



逢甲大學學生報告 ePaper

公共自行車能量回收系統研製

Design and Implementation of Energy Harvesting System in Shared Bicycle

作者：陳耀昌、余笠誠、張承哲、林琮憲、王柏翔

系級：電機四甲

學號：D1019411、D1055376、D1055660、D1055483、D1091511

開課老師：徐士賢

課程名稱：專題研究(二)

開課系所：電機工程學系

開課學年：113 學年度 第 1 學期



中文摘要

聯合國氣候變化綱要公約第 28 次締約方大會 (The 28th session of the Conference of the Parties, COP28) 中提到若要實現將全球升溫控制在 1.5°C 以內的目標，至 2030 及 2035 年，全球應分別減少 43% 和 60% 的溫室氣體排放，並於 2050 年實現淨零排放，而交通運輸往往為主要的碳排放源。台灣目前市占率最高的公共自行車公司為微笑單車股份有限公司，當前該公司的公共自行車 (Youbike2.0) 僅能將騎乘時的動能轉換為電能供自行車前後車燈使用，其提供服務的電動輔助車 (Youbike2.0E) 目前也仍以人工方式替換 Youbike2.0E 車上電池，此方法不僅消耗人力，也浪費多餘電能，若能將 Youbike2.0 所產生之多餘電能回收且加以儲存，不僅可延伸應用作為 Youbike2.0E 的能量供應，還能更進一步用於其他綠色交通工具或城市基礎設施，若再加入適當的租借優惠費率等措施，更可提升使用率。

本專題以 Arduino Uno 來接收資訊、傳送控制訊號及判斷是否回收電能，整體設計分為自行車車端、駐車端與後端管理介面。自行車車端在騎乘過程產生電能後，將電能回收至車端裝設的鋰離子電池。自行車靠上駐車端後，藉由模組感測是否達到可放電的條件，放電至駐車樁的鉛酸電池，後端管理介面可顯示當前回收電能、電池狀態、萃取時間等數據，亦透過實驗找出花鼓發電電壓與騎乘時速關係，並透過實際騎乘計算自行車可回收之能量，以驗證其實用性。

關鍵字：公共自行車、能量回收、鋰離子電池。

Abstract

The 28th session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP28) stated that to achieve the goal of limiting global warming to within 1.5°C, global greenhouse gas emissions should be reduced by 43% by 2030 and 60% by 2035, with net-zero emissions to be achieved by 2050. Transportation is often a major source of carbon emissions. In Taiwan, the public shared bicycles company with the highest market share is YouBike Corporation. Currently, the company's shared bicycles (YouBike 2.0) can only convert kinetic energy generated during riding into electricity to power the front and rear lights of the bicycles. Meanwhile, the electric-assisted bicycles (YouBike 2.0E) still rely on manual battery replacement. This approach not only consumes manpower but also leads to energy waste. If the excess energy generated by YouBike 2.0 could be collected and stored, it could serve as an energy source for YouBike 2.0E, help establish multiple decentralized energy storage systems, and even be used for other green transportation or urban infrastructure. Additionally, implementing appropriate rental discounts or incentive measures could further increase usage rates.

The project uses Arduino Uno to receive information, transmit control signals, and determine whether to recover energy. The overall design is divided into three parts: the bicycle unit, the parking pile station, and the backend management interface. The bicycle unit generates electricity during riding, which is stored in a lithium-ion battery installed on the bicycle. When the bicycle is parked, a sensor module checks whether the conditions for discharging are met, and if so, the energy is transferred to the lead-acid battery at the docking station. The backend management interface displays data such as recovered energy, battery status, and extraction time. This project also includes experiments to determine the relationship between hub dynamo voltage and riding speed and calculates the amount of energy that can be recovered through actual riding to verify its practicality.

Keyword : Public bicycles, Energy recovery, Lithium-ion battery.

目 次

中文摘要.....	1
Abstract.....	2
一、研究動機.....	4
二、文獻探討.....	5
2.1 發電元件.....	5
2.2 儲能元件.....	6
2.3 駐車端回收能量基準.....	8
三、實驗架構.....	9
3.1 系統架構.....	9
3.2 車端儲能電路.....	10
3.3 駐車端能量回收.....	10
3.4 後端管理介面.....	12
四、實驗結果.....	13
4.1 車端儲能電路.....	13
4.2 駐車端回收電路.....	15
4.3 實際騎乘數據.....	16
五、結論與未來展望.....	18
5.1 結論.....	18
5.2 未來展望.....	18
參考文獻.....	19

一、研究動機

聯合國氣候變化綱要公約第 28 次締約方大會 (The 28th session of the Conference of the Parties, COP28) [1]中提到若要實現將全球升溫控制在 1.5°C 以內的目標，至 2030 及 2035 年，全球應分別減少 43% 和 60% 的溫室氣體排放，並於 2050 年實現淨零排放，交通運輸往往為主要的碳排放源。依據文獻[2]，微笑單車 (Youbike) 於臺北市一年的 CO₂ 減量概略為 259,431.69 公斤，可見公共自行車於淨零排放中有一定的重要程度。我國政府亦於 111 年 3 月及 12 月分別公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」及「12 項關鍵戰略行動計畫」[3]。圖 1 為淨零排放路徑總說明，在運輸及電力方面分別制定了改變運輸方式及發展儲能電網等方向，12 項關鍵戰略中的「電力系統與儲能」關鍵戰略行動計畫也提及將發展電網端儲能設備，用於強化電網韌性與彈性，以及調頻及備轉容量。若能利用公共自行車運載量大的優勢，再加上其可自行發電的特性，將電力及運輸兩大面向結合，必能對淨零排放的目標有更大的收益。

