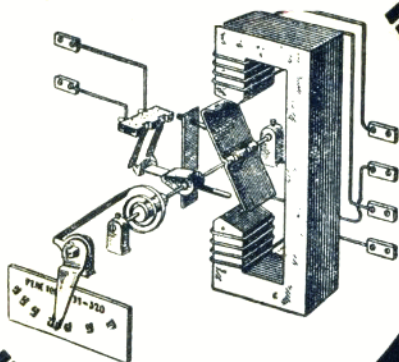


继电保护装置—— 电力系统的哨兵

周 輔 昌



科学普及出版社

目 次

电力系统为什么需要繼电保护装置	1
繼电保护装置的任务和必須遵循的原則	4
各种类型的繼电器	12
繼电保护装置	24
电力设备上装設繼电保护装置的实例	30
我国繼电保护的現狀和今后發展方向	54

電力系統為什麼需要繼電保護裝置

電力——是社會主義建設中很重要的動力。只有電力工業的迅速發展，才能給整個工業的全部自動化、農業的全部電氣化創造條件。

現代的電力系統中，無論在發電廠、變電所，或是在工業企業內部，都裝有繼電保護裝置。為什麼在電力系統中需要這種裝置呢？在談這個問題以前，需要先了解一下什麼是電力系統，電力系統的運行具有哪些特點。

什麼是電力系統呢？我們知道，工廠、學校和住宅（即用戶）所使用的電力（如電動機、電爐和電燈等所消耗的電力）都是經過變電所的配電綫分別供給的。而變電所的電力，是由發電廠經過送電綫路輸送來的。可見從發電廠的發電機到用戶之間，是由送、配電綫路，變電所的變壓器，以及其間的各种配電裝置聯繫起來的。這樣聯繫起來的一個整體，叫做電力系統；如果把拖动發電機的原動機（如汽輪機、鍋爐或水輪機等）以及供熱用戶和輸熱管道都包括在內，就叫做動力系統。所以電力系統是動力系統中屬於負責生產、輸送、分配和消費電力的一個部分。

發電機轉動了，發出電來，叫做生產電力，至於電力生產的多少，是要隨時和用戶的消費保持平衡。如果用戶多開一盞 100 瓦的電燈，發電機就要多發 100 瓦的電力。如果用戶關閉兩盞 100 瓦的電燈，發電機就要相應地少發 200 瓦的電力；但是它又不能像其他原材料那樣可以用倉庫貯藏起來，調劑生產與消費的不均衡的現象。所以當電力系統中任何設備發生故障時，就會造成電力過剩或電力不足而限制用戶用電的現象。

電力系統除了要保證平衡可靠的連續供電以外，還要保證電力的質量，也就是說要保證額定的電壓和周波。如果電壓太低了，電燈就會暗下去而發出紅光；如果周波下降了，工廠中的電動機就要慢下來而影響生產，甚至家里用的電鐘也走慢了。但是電力系統不可能在任何時間（即使是極短的時間內）都保持在平衡的狀態，因為工廠和用戶的電動機、電燈隨時有開的有關的；當然，這些波動，對電力系統的影響是不顯著的，它可以借各種自動調整裝置保持在一定的水平，使整個電力系統的電壓和周波，只是在允許的範圍和允許的時間內稍有波動。

對用戶的供電，不但要連續不斷，而且要保證質量。這個任務，如果完全靠自動調整裝置，那是不能勝任的。它只能對電力系統中小的波動（即系統中正常的操作）進行調整，但是它不能在系統中發生短路時保證供電質量。

短路——是電力系統中一種嚴重的電氣故障。正常供電時，電力設備的所有帶電導體之間，都是用絕緣物質隔絕起來的。如果電壓過高擊穿了絕緣，或者運行電流長期過大發熱損壞絕緣，或者設備運行時間很久而絕緣老朽，在絕緣損壞地點，就會造成相與相之間、或者同一相中不同繞圈之間的導體碰接在一起，這就發生了短路故障。發生短路故障時，短路地點電流就突然增大，短路點周圍的電壓驟然降低，這兩種現象都帶來了嚴重的後果。

