

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

創新微型呼拉圈式換能器設計與實現

子計畫三：呼拉圈式換能器之儲能電路設計與晶片實現

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-086-MY3

執行期間：97年08月01日至100年07月31日

執行機構及系所：國立交通大學電機工程學系

計畫主持人：林錫寬 交通大學電機工程學系

計畫參與人員：林芳楚 黎紀宏 交通大學電機工程學系

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

中華民國 100 年 10 月 31 日

目錄

目錄	I
中文摘要	II
Abstract	II
一、前言與目的	1
二、研究成果	1
2.1 儲能系統概述	1
2.2 儲能電路設計	3
2.2.1 切換式電容升壓電路	4
2.2.2 功率管理電路	7
2.2.3 低壓降穩壓電路	8
2.3 實驗結果	9
三、結論	10
四、參考文獻	11
國科會補助專題研究計畫成果報告自評表	13
國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表	14

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

子計畫三：呼拉圈式換能器之儲能電路設計與晶片實現

Electronic Converter Design and Chip Implementation of a Hula Hoop Energy Harvester

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-086-MY3

執行期限：98年08月01日至99年07月31日

主持人：林錫寬 國立交通大學電機工程學系

計畫參與人員：林芳楚 黎紀宏 國立交通大學電機工程學系

中文摘要

能量獵取(energy harvesting)技術是對環境變動能源轉化如太陽(光)能、風能、熱能、機械振動能、聲能、電磁場能等能量來源，對能量進行獵取轉換並儲存以提供無線戶外或可攜式產品應用；其工作原理是對能量採集、轉換過程及其電源控制技術；本計畫之目的為設計新式高效率微型能量擷取電路，目標為能將微小能量轉換並儲存成實際可用之穩定電源，使整個電路可擁有良好的儲存效率。首先，交流電能經由前端之新式電荷泵浦進行整流升壓並儲存於過渡電容中；接著，透過功率管理電路監控過渡電容之能量使否能夠正常驅動後端負載—當過渡電容達額定電壓時則向後端之低壓降線性穩壓器供電並輸出穩定電壓，當負載電流太大時，功率管理電路會切斷傳輸路徑使過渡電容繼續充電；最後，透過低壓降穩壓電路，輸出穩定的直流電壓以供負載使用。

關鍵字：儲能電路、低功率，能量擷取電路、充電泵、切換式電容。

Abstract

Energy harvesting is the process of capturing minute amounts of energy from one or more of naturally-occurring energy sources, such as light energy, wind energy, heat energy, mechanical vibration, sound energy, electromagnetic energy etc. The scavenger energy is accumulated and stored for later use, e.g., the application of wireless communication or portable type products. To collect, to transmit, and to control the scavenger energy are the basic concept of the energy harvesting technology. This project presents an high efficient energy harvesting circuit. Target of this thesis is high energy transform efficiency and stable DC output. In the first stage of energy harvesting circuit including step-up switched capacitor converter which transform AC energy to a DC form. The second stage is a power management which is using for controlling the energy transmission to the load or not. The source generator cannot provide sufficient energy to the load while the loading current is too high, so the power management turns off the transmitted line, and then the first stag keeps charging the storage capacitor. The third stage is a low drop out regulator for providing a stable DC voltage.

Keywords: Charge pump, Switched capacitor converter, Energy harvest circuit

一、前言與目的

能源危機問題越來越被重視，而能源再利用也已經成為一項重要課題，以英國為例，其近年來不斷推行再生能源，並在 2006 年開始興建歐陸最大的風力發電廠，完工後將帶來 3.3 億瓦的發電量，每年可以減少 25 萬噸二氧化碳排放量；不只是民生用電的再生，美國對軍事方面的應用也非常重視。因為目前典型的軍人外出進行 4 天的任務，會在背包中攜帶多達 40 磅(約 18 公斤)的電池與充電器，而他們想要解決這個問題，所以美國國防部於 2007 年開出 100 萬美金的獎金給製作出可穿戴式電力供應的任何私人、公司、或國際性組織，並提出該系統的關鍵需求以利評估。不只是國外，國內也有許多研究單位或學術單位在從事相關研究，像是工研院能資所就有在從事小型風力發電機和其他能源再生相關的研究；也有許多大專院校會舉辦能源競賽來促進在學學生對於此領域的成長，像是臺師大更有能源教育資訊網能讓大眾得到相關資訊並討論。由以上例子可得知能源再生於未來的重要性。

能源再生可以像是風力發電，風力發電是將大量的風力轉換成電力，這是自然界中能量的轉換；也可以將日常生活中產生的動能轉換成電能之行為，像是將“走路”這個行為拿來發電，這種生活化的小能源再生正是本文所要探討的主題。我們生活中的動作，像是揮手、上樓梯，其實都可以藉由微發電機來產生電能，而要如何將微發電機所產生的電能有效儲存起來是我們第一個必須面對的課題。

