

副線電驛 HCB-1之原理與應用

李河樟

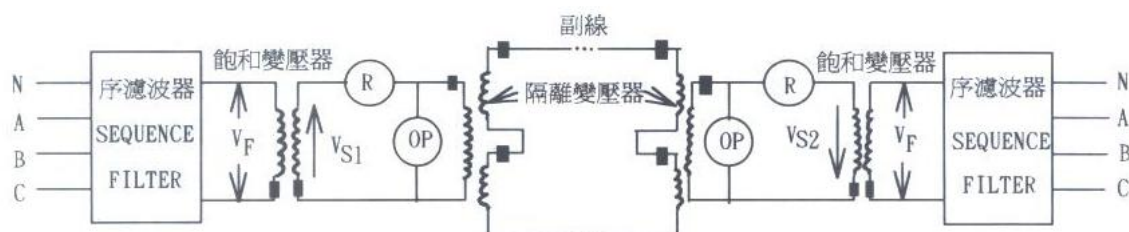
一、前言

輸電線路是構成電力系統的經脈，縱橫交錯遍及整個供電區域，數量之多與周遭環境之複雜，是其他電力設備所無法相提並論的，因而其相對於其他電力設備的故障機率也就顯得格外的高。所以輸電線路的保護乃為電力系統保護重點之一。線路之保護方式很多，依其電壓等級、線路供電方式、線路長度及線路的重要性等之不同，而分別採行各種妥適的保護方式，諸如，簡單的放射狀單回路供電之配電線路，通常使用過電流電驛即可達到保護之基本要求；而環狀或雙回路供電之線路，則須採用方向性過電流電驛。至於較高電壓等級之輸電線路，由於考慮系統穩定度及設備之安全問題，一般都採行快速之測距電驛或副線電驛；超高壓輸電線路，則採用更周全之雙重保護，包括固態電驛、數位電驛等高科技之多功能電驛。一般而言，測距電驛需考慮比流器、比壓器以及各種可能之誤差，其第一區間之保護範圍無法涵蓋被保護線路之全部，線路兩端各有10~20%被排除在快速保護範圍之外；另外如果線路太短，則第一區間保護範圍之設定亦有困難。因此，有所謂的頻道控制保護方式，但其相關設備投資與維護之費用相當昂貴，在比較各項因素下，交流副線電驛不失為一種既簡單又快速之線路保護方式，更可達到整條線路百分之百的快速保護，因此副線電驛幾成為69kv線路

之主要保護，其應用於較短距離之161kv輸電線路為主保護亦頗為適切。副線電驛在本地區目前以HCB-1最為普遍，又此型電驛據以判別是否該動作之訊息，須要經由副線電驛之金屬導體傳輸，因此本文除了簡介HCB-1之原理與試驗外，亦對副線電驛應注意事項做扼要之概述，期能對副線電驛保護方式之全貌有概略之認識。

二、副線電驛 HCB-1之保護原理

HCB-1基本上是一種差動電驛，但是因為線路兩端相距甚遠，不適合於將兩端之電流直接拿來作比較，因此須將電流轉換成某種訊號，再將此訊號經由訊號通道相互傳送比較。因電流有A、B、C三相及零序回路，如直接取用則需四個通道，為節省通道，HCB-1電驛內部有一序濾波器(Sequence Filter)，將三相及零相電流轉換成一單相60Hz之正弦波電壓 V_F ， V_F 之大小，由電驛之標置，及負載電流大小來決定， V_F 反應到飽和變壓器二次側之電壓為 V_S ，詳如圖一所示。 V_S 則加之於電驛之抑制線圈R、動作線圈OP及隔離變壓器(Insulating Transformer)，線路兩端電驛構造均一樣，但是比流器二次側之接法，是使得在負載電流下，兩端 V_S 之極性相反、大小相等。因此，比流器之比值要相等，電驛標置要一樣。其動作原理如下：



圖一、HCB-1 電驛基本動作原理

- 1、於正常負載情形或是在外部故障時，線路兩端之比流器，通過的電流大小一樣，所以 V_S 大小相等，但極性相反。在隔離變壓器上之電壓為相加，故大部分之電流，在副線及抑制線圈上循環，僅極小部分流經動作線圈，因此HCB-1 電驛受抑制，兩端電驛均不會動作。
- 2、當內部故障發生時，故障電流分別從線路兩端流向故障點，因此，兩端之HCB-1之 V_S 極性相同；至於大小，則須視故障電流之分佈，並不一定相等。因 V_S 極性一致，隔離變壓器上之電壓為 V_{S1} 與 V_{S2} 相減，所以在副線上僅有小部分之循環電流，而大部分之電流，均流經抑制線圈及動作線圈，只要故障電流足夠大，則動作線圈之力量，足以克服抑制線圈之力量而使電驛動作，也就是於最大抑制分

