



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
DE COMPUTADORES Y DE SISTEMAS**

TESIS DOCTORAL

**BALASTOS ELECTRÓNICOS NO RESONANTES PARA
LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA:
APORTACIONES EN EL CIRCUITO DE ARRANQUE Y
EN LAS ETAPAS DE CALENTAMIENTO Y RÉGIMEN
PERMANENTE**

por

Jorge García García

GIJÓN, JULIO DE 2003

TESIS DOCTORAL

BALASTOS ELECTRÓNICOS NO RESONANTES PARA LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA: APORTACIONES EN EL CIRCUITO DE ARRANQUE Y EN LAS ETAPAS DE CALENTAMIENTO Y RÉGIMEN PERMANENTE

Por

Jorge García García

Presentada en el

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA, DE COMPUTADORES Y DE SISTEMAS**

de la

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Para la obtención del

Grado de Doctor por la Universidad de Oviedo

GIJÓN, JULIO DE 2003

TESIS DOCTORAL

BALASTOS ELECTRÓNICOS NO RESONANTES PARA LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA: APORTACIONES EN EL CIRCUITO DE ARRANQUE Y EN LAS ETAPAS DE CALENTAMIENTO Y RÉGIMEN PERMANENTE

Doctorando: D. Jorge García García

Directores de la Tesis: D. Manuel Rico Secades
D. Emilio López Corominas

TRIBUNAL CALIFICADOR:

Presidente: D. José Antonio Cobos Márquez

Secretario: D. Antonio Javier Calleja Rodríguez

Vocales: D. Francisco Javier Azcondo Sánchez
D. Alfonso Lago Ferreiro
D. José Marcos Alonso Álvarez

DEDICATORIA

*A mis padres, Jorge y Luisa,
a mi hermana, Lucía,
y a Eva,
que han sabido apoyarme en todo momento*

Agradecimientos:

Quiero agradecer a Manuel Rico Secades y a Emilio López Corominas, todos los consejos y toda la ayuda que me han brindado durante la elaboración de esta Tesis Doctoral. Sin todo esto, la realización de este trabajo no hubiera sido posible.

También quiero agradecer de forma especial a Javier Ribas, Jesús Cardesín, Antonio J. Calleja y J. Marcos Alonso todos los consejos, sugerencias, aportaciones, y toda la ayuda que me han prestado a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Agradezco también el constante apoyo y ayuda recibida por los miembros del Grupo de Electrónica Industrial de la Universidad de Oviedo.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que me han ofrecido su sincera ayuda durante la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS

OBJETIVOS Y CONTENIDO DE LA TESIS

PLANTEAMIENTO	III
OBJETIVOS DE LA TESIS	V
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS	VII
BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA.	IX

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1	INTRODUCCIÓN	1-4
1.2	CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN.....	1-6
1.2.1	MAGNITUDES Y PRINCIPIOS FÍSICOS.	1-6
1.2.1.1	MAGNITUDES Y UNIDADES DE RADIACIÓN	1-6
1.2.1.2	MAGNITUDES Y UNIDADES EN ILUMINACIÓN	1-7
1.2.1.3	OTROS PARÁMETROS	1-9
1.3	CONCEPTOS BÁSICOS DE LÁMPARAS.....	1-11
1.3.1	PRINCIPIOS FÍSICOS.	1-11
1.3.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LÁMPARAS	1-12
1.3.3	LA DESCARGA EN GASES.....	1-13
1.3.3.1	GENERACIÓN DE CALOR	1-13
1.3.3.2	EXCITACIÓN DE ÁTOMOS DEL GAS Y MOLÉCULAS	1-13
1.3.4	LIMITACIÓN DE CORRIENTE DE DESCARGA	1-14
1.3.5	ARRANQUE DE LA DESCARGA.....	1-15
1.3.6	LUZ EMITIDA EN LA DESCARGA	1-15
1.4	LÁMPARAS DE DESCARGA	1-16
1.4.1	LA DESCARGA A BAJA PRESIÓN	1-16
1.4.1.1	LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESIÓN.....	1-16
1.4.1.2	TUBOS FLUORESCENTES.	1-17

1.4.2	DESCARGA A ALTA PRESIÓN	1-18
1.4.2.1	LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN	1-18
1.4.2.2	LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS	1-19
1.4.2.3	LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN	1-21
1.4.3	BALANCE DE POTENCIA EN LÁMPARAS DE DESCARGA	1-22
1.5	REFERENCIAS	1-24

