

# **ELECTRÓNICA DE POTENCIA**

## **CONVERSORES DC-DC**

### **RECORTADOR o CHOPPER**

#### **GUÍA DE CLASES**

**PROFESOR: AUGER AYÇAGUER H.**

**v2008**

## CONVERSORES DC-DC

### Definición.

El conversor DC-DC, llamado también Recortador o Chopper, permite convertir tensión continua fija a tensión continua de magnitud variable.

$$\text{DC(fija)} \rightarrow \text{DC(variable)}$$

### Clasificación según el sentido del flujo de potencia:

Chopper clase A:	Cuadrante I	$V_{cc} > 0$	$I_{cc} > 0$
Chopper clase B:	Cuadrante II	$V_{cc} > 0$	$I_{cc} < 0$
Chopper clase C:	Cuadrantes I y II	$V_{cc} > 0$	$I_{cc} < > 0$
Chopper clase D:	Cuadrantes I y IV	$V_{cc} < > 0$	$I_{cc} > 0$
Chopper clase E:	4 Cuadrantes	$V_{cc} < > 0$	$I_{cc} < > 0$

### Clasificación según el nivel del voltaje de salida:

Reductor de tensión (Step-Down).

Elevador de tensión (Step-Up).

### Reguladores de conmutación (Switching-mode Regulators)

Regulador Buck.

Regulador Boost.

Regulador Buck-Boost.

Regulador Cúk.

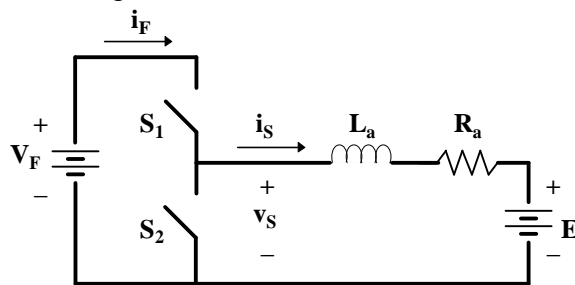
## 1. CHOPPER BIDIRECCIONAL.

### Función.

El chopper se alimenta desde una fuente de tensión continua y genera tensión continua ajustable.

### Configuración.

El chopper bidireccional (Clase C) se compone de 2 interruptores. La carga RLE serie se conecta a la barra positiva o a la negativa.



### Operación de los interruptores.

Los 2 interruptores operan secuencialmente con las siguientes restricciones:

- Los dos interruptores no deben cerrarse ni abrirse simultáneamente. (cortocircuito entre terminales de la fuente continua o bien sobretensión por interrupción de la corriente inductiva).
- Los interruptores deben ser bidireccionales para poder conducir las corrientes inductivas.

### Modelo (circuito equivalente).

La operación de los 2 interruptores puede representarse mediante un conmutador de 2 posiciones, lo que define 2 estados posibles ( $v_S(t) = V_F, 0$ ).

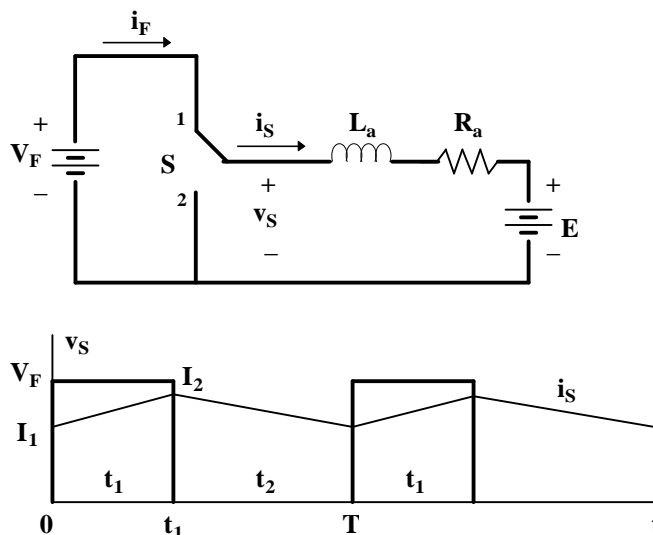


Fig.1: Forma de onda de la tensión y la corriente de salida del chopper.