接頭時，只要 $I_{op} > 0.16IR + 7ma$ ，電驛就可動作而跳脫斷路器。

三、HCB-1電驛之試驗

HCB-1 之動作訊號主要是由線路兩端HCB-1 內之序濾波器的輸出電壓 V_F ，經由隔離變壓器將電壓提升4倍或6倍（一般選用4倍），再由副線金屬導體傳送到對方端相互比較其極性與大小，決定電驛是否該動作。因此 V_F 值是否準確就顯得格外的重要，也就成為試驗的重點之一。

依廠家之設計公式

$V_F = C_1 I_{a1} + C_2 I_{a2} + C_0 I_{a0}$ ， I_{a1} 、 I_{a2} 、 I_{a0} 分別為進入HCB-1 之A相電流的正序、負序及零序成分；而 C_1 、 C_2 與 C_0 則為廠家之設計常數，依所選用之電驛標置而有不同之值，詳如HCB-1之 V_F 設計常數表。

表一、HCB-1 序濾波器輸出電壓 V_F 之設計常數表

$V_F = C_1 I_{a1} + C_2 I_{a2} + C_0 I_{a0}$					
分接頭	C_1	C_2	C_0	電驛動作值	備註
A	0	0.26	-	$V_F = 0.15T$	T為飽和變壓器分接頭之值
B	-0.08	0.34	-	$V_F = 0.16T$	
C	-0.20	0.46	-	$V_F = 0.20T$	
F	-	-	0		對於接地故障以選擇 H 之分接頭最靈敏
G	-	-	2.5		
H	-	-	4.9		

但因一般僅量測三相平衡電流而非 A 相之正序、負序與零序成分，故要計算其輸出電壓 V_F 需利用對稱分量關係求出 A 相之序分量，其計算公式如下：

$$I_{a1} = (I_a + aI_b + a^2I_c)/3 \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{a2} = (I_a + a^2I_b + aI_c)/3 \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{a0} = (I_a + I_b + I_c)/3 \dots\dots\dots(3)$$

$$a = -0.5 + j0.866 = 1.0 \angle 120^\circ$$

a 為一運算子，用來簡化計算過程。一般為顧及電驛之靈敏性與安全性，大多選用 C 及 G 分接頭，則

$$V_F = -0.2I_{a1} + 0.46I_{a2} + 2.5I_{a0} \dots\dots(4)$$

試驗時，如將 A 相電流輸入 HCB-1 電驛，即將試驗電流由電驛之第 5 腳入由第 3 腳出（電驛之第 7 及第 9 腳不加任何電流），即 $I_b = I_c = 0$ ，則可由 (1)，(2)，(3) 式得

$$I_{a0} = I_a/3,$$

$$I_{a1} = I_a/3,$$

$$I_{a2} = I_a/3,$$

再將此結果代入 (4) 式得到

$$V_F = 0.92I_a, \text{ 如果 } I_a = 1.0 \text{ 安培, 則}$$

$$V_F = 0.92 \text{ 伏特, 此電壓可於電驛的}$$

第 2 腳，與 T 分接頭設定板上之金屬片的固定螺絲之間測得。（分接頭設定板上之設定用螺絲需取下），其誤差值應不超出 $\pm 5\%$ ，否則須參照說明書調整步驟加以調整。如僅輸入試驗電流於電驛之第 7 腳與第 3 腳之間，則因 $I_a = I_c = 0$ ，由 1、2、3 式得

$$I_{a0} = I_b/3,$$

$$I_{a1} = aI_b/3,$$

$$I_{a2} = a^2I_b/3, \text{ 將此結果代入 (4) 得}$$

$$V_F = 0.813I_b \angle -13.6^\circ,$$

如輸入之電流（ I_b ）為 1.0 安培，則 $V_F = 0.813$ 伏特，較前項試驗時小。飽和變壓器分接頭如果標置於 4，參照表一，電驛最小動作值為 0.2T，即 0.8 伏特，因 $V_F = 0.813$ 伏特大於 0.8 伏特，故電驛應動作；如 V_F 之電壓正確而電驛未動作，則需調整電驛極化元件之磁通量。為節省篇幅故不再一一計算各種試驗情況之下的 V_F 值，僅將結果詳列於下供讀者參考，如有興趣亦可自行驗算。

