

## TABLA DE CONTENIDOS.

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE SIMBOLOS.....	11
CAPITULO 1.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.3 ALCANCES.....	17
1.4 METODOLOGÍA.....	17
1.5 MARCO TEORICO.....	18
1.5.1 Aplicación de la Electrónica de Potencia.....	18
1.5.2 Semiconductores De Potencia.....	20
1.5.3 Conceptos Básicos De Potencia.....	22
1.5.4 Perturbaciones De La Red Eléctrica.....	31
1.5.5 Soluciones Para La Compensación De Armónicos.....	32
1.5.6 Filtros Activos de Potencia.....	33
1.5.7 Convertidores en Cascada.....	36
1.5.8 Dispositivos FACTS.....	38
1.5.9 Objetivo de Control.....	44
1.5.10 Técnicas de Modulación.....	45
CAPITULO 2.....	49
2.1 MODELOS DINÁMICO.....	50
2.2 PUNTO DE OPERACIÓN.....	51
2.3 MODELO MATEMATICO DE DISEÑO CON UNA CARGA LINEAL.....	56
2.4 MODELO MATEMATICO DE DISEÑO CON CARGA LINEAL Y NO LINEAL.....	58
2.5 SIMULACIONES.....	60

2.5.1 Modelo Simétrico.....	61
2.5.2 Modelo Asimétrico.....	63
2.6 CONCLUSIÓN.....	67
CAPITULO 3.....	68
3.1 INTRODUCCION.....	69
3.2 MODELAMIENTO DE PÉRDIDAS POR CONMUTACIÓN.....	70
3.2.1 Característica Dinámicas.....	70
3.2.2 Modelamiento De Conmutación.....	71
3.2.3 Modelamiento Para Calcular La Pérdida Por Conmutación.....	72
3.3 COMPARACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR CONMUTACIÓN.....	74
3.3.1 IGBT Modelo NGTG15N60S1EG.....	76
3.3.2 IGBT Modelo IRG4BC20UDPbF.....	77
3.3.3 IGBT Modelo IRG4PC50SPbF.....	77
3.3.4 IGBT Modelo IRG4BC20KPbF.....	78
3.3.5 IGBT Modelo IRG4PF50WPbF.....	78
3.3.6 IGBT Modelo FGH40N120AN.....	79
3.4 RESULTADOS.....	79
3.5 CONCLUSIÓN.....	83
CAPITULO 4.....	85
4.1 INTRODUCCIÓN.....	86
4.2 RANGO DE OPERACIÓN DEL DSTATCOM.....	87
4.2.1 Región De Operación Para El IGBT Modelo NGTG15N60S1EG.....	89
4.2.2 Región De Operación Para El IGBT Modelo IRG4BC20UDPbF.....	89
4.2.3 Región De Operación Para El IGBT Modelo IRG4PC50SPbF.....	90
4.2.4 Región De Operación Para El IGBT Modelo IRG4BC20KPbF.....	90
4.2.5 Región De Operación Para El IGBT Modelo IRG4PF50WPbF.....	91
4.2.6 Región De Operación Para El IGBT Modelo FGH40N120AN.....	91
4.3 RESULTADOS.....	92

4.4 CONCLUSIÓN. ....	94
CAPITULO 5 .....	95
5.1 SUMARIO.....	96
5.2 CONCLUSIONES.....	97
5.3 TRABAJO FUTURO.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS.....	103
ANEXO A: SIMULACIONES EN PSIM. ....	104
ANEXO B: CODIGO DE PROGRAMACION EN MATLAB. ....	106
ANEXO C: CODIGO DE PROGRAMACION EN JAVA.....	108

