	R ₅	C ₆	R ₆	C ₈	75	129	139
5	R ₂	C ₃	R ₃	C ₁	R ₈	C ₆	75	129	145
6	R ₁	C ₄	R ₃	C ₆	R ₅	C ₃	75	129	141
7	R ₆	C ₃	R ₈	C ₄	R ₉	C ₈	75	129	142

- Construir la tabla 5.2 para plasmar los resultados del cálculo y de las mediciones.

Tabla 5.2

	Neutro	$U_f(V)$	$U_L(V)$	$I_L(A)$	$I_N(A)$	$P_1(W)$	$P_2(W)$	$P_3(W)$	$\cos\phi$
Balanceado	Sí								
	No								
Desbalanceado	Sí								
	No								

- Dibujar el circuito trifásico con conexión en delta de la Fig. 5.1 con los instrumentos necesarios para las mediciones.
- Realizar el cálculo del circuito de la Fig. 5.1 con los valores de los parámetros correspondientes a los elementos indicados en la tabla 5.1 (carga desbalanceada) y en la tabla 5.2 (carga balanceada)
- Construir la tabla 5.3 para plasmar los resultados del cálculo y de las mediciones.

Tabla 5.3

	$U_L(V)$	$I_f(A)$	$I_L(A)$	$P_1(W)$	$P_2(W)$	$P_3(W)$	$\cos\phi$
Balanceado							
Desbalanceado							



Orden de realización del trabajo.

- 1 - Presentar el protocolo de realización del trabajo con las preguntas respondidas.
- 2 - Circuito con conexión en estrella.
 - Montar el circuito de la Fig. 5.2 con el neutro conectado y los instrumentos necesarios para realizar la medición.
 - . Con carga balanceada (datos de la tabla 5.1)
 - . Con carga desbalanceada (datos de la tabla 5.1)
 - Realizar las mediciones y con los resultados completar la tabla 5.2.
- 3 - Circuito con conexión en delta.
 - Montar el circuito de la Fig. 5.1 y los instrumentos necesarios para realizar la medición.
 - . Con carga balanceada (datos de la tabla 5.1)
 - . Con carga desbalanceada (datos de la tabla 5.1)
 - Realizar las mediciones y con los resultados completar la tabla 5.3.
- 4 - Comparar los resultados del cálculo y del experimento.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 voltímetro.
- 3 amperímetros.
- 3 cofímetro.
- 3 watímetro.

Contenido del informe

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Cálculos.
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la investigación.

Resultados de la conexión estrella.

Resultados de la práctica												
puestos	I				II				III			
	Balancea		Desbalan		Balancea		Desbalan		Balancea		Desbalan	
Neutro	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n
$U_{ab}(V)$												
$U_{bc}(V)$												
$U_{ca}(V)$												
$U_{an}(V)$												
$U_{bn}(V)$												
$U_{cn}(V)$												
$I_a(A)$												
$I_b(A)$												
$I_c(A)$												
$I_N(A)$												
$\varphi_a(\text{grado})$												
$\varphi_b(\text{grado})$												
$\varphi_c(\text{grado})$												
$P_a(W)$												
$P_b(W)$												
$P_c(W)$												

Resultados de la conexión delta.

Resultados de la práctica												
puestos	V				VI				VII			
	Balancea		Desbalan		Balancea		Desbalan		Balancea		Desbalan	
Neutro	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n	c/n	s/n
$U_{ab}(V)$												
$U_{bc}(V)$												
$U_{ca}(V)$												
$U_{an}(V)$												
$U_{bn}(V)$												
$U_{cn}(V)$												
$I_a(A)$												
$I_b(A)$												
$I_c(A)$												
$I_N(A)$												
$\varphi_a(\text{grado})$												
$\varphi_b(\text{grado})$												
$\varphi_c(\text{grado})$												
$P_a(W)$												
$P_b(W)$												
$P_c(W)$												

3.6 Laboratorio No.6

Tema

Investigación experimental de un circuito con inductancia mutua.

Objetivo

- Investigar experimentalmente el acoplamiento inductivo de circuitos con conexión en serie y en paralelo de las bobinas.

Introducción teórica.

En las bobinas con acoplamiento inductivo en corriente alterna en lugar de mostrar como están dispuestos los enrollados a menudo se usa para obtener la misma información un método convencional que emplea un terminal marcado con un punto, asterisco o cualquier otro símbolo.

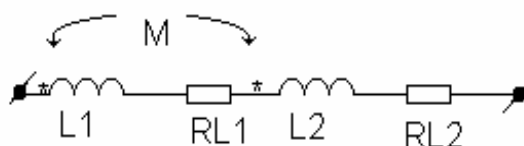
Esta práctica ha sido seguida por muchos años en los transformadores de instrumentos.

Estos símbolos son conocidos como marcas de polaridad. Los mismos se colocan de manera tal que cuando ambas corrientes entran por sus terminales marcados producen flujos en el mismo sentido. De aquí que las marcas de polaridad sean suficientes para indicar la disposición relativa de los enrollados.

Conexión en serie de inductancias mutuas.

Sean dos bobinas con resistencias R_{L1} y R_{L2} , las inductancias L_1 y L_2 e inductancia mutua M , conectadas en serie (Fig. 6.1).

Fig. 6.1





La conexión en serie de las inductancias por acoplamiento magnético puede ser concordante o en oposición.

En la posición concordante la corriente en ambos elementos del circuito tienen en cualquier instante iguales sentidos respecto a los bornes marcados (Fig. 6.1.)

Por lo tanto los flujos magnéticos totales ϕ_1 y ϕ_2 producidos por la corriente i y los de inducción mutua ϕ_{12} y ϕ_{21} conectados en cada elemento se suman.

Si aplicamos la segunda ley de Kirchhoff en forma compleja en la conexión de la Fig.6.1, se tiene:

$$\underline{U} = (R_{L1} + j\omega L_1 + j\omega M) + (R_{L2} + j\omega L_2 + j\omega M) \quad (1)$$

$$\underline{U} = I(\underline{Z}_{10} + \underline{Z}_{20}) = I(R_{L1} + R_{L2}) + j\omega L(L_1 + L_2 + 2M) \quad (2)$$

$$\underline{U} = I(R_e + j\omega L_e) = I\underline{Z}_e \quad (3)$$

donde

$$\underline{Z}_{1e} = R_{L1} + j\omega(L_1 + M)$$

$$\underline{Z}_{2e} = R_{L2} + j\omega(L_2 + M) \quad (4)$$

son las impedancias de las bobinas.

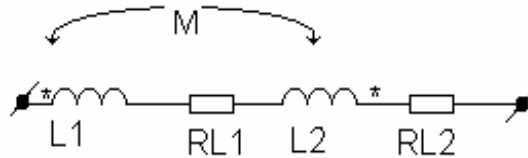
El signo (+) antes de la tensión de la inductancia mutua ($+j\omega M I$) en la ecuación (1) significa que los flujos propios y mutuos de la bobina tienen un mismo sentido, y por lo tanto la tensión de inducción mutua tiene igual signo que la de autoinducción. La reactancia de la bobina en este caso es igual a:

$$X = \omega(L + M)$$

En la conexión en oposición las corrientes en ambos elementos del circuito, en un instante cualquiera tienen sentidos opuestos respecto a los bornes marcados

(Fig.6.2), por lo cual los flujos totales y de inducción mutua concatenados en cada elemento son de distintos signos, y por lo tanto se restan.

Fig. 6.2



Si se aplica la segunda ley de Kirchoff:

$$\underline{U} = \underline{I}(R_{L1} + j\omega L_1 - j\omega M) + (R_{L2} + j\omega L_2 - j\omega M)$$

$$\underline{U} = \underline{I}(R_{L1} + R_{L2}) + j\omega \underline{I}(L_1 + L_2 - 2M) \quad (5)$$

el signo (-) antes de la tensión de inducción significa que la misma tiene sentidos contrarios a la obtención de autoinducción, ya que los flujos propios y mutuos tienen sentidos contrarios.

Se puede ver que la impedancia del circuito es mayor para la conexión concordante que para la de oposición.

Conexión de inductancias mutuas en paralelo.

Sean dos bobinas con resistencias R_{L1} y R_{L2} , las inductancias L_1 y L_2 , e inductancia mutua M , conectadas en paralelos (Fig. 6.3)

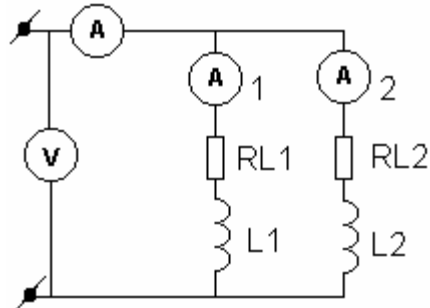
La conexión en paralelo de las inductancias con acoplamiento magnético puede ser concordante o en oposición.

En la conexión concordante la corriente en ambos elementos del circuito tienen en un instante cualquiera igual sentido respecto a los bornes marcados.

Por lo tanto los flujos magnéticos totales ϕ_1 y ϕ_2 producidos por la corriente i , y los de inducción mutua ϕ_{12} y ϕ_{21} concatenados en cada elemento, se suman.

Para los sentidos de las tensiones y corrientes indicados en la Fig. 6.3, se tiene:

Fig. 6.3



$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 \quad (6)$$

$$\underline{U} = \underline{I}_1 \underline{Z}_1 + \underline{I}_2 \underline{Z}_M \quad (7)$$

$$\underline{U} = \underline{I}_1 \underline{Z}_M + \underline{I}_2 \underline{Z}_2 \quad (8)$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2$$

$$\underline{Z}_M = j\omega M$$

Resolviendo las ecuaciones (7) y (8), se tiene:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \underline{U} \quad (9)$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \underline{U} \quad (10)$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \underline{U} \quad (11)$$



De aquí se deduce que la impedancia del circuito es:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_M} \quad (12)$$

En la conexión en oposición los inductores están conectados con sus marcas de polaridad a distintos nodos, por lo tanto las expresiones (7) y (8) quedan de la siguiente forma:

$$\underline{U} = \underline{I}_1 \underline{Z}_1 - \underline{I}_2 \underline{Z}_M \quad (13)$$

$$\underline{U} = \underline{I}_2 \underline{Z}_2 - \underline{I}_1 \underline{Z}_M \quad (14)$$

Resolviendo las ecuaciones (13) y (14), se tiene:

$$\underline{I} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + 2\underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \underline{U}$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \underline{U}$$

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + 2\underline{Z}_M}$$

Estudio previo.

- Estudio de los circuitos con inductancia mutua y sus definiciones básicas.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II.



Preguntas de control.

- 1 - ¿Cuándo un circuito se considera acoplado inductivamente?
- 2 - ¿A qué conexión se llama concordante?
- 3 - Dibujar esquema con conexión concordante y en oposición en los casos de conexión serie y paralelo.
- 4 - ¿Cómo a través del experimento se puede determinar el tipo de conexión?
- 5 - ¿Cómo determinar las marcas de polaridad de dos bobinas con enlace magnético?

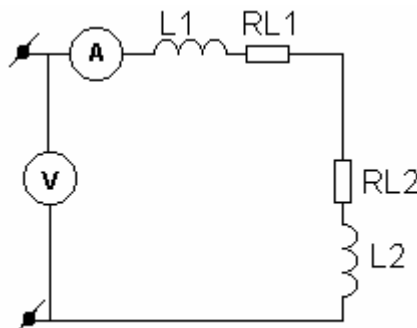
Programa de trabajo.

2. Determinación de los terminales unipolares de las bobinas.
3. Investigación experimental de los circuitos con conexión en serie de las bobinas.
4. Investigación experimental de los circuitos con conexión en paralelo de las bobinas.

Protocolo a presentar.

- Conexión en serie de las bobinas.
- Dibujar el circuito de la Fig. 6.4 con los instrumentos de medición necesarios para las mediciones.

Fig. 6.4



- Construir la tabla 6.1 para los resultados de la medición.



Tabla 6.1

Resultados de la práctica				
Conexión Serie	$U_T(V)$	$U_{L3}(V)$	$U_{L4}(V)$	$I_T(A)$
Concordante				
Oposición				

- Conexión en paralelo de las bobinas.
- Dibujar el circuito de la Fig.6.3 con los instrumentos de medición necesarios para las mediciones.
- Construir la tabla 6.2 para los resultados de las mediciones.

Tabla 6.2

Resultados de la práctica				
Conexión Paralelo	$U_T(V)$	$I_T(A)$	$I_{L3}(A)$	$I_{L4}(A)$
Concordante				
Oposición				

- Proponer según los resultados de las mediciones como identificar los bornes marcados.

Orden de realización del trabajo.

- 1 - Presentar el protocolo con las preguntas de control respondidas.
- 2 - Seleccionar los instrumentos y equipos necesarios para la medición.
- 3 - Montar un circuito para determinar las marcas de polaridad de las bobinas.
- 4 - Conexión en series de inductancias.
 - 4.1 - Montar el circuito de la Fig.6.4 con la conexión concordante de las bobinas.
 - 4.2 - Colocar la tensión según los valores indicados para este tipo de conexión en la tabla 6.3.

Tabla 6.3

$U_{serie}(V)$	$U_{paralelo}(V)$
10.34	5.76

✓ **Nota:** Los inductores L_3 y L_4 son los de los **Puestos**



- 4.3 - Conectar el circuito y realizar las mediciones.
- 4.4 - Los resultados de las mediciones situarlos en la tabla 6.1.
- 4.5 - Montar el circuito de la Fig.6.4 con la conexión en oposición de los inductores.
- 4.6 - Repetir los puntos 4.2, 4.3 y 4.4 para el caso en oposición.
- 5 - Conexión en paralelo de las inductancias.
- 5.1 - Montar el circuito de la Fig. 6.3 con la conexión concordante de las bobinas.
- 5.2 - Colocar la tensión según los valores indicados para este tipo de conexión en la tabla 6.3.
- 5.3 - Conectar el circuito y realizar las mediciones.
- 5.4 - Los resultados de las mediciones situarlos en la tabla 6.2.
- 5.5 - Montar el circuito de la Fig. 6.3 con la conexión en oposición de los inductores.
- 5.6 - Repetir los puntos 5.2, 5.3 y 5.4 para el caso en oposición.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 4 True RMS Multimeter.

✓ **Nota:** Las inductancias mutuas utilizadas son L_3 y L_4 de los **Puestos**.

Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la investigación.

Conexión Serie.

