**CALIFICACIÓN:**

**\_\_\_\_\_/ 30**

**Fecha de práctica:**

**Fecha de entrega:**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA**

II TÉRMINO 2015

# PRÁCTICA 2

# PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS RECTIFICADORES MONOFÁSICOS CONMUTADOS POR LÍNEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLÉS MAWDSLEY’S

TÉCNICO DOCENTE: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No

Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No

Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No

Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No Alumno: \_\_\_\_\_\_\_\_\_Paralelo: \_\_ Recup.: Sí No

Nota: *La escritura del nombre del alumno, debe ser realizada por cada integrante del paralelo.*

En el presente capítulo se analizan las topologías de cuatro convertidores AC-DC monofásicos: convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado, convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central, convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado, convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado. Se calculan figuras de mérito en las diferentes topologías empleando carga resistiva y un ángulo de disparo fijo, se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y se obtienen las formas de onda de voltaje ánodo-cátodo y corriente de los semiconductores empleados en cada topología para una carga resistiva-inductiva y un ángulo de disparo fijo.



## Listado de equipos a emplearse.

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indican a continuación:

* Drive Mawdsley’s
* Multímetro
* Analizador de energía FLUKE 434 o 435
* Multímetro FLUKE 87V
* Banco de resistencias TERCO MV 1100
* Banco de inductores TERCO MV1101
* Interruptor TERCO MV 1500
* Cables de tipo banana.

### Procedimientos de uso del drive

#### Conexión de instrumentos de medición

* Considerar que en la terminal 1, el voltaje es mayor que en la terminal 6 y que la corriente circula desde la terminal 1 a la carga y de esta, regresa al drive por la terminal 6.
* Con respecto a los oscilogramas de voltaje y corriente y análisis de armónicos, conectar la punta de prueba de voltaje en las terminales 1 y 6 del drive y la punta de prueba de corriente considerando la señal que indica el sentido de la corriente; es necesario calibrar la punta de corriente a través de su perilla ZERO.

#### Energización del Drive

* Verificar que todos los breakers de la Mawdsley’s estén repuestos (abiertos).
* Conectar el convertidor de potencia Mawdsley’s a la red trifásica del Laboratorio.
* Verificar que la lámpara de ENCENDIDO, lo esté.

#### Energización del circuito de fuerza

* Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
* Fijar positivamente (+) el selector REFERENCE POLARITY.
* Accionar el breaker del transformador monofásico.
* Accionar el breaker S superior.
* Accionar el breaker DC de la carga.

#### Des-energización del circuito de fuerza

* Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
* Reponer el breaker DC de la carga.
* Reponer el breaker S superior.
* Reponer el breaker del transformador monofásico.

Al realizar este procedimiento es necesario medir el voltaje de referencia, es decir el voltaje entre las terminales T1 y CONTROL COMMON, en caso de que el ángulo de disparo sea el mismo para la siguiente variante del experimento y evitar su reajuste a través del osciloscopio.

### Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.

#### Carga resistiva.

En la Fig. 2.1 se detalla la conexión respectiva.



Figura 2.: Conexión del banco de resistores hacia el drive Mawdsley’s

#### Carga resistiva-inductiva.

En la Fig. 2.2 se detalla la conexión respectiva.



Figura 2. Conexión del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley’s.

#### Carga resistiva-inductiva con diodo de paso libre.

Cambiar la posición del interruptor MV1500. En la posición 1, el interruptor trifásico permite la conducción. Referirse al circuito de potencia, al inicio de cada experimento. Observar la Fig. 2.3.



Figura 2. Conexión de un diodo de paso libre empleando el interruptor MV1500

## Convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado

### Objetivos

* Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.
* Realizar el análisis de armónicos del voltaje de salida empleando carga resistiva.

### Conexiones eléctricas en el drive Mawdsley’s

## No realizar el procedimiento de energización del drive descrito en la sección 2.2.2.

## El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda controlado se muestra en la Fig. 2.4. Las conexiones en el panel frontal del drive se muestran en la Fig. 2.5.



Figura 2.4: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de media onda



Figura 2.5: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de media onda en el panel frontal del Drive Mawdsley’s

* + 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

## Ajustar la carga resistiva con R=100Ω.

## Fijar el ángulo de disparo en α=0° considerando a P6 como el pulso de referencia y obtener los oscilogramas de voltaje y corriente de salida.

Figura 2.6: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).