CAPÍTULO 2: RESONANCIAS ACÚSTICAS EN LÁMPARAS DE DESCARGA: DESCRIPCIÓN, DETECCIÓN Y MÉTODOS EXISTENTES PARA MINIMIZAR EL RIESGO DE APARICIÓN

2.1	INTRODUCCIÓN	2-4
2.1.1	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE RESONANCIAS ACÚSTICAS	2-6
2.1.2	EFFECTOS QUE INFLUYEN EN APARICIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS	2-7
2.1.3	PREDICCIÓN TEÓRICA DE FRECUENCIAS PROPIAS	2-7
2.1.4	EXCITACIÓN Y AMORTIGUAMIENTO DE LAS RESONANCIAS ACÚSTICAS	2-11
2.1.5	CONCLUSIONES	2-13
2.2	RELACIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS CON LA GEOMETRÍA DEL TUBO DE DESCARGA	2-15
2.2.1	GEOMETRÍA DE LOS EXTREMOS DEL TUBO	2-15
2.3	MÉTODOS DE DETECCIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS EN LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA	2-18
2.3.1	MÉTODOS DE DETECCIÓN ÓPTICOS	2-18
2.3.2	MÉTODOS DE DETECCIÓN POR PARÁMETROS ELÉCTRICOS	2-19
2.4	IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS EN LÁMPARAS HID	2-22
2.4.1	MEDIDA DE LOS PARÁMETROS POR LA LÁMPARA	2-22
2.4.2	RESULTADOS OBTENIDOS	2-24
2.5	MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN DE LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA QUE MINIMICEN LA APARICIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS	2-27
2.5.1	FUNCIONAMIENTO A FRECUENCIAS DISTANTES DEL MARGEN DE APARICIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS	2-28
2.5.2	FUNCIONAMIENTO BAJO ESPECTRO DE POTENCIAS DISTRIBUIDO	2-29
2.5.3	FUNCIONAMIENTO CON MODULACIÓN DE LAS FORMAS DE ONDA DE ALIMENTACIÓN	2-30
2.5.4	BALASTO DE ONDA CUADRADA	2-37

2.5.5	FUNCIONAMIENTO A FRECUENCIA DETERMINADA POR UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO EN TIEMPO REAL.....	2-38
2.5.6	DETECCIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS Y SELECCIÓN DE OTRA FRECUENCIA DIFERENTE.....	2-39
2.5.7	REALIMENTACIÓN CON LA PROPIA SEÑAL DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DEBIDA A RESONANCIAS ACÚSTICAS	2-39
2.5.8	CUADRO COMPARATIVO.....	2-40
2.6	DESARROLLOS FUTUROS	2-41
2.7	REFERENCIAS:.....	2-43

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE FORMAS DE ONDA DE ALTA FRECUENCIA PARA ALIMENTAR LÁMPARAS DE DESCARGA

3.1	INTRODUCCIÓN	3-3
3.2	FORMA DE ONDA SENOIDAL	3-4
3.3	FORMA DE ONDA CUADRADA.....	3-6
3.3.1	FORMA DE ONDA CUADRADA PERFECTA	3-6
3.3.2	FORMA DE ONDA CUADRADA CON TIEMPOS MUERTOS	3-6
3.3.3	FORMA DE ONDA RECTANGULAR ASIMÉTRICA	3-14
3.4	FORMA DE ONDA CUASICUADRADA.....	3-14
3.4.1	FORMA DE ONDA CUASICUADRADA ASIMÉTRICA.....	3-14
3.4.2	FORMA DE ONDA CUASICUADRADA SIMÉTRICA.....	3-20
3.5	CONCLUSIONES	3-23
3.6	REFERENCIAS.....	3-25

CAPÍTULO 4: ESTABILIDAD DEL SISTEMA FORMADO POR BALASTO Y LÁMPARA

4.1	INTRODUCCIÓN	4-3
4.2	CARACTERÍSTICA DE UNA LÁMPARA DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA.....	4-4
4.2.1	CORRIENTE POR LA DESCARGA	4-4
4.2.2	IMPEDANCIA INCREMENTAL	4-5
4.3	CARACTERÍSTICA DE SALIDA DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO.....	4-9
4.4	CRITERIO DE ESTABILIDAD	4-10
4.5	REFERENCIAS.....	4-15