$t_1$ : tiempo  $S_1$  cerrado  $t_2$ : tiempo  $S_2$  cerrado Periodo  $T = t_1 + t_2$

El voltaje medio o continuo a la salida es: 
$$V_{cc} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T v_s(t) dt = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_1} v_s(t) dt$$

$$V_{cc} = \frac{t_1}{T} V_F = f t_1 V_F = \delta V_F \quad (1)$$

Modos de operación que permiten controlar la magnitud de Vcc:

- a) Modulación por ancho de pulso (PWM): Operación a frecuencia constante (T cte), varía el tiempo  $t_1 = \delta T$ .
- b) Modulación de frecuencia: Operación a frecuencia variable ( $f=1/T$ ), manteniendo  $t_1$  (o  $t_2$ ) constante.

### Control por modulación de ancho de pulso.

La tensión Vcc varía linealmente con el ciclo de trabajo  $\delta$ . (duty cycle)

$$V_{cc} = \delta V_F \quad 0 \leq \delta \leq 1 \quad \delta = t_1 / T$$

La corriente de salida  $i_s$  se obtiene de las ecuaciones (para corriente no discontinua):

$$V_F = R i_s(t) + L di_s/dt + E \quad 0 \leq t < t_1$$

$$0 = R i_s(t) + L di_s/dt + E \quad t_1 \leq t < T$$

Resulta para los valores máximo y mínimo de la corriente, las siguientes expresiones:

$$I_{\text{máx}} = I_2 = I_1 e^{-\delta T R/L} + ((V_F - E)/R) (1 - e^{-\delta T R/L})$$

$$I_{\text{mín}} = I_1 = I_2 e^{-(1-\delta) T R/L} - (E/R) (1 - e^{-(1-\delta) T R/L})$$

El zumbido (peak-peak) de corriente será  $\Delta I = I_2 - I_1$

$$\Delta I = V_F (1 - e^{-\delta T R/L} + e^{-T R/L} - e^{-(1-\delta) T R/L}) / R (1 - e^{-T R/L})$$

Para  $\delta = 0.5$  se obtiene el máximo zumbido  $\Delta I_{\text{máx}} = (V_F/R) \tanh(R/4fL)$   
que se aproxima a  $\Delta I_{\text{máx}} \approx V_F/4fL$  si  $4fL \gg R$

Corriente continua a la salida: 
$$I_{cc} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_s(t) dt \approx \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2)$$

Potencia continua a la salida:  $P_{cc} = V_{cc} I_{cc} \quad (3)$

$$\text{si } \delta V_F > E \quad I_{cc} > 0 \quad P_{cc} > 0$$

$$\text{si } \delta V_F = E \quad I_{cc} = 0 \quad P_{cc} = 0$$

$$\text{si } \delta V_F < E \quad I_{cc} < 0 \quad P_{cc} < 0$$

En el último caso, la operación es estable sólo si  $E < V_F$

Si las pérdidas en los interruptores son despreciables, del balance de potencia activa se obtiene:

$$P_{cc} = V_{cc} I_{cc} = V_F I_F \quad \rightarrow \quad V_{cc} / V_F = I_F / I_{cc} = \delta$$

## 2. IMPLEMENTACIÓN DE LOS INTERRUPTORES BIDIRECCIONALES

Los interruptores que conforman el Chopper pueden implementarse mediante los siguientes dispositivos semiconductores. Las limitantes serán el tiempo de conmutación y la potencia disipada en los dispositivos.

- Tiristor apagable por compuerta GTO
- Transistor bipolar BT
- Transistor de compuerta aislada IGBT
- Transistor de efecto de campo MOSFET

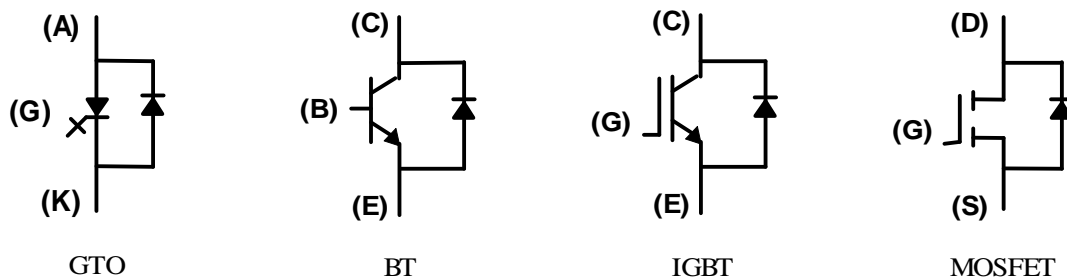


Fig.2: Configuración del interruptor bidireccional con control unilateral.