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1	Topología de un compensador de distribución estática. ....	15
Figura 2	Esquematación del sistema.....	18
Figura 3	Diagrama de bloques de un sistema de electrónica de potencia. ....	19
Figura 4	Triángulo de potencia.....	24
Figura 5	Principio básico de un filtro activo de potencia (APF).....	33
Figura 6	Gráfica de las respectivas formas de onda del APF. a) V, b) $I_{pcc}$ , c) $I_d$ , d) $I_p$ ....	34
Figura 7	Una celda del CHB .....	37
Figura 8	Topología del circuito inversor multinivel en cascada. ....	38
Figura 9	Topología de un UPFC .....	41
Figura 10	Topología de un UPQC.....	42
Figura 11	Topología de un STATCOM multinivel.....	44
Figura 12	Esquemático de control.....	45
Figura 13	a) Señal SPWM Generada. b) Señales Moduladoras Desfasadas $120^\circ$ .....	47
Figura 14	Diagrama destacado de la malla donde se realiza la LVK y LCK.....	50
Figura 15	Convertidor estático para el primer modelo.....	56
Figura 16	Factor de potencia unitario del modelo con carga lineal.....	58
Figura 17	Convertidor estático para el segundo modelo. ....	59
Figura 18	Factor de potencia unitario del modelo con carga lineal y no lineal.....	60
Figura 19	Comparación entre el esquema del modelo simétrico y asimétrico. ....	61
Figura 20	Modelo Simétrico Del Convertido Estático (Grafico extraído de PSIM). ....	62
Figura 21	Esquema de la generación de la señal de modulación (Grafico extraído de PSIM). ....	63
Figura 22	Factor de potencia del modelo simétrico. ....	63
Figura 23	Modelo Asimétrico Del Convertido Estático (Grafico extraído de PSIM).....	64
Figura 24	Transformada abc-dq para el lazo de control de la celda fundamental.....	65
Figura 25	Transformada dq-abc para el lazo de control fundamental.....	66
Figura 26	Generación del SPWM para las celdas. ....	66
Figura 27	Factor de potencia del modelo asimétrico.....	67
Figura 28	Inversor puente H, destacando la subdivisión de las piernas. ....	70

Figura 29	Pérdidas por conmutación.....	71
Figura 30	Proceso de Encendido del IGBT Para el Caso Ideal. ....	73
Figura 31	Potencia Del IGBT Para El Caso Ideal. ....	73
Figura 32	a) Resultado Modelo Simétrico. b) Resultado Modelo Asimétrico. ....	82
Figura 33	Resultado de la Comparación de los Modelos. ....	83
Figura 34	Potencia Total De Referencia.....	86
Figura 35	Línea de Tendencia para el Modelo Simétrico. ....	92
Figura 36	Línea de Tendencia para el Modelo Asimétrico. ....	92
Figura 37	a) Comparación del Modelo Simétrico (Color Azul) vs Asimétrico (Color Rojo), b) Vista Superior, c) Vista Lateral.....	93
Figura 38	Simulación del DSTATCOM con carga lineal. ....	104
Figura 39	Simulación del DSTATCOM con carga lineal y no lineal. ....	105

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 1	Propiedades relativas de los interruptores controlados. ....	22
Tabla 2	Voltaje de salida para cada conmutación de un puente H. ....	37
Tabla 3	Clasificación de los dispositivos FACTS según parámetro que controlan.....	40
Tabla 4	Impacto de dispositivos FACTS en sistemas AC.....	40
Tabla 5	Parámetros definidos para el primer modelo.....	56
Tabla 6	Parámetros definidos para el segundo modelo. ....	59
Tabla 7	Pérdidas Por Conmutación, dependiendo de la corriente y el estado de transición. .....	74
Tabla 8	Parámetros definidos para los modelos de análisis (Simétrico y Asimétrico). ....	76
Tabla 9	Resultados Obtenido Para El IGBT Modelo NGTG15N60S1EG.....	77
Tabla 10	Resultados Obtenido Para El IGBT Modelo IRG4BC20UDPbF.....	77
Tabla 11	Resultados Obtenido Para El IGBT Modelo IRG4PC50SPbF.....	78
Tabla 12	Resultados Obtenido Para El IGBT Modelo IRG4BC20KPbF.....	78
Tabla 13	Resultados Obtenido Para El IGBT Modelo IRG4PF50WPbF.....	79
Tabla 14	Resultados Obtenido Para El IGBT Modelo FGH40N120AN. ....	79
Tabla 15	Comparación de los tiempos y cotización de los 6 IGBTs de análisis. ....	80
Tabla 16	Resultados Obtenido Para El Modelo Típico. ....	81
Tabla 17	Porcentaje de las Cargas Para Determinar la Región de Operación.....	87
Tabla 18	Valores Para cada Rango de Operación. ....	87
Tabla 19	Resultados Obtenidos Para $T_{sw} = 310 \text{ nS}$ .....	89
Tabla 20	Resultados Obtenidos Para $T_{sw} = 244 \text{ nS}$ .....	89
Tabla 21	Resultados Obtenidos Para $T_{sw} = 889 \text{ nS}$ .....	90
Tabla 22	Resultados Obtenidos Para $T_{sw} = 222 \text{ nS}$ .....	90
Tabla 23	Resultados Obtenidos Para $T_{sw} = 333 \text{ nS}$ .....	91
Tabla 24	Resultados Obtenidos Para $T_{sw} = 89 \text{ nS}$ .....	91