本子計畫以設計後端儲能電路為目標，針對前端微發電機所發出之微小能量加以收集儲存，由於前端能量為週期或非週期性訊號，因此在電路設計上必須要考量能量轉換之匹配性，本年度已完成整體後端轉換電路之設計、模擬，包含創新高速充電泵設計、電源管理電路，低壓降穩壓器設計以及充電電路設計等，並透過國家系統晶片中心(CIC)成功下線，已完成初步量測，待子計畫一、子計畫二整合完成後，搭配本子計畫所設計之儲能電路 IC，整合成一創新微型高能量密度換能器。

二、研究成果

2.1 儲能系統概述

生活中活動時所收集到的能量皆為不穩定的能量源，例如走路時腳底對地面的壓力、或是使用滑鼠時產生的振動，活動過程中的頻率、強度都會隨時改變。為了將這些微小且不穩定的能量有效儲存起來，必須透過儲能系統來達成。最典型的儲能系統如圖1所示，一般來說收集到的能量源是會振盪的，因此典型的儲能系統在最前級的部份都會使用一個全橋整流電路來將輸入電壓轉換成較平穩的直流電壓，也就是AC to DC的轉換區塊。接著考慮儲能元件對於儲能系統的影響，像是充電電池、超級

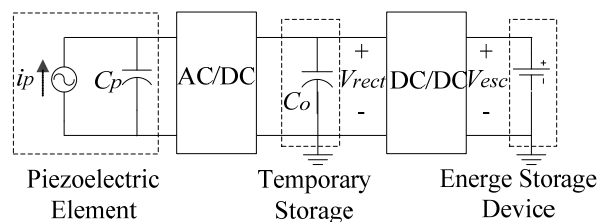


圖1. 典型的儲能系統

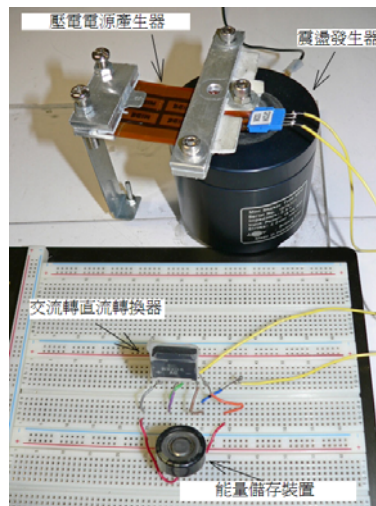


圖2. 壓電式儲能系統

表1. 儲能系統應用產品

應用產品	Power range	工作電壓	額定電流
手電筒	100mW 以上	3.6V	100mA 以上
無線電對講機		4.5V	50mA(待機) 500mA(接收)
無線滑鼠	50mW-100mW	3V	25mA
生醫感測器	1mW-50mW	3V	數 mA
家電遙控器		3V	3mA~9mA
無線射頻傳輸模組		2.2V(發射) 5.5V(接收)	4.5mA(發射) 7.5mA(接收)
計步器	1mW 以下	3V	10uA

表2. 文獻中儲能系統所使用的能量源與其應用

文獻	能量來源	輸入電壓	輸出電壓	輸出功率	應用
[1]	太陽能	7V 以下	3.7V	130mW	無線感測器網路
[2]	熱感式	250mV	2.2V	1.4mW	無線傳感器
[3]	RF	0.5V	3.3V	125uW	無線傳感器
[4]	壓電材料	0.8V~1V	1.2V	0.14mW ~0.2mW	感應器、致動器
[5]	壓電材料	3.38V	5V	1.8mW	RFID 發射器
[6]	壓電材料	1.6V ~5.5V	4.8V	200uW ~1.5mW	自主式感測網路
[7]	RF 與微波訊號	0.13V ~0.65V	4.2V	23uW ~545uW	微功率無線裝置

電容這類的電能儲存元件都有使用的額定電壓，必須要在固定範圍內才能夠對其進行充電的動作，因此儲能系統的輸出端必須要是一個穩定的電壓，這是儲能系統的目的。為了使不穩定的電壓能夠固定在所需的範圍內，典型的儲能系統都會以一個直流對直流轉換器當作主架構，目的是將較低的輸入電壓作升壓；較高的電壓作降壓，藉此達到儲能元件的額定電壓以進行充電。圖2為一個壓電式儲能系統的實體圖，發電來源是壓電材料，壓電材料接上震盪發生器，當震盪發生器開始運作時壓電材料也開始產生電能，將壓電材料產生的電能送到交流轉直流轉換器整流成直流電壓後，將能量儲存在儲能元件中。

