

# The Study and Countermeasure of Electromagnetic Noise from Motorbike Ignition System

林怡誠、林明星

E-mail: 9121549@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

Electronic controlled devices such as ABS and ignition system are increasingly used to enhance the performance of motor vehicles. However, electromagnetic noise from vehicles may degrade the performance of electronic devices and cause the human safety problem if EMC designs are not appropriately implemented in the vehicles. Therefore, the EMC design and EMI fix techniques of vehicle and devices have become an important task in the design of motor vehicles. In this thesis, radiated emissions from the major noise source of vehicle, ignition system. Are analyzed by theoretical simulation and measurement. First, the theoretical model and measurement system are proposed for analyzing the problem. In addition, the effects of EMI fix techniques including filter devices、resistive ignition wire、shielding tubes、resistive spark plug used to reduce radiated emission from ignition system are investigated. The results of theoretical simulation and measurement are helpful in the EMC design of ignition system of motor vehicles. Finally the monopole antenna, loop antenna, and standard source are designed and implemented for measuring the shielding effectiveness of anechoic chamber and the correlation of the test sites.

Keywords : Ignition System ; Radiated Emission ; Electromagnetic Compatibility ; EMI Fix Techniques

## Table of Contents

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書.....	iii	中文摘要.....	iii
.....iv 英文摘要.....	iv	.....v 誌謝.....	v
.....vi 目錄.....	vi	.....viii 圖目錄.....	viii
.....xii 表目錄.....	xii	.....xvii 第一章 簡	xvii
介 1.1 研究動機與目的.....	1	1.2 文獻回顧.....	2
1.2 文獻回顧.....	2	1.3 研究	2
方法.....	4	1.4 章節概述.....	6
1.4 章節概述.....	6	第二章 火花特性分	6
析 2.1 概述.....	7	2.2 火花放電特性.....	8
2.2 火花放電特性.....	8	2.3 汽機車火星塞點火放電分析.....	9
2.2.1 電極板間隙放電分析.....	8	2.4 火	9
2.2.2 電極板間隙放電分析.....	8	2.5 火花放電輻射雜訊之抑制.....	11
2.3 汽機車火星塞點火放電分析.....	9	2.6 汽機車	11
2.4 火花放電之頻譜特性.....	10	點火輻射雜訊量測與分析.....	11
2.5 火花放電輻射雜訊之抑制.....	11	第三章 點火系統量測架構 3.1 點火系統量測設備.....	16
2.6 汽機車	11	3.1.1 量測設備說明.....	16