## LISTA DE SIMBOLOS.

### Letras Mayúsculas.

P	Potencia activa.
Q	Potencia reactiva.
S	Potencia aparente.
Z	Impedancia.
$L_L$	Inductor de la carga.
$R_L$	Resistencia de la carga.
$L_p$	Inductor del convertidor.
$R_p$	Resistencia del convertidor.
$R_{dc}$	Resistencia por donde circula la corriente directa.
$C_{dc}$	Condensador por donde circula la corriente directa.
$G_{ac}$	Ganancia de la técnica de modulación.
$K_{pf}$	Fracción de cuadratura, para el factor de potencia.
$P_{sw}$	Potencia de conmutación.
$E_{sw}$	Energía perdida por la conmutación.
$T_{sw}$	Periodo completo de conmutación.
$E_{on}$	Perdidas de conmutación por encendido.
$E_{off}$	Perdidas de conmutación por apagado.
$E_{IGBT-on}$	Energía perdida en el encendido del IGBT.
$E_{IGBT-off}$	Energía perdida en el apagado del IGBT.
$E_{diodo-off}$	Energía perdida en el apagado del diodo característico.

PI Controlador de acción proporcional e integral.

### Letras Minúsculas.

$f_p$  Factor de potencia.

$v_{dc}$  Voltaje DC-Link.

$i_p^q, i_p^d$  Corriente que circula por  $L_p$  en el plano dq.

$i_L^q, i_L^d$  Corriente de la carga que circula por  $L_p$  en el plano dq.

$i_p^{abc}$  Corriente del inductor en el plano abc.

$v_L^{abc}$  Vector de tensión de carga.

$m_p^{abc}$  Vector de modulación.

$v_{ce}$  Voltaje colector emisor del IGBT.

$i_c$  Corriente del colector del IGBT.

### Símbolos Griegos.

$\Delta x$  Desviación de la corriente del inductor y del voltaje del capacitor.

$\Delta u$  Desviación de la señal de modulación.

$\omega$  Velocidad angular.

### Abreviaciones.

PWM Modulación por ancho de pulso.

PCC Punto común de acoplamiento.



NPC	Topología fuente de voltaje multinivel.
IGBT	Transistor bipolar de puerta aislada.
DC	Corriente directa.
AC	Corriente alterna.
SHE	Eliminación selectiva de armónicas.
VSC	Convertidor fuente de voltaje.
DSP	Procesador digital de señales.
CHB	Puente H en cascada.
NPC	Punto neutro fijo.
FCS	Capacitores Flotantes.
APF	Filtro activo de potencia.
FFT	Transformada rápida de Fourier.
FACTS	Sistema flexible de transmisión de corriente alterna.
UPFC	Controlador unificado de flujos de potencia.
UPQC	Acondicionador de calidad de energía unificado.
LVK	Ley de Kirchhoff de voltaje.
LCK	Ley de Kirchhoff de corriente.
STATCOM	Compensador estático.
DSTATCOM	Compensador estático de distribución.