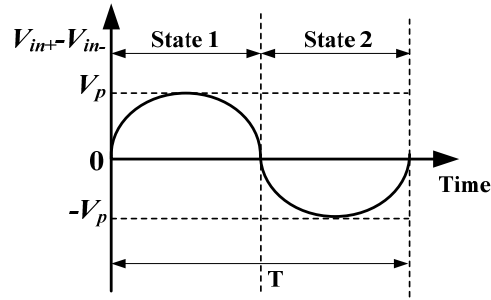


圖 3、輸出電壓與時間關係圖

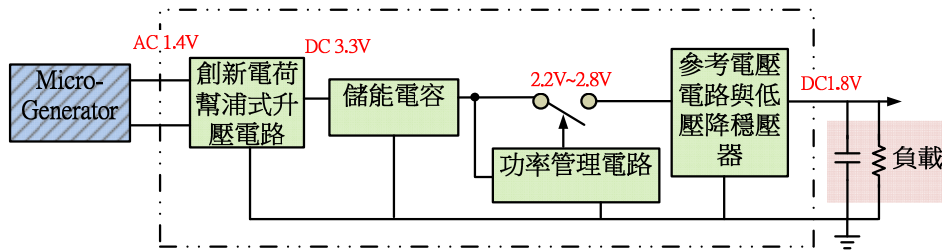


圖 4、整體電路架構功能圖

表1列出了七項儲能系統可應用的產品，分別是：手電筒、無線電對講機、無線滑鼠、生醫感測器、家電遙控器、無線射頻傳輸模組，以及計步器。將上述七項產品依據其消耗功率大小作分類，並列出這些產品的工作電壓以及額定電流，可以分成：100mW以上、50mW~100mW之間、1mW~50mW之間，還有1mW以下的四個功率區間，消耗功率越低的產品則本文所設計的儲能電路越容易實際應用在上面。這七項產品的工作電壓都是一般替換性電池的額定電壓，很適合本文所設計儲能系統的應用。表2是將各相關文獻分別依其能量來源、輸入電壓、輸出電壓、輸出功率，以及其應用做整理。能量來源最多文章使用的是壓電材料，其他像是RF、太陽能、熱能，也都可以做為轉換成電能的來源，這些能量源都有一個共通點，就是其電壓不穩定，但若是將此能量儲存在儲能元件中，則要使電壓固定在儲能元件的額定電壓，這也正是本文所設計儲能電路的目的。

2.2 儲能電路設計

首先因應微型發電機輸出電壓與時間關係如參考圖3所示，為一交流(AC)式的電壓波形，無法予一般裝置使用。一般轉換能量的前端電路是先使用一全橋電路，再採取 dc to dc converter 的概念去收集能量，但是若以電池輔助則電池消耗的能量也許遠超過收集到的能量，因此考量前端換能裝置實際輸出能量極小，約為 2V 以下之交流訊號，因此採用電容式升壓結構，設計一新型高速充電泵(Charge Pump)，此電路能將輸入微小之交流電壓訊號升壓並整流成直流訊號，只需要一個週期即能達到升壓整流效果，且無需外部控制訊號，相較於一般 Dickson charge pump[8][9]，此電路設計更能達到高速低耗能之特性，接著設計一功率管理電路，透過一過渡之電容先針對前端所產生之能源進行儲存，待累積了足夠的能量電壓之後，再將其所收集之能量往後端運送，之後經過一低壓降穩壓電路(LDO)接到負載，透過此電路，降低負載效應及於後端輸出一穩定之 DC 電壓源輸出給負載使用，其整體電路架構如

圖 4 所示，從一開始的整流、升壓、功率管理儲能，穩壓直到對後端負載元件供電，皆無需外部電源供應，相較於一般 dc to dc converter 的架構[10]，此種不需電池的低電壓前端轉換電路，更能達到高效率轉換，因為若以電池輔助則電池消耗的能量也許遠超過收集到的能量。整體電路設計流程如圖 5 所示，以下將針對各部分之電路原理以及設計做分析討論。