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE INVERSORES DE ALTA FRECUENCIA Y MÉTODOS DE CONTROL PROPUESTOS

5.1	INTRODUCCIÓN	5-4
5.2	METODOLOGÍA A EMPLEAR PARA EL ANÁLISIS DE LOS INVERSORES	5-7
5.2.1	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE INTERÉS.....	5-8
5.2.2	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	5-9
5.2.3	NORMALIZACIÓN DE VARIABLES	5-10
5.3	INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR (REDUCTOR-ELEVADOR).....	5-13
5.3.1	ANÁLISIS DEL INVERSOR	5-15
5.3.2	FORMA DE ONDA DE POTENCIA.....	5-19
5.3.3	PARÁMETROS NOMINALES	5-21
5.3.4	EJEMPLO DE DISEÑO	5-23
5.3.5	MÉTODOS DE CONTROL EN CADENA ABIERTA	5-27
5.3.5.1	CONTROL POR FRECUENCIA - CICLO DE TRABAJO (f-D).....	5-26
5.3.5.2	CONTROL POR CORRIENTE MÁXIMA POR EL INTERRUPTOR-TIEMPO DE APAGADO DEL INTERRUPTOR ($I_{M\ MAX} - T_{OFF}$)	5-30
5.3.5.3	CONTROL POR CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA - TIEMPO DE APAGADO DEL INTERRUPTOR ($I_{L\ MÁX} - T_{OFF}$).....	5-35
5.3.5.4	CONTROL POR CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA - RIZADO DE CORRIENTE POR LA BOBINA ($I_{L\ MÁX} - \Delta I_L$).....	5-39
5.3.6	CONCLUSIONES.....	5-43
5.3.7	MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CONTROL.	5-46
5.4	INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES (MEDIO PUENTE ALIMENTADO EN CORRIENTE).....	5-53
5.4.1	ANÁLISIS DEL INVERSOR.....	5-55
5.4.2	PARÁMETROS NOMINALES	5-64
5.4.3	MÉTODOS DE CONTROL.....	5-66
5.4.3.1	CONTROL POR FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN (F)	5-67
5.4.3.2	CONTROL POR CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA, ($I_{L\ MAX}$).	5-69
5.4.3.3	CONTROL POR RIZADO DE CORRIENTE POR LA BOBINA, (ΔI_L)	5-75
5.4.4	CONCLUSIONES.....	5-77
5.4.5	MODIFICACIONES A LOS CONTROLES PROPUESTOS.....	5-78
5.5	INVERSOR DE 4 INTERRUPTORES (PUENTE COMPLETO ALIMENTADO EN CORRIENTE).....	5-83
5.6	RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y CONCLUSIONES	5-87
5.7	REFERENCIAS	5-91

CAPÍTULO 6: PROTOTIPOS CONSTRUIDOS, EXPERIMENTOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

6.1	PROTOTIPOS CONSTRUIDOS	6-3
6.1.1	DIAGRAMA DE LOS BALASTOS PROPUESTOS	6-3
6.1.2	LÁMPARAS ENSAYADAS	6-4
6.1.2.1	RESONANCIAS ACÚSTICAS EN LAS LÁMPARAS OBJETIVO DE DISEÑO	6-5
6.1.3	POTENCIA DE ENTRADA	6-6
6.1.4	ETAPA DE ADAPTACIÓN DEL BUS	6-6
6.2	INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR	6-9
6.2.1	DISEÑO DE LA ETAPA DE ADAPTACIÓN DEL BUS.....	6-10
6.2.2	DISEÑO DEL INVERSOR	6-10
6.2.3	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	6-12
6.2.3.1	ELEMENTOS MAGNÉTICOS	6-12
6.2.3.2	EL CIRCUITO DE CONTROL.....	6-12
6.2.3.3	ARRANCADOR.....	6-13
6.2.4	PROTOCOLO DE PRUEBAS	6-13
6.2.5	LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO	6-14
6.2.6	LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS.....	6-17
6.3	INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES.....	6-20
6.3.1	DISEÑO DE LA ETAPA DE ADAPTACIÓN DEL BUS.....	6-21
6.3.2	DISEÑO DEL INVERSOR	6-21
6.4	RESULTADOS OBTENIDOS	6-23
6.5	REFERENCIAS.....	6-24