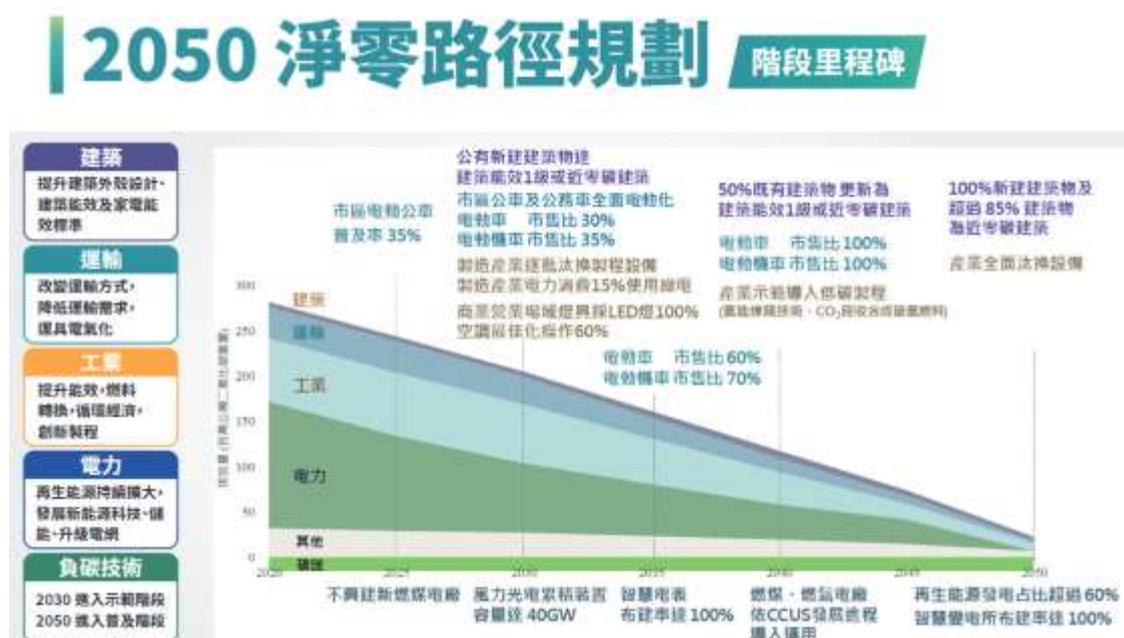


圖 1：臺灣 2050 淨零路徑規劃圖

根據 2019 年 T-Bike 租賃資料[4]，每騎乘 1 公里可產生 6.0 mAh 的電能，以 T-Bike 當時總數量近 3000 輛的規模計算，整年的總發電量可達 4,371 Ah。臺北市交通局資料顯示至 2023 年 5 月 30 日的 YouBike2.0 數量為 15,047 輛，YouBike2.0 目前僅能將動能轉為電能提供自行車前後車燈使用，造成能量的浪費，若能將所產生之多餘電能回收且加以儲存，不僅能作為公共自行車的能源供應、打造多處分散式儲能系統，還能更進一步用於其他綠色交通工具或城市基礎設施。

二、文獻探討

2.1 發電元件

市面上自行車的發電元件可分為兩種，第一種為固定式發電裝置與固定式自行車架設於同一地點，收集能量時裝置不移動，發電機的轉速可藉由傳動系統提升；第二種為移動式發電裝置，而發電裝置有以下三種類別：

2.1.1 固定式發電裝置

根據文獻[5]，固定式發電裝置為使用連接到自行車飛輪的發電機並透過踏板驅動發電機將機械能轉化為電能，發電機產生的能量可以儲存在各種類型的鉛酸電池中，蒐集到一定能量以後可以使用該能量來為燈具或其他設備供電。如果有交流電器，則可使用逆變器將直流電轉換為交流電，用於電能儲存和運行家用或其他電器。其結構通常包含：固定式自行車、發電機、鉛酸電池、直流對直流轉換器與逆變器。

2.1.2 移動式發電裝置

移動式發電裝置可分為摩擦納米發電機、圓筒形電磁式發電裝置以及電磁式發電裝置。圖 2(左)為摩擦納米發電機，其在輪胎中加入電極與介電層，收集自行車運動中摩擦靜電所產生的能量，在標準瀝青道路上有良好的電能輸出，但電能輸出可能會受到雨水或固體顆粒污染的顯著影響[6]。圖 2(右)為圓筒形的電磁式發電裝置，主要是收集騎乘自行車左右搖擺的平衡運動能量，再透過此裝置獲取電能，而在騎上坡時不會明顯的增加騎乘者的機械功，缺點為產生之電能非常微小。



圖 2：移動式能量收集裝置照片圖



圖 3：電磁式能量收集裝置照片圖

電磁式能量收集裝置可分為兩種，一種為圖 3(左)的輪輞發電機(Rim Dynamo)，另一種為圖 3(右)所示的花鼓發電機(Hub Dynamo)。輪輞發電機是利用 O 型環與輪胎磨擦帶動其轉子轉動，其優點為安裝簡單、尺寸較小以及在不使用時可完全脫離輪胎且不會造成額外阻力，缺點則是車速過快或是在泥濘路段容易打滑、噪音大、需要定期更換 O 型環以及在高速發電時會產生更大的阻力。花鼓發電機是在車輪轉動時透過磁場變化產生一為交流電的感應電流，其優點為噪音較小、阻力較小、幾乎不需要維護、對環境適應性較佳以及在潮濕、泥濘等路況皆可正常使用。公共自行車所需之發電機特性應為：對環境適應力佳、阻力低以及對使用者影響較小，經文獻探討，本專題選擇花鼓發電機作為發電裝置。

2.2 儲能元件

根據 2019 年 T-Bike 租賃資料[4]，平均每騎乘 1 公里可產生 6.0 mAh 的電能，而台北市交通局 2021 年 12 月的資料顯示，使用者在租借時間 30 分鐘以內佔 86.4%，透過兩項數據可知，騎乘距離與時間皆不多的情況下，單次可回收的電能有限，應累積至一定電能再行回收。因此本專題車端的電能儲存裝置應兼具體積小與儲能兩條件，故選擇能量密度大之儲能裝置，累積能量再回收電能至駐車端。市面上常見的儲能裝置有鉛酸電池、鋰離子電池與超級電容器三種，需依不同情況做使用選擇，以下將依序說明：

2.2.1 鉛酸電池

圖 4 為鉛酸電池 (Lead-Acid Battery) 其結構可以分為開放式 (Flooded) 和閥調式 (Valve-Regulated) 或稱為密閉式 (Sealed)。開放式鉛酸電池優點為價格低及使用循環壽命長，但是當其過度充電的時候，會導致電解液內部的水電解，在陽極部分產生氧氣，陰極部分產生氫氣，釋出到電池外部使得內部電解液減少，因此需要定期補充水份及保養，且開放式架構還會有漏液的危險。閥調式鉛酸電池優點為不需加水保養。當過度充電時，在陽極上因水電解而產生的氧氣會

被陰極(鉛)吸收轉變成一氧化鉛，接著與電解液內的硫酸反應轉變成水與硫酸鉛，故反應過程中可以降低水份散失，而其密閉結構可以避免酸液流出，故目前所使用鉛酸電池當中以閥調式鉛酸電池居多[7]。優點為結構簡單、價格低廉及蓄電量大，但缺點為體積與重量較大，不易攜帶。



圖 4：鉛酸電池



圖 5：18650 鋰離子電池

2.2.2 鋰離子電池

圖 5 為鋰離子電池 (Lithium-ion Battery)，其正負極分別為不同材料組成，電池中含有電解質幫助傳導電子，並且在正負極間有電解液及隔離薄膜防止短路發生，充放電即電子就在正負極間穿過薄膜和電解液流動的過程，鋰電池負極通常使用碳材料為主，而正極材料常見的有三元鋰、磷酸鐵鋰、鎳鋰、錳鋰等。除了材料的區別之外，鋰電池的外型也有不同形態，常見的兩種形狀為金屬外殼的圓柱體電池，如 18650、4680 等規格，以及形狀較為方正的軟包封裝電池。

