



DEPARTAMENTO DE
**INGENIERÍA
ELÉCTRICA**
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ingeniería Civil en Electricidad
Mención Sistemas de Energía

Proyecto 2

Curso Dinámica de Máquinas Eléctricas

Prof. Matías Díaz
Ingeniero Civil Electricista, M.Sc & Ph.D
Profesor de Cátedra

Prof. Victor Arredondo
Ingeniero Civil Electrónico, M.Sc
Profesor de Laboratorio

Se tiene una máquina de inducción tipo jaula ardilla, operada por un Variador de Frecuencia (VDF) que tiene la capacidad de operar con Control Orientado en Campo (FOC), tal como se muestra en la Figura 1.

El variador de frecuencia está compuesto por un rectificador no controlado, un enlace DC y un inversor basado en un Voltage Source Converter (VSC) equipado con IGBTs. La tensión nominal del enlace DC debe ser mayor a 540 V (ver Tabla 1). El VSC se conecta a la red utilizando inductancias de 5mH con una resistencia interna de 0.7 Ohm (L_g y R_g). La red tiene un voltaje de 380V entre líneas y una frecuencia de 50Hz.

En condiciones nominales la máquina se energiza con 380V, 50Hz. El número de pares de polos es dos. La corriente magnetizante, medida en los terminales de línea, es de aproximadamente 12A efectivos. La velocidad nominal es de aproximadamente 1485rpm, $J=0.2\text{Kgm}^2$ y $B=0.007\text{Nm/rads}^{-1}$.

Se asume que existe un sensor de velocidad y posición conectado a la máquina.

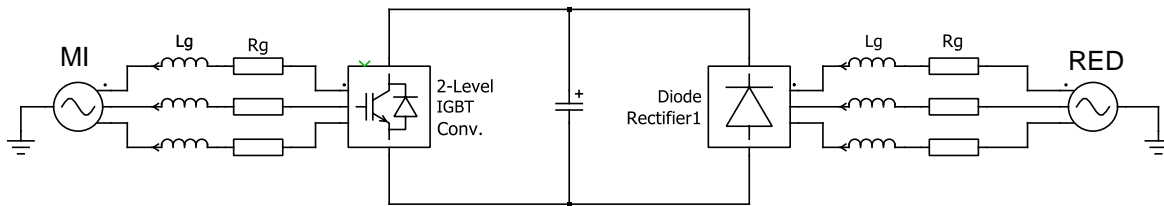


Figura 1: Máquina de Inducción operada por Variador de Frecuencia.

Tabla 1: Parámetros del sistema.

Nombre	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	Unidad
R_r	0.50	0.673	0.55	0.49	0.55	0.6	0.55	0.37	0.65	Ω
L_r	141.5	140	135.7	134.9	135.5	136.7	137	139	139.5	mH
L_s	141.5	140	135.7	134.9	135.5	136.7	137	139	139.5	mH
R_s	0.52	0.68	0.57	0.50	0.56	0.615	0.56	0.385	0.66	Ω
L_0	140	137.2	133	131.8	132	135.5	136.5	137.5	138.7	mH
V_{dc}	550	575	600	565	555	580	590	620	585	V
C	3.2	3	4	2	2.5	1.5	4	3.3	2.6	mF
I_s	110	150	125	110	135	105	125	135	130	Arms

PRIMERA PARTE: DISEÑO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

En esta etapa usted debe “diseñar” los componentes principales que compondrán su variador de frecuencia. Debe considerar que un VDF se compone de una etapa de potencia (semiconductores, dc-link, etc) y una etapa de control (microprocesador).

Para el “diseño” de su VDF, debe utilizar las páginas Digikey, Farnell, RS Components para encontrar los componentes.

Se pide:

1. Comparar a lo menos 3 opciones de IGBTs de silicio, considerando: **voltaje colector-emisor, corriente, perdidas de switching, perdidas por conducción, fabricante, tiempo entrega, precio**. De ser necesario, indicar qué otros parámetros son importantes a la hora de decidir por un IGBT. En base a esta comparación, elegir la mejor opción y justificar su respuesta.
2. Comparar al menos 3 opciones de arreglo de condensadores electrolíticos para alcanzar un valor cercano a la capacitancia indicada en Tabla 1. Considere: **número de condensadores, capacitancia, tensión, tolerancia, ESR, vida útil, fabricante, precio**. De ser necesario, indicar qué otros parámetros son importantes a la hora de decidir por un condensador. En base a esta comparación, elegir la mejor opción y justificar su respuesta.
3. Comparar al menos 3 opciones de rectificadores no controlados considerando: **voltaje inverso máximo, capacidad, voltaje directo, fabricante, precio**. De ser necesario, indicar qué otros parámetros son importantes a la hora de decidir por un rectificador no controlado. En base a esta comparación, elegir la mejor opción y justificar su respuesta. Determinar cuántas señales se deben medir y determinar qué tipo de sensores se podrían utilizar. Determinar el número de señales a medir para que su VDF pueda realizar FOC. Cotizar los sensores.
4. El sistema de control de su VDF se realizará en un microprocesador Delfino de Texas Instrument. Elegir alguna opción dentro de esta familia, justificando la elección por las características y precio del equipo.
5. Realizar un listado de los materiales y costos de los componentes de su VDF. De ser necesario, indicar qué componentes faltan.
6. Identificar 3 VDF comerciales que puedan cumplir con los requerimientos de este trabajo. De ser posible, cotizarlos.

SEGUNDA PARTE: SIMULACIÓN EN PLECS

En esta etapa, debe implementar en PLECS el circuito de la Fig. 1, considere emplear SVM para el VSC. Se pide:

1. Se pide implementar un control de velocidad de la máquina de inducción jaula de ardilla. El sistema de control debe ser del tipo vectorial indirecto orientado en el flujo del rotor.
2. Asuma que la máquina no opera por encima de la velocidad base. El control de velocidad debe ser diseñado para una frecuencia natural de 10Hz. Considerando las recomendaciones de frecuencia estudiadas en clases, utilice frecuencia natural adecuada e idéntica para los lazos d y q. En todos los casos el valor del coeficiente de amortiguamiento es 0.707.

En todos los lazos de control considere diseño para cero-error en estacionario a entrada escalón. El sistema de control debe considerar anti-winding up en el componente integral.

3. Pruebe el desempeño del sistema de control al acelerar la máquina entre cero y 1400rpm, permanecer por 5 segundos en 1400rpm y luego desacelerar la máquina hasta -500 rpm. Analice que le sucede el DC-Link durante esta prueba.
4. Proponga una estrategia de control de frenado disipativo compuesto por un IGBT en serie a una resistencia de 30Ω en paralelo con los condensadores del DC-Link. En este control, la tensión del enlace DC no puede ser menor a 540V, ni mayor 700V.
5. Repita la prueba del punto 3 y compruebe que su sistema de control de frenado disipativo funciona correctamente.
6. Busque la hoja de datos de una máquina de potencia similar a la de su simulación. Agregue una carga mecánica de 0.85 torque nominal a su simulación, y acelere la máquina entre cero y 1250rpm. Grafique las corrientes y comente sus resultados.
7. Repita la prueba anterior y analice la distorsión armónica de las corrientes de entrada al rectificador.
8. Operando la máquina a 900rpm, con flujo y corriente nominal, encuentre la distorsión armónica de corriente y voltaje. Grafique los espectros de frecuencias e identifique los armónicos del SVM.
9. Asuma que la máquina se encuentra operando a flujo nominal a una velocidad constante de 1000rpm. Somete la máquina a cambios tipo escalón en la corriente cuadratura (de 0 a corriente nominal y viceversa). Grafique las corrientes de estator y rotor en dq y $\alpha\beta$ En esta prueba, desconecte el lazo de velocidad.

10. El sistema de control del VDF opera con todos los lazos conectados, cuando la máquina es sometida a un cambio tipo escalón en la velocidad rotacional, entre 0-900rpm. Por error en la programación del sistema de control, la constante de tiempo del rotor se incrementa al doble del valor real cuando la velocidad supera las 450rpm. Grafique las variables de interés y encuentre las corrientes reales (ids e iqs) con las que opera la máquina. Asuma como carga mecánica sólo el valor de J y B.

INFORME

- Se debe elaborar un informe detallando todos los puntos solicitados en este documento, para esto, se pueden formar grupos de 3 estudiantes (máximo).
- El informe debe considerar Tabla de Contenidos, Índice de Tablas e Índice de Figuras, Introducción, Conclusiones y Referencias. El nombre de las otras secciones es libre.
- No exceder las 30 páginas.
- Los informes deben ser elaborados de acuerdo al formato de establecido para las tesis de pregrado del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Santiago. Este documento está disponible en:

<https://pefft.usach.cl/templates-course-material>

CALIFICACIÓN

- La nota de este informe se considerará como un 16.65% de su nota de cátedra final.