

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(一)科

052317

高功率無線充電系統之研究與設計

學校名稱：臺北市私立延平高級中學

作者： 高一 邱永麒	指導老師： 蔡星宏 劉益華
---------------	---------------------

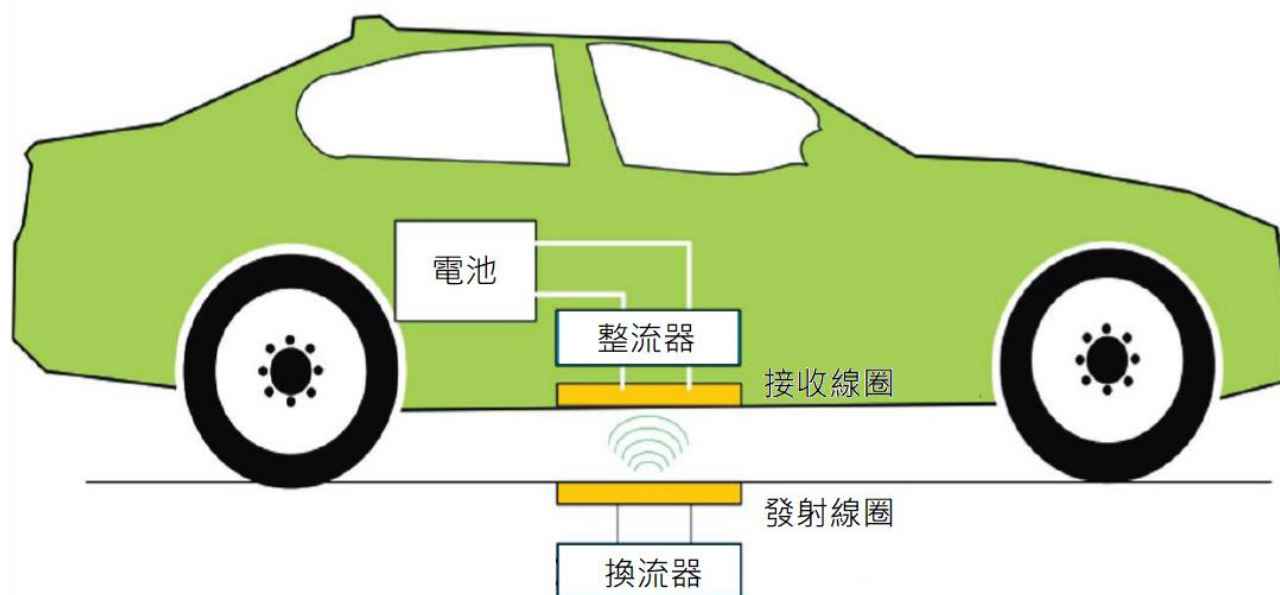
關鍵詞：智能化電動載具、無線充電、串聯諧振

摘要：

無線充電技術於智能手機等消費性電子的應用與日俱增，相關國際規範制訂也逐漸完備。展望未來，無人車、無人船、無人機、無人搬運車等智能化電動載具之應用技術發展，不但有利於減少溫室氣體排放量，且能降低交通運輸及智慧製造產業對傳統石化燃料的依賴。而電動載具發展的關鍵問題就在於電動載具之蓄電池的續航能力、能量密度、充電時間、使用壽命及建置與維護成本皆大大影響商品化應用。本作品著重於智能化電動載具之高功率串聯諧振式無線充電系統分析、設計與實作的認識及瞭解。說明書首先簡單介紹無線電能傳輸之基本原理，並透過實際繞製發射、接收線圈，焊接電路板，實現一組高功率無線充電系統能夠操作於零電壓切換區間，達到更高的效率。

壹、研究動機

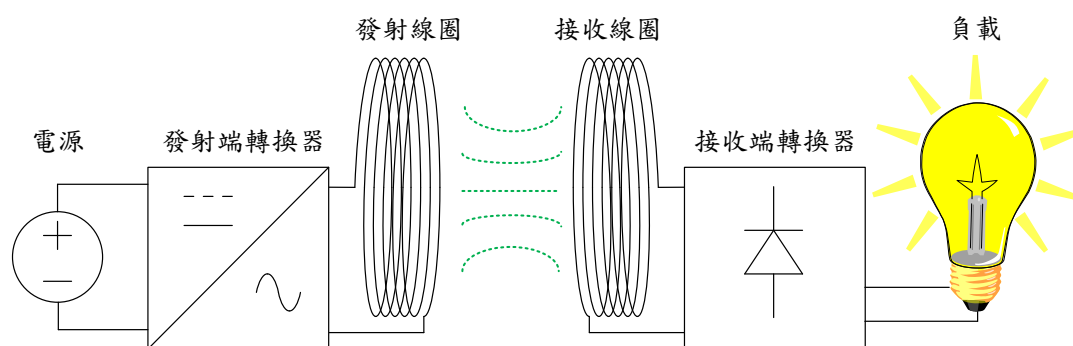
如圖一所示，透過無線電能傳輸，電動車將可停放於特製停車格上靜態充電或行駛於特殊鋪設路面動態充電，減少插拔充電接頭的困擾，並避免電氣接頭生鏽氧化、潮濕環境漏電等問題。無論電動公車靠站無線充電設計或都會輕軌電車透過特殊鋪設路面供電，均可減少對市容的影響，避免誤觸高壓電線的危險，本作品針對智能化電動載具之高功率無線充電系統技術進行研究與設計。



圖一 智能化電動載具之高功率無線充電系統

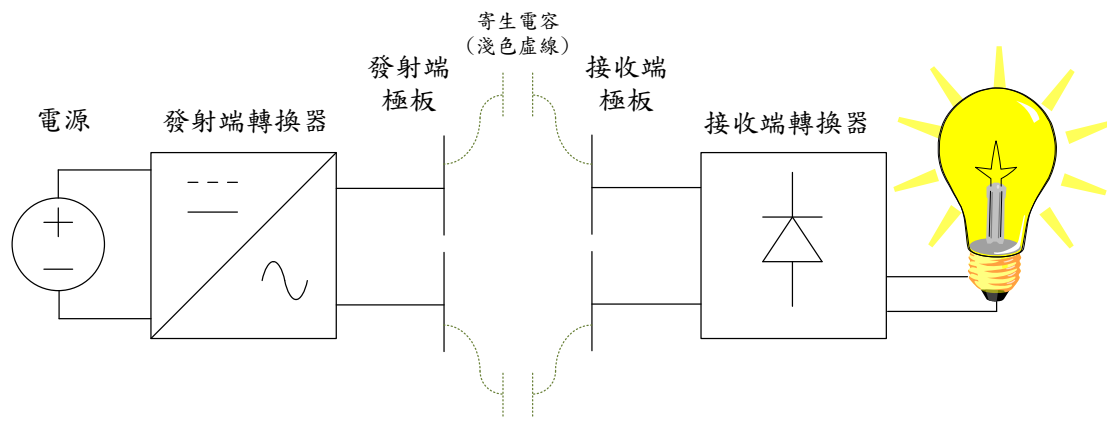
為了降低空氣汙染與減少交通運輸與智慧製造過程產生碳排放，許多國家都在大力發展電動載具，諸如電氣化鐵路、捷運系統與輕軌電車等軌道交通系統，電動公車、電動汽車與電動摩托車、電動單車等公路車輛，以及智慧工廠之無人搬運車。目前，所有的電動載具都需要使用某種形式的導線提供電力或進行充電，例如軌道交通系統需要使用高架電車線或是第三軌提供電力，而電動車需要使用充電接頭進行充電。然而，在許多情況下使用導線提供電力具有相當的危險性或不便性。例如媒體時常報導民眾誤觸高架電車線或第三軌導致觸電意外，或是由於外來異物損壞高架電車線導致鐵路交通中斷。而電動汽車的充電接頭由於需要傳送高壓與大電流，通常都十分笨重插拔不便，且在雨中或潮濕環境使用時也可能發生漏電意外，而充電接頭的金屬接點在不斷插拔下也可能發生磨損或氧化生鏽，影響可靠度。因此，如果電動載具可以不需要透過導線提供電力，可增加許多便利性與安全性。本作品說明書將探討磁感應式無線能量傳輸之基本原理，並選用串聯諧振架構，分析、設計實作智能化電動載具之無線充電系統。顧名思義，無線充電代表不使用導線、導體或接點，跨越空氣或真空傳輸能量。目前已知有數種方式可以跨越空間傳輸能量，列舉說明如下：