2.2.3 超級電容

圖 6 為超級電容，其構造由電活性材料或多孔性物質來儲存能量之電容器元件，其容量的大小和面積成正比，但與極板間距成反比[8]，由電解質作為介質，但其儲能及放電過程不發生化學反應，乃是由極化電解液來達到儲能之目的，故具有高功率密度、低能量密度、高循環次數之特性，適用於瞬間較高輸出電流之負載，且亦無殘存能量之問題，能量利用率較高。



圖 6：2.7V 500 F 超級電容

本專題之駐車端儲能裝置需較大的蓄電量、低廉的成本與簡單的結構，經文獻比較，選擇鉛酸電池作為駐車端儲能裝置；車端儲能裝置需要高能量密度、體積小之特性，故選擇鋰離子電池作為車端儲能裝置。

2.3 駐車端回收能量基準

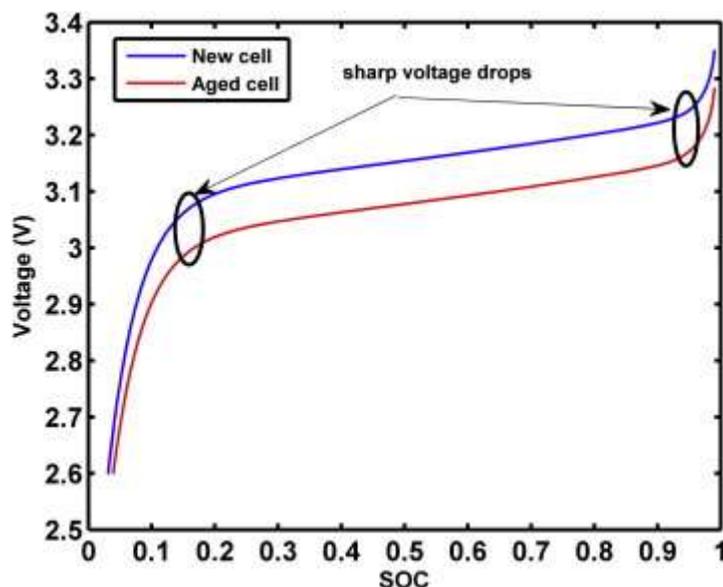


圖 7：全新與老化的鋰離子電池之 SoC- V_t 曲線圖

圖 7 為文獻[10]表示全新與老化的鋰離子電池以 1C 定電流持續放電的 SoC- V_t 曲線圖，圖中可看出 SoC 在特定狀態下， V_t (電池端電壓) 會有急遽的下降和上升。文獻[10]亦提及其使用的鋰離子電池在 SoC 介於 15% 到 92% 之間會有較平穩的 SoC- V_t 曲線。因此，本專題決定將鋰離子電池 SoC 放電基準設定為 20%，並利用開路電壓法量測鋰離子電池 SoC 為 20% 時的開路及負載電壓，做為放電的基準電壓，即自行車車端鋰離子電池放電至駐車端鉛酸電池時，鋰離子電池開路電壓需大於基準電壓，放電過程中，鋰離子電池負載電壓也需大於基準電壓，若量測車端鋰離子電池低於基準電壓，電池將停止放電至駐車端，以確保鋰離子電池不會因過度放電降低電池壽命。

三、實驗架構

本專題製作區分為車端儲能電路與駐車端電能回收及後端管理介面，第一部分為車端儲能電路，在騎乘過程中，透過花鼓發電機產生交流電，經整流、濾波電路後存入電解電容，再透過比較電路使電能在特定電壓區間內對鋰離子電池放電並儲存在鋰離子電池。第二部分為駐車端能量回收裝置，在腳踏車靠上駐車端後，藉由電壓感測模組量測車端之鋰離子電池電壓，若達設定門檻值則透過 MCU 控制繼電器，經穩壓電路後放電至鉛酸電池，而駐車端儲存之電能後續可併入市電，減少能源浪費。第三部分為後端管理介面，以 Power BI 製作人機介面以顯示單車騎乘資訊，如回收電量、車端電池電壓、回收電流、騎乘速度等，該介面的資料來源於 MCU 上傳至雲端資料庫的資料，將感測器採集到的原始數據同步顯示於該介面，管理者可透過該介面檢視單車最近一次旅程所回收的電能、充電情況以及能量回收效率等。

3.1 系統架構

本專題系統架構如圖 8 所示，使用 Arduino Uno 作為控制核心，並以 C 語言來進行編寫。透過 Arduino Uno 來接收電壓與電流資訊、傳送控制訊號及判斷是否回收電能，整體設計分為自行車車端、駐車端與後端管理介面。自行車在騎乘過程由花鼓發電機產生電能後，經由橋式整流器、判斷區、電解電容與電壓比較電路後，將電能儲存至鋰離子電池。自行車靠上駐車端後，藉由電壓感測模組量測自行車車端之鋰離子電池電壓，若達設定門檻值則透過穩壓電路放電至鉛酸電池。後端管理介面將 MCU 透過 WIFI 連線至電腦，可使管理者得知電池與車輛騎乘的各項資訊如回收總電量、電池電壓等。

