

中等專業學校教學用書

發電廠和配電站的 電氣設備

第三卷

Л. Н. 巴普季丹諾夫 合著
蘇聯 В. И. 塔臘索夫

燃料工業出版社

中等專業學校教學用書

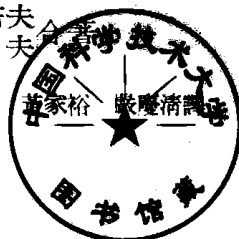
發電廠和配電站的 電氣設備

第三卷

繼電保護裝置和關於線路及變壓器自動合閘的概念

蘇聯 Л. Н. 巴普季丹諾夫
В. И. 塔臘索夫

樊俊 蕭可達 萬國珍 張毓鵬 劉寶桐
蕭可達 樊俊校



蘇聯電站及電氣工業部教育司審定作為中等動力學校教材

燃料工業出版社

本書第三卷由兩個部分組成。

第一部分討論高壓三相電力系統的繼電保護裝置。

第二部分敘述關於線路及變壓器自動合閘的基本概念。

本書供中等動力學校電工專業學生作教科書之用，但是對於高等工業學校電工專業學生，亦可用作參考書。

本書對於發電廠、配電站和電力網方面的工程技術人員，特別是中等技術人員，也是很有用的。

書號 456電 199

發電廠和配電站的電氣設備

第三卷

繼電保護裝置和關於線路及變壓器自動合閘的概念

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ ТОМ ТРЕТИЙ

根據蘇聯國立動力出版社 1953 年莫斯科修訂第二版翻譯

蘇聯 Л. Н. БАПТИДАНОВ В. И. ТАРАСОВ 著
樊俊 蕭可達 萬國珍 張毓珣 劉寶桐 黃家裕 嚴慶清譯

蕭可達 樊俊校

燃料工業出版社出版（北京府右街26號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：韓維 校對：趙迦南

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 8%印張 * 218千字 * 印10,151-13,200冊

一九五五年六月北京第一版第一次印刷

一九五五年十一月北京第一版第三次印刷

定價（8）一元五角六分

本書為「發電廠和配電站的電氣設備」教科書的第三卷。與此同一名稱的本書第一卷已於1952年再版，第二卷已於1953年再版。

第三卷的內容包括繼電保護方面和線路與變壓器自動合閘的基本概念方面的材料，這些材料是根據蘇聯電站及電氣工業部動力技術學校培養「發電廠電氣部分」和「輸配電」專業的電氣技術員所必需的分量而安排的。如把第三卷中的材料加以某些刪減，也可供技術學校中別的電工專業學生用。對於「繼電保護與自動裝置」專業來說，第三卷的材料是有些不夠的。

在第一卷再版的序言中所列的關於本教科書的性質及材料的鋪敘方法的一般說明，完全適用於現今出版的第三卷。

繼電保護裝置與電氣自動裝置，是電工技術中年輕的領域，一共才興起30—35年。

在這樣一個比較短的時期內，蘇聯在繼電保護與電氣自動裝置方面獲得了很大的成就。整個一系列前所未有的蘇聯式保護裝置與自動裝置的構造和結線圖被擬訂出來，並被熟練地掌握着。

繼電保護裝置與電氣自動裝置在提高對用戶供電可靠性方面，具有極其重要的意義。蘇聯的繼電保護裝置與電氣自動裝置的技術，在最近幾年內的發展特點為：盡可能地創造更簡單、更可靠、在經濟上更合理的結構與結線圖，並把它們運用到實際中去。從這一方面來說，蘇聯的保護裝置與自動裝置比許多外國廠家出產的同一種類的裝置進步得多，這些外國的廠家在目前還大量地生產着那些在技術上與經濟上很不合理的、構造複雜而成本昂貴的裝置。

蘇聯的許多科學研究組織與工業企業組織[哈爾科夫機電工廠(ХЭМЗ)，中央電工科學研究試驗所(ЦНИЭЛ)，熱電設計院(ТЭП)，電站及電氣工業部區域發電廠的組織化及合理化研究局(ОРГРЭС МЭСЭП)等等]，蘇聯的許多動力系統(莫斯科動力系統，列寧格勒動

力系統·高爾基動力系統等等)，以及蘇聯許多傑出的學者與工程師們（恩·弗·馬爾格林教授，勒·葉·索羅維葉夫副教授，斯大林獎金獲得者伊·伊·索羅維葉夫教授，阿·莫·費道謝也夫教授，伊·阿·塞羅米亞特尼科夫工學博士，格·伊·阿塔別可夫教授，莫·伊·察列夫工學碩士及許多其他的人）的工作，對蘇聯繼電保護與自動裝置的發展起了巨大的作用。