點火輻射雜訊量測與分析.....	11	3.1.2 點火系統之信號波形與輻射電場量測說明.....	18
第三章 點火系統量測架構 3.1 點火系統量測設備.....	16	3.2 點火系統信號波形量測.....	18
3.1 點火系統量測設備.....	16	3.2.1 量測點火系統觸發信號.....	18
3.1.1 量測設備說明.....	16	3.2.2 量	18
3.1.2 點火系統之信號波形與輻射電場量測說明.....	18	測點火系統一次側信號.....	19
3.2 點火系統信號波形量測.....	18	3.2.3 量測點火系統二次側信號.....	19
3.2.1 量測點火系統觸發信號.....	18	3.3 點火系	19
3.2.2 量	18	統RE(Radiated Emission)量測 3.3.1 RE量測架構與設備.....	21
測點火系統一次側信號.....	19	3.3.2 汽缸屏蔽特性量測.....	21
3.2.3 量測點火系統二次側信號.....	19	3.3.3 電阻線阻值特性量測.....	23
3.3 點火系	19	3.3.4 火星塞帽阻值特性量測.....	23
統RE(Radiated Emission)量測 3.3.1 RE量測架構與設備.....	21	第四章 建立點火信號之模擬電路 4.1 Pspice電路模擬.....	33
3.3.2 汽缸屏蔽特性量測.....	21	4.2 量測信號分析	33
3.3.3 電阻線阻值特性量測.....	23	4.3 一次側模擬電路.....	36
3.3.4 火星塞帽阻值特性量測.....	23	4.4 二次側模擬電路	36
第四章 建立點火信號之模擬電路 4.1 Pspice電路模擬.....	33	4.5 模擬電路頻譜驗證.....	37
4.1 Pspice電路模擬.....	33	第五章 程式模擬與驗證	37
4.2 量測信號分析	33	5.1 輻射理論分析.....	44
4.3 一次側模擬電路.....	36	5.2 點火系統輻射頻譜模擬.....	44
4.4 二次側模擬電路	36	5.2.1 火星塞帽5K 與10K 模擬.....	47
4.5 模擬電路頻譜驗證.....	37	5.2.2 火星塞帽10K 模擬驗證.....	48
第五章 程式模擬與驗證	37	5.3 模擬頻譜驗證.....	48
5.1 輻射理論分析.....	44	5.3.1 火星塞帽5K 模擬驗證.....	48
5.2 點火系統輻射頻譜模擬.....	44	5.3.2 火星塞帽10K 模擬驗證.....	49
5.2.1 火星塞帽5K 與10K 模擬.....	47	5.4 點火系統對策分析.....	49
5.2.2 火星塞帽10K 模擬驗證.....	48	5.5 濾波器模擬.....	50
5.3 模擬頻譜驗證.....	48	5.5.1 單極低通濾波器.....	50
5.3.1 火星塞帽5K 模擬驗證.....	48	5.5.2 雙極低通濾波器.....	51
5.3.2 火星塞帽10K 模擬驗證.....	49	5.6 屏蔽模擬.....	51
5.4 點火系統對策分析.....	49	5.7 對策模擬結果.....	53
5.5 濾波器模擬.....	50	5.7.1 低通濾波器模擬結果.....	54
5.5.1 單極低通濾波器.....	50	5.7.2 屏蔽層模擬結果.....	55
5.5.2 雙極低通濾波器.....	51	第六章 結論 參考文獻 附錄A 電波暗室屏蔽量測與分析 A.1 電波暗室屏蔽特性.....	73
5.6 屏蔽模擬.....	51	A.1.1 SE量	73
5.7 對策模擬結果.....	53	測注意事項.....	73
5.7.1 低通濾波器模擬結果.....	54	A.1.2 SE量測方法.....	74
5.7.2 屏蔽層模擬結果.....	55	A.2 電波暗室	74
第六章 結論 參考文獻 附錄A 電波暗室屏蔽量測與分析 A.1 電波暗室屏蔽特性.....	73	場地分析.....	76
A.1 電波暗室屏蔽特性.....	73	A.2.1 標準場地衰減量(NSA).....	76
A.1.1 SE量	73	A.2.2 場地均勻	76
測注意事項.....	73	度.....	77
A.1.2 SE量測方法.....	74	A.3 開放測試場OATS比對.....	78
A.2 電波暗室	74	附錄B 電波暗室	78
場地分析.....	76	特性量測設備製作 B.1 單極天線Monopole製作.....	86
A.2.1 標準場地衰減量(NSA).....	76	B.1.1 單極天線概述.....	86
A.2.2 場地均勻	76		
度.....	77		
A.3 開放測試場OATS比對.....	78		
附錄B 電波暗室	78		
特性量測設備製作 B.1 單極天線Monopole製作.....	86		
B.1 單極天線Monopole製作.....	86		
B.1.1 單極天線概述.....	86		