1.輸入三相平衡電流	$V_F=0.200I_a \angle 180^\circ$
2.輸入三相負相序電流	$V_F=0.460I_a \angle 0^\circ$
3.輸入A相電流(即A相接地故障)	$V_F=0.920I_a \angle 0^\circ$
4.輸入B相電流(即B相接地故障)	$V_F=0.813I_b \angle -13.6^\circ$
5.輸入C相電流(即C相接地故障)	$V_F=0.813I_c \angle 13.6^\circ$
6.輸入A B相電流(即A B相短路故障)	$V_F=0.230I_a \angle 55.7^\circ$
7.輸入B C相電流(即B C相短路故障)	$V_F=0.381I_b \angle -90^\circ$
8.輸入C A相電流(即C A相短路故障)	$V_F=0.230I_c \angle 124.3^\circ$

當被保護之線路有充分的負載，足以在電驛測量比流器二次側電流之相角時，兩端 HCB-1 電驛應施行電流之對相試驗。即進入線路兩端 HCB-1 之電流，其值應相等，相角差 180° ，量取相角時，必須使用相同的電壓做為基準電壓，否則其比較之結論毫無意義；此參考電壓可利用既有之副線，將一端之參考電壓送至對方，兩端同樣以此電壓為基準。要注意是，避免分別以兩端的接地網做為電壓 E_o 的參考點，否則兩端地網電位的相角差易造成判斷上

的錯覺。並應注意加電壓於副線之前，須先將副線與電驛隔離，以免電驛受損害。為確認 HCB-1 之輸出電壓 V_F ，經由各相關設備：隔離變壓器、中和電抗器及副線導體等之接線與特性均正確無誤，尚須進一步做負載試驗（如表二），但要注意的是，在進行此項試驗之前，須先將兩端之 HCB-1 跳脫回閉鎖，如 HCB-1 與接地過電流電驛使用同一組比流器，則此電驛亦必須同時閉鎖；否則在試驗進行中，可能會導致該電驛動作。

表二、HCB-1負載試驗表

試驗項目	本端					他端				
	電驛	電驛	測試值			電驛	電驛	測試值		
	電流	是否動作	R	C	L	電流	是否動作	R	C	L
1	ABCN	N				ABCN	N			
2	ACBN	N				ACBN	N			
3	AN	N				AN	N			
4	BN	N				BN	N			
5	AN	Y				BCN	Y			
6	CN	N				CN	N			

試驗#1及#2在於測試進入電驛之電流其相序是否正確，試驗時為了避免受到不平衡電流所引起的困擾，可先將電驛之標置暫設定為(4, C, F)，則電驛之輸出電壓 $V_F = -0.2I_{a1} - 0.46I_{a2} - 0I_{a0}$ ，零序成分被排除，試驗#1之 $|V_F| = 0.2I_a$ ，試驗#2之 $|V_F| = 0.43I_a$ ，所以試驗#2測得之電流約為試驗#1之2.3倍。試驗#3、#4、#5時，電驛標置須改為正常使用之設定，如(4, C, G)，但如負載確實太輕，為利試驗結果之研判，可將電驛對零序電流之靈敏度提高至最大，即將標置G改為H以提升 V_F 之值，要特別注意的是，兩端電驛之標置必須隨保持一致。試驗#3、#4為模擬外部故障之情形，此時電驛應不動作，R、C、L分別代表測得他端、循環及本端之對應電流值。本端電流L與循環電流C之值應相當接近，他端電