蘇聯共產黨第十九次黨代表大會關於發展蘇聯的第五個五年計劃（1951—1955年）的指示中，規定了蘇聯發電廠與電力網在今後發展的龐大規模。與此相應，繼電保護裝置與電氣自動裝置在今後也必然會有很大的發展。

在現今出版的本教科書的第三卷中，作者企圖儘可能地敘述蘇聯的繼電保護裝置與電氣自動裝置的技術基礎。這些基礎知識，無論對於在發電廠與配電站電氣部分運行方面工作的或對在這類設備的設計與製造方面工作的電氣技術人員，都是必讀的。在此還須指出，有某些自動裝置的問題，已經在本教科書的前兩卷中敘述過了。

任何對本教科書的意見，無論是關於它的內容方面，或者是關於個別問題的闡述方法方面，作者都將以感謝的心情來接受。

作者對伊·阿·塞羅米亞特尼科夫工學博士表示衷心的感謝，因為他在評閱了本教科書的第三卷後，提供了許多極其寶貴的意見。

第三卷中所有各章都是由 В. И. 塔臘索夫寫的。

作者

第二版序言

第一編 繼電保護裝置	1
第一章 繼電保護的一般概念	1
1-1 繼電保護的任務	1
1-2 繼電器	3
1-3 對間接作用的二次式繼電器的基本要求。各種繼電器的常用代 表符號	6
1-4 對繼電保護裝置的基本要求	9
1-5 保護裝置的操作電流方案	11
1-6 應用在電力系統中的繼電保護裝置	13
1-7 基本保護與附加保護	15
第二章 電網的過電流保護裝置	15
2-1 保護相間短路的定時限過電流保護裝置	15
2-2 保護相間短路的有限反時限過電流保護裝置	33
2-3 保護接地短路的過電流保護裝置	43
第三章 電流速斷裝置與電壓速斷裝置	49
3-1 電流速斷裝置	49
3-2 電壓速斷裝置	62
第四章 電網的過電流方向保護裝置	64
4-1 保護裝置的用途	64
4-2 保護裝置的工作原理	65
4-3 保護裝置的主要機構及其構造	66
4-4 保護裝置的時限	70
4-5 保護裝置的啟動電流	71
4-6 用於保護裝置中的儀表變壓器的結線方式	71
4-7 功率方向繼電器的結線方式	74
4-8 死區的計算	76
4-9 保護接地的過電流方向保護裝置	78

4-10 過電流方向速斷裝置·····	80
4-11 過電流方向保護的優點、缺點和應用範圍·····	81
4-12 保護裝置結線圖實例·····	81
第五章 電網的距離保護裝置 ·····	82
5-1 保護裝置的用途·····	82
5-2 工作原理·····	82
5-3 時限特性·····	84
5-4 保護裝置的基本機構·····	86
5-5 距離保護裝置的原則結線圖·····	89
5-6 阻抗繼電器的結線方式·····	90
5-7 保護裝置的優點、缺點和應用範圍·····	93
第六章 電網的差動保護裝置 ·····	94
6-1 概述·····	94
6-2 線路的縱差動保護裝置·····	99
6-3 平行線路的橫差動保護裝置·····	103
第七章 電網的高頻保護裝置 ·····	117
7-1 具有高頻閉鎖的方向保護裝置·····	117
7-2 相差高頻保護裝置·····	120
第八章 變壓器保護 ·····	121
8-1 概述·····	121
8-2 二次電壓至 500 伏的降壓變壓器的過電流保護·····	123
8-3 二次電壓為 3 千伏及以上的變電所變壓器的過電流保護·····	127
8-4 三線接變壓器的過電流保護·····	134
8-5 電流速斷裝置·····	135
8-6 差動保護·····	138
8-7 瓦斯保護·····	154
8-8 變壓器保護裝置總結線圖的實例·····	159
第九章 工作在發電機電壓母線上的發電機的保護裝置 ·····	160
9-1 概述·····	160
9-2 過電流保護裝置·····	162
9-3 縱差動保護裝置·····	165
9-4 電流速斷裝置·····	167