.....86	B.1.2 單極天線電場耦合量測結果.....	88	B.2 環形天線Loop Antenna製作.....
.....89	B.2.1 環形天線概述.....	89	B.2.2 環形天線磁場耦合量測結果.....
.....90	B.3 標準輻射源Standard Source製作.....	91	B.3.1 寬頻功率放大器設計.....
.....92	B.3.2 寬頻螺旋形天線設計.....	93	B.3.3 製作成品.....
.....95	B.3.4 標準輻射源穩定性量測分析.....	97	附錄C 元件參考手冊 C.1標準寬頻對數天線天線因子.....
.....121	C.2 Motorola MRF571Date Sheet.....	122	C.3 Quartek OSC 10MHz Date Sheet.....
.....125	圖目錄 圖1.1 論文研究架構.....	5	圖2.1 引擎汽缸點火運作.....
.....13	圖2.2 加工放電機運作.....	13	圖2.3 高速高功率開關.....
.....13	圖2.4 Paschen 's定律.....	14	圖2.5 間隙放電電壓與電流關係.....
.....14	圖2.6 火星塞間隙與崩潰電壓關係.....	14	圖2.7 梯形波波寬與頻譜之關係.....
.....15	圖3.1 點火系統量測方塊圖.....	25	圖3.2 模擬點火系統量測圖.....
.....25	圖3.3 點火系統觸發信號之量測.....	26	圖3.4 點火系統觸發信號之量測結果.....
.....26	圖3.5 點火系統一次側信號量測.....	27	圖3.6 點火系統一次側信號電壓波形量測結果.....
.....27	圖3.7 點火系統二次側信號量測.....	28	圖3.8 點火系統二次側火星塞阻抗R=0 電壓波形量測結果.....
.....28	圖3.9 點火系統二次側火星塞阻抗R=5K 電壓波形量測結果.....	28	圖3.10 點火系統RE量測架構.....
.....29	圖3.11 頻率30MHz~1GHz電磁環境.....	29	圖3.12 汽缸屏蔽量測輻射雜訊電場架構.....
.....30	圖3.13 汽缸屏蔽量測輻射雜訊電場比較結果.....	30	圖3.14 電阻線阻抗0 與5K 輻射雜訊電場比較.....
.....31	圖3.15 火星塞接頭阻抗0 與5K 輻射雜訊電場比較.....	31	圖4.1 梯形波之定義.....
.....39	圖4.2 梯形波組成.....	39	圖4.3 梯形波近似頻譜.....
.....40	圖4.4 雙階低通濾波器.....	40	圖4.5 一次側點火信號等效電路.....
.....40	圖4.6 二次側火星塞接頭阻抗.....	40	圖4.7 二次側火星塞接頭阻抗.....
.....40	圖4.8 一次側點火信號等效電路驗證模擬電路與設定.....	41	圖4.9 一次側點火信號等效電路電壓頻譜驗證比對.....
.....41	圖4.10 二次側火星塞接頭阻抗5K 點火信號等效電路驗證模擬電路與設定.....	42	圖4.11 二次側火星塞接頭阻抗5K 點火信號等效電路電壓頻譜驗證比對.....
.....42	圖4.12 二次側火星塞接頭阻抗10K 點火信號等效電路驗證模擬電路與設定.....	43	圖4.13 二次側火星塞接頭阻抗10K 點火信號等效電路電壓頻譜驗證比對.....
.....43	圖5.1 點火系統輻射路徑.....	56	圖5.2 火星塞接頭阻抗5K 與10K 輻射電場雜訊強度比較.....
.....56	圖5.3 火星塞接頭阻抗5K 量測電場強度頻譜與模擬電場強度 頻譜比較.....	57	圖5.4 火星塞接頭阻抗10K 量測電場強度頻譜與模擬電場強度 頻譜比較.....
.....57	圖5.5 說明低通濾波器置於電阻線前之架構.....	58	圖5.6 說明低通濾波器置於電阻線後之架構.....
.....58	圖5.7 單極低通濾波器電路圖.....	58	圖5.8 雙極低通濾波器電路圖.....
.....58	圖5.9 描述平板屏蔽體在平面波斜向入射時屏蔽架構圖.....	59	圖5.10 火星塞接頭阻抗5K 電阻線上加低通濾波器與未加低通濾波器之電壓頻譜的比較.....
.....59	圖5.11 火星塞接頭阻抗5K 電阻線上加低通濾波器與未加低通濾波器之雜訊輻射模擬結果.....	60	圖5.12 火星塞接頭阻抗5K 線上加低通濾波器與未加低通濾波器在扣除天線因子後雜訊輻射模擬結果.....
.....60	圖5.13 火星塞接頭阻抗10K 電阻線上加低通濾波器與未加低通濾波器之電壓頻譜的比較.....	61	圖5.14 火星塞接頭阻抗10K 電阻線上加低通濾波器與未加低通濾波器之雜訊輻射模擬結果.....
.....61	圖5.15 火星塞接頭阻抗10K 線上加低通濾波器與未加低通濾波器在扣除天線因子後輻射雜訊模擬結果.....	62	圖5.16 火星塞接頭阻抗5K 在電阻線外加銅薄片屏蔽層與未加銅薄片屏蔽層比較輻射雜訊模擬結果.....
.....62	圖5.17 火星塞接頭阻抗10K 在電阻線外加銅薄片屏蔽層與未加銅薄片屏蔽層比較輻射雜訊模擬結果.....	63	圖5.18 火星塞接頭阻抗5K 在電阻線外加銅薄片屏蔽層與未加銅薄片屏蔽層在扣除天線因子後輻射雜訊模擬結果.....
.....63	圖5.19 火星塞接頭阻抗10K 在電阻線外加銅薄片屏蔽層與未加銅薄片屏蔽層在扣除天線因子後輻射雜訊模擬結果.....	64	圖A.1 SE量測架構圖.....
.....80	圖A.2 低頻磁場隔離度量測.....	80	圖A.3 低頻電場隔離度量測.....
.....81	圖A.4 平面波隔離度量測.....	81	圖A.5 微波隔離度量測.....
.....82	圖A.6 垂直極化NSA量測.....	82	圖A.7 水平極化NSA量測.....
.....83	圖A.8 均勻場量測.....	83	圖A.9 均勻場分佈位置.....
.....84	圖A.10 標準輻射源於無反射室內量測.....	84	圖A.11 標準輻射源於OATS量測.....
.....85	圖A.12 OATS標準測試場.....	85	圖B.1 單極天線成品.....
.....99	圖B.2 單極天線電場耦合量測架構.....	100	圖B.3 Calibration.....
.....100	圖B.4 單極天線電場耦合量測.....	101	圖B.5 環形天線感應磁場.....