Resultados de la práctica				
Conexión Serie	$U_T(V)$	$U_{L3}(V)$	$U_{L4}(V)$	$I_T(A)$
Concordante	10.35	5.03	5.31	0.16
Oposición	10.14	4.07	5.92	1.39

Conexión Paralelo.

Resultados de la práctica				
Conexión Paralelo	$U_T(V)$	$I_T(A)$	$I_{L3}(A)$	$I_{L4}(A)$
Concordante	5.75	0.35	0.20	0.14
Oposición	5.43	2.98	1.53	1.44

3.7 Laboratorio No.7

Tema

Investigación de los parámetros de un cuadripolo.

Objetivos

- Determinación de las constantes generalizadas de un cuadripolo pasivo lineal tanto de forma práctica como simulada.
- Determinación de las constantes generalizadas en una asociación de cuadripolos en cascada tanto de forma práctica como simulada.

Introducción teórica.

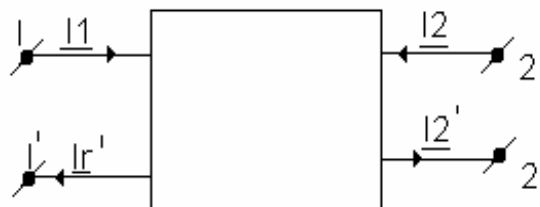
Conceptos y características de los cuadripolos.

El circuito eléctrico analizado respecto a dos pares de terminales: se llama cuadripolo.

El estudio de los cuadripolos es de gran importancia ya que permite caracterizar una red tan complicada como se quiera a partir de dos pares de terminales, los de mayor interés.

En el comportamiento de los cuadripolos serán de interés solo dos pares de terminales por lo que se simbolizan por un bloque (Fig. 7.1)

Fig. 7.1



A los terminales de la izquierda (1, 1") se les denominan terminales de entrada, y al par de la derecha (2, 2") terminales de salida.



Los cuadripolos se clasifican de acuerdo a los elementos que los componen, o a su comportamiento en:

- 1- Lineales si están compuestos por elementos lineales; no lineales si presentan por lo menos un elemento no lineal.
- 2- Activos, si presentan fuentes; pasivos, si solo están compuestos por elementos R, L, C, M.
- 3- Recíproco si cumplen el principio de reciprocidad.
- 4- Simétricos si al intercambiar de terminales las fuentes y la carga, el comportamiento del cuadripolo sigue siendo el mismo.

Ecuaciones básicas.

En el comportamiento del cuadripolo es suficiente considerar cuatro variables para definir completamente su comportamiento: las tensiones y corrientes en los dos pares de terminales. Dos cualesquiera de estas variables pueden ser consideradas independientes (X_1, X_2) y otras dos (S_1, S_2) serán consideradas como dependientes, pudiéndose escribir el siguiente sistema de ecuaciones:

$$S_1 = f(X_1, X_2)$$

$$S_2 = f(X_1, X_2)$$

Para los cuadripolos lineales se cumple el principio de superposición, y se puede plantear que:

$$\underline{S}_1 = \underline{K}_{11} \underline{X}_1 + \underline{K}_{12} \underline{X}_2 \quad (1)$$

$$\underline{S}_2 = \underline{K}_{21} \underline{X}_1 + \underline{K}_{22} \underline{X}_2 \quad (2)$$

En dependencia de las variables que se tomen como dependientes e independientes se formarán sistemas de ecuaciones diferentes, y los parámetros K tendrán distintas dimensiones.



Existen seis formas posibles de combinar las variables, pero en este caso se realizará el análisis de una sola de ellas que será la utilizada en este laboratorio: las ecuaciones en función de las constantes generalizadas.

Si se cogen como variables independientes la tensión y la corriente en los terminales de salida (U_2, I_2), y como variables dependientes la tensión y la corriente en los terminales de entrada (U_1, I_1):

$$\underline{U}_1 = \underline{A}_{11}\underline{U}_2 - \underline{A}_{12}I_2 \quad (3)$$

$$I_1 = \underline{A}_{21}\underline{U}_2 - \underline{A}_{22}I_2 \quad (4)$$

Este sistema de ecuaciones queda en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A}_{11} & \underline{A}_{12} \\ \underline{A}_{21} & \underline{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Para la medición, cálculo o interpretación de estos parámetros será necesario anular las corrientes ($I_2=0$) o la tensión ($U_2=0$) en los terminales de salida, por lo que un caso será de circuito abierto y el otro de cortocircuito. Para $I_2=0$, de las ecuaciones (3) y (4) se tiene:

$$\underline{A}_{11} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} \Big|_{I_2=0}$$

$$\underline{A}_{21} = \frac{I_1}{\underline{U}_2} \Big|_{I_2=0}$$

Se puede interpretar el parámetro \underline{A}_{11} como la función de transferencia de tensión cuando la salida está en circuito abierto y es adimensional; y el parámetro \underline{A}_{21} como



la admitancia transferencial cuando a la salida hay un circuito abierto. Para $U_2=0$, de las ecuaciones (3) y (4) se tiene:

$$A_{12} = \frac{U_1}{-I_2} I_{U_2} = 0$$

$$A_{22} = \frac{I_1}{-I_2} I_{U_2} = 0$$

En este caso el parámetro A_{12} puede ser interpretado como la impedancia de transferencia entre los terminales 1 y 2 cuando a la salida hay un cortocircuito; y el parámetro A_{22} como la relación de transferencia de corriente cuando la salida se encuentra en cortocircuito.

Para todos los cuadripolos recíprocos se cumple que:

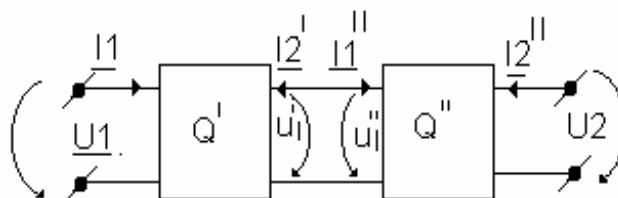
$$A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21} = 1$$

Los cuadripolos pueden conectarse o asociarse de varias formas: en serie, paralelo, en serie – paralelo, paralelo – serie o en cascada.

Asociación en cascada de cuadripolos.

Se dice que dos cuadripolos están conectados en cascada cuando los terminales de salida de uno se conectan con los terminales de entrada del otro, como se muestra en la Fig. 7.2.

Fig. 7.2



Para este tipo de asociación se cumple que la matriz $[A]$ de la asociación es el producto de las matrices de los cuadripolos independientes, y en forma general se puede decir que



$$[A] = [A'] [A''] \dots [A^{(n)}]$$

El orden de multiplicación de las matrices no puede ser alterado, ya que el producto de las matrices no es conmutativo.

Estudio previo.

- Estudio sobre la clasificación, ecuaciones básicas y asociación de cuadripolos.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos II.
- Software simulador.

Preguntas de control.

- 1 - ¿De acuerdo a que parámetros se clasifican los cuadripolos?
- 2 - ¿Cuándo un cuadripolo es recíproco?
- 3 - ¿Qué condición cumple la matriz $[A]$ en un cuadripolo recíproco?
- 4 - ¿Cuándo un cuadripolo es simétrico?
- 5 - ¿A qué es igual la matriz resultante de una asociación en cascada de cuadripolos?

Programa de trabajo.

1. Cálculo de las constantes generalizadas de dos cuadripolos independientes.
2. Cálculo de las constantes generalizadas de una asociación en cascada de dos cuadripolos.
3. Determinación experimental de las constantes generalizadas de dos cuadripolos independientes.
4. Determinación experimental de las constantes generalizadas de la asociación en cascada de dos cuadripolos.

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Dibujar el circuito de la Fig.7.3 con los instrumentos de medición necesarios para la determinación de las constantes generalizadas.

- Realizar el cálculo de las constantes generalizadas del circuito de la Fig.7.3 con los valores de los parámetros correspondientes a los elementos indicados en la tabla 7.1.

Fig. 7.3

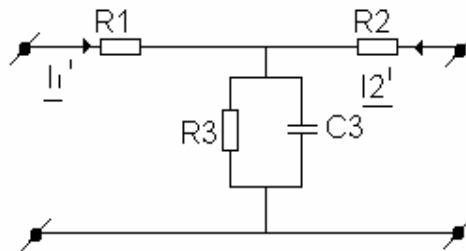


Tabla 7.1

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$R_5(\Omega)$	$R_6(\Omega)$	$C_5(\mu F)$	$C_3(\mu F)$	$U(V)$
50	40	30	110	40	80	20	20	21.91

- Repetir los puntos 2 y 3 para el circuito de la Fig. 7.4.
- Presentar el esquema con la asociación en cascada de los cuadripolos de las figuras 7.3 y 7.4 con los instrumentos necesarios para realizar la medición.
- Calcular las constantes generalizadas de la asociación en cascada de los dos cuadripolos, y comprobar que $[A] = [A'] [A'']$.
- Confeccionar la tabla 7.2 con los resultados de todos los cálculos.

Fig. 7.4

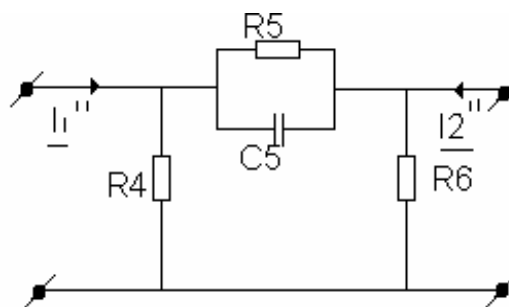




Tabla 7.2

Constantes Generalizadas	Cálculo		Práctica		Simulación	
	valor	ángulo	valor	ángulo	valor	ángulo
A_{11}'						
A_{12}'						
A_{21}'						
A_{22}'						
A_{11}''						
A_{12}''						
A_{21}''						
A_{22}''						
A_{11}						
A_{12}						
A_{21}						
A_{22}						

➤ Confeccionar la tabla 7.3 para los resultados de las mediciones.

Tabla 7.3

Resultado de la Práctica								
$I_2=0$								
$U_1'(V)$	$U_2'(V)$	$I_1'(A)$	$U_1''(V)$	$U_2''(V)$	$I_1''(A)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_1(A)$
$U_2=0$								
$U_1'(V)$	$I_1'(A)$	$-I_2'(A)$	$U_1''(V)$	$I_1''(A)$	$-I_2''(A)$	$U_1(V)$	$I_1(A)$	$-I_2(A)$



Resultado de la simulación								
$I_2=0$								
$U_1'(V)$	$U_2'(V)$	$I_1'(A)$	$U_1''(V)$	$U_2''(V)$	$I_1''(A)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_1(A)$
$U_2=0$								
$U_1'(V)$	$I_1'(A)$	$-I_2'(A)$	$U_1''(V)$	$I_1''(A)$	$-I_2''(A)$	$U_1(V)$	$I_1(A)$	$-I_2(A)$

Orden de realización del trabajo.

Previamente a la práctica, y como autopreparación para la misma el estudiante deberá en la computadora, por medio de un software simulador realizar las siguientes tareas:

- 1- Montar el circuito de la Fig. 7.3 con los instrumentos necesarios.
- 2- Realizar las mediciones indicadas con.
 - $I_2=0$ (circuito abierto a la salida).
 - $U_2=0$ (cortocircuito a la salida).
- 3- Repetir los puntos 1 y 2 para el circuito de la figura que seleccionara por el número de la lista y que se encuentra al final de la guía.
- 4- Montar el circuito de la asociación en cascada de los cuadripolos con los circuitos antes mencionados y los instrumentos necesarios.
- 5- Repetir el punto 2 para la asociación de los cuadripolos.
- 7- Plasmar los resultados de las mediciones en la tabla 7.3.
- 8 - Con los resultados de las mediciones calcular los parámetros generalizados de los cuadripolos investigados e incluirlos en la tabla 7.2.
- 9 - Comparar los resultados de los cálculos teóricos y experimentales.
- 10- Presentar el protocolo de realización del trabajo con las preguntas respondidas
- 11- Montar el circuito de la figura 7.3 con los instrumentos necesarios.
- 12- Luego de obtener la autorización del profesor, energizar el circuito y realizar las mediciones indicadas con. :



- $I_2=0$ circuito abierto a la salida.
 - $U_2=0$ cortocircuito a la salida.
- 13- Repetir los puntos 11 y 12 para la figura 7.4.
- 14- Montar el circuito de la asociación en cascada de los cuadripolos con los instrumentos necesarios.
- 15- Repetir el punto 12 para la asociación de los cuadripolos.
- 16- Plasmar los resultados de las mediciones en la tabla 7.3.
- 17- Con los resultados de las mediciones calcular los parámetros generalizados de los cuadripolos investigados e incluirlos en la tabla 7.2.
- 18 - Comparar los resultados de los cálculos, simulación y la práctica.

Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 3 Modern Digital Multi-Purpose Meter
- 6 Decimal Resistance Box.
- 2 Condensadores de 20 μ F.
- 4 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A)

Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Cálculos.
- Tablas con los resultados.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la investigación.

Resultado de la Práctica								
$I_2=0$								
$U_1'(V)$	$U_2'(V)$	$I_1'(A)$	$U_1''(V)$	$U_2''(V)$	$I_1''(A)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_1(A)$
21.80	9.56	0.25	21.73	14.78	0.38	21.80	5.21	0.29
$U_2=0$								
$U_1'(V)$	$I_1'(A)$	$-I_2'(A)$	$U_1''(V)$	$I_1''(A)$	$-I_2''(A)$	$U_1(V)$	$I_1(A)$	$-I_2(A)$
21.77	0.32	0.13	21.61	0.75	0.49	21.85	0.31	0.03

Constantes Generalizadas	Práctica	
	valor	ángulo
A_{11}'	2.28	+10
A_{12}'	167.46	+5
A_{21}'	0.026	-19
A_{22}'	2.46	-8
A_{11}''	1.47	-7
A_{12}''	44.10	-19
A_{21}''	0.025	+2
A_{22}''	1.53	+2
A_{11}	4.18	+1
A_{12}	728.33	-4
A_{21}	0.055	-12
A_{22}	10.33	-12

✓ **Nota:** El signo (+) significa carga inductiva y el (-) capacitaba.



3.8 Cantidad de Puestos a montar por Laboratorio.

1- Laboratorio No.1

- ✓ Se pueden montar 5 puestos.
- 5 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 5 Decimal Inductance Box.
- 5 Decimal Resistance Box.
- 5 Condensador de 100 μ F.
- 10 True RMS Multimeter.
- 5 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).