電路構思

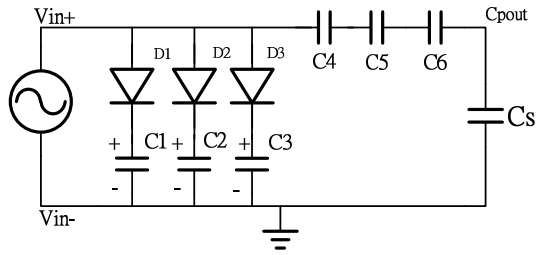


圖 7、作動於第一階段之切換式電容電路

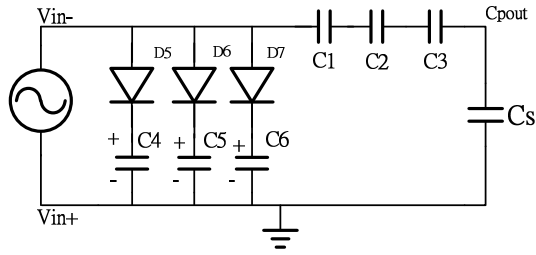


圖 8、作動於第二階段之切換式電容電路

完成設計

圖 5、設計流程圖

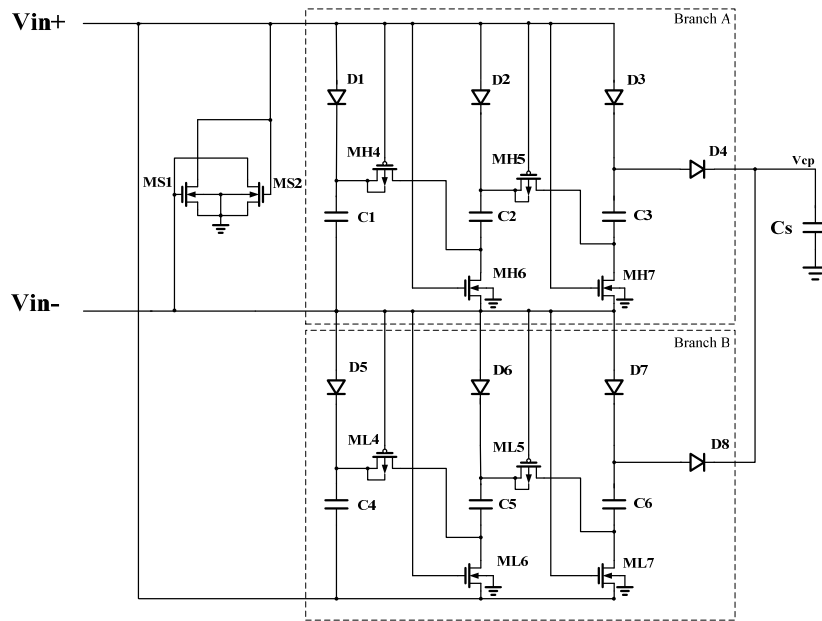


圖 6、所提出之新式切換式電容升壓電路

2.2.1 切換式電容升壓電路

考量到一般轉換電路設計[11][12]，對於低輸入擺幅之交流能量，在電路設計上需先使用整流電路進行整流，而後採用升壓電路進行升壓以符合後端需求。然而對於電容式升壓電路而言，考慮到一般之 Dickson Charge Pump 需要外部訊號控制[13][14]，此舉無法達成無源升壓，且其前端需額外設計一整流電路以符合規格所需，在成本、體積以及效率上來說有其缺

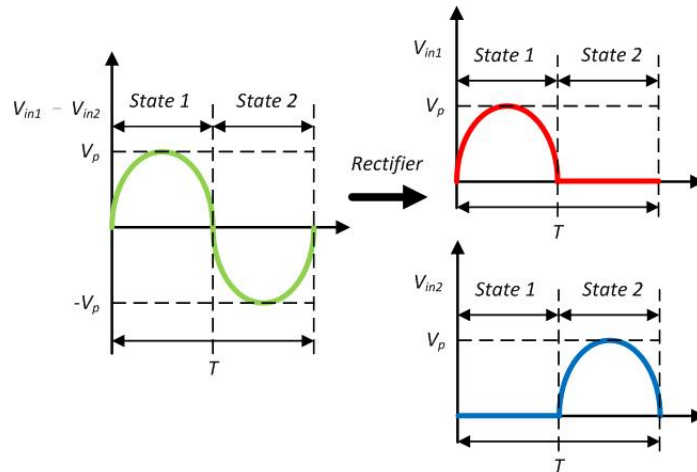


圖 9、透過 MS1 以及 MS2 整流之示意圖

陷。因此針對此種低擺幅輸入之交流能量，設計出一兼具整流以及升壓之創新電荷幫浦式電路，也透過使用 T25HV 製程的蕭基二極體大大的減少電流經過一般二極體與 MOS Diode Connect 使所產生的壓降[15][16][17]。由於蕭基二極體之壓降小，特別適合用於輸出低交電電壓之微發電機，使效率較佳。此電路之目的為將 AC (1.2~1.5V) 之電壓整流並升壓至 DC (3.3~4.5V) 之電壓。其電路如圖 6 所示， V_{in+} 與 V_{in-} 分別接至微發電機兩端；分支 A 部份以及 B 部份為相同之電路設計，用以達成雙相位輸出，能有效轉換正半週期以及負半週期之能量，且具低漣波輸出之特性；其中，D1~3 以及 D4~6 為 Schottky Barrier Diode，而其簡單概念為：充電時電容並聯充電，放電時電容串聯放電，並由 A 部份以及 B 部份交互進行充放電，分析步驟如下：

