

應用於具耦合電感切換式電源轉換器之電腦輔助多目標優化設計

陳仲村¹ 謝振中^{2*} 范良芳³ 蕭銘健⁴ 江文莊⁵

摘要

本研究整合PSIM、Maxwell及Solidworks等電腦軟體以輔助設計切換式電源耦合電感器外，並利用Minitab配合田口法多目標優化該耦合電感之輸出特性。經與一具耦合電感之輸出電壓與功率為3.3 V/49.5 W的高降壓比轉換器之實驗結果比較，驗證所提應用於切換式電源轉換器之電腦輔助設計之可行性與正確性外，該切換式電源轉換器之效率與鐵芯功率密度可分別提高至89.31%與17.32 W/cm³。

關鍵詞：耦合電感，切換式電源轉換器，電腦輔助，多目標

1. 前言

切換式電源轉換器(switching power converter, SPC)起源於上世紀80年代，是一種透過不同形式的拓樸架構，將輸入端電源轉換成負載端所需求的電壓或電流的電路，目前已被廣泛應用於各領域中，如電腦業、通信業、工業與測試用儀器及消費性電子產品等(Mohan *et al.*, 2002)。

耦合電感係由兩個線圈組成；當電流流過線圈的一次側時，會建立一個連結至二次側線圈的磁場，於磁場內生成感應電壓，並藉由電磁感應將能量從一次側線圈傳遞到二次側線圈，兩個線圈間產生耦合互感(mutual inductance)。在切換式電源轉換器中，耦合

電感被用於高降壓轉換器、高升壓轉換器、SEPIC converter、Flyback converter、Cuk converter與多相轉換器等拓樸架構。耦合電感主要有以下幾個應用：(1) 降低輸出端電流漣波(Kang, 2017)；(2) 提高切換式電源的電壓轉換能力(Rahimi, 2022；Liu, 2019)；(3) 電氣隔離(Anand, 2018)；(4) 故障電流限制器(Wang *et al.*, 2022)；(5) 固態變壓器均流(Naseem and Cha, 2021)。

在內含耦合電感的切換式轉換器設計中，需考量到耦合電感所產生的磁路特性及造成的效能損耗(Mclyman, 2004)，但這會涉及到電磁相容、材料科學及磁性元件特性等相關領域，使得轉換器設計變得極為繁瑣複雜(Dalal *et al.*, 2015；Pan *et al.*, 2018；Mohan *et al.*, 2002；Lee

¹逢甲大學，電機系研究生

²逢甲大學，電機系教授

³千如電機工業股份有限公司，總經理

⁴千如電機工業股份有限公司，經理

⁵台電公司，綜合研究所電力室電機工程師

*通訊作者，電話：04-24517250 # 3815，電郵：jjshieh@fcu.edu.tw

收到日期: 2023年11月15日

修正日期: 2023年12月28日

接受日期: 2024年02月21日

et al., 2021 ; *Liu et al.*, 2017 ; *Shen et al.*, 2023 ; *Liu et al.*, 2022 ; *Durmus, et al.*, 2022)。此外，開關導通損耗與耦合電感損耗亦僅能概括估算。為簡化分析時間及流程，本文提出一耦合電感之電腦輔助設計方法，藉由各類電腦軟體的輔助，分析耦合電感於高降壓比轉換器的磁場分布及鐵芯損耗，並使用田口法優化耦合電感的性能，最後將模擬結果與實體電路輸出進行比較，以驗證本文所提方法之有效性及可靠性。

2. 應用於電源轉換器之電腦輔助軟體介紹

基於以電腦輔助設計耦合電感鐵芯之多目標設計與分析，本文使用下列四個軟體 (1) 鐵芯建模軟體Solidworks；(2) 電路模擬軟體PSIM；(3) 磁性元件分析軟體Maxwell；(4) 統計軟體Minitab。各軟體之特點介紹如下：

1. Solidworks是一款3D建模軟體，主要用於機械零件設計，該軟體有直觀的使用者操作介面，可將2D草圖轉換成3D模型，並允許使用者透過參數或方程式輔助建構模型。除極大的降低了操作難度，且擁有結構、熱及流體等應力模擬分析外，更可幫助使用者驗證模型的結構可靠性(Solidworks, 2023)。
2. PSIM (Power Simulation，電力系統模擬)為一款多用途模擬軟體，其主要功能包括電力電子設計、馬達控制及動態系統分析。PSIM主要優勢為較快的模擬速度，可在短時間內分析出電路中各項元件的參數，讓使用者能迅速評估和調整所設計的電路(Altair, 2023)。
3. Maxwell是由ANSYS公司推出的一款磁性分析軟體。它主要用於電磁場的模擬與分析，並廣泛應用於各種工程領域。Maxwell

提供了多種時域和場域的求解法，使用者可根據具體的分析需求選擇最合適的求解方法。且Maxwell可分析模擬電磁設備中電流和電場引起的熱效應，幫助使用者優化設計(ANSYS, 2023)。

4. Minitab是一個廣泛用於統計分析和品質管理的統計軟體工具，該軟體提供多種統計分析工具且能將數據資料進行視覺化外，更可幫助使用者快速整理及分析數據資料。此外，Minitab也能進行實驗設計，此功能主要用於優化產品或實驗流程，以減少實驗的成本及時間(Sfi, 2023)。

