

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 電子、電機及資訊科

第二名

091005

動力用電多功能保護裝置之研發

學校名稱：國立台中高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 黃胤哲	賴韋安
職二 陳國榮	陳志瑋

關鍵詞： 逆相保護、欠相保護、漏電保護

動力用電多功能保護裝置之研發

壹、摘要

本研究是利用學校及電子材料行隨手可取得的電機電子控制小元件組合成具有多項保護功能，以防止電氣操作人員因不小心觸電而發生危險及電氣設備因電源異常，或負載過載而損壞，希望能以最少的花費，發揮最大的保護功效。

本作品具有過載、電源欠相、電源逆相、人員誤觸電或設備漏電等多功能保護且所需成本低廉，頗具開發價值。

貳、研究動機

電是無聲、無色、無味，其做功的過程不需氧氣，故沒有污染，電能是對人類貢獻很大的一種能源，但如果沒有完善的保護設施，稍有不慎即可能造成重大設備損失或人員傷亡，尤其是三相動力用電其電壓較電燈用電高，其保護措施更顯重要。

目前我們在學校工廠實習接觸到許多動力用電來做電動機的控制，大部分電路都有一些保護裝置，但都未臻理想，未具備多功能保護，例如 3E—Relay 可以作電動機過載及電源欠相、逆相保護，但其價格則較昂貴，一只市價約 3000 元，且無漏電保護，對人員觸電則無保護之功能。於是我們動手研究利用廉價而垂手可得的一些控制小元件組合，應用我們學過的一些專業理論及技術，例如基本電學三相電路理論，電工機械之變壓器原理、數位邏輯、電子學觀念、工業配線務實及電工法規。希望能以很省的經費研發出具有多功能保護的裝置。於是進行請教老師及做一連串相關資料蒐集、實驗及討論。

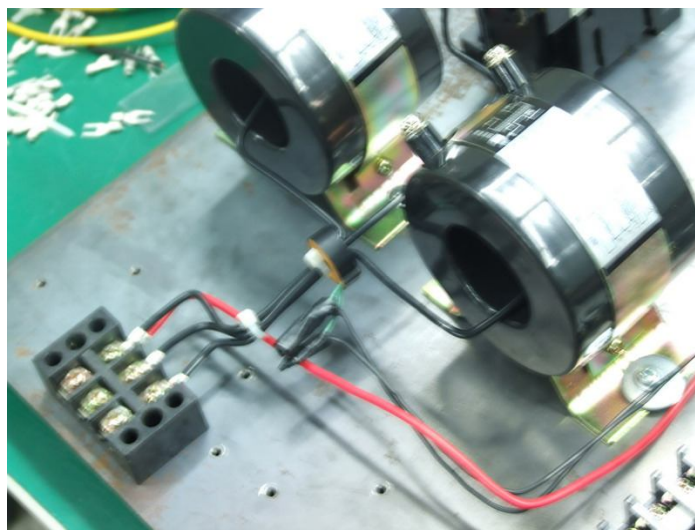
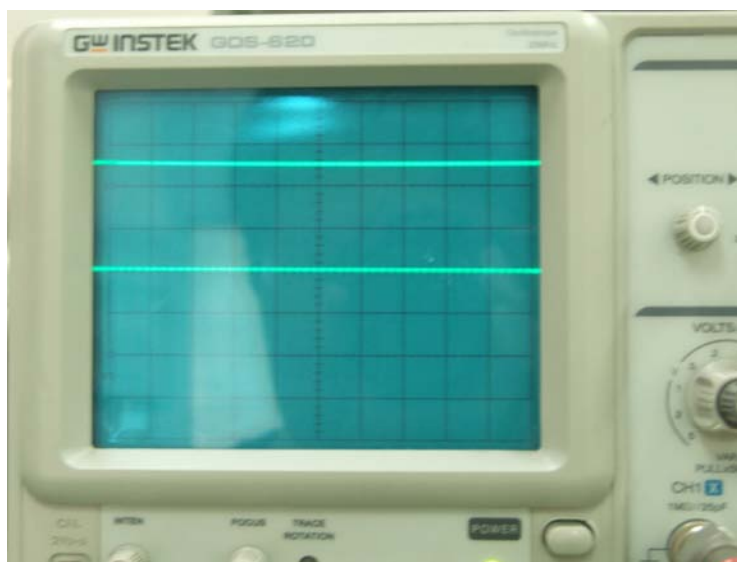
參、研究目的

期望能以低廉的控制元件，組合成三相動力用電多功能保護裝置，而達到過載，電源欠相、逆相及人員觸電或設備漏電等保護功能，以確保人員及機具設備的安全。

肆、研究設備及器材

一、設備

名稱	規格	數量
電源	3 ϕ 3W 220V 及 1 ϕ 2W 110V	各 1 組
示波器	單槍雙軌跡	1 台
直流電源供應器	0~30V 3A 附過載保護	1 台
三用電表	指針式	1 台
配線盤	620×480 平面式金屬板	1 盤
水電阻		1 台



二、器材

名稱	規格	數量
無熔絲開關 (NFB)	30AT 30AF 5KIC	1 只
電磁接觸器 (MC)	20A 5a2b AC 220V	1 只
栓型熔絲 (D-Fuse)	2A	2 只
零相比流器 (ZCT)		1 只
比流器 (CT)	50A/5A 20VA	2 只
逆電力電驛 (APR)	AC 220V 2P	1 只
電力電驛	DC 12V 2P(電子式)	1 只
	AC 220V 2P	3 只
過載保護電驛 (OL)	2RCA %	1 只
警鈴	AC 220V 4 吋 7VA	1 只
蜂鳴器	AC 220V 強力型	1 只
指示燈	AC 220V 30 ^o 紅色	1 只
	AC 220V 30 ^o 白色	2 只
端子臺	20A 24P	2 只
端子臺	30A 3P	1 只
導線	1.25mm ² 黑、紅、黃色	20m
	1.0mm ² 黑色	10m
	2.0mm ² 綠色	1m
切換開關 (CS)	1a1b 30 ^o	5 只
按鈕開關 (PB)	1a1b 30 ^o	2 只
壓接端子	1.25~5 O 型	30 只
	1.25-4 Y 型	100 只
紮線帶	ALT-4M	100 只
變壓器	220V/12V 30VA	1 只
積體電路(IC)	7812、324、555	各 1 只
整流器	橋式 2A	1 只
電阻器	1M、100K、22K、1K	各 1 只
	可變電阻 0~500K Ω	1 只
電容器	0.1 μ F、10 μ F、470 μ F	各 1 只
電晶體	2SC1384	1 只
麵包板		1 片