1. 第一步(State1)：當正半週期時，MS2、MH6、MH7、ML4、ML5 導通，此時 A 部份電容為並聯充電至 $V_p - V_{sd}$ (V_p 為輸入訊號之 peak 值)，B 部份電容為串聯放電，電路作動如圖 7 所示。
2. 第二步(State2)：當負半週期時，MS1、MH4、MH5、ML6、ML7 導通，此時 A 部份電容為串聯放電，B 部份電容為並聯充電，電路作動如圖 8 所示。

除此，透過 MS1 以及 MS2 來整流如圖 9 所示，使得在電容串聯放電時，其能量由前端之微發電機向後端推送，簡單的說，電容串聯時可視為一增壓工具，能量來源由前端提供，因此將更具驅動能力，而不是單純的由電容放電，其輸出電壓最大值公式如下：

$$V_{cpout} = 3(V_p - V_{sd}) + V_p - V_{sd} \quad (1)$$

其中 V_p 為輸入訊號之 peak 值， V_{sd} 為蕭基二極體之導通電壓。總結來說，新設計之電荷幫浦式整流升壓轉換電路有幾項創新點如下：

- (1) 相較於 Dickson Charge Pump，本設計之電路無需整流器以及控制訊號即可達成自動切換升壓整流效果，Dickson Charge Pump 會隨著串接越來越多級效率程指數下降且因為使用 Schottky Barrier Diode 而無 Body Effect 之影響，因此串接多級時仍然具高效率之輸出特點，其升壓倍數可由串接級數決定，在相同條件下，此電路將更具有競爭力。
- (2) 由以上之分析可了解，本電路之升壓架構設計只需一個週期即可升壓上去，對於一般微發電機產生之間歇性能量，快速升壓可針對突發性能源做快速且有效的收集，而傳統之電容

式升壓電路其升壓時間長，相較之下，本部分電路設計更適合應用在間歇性能量的收集。

- (3) 採用新製程 TH25HV 之設計，可使用蕭基二極體元件，擁有壓降小之優點。對於低輸出電壓之微發電機，可以擁有良好的升壓效能以及電能轉換效率，對注重效率之微獵能電路設計將有相當大之助益。

2.2.2 功率管理電路

由於發電機產生的能量是間歇性，其能量不足以隨時供電給負載設備，電路甚至在高負載電流時不會工作，當負載設備直接連接到電荷幫浦電路時。基於此原因，功率管理電路是為解決這一問題必要的設計，可以監視儲能電容的能量和控制能量傳遞給負載與否，電源管理電路操時無需外接電源。由於微發電機所產生之能量微小約 500uW 左右，且其頻率約只有

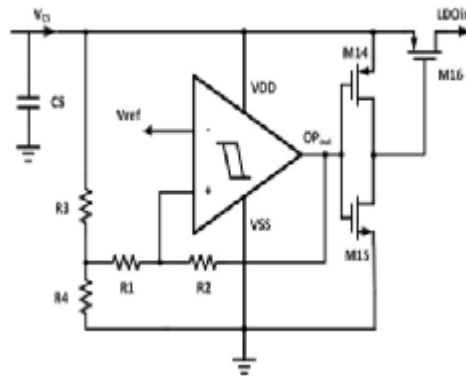


圖 10、功率管理電路

幾十赫茲到幾百赫茲左右，因此針對此種狀況之下，我們將能量轉換電路設計成夠允許低電壓低功率輸入，且由於所獲得的能量展現出不規則的隨機性低能量突發模式，因此在設計考量上，我們設計一功率管理電路，如圖 10 所示，透過一過渡之電容先針對前端所產生之能源進行儲存，待累積了足夠的能量之後，再將其所收集之能量往後端運送。首先假如前端微發電機產生一振幅大小為 1.5V，頻率為 100 赫茲之正弦週期訊號，透過新設計之電荷幫浦式電路，將 AC 訊號整流並升壓輸出，接著透過一過渡之電容將能量儲存，待電容電壓超過 4V 之後，由功率管理系統將能量往後端輸送，後端設計有低壓降線性穩壓器，用以降低負載效應以及溫度效應並且具有穩壓 3.3V 輸出效果，藉以提供後端一穩定 3.3V 之電壓源。預計低壓降穩壓電路為：當輸入為 3.4~4V 時，穩壓輸出為 3.3V。而當過渡電容電壓低於 3.4V 時，此時功率管理電路將會斷開，停止對後端供電，直到過渡電容再度升壓超過 4V。因此本系統分為兩種模式：1.待機模式：過渡電容充電，後端低壓降穩壓器不運作。2.供電模式：過渡電容對後端放電，低壓降穩壓器輸出 3.3V 之穩定電壓。此電路所使用之基本原理為史密特觸發比較電路，其電壓上升與電壓下降的直流掃描曲線是不同的(如圖 11 所示)，因此可以打開開關與關閉開關的電壓點不同。其工作點如下：