磁場耦合式無線能量傳輸又稱為磁感應(Magnetic Induction)、感應式能量傳輸(Inductive Power Transfer)、感應耦合(Inductive Coupling)、磁共振(Magnetic Resonant Coupling)。此方式是透過發射線圈與接收線圈間的磁力線耦合與電磁感應來達成無線傳輸能量的目的，磁場耦合方式的基本原理如圖二所示。雖然自從法拉第與安培等十九世紀科學家發現電磁感應原理開始，電機工程師就瞭解電能可透過磁力線傳送。但是在過去很長時間，使用磁力線耦合原理傳送電力跨越較大空氣隙的想法一直被認為是不切實際的。直到現代功率電子技術普及以後，使用磁場耦合作為非接觸能量傳輸方式的概念才漸漸開始受到工程師的注意。



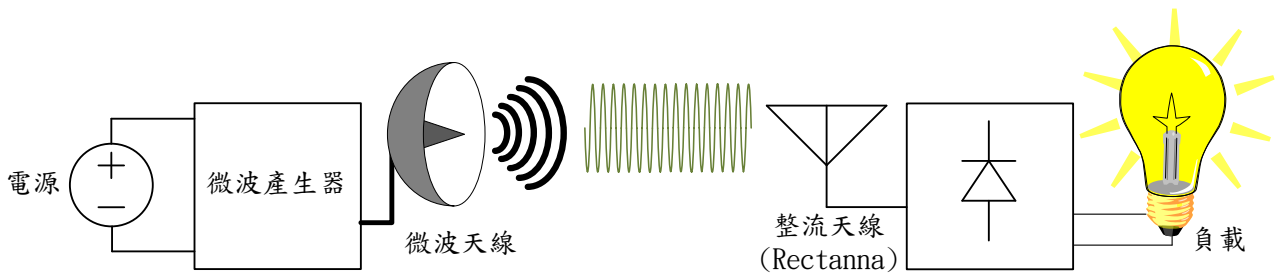
圖二 磁場耦合無線能量傳輸基本原理

電場耦合式無線能量傳輸又稱為電容耦合(Capacitive Coupling)、靜電耦合，是透過發射器與接收器間的電場與等效寄生電容來達到傳輸能量之目的，電場耦合方式的基本原理如圖三所示。由於發射、接收器間的等效電容通常十分微小，因此目前實用性可能較為受限。相較於磁場耦合，電場耦合式無線能量傳輸可以跨越的距離更短，不適合用於電動載具充電。



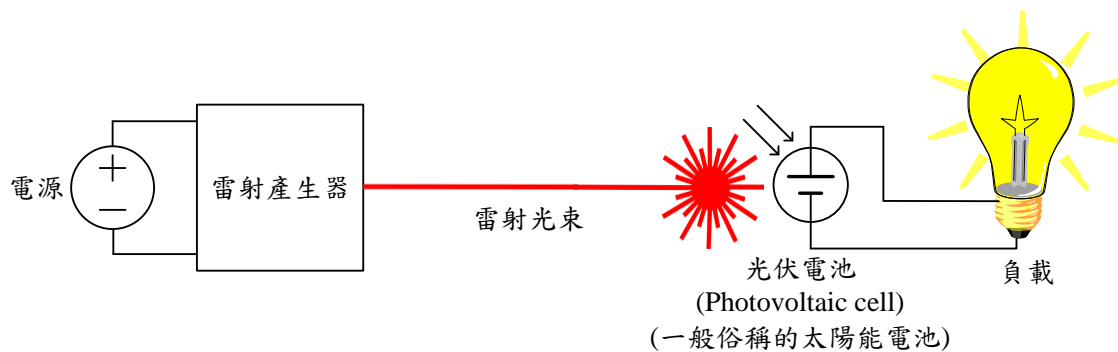
圖三 電場耦合無線能量傳輸基本原理

除了傳送通訊訊號以外，微波也可以用於遠距離傳送功率。在微波能量傳輸系統中，直流電力先被轉換成微波，透過天線發射出去，再透過整流天線，即一種結合整流裝置的天線接收並轉換回直流電力供應給負載，基本原理如圖四所示。NASA 與雷神(Raytheon)公司合作，於 1975 年成功示範透過微波在距離一英里的情況下傳送 30 kW 的功率，在此實驗中，整體系統效率僅 54%。



圖四 微波能量傳輸基本原理

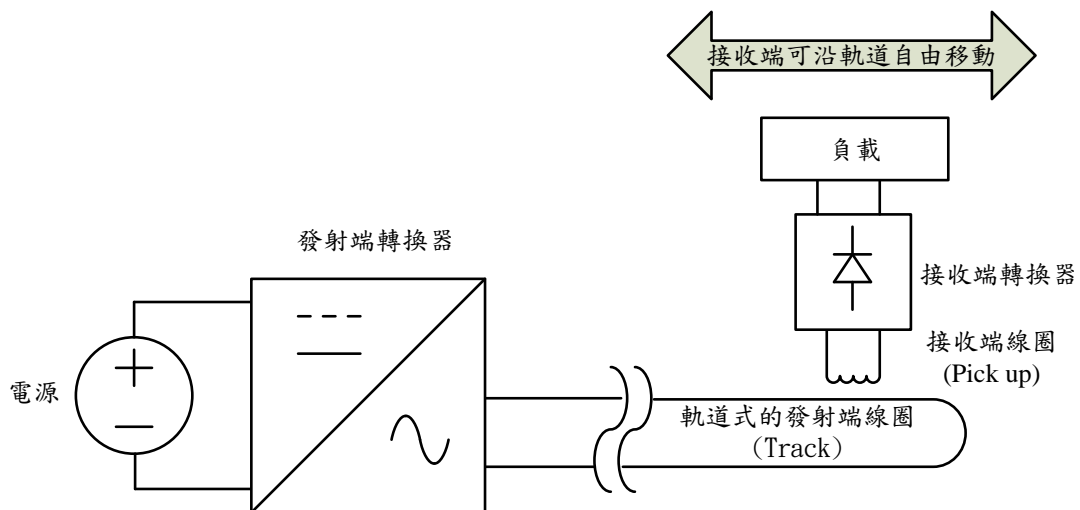
除了微波，雷射也可以做為長距離無線能量傳輸。在雷射能量傳輸系統中，直流電用以驅動雷射產生器發出雷射照射接收端，而接收端使用太陽能電池，將雷射光轉換回直流電，驅動負載，基本原理如圖五所示。某些種類的太陽能電池在特定的單波長光線照射下的光電轉換效率可以達到 40~50%。產生雷射的方式有許多種，雷射二極體是其中之一。



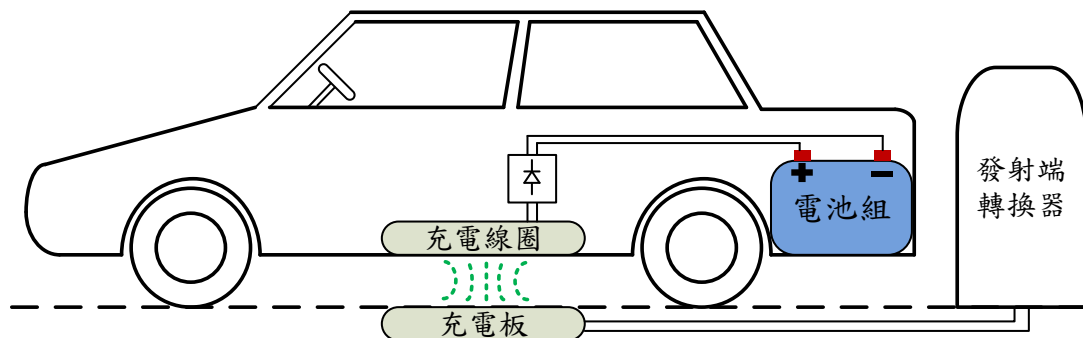
圖五 雷射能量傳輸基本原理示意圖

貳、研究目的

本作品採用效率最高之磁場耦合式無線能量傳輸技術，設計智能化電動載具之無線充電系統。其基本原理是透過發射端的轉換器與發射端線圈產生高頻時變磁場，此高頻時變磁場穿過接收端線圈，在接收端線圈產生感應電壓，再透過接收端轉換器整流並轉換為穩定的直流電壓供應給負載。磁場耦合式無線能量傳輸的基本原理其實類似傳統的變壓器。造成差異的主要原因在於耦合係數。普通變壓器的耦合係數通常大於 0.9，而磁場耦合式無線能量傳輸系統的耦合係數則低得多，可低至 0.1~0.2。隨著用途不同，無線充電系統的發射線圈與接收線圈可以有多種不同形式。若是接收端需要移動的應用，發射端線圈可以製作成長條軌道(Track)，接收端(Pick up)可以在此軌道上前後自由移動，如圖六所示。這種設計通常應用在工廠、無塵室的無人搬運車(Automated Guided Vehicle)、機器人或其他移動機械設備。若是接收端靜止的應用，例如電動載具(停車時)充電，則一次側線圈可以做成一平面充電線圈，此充電線圈有時又被稱為充電板(Pad)或是耦合器(Coupler)，電動車載具無線充電方式如圖七所示。