2- Laboratorio No.2

- ✓ Se pueden montar 5 puestos.
- 5 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 5 Rheostat (0 - 200 Ω).
- 5 Decimal Inductance Box.
- 5 Condensador de 20 μ F.
- 7 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 10 True RMS Multimeter.
- 3 Scope Digital Multimeter.
- 5 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).

3- Laboratorio No.3

- ✓ Se pueden montar 5 puestos.
- 5 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 10 True RMS Multimeter.
- 5 Decimal Inductance Box.
- 10 Decimal Resistance Box.
- 10 Rheostat (0 - 200 Ω).
- 5 Condensador de 20 μ F.
- 5 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).



4- Laboratorio No.4

- ✓ Se pueden montar 5 puestos.
- 5 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 10 True RMS Multimeter Modern.
- 5 Decimal Inductance Box.
- 5 Decimal Resistance Box.
- 5 Condensadores de 20, 50, 100 y 200 μF .
- 5 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).

5- Laboratorio No.6

- ✓ Se pueden montar 5 puestos.
 - 5 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
 - 10 True RMS Multimeter.
 - 7 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
 - 3 Scope Digital Multimeter.
- ✓ **Nota:** Las inductancias mutuas que se pueden utilizar son L_3 y L_4 de los **Puestos I, II, III, V y VI.**

6- Laboratorio No.7

- ✓ Se pueden montar 2 puestos.
- 2 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 6 Modern Digital Multi-Purpose Meter.
- 6 Decimal Resistance Box.
- 6 Rheostat (0 - 200 Ω).
- 4 Condensadores de 20 μF .
- 8 Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A).



En los seis primeros laboratorios se pueden montar al menos 5 puestos. Nosotros consideramos que se pueden realizar de forma frontal, lo cual es una ventaja para los estudiantes y profesores a la hora de evaluar los conocimientos adquiridos en la práctica. Para eso el subgrupo debe dividirse de forma equitativa, si es posible 2 por puesto, como máximo 3.

El laboratorio 6 se debe realizar solamente con los inductores con acoplamiento magnético que se encuentran en los puestos I, II, III, V y VI.

En el laboratorio 7 solo se pueden montar 2 puestos debido a la falta de watímetros y resistencias para la medición de potencia en las ramas y la incorporación de otros puestos. Por lo antes expuesto estos laboratorios no se pueden montar de forma frontal, se debe dividir el subgrupo en 2 para una mejor asimilación del conocimiento.



Capítulo IV: Guía de los laboratorios de Circuito Eléctrico III.

Los aspectos relacionados con la organización, planificación y control de las prácticas se tratarán en esta asignatura de la forma abordada en el capítulo señalado con 2.a) y 2.b).

4.3 Laboratorio No.3

Tema

Investigación experimental de un resistor no lineal.

Objetivos

- Investigar experimentalmente el esquema en puente con resistores lineales y no lineales para corriente directa y corriente alterna.

Introducción teórica.

Los resistores no lineales son aquellos en los que la relación entre las variables U - I no siguen una ley lineal. Para describir las características de los resistores no lineales se utilizan las funciones $I=I(U)$ y $U=U(I)$, siendo la primera la más usada para estas características es indispensable que sea conocido todo el intervalo de variación de la corriente y la tensión en el que será utilizado él: varistor. En estos elementos la magnitud de la resistencia depende de la corriente, y no se cumple el principio de la superposición.

La solución de circuitos no lineales se realiza por métodos aproximados, métodos numéricos o por métodos gráficos, pues las ecuaciones a resolver por métodos analíticos son muy complejas o no tienen solución, y en otros casos no se tiene una descripción analítica sino una tabla de valores.

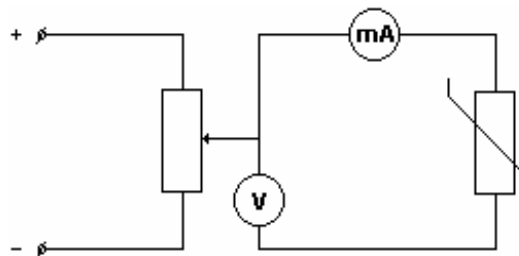
En dependencia de la forma de la característica los elementos pueden dividirse en bilaterales o unilaterales.

En los bilaterales el comportamiento es independiente del sentido de la corriente y el voltaje. En los unilaterales la característica V - A varía al cambiar el sentido de la corriente y la tensión.

Los resistores no lineales con características bilaterales se le denominan varistores, estos son elementos construidos con sustancias semiconductoras de carburo y silicio (Tiritas, Militas, Tornitas). En la técnica los varistores se usan para protección de las sobretensiones en los convertidores de frecuencia y de tensión. La característica corriente tensión de la resistencia que se emplea en este trabajo está relacionada con los valores instantáneos de tensión y corriente, tal característica puede ser trazada durante el ensayo del varistor en la corriente continua.

En el trabajo se investiga el circuito eléctrico no lineal, el esquema del cual está representado en la Fig. 3.1.

Fig. 3.1



Para tensión continua de entrada U_1 , las ecuaciones para el circuito son:

$$U_1 = u' + u'' = RI + u''$$

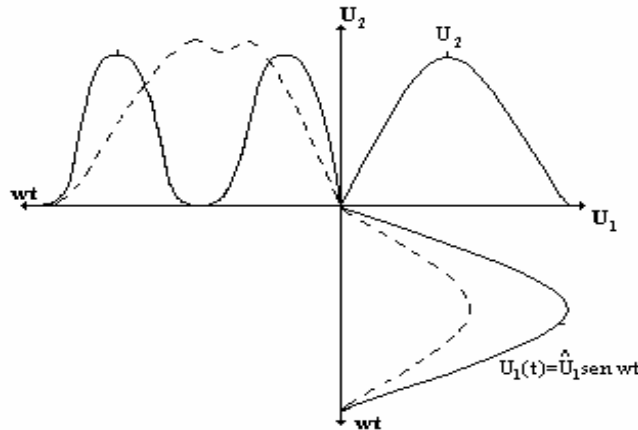
$$U_2 = u'' - u'' = u' - RI$$

Las características corriente - tensión de los elementos $u'=RI$, $u''=f(I)$ y la dependencia de la tensión de entrada U_1 y de salida U_2 en función de la corriente I , construida por la ecuación (1)

En la zona de valores máximos U_2 , en los límites de variación de entrada de $U_{1(1)}$ a $U_{1(2)}$ tiene lugar la estabilización del voltaje de salida. Para la tensión $U_{1(3)}$ el voltaje de salida es igual a 0 ($U_2=0$) con la disminución y aumento de la tensión de entrada del valor $U_{1(3)}$ en la salida del esquema surge la tensión U_2 con diferente polaridad. Para $U_1 < U_{1(3)}$, $U_2 > 0$ y para $U_1 > U_{1(3)}$, $U_2 < 0$, entonces dado el esquema puede ser utilizado como indicador de variaciones del voltaje de entrada. Cuando en la entrada del circuito (Fig. 3.1) la tensión es sinusoidal.

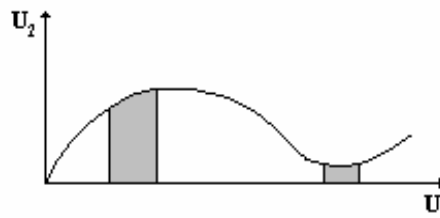
$u_1 = \hat{u}_1 \text{sen } \omega t$, la dependencia de valores instantáneos de las tensiones de entrada y salida será igual a la función $U_2(U_1)$ (Fig. 3.2) obtenida para corriente continua.

Fig. 3.2



Utilizando la dependencia funcional $U_2(U_1)$ y para la tensión de entrada sinusoidal, $u_1 = \hat{u}_1 \text{sen } \omega t$ con diferente magnitud de amplitud \hat{u}_1 se puede construir la curva de valor instantáneo de la tensión de salida, la cual está representada en la Fig. 3.3 dando el valor de la tensión de entrada $u_1 = \hat{u}_1 \text{sen } \omega t$, determinamos desde $U_2(U_1)$ el valor instantáneo del voltaje de salida y marcamos el punto en la curva $U_2(t)$, la tensión de salida se determina por la magnitud de amplitud de la tensión de entrada \hat{u}_1 .

Fig.3.3



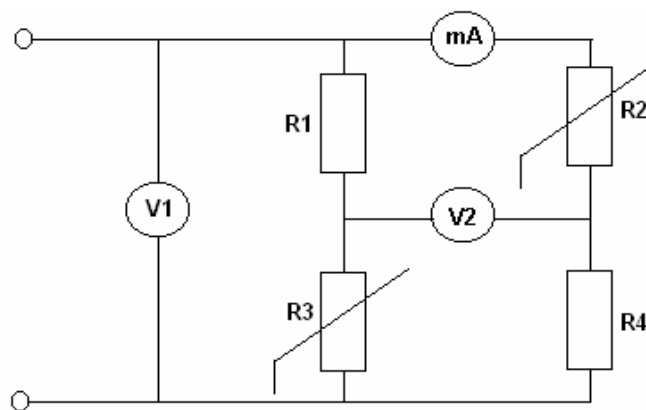
Para la amplitud de tensión de entrada \hat{u}_1 menor que el valor de tensión en el punto A ($\hat{u}_1 \leq u_1(A)$), la tensión en el punto en el transcurso del semiperiodo $0 \leq \omega t \leq \pi$ no cambia su signo (Fig. 3.3).

Con el aumento de la tensión de entrada hasta cierto valor la tensión de salida posee la frecuencia tres veces mayor que la de la tensión de entrada, es decir, $f_2=3f_1$ (Fig. 3.3).

De tal manera el esquema examinado puede ser utilizado para la triplicación de la frecuencia.

La dependencia de los valores efectivos de las tensiones de salida y entrada del esquema está representada en la Fig. 3.4, esta dependencia tiene expresada de forma clara el máximo y mínimo de la tensión de salida.

Fig. 3.4



En las zonas de puntos de máximo y mínimo la tensión de salida cambia muy poco, por esta razón el esquema dado puede trabajar como estabilizador de tensión.

Las posibles zonas de estabilización de tensión de salida están indicadas en la Fig. 3.3 con líneas de trazos.

Estudio previo.

- Estudio de los resistores no lineales. Características y aplicaciones.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos III.



Preguntas de control.

- 1- ¿Qué elementos del circuito se llaman no lineales?
- 2- ¿Qué transformaciones pueden ser realizadas en los circuitos eléctricos con ayuda de elementos no lineales?
- 3- ¿En qué consiste el efecto de estabilización de la tensión?
- 4- Según las características corriente-tensión del resistor no lineal (Fig. 3.1), dibujar la forma de onda de la corriente a la tensión sinusoidal.

Programa de trabajo.

- 1- Determinación experimental de la característica corriente-tensión del varistor.
- 2- Investigación experimental del esquema en puente en varistores, (fig. 3.4) para la tensión de entrada continua y sinusoidal.
- 3- Comparación de los resultados experimentales con los del cálculo grafoanalítico.

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Montar el esquema eléctrico de la Fig. 3.4 con los instrumentos de medición necesarios para realizar la medición.
- Determinación experimental de la función $U_2(U_1)$ con corriente continua.
- Construir la tabla 3.2 para plasmar las mediciones del experimento.

Tabla 3.2

Corriente directa										
posición	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$U_1(V)$										
$U_2(V)$										
$I(mA)$										

- Montar el esquema eléctrico de la Fig. 3.4 con los instrumentos de medición necesarios para realizar la medición.



- Determinación experimental de la dependencia entre los valores efectivos $U_2(U_1)$ con alimentación sinusoidal.
- Construir la tabla 3.3 para plasmar las mediciones del experimento.

Tabla 3.3

Corriente alterna										
posición	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$U_1(V)$										
$U_2(V)$										
$I(mA)$										

- Trazar las curvas $U_2(t)$ a través del osciloscopio.

Orden de realización del trabajo.

- 1- Presentar el protocolo de investigación al profesor.
- 2- Montar en el **Puesto IV** el esquema de la Fig. 3.4 para trazar la dependencia $U_2(U_1)$ para corriente continua.
- 3- Colocar el valor de tensión de la fuente en su posición inferior (2).
- 4- Variar la tensión según las posiciones de la fuente indicadas en la tabla 3.2, realizar las mediciones y anotar los resultados.
- 5- Observar y salvar las curvas de $U_2(U_1)$ a través del osciloscopio para las posiciones (2) y (12) de la fuente de tensión.
- 6- Cambiar los instrumentos de medición. Montar en el **Puesto IV** el esquema de la Fig. 3.4 y alimentar el circuito con una fuente de tensión sinusoidal.
- 7- Instalar la fuente de tensión sinusoidal en su posición inferior (2).
- 8- Variar la tensión según las posiciones indicados en la tabla 3.3, realizar las mediciones y anotar los resultados.
- 9- Observar y salvar las curvas de $U_2(U_1)$ a través del osciloscopio para las posiciones (2) y (12) de la fuente de tensión.



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 2 Modern Digital Multi-Purpose Meter
- 1 Osciloscopio Digital.

✓ **Nota:** El circuito se montará en el **Puesto IV.**

Contenido del informe.

- Título.
- Objetivos de la práctica.
- Circuitos montados.
- Tablas con los resultados experimentales.
- Gráficos trazados con los datos del experimento.
- Gráficas salvadas a partir del software y del osciloscopio en la práctica de dependencia entre los elementos.
- Conclusiones.



Tablas con los resultados de la investigación.

Resultados de las mediciones del esquema en puente con corriente directa.

Resultados de la práctica en corriente directa										
posición	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U₁(V)	4.91	6.91	8.92	10.92	12.93	14.93	17.33	19.52	21.53	23.50
U₂(V)	4.32	5.96	7.53	9.02	10.42	11.78	13.22	14.48	15.56	16.55
I(mA)	0.49	0.79	1.16	1.58	2.10	2.68	3.46	4.2	5.1	5.9

Resultados de las mediciones del esquema en puente con corriente alterna.