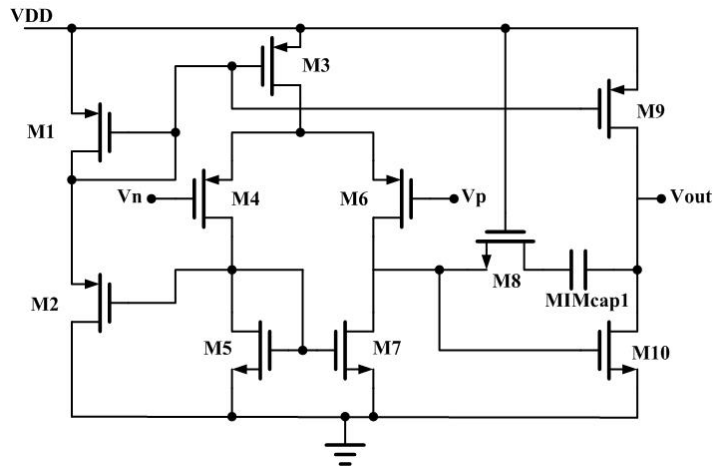


圖 13、低壓降穩壓電路 OP 內部電路圖

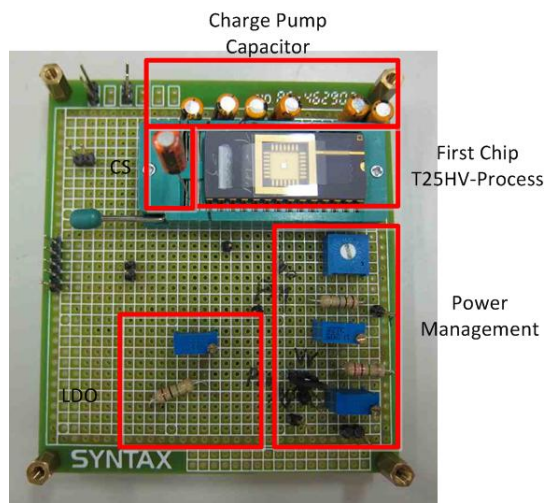


圖 14、測試電路

$$V_{CS}^+ = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} \quad (2)$$

$$V_{CS}^- = \frac{(R_3 + R_4)}{R_4} \cdot V_{ref}, \quad (3)$$

經過推導可導出上面兩式(2)、(3)，可知適當調整R值大小可任意設定兩功率管理電路兩個邊界電壓的值。

2.2.3 低壓降穩壓電路

低壓降穩壓電路接在功率管理電路之後，提供給負載一個DC穩態電壓，其還有降低負載效應的效果。透過一個線性穩壓器使輸入由高直流電壓轉換到輸出較低直流電壓，線性穩壓器是由一個如圖12所示的運算放大器的非反相配置和其外部電路所構成的。低壓降（LDO）穩壓電路適合許多應用，如可攜式裝置，工業和能源獵能器。他可以使輸入和輸出的電壓差縮小，並提供一個穩定的直流電壓。LDO的主要組成部分是一個通道元件，一個運算放大器，和一些電阻。輸出電壓可通過 R_{O1} 和 R_{O2} 的調整負回授的大小，輸出電壓和 R_{O1} 、 R_{O2} 的關係式