## Empleando las medidas provistas en el osciloscopio, completar la tabla 2.1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | EXPERIMENTAL | |
|  | VOLTAJE | CORRIENTE |
| MEDICIÓN PROMEDIO |  |  |
| MEDICIÓN EFICAZ |  |  |
| MEDICIÓN AC |  |  |

Tabla 2.1: Medición promedio, eficaz y AC de voltaje y corriente.

* + 1. Análisis de armónicos del voltaje de salida del convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

## Configurar el analizador de energía Fluke 434 o 435 de acuerdo a la sección 3.2.4.1 de la guía de prácticas del Laboratorio.

## Registrar en la Tabla 2.2, los valores de THD, de la componente DC y con respecto a las cinco primeras componentes armónicas, su amplitud y fase.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  |  | |
| **SIMULADO** | **EXPERI**  **MEN**  **TAL** | **SIMULADO** | **EXPERI**  **MEN**  **TAL** |  | **SIMULADO** | **EXPERI**  **MEN**  **TAL** |
|  |  |  |  | **1** |  |  |
|  |  |  |  | **2** |  |  |
|  |  |  |  | **3** |  |  |
|  |  |  |  | **4** |  |  |
|  |  |  |  | **5** |  |  |

Tabla 2.2: Análisis de armónicos.

* + 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

1. Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 125Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 4, correspondiente a aproximadamente 330mH. Conectar esta carga RL al drive tal como se muestra en la Fig. 2.2.
2. Ajustar el ángulo de disparo en 0° y visualizar los oscilogramas de voltaje y corriente.
3. Completar la Tabla 2.3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | EXPERIMENTAL | |
|  | VOLTAJE | CORRIENTE |
| MEDICIÓN PROMEDIO |  |  |
| MEDICIÓN EFICAZ |  |  |
| MEDICIÓN AC |  |  |

Tabla 2.3: Mediciones promedio, eficaz y AC de voltaje y corriente.

* + 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva con la activación del diodo de paso libre empleando el osciloscopio Fluke 192B.

1. Visualizar la corriente de entrada, luego la corriente a través del diodo de paso libre y finalmente la corriente de salida (Tiempo).

## Convertidor AC-DC monofásico de onda controlado completa con tap central.

### Objetivos

* Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de onda completa controlado con tap central, calculando las figuras de merito, realizando el análisis de armónicos y visualizando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.
* Realizar el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor.

### Conexiones eléctricas en el drive Mawdsley’s

## El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda controlado se muestra en la Fig. 2.6. Las conexiones en el panel frontal del drive se muestran en la Fig. 2.7; en esta imagen se observa la conexión hacia los pulsos de disparo.



Figura 2.6: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central



Figura 2.7: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central en el panel frontal del Drive Mawdsley’s

* + 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el multímetro Fluke 867B.

## Ajustar la carga resistiva con R=100Ω.

## Realizar el procedimiento de energización del drive descrito en la sección 2.2.2 y el procedimiento de energización del circuito de fuerza descrito en la sección 2.2.3.

## Fijar el ángulo de disparo en α=0° considerando a P6 como el pulso de referencia y obtener los oscilogramas de voltaje y corriente.

Figura 2.8: Oscilograma y mediciones de las señales de voltaje y corriente de salida.

## Completar la tabla 2.4.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | EXPERIMENTAL | |
|  | VOLTAJE | CORRIENTE |
| MEDICIÓN PROMEDIO |  |  |
| MEDICIÓN EFICAZ |  |  |
| MEDICIÓN AC |  |  |

Tabla 2.4: Medición promedio, eficaz y AC de voltaje y corriente.

1. Para calcular el TUF, se requiere medir la corriente del secundario del transformador monofásico. Debido al tipo de conexión en el secundario del transformador, se medirá la corriente del primario y empleando la relación de voltajes del primario y del secundario del transformador se calculará el valor de la corriente en el secundario. Ver la Fig. 3.40 de la Guía de prácticas del Laboratorio en la cual se muestra el plano eléctrico del drive Mawdsley’s. Notar que se debe conectar la punta de corriente en el cable con marquilla A10.
2. El valor RMS de la corriente del primario es de \_\_\_\_\_\_ A.
3. El voltaje nominal del primario es 120V y el voltaje nominal del secundario conectado en serie es de 540V. Por ende, el valor RMS de la corriente del secundario es de \_\_\_\_\_\_A. Finalmente, el valor del parámetro TUF es de \_\_\_\_\_\_.
4. * 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el multímetro Fluke 867B.
5. Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 100Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 4, correspondiente a 330mH.
6. Fijar el ángulo de disparo empleando el menú CURSOR de tal forma que se logre el límite entre la corriente continua y discontinua.
7. Visualizar el oscilograma de voltaje y corriente.

## Convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado.

* + 1. Objetivos
* Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de onda completa semicontrolado observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.
* Realizar el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor.

1. * 1. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive
2. El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda semi-controlado se muestra en la Fig. 2.9. Las conexiones en el panel superior del drive, se muestran en la Fig. 2.10.



Figura 2.9 Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado



Figura 2.10: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado en el panel superior del Drive Mawdsley’s

1. * 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B
2. Ajustar la carga resistiva en R=100Ω.
3. Realizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza y fijar el ángulo de disparo en un valor cercano a α=90°.
4. Completar la tabla 2.5.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | EXPERIMENTAL | |
|  | VOLTAJE | CORRIENTE |
| MEDICIÓN PROMEDIO |  |  |
| MEDICIÓN EFICAZ |  |  |
| MEDICIÓN AC |  |  |

Tabla 2.5: Medición promedio, eficaz y AC de voltaje y corriente.

* + 2. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor AC-DC analizado empleando el analizador de energía Fluke 434

1. Realizar el procedimiento de desenergización del circuito de fuerza.
2. Realizar la configuración del analizador de energía tal como se especifica en la sección 3.2.4.1. de la Guía de prácticas del Laboratorio.
3. Energizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza.
4. Visualizar la corriente de entrada al convertidor.
5. Completar la Tabla 2.6.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  |  |
|  | |  | | **1** |  |
|  |  |  |  | **3** |  |

Tabla 2.6 Resultados experimentales de la serie de Fourier de la corriente de entrada del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y α=90°

* + 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el multímetro Fluke 867B.

1. Realizar el procedimiento de desenergización del circuito de fuerza.
2. Fijar la resistencia de un resistor del banco de resistores en 125Ω y ajustar la inductancia del banco de inductores en 330mH (paso 4).
3. Realizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza y mantener el ángulo de disparo en 90°.
4. El voltaje promedio corresponde a \_\_\_\_\_\_\_V y la corriente promedio corresponde a \_\_\_\_\_\_\_A.
   * 1. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B
5. Visualizar el voltaje A-K y la corriente del tiristor TH1.
6. * 1. Variación de la corriente de salida de acuerdo al ángulo de disparo y a la inductancia empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B
7. Visualizar el efecto de variar el ángulo de disparo y de la inductancia en la corriente de salida.

## Convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado.

* + 1. Objetivos
* Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de onda completa totalmente controlado observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.
* Realizar el análisis de armónicos de la corriente de entrada.
  + 1. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

1. Realizar el procedimiento de desenergización del circuito de fuerza.
2. El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de onda completa totalmente controlado se muestra en la Fig. 2.22. Las conexiones del secundario del transformador monofásico, ubicado en el panel frontal inferior, son similares a las que se observan en la Fig. 2.5. Las conexiones en el panel superior del drive, se muestran en la Fig. 2.23.



Figura 2.11: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de onda completa totalmente controlado



Figura 2.12: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de onda completa semi-controlado en el panel superior del Drive Mawdsley’s

1. * 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B
2. Visualizar el desfase existente entre pulsos P1 y P4.
3. Ajustar la carga resistiva con R=100Ω.
4. Realizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza y fijar el ángulo de disparo aproximadamente en α=90°.
5. La medición de voltaje promedio corresponde a \_\_\_\_\_\_\_V y la medición de corriente promedio corresponde a \_\_\_\_\_\_\_\_\_A.
6. * 1. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434
7. Realizar el procedimiento de des-energización del circuito de fuerza.
8. Configurar el analizador de energía de la misma forma que en la sección 3.2.4.1 de la Guía de prácticas del Laboratorio.
9. La forma de onda de la corriente de entrada es similar a la obtenida con el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi- controlado. Comprobar con el osciloscopio Fluke 192B, esta afirmación.
10. Realizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza.
11. Completar la tabla 2.11.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  |  |
|  | |  | | **1** |  |
|  |  |  |  | **3** |  |

Tabla 2.7 Resultados experimentales de la serie de Fourier de la corriente de entrada del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y α=90°.

1. Realizar el procedimiento de des-energización del circuito de fuerza.
   * 1. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B
2. Fijar la resistencia de un resistor del banco en 125Ω y emplear el inductor en el paso 4 correspondiente a 330mH.
3. Realizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza y fijar el ángulo de disparo en 90°.
4. El voltaje promedio es de \_\_\_\_\_\_\_\_V y la corriente promedio es de \_\_\_\_\_\_\_A.

* + 1. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B.

1. Visualizar el voltaje y la corriente de salida.
2. Visualizar el voltaje AK y la corriente del tiristor TH1.