



## 勞工安全衛生研究報告

電弧故障斷路器引進國內之評估研究  
The Assessment of Introduction of the  
Arc Fault Circuit Interrupters

電弧故障斷路器引進國內之評估研究 IOSH98-S302



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

# 電弧故障斷路器引進國內之評估研究

## **The Assessment of Introduction of the Arc Fault Circuit Interrupters**

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

# 電弧故障斷路器引進國內之評估研究

## **The Assessment of Introduction of the Arc Fault Circuit Interrupters**

研究主持人：蘇文源、吳啓瑞

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 98 年 04 月至 98 年 12 月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所  
中華民國 99 年 2 月

# 摘要

為維護用電安全，現今的工廠與居家之低壓配電線路中都裝設過電流及過載保護裝置，特定支路還必須安裝漏電斷路器，避免人員感電。然而，根據國外調查指出，電弧也是造成電氣火災的主要因素。電弧故障斷路器(Arc-Fault Circuit Interrupters，簡稱 AFCI)為一偵測線路中電弧故障發生的保護裝置。本計畫設計詳細實驗，測試電弧故障斷路器的動作性能，以探討 AFCI 在台灣工廠與居家低壓配線系統的適用性。

研究發現：(1) AFCI 對串聯電弧故障跳脫百分比較低，主因在於負載電流量有時太小；(2) 長距離導線與濾波器會使故障訊號衰減，影響 AFCI 偵測電弧信號；(3) 導線彎曲與混合負載皆不影響 AFCI 動作；(4) 突波電流、非正弦波電流並不會造成 AFCI 之誤動作；(5) 在全部 1200 次電弧故障測試中，電弧故障斷路器跳脫比例為 61.67%；(6) 在一些特定負載之正常操作下自然產生電弧的 500 次測試中，引發電弧故障斷路器誤動作比例只有 0.4%。

考量上述 AFCI 測試結果之成功跳脫比例與誤動作比例，並根據美國消費者產品安全委員會(CPSC)的專家評估合併 AFCI 保護功能與傳統線路斷路器可以防止 50%以上的電氣火災，及美國州消防署署長全國協會(NASFM)的專家則認為可以防止 75%的電氣火災。這些數據皆顯示電弧故障斷路器應適用於台灣低壓配線系統之電弧故障保護。另本實驗過程中歸納之電弧故障斷路器動作原理，亦可提供國內各廠商開發及研究電弧故障斷路器之參考。

關鍵字：火災、低壓配線、電弧故障、電弧故障斷路器

## Abstract

Today, the low voltage distribution circuits in the industry plants and houses in Taiwan have been installed over current and over load circuit breakers to switch off power sources during fault or over loading conditions. The earth leakage breakers are also installed in some special circuits to protect people from electric shock. However, many oversea examples reveal the facts that a number of home fires are caused by electric arc faults. The arc-fault circuit interrupter (AFCI) is a device which can detect the occurring of electric arc in the low voltage circuits. It can switch off the power source before the occurring of fire caused by series or parallel electric arc faults. In order to investigate the feasible application of AFCI in the low voltage distribution circuit systems of the industry plants and houses in Taiwan, detailed experiments are used in this project is to examine the action performance of AFCI.

The results of the experiments are : ( 1 ) the trip rate of AFCI for series arcing faults is less than parallel arcing faults. ( 2 ) the long lines or the filters in lines will attenuate the arcing signal so that the trip rate of AFCI for arcing faults is less . ( 3 ) bent lines or hybrid load will not affect the action of AFCI . ( 4 ) inrush current or non-sinusoidal waveform current will not affect the action of AFCI . ( 5 ) In the 1200 arcing fault tests, the percentage of successful action of AFCI is 61.67%. ( 6 ) In the 500 tests of normal operation arcing of some loads, the percentage of malfunction of AFCI is only 0.4%.

So considering the successful action percentage and malfunction percentage, AFCI is suitable to be used in the low voltage distribution systems in Taiwan. The action characteristics of AFCI found in the experiment procedures is a good reference to those who are interested in the development of AFCI.

Key Words : Fire, Low-Voltage Distribution Line, Arc-Fault, Arc-Fault Circuit Interrupter

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	ix
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	3
第三節 研究方法與步驟.....	3
第二章 電弧故障與電弧故障斷路器特性.....	5
第一節 電弧故障特性.....	5
第二節 電弧故障斷路器特性.....	7
第三章 電弧故障斷路器測試方法.....	9
第一節 測試方法.....	9
第二節 實驗設備.....	14
第三節 初期階段(預試)實驗.....	17
第四節 小結.....	21
第四章 串聯電弧故障測試.....	26
第一節 A 階段實驗.....	26
第二節 B 階段實驗.....	30
第三節 C 階段實驗.....	36
第四節 D 階段實驗.....	48
第五節 E 階段實驗.....	60
第六節 火線與中性線反接實驗.....	66
第七節 小結.....	67
第五章 並聯電弧故障測試.....	69
第一節 F 階段實驗.....	69
第二節 G 階段實驗.....	70

第三節 短路過載實驗 .....	73
第四節 小結.....	73
第六章 電弧故障跳脫的原因與探討 .....	75
第一節 前言 .....	75
第二節 電弧故障信號 FFT 分析 .....	78
第三節 小結.....	93
第七章 結論.....	94
第一節 結論.....	94
第二節 建議.....	95
參考文獻 .....	97
附件一 電弧故障斷路器選用技術指引 .....	98

# 圖目錄

圖 1	電弧故障種類.....	5
圖 2	串聯電弧及並聯電弧故障示意圖.....	6
圖 3	一些常見引起電弧的原因.....	6
圖 4	AFCI 偵測電弧故障的示意圖.....	7
圖 5	各廠家 AFCI 實品圖.....	8
圖 6	串聯電弧故障與並聯電弧故障測試電路.....	9
圖 7	UL 公司電弧產生機台.....	10
圖 8	Siemens 公司電弧產生機台.....	10
圖 9	人為方式產生並聯電弧故障.....	11
圖 10	串聯電弧故障（長距離導線測試電路）.....	12
圖 11	並聯電弧故障（長距離導線測試電路）.....	12
圖 12	濾波器測試電路.....	12
圖 13	串連電弧故障（導線彎曲測試電路）.....	13
圖 14	並聯電弧故障（導線彎曲測試電路）.....	13
圖 15	混合負載測試電路.....	14
圖 16	多通道暫態記錄器.....	14
圖 17	電弧產生機台.....	15
圖 18	弧故障斷路器.....	15
圖 19	串聯電弧故障實驗電路圖.....	17
圖 20	初期串聯電弧故障實驗流程圖.....	18
圖 21	並聯電弧故障實驗電路圖.....	19
圖 22	初期並聯電弧故障實驗流程圖.....	20



圖 23	實驗項目.....	22
圖 24	A 階段實驗電鑽負載電流(A04000).....	27
圖 25	A 階段實驗電鍋負載電流(A03000).....	28
圖 26	A 階段實驗電子安定器日光燈負載電流(A09000).....	29
圖 27	B 階段實驗吹風機負載電流(S 廠家 AFCI 跳脫)(B01102).....	34
圖 28	B 階段實驗吹風機負載電流(S 廠家 AFCI 未跳脫) (B01102).....	35
圖 29	C 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(C04304).....	39
圖 30	C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(C03304).....	40
圖 31	C 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(C04104).....	41
圖 32	C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(C03104).....	42
圖 33	C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 未跳脫)(C03304) ...	43
圖 34	C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 未跳脫)(C03104)....	44
圖 35	C 階段實驗日光燈負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(C09104)....	45
圖 36	C 階段實驗日光燈負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 未跳脫)(C09104)	46
圖 37	D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(D04305).....	52
圖 38	D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(D04105).....	53
圖 39	D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 未跳脫)(D04305)...	54
圖 40	D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(D04105).....	55
圖 41	濾波器影響測試電路.....	56
圖 42	E 階段實驗吸塵器加電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(E10311) .....	62
圖 43	E 階段實驗吸塵器加電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 未跳 脫)(E10311).....	63
圖 44	E 階段實驗電鍋加吸塵器負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(E10112)	

.....	64
圖 45 E 階段實驗電鍋加吸塵器負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 未跳脫)(E10112).....	65
圖 46 火線與中性線反接測試電路.....	66
圖 47 並聯電弧故障測試電路(電流 75 A).....	69
圖 48 長距離導線並聯電弧故障測試電路.....	70
圖 49 導線彎曲並聯電弧故障測試電路.....	70
圖 50 吹風機起弧時之電流.....	76
圖 51 吹風機起弧時之電流 FFT 分析.....	77
圖 53 比較吹風機正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)...	78
圖 54 比較吹風機正常用電與正常用電下開關啓閉時之電流 FFT 分析(開關啓閉 AFCI 跳脫).....	79
圖 55 比較吹風機正常用電與插頭拔插時之電流 FFT 分析(插頭拔插 AFCI 未跳脫).....	80
圖 56 比較風扇正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 未跳脫)...	81
圖 57 比較風扇+電阻正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫).....	82
圖 58 比較電鍋正常用電與起弧時電流 FFT 分析(線路彎曲串聯起弧 AFCI 跳脫).....	83
圖 59 比較吸塵器正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(單芯線線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫).....	84
圖 60 比較電腦+電阻正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫).....	85
圖 61 比較日光燈正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)...	86

圖 62 C 階段實驗中項目日光燈負載(串聯起弧 AFCI 跳脫) .....	87
圖 63 比較電鑽正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫).....	88
圖 64 比較電冰箱正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫).....	89
圖 65 比較空壓機正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫) ...	90
圖 66 比較電暖器正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(絞線線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫).....	91
圖 67 比較直接短路與並聯電弧故障之電流 FFT 分析(電流 75 A).....	92

# 表目錄

表 1	S 廠家 AFCI 功能.....	8
表 2	S 廠家電弧故障斷路器規格.....	16
表 3	E 廠家電弧故障斷路器規格.....	16
表 4	初期串聯電弧故障實驗結果.....	19
表 5	初期並聯電弧故障實驗結果.....	21
表 6	實驗項目表.....	23
表 6	實驗項目表(續 1).....	24
表 6	實驗項目表(續 2).....	25
表 7	A 階段實驗項目.....	26
表 8	B 階段實驗項目及結果.....	30
表 8	B 階段實驗項目及結果(續 1).....	31
表 8	B 階段實驗項目及結果(續 2).....	32
表 8	B 階段實驗項目及結果(續 3).....	33
表 9	C 階段實驗項目及結果.....	37
表 9	C 階段實驗項目及結果(續 1).....	37
表 9	C 階段實驗項目及結果(續 2).....	38
表 10	負載加至 5A 以上 C 階段實驗項目及結果.....	47
表 11	D 階段實驗項目及結果.....	49
表 11	D 階段實驗項目及結果(續 1).....	49
表 11	D 階段實驗項目及結果(續 2).....	50
表 11	D 階段實驗項目及結果(續 3).....	51
表 12	負載加至 5A 以上 D 階段實驗項目及結果.....	57

表 12	負載加至 5A 以上 D 階段實驗項目及結果(續 1).....	57
表 12	負載加至 5A 以上 D 階段實驗項目及結果(續 2).....	59
表 13	E 階段實驗項目及結果 .....	61
表 13	E 階段實驗項目及結果(續).....	61
表 14	火線與中性線反接測試結果.....	66
表 15	串聯電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例 .....	68
表 16	兩廠家 AFCI 串聯電弧故障跳脫比例.....	68
表 17	F 階段實驗項目及結果 .....	69
表 18	G 階段實驗項目及結果.....	71
表 18	G 階段實驗項目及結果(續) .....	72
表 19	短路過載測試.....	73
表 20	並聯電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例 .....	74
表 21	兩廠家 AFCI 並聯電弧故障跳脫比例.....	74
表 22	電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例.....	94

# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

電氣設備的使用不慎，無論是工廠用電乃至於居家用電，所造成的財產、人員損失不計其數。根據內政部消防署的統計資料，自民國 87 年至 96 年的全國火災報告，電器設備為所有火災媒介物之首因，其所佔比例在 20%~35%之間，另依 94 年之住宅火災統計中，電器設備亦高佔 47%，98 年度至 11 月電氣設備引起的火災高達 776 件。

根據美國國家消防協會(National Fire Protection Association，簡稱 NFPA)在 2001 年的「火災問題概觀報告」中指出：全美每年平均發生 73,000 件住家電氣火災，造成約 600 人死亡、1,400 人受傷以及超過 10 億美元的財產損失。在這些火災當中，超過 40,000 件與住家電氣配線因素有關，而其中有 83%是由電氣電弧 (Electrical Arcing) 造成的。1992 年美國保險商實驗所 (Underwriters Laboratories，簡稱 UL)的調查中，確認「電弧事故(Arcing Faults)」為可能導致住家火災的原因的危險因素。美國州消防署署長全國協會(National Association of State Fire Marshals，簡稱 NASFM)在電氣火災原因調查研究報告，也是對「電弧事故」作成相同結論。因此，如何以現代科技來降低「電弧事故」引發電氣火災的發生與傷亡，已成為重要議題。

所謂的電弧事故即為在線路中產生非故意的電弧情況，而根據 UL 1699 的定義，電弧(Arcing)即為電流放電穿透絕緣物體所產生的電光，通常伴隨了部份的電極揮發。電弧中心的溫度高達 5000°C-15000°C，若週遭有可燃物質，將可能產生火災事故，造成生命犧牲與財產損失。一般可能造成線路中產生電弧的原因有：(1)導線破壞與絕緣磨損。(2)導線接點鬆脫。(3)導線過熱。(4)電氣設備的破

壞或濫用。上述四點為一般日常生活中電弧事故造成電氣火災的常見原因，因此在居家的電氣安全中極需要保護裝置來降低電弧事故所造成的災害。

美國電工法規(NEC)首次規定安裝「電弧故障斷路器」用來保護房間電源插座是在1999年，於2002年1月生效。安裝的類型為回路/分支型(Branch/Feeder type)，在210.12中定義 (A) 電弧故障斷路器裝置預期可提供對於辨識出電弧唯一特性訊號發生危害的保護，當發生電弧故障時可以運用程式將電源切除，進而免於災害。(B) 寢室中所有分支電路提供120伏電壓、單相15、20安培之插座線路皆必須安裝電路故障斷路器。

在2002年美國電工法規除了原本的規範外，擴大了使用安裝的範圍，除了原先的插座外，擴及所以房間的電源出線口皆必須安裝。

而在2005年NEC，section 210.12(B) 更新規定居家房間的電源插座使用組合型(Combination type)，而舊型的「電弧故障斷路器」可以續用至2008年1月。到了2008年NEC，section 210.12(B)再次更新並擴大使用組合型(Combination type)的範圍：凡住宅所有120V單相、15和20安培的分支回路，包括飯廳、客廳、起居室、圖書室、小房間、寢室、日光室、娛樂室、廁所密室、門廳或是類似的場所或區域都必須安裝組合型。

此外 2004 年 8 月份起，美國國家電氣法規(NEC)和 UL 對室內空調器使用的電源線必需強制性使用 AFCI 裝置。UL484 對此要求符合 NEC 第 440.65 節之規定：「使用在室內空調器上的單相線材和插頭必須在工廠安裝保護性的 LCDI 或 AFCI 裝置」。而 LCDI 和 AFCI 必須完整的附屬在插頭上，或是為於電源線不超過 300mm 的插頭上。加拿大，也在電工法規 (Canadian Electrical Code) CSA 標準 C22.1 中要求電弧故障斷路器在所有住宅房間中電路插座都必須安裝。美國消費者產品安全委員會(Consumer Product Safety Commission, 簡稱 CPSC)的專家深入研究後評估，合併 AFCI 保護功能與傳統線路斷路器可以防止 50%以上的電氣

火災，NASFM 的專家則認為可以防止 75%的電氣火災。

運用現代科技，讓人類享有用電所帶來的便利又能免除電氣不安全所帶來的災難，是大家共同的目標。因此若能讓 AFCI 裝置在國內推廣使用，在國內生根，並把它應用到既有房屋與老舊房屋的配線。期望讓 AFCI 科技應用在電氣火災預防上，以增加用電安全防護，並配合相關法規的強制要求(或宣導)應用，並依政府消保法告知或宣導正確電氣安全資訊，將可避免因用電不安全而使許多無辜生命犧牲與財產損失。

## 第二節 目的

- 1.蒐集電弧故障斷路器相關文章與技術探討文獻，並對電弧定義、產生原因、種類、特性及電弧故障斷路器動作原理進行分析，做其相關實驗，使降低台灣工業上之電氣災害，提升勞工人員安全；此時也能讓一般民眾認識到電弧故障不只是工業上常發生，在居家生活中電弧也可能是隱藏的危害之一，進而使電弧故障斷路器降低事故的技術能被大眾了解，以建立對電弧故障斷路器的認知與信心。
- 2.依據台灣工廠及居家低壓配線規格，參考美國保險商實驗室 UL 1699 實驗測試方式，測試電弧故障斷路器安裝於台灣工廠與居家配線系統中，若有電弧事故發生時之跳脫情形。亦將測試電弧故障斷路器安裝於配電系統時，是否會有因特殊負載而造成誤動作之情況。
- 3.根據實驗結果評估台灣引進電弧故障斷路器技術的可能性，以透過電弧故障斷路器來減少電氣火災的發生率。
4. 建置「電弧故障斷路器」選用技術指引。

## 第三節 研究方法與步驟

- 1.採購結合型電弧故障斷路器(Combination type AFCI)，以作為實驗測試所用。



- 2.參考 UL 方式，設計人工產生電弧故障之實驗台，包括串聯及並聯電弧，及相關之測量儀器及保護機制。
- 3.測試結合型 AFCI 於國內工廠及居家低壓配線系統的適用性。測試 AFCI 產品，包括 15A 與 20A 兩種規格，並進行電弧事故與誤動作測試。測試 1 測試 AFCI 能否在電弧事故產生時立即啓斷電路，以達保護效果；測試 2 測試 AFCI 在正常電弧及一些特殊負載中是否會有誤動作發生。

**實驗變數：**AFCI 額定電壓、AFCI 額定電流、導體長度及導體線徑。

**測試 1：**測試 AFCI 在發生串聯及並聯電弧時，電弧故障斷路器能否及時跳脫切斷電源，以防止電弧的高溫引燃週遭可燃物質，造成火災意外的發生。

**測試 2：**測試 AFCI 在無電弧事故或正常電弧狀態是否會發生不需要的跳脫 (Unwanted Tripping) 之誤動作，包括：

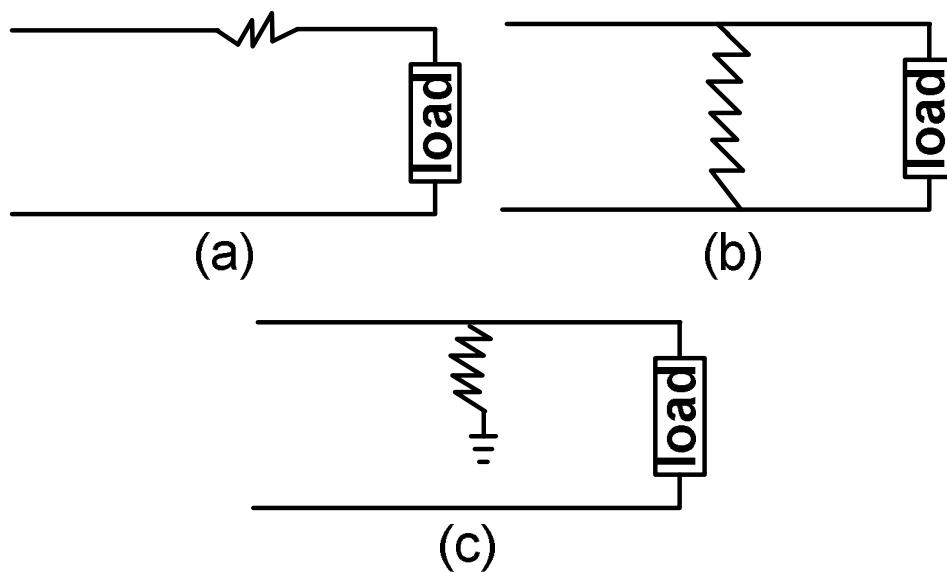
- (1)正常電弧(Normal Arcing)測試：吸塵器的使用、電器插頭插拔、開關動作。
- (2)突波電流(Inrush Current)測試：啓動電動機，電感性負載。
- (3)非正弦波形(Non-sinusoidal Waveform)測試：電子安定器、切換式電源供應器。
- (4)其它負載測試：吹風機、電風扇、壓縮機。

- 4.整理結合型 AFCI 實驗結果，檢討動作特性與誤動作情況，以作為電弧故障斷路器於台灣工廠及居家配線系統適用與否的參考根據。
- 5.提出電弧故障斷路器使用特性、應用方式、應注意事項。
- 6.建置「電弧故障斷路器」選用技術指引。

## 第二章 電弧故障與電弧故障斷路器特性

### 第一節 電弧故障特性

UL1699 定義，電弧(Arcing)即為電流放電穿透絕緣物體所產生的電光，通常伴隨了部份的電極揮發。電弧是一種氣體放電現象，電流通過某些絕緣介質(例如空氣)所產生的瞬間火花而有高溫產生。一般低壓線路中電弧可分為兩種，一是正常操作下所產生的電弧，可稱為「好弧」，如插拔電器時所產生的電弧。另一種是故障電弧，又稱「壞弧」，線路上故障電弧又可分為串聯電弧和並聯電弧，如圖 1 所示，依故障情形又可分為串聯電弧、線對線電弧、及線對地電弧。圖 2 顯示串聯電弧及並聯電弧故障示意圖。圖 3 為一些常見引起電弧的原因。



(a)串聯電弧，(b)線對線電弧，(c)線對地電弧

圖 1 電弧故障種類



(a)串聯電弧故障

(b)並聯電弧故障

圖 2 串聯電弧及並聯電弧故障示意圖[12]

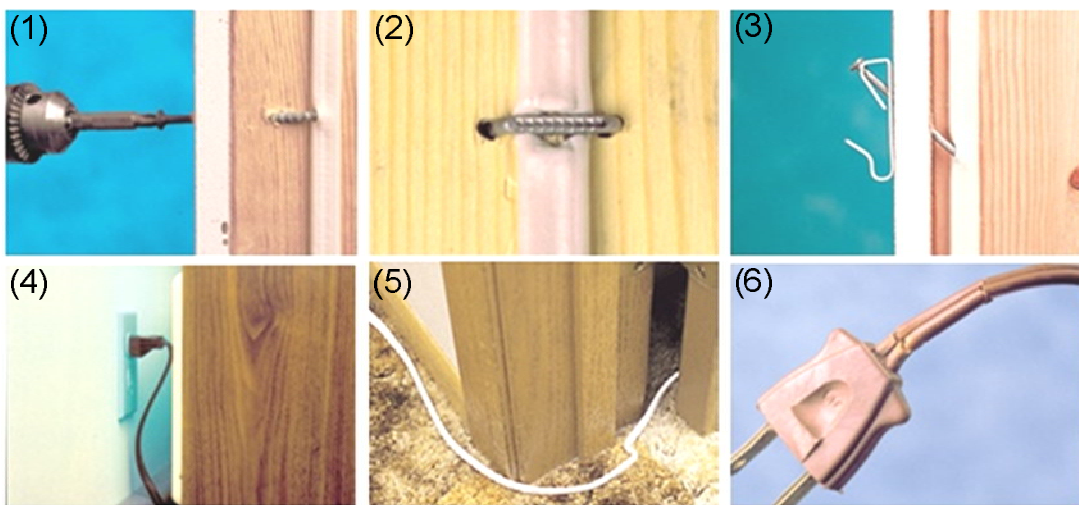


圖 3 一些常見引起電弧的原因[12]

圖3為一些常見引起電弧的原因，(1)、(2)、(3)為一般室內修繕配線時，容易發生的情況，將螺絲、釘針或鐵釘施工在牆上，可能會造成牆上的配線損壞，而引起串聯或並聯電弧。(4)、(5)、(6)則為人為不當使用或人為疏忽所造成電線的破損，也會產生串並聯的電弧。當上述情形發生，線路附近又有易燃物時，此時就很有可能釀起火災，造成不幸。

## 第二節 電弧故障斷路器特性

電弧故障斷路器(Arc-Fault Circuit Interrupter, AFCI)當偵測到電弧故障時，利用啓斷電路停止供電，免除電弧事故影響的一種裝置，以保護電路。一個正常工作的 AFCI 對正常電弧狀況，例如當開關開啓或插頭拔插於插座時的串聯電弧狀況是不會產生跳脫，但對「串並聯電弧」現象該有保護跳脫的作用。圖 4 為 AFCI 偵測電弧故障的示意圖，基本上需使用二個電流檢測單元。裝置設計是藉由內部電子電路持續監控獨特電弧的電壓與電流特性，AFCI 利用其特性檢測電弧的存在，減輕電弧故障的影響。

電弧檢測技術都有持續相關研究，當今 AFCI 產品通常利用了兩個方法來檢測電弧：

(1) Arc Signal Detection

(2) Ground-Fault Detection

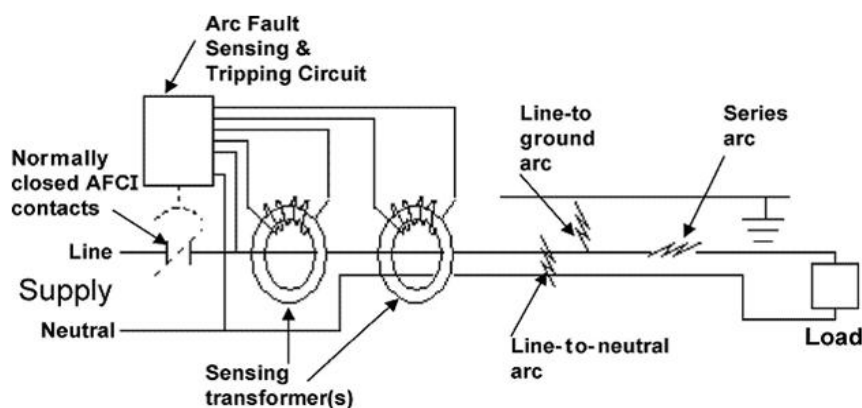


圖 4 AFCI 偵測電弧故障的示意圖[1]

UL1699 的標準，在 AC 線路上，當 AFCI 在 0.5 秒內察覺到 8 個一半週期的故障電弧，斷路器即執行啓斷，切斷 AC 線路。圖 5 為各廠家 AFCI 實品圖。

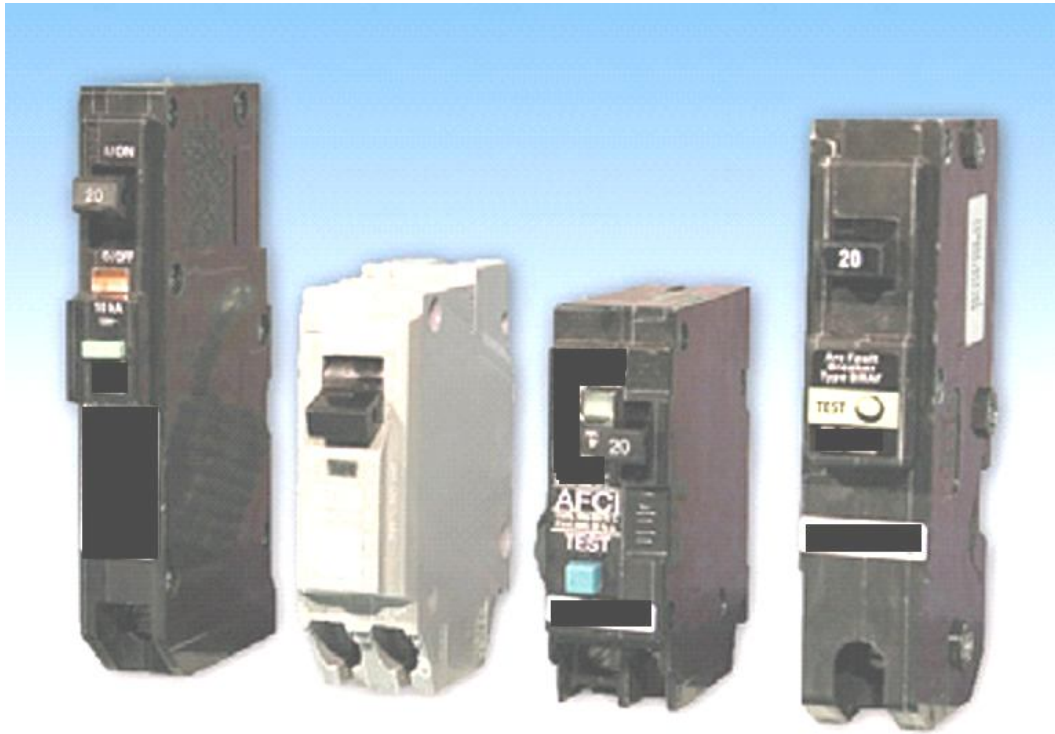


圖 5 各廠家 AFCI 實品圖[12]

本計畫所要採購的結合型(Combination)AFCI，能偵測串聯電弧與並聯電弧，且有漏電斷路器與過載保護作用，如表 1。

表 1 S 廠家 AFCI 功能

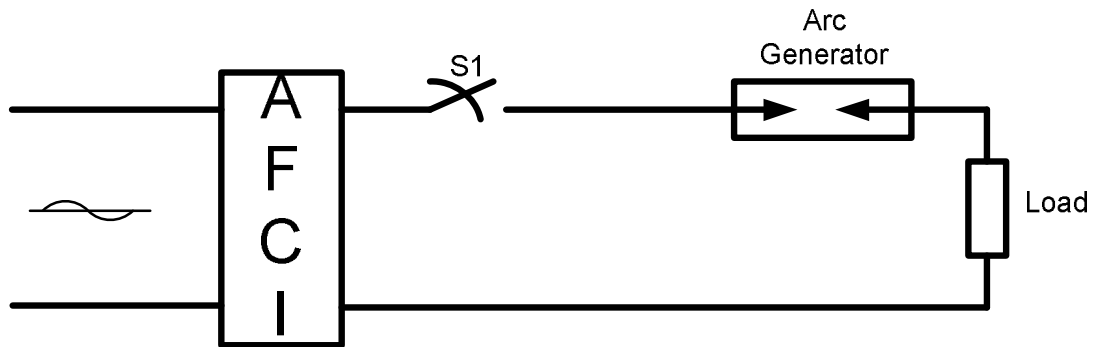
Arc Condition	Branch\Feeder	Outlet circuit	Combination
Line-to-neutral	Yes	Yes	Yes
Line-to-ground	Yes	Yes	Yes
Series arcing	No	Yes	Yes
Protects entire branch circuit*	Yes	No	Yes*

\*When located at the origin of the branch circuit.