3. 電腦輔助多目標優化設計

圖1所示為本論文所提出電腦輔助多目標優化設計方法流程圖。由圖1可知，本文係以逐步式(step-by-step)完成轉換器之多目標優化設計。

Step 1：選定初始轉換器之電路架構

選定一轉換器之電路架構及規格。

Step 2：轉換器模擬與性能分析

根據Step 1之元件參數與電氣規格，選定電路架構於PSIM電路模擬軟體建立電路模型。

Step 3：判斷轉換器性能是否符合電氣規格

分析該模型之電氣特性與元件損耗是否符合規格，若無法滿足，回到Step 1重新設計電路規格。

Step 4：耦合電感初始規格設定

根據電感鐵芯規格，選定耦合電感結構之初始規格。

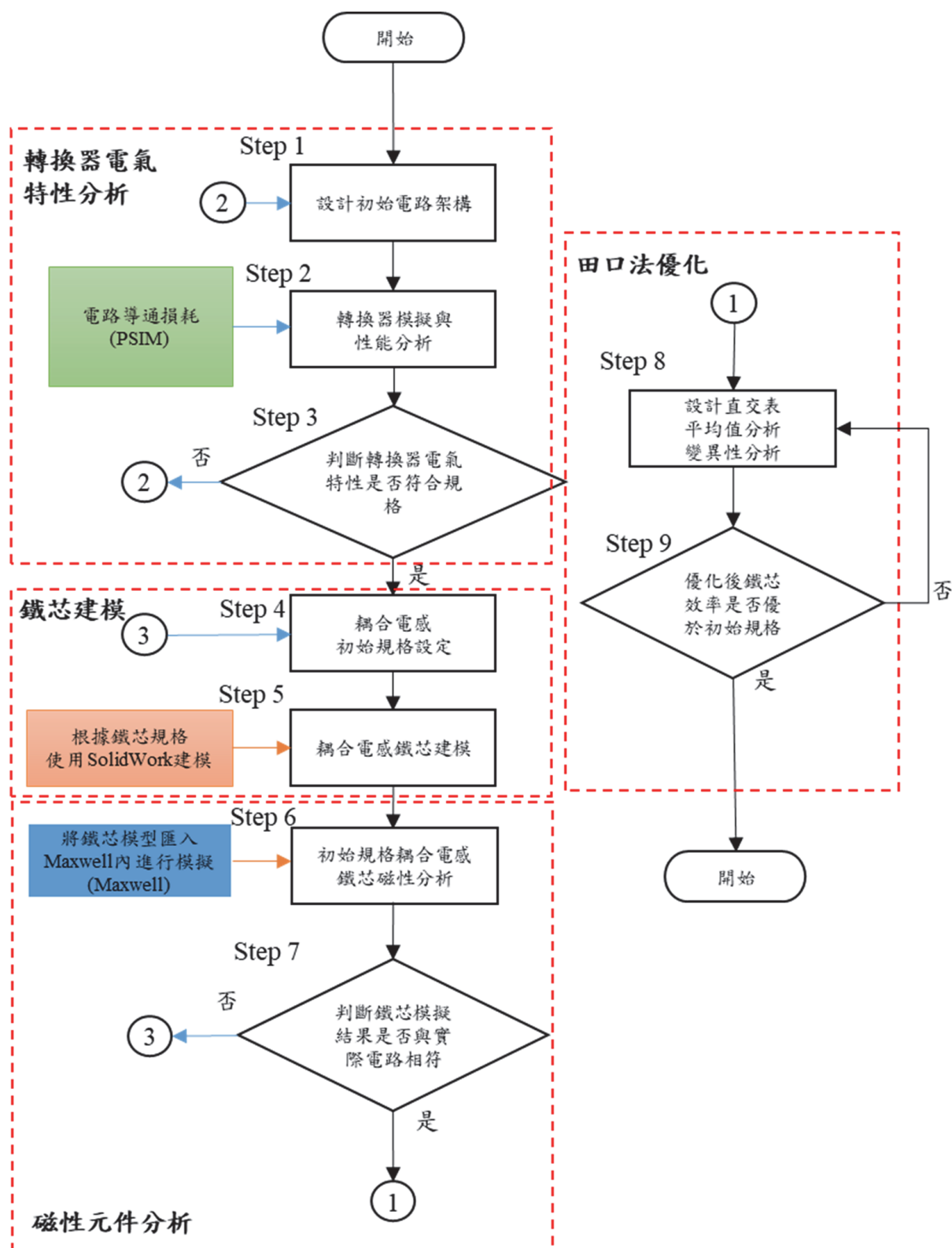


圖1 具耦合電感之轉換器設計流程圖

Step 5：耦合電感鐵芯建模

根據Step 4鐵芯結構之初始規格，於機械建模軟體Solidwork內建立電感鐵芯模型。

Step 6：初始規格耦合電感鐵芯磁性分析

將Step 5建立之鐵芯模型匯入至磁性分析

軟體Maxwell內進行磁性模擬，分析其耦合電感之銅損與鐵芯之損耗及磁場分布情況。

Step 7：判斷電路與鐵芯模擬結果是否與實際電路相符

判斷Step 6之所分析之耦合電感銅損與鐵芯損耗是否滿足設計需求。若無法滿足，則回到Step 4重新選擇鐵芯規格。如可滿足則進行Step 8之耦合電感多目標(鐵芯損耗、體積、重量)優化設計。

Step 8：設計直交表、平均值分析、變異性分析(田口法優化)

Step 8.1：設計直交表及實驗模擬：

根據Step 4所訂定之鐵芯規格，選擇控制因子、初始水準及水準差後，使用統計軟體Minitab建立直交表，並使用有限元素分析軟體Maxwell進行參數模擬，記錄鐵芯之多目標(鐵芯損耗、體積、重量)特性。

$$L_a = b^c \quad (1)$$

其中， a 代表實驗次數， b 代表水準數量， c 代表實驗因子的數量。

Step 8.2：平均值分析：

平均值分析的目的為分析各控制因子在不同水準下，對於目標最佳化的影響程度。根據Step 8.1所產生的實驗數據代入式(2)至式(4)，可以分別計算出每個水準的平均值大小，再根據平均值的大小來找出各目標特性中最好的水準。

$$m_{A1} = \frac{1}{3} [eff(1) + eff(2) + eff(3)] \quad (2)$$

$$m_{A2} = \frac{1}{3} [eff(4) + eff(5) + eff(6)] \quad (3)$$

$$m_{A3} = \frac{1}{3} [eff(7) + eff(8) + eff(9)] \quad (4)$$

其中， m_{A1} 、 m_{A2} 與 m_{A3} 分表示A因子在水準一、水準二與水準三時的鐵芯損耗平均值，其他以此類推。

Step 8.3：變異性分析：

變異性分析用於計算實驗結果的平方和，計算結果所得出的值便是各控制因子間對目標所占之影響百分比，根據對目標特性的影響比例大小來選擇出優化的參數組合。將Step 8.2分析後之數據，代入式(5)與式(6)進行變異性分析後，根據比例大小來選擇出鐵芯的最佳化組合。

$$SSF_i = \sum_{i=1}^3 (m_i - m_{all})^2 \quad (5)$$

$$m_{all} = \frac{1}{9} \times \sum_{i=1}^9 F(i) \quad (6)$$

其中 m_{all} 為目標的總平均值、 $F(i)$ 為第*i*個分析模擬值，9為總實驗次數。

Step 9：判斷優化後之鐵芯效率是否優於初始規格

將選擇出最佳化之鐵芯結構參數，使用建模軟體Solidwork再次進行建模後，匯入Maxwell進行磁性分析，判斷優化後之鐵芯效率是否優於Step 7之多目標特性。若沒有優於Step 7之多目標特性，則重新修正Step 8田口法優化之直交表參數設定。

4. 實例設計與結果

隨著資通訊需求的增加，數據中心成為現代社會的核心設施，但隨之而來的是資訊中心巨大的電能消耗問題，其不僅對全球能源供應造成壓力，同時也增加了運行成本，因此使用

於數據中心之切換式轉換器(Hwu *et al.*, 2015)為依據，使用電腦輔助軟體分別對電路及耦合電感鐵芯進行耗能分析，並與實體電路進行比對，以驗證本文所提之方法之可行性與正確性。

Step 1：選定轉換器之初始電路架構

用於伺服器主機之高降壓直-直流轉換器之電路架構、元件參數及電氣規格(Hwu *et al.*, 2015)，分別如圖2、表1與表2所示。

Step 2：轉換器模擬與性能分析

根據表1及表2之規格，於電路模擬軟體

PSIM內建立如圖3所示之電路模型，並分析該模型之電氣特性、導通損耗及各類元件之輸出電流。

Step 3：判斷轉換器性能是否符合電氣規格

轉換器之輕載(0.5 A, 1.65 W)、中載與(7.5 A, 24.75 W)滿載(15A, 49.5 W)之電氣規格模擬與實驗結果分別如圖4至圖6所示。其中，PSIM模擬之滿載開關導通損耗為3.53 W。而由圖4到圖6可知，本文所模擬之電氣規格波形與實際實驗結果相符。

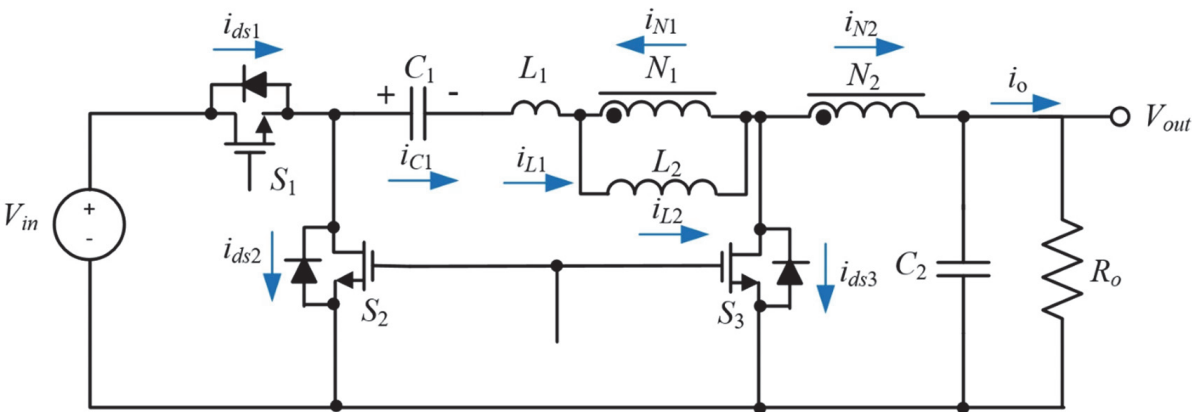


圖2 為使用於數據中心之切換式轉換器之電路架構
資料來源：本研究繪製

表1 切換式轉換器元件參數

參數	數值	參數	數值
儲能電容 C_1	20 μ F	耦合電感匝數比	3 : 1
濾波電容 C_2	1.8 mF	漏電感 L_1 /激磁電感 L_2	15 μ H/86 μ H

資料來源：本研究彙整

表2 切換式轉換器元件參數

參數	數值	參數	數值
輸入電壓(V)	48	輸出電壓(V)	3.3V
切換頻率(kHz)	100	輸出電流(A)	15A
額定功率(W)	49.5	責任週期(%)	27.5