Resultados de la práctica en corriente alterna										
posición	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U₁(V)	3.44	5.72	8.02	10.33	12.61	14.92	17.62	20.11	22.41	24.72
U₂(V)	3.02	4.92	6.78	8.55	10.22	11.82	13.55	15.04	16.31	17.49
I(mA)	0.2	0.4	0.8	1.2	1.8	2.4	3.3	4.1	5	6



4.3.12 Resultados de la práctica.

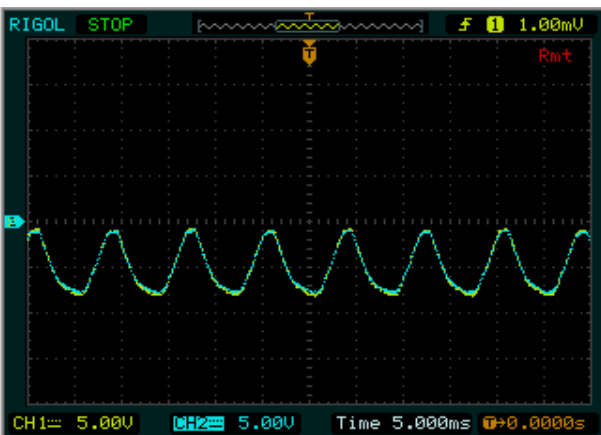
Curvas de U2(U1) según el Osciloscopio Digital.

Tensión U2 (amarillo) y Tensión U1 (azul)

Corriente Directa.

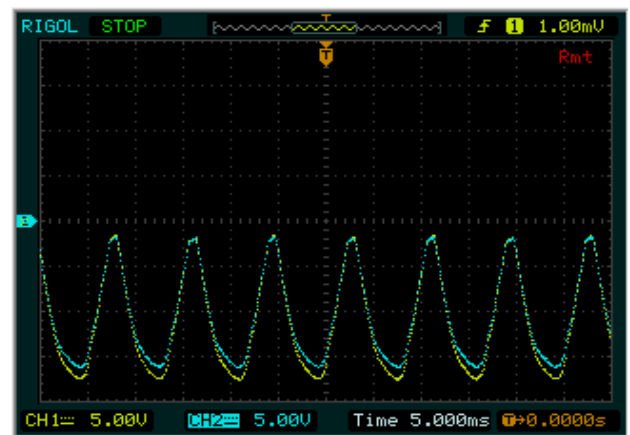
Posición (2).

Tensión: 4.91V.



Posición (12).

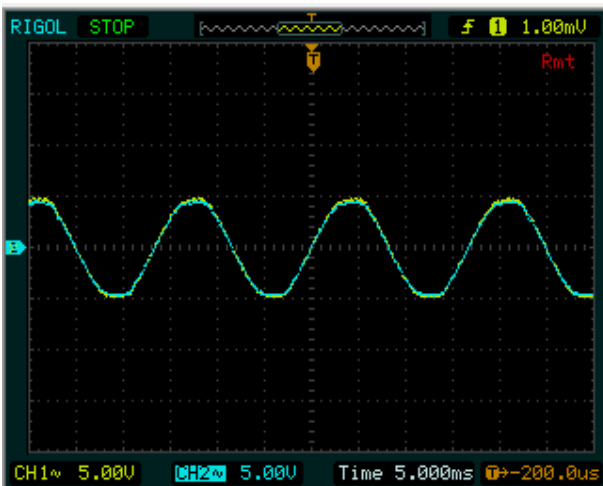
Tensión: 14.93V.



Corriente Alterna.

Posición (2).

Tensión: 3.44V.



Posición (12).

Tensión: 14.92V.





4.4 Laboratorio No.4

Tema

Investigación de las características del diodo como elemento no lineal.

Objetivos

- Investigación de los procesos estables en el circuito RL con un diodo tanto de forma práctica como simulada.

Introducción teórica.

En este trabajo se investiga el circuito eléctrico cuyo esquema se representa en la Fig. 4.1.

Según la segunda ley de Kirchhoff en este circuito se tiene la ecuación:

$$U = \hat{U} \text{sen}(wt) = iR + L \frac{di}{dt} + U_D \quad (1)$$

La ecuación (1) es no lineal pues la dependencia $u_d(i)$ es no lineal. Para resolver esta ecuación no lineal se aplicará el método de aproximación.

La característica corriente- tensión del diodo es aproximadamente dos segmentos de recta, en el primer segmento el diodo conduce la corriente $i > 0$, $u_d < 0$.

Cuando el diodo está en conducción $u_d = 0$, la ecuación (1) toma la siguiente forma:

$$\hat{u} \text{sen}(wt) = iR + L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Cuando el diodo no conduce $i = 0$, y la ecuación será:

$$\hat{u} \text{sen}(wt) = u_d \quad (3)$$

Entonces la ecuación no lineal (1) se transforma en dos lineales (2) y (3)

La solución de la ecuación (2) se puede hallar como la suma de dos soluciones



$$i = i' + i''$$

una de las cuales (i') es la solución particular de la ecuación diferencial no homogénea y es la componente forzada de la corriente, la segunda (i'') es la solución de la ecuación diferencial homogénea

$$iR + L \frac{di}{dt} = 0$$

y representa la componente libre de la corriente, para este caso:

$$i' = \hat{i} \operatorname{sen}(\omega t - \varphi)$$

donde

$$\hat{i} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R}$$

$$i'' = Ae^{kt}$$

donde k - raíz de la ecuación característica

$$R + Lk = 0$$

$$k = -\frac{R}{L}$$

A - constante de integración que se determina según la primera ley de la conmutación.

$$i = i' + i'' = \hat{i} \operatorname{sen}(\omega t - \varphi) + Ae^{-\frac{R}{L}t}$$



$$i(0_+) = i'(0_+) + i''(0_+) = -\hat{i} \operatorname{sen} \varphi + A = 0 = i(0_-)$$

$$A = \hat{i} \operatorname{sen} \varphi$$

al sustituir se obtiene:

$$i = i' + i'' = \hat{i} \operatorname{sen}(\omega t - \varphi) + \hat{i} \operatorname{sen} \varphi e^{-\frac{R}{L}t}$$

Las tensiones en la resistencia activa R y la inductancia L se determina a través de la corriente i.

$$u_R = \hat{i}R \operatorname{sen}(\omega t - \varphi) + \hat{i}R \operatorname{sen} \varphi e^{-\frac{R}{L}t} \quad (5)$$

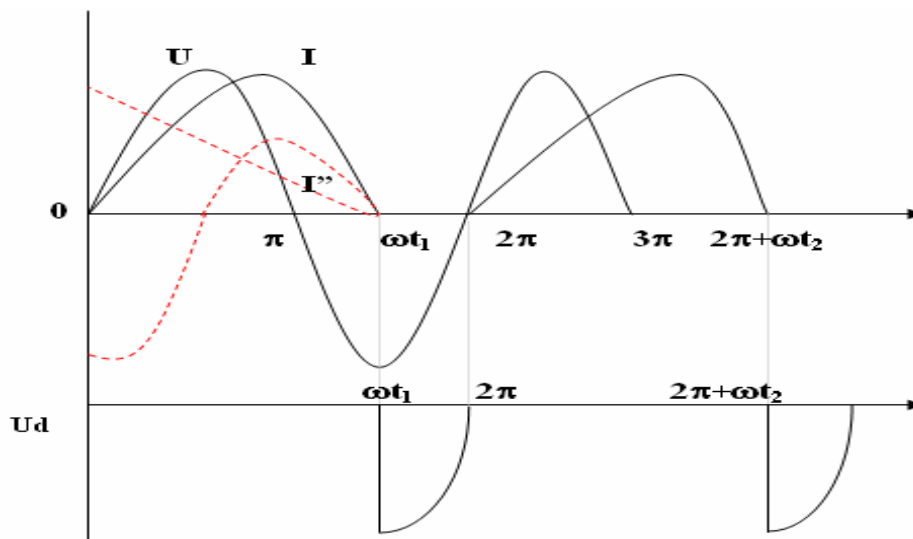
$$u_L = L \frac{di}{dt} = \omega \hat{i} \cos(\omega t - \varphi) - \hat{i}R \operatorname{sen} \varphi e^{-\frac{R}{L}t} \quad (6)$$

Los gráficos de variación de $i(t)$, $u_d(t)$ están representados en la Fig. 4.2.

En el instante t_1 la corriente igual a cero y el diodo deja de conducir. Este instante se determina a partir de la ecuación

$$0 = \hat{i} \operatorname{sen}(\omega t_1 - \varphi) + \hat{i} \operatorname{sen} \varphi e^{-\frac{R}{L}t_1}$$

Fig. 4.2



La solución analítica de la ecuación trascendente es compleja. Es más fácil determinar el tiempo t_1 gráficamente, como el instante en que $i=0$ (Fig. 4.2) El ángulo



de ωt_1 se llama ángulo de corte de la corriente. La magnitud t_1 se determina en relación con R y L para

$$L = 0; R \neq 0; \omega t_1 = \pi; \text{ para } L \neq 0; R = 0 \text{ y } \omega t_1 = 2\pi$$

es decir

$$\pi \leq \omega t_1 \leq 2\pi$$

para $L = 0$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} = 0$$

$$\hat{i} = \frac{\hat{u}}{R}$$

y la ecuación (4) toma la siguiente forma:

$$i = \hat{i} \text{ sen}(\omega t)$$

es decir

$$i > 0 \quad \text{para} \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

para $R=0$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} = \frac{\pi}{2}$$

$$\hat{i} = \frac{\hat{u}}{\omega L}$$

y entonces



$$i = \frac{\hat{u}}{\omega L}(1 - \cos \omega t); \quad i > 0 \quad \text{para} \quad \omega t_1 \leq \omega t \leq 2\pi$$

En el intervalo de tiempo

$$\omega t_1 \leq \omega t \leq 2\pi$$

el diodo no conduce, $i=0$.

En el momento que el diodo deja de conducir a este se le aplica la tensión inversa u_d , que es igual al valor negativo $u(\omega t_1)$ de la fuente.

4.4.4 Estudio previo.

- Estudio del comportamiento de los circuitos RL con diodos.
- Dispositivos y circuitos electrónicos. Jacob Millman.
- Electrónica de potencia. Marcos Raugel Saura.
- Software simulador.

Preguntas de control.

- 1- ¿Conque método es posible calcular el régimen de trabajo del circuito no lineal RL y en que consiste dicho método?
- 2- ¿Cómo se aproxima la característica corriente – tensión no lineal del diodo durante el cálculo?
- 3- ¿De qué depende y en qué límites varía el ángulo de corte de la corriente en el circuito RL con un diodo?
- 4- ¿En que instante el diodo se polariza en inversa?
- 5- ¿Cuál es la tensión máxima inversa a la que estará sometido el diodo en este circuito?



Programa de trabajo.

- 1- Cálculo de las corrientes y las tensiones del circuito de la Fig. 4.1 con los valores de los parámetros siguientes: $u = 10.29\text{sen}(377t)\text{V}$, $R=100\Omega$, $L=100\text{mH}$.
- 2- Investigación simulada de los procesos estables en el circuito RL con un diodo.
- 3- Investigación experimental de los procesos estables en el circuito RL con un diodo.
- 4- Comparación de los resultados del cálculo, la simulación y del experimento.

Protocolo a presentar.

- Dibujar el circuito de la Fig. 4.1 con los instrumentos de medición necesarios para las mediciones.
- Calcular las magnitudes $i(t)$, $u_R(t)$, $u_L(t)$ con los valores de los parámetros indicados en el punto 1 del programa.
- Conectar el osciloscopio con la computadora a través del software Ultrascope y salvar los resultados.

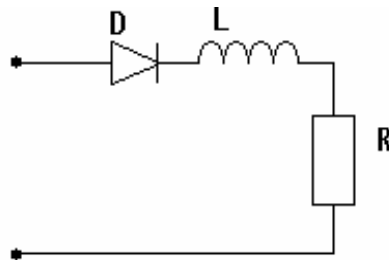
Orden de realización del trabajo.

Previamente a la práctica, y como autopreparación para la misma el estudiante deberá cumplir en la computadora por medio de un software simulador las siguientes tareas:

- 1- Montar el circuito de la Fig. 4.1, instalando los valores de $R= 100\Omega$ y $L=100\text{mH}$ y $U = 10.29\text{V}$, con los instrumentos necesarios.
- 2- Realizar la graduación del osciloscopio, para llevar la tensión sinusoidal de entrada a 5V por división.
- 3- Energizar el circuito a partir de la fuente sinusoidal y con los valores de los parámetros usados en el cálculo.
- 4- Variando la resistencia R en 50Ω y 100Ω , salvar las curvas de tensión de entrada y la tensión rectificada que aparezcan en el osciloscopio.
- 5- Presentar el protocolo de realización del trabajo con las preguntas respondidas.
- 6- Realizar los puntos 1, 2, 3 y 4 de forma práctica.

7- Comparar los resultados obtenidos de la simulación y la práctica.

Fig. 4.1



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 2 True RMS Multimeter.
- 1 Decimal Inductance Box.
- 1 Decimal Resistance Box.
- 1 Diodo
- 1 Osciloscopio Digital.

Contenido del informe.

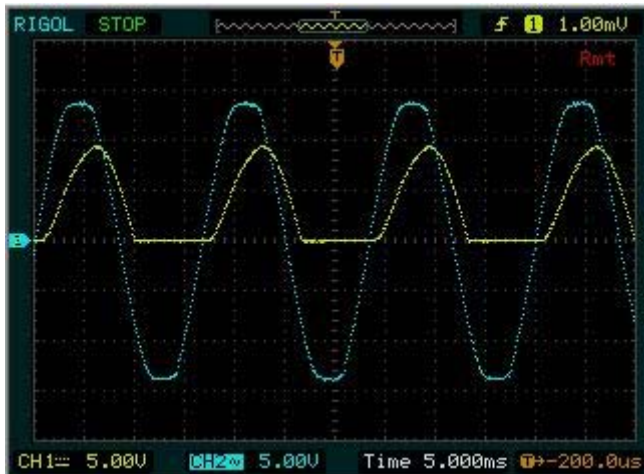
- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Tablas con los resultados.
- Cálculos teóricos.
- Gráficos construidos.
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



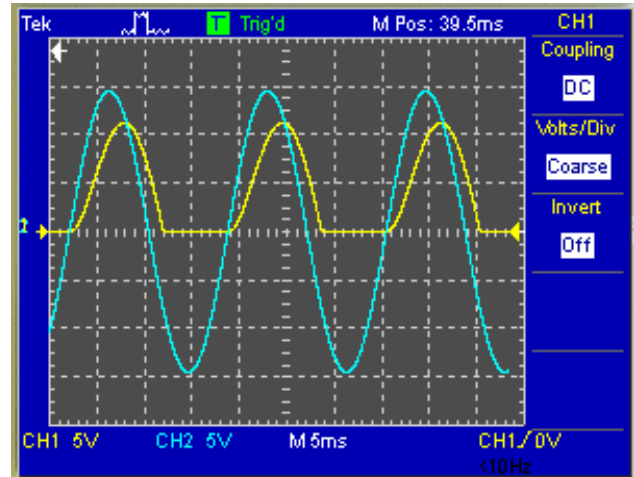
Resultados de la práctica y la simulación.