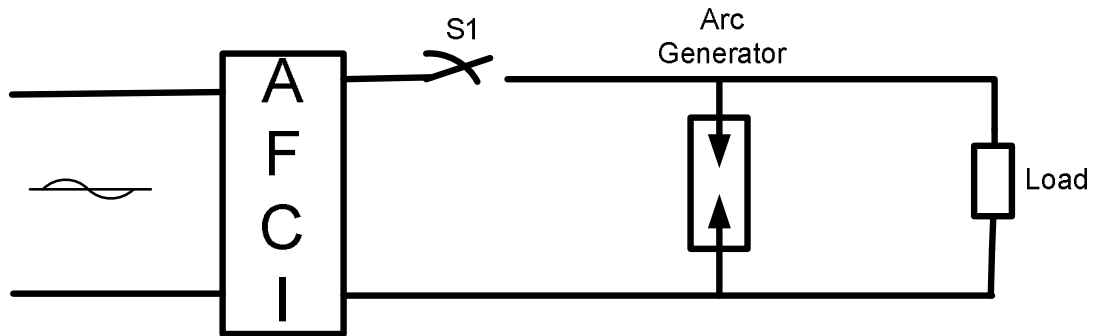
### 第三章 電弧故障斷路器測試方法

#### 第一節 測試方法

以人為方式產生串聯及並聯電弧，測試電弧故障斷路器的動作情形，如圖 6 所示。依電弧分類，檢測串聯電弧電路與並聯電弧電路之故障情形；在額定電壓、電流、導線長度或種類、及負載等當作變數下，組合出可能發生的電弧故障情況進行測試。並測試負載在正常操作下產生電弧，是否會有電弧故障斷路器的誤動作。



(a)串聯電弧故障測試電路



(b)並聯電弧故障測試電路

圖 6 串聯電弧故障與並聯電弧故障測試電路

## 一、串聯電弧故障

人為方式產生串聯電弧的方法，可參考 UL 或 Siemens 的方式，如圖 7 與圖 8 首先製造一台電弧產生機座，做出兩端電極，一端為固定電極，另一端做成可前後移動的電極，使其能移動靠近另一電極，進而產生電弧火花。如圖 7 為 UL 公司電弧機台與圖 8 為 Siemens 公司電弧機台。

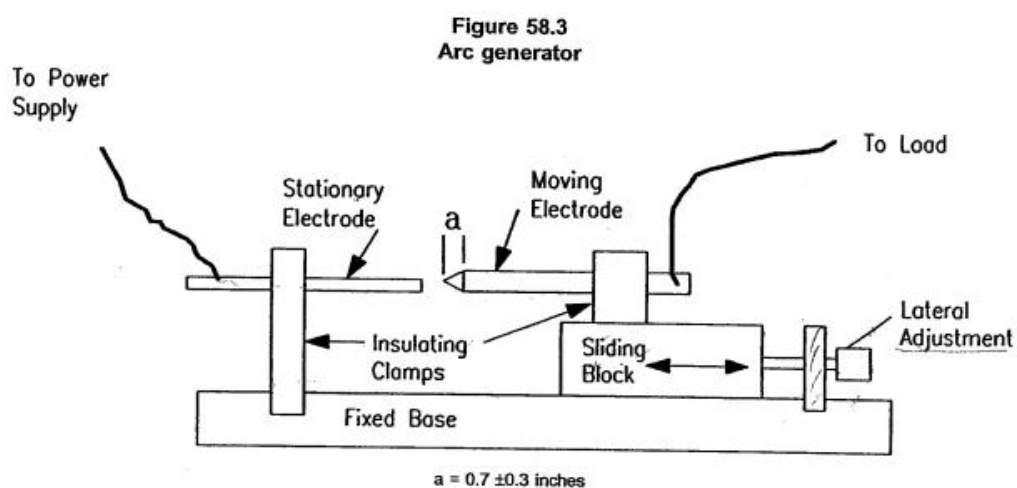


圖 7 UL 公司電弧產生機台[13]

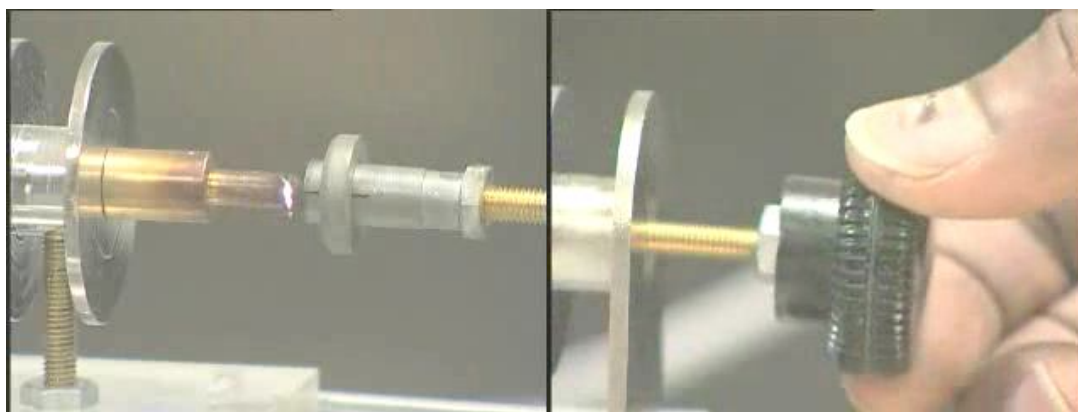
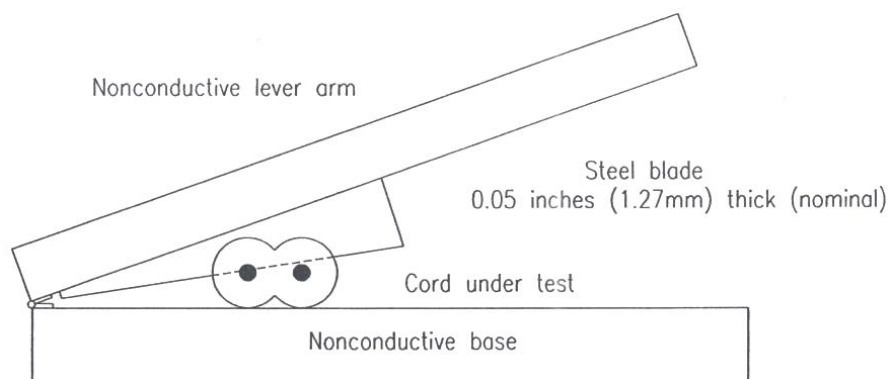


圖 8 Siemens 公司電弧產生機台[5]

## 二、並聯電弧故障

人為方法產生並聯電弧時，因並聯電弧電流較大，以串聯機台方式呈現可能較危險。在人為操作不危險的情況下，採取承受電流較大的、也頗為常見的裁紙機當作測試機台，如圖 9 所示。導線擺放在裁紙機上，將其剪斷，因裁紙刀是能導電的導體，裁斷瞬間就變成產生並聯電弧的電路，以此來達到人為並聯電弧故障的效果。



(a)UL 並聯電弧產生機台[13]



(b)裁紙機

圖 9 人為方式產生並聯電弧故障

## 三、考量不同配線方式、負載特性及濾波器之電路

進行測試時，需要再考量配線、負載、及濾波器電路特性，對 AFCI 動作之影響。測試以下電路特性是否會影響 AFCI 正常動作：



(1)如圖 10 長距離導線測試電路。

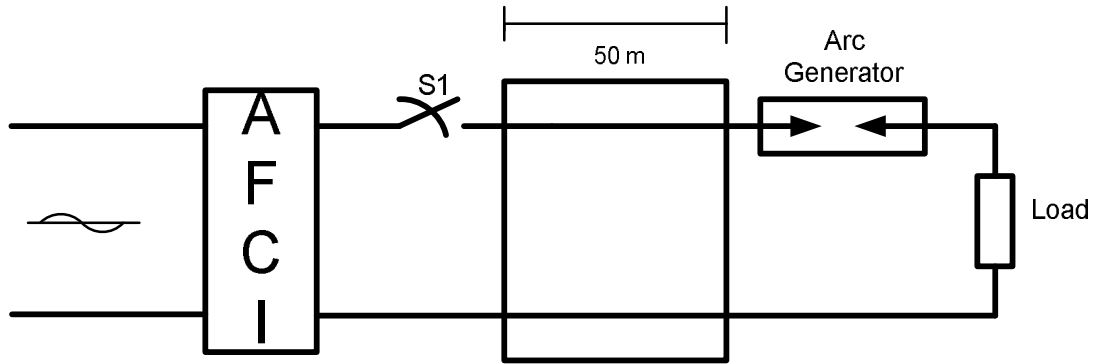


圖 10 串聯電弧故障（長距離導線測試電路）

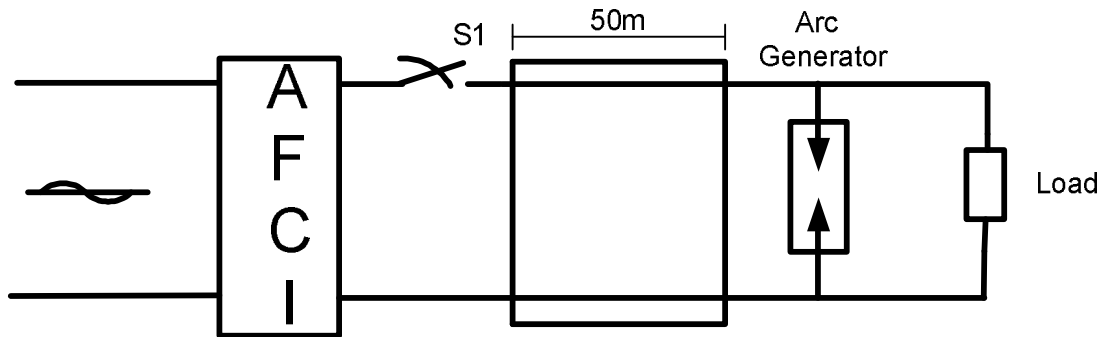


圖 11 並聯電弧故障（長距離導線測試電路）

(2)如圖 12 濾波器測試電路。

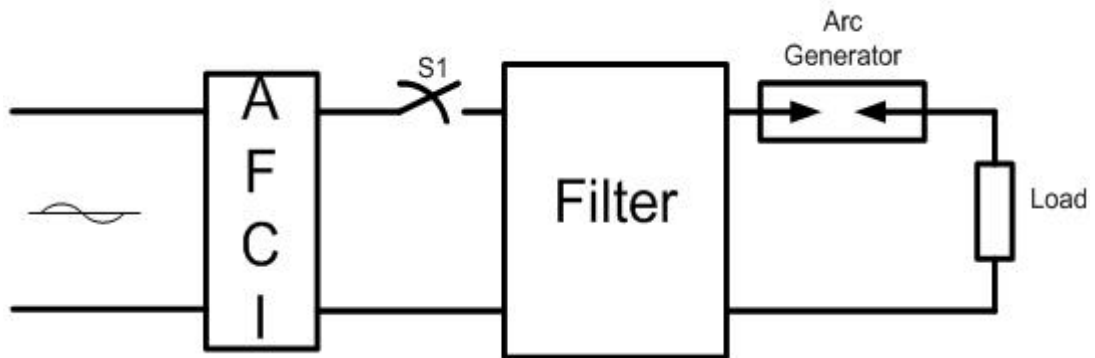


圖 12 濾波器測試電路

(3)如圖 13 導線彎曲測試電路。

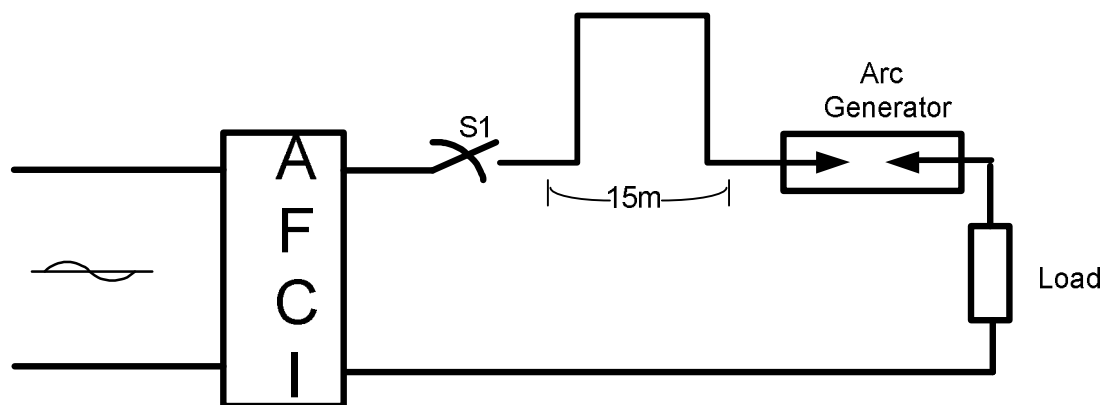


圖 13 串連電弧故障（導線彎曲測試電路）

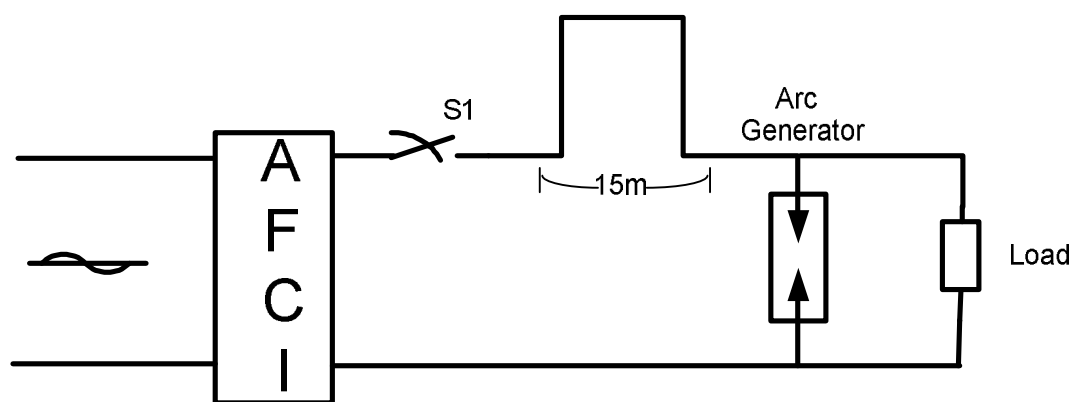
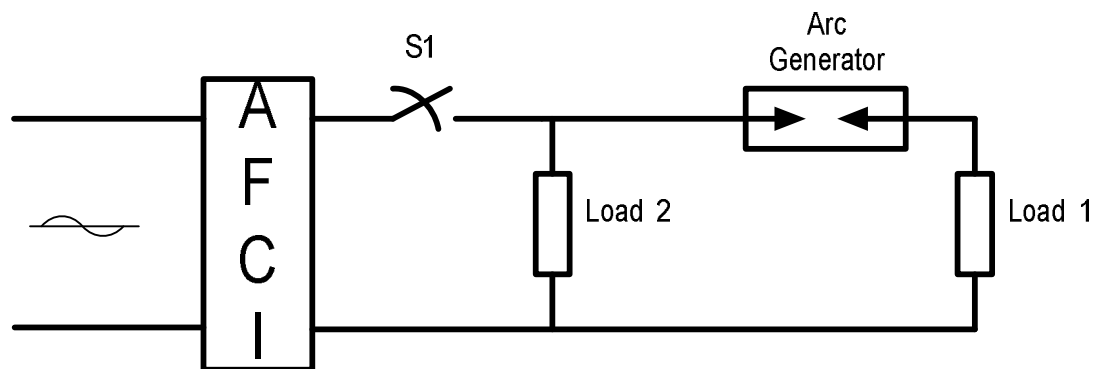


圖 14 並聯電弧故障（導線彎曲測試電路）

(4)如圖 15 混合負載測試電路。



(a)起弧點在 Load1 支路



(2)如圖 17 為電弧產生機台，產生人為電弧。

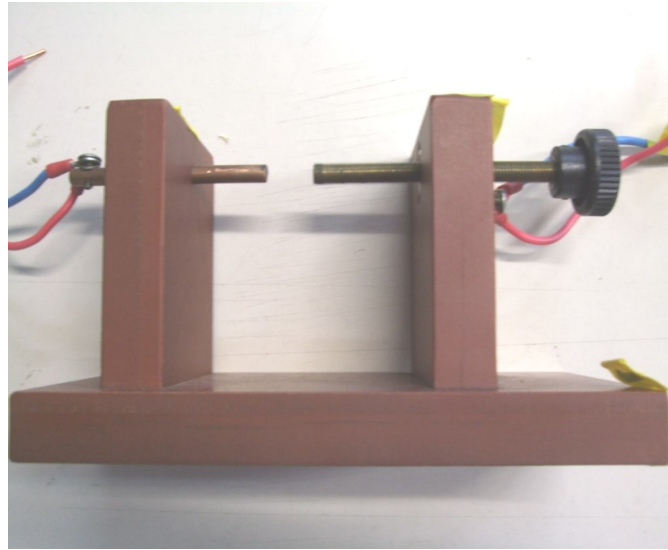


圖 17 電弧產生機台

(3)如圖 18 所示為電弧故障斷路器(AFCI)，本計畫所購買 AFCI 廠家是 S 廠家與 E 廠家之電弧故障斷路器，規格如表 2 與表 3。



(a)S 廠家 AFCI



(b)E 廠家 AFCI

圖 18 電弧故障斷路器

表 2 S 廠家電弧故障斷路器規格

AFCI 廠家 規格	S	
型式	Combination	
額定電壓	120 V	
額定電流	15 A	20 A
頻率	60 Hz	
啓斷容量	10 kA	

表 3 E 廠家電弧故障斷路器規格

AFCI 廠家 規格	E			
型式	Branch/Feeder		Combination	
額定電壓	120 V		120 V	
額定電流	15 A	20 A	15 A	20 A
頻率	60 Hz		60 Hz	
啓斷容量	10 kA		10 kA	

### 第三節 初期階段(預試)實驗

因本計畫為首次在國內進行的研究，在正式實驗前有一初期階段實驗，對 AFCI 做基本測試，掌握電弧產生的方法及 AFCI 動作的原理，再規劃出較完整試驗。

#### 一、串聯電弧故障初期實驗方法

(1) 如圖 19 路圖方式接線。因人為調控產生電弧，從外觀上不易查覺，須藉量測電弧電壓與線路上的電流以判別電弧產生，並一同觀察線路上 AFCI、負載電壓電流狀態。

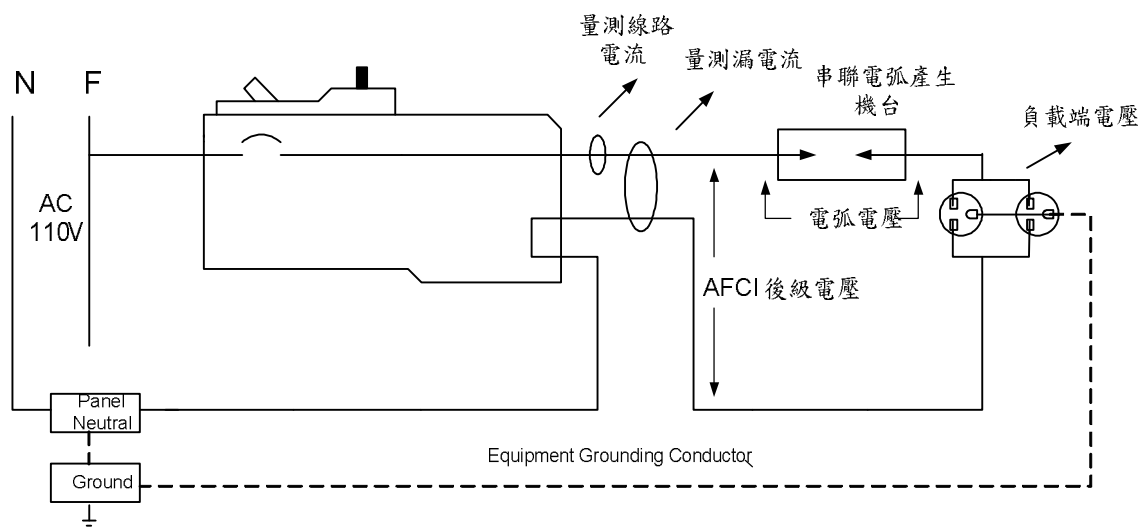


圖 19 串聯電弧故障實驗電路圖

(2) 圖 20 期串聯電弧故障實驗流程圖，圖中所示為串聯電弧故障完整試驗步驟。步驟開始先檢驗實驗電路，是否為正確無誤，避免人員傷害及實驗的準確性，再將電弧機台兩導體緊靠至使導通狀態，模擬線路中因事故或發生圖 3 之情況而起弧的情形，將實驗設備、器材啟動及做負載投入動作，再次確認電路無誤後投入 AFCI 與負載之間的 S1 開關，最後即操作電弧機台使之產生電弧，

再將結果記錄下來。

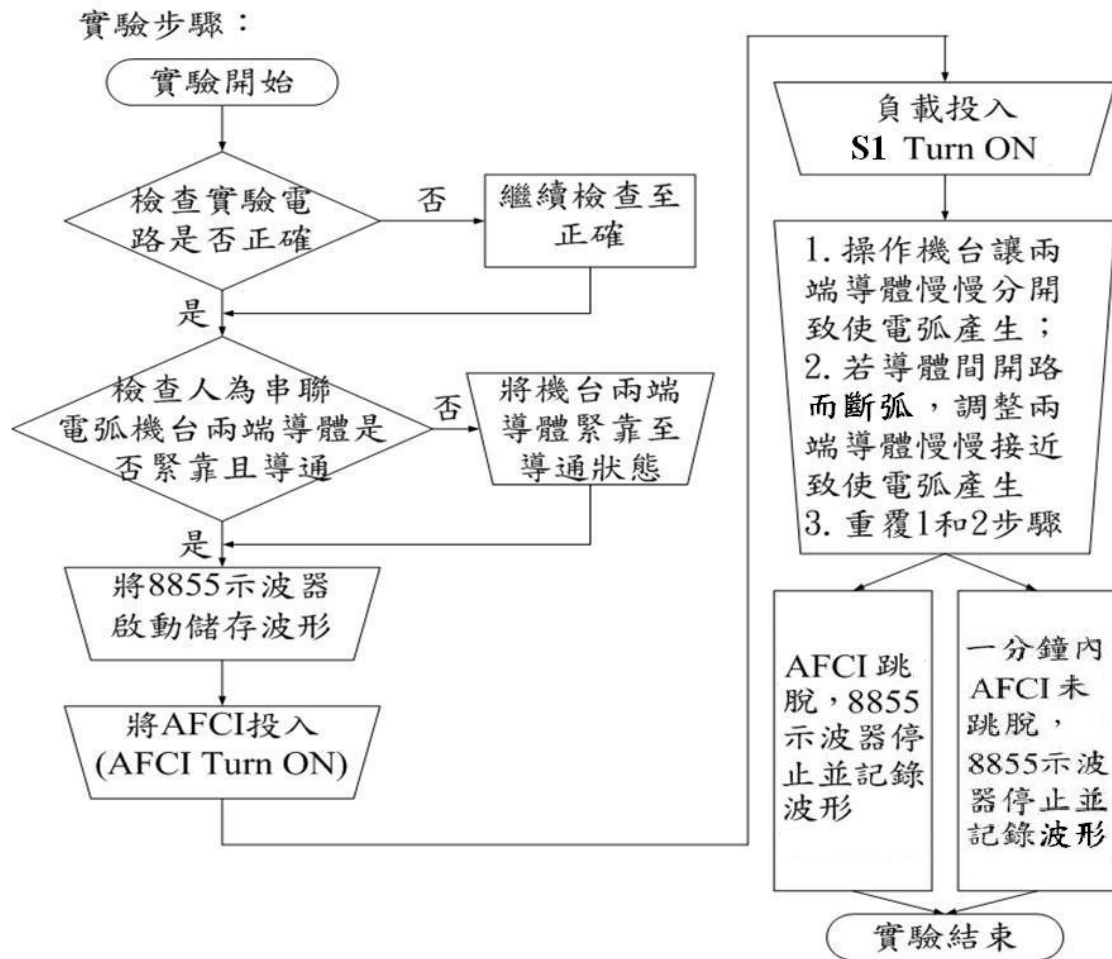


圖 20 初期串聯電弧故障實驗流程圖

(3)初期串聯電弧故障實驗結果：表 4 為初期串聯電弧故障實驗結果，取三種負載做實驗對象，分別為吹風機、電鍋及吸塵器(電阻性、電感性負載)，表中 AFCI 跳脫，表示成功產生人為電弧故障使 S 廠家與 E 廠家之 AFCI 動作切離電路。接下來將規劃一套有系統的實驗項目，進行試驗。

表 4 初期串聯電弧故障實驗結果

AFCI 跳脫 與否 負載	S 廠家		E 廠家	
	曾跳脫	從未跳脫	曾跳脫	從未跳脫
吹風機	■		■	
電鍋	■		■	
吸塵器	■		■	

二、並聯電弧故障初期實驗方法

(1)如圖 21 路圖方式接線。

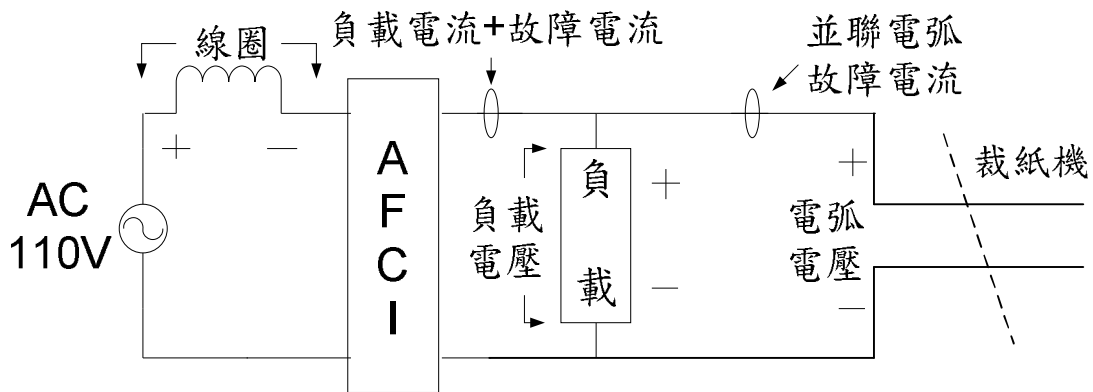


圖 21 並聯電弧故障實驗電路圖

圖 21 聯電弧故障實驗電路圖，圖中 AFCI 左側有一線圈，用意在於限制電路的故障暫態電流，因為是並聯電弧故障實驗，裁紙機在裁刀將兩端導體切入的同時，就電路上來看是一個低阻抗的短路電路，有高電流的危險，用線圈限制電流以策安全；初期並聯電弧故障實驗限制電流在 75 A(rms)。



(2)圖 22 期並聯電弧故障實驗流程圖，圖中所示為並聯電弧故障完整試驗步驟。

步驟開始先將裁紙機架設好並檢驗電路是否為正確無誤，避免人員傷害及實驗的準確性，此時裁紙機不導通狀態，再將實驗設備、器材啟動及做負載投入動作，再次確認電路無誤後投入 AFCI 與負載之間的 S1 開關，最後即操作裁紙機使之產生電弧，再將結果記錄下來。

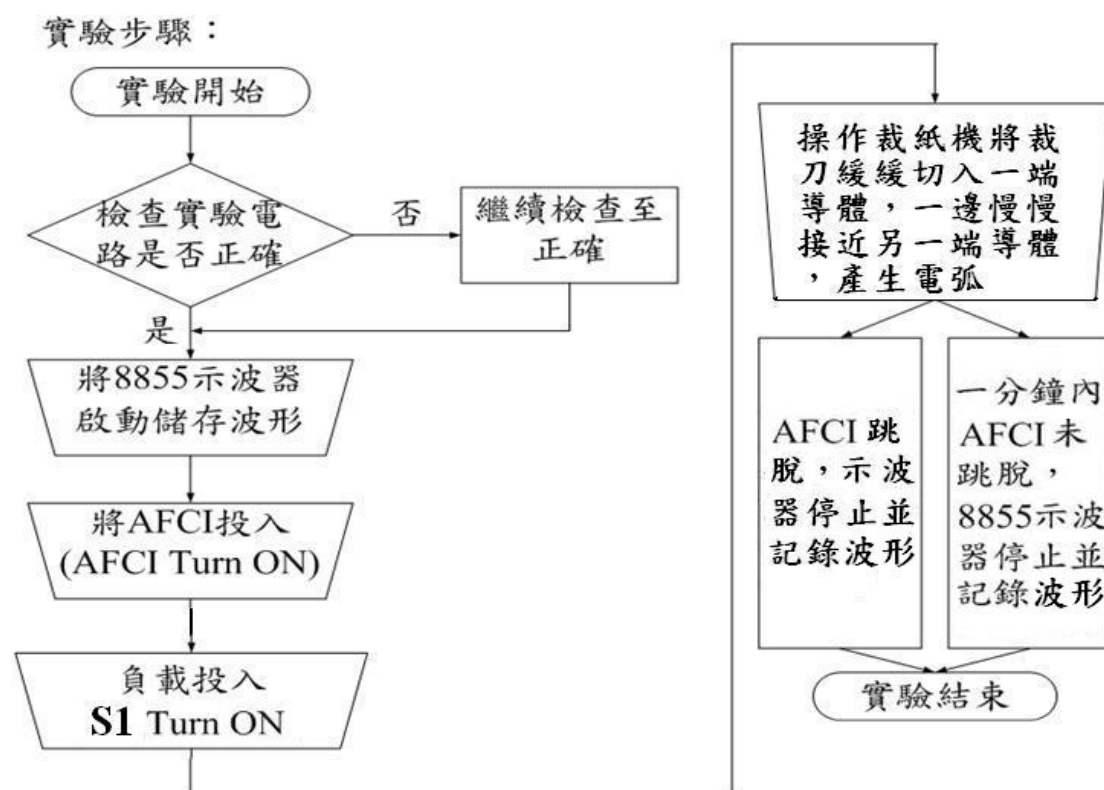


圖 22 初期並聯電弧故障實驗流程圖

(3)初期並聯電弧故障實驗結果：表 5 列舉實驗結果。使用裁紙機雖能實現並聯電弧實驗產生並聯故障電弧，AFCI 也有跳脫，但在實驗過程裡非常不易操作，較難以持續起弧；如換用電弧機台來實現並聯電弧故障實驗，AFCI 亦會跳脫，也比使用裁紙機上容易持續產生電弧，故本計畫採用電弧機台來做並聯電弧實驗。

表 5 初期並聯電弧故障實驗結果

AFCI 跳脫與否 電弧 故障 產生器 電流		S 廠家		E 廠家	
		曾跳脫	從未跳脫	曾跳脫	從未跳脫
裁紙機	75 A(rms)	■		■	
電弧機台	75 A(rms)	■		■	

#### 第四節 小結

據初期串聯電弧故障實驗結果，AFCI 能在發生電弧故障時跳脫。但在初期實驗中，過程瑣碎且實驗效率不佳；有鑑於此，保留原本實驗方法及流程，但實驗過程測試時間與實驗次數需謹慎的選取。在並聯電弧故障實驗為了實驗操作的方便性與持續起弧，選擇使用電弧產生機台來產生並聯電弧較合適。

因此原 1 分鐘測試時間改為 20 秒以提升實驗效率，及參考 UL 電弧故障實驗，重覆 5 次測試，且並聯實驗限制電流在 75 A 規定。

串並聯電弧故障實驗，實驗項目眾多繁雜，故制定實驗項目，如下：

##### (1)項目編號

在本實驗中制定實驗項目分成七階段，分別是 A、B、C、D、E、F、G。

A：正常用電下，量測負載電流特性。

B：測試不同負載條件及其發生好弧情況下，檢測 AFCI 是否會誤動作。

C：在不同負載特性下，產生人為串聯電弧故障，檢測 AFCI 動作。

D：在某些特殊的配線特性時，產生人為串聯電弧故障，檢測 AFCI 動作。

E：在混合負載的情況下，產生人爲串聯電弧故障，檢測 AFCI 動作。

F：在不同負載特性下，產生人爲並聯電弧故障，檢測 AFCI 動作。

G：在某些特殊的配線特性時，產生人爲並聯電弧故障，檢測 AFCI 動作。

## (2) 實驗編號

圖 23 爲實驗項目：

a：代碼左邊第一位，代表各實驗階段，A~G。

b：代碼左邊第二、三位，代表各種負載，01~16。

c：代碼左邊第四位，代表各個 AFCI，0~4。

d：代碼最後兩位，代表各項實驗，00~16。

註：詳細請查詢表 6 實驗項目表。

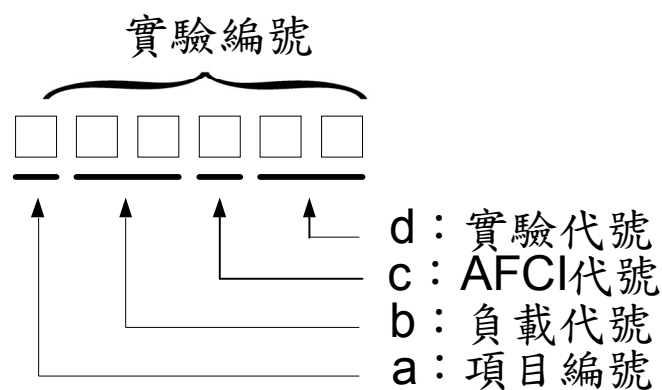


圖 23 實驗項目

(3)實驗項目說明

表 6 實驗項目表

	代號	說明
a：項目編號	A	在正常用電下，負載特性量測
	B	各種負載特性與好弧情況下，檢測 AFCI 是否會誤動作
	C	在不同負載特性下，產生人爲串聯電弧故障，檢測 AFCI 動作
	D	AFCI 在某些較特殊的配線時，產生人爲串聯電弧故障，檢測 AFCI 動作
	E	在混合負載的情況，產生人爲串聯電弧故障，檢測 AFCI 動作
	F	在不同負載特性下，產生人爲並聯電弧故障，檢測 AFCI 動作
	G	AFCI 在某些較特殊的配線時，產生人爲並聯電弧故障，檢測 AFCI 動作

表 6 實驗項目表(續 1)

	代號	說明	
實驗代號	b: 負載代號	01	吹風機
		02	風扇
		03	電鍋
		04	電鑽
		05	吸塵器
		06	電冰箱(壓縮機)
		07	空壓機(馬達)
		08	電腦(電源供應器)
		09	日光燈(電子安定器)
		10	混合負載：電鍋(Load 1)+吸塵器(Load 2)
		11	混合負載：電鍋(Load 1)+日光燈(Load 2)
		12	混合負載：吸塵器(Load 1)+日光燈(Load 2)
		13	電暖器
		14	風扇+電阻
		15	電腦(電源供應器)+電阻
		16	日光燈(電子安定器)+電阻
實驗代號	c: AFCI 代號	0	無使用 AFCI
		1	使用 S 廠家 120 V/15 A 規格 AFCI
		2	使用 S 廠家 120 V/20 A 規格 AFCI
		3	使用 E 廠家 120 V/15 A 規格 AFCI
		4	使用 E 廠家 120 V/20 A 規格 AFCI
實驗代號	d: 實驗代號	00	在正常用電下，量測負載特性
		01	試驗各負載特性，檢測 AFCI 是否誤動作
		02	試驗在產生好弧：負載開關的啓閉，檢測 AFCI 動作情況
		03	試驗在產生好弧：負載插頭的拔插，檢測 AFCI 動作情況
		04	試驗在不同負載特性下，產生人為串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		05	試驗在線路中加入一段 50 公尺長距離的導線(線徑採 1.6mm)，產生人為串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		06	試驗在線路中加入一段 50 公尺長距離的導線(線徑採 2.0mm)，產生人為串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況

表 6 實驗項目表(續 2)

		代號	說明
實 驗 代 號	d: 實驗代號	07	試驗在線路中加入一段 50 公尺長距離的導線(線徑採用 2.0mm <sup>2</sup> )，產生人爲串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		08	試驗在線路中加入一段 50 公尺長距離的導線(線徑採用 3.5mm <sup>2</sup> )，產生人爲串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		09	試驗在線路中加入濾波器，產生人爲串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		10	試驗在線路中使導線彎曲，產生人爲串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		11	試驗在混合負載線路，產生人爲串聯電弧故障在 Load 1 線路，以檢測 AFCI 動作情況
		12	試驗在混合負載線路，產生人爲串聯電弧故障在 Load 2 線路，以檢測 AFCI 動作情況
		13	試驗在不同負載特性下，產生人爲並聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		14	試驗在線路中加入一段 50 公尺長距離的導線(線徑採用 2.0mm)，產生人爲並聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		15	試驗在線路中加入一段 50 公尺長距離的導線(線徑採用 3.5mm <sup>2</sup> )，產生人爲並聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況
		16	試驗在線路中使導線彎曲，產生人爲並聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作情況

例：A01000，A 階段實驗中，量測負載吹風機在正常用電下的特性。

## 第四章 串聯電弧故障測試

### 第一節 A 階段實驗

在正常用電下，將 AFCI 與電弧機台旁路(By pass)，測量負載特性，記錄正常負載波形。表 7 為 A 階段實驗項目，其中取具代表性的三種負載特性，分別為電感性、電阻性及電子電路控制的負載，其波形如圖 24、圖 25、圖 26 所示。

圖 24 正常用電下電鑽負載，為電感性的負載電流波形，在一開始投入時，有較大的起動電流，起動電流最大可達到 32.15 A，穩態電流有效值約為 2.7 A。圖 25 電鍋在正常用電下電流波形，其為電阻性負載，有效值約為 5.4 A，電鍋與電鑽明顯不同的是負載投入時，並無一較大的起動電流，保持固定的弦波。圖 26 子安定器日光燈負載，呈現非弦波的三角波形，且有 Shoulder 現象，其內部電子電路使然，而其有效值約為 1.3 A。

表 7 A 階段實驗項目

實驗項目	負載名稱	電流有效值
A01000	吹風機	8.1 A(rms)
A02000	風扇	0.6 A(rms)
A03000	電鍋	5.4 A(rms)
A04000	電鑽	2.7 A(rms)
A05000	吸塵器	5.2 A(rms)
A06000	電冰箱(壓縮機)	1.7 A(rms)
A07000	空壓機(馬達)	8.4 A(rms)
A08000	電腦(電源供應器)	1.1 A(rms)
A09000	日光燈(電子安定器)	1.3 A(rms)
A13000	電暖器	6.9 A(rms)
A14000	風扇+電阻	5.5 A(rms)
A15000	電腦(電源供應器)+電阻	5.5 A(rms)
A16000	日光燈(電子安定器)+電阻	5.5 A(rms)