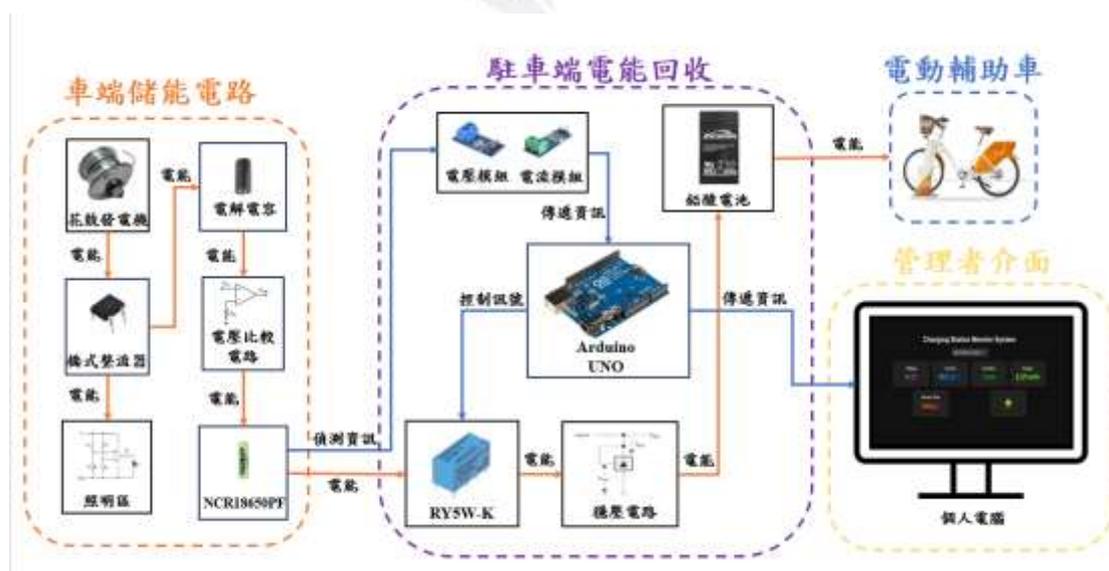


圖 8：系統架構方塊圖

3.2 車端儲能電路

此電路由發電區、穩壓區、指示區、判斷區與充電區組成。發電區選擇花鼓發電機作為本專題之電能產生來源，而花鼓發電機產生之電能為交流電，經過交直流轉換電路後，轉換為帶有漣波之直流電經電解電容充電電路作車端電路之主要供電來源，電解電容充電電路由一個限流電阻、一顆整流二極體及一個電解電容所組成，此電路的功用為暫存發電花鼓所產生的電能，直到電解電容的端電壓大於可穩壓輸出門檻，才開始對鋰離子電池穩壓充電。穩壓區由線性穩壓器 LM7805 與 LM7808 穩壓輸出，作為電路中比較輸入電壓的基準。判斷區由參考電壓電路與電壓比較電路兩種組成，而電壓比較電路又可分为雙門檻電壓偵測電路、截止門檻電壓偵測電路及放電門檻電壓偵測電路三種。判斷區目的為判斷是否對鋰離子電池充電與降低繼電器開關頻率。充電區由鋰離子電池端電壓偵測電路與鋰離子電池組成，其功能為低於 4.2V 時，由穩壓區提供之 8.06V 對電池進行穩壓充電，並在電池端電壓接近 4.2V 時透過繼電器斷開充電電路，同時將在指示區由 LED 提示電池狀態。圖 9 為本專題設計之自行車車端電路。

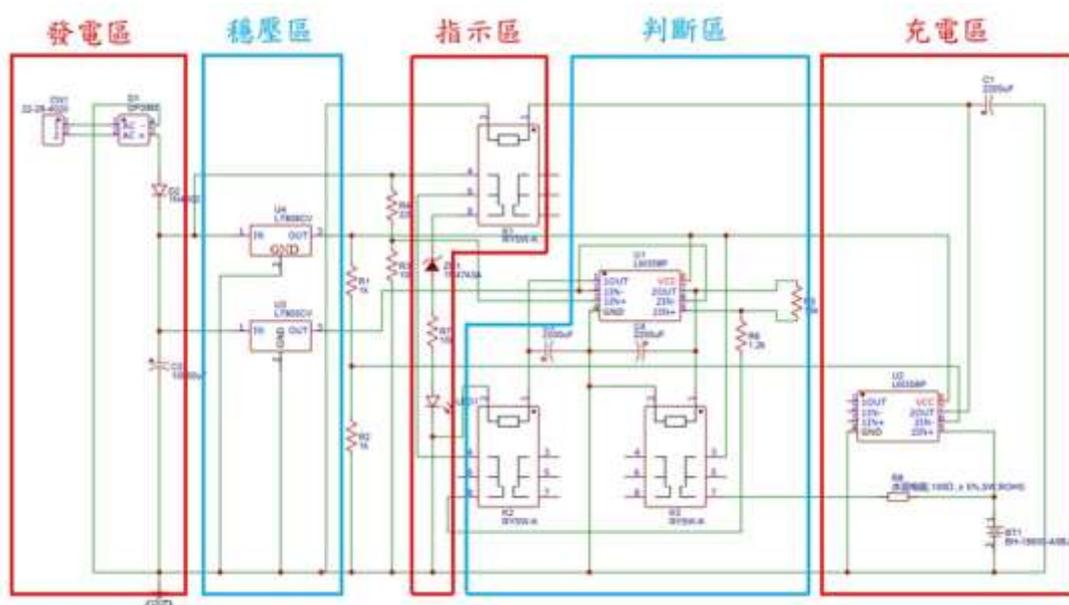


圖 9：自行車車端電路架構圖

3.3 駐車端能量回收

本專題駐車端能量回收與利用系統分為車端與駐車端電能轉換電路兩大部分。自行車車端由花鼓發電機產生電能，經過交直流轉換電路後，對電解電容進行充電，達到門檻電壓時則對鋰離子電池充電。自行車靠上駐車樁後，駐車端 MCU 判斷是否可進行電能回收，回收條件設置為鋰離子開路電壓為 3.15V、負載電壓為 3.3V，若可進行回收，MCU 傳送控制訊號控制繼電器，進行自行車車端之鋰離子電池對駐車端鉛酸電池儲能。能量回收流程如下圖 10。

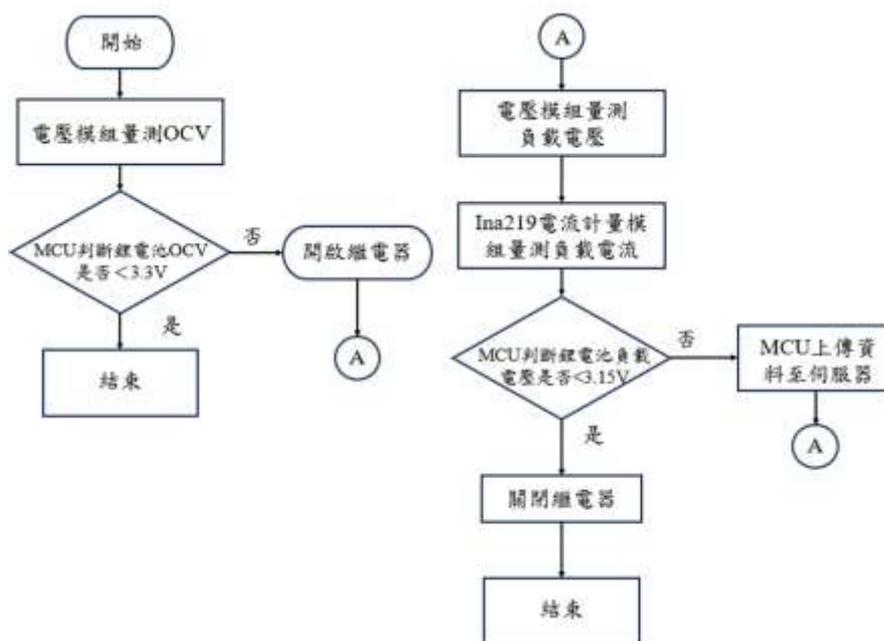


圖 10：能量回收系統流程圖

駐車端能量回收電路由繼電器與 TL431 穩壓電路組成如下圖 11。繼電器分成常開與常閉兩種模式，常開模式下維持鋰離子電池開路狀態，不回收電能至鉛酸電池；常閉模式下鋰離子電池之電能經 TL431 穩壓電路回收至鉛酸電池。因回收鋰離子電池電能至鉛酸電池的過程中，鋰離子電池電壓會介於 3.3V~4.1V 之間，若直接將鋰離子電池與鉛酸電池並聯進行放電，將造成鉛酸電池使用壽命減少及損壞，所以本專題使用 TL431 穩壓電路，將鋰離子電池穩壓至 2.5V 後對鉛酸電池進行定電壓放電。