Tensión de entrada (azul) y tensión rectificada (amarilla) con $R=50\Omega$.

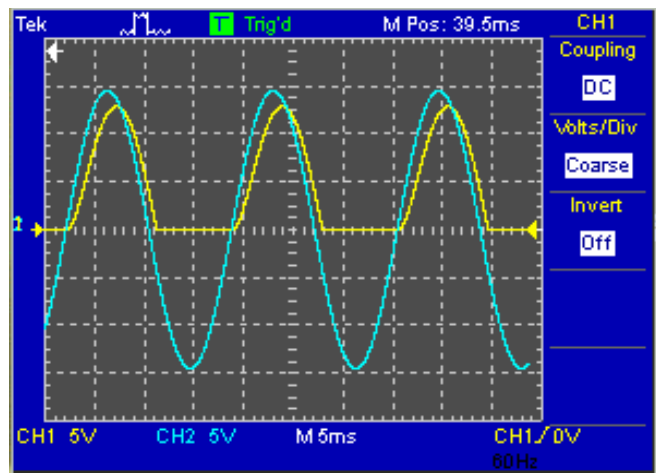
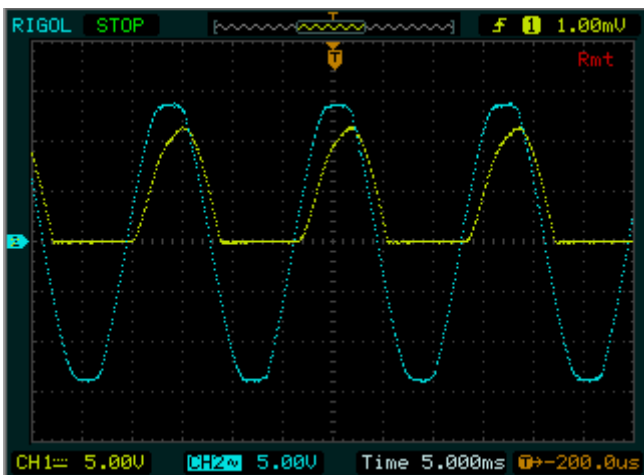
Práctica: (Osciloscopio Digital)



Simulación: (Multisim 10)



Tensión de entrada (azul) y tensión rectificada (amarilla) con $R=100\Omega$.





4.5 Laboratorio No.5

Tema

Investigación experimental del inductor no lineal.

Objetivos

- Investigación experimental de las propiedades de una bobina con núcleo de hierro.
- Determinación de su característica V-A.

Introducción teórica.

En las máquinas e instrumentos eléctricos se utilizan ampliamente materiales ferromagnéticos que poseen la dependencia no lineal de la inducción magnética en función de la intensidad del campo magnético B(H) Si el campo magnético se excita en la bobina conectada a la tensión sinusoidal se realiza una remagnetización cíclica del material, con esto aparecen gastos complementarios de energía a causa de la histéresis y corriente en torbellino.

El inductor con núcleo ferromagnético es no lineal. En este trabajo investigaremos el circuito eléctrico de la Fig. 5.1. El flujo magnético total de la bobina se puede representar como la suma de dos componentes:

$$\phi = \phi_0 + \phi_d$$

donde ϕ_0 flujo magnético fundamental.

ϕ_d flujo de dispersión.

El flujo total multiplicado por el número de espiras se denomina concatenaciones de flujo:

$$\Psi = N(\phi_0 + \phi_d) = \Psi_0 + \Psi_d = \Psi_0 + L_d i$$

L_d - inductancia de dispersión

El flujo magnético de dispersión se cierra por el aire por eso:

$$\Psi_d = L_d i$$

Esto permite cambiar la bobina real con núcleo ferromagnético (Fig.5.1) por la bobina ideal (Fig. 5.2) que no tiene flujo de dispersión. El flujo de dispersión se considera con L_d conectado en serie con la resistencia activa del devanado.

Para el circuito de la Fig. 5.2 podemos escribir

Fig. 5.1

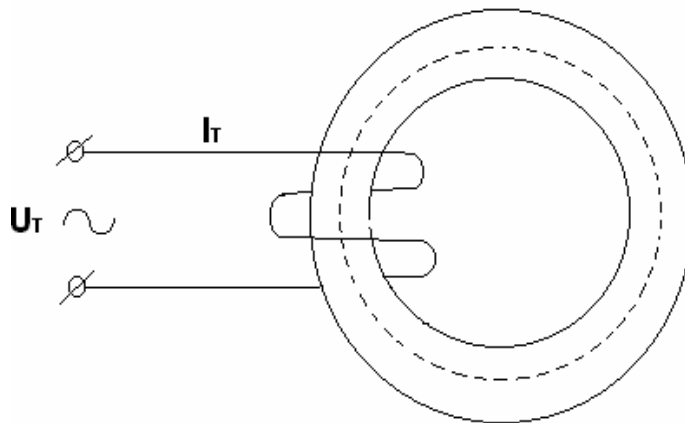
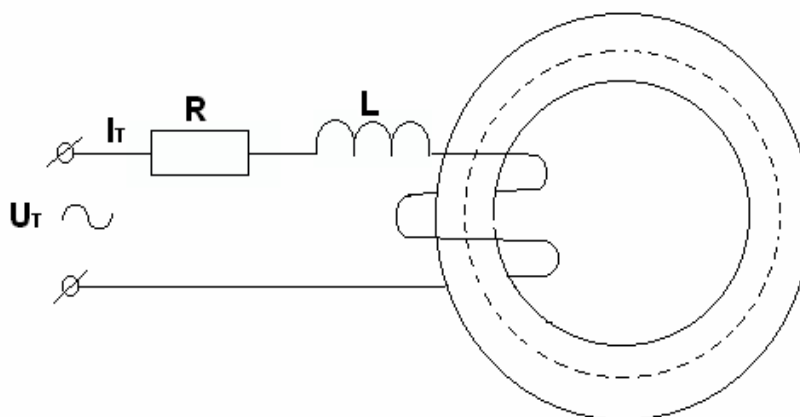


Fig.5.2

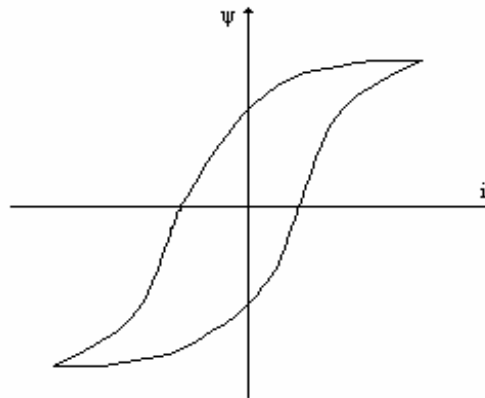


$$\underline{U} = iR + L_d \frac{di}{dt} + \frac{d\Psi_0}{dt}$$



Esta ecuación es no lineal porque la dependencia de corriente se determina por la curva no lineal de magnetización (Fig. 5.3)

Fig. 5.3



En las bobinas reales:

$$(Ri + L_d \frac{di}{dt}) \ll \frac{d\Psi_0}{dt}$$

y prácticamente se considera la tensión de la fuente aplicada a la bobina.

$$U = \frac{d\Psi_0}{dt}$$

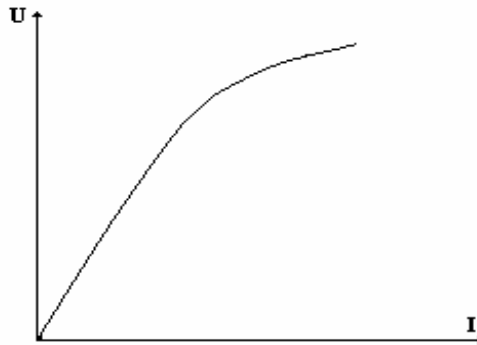
Para la obtención de corriente sinusoidal en la bobina con alimentación desde la fuente de tensión sinusoidal es necesario conectar en serie con la bobina una resistencia lineal.

Las propiedades generales de una bobina son:

- 1 - La inductancia de la bobina con núcleo ferromagnético es mucho mayor que las bobinas sin núcleo ferromagnético.
- 2 - La inductancia depende del grado de imantación porque la dependencia B(H) de los materiales ferromagnético no es lineal.

La dependencia de $B(H)$ de los materiales ferromagnéticos no es simple por lo que la característica $\phi(I)$ tampoco es una función simple, un gráfico de referencia de esta función se representa en la Fig. 5.3, en ciertos casos se desprecia el fenómeno de la histéresis y se usa la dependencia aproximada $\phi(I)$ Fig. 5.4.

Fig. 5.4



Debido a la dependencia complicada $\phi(I)$ es posible la resolución numérica de la ecuación (2) asumiendo que

$$(Ri + L_d \frac{di}{dt}) \ll \frac{d\Psi_0}{dt}$$

lo que nos permite encontrar la solución aproximada de la ecuación (2), lo cual en este caso puede ser representado por

$$U \cong \frac{d\Psi_0}{dt}$$

Suponiendo que $\phi = \hat{\phi}_{om} \text{sen } \omega t$, entonces

$$U = \omega \hat{\Psi}_{om} \cos(\omega t) = \hat{U}_m \text{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

De lo obtenido tenemos:



- Al aplicar voltaje sinusoidal a la bobina, el flujo también será sinusoidal y su fase se atrasa en $\pi/2$ con respecto al voltaje aplicado.
- El valor máximo del flujo magnético es directamente proporcional a la amplitud del voltaje aplicado.

En valores modulares

$$\hat{U}_m = \omega \hat{\Psi}_{om} = 2\pi f N \hat{\Psi}_{om}$$

$$U = \frac{\hat{U}_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N \hat{\Psi}_{om}$$

De la proporcionalidad del flujo y el voltaje sale precisamente que la característica V-A de la bobina con núcleo ferromagnético es similar a la curva de imantación Fig.5.4. Cuando el voltaje aplicado a los bornes de las bobinas es sinusoidal la forma de la curva de la corriente puede desfasar considerablemente de la senoide, la curva de la corriente puede ser trazada mediante la corriente Weber- Ampere sabiendo que el flujo magnético en este caso es sinusoidal.

Con la saturación del núcleo la curva de la corriente adquiere la forma de un pico. La resistencia activa equivalente de la bobina con núcleo de hierro R_e es mayor que la resistencia propia del devanado

$$R_e = \frac{P}{I^2} > R_b$$

La resistencia R_b de la bobina puede ser medida en corriente directa R_e no es una magnitud constante y depende de la saturación del núcleo.

Estudio previo.

- Estudio de la guía para el presente trabajo.
- Libro de texto: Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos III.



Preguntas de control.

- 1- ¿Porqué los inductores con núcleo ferromagnético no son lineales?
- 2- ¿Qué forma tiene la curva del flujo magnético ϕ (t) para tensiones sinusoidales?
- 3- ¿Que forma tiene la característica V-A de la bobina con núcleo ferromagnético?
- 4- ¿Que relación hay entre el valor activo de la tensión aplicada a la bobina y la magnitud del flujo magnético?

Programa de trabajo.

- 1- Investigación experimental del inductor no lineal.
- 2- Determinación de la dependencia I(U).

Protocolo a presentar.

- Contestar las preguntas de control.
- Trazar el esquema de la Fig. 5.1 para realizar las mediciones necesarias y obtener las características V-A.
- Construir la tabla 5.1 para mostrar los resultados del experimento.

Tabla 5.1

posición	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
U_T (V)											
I_T (mA)											

Orden de realización del trabajo.

- 1 - Montar en el **Puesto I** el esquema de la Fig. 5.1 con los instrumentos necesarios para realizar las mediciones.
- 2 - Colocar la tensión en su valor mínimo, posición (2).
- 3 - Variando la tensión según las posiciones indicadas en la tabla 5.1, realizar las mediciones.
- 4 - Los resultados de las mediciones registrarlos en la tabla 5.1.
- 5 - Construir el gráfico de dependencia I(U).



Instrumentos y equipos a utilizar por Puesto.

- 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
- 2 True RMS Multimeter.

✓ **Nota:** Este circuito se montará en el **Puesto I.**

Contenido del informe.

- Título de la práctica.
- Objetivos.
- Circuitos montados.
- Tablas con los resultados del experimento.
- Gráficas de dependencia $I(U)$
- Instrumentos utilizados.
- Conclusiones.



Tabla con los resultados de la investigación.

<i>Resultados de la práctica</i>											
posición	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
U_T (V)	3.37	5.61	7.85	10.12	12.38	14.63	17.25	19.71	21.96	24.16	26.38
I_T(mA)	29.7	46.3	62	72.9	91.1	104.9	120.3	134.2	146.8	159.2	171.1



4.6 Cantidad de Puestos a montar por Laboratorio.

1- Laboratorio No. 3

- ✓ Se puede montar 1 puesto.
 - 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
 - 2 Modern Digital Multi-Purpose Meter
 - 1 Osciloscopio Digital.

- ✓ **Nota:** El circuito se montará en el **Puesto IV.**

2- Laboratorio No. 4

- ✓ Se pueden montar 5 puestos.
 - 5 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
 - 10 True RMS Multimeter.
 - 5 Decimal Inductance Box.
 - 5 Decimal Resistance Box.
 - 5 Diodo
 - 5 Osciloscopio Digital.

4- Laboratorio No. 5

- ✓ Se puede montar 1 puesto.
 - 1 Low Voltage Power Supply (C.D/C.A).
 - 2 True RMS Multimeter.

- ✓ **Nota:** El circuito se montará en el **Puesto I.**

En el laboratorio 3 solo se puede montar 1 puesto, porque los componentes para su realización solo se encuentran en el puesto IV, lo mismo sucede con el laboratorio 5 que los elementos se encuentran en el puesto I.

En el laboratorio 4 se pueden montar 5 puestos y realizarse de forma frontal.



4.7 Propuestas de nuevos Laboratorios.

Con la incorporación del nuevo equipamiento de laboratorio para Circuitos Eléctricos, proponemos nuevos laboratorios que no se incluyen en el plan de estudio de la disciplina, dándole así uso a equipos que no se utilizaron en las prácticas. Los laboratorios que proponemos no solo son para Circuitos Eléctricos, sino también para Electrónica y Suministro Eléctrico.

1- Laboratorio #1.

Análisis de circuitos monofásicos a altas frecuencias, donde se pueda observar con el Analizador de Spectrum.

2- Laboratorio #2.