流R之值則視副線之環路電阻大小而定，以 2000Ω 為例（使用極限），R值約為L值之60~70%。試驗#3之 V_F 值為 $0.92I_a$ ，試驗#4之 V_F 之值為 $0.813I_b$ ，於三相平衡系統，可以合理的假設 $|I_a| = |I_b|$ ，因此試驗#3所測得之值，應為試驗#4之值的1.13倍。試驗#5因兩端模擬故障之情況不一樣，本端僅A相電流進入HCB-1，他端則是B、C相電流進入電驛，依三相平衡對稱系統， $I_a - I_b - I_c = 0$ ，所以B、C相電流之和相當於負的A相電流，故此試驗為模擬線路之內部故障。本端電驛之 V_F 為 $0.92I_a \angle 0^\circ$ ，他端之 V_F 值與特性試驗時輸入電驛B、C相電流情況不盡相同，不能隨意引用；因於負載試驗時，是在三相平衡系統，此時 $I_b = aI_c$ 而非特性試驗時 $I_b = -I_c$ 之關係。

$$\text{即 } I_a = 0, I_b = a^2 I_a, I_c = a I_a,$$

$$I_{a0} = (I_b - I_c)/3 = (a^2 I_a - a I_a)/3 = -I_a/3 \dots\dots\dots (1 - a - a^2 = 0)$$

$$I_{a1} = (a I_b - a^2 I_c)/3 = (a^3 I_a - a^3 I_a)/3 = 2I_a/3 \dots\dots\dots (a^3 = 1)$$

$$I_{a2} = (a^2 I_b - a I_c)/3 = (a a^3 I_a - a^2 I_a)/3 = -I_a/3 \dots\dots\dots (a^3 a = a)$$

將上三式代入(4)式得

$$V_F = -0.2(2I_a/3) - 0.46(-I_a/3) - 2.5(-I_a/3) = 1.12I_a \angle -180^\circ$$

因此對他端而言，試驗#5所測得之L值，應為試驗#3之L值的1.2倍；本端之L值，試驗#3與試驗#5之值一樣。而循環電流C之值則因兩端之 V_F 相位差 180° ，故其循環電流很小，此時如負載夠大則電驛應動作。試驗#6與試驗#4所測得之值應一樣。如果試驗#3，#4，#6之循環電流C值遠小於L值，或試驗#5之C值接近於L值，

則可能是比流器二次側之極性錯接，或是 V_F 輸出之電驛端子18、19錯接，也許是電驛對相試驗時有誤：參考電壓反接、測試儀錶接線錯誤等；必須先確定問題點後再加以適當的改正，直到試驗結果合於理論之要求，方可將電驛正式使用於保護系統。

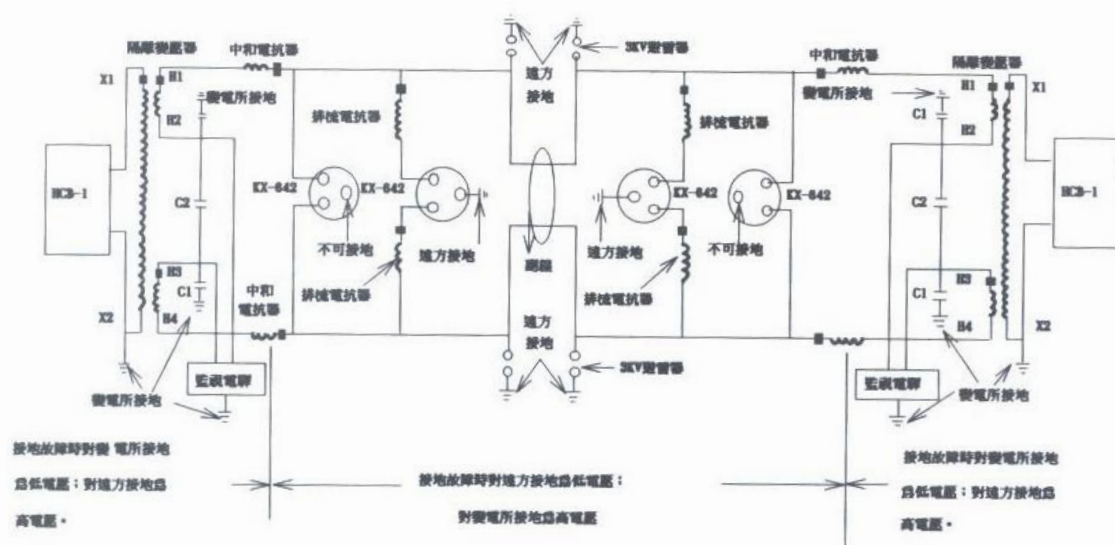
四、副線之絕緣與保護

副線電驛HCB-1是否動作，所依據之訊號源，係經由副線金屬導體相互傳送，因此，這一傳送媒介對HCB-1電驛功能之表現，具有決定性的關鍵地位。HCB-1電驛要能有優異表現之前，必須先對副線電纜之品質做嚴格之要求，並須對其做週全之保護，使其本身及其所載送之訊號不受外在環境干擾。