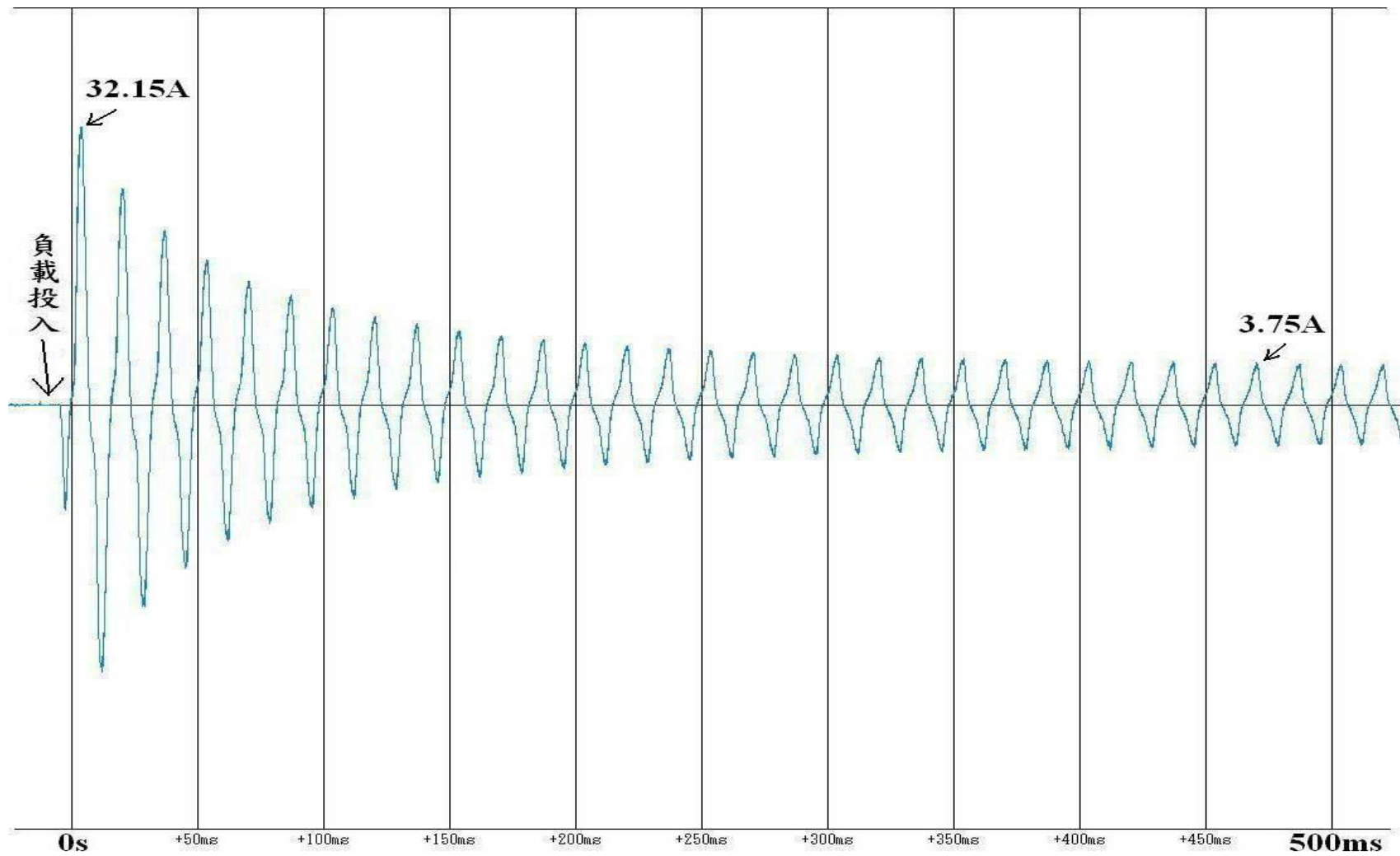


圖 24 A 階段實驗電鑽負載電流(A04000)



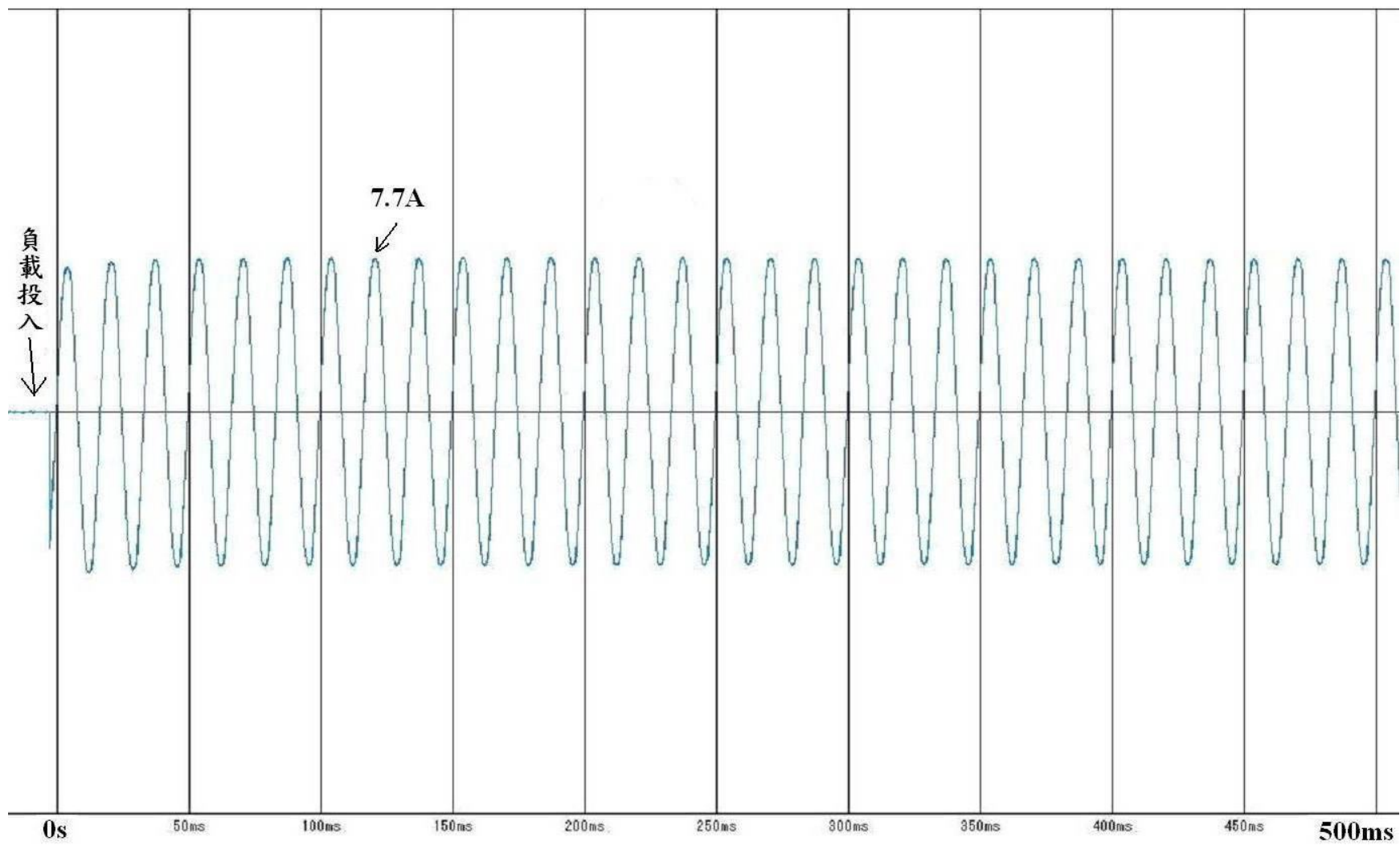


圖 25 A 階段實驗電鍋負載電流(A03000)

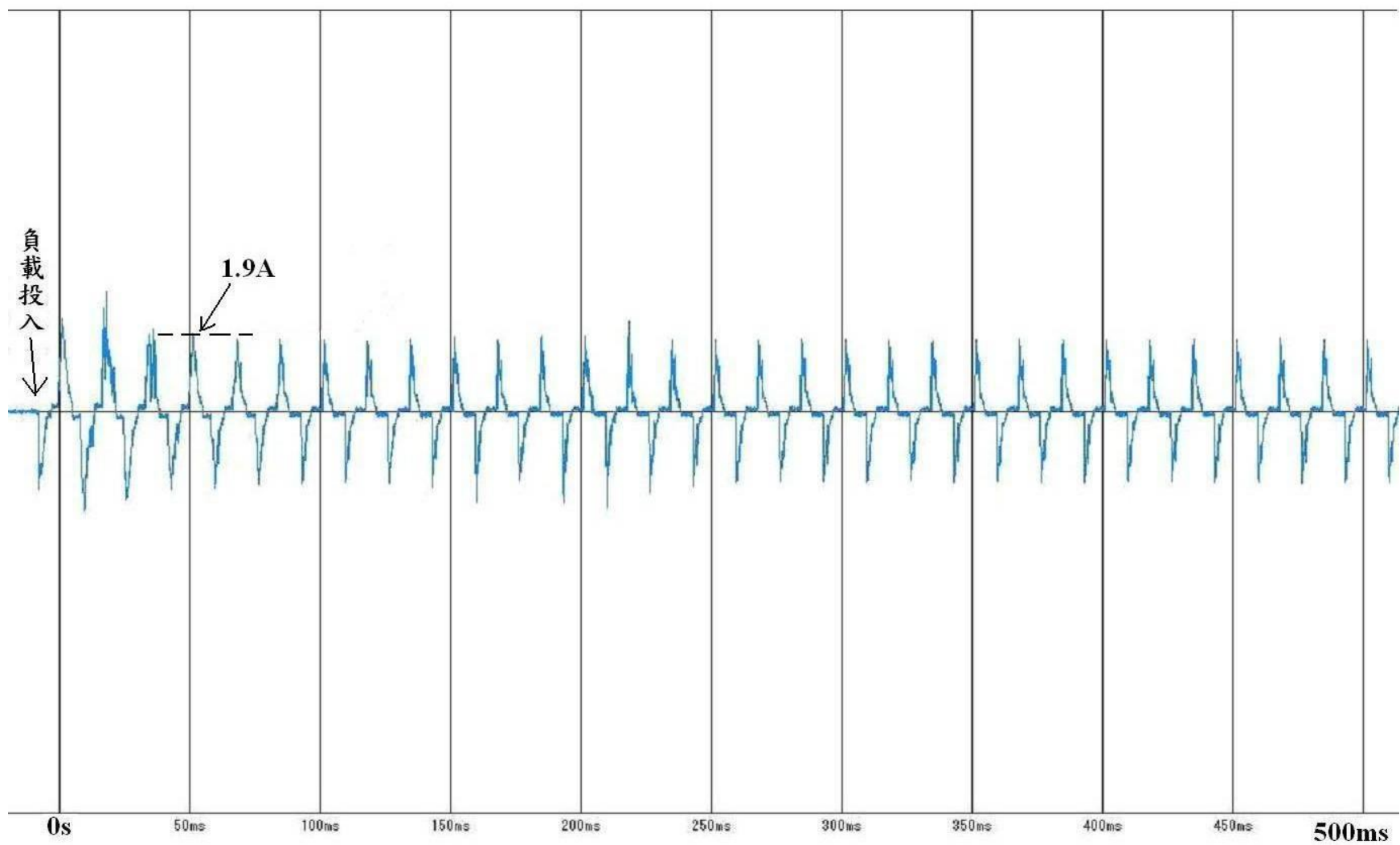


圖 26 A 階段實驗電子安定器日光燈負載電流(A09000)

## 第二節 B 階段實驗

測試各種負載在正常操作下產生電弧、突波電流及非弦波電流條件下試驗，AFCI 會不會誤動作。此階段試驗加入 AFCI，並旁路電弧機台，對負載開關重覆地做啓閉動作，及將負載插頭反覆插拔，測試 AFCI 是否會跳脫。表 8 為實驗項目及結果，表中除了 S 廠家 120 V/15 A 規格之吹風機負載於開關啓閉時，AFCI 有 2 次跳脫紀錄，其於各項負載皆不會使 AFCI 跳脫。若不分 AFCI 廠牌，此次實驗中，總跳脫次數 2 次，佔總實驗次數 500 次之 0.4%；試驗中的 S 廠家之 AFCI 跳脫次數 2 次，其跳脫百分比為 0.8%；E 廠家則為 0%。

圖 27 與圖 28 所示為吹風機負載在開關啓閉時 AFCI 跳脫與不跳脫之電流，兩圖波形看似相同卻有不同結果，值得探討原因。

表 8 B 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
B01101	S 廠家 120 V/15 A	吹風機	負載特性	0/5
B01102			開關啓閉	2/5
B01103			插頭拔插	0/5
B02101		風扇	負載特性	0/5
B02102			開關啓閉	0/5
B02103			插頭拔插	0/5
B03101		電鍋	負載特性	0/5
B03103			插頭拔插	0/5
B04101		電鑽	負載特性	0/5
B04102			開關啓閉	0/5
B04103			插頭拔插	0/5
B05101		吸塵器	負載特性	0/5
B05102			開關啓閉	0/5
B05103			插頭拔插	0/5
B06101		電冰箱(壓縮機)	負載特性	0/5
B06103			插頭拔插	0/5
B07101		空壓機(馬達)	負載特性	0/5
B07103			插頭拔插	0/5
B08101		電腦(電源供應器)	負載特性	0/5
B08103			插頭拔插	0/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 8 B 階段實驗項目及結果(續 1)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
B09101	S 廠家 120 V/15 A	日光燈(電子安定器)	負載特性	0/5
B09102			開關啓閉	0/5
B13101		電暖器	負載特性	0/5
B13102	開關啓閉		0/5	
B13103	插頭拔插		0/5	
B01201	S 廠家 120 V/20 A	吹風機	負載特性	0/5
B01202			開關啓閉	0/5
B01203			插頭拔插	0/5
B02201	風扇		負載特性	0/5
B02202			開關啓閉	0/5
B02203			插頭拔插	0/5
B03201	電鍋		負載特性	0/5
B03203			插頭拔插	0/5
B04201	電鑽		負載特性	0/5
B04202			開關啓閉	0/5
B04203			插頭拔插	0/5
B05201	吸塵器		負載特性	0/5
B05202			開關啓閉	0/5
B05203			插頭拔插	0/5
B06201	電冰箱(壓縮機)		負載特性	0/5
B06203			插頭拔插	0/5
B07201	空壓機(馬達)		負載特性	0/5
B07203			插頭拔插	0/5
B08201	電腦(電源供應器)		負載特性	0/5
B08203			插頭拔插	0/5
B09201	日光燈(電子安定器)		負載特性	0/5
B09202			開關啓閉	0/5
B13201	電暖器		負載特性	0/5
B13202			開關啓閉	0/5
B13203			插頭拔插	0/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 8 B 階段實驗項目及結果(續 2)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
B01301	E 廠家 120 V/15 A	吹風機	負載特性	0/5
B01302			開關啓閉	0/5
B01303			插頭拔插	0/5
B02301		風扇	負載特性	0/5
B02302			開關啓閉	0/5
B02303			插頭拔插	0/5
B03301		電鍋	負載特性	0/5
B03303			插頭拔插	0/5
B04301		電鑽	負載特性	0/5
B04302			開關啓閉	0/5
B04303			插頭拔插	0/5
B05301		吸塵器	負載特性	0/5
B05302			開關啓閉	0/5
B05303			插頭拔插	0/5
B06301		電冰箱(壓縮機)	負載特性	0/5
B06303			插頭拔插	0/5
B07301		空壓機(馬達)	負載特性	0/5
B07303			插頭拔插	0/5
B08301		電腦(電源供應器)	負載特性	0/5
B08303			插頭拔插	0/5
B09301		日光燈(電子安定器)	負載特性	0/5
B09302	開關啓閉		0/5	
B13201	電暖器	負載特性	0/5	
B13202		開關啓閉	0/5	
B13203		插頭拔插	0/5	

(跳脫次數/實驗次數)

表 8 B 階段實驗項目及結果(續 3)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
B01401	E 廠家 120 V/20 A	吹風機	負載特性	0/5
B01402			開關啓閉	0/5
B01403			插頭拔插	0/5
B02401		風扇	負載特性	0/5
B02402			開關啓閉	0/5
B02403			插頭拔插	0/5
B03401		電鍋	負載特性	0/5
B03403			插頭拔插	0/5
B04401		電鑽	負載特性	0/5
B04402			開關啓閉	0/5
B04403			插頭拔插	0/5
B05401		吸塵器	負載特性	0/5
B05402			開關啓閉	0/5
B05403			插頭拔插	0/5
B06401		電冰箱(壓縮機)	負載特性	0/5
B06403			插頭拔插	0/5
B07401		空壓機(馬達)	負載特性	0/5
B07403			插頭拔插	0/5
B08401		電腦(電源供應器)	負載特性	0/5
B08403			插頭拔插	0/5
B09401		日光燈(電子安定器)	負載特性	0/5
B09402	開關啓閉		0/5	
B13201	電暖器	負載特性	0/5	
B13202		開關啓閉	0/5	
B13203		插頭拔插	0/5	

(跳脫次數/實驗次數)

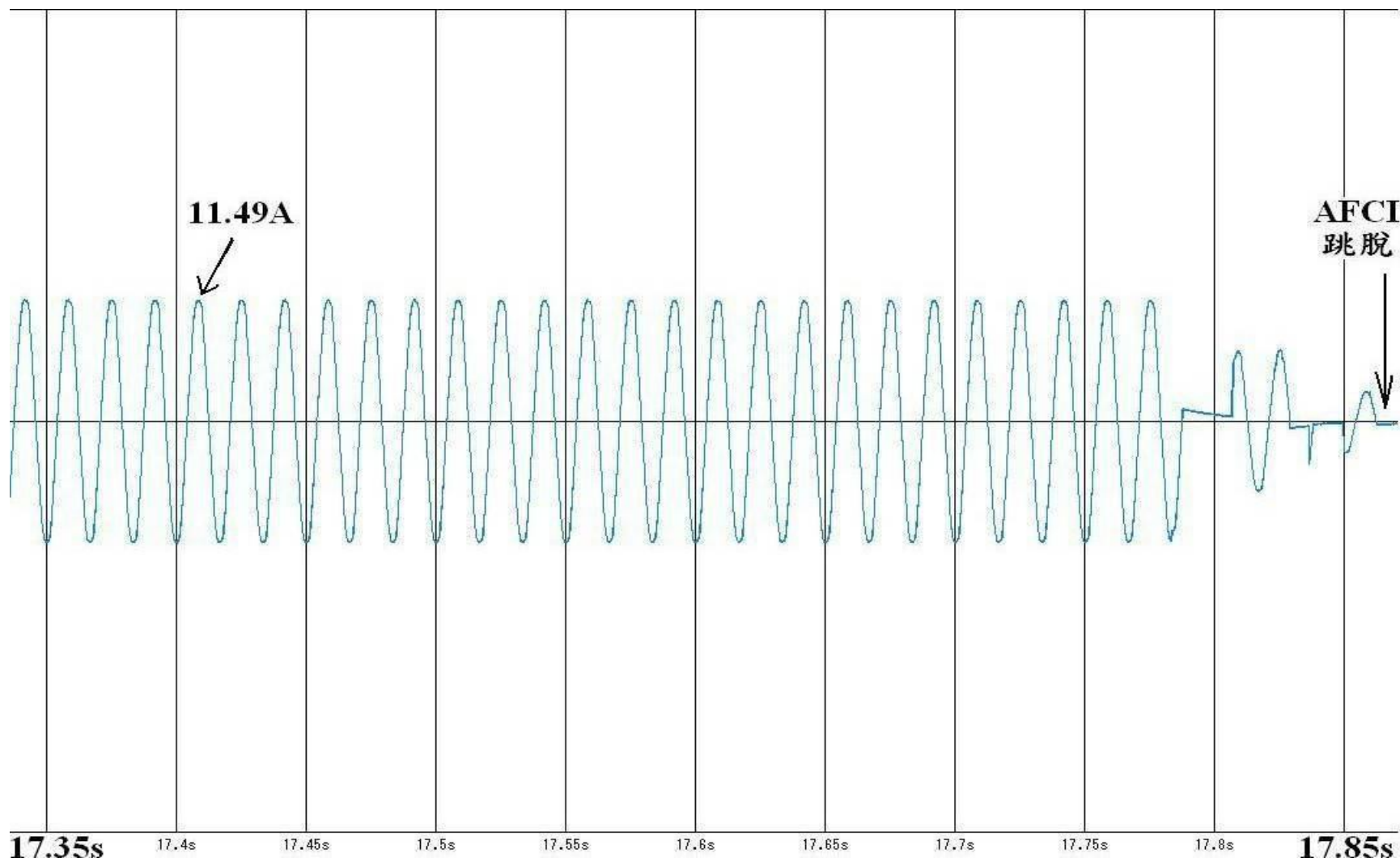


圖 27 B 階段實驗吹風機負載電流(S 廠家 AFCI 跳脫)(B01102)

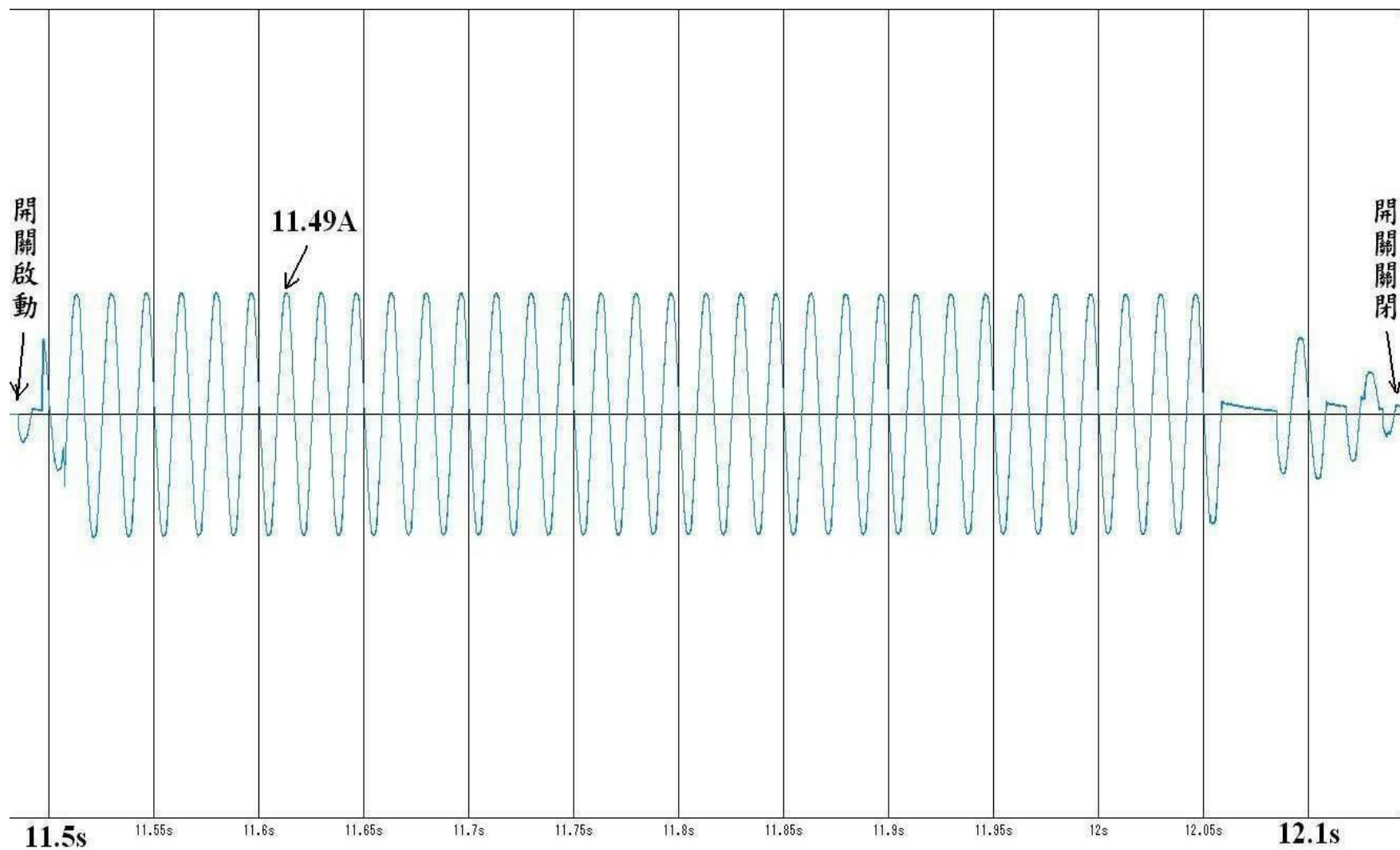


圖 28 B 階段實驗吹風機負載電流(S 廠家 AFCI 未跳脫) (B01102)



### 第三節 C 階段實驗

此實驗加 AFCI 及串聯電弧機台於負載回路，以測試 AFCI 在人為產生串聯電弧故障下，是否會動作。表 9 為實驗項目及結果，其中 S 廠家在發生串聯電弧故障時，發生跳脫的情形大多在使用電鍋與電鑽負載。而 E 廠家在發生串聯電弧故障時，使用電鍋、電鑽、電冰箱與空壓機負載時會跳脫情形外，其餘則是沒有跳脫與極少跳脫。

若不分 AFCI 廠牌，在實驗中，總跳脫次數 84 次，佔總實驗次數 200 次之 42%；在表中標示著\*部份，代表將未達到 5 A 且 AFCI 從未跳脫過的負載，並上一電阻加至 5 A 以上，重新實驗，總跳脫次數 105 次，取代原負載重新計算 AFCI 跳脫百分比為 52.5%。取代後試驗中的 S 廠家之 AFCI 總跳脫次數 34 次，跳脫百分比為 34%；E 廠家之 AFCI 總跳脫次數 71 次，跳脫百分比為 71%。

圖 29 與圖 30 是採用 E 廠家之 AFCI，電鑽與電鍋負載時，起弧跳脫之負載電流與電弧電壓波形。採用 E 廠家之 AFCI 時，皆持續起弧一段時間才跳脫，而採用 S 廠家持續起弧時間較短，就能夠使 AFCI 跳脫。圖 31 與圖 32 分別是 S 廠家之 AFCI，電鑽與電鍋負載，起弧時跳脫之負載電流與電弧電壓。

並非每次起弧一段時間皆可達到 AFCI 的跳脫條件，如圖 33 與圖 34，在電鍋負載下，持續起弧了一段時間，AFCI 卻仍然未跳脫。此處可知 AFCI 跳脫，應仍有其他條件存在，須進一步探討。圖 35 與圖 36 為日光燈負載在起弧時 AFCI 跳脫與未跳脫情形，圖中可看到起弧時的波形非規則性變化，似乎有高頻成份存在。

表 9 C 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
C01104	S 廠家 120 V/15 A	吹風機	串聯電弧故障	0/5
C02104		風扇	串聯電弧故障	0/5
C03104		電鍋	串聯電弧故障	4/5
C04104		電鑽	串聯電弧故障	5/5
C05104		吸塵器	串聯電弧故障	0/5
C06104		電冰箱(壓縮機)	串聯電弧故障	0/5
C07104		空壓機(馬達)	串聯電弧故障	0/5
C08104		電腦(電源供應器)	串聯電弧故障	0/5
C09104		日光燈(電子安定器)	串聯電弧故障	3/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 9 C 階段實驗項目及結果(續 1)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形	
C13104	S 廠家 120 V/15 A	電暖器	串聯電弧故障	5/5	
C14104		風扇+電阻	串聯電弧故障	2/5*	
C15104		電腦+電阻	串聯電弧故障	1/5*	
C01204	S 廠家 120 V/20 A	吹風機	串聯電弧故障	0/5	
C02204		風扇	串聯電弧故障	0/5	
C03204		電鍋	串聯電弧故障	2/5	
C04204		電鑽	串聯電弧故障	3/5	
C05204		吸塵器	串聯電弧故障	0/5	
C06204		電冰箱(壓縮機)	串聯電弧故障	0/5	
C07204		空壓機(馬達)	串聯電弧故障	0/5	
C08204		電腦(電源供應器)	串聯電弧故障	0/5	
C09204		日光燈(電子安定器)	串聯電弧故障	0/5	
C13204		電暖器	串聯電弧故障	5/5	
C14204		風扇+電阻	串聯電弧故障	2/5*	
C15204		電腦+電阻	串聯電弧故障	2/5*	
C01304		E 廠家	吹風機	串聯電弧故障	5/5
C02304		120 V/15 A	電鑽	串聯電弧故障	0/5
C03304			暖爐器	串聯電弧故障	0/5

C06304		電冰箱(壓縮機)	串聯電弧故障	5/5
C07304		空壓機(馬達)	串聯電弧故障	5/5
C08304		電腦(電源供應器)	串聯電弧故障	0/5
C09304		日光燈(電子安定器)	串聯電弧故障	0/5
C13304		電暖器	串聯電弧故障	5/5
C14304		風扇+電阻	串聯電弧故障	3/5*
C15304		電腦+電阻	串聯電弧故障	5/5*

(跳脫次數/實驗次數)

表 9 C 階段實驗項目及結果(續 2)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
C01404	E 廠家 120 V/20 A	吹風機	串聯電弧故障	5/5
C02404		風扇	串聯電弧故障	0/5
C03404		電鍋	串聯電弧故障	5/5
C04404		電鑽	串聯電弧故障	3/5
C05404		吸塵器	串聯電弧故障	0/5
C06404		電冰箱(壓縮機)	串聯電弧故障	5/5
C07404		空壓機(馬達)	串聯電弧故障	5/5
C08404		電腦(電源供應器)	串聯電弧故障	0/5
C09404		日光燈(電子安定器)	串聯電弧故障	0/5
C13404		電暖器	串聯電弧故障	4/5
C14404		風扇+電阻	串聯電弧故障	2/5*
C15404		電腦+電阻	串聯電弧故障	4/5*

(跳脫次數/實驗次數)

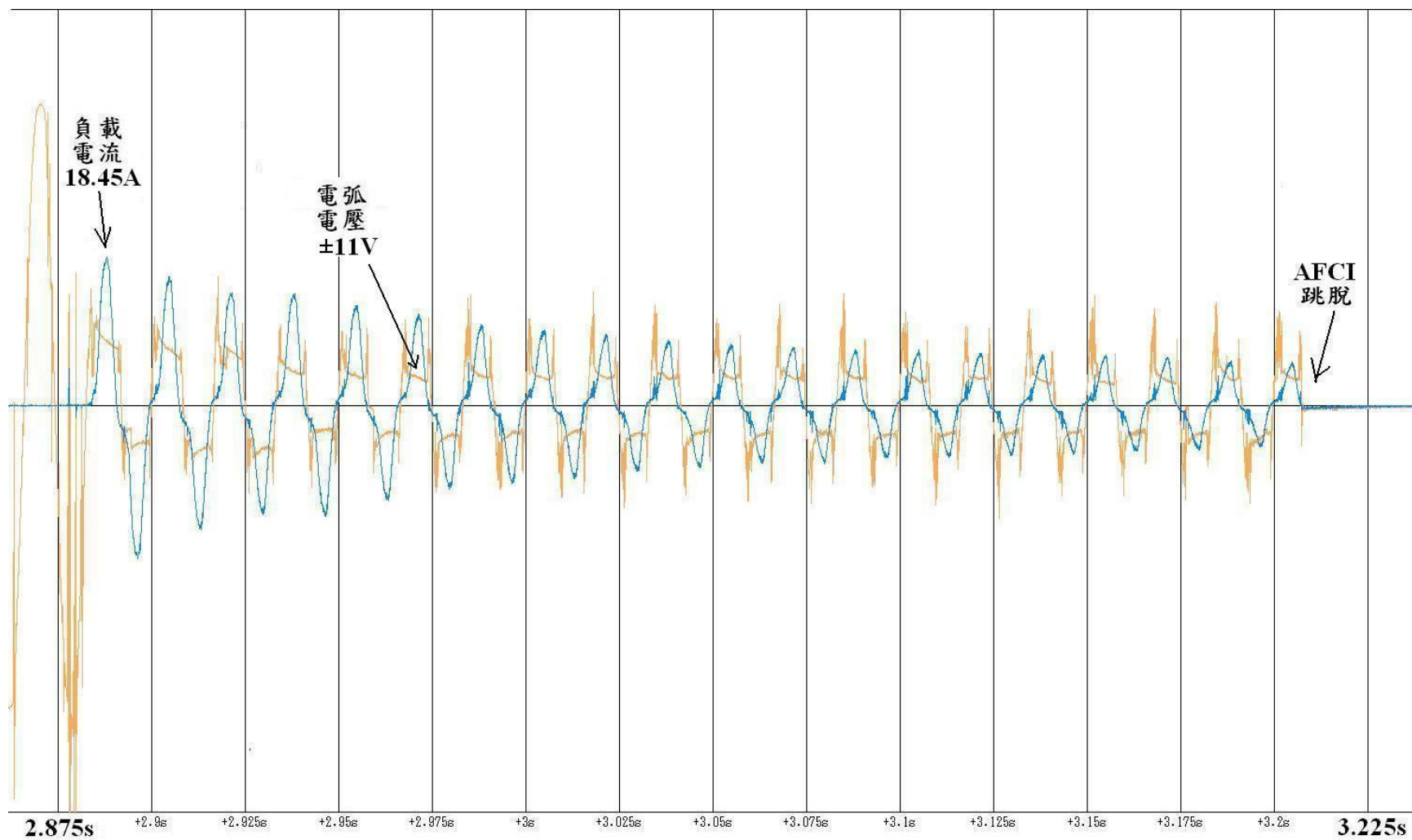


圖 29 C 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(C04304)

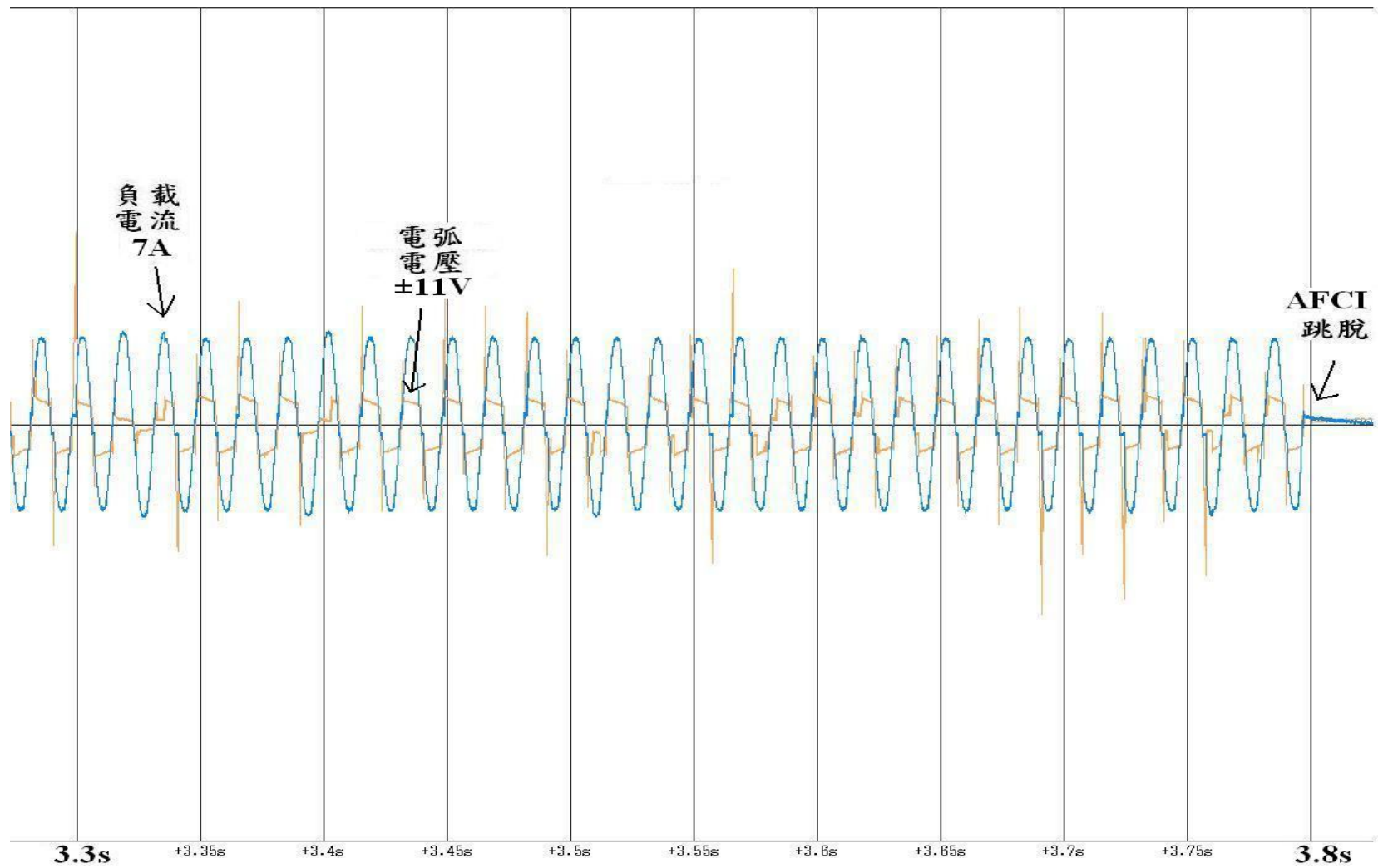


圖 30 C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(C03304)