圖六 軌道式的無線充電系統



圖七 電動載具無線充電系統

本作品係研究一種適用於智能化電動載具之高效率無線充電系統，利用磁共振技術有效提高非接觸式充電效率，並藉由雛型電路實現與測試，驗證磁共振無線充電系統可行性。

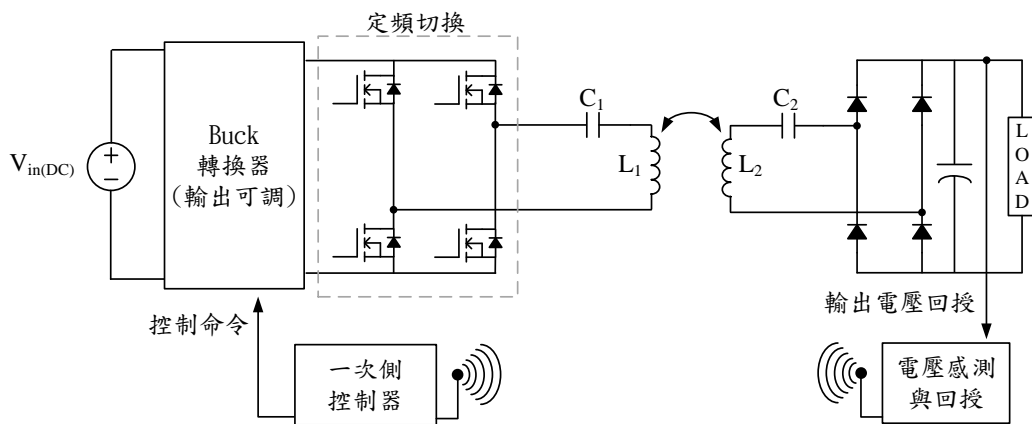
參、研究設備器材

本作品所使用之研究設備儀器如下表所示：

<p>電源供應器</p> 	<p>三用電表</p> 
<p>直流電子負載</p> 	<p>熱影像儀</p> 
<p>數位示波器</p> 	<p>LCR 表</p> 
<p>高壓隔離探棒</p> 	<p>電流探棒</p> 

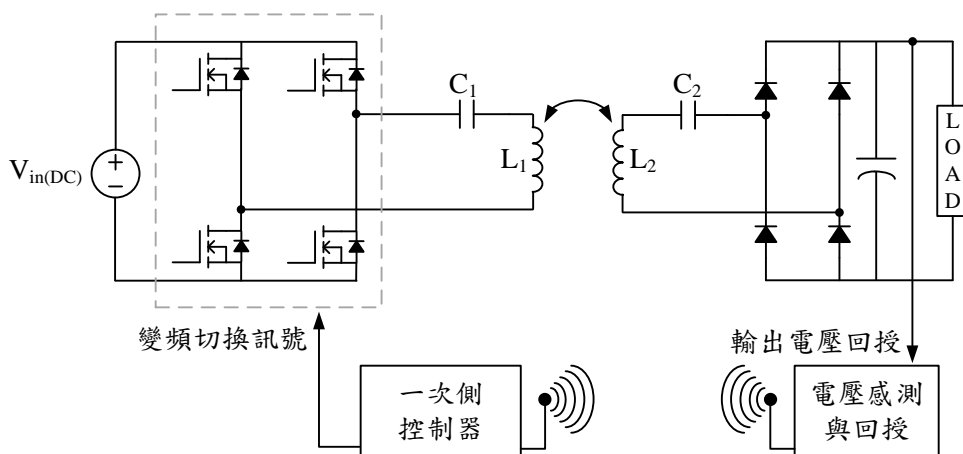
肆、研究方法步驟

串聯諧振式無線能量傳輸系統常見的輸出穩壓方式與控制方式包括前置轉換器與頻率調變。使用前置 Buck 轉換器穩定輸出電壓的方法如圖八所示，於電路的輸入端加上輸出電壓可調的前置轉換器以調節與控制輸出電壓。在此類設計中，串聯諧振式電路工作在零相位角點，也可以工作在固定增益點。若工作在零相位角點，電壓增益會隨著負載輕重有較大幅度的變化，則前置 Buck 轉換器的輸出電壓需要能允許較大範圍的變化，以補償 WPT 部分的增益變化，維持輸出電壓穩定。若工作在固定增益點，則前置 Buck 轉換器的輸出電壓只要很小幅度的變化就足以調節輸出電壓。對於輸出電壓需要寬範圍變動的應用，也可以透過前置 Buck 轉換器實現。



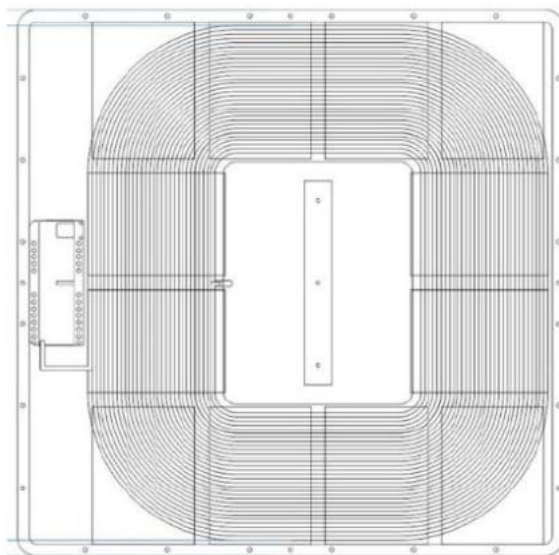
圖八 使用前置轉換器控制輸出電壓

串聯諧振式無線能量傳輸系統也可以使用頻率調變方式，控制與調節輸出電壓。相較於使用前置轉換器控制輸出電壓，頻率調變的優點包括功率級電路簡單、效率高、元件數較少。變頻控制的方法如圖九所示。變頻範圍若是設定在固定增益點附近，則頻率範圍只需要小範圍的變動，就可以維持輸出電壓穩定。若是需要輸出電壓可變的應用，也可以透過變頻控制實現。



圖九 使用變頻方式控制輸出電壓

圖十為本作品之充電板線圈設計，為了縮減主板之體積，除了考慮線圈設計的情況下，同時也要考慮諧振電容與封裝之設計。串聯諧振補償除了有電路較為簡單及使用元件數較少的優點之外，還有一個特色是如果工作在漏感及串聯電容之諧振頻率時，電壓傳輸的比例是固定的，由一、二次側線圈控制，後級再以調頻的方式進行穩壓的動作。在本作品中，初級側與次級側大小相同，在完成電感繞製後，利用 LCR 表量測線圈感量。



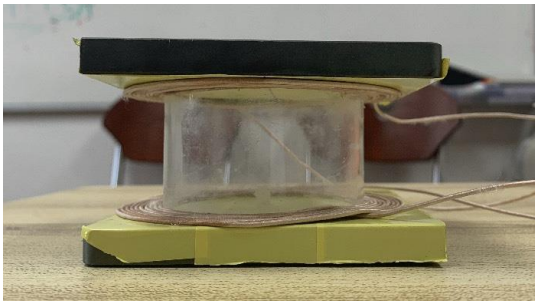
圖十 本作品之充電板初、次級側線圈設計

伍、研究結果

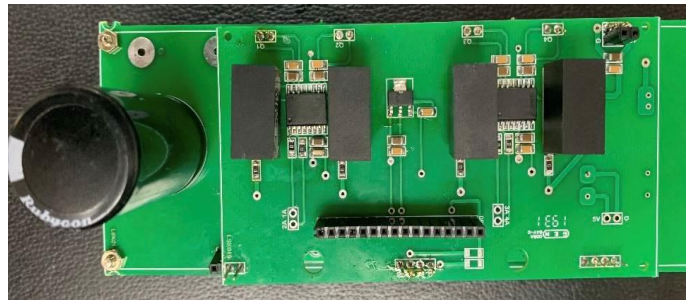
圖十一為線圈繞製與電路板焊接實作相片，圖十二則係本作品實驗發射與接收線圈及焊接完成的電路板相片。圖十三為實驗電路量測之諧振電流與諧振電壓波形，其中藍色波形係諧振電流，而紅色波形為諧振電壓。圖十四所示為本作品實驗電路量測之開關切換波形，圖十五及圖十六所示則分別係以熱影像儀及電力分析儀量測之電路溫度與效率，滿足高效率、低損耗要求。