副線導體如果線間絕緣不良，則極端情形類似於線間短路，線路事故時可能導致電驛不動作；又如副線接頭接續不良，則可能使其環路電阻提高，嚴重時相當於副線斷線，遇外部事故時會引起電驛誤動作，於施工與試驗皆應特別注意。副線電纜由甲地到乙地所經之路徑，其周遭可能有磁場之干擾；電纜也可能架設於輸、配電線路之下，而受該線路故障電流與零序互耦電抗產生之感應電壓 $I_0 Z_{0m}$ 干擾；因其暴露於屋外亦可能受雷擊影響。凡此種

種，均可能導致電驛受損或引起電驛誤動作，故必須設法加以防範；系統有接地故障時，變電所之接地網會產生電位湧升現象，如接地網與遠方接地點之電位差大於600伏特時，須增設中和電抗器，以防止設備受損及電驛誤動作，這些因素在規劃電驛保護方式時都須詳加考慮。完整的副線導線保護方式如圖二所示，包括：隔離變壓器、中和電抗器及氣體放電管、排流互感電抗器(Mutual Drainage Reactor)、磁通電容器C1及副線電纜遮蔽線之遠方接地與避雷器等。分別簡述於下：

隔離變壓器就像是副線與電驛之間的阻抗匹配器，兩端子線路時使用4:1之分接頭，三端子線路則視每端子到分歧點之環路阻抗而定，如其值小於500歐姆則使用4:1分接頭；小於1000歐姆則選用6:1之分接頭。



圖二、副線對感應電壓及接地網電位湧升與雷擊之整體保護方式

副線受外來干擾最常見的為電力系統接地故障時，變電所接地網之電位湧升，使副線絕緣受破壞並導致電驛誤動作，其有效防範措施為裝設中和電抗器及 C1 電容器與突波保護放電管。中和電抗器及突波保護放電管之作用為：當電位湧升時利用 C1 電容器提供地網經副線對地之分布電容到遠方接地之磁化電流通路，大部分之接地網電位湧升電壓經由中和電抗器降低，使副線能維持與遠方接地相同之低電位，確保副線之絕緣不致遭破壞。如副線對地之分布電容小於 $1.0\ \mu\text{f}$ 時，可於副線上並聯適當之電容器並於遠方接地，使其總電容量不小於 $1.0\ \mu\text{f}$ 。為顧及萬一副線中有一芯線意外接地，或是副線上裝有避雷器而於遭雷擊時僅一邊之避雷器動作，導致線間電壓過高引起電驛誤動作，所以還需裝設突波保護放電管，遇上述情形時迫使另一端之高壓經由放電管導通，而達到平衡副線間電壓之功能並防止電驛誤動作。另一種對副線造成嚴重干擾的現象是感應電壓，副線對地之感應電壓不能高於 7.5 伏特，否則如有一芯線意外接地時，可能造成電驛誤動作。其防範方法除了良好的扭曲(Twist Pair)以儘量抵消副線的電磁耦合外，對於故障電流所引起的縱向電磁感應，副線扭曲並無太大作用，而適當的遮蔽方式，也僅能降低百分之五十的感應電壓，皆不能有效的達到完全防護。其補救措施為增設排流電抗器及放電管，當雷擊突波或副線鄰近之輸電線路故障電流引起縱向感應電壓時，排流電抗器強迫氣體放電管的兩個電極同時放電導通接地，使感應於副線之電壓於副線與地之間產生

環流而降低電壓。如果沒有排流電抗器，則感應電壓，可能只使得一邊之放電管先導通，此時所有感應電壓均加於另一端，而引起設備損害或電驛誤動作。如已裝設中和電抗器，則排流電抗器之放電管的接地必須為遠方接地，才能有效抑低感應電壓而不受地網電位湧升影響。至於雷擊之保護，則因副線通常皆架設於輸電線路之下或為地下管路，受雷擊之機率不大，故一般均不裝設避雷器；如副線電纜所經之路徑特殊，必須裝設避雷器時其接地點應為遠方接地。