短路地點電流的突然增大的道理，可舉放水管為例來加以說明，如在水塔的同一地點，引出兩條長短不同而大小相同的放水管，則經短水管中流出的水量，一定多於長水管中流出的水量；因為管子長，阻力大，水的流動慢，所以流出的水量就少了。這也就是短路時電流增大的道理。當發生短路時，在短路地點給電流創造了一條便道（近路），使電流不必再經很大

的負荷电阻，而只要走这条近路回去即可。这时，因为电源的电压不变，而电路的电阻却减小，在短路地点，原来几安培或几十安培的电流，现在突增至几百甚至几千安培的电流。通过这样大的电流，就产生了很大的热量和机械力（就是帶电导体間由于电流所产生的吸力和斥力），虽然在几分之一秒的短暫時間內，也会使發生短路的电力設備遭到严重燒損，变压器等充油設備甚至会發生爆炸，在短路地点有时还产生高热电弧，不但燒毀电器，而且能引起火灾。

短路地点附近电压驟然降低的現象，也是很容易理解的。在正常时，相与相之間有电压差存在，当碰接在一起时，电压差就沒有了。既然短路点电压为零，周圍的电压也就随着降低了。关于电压降低所引起的严重后果，我們仍然可以用放水管为例來說明。

我們日常使用的自来水所以能从管中流出来，就是由于在水源（例如水塔等）加有压力；如果水源沒有压力或压力不够，我們就要受到無水的危險。同样的道理，如果沒有电压或电压不够，电就不能正常地輸送出去。如果工厂的进綫上發生三相短路，就沒有电压向工厂里輸送电力，整个工厂的电动机就要停轉。如果短路發生在变电所的某一电力設備上，在周圍很大地区內將受到电压不足的影响，使企業正常生产遭到破坏。如果短路發生在發電厂出口母綫上，不但沒有足够的电压把电力向整个电力系统輸送，而且使系統造成紊乱，就是厂內的厂用电动机，也会因电压不足而降轉或停轉，使全厂生产遭到了破坏。

由于电力系統的生产和消費是需要保持一定的平衡，而發生了短路又会引起如此严重的后果，所以不但要很快地發覺故障，而且要迅速加以处理。这些任务，如果依靠人来完成，是

不可能的。

電力的可靠供應，對各工業部門、郵電交通以致於日常生活都有密切的關係。幾秒鐘的停電，就會引起國民經濟巨大的損失。所以在現代的電力系統中，就需要有一種負起哨兵任務的裝置，它能夠隨時敏感地監視和保衛著整個電力系統各組成部分的正常運行。這個哨兵就是繼電保護裝置。

在電力部門的運行規程中，明確地規定了沒有繼電保護裝置的電力設備，是禁止投入運行的。

繼電保護裝置的任務和必須遵循的原則

一、繼電保護裝置的任務

電力系統是一個有机的整體，任何一個設備出了毛病，就會使運行遭到破壞的危險。而電力系統中的事故，基本上都是由小到大，由局部擴大到整體。所以要保持電力系統的正常運行，好像保護一個人的健康一樣，當感到有些不舒服的時候，就要馬上請醫生治療；如果身體上某部分無法醫治而危及生命時，則只有用割治的方法來恢復健康。整個電力系統或者其中某個電力設備常常有些不正常的情况，例如：變壓器過負荷超過規定的允許值時；三相電動機其中一相的保險絲熔斷時；所有這些不正常現象，都需要及時發覺，在一定時間內加以消除。如果某個電力設備已經發生了短路故障，這就不允許在一定時間內來處理，而必須立即把故障設備與電網隔離；不然的話，故障設備燒毀的程度將增加，同時，電力系統中受故障影響的範圍也將擴大。所有這些类似情况，都是作為電力系統哨兵的繼電保護裝置應該担负的具体任务。

在繼電保護導則中，把繼電保護裝置的任務，明確地規定

了兩条：

(1) 当所保护的电力设备（具备自动开关者）發生故障时，或發生足以产生故障的危險情况时，以及为了消除足以破坏电力系统正常运行方式的其他情况而必須將电源隔絕断开时，可以將所保护的設備断开。