圖十一 實作相片

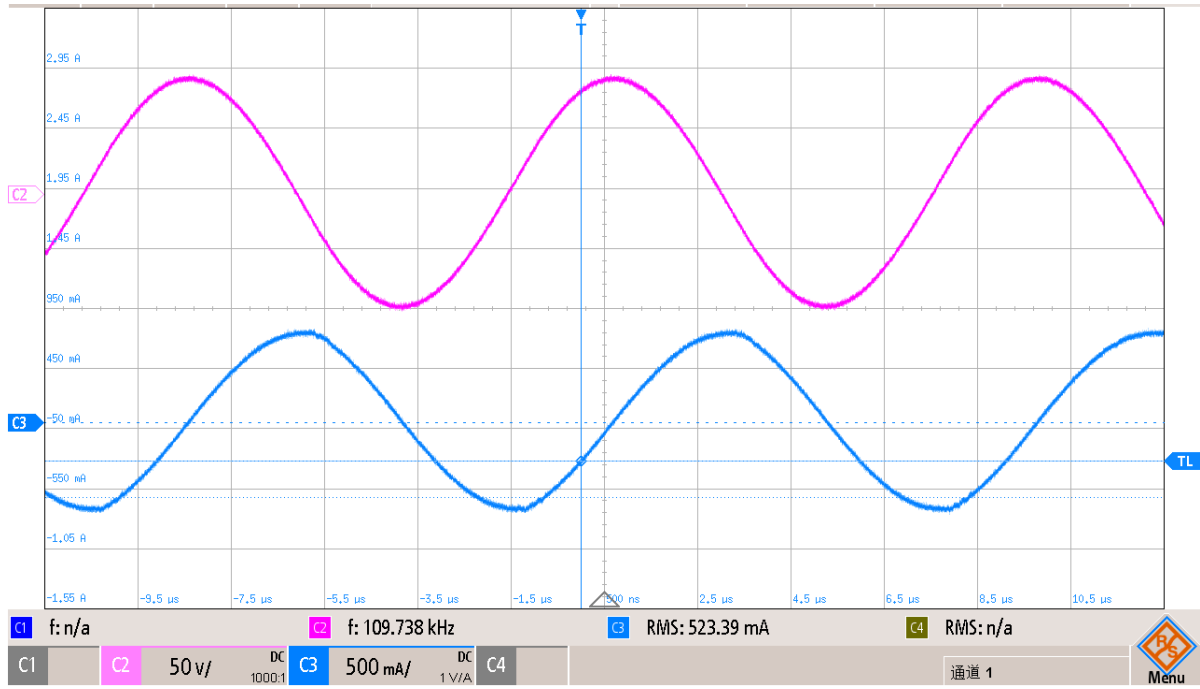


(a) 發射與接收線圈

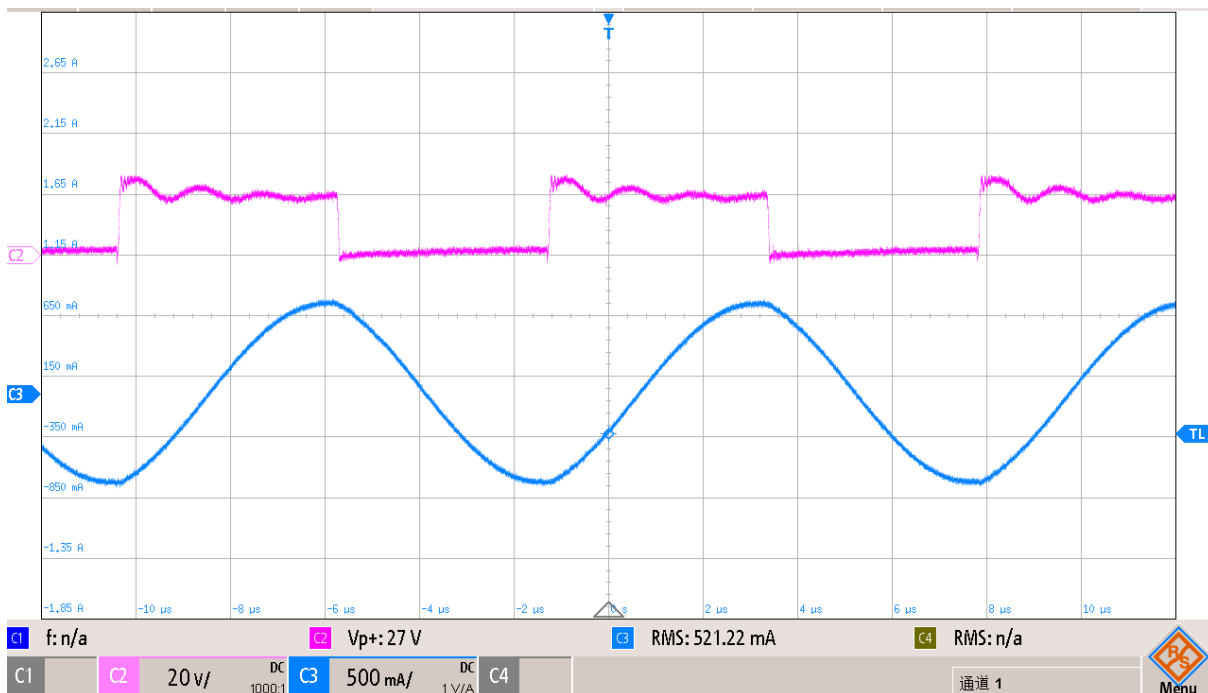


(b) 焊接完成電路板

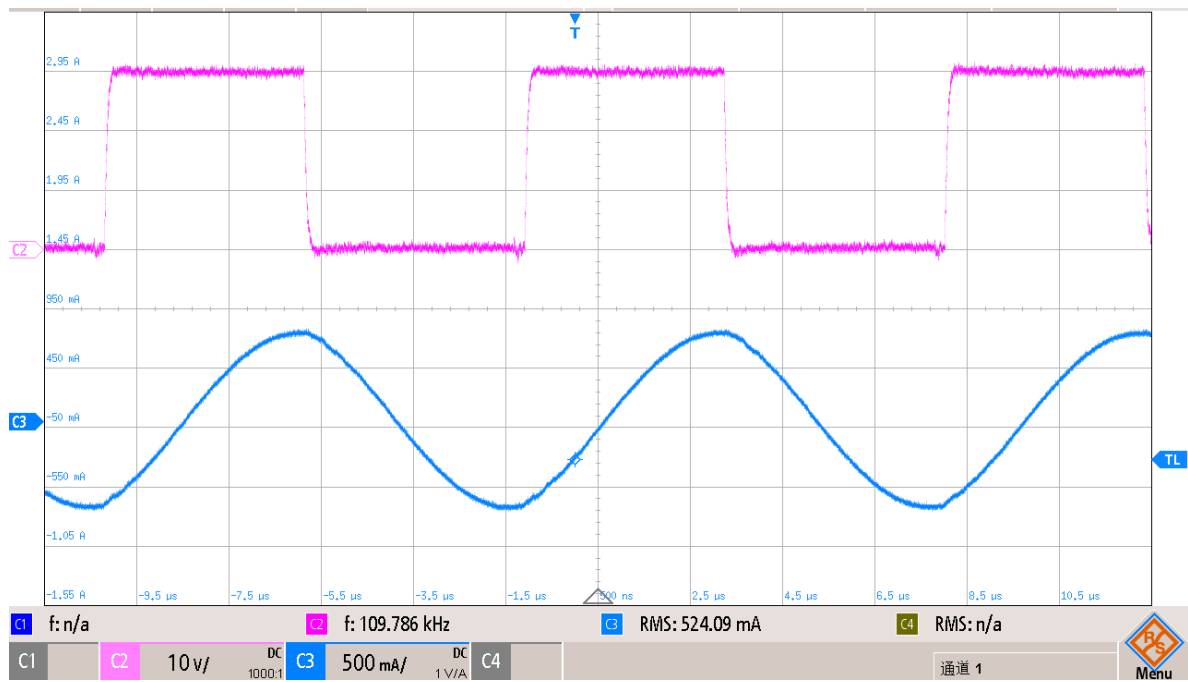
圖十二 作品相片



圖十三 本作品實驗電路測試諧振波形



(a)