五、結語

副線電驛本身因其簡單故而可靠，但因其所據以傳送電驛訊號來源之媒介－副線，易受外在因素干擾，影響了整個電驛的表現；如能將其所受干擾設法減低或加以適當的防範，則此一保護方式可說是既經濟又實惠。為提高此電驛之整體功能，在使用上以下諸項限制應嚴格遵守：

- 1、副線環路阻抗：兩端子線路不可高於 2000 歐姆；三端子者，每一端到分支點不可大於 500 歐姆。
- 2、副線對地旁路電容須大於 $1.0\ \mu\text{f}$ ，以有效提供中和電抗器副線端對接地網電位湧升電壓之降低回路。
- 3、副線間之電容：兩端子者，必須小於 $1.5\ \mu\text{f}$ ；若是三端子者，則必須小於 $1.8\ \mu\text{f}$ ，如太大則會影響電驛動作之靈敏度。

- 4、副線之絕緣，必須隨時保持於良好狀態，新設者應要求在 $50M\Omega$ 以上；既有副線亦須在 $1.0M\Omega$ 以上，(以500伏特直流高阻計測量)。
- 5、副線之遮蔽線必須遠方接地，即接地點須離變電所接地網，至少 150 公尺以上，才能有效防止地網電位湧升對副線絕緣的破壞，也才能使排流電抗器有效抑低感應電壓。
- 6、兩端電驛所使用之比流器，其等級應相同，接用比值亦須一致，比流器之滿匝比也應相同，防止外部故障時兩端比流器飽和程度不一致，導致電驛誤動作。
- 7、使用於三端子線路之保護時，HCB-1之抑制分接頭應置於 Min；兩端子線路則應置於Max位置。
- 8、HCB電驛之相序濾波器與HCB-1電驛構造不同，因此HCB與HCB-1不可配對使用。

參考資料：

1. Applied Protective Relaying (W.H. 1982)
2. Protective Relaying Theory and Applications (ABB 1994)
3. Application Guide AC Pilot Wire Relaying System (General Electric Co.)
4. Pilot Wire Insulation and Protection For HCB and HCB-1 Relaying (ABB Instructions 1976)
5. HCB-1 Pilot Wire Relay System (ABBInstructions 1985)
6. Protective Relaying Principle and Application (J.Lewis Blackburn 開發 1987)
7. Pilot Wire Limits And Capacitance Compensation For HCB-1 Relays (G.D.Rockefeller AIEE)

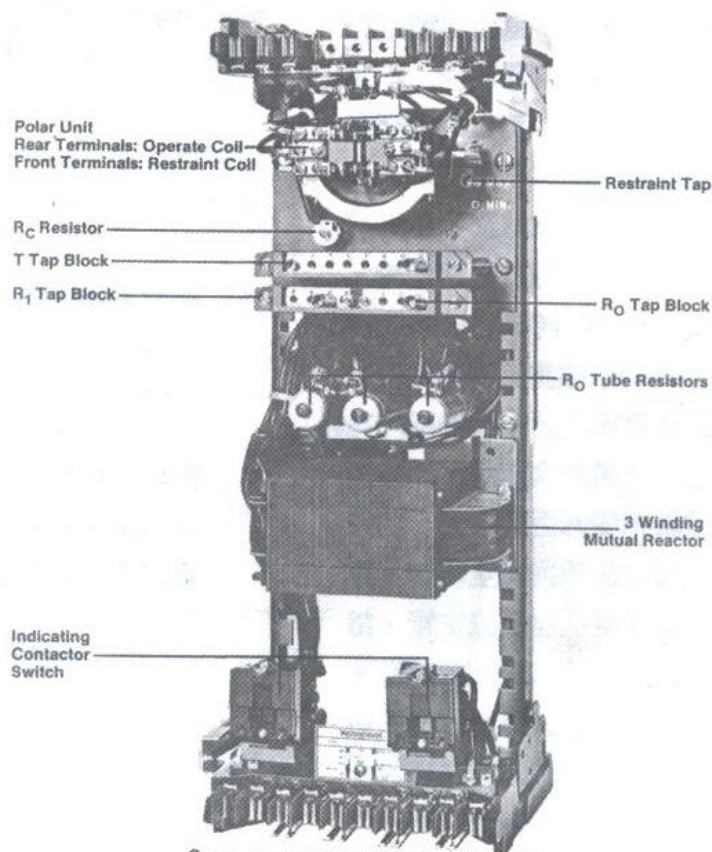


Fig. 9. Type HCB-1 Relay Without Case (Front View).