(2) 当所保护的电力设备發生不正常的运行方式时（例如：过負荷，在接地电流小的电力網內發生接地短路及其他情况）应發出警报信号（利用声或光的信号）。

这两条的具体意义，就是說繼电保护装置能够監視和觉察电气方面的不正常情况，并在規定時間內利用光和声的訊号通知值班人員来处理；同时，能够当机立断地自动地把發生短路的电力設備跳开，或者發現有危及設備与系統运行安全的情况时，自动地作出适当的处理。

二、繼电保护装置所必須遵循的原则

电力系统是具有高度自动化的生产过程，所以繼电保护装置一定要十分准确可靠，灵敏迅速。下面来介紹一下繼电保护装置所必須遵循的选择性、速动性、灵敏性和可靠性等四个原则。

选择性 什么是选择性呢？比方說，某工厂用一个变压器給四个电动机供电（如圖1所示），当1号电动机的定子繞卷發生了短路时，1号电动机的繼电保护装置立即使1号电动机的开关跳开，1号电动机就与电網隔离起来。如果1号电动机的繼电保护装置失灵而不能把开关跳开，或者迟跳开，以致变压器的保护装置把变压器的开关跳开了；或者甚至于变压器与1号电动机的开关同时跳开。这样，虽然也完成了把1号电动机与电網隔离的任务，但这样执行任务的方式不能令人滿意，

因为变压器的开关在这种情况下是不应该跳开的，如果跳开了，其他几个电动机無故地遭受到停电的影响。

如果1号电动机的繼电保护装置正确地动作，但是开关有了毛病，卡住了無法跳开；在这种情况下，由于短路長期存在，1号电动机就有燒毀的危險。

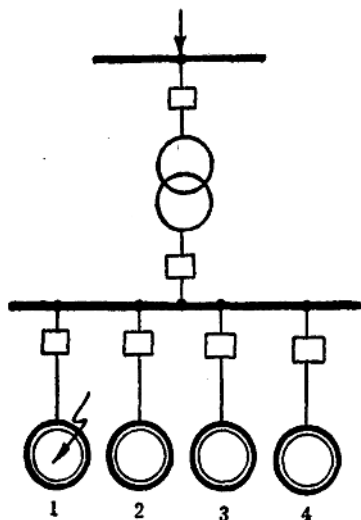


圖 1

就是对于向1号电动机供电的变压器來說，由于長期流过很大的短路电流，也会遭受到损坏的威胁。在这种处境下，从整个利益来看，当1号电动机跳不开时，就需要变压器的保护装置把变压器跳开，这样地执行任务是很正确的，虽然表面上同样地使其他三个电动机断掉了电源；事实上則不然，因为讓1号电动机的短路故障長久存在，

附近电压便会下降，其他三个电动机無法正常运行而减速，或者甚至停止运转。

是不是还要考虑变压器的开关是否会卡住呢？变压器的繼电保护装置能否可靠动作呢？这要根据具体情况具体条件来决定，也不能不估計，也不能作过分的不必要的估計。

再看圖 2 的情况，当变压器內部發生故障时，究竟應該跳开哪些开关呢？这就要看靠低压母綫的一側有否电源存在：如果沒有电源，就跳开变压器靠高压这一側的1号开关就够了；

如果有电源存在，就需要立即同时跳开 1 号与 2 号开关；否则，發生短路的变压器就无法与电网隔离开来。

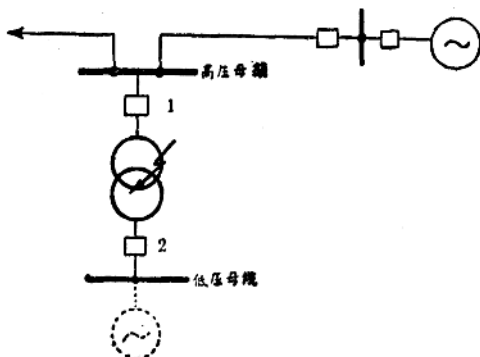


圖 2

由以上例子，我們可以作出这样的結論：当电力系統中某一电力設備發生短路故障时，應該从电源側把离开故障設備的最近的一个开关先跳开，而在电源側离开故障設備較远的开关后跳开。繼电保护裝置必須根据这个原則来执行任务。这个原則，叫做选择性。