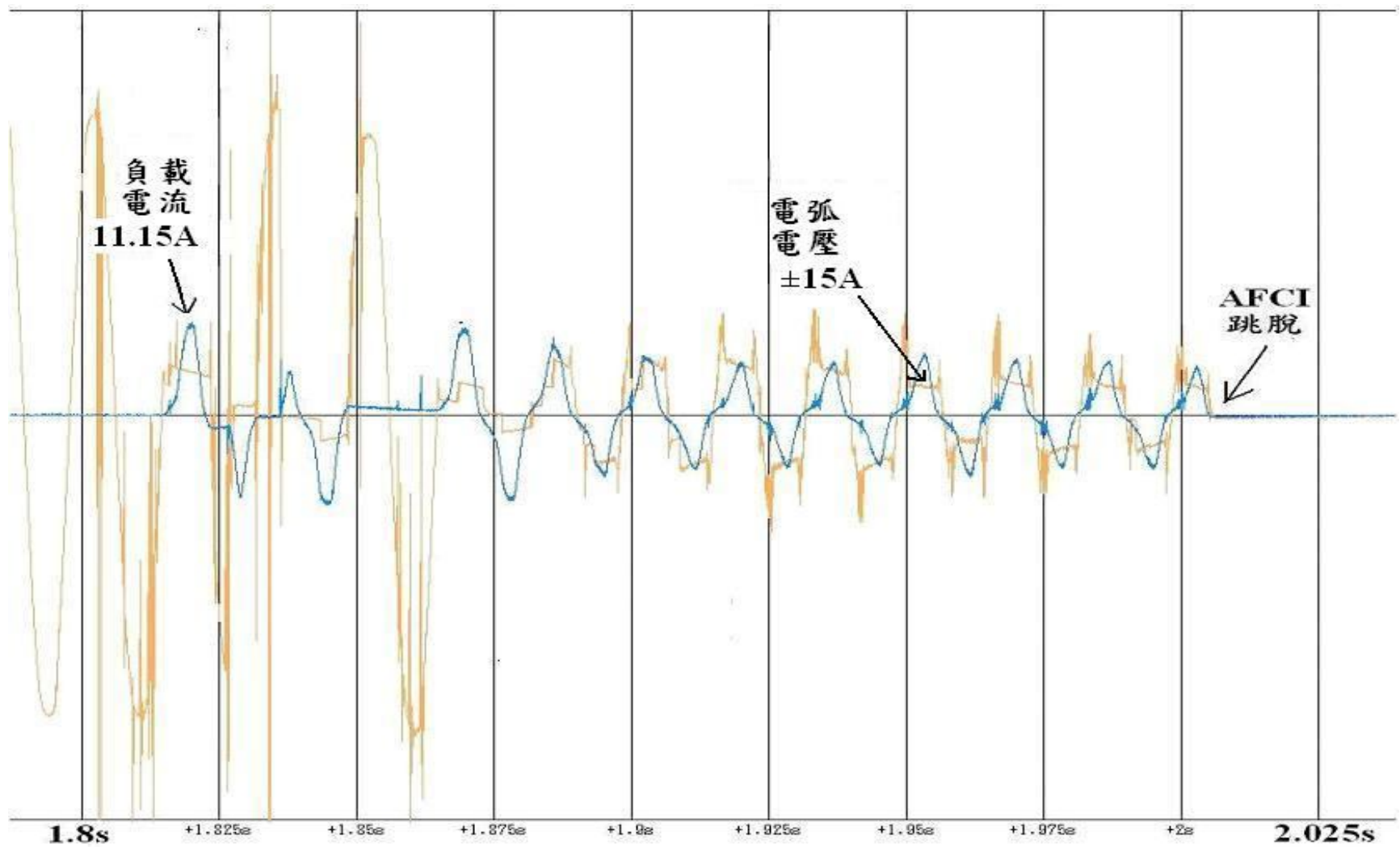


圖 31 C 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(C04104)

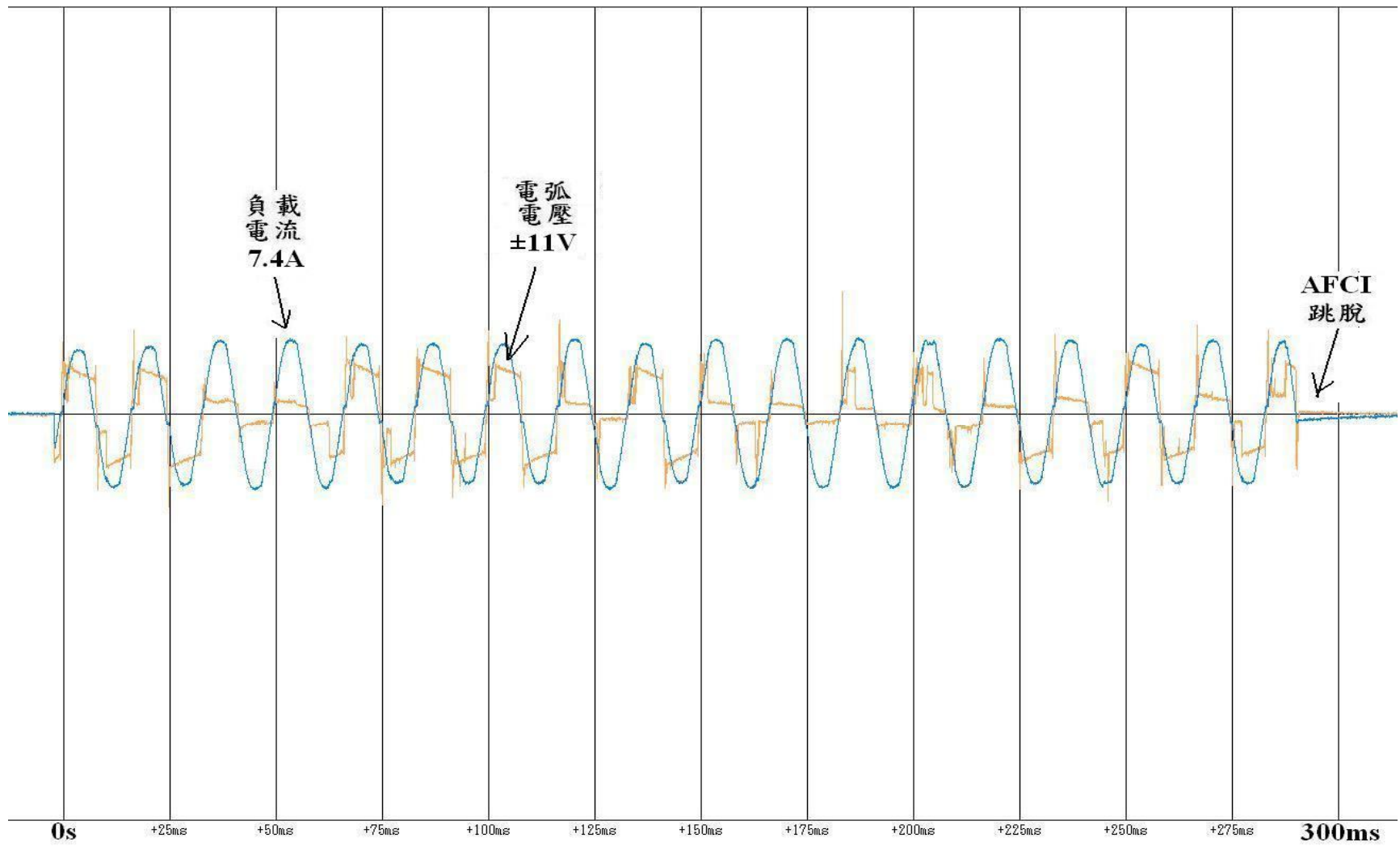


圖 32 C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(C03104)

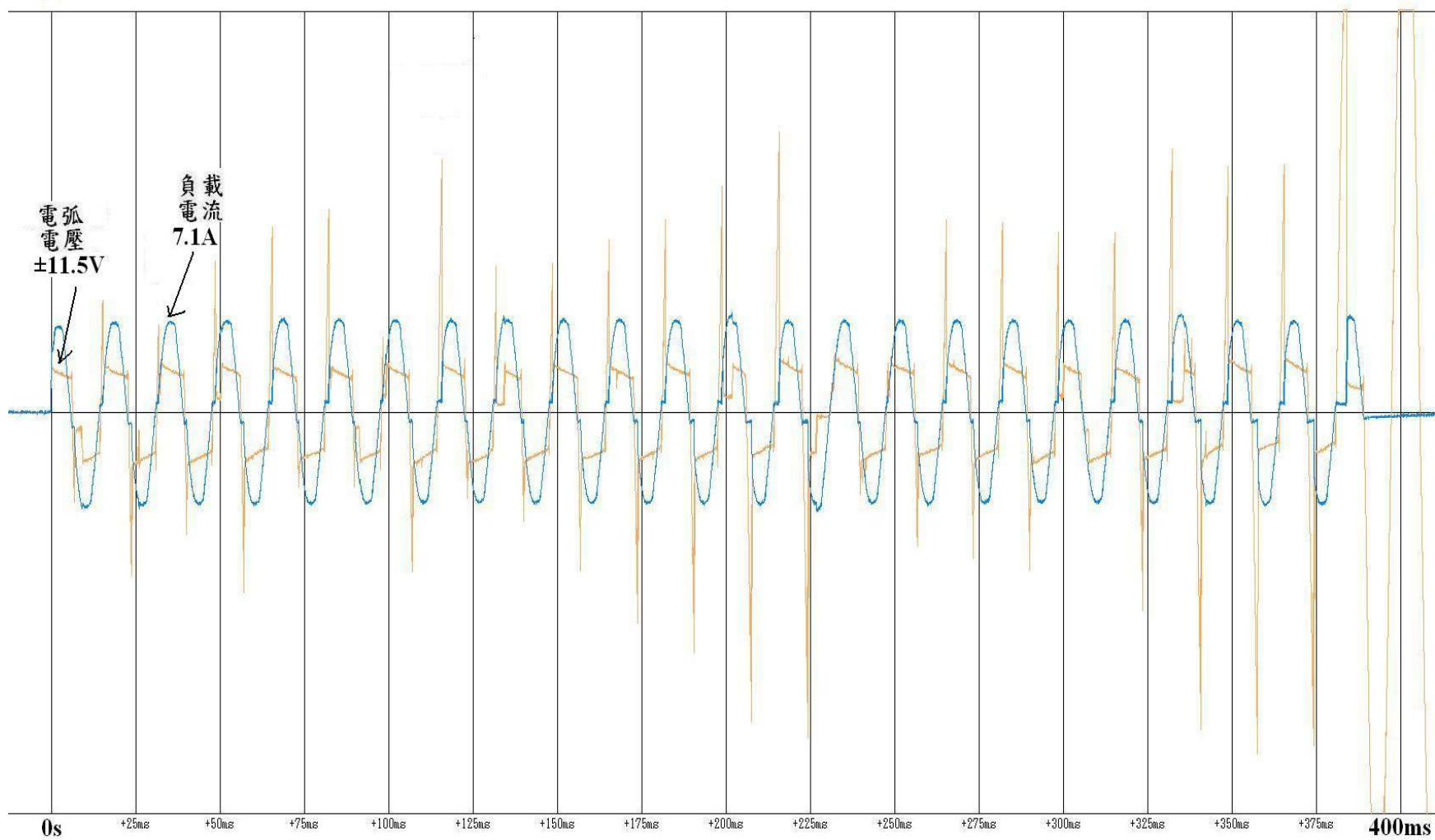


圖 33 C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 未跳脫)(C03304)



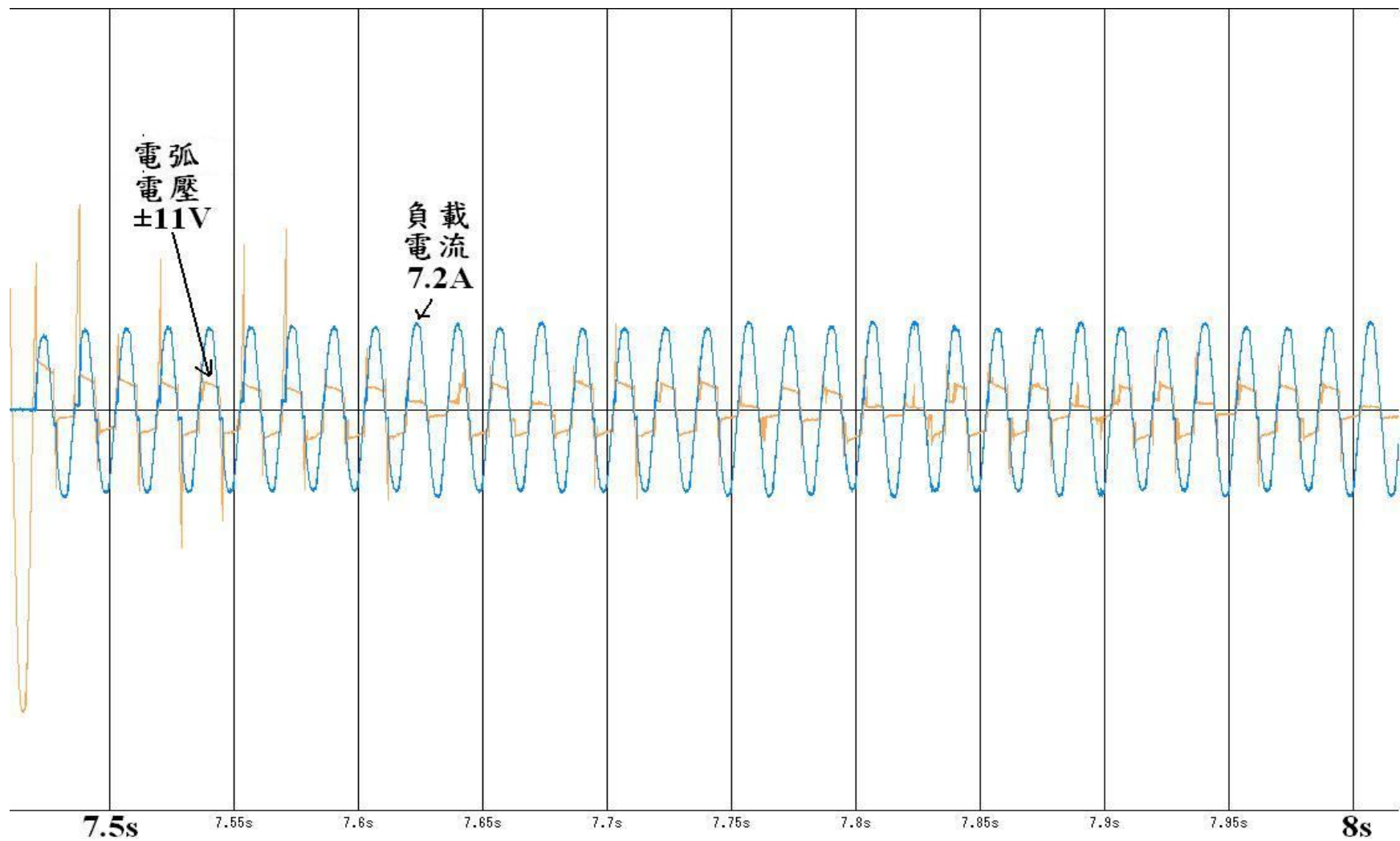


圖 34 C 階段實驗電鍋負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 未跳脫)(C03104)

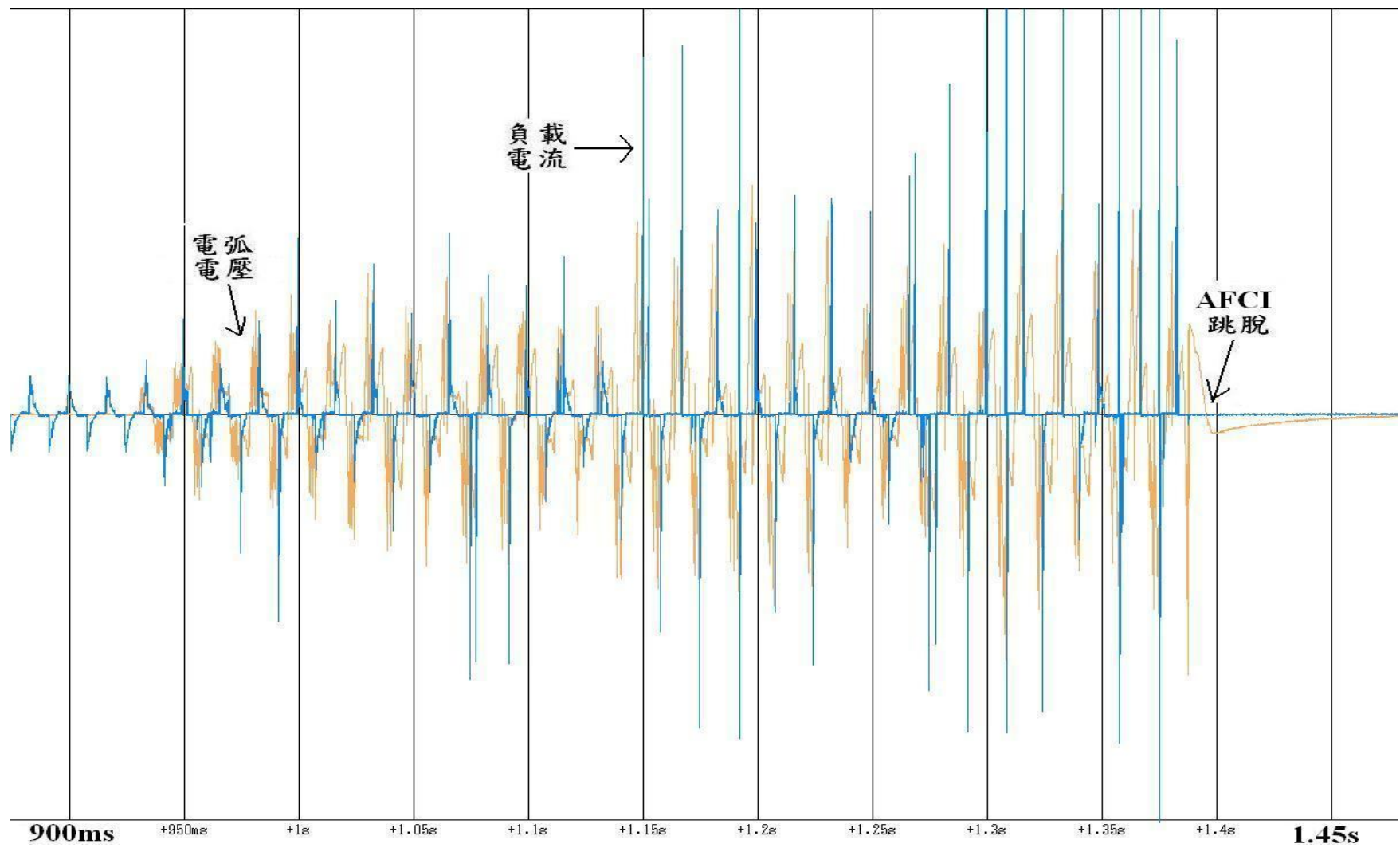


圖 35 C 階段實驗日光燈負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(C09104)

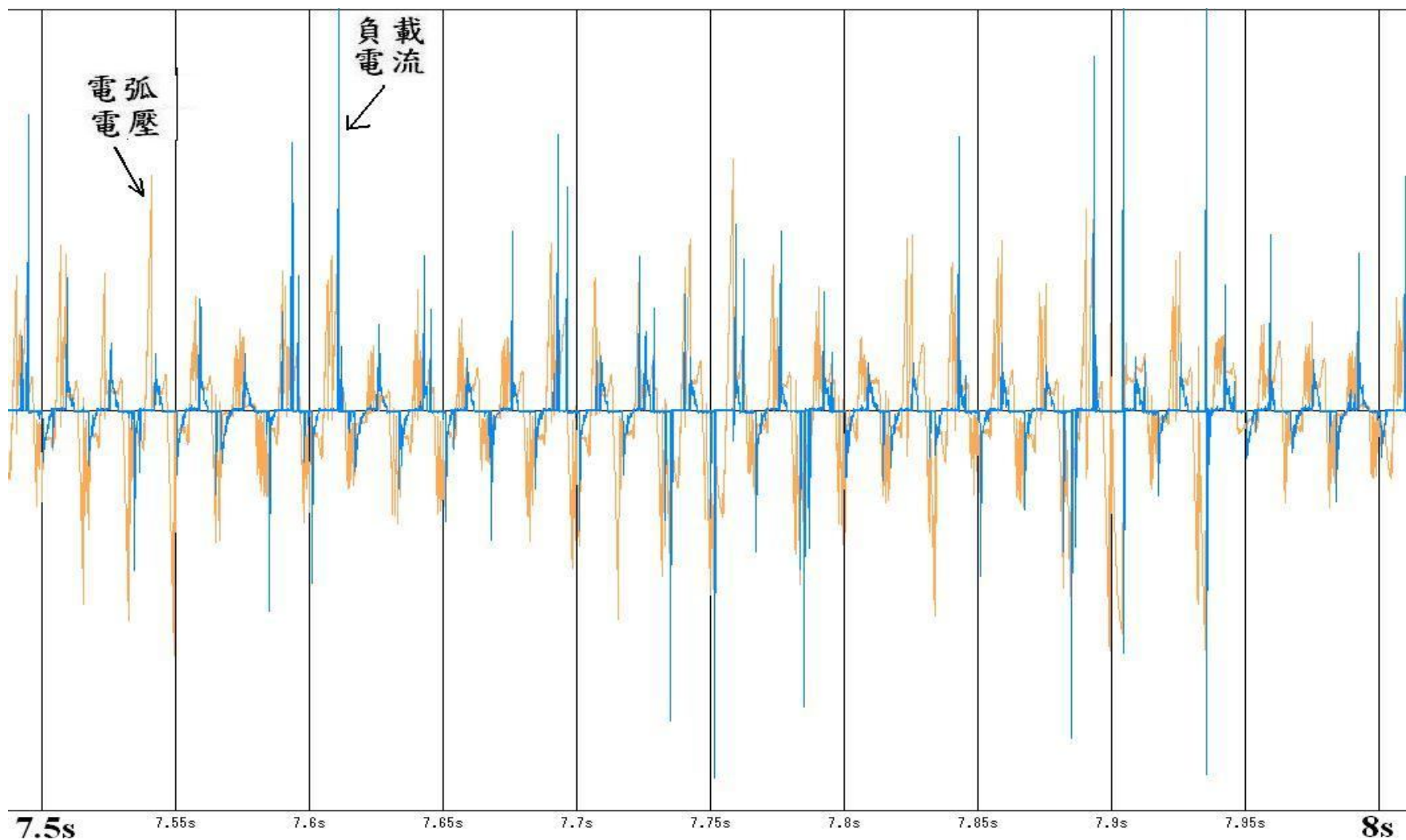


圖 36 C 階段實驗日光燈負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 未跳脫)(C09104)

前述實驗中，有起弧而 AFCI 未跳脫或從未跳脫的情況，可能是電流大小因素影響。此實驗指將電阻並聯於原未達 5 A 負載，使其總電流增至 5 A 以上，以利串聯電弧故障實驗進行。

表 10 為負載加至 5A 以上 C 階段實驗項目及結果，其將負載電流提升至 5 A 以上，重新做實驗。由實驗結果顯示，電流提升後使起弧 AFCI 跳脫次數增多，若不分 AFCI 廠牌，此次實驗中，總跳脫次數 21 次，佔總實驗次數 40 次之 52.5 %。由此推測得知 AFCI 的動作與電流大小有關。

表 10 負載加至 5A 以上 C 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
C14104	S 廠家 120 V/15 A	風扇+電阻	串聯電弧故障	2/5
C15104		電腦+電阻	串聯電弧故障	1/5
C14204	S 廠家 120 V/20 A	風扇+電阻	串聯電弧故障	2/5
C15204		電腦+電阻	串聯電弧故障	2/5
C14304	E 廠家 120 V/15 A	風扇+電阻	串聯電弧故障	3/5
C15304		電腦+電阻	串聯電弧故障	5/5
C14404	E 廠家 120 V/20 A	風扇+電阻	串聯電弧故障	2/5
C15104		電腦+電阻	串聯電弧故障	4/5

(跳脫次數/實驗次數)

## 第四節 D 階段實驗

此實驗測試 50 公尺長距離之單芯導線在產生串聯電弧故障時，檢驗 AFCI 是否會動作。實驗項目及結果如表 11，表中雖有跳脫之情形，但跳脫情形較少。若不分 AFCI 廠牌及線徑大小，總跳脫次數 90 次，佔總實驗次數 400 次之 22.5%，比起 C 階段實驗跳脫比例較低，足以顯示 50m 長距離導線對 AFCI 檢測信號具有衰減作用。若計算 5 A 以上 AFCI 跳脫百分比為 28.13%，其試驗中的 S 廠家之 AFCI 總跳脫次數 37 次，跳脫百分比為 23.13%；E 廠家之 AFCI 總跳脫次數 53 次，跳脫百分比為 33.13%。此實驗中也顯示 5 A 以上的負載在線徑 1.6 mm 之總跳脫次數 40 次，佔總實驗次數 160 次之 25%；而線徑 2.0 mm 之總跳脫次數 50 次，佔總實驗次數 160 次之 31.25%，對相同實驗特性下線徑越大跳脫次數越多。

圖 37 與圖 38 為採用電鑽負載在產生串聯電弧故障時，AFCI 跳脫之電流及電弧電壓波形，可與 C 實驗中圖 29 和圖 31 相較，圖 37 及圖 38 中電弧電壓似有高頻的突波電壓，可見經過 50 m 後，仍有高頻成份存在。圖 39、圖 40 為產生串聯電弧故障時，AFCI 未跳脫之情況。由圖 38 判斷，AFCI 要跳脫條件除了持續起弧外，在短時間內電流 Shoulder 現象需較為明顯，而圖 39 與圖 40 及在有串聯發弧的實驗中，偵測電流 Shoulder 現象較少且不明顯。

表 11 D 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性		AFCI 跳脫情形
D01105	S 廠家 120 V/15 A	吹風機	長距離導線	1.6mm	2/5
D01106			50 m	2.0mm	0/5
D02105		風扇	長距離導線	1.6mm	0/5
D02106			50 m	2.0mm	0/5
D03105		電鍋	長距離導線	1.6mm	0/5
D03106			50 m	2.0mm	1/5
D04105		電鑽	長距離導線	1.6mm	3/5
D04106			50 m	2.0mm	4/5
D05105		吸塵器	長距離導線	1.6mm	0/5
D05106			50 m	2.0mm	0/5
D06105		電冰箱(壓縮機)	長距離導線	1.6mm	0/5
D06106			50 m	2.0mm	0/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 11 D 階段實驗項目及結果(續 1)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性		AFCI 跳脫情形	
D07105	S 廠家 120 V/15 A	空壓機(馬達)	長距離導線	1.6mm	0/5	
D07106			50 m	2.0mm	0/5	
D08105		電腦(電源供應器)	長距離導線	1.6mm	0/5	
D08106			50 m	2.0mm	0/5	
D09105		日光燈(電子安定器)	長距離導線	1.6mm	0/5	
D09106			50 m	2.0mm	1/5	
D13105		電暖器	長距離導線	1.6mm	4/5	
D13106			50 m	2.0mm	4/5	
D01205		S 廠家 120 V/20 A	吹風機	長距離導線	1.6mm	0/5
D01206				50 m	2.0mm	0/5
D02205			風扇	長距離導線	1.6mm	0/5
D04206				50 m	2.0mm	0/5
D03205			電鑽器	長距離導線	1.6mm	0/5
D03206				50 m	2.0mm	0/5
D04205		電鑽箱(壓縮機)	長距離導線	1.6mm	0/5	

D06206			50 m	2.0mm	0/5
D07205		空壓機(馬達)	長距離導線	1.6mm	0/5
D07206			50 m	2.0mm	0/5
D08205		電腦(電源供應器)	長距離導線	1.6mm	0/5
D08206			50 m	2.0mm	0/5
D09205		日光燈(電子安定器)	長距離導線	1.6mm	1/5
D09206			50 m	2.0mm	0/5
D13205		電暖器	長距離導線	1.6mm	3/5
D13206			50 m	2.0mm	3/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 11 D 階段實驗項目及結果(續 2)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性		AFCI 跳脫情形
D01305	E 廠家 120 V/15 A	吹風機	長距離導線	1.6mm	0/5
D01306			50 m	2.0mm	0/5
D02305		風扇	長距離導線	1.6mm	0/5
D02306			50 m	2.0mm	0/5
D03305		電鍋	長距離導線	1.6mm	0/5
D03306			50 m	2.0mm	0/5
D04305		電鑽	長距離導線	1.6mm	1/5
D04306			50 m	2.0mm	1/5
D05305		吸塵器	長距離導線	1.6mm	2/5
D05306			50 m	2.0mm	0/5
D06305		電冰箱(壓縮機)	長距離導線	1.6mm	3/5
D06306			50 m	2.0mm	5/5
D07305		空壓機(馬達)	長距離導線	1.6mm	0/5
D07306			50 m	2.0mm	5/5
D08305		電腦(電源供應器)	長距離導線	1.6mm	0/5
D08306			50 m	2.0mm	0/5
D09305		日光燈(電子安定器)	長距離導線	1.6mm	0/5
D09306			50 m	2.0mm	0/5
D13305		電暖器	長距離導線	1.6mm	5/5
D13306			50 m	2.0mm	5/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 11 D 階段實驗項目及結果(續 3)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性		AFCI 跳脫情形
D01405	E 廠家 120 V/20 A	吹風機	長距離導線	1.6mm	0/5
D01406			50 m	2.0mm	0/5
D02405		風扇	長距離導線	1.6mm	0/5
D02406			50 m	2.0mm	0/5
D03405		電鍋	長距離導線	1.6mm	0/5
D03406			50 m	2.0mm	0/5
D04405		電鑽	長距離導線	1.6mm	0/5
D04406			50 m	2.0mm	0/5
D05405		吸塵器	長距離導線	1.6mm	1/5
D05406			50 m	2.0mm	3/5
D06405		電冰箱(壓縮機)	長距離導線	1.6mm	3/5
D06406			50 m	2.0mm	2/5
D07405		空壓機(馬達)	長距離導線	1.6mm	2/5
D07406			50 m	2.0mm	5/5
D08405		電腦(電源供應器)	長距離導線	1.6mm	0/5
D08406			50 m	2.0mm	0/5
D09405		日光燈(電子安定器)	長距離導線	1.6mm	0/5
D09406			50 m	2.0mm	0/5
D13405		電暖器	長距離導線	1.6mm	5/5
D13406			50 m	2.0mm	5/5

(跳脫次數/實驗次數)



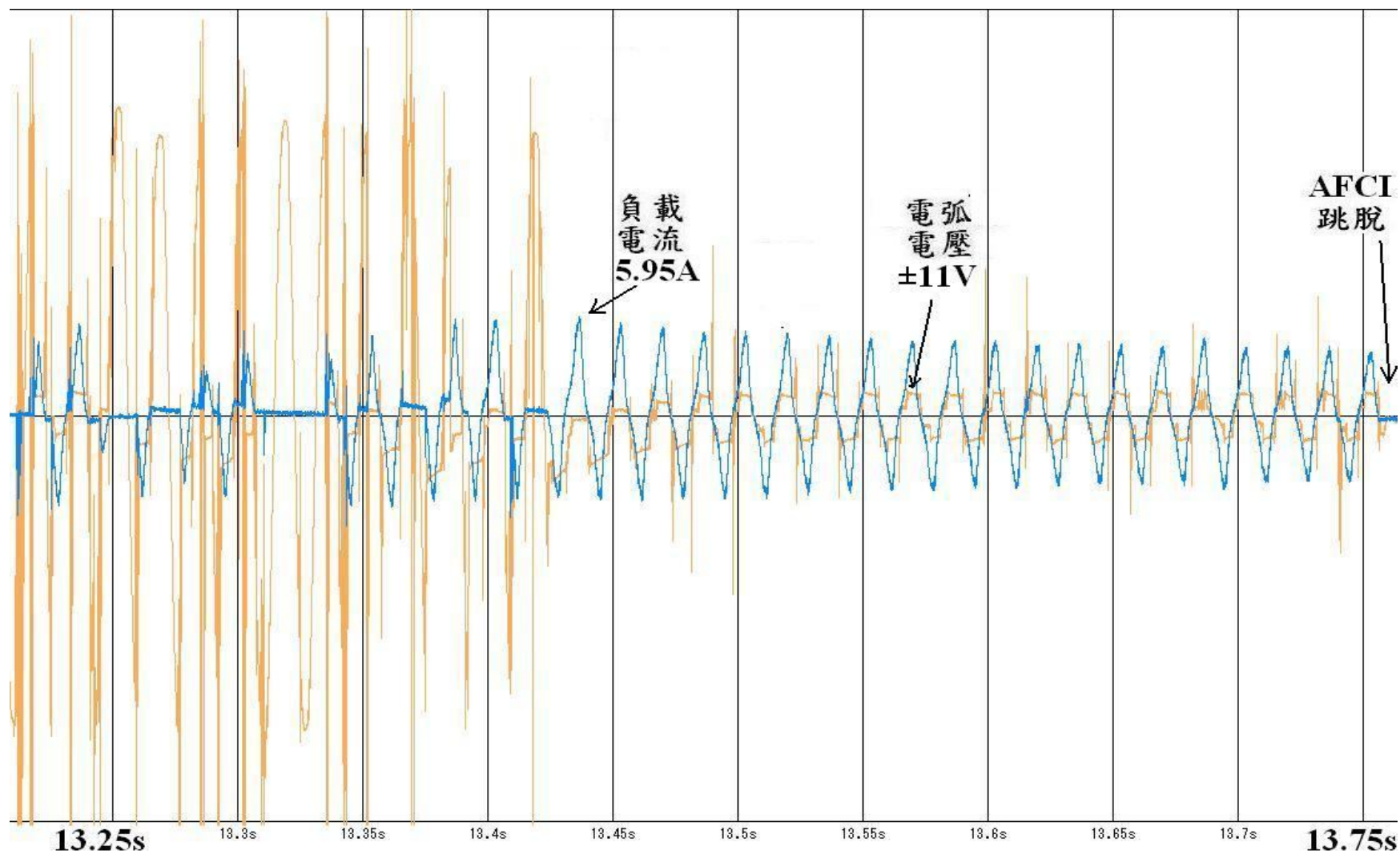


圖 37 D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(D04305)

