

直流-直流轉換器之分析與設計

Analysis and Design of DC-to-DC converters

組別：A11 學生：莊皓然 指導教授：鄭博泰

1. Abstract

電力電子學起源於西元 1902 年，其技術為使用功率半導體元件對電能進行轉換與控制，運用電力電子技術的轉換器包含直流-直流轉換器、直流-交流轉換器、交流-直流轉換器及交流-交流轉換器。此文探討之直流-直流轉換器是一種電能轉換的電路或設備，其運用廣泛且結構變化多樣，功用是將直流電源轉換成不同電壓的直流或近似直流電源，其中分為有變壓器的隔離型轉換器及無變壓器的非隔離型轉換器。隔離型轉換器可分為降壓式、升壓式及升降壓式，此文探討之轉換器為降壓式的 buck converter。非隔離型轉換器則可以透過調整變壓器一次側及二次側的線圈匝數比來達成改變電壓的效果，此文探討之返馳式轉換器為能量儲存於磁場而非直接透過磁場傳遞的一種轉換器。

此文探討兩種直流-直流轉換器的工作原理，並對其進行分析。包含降壓式轉換器及返馳式轉換器的轉換效率、主動及被動開關之電壓應力，以及非理想情況下之雜散效應、切換損失等。此文研究方法為先進行轉換比率和電壓應力之計算，再設計電路結構，接著透過兩種軟體，powersim 及 plects 進行電路波形模擬，藉此探討轉換器是否能達成預想之電壓轉換結果。

由波形結果可以看出轉換器之電壓轉換比率、主動和被動元件的電壓應力以及電流，均和預想之情況相符。

透過本實驗對直流-直流轉換器之工作原理、電路結構分析與設計，以及波形模擬軟體之運用更加熟悉，達到研究直流-直流轉換器之目的。

2. Introduction

2.1 Design

2.1.1 降壓式轉換器(Buck converter)

(1) 電感值

為了要操作在 CCM 模式，電感值 L_1 必須 $>$ 臨界感值 L_B 。 L_B 可由臨界電感電流求得：

$$I_{LB} = I_{OB} = \frac{1}{2} I_{rp} = \frac{1}{2} \frac{V_i - V_o}{L_B} t_{on} = \frac{V_o}{2L_B} (1 - D) T_s$$

$$L_1 > L_B = \frac{V_o}{2I_{OB}} (1 - D) T_s = \frac{V_o}{2 \left(\frac{P_o}{V_o} \right)} \left(1 - \frac{V_o}{V_i} \right) T_s = \frac{V_o^2 T_s}{2P_o} \left(1 - \frac{V_o}{V_i} \right)$$

先設定 $V_{in}=100V$ ， $D=0.4$ ，可得 $V_o=40V$ 。設定 $P_o=10W$ ， $f_s=100kHz$ ，

$T_s = 1/100k = 10\mu s$ 。

$$L_B = \frac{40^2 * 10^{-5}}{2 * 10} (1 - 0.4) = 480\mu H$$

考慮電感電流連波大小 $I_{rp} = 0.24A$ ，可得：

$$L_1 = \frac{V_o}{I_{rp}} (1 - D) T_s = \frac{40}{0.24} * 0.6 * 10^{-5} = 0.001H$$

(2) 電阻值

由於電路負載必須大於臨界負載才能操作在 CCM 模式，意味著電阻 R1 必須小於臨界電阻 R_{OB} 。

$$R_1 < R_{OB} = \frac{V_o}{I_{OB}} = \frac{2L_B}{(1 - D)T_s}$$

利用上述參數可得：

$$R_{OB} = \frac{2 * 480 * 10^{-6}}{(1 - 0.4) * 10^{-5}} = 160\Omega$$

取低負載為全載之 20%，因此 $R_1 = 160 * 0.2 = 32\Omega$ 。

(3) 電容值

電容值 C1 可由電壓輸出電壓漣波 V_{rp} 求得：

$$V_{rp} = \frac{1}{C_1} * \frac{1}{2} * \frac{I_{rp}}{2} * \frac{T_s}{2} = \frac{I_{rp} * T_s}{8C_1} = \frac{V_o(1 - D)T_s^2}{8L_1C_1}$$