CAPÍTULO 7: ARRANCADOR PARA LÁMPARAS DE DESCARGA PROPUESTO: ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

7.1	INTRODUCCIÓN	7-3
7.2	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	7-4
7.2.1	FUNCIONAMIENTO DEL SIDAC.....	7-5
7.3	CIRCUITO DE ARRANQUE PROPUESTO.....	7-6
7.3.1	SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO	7-7
7.3.1.1	FASE I	7-7
7.3.1.2	FASE II	7-8
7.3.1.3	FASE III	7-9
7.3.2	FUNCIONAMIENTO ANTE FALLO O AUSENCIA DE LÁMPARA.....	7-10

7.4	DISEÑO DEL CIRCUITO PROPUESTO	7-11
7.5	PROTOTIPO CONSTRUIDO.....	7-14
7.6	CONEXIÓN AL INVERSOR	7-15
7.7	RESULTADOS EXPERIMENTALES	7-17
7.8	CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS.....	7-18
7.9	REFERENCIAS	7-19

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES, APORTACIONES REALIZADAS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
--

8.1	RESUMEN DE LA TESIS	8-3
8.2	CONCLUSIONES	8-5
8.3	APORTACIONES REALIZADAS	8-7
8.4	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	8-9

ANEXO I: PROGRAMAS MATEMÁTICOS

A.1	INTRODUCCIÓN	A-3
A.2	PROGRAMAS DE MATHCAD	A-4
A.2.1	CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LAS FRECUENCIAS PROPIAS DE RESONANCIAS ACÚSTICAS EN LÁMPARAS DE DESCARGA.....	A-4
A.2.2	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE FRECUENCIA Y CICLO DE TRABAJO (FREC-DUTY)	A-14
A.2.3	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR EL INTERRUPTOR Y TIEMPO DE APAGADO ($I_{LMAX}-T_{OFF}$) .	A-19
A.2.4	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA Y TIEMPO DE APAGADO ($I_{LMAX}-T_{OFF}$)	A-25
A.2.5	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA Y RIZADO DE CORRIENTE POR LA BOBINA ($I_{LMAX}-\Delta I_L$).....	A-31
A.2.6	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR EL INTERRUPTOR Y TIEMPO DE APAGADO	

($I_{LMAX}-T_{OFF}$), VARIANDO LOS PARÁMETROS DE CONTROL EN FUNCIÓN DE LA CARGA EQUIVALENTE QUE PRESENTA LA LÁMPARA.	A-37
A.2.7 ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES, CONTROLADO MEDIANTE FRECUENCIA (FREC).....	A-43
A.2.8 ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA (I_{LMAX}).....	A-49
A.2.9 ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA (I_{LMAX}), VARIANDO LOS PARÁMETROS DE CONTROL EN FUNCIÓN DE LA CARGA EQUIVALENTE QUE PRESENTA LA LÁMPARA.	A-55
A.2.10 ANÁLISIS DEL CONTENIDO ARMÓNICO DE LAS FORMAS DE ONDA DE POTENCIA INSTANTÁNEA EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS DE TENSIÓN Y CORRIENTE.	A-62

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE SÍMBOLOS

Capítulo 1

λ	Longitud de Onda
η_e	Rendimiento Eléctrico
E	Iluminancia
E_r	Irradiancia
F	Flujo Luminoso
F_r	Flujo Radiante
$F_{r\lambda}$	Flujo Radiante Espectral
I	Intensidad Luminosa
I_r	Intensidad Radiante
K	Eficacia Luminosa de la Radiación
L	Luminancia
L_r	Radiancia
n	Rendimiento Luminoso
n_r	Eficacia Radiante
$V(\lambda)$	Curva de Sensibilidad del Ojo Humano

Capítulo 2

ω	Frecuencia Angular
Γ	Coefficiente de Amortiguamiento
Δ	Incremento
μ	Desviación de Frecuencia
δ	Razón de Desviación
v, ψ, ϕ, α	Parámetros de Formas de Onda en Modulación
ρ, φ, z	Coordenadas Cilíndricas
∇^2	Operador Laplaciana
α_{mn}	Solución n-ésima de la ecuación $J'_m(\pi \cdot \alpha) = 0$
A, B	Constantes
C	Velocidad del Sonido en un Medio
c_p	Calor Específico a Presión Constante
c_v	Calor Específico a Volumen Constante
D	Diámetro del Tubo de Descarga
$E\{ \}$	Operador Esperanza Estadística
f	Frecuencia
G	Ganancia
grad	Gradiente
I, i	Corriente
$j \cdot X$	Reactancia
J_m	Función de Bessel de Orden m
k	Constante
L	Longitud del Tubo de Descarga Cilíndrico
m	Número de Diámetros Nodales
M_g	Masa Molar del Gas
M_p	Amplitud (en tanto por ciento) de la modulación de Potencia
n	Número de Círculos Nodales
N	Potencia Eléctrica Instantánea
n_1, n_2	Nº de Espiras, en Primario y Secundario (respectivamente), en un Transformador