9-5 橫差動保護裝置.....	168
9-6 定子繞組單相接地的保護裝置.....	169
9-7 勵磁繞組的接地保護裝置.....	177
9-8 過電壓保護裝置.....	179
9-9 發電機保護裝置的總結線圖的實例.....	180
第十章 發電機-變壓器組的保護裝置	181
10-1 概述.....	181
10-2 過電流保護裝置實施中的特點.....	182
10-3 縱差動保護裝置實施中的特點.....	183
10-4 在發電機-變壓器組的發電機電壓元件上實施單相接地保護 的特點.....	184
10-5 發電機-變壓器組的保護裝置總結線圖的實例	185
第十一章 電動機的保護裝置	187
11-1 概述.....	187
11-2 多相短路保護.....	190
11-3 欠電壓保護.....	192
11-4 保護過負載的過電流保護裝置.....	193
11-5 單相接地保護.....	194
11-6 電壓至 500 伏的電動機的保護.....	194
第十二章 母線保護	195
12-1 概述.....	195
12-2 利用供電元件的保護裝置來保護母線.....	195
12-3 母線的特殊保護.....	196
12-4 母線聯絡遮斷器的保護.....	210
第二編 關於線路和變壓器自動合閘的基本概念	211
第十三章 線路的自動重合閘	211
13-1 概述.....	211
13-2 電氣式 АПВ 裝置	214
13-3 機械式 АПВ 裝置	218

第十四章 備用電源的自動投入	222
14-1 概述.....	222
14-2 備用線路的自動投入.....	223
14-3 備用變壓器的自動投入.....	226
附 錄	229

第一編 繼電保護裝置

第一章 繼電保護的一般概念

1-1 繼電保護的任務

在電力系統中，發生故障和不正常的工作狀態是可能的。

線路、變壓器、發電機及電動機的最常見的故障形式是單相接地短路和兩相及三相短路。除此以外，也可能發生線路的斷線，和系統中一處或幾處同時接地而引起的相間短路。對於旋轉電機和變壓器來說，還可能發生同一相內的匝間短路。

兩相及三相短路，以及在中性點直接接地系統中的一相接地，都是短路。發生短路的時候，同時引起電壓降下和很大的短路電流通過。

電壓降下會影響用戶的正常工作。短路電流流過時會損壞電氣設備，因而把事故擴大到系統中的無故障元件上。在短路時，可能促使並列運轉着的發電機甚至個別發電廠失却同步，而與電網斷開；也就是說，可能使整個電力系統的工作完全紊亂。

在小電流接地系統中（系統中性點不接地或中性點經過消弧線圈接地），一相接地所引起的短路電流比較小，因此也不致於影響用戶的工作。

除上述故障外，電力系統中也可能產生其他種類的不正常工作狀態。這些不正常工作狀態可使電能質量變壞，並且在個別情況下，會損壞電氣設備。不正常工作狀態的主要形式之一，是過負載而引起的過電流。這種過電流可了解為該元件並無故障，而電流却超出了額定值。

過電流的通過會引起元件導電部分的過度發熱，因而加速絕緣物

的衰老，或甚至損壞絕緣物。

爲了避免破壞用戶的正常工作，避免電氣設備的損壞，以及預防事故的擴大起見，必須把故障點很快地斷開。

在現代的電力系統中，故障元件的斷開都是自動的，可以利用繼電保護裝置，也可利用熔斷器。

繼電保護裝置是一種由一個或幾個繼電器組成的自動裝置。繼電器是一種特殊電器，當裝置中的任一元件發生故障或發生不正常工作狀態時，繼電器就影響遮斷器的傳動機構，去斷開相應的故障電路或不正常工作電路。

繼電保護裝置不是在所有的情況下都使遮斷器跳開。例如在小電流接地電網中，一相接地的保護裝置在大多數情況下只是用來發出信號，表明開始發生故障。由於在這種電網中，單相接地時通過故障點的電流往往不大（見第一卷第五章），所以單相接地可以延長到來得及用手去斷開故障部分所需的時間，而故障並不致繼續發展。這樣就有可能先將用戶轉接到另一條沒有故障的線路上去，然後再斷開故障線路，從而可保證對用戶的電力供給不致中斷。

正規工作方式的繼電保護裝置，僅當在不正常工作狀態下持續運轉會對被保護元件有直接危險時，或影響到整個系統的工作時，才作用被保護元件的遮斷器斷開。如果不正常狀態不會發生直接危險，或不會影響整個系統的工作（例如發電機和變壓器等短時過負載），那就可使繼電保護裝置作用於信號。值班人員得到信號後，再採取適當措施去解除系統中該元件的不正常工作狀態。