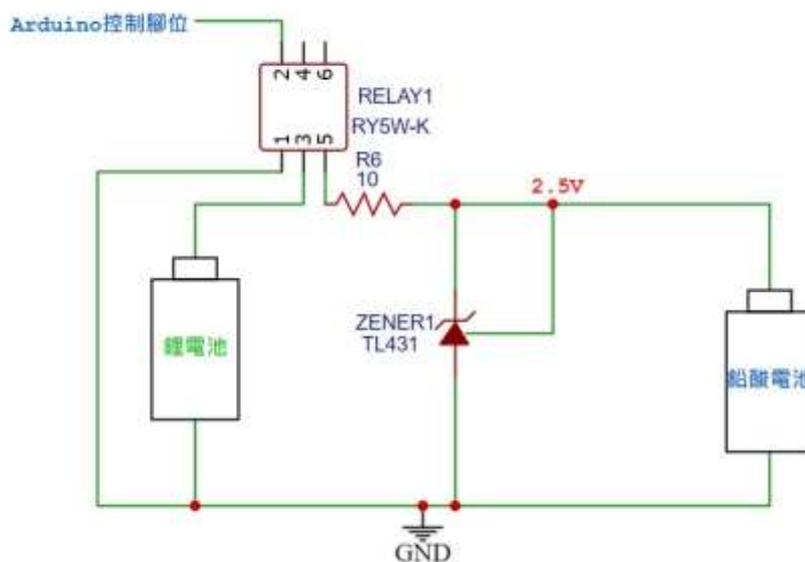


圖 11：駐車端能量回收電路圖

3.4 後端管理介面

本專題以 Power BI 設計後端管理介面如下圖 12 所示，圖中的上層區塊為自行車編號，點選車輛可觀看該車當前狀態，包含在該駐車樁的回收時間、負載電流、總電量、車端鋰離子電池電壓、是否正在進行電能回收。以上資料可以讓管理方能夠監測車端與駐車端使用情況及回收電能等，後續可進一步導入大數據分析，將電池資訊、使用狀態、充放電歷史等數據進行深度挖掘，讓管理者能夠識別使用高峰時段及制定更有效的充電策略，進而優化公共自行車的運營效能。

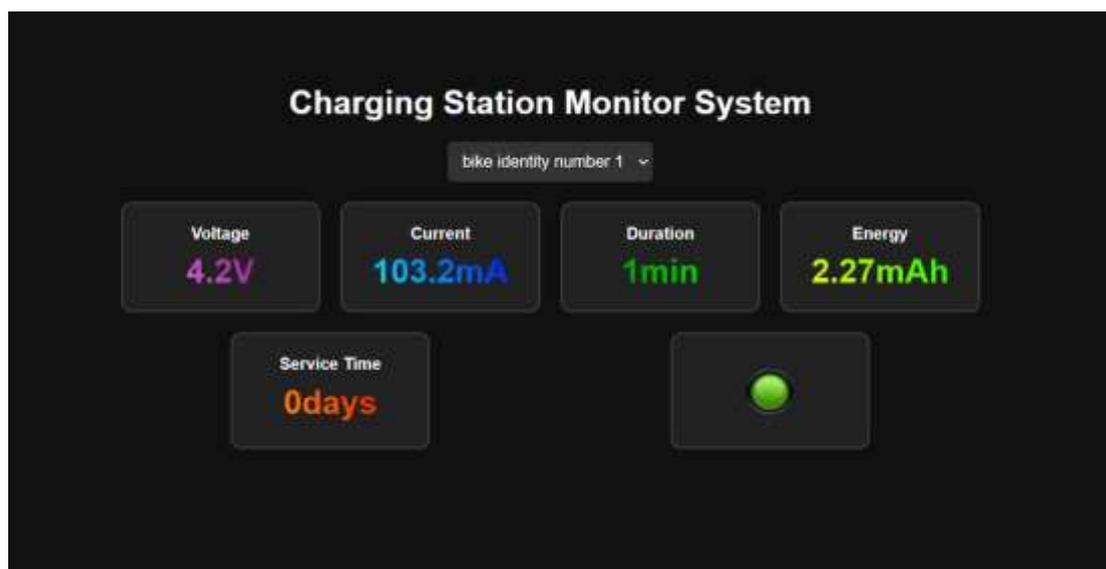


圖 12 駐車端管理者介面

四、實驗結果

4.1 車端儲能電路

此區電路由發電區、穩壓區、指示區、判斷區與充電區組成。本專題使用手動轉動車輪方式模擬騎乘情形，並擷取一段時間來觀察判斷區的時速對應電壓。判斷區由參考電壓電路與電壓比較電路兩種組成，而電壓比較電路又分為雙門檻電壓偵測電路、截止門檻電壓偵測電路及放電門檻電壓偵測電路三種，電能通過雙門檻電壓偵測電路即對鋰離子電池充電。圖 13 為通過雙門檻電壓偵測電路充至鋰離子電池之電量，車端儲能電路與發電量關係和雙門檻偵測電路之繼電器導通時間成線性相關。圖 14 可看出電壓大約在時速 16km/hr 的瞬間急速上升至 8.02V，直到時速下降至大約 13km/hr 後電壓才降至 3.2V，而圖中上升至 8.02V 之時間電代表充電瞬間時速，降至 3.2V 代表停止充電瞬間時速。圖 15 為統計充電瞬間時速的實驗結果，顯示開始充電平均速度為 15.98km/hr。圖 16 為統計停止充電瞬間時速的實驗結果，顯示之停止充電平均速度為 13.81km/hr。