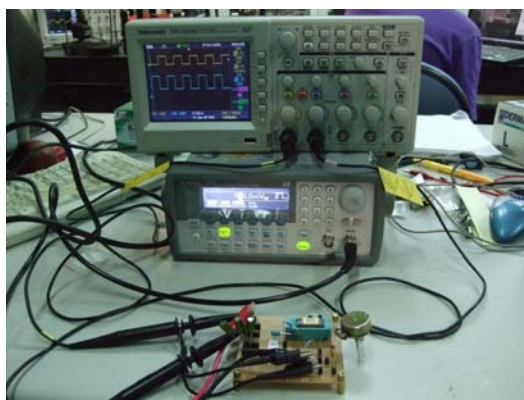


圖 15、實際量測儀器設置照片

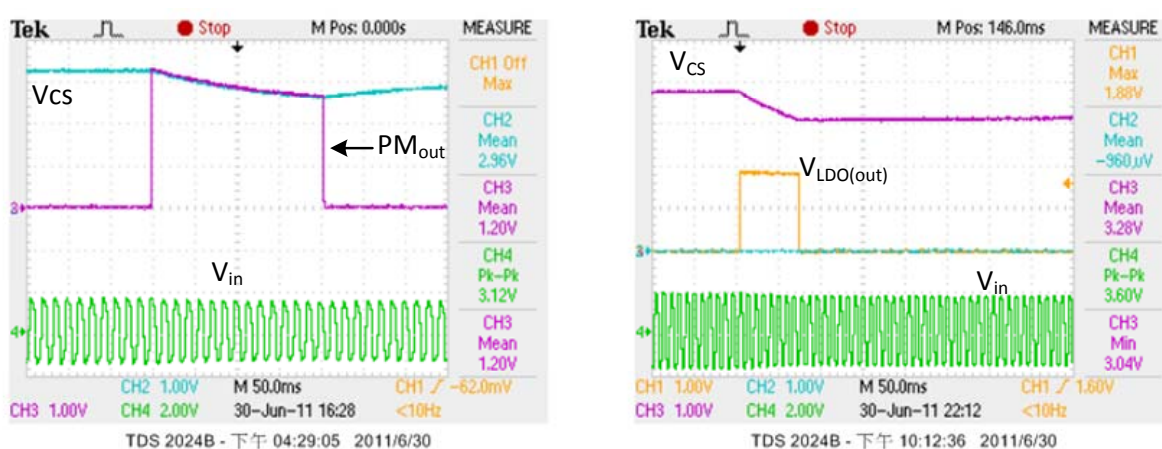


圖 16、輸出結果暫態響應 (a) power management 輸出；(b) LDO 輸出。

$$\text{為 } V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_{o1}}{R_{o2}}\right). \quad (4)$$

參考電壓設計為2V，比較器的內部電路如圖13所示。這是一個二階型態的低功耗比較器。第一階段是由M4，M5，M6，和M7組成一個差動放大器。第二階段是一個單輸出的共源放大器，由M10和M9組成。M8是一個線性電阻。M8和電容 MIMcap1形成一個穩定的回授電路。M1，M2，M3和M9形成直流電流或電壓偏壓。藉由此LDO電路，可以將過渡電容之電壓穩壓成1.8V，以供負載使用。

2.3 實驗結果

整體電路設計使用台積電 0.25 μm 高壓 CMOS 製程，其功率消耗約 25 μW ，晶片所使用面積約 0.3025 mm^2 。而其測試電路如圖 14 所示，儀器設置及流程如圖 15 所示。由於在實際微發電機之應用下，其輸入交流訊號之頻率不固定，因此針對此種變動頻率考量，輸入測試訊號的部分，從 100HZ 到 5HZ 皆能成功整流升壓並穩定輸出，顯示出此設計之可靠性與泛用性。圖 16(a)粉紅色訊號為電源管理電路輸出之電壓波形圖，而藍色訊號為過渡(儲能)電容

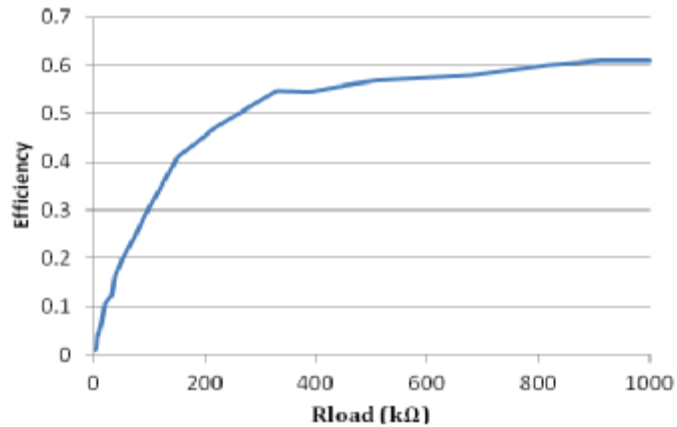


圖 17、效率分析圖

之電壓波形圖，綠色訊號則為預測之輸入波形圖，而圖 16(b)黃色訊號則為整體電路之輸出波形圖，由實際量測結果圖來看，電容電壓會介於 3.3V 以及 2.8V 之間變動，當電壓高於 3.3V 時，系統開始輸出穩定之 1.8V 直流電壓，而當電容電壓低於 2.8V 時，系統則進入待機模式，讓前端輸入持續對電容進行儲能充電，2.8V 和 3.3V 的上下限值可經由電阻適當調整。同時，針對不同負載進行效率分析測試，如圖 17 所示，其電能轉換效率最高可達 61%，對於微小能量的轉換而言，為非常佳之結果。

三、 結論

本計畫的主要目的是設計儲能電路，由於微型發電機所產生的能量源大都不穩定，因此所產生的電壓也會一直變動，若是要將此能量儲存起來，則必須經過有效的儲能系統來將此能量轉換成適合儲存在儲能元件的形式。本計畫所設計的儲能電路，以子計畫一、子計畫二設計之微發電裝置為考量，設計出合適且高效能之儲能轉換電路，先前透過 Hspice 等模擬軟體進行電路前模擬，確保電路之可行性，再由 CIC 進行晶片設計、佈局以及下線，最後針對下線之實體 IC 進行實際量測，評估實體晶片之轉換特性表現，成功達到體積微小化且高效能轉換之儲能 IC。