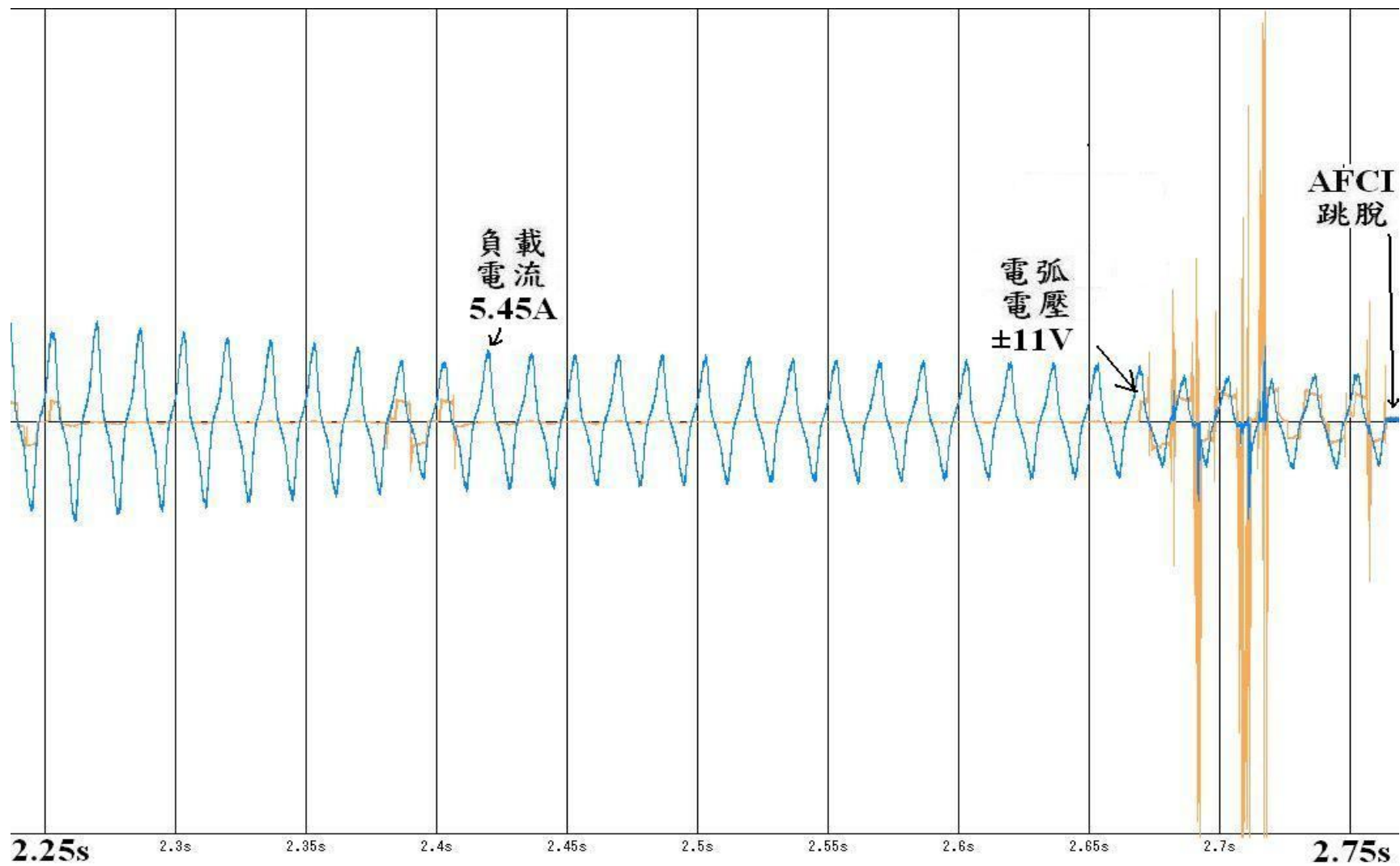


圖 38 D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(D04105)

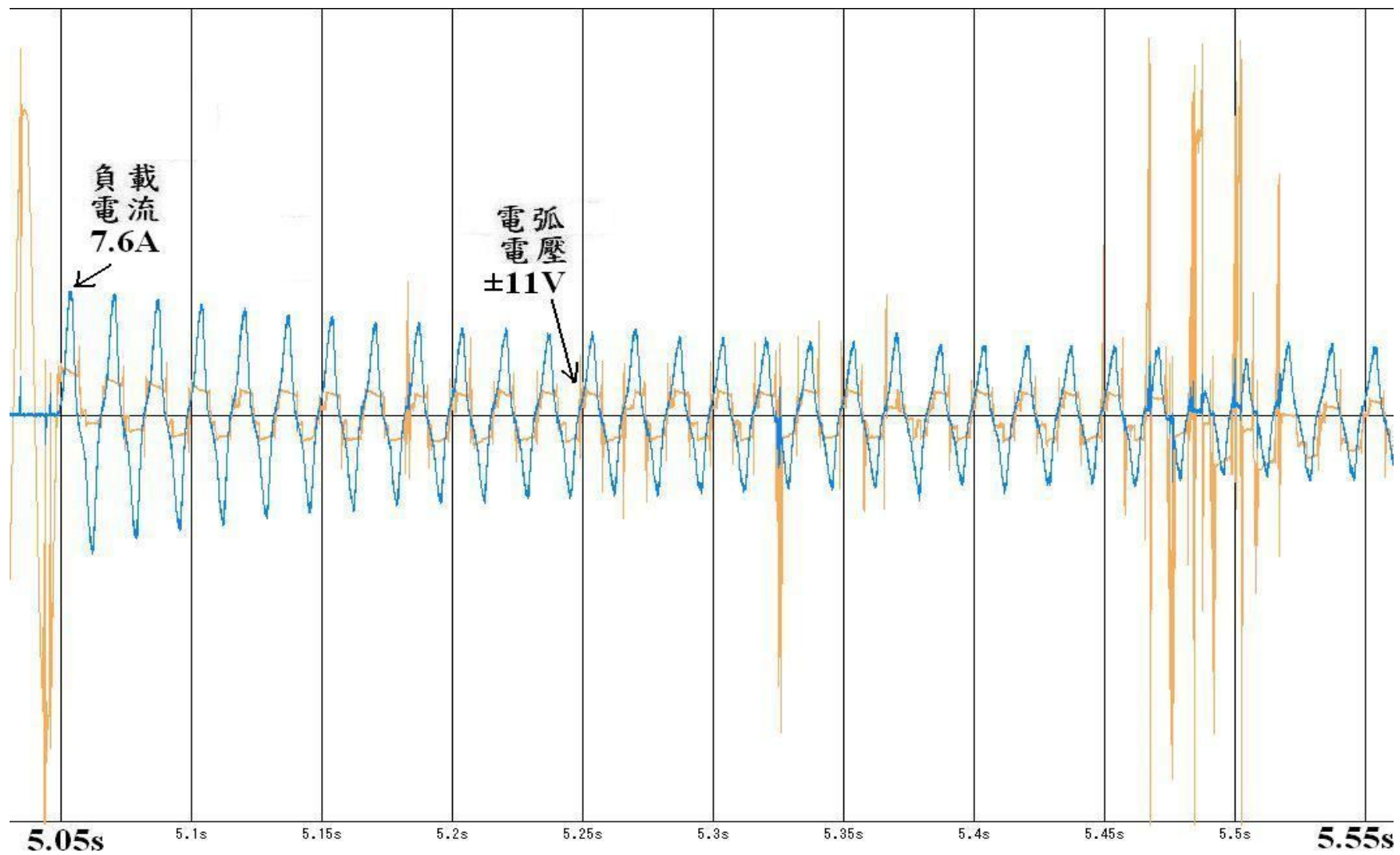


圖 39 D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 未跳脫)(D04305)

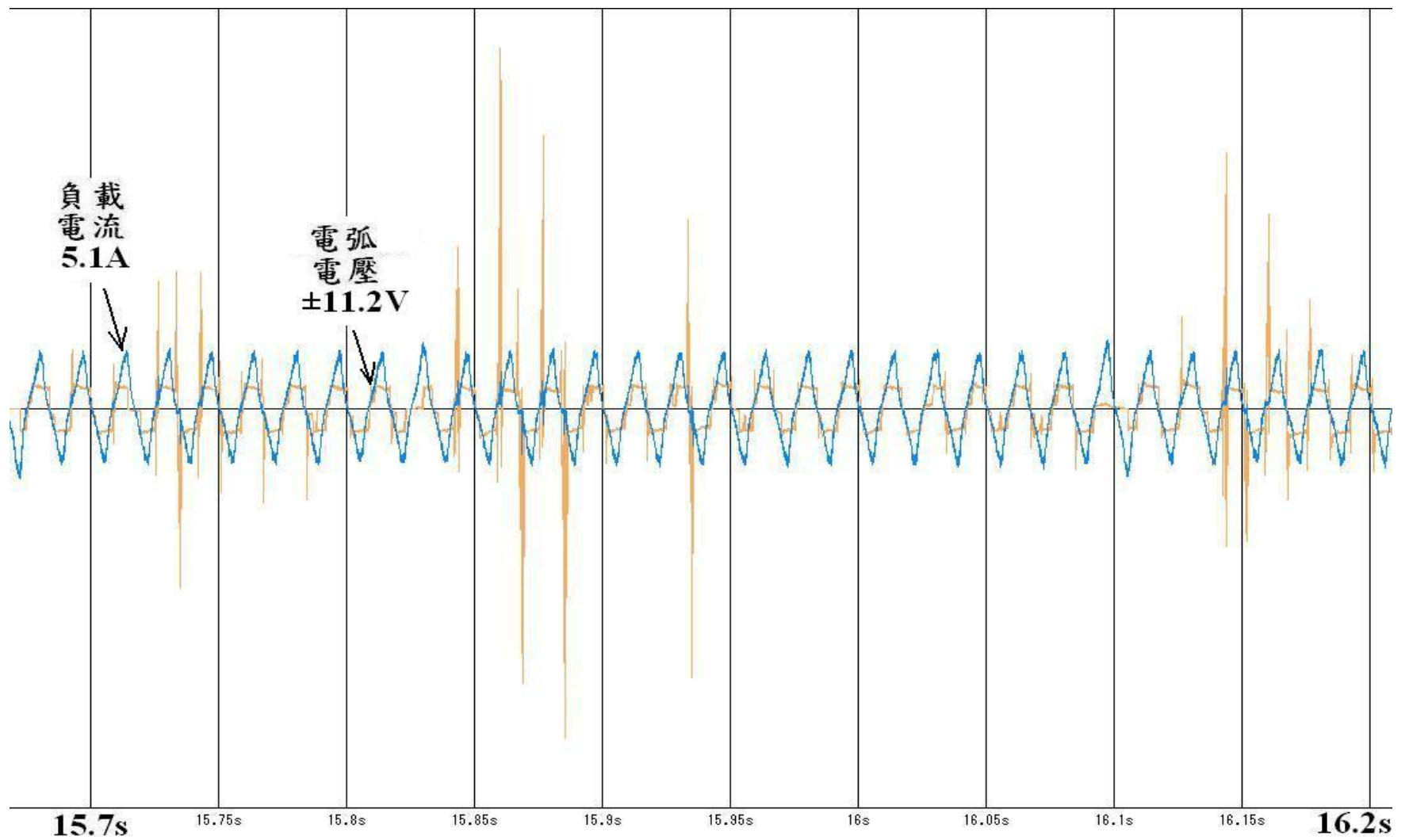


圖 40 D 階段實驗電鑽負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(D04105)

此實驗中將未達 5 A 以上負載加到 5 A 以上，取電阻性、電感性與含有電力電子電路控制等三種特性負載，並將針對長距離的 50 m 絞線、濾波器、15 m 單芯線 1.6 mm 彎曲做串聯電弧故障測試。如表 12 所示，以電鍋、吸塵器、日光燈(電子安定器)為負載的實驗結果，由表可知 AFCI 在起弧時跳脫次數明顯增加，但在如圖 41 有加濾波器串聯電弧故障實驗項目，卻有三項實驗(D03309、D03409、D16409)AFCI 未跳脫，可能起弧時高頻信號被濾除或衰減原因。

加至 5 A 後的試驗，S 廠家之 AFCI 總跳脫次數 104 次，佔實驗次數 120 次的 86.67%;E 廠家之 AFCI 總跳脫次數 100 次，佔實驗次數 83.33%。若不分 AFCI 廠牌，此次實驗中長距離的 50 m 絞線且線截面積  $2.0 \text{ mm}^2$ ，總跳脫次數 54 次，佔總實驗次數 60 次之 90%，比起 4.6 節中 D 階段實驗中長距離的 50 m 單芯線且線徑 2.0 mm 跳脫比例 25% 高出很多。長距離的 50 m 絞線且線截面積  $3.5 \text{ mm}^2$ ，總跳脫次數 57 次，佔總實驗次數 60 次之 95 %。加入濾波器之串聯電弧故障，總跳脫次數 37 次，佔總實驗次數 60 次之 61.67%，顯然濾波器有將 AFCI 偵測信號濾除，致使跳脫比例降低，亦可確認 AFCI 動作原理應跟電弧故障電流之高頻成分有密切關係。15 m 單芯線彎曲做串聯電弧故障測試，總跳脫次數 56 次，佔總實驗次數 60 次之 93.33 %，似乎對 AFCI 保護動作影響不大。

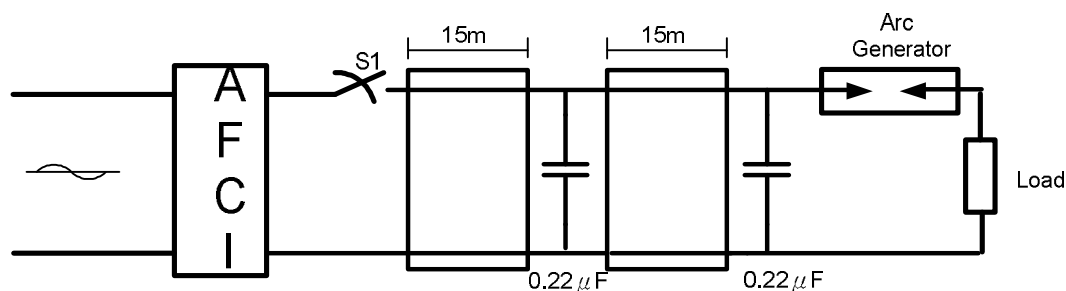


圖 41 濾波器影響測試電路

表 12 負載加至 5A 以上 D 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性		AFCI 跳脫情形
D03107	S 廠家 120 V/15 A	電鍋	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	3/5
D03108			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	4/5
D05107		吸塵器	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D05108			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D16107		日光燈+電阻	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	3/5
D16108			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	4/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 12 負載加至 5A 以上 D 階段實驗項目及結果(續 1)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性		AFCI 跳脫情形
D03207	S 廠家 120 V/20 A	電鍋	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D03208			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D05207		吸塵器	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D05208			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	4/5
D16207		日光燈+電阻	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	3/5
D16208			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D03307	E 廠家 120 V/15 A	電鍋	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D03308			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D05307		吸塵器	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D05308			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5

D16307		日光燈+電阻	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D16308			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D03407	E 廠家	電鍋	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D03408	120 V/20 A		50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D05407		吸塵器	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D05408			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D16407		日光燈+電阻	長距離導線	2.0mm <sup>2</sup>	5/5
D16408			50 m	3.5mm <sup>2</sup>	5/5
D03109	S 廠家	電鍋	加濾波器串聯電弧		5/5
D05109	120 V/15 A	吸塵器	加濾波器串聯電弧		5/5
D16109		日光燈+電阻	加濾波器串聯電弧		5/5
D03209	S 廠家	電鍋	加濾波器串聯電弧		3/5
D05209	120 V/20 A	吸塵器	加濾波器串聯電弧		5/5
D16209		日光燈+電阻	加濾波器串聯電弧		3/5
D03309	E 廠家	電鍋	加濾波器串聯電弧		0/5
D05309	120 V/15 A	吸塵器	加濾波器串聯電弧		5/5
D16309		日光燈+電阻	加濾波器串聯電弧		1/5
D03409	E 廠家	電鍋	加濾波器串聯電弧		0/5
D05409	120 V/20 A	吸塵器	加濾波器串聯電弧		5/5
D16409		日光燈+電阻	加濾波器串聯電弧		0/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 12 負載加至 5A 以上 D 階段實驗項目及結果(續 2)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
D03110	S 廠家	電鍋	導線(15m)彎曲串聯電弧	4/5
D05110	120 V/15 A	吸塵器	導線(15m)彎曲串聯電弧	4/5
D16110		日光燈+電阻	導線(15m)彎曲串聯電弧	5/5
D03210		S 廠家	電鍋	導線(15m)彎曲串聯電弧
D05210	120 V/20 A	吸塵器	導線(15m)彎曲串聯電弧	5/5
D16210		日光燈+電阻	導線(15m)彎曲串聯電弧	4/5
D03310		E 廠家	電鍋	導線(15m)彎曲串聯電弧
D05310	120 V/15 A	吸塵器	導線(15m)彎曲串聯電弧	4/5
D16310		日光燈+電阻	導線(15m)彎曲串聯電弧	5/5
D03410		E 廠家	電鍋	導線(15m)彎曲串聯電弧
D05410	120 V/20 A	吸塵器	導線(15m)彎曲串聯電弧	5/5
D16410		日光燈+電阻	導線(15m)彎曲串聯電弧	5/5

(跳脫次數/實驗次數)



## 第五節 E 階段實驗

此試驗為混合負載線路是否會影響 AFCI 動作。選取三種不同特性的負載做為混合負載，分別為電感性吸塵器、電阻性的電鍋及電子電路控制的日光燈。圖 15(a)為此試驗電路，Load 1 與 Load 2 分別由吸塵器、電鍋、日光燈混合搭配，起弧點位於 Load 1 的線路上；接著將 Load 1 與 Load 2 對調，如圖 15(b)，起弧點位於 Load 2 的線路上。表 13 為實驗項目及結果，結果顯示跳脫次數不多，若不分 AFCI 之廠牌，除電鍋加日光燈外，幾乎每種負載皆有跳脫情況。若不分 AFCI 廠牌，此次實驗中，總跳脫次數 41 次，佔總實驗次數 120 次之 34.17%。試驗中 S 廠家之 AFCI 總跳脫次數 6 次，佔實驗次數 60 次的 10%；E 廠家之 AFCI 總跳脫次數 35 次，佔實驗次數 58.33%。

圖 42 與圖 44 為 E 廠家與 S 廠家的 AFCI 起弧跳脫時負載電流及電弧電壓波形。S 廠家在 C 階段實驗之日光燈負載起弧時，AFCI 甚少跳脫；但此階段實驗中，日光燈負載對下，串聯電弧故障，E 廠家之 AFCI 皆有跳脫；此處顯示 E 廠家之 AFCI 跳脫條件與電流大小有密切的關聯。而圖 43 與圖 45 是 AFCI 未跳脫的情形，明顯負載電流忽大忽小情況，非直接影響 AFCI 動作唯一條件，故需進一步探就其原因。

13 E 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
E10111	S 廠家 120 V/15 A	電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E10112		吸塵器(Load 2)	起弧在 Load 2	1/5
E11111		電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E11112		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	2/5
E12111		吸塵器(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E12112		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	0/5
E10211	S 廠家 120 V/20 A	電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E10212		吸塵器(Load 2)	起弧在 Load 2	2/5
E11211		電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E11212		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	0/5
E12211		吸塵器(Load 1)+	起弧在 Load 1	1/5
E12212		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	0/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 13 E 階段實驗項目及結果(續)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
E10311	E 廠家 120 V/15 A	電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	5/5
E10312		吸塵器(Load 2)	起弧在 Load 2	5/5
E11311		電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E11312		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	5/5
E12311		吸塵器(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E12312		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	5/5
E10411	E 廠家 120 V/20 A	電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E10412		吸塵器(Load 2)	起弧在 Load 2	5/5
E11411		電鍋(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E11412		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	5/5
E12411		吸塵器(Load 1)+	起弧在 Load 1	0/5
E12412		日光燈(Load 2)	起弧在 Load 2	5/5

(跳脫次數/實驗次數)

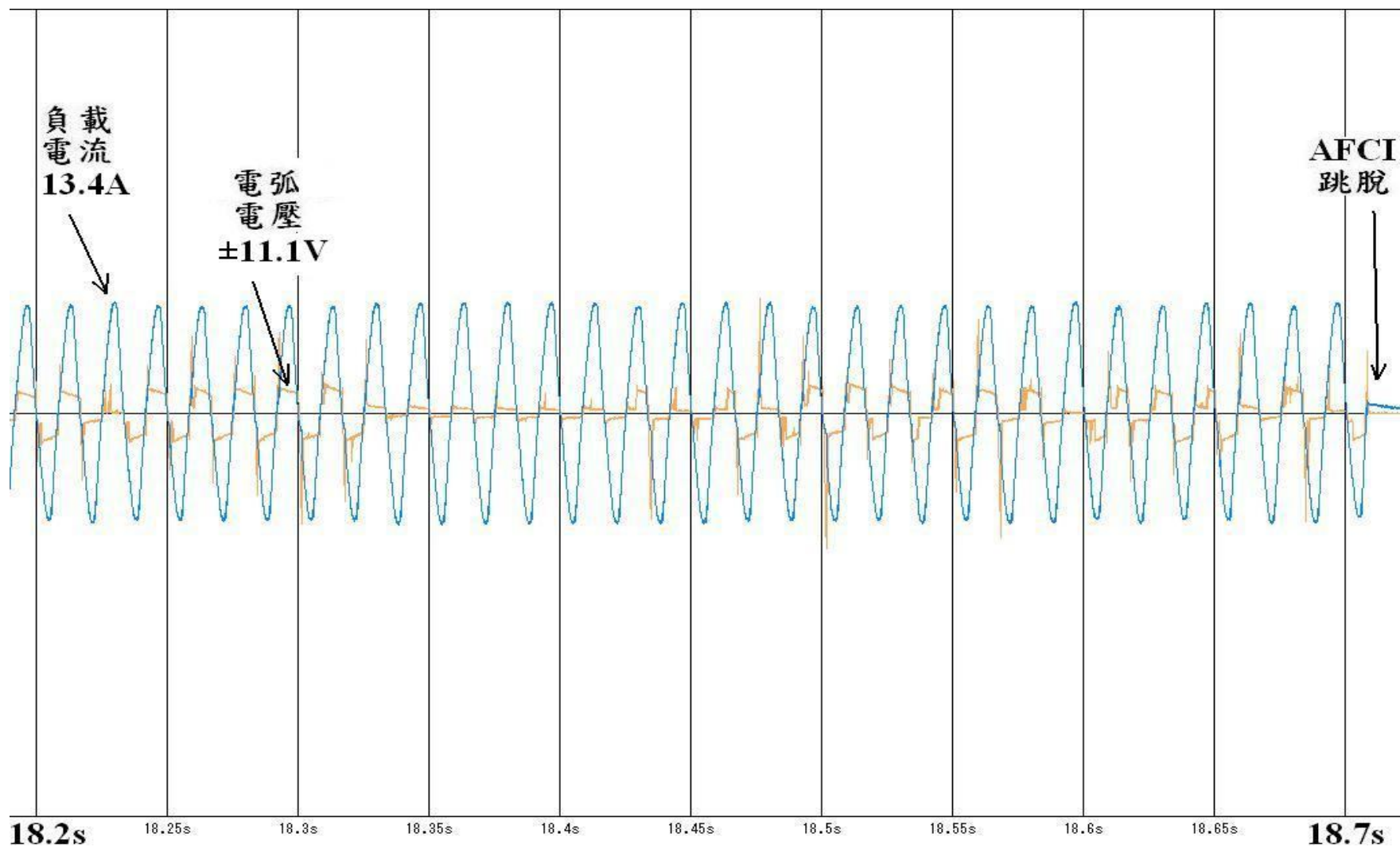


圖 42 E 階段實驗吸塵器加電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 跳脫)(E10311)

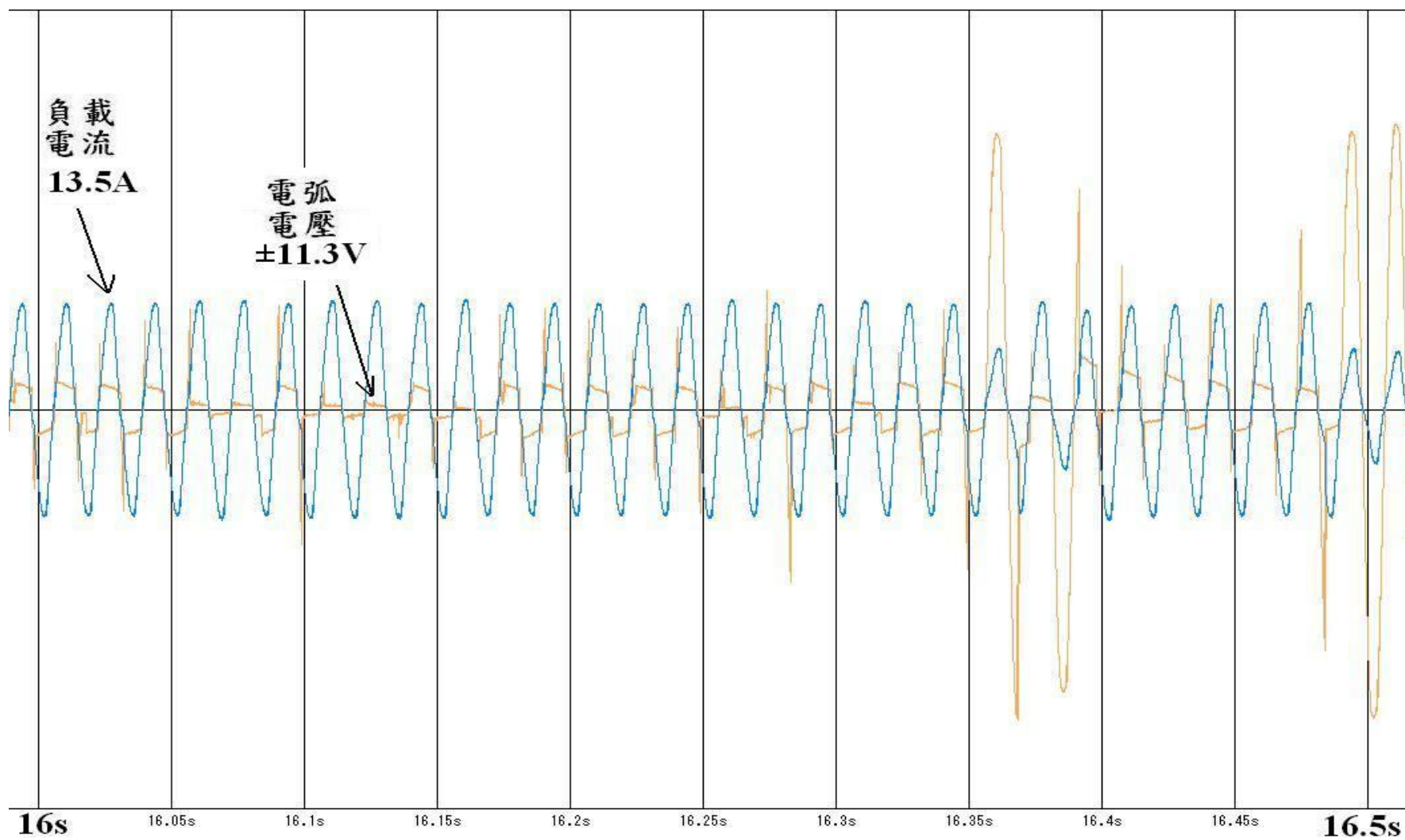


圖 43 E 階段實驗吸塵器加電鍋負載電流與電弧電壓(E 廠家 AFCI 未跳脫)(E10311)

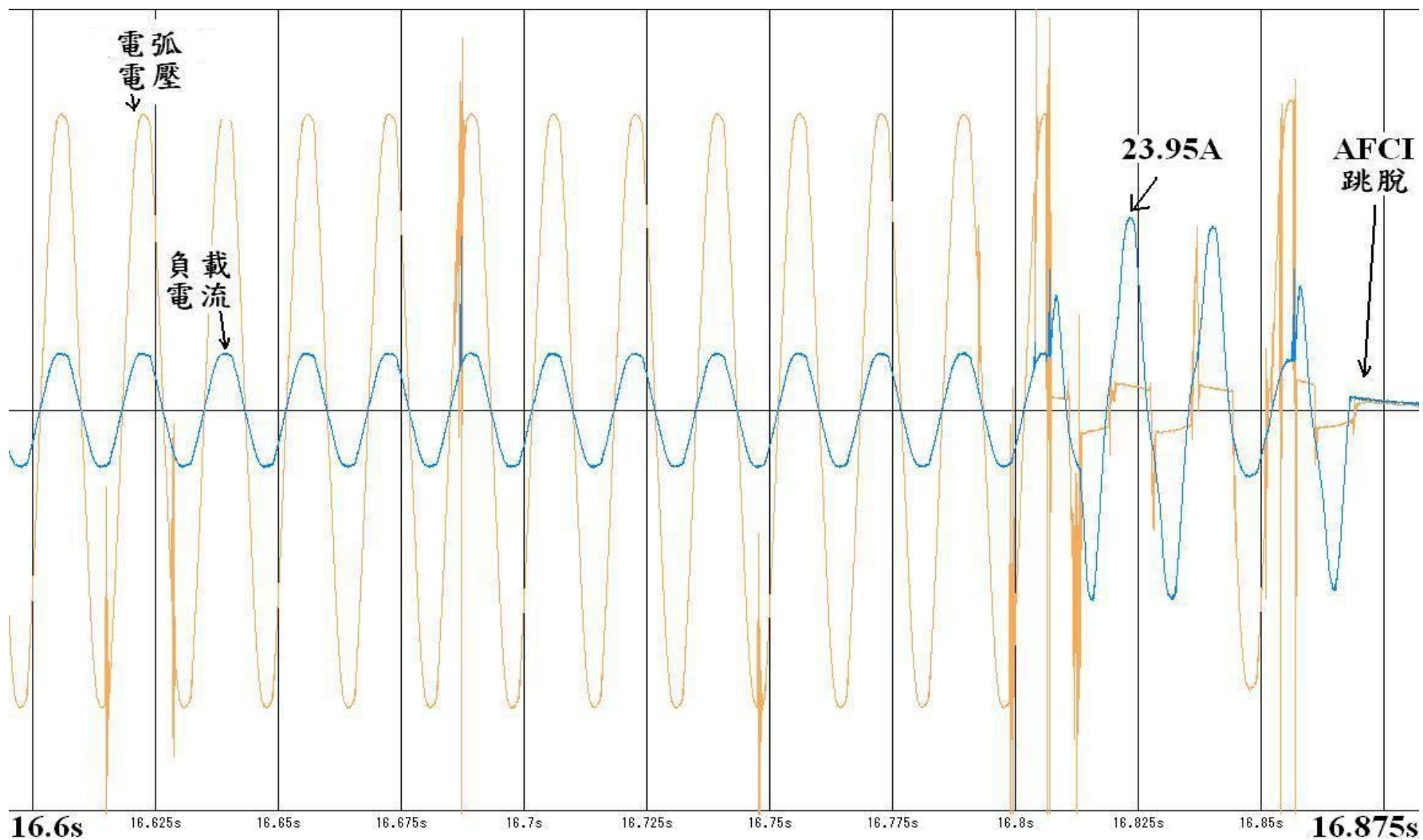


圖 44 E 階段實驗電鍋加吸塵器負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 跳脫)(E10112)

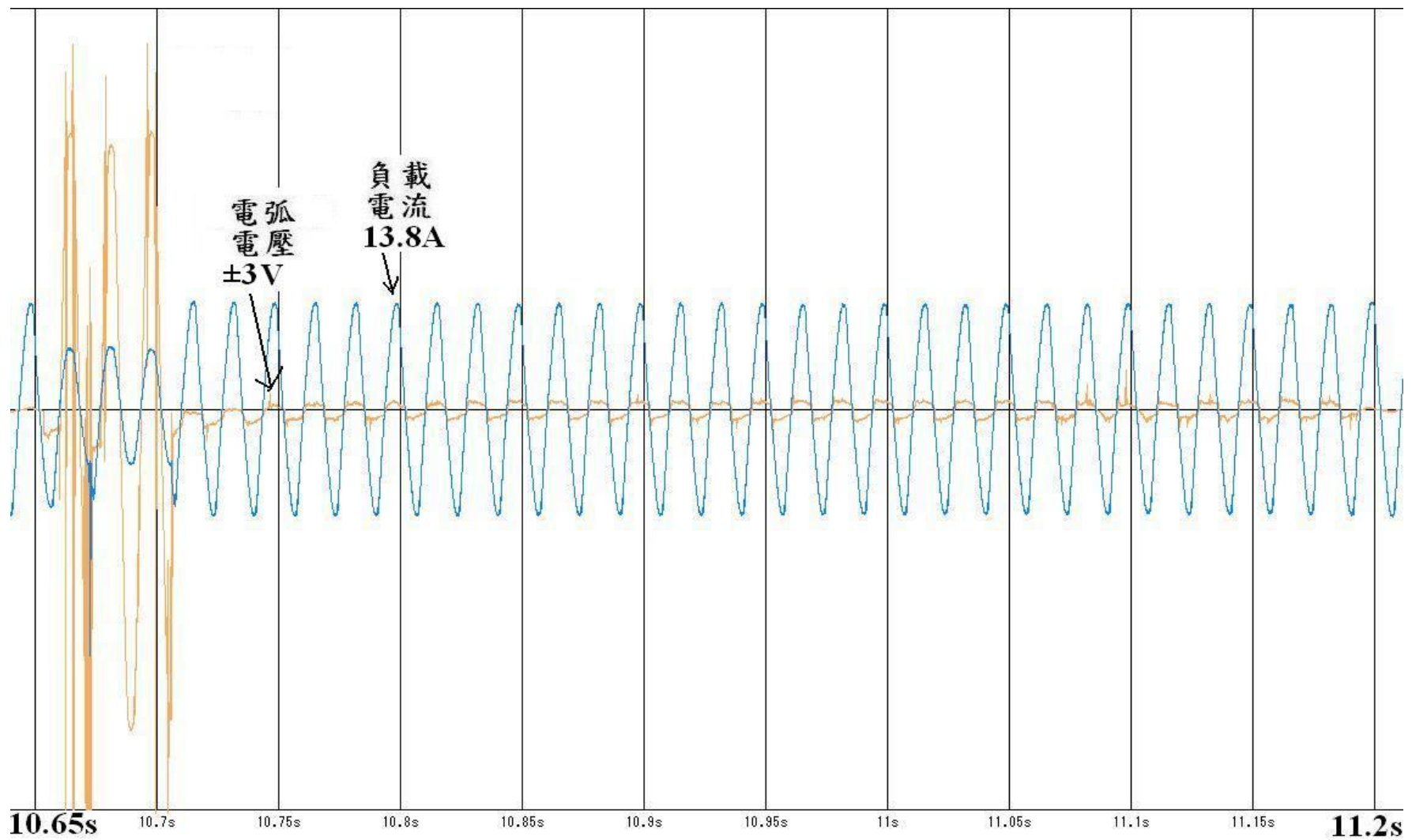


圖 45 E 階段實驗電鍋加吸塵器負載電流與電弧電壓(S 廠家 AFCI 未跳脫)(E10112)

## 第六節 火線與中性線反接實驗

如圖 6(a) 串聯電弧故障測試電路，若將 AFCI 電源端火線與中性線反接，如圖 46，觀察 AFCI 動作情形。

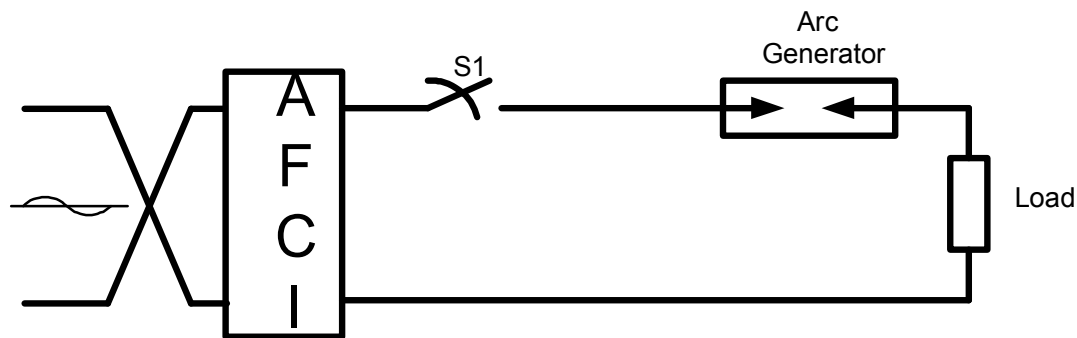


圖 46 火線與中性線反接測試電路

表 14 火線與中性線反接測試結果

AFCI 跳脫與否		負載		
		電鍋	吸塵器	日光燈(電子安定器)+電阻
S 廠家 120 V/15 A	曾跳脫	■	■	■
	從未跳脫			
S 廠家 120 V/20 A	曾跳脫	■	■	■
	從未跳脫			
E 廠家 120 V/15 A	曾跳脫	■	■	■
	從未跳脫			
E 廠家 120 V/20 A	曾跳脫	■	■	■
	從未跳脫			