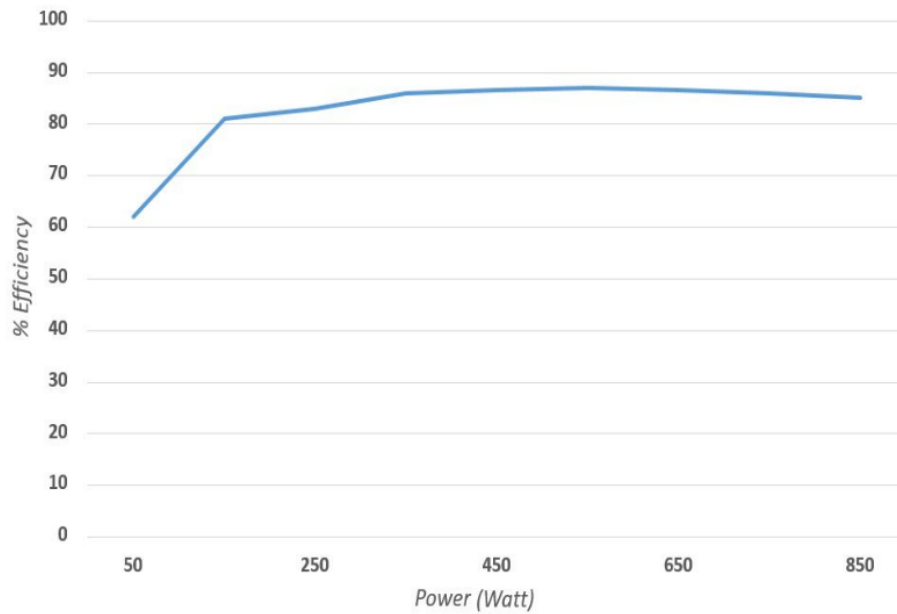


(b)

圖十四 本作品實驗電路開關切換波形



圖十五 本作品量測之電路溫度



圖十六 本作品量測之效率

陸、討論

如圖十五所示係市售 APPLE 智慧型手機專用無線充電板，具有薄型化設計與方便使用等特性。惟其最大無線傳輸功率僅 10W，無法應用於電動載具之高功率無線充電。本作品所完成之實驗電路與線圈，可以達到高功率、高效率及長距離傳輸。透過實作，對電磁感應物理的認識與瞭解很有幫助。展望未來，在無人車、無人船、無人機與無人搬運車等智能化電動載具大舉問世及普及後，相信高功率無線充電將會是越來越受大眾歡迎的新技術，值得大力發展與推廣。



(a) 俯視圖

(b) 底視圖

圖十五 市售 APPLE 智慧型手機專用無線充電板

柒、結論

在本作品說明書中，首先簡單介紹了現有無線能量傳輸技術之分類和目前的發展，與各種無線能量傳輸技術的優缺點與特性。接著主要著重於磁場耦合式無線能量傳輸技術之探討，針對串聯諧振式無線能量傳輸架構進行分析，以及不同的輸出電壓穩壓方式之優缺點與特性。最後，本作品成功設計與實現一組具有無線充電功能的原型機，滿足高效率特性。

捌、參考資料

- [1] Xnergy Autonomous Power Technologies <https://www.xnergytech.com>.
- [2] WiTricity Corporation <https://witricity.com>.
- [3] 王麒豪，應用四線圈式多單元矩陣型結構於無線電能傳輸系統之研究，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系 106 學年度碩士論文。
- [4] 廖芝翊，應用五階變流器激勵源於具分段激發感應耦合結構之非接觸式供電陣列軌道，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系 106 學年度碩士論文。
- [5] 戴碩輝，兼具接收端模組化擴充能力之無線電能傳輸系統設計與研製，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系 106 學年度碩士論文。
- [6] 郭庭瑋，車用無線電力傳輸系統之金屬異物偵測研究，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系 107 學年度碩士論文。
- [7] 林昱廷，具錯位容忍能力之同軸無線電能傳輸系統設計於軌道運輸載具供電應用，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系 107 學年度碩士論文。
- [8] 楊雅茗，輔以主動增益調節機制之三線圈無線電能傳輸系統設計與研製，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系 107 學年度碩士論文。
- [9] 謝昕哲，雙向串聯諧振式無線能量傳輸系統之研製，國立台灣科技大學 105 學年度碩士論文。
- [10] G. A. Covic and J. T. Boys, "Inductive Power Transfer," in Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1276-1289, June 2013.
- [11] M. Hutin and M. Leblanc, "Transformer System for Electric Railways, " U.S. patent 527,857, Oct. 23, 1894.
- [12] D. Bululukova and M. Kramer, "Application of Existing Wireless Power Transfer Standards in Automotive Applications," 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Vienna, 2014, pp. 863-864.
- [13] J. H. Kim et al., "Development of 1-MW Inductive Power Transfer System for a High-Speed Train," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 10, pp. 6242-6250, Oct.

2015

- [14] R. Haldi and K. Schenk, "A 3.5 kW Wireless Charger for Electric Vehicles with Ultra High Efficiency," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE, Pittsburgh, PA, 2014, pp. 668-674.
- [15] F. Musavi and W. Eberle, "Overview of Wireless Power Transfer Technologies for Electric Vehicle Battery Charging," in IET Power Electronics, vol. 7, no. 1, pp. 60-66, January 2014.
- [16] C. Qiu, K. T. Chau, C. Liu and C. C. Chan, "Overview Of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging," Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World, Barcelona, 2013, pp. 1-9.

智能化電動載具之高效率無線充電方案

科別：(八)工程學科(一)

組別：高中部

關鍵詞：智能化電動載具、無線充電、串聯諧振

摘要：

近年來，無線充電技術於智能手機等消費性電子之應用與日俱增，相關國際規範訂也逐漸完備。展望未來，諸如無人車、無人船、無人機、無人搬運車等智能化電動載具之應用技術發展，不但有利於減少溫室氣體排放量，且能降低交通運輸及智慧製造產業對傳統石化燃料的依賴。然而電動載具發展的關鍵問題就在於電動載具之蓄電池的續航能力、能量密度、充電時間、使用壽命及建置與維護成本皆大大影響商品化應用。本作品著重於智能化電動載具之串聯諧振式無線充電系統分析、設計與實作的認識及瞭解。說明書首先簡單介紹無線電能傳輸之基本原理，並透過實際繞線發射、接收線圈，焊接電路板，實現一組無線充電系統能夠操作於零電壓切換區間，達到更高的效率。

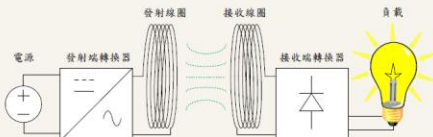
壹、研究動機

如圖一所示，透過無線電能傳輸，電動車將可停放於特製停車格上靜態充電或行駛於特殊鋪設路面動態充電，減少插拔充電接頭的困擾，並避免電氣接觸生鏽氧化、潮濕環境漏電等問題。無論電動公車靠站無線充電設計或都會輕軌電車透過特殊鋪設路面供電，均可減少對市容的影響，避免誤觸高壓電線的危險，本作品針對智能化電動載具高效率無線充電系統技術進行研究。



圖一 智能化電動載具高效率無線充電系統

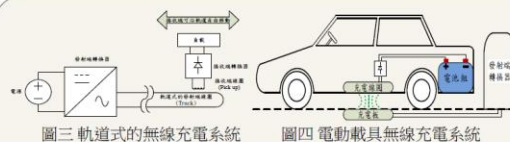
磁場耦合式無線能量傳輸又稱為磁感應、感應式能量傳輸、感應耦合、磁共振。此方式是透過發射線圈與接收線圈間的磁力線耦合與電磁感應來達成無線傳輸能量的目的，磁場耦合方式的基本原理如圖二所示。雖然自從法拉第與安培等十九世紀科學家發現電磁感應原理開始，電機工程師就瞭解電能可透過磁力線傳送。但是在過去很長時間，使用磁力線耦合原理傳送電力跨越較大空氣隙的想法一直被認為是不切實際的。直到現代功率電子技術普及以後，使用磁場耦合作為非接觸能量傳輸方式的概念才開始受到工程師的注意。