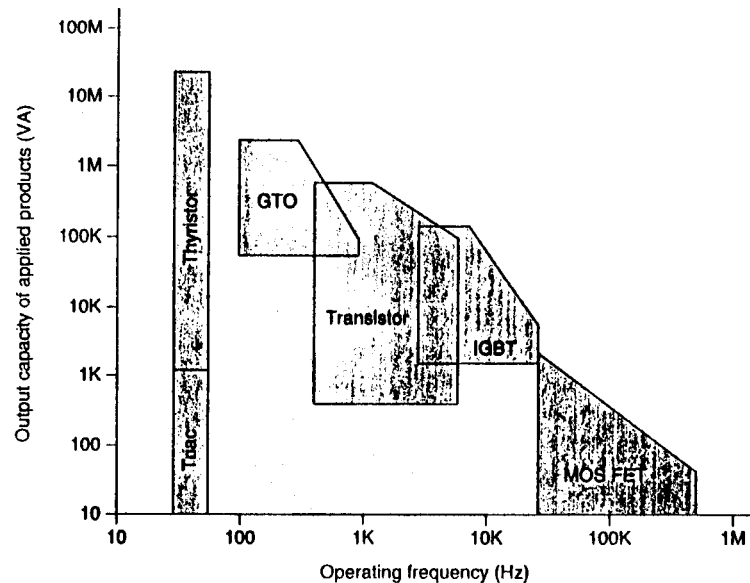


Fig.3: Rangos de potencia y frecuencia de aplicación de los dispositivos.

### 3. APLICACIONES DEL CHOPPER

- Variador de velocidad para motores de corriente continua en vehículos eléctricos: automóvil, trolebus, trenes etc...
- Regulador en fuentes de alimentación conmutada (Fuente de switching SMPS) para computadores y equipos electrónicos.

**Reguladores de conmutación:** Permiten obtener tensión continua regulada a la salida

#### i) Regulador Buck (Reductor de tensión).

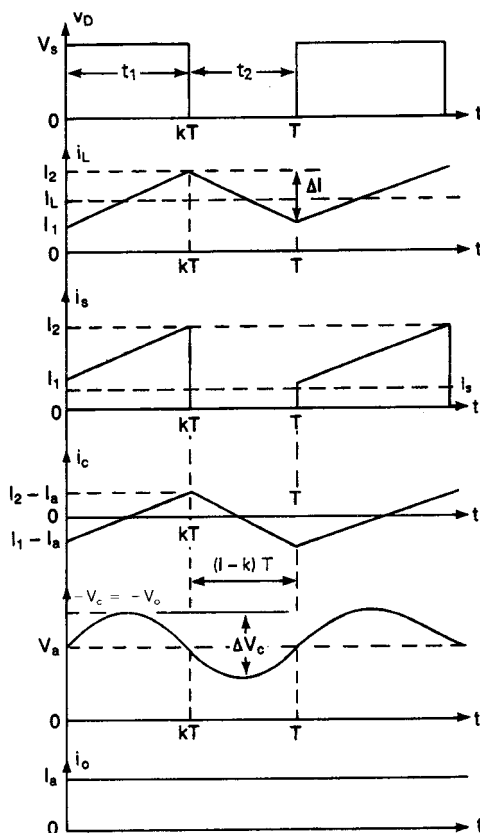
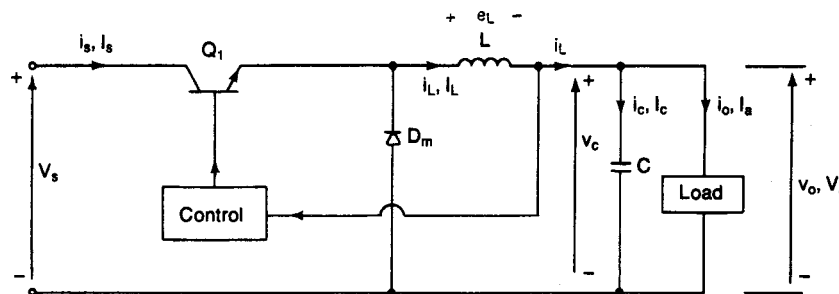