表 14 為火線與中性線反接測試實驗，測試時以電鍋、吸塵器及日光燈+電阻等三種性質的負載為對象，結果顯示與前述 C 階段實驗項目之 AFCI 動作情況相同，證明火線與中性線反接並不會影響 AFCI 的動作。

## 第七節 小結

AFCI 在串聯電弧故障中確實能跳脫，整合以上串聯電弧故障實驗，可列出以下實驗結果：

- (1) B 階段中，突波電流、非正弦波電流並不會造成 AFCI 之誤動作，僅在正常操作下之電弧(好弧)實驗中，AFCI 發生 2 次的跳脫，若不分 AFCI 廠牌，佔總實驗次數 500 次之 0.4%。
- (2) AFCI 對串聯電弧故障跳脫百分比比較低，主因在於負載電流量太小，實驗中可知，AFCI 偵測串聯電弧故障，電流至少需大於 5 A。
- (3) D 階段中，長距離 50 m 在串聯電弧故障實驗中的 AFCI 跳脫次數，絞線比單芯線次數多，且線徑越大 AFCI 跳脫次數較多。
- (4) D 階段中，單芯線在長距離 50 m 的串聯電弧故障實驗中，AFCI 跳脫次數比 C 階段的次數少；以及加濾波器的測試電路，AFCI 跳脫次數減少，指明長距離的導線與加入濾波器會影響 AFCI 偵測電弧信號。
- (5) D 階段中的導線彎曲測試電路，E 階段中混合負載測試電路，皆不影響 AFCI 動作。
- (6) 火線與中性線反接，並不影響 AFCI 動作。

表 19 為串聯電弧故實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例，表中包含所有串聯電弧故障實驗之數據(5 A 以下)，其串聯電弧故障實驗共有 200 項，每項實驗測試 5 次，串聯電弧故障實驗次數共 1000 次，AFCI 跳脫次數為 440 次，其 AFCI 跳脫百分比為 44%。同時只取 5 A 以上的數據計算，串聯電弧故障實驗次數共 880 次，AFCI 跳脫 440 次，百分比為 50%。表 15 為兩廠家 AFCI 串聯電弧故障實驗的跳脫比例，負載含 5A 以下的串聯電弧故障實驗，S 廠家跳脫百分比為 36.2%，E 廠家為 51.8%；負載 5 A 以上的串聯電弧故障實驗，S 廠家跳脫百分比為 41.14%，E 廠家為 58.86%。



表 15 串聯電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例

	電弧故障實驗數(次)	AFCI 跳脫數(次)	百分比(%)
串聯實驗(含 5A 以下)	1000	440	44
串聯實驗(5 A 以上)	880	440	50

表 16 兩廠家 AFCI 串聯電弧故障跳脫比例

		電弧故障實驗數(次)	AFCI 跳脫數(次)	百分比(%)
串聯實驗 (含 5A 以下)	S 廠家	500	181	36.2
	E 廠家	500	259	51.8
串聯實驗 (5 A 以上)	S 廠家	440	181	41.14
	E 廠家	440	259	58.86

依照實驗結果可發現 AFCI 對串聯電弧故障動作條件，除故障電流大小因素的影響外，在 0.5 秒內產生 8 個一半週期中，另有高頻成分因素影響，將於第六章探討分析。從實驗中，電弧故障使 AFCI 跳脫，可初步歸納 AFCI 幾個動作原理及特性如下：

- (1) 在 0.5 秒內需起弧達 8 個一半週期以上。
- (2) 起弧時流經 AFCI 之電流變動。
- (3) 起弧時流經 AFCI 之電流有 Shoulder 現象。
- (4) 起弧時流經 AFCI 之電阻性負載電流須達到 5 A 以上，而電感性負載與含有電力電子電路控制負載則未必需達 5 A，肇因於起弧時有高於 5 A 啓動電流與突波電流。
- (5) 起弧時流經 AFCI 之電流含有高頻成份。

# 第五章 並聯電弧故障測試

## 第一節 F 階段實驗

如圖 47 為並聯電弧故障測試電路圖，在 AFCI 前端加一線圈以抑制流過電流約在 75 A。取電鍋、吸塵器、電暖器及日光燈+電阻負載做並聯電弧實驗，測試電路中的負載被短路，所以可視為無阻抗或是極小阻抗的串聯電弧故障。表 17 為 F 階段實驗項目及結果，由實驗結果可知，並聯電弧故障時，其皆有跳脫，且跳脫比例高。若不分 AFCI 廠牌，跳脫次數 60 次佔總實驗次數 80 次之 75%。試驗中 S 廠家 AFCI 跳脫百分比為 87.5%，E 廠家 AFCI 跳脫百分比為 62.5%。

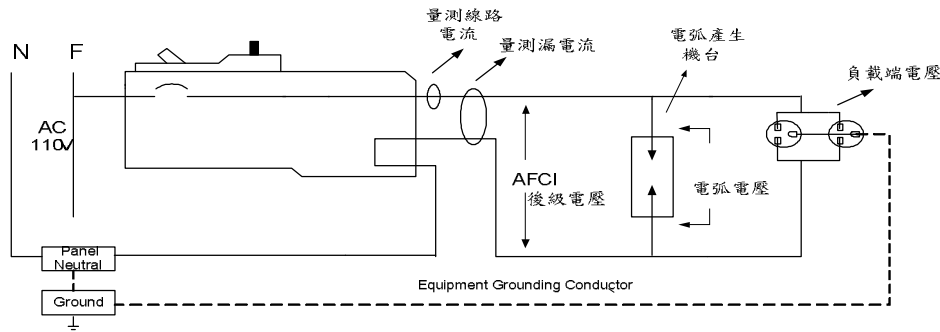


圖 47 並聯電弧故障測試電路(電流 75 A)

表 17 F 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
F03113	S 廠家 120 V/15 A	電鍋	並聯電弧故障	5/5
F05113		吸塵器	並聯電弧故障	5/5
F13113		電暖器	並聯電弧故障	5/5
F16113		日光燈+電阻	並聯電弧故障	5/5
F03213	S 廠家 120 V/20 A	電鍋	並聯電弧故障	4/5
F05213		吸塵器	並聯電弧故障	4/5
F13213		電暖器	並聯電弧故障	2/5
F16213		日光燈+電阻	並聯電弧故障	5/5
F03313	E 廠家 120 V/15 A	電鍋	並聯電弧故障	5/5
F05313		吸塵器	並聯電弧故障	5/5
F13313		電暖器	並聯電弧故障	5/5
F16313		日光燈+電阻	並聯電弧故障	5/5
F03413	E 廠家 120 V/20 A	電鍋	並聯電弧故障	1/5
F05413		吸塵器	並聯電弧故障	2/5

F13413		電暖器	並聯電弧故障	1/5
F16413		日光燈+電阻	並聯電弧故障	1/5

(跳脫次數/實驗次數)

## 第二節 G 階段實驗

圖 48 與圖 49 為長距離導線和導線彎曲並聯電弧故障測試電路圖，導線彎曲取單芯線 1.6 mm 做實驗，50 m 長距離導線則各取一單芯線 2.0 mm 與一絞線 3.5 mm<sup>2</sup> 做實驗，並在 AFCI 前端加一線圈以抑制流過電流約在 75 A。試驗中，同以電鍋、吸塵器電暖器及日光燈+電阻當代表性負載，做並聯電弧故障實驗。產生並聯電弧時，測試電路中的負載被短路，並不會有電流流過，所以可視為一無阻抗或是極小阻抗的串聯電弧故障，以檢測 AFCI 動作。表 18 為 G 階段實驗項目及結果，由實驗結果可知，並聯電弧故障時，AFCI 皆有跳脫，且跳脫比例達 100 %。

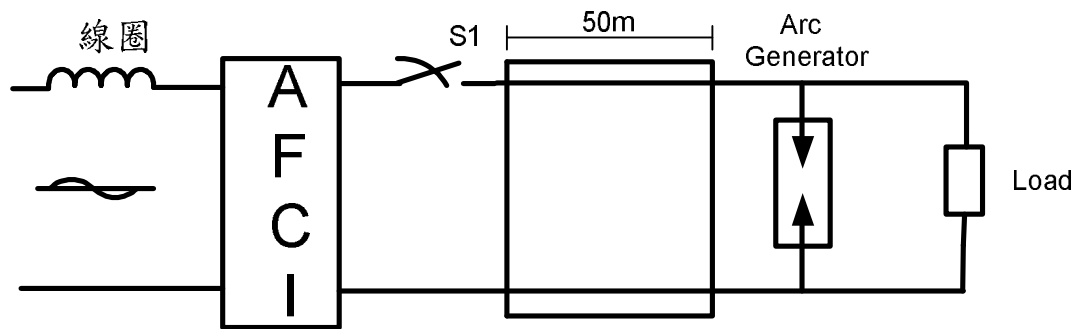


圖 48 長距離導線並聯電弧故障測試電路

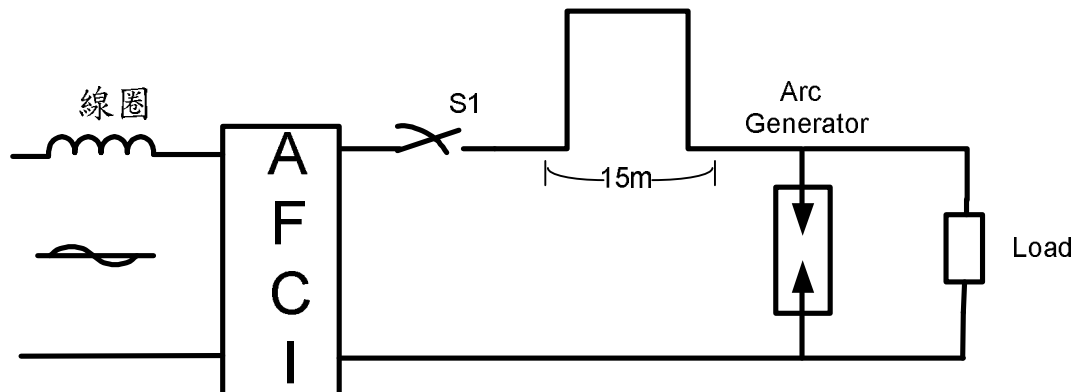


圖 49 導線彎曲並聯電弧故障測試電路

表 18 G 階段實驗項目及結果

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形	
G03114	S 廠家 120 V/15 A	電鍋(電阻)	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G03115				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G05114		吸塵器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G05115				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G13114		電暖器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G13115				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G16114		日光燈+電阻箱	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G16115				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G03214	S 廠家 120 V/20 A	電鍋(電阻)	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G03215				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G05214		吸塵器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G05215				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G13214		電暖器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G13215				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G16214		日光燈+電阻箱	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G16215				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G03314	E 廠家 120 V/15 A	電鍋(電阻)	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G03315				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G05314		吸塵器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G05315				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G13314		電暖器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G13315				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G16314		日光燈+電阻箱	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G16315				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G03414	E 廠家 120 V/20 A	電鍋(電阻)	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G03415				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G05414		吸塵器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G05415				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G13414		電暖器	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G13415				3.5mm <sup>2</sup>	5/5
G16414		日光燈+電阻箱	長距離導 線 50 m	2.0mm	5/5
G16415				3.5mm <sup>2</sup>	5/5

(跳脫次數/實驗次數)

表 18 G 階段實驗項目及結果(續)

實驗項目	廠家規格	負載名稱	實驗特性	AFCI 跳脫情形
G03116	S 廠家 120 V/15 A	電鍋(電阻)	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G05116		吸塵器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G13116		電暖器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G16116		日光燈+電阻箱	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G03216	S 廠家 120 V/20 A	電鍋(電阻)	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G05216		吸塵器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G13216		電暖器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G16216		日光燈+電阻箱	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G03316	E 廠家 120 V/15 A	電鍋(電阻)	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G05316		吸塵器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G13316		電暖器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G16316		日光燈+電阻箱	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G03416	E 廠家 120 V/20 A	電鍋(電阻)	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G05416		吸塵器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G13416		電暖器	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5
G16416		日光燈+電阻箱	導線(15m)彎曲並聯電弧	5/5

(跳脫次數/實驗次數)

### 第三節 短路過載實驗

並聯電弧故障實驗中，AFCI 跳脫的因素可能有：

(1)偵測並聯電弧而跳脫

(2)短路過載而跳脫

在此小節中測試 AFCI 過載電流的跳脫時間，利用圖 47，首先將電弧產生器兩端短路，使持續 75 A 電流通過 AFCI，測得以下結果：

表 19 短路過載測試

廠家規格	S 廠家 120 V/15 A	S 廠家 120 V/20 A	E 廠家 120 V/15 A	E 廠家 120 V/20 A
跳脫時間(sec)	1.83	5	2.67	7.03

表 19 為短路過載測試(短路電流 75 A)AFCI 之跳脫時間，AFCI 在短路偵測跳脫，其跳脫時間最短為 1.83 秒，最長為 7.03 秒。由表可知並聯電弧故障實驗中，AFCI 在跳脫時間內動作，極可能是因並聯電弧故障跳脫，反之若超過跳脫時間，AFCI 為過載跳脫。

本計畫中的並聯電弧故障實驗，AFCI 皆在 1.83 秒內跳脫，判斷是為電弧故障而跳脫。

### 第四節 小結

本章裡 F、G 階段中，實驗中 AFCI 皆能動作。並聯電弧故障與串聯電弧故障實驗，不同點是並聯電弧故障電流為之甚大，因此在實驗過程中，AFCI 跳脫可能是因為產生電弧的關係，亦可能是短路時電流太大造成的過載關係，是故 AFCI 在並聯故障上有較周全的保護。而由表 19 了解，若能在時間內跳脫，是為電弧故障跳脫。

表 20 為並聯電弧故實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例，表中包含所有並聯電

弧故障實驗之數據，其並聯電弧故障實驗共有 64 項，每項實驗測試 5 次，並聯電弧故障實驗次數為 320 次，AFCI 跳脫次數為 300 次，其 AFCI 跳脫百分比為九成以上。表 21 為兩廠家 AFCI 並聯電弧故障實驗的跳脫比例，S 廠家跳脫百分比為 96.88%，E 廠家為 90.63%。

表 20 並聯電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例

	電弧故障實驗數(次)	AFCI 跳脫次數(次)	百分比(%)
並聯實驗	320	300	93.75

表 21 兩廠家 AFCI 並聯電弧故障跳脫比例

		電弧故障實驗數(次)	AFCI 跳脫數(次)	百分比(%)
並聯實驗	S 廠家	160	155	96.88
	E 廠家	160	145	90.63

# 第六章 電弧故障跳脫的原因與探討

## 第一節 前言

為探討 AFCI 在發生電弧故障時跳脫的原因，首先在第四章與第五章的實驗結果中，針對起弧 AFCI 跳脫時的電流做分析，可初步獲以下現象

- (1) 在 0.5 秒內，起弧皆達到連續 8 次一半週期以上。
- (2) 電流變動。
- (3) 產生 Shoulder 現象。
- (4) 起弧時流過 AFCI 電流原則上須達 5A 以上(電阻性負載)。
- (5) 含有高頻成份。

其中發生(1)、(2)、(3)、(4)現象時可用儀器量測而觀察得到，但(5)中電流中含有高頻成份，不容易察覺，可能隱含在波形內，必須使用頻譜分析技巧，分析各頻率成份。本章節將探討測得的串並聯電弧故障電流信號之頻譜分析。依據第四章 B 階段實驗結果，電流變動與 Shoulder 現象，並非 AFCI 跳脫唯一原因，故本章電弧故障跳脫的原因著重在(1) 0.5 秒內，起弧皆達到連續 8 次一半週期以上，(4) 起弧時流過 AFCI 電流原則上須達 5A 以上(電阻性負載)及(5)高頻成份分析。

FFT(Fast Fourier Transform)快速傅立葉轉換是常用於信號頻譜分析，利用撰寫 Matlab 軟體程式，做非起弧與起弧時之通過 AFCI 電流(未達 5 A 之電感性及電力電子特性負載與達到 5 A 以上電阻性負載)的頻譜分析，以找出 AFCI 因在起弧時引起跳脫的原因。

首先將分析的量測電流波形，取樣頻率為 20k Hz，以 60 Hz 而言，每個週期含有 333.3333 個點數，則截取的波形轉換成數據過後的檔案，點數至少大於等於一個週期點的倍數( $\geq 333.3333 \times \text{倍數}$ )，才可畫出一個 FFT 圖形。參考 UL1699，為符合在 0.5 秒內，起弧達到連續 8 次半週規定，取其中 8 次週期轉換成數據資料檔案，對此數據進行 FFT 分析，並分別繪出每週期的 FFT 分析圖形，共可繪



出八個頻譜分析圖，以比較跳脫與未跳脫 FFT 分析差異。

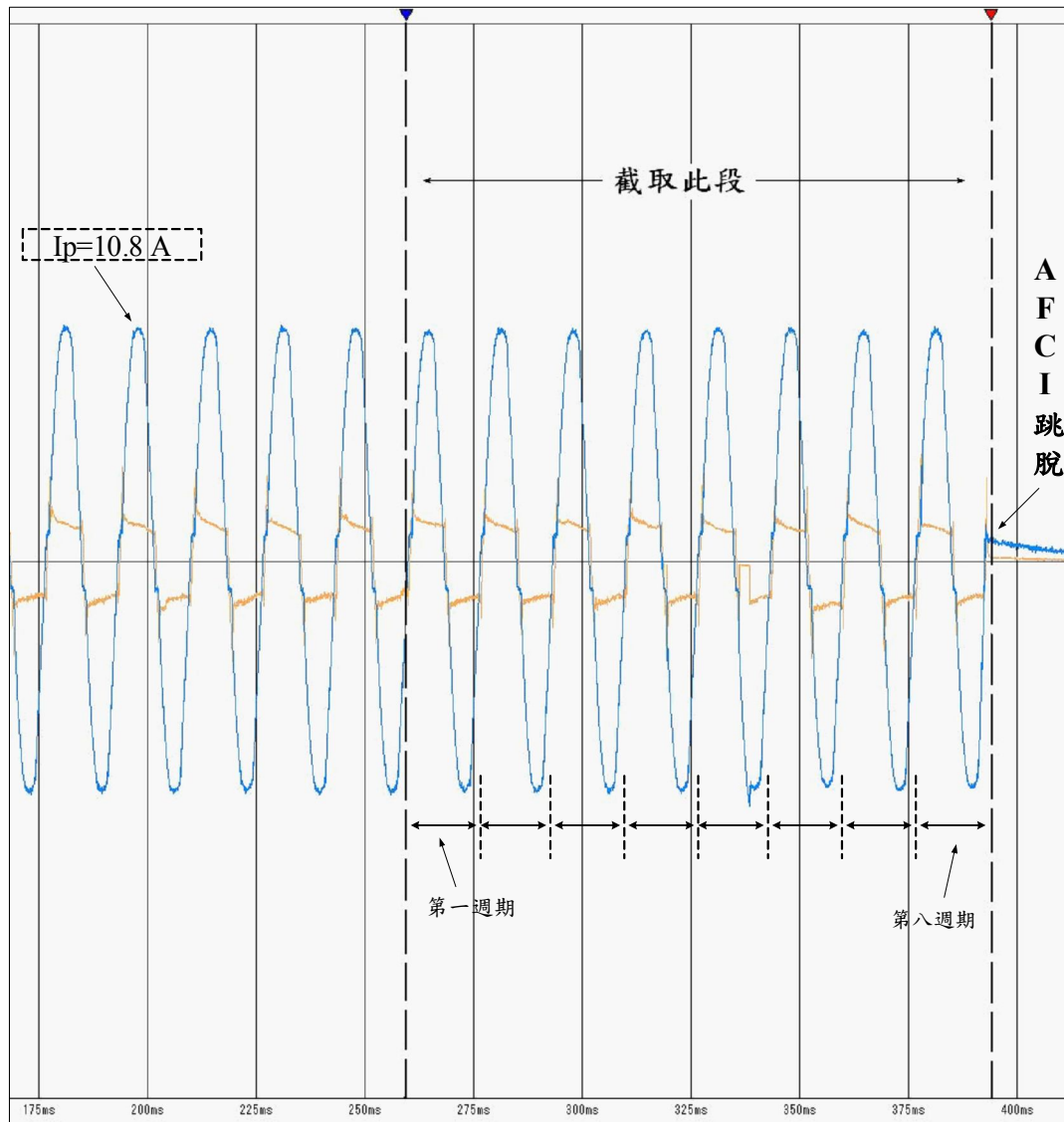


圖 50 吹風機起弧時之電流

如圖 50 以 C 階段實驗中吹風機在起弧時(實驗項目：C01304)，截取一段(8週期)之負載電流(約 8 A)做 FFT 分析，圖 51 為第一週期經 FFT 分析圖形，X 軸顯示出週期中的頻率，Y 軸顯示出電流，此處取 0~0.05 A 範圍，為了易看出高頻成份。

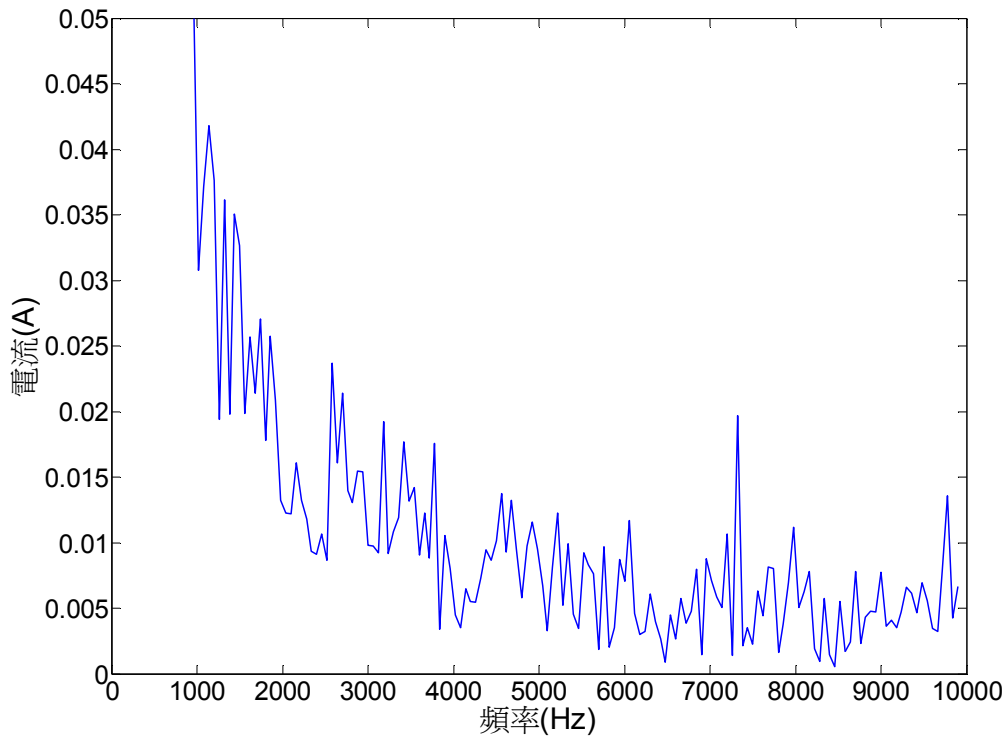


圖 51 吹風機起弧時之電流 FFT 分析

## 第二節 電弧故障信號 FFT 分析

為了解發生電弧故障時 AFCI 跳脫原因，可從高頻成份之電流量大小判斷，茲分以下十種性質負載分析：

### (1) 吹風機

圖 53 為比較吹風機正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，資料擷取 A 階段實驗中實驗項目：A01000(正常用電負載電流為 8.1 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C01304 (串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖中可知，有 8 個一次半週持續起弧，起弧時比正常用電的電流量為大，頻率介於 2~8 kHz 間。

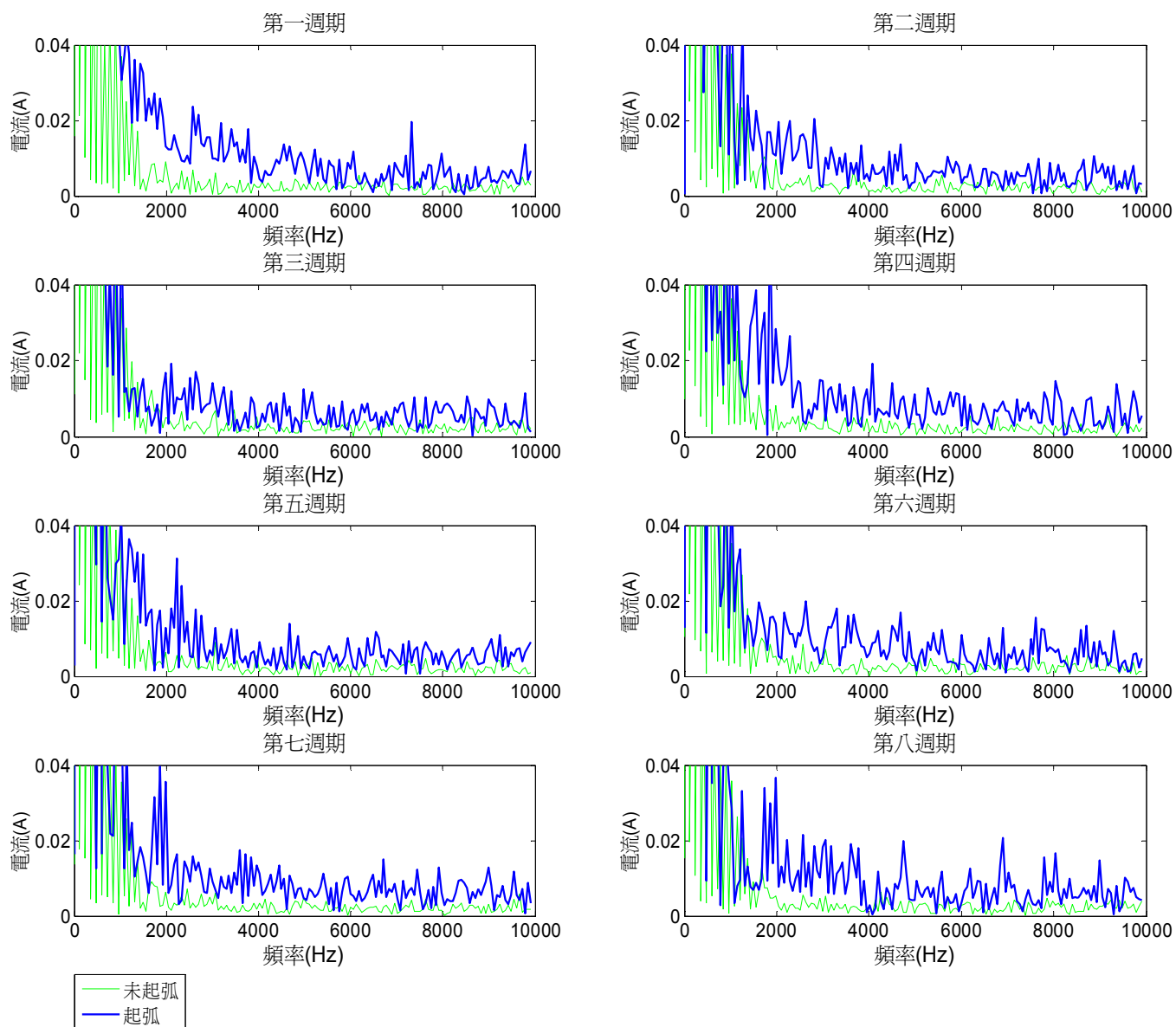


圖 53 比較吹風機正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)

圖 54 為比較吹風機正常用電與正常用電下開關啓閉(AFCI 跳脫)時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A01000(正常用電負載電流為 8.1 A)與 B 階段實驗中實驗項目：B01102 (開關啓閉 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖中可知，雖然 8 個週期並非都含有高頻，但第三、五、六、七、八週期中之高頻成份，有 8 個一半週(4 個週期)持續起弧，起弧時比正常用電的電流量為大，頻率介於 1~8 kHz 間，以致使 AFCI 偵測八個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

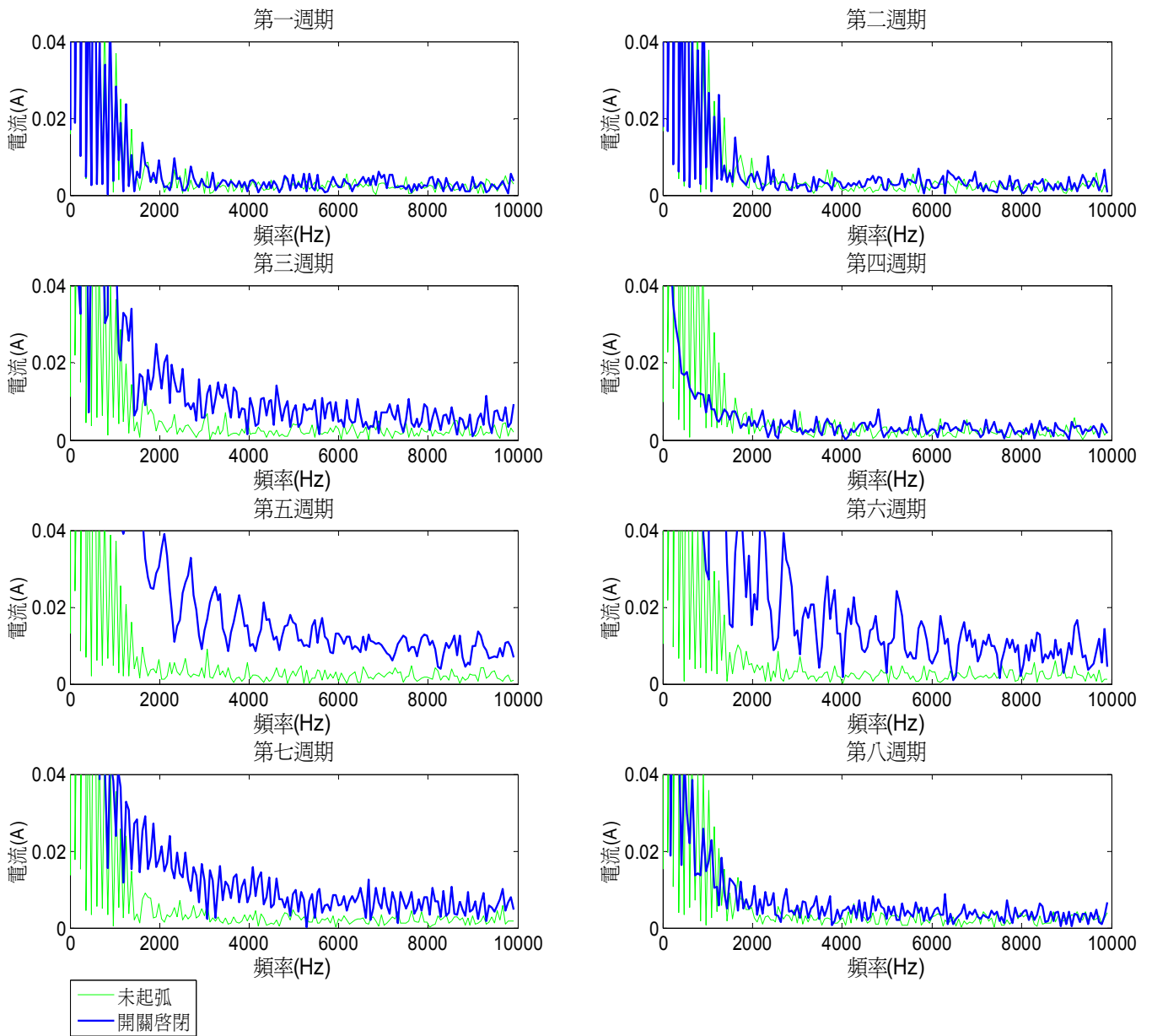


圖 54 比較吹風機正常用電與正常用電下開關啓閉時之電流 FFT 分析(開關啓閉 AFCI 跳脫)

在 B 階段實驗中，只有開關啓閉時曾造成 AFCI 的跳脫，因為快速地操作開關啓閉所產生的高頻，如圖 54 顯示；而在插頭拔插實驗中，產生的電弧則從未使 AFCI 跳脫，圖 55 為比較吹風機正常用電與插頭拔插時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A01000 與 B 階段實驗中實驗項目：B01103(插頭拔插 AFCI 未跳脫)所流過 AFCI 電流。圖中只有在第二週期有高頻成份，乃因插頭拔起或插入插座瞬間造成電流變動，未能持續起弧達連續 8 個一半週期，而其餘七個週期波形幾乎是重疊的，由此知插頭拔插實驗中未能使 AFCI 跳脫。

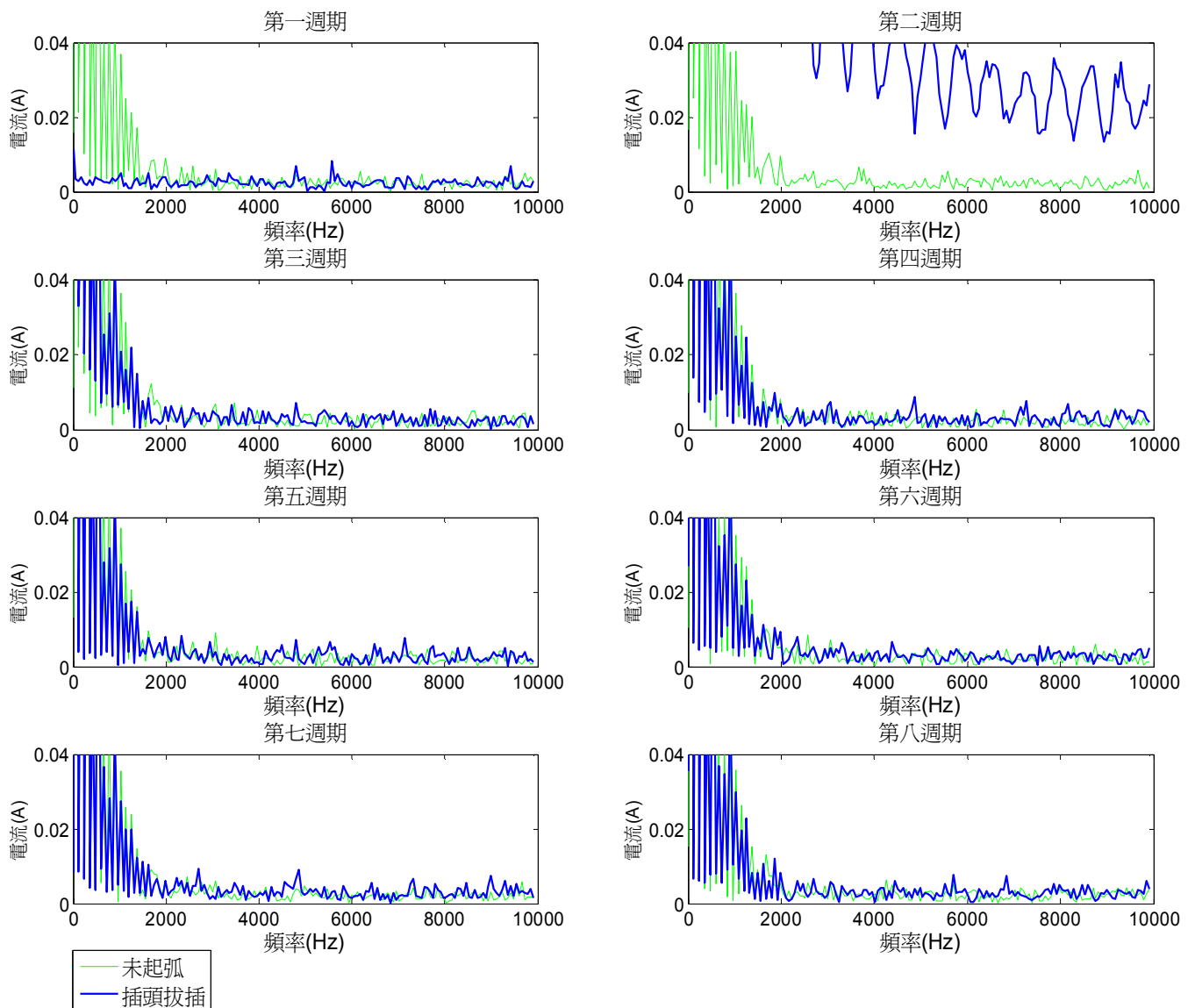


圖 55 比較吹風機正常用電與插頭拔插時之電流 FFT 分析(插頭拔插 AFCI 未跳脫)