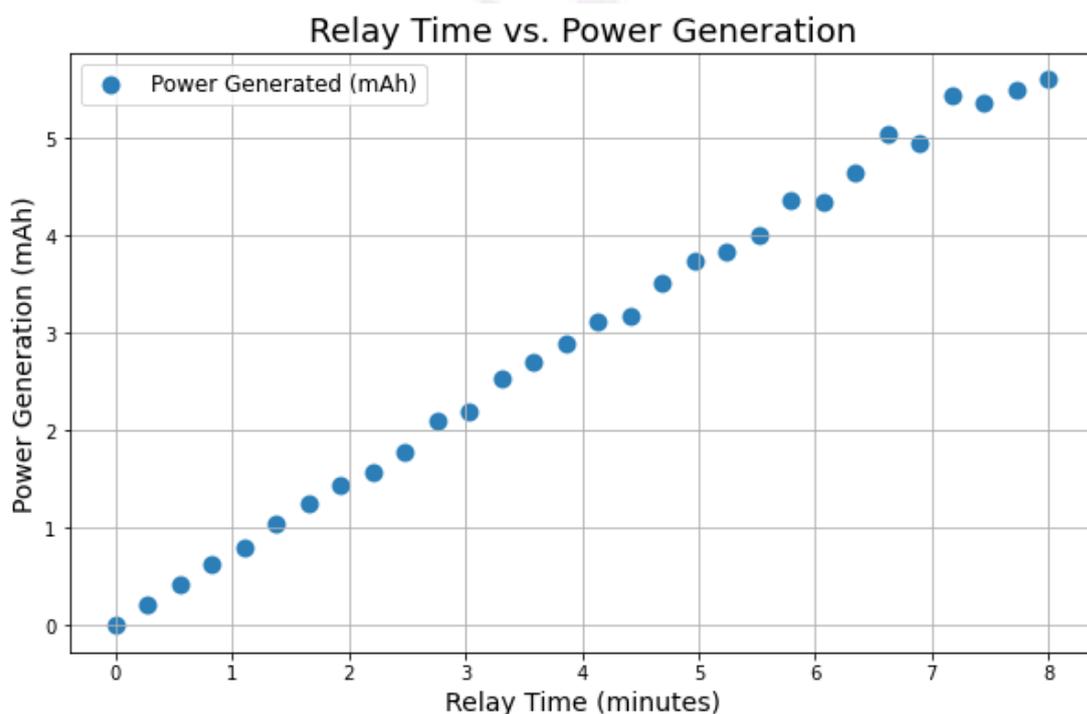


圖 13：繼電器導通時間對應發電量實驗結果圖

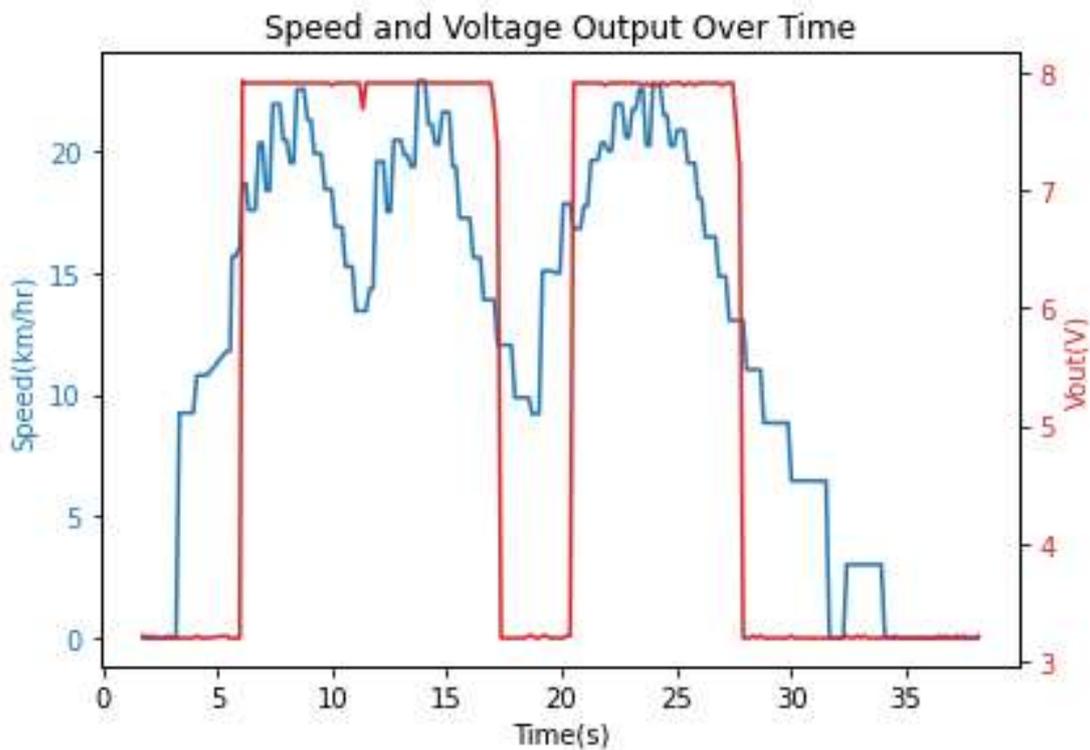


圖 14：雙門檻電路之電壓與騎乘速度關係圖

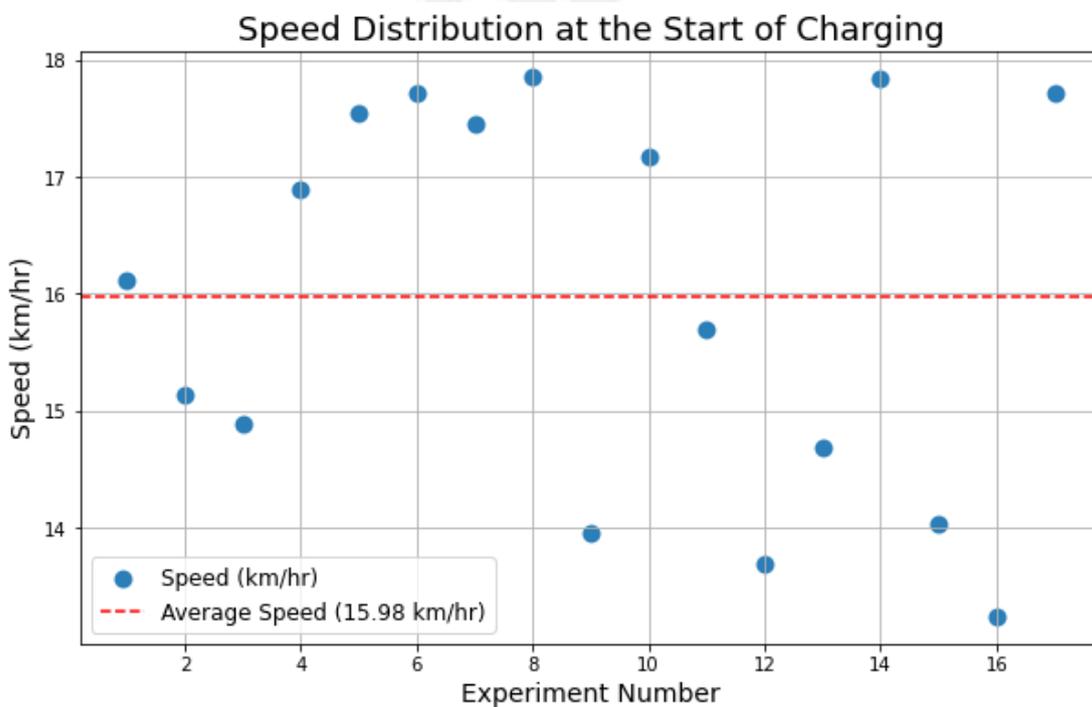


圖 15：開始充電之平均騎乘時速圖

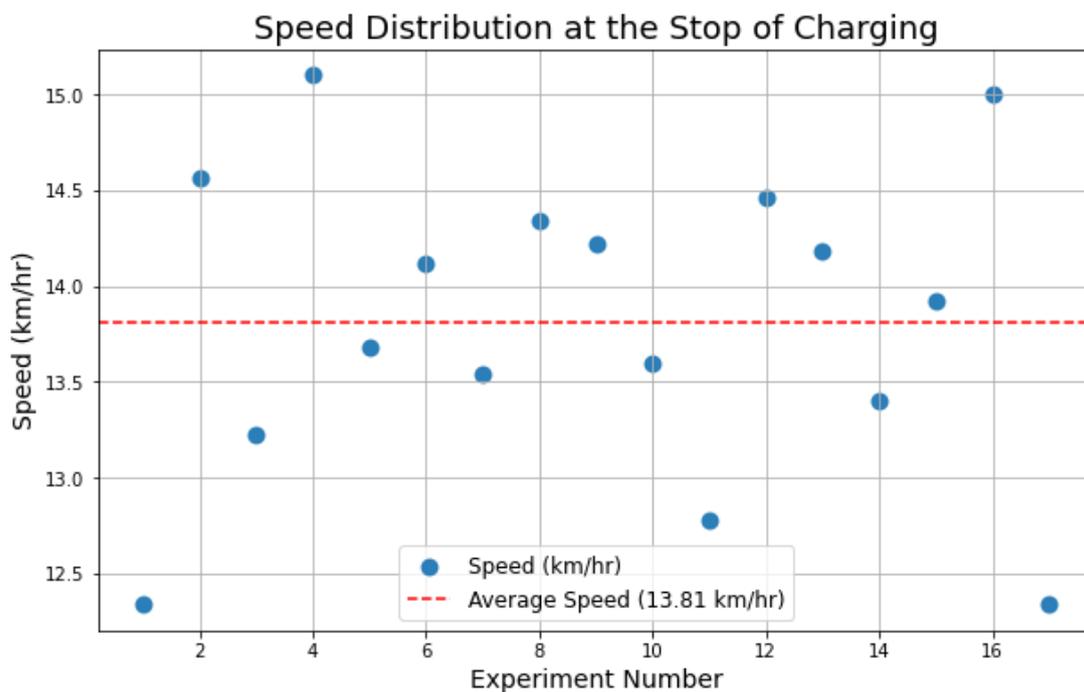


圖 16：停止充電之平均騎乘時速圖

4.2 駐車端回收電路

駐車端回收電路由繼電器與 TL431 穩壓電路組成。在常閉模式中車端鋰離子電池之電能經 TL431 穩壓電路後對鉛酸電池進行定電壓放電。因駐車端回收電能策略為車端鋰離子電池電壓大於 3.3V 後進行電能回收，而車端鋰離子電池每次收集之電量又因不同租借者之騎乘狀況而有所差異，故本專題使用不同電壓之鋰離子電池來模擬自行車收集不同電量之情形，圖 17 所示車端鋰離子電池電壓越大，回收至鉛酸電池之電流則越大；車端鋰離子電池電壓越小，回收至鉛酸電池之電流則越小。