Análisis de armónicos en circuitos monofásicos electrónicos, utilizando el Analizador de Spectrum.

3- Laboratorio #3.

Investigación de rectificadores monofásicos, utilizando diferentes señales de entrada con el Generador de funciones.

4- Laboratorio #4.

Investigación de rectificadores monofásicos, utilizando diferentes señales de entrada con el Digital & Analog Circuit Lab.

5- Laboratorio #5.

Investigación de circuitos electrónicos simples (como amplificadores, rectificadores, chopper, circuitos utilizando compuertas lógicas), montando en el Digital & Analog Circuit Lab.

6- Laboratorio #6.

Mejoramiento del factor de potencia mediante la conexión de capacitores y comprobar con el Wattimeter/Cofimeter JWΦ-33 (C.D/C.A).

Conclusiones

- La asimilación del nuevo equipamiento de laboratorio permitió elaborar la nueva guía de los laboratorios de Circuito Eléctricos I, II y III, con este equipamiento se obtienen resultados más precisos y permite realizar las prácticas de forma más amena.
- Al no disponer de la cantidad de equipos necesarios no se pueden desarrollar todos los laboratorios de forma frontal.
- La descripción del funcionamiento de cada equipo y sus posibilidades permite una mejor comprensión a la hora de su utilización.
- Con el nuevo equipamiento de laboratorio es posible realizar otros laboratorios, algunos no pertenecen a la disciplina de Circuitos Eléctricos pero servirá para aumentar los conocimientos de las asignaturas.
- Con las posibilidades que nos brinda el nuevo equipamiento de laboratorio es posible crear una asignatura opcional de laboratorios de electricidad.

Recomendaciones

- 1- Que se imparta la disciplina teniendo en cuenta el programa propuesto y ajustándose al nuevo plan de estudio.
- 2- Analizar las posibilidades de impartir, a partir del primer año nociones de simulación, con el objetivo de formarle al estudiante la base necesaria para abordar aquellos contenidos de los Circuitos Eléctricos que requieren el uso de la computación.
- 3- Darle uso a otros equipos que no se utilizaron en los laboratorios.
- 4- Realizar la parte metodológica de los laboratorios que faltan en el Capítulo IV para su posterior realización.
- 5- Incluir con carácter optativo una asignatura de laboratorios de electricidad que complemente las habilidades adquiridas en las prácticas de estas asignaturas y que lleven a una mejor explotación de las potencialidades del equipamiento existente.

Bibliografía

ALBA BLANCO, E; COWLEY MARTÍNEZ, A *Fundamentos de la Teoría de Circuitos III*. Ciudad de la Habana: ISPJAE, 1986. 29p.

MONTÓ OLIVEIRA, A *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos I*. Ciudad de la Habana: Pueblo y Educación, 1988. 286p.

GONZÁLES DALMAU, R. *Fundamentos de la Teoría de Circuitos Eléctricos I: Prácticas de Laboratorios*. La Habana: ISPJAE, 1988. 56p.

GUIBERT BENÍTEZ, J. *Actualización y perfeccionamiento de las prácticas de laboratorios de la disciplina Circuitos Eléctricos. Guía*. (Moa): ISMM, 1999. 134h.

SOFTWARE.

- ✓ Matlab 7.1.
- ✓ Multisim 10.
- ✓ Paquete de Microsoft Office.

Anexos

Anexo #1. Lista de equipos nuevos

1-	Trackable Regulated DC Power Supply	7.
2-	Low Voltage Power Supply (C.D/C.A)	10.
3-	Decimal Capacitance Box	5.
4-	Decimal Inductance Box	5.
5-	Decimal Resistance Box	10.
6-	Rheostat (0 - 10 Ω)	10.
7-	Rheostat (0 - 50 Ω)	11.
8-	Rheostat (0 - 200 Ω)	11.
9-	Dual Channel Oscilloscope (analógico)	13.
10-	Digital Oscilloscope	5.
11-	Scope Digital Multimeter	6.
12-	Modern Digital Multi-Purpose Meter	7.
13-	True RMS Multimeter	10.
14-	Wattimeter/Cofimeter JW Φ -33 (C.D/C.A)	8.
15-	Electrical Meter ZVA-1 (C.D)	6.
16-	Electrical Meter JVA-1 (C.A)	6.
17-	Function Generator	6.
18-	Digital & Analog Circuit Lab DAC- 457000	12.

Anexo #2. Manuales de los equipos nuevos usados.

[Vol](#)

1.- Trackable Regulated DC Power Supply



Fuente Regulable de CD

La introducción:

Esta fuente tiene dos salidas de 30V y 2A, valor es indicado por un metro V-A. Además posee una salida fija de 5V y 2A. Las dos salidas pueden tener tres modos de operación las fuentes independientes, serie y paralelo, la tensión de salida varía según el modo de operación. Este producto es ideal para los estudiantes de escuelas secundarias, universidades, escuelas de formación profesional y departamentos de investigación.

Especificaciones:

1- Alimentación: C.A - 110V/ 60Hz.

2- Salida variable:

2.1 - Voltaje de salida: 0-30V (variable).

- Corriente de salida: 0-2A (variable).

2.2- Efecto de suministro: C.V. < 0.01 % +3mV, C.C. < 0.2 % +3mV.

2.3- Efecto de carga: C.V. < 0.03 % +2mV, C.C. < 0.2 % +3mV.

2.4- Onda y ruido: C.C. < 2mV rms, C.V. < 5mV rms.

3- Salida fija:

3.1- Voltaje de salidas: $5V \pm 2\%$.

- Corriente de salida: 2A.

3.2- Efecto de suministro: < 0.1 % +3mV.

3.3- Efecto de carga: < 0.1 % +5mV.

3.4 onda y ruido: < 2mV rms.

4- Otras

4.1- Temperatura de operación: 0 a +40 °C

- Humedad relativa: < 90 %.

4.2- Rango de temperatura: - 10 °C a +70 °C.

- La humedad relativa: <80 %.

4.3- Dimensiones: 375mm * 260mm * 170mm.

4.4- Tiempo de operación: 12 horas continuas.

5- Controles y funciones

(1) - Interruptor de encendido/apagado.

(2) - Display de 7 segmentos (V/A) Master.

(3) - Display de 7 segmentos (V/A) Esclavo.

(4) - Selector (V/A) modo Esclavo.

(5) - Selector (V/A) modo Master.

(6) - Control de voltaje modo Master.

(7) - Control de Corriente modo Master.

(8) - Indicador de voltaje en modo Master

(9) - Indicador de Corriente en modo Master

(10) - Control de voltaje modo Esclavo.

(11) - Control de Corriente modo Esclavo.

(12) - Indicador de voltaje en modo Esclavo.

(13) - Indicador de Corriente en modo Esclavo.

(14) - Selector del modo de operación Independiente, Serie y Paralelo.

- (15) - Selector del modo de operación Independiente, Serie y Paralelo.
- (16) - Terminal de salida Master Positivo (+).
- (17) - Terminal de salida Master Negativo (-).
- (18) - Terminal Master de Tierra (GND).
- (19) - Terminal de salida Esclavo Positivo (+).
- (20) - Terminal de salida Esclavo Negativo (-).
- (21) - Terminal Master de Esclavo (GND).
- (22) – Indicador de sobrecarga para la salida fija de 5V.
- (23) - Terminal de salida Positivo (+) para la salida fija de 5V.
- (24) - Terminal de salida Negativo (-) para la salida fija de 5V.
- (28) - Socket de entrada de la alimentación.
- (29) - Fusible.

6- Operación:

Operación independiente: Esta operación se selecciona operando los botones (14) y (15), las fuentes operan independientes.

Operación series: Esta operación se selecciona operando los botones (14) y (15), las fuentes operan conjuntamente obteniendo hasta 66 V con el Terminal de salida Esclavo Negativo (-) y el Terminal de salida Esclavo Positivo (+). Los controles que se usan son del (6) al (9) modo Master.

Operación paralelo: Esta operación se selecciona operando los botones (14) y (15), las fuentes operan conjuntamente en paralelo. Los controles que se usan son del (6) al (9) modo Master.

7- Cuando ocurra un problema, no abra el gabinete, ni los elementos regulables incorporados, deberá ser enviado al departamento certificado de mantenimiento o reparado por técnico experimentados.

2.- Low Voltage Power Supply (C.D/C.A) (Modelo - J1201-1)



Fuente de CD/CA de bajo voltaje.

Especificación:

A- Parámetros técnicos:

1- Salida de CA: 2V a 24V, con un variador de 12 posiciones (2V por posiciones).

La variación del voltaje a plena carga para cada posición no es menor que el valor nominal.

- Corriente: 6A.
- Corriente de protección: 6A - 9A.

2- Salida de CD: 2V a 24V, (con el mismo variador que para CA).

La variación del voltaje a plena carga para cada posición es $\geq V_n - (0.1V_n + 1.8V)$.

- Corriente: 6A
- Corriente de protección: 6A-9A
- Cambio: CD o Filtro.

3- Salida de CD estabilizada:

- Tres posiciones de voltaje: 6V, 9V, 12V, con una variación de $\pm 0.2V$.
- Estabilidad del voltaje: $\leq 300mV$, cada posición.

- Estabilidad con carga: $\leq 300\text{mV}$, cada posición.
- Corriente: 1A.
- Corriente de protección: 1.1A a 2.4A.

4- Condiciones de operación:

- Temperatura ambiente: 0°C a $+40^{\circ}\text{C}$.
- Humedad del ambiente: 80%.
- Voltaje de entrada: CA $110\text{V} \pm 11\text{V}$, 60Hz $\pm 6\text{Hz}$.
- Interruptor principal
- Interruptor para seleccionar CA ó CD, (Filtro ó CD)

5- Dimensiones:

- Dimensión: $270\text{mm} \times 120\text{mm} \times 210\text{mm}$.
- Peso: 6.5Kg.

6- Para su uso:

Este instrumento debe ponerse en lugares secos, con buena ventilación y ningún gas corrosivo cerca, además no está diseñado para operar con carga excesiva por más de 8 horas continuamente.

La protección automática para el exceso de corriente funciona para las tres salidas.

3.- Decimal Capacitance Box Modelo RX7- 0



Caja de Capacitancia Decimal

1- Aplicación:

La caja de capacitancia modelo RX7-0 puede ser utilizada en circuitos de hasta 1500 Hz y además como impedancia variable para corriente alterna. La temperatura del aire de operación debe estar entre +10 °C y +35 °C, la humedad relativa entre 3% y 80%.

2- Características Técnicas:

Especificaciones:

- Capacidad (μF) = 0 - 1.111
 - Manijas = 4
 - Rangos (μF) = $(0-10) * (0.0001+0.001+0.01+0.1)$

2.2- Pérdidas:

- 10 * 0.1 μF : las pérdidas son de $\pm 0.5\%$, menos de 0.005.
- 10 * 0.01 μF : las pérdidas son de $\pm 0.65\%$, menos de 0.01.
- 10 * 0.001 μF : las pérdidas son de $\pm 2\%$, menos de 0.05
- 10 * 0.0001 μF : las pérdidas son de $\pm 5\%$, menos de 0.1.

2.3- Condiciones:

- 1- Temperatura ambiente: 20 °C con ± 3 °C, HR entre 3% y 80%.
- 2- Frecuencia de trabajo: 800 – 1000 Hz.
- 3- Tensión de servicio nominal: C..A=30V (efectivo), CD=100V.
- 4- Capacitancia inicial ≤ 150 pF.
- 5- Cuando la temperatura ambiente está entre +10 °C y +35 °C, el cambio de capacitancia no excederá $\frac{1}{2}$ de error.
- 6- Dimensiones: 300 *230 *130 mm.

3- Estructura:

La caja de capacitancia decimal consta de interruptores decimales de diferentes número y valores de capacitancia, cada interruptor decimal puede variar de 0 hasta 10. Todos los componentes eléctricos que componen la caja son instalados en el casco de metal del panel. Los terminales de salida en el panel están señalados con “1”, “2” y “⊥”.

Nota:

En alto voltaje, es recomendado que “⊥” esté conectado al suelo para la seguridad de los operadores al conectarlo a la fuente de poder.

La advertencia:

La rotura del equipo puede ser causada si funciona en un voltaje más alto que 30 V. Nunca toque los terminales de la caja cuando este conectada.

4-Precauciones:

Prestar atención a la influencia de las condiciones ambientales y que no halla influencia de campo fuertemente eléctrico próximamente.

La caja de capacitancia será usada en el rango nominal de voltaje y no deberá ser usada fuera de ese rango.

Transporte y mantenimiento:

La caja de capacitancia será almacenada en lugares donde la temperatura oscilará entre +5oC y +35oC, además una HR de 30 % - 80 % y el aire del local o estará libre de sustancias corrosivas.

La caja de inductancia y sus accesorios se guardarán en su embalaje original del taller.

El adecuado mantenimiento del producto garantiza su mejor funcionamiento y alarga su periodo de duración.

4.- Decimal Inductance Box Modelo GX9- 3



Caja de Inductancia Decimal

1- Aplicación:

La caja de inductancia decimal es utilizada como elemento variable para medir inductancia en circuitos de corriente alterna de bajo voltaje y frecuencia.

2- Características Técnicas:

Rango de inductancia: 0 -100mH; i.e., (0-10) *10mH

Condiciones específicas:

- Temperatura ambiente: 20°C ±20°C, la humedad relativa: 40% a 80%.
- Frecuencia: 1000Hz ±20 Hz; en onda sinusoidal.
- Corriente nominal: 0.08A
- Corriente máxima: 0.16A

Error Básico:

- Bajo las condiciones especificadas, el error básico de la caja de inductancia será $\leq \pm 5\%$.

La resistencia en CD de la caja de inductancia será $\leq 50\Omega$.

Cuando la caja de inductancia funciona fuera de este rango de temperatura (+10°C a +30°C), el incremento en el error de inductancia de cada posición no excederá el error básico.

Voltaje máximo permisible (C.A): 30V (efectivo).

Nota: La caja de inductancia puede ser dañada si su corriente de operación excede la corriente nominal.

3- Estructura:

La caja de inductancia consiste en una bobina estándar de inductancia con diez cabezas y la bobina está conectada a un interruptor especialmente confeccionó, para variar el valor de inductancia en un rango de 100mH con diez posiciones diferentes. La bobina inductora y el interruptor están instalados en el interior de una caja de plástico moldeada, mientras los terminales de salida y todo lo demás dispositivos son instalados en un panel moldeado.

La caja de inductancia es compacta, ligera y simple para su operación.