## (2) 風扇

圖 56 為比較風扇正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A02000(正常用電負載電流為 0.6 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C02104 (串聯起弧 AFCI 未跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖中可知，起弧時與正常用電時的電流量重疊，難以分辨，以致使 AFCI 未能持續起弧達 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

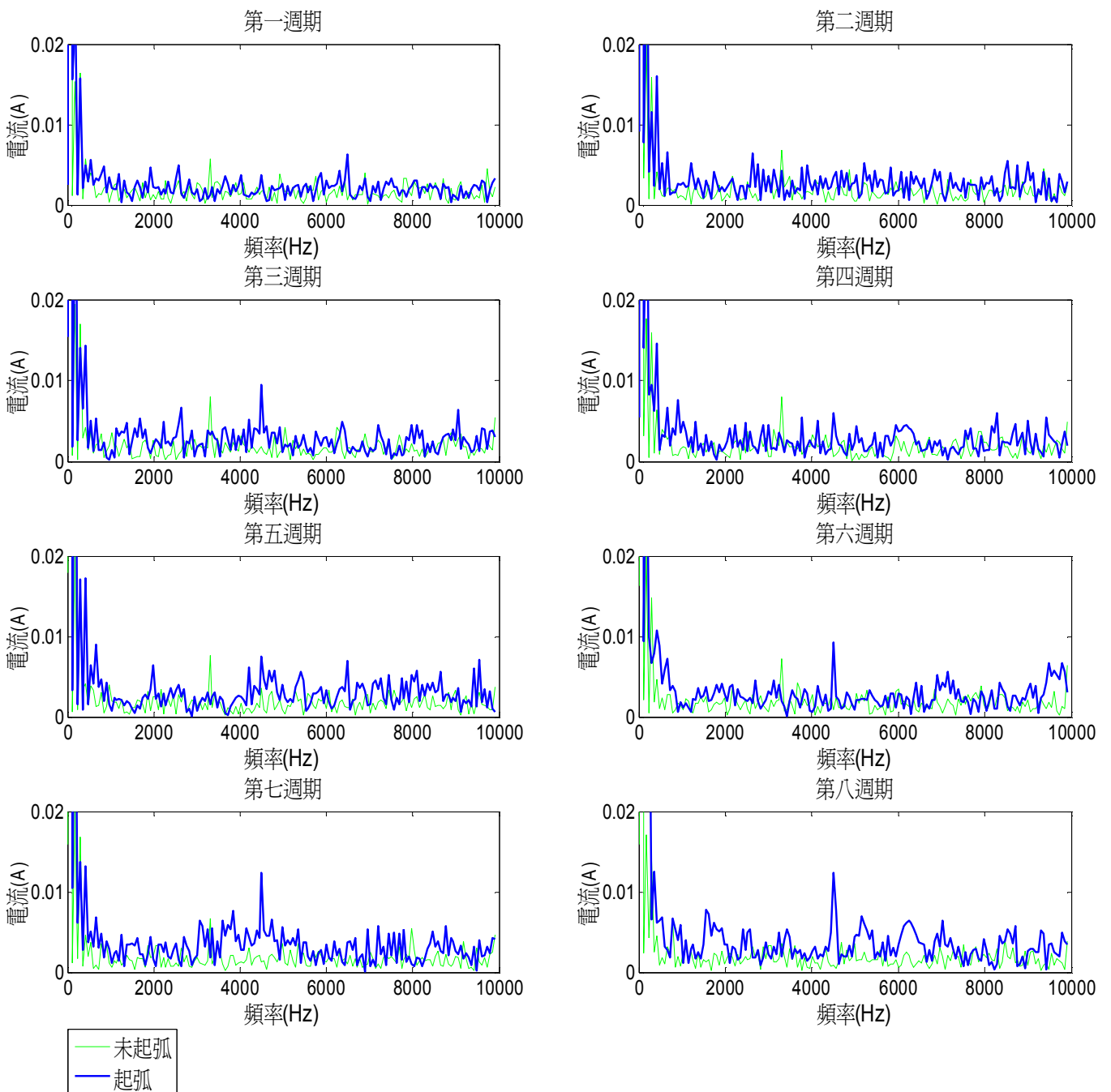


圖 56 比較風扇正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 未跳脫)

圖 57 比較風扇正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A14000(正常用電負載電流為 5.5 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C14104 (串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖中可知，將電流量增加後起弧時較易產生較大的高頻成份，且 AFCI 偵測出連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

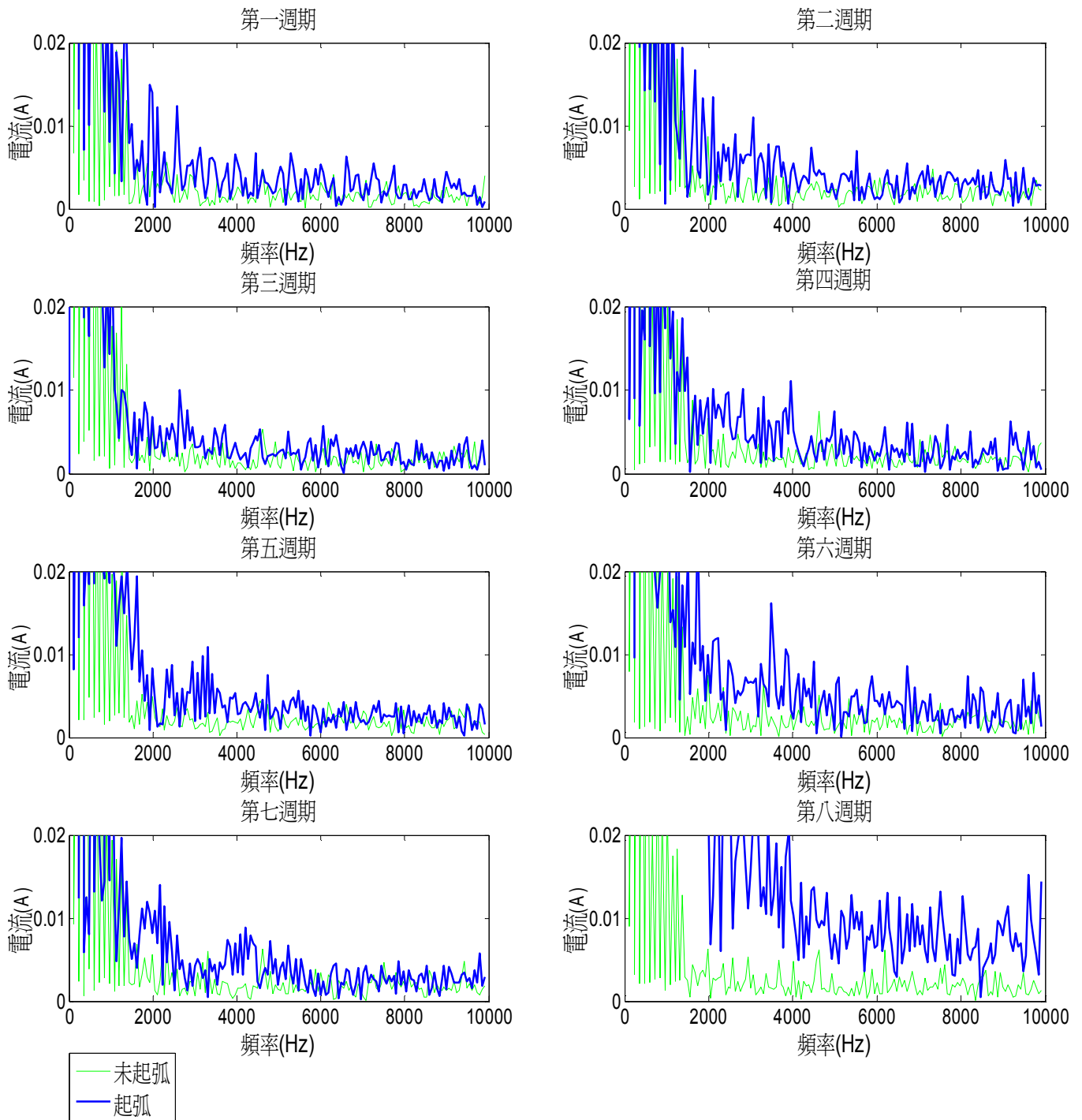


圖 57 比較風扇+電阻正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)

### (3)電鍋

圖 58 為比較電鍋正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A03000(正常用電負載電流為 5.4 A)與 D 階段實驗中實驗項目：D03306 (線路彎曲串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖知經過彎曲的線路電流高頻還是存在，除了第一週期外，其他週期在 1~4k Hz 之間起弧與未起弧之 FFT 有較明顯的差距。雖然第一週期高頻成分並不特別突出明顯，，2~4 kHz 或 5~6.5 kHz 內，亦有高頻成份出現。有 8 個一半週持續起弧，起弧時比正常用電的電流量為大，以使 AFCI 偵測到而跳脫。

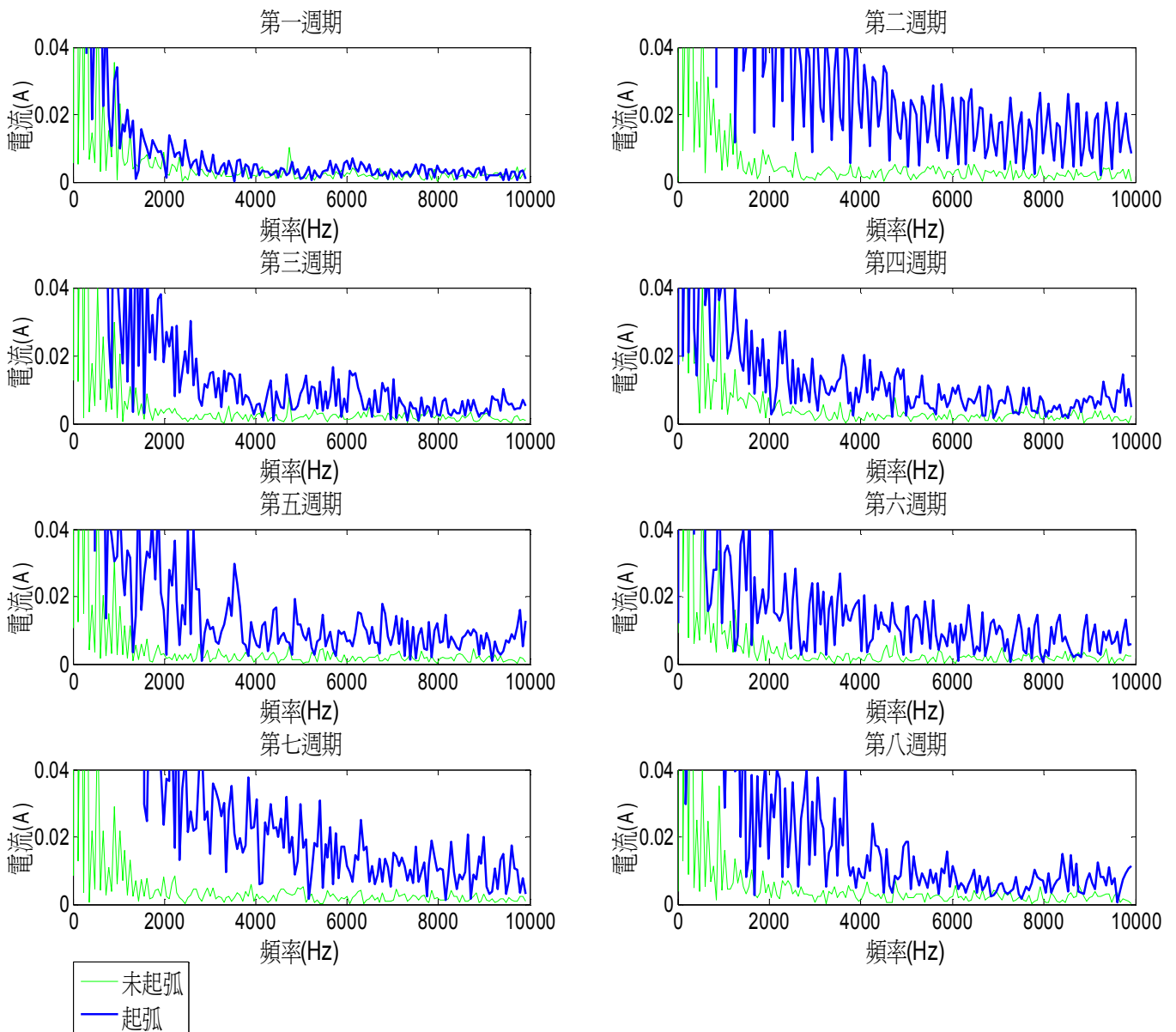


圖 58 比較電鍋正常用電與起弧時電流 FFT 分析(線路彎曲串聯起弧 AFCI 跳脫)



#### (4)吸塵器

圖 59 比較吸塵器正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A05000(正常用電負載電流為 5.2 A)與 D 階段實驗中實驗項目：D05307 (單芯線線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖知，線路 50 m 串聯起弧的電流，第一、三、四、五、六、七週期有高頻成份頻率介於 1~10 kHz，以致使 AFCI 偵測到連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

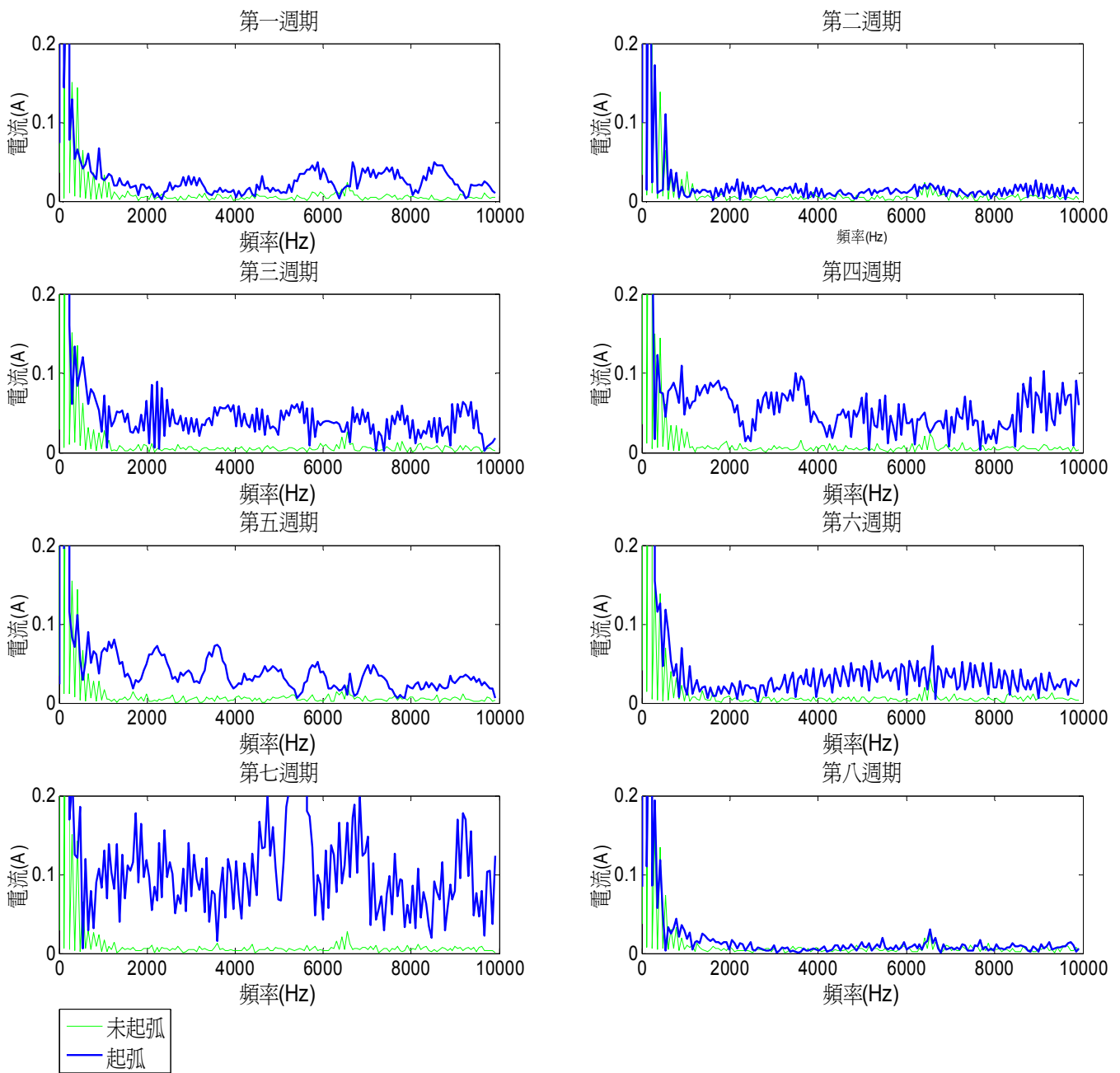


圖 59 比較吸塵器正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(單芯線線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫)

### (5)電腦(電源供應器)

圖 60 比較電腦正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A15000(正常用電負載電流為 5.5 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C15104 (串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。從(2)風扇結果知，將未滿 5 A 的負載加至 5 A 以上，較容易致使 AFCI 跳脫。由圖中可知，起弧時產生較大的高頻成份，且 AFCI 偵測出連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

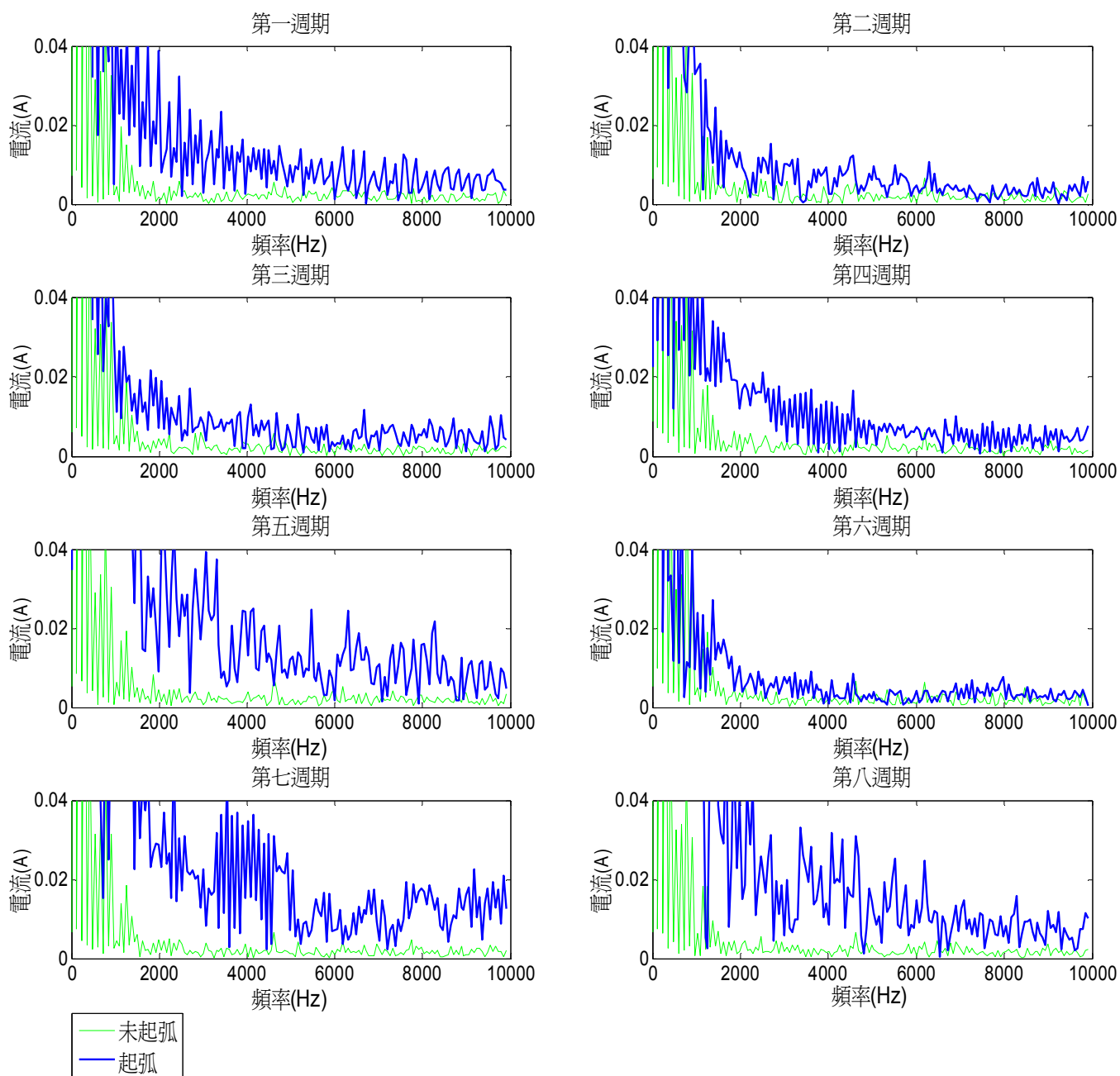


圖 60 比較電腦+電阻正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)

### (6)日光燈(電子安定器)

圖 61 比較日光燈正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A09000(正常用電負載電流為 1.3 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C09104 (串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。從圖 6-12 知日光燈未達到 5 A 以上但其起弧時突波電流遠大於 5 A，是因為起弧時產生較大的高頻成份，且 AFCI 偵測出連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

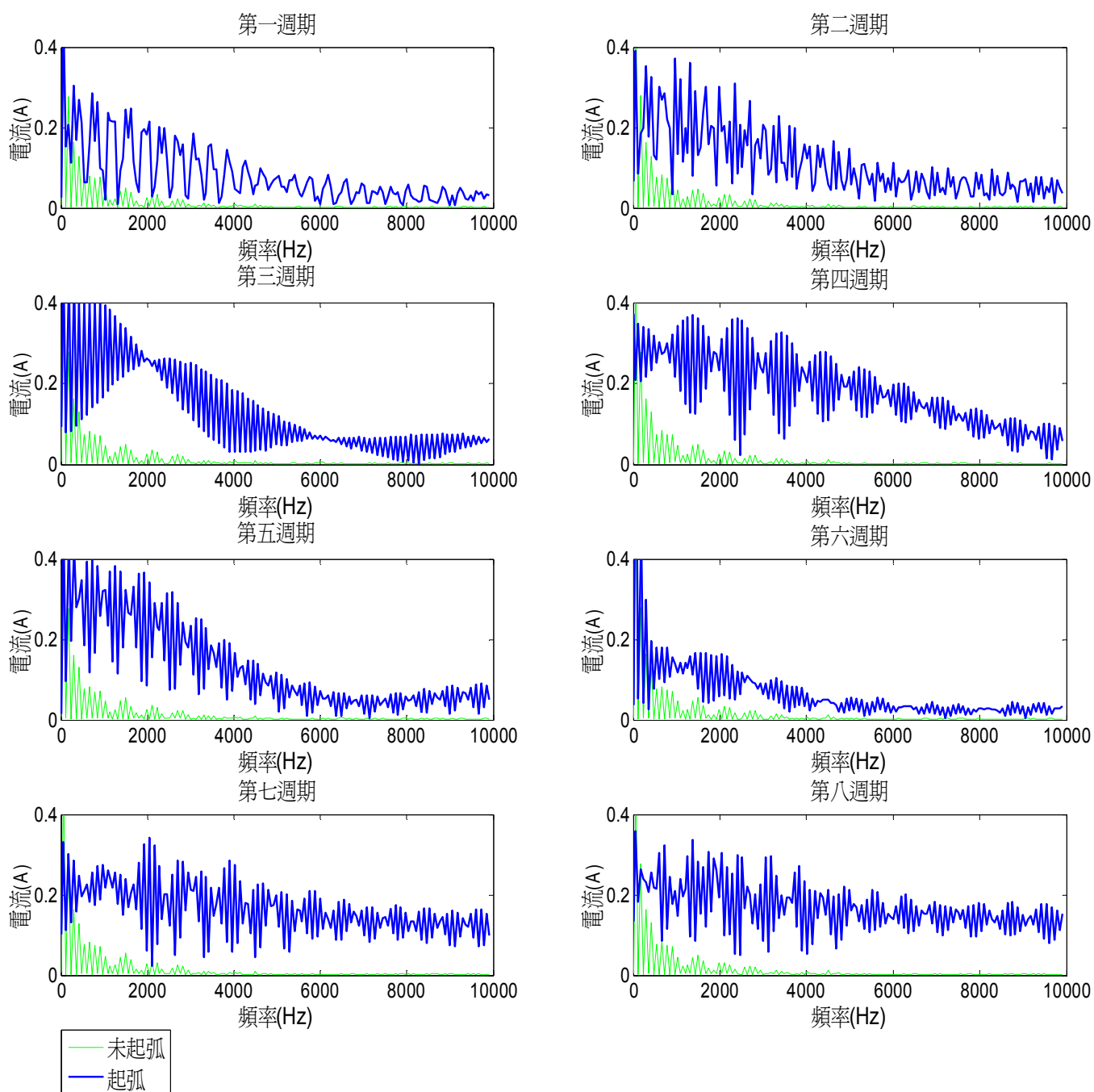


圖 61 比較日光燈正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)

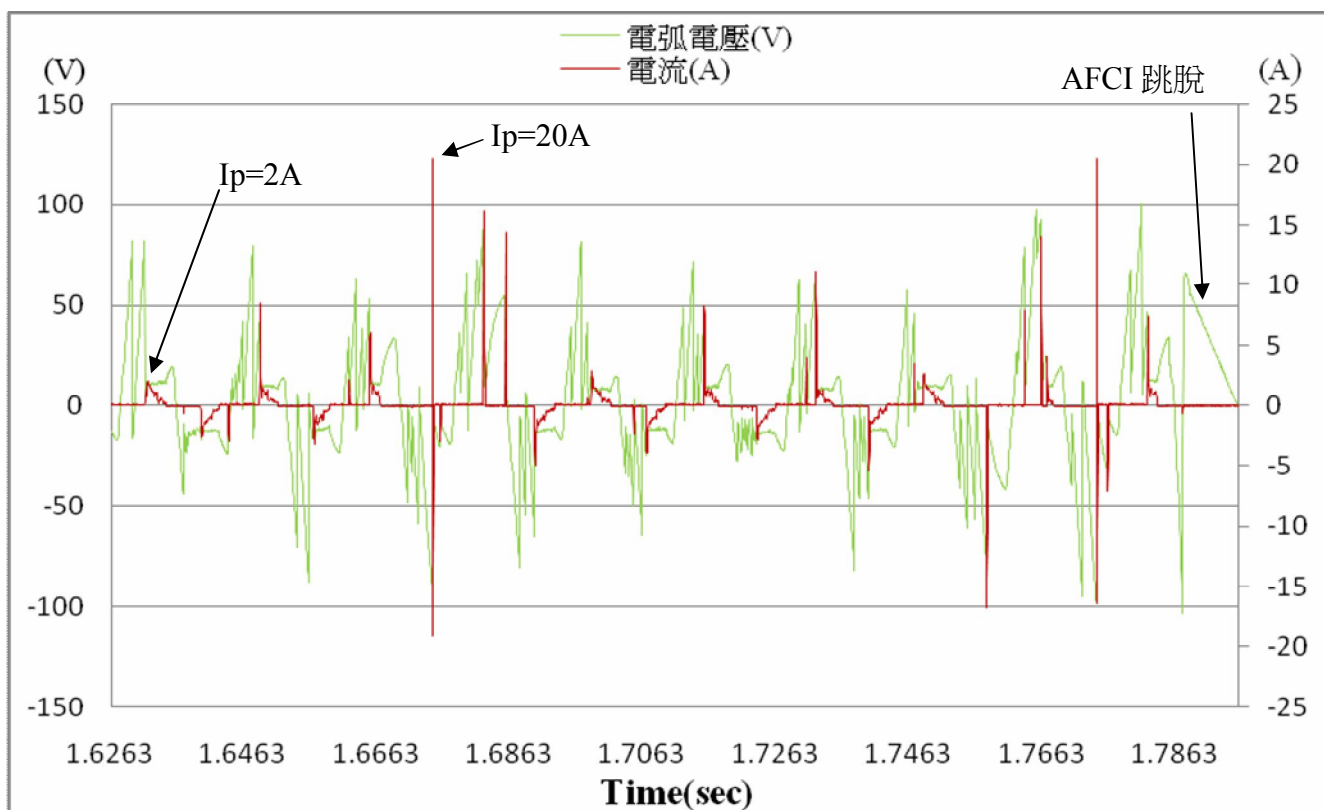


圖 62 C 階段實驗中項目日光燈負載(串聯起弧 AFCI 跳脫)

圖 62 是截取日光燈 C 階段實驗中實驗項目：C09104 (串聯起弧 AFCI 跳脫) 的波形(正常用電負載電流為 1.3 A)，雖然其電流並無超過 5 A 以上，但可發現起弧時的電流值有達 20 A 以上，若能持續起弧，是可能讓 AFCI 跳脫的；電鑽負載(正常用電負載電流為 2.7 A)與電冰箱(正常用電負載電流為 1.7 A)也是相同的，皆是起弧時能產生較大突波電流，且內含高頻成份，故 AFCI 有跳脫情況。

### (7)電鑽

圖 63 比較電鑽正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A04000(正常用電負載電流為 2.7 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C04104 (串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。圖中除了未起弧時在 5k Hz 有一突波的量(約 0.05 A)，起弧時的高頻成份仍比正常用電未起弧時高，導因為起弧時產生較大的高頻成份，且 AFCI 偵測出連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

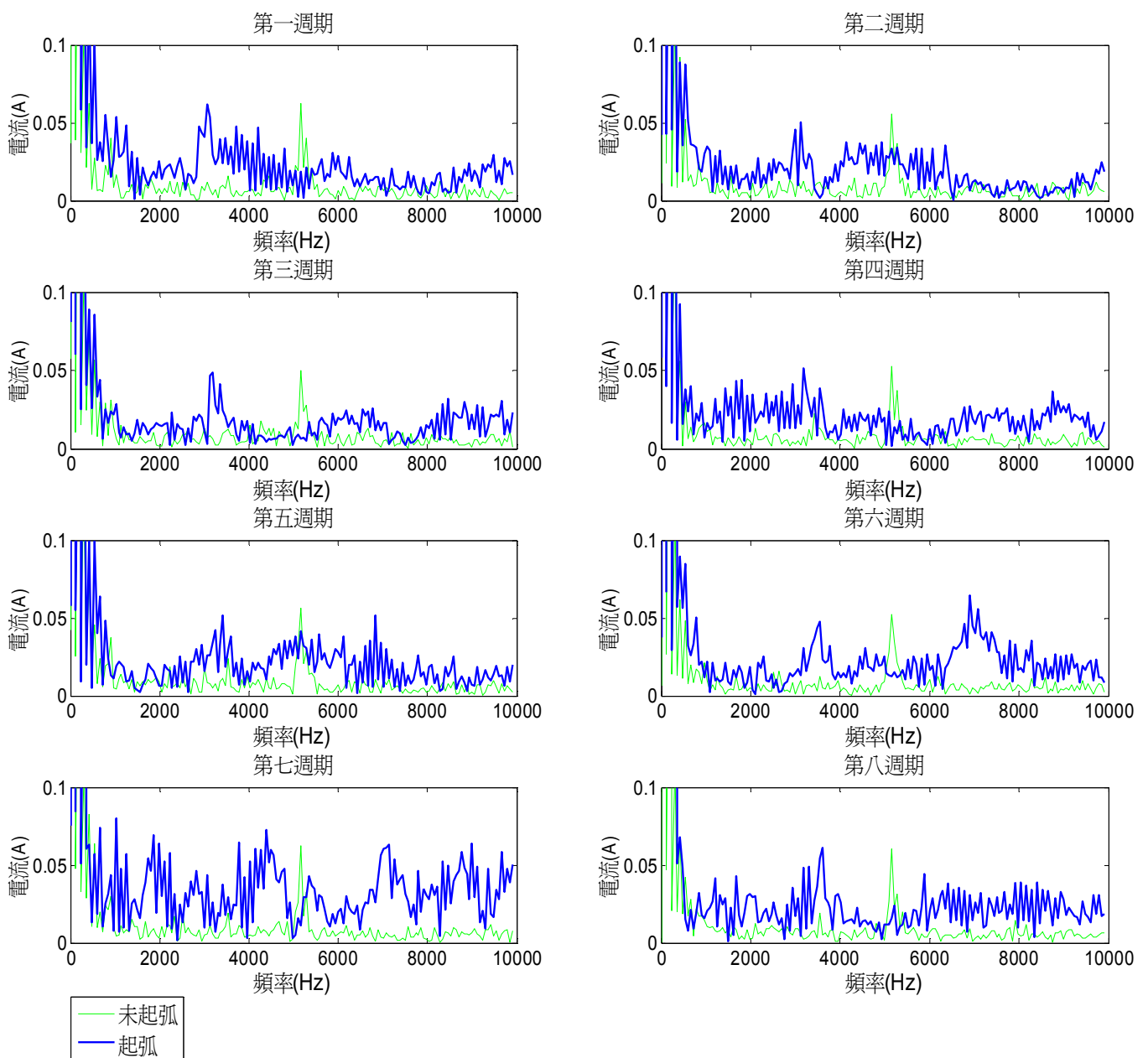


圖 63 比較電鑽正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)

### (8)電冰箱

圖 64 比較電冰箱正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A06000(正常用電負載電流為 1.7 A)與 C 階段實驗中實驗項目：C06304 (線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖中可知，在高頻成份起弧電流比正常電流大，且 AFCI 偵測出連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