圖二 磁場耦合無線能量傳輸基本原理

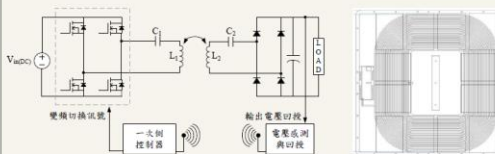
貳、研究目的

本作品採用效率最高之磁場耦合式無線能量傳輸技術，設計智能化電動載具之無線充電系統。其基本原理是透過發射端的轉換器與發射端線圈產生高頻時變磁場，此高頻時變磁場透過接收端線圈，在接收端線圈產生感應電壓，再透過接收端轉換器整流並轉換為穩定的直流電壓供應給負載。磁場耦合式無線能量傳輸的基本原理其實類似傳統的變壓器。造成差異的主要原因在於耦合係數。普通變壓器的耦合係數通常大於0.9，而磁場耦合式無線能量傳輸系統的耦合係數則低得多，可低至0.1~0.2。隨著用途不同，無線充電系統的發射線圈與接收線圈可以有各種不同形式。若是接收端需要移動的應用，發射端線圈可以製作成長條軌道，接收端可以在此軌道上前後自由移動，如圖三所示。這種設計通常應用在工廠、無塵室的無人搬運車、機器人或其他移動機械設備。若是接收端靜止的應用，例如電動載具(停車時)充電，則一次側線圈可以做成一平面充電線圈，此充電線圈有時又被稱為充電板或是耦合器，電動載具無線充電方式如圖四所示。



參、研究方法步驟

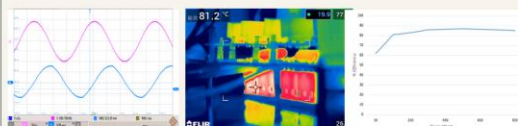
串聯諧振式無線能量傳輸系統常見的輸出電壓方式與控制方式包括前置轉換器與頻率調變。使用前置Buck轉換器穩定輸出電壓的方法，係於電路的輸入端加上輸出電壓可調的前置轉換器以調節與控制輸出電壓。在此類設計中，串聯諧振式電路工作在零相位角點，也可以工作在固定增益點。若工作在零相位角點，電壓增益會隨著負載輕重有較大幅度的變化，則前置Buck轉換器的輸出電壓需要能允許較大範圍的變化，以補償WPT部分的增益變化，維持輸出電壓穩定。若工作在固定增益點，則前置Buck轉換器的輸出電壓只要很小幅度的變化就足以調節輸出電壓。對於輸出電壓需要寬範圍變動的應用，也可以透過前置Buck轉換器實現。串聯諧振式無線能量傳輸系統也可以使用頻率調變方式，控制與調節輸出電壓。相較於使用前置轉換器控制輸出電壓，頻率調變的優點包括功率級電路簡單、效率高、元件數較少。變頻控制的方法如圖五(a)所示。變頻範圍若是設定在固定增益點附近，則頻率範圍只需要小範圍的變動，就可以維持輸出電壓穩定。若是需要輸出電壓可變的應用，也可以透過變頻控制實現。圖五(b)為本作品之充電板線圈設計，為了縮減主板之體積，除了考慮線圈設計的情況下，同時也要考慮諧振電容與封裝之設計。串聯諧振補償除了有電路較為簡單及使用元件數較少的優點之外，還有一個特色是如果工作在漏感及串聯電容之諧振頻率時，電壓傳輸的比例是固定的，由一、二次側線圈控制，後級再以調頻的方式進行穩定的動作。在本作品中，初級側與次級側大小相同，在完成電感繞線後，利用LCR表量測線圈感量。



圖五(a) 使用變頻方式控制輸出電壓；(b) 充電板初、次級側線圈設計

肆、研究結果

圖六則係本作品實驗發射與接收線圈及焊接完成的電路板相片。圖七為實驗電路量測之諧振電流與電壓波形、以熱影像儀量測之電路溫度及效率曲線，滿足高效率、低損耗要求。



圖七 本作品實驗電路量測之諧振波形、溫度分佈及效率曲線

伍、討論

本作品所完成之實驗電路與線圈，可以達到高功率、高效率及長距離傳輸。透過實作，對電磁感應物理的認識與瞭解很有幫助。展望未來，在無人車、無人船、無人機與無人搬運車等智能化電動載具大舉問世、普及後，相信無線充電將會是越來越受大眾歡迎的新技術，值得大力發展與推廣。

智能化電動載具之高效率無線充電方案

研究設備與參考資料

陸、研究設備清單

電源供應器



三用電表



直流電子負載



熱影像儀



數位示波器



LCR表



高壓隔離探棒



電流探棒



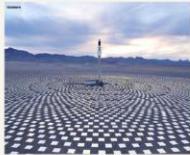
柒、參考資料

1. Xnergy Autonomous Power Technologies <https://www.xnergytech.com>.
2. WiTricity Corporation <https://witricity.com>.
3. 王麒豪，應用四線圈式多單元矩陣型結構於無線電能傳輸系統之研究，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系106學年度碩士論文。
4. 廖芝翊，應用五階變流器激勵源於具分段激發感應耦合結構之非接觸式供電陣列軌道，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系106學年度碩士論文。
5. 戴碩輝，兼具接收端模組化擴充能力之無線電能傳輸系統設計與研製，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系106學年度碩士論文。
6. 郭庭璋，車用無線電力傳輸系統之金屬異物偵測研究，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系107學年度碩士論文。
7. 林昱廷，具錯位容忍能力之同軸無線電能傳輸系統設計於軌道運輸載具供電應用，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系107學年度碩士論文。
8. 楊雅茗，輔以主動增益調節機制之三線圈無線電能傳輸系統設計與研製，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系107學年度碩士論文。
9. 謝昕哲，雙向串聯諧振式無線能量傳輸系統之研製，國立台灣科技大學105學年度碩士論文。
10. G. A. Covic and J. T. Boys, "Inductive Power Transfer," in Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1276-1289, June 2013.
11. M. Hutin and M. Leblanc, "Transformer System for Electric Railways," U.S. patent 527,857, Oct. 23, 1894.
12. D. Bululukova and M. Kramer, "Application of Existing Wireless Power Transfer Standards in Automotive Applications," 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Vienna, 2014, pp. 863-864.
13. J. H. Kim et al., "Development of 1-MW Inductive Power Transfer System for a High-Speed Train," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 10, pp. 6242-6250, Oct. 2015.
14. R. Haldi and K. Schenk, "A 3.5 kW Wireless Charger for Electric Vehicles with Ultra High Efficiency," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE, Pittsburgh, PA, 2014, pp. 668-674.
15. F. Musavi and W. Eberle, "Overview of Wireless Power Transfer Technologies for Electric Vehicle Battery Charging," in IET Power Electronics, vol. 7, no. 1, pp. 60-66, January 2014.
16. C. Qiu, K. T. Chau, C. Liu and C. C. Chan, "Overview Of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging," Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World, Barcelona, 2013, pp. 1-9.

智能化電動載具之高效率無線充電方案

各種無線充電應用技術發展現況與趨勢

Electric Vehicle and Environmental Concern



The 110 MW Crescent Dunes Solar Energy Project, Tonopah, Nevada



Gaomi Wetland Wind Power, Taichung, Taiwan

■ Clean energy trend

■ Electric Vehicle (EV) is expected to contribute to the reduction of greenhouse gas



EV Charging



- Limited flexibility
- Need cords
- Charging time constraint



- Flexible
- No connecting cord
- Enable in motion charging
- Safer

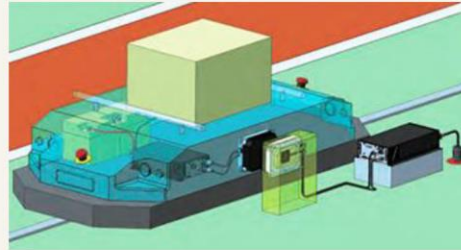


Nissan 電能車新概念，智慧「無線充電」主導一切



WiTricity

EV WIRELESS CHARGING is an enabler for the future of mobility that is electric, shared and autonomous.