.....102 圖B.6 環形天線.....	102 圖B.7
環形天線成品.....	102 圖B.8 環形天線磁場耦合量測架構.....
.....102 圖B.9 環形天線電磁耦合量測.....	103 圖B.10 標準輻射源架構圖.....
.....104 圖B.11 電晶體各種偏壓組態.....	104 圖B.12 HP AppCAD
操作畫面.....	104 圖B.13 寬頻放大器電路圖.....
...105 圖B.14 模擬MRF571 S21結果.....	105 圖B.15 MRF571輸出.....
.....105 圖B.16 標準輻射源模擬輸出.....	106 圖B.17 方形螺旋天線
.....106 圖B.18 方形螺旋天線線徑與阻抗關係.....	106
圖B.19 圓形螺旋天線.....	107 圖B.20 阿基米得螺旋天線.....
.....107 圖B.21 螺旋天線電場說明.....	107 圖B.22 方形螺旋天線標準輻射
源.....	108 圖B.23 八角形螺旋天線標準輻射源.....
108 圖B.23 八角形螺旋天線標準輻射源.....	109 圖B.24 方
形螺旋天線標準輻射源成品.....	110 圖B.25 八角螺旋天線標準輻射源成品.....
.....111 圖B.26 方形螺旋天線垂直極化電場量測.....	112 圖B.27 方形螺旋天線水平極化電場量測
.....114 圖B.28 八角螺旋天線垂直極化電場量測.....	116 圖B.29 八角螺旋天
線水平極化電場量測.....	118 圖B.30 穩定度量測曲線圖.....
...120 表目錄 表3.1 點火花波形量測數據.....	20 表A.1 一般EMI / EMC隔離度特性量測表...
.....75 表B.1 方形螺旋天線垂直極化電場量測數據.....	113 表B.2 方形螺旋天線水平極化電場量測數
據.....115 表B.3 八角螺旋天線垂直極化電場量測數據.....	117 表B.4 八角螺旋天線水平極化電場量
測數據.....119 表B.5 標準輻射源穩定度量測.....	120