Fig.4 Regulador Buck. Operación con corriente no discontinua en la inductancia.

$$\frac{V_c}{V_F} = \delta \quad 0 < \delta < 1 \quad t_1 = \delta T$$

## ii) Regulador Boost (Elevador de tensión).

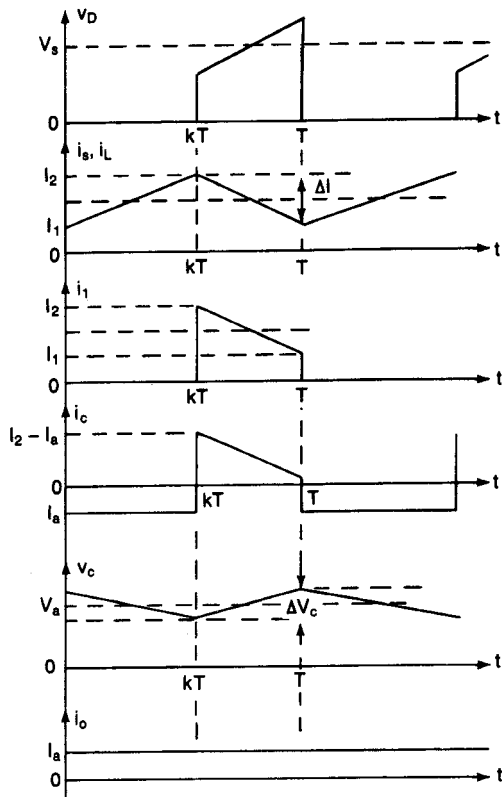
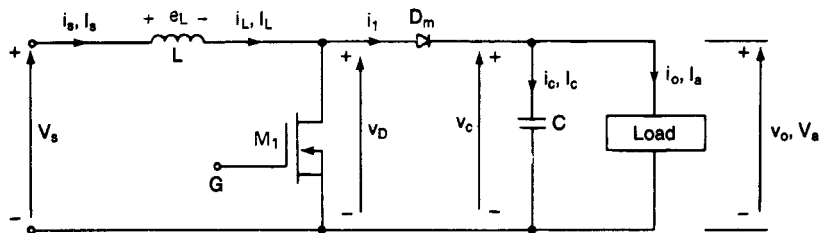


Fig.5 Regulador Boost. Operación con corriente no discontinua en la inductancia

$$\frac{V_C}{V_F} = \frac{1}{1-\delta} \quad 0 < \delta < 1 \quad t_1 = \delta T$$

$\delta$	$V_C/V_F$
0,25	4/3
0,50	2
0,75	4

La operación es estable sólo si  $V_C > V_F$  ( la corriente debe decrecer durante el periodo  $t_2$  ).

**iii) Regulador Buck-Boost (Reductor/Elevador de tensión (polaridad invertida)).**

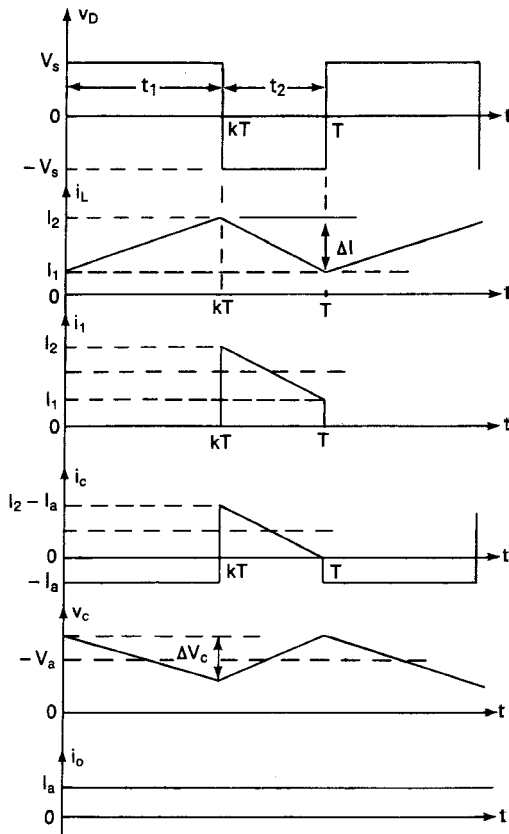
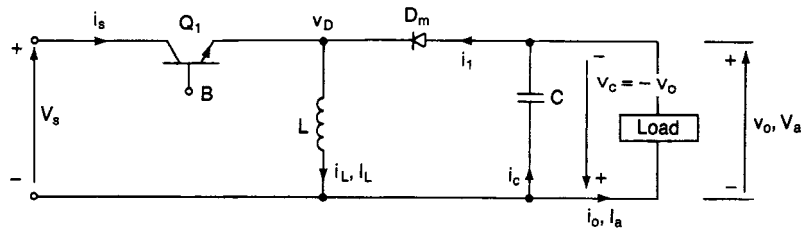