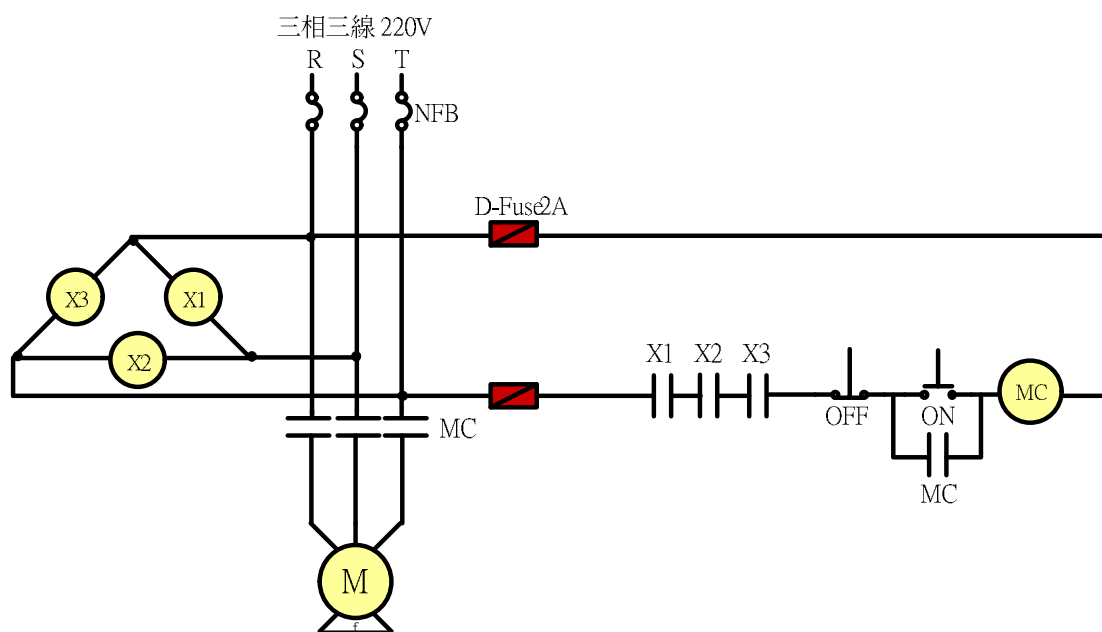
伍、研究方法

一、各種保護電路設計及分析

(一)欠相保護電路

1.電路設計：

如圖(1)所示，利用三只電力電驛線圈作三角形連接，接於三相電源 R、S、T，作為欠相檢知，再將此三只電力電驛之常開接點串聯電磁接觸器線圈。



圖(1)欠相保護電路

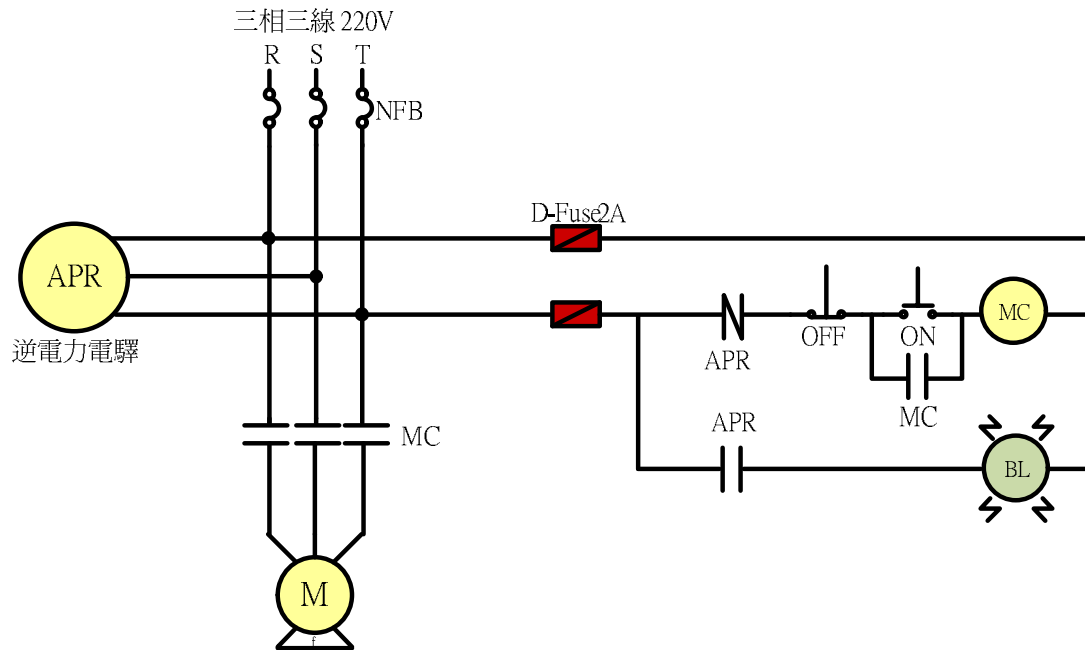
2.動作分析：

- (1) 三相電源正常時，X1、X2、X3 線圈兩端壓電壓均為 220V 則正常動作，X1、X2、X3 a 接點均閉合，此時電動機可正常啓動停止。
- (2) 若 R 相欠相則 X1 及 X3 失去激磁，X1 及 X3 之 a 接點打開，MC 失去激磁跳脫，電動機自動停止。
- (3) 若 S 相欠相，則 X1 及 X2 失去激磁，X1 及 X2 之 a 接點打開 MC 跳脫，電動機自動停止。
- (4) 若 T 相欠相，則 X2 及 X3 失去激磁，X2 及 X3 之 a 接點打開 MC 跳脫，電動機自動停止。

(二).逆相保護電路

1.電路設計：

如圖(2)所示，利用逆電力電驛作三相電源相序檢知，將逆電力電驛常閉接點與 MC 線圈串聯，警鈴與 a 接點串聯。



圖(2)逆相保護電路

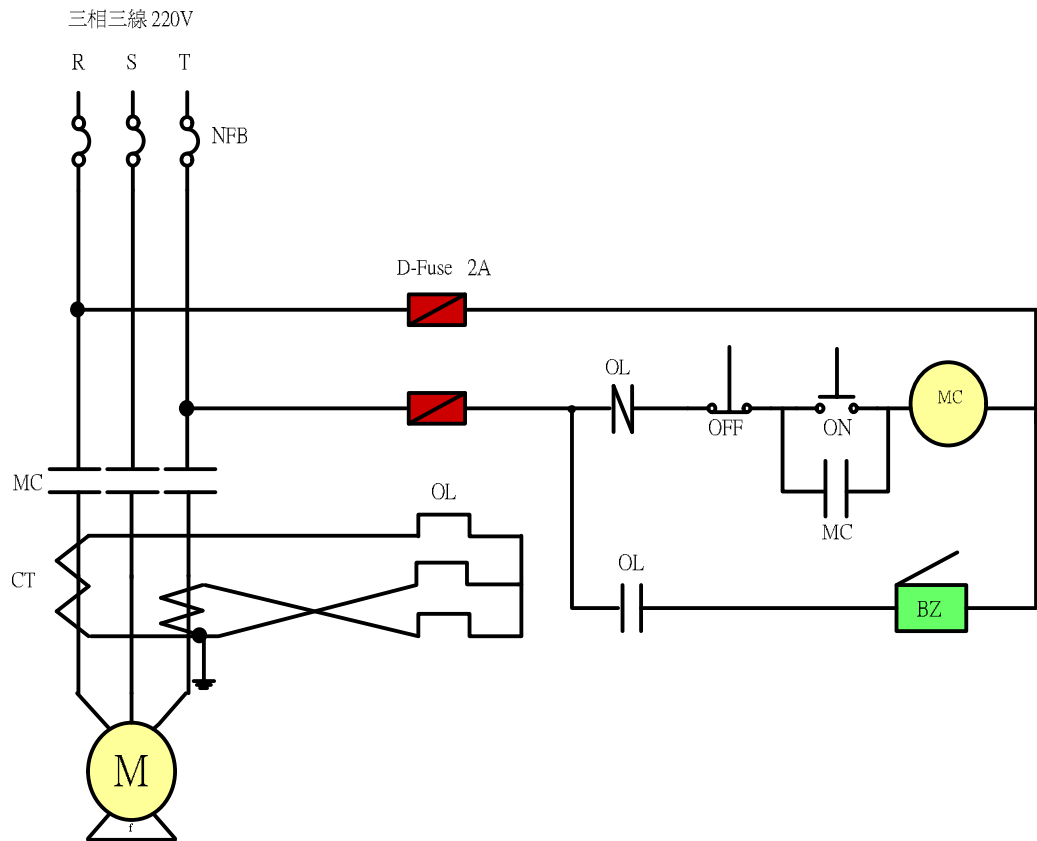
2.動作分析：

- (1)三相電源為正相序(RST)，逆電力電驛不動作，其 b 接點為閉合狀態，電動機可正常啓動，停止。
- (2)若三相電源為逆相序(RTS)，逆電力電驛動作，其 b 接點跳開，電動機無法啓動，以確保電動機之轉向正確性，同時 a 接點閉合，警鈴叫。

(三)過載保護電路

1.電路設計：

如圖(3)所示利用兩只 CT 作 V 接線，將電流變小後，引出 R、S、T 線電流至 O.L 之加熱電極，並將 O.L 控制 b 接點串聯 MC 線圈。



圖(3)過載保護電路

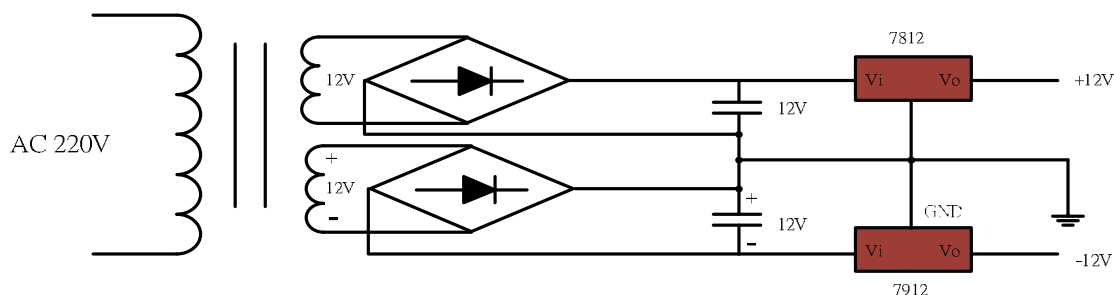
2.動作分析

- (1)當電動機負載未超過滿載時，O.L 不動作，其 b 接點閉合，電動機可正常啓動、停止。
- (2)當電動機過載時，流入 O.L 加熱電極之電流超過其設定值時，OL 動作，其控制 b 接點自動跳脫，電動機自動停止，同時 a 接點閉合，蜂鳴器叫。