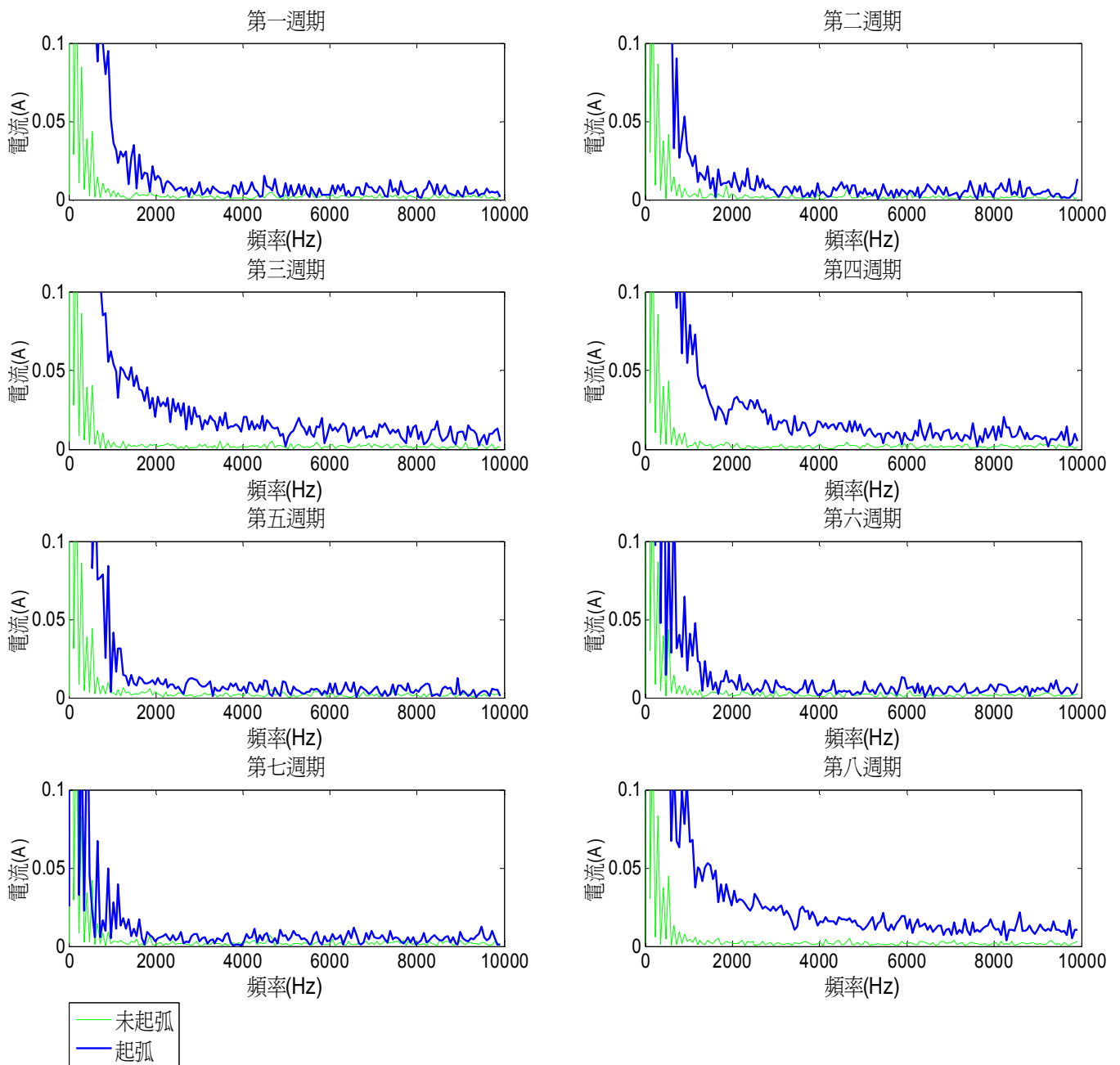


圖 64 比較電冰箱正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫)

### (9)空壓機(壓縮機)

圖 65 比較空壓機正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A07000(正常用電負載電流為 8.4 A)與 D 階段實驗中實驗項目：C07304 (串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。由圖知線路 50 m 串聯起弧的電流，第一、三、四、五、六、七，八週期有高頻成份頻率介於 1~10 kHz，以致使 AFCI 偵測連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

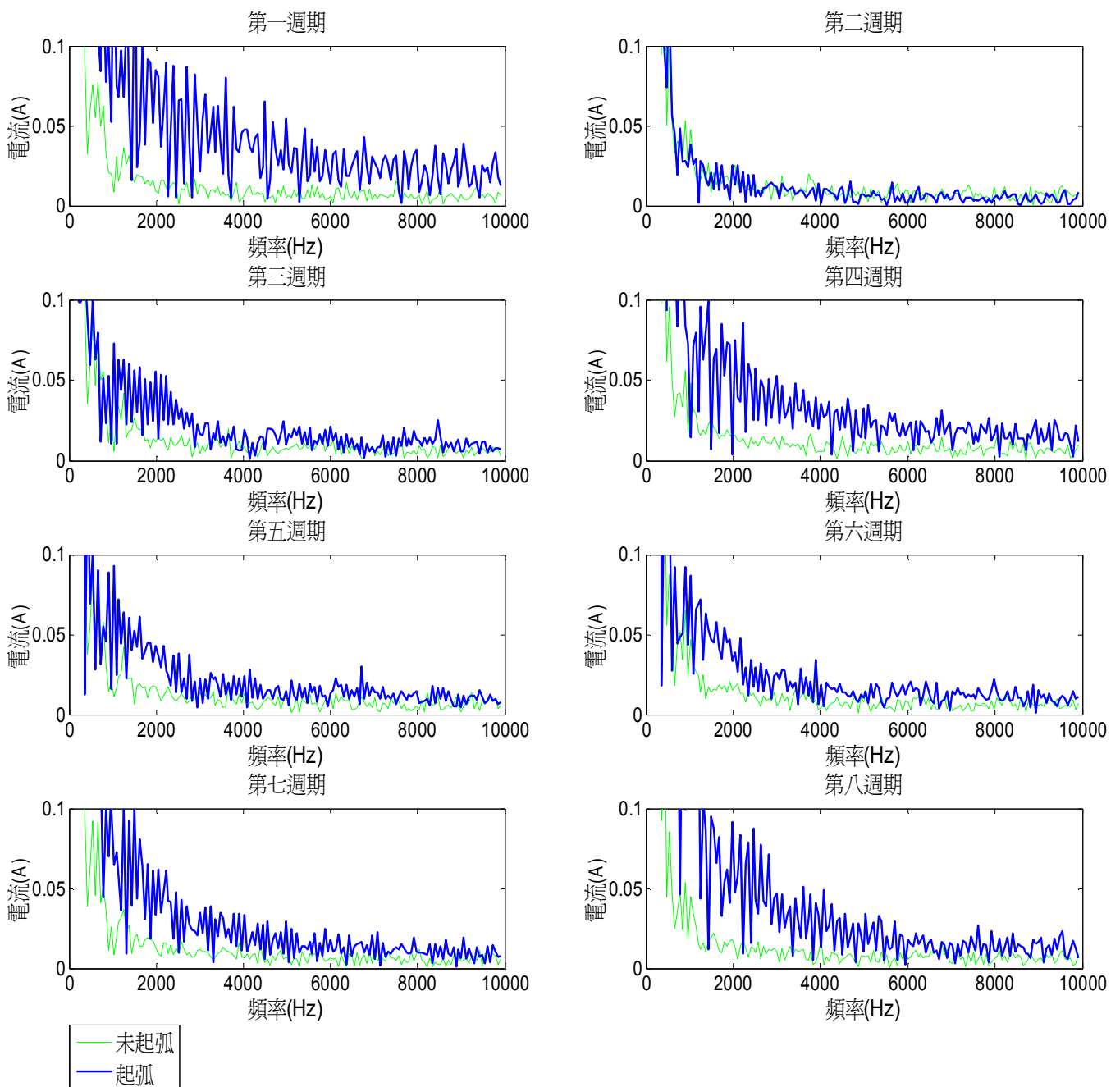


圖 65 比較空壓機正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(串聯起弧 AFCI 跳脫)

### (10)電暖器

圖 66 比較電暖器正常用電與起弧時之電流 FFT 分析，其分析資料擷取自 A 階段實驗中實驗項目：A13000(正常用電負載電流為 6.9 A)與 D 階段實驗中實驗項目：D13409 (絞線線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫)所流過 AFCI 電流。圖中可知，在第一、二、四、五、六、七、八週期，起弧電流比正常電流大，頻率介有高頻成份頻率介於 1~10 kHz，以致使 AFCI 偵測連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

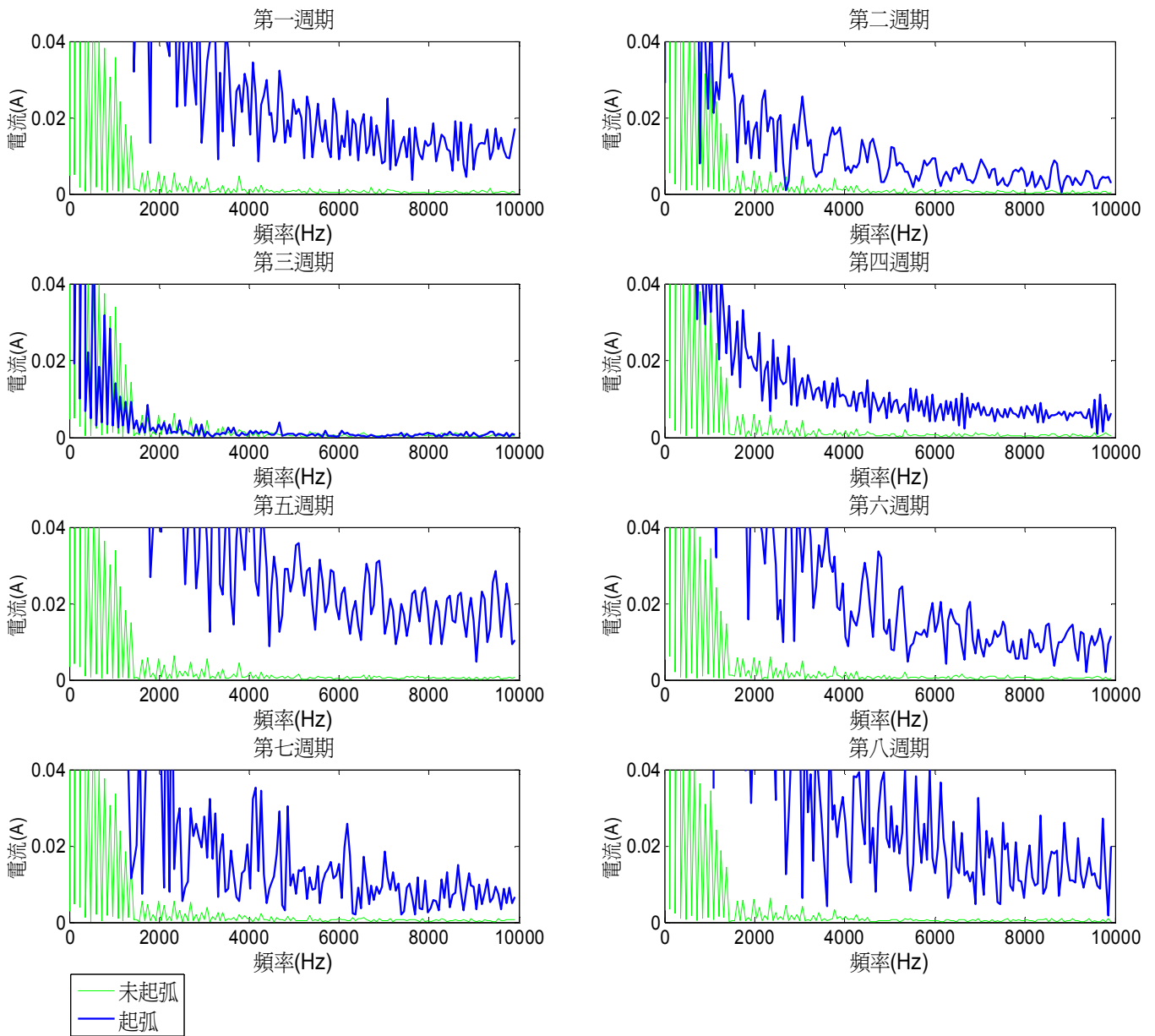


圖 66 比較電暖器正常用電與起弧時之電流 FFT 分析(絞線線路 50 m 串聯起弧 AFCI 跳脫)



### (11) 並聯電弧故障分析

圖 67 比較直接短路與並聯電弧故障 AFCI 跳脫時之電流 FFT 分析，並限制電流在 75 A，圖中可知在第一、五、六、七、八週期，起弧電流比正常電流大，頻率介於 1~10 kHz，以致使 AFCI 偵測連續 8 個一半週期都含有高頻成份而跳脫。

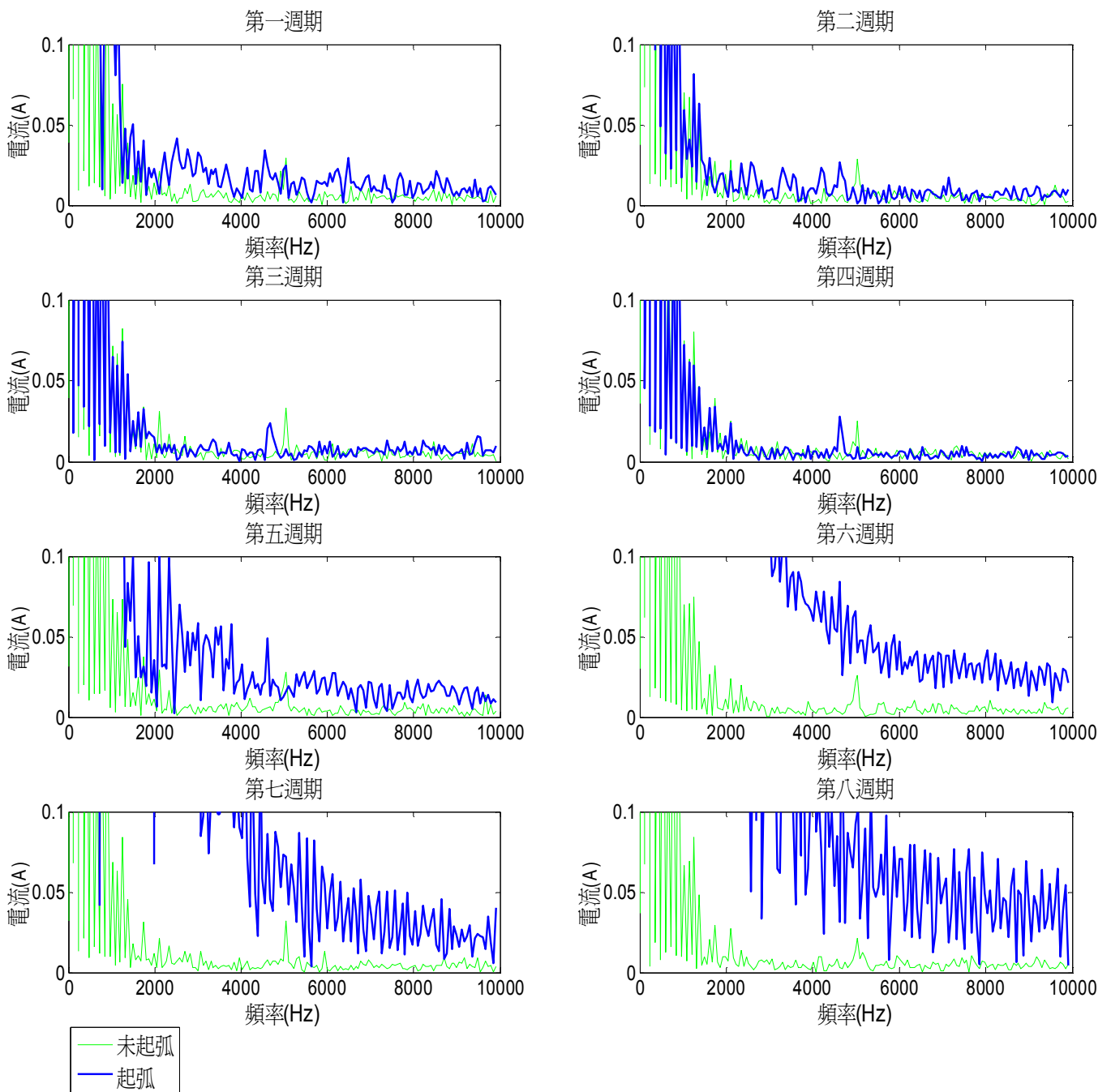


圖 67 比較直接短路與並聯電弧故障之電流 FFT 分析(電流 75 A)

### 第三節 小結

在 0.5 秒，起弧達到 8 個一半週期以上，探討 AFCI 跳脫原因，歸納以下五點，如下：

- (1) 產生電弧故障時的電流確實含有高頻成份
- (2) 電弧故障電流的高頻，大多發生在 1k Hz~10k Hz。
- (3) 電阻性負載產生串聯電弧故障時的電流要有足夠能量(5 A 以上)，才可能讓 AFCI 跳脫，但電感性與電力電子控制的負載特性則不一定，因為其產生電弧瞬間其電流能達到 5 A 以上或更高，亦足以使 AFCI 跳脫。
- (4) AFCI 在 B 階段的好弧實驗中，極少情況亦可能產生電弧故障時的高頻成份。
- (5) AFCI 在並聯電弧故障的跳脫原因，可以是短路造成過電流跳脫，也可是並聯電弧故障而跳脫，因為並聯電弧故障電流也有高頻成份，且比串聯故障來得大。

# 第七章 結論

## 第一節 結論

本計畫針對台灣工廠及家庭所使用的低壓線路負載做測試，並進行電弧故障實驗，了解電弧故障斷路器斷路器功能，期望電弧故障斷路器降低事故的技術能被大眾了解，未來並能透過電弧故障斷路器來減少電氣火災的發生率。

計畫中所進行的實驗項目總共 377 項，其中串聯電弧故障(含 5A 以下)200 項，並聯電弧故障 64 項，電弧故障實驗共 264 項，每項實驗皆測試 5 次。表 22 為電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數及比例表，串聯電弧故障實驗(5A 以上)，AFCI 跳脫的百分比為 50%，並聯電弧故障實驗 AFCI 跳脫的百分比為 93.75%。彙整串聯與並聯電弧故障實驗後(5A 以上)，AFCI 跳脫的百分超過 61.67%。

表 22 電弧故障實驗次數與 AFCI 跳脫次數比例

	電弧故障實驗數(次)	AFCI 跳脫數(次)	百分比(%)
串聯實驗(含 5A 以下)	1000	440	44
串聯實驗(5A 以上)	880	440	50
並聯實驗	320	300	93.75
串並聯實驗(含 5A 以下)	1320	740	56.06
串並聯實驗(5A 以上)	1200	740	61.67

相關實驗結果與分析如下：

1. B 階段實驗中，突波電流、非正弦波電流並不會造成 AFCI 之誤動作，僅在正常操作下之電弧(好弧)實驗中，AFCI 發生 2 次的誤動作跳脫，佔總實驗次數 500 次之 0.4%。
2. AFCI 對串聯電弧故障跳脫百分比比較低，主因在於負載電流量太小，實驗中可

- 知，AFCI 偵測串聯電弧故障，電流至少 5 A。
3. D 階段實驗中，使用長距離 50 m 導線之串聯電弧故障實驗，AFCI 跳脫次數中，絞線比單芯線次數多，且線徑越大 AFCI 跳脫次數較多。
  4. D 階段實驗中，使用長距離 50 m 單芯線的串聯電弧故障實驗，AFCI 跳脫次數比 C 階段的次數少。在具有濾波器的測試電路，AFCI 跳脫次數也減少。因此長距離導線與濾波器會使故障訊號衰減，影響 AFCI 偵測電弧信號。
  5. D 階段實驗中的導線彎曲測試電路，及 E 階段中混合負載測試電路，皆不影響 AFCI 動作。
  6. 在串聯電弧故障實驗中，火線與中性線反接，並不影響 AFCI 動作。

## 第二節 建議

1. 本計畫之實驗結果統計發現電弧故障使 AFCI 成功跳脫百分比為 61.67%，另根據美國消費者產品安全委員會(CPSC)的專家深入研究評估，合併 AFCI 保護功能與傳統線路斷路器可以防止 50%以上的電氣火災，而美國州消防署署長全國協會(NASFM)的專家則認為可以防止 75%的電氣火災。這些數據都表示 AFCI 的確是有防範電氣火災的功能，雖然尚未達百分之百，但是低壓用電線路或設備，若能有 AFCI 的保護，相信可降低更多的電氣火災傷害及損失。
2. 近程可透過各電器工會或協會等，將 AFCI 此項保護裝置推廣給業界或大眾了解，並引進台灣使用。
3. 未來可更廣泛試驗各種特殊負載以及各種不同的配線線路，藉此更熟悉 AFCI，並由國內相關廠家自行研究開發 AFCI。

## 誌謝

本研究計畫參與人員除本所蘇副研究員文源、李玉璽，另包括國立台灣科技大學電機工程係吳教授啓瑞、明新科技大學莊教授永松、鄭研究生惠翔、李研究生忠達，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] George D. Gregory, Kon Wong, and Robert F. Dvorak: More About Arc-Fault Circuit Interrupters, IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 40, NO. 4 ; 2004.
- [2] G. Parise, L. Martirano, U. Grasselli, L. Benetti: THE ARC-FAULT CIRCUIT PROTECTION, Electrical Engineering Dept., University of Rome "La Sapienza", Via Eudossiana, 18 - 00184 - Rome, Italy.
- [3] Huaren Wu, Xiaohui Li, D. Stade, and H. Schau: Arc Fault Model for Low-Voltage AC Systems; IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL.20, NO.2 ; 2005.
- [4] National Electrical Manufacturers Association: ARC FAULT CIRCUIT INTERRUPTERS EXPANDING HOME SAFETY.  
<http://www.oah.state.mn.us/cases/190019553-electric/batch6-e.pdf>.
- [5] Siemens: Arc Fault Circuit Interrupter(AFCI), Siemens Energy & Automation Inc.  
<http://www2.sea.siemens.com/NR/rdonlyres/B8E3F76B-098E-4C4E-B1B0-C65AC83D8111/0/AFCITechnicalOverviewPresentation.pdf>
- [6] John A. Wafer: The Evolution of Arc Fault Circuit Interrupters Electrical Contacts. 2005. Proceedings of the Fifty-First IEEE Holm Conference on ; 2005.
- [7] D. Brechtken, IEEE: Preventive Arc Fault Protection, IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, VOL.1 ; 2001.
- [8] James Keenan, Michael Parker: Arc Detectors, IEEE Telecommunications Energy Conference ;1998
- [9] George D. Gregory, Senior Member, IEEE, and Gary W. Scott: The Arc-Fault Circuit Interrupter, An Emerging Product,” IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 34, NO. 5 ;1998.
- [10] 羅雷、劉暉：新型家用電弧故障斷路器(AFCI)的開發。瑞薩科技，中國大陸北京，<http://download.dianyuan.com/dianyuan.com/bbs/36/1135070942.pdf>。
- [11] 曾元超：防範住家電氣火災的新技術。南部資料處理中心，台電月刊，2008，549期：26-31。
- [12] NEMA: Arc Fault Circuit Interrupters using advanced technology to reduce electrical fires.
- [13] Underwriters Laboratories Inc, Standard for Safety: Arc Fault Circuit Interrupters; UL1699.

附件一 電弧故障斷路器選用技術指引

# 電弧故障斷路器選用技術指引

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

# 1.前言

從媒體報章新聞每隔一段時間就會有疑似「電線走火」不幸多少人員傷亡，多少財產損失等火災的報導層出不窮，根據內政部消防署的統計資料，自民國 87 年至 96 年的全國火災報告，電器設備為所有火災媒介物之首因，其所佔比例在 20%~35%之間，另依 94 年之住宅火災統計中，電器設備亦高佔 47%。另外根據美國消防協會(NFPA)2008 年 3 月的「牽涉電氣配線及照明設備的住家建物火災」報告中指出；2002 年到 2005 年間全美平均估計每年有 20,900 件牽涉電氣配線及照明設備的住家建物火災，導致 500 人員死亡，1,100 人受傷以及 862 百萬每美金的直接財物損失，而半數以上的火災件數被歸屬於電弧事故(arcing faults)所致。

根據國際電氣安全基金會(ESFI)之報告，自從美國採用電弧故障斷路器 (AFCI)科技後，防止了電弧災害達 50%~75%，每年也減少數十億美金的損失，人員的死傷也逐年下降。另電弧故障斷路器的重要性，也得到包括美國安全測試實驗室(UL)，加拿大標準協會(CSA)，美國州消防署署長全國協會(NASFM)，美國消費者產品安全委員會(CPSC)等許多的組織認可。CPSC 的專家深入研究後評估，合併 AFCI 保護功能與傳統線路斷路器可以防止 50%以上的電氣火災，NASFM 的專家則認為可以防止 75%的電氣火災。

有鑑於此，本指引係提供一有關電弧故障斷路器之選用技術，希藉以提供有關電弧故障斷路器應用於配線上之使用參考，以防止因電弧故障引起之電氣火災事故，保障工廠與居家之人員安全與財產。

## 2.電弧故障斷路器之選擇

### 2-1 電弧故障斷路器之簡述

電弧一般定義為「電流穿過絕緣媒介發出的放電現象」，而許多被熔化金屬的微粒亮點從電弧發生點飛濺出則是火花(sparking)電弧現象。而導致電弧的情況可能有下列幾項：絕緣的磨損與劣化、長期的壓迫電線導致半斷線的情況發生、



插座的濫用、鬆脫的連接器、鑽頭、釘子或是螺絲等鑽入電線中等。美國州消防署署長全國協會(NASFM)則認為電弧事故會以「串聯」或「並聯」其中一種方式在線路上發生。「串聯」電弧是指電弧發生點的事故電流通徑是與線路負載形成電路的「串聯」關係，此時串聯電弧事故的電流是受到負載的限制，例如插頭被拔出插座時所引發的串聯電弧現象，此種電弧因為電流低且時間短，一般不具危險性。「並聯」電弧是指電弧發生點的事故電流通徑是與線路負載形成電路的「並聯」關係，通常是相線與地線發生「非故意」的電流通導，事故發生點可能會有大量的事故電流(即系統的有效短路電流)而產生點燃可燃物的高溫電弧火花。

而「電弧故障斷路器」的設計是藉由內部電子電路連續對地監視負載電流在正常的範圍值中是否有異常的電弧情況，一旦偵測有異常的電弧情形，「電弧故障斷路器」內部的控制電路會自動跳脫內部接點而使斷路器中斷，藉此減少電氣火災發生的機率。

## 2-2 電弧故障斷路器之種類

電弧故障斷路器依其功能大致可分為下列五種型式：

1. **Branch/Feeder AFCI (分路/幹線型)**：此裝置是設置在分路的源頭端（如配電面板上等），用來提供分路的保護，預防不必要的電弧發生。
2. **Outlet Circuit AFCI (插座型)**：此裝置裝設在分路之插座上，像是電源插座盒，用來提供延長線（cord sets）和電源線（power-supply cords）連接的保護，預防不必要的電弧發生。
3. **Combination AFCI (結合型)**：此裝置結合了分路/幹線型和插座型的規定，預期可以提供下游分路，延長線（cord sets）和電源線（power-supply cords）的保護，可同時偵測串聯與並聯電弧。
4. **Portable AFCI (攜帶型)**：這是一個帶有插頭的裝置，用以連接插座電源提供一個或多個插座電源，用來提供延長線（cord sets）和電源線（power-supply cords）連接的保護，預防不必要的電弧發生。

5. Cord AFCI (電源線型)：這是一個設備與裝置連接的產品，提供電源線 (power-supply cords) 連接的保護，預防不必要的電弧發生。

目前有關安裝電弧故障斷路器之規定主要有美國電工法規 (NEC) 與加拿大電工法規 (CEC) 等，並且依 NEC 之規定只能安裝 Combination AFCI (結合型)，因此本指引之選用係以 Combination AFCI 為標的而撰寫。

備註:另目前國內市面上尚未有 AFCI 相關產品。

## 2-3 電弧故障斷路器之選擇

根據工廠與住宅供電分路之額定電壓、額定電流與短路啓斷容量等，依表 1 電弧故障斷路器主要規格表來選擇適當的電弧故障斷路器 (此與一般選用無熔絲開關相同)。另電弧故障斷路器大都含有漏電保護功能，但若兼作工作場所之漏電斷路器使用時，必須再確認其規格是否符合額定感度電流 30mA 以下之高感度型與動作時間 0.1 秒以內之高速型之「勞工安全衛生設施規則」相關要求。

表 1 電弧故障斷路器主要規格表

型式	combination	
額定電壓	120V	
額定電流	15A	20A
頻率	60Hz	
啓斷容量	10KA	

## 3.電弧故障斷路器安裝與檢測

### 3-1 安裝注意事項

**錯誤的安裝會導致電擊的危害及爆炸或電弧閃落，倘若疏忽並未遵照原廠操作指南，將有可能導致嚴重的危害，死亡或傷害。**

1. 使用適當的個人防護器具 (PPE) 及遵守電氣作業安全實務。
2. 必須由專業的電氣技術人員進行安裝以及後續服務。
3. 安裝前必須關閉主開關 (即幹線斷路器) 電源。

4. 必須使用檢電器確認主開關電源已關閉。
5. 安裝完成且相關裝置復歸原位後，主開關電源才可以再送電。
6. 以高阻計測試分路絕緣等，其高壓可能損害該電弧故障斷路器，故測試前應先將該電弧故障斷路器隔離。

### 3-2 安裝步驟

1. 在安裝前，必須先將主開關（即幹線斷路器）電源關閉。
2. 將電弧故障斷路器之手柄向下扳至「OFF」位置。
3. 將電弧故障斷路器插入配電盤中所預定要安裝之極（pole）插孔位置。
4. 連接電弧故障斷路器之白色捲線（pigtail wire，即配電盤中性線）至配電盤的中性線匯流排端子。
5. 連接欲保護分路之中性線（白色）至電弧故障斷路器之負載中性線端子。
6. 連接欲保護分路之火線（黑色或紅色）至電弧故障斷路器之負載火線端子。

### 3-3 安裝後之檢測步驟

1. 關閉電弧故障斷路器的所有下游負載。
2. 開啓主開關（即幹線斷路器）電源。
3. 將電弧故障斷路器的手柄推向「ON」（A）。
4. 按下測試鈕「TEST」（B）。

注意：如果電弧故障斷路器操作正確的話，電弧故障斷路器將會啓斷動作，手柄會移動至啓斷或是中間的位置（C）。如果電弧故障斷路器沒有跳脫，請見故障排除步驟 4-1。

1. 將手柄從中間的位置扳至 OFF 的位置，再扳至 ON 的位置。
2. 打開電弧故障斷路器的下游負載。

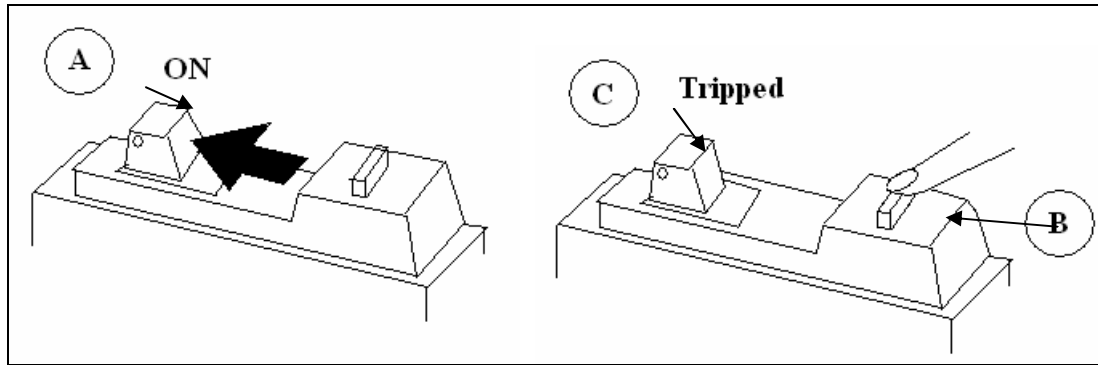


圖 1 斷路器測試

### 3-4 定期之檢測

使用者每個月至少按下測試鈕「TEST」一次，藉由啓斷電弧故障斷路器來測試電弧故障斷路器之測試線路功能。如果電弧故障斷路器操作正確的話，電弧故障斷路器將會啓斷動作，手柄會移動至啓斷或是中間的位置（C）。如果測試鈕故障無法啓斷電弧故障斷路器，則必須更換該電弧故障斷路器。

## 4.電弧故障斷路器之故障排除

### 4-1 按壓測試鈕但無法啓斷電弧故障斷路器

可能的原因	解決方案
1.電弧故障斷路器是關閉的。	1.將其開啓。
2.電弧故障斷路器已經是啓斷的狀態。	2.重新將開關手柄從 OFF 扳至 ON
3.主開關（即幹線斷路器）停電中。	3.檢查確認主開關（即幹線斷路器）送電中。
4.電弧故障斷路器之白色捲線沒有連接到中性線匯流排。	4.檢查前請先關閉主開關（即幹線斷路器）電源，檢查電弧故障斷路器之白色。捲線。
5.電弧故障斷路器已損壞。	5.更換電弧故障斷路器

## 4-2 電弧故障斷路器送電使用數秒鐘以上才跳脫

可能的原因	解決方案
1.分路存在過載的情況。	1.移除過多的負載
2.分路存在故障電弧的情況或電弧故障斷路器損壞。	<p>2.關閉所有分路負載，然後將電弧故障斷路器重新開啓：</p> <p>a.如果電弧故障斷路器在所有負載都關閉的情況下未跳脫，開啓一個分路上的負載。如果電弧故障斷路器沒有跳脫，關閉該負載，然後重複相同的動作依序開啓分路上的另一負載（依此檢查所有其他負載）。當有發生電弧故障斷路器跳脫時，檢查當時負載之故障電弧。</p> <p>b.如果電弧故障斷路器在所有負載都關閉的情況下跳脫，關閉主開關（即幹線斷路器）電源，移除電弧故障斷路器之負載端電線，如果電弧故障斷路器在負載端電線移除的情形下不跳脫，檢查分路電線的電弧故障，必要時更換該故障的分路電線。如果電弧故障斷路器仍保持跳脫，更換該電弧故障斷路器。</p>

### 4-3 電弧故障斷路器開啓後隨即啓斷

可能的原因	解決方案
1.電弧故障斷路器並沒有安裝正確。	1.檢查確保電弧故障斷路器的安裝有按照前述 3-2 與廠商的安裝說明書。
2.電弧故障斷路器負載側被連接到「共用的中性線」線路，且分路上有負載。	2.重新裝配分路，排除負載側被連接到共用中性線的問題。
3.分路存在故障電弧的情況或電弧故障斷路器損壞	<p>3.關閉所有分路負載，然後將電弧故障斷路器重新開啓：</p> <p>a.如果電弧故障斷路器在所有負載都關閉的情況下未跳脫，開啓一個分路上的負載。如果電弧故障斷路器沒有跳脫，關閉該負載，然後重複相同的動作依序開啓分路上的另一負載（依此檢查所有其他負載）。當有發生電弧故障斷路器跳脫時，檢查當時負載之故障電弧。</p> <p>b.如果電弧故障斷路器在所有負載都關閉的情況下跳脫，關閉主開關（即幹線斷路器）電源，移除電弧故障斷路器之負載端電線，如果電弧故障斷路器在負載端電線移除的情形下不跳</p>

	<p>脫，檢查分路電線的電弧故障，必要時更換該故障的分路電線。如果電弧故障斷路器仍保持跳脫，更換該電弧故障斷路器。</p> <p>備註：某些設備有高突波電流，可能會導致啓斷，例如微波爐及電動工具。</p>
4.存在接地故障的情況。	4.找出接地故障並且清除。
5.電弧故障斷路器負載側的中性線導體被接地。	<p>5.找出電弧故障斷路器負載側的中性線導體被接地點並且清除。</p> <p>備註：中性線導體原則上應僅在總開關箱之電源入口處接地。</p>

電弧故障斷路器引進國內之評估研究

著（編、譯）者：蘇文源、吳啓瑞

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600      <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 99 年 2 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：250 元

展售處：

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為

[http://www.iosh.gov.tw/Book/Report\\_Publish.aspx](http://www.iosh.gov.tw/Book/Report_Publish.aspx)

- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009900695