資料來源：本研究彙整

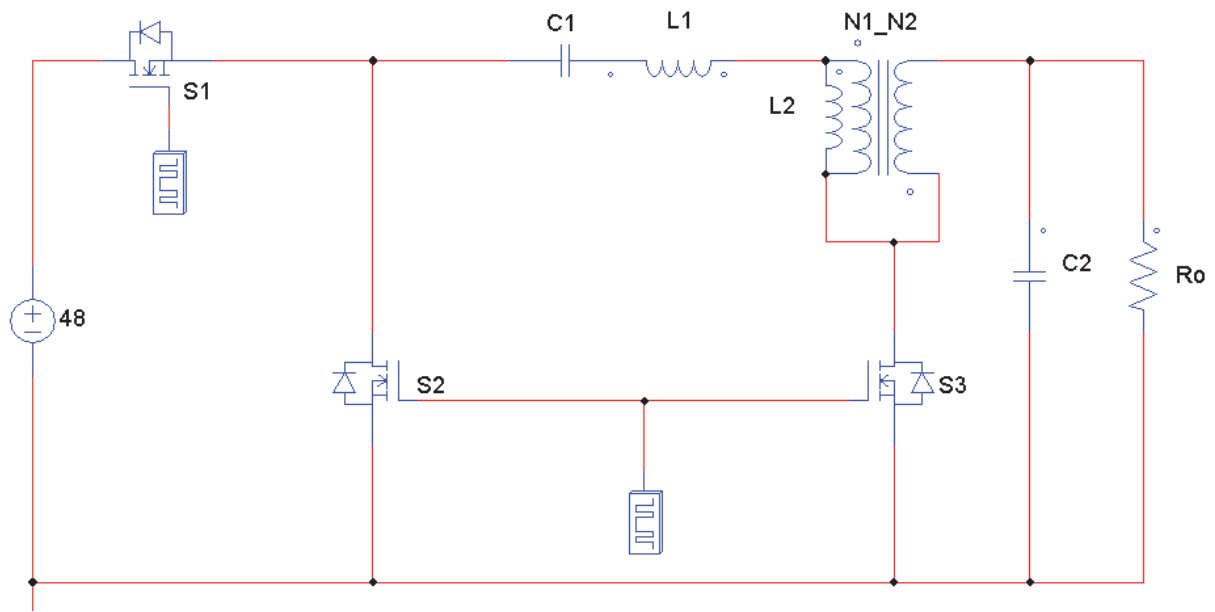


圖3 高降壓轉換器之PSIM電路模型
資料來源：本研究繪製

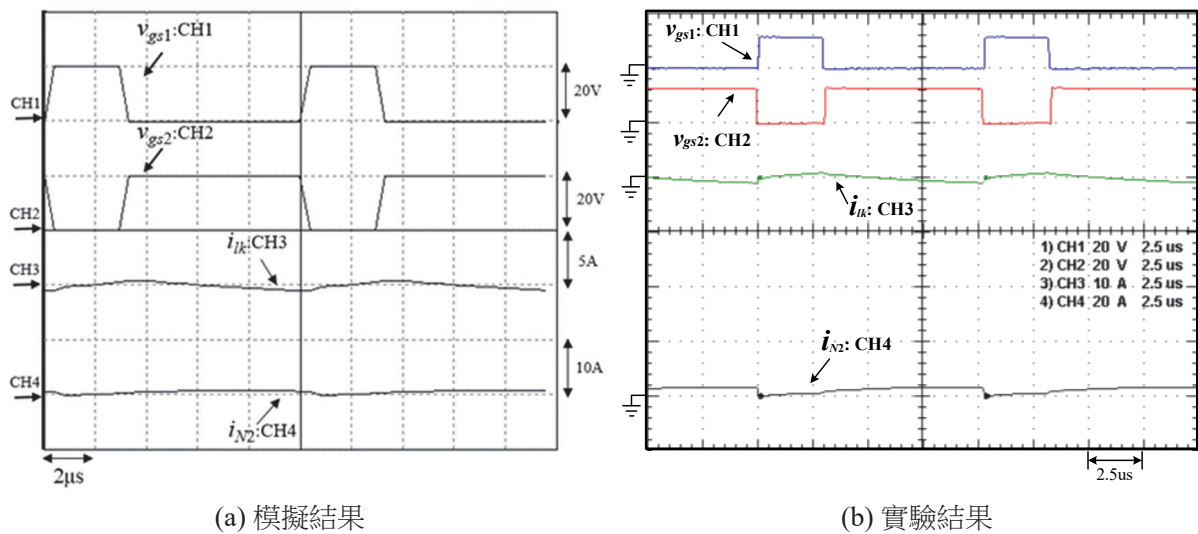


圖4 高降壓比轉換器於輕載時之元件電流波形
資料來源：本研究繪製

Step 4：耦合電感初始規格設定

根據耦合電感文獻(Atec, 2023)選定耦合電感之結構與其相應參數分別如圖7與表3所示。

Step 5：耦合電感鐵芯建模

根據圖7與表3，於機械建模軟體Solidworks內建立如圖8所示之電感鐵芯模型。

Step 6：初始規格耦合電感鐵芯磁性分析

將使用Solidworks將建立好之鐵芯模型匯入至Maxwell內進行磁性模擬。如圖9、圖10與圖11所示分別該耦合電感鐵芯鐵損、銅損及磁場分布情況的分析。