(四) 漏電保護電路

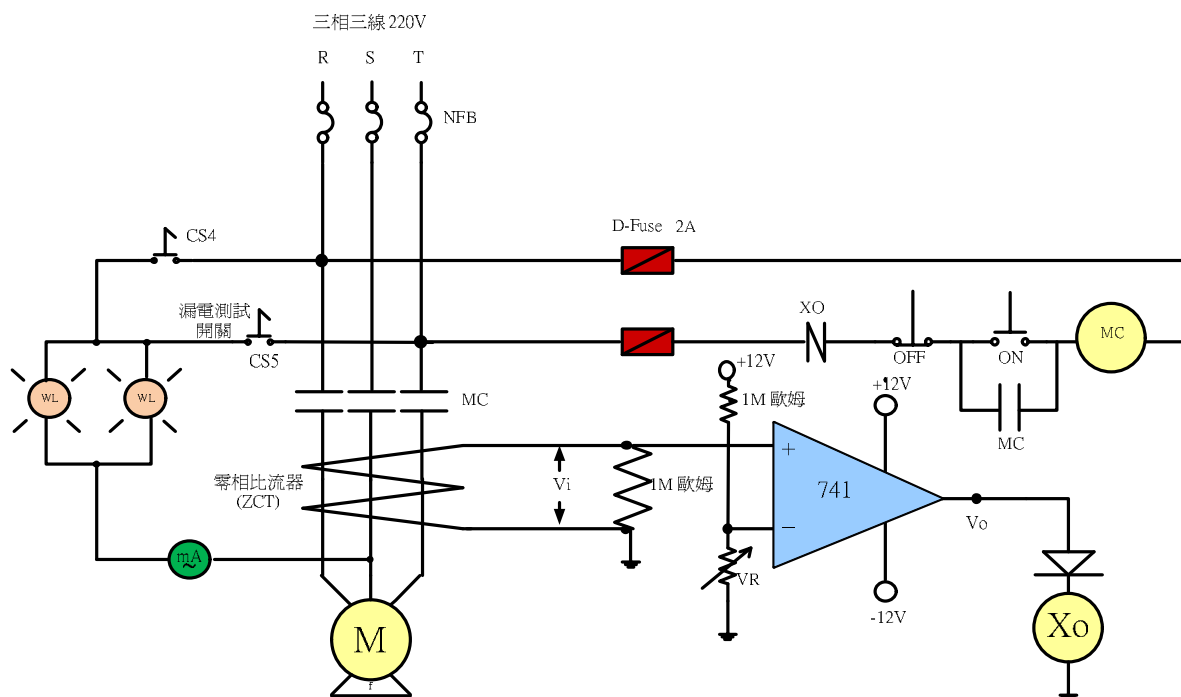
1. 電路設計：

(1) 流電源穩壓電路: 如圖(4)所示，利用變壓器降壓，橋式整流器整流，電容器濾波，及兩只 7812、7912 IC 做穩壓電路，輸出穩定的+12V 及-12V 電壓，供給放大器。



圖(4)直流穩壓電源電路

(2) 漏流保護電路如圖(5)所示，利用零相比流器做漏電流檢知，將檢知漏電流訊號經 741 放大推動直流繼電器，再將直流繼電器 X_0 之 b 接點串聯電磁接觸器線圈。



圖(5)漏電保護電路

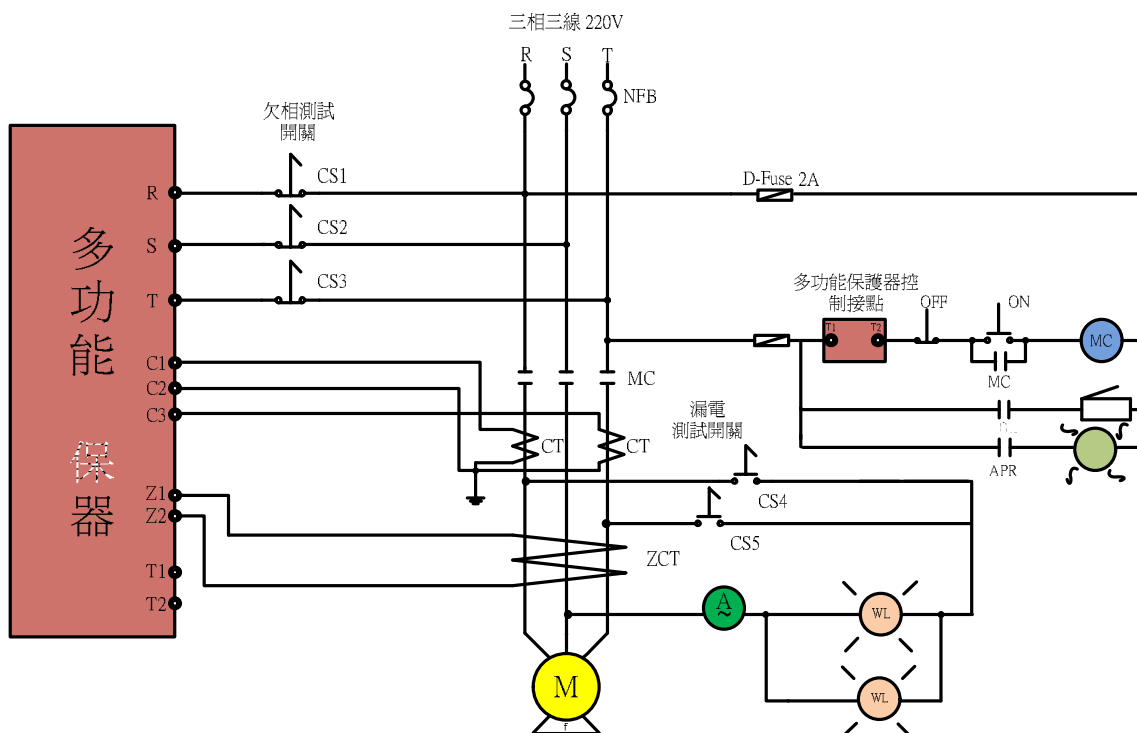
2. 動作分析

- (1) 當電路未發生漏電流時，零相比流器之輸出電流為零，經與 741 “-” 端參考點比較，會得到 -12V 電壓輸出，二極體截止繼電器未激磁，其 b 接點閉合，MC 可正常啟動、停止
- (2) 當有人員誤觸到 R、T 任何一條導線，當電流達到 20mA 以上時，調整 VR 值，使運算放大器 “+” 端之輸入電壓高於 “-” 端輸入電壓，741 輸出端會得 12V 電壓，推動繼電器 (X_0)，其 b 接點跳脫 MC 自動跳脫以隔離電源。