$$C_1 = \frac{V_o(1 - D)T_s^2}{8L_1V_{rp}}$$

(4) Buck converter parameters

元件	參數
輸入電壓 V_{in}	100V
duty ratio D	0.4
切換頻率	100kHz
電感 L1	1mH
電容 C1	220 μ F
負載 R1	32 Ω
雜散電容 C_{ds}	2nF
雜散電容 C_{D1}	1nF
雜散電感 L_{ds}	0.5 μ H

2.1.2 返馳式轉換器 (Flyback converter)

(1) 電感值

為了要操作在 CCM 模式，激磁電感值 L_m 必須 > 臨界感值 L_{mB} 。 L_{mB} 可由臨界電感電流求得：

$$I_{OB} = \frac{I_{D1}(1 - D)}{2} = \frac{V_o(1 - D)T_s}{N^2 L_{mB}} \left(\frac{1 - D}{2} \right) = \frac{V_o(1 - D)^2 T_s}{2N^2 L_{mB}}$$

$$L_m > L_{mB} = \frac{V_o(1-D)^2 T_s}{2N^2 I_{OB}}$$

(2) 電容值

電容值 C1 可由電壓輸出電壓漣波 V_{rp} 求得：

$$V_{rp} = \frac{Q_A}{C_1} = \frac{I_o * D * T_s}{C_1} = \frac{V_o D T_s}{R_1 C_1}$$

$$C_1 = \frac{V_o D T_s}{V_{rp} R_1}$$

(3) Flyback converter parameters

元件	參數
輸入電壓 Vin	20V
duty ratio D	0.5
切換頻率	100kHz
激磁電感 L _m	0.001H
電容 C1	470μF
負載 R1	10Ω
變壓器 T1 匝數比	1:0.5

2.2 Result

2.2.1 Buck converter

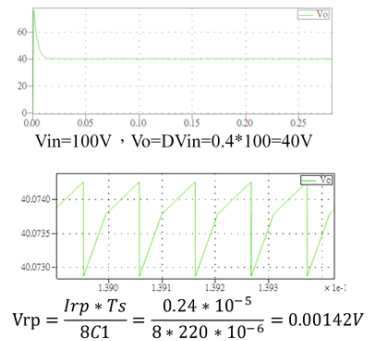
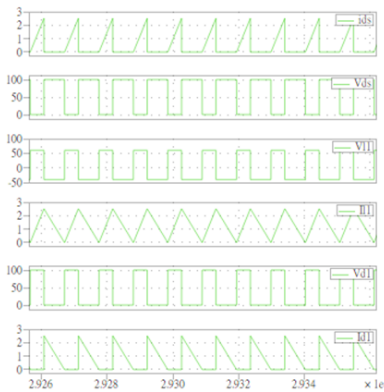
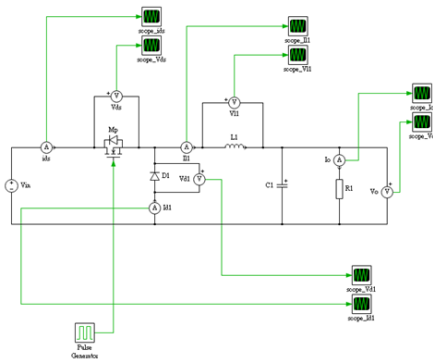
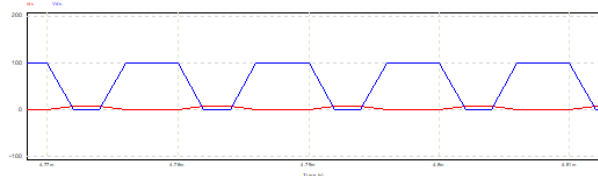
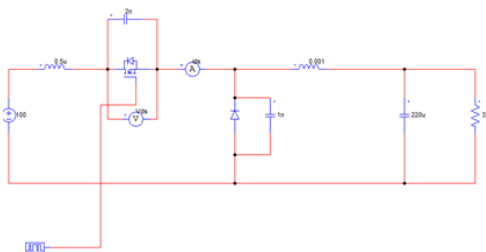