鋰離子電池電能經駐車端放電電路之轉換效率如下表 4.1，因自行車使用者使用狀況不同，回收電能至鋰離子電池之電能也有所差異，本專題使用低電量與高電量兩種情況來模擬回收不同電量之情形。表 4.1 可看出低電量情形下，回收至鉛酸電池之電流較低，轉換效率較高；高電量情形下，回收至鉛酸電池之電流較高，但轉換效率較低。

表 4.1 放電中之電壓、電流、轉換效率

電量情形	鋰電池電壓	輸入電流	鉛酸電池	輸出電流	轉換效率
低電量	3.43V	73.5mA	2.01V	73.2mA	58.36%
高電量	4.10V	106.9mA	2.01V	106.4mA	48.63%

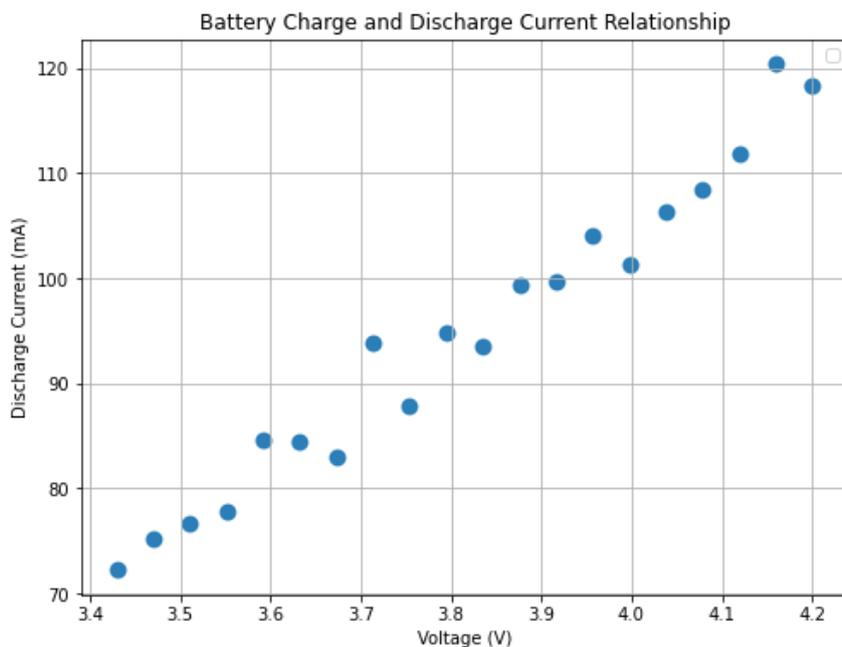


圖 17：不同電量下之回收電流實驗結果圖

4.3 實際騎乘數據

本專題透過裝設霍爾感測器量測騎乘速度如圖 18 所示，並記錄實際騎乘 12 分鐘後車端鋰離子電池的電壓變化，量測車端鋰離子電池騎乘前後的開路電壓，得到騎乘後開路電壓上升 0.03V，且總發電時間約占騎乘總時長的 87.5%，如表 4.2 所示，亦完成回收過程時上傳資料至伺服器以實現數據統計。