Step 7：判斷電路與鐵芯模擬結果

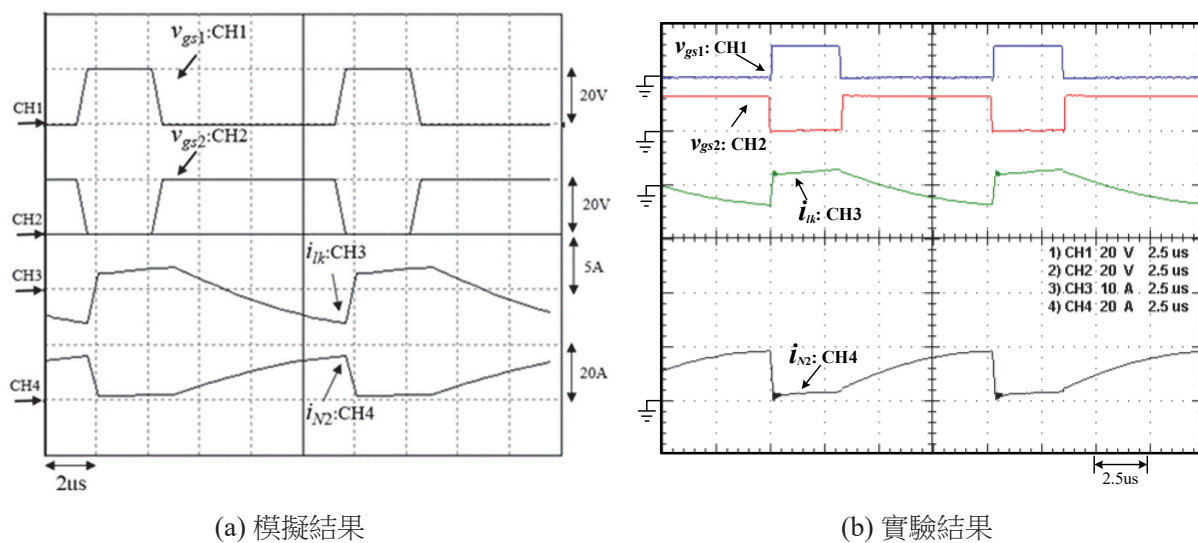


圖5 高降壓比轉換器於中載時之元件電流波形
資料來源：本研究繪製

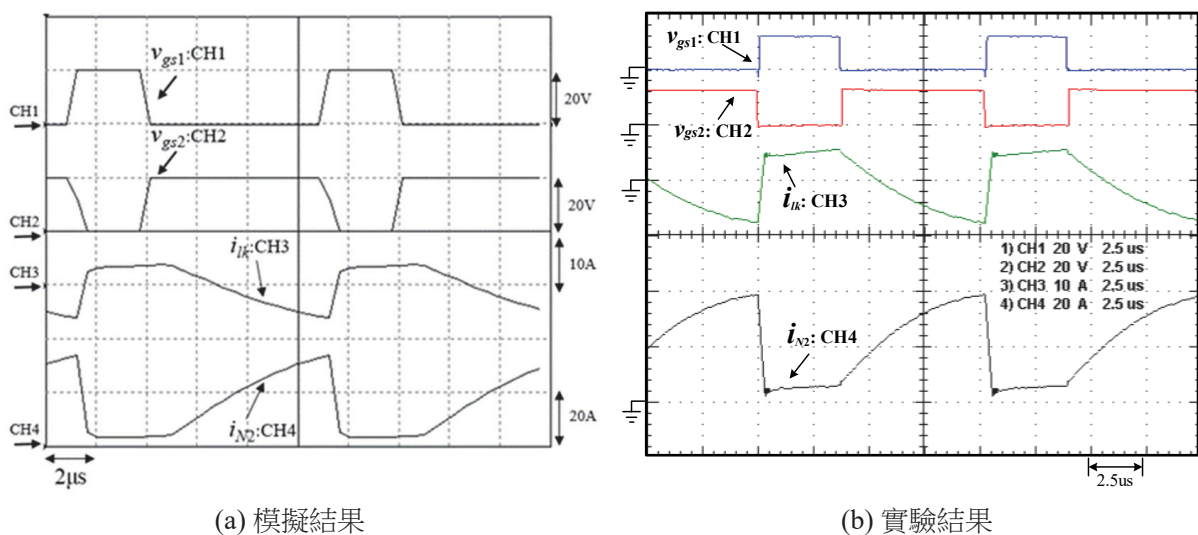


圖6 高降壓比轉換器於滿載時之元件電流波形
資料來源：本研究繪製

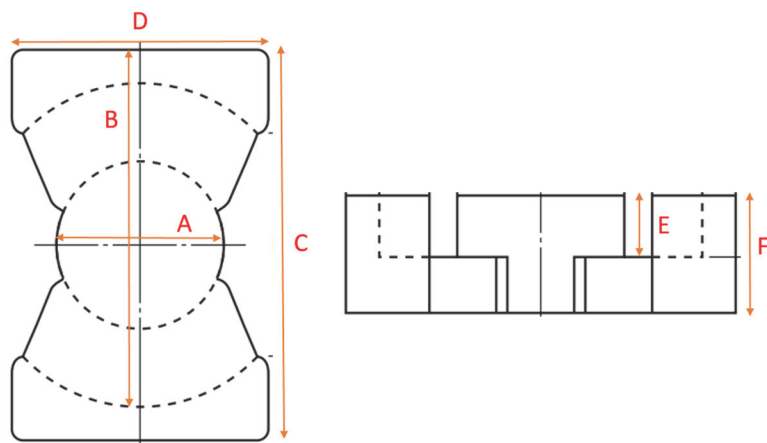
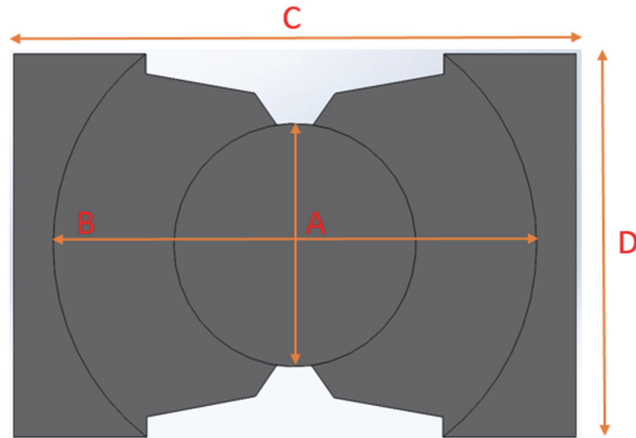


圖7 耦合電感鐵芯之初始結構規格圖
資料來源：本研究繪製

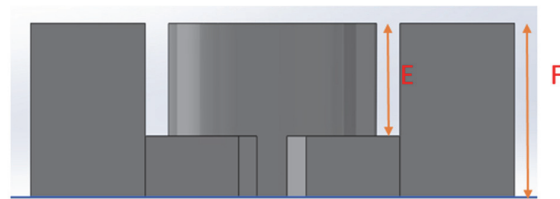
表3 耦合電感鐵芯之初始結構規格(單位：mm)