因此繼電保護的基本任務可以歸納爲下列各項：

1. 當故障和不正常的危險工作狀態時，斷開被保護的元件。
2. 給值班人員發出關於不正常工作狀態的信號，例如發電機和變壓器的過負載，以及小電流接地電網中的單相接地。
3. 作用於一種機構以消除工藝過程的過載。

此外，繼電保護裝置經常與發電廠的自動化裝置相聯系。此時繼電保護可以使下面這些自動裝置投入工作：如主變壓器或線路自動斷開時，自動把備用變壓器或備用線路投入的裝置（第十四章）；輸電線

的自動重合閘裝置(第十三章); 同步機的強行勵磁裝置(第一卷第二十四章)等。

1-2 繼電器

繼電器可分為反應電量的和非電量的兩種。屬於後一種的有保護變壓器的瓦斯繼電器, 保護旋轉機械的機械轉數繼電器等。

按照工作原理的不同, 反應電量的繼電器又可分為電磁式、感應式、電動力式、熱力式等等。因此, 大多數繼電器的工作原理與量測計器的工作原理相同。

電力系統中發生短路時, 同時引起電流增加, 電壓降下, 電機繞組的溫度上昇, 而在系統的個別元件中會使功率傳送的方向與正常情況時不同。為了使繼電保護裝置能適應它本身的任務, 可應用各種繼電器來反應電力系統中的各種額定參數的變化。因此又可根據繼電器所反應的參數種類而將它分為: 電流繼電器、電壓繼電器、功率繼電器、溫度(熱)繼電器等。

繼電器也可根據它所反應的量的變化特性來分類。因此可分為過量繼電器和欠量繼電器。過量繼電器反應電量(例如電流或電壓)向增加方面的偏差。而欠量繼電器反應向減小方面的偏差。

此外, 繼電器還可根據其接入被保護元件回路的方法而分為一次式繼電器, 和二次式繼電器; 也可根據作用於遮斷器的方法不同, 而分為直接作用和間接作用的繼電器。

圖 1-1 示直接作用的一次式過電流繼電器機構的原則結線圖。當回路中的電流超過了預先整定的數值時, 鐵心 2 就被吸入線圈 1 內, 槓桿 3 被提起, 把拉桿 4 向下移動。拉桿 4 牽動鎖扣 5, 於是在彈簧 6 作用下遮斷器跳開。

能使繼電器動作的最小電流稱為繼電器的啓動電流, 用 $I_{c.p}$ 表示。

直接作用的一次式繼電器, 使遮斷器跳開不需要操作電源, 這是這種繼電器的優點。但是這種繼電器具有一系列缺點, 例如: 1) 使遮斷器跳開時繼電器的機構須作很大的功, 而且繼電器還要經受短路電

流引起的較大的熱效應與電動力效應；所以繼電器的機構必須做得很結實粗大，這樣就使繼電器顯得不夠精確和不够靈敏。2)在試驗與整定繼電器時必須拉開被保護元件上的遮斷器和隔離開關，按照運行條件這樣作不是經常可能的。

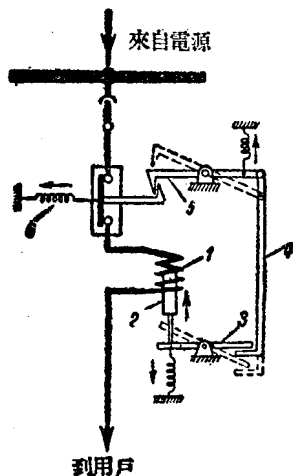


圖 1-1 直接作用的一次式過電流繼電器機構的原則結線圖

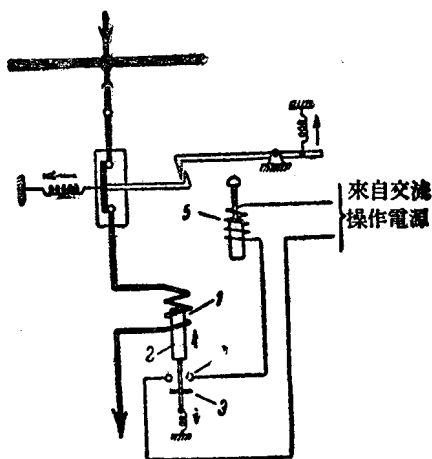


圖 1-2 間接作用的一次式過電流繼電器的原則結線圖

直接作用的一次式繼電器主要應用在小容量的設備上。

圖 1-2 示間接作用的一次式過電流繼電器的原則結線圖。當回路中的電流增大到繼電器的啟動電流時，鐵心 2 就被吸入線圈 1 內，此時可動接點 3 就與固定接點 4 接觸，閉合跳閘線圈 5 的操作電流回路。線圈 5 的作用為使遮斷器跳閘。