省人・省電力化の切り札、ワイヤレス給電

這是一個劃時代的系統，無需與連接器物理接觸即可向移動的物體提供電能（昭和飛機株式會社）



WiBotic 推出無人機專用無線充電系統，方便全自動飛行

【評語】 052317

1. 本作品著重於智能化電動載具之高功率串聯諧振式無線充電系統分析、設計與實作的認識及瞭解，對電動載具發展具重要性。對相關原理及研究方法步驟亦有具體說明，亦有成果，未來可對相關研究進行了解，強化作品創新性。
2. 實現無線充電系統原型，且元件轉換效率高具有應用價值。應明確定義轉換效率計算與量測方式，使能跟現行產品比較，另外也可朝向快充機制研發。
3. 無線充電從小功率使用（如手機）到大功率使用（如電動載具）已多有開發，本專題在實務製作技術訓練之外，亦可多思考作品未來如何與應用情境連結。



高功率無線充電系統之研究與設計

科別：(八)工程學科(一)

組別：高中部

關鍵詞：智能化電動載具、無線充電、串聯諧振

摘要：

近年來，無線充電技術於智能手機等消費性電子之應用與日俱增，相關國際規範訂也逐漸完備。展望未來，諸如無人車、無人船、無人機、無人搬運車等智能化電動載具之應用技術發展，不但有利於減少溫室氣體排放量，且能降低交通運輸及智慧製造產業對傳統石化燃料的依賴。然而電動載具發展的關鍵問題就在於電動載具之蓄電池的續航能力、能量密度、充電時間、使用壽命及建置與維護成本皆大大影響商品化應用。本作品著重於智能化電動載具之串聯諧振式無線充電系統分析、設計與實作的認識及瞭解。說明書首先簡單介紹無線電能傳輸之基本原理，並透過實際繞製發射、接收線圈，焊接電路板，實現一組無線充電系統能夠操作於零電壓切換區間，達到更高的效率。

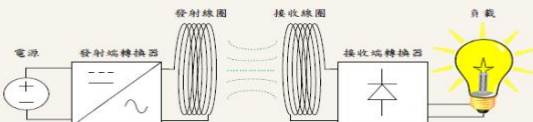
壹、研究動機

如圖一所示，透過無線電能傳輸，電動車將可停放於特製停車格上靜態充電或行駛於特殊鋪設路面動態充電，減少插拔充電接頭的困擾，並避免電氣接頭生鏽氣化、潮濕環境漏電等問題。無論電動公車靠站無線充電設計或都會輕軌電車透過特殊鋪設路面供電，均可減少對市容的影響，避免誤觸高壓電線的危險，本作品針對智能化電動載具高效率無線充電系統技術進行研究。



圖一 智能化電動載具高效率無線充電系統

磁場耦合式無線能量傳輸又稱為磁感應、感應式能量傳輸、感應耦合、磁共振。此方式是透過發射線圈與接收線圈間的磁力線耦合與電磁感應來達成無線傳輸能量的目的，磁場耦合方式的基本原理如圖二所示。雖然自從法拉第與安培等十九世紀科學家發現電磁感應原理開始，電機工程師就瞭解電能可透過磁力線傳送。但是在過去很長時間，使用磁力線耦合原理傳送電力跨越較大空氣隙的想法一直被認為是不切實際的。直到現代功率電子技術普及以後，使用磁場耦合作為非接觸能量傳輸方式的概念才開始受到工程師的注意。



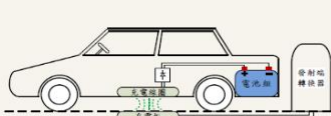
圖二 磁場耦合無線能量傳輸基本原理

貳、研究目的

本作品採用效率最高之磁場耦合式無線能量傳輸技術，設計智能化電動載具之無線充電系統。其基本原理是透過發射端的轉換器與發射端線圈產生高頻時變磁場，此高頻時變磁場穿過接收端線圈，在接收端線圈產生感應電壓，再透過接收端轉換器整流並轉換為穩定的直流電壓供應給負載。磁場耦合式無線能量傳輸的基本原理其實類似傳統的變壓器。造成差異的主要原因在於耦合係數。普通變壓器的耦合係數通常大於0.9，而磁場耦合式無線能量傳輸系統的耦合係數則低得多，可低至0.1~0.2。隨著用途不同，無線充電系統的發射線圈與接收線圈可以有許多不同形式。若是接收端需要移動的應用，發射端線圈可以製作成長條軌道，接收端可以在此軌道上前後自由移動，如圖三所示。這種設計通常應用在工廠、無塵室的無人搬運車、機器人或其他移動機械設備。若是接收端靜止的應用，例如電動載具(停車時)充電，則一次側線圈可以做成一平面充電線圈，此充電線圈有時又被稱為充電板或是耦合器，電動載具無線充電方式如圖四所示。



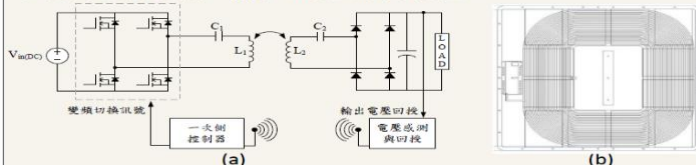
圖三 軌道式的無線充電系統



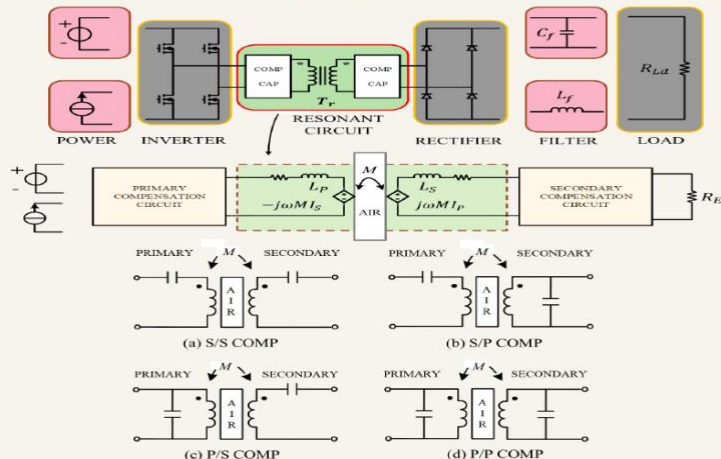
圖四 電動載具無線充電系統

參、研究方法與步驟

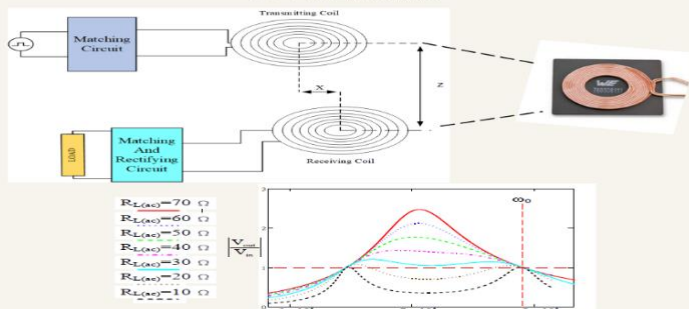
串聯諧振式無線能量傳輸系統常見的輸出穩壓方式與控制方式包括前置轉換器與頻率調變。使用前置Buck轉換器穩定輸出電壓的方法，係於電路的輸入端加上輸出電壓可調的前置轉換器以調節與控制輸出電壓。在此類設計中，串聯諧振式電路工作在零相位角點，也可以工作在固定增益點。若工作在零相位角點，電壓增益會隨著負載輕重有較大幅度的變化，則前置Buck轉換器的輸出電壓需要能允許較大範圍的變化，以補償WPT部分的增益變化，維持輸出電壓穩定。若工作在固定增益點，則前置Buck轉換器的輸出電壓只要很小幅度的變化就足以調節輸出電壓。對於輸出電壓需要寬範圍變動的應用，也可以透過前置Buck轉換器實現。串聯諧振式無線能量傳輸系統也可以使用頻率調變方式，控制與調節輸出電壓。相較於使用前置轉換器控制輸出電壓，頻率調變的優點包括功率級電路簡單、效率高、元件數較少。變頻控制的方法如圖五(a)所示。變頻範圍若是設定在固定增益點附近，則頻率範圍只需要小範圍的變動，就可以維持輸出電壓穩定。若是需要輸出電壓可變的應用，也可以透過變頻控制實現。圖五(b)為本作品之充電板線圈設計，為了縮減主板的體積，除了考慮線圈設計的情況下，同時也要考慮諧振電容與封裝之設計。圖六中所示之串聯諧振補償除了有電路較為簡單及使用元件數較少的優點之外，還有一個特色是如圖七所示，工作在漏感及串聯電容之諧振頻率時，電壓傳輸的比例是固定的，由一、二次側線圈控制，再以調頻的方式進行穩壓的動作。在本作品中，初級側與次級側大小相同，在完成電感繞製後，利用LCR表量測線圈感量。