迅动性 繼电保护裝置完全做到了选择性的要求，但若动作很慢，这也是不能令人滿意的，如果动作很慢，值班人員早就可以用手把开关拉开了，也就不需要繼电保护裝置了。事实上用手来拉开开关是不行的，电气短路故障扩大得很快，就是在一瞬眼的時間內也会造成不可想像的破坏，而繼电保护裝置的特点就在于当值班人員沒有發覺以前早就很迅速地作了处理。所以繼电保护裝置需要遵循迅速动作的原則，这个原則，叫做迅动性。

这里必須指出，單靠繼电保护裝置动作快还是不够的，必

須使开关跳开的动作也很快，这样才能把切除故障設備的全部時間縮短。目前速动保护裝置的动作時間，可以达到0.02—0.05秒，加上快速开关的动作時間后，切除故障的全部時間只有0.07—0.13秒。

如果只是要求动作快，就会造成所有保护装置一起乱动的局面。所以选择性和速动性之間的矛盾必須很好地統一起来。选择性和速动性究竟如何配合才好呢？这就不能一概而論。一般來說，是在滿足选择性的条件下，尽量加快繼电保护裝置的动作。但有时候选择性和速动性不是那么順利解决的，相互間会发生矛盾抵触；有时虽然能够較合适地作了解决，但会造成繼电保护裝置不必要的复杂化。所以要从具体情况，按照經濟技术合理性方面作充分比較后，才能恰当地解决。

上面提到的，一般是在考虑选择性的条件下加快保护裝置的动作。但在某些場合下，宁願保持必要的速动性，而放棄或者降低选择性的要求，然后再用自动重合閘（或备用电源合閘）等方法来弥补降低了的选择性。可举圖3为例來說明。

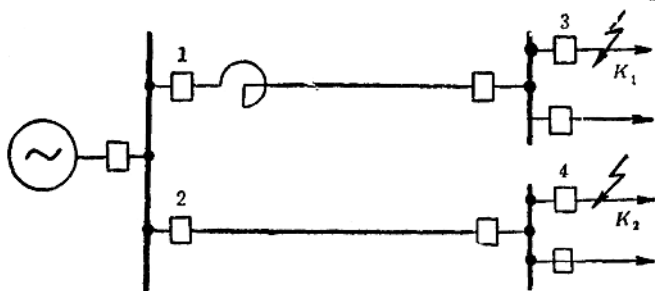


圖 3

圖3是一个小型發电厂，分兩路輸电。其中一路已經裝有

电抗器，当 K_1 点故障时，发电机的母线电压仍然能维持在额定电压的 60% 以上，所以 1 号开关无需与 3 号开关同时立即跳开，可以比 3 号开关迟一段时间（约 0.5—0.7 秒）才跳开。这样， K_1 的故障由 3 号开关切除后，其他非故障线路依然照常供电。另一路是尚未装上电抗器，当 K_2 点短路时，发电厂母线电压降到额定电压的 50% 以下。因为 K_2 点故障与 4 号开关母线故障情况一样，电压降低到这样程度会严重影响到厂用电机的正常运转，所以 2 号与 4 号开关必须同时立即跳开。前一种情况（装电抗器的线路）是在满足选择性的条件下加快保护装置的动作；后一种情况是为了保全发电厂的安全运转而宁愿放弃选择性来满足速动性的要求。但是，这里还可以采用自动重合闸装置来弥补放弃了的选择性。

所谓用自动重合闸装置来弥补选择性的问题，也就是在 2 号开关上装上一套重合闸装置。当 K_2 点短路时，2 号与 4 号开关虽然同时跳开，但 2 号开关随后又马上重合。这样，由于 4 号开关已经把短路点切除，所以一等到 2 号开关重合后，其他无故障的线路仍然照常供电，这就补救了原来无选择的缺点。