此種繼電器的機構，在遮斷器跳閘時作的功比較小，因此繼電器的精確度與靈敏度都比較高。然而此種繼電器需要操作電源，所以採用比較少。

直接作用的二次式過電流繼電器的線圈接到變流器的二次線捲上（圖 1-3）。當線圈 1 中的電流增至繼電器的啟動電流時，鐵心 2 被吸入線圈 1，衝鐵 3 打擊鎖扣 4，於是遮斷器跳閘。

因為繼電器是經過變流器聯接的，繼電器線圈中流過的電流相當

小(比一次式繼電器)，故它的結構可作得相當輕便。此外，這種繼電器不需要操作電流的電源。但是，因為這種繼電器直接作用於遮斷器傳動機構的鎖扣，動作時需要作相當大的功，所以不可能把它做成高度靈敏的。這類繼電器的缺點是工作的精確性比較低。

直接作用的二次式繼電器，附設在手動自動驅動的遮斷器的傳動機構中(第一卷第二十章)。

圖 1-4 示間接作用的二次式過電流繼電器。當繼電器線圈中的電流增大到啟動電流時，繼電器 1 的接點閉合，接通傳動機構的跳閘線圈 2 的操作電流回路，使遮斷器跳閘。

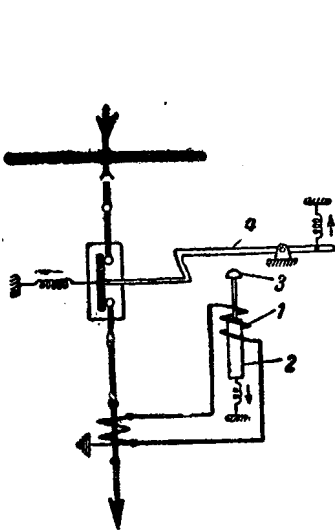


圖 1-3 直接作用的二次式過電流繼電器的原則結線圖

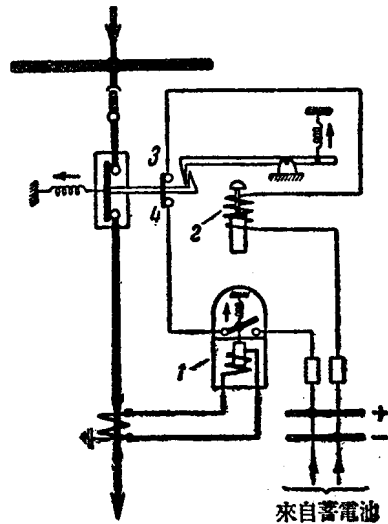


圖 1-4 間接作用的二次式過電流繼電器的原則結線圖

當動作時繼電器所作的功比較小，所以它的精確度與靈敏度與以前所討論的幾種繼電器比較起來，都要大得多。

間接作用的二次式繼電器，尺寸比較小，並且可做成單獨的器具；在運轉時，可以調整它和檢查它，而無須斷開被保護元件。

必須指出，當繼電器通過變流器聯接時(圖 1-3 與 1-4)，繼電器的啟動電流($I_{c.p}$)與保護裝置的啟動電流($I_{c.s}$)是有區別的。後者可

了解爲某一元件的保護裝置啓動時的最小一次側電流。

1-3 對間接作用的二次式繼電器的基本要求。

各種繼電器的常用代表符號

繼電器的機構應該很完好，使其經常準備着動作。機構不完整，可能由於其中某種部件發生了故障，如軸承、軸、固定部分、以及由於鐵銹、潤滑油和阻尼油的氧化或過髒等等所生的故障。爲了避免上述毛病，繼電器的外殼都做成防灰和防塵的；在運轉時候還必須經常去察看，小心的維護，和定期檢驗。

繼電器啓動量值（電流、電壓等）的誤差應該儘可能小，因爲保護裝置的靈敏度決定於啓動量的誤差。繼電器的誤差愈大，靈敏度就愈小。

接點工作的可靠性 繼電器可做成具有正常分開或正常閉合的兩種接點，也就是說可做成這樣的繼電器——使它的接點在線圈沒有電流時是相應地分開的或閉合的。按照工廠的術語正常分開的接點稱爲常開接點（簡寫 H. O.），而正常閉合的接點稱爲常閉接點（簡寫 H. 3.）。