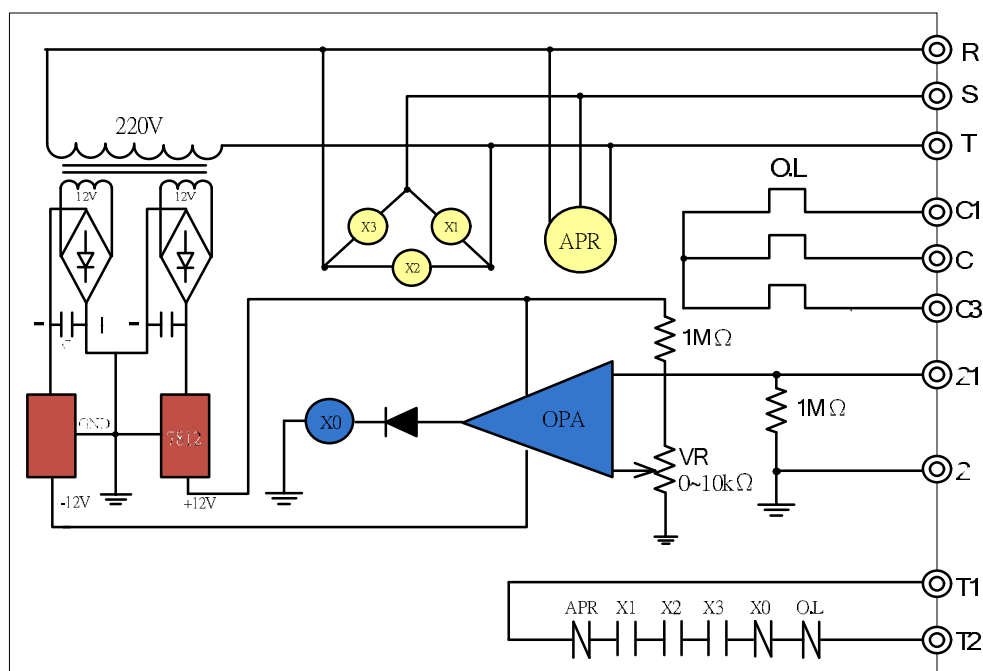
(五)欠相、逆相、過載、漏電多功能保護電路設計分析

1.電路設計

綜合上述之各種保護電路組合起來如圖(6)所示即具備欠相、逆向、過載、漏電等多功能集於一體之保護器。圖(6)中之多功能保護器內部如圖(7)所示：



圖(6)欠相、逆相、過載、漏電多功能保護電路



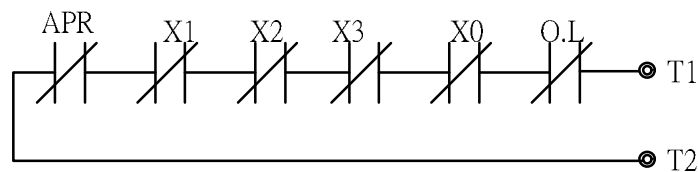
圖(7)多功能保護器內部電路

多功能保護器之輸入訊號分析如下：

- (1).電壓源:標示 R、S、T 此部分係做電源欠相與逆相的檢知。
- (2).電流源:標示 C1、C2、C3 其接於比流器二次側檢知電流大小作為過載之驅動能量。
- (3).零相電流:標示 Z1、Z2，其接於零相比流器二次側，檢出漏電流作為漏電的驅動訊號。

2. 動作分析：

- (1).電路正常時，多功能保護器 T1、T2 兩端點之狀態。如圖(8)所示為接通狀態。



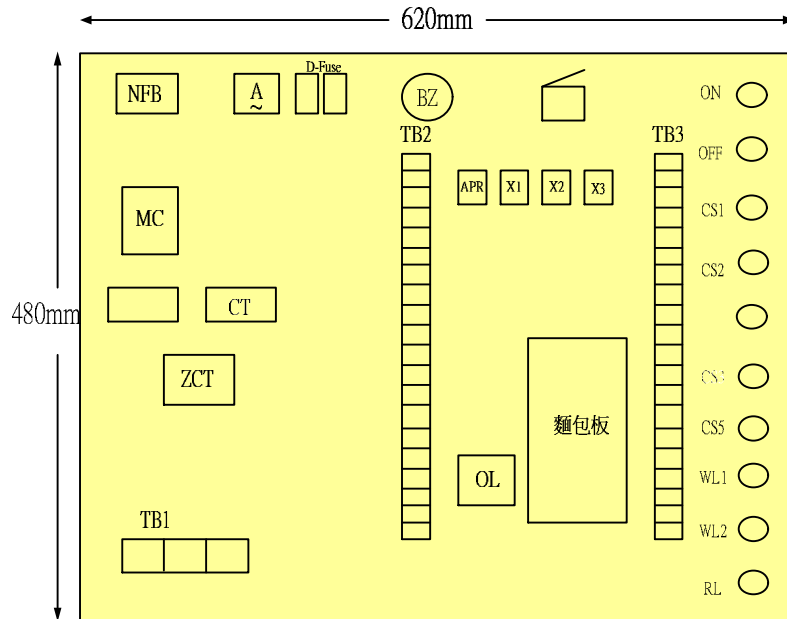
圖(8) 電路正常時 T1,T2,為接通狀況

- (2) 若三相電源相序錯誤，APR 會動作，b 接點變為斷路，MC 會自動跳脫，以防止電動機轉向錯誤。
- (3) 若三相電源 R、S、T 任一相斷路 X1、X2、X3 必定有兩只失去激磁，其 a 接點斷路，MC 自動跳脫，防止電動機燒毀。
- (4) 若發生過載，過載保護電驛(OL)動作，其 b 接點自動跳脫，MC 自動切斷，電動機停止，防止電動機燒毀。
- (5) 若有操作人員誤觸 R 或 T 線其感電電流(漏電流)超過 20mA，零相比流器送出訊號，經放大電路將零相電流之輸出訊號放大推動直流繼電器使 X₀ 的 b 接點跳脫，MC 自動切斷以防止感電事故。

註:一般三相三線電力系統為 S 線接地，故觸到 S 線為同電位無電流形成不會產生危險，但誤觸到 R、T 任一線則會發生危險。

二、器具組裝及固定

依圖(6)及圖(7)電路，將所需器具固定於簡易配電盤上，如圖(9)所示：



圖(9)器具固定配置圖

三、配線及測試

(一)配線：

依圖(6)及圖(7)所示電路圖，並配合如圖(9)器具位置完成配線。

(二)測試：

- 1.先利用三用電表歐姆檔做靜態測試，檢查配線無誤後，再通上三相三線 220V 電源做動態測試。
- 2.電路正常狀況下操作 ON、OFF 按鈕作電動機啟動、停止。
- 3.將電源相序改為逆相序，即將無熔絲開關電源側認二條線互換即可，NFB 扳 ON 時，逆電力電驛動作，其 b 接點跳脫，電動機無法正常啟動、停止，以確保電動機正確轉向。
- 4.設定 RST 任一相欠相，可分別操作 CS1、CS2 及 CS3 則 X1、X2、X3 電驛都有兩只失去激磁，其 a 接點跳脫，電動機無法啟動，若運轉中之電動機會立即停止，防止電動機欠相燒毀。
- 5.電動機啟動運轉中，若過載，即 CT 二次測電流大於 O.L 設定值，O.L 會動作 b 接點跳脫，電動機自動停止，以防止電動機因過載而燒毀。
- 6.若有人員誤觸到 R 或 T 線，可分別操作 CS4 或 CS5 會有 20mA 漏電流產生，零相比流器二次側會有訊號輸出，經放大推動電子繼電器，自動切斷電磁接觸器，以隔離電源，防止感電。

陸、研究結果與討論

我們裝配完成測試欠相、逆相、過載、漏電等多功能保護裝置，遇到許多意想不到的狀況及碰到很多挫折，我們不斷蒐集相關資料，進行研究實驗未如預期動作的電路，現將各種測試結果，討論及改進說明如下：

一、逆相保護功能測試結果與討論

我們利用逆電力電驛做三相電源相序檢測，其動作結果完全符合我們所預期的，即當三相電源正相序時，逆電力電驛不會動作，其常閉接點 5-1 為閉合狀態，可以順利操作電動機啟動、停止。

當三相電源改變為逆相序時，逆電力電驛動作 5-1 接點跳脫，無法啟動電動機。同時 5-8 接點閉合，警鈴叫。

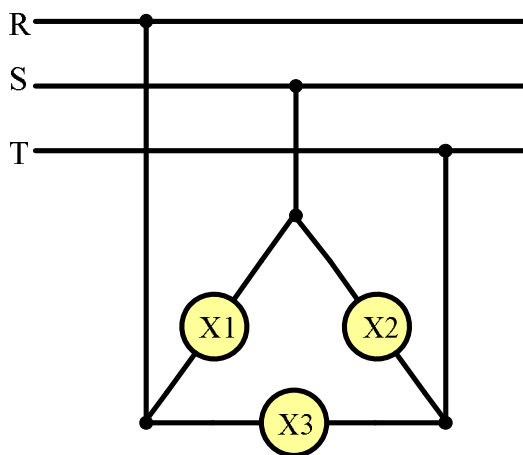
二、欠相保護功能測試結果與討論

(一)測試結果

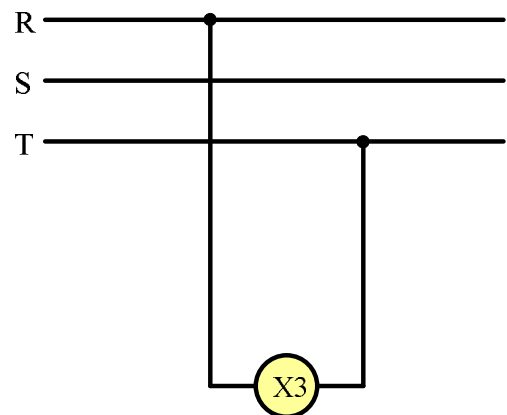
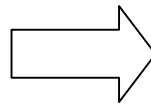
我們利用 CS1、CS2、CS3 來操作三相電源 R、S、T 之欠相測試，當我們操作 CS2 時，即模擬 S 相欠相時，很意外發現了 X1、X2 電力電驛會跳脫外，逆電力電驛也會同時動作，警鈴大叫，查看很多有關逆電力電驛資料均無說明逆電力電驛有 S 相欠相之保護功能，此項發現讓我們非常驚喜。