4- Instrucciones y Precauciones para su operación:

Será usada en un ambiente con rango de temperatura de +5°C a +35°C y la humedad relativa de 30% – 80%.

Además debe ser instalada en un lugar con suficiente distancia de sustancias magnéticas, para reducir cualquier influencia en la precisión del valor de inductancia.

La corriente de trabajo de la caja de inductancia no debe exceder la corriente nominal. Especialmente en caso de que la frecuencia del voltaje este por debajo de 50Hz, ya que puede ser sobrecargada o dañada.

5- Mantenimiento:

La caja de inductancia y sus accesorios se guardarán en su embalaje original del taller. El rango de temperatura del cuarto de almacenaje será de +5°C a +40°C y la humedad relativa de 30% – 80%. Además el aire del cuarto estará libre de sustancias corrosivas.

El adecuado mantenimiento del producto garantiza su mejor funcionamiento y alarga su periodo de duración.

5.- Decimal Resistance Box Modelo J2361-2



Caja de Resistencia Decimal

I. Uso:

La caja de resistencia Modelo J2361 - 2 es de gran importancia para los maestros y estudiantes de escuelas secundarias, universidades y escuelas especializadas, ya que con estas se pueden realizar los siguientes experimentos eléctricos;

- Comprobar la Ley de Ohm.
- Medir resistencias desconocidas.
- Determinar la f.e.m. y resistencia interna de fuentes eléctricas.

II. Construcción:

La caja de resistencia es hecha de madera. Para obtener diferentes valores de resistencia se hace girar los botones y se colocan en el valor de resistencia deseado. La resistencia de este instrumento es hecha de filamentos de cobre y magnesio, con ningún efecto inductivo al variar los valores de resistencia, la proporción de resistencia respectivamente corresponde a 2: 2: 2: 2: 1.

III. Rasgos primarios:

1. Exactitud de paso: 0.2 el paso
2. Rango regulable de resistencia: 0 - 999.9 Ω
3. Temperatura admisible: 0 - 40 $^{\circ}\text{C}$

4. Humedad relativa: < 80 %
5. Resistencia en posición cero: $R_0 < 0.04 \Omega$
6. Dimensiones: 175 x 125 x 82 mm
7. Peso: 1.2 Kg.
8. La resistencia entre el circuito y la parte metálica exterior $> 5 M\Omega$.

IV. Método para realizar los experimentos:

1. Comprobación de la Ley de Ohm en una parte del circuito eléctrico;

Usar conectores para conectar la caja de resistencia, interruptor, amperímetro, reóstato variable y fuente eléctrica, y luego conectan el voltímetro y la caja de resistencia en paralelo, cierre el circuito y ajuste la corriente para enmendar el valor de las lecturas del amperímetro, el voltímetro y la caja de resistencia obtienen la siguiente ecuación $I=V/R$.

2. Use como la resistencia adicional prolongar el rango medidor de voltímetro: Conecte el reóstato variable, fuente eléctrica, y voltímetro. La celda está conectada a los dos terminales de corriente alterna del reóstato, luego conecte el polo positivo del voltímetro al de la fuente, el otro polo al punto corredizo del reóstato. La lectura del voltímetro es la diferencia de potencial entre esos dos puntos. Deje conectado el punto corredizo del reóstato, conecte la caja de resistencia y el voltímetro en la serie, se ajusta la resistencia a reducir la lectura del voltímetro, fundamentalmente, la diferencia del potencial entre ese punto no varía.

$$n = (R + r) / r, \quad (R, \text{valor de resistencia de la caja de resistencias})$$

$$r = R / (n-1)$$

3. Use el método de sustitución para medir resistencias desconocidas en circuitos. Según el principio de corriente dividida y el principio de diferencia de potencial, use amperímetro o voltímetro para determinar la resistencia desconocida.

4. Conecte la caja de resistencia como la resistencia variable en el circuito para ajustar la corriente.

5. Mida la f.e.m y la resistencia interna de la fuente del circuito.

Deje el circuito cerrado, poner por escrito la lectura de $I_1 \cdot R_1$ del amperímetro y de la caja de resistencia. Luego cambie la resistencia, tome notas otra vez de las lecturas del amperímetro y de la caja de resistencia, $I_2 \cdot R_2$, use las siguientes ecuaciones para calcular e y r .

$$e = I_1 \cdot (R_1 + r)$$

$$e = I_2 \cdot (R_2 + r)$$

V. Aviso.

1- Cuando se estén haciendo experimentos con la caja de resistencia, la corriente no debería sobrepasar los siguientes puntos:

Resistencia (Ω): 0.1, 1, 10, 100.

Corriente (A): 1.5, 0.5, 0.15, 0.003.

2- La caja de resistencia debe ser colocada en un local donde la temperatura de la atmósfera circundante este entre $+10^\circ\text{C}$ y $+40^\circ\text{C}$, humedad relativa $< 80\%$, además el aire del local estará libre de sustancias corrosivas.

VI. Como ayudar al arreglo de la caja de resistencia:

1- Resistencia grande en la posición de cero y diferencia grande de resistencia en un valor especificado.

2- Error grande de lectura de la caja de resistencia.

3- En caso de algún desperfecto de la caja de resistencias, hay que averiguar la causa primero para su reparación.

6.- Rheostat (0 - 10 Ω)



Reóstato

1- Uso:

Esta resistencia de mesa ajustable se usa para variar la resistencia del circuito a fin de ajustar la corriente y voltaje. Cuando se este trabajando con el reóstato en experimentos, el voltaje no debe sobrepasar los 36V y la corriente los 2A.

7.- Rheostat (0 - 50 Ω)



1- Uso:

Esta resistencia de mesa ajustable se usa para variar la resistencia del circuito a fin de ajustar la corriente y voltaje. Cuando se este trabajando con el reóstato en experimentos, el voltaje no debe sobrepasar los 36V y la corriente los 1.5A

8.- Rheostat (0 - 200Ω)



Reóstato

1-Uso:

Esta resistencia de mesa ajustable se usa para variar la resistencia del circuito a fin de ajustar la corriente y voltaje. Cuando se este trabajando con el reóstato en experimentos, el voltaje no debe sobrepasar los 36V y la corriente los 1.25A.

9.- Dual Channel Oscilloscope (Analógico)



Osciloscopio de Doble Canal

Se denomina osciloscopio analógico a un instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo, que permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos y mediante su análisis se puede diagnosticar con facilidad cuáles son los problemas del funcionamiento de un determinado circuito. Es uno de los instrumentos de medida y verificación eléctrica más versátiles que existen y se utiliza en una gran cantidad de aplicaciones técnicas.

El osciloscopio presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones. La imagen así obtenida se denomina oscilograma. Suelen incluir otra entrada, llamada "eje Z" que controla la luminosidad del haz, permitiendo resaltar o apagar algunos segmentos de la traza. El funcionamiento del osciloscopio está basado en la posibilidad de desviar un haz

de electrones por medio de la creación de campos eléctricos y magnéticos. Las dimensiones de la pantalla del TRC están actualmente normalizadas en la mayoría de instrumentos, a 10 cm. en el eje horizontal (X) por 8 cm. en el eje vertical (Y).

El osciloscopio se fabrica bajo muchas formas distintas, no sólo en cuanto al aspecto puramente físico sino en cuanto a sus características internas y por tanto a sus prestaciones y posibilidades de aplicación de las mismas. Los analógicos trabajan con variables continuas mientras que los digitales lo hacen con variables discretas. Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real.

Este Osciloscopio de Doble Canal con frecuencia para CD de 30MHz, máxima sensibilidad de 1 mV/div, y tiempo máxima de 20 nsec/div por canal.

1- Instrucciones:

- Alimentación: 110 V, 60Hz, 0.63A.
- Temperatura de operación: 0 °C a +40 °C.
- Humedad relativa: < 85%.
- Dimensiones: 280*150*370mm, (W*H*D).
- Peso: 7.5 kg.

2- Especificaciones:

- Impedancia de entrada: 1MΩ.
- Voltaje máximo de entrada: 20V (CD+CA pico).
- Entradas: CD/CA/GND.

10.- Digital Oscilloscope



Osciloscopio Digital

Se denomina osciloscopio a un instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo, que permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos y mediante su análisis se puede diagnosticar con facilidad cuáles son los problemas del funcionamiento de un determinado circuito.

Es uno de los instrumentos de medida y verificación eléctrica más versátiles que existen y se utiliza en una gran cantidad de aplicaciones técnicas.

El osciloscopio presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla. La imagen así obtenida se denomina oscilograma. El funcionamiento del osciloscopio está basado en la posibilidad de desviar un haz de electrones por medio de la creación de campos eléctricos y magnéticos.

Este osciloscopio digital de dos canales posee comunicación con las computadoras a través del puerto USB, donde se instala mediante un software llamado Ultrascopes for DS1000 Series.

1- Especificaciones:

- Impedancia de entrada: $1M\Omega$.
- Amplificación de la señal: 1X, 10X, 100X, 1000X.
- Máx. Voltaje de entrada: 40 V de CD y CA.
- Alimentación: 110 – 220 V, 45 - 440 Hz.
- Fusible: 2A, 250V.
- Temperatura de operación: $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Temperatura de no operación: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mayor de $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Peso: 2.4 kg.

11.- Scope Digital Multimeter



Multímetro Digital Graficador

Un Multímetro Digital Graficador es un instrumento que ofrece la posibilidad de medir y graficar distintas magnitudes en el mismo equipo. Las más comunes son las de voltaje (A/D), Corriente (A/D) y Frecuencia. Es utilizado frecuentemente por el personal técnico en toda la gama de electrónica y electricidad. Existen distintos modelos como este que incorporan además la posibilidad resistencia, capacitancias, comprobador de diodos y transistores.

Este instrumento de medición es auto-rango, de fácil manipulación y exactitud. Además tiene comunicación infrarroja con la computadora a través del puerto USB y usa una fuente auxiliar de alimentación de 6V.

1- Funciones de los botones:

- (F1), (F2), (F3) y (F4): Botones de funciones del Software.
- Range: Para variar de CD a CA en modo graficador.
- Time: Para variar el tiempo base del eje x en modo graficador.
- Trig: Ajustar gráfico.
- Auto: En modo graficador automáticamente se selecciona el tiempo base y la amplitud. En el modo no graficador es valido solo cuando se este midiendo tensión, resistencia y corriente. No es valido para capacitancia y diodo.

- Mode: Selecciona el modo graficador o el modo Multímetro. Es valido solo para tensión, corriente y frecuencia.
- Set: Para apagar el equipo en un tiempo predeterminado, mantener o apagar las luz en un tiempo dado, contraste y sonido.
- Save /Call: Para salvar y visualizar valores guardados en memoria.
- Hold: Mantener la imagen fija.

2- Especificaciones Generales:

- Fusible de protección para: mA: 5A, 250V
- Fusible de protección para 10A: 10A, 250V
- Temperatura de operación: 0 °C a +40 °C.
- Humedad relativa: < 75%.
- Altitud de operación: 2000 m.
- Batería: 4 de 1.5V.
- Dimensiones (H*W*L): 200*100*48 mm.
- Peso: 498 g.
- Prueba de continuidad: 2.5 kHz.

3- Rangos:

- Voltajes CD: 100 μ V a 1000V
- Voltajes CA: 1 mV a 750V
- Error de exactitud: Voltaje CD: 0.8%
Voltaje CA: 1%
- Corriente CD: 0.1 μ A a 10A.
- Corriente CA: 0.1 μ A a 10A.
- Resistencia: 0.1 Ω a 40 M Ω .
- Capacitancia: 10 pF a 100 μ F.
- Frecuencia: 0 a 10 MHz.

12.- Modern Digital Multi-Purpose Meter



Moderno Multímetro Digital

Un Multímetro Digital es un instrumento que ofrece la posibilidad de medir distintas magnitudes en el mismo aparato. Las más comunes son las de voltaje (A/D), Corriente (A/D) y Resistencia. Es utilizado frecuentemente por el personal técnico en toda la gama de electrónica y electricidad. Existen distintos modelos como este que incorporan además de las tres funciones básicas antes citadas otras mediciones importantes, tales como medida de capacitancias, frecuencia, comprobador de diodos y transistores, temperatura ambiente en °C y °F, etc.

Este instrumento de medida es auto – rango de fácil manipulación y exactitud. Además tiene comunicación infrarroja con la computadora a través del puerto serie.

1- Especificaciones Generales:

- Voltaje máx. entre terminales y tierra: 1000 V_{rms}
- Fusible de protección para μ A y mA: 1A, 250V
- Fusible de protección para 10A: 10A, 250V
- Temperatura de operación: + 5 °C a +40 °C.
- Humedad relativa: < 80%.

- Altitud de operación: 2000 m.
- Batería: 9V.
- Dimensiones (H*W*L): 195*90*39 mm.
- Peso: 550 g.
- Prueba de continuidad: 2.5 kHz.

2- Rangos:

- Voltajes CD: 0 a 1000V
- Voltajes CA: 0 a 750V
- Corriente CD: 100 nA a 10A.
- Corriente CA: 100 nA a 10A.
- Resistencia: 0 a 40 MΩ.
- Capacitancia: 4nF a 40 mF.
- Frecuencia: 0 a 400 MHz
- Temperatura: -40 °C a 1000 °C.
-40 °F a 1832 °C.

13.- True RMS Multimeter.



Multímetro Digital RMS

El Multímetro Digital (True RMS Multimeter) es un instrumento que ofrece la posibilidad de medir distintas magnitudes en el mismo equipo. Las más comunes son las de voltaje (A/D), corriente (A/D) y resistencia. Es utilizado frecuentemente por el personal técnico en toda la gama de electrónica y electricidad. Existen distintos modelos como este que incorporan además la posibilidad frecuencia, capacitancias, comprobador de diodos y transistores y temperatura en °C y en °F.

Este instrumento de medición es auto-rango, de fácil manipulación y altamente preciso. Además tiene comunicación con la computadora a través del puerto USB y serie.

3- Especificaciones Generales:

- Fusible de protección de entrada CA: 0.5A, 125V
- Alimentación (CA): 110 V/ 50 Hz
- Temperatura de operación: 0 °C a +40 °C.
- Humedad relativa: < 75%.
- Altitud de operación: 2000 m.
- Dimensiones (H*W*L): 350*220*80 mm.

- Peso: 1.5 kg.