这里必须指出一个问题，万一由于机械等某些问题使 4 号开关比 2 号开关延迟跳开，这时短路电流在 2 号开关跳开后立即消失，而 4 号开关上的保护装置因而就自动返回，而来不及把 4 号开关跳开。当 2 号开关重合后， K_2 点故障仍旧未隔离而使 2 号开关又重新跳开。这时，重合闸失去了作用而不再重合，因此，所有非故障的线路也遭到了停电的影响。所以 4 号开关上的继电保护装置必须装有自动保持装置，使保护装置在起动以后，一直等到开关跳开才能返回。这样就消除了上面所述的缺陷。

灵敏性 选择性与速动性的配合能够取得统一，这当然是很理想的，可是事实上我们还要考虑灵敏性的原则。什么是灵敏性呢？举例来加以说明。

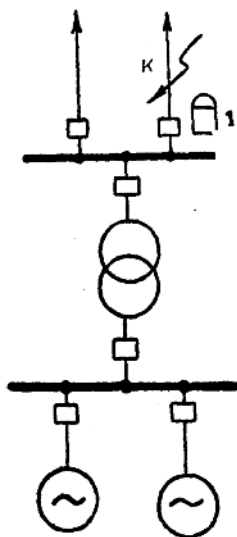


圖 4

圖 4 是簡單的电气結綫圖。当 K 点短路时，流过繼电器 1 的裝設地点的故障电流不可能是一样大小的。因为 K 点的故障形式有可能是三相短路，有可能是兩相短路。即使是同样短路形式，也有可能是直接短路，也有可能是經過弧光电阻短路。即使上述情况都相同，遇到一台發电机檢修时，短路电流又有显著的变化。此外，發电机上裝什么形式的电压調整器，是否裝有强行励磁裝置等等，都不但会影响短路电流的大小，而且要影响短路电流衰减的趋势。像这样类似影响短路电流的因素很多，这就要求考虑在各种情况下，电流繼电器 1 能否

灵敏动作的問題了。

如果电流繼电器 1 保护綫路的全部長度，在上述最坏的情况下，在綫路上任一处發生短路时，都应该灵敏地动作。比方說，三相短路电流一般大于兩相短路电流；兩台發电机并列时的短路电流大于單机运行时的短路电流，所以就要按短路电流最小的情况来考虑。如果短路电流最小的情况能够保証动作，那么其他情况也就必然能够灵敏地动作了。但是还有無法具体考虑的如弧光电阻等等因素，所影响的程度不但事先無法知道，而且在短路过程中随着电弧的長短而变化。类似这样的因素，就用裕度的办法来保証。也就是說計算出来的最小短路电

流，要比電流繼電器的動作電流大一個裕度，這個裕度就是準備適應短路電流有可能因某些因素而減小的情況。裕度的表示形式如下：

$$K_q = \frac{\text{直接短路時的最小短路電流}}{\text{電流繼電器的動作電流}}$$

如果這個分數值很大，也就是短路電流比繼電器動作電流大得很多時，繼電器的動作就很靈敏。如果大得不多，當短路電流受某些無法具體考慮的因素而減小時，繼電器就不能動作。所以 K_q 是表示繼電保護能否靈敏動作的一個指標，又叫做靈敏係數。上式只是表示過電流保護裝置靈敏係數的形式，其他保護裝置還有不同的表示形式，此地不準備一一討論了。由此可見，所謂選擇性和速動性，只有在靈敏係數滿足要求的條件下才能保證。

靈敏係數的大小，是一個經驗數字，它是從多年運行經驗總結出來的。所以在規定靈敏係數時，不能生搬硬套，一成不變，也不能不相信多年的經驗數字而任意改變。對過電流保護裝置來說，在它主要保護範圍內發生故障時，靈敏係數 K_q 一般可採用 2。