## REFERENCES

- 參考文獻 【1】 H. P. Hsu, D. C. Schlick, "Effect of distributor gap on radiated ignition interference," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.319-324 (1969). 【2】 Mrdjan Jankovic, Steve W. Magner, "Air-charge estimation and prediction in spark ignition internal combustion engines," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.217-221 (1999). 【3】 E. Kuffel and M. Abdullah, "High-voltage engineering," Pergamon International Library, London, 1970, pp. 261-309. 【4】 J. Christiansen and Ch. Schultheiss, "Production of high current particle beams by low pressure spark discharges," Zeitschrift fur Physik A, vol. 290, pp. 35-41, 1979. 【5】 M.E. Herniter and W.D. Getty, "Thermionic cathode electron gun for high current densities," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 15, pp. 351-360, 1987. 【6】 陳財榮, "擬火花放電之研究產生及時變特性," 博士論文, 中山大學電機工程研究所, 79學年. 【7】 C.R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, no.3, INC., 1992. 【8】 J. E. Bridges, R. Zalewski, V. Nanda, "Gap energy, a more accurate criterion for ignition threshold of flammable mixtures," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.4Ahd1-4Ahd5 (1975). 【9】 Osamu Fujiwara, Yoshifumi Amemiya, "Suppression of ignition noise caused by plug gap breakdown," IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, pp.107-112 (1982). 【10】 V. G. Shapk, M. R. Oulmascoulov, S. A. Shunailov, M. I. Yalandin, "Amplitude compression of high-voltage pulses in subnanosecond formers on gas spark gaps," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.692-695 (1999). 【11】 Hiroshi Ujiie, Toshiharu Fujiwara, "An approach to a radiation source model for the ignition noise of automobile," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.256-260 (1984). 【12】 Jaehohg Park, Jinho Han, "Reduction of automotive audio noise due to ignition system," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.543-548 (1997). 【13】 E. L. Bronaugh, D. L. Pawlowski, S. A. Ericksopon, Richard J. Gawrelski, S. H. Alven, "Software for computer-automated EMI testing of automobiles," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.312-316 (1989). 【14】 Harry W. Gaul, Tom Huettl, "Radiated emissions testing of an experimental electric vehicle," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.338-342 (1996). 【15】 Matthew, N. O. Sadiku, Numerical Techniques in Electromagnetics, CRC Press, 1992. 【16】 H. P. Hsu, R. M. Storwick, D. C. Schlick, G. L. Maxam, "Measured amplitude distribution of automotive ignition noise," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.259-278 (1973). 【17】 CISPR12, Vehicles, motorboats and spark-ignited engine-driven devices-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement ; 1997. 【18】 C.R. Paul, Analysis of Linear Circuits, McGraw-Hill, NY 1989. 【19】 C.D. McGillem and G.R. Cooper, Continuous and Discrete Signal and System Analysis, Holt, Rinehart and Winston, NY 1974. 【20】 J. C. Fluke, Controlling Conduct Emission by Nonstrand Reinhold, NY, 1991. 【21】 Frederick M. Tesche, Michel V. Ianoz, Torbjorn Karlsson, EMC Analysis Methods and Computational Models, Chapter 4, Radiation Models for Wire Antenna, 1996. 【22】 Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith, Microelectronic Circuits, Third Edition, 1992. 【23】 MIL - STD - 285, Method of Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes, June 1956 【24】 IEEE Std 299-1991/1997, IEEE Standard for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, July 1991. 【25】 ANSI C63.4-1992, Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions form Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9kHz to 40GHz 【26】 ICE 61000-4-3 1995, Testing and Measurement Techniques Radiated, Radio-Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test. 【27】 ASTM Std E1851, Standard Test Method for Electromagnetic Shielding Effectiveness of Durable Rigid Wall Relocatable Structure, Feb. 1997. 【28】 J. E. Bridges, "A update

on the circuit approach to calculate shielding effectiveness, " IEEE Trans. On Electromagn. Compat., Vol.30, pp.211-221, Aug. 1988. 【29】 ANSI C63.6-1988, American National Standard Guide for the Computation of Errors in Open-Area Test Site Measurements. 【30】 ANSI C63.7. " American National Standard Guide for Construction of Open-Area Test Site for Performing Radiated Emission Measurements. " 1992. 【31】 David K. Cheng, Fundamentals of Engineering Electromagnetic, Chapter 6, Time-varying fields and maxwell ' s equation. 【32】 Michel Mardiguian, EMI Troubleshooting Techniques, Chapter 3, Diagnostics, Troubleshooting Techniques, and Instrumentation, 1999. 【33】 Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1997. 【34】 Hisamatsu NAKANO, Helical and Spiral Antennas A Numerical Approach, John Wiley & Sons, Inc, 1987.