(二)討論

原裝設 X1、X2、X3 三只電力電驛，可將 X1 及 X2 拆除，僅在 R、T 兩線之間裝一只電力電驛(X3)即可，如圖(10)所示，另 S 相欠相即由逆電力電驛取代，可省下約 200 元費用。



圖(a)



圖(b)

圖(10)圖(a)電路修改為圖(b)

三、過載保護功能測試結果及討論

(一)測試結果

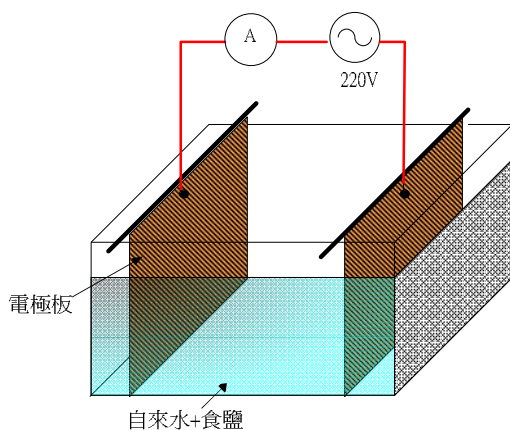
原本我們認為過載保護最容易測試，但實際測試時發現困難重重，因一般小型甚至到 5 馬力電動機在無載時電流很低，無法驅動過載保護電驛動作，也僅能用模擬方式拿原子筆筆尖直接撥動過載機構，使 O.L 之 b 接點跳脫，切斷電磁接觸器。

(二)討論

我們從電機機械書本發現電動機啓動所使用大功率的可變電阻都採用水電阻，於是我們想到利用水電阻來做負載，直接接於主電路 R、T 兩端，調整水電阻大小，來驅動 O.L。

1.水電阻測試步驟如下：

- (1) 準備一適當塑膠容器，長、寬、高分別為 40cm、28cm、30cm 盛水高 15cm 的自來水。
- (2) 將兩銅製電極板置入水中（未加食鹽），兩電極距離分別調整 38cm、30cm、20cm、15cm、10cm 如圖(11)所示串聯安培計接於 220V 電源，分別讀出不同距離的電流值紀錄，如表(一)所示。
- (3) 在水裡參雜 10 克一般料理食鹽提高水的導電度，重做第(2)步驟，其結果如表(二)所示。
- (4) 再加入 10 克食鹽放入水中，重做第(2)步驟，其結果如表(三)所示。
- (5) 電流對應兩電極距離關係及食鹽含量關係曲線如圖(12)所示。



圖(11)水電阻測試電路

表(一)220V 電源 0 克食鹽的水電阻特性

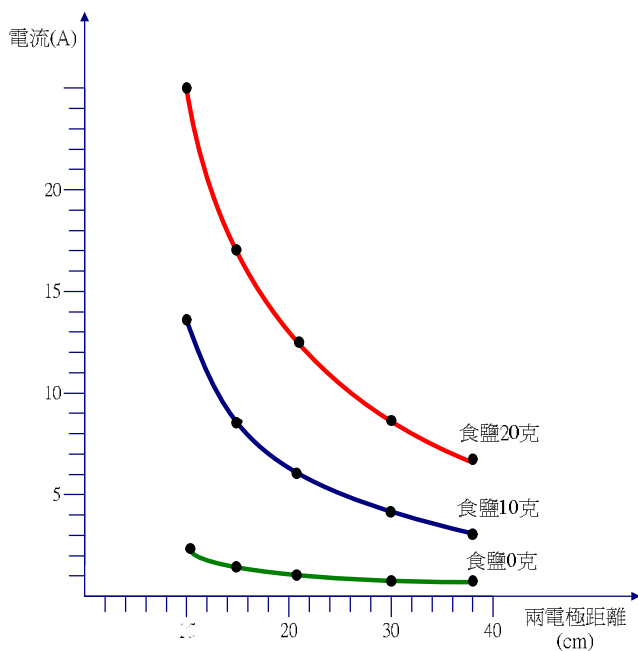
水容器 長寬高	兩電極距 離	安培計 讀值
長：40cm 寬：28cm 高：15cm	38cm	0.6A
	30cm	0.7A
	20cm	1.1A
	15cm	1.4A
	10cm	2.2A

表(二)220V 電源 10 克食鹽的水電阻特性

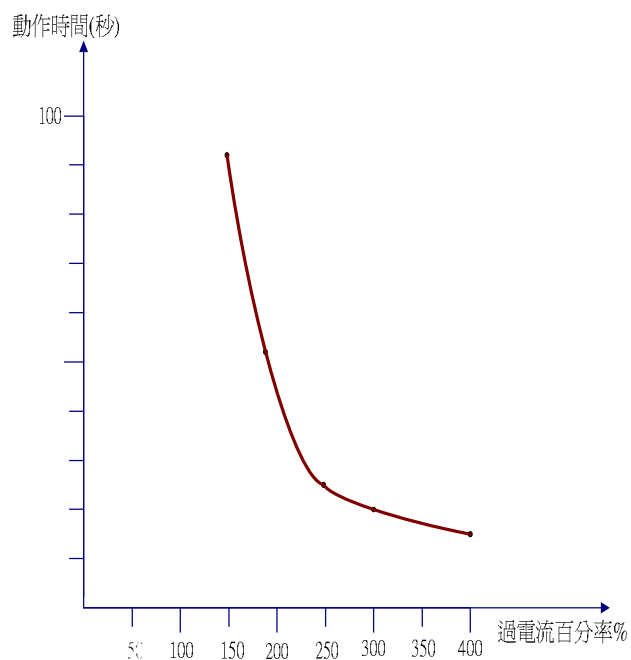
水容器 長寬高	兩電極距 離	安培計 讀值
長：40cm 寬：28cm 高：15cm	38cm	3.4A
	30cm	4.3A
	20cm	6.8A
	15cm	8.6A
	10cm	13A

表(三)220V 電源 20 克食鹽的水電阻特性

水容器 長寬高	兩電極距 離	安培計 讀值
長：40cm 寬：28cm 高：15cm	38cm	3.4A
	30cm	4.3A
	20cm	6.8A
	15cm	8.6A
	10cm	13A



圖(12)水電阻電流與兩極距離及食鹽含量關係曲線



圖(13)O.L 動作時間曲線圖

2.調整水電阻做過載測試：

我們以加入 20 克食鹽水，調整兩電極距離改變電路電流大小，如表(四)所示，經 CT 將主電路電流衰減 5 倍，CT 二次側電流如表(四)所示，則 O.L 動作時間分別如表(四)所示，O.L 動作曲線如圖(13)所示。

註明：

- (1) CT 規格選用一次貫穿二匝， $I_1/I_2=50/5A$ (衰減 10 倍)；我們將 CT 一次貫穿 4 匝，其 $I_1/I_2=25/5A$ (衰減 5 倍)。
- (2) O.L 設定為 1.6A 位置

表(四)O.L 設定 1.6A 周圍溫度 28°C

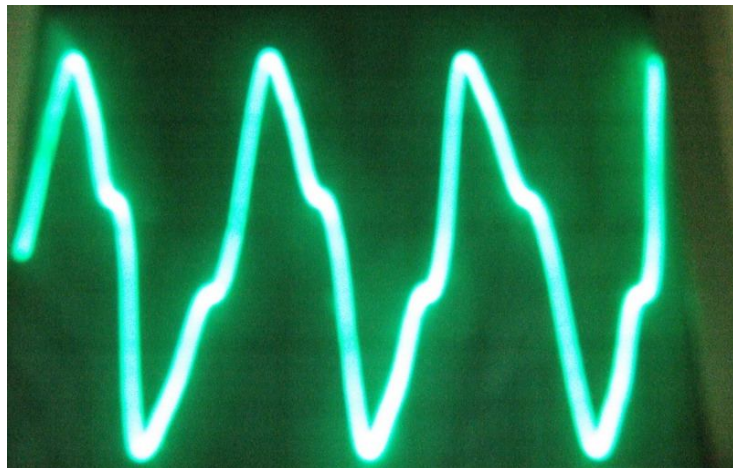
一次側電流 (調整水電阻)	CT 二次側電流	過電流百分率	O.L 動作時間
12A	2.4A	150%	93 秒
16A	3.2A	200%	52 秒
20A	4A	250%	24 秒
24A	4.8A	300%	22 秒
32A	6.4A	400%	14 秒