四、 参考文献

- [1] J. Jaenin, J. Xiaofan, and D. Culler, "Design and analysis of micro-solar power systems for Wireless Sensor Networks," in *Networked Sensing Systems*, 2008. INSS 2008. 5th International Conference on, 2008, pp. 181-188.
- [2] P. Spies, M. Pollak, and G. Rohmer, "Power Management for Energy Harvesting Applications," *Proceedings of 1st Annual nanoPower Forum*, pp.6–11, 2007.
- [3] T. S. Paing and R. Zane, "Resistor Emulation Approach to Low-Power Energy Harvesting," in *Power Electronics Specialists Conference*, 2006. PESC '06. 37th IEEE, 2006, pp. 1-7.
- [4] H. A. Sodano, G. Park, D. J. Leo, D. J. Inman, "Use of piezoelectric energy harvesting devices for charging batteries," *Proceedings of SPIE*, vol.5050, pp.101-108, 2003.
- [5] J. Kymissis, C. Kendall, J. Paradiso, and N. Gershenfeld, "Parasitic power harvesting in shoes," in *Wearable Computers*, 1998. Digest of Papers. Second International Symposium on, 1998, pp. 132-139.
- [6] E. Lefeuvre, D. Audigier, C. Richard, and D. Guyomar, "Buck-Boost Converter for Sensorless Power Optimization of Piezoelectric Energy Harvester," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, pp. 2018-2025, 2007.
- [7] T. Paing, J. Shin, R. Zane, and Z. Popovic, "Resistor Emulation Approach to Low-Power RF Energy Harvesting," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, pp. 1494-1501, 2008.
- [8] J. F. Dickson, "On-chip high-voltage generation in MNOS integrated circuits using an improved voltage multiplier technique," *Solid-State Circuits, IEEE Journal of*, vol. 11, pp. 374-378, 1976.
- [9] T. Tanzawa and T. Tanaka, "A dynamic analysis of the Dickson charge pump circuit," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 32, pp. 1231-1240, 1997.
- [10] N. Mohan and T. Undeland, *Power electronics: converters, applications, and design*: Wiley-India, 2009.
- [11] S. Xu, et al., "Low frequency pulsed resonant converter for energy harvesting," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, pp. 63-68, 2007.
- [12] J. Wu and K. Chang, "MOS charge pumps for low-voltage operation," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 33, pp. 592-597, 1998.
- [13] M. Ker, et al., "Design of charge pump circuit with consideration of gate-oxide reliability in low-voltage CMOS processes," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 41, pp. 1100-1107, 2006.
- [14] C. Wang and J. Wu, "Efficiency improvement in charge pump circuits," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 32, pp. 852-860, 1997.
- [15] C. Peters, et al., "A CMOS integrated voltage and power efficient AC/DC converter for energy harvesting applications," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 18, p. 104005, 2008.
- [16] X. Cao, et al., "Electromagnetic energy harvesting circuit with feedforward and feedback DC_iVDC PWM boost converter for vibration power generator system," *IEEE Transactions on*

Power Electronics, vol. 22, pp. 679-685, 2007.

- [17] L. Chao, et al., "A batteryless vibration-based energy harvesting system for ultra low power ubiquitous applications," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2007, pp. 1349-1352.

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

- 達成目標
- 未達成目標（請說明，以 100 字為限）
- 實驗失敗
 - 因故實驗中斷
 - 其他原因

說明：

已完成儲能電路之進階改善設計，電路相關公式推導，電路前模擬、後模擬、晶片設計、佈局、下線以及量測。

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

- 論文：已發表 未發表之文稿 撰寫中 無
- 專利：已獲得 申請中 無
- 技轉：已技轉 洽談中 無
- 其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本年度以優化系統為主，將電路做了三點之改進，分別為

- (1)採用 TH25HV 製程，提升效率至 61% ；
- (2)加入前端整流電路，提高升壓倍率與電能轉換之驅動力；
- (3)運用史密斯觸發器，將電阻外接提升電路靈活度。

此電路系統為已優化且完整之電路系統，可運用於整體計畫前端之微發電機，並可廣泛運用於震動式獵能系統，為一成功之電路設計。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：100年09月29日

國科會補助計畫	計畫名稱：創新微型呼拉圈式換能器設計與實現—子計畫三：呼拉圈式換能器之儲能電路設計與晶片實現 計畫主持人：林錫寬 計畫編號：NSC 97-2221-E-009-086-MY3 領域：自動化學門
無衍生研發成果推廣資料	