2- Rangos:

- Voltajes CD: 100 μ V a 1000V
- Voltajes CA: 1 mV a 750V
- Corriente CD: 0.1 μ A a 10A.
- Corriente CA: 0.1 μ A a 10A.
- Resistencia: 0.1 Ω a 40 M Ω .
- Capacitancia: 10 pF a 100 μ F.
- Frecuencia: 0 a 10 MHz

14.- Wattimeter/Cofimeter JWΦ-33 (C.D/C.A)



Wattimetro/Cofímetro JWΦ-33 (C.D/C.A)

La serie JDW es un A/D de doble despliegue amperímetro, voltímetro y wattímetro. La serie está patentada y es la primera de su tipo hecha por un fabricante en China.

1- Características:

- Metro A/D multifunción de doble despliegue, combina un metro D de 4 ½ bits y uno A con un puntero de 0.5 grado de calibración.
- Opciones de medida multirango.
- Capacidad de sobrecarga para proteger el metro en caso de cualquier incorrecta operación o conexión durante el experimento y la medición.
- Activación de la alarma automáticamente en caso de sobrecarga; recuperación automática de la medición después de eliminada la sobrecarga.
- Registra automáticamente el tiempo de sobrecarga, para facilitar su reexaminación.
- El wattímetro de CA tiene despliegue de voltaje, de corriente, además simple y combinado para facilitar la localización de fallas.
- Rango de frecuencia entre (50HZ – 20kHz) para el metro de AC.

- El metro no cambia el estado del circuito cuándo está conectado a él, y puede aumentar la exactitud de la prueba experimental.
- Presenta sistema independiente de protección, y el suministro de energía estabilizado independiente.
- Variables rangos para la medición continua del circuito. Ninguna necesidad de desconectar y reconectar el suministro de energía.
- Interfaces de comunicación de datos con las computadoras a través del puerto serie.
- Dimensiones (W)*(L) : 21 *26.5 cm.

2- Precauciones para el uso.

- Voltaje: 110V $\pm 5\%$, 50 Hz.
- Temperatura: 0 - 40 °C.
- Humedad relativa: < 85 %.
- No aproximar a ningún gas corrosivo.
- El metro debe ser precalentado 15 segundos después de ser conectado a su fuente de energía.

3-Instrucciones.

- La serie de metro eléctrico JWØ-33, tiene gran poder de precisión y se puede medir el factor de potencia (FP), así como también el voltaje y la corriente de fase. El rango de medida del FP se encuentra entre -1 - 0 - +1.

4- Funciones de los botones.

(1)-Indicadores.

- La U para indicar sobrecarga de voltaje y la I de corriente.

(2)- Puntero del metro.

- Señaliza el valor del $\text{Cos}\phi$ entre (0-1-0) y ángulos de fase
- El puntero en el centro, $\text{Cos}\phi = 1$;
- El puntero en la izquierda, carga capacitiva; en la derecha carga inductiva.

(3)- Cero del metro.

(4)- Indicador de registro

(5)- Display del metro D.

- (6)- Para fijar lectura.
- (7)- Rango de corriente: 0.4A – 4A.
- (8)- Rango de Voltaje: 50V - 500V.
- (9)- Terminal para medir corriente.
- (10)- Terminal marcado para medir corriente
- (11)- Terminal marcado para medir voltaje.
- (12)-Terminal para medir voltaje.

15.- Electrical Meter ZVA-1 (C.D)



Amperímetro/Voltímetro de CD

La serie ZVA-1 son metros digitales de doble despliegue para medir corriente y tensión de CD. La serie está patentada y es la primera de su tipo hecha por un fabricante en China.

1- Características:

- Metro multifunción de doble despliegue, combina un voltímetro y un amperímetro de CD.
- Opciones de medida multirango.
- Capacidad de sobrecarga para proteger el metro en caso de cualquier incorrecta operación o conexión durante el experimento y la medición.
- Activación de la alarma automáticamente en caso de sobrecarga; recuperación automática de la medición después de eliminada la sobrecarga.
- Registra automáticamente el tiempo de sobrecarga, para facilitar su reexaminación.
- El metro no cambia el estado del circuito cuándo está conectado a él, y puede aumentar la exactitud de la prueba experimental.

- Presenta sistema independiente de protección, y el suministro de energía estabilizado independiente.
- Variables rangos para la medición continua del circuito. Ninguna necesidad de desconectar y reconectar el suministro de energía.
- Interfaces de comunicación de datos con las computadoras a través del puerto serie.
- Dimensiones (W)*(L) : 21 *26.5 cm.

2- Precauciones para el uso.

- Voltaje: 110V \pm 5 %, 50 Hz.
- Temperatura: 0 - 40 °C.
- Humedad relativa: < 85 %.
- No aproximar a ningún gas corrosivo.
- El metro debe ser precalentado 15 segundos después de ser conectado a su fuente de energía.

3- Especificaciones:

- Rangos de Corriente CD: 2mA - 20mA - 200mA y 1A - 2A - 5A.
- Rangos de Voltaje CD: 2V – 20V – 200V – 500V.
- Display digital, alarma, indicador de sobrecarga.

4- Voltímetro CD:

- (1) - Indicador de sobrecarga.
- (2) - Display
- (3) - Indicador de registro.
- (4) - Terminal de entrada negativo (-).
- (5) - Para fijar lectura.
- (6) - Selector de rangos.
- (7) - Terminal de entrada positivo (+).

5- Amperímetro CD:

- (8) - Indicador de sobrecarga.
- (9) - Display
- (10) - Indicador de registro.
- (11) - Terminal de entrada negativo (-), para 1A - 2A - 5A.
- (12) - Terminal de entrada positivo (+), para 1A - 2A - 5A.
- (13) - Selector de rangos, para 1A - 2A - 5A.
- (14) - Para fijar lectura.
- (15) - Selector de rangos, para 2mA - 20mA - 200mA.
- (16) - Terminal de entrada negativo (-), para 2mA - 20mA - 200mA
- (17) - Terminal de entrada positivo (+), para 2mA - 20mA - 200mA.
- (18) - Posición del fusible (2A).

16.- Electrical Meter JVA-1 (C.A)



Amperímetro/Voltímetro de CA

La serie JVA-1 son metros digitales de doble despliegue para medir corriente y tensión de CA. La serie está patentada y es la primera de su tipo hecha por un fabricante en China.

1- Características:

- Metro multifunción de doble despliegue, combina un voltímetro y un amperímetro de CA.
- Opciones de medida multirango.
- Capacidad de sobrecarga para proteger el metro en caso de cualquier incorrecta operación o conexión durante el experimento y la medición.
- Activación de la alarma automáticamente en caso de sobrecarga; recuperación automática de la medición después de eliminada la sobrecarga.
- Registra automáticamente el tiempo de sobrecarga, para facilitar su reexaminación.

- El metro no cambia el estado del circuito cuándo está conectado a él, y puede aumentar la exactitud de la prueba experimental.
- Presenta sistema independiente de protección, y el suministro de energía estabilizado independiente.
- Variables rangos para la medición continua del circuito. Ninguna necesidad de desconectar y reconectar el suministro de energía.
- Interfaces de comunicación de datos con las computadoras a través del puerto serie.
- Dimensiones (W)*(L) : 21 *26.5 cm.

2- Precauciones para el uso.

- Voltaje: 110V \pm 5 %, 50 Hz.
- Temperatura: 0 - 40 °C.
- Humedad relativa: < 85 %.
- No aproximar a ningún gas corrosivo.
- El metro debe ser precalentado 15 segundos después de ser conectado a su fuente de energía.

3- Especificaciones:

- Rangos de Corriente CD: 200mA - 1A - 2A - 10A.
- Rangos de Voltaje CD: 50V - 250V - 500V.
- Display digital, alarma, indicador de sobrecarga.

4- Voltímetro CA:

- (1) - Indicador de sobrecarga.
- (2) - Display
- (3) - Indicador de registro.
- (4) - Terminal de entrada.
- (5) - Para fijar lectura.
- (6) - Selector de rangos.
- (7) - Terminal de entrada.

5- Amperímetro CA:

(8) - Indicador de sobrecarga.

(9) - Display

(10) - Indicador de registro.

(11) y (14) - Terminal de entrada.

(12) - Para fijar lectura.

(13) - Selector de rangos.

17.- Function Generator (Modelo XJ1643)



Generador de Función

El Generador de Fusión es un instrumento de medición de alta precisión. Puede generar diferentes tipos de señales tales como; sinusoidal, diente de sierra y cuadrada. Este instrumento puede ser utilizado en laboratorios de electrónica y es un producto ideal para los estudiantes de escuelas secundarias, universidades, escuelas de formación profesional y departamentos de investigación.

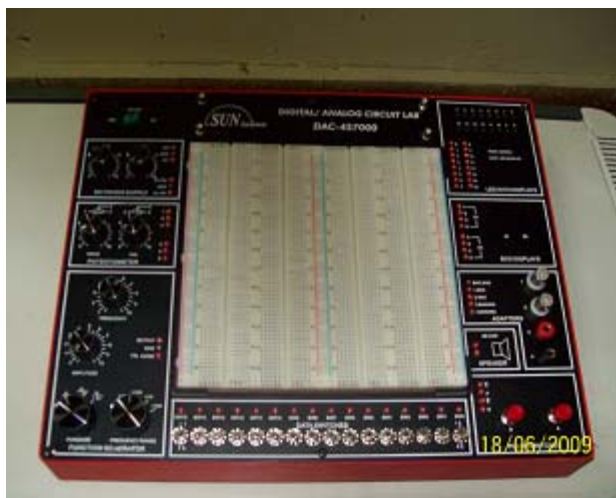
3- Instrucciones:

- Alimentación (CA): 110 V \pm 10%, 60Hz.
- Temperatura de operación: 0 °C a +40 °C.
- Humedad relativa: < 85%.
- Dimensiones: 220(B)*80(H)*240(D)mm.
- Peso: 2 kg.
- Fusible: 0.3A.

4- Especificaciones Técnicas:

- Frecuencias de salidas: 0.1Hz a 10MHz. (8 posiciones).
- Impedancia de la señal de salidas: 50 Ω .
- Señales de salida: sinusoidal, diente de sierra y cuadrada.
- Amplitud de la señal de salida: 10V_{p-p} (50 Ω).

18.- Digital & Analog Circuit Lab (DAC-457000)



Analógico – Digital Circuito de Laboratorio

Es un entrenador analógico digital de alta calidad, que combina todas las funciones esenciales de experimentos analógicos y digitales. Está acondicionado con un panel de experimentación variable, fuente de alimentación de CD generador de función, despliegue de LED de 7 segmento de 2 dígitos, despliegue de LED de 16 bits, 2 interruptores de pulso, speaker de 2 ¹/₄ pulgadas de diámetro, 8Ω y 0.25W. Adicionalmente, está diseñado con un solo conector universal, el cual tiene agarraderas fijas en el panel, para estar vinculado con conectores diversos para conveniencia de interfaz con circuitos en vías de desarrollo. En pocas palabras, es ideal para los estudiantes de escuelas secundarias, universidades, escuelas de formación profesional y departamentos de investigación.

1- Especificaciones

1.1- Panel de experimentación:

Interconectado con 2820 contactos de níquel, acomodó todos los tamaños de chapuzón y que todos los componentes con pista y de principios sólidos alámbrico AGW #22-30 (0.3-0.8mm). Puede estar cambiado y reemplazado y para el propósito diferente y puede estar vinculado con demostración panel. Por lo tanto, es muy conveniente para maestros y estudiantes.

1.2- Fuente de alimentación de CD:

A- Salida fija de CD: +5V, 1A.

B- Salida fija de CD: - 5V, 1A.

C- Salida variable de CD: 0V a +15V, 1A.

D) Salida variable de CD: 0V a -15V, 1A.

1.3- Potenciómetros:

- Reóstato variable VR1=1k Ω .

- Reóstato variable VR2=100k Ω .

1.4- Generador de función:

- Rango de frecuencia: 1Hz - 10Hz

10Hz - 100Hz

100Hz - 1kHz

1kHz - 10kHz

10kHz - 100kHz

- Amplitud:

-Salida de onda sinusoidal: 0 – 10Vpp variable.

-Salida de onda triángulo: 0 – 10Vpp variable.

-Salida de onda cuadrada: 0 – 10Vpp variable.

-Salida modo TTL: 5Vpp

1.5- Interruptores de 16 bits de datos:

Los interruptores de apoyo de 16 bits corresponden a puntos de salida. Cuando correspondiente de salida cambian de decisión acometió contra abajo de posición, la salida es nivel del oscilador local; Contrariamente, debe ser nivel alto al colocar en posición levantada.

1.6- interruptores de pulso 2.

Dos interruptores con salida:(A, A, B, B).

1.7- Speaker:

2 ¹/₄ pulgadas de diámetro, 8Ω y 0.25W.

1.8- Adaptador de 4 canales:

Ambos de los dos conectores bananeros y dos propinas del punto de gatas del bnc son cambiables. Sirve para que PE-7000AD esté vinculado con dispositivos periféricos.

1.9- Despliegue de LED de 7 segmentos de 2 dígitos.

A- Despliegue de salida

1.10- Despliegue de LED de 16 bits:

16 LED rojos para los terminales de entradas de datos. Los LED serán iluminados cuando la energía de entrada este en un nivel alto, y estarán apagados cuando la entrada este en nivel bajo.

1.11- Conector universal de agarraderas:

Este conector en el panel para estar vinculado con conectores universales diversos, que está disponible como debajo de, todos estos accesorios son optativos:

1.12 Dimensiones: 258x95x334mm (W x H x D)

1.13- Peso: 4,5 kg.

2- Controles y descripción del panel delantero:

- 1- Interruptor de encendido y apagado.
- 2- Fuente de poder positiva variable.
- 3- Fuente de poder negativa variable
- 4- Potenciómetros (VR1=1kΩ, VR2=100kΩ).
- 5- Frecuencia variable.
- 6- Amplitud de forma de onda variable.
- 7- Selectores de forma de onda.
- 8- Rango de frecuencia.

- 9- Interruptores de 16 bits de datos.
- 10- Despliegue de LED de 16 bits.
- 11- Despliegue de LED de 7 segmento de 2 dígitos.
- 12- Panel de experimentación.
- 13- Adaptador.
- 14- Dos interruptores de pulso.
- 15- Bocina.
- 16- Conector universal de agarraderas.

3- Precauciones:

- 1- Al terminar su funcionamiento, ponerlo en un lugar seco, con buena ventilación y limpio. Sino va hacer utilizado por un largo tiempo, entonces desconecte el suministro de energía.
- 2- Para el mantenimiento, la tensión de entrada debe ser desconectada.