Fig.6 Regulador Buck-Boost. Operación con corriente no discontinua en la inductancia

$$\frac{V_C}{V_F} = -\frac{\delta}{1-\delta} \quad 0 < \delta < 1 \quad t_1 = \delta T$$

$\delta$	$V_C/V_F$
0,25	1/3
0,50	1
0,75	3

**iiib) Regulador Flyback (Reductor/Elevador de tensión ).**

$$\frac{V_C}{V_F} = \frac{\delta}{1-\delta} \quad 0 < \delta < 1$$

Ref.: Rashid, M.H., "Power Electronics, Circuits, Devices and Applications", 2nd ed., Prentice Hall, 1993.



iv) Regulador Cúk (Reductor/Elevador de tensión (polaridad invertida)).

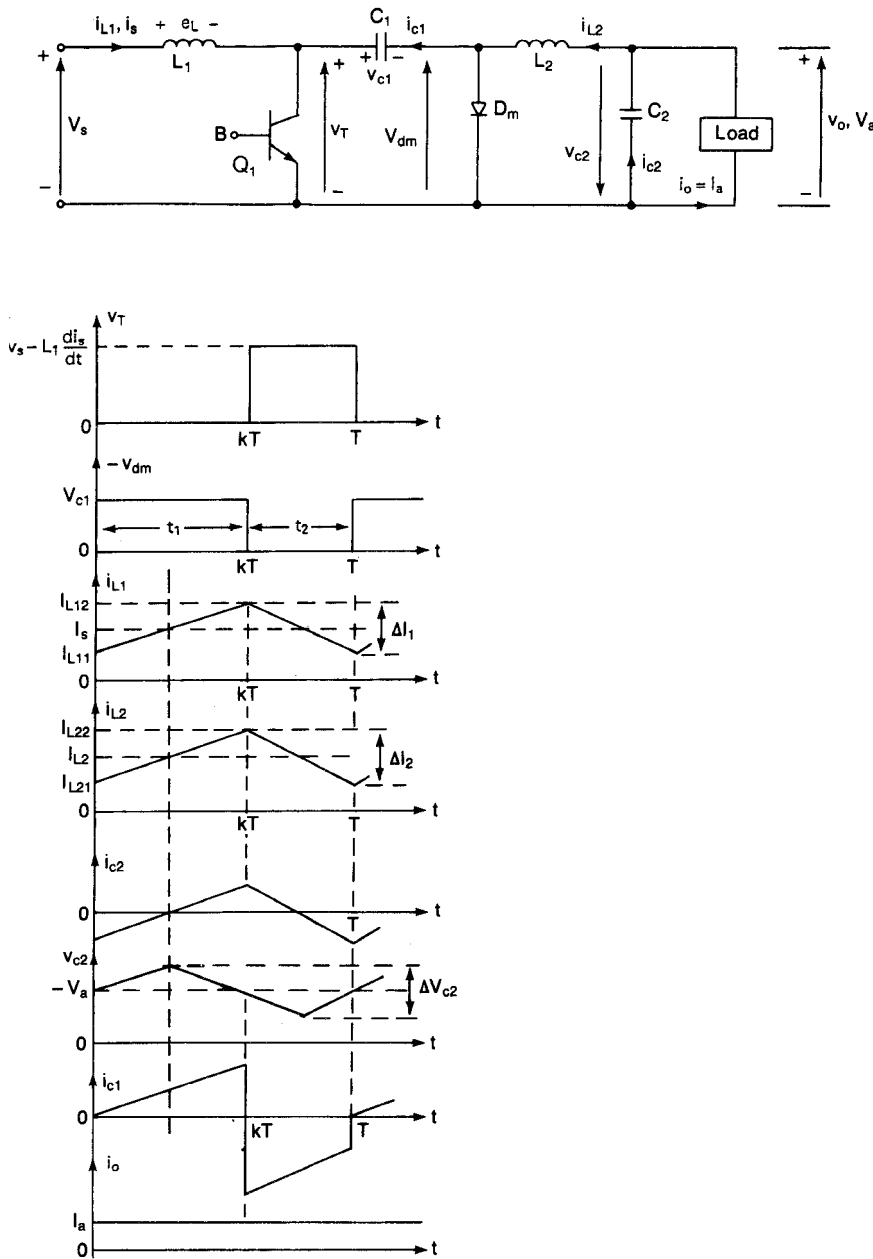


Fig.7 Regulador Cúk. Operación con corriente no discontinua en las inductancias.

$$\frac{V_C}{V_F} = -\frac{\delta}{1-\delta} \quad 0 < \delta < 1 \quad t_1 = \delta T$$

A partir del regulador Cúk, puede configurarse un Conversor DC-DC de 4 cuadrantes con aislación eléctrica entre entrada y salida mediante acoplamiento magnético. Tiene aplicación en Instrumentación, control de Servo motores y Amplificadores de audio.

Ref: Middlebrook, R.D., and S. Cuk, "Advances in Switched-Mode Power Conversion, Volumes I and II".

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bedford, B.D., and R.G. Hoft, "Principles of Inverter Circuits", Wiley, 1964.
2. Sze, S.M., "Semiconductor Devices and Technology", Wiley, 1985.
3. Middlebrook, R.D., and S. Cuk, "Advances in Switched-Mode Power Conversion, Volumes I and II", 2nd ed., TESLAcO, 1983.
4. Cuk, S., and R. D. Middlebrook, "Advances in Switched-Mode Power Conversion", Volume III, TESLAcO, 1983.
5. Severns, R.P., and G. Bloom, "Modern DC-DC Switchmode Power Conversion Circuits, Van Nostrand Reinhold Co., 1985.
6. Baliga, B.J., "Modern Power Devices", J. Wiley, 1987.