A	B	C	D	E	F
12	24	27.5	19	6	10

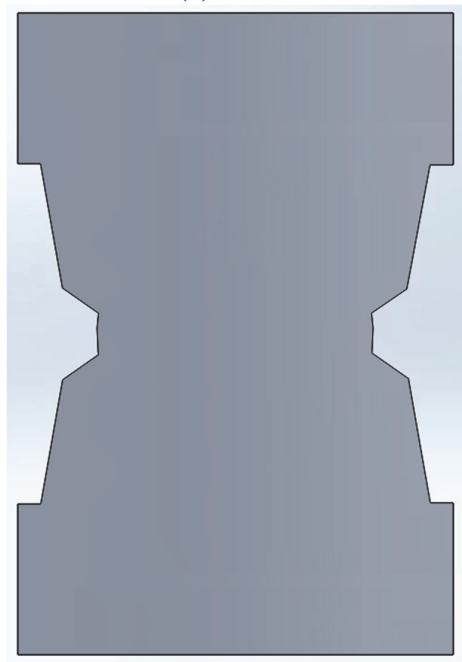
資料來源：本研究彙整



(a)上視圖



(b)側視圖



(c)下視圖

圖8 Solidworks所建立之耦合電感鐵芯結構圖
資料來源：本研究繪製

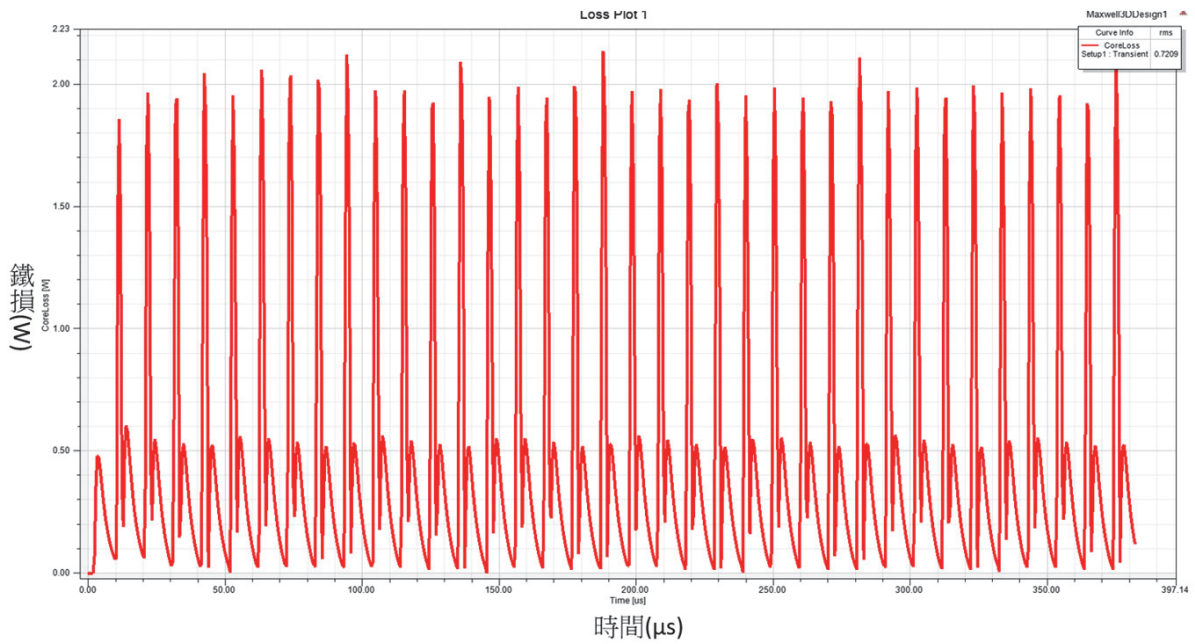


圖9 Maxwell所模擬之耦合電感鐵芯鐵損波形圖
資料來源：本研究繪製

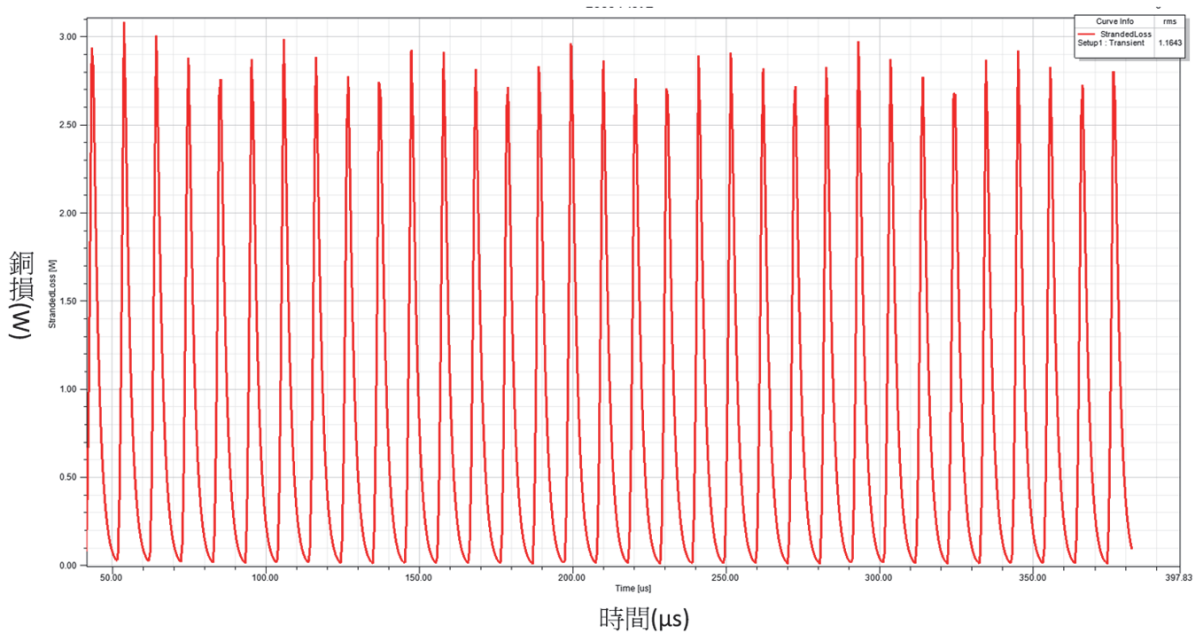


圖10 Maxwell所模擬之耦合電感鐵芯銅損波形圖
資料來源：本研究繪製

是否與實際電路相符

表4為電路模擬軟體PSIM於轉換器工作滿載(15 A，49.5 W)時所分析之電路損耗、磁性分析軟體Maxwell所分析之鐵芯損耗與實際電路

之損耗。由表4知本文所提出之電腦輔助設計方法與轉換器之效率實測結果誤差僅1.2639%，因此本文所提出之電腦輔助設計方法確實具可行性與正確性。

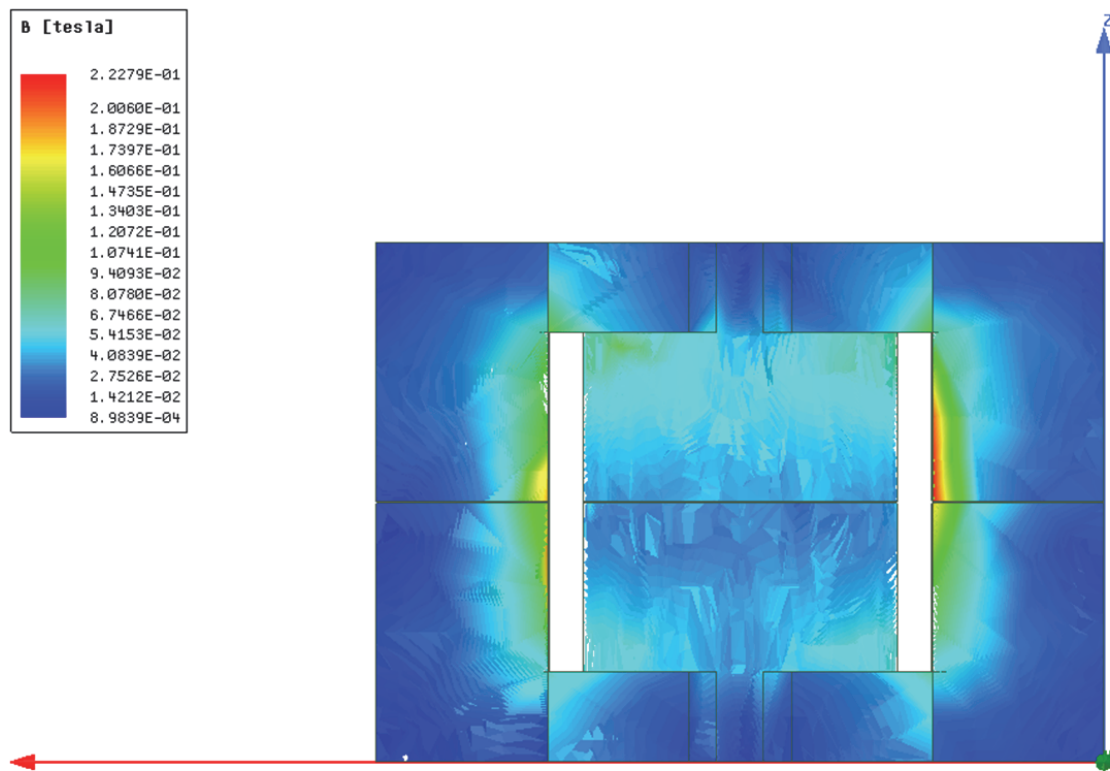


圖11 Maxwell所模擬之耦合電感鐵芯磁場分布圖
資料來源：本研究繪製

表4 實體轉換器損耗與電腦輔助設計之損耗比較

	實測	電腦輔助設計
開關導通損耗(W)	---	3.53 (PSIM)
耦合電感損耗(W)	---	1.88 (Maxwel)
總損耗(W)	4.851	5.41
效率(%)	88.82%	89.06%

資料來源：本研究彙整

Step 8：設計直交表、平均值分析、變異性分析(田口法優化)

Step 8.1：設計直交表及實驗模擬

根據表3所訂定之鐵芯規格訂定控制因子、初始水準及水準差後，選用如表5所示之一含9組實驗參數之直交表，並使用有限元素分析軟體Maxwell根據表6所設計之9組實驗參數，分別進行9次模擬，將目標特性(鐵芯損耗、體積、重量)紀錄至表7。

Step 8.2：平均值分析

根據表7之實驗數據代入式(2)至式(4)，可以分別計算出每個水準在不同目標特性下的平均值大小，並將輸出數據整理成表8、表9、表10與圖12、圖13、圖14，以分析出各因子在不同水準下對損耗大小、體積與重量的影響程度。因鐵芯損耗、鐵芯體積與鐵芯重量皆為望小特性，因此需選擇圖12、圖13、圖14中擁有最小影響程度的水準(Sun *et al.*, 2021)。經分析

表5 各因子水準選擇表(單位：mm)

參數	水準	水準2	水準3
A	11.75	12	12.25
B	23.5	24	24.5
C	27	27.5	28
F	9.75	10	10.25

資料來源：本研究彙整

表6 $L_9(3^4)$ 直交表(單位：mm)

A	B	C	F
11.75	23.5	27.0	9.75
11.75	24.0	27.5	10.00
11.75	24.5	28.0	10.25
12.00	23.5	27.5	10.25
12.00	24.0	28.0	9.75
12.00	24.5	27.0	10.00
12.25	23.5	28.0	10.00
12.25	24.0	27.0	10.25
12.25	24.5	27.5	9.75

資料來源：本研究彙整

表7 磁性分析軟體模擬結果

	損耗總和(W)	體積(mm ³)	重量(g)
1	1.786	3112.01	26.76
2	1.852	3124.46	26.87
3	1.891	3254.21	27.99
4	2.025	3342.83	28.75
5	2.022	3119.52	26.83
6	1.826	3000.63	25.81
7	2.018	3339.18	28.72
8	1.775	3220.64	27.74
9	1.783	2999.82	25.86

資料來源：本研究彙整

後，鐵芯損耗、鐵芯體積與鐵芯重量最小值的參數組合分別為 $A_1 B_3 C_1 F_1$ 、 $A_2 B_3 C_1 F_1$ 、 $A_2 B_3 C_1 F_1$ 。