圖 1. Circuit and waveform results of buck converter



V_{ds} 與 i_{ds} 之交越面積 = 0.002m * 0.45/2 = 0.45μ。
P(loss) = 0.45μ * 2 / Ts = 0.9μ / 10μ = 0.09(W)。

圖 2. Circuit and waveform results of buck converter with switching loss

2.2.2 Flyback converter

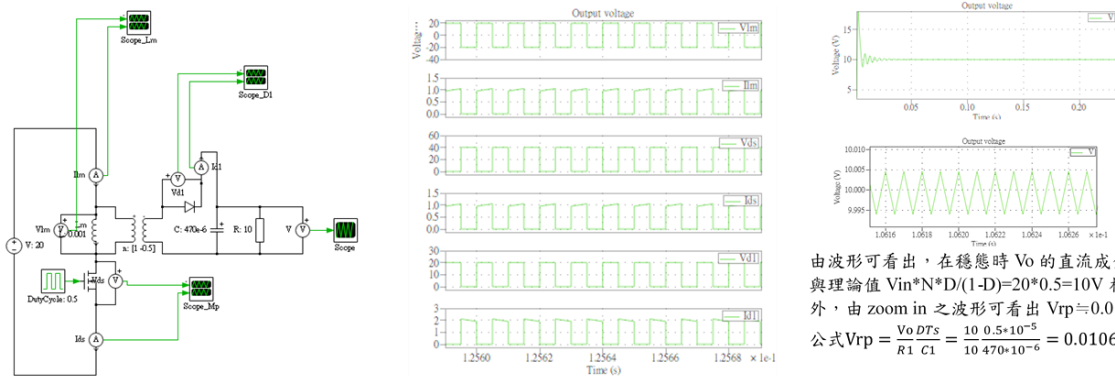


圖 3. Circuit and waveform results of ideal flyback converter

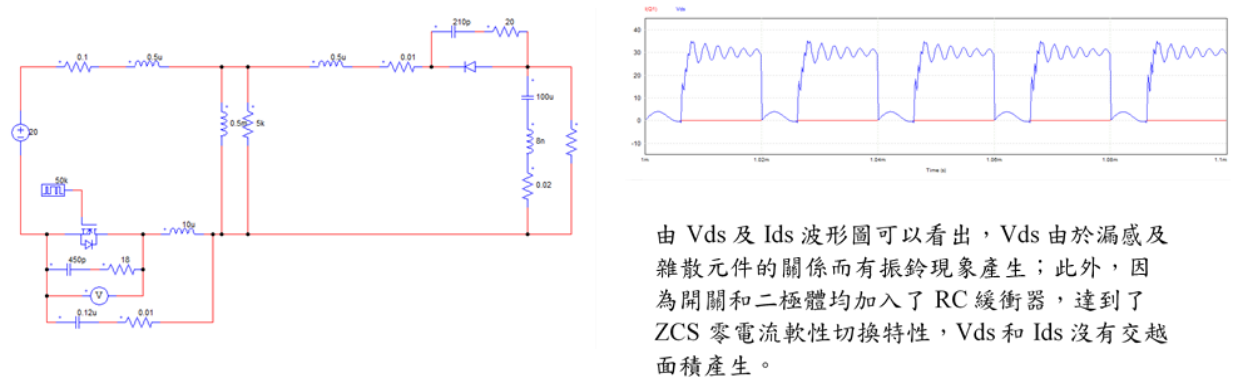


圖 4. Circuit and waveform results of flyback converter with leakage inductance and snubber circuit

3.心得

這個實驗讓我學到很多，除了對電力電子的應用更加熟悉，不論是對轉換器特性的分析，或是藉由設計轉換器上各個元件的參數值來讓其達到預先設想的轉換電壓之目的，也透過非理想狀況的模擬來探討設計上可能出現的問題，並對電路模擬軟體等軟硬體的操作更加熟悉。