7. Thorborg, K., "Power Electronics", Prentice Hall, 1988.
8. Gualda, J.A., S. Martínez , y P. Martínez , "Electrónica industrial: Técnicas de potencia", Marcombo, 2ª ed. 1992.
9. Rashid, M.H., "Power Electronics, Circuits, Devices and Applications", 2nd ed., Prentice Hall, 1993.
10. Gottlieb, I.M., "Power Supplies, Switching Regulators, Inverters, and Converters", 2nd ed., Blue Ridge Summit, PA : TAB Books, 1994.
11. Vithayathil, J., "Power Electronics: Principles and Applications", McGraw-Hill, 1995.
12. Kazimierczuk, M.K., and D. Czarkowski, "Resonant Power Converters", Wiley, 1995.
13. Mohan, N., T.M. Undeland, and W.P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications, and Design", 2nd ed., Wiley, 1995.
14. Shepard, W., L.N. Hulley, and D.T. Liang, "Power Electronics and Motor Control", 2nd ed., Cambridge University Press, 1995.
15. Baliga, B.J., "Power Semiconductor Devices", PWS Publishing Co., Boston, 1996.
16. Erickson, R.W., "Fundamentals of Power Electronics", Chapman & Hall, 1997.
17. Sandler, S.M., "SMPS simulation with SPICE 3", McGraw-Hill, 1997.
18. Wu, K.C., "Pulse width modulated DC/DC converters", Chapman & Hall, 1997.
19. Krein, P.T., "Elements of Power Electronics", Oxford University Press, 1998.
20. Pressman, A.I., "Switching Power Supply Design", 2nd ed., McGraw-Hill, 1998.
21. Billings, K.H., "Switch-mode Power Supply Handbook", 2nd ed., McGraw-Hill, 1999.
22. Basso, C.P., "Switch-mode power supply SPICE cookbook", McGraw-Hill, 2001.
23. Erickson, R.W. and D. Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics", 2nd ed., Kluwer Academic, 2001.
24. Holmes, D.G. and Lipo, A., "Pulse Width Modulation for Power Converters", IEEE Press, John Wiley, 2003.