Step 8.3：變異性分析：

將平均值分析後之數據，使用式(5)與式(6)計算各因子對最佳化目標的影響程度，並與其

表8 不同水準下各因子對鐵芯損耗之影響(單位：mm)

m_i	A	B	C	F
$i = 1$	1.84	1.94	1.79	1.86
$i = 2$	1.95	1.88	1.88	1.89
$i = 3$	1.85	1.83	1.97	1.89

資料來源：本研究彙整

表9 不同水準下各因子對鐵芯體積之影響(單位：mm³)

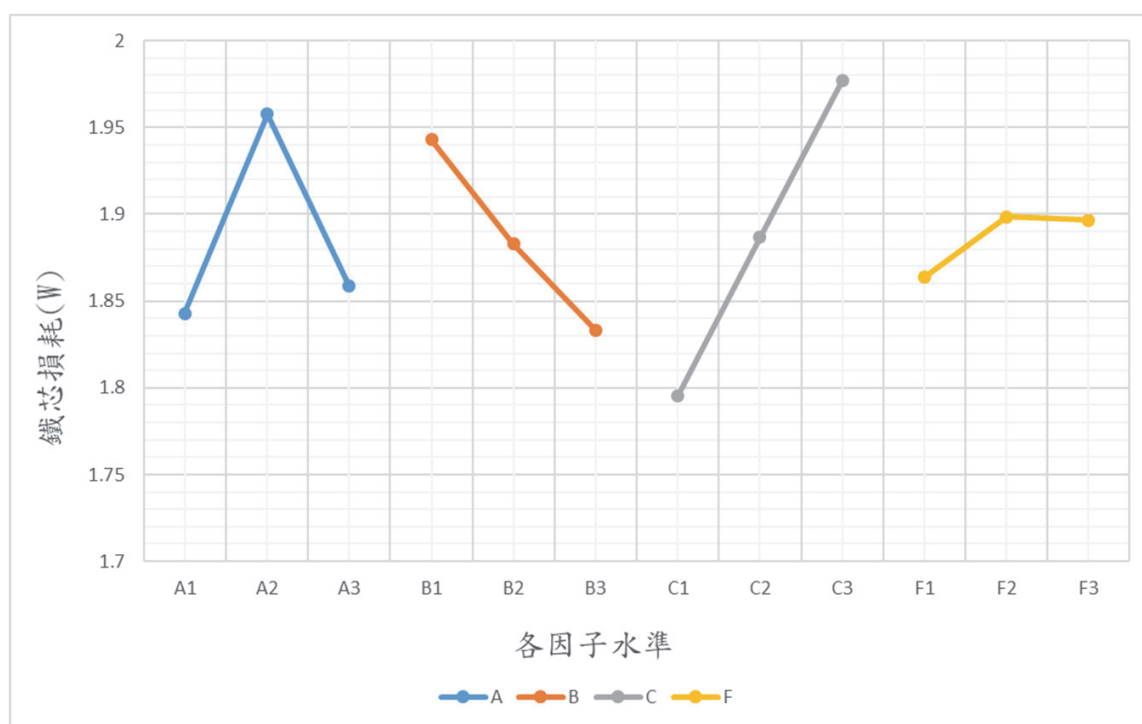
m_i	A	B	C	F
$i = 1$	3163.55	3264.67	3111.09	3077.10
$i = 2$	3154.32	3154.86	3155.7	3154.75
$i = 3$	3186.54	3084.883	3237.62	3272.55

資料來源：本研究彙整

表10 不同水準下各因子對鐵芯重量之影響(單位：g)

m_i	A	B	C	F
$i = 1$	27.20	28.077	26.75	26.46
$i = 2$	27.13	27.13	27.14	27.13
$i = 3$	27.40	26.53	27.84	28.14