繼電器接點可靠工作的基本條件是不受振動，接點不致銲住，接點彈簧的位置不致變更。

接點銲住的主要原因之一是超出了接點的容許負荷。

繼電器接點的負荷能力，可以根據下列各項來說明：

1. 容許的持續閉合電流；
2. 容許的短時閉合電流（通常是一秒鐘）；
3. 容許斷開的電流和功率。

除此以外，還要標明接點可以接上的極限電壓。

由於接點在斷開時担负的工作更吃重，所以一般規定接點的容許斷開電流和功率比閉合時的容許值小一些。

如果斷開或閉合的電流或功率超出了容許值以上，那末接點就會因燒傷而很快用舊，而且有時還會燒毀。

接點的容許負荷決定於繼電器的類型和用途（見附錄 II-1—II-2）。

故障段斷開以後，繼電器機構回復到起始位置的最小時間 在系

統中當故障發展時，短路可能接一連二地發生。同時，每一次短路發生，短路電流所通過的回路中的繼電器都會啓動。結果，繼電器時而動作起來，時而返回到起始位置。如果新的短路故障發生時，繼電器的機械部分已返回到起始位置，那末保護裝置就能正確地進行第二次動作。所以繼電器的機械應該在最小的時間內返回到起始位置。

繼電器線圈消耗的功率 確定量測變換器（包括變流器和儀表變壓器——譯者）負擔的因素之一，是連接在該量測變換器上的各儀表線圈所消耗的功率。爲了使變換器的工作較爲精確起見，各儀表線圈所消耗的功率最好儘可能小。此功率通常是針對繼電器線圈的額定電流（或電壓）來規定的，並且用伏安表示。電流繼電器線圈消耗的功率用繼電器的最小整定電流 $I_{yem.min}$ 來規定。有時候，除了上述的表示法外，消耗的功率也可用瓦表示，這樣就可能判斷繼電器線圈的電感。

現代繼電器電流線圈消耗的功率大致是 0.1—15 伏安，而電壓線圈的功率大致是 1—5 伏安（見附錄 II-1 和 II-3）。

繼電器的熱穩定與電動力穩定 繼電器的熱穩定可用在一定時間內繼電器電流線圈能支持而不致損壞的電流來標誌。在說明書上，通常給繼電器規定兩個熱穩定電流值：持續容許電流 (I_{θ}) 和一秒內的容許電流 (I_{k1})。對於比 I_{k1} 小的電流，例如 I_k ，容許它流過的時間 t 應爲：

$$t = \frac{I_{k1}^2}{I_k^2}.$$

電壓線圈的熱穩定用該線圈能長期支持的電壓來標誌。

電動力穩定用繼電器能够支持而不致使其線圈或可動部分遭受機械損壞的電流來標誌。現代的繼電器電動力穩定一般比熱穩定高。

除了上述各項外，對於繼電器的要求還有：**構造簡單，運用簡單和價格不高。**

繼電器的常用代表符號 繼電器一般都是用一個方塊來表示，上面有一個半圓，有的表示法是把方塊上部再加高一些。設想方塊裏放着繼電器的線圈，而半圓裏面是接點系統。繼電器所反應的參數在方

塊中用一個字母標誌，例如反應電流的繼電器用字母 A (安培) 或 T (電流)，而反應電壓的繼電器用字母 V (伏特) 或 H (電壓) 等等。接點的表示法是這樣的。當繼電器動作的時候，它們向下移；而返回到起始位置

表 1-1 繼電器的常用代表符號

順序	繼電器名稱	常用符號	
		方案 1	方案 2
1	接點正常分開的瞬時動作的電流繼電器		
2	接點正常分開的、有機械式動作指示器的、帶有限反時限特性的電流繼電器		
3	接點正常分開的、有機械式動作指示器的、帶電流速斷裝置和有限反時限特性的電流繼電器		
4	瞬時動作的電壓繼電器		
5	接點正常分開的時間繼電器		
6	有一對正常分開接點的中間繼電器		
7	不利用其接點的指示(信號)繼電器		
8	利用其接點的須用手把它返回到起始位置的指示(信號)繼電器		
9	接點正常分開的功率方向繼電器		
10	接點正常分開的阻抗繼電器		
11	接點正常分開的有制動線圈的差動電流繼電器		
12	接點正常分開的瓦斯繼電器		
13	有一對正常分開接點和一對正常閉合接點的中間繼電器		