四、漏電保護測試結果與討論

(一)測試結果

依圖(5)所示漏電保護電路裝配完成後，啓動 MC，我們進行下列漏電保護測試：

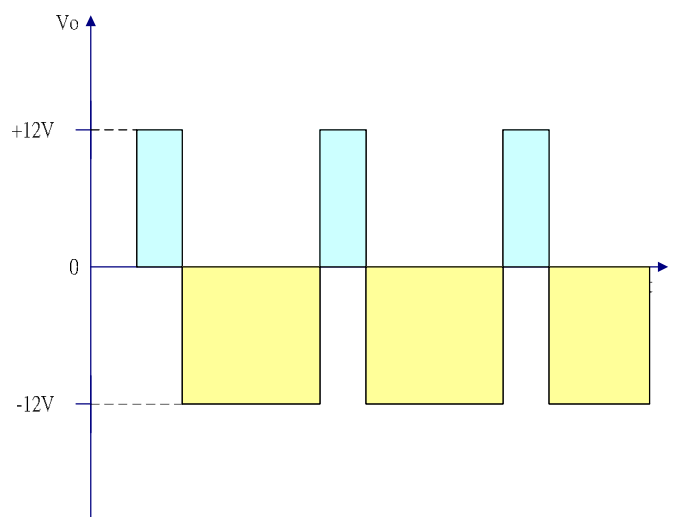
- 1.將 CS4 切入，兩白色指示燈亮，毫安培計指示 20mA，完全達到我們預期設定 20mA 漏電電流值。
- 2.利用示波器觀察 ZCT 二次側輸出訊號，得到如圖(14)所示之波形：



圖(14)ZCT 二次輸出波形

此波形之 $V_{p-p}=150\text{mV}$ ，屬於非常微弱的訊號，但很穩定。

- 3.將 ZCT 二次側訊號經 741 比較放大，得到 V_o 波形如圖(15)所示之波形

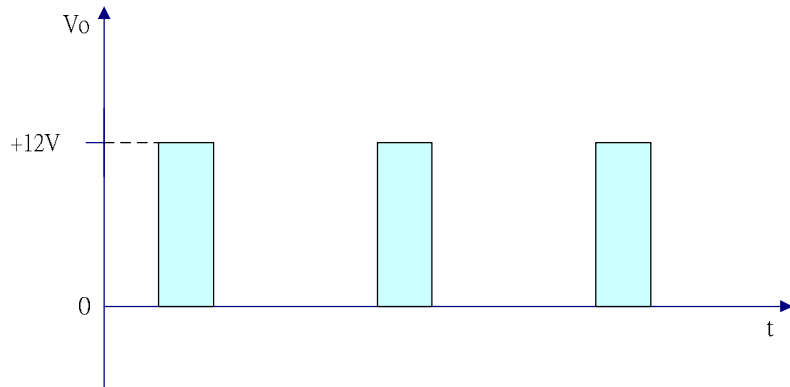


圖(15) V_o 輸出波形

將 V_o 輸出波形經半波整流後，推動 DC12V 繼電器(X_o)，結果 X_o 接點一直在震動，b 接點沒有確實打開，無法驅動電磁接觸器(MC)跳脫，而切斷電源，讓漏電現象持續發生。

(二)討論

- 1.圖(15)波形經半波整流後，其波形如圖(16)所示，其工作週期(duty cycle)約 25%，其電壓平均值 $V_{av}=12\times0.25=3V$ ，我們利用 DCV 量測亦指示 3V，此電壓很顯然無法推動 DC12V 繼電器，且正脈波出現時間寬度(t_w)約僅 1/240 秒，繼電器接點來不及動作，無法改變 a、b 接點變化。



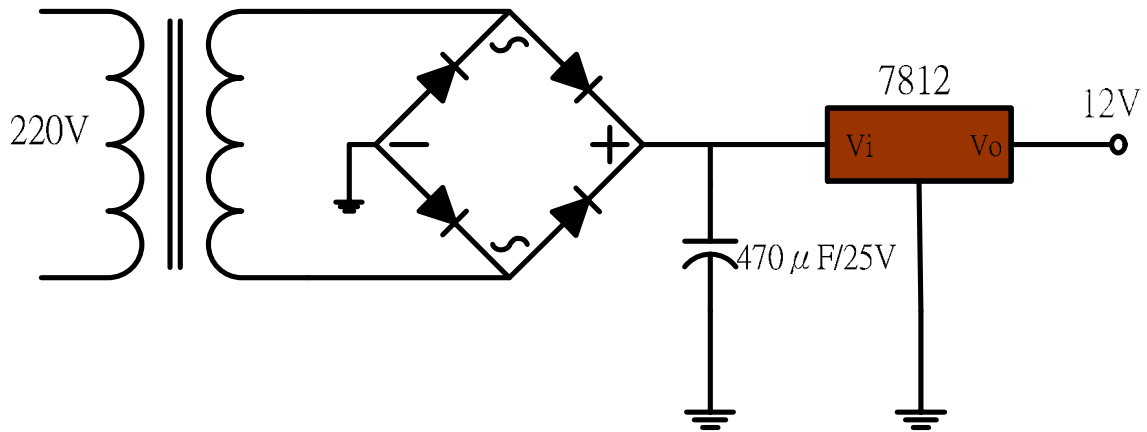
圖(16) V_o 經半波整流後波形

- 2.我們想如果能夠將圖(16) V_o 波形的脈寬時間(t_w)拉長就能正確驅動 DC12V 繼電器，而使其 b 接點確實跳開。於是我們努力蒐尋方面相關知識，請教師長，不斷實驗，經過很多次的失敗，最後終於讓我們找到利用 IC555 單擊電路(單穩態電路)，調整 RC 常數能達到我們所要的波形。

(三)修改後的漏電保護及直流穩壓電路

1. +12V 直流穩壓電路

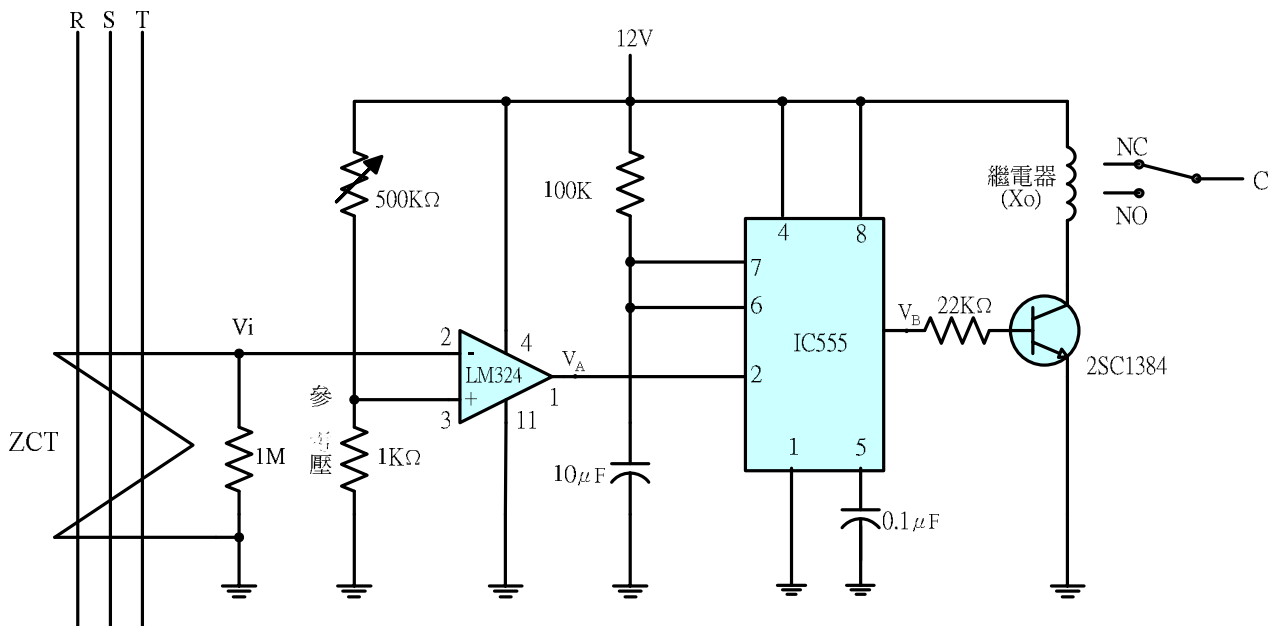
我們發現不需-12V 訊號出現，可省下很多元件，如二極體、7912、 $470\mu\text{F}$ 電容器均可省略，可省下一些成本。+12V 直流穩壓電路，如圖(17)所示。