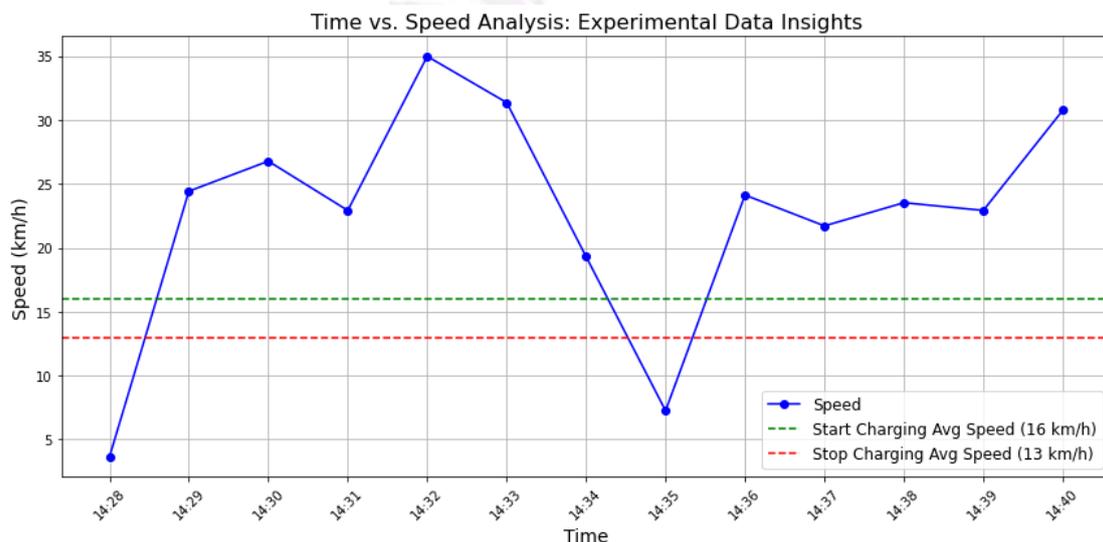


圖 18：騎乘速度折線圖

表 4.2 騎乘時間與鋰離子電池電壓關係表

騎乘時間	12 分	
發電時間	10 分 30 秒	佔騎乘時間 87.5%
騎乘前電池電壓	3.25V	
騎乘後電池電壓	3.28V	上升 0.03V (約 46.75mAh)



五、結論與未來展望

5.1 結論

本專題提出公共自行車能量回收系統，將多餘電能收集至車端鋰離子電池，靠上駐車端後回收電能至鉛酸電池。根據文獻[11]顯示，台北市 2021 年 12 月的平均每日租借次數為 5.5 萬次，如果將本專題應用於現有公共自行車將回收十分可觀的多餘電能，此專題不僅能作為公共自行車的能源供應、打造多處的分散式儲能系統，還能更進一步用於其他綠色交通工具或城市基礎設施，提升綠色城市的發展進程。

5.2 未來展望

本專題提出公共自行車能量回收系統，在設計方面仍有以下缺點需要改進：

1. 因本專題之車端儲能電路在不同車速下之轉換效率不同，所以需要使用 MCU 測量轉速對應電壓、電流，但測量電流之元件需要使用 I2C 通訊協定，而 Arduino 只有一組 I2C 通訊協定，如果需量測不同轉速對應電壓、電流則需兩台 Arduino 使用 I2C 通訊協定進行資料傳輸，但資料傳輸過程中會與電流感測器訊號發生衝突，進而造成訊號丟失，所以本專題並未量測出車端儲能電路之不同轉速對應轉換效率。
2. 在靠上駐車端後，鋰離子電池之電能透過 TL431 穩壓電路對駐車端之鉛酸電池進行電能回收，而 TL431 穩壓電路之轉換效率介於 48.63%~58.36%，在電能回收的過程中造成多餘的能量浪費，但市面上之降壓模組的規格無法符合本專題，而本專題因時間不足無法自行實驗直流/直流轉換電路，所以本專題沒有使用直流/直流轉換器來進行電能回收，如果將此電路改成直流/直流轉換器將會大大提升轉換效率。
3. 電能經過車端儲能電路與 TL431 穩壓電路整個系統後，其轉換效率非常低，如果將車端儲能電路之儲能元件改為超級電容，將騎乘動能儲存至超級電容，並在靠上駐車端後透過直流/直流轉換器進行電壓匹配，回收電能至駐車端鉛酸電池，將能大大提高電能轉換效率。

參考文獻

- [1] “公務出國報告資訊網-出國報告詳細資料-「聯合國氣候變化綱要公約第 28 次締約方大會、京都議定書第 18 次締約方會議暨巴黎協定第 5 次締約方會議(COP28/CMP18/CMA5)」與會情形報告” Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available:
<https://report.nat.gov.tw/ReportFront/ReportDetail/detail?sysId=C11300117>
- [2] 楊佳莉，“臺北市 YouBike 公共自行車節能減碳替代效果”碩士論文，國立中央大學土木工程學系，2015 年
- [3] 國家發展委員會，“政策內容”國發會全球資訊網，Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available:
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=733396F648BE284
- [4] 黃松綺，“公共自行車能量收集電路的設計與實現”碩士論文，國立成功大學系統及船舶機電工程學系，2022.
- [5] R. Strzelecki, M. Jarnut, and G. Benysek, “Exercise bike powered electric generator for fitness club appliances,” 2007 European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1-8, Sep 2-5, 2007.
- [6] J. Son et al., “Highly reliable triboelectric bicycle tire as self-powered bicycle safety light and pressure sensor,” Nano Energy, vol. 93, p. 106797, Mar. 2022.
- [7] 黃昭銘，“用於儲能系統之汰役電池充放電策略”碩士論文，國立中山大學電機工程學系研究所，2017 年
- [8] W. Raza et al., “Recent advancements in supercapacitor technology,” Nano Energy, vol. 52, pp. 441-473, Oct. 2018
- [9] W. Zhou, Y. Zheng, Z. Pan, and Q. Lu, “Review on the Battery Model and SOC Estimation Method,” Processes, vol. 9, no. 9, p. 1685, Sep. 2021
- [10] S. Sepasi, R. Ghorbani, and B. Y. Liaw, “Improved extended Kalman filter for state of charge estimation of battery pack,” J. Power Sources, vol. 255, pp. 368–376, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.12.093.
- [11] 李源翌，“臺北市 YouBike 使用特性分析”，臺北市政府交通局，2022.