圖五(a)使用變頻方式控制輸出電壓；(b)充電板初、次級側線圈設計



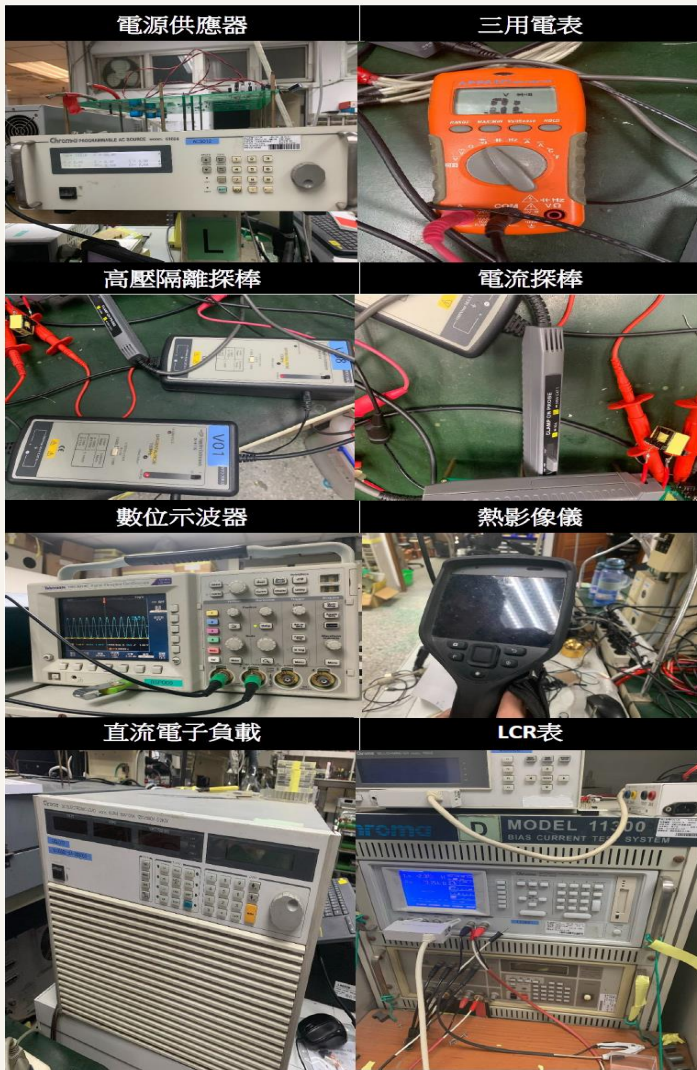
圖六 線圈諧振補償



圖七 增益頻率曲線

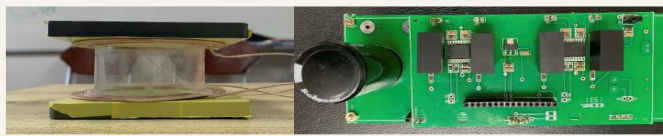
高功率無線充電系統之研究與設計

伍、研究設備清單

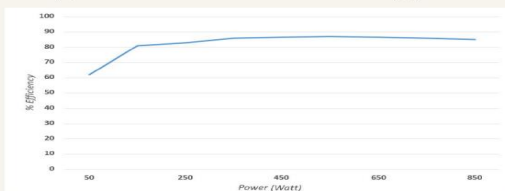


陸、研究結果

圖八則係本作品實驗發射與接收線圈及焊接完成的電路板相片。圖九為實驗電路量測之諧振電流與電壓波形、以熱影像儀量測之電路溫度以及無線充電轉換效率，滿足高效率、低損耗要求。



圖八 作品相片



圖九 本作品實驗電路量測之諧振波形、溫度分佈與效率

柒、實驗剪輯



捌、討論

本作品所完成之實驗電路與線圈，可以達到高功率、高效率及長距離傳輸。透過實作，對電磁感應物理的認識與瞭解很有幫助。展望未來，在無人車、無人船、無人機與無人搬運車等智能化電動載具大舉問世、普及後，相信無線充電將會是越來越受大眾歡迎的新技術，值得大力發展與推廣。

玖、參考資料

1. Xnergy Autonomous Power Technologies <https://www.xnergytech.com>.
2. WiTricity Corporation <https://witricity.com>.
3. 王麒豪，應用四線圈式多單元矩陣型結構於無線電能傳輸系統之研究，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系106學年度碩士論文。
4. 廖芝翊，應用五階變流器激勵源於具分段激發感應耦合結構之非接觸式供電陣列軌道，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系106學年度碩士論文。
5. 戴碩輝，兼具接收端模組化擴充能力之無線電能傳輸系統設計與研製，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系106學年度碩士論文。
6. 郭庭璋，車用無線電力傳輸系統之金屬異物偵測研究，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系107學年度碩士論文。
7. 林昱廷，具錯位容忍能力之同軸無線電能傳輸系統設計於軌道運輸載具供電應用，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系107學年度碩士論文。
8. 楊雅茗，輔以主動增益調節機制之三線圈無線電能傳輸系統設計與研製，成功大學/電機資訊學院/電機工程學系107學年度碩士論文。
9. 謝昕哲，雙向串聯諧振式無線電能傳輸系統之研製，國立台灣科技大學105學年度碩士論文。
10. G. A. Covic and J. T. Boys, "Inductive Power Transfer," in Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1276-1289, June 2013.
11. M. Hutin and M. Leblanc, "Transformer System for Electric Railways," U.S. patent 527,857, Oct. 23, 1894.
12. D. Bululukova and M. Kramer, "Application of Existing Wireless Power Transfer Standards in Automotive Applications," 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Vienna, 2014, pp. 863-864.
13. J. H. Kim et al., "Development of 1-MW Inductive Power Transfer System for a High-Speed Train," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 10, pp. 6242-6250, Oct. 2015.
14. R. Haldi and K. Schenk, "A 3.5 kW Wireless Charger for Electric Vehicles with Ultra High Efficiency," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE, Pittsburgh, PA, 2014, pp. 668-674.
15. F. Musavi and W. Eberle, "Overview of Wireless Power Transfer Technologies for Electric Vehicle Battery Charging," in IET Power Electronics, vol. 7, no. 1, pp. 60-66, January 2014.
16. C. Qiu, K. T. Chau, C. Liu and C. C. Chan, "Overview Of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging," Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World, Barcelona, 2013, pp. 1-9.

高功率無線充電系統之研究與設計

各種無線充電應用技術發展現況與趨勢

Electric Vehicle and Environmental Concern



The 110 MW Crescent Dunes Solar Energy Project, Tonopah, Nevada



Gaomei Wetland, Wind Power, Taichung-Taiwan

- Clean energy trend
- Electric Vehicle (EV) is expected to contribute to the reduction of greenhouse gas



EV Charging



Limited flexibility

Need cords

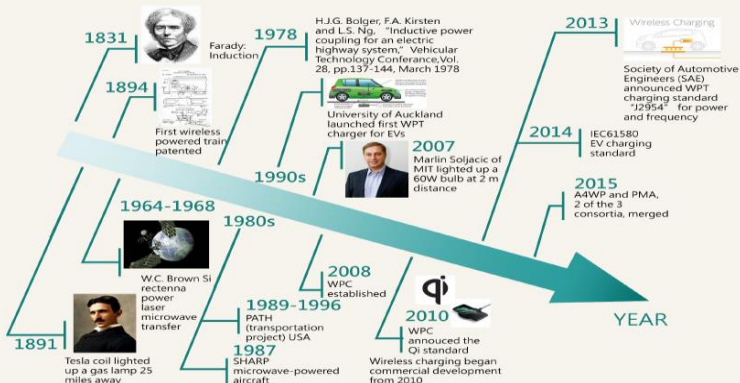
Charging time constraint

Flexible

No connecting cord

Enable in motion charging

Safer



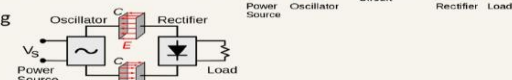
□ Inductive coupling

- Magnetic coupling
- Low frequency
- Short distance

- MIT Resonant type
- High frequency
- Longer distance



□ Capacitive coupling



□ Others

- Laser
- Microwave
- Long distance



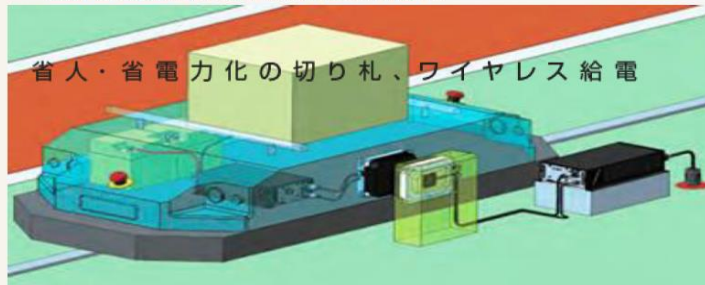
E-bike is going to make a big impact on the whole electricity supply infrastructure and market. (Gogoro to launch first e-bike in USA)



Nissan 電能車新概念，智慧「無線充電」主導一切

WiTricity

EV WIRELESS CHARGING is an enabler for the future of mobility that is electric, shared and autonomous.



省人・省電力化の切り札、ワイヤレス給電

這是一個劃時代的系統，無需與連接器物理接觸即可向移動的物體提供電能（昭和飛機株式會社）

全自動車載無線充電器



WiBotic 推出無人機專用無線充電系統，方便全自動飛行