資料來源：本研究彙整

圖12 不同水準下各因子對鐵芯損耗之影響
資料來源：本研究繪製

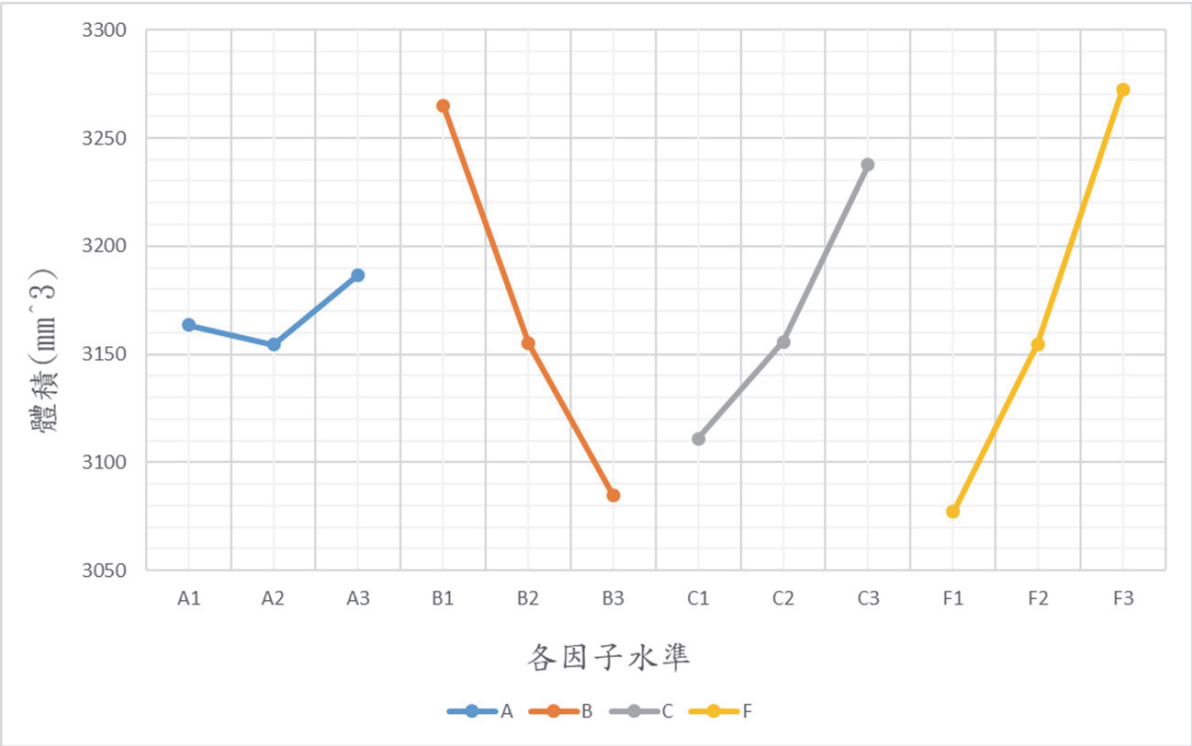


圖13 不同水準下各因子對鐵芯體積之影響
資料來源：本研究繪製

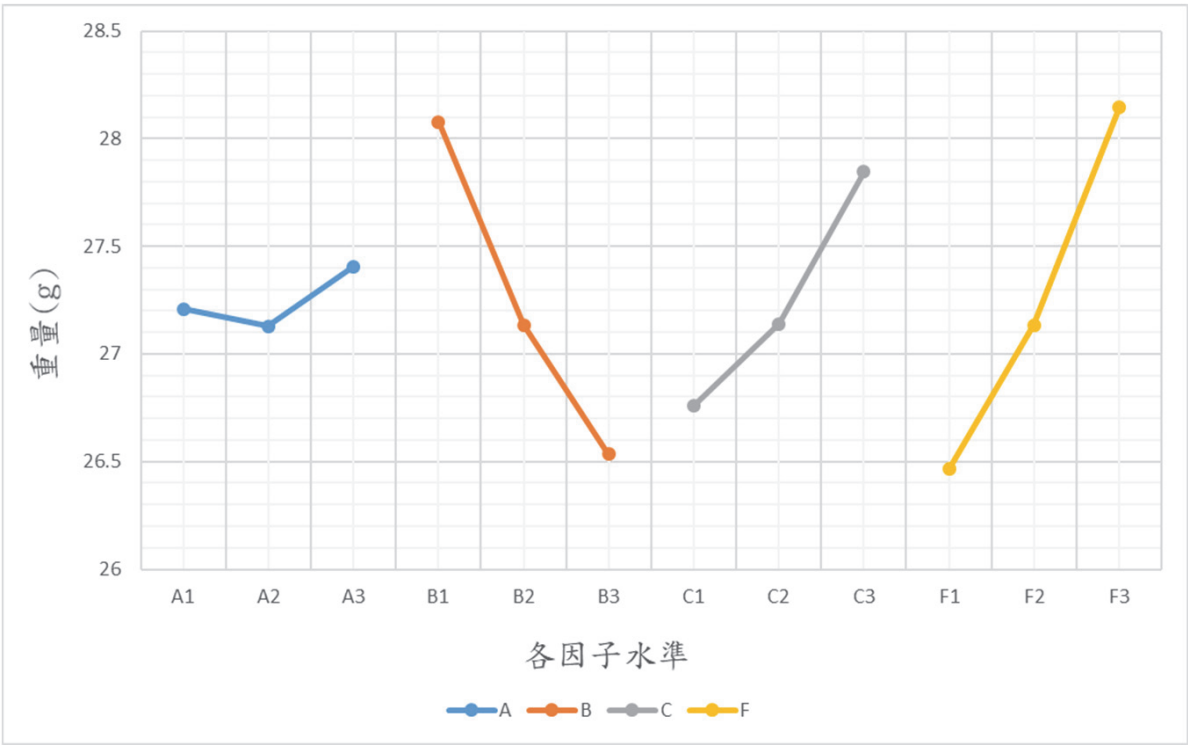


圖14 不同水準下各因子對鐵芯重量之影響
資料來源：本研究繪製

他因子所占比例進行比較後，將結果紀錄至表 11、表 12 與圖 15。比對表 12 與圖 15 之數據後可以得知鐵芯之多目標最佳化結構組合為(A₁B₃C₁F₁)，且相應之多目標優化後之鐵芯結構參數如表 13 所示。

Step 9：判斷優化後之鐵芯效率是否優於初始規格

將表 13 之多目標優化後之鐵芯結構，使用建模軟體 Solidworks 再次進行建模後，並匯入

表 11 各實驗目標之加總平均值

	損耗(W)	體積(mm ³)	重量(g)
m _{all}	1.88	3168.14	27.24

資料來源：本研究彙整

表 12 各因子之變異性分析結果

因子	損耗(W)		體積(mm ³)		重量(g)	
	SSFi (10 ²)	貢獻度(%)	SSFi (10 ⁻²)	貢獻度(%)	SSFi (10 ²)	貢獻度(%)
A	0.775	25.021	5.509	1.236	4.072	1.235
B	0.605	19.540	164.259	36.843	121.235	36.757
C	1.640	52.943	82.377	18.477	61.043	18.507
F	0.077	2.496	193.691	43.445	143.478	43.501

資料來源：本研究彙整

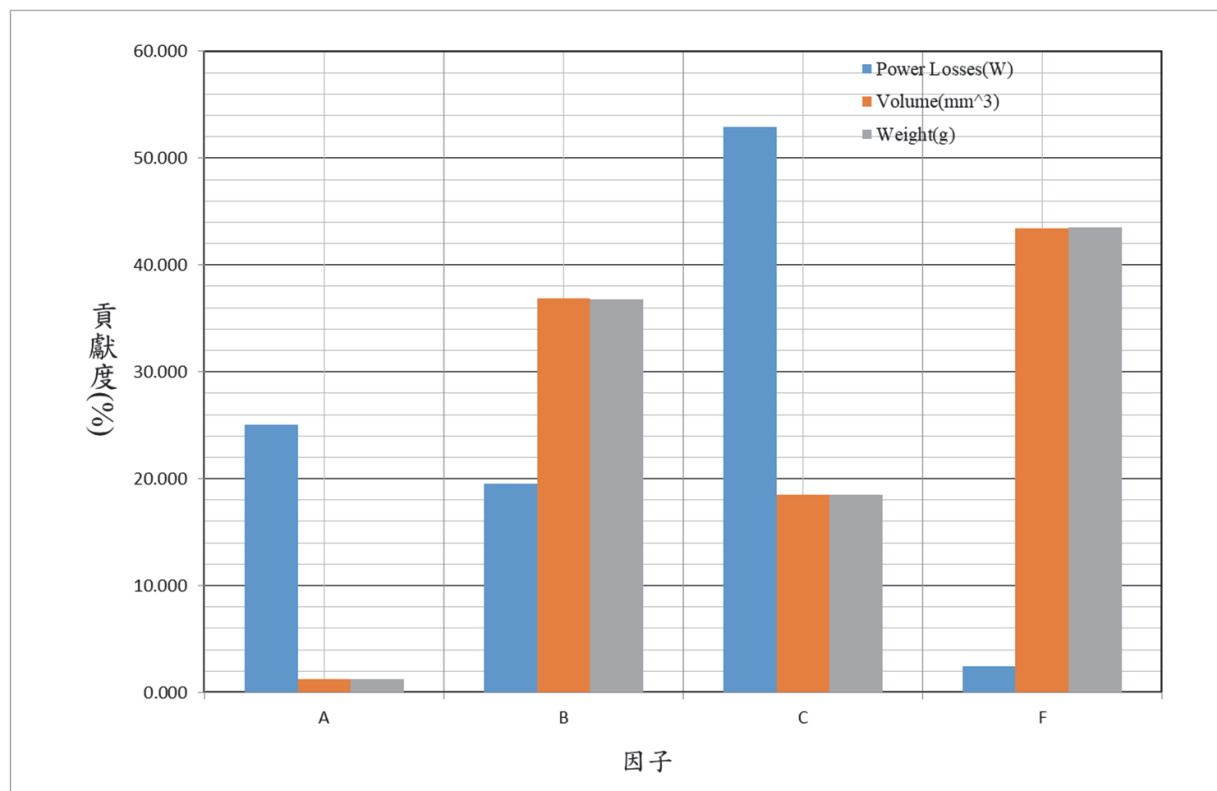


圖 15 各因子間對實驗目標之貢獻百分比
資料來源：本研究繪製

表13 初始規格與田口優化後之鐵芯參數(單位：mm)

名稱	A	B	C	F
初始規格	12	24	27.5	10
田口優化	11.75	24.50	27.00	9.75

Maxwell進行磁性分析，其結果如表14與圖16 W)閉迴路控制時之實測、電腦輔助分析模擬及
所示。表15所示為轉換器工作滿載(15 A，49.5 田口優化後之轉換器輸出特性比較。由表14與

表14 初始規格與田口優化後之鐵芯目標特性比較

	損耗(W)	體積(mm ³)	重量(g)
初始規格	1.885	3230.77	27.78
田口法優化	1.761	2858.77	24.58
優化比例(%)	-6.5	-11.51	-11.51

資料來源：本研究彙整

表15 轉換器實測、電腦輔助分析模擬及田口優化後之轉換器輸出特性比較

	實測	電腦輔助分析	田口法優化
開關導通損耗(W)	---	3.53	3.53 (PSIM)
耦合電感損耗(W)	---	1.88	1.76 (Maxwell)
總損耗(W)	---	5.41	5.29
效率(%)	88.82	89.06	89.31
效率誤差(%)	---	0.2695	0.5487