圖(17) +12V 直流穩壓電路

2.漏電保護電路

圖(18)所示為改良後之漏電保護電路，漏電保護系統可分三階段，如圖(18)所示，其中第三階段驅動電驛隔離電源，前面已介紹過不再重複，第一、二階段說明如下：



圖(18)漏電保護電路



圖(19)漏電保護三階段

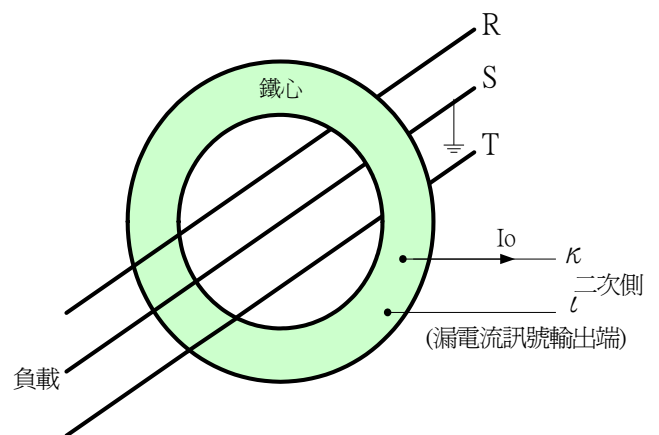
(1)漏電流訊號檢出

三相三線式漏電斷路器是利用零相比流器(ZCT)將電路主電路 R、S、T 三線全部貫穿 ZCT，如圖(20)所示，一般三相三線動力用電均為 S 線接地。其動作情形如下：

A. 正常未漏電：ZCT 二次側零相電流

$$I_0 = I_R + I_S + I_T = 0$$

故 ZCT 二次側無訊號輸出。



圖(20)零相比流器接線

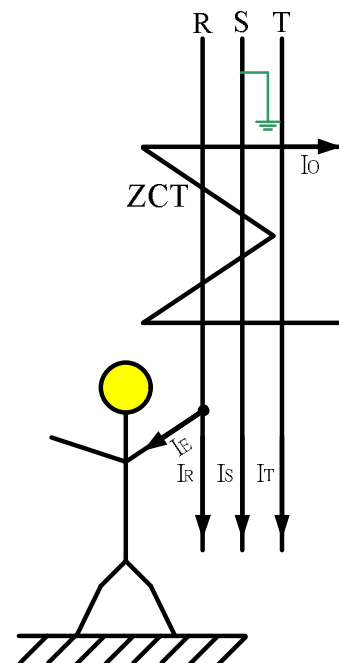
B. 有人觸電時：

當有人誤觸到 R 或 T 線時，如圖(21)所示，有電流流經人體到大地，此電流即稱漏電電流，此時依克希荷夫電流定律：

$$I_R + I_S + I_T + I_E = 0$$

$$I_0 = I_R + I_S + I_T = I_E \neq 0$$

由上式中漏電電流會反應在 ZCT 之二次側輸出。



圖(21)人體碰到 R 線產生漏電流 I_E 圖示

表(五)為交流電流通過人體產生的各種反應，故本實驗設定漏電流(I_E)為 20mA(一般漏電斷路器之額定跳脫電流為 30mA)自動斷電。

表(五)漏電流值與人體反應情形

通過人體電流值	反應情形
1mA	輕微麻麻的感覺
5mA	疼痛灼熱的感覺
20~30mA	肌肉收縮、喪失控制能力
50mA	心臟麻痺、導致休克死亡

(2)訊號放大電路分析

本放大電路可分三部份分析，各部份訊號波形依示波器測得結果如圖(22)所示。

A. 電壓比較器

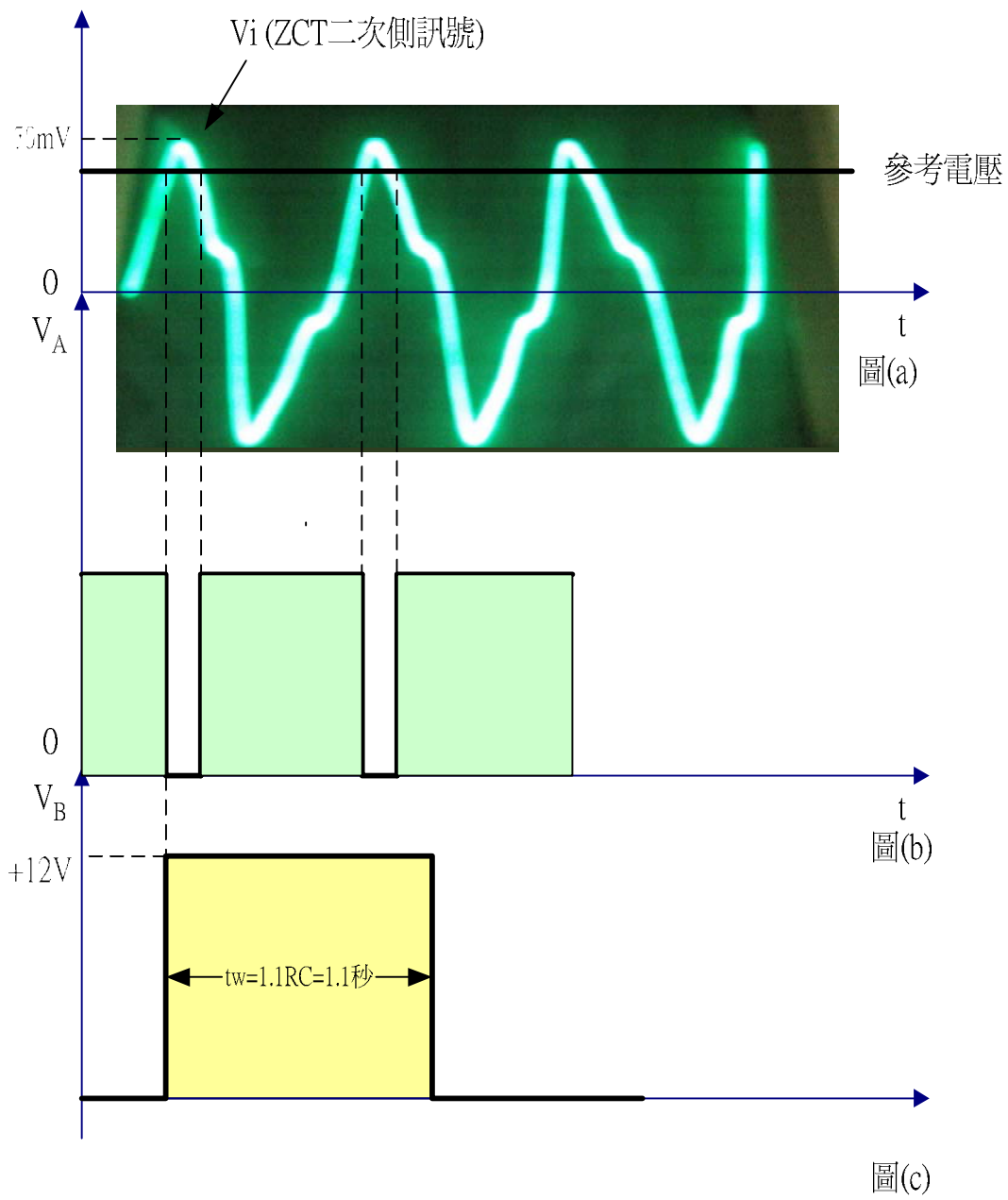
- IC324 與周邊 VR500K、1K、 V_i 是作電壓比較器。
- VR500K Ω 與 1K Ω 串聯接於+12V，調整 VR500K 使 1K Ω 得到 50mV 之電壓，如圖(22)(a)所示，將此 50mV 輸入到 324 的“+”端，作為參考電壓。
- 若沒有發生漏電時，ZCT 二次側沒有訊號輸出，此時 324 的“-”端輸入電壓為 0，比“+”端輸入電壓低，此時 324 輸出端電壓 V_A 為+12V，如圖(22)(b)所示。
- 當漏電流達 20mA 時零相比流器二次側訊號如圖(22)(a)所示，當 ZCT 二次側漏電流訊號大於 50mV 時 324“-”端比“+”端電位高，則 324 輸出電壓即 V_A 變為 0V，如圖(22)(b)所示。

B. 單擊電路

- IC555 配合 R(100K Ω)，C(10 μ F)組合成單擊電路。
- V_A 輸出訊號作為 IC555 的輸入訊號。如圖(22)(b)所示，當 ZCT 輸出訊號大於參考電壓(50mV)時 V_A 由+12V 脈波降至 0V，而 IC555 的輸入電壓當峯值降至 1/3 時約+4V 以下時，其輸出端便可輸出一正脈波其脈寬時間(t_w)= $1.1RC$ (約 1.1 秒)，單擊電路功能就是把正脈波的脈寬時間(t_w)拉長，以避免繼電器反應來不及。