靈敏係數的選用是很複雜細緻的工作。例如短路電流會隨時間而衰減，所以瞬動的電流保護比有時間的電流保護有不同的區別。重要綫路上保護與某些次要配綫上的保護不一定強求一致。即使是同樣的保護裝置，作為主要保護和作為備用保護又有不同的要求。對於選用靈敏係數的一般要求，在繼電保護導則中有了明確的規定。總的來說，在運用這些規定時，要結合具體情況。有時寧願靈敏係數稍差一些而採用簡單的保護裝置；有時寧願用複雜的保護裝置來達到足夠的靈敏係數。

可靠性 討論到這裡，已經介紹了三大原則，涉及到影響

繼電保護裝置的有关因素和对繼電保護裝置的一些要求；但是，还没有考虑到繼電保護裝置本身的問題。如果由于繼電保護裝置本身的結綫錯誤，或是繼電器的机械部分不良，以致造成了錯誤動作或者不能動作，遇到这种情况，以上这些考虑不是全都落空了嗎？所以还需要考虑到繼電保護裝置本身可靠性的問題。在实际运行中，确实多次碰到过这方面的問題。例如：繼電器起動后，走了一半就卡在中間了；繼電器的轉軸和接点掉下了；繼電器游絲变松或接点粘着了；由于接綫錯誤，不該跳的也跳开了。諸如此类等等問題，虽然不是时常發生，可是全国普遍都發生过这类現象，也曾造成了破坏正常运行的惡果。为了防止这类情况，除了要求制造厂保證質量以外，必須注意繼電保護結綫的正确性，同时力求簡單可靠。此外，还需要有維護校驗制度，并創造好的周圍环境，例如：不要受到外界振动和有害的气体以及塵埃等的侵蝕。这样就能防止或减少繼電保護裝置誤動作或不动作的机会，这就是繼電保護裝置所必須遵循的可靠性的原則。

綜合以上所述，選擇性、迅動性、灵敏性、可靠性是繼電保護所必須遵循的四个原則，前兩個原則是保證了繼電保護裝置能正确地执行任务，后兩個原則是保證了繼電保護裝置能够可靠地完成任務，只有全面地遵守这些原則，繼電保護裝置才能正确可靠、灵敏迅速，从效果上真正起到了電力系統哨兵的作用。

各种类型的繼電器

繼電器和繼電保護裝置是有区别的。繼電保護裝置是为了完成一定任务，由不同特性的繼電器和其他輔助設備組合起来的一个总合体的名称。而繼電器只是組成繼電保護裝置的一种

主要元件。下面先談談繼電器：

繼電器是與儀表類似的一種電氣設備，它的動作原理也和電氣儀表類似，由於它有不同用途，所以它也有各式各樣的特性和結構。我們把測量電流的儀表叫做電流表，也可以把由於電流而起動的繼電器叫做電流繼電器；我們把測量電壓的儀表叫做電壓表，同樣也可以把由於電壓起動的繼電器叫做電壓繼電器。但是這些繼電器和儀表是有區別的。電氣儀表是隨着電流或電壓的變化而指示出不同的電流或電壓值，而繼電器就預先調整好一個數值，超過這個數值時，即開始動作，把接點閉合。不足這個數值時，不論電流或電壓如何變化，它仍然靜止不動。

這裡所要討論的繼電器，只是指電力系統繼電保護裝置中所採用的繼電器，而不涉及交通、郵電和工業企業生產過程中的繼電器，也不涉及反應水壓、汽壓和流量等機械原理的繼電器。下面分類進行介紹。

一、根據繼電器的構造和動作原理來分

電磁型繼電器 這種繼電器和電鈴上的電磁鐵一樣，在鐵心（磁導體）上繞以綫圈，當綫圈通電後，鐵心變成磁鐵，吸引活動鐵片，因而閉合或打開接點。也有利用綫圈通電後，產生磁性，把活動的鐵心吸入綫圈內的原理做成。

圖5是一種簡單的電磁型繼電器。鐵心有一部分在綫圈外。當綫圈通電時，產生了磁性，把鐵心吸上，使接點閉合。當電流消失後，磁性也消失，鐵心借本身的重量落下，接點打開。我國舊有發電廠