n_z	Orden Longitudinal de Resonancia
p	Presión
P, P_{AVG}	Potencia Media
R	Radio del Tubo de Descarga Cilíndrico
R	Resistencia
R_g	Constante Universal de los Gases
R_p	Resistencia Referida al Primario
R_s	Resistencia Referida al Secundario
r_t	Relación de Transformación
$R_x(t)$	Función de Autocorrelación de un Proceso Aleatorio $x(t)$
S_x	Densidad Media Espectral de Potencia de una onda $x(t)$
t	Tiempo
T	Temperatura
T	Periodo
v	Velocidad
V, U	Tensión
V_{RMS}	Tensión Eficaz
$X(f)$	Densidad Espectral de Amplitudes, de una onda $x(t)$

Capítulo 3

ω	Frecuencia Angular
Δ	Incremento
δ	Tiempo Muerto Referido al Período
Δ	incremento
τ	Constante de Tiempos
A_n, B_n, C_n	Coefficientes de Fourier
D	Ciclo de Trabajo
d	Tiempo Muerto
$i(t), I$	Corriente
L	Inductancia
M	Interrupción de Semiconductor
n	Armónico
$p(t), p$	Potencia
R	Resistencia
r_m	Relación rizado de potencia frente a potencia media
t	Tiempo
T	Período
$u(t), U, V$	Tensión

Capítulo 4

ϕ	Pendiente en el Diagrama P-R
$\Gamma_L(s)$	Característica de la Lámpara
A	Variable Eléctrica (tensión, corriente, etc.)
\hat{a}	Perturbación de la Variable Eléctrica A
f	frecuencia
$G_B(s)$	Característica de Salida del Inversor
I	Corriente
K	Constante
k, p, z	Constante
P	Potencia
R	Resistencia
r_d	Resistencia Dinámica
V	Tensión
$Z_L(s)$	Impedancia incremental

Capítulo 5

Δ	Incremento
τ	Constante de Tiempos de la Descarga
ω	Frecuencia Angular
Π	Potencia Normalizada
λ	Inductancia Normalizada
Ω	Frecuencia Normalizada
Ψ	Periodo Normalizado
ψ	Variable Temporal Normalizada
ε	Error
δ	Tiempo Muerto
Δj_{LAMP}	Rizado de Corriente Absoluto por la Carga
D	Ciclo de Trabajo
f	Frecuencia
i, I	Corriente
j	Corriente Normalizada
k	Constante
L	Inductancia
M	Tensión Normalizada
M_i, S_i	Interruptor de Semiconductor
n	Relación de Transformación
P	Potencia
Q	Resistencia Normalizada
T	Periodo
t	Tiempo
T_{OFF}	Tiempo de Apagado
T_{ON}	Tiempo de Encendido
U, V, u	Tensión

Capítulo 6

Δ	Incremento
τ	Constante de Tiempos de la Descarga
ω	Frecuencia Angular
Π	Potencia Normalizada
λ	Inductancia Normalizada
Ω	Frecuencia Normalizada
Ψ	Periodo Normalizado
ψ	Variable Temporal Normalizada
ε	Error
Δj_{LAMP}	Rizado de Corriente Absoluto por la Carga
D	Ciclo de Trabajo
f	Frecuencia
i, I	Corriente
j	Corriente Normalizada
k	Constante
L	Inductancia
M	Tensión Normalizada
M_i, S_i	Interruptor de Semiconductor
n	Relación de Transformación
P	Potencia
Q	Resistencia Normalizada
T	Periodo
t	Tiempo
T_{OFF}	Tiempo de Apagado
T_{ON}	Tiempo de Encendido
U, V, u	Tensión

Capítulo 7

C	Condensador
D	Diodo
i, I	Corriente
L	Inductancia
M	Mosfet
N	Número de Espiras
P	Potencia
R	Resistencia
r	Relación de Transformación
S	Sidac
t	Tiempo
TR	Transformador
U, V, u	Tensión