C. 驅動電路

- 2SC1384 電晶體是做開關“ON”、“OFF”。繼電器則為驅動元件，利用其接點動作，切斷電源。
- 由 IC555 輸出端 B 點，輸出約 1.1 秒寬的正脈波電壓如圖(22)(c)所示，產生適當 I_B 、 I_C 使電晶體導通(ON)，繼電器獲 12V 之電壓而動作，b 接點能確實打開，而使外部電磁接觸器自動跳脫，而達斷電的效果。
- 若無漏電流時， $V_B=0$ 如圖(22)(c)所示，電晶體之 I_B 及 $I_C=0$ ，電晶體為截止狀態(OFF)，繼電器不動作，b 接點閉合，主電路為通電狀態。

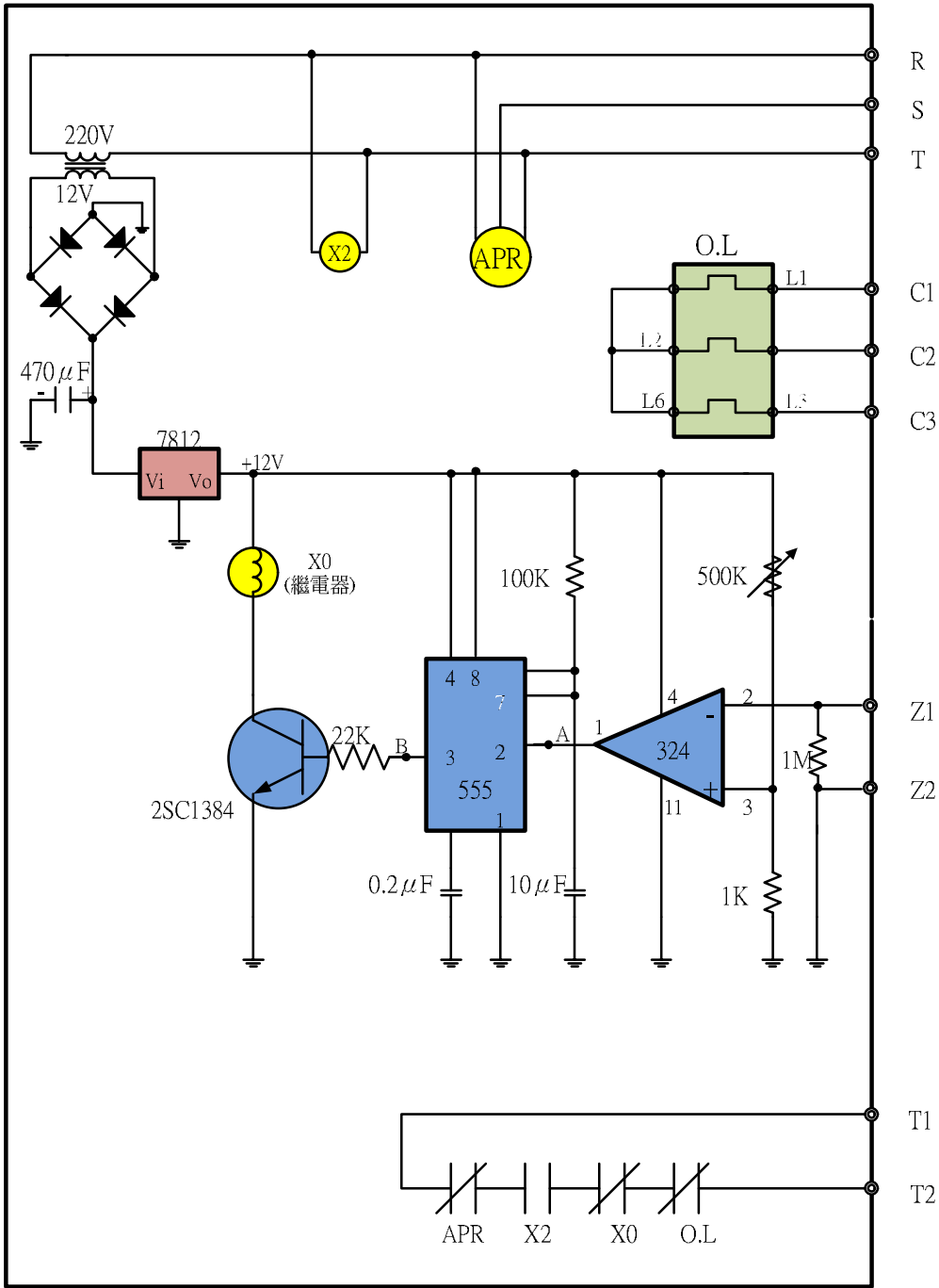


圖(22)放大電路 V_i 、參考電壓、 V_A 及 V_B 對應波形圖

柒、結論

一、多功能保護裝置電路

經多次實驗討論，修正得到如圖(23)所示，具有欠相、逆相、過載、漏電等多功能保護裝置之完整電路。



圖(23) 欠相、逆相、過載、漏電多功能保護電路

二、現有保護器與本設計作品比較分析

現有三相動力保護器較常用的有 SE 型馬達繼電器(SE Motor Relay)為 3E Relay 改良型及漏電斷路器(ELCB)，現將 SE Motor Relay、漏電斷路器及本設計作品依保護功能、成本、消耗電力等作比較分析，如表(六)所示。本作品所需器材費用評估如表(七)所示。(本作品放大器部分所需器材費用評估如表(八)所示)

表(六)現有保護器與本設計作品比較分析表

保護器種類	保護功能				成本	消耗電力	備註
	過載	漏電	欠相	逆相			
SE Motor Relay	✓	×	✓	✓	3000 元	約 7VA	成本 3000 元為市面售價
漏電斷路器	×	✓	×	×	1000 元	查無資料	成本 1000 元為市面售價
本設計作品	✓	✓	✓	✓	870 元	約 8VA	成本 870 元為器材費用

表(七)本研究多功能保護裝置所需器材評估表

名稱	單價	數量	小計
逆電力電驛	300 元	1	300 元
電力電驛	100 元	1	100 元
過載保護器	200 元	1	200 元
零相比流器	100 元	1	50 元
放大器	220 元	1	220 元
總計	870 元		

表(八)本放大器所需器材評估表

名稱	單價	數量	小計
變壓器	70 元	1	70 元
7812	50 元	1	50 元
324	5 元	1	5 元
555	5 元	1	5 元
電子式繼電器	20 元	1	20 元
橋式整流器	10 元	1	10 元
電容器 $470\ \mu\text{F}$	10 元	1	10 元
電容器 $10\ \mu\text{F}$	10 元	1	10 元
電容器 $0.1\ \mu\text{F}$	1 元	1	1 元
電阻器	0.5 元	3	1.5 元
VR500K Ω	20 元	1	20 元
電晶體	10 元	1	10 元
合計	220 元		

綜合以上成本分析比較，本設計作品之保護功能優於現有保護器，且消耗電力也非常節省，至於耐久性方面因受限實驗時間，不敢斷下結論(但本作品經四個月測試所有元件，功能均未受損)，在本方面本設計之作品較現有保護器可節省甚多，我們深信本設計之作品具有開發的價值。

捌、參考資料

- 1.黃錦華、郭塗註，「基本電學(I)(II)」，台北市，華興書局，2006 年。
第 3 章、直流電路。
第 12 章、三相電路。
- 2.郭塗註，「電工機械(I)」，台北市，弘揚圖書，2006 年。
第 3 章、變壓器。
- 3.蔡朝洋，「電子實習(I)(II)」，台北市，台科大圖書，2006 年。
第 2 章、電源電路實習。
第 4 章、電晶體放大電路實習。
第 11 章、運算放大實習。
- 4.黃錦華、郭塗註，「工業配線實務」，台北市，華興書局，2000 年。
第一篇、低壓電機控制配線及裝置。
- 5.黃錦華、郭塗註，「工業配電實習」，台北市，雙日文化，2007 年。
第四篇、實習(二)漏電保護裝置。
- 6.蔡文亮，「數位邏輯實習」，台北市，知行文化，2006 年。
單元三、基本邏輯閘實習。
- 7.陳清良，「電子學 II」，台北市，龍騰文化，2006 年。
第 11 章、單穩態多諧振電路。
- 8.沈溥時，「電工法規」，台北市，弘揚圖書，2005 年。
第一篇、屋內線路裝置規則。
第十一節、漏電斷路器之裝置。

【評語】 091005

1. 本作品將電力系統中過載、久相、逆相序、漏電等保護功能以簡單的電路結構與設備來達成，雖與目前數位保護電驛的發展趨勢不一致，但頗具創意與巧思。
2. 能將學校基本電學、電路學、工業配電、數位邏輯、電工法規、電工機械、配線實務等課程所習得之知識與技能充分應用至本作品之研製上。
3. 本作品各零組件規格選定尚欠嚴謹，各保護功能的作動時間、啟動特性等技術性規格亦欠明確，有改進空間。