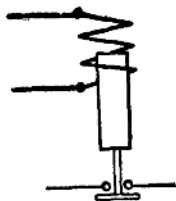


圖 5

用电的过电流保护装置中，很多利用这种型式的继电器。

圖 6 是在 U 形铁心上繞以綫圈 4，当綫圈通电后；铁心变成了磁铁，吸引活动铁片 1，接点 3 闭合。当电流消失后，活动铁片借彈簧 2 的拉力而返回原位。我国采用的中間继电器，很多类似于这种構造。

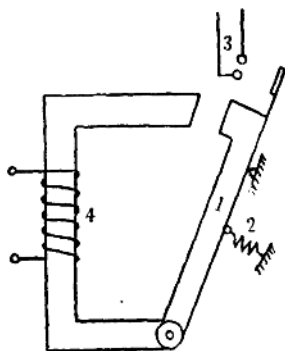


圖 6

圖 7 也是利用同样的原理制成的。当綫圈 1 通电后，吸引活动铁片 2 轉成垂直位置，因而接点 4 闭合。当綫圈中电流消失后，借游絲 3 的拉力返回原位，接点重新打开。苏联和我国出品的 ΘT 型电流继电器属于这一型式。

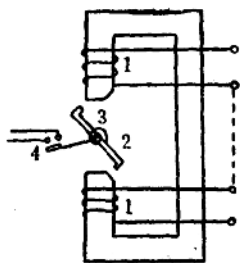


圖 7

以上这一类电磁型继电器的特点是：構造簡單，动作迅速。所以簡單的电流、电压及中間继电器，一般多采用这类型式。

感应型继电器 在討論感应型继电器的动作原理以前，先談一下电与磁之間的关系，也就是电磁之間相互感应的問題。

在介紹电磁型继电器时，已經談到了这样一种現象，就是当綫圈通电后，綫圈就有了磁性；如果綫圈内有铁心，铁心就成了磁铁；如果綫圈内沒有铁心，綫圈本身也像磁铁一样，会把铁心吸入綫圈内。这就是由电产生磁的現象。反过来说，磁的变化，也会生出电来。

在圖 8 上, N 、 S 是永久磁鐵 1 的兩磁極 (N 一般称为指磁鐵的北極, S 用来指南極,), 2 为綫圈, 3 为电流表。当磁鐵向下移动时 (如圖 8 甲), 綫圈就更接近磁鐵, 綫圈內的磁場加强了, 我們一般就說綫圈內的磁通增加了, 这时电流表的指針偏向一方, 指出有电流流过^①。当磁鐵向上移动时 (如圖 8 乙), 綫圈內的磁場減弱了, 也就是磁通減少了, 这时电流表的指針偏到另一方, 指出有反方向的电流流过。如果磁鐵停止不动, 电流表的指針就指在中間零位, 这表示沒有电流

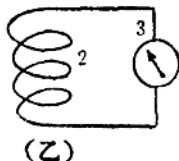
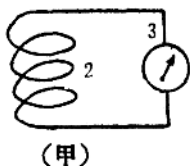


圖 8

流过。經過这个試驗, 可以得出这样一个結論, 綫圈周圍的磁場, 也就是磁通發生变化时, 綫圈內就会产生电流。

如果磁通不变, 而导体在其中移动, 也会产生同样的結果。圖 9 就說明这种現

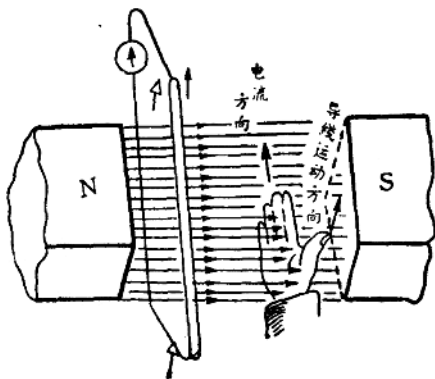


圖 9

① 如果你想知道更詳細的科学道理, 請參看我社出版的“电工 基础知識”和“电磁感应”。