資料來源：本研究彙整

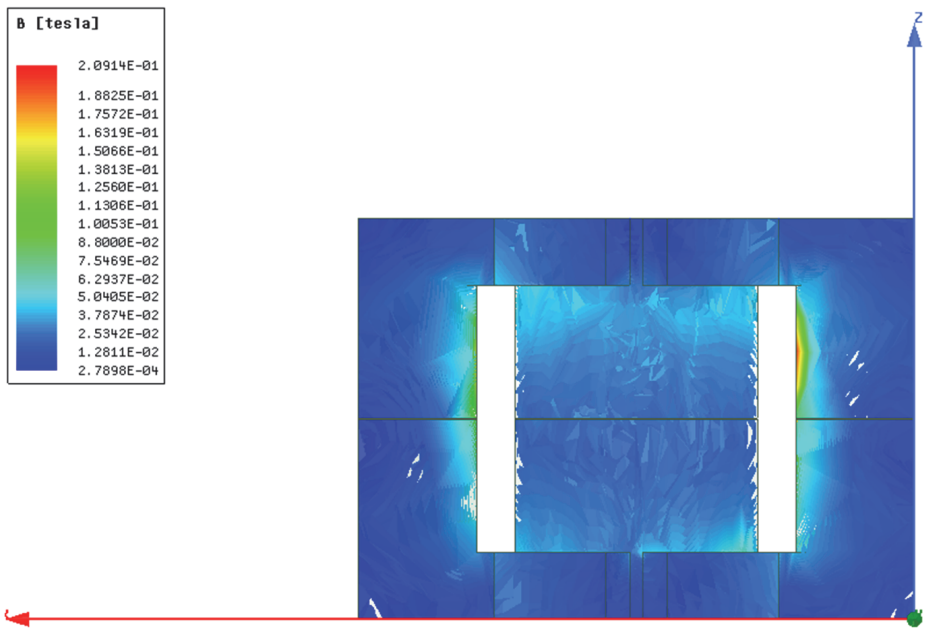


圖16 優化後之鐵芯磁通密度分布圖
資料來源：本研究繪製

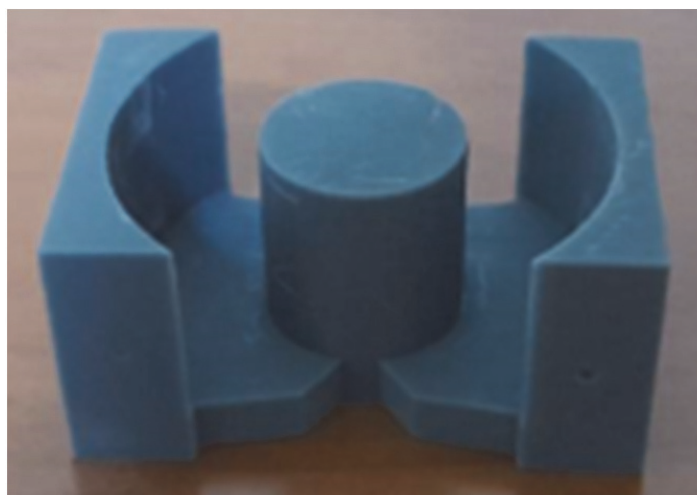


圖17 優化後之耦合電感鐵芯3D模型
資料來源：本研究拍攝

表15可知，經田口法優化後之鐵芯損耗、體積與重量確實同時優於初始規格外，且由圖16可得知優化後之鐵芯並無磁飽和之現象。圖17所示為本論文優化後之耦合電感鐵芯之3D模型。

5. 結 論

本論文提出一結合PSIM、Maxwell、Solidworks與Minitab等電腦輔助設計軟體於一具耦合電感之切換式電源轉換器，並逐項以完成轉換器之多目標優化設計。所提應用於切換式電源轉換器之電腦輔助設計並經與一具耦合電感之3.3 V/49.5 W高降壓比轉換器之實驗結果比較驗證。結果顯示所提應用於切換式電源轉換器之電腦輔助設計除確實可行並正確外，並可同時提高該轉換器之效率及減少耦合電感體積與重量。

參考文獻

Dalal, A., T. E. R. Joy and P. Kumar, 2015. “Mutual Inductance Computation Method for Coils of Different Geometries and Misalignments,”

IEEE Power & Energy Society General Meeting, pp. 1-5.

ANSYS, <https://www.ansys.com/zh-tw/products/electronics/ansys-maxwell>, 2023, Nov.

Atec, <https://www.atec-group.com/tw>, Nov. 2023.

Altair, <https://altair.com/psim>, Nov. 2023.

Mclyman, C. W. M. T., 2004, Transformer and Inductor Design Handbook, Third Edition, Revised and Expanded, Kg Magnetics, Inc. Idyllwild, California, U.S.A.

Liu, C. S., J. Su and J. La, 2017. “Accurate Expressions of Mutual Inductance and Their Calculation of Archimedean Spiral,” Energies, 12, pp. 1-14.

Lee, F. C., Q. Li and A. Nabih, 2021. “High-Frequency Resonant Converters: An Overview on The Magnetic Design and Control Methods,” IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 9(1), pp.11-23.

F. Durmus, and Karagol, S. 2022. “Mutual Inductance Calculation for Planar Square and Hexagonal Coils”. Electrical Engineering, 47,

- pp.3409-3420.
- Anand, G. and A. K. Pandey, 2018. "Comparison and Design of Flyback Converter Using an Ideal Switch and a Mosfet Switch," 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), Greater Noida, India, 2018, pp. 589-593.
- Shen, H., X. Wang, P. Sun, L. Wang and Y. Liang, 2023. "Mutual Inductance and Load Identification of LCC-S IPT System Considering Equivalent Inductance of Rectifier Load," *Electronics*, 12, pp. 1-16.
- Hwu, K. I., W. Z. Jiang and Y. T. Yau, 2015. "Ultrahigh Step-Down Converter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(6), pp. 3262-3274.
- Mohan, N., T. M. Undeland and W. P. Robbins, 2002. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, Third Edition, Wiley, 2002, Hoboken New Jersey, USA.
- Naseem, N. and H. Cha, 2021. "Quad-Active-Bridge Converter with Current Balancing Coupled Inductor for SST Application," *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(11), pp. 12528-12539.
- Rahimi, R., S. Habibi, M. Ferdowsi and P. Shamsi, 2022. "An Interleaved High Step-Up DC-DC Converter with Coupled Inductor and Built-in Transformer for Renewable Energy Applications," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Detroit, MI, USA, pp. 1-6.
- Wang, S., J. Zhou, J. Shu, J. Ma, K. Qin and T. Liu, 2022. "A Bidirectional Active DC Fault Current Limiter Based on Coupled Inductor," *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(5), pp. 4427-4437.
- Solidworks, <https://www.solidworks.com/>, Nov. 2023.
- Sfi, <https://www.sfi-minitab.com.tw/>, Nov. 2023.
- Kang, T. and Y. Suh, 2017. "Optimized Coupling Factor Design of Multiple-Phase Coupled Inductor for Minimum Inductor Current Ripple Operation in EV Charger Systems," 2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia, Kaohsiung, Taiwan, pp. 1178-1183.
- Pan, T., F. Yi, C. Liu and Y. Kuo, 2018. "Modeling of Mutual Inductance for Hexagonal Coils with Horizontal Misalignment in Wireless Power Transfer," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 1981-1986.
- Liu, X., X. Zhang, X. Hu, H. Chen, L. Chen and Y. Zhang, 2019. "Interleaved High Step-Up Converter with Coupled Inductor and Voltage Multiplier for Renewable Energy System," *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, 4(4), pp. 299-309.
- Sun, X., Z. Shi and J. Zhu, 2021. "Multi-objective Design Optimization of an IPMSM for EVs Based on Fuzzy Method and Sequential Taguchi Method," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(11), pp. 10592-10600.
- Liu, Y., Y. Song, D. Hu, Y. Li, Z. Zhang and H. Wu, 2022. "Overview of Planar Magnetics for High-frequency Resonant Converters," *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 8(4), pp. 61-78.

Computer-Aided Multi-Objective Optimization Design for Switching Power Converter with Coupled Inductors

Chung-Tsun Chen¹ Jenn-Jong Shieh^{2*} Francis Fan³
Ken Hsiao⁴ Wen-Zhuang Jang⁵

ABSTRACT

This study integrates computer software such as PSIM, Maxwell, and Solidworks to assist in designing coupling inductor of switching power supply, and it works together with the Minitab and Taguchi methods to optimize the multi-output characteristics of the coupled inductor. By comparing the experimental results of a 3.3 V/49.5 W high step-down ratio converter with a coupled inductor, the feasibility and correctness of the proposed computer-aided design for a switching power converter are verified. The proposed converter's efficiency and its core power density can be improved to 89.31% and 17.32 W/cm³, respectively.

Keywords: coupled inductor, switching power converter, computer-aided, multi-objective.

¹Feng Chia University, Department of Electrical Engineering, postgraduate.

²Feng Chia University, Department of Electrical Engineering, professor.

³ABC TAIWAN ELECTRONICS CORP., President.

⁴ABC TAIWAN ELECTRONICS CORP., Manager.

⁵Taiwan power company, Electric power laboratory, Taiwan power research institute, electric engineer.

*Corresponding Author, Phone: +886-04-24517250 # 3815, E-mail: jjshieh@fcu.edu.tw

Received Date: November 15, 2023

Revised Date: December 28, 2023

Accepted Date: February 21, 2024