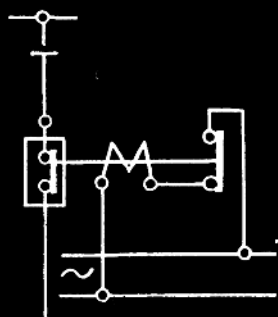


# 交流电操作的 继电保护

苏联П.М.米里尼科着



中国工业出版社

## 前 言

由直接动作式繼电器構成并由交流操作的繼电保护装置不需要蓄電池組，是城市、工業及農業電網的电气裝置中最普遍、最簡單和最廉价的保护装置。

这种保护装置在苏联多年运行的經驗証明它是高度可靠的，而且可以成功地采用于电压在 35 仟伏及以下的配电電網中，作为電纜和架空綫路，電力變壓器、電動機、同步補償機及小容量發電機的保护。对于一般不复杂的保护装置而言，具有直接动作繼电器和交流操作的保護結綫方式与直流操作的結綫方式不同之点，就在于它非常簡單而可靠。

在苏联电气裝置的实际运行中，交流操作被用于各种类型的繼电保护——过电流、接地、瓦斯、差动、平衡及其他。

采用交流操作最广泛的是在过电流保护的結綫方式中。

根据保护裝置的类型，对保护装置的要求，电流互感器的容量及其他条件的不同，在以交流作为操作回路电源的保护裝置中采用各式各样的結綫方式和电源設備。

电流互感器和电压互感器是保护装置操作回路的主要交流电源。

具有間接动作繼电器的过电流保护中，操作回路通过中間飽和电流互感器(ПНТ)而由电流互感器供电是最普遍的方式。

对于这样的保护装置，也可利用繼电器接点使油断路器跳閘綫圈去分流的办法，而由电流互感器供电給操作回路。

在 35 仟伏的電網中，在由 50/5、75/5 及 100/5 的 TB-35 型小容量电流互感器供电給过电流及瓦斯保护的操作用路时，为了提高保护的灵敏度，往往采用帶固体整流器的結綫方式，而在特殊的情况下，則采用利用电容器放电能量的結綫方式来使断路器傳动机構跳閘。

在这些結綫方式中，也用中間飽和電流互感器作為整流器的電源(ПНТБ)。

在許多交流操作的繼電保護方式中，同一個電流互感器，既供給繼電器的電流綫卷，又供給斷路器的操作回路。這種情況下的電源互感器比操作回路由獨立電源供電時的電流互感器多一個附加的負荷。這附加負荷是由中間飽和電流互感器的阻抗、跳閘綫圈阻抗及操作回路中的導綫電阻所組成的。

電流互感器中的附加負荷使其電流誤差增大。

這種情形在電流互感器的負荷大到足以使它的變流比誤差超過10%時有極重要的意義，因為在這個條件下保護裝置動作的準確度就要低於許可限度了。

在這個條件下，不能根據電流互感器的變流比來決定繼電器起動電流的整定值而必須按照最大靈敏度的方法（根據一次電流和負荷阻抗的關係曲綫來決定電流互感器的二次電流）來選擇起動電流的整定值。

這樣的方法是繼電保護導則中所規定的，也是實際上所採用的，但是，這種方法並不適宜於在運行中採用，因為必須繪制電流互感器的負荷特性曲綫，此外，它也並不能經常保證解決問題。

因此，在交流操作的繼電保護方式中，主要的問題是尽可能地減小電流互感器的負荷。

解決這個問題對於小容量的電流互感器有特別重要的意義，例如，在35千伏的電網中，由於操作回路的電源通常是利用裝在油斷路器套管中的TB-35和ТВД-35型電流互感器，解決這個問題就有特別重要的意義。

減少斷路器跳閘綫圈和中間電流互感器的消耗，以及正確地選擇操作回路的供電方式均可減小電源互感器的負荷。

減小電源互感器的負荷，可以提高保護裝置動作的準確度，從而能提高它的靈敏度，這在過電流保護繼電器起動電流的整定值，應小於電流互感器的額定二次電流的情況下，是必需的。例如，對於電壓為35千伏，容量為560，750和1000千伏安的電力變壓器而言，額

定电流为 10, 13 和 16 安。

这些变压器的过电流保护的一次动作电源的下限为 14, 18 和 22 安。在帶直接动作繼电器而且跳閘綫圈是由 ПНТ 供电的交流操作的結綫方式中, 这些电源值不可能保証傳动機構的跳閘。

当电流甚小时, 跳閘綫圈的阻抗及 ПНТ 的空載阻抗大得足以使 TB-35 型电源互感器的二次电流远小于跳閘綫圈的起动电流。

当电流甚小时(小于額定电流), 仅在減少跳閘綫圈消耗及采用特殊的操作回路供电方式的情况下, 才可以保証断路器傳动機構的动作。

实际上, 在將交流操作采用于繼电保护时, 存在着各种減少跳閘綫圈及中間飽和电流互感器消耗的方法, 同时也存在着各种能够大大地減小电流互感器負荷以及在起动电流小于电流互感器額定电流时能够保証断路器傳动機構可靠地跳閘的操作回路供电方式。

所有的交流操作的繼电保护方式中, 电源及断路器跳閘綫圈的消耗決定保护的灵敏度及其动作的准确度。

这是交流操作的繼电保护与操作回路由独立电源——蓄電池組——供电的繼电保护方式不同的特点。

在苏联, 随着电气化的不断发展, 新的發電厂、电力網及各种电气裝置投入运行的速度也在加快。

为了加速它們的投入运行, 減少投資和減低运行費用, 并且提高运行的可靠性, 需要研究并采用最簡單, 最經濟及最可靠的保护裝置, 而能够滿足这些要求的, 首推帶直接动作繼电器及交流操作的保护装置。

現今, 由于党的偉大的改造自然計劃的实现, 由于許多巨大的水力發電站、运河及灌溉系統, 以及与之有关的規模巨大的工業和农業網、以及各种型式, 各种电压和各种容量的大量电气設備及裝置的投入运行, 这些要求更为重要。

在本書中, 簡短地敘述了实际所采用的交流操作的繼电保护方式, 指出了操作回路的各种供电方式对于保护灵敏度的影响, 并介紹了減少跳閘綫圈消耗的方法, 主要元件計算和操作回路由 TB-35 型小

容量电流互感器供电的結綫方式的試驗結果。

本書是以苏联电站部所屬許多电力系統的运行数据、火电設計院的研究結果，在定期文献及科学著作文集中所發表的苏联学者和工程师們的著作、以及著者从事过的各种交流操作繼电保护方式的制定、运用及研究工作为基础的。

在外国文献中，关于这个問題沒有發表过任何重要的著作。我們有充分根据可以肯定苏联專家們在交流操作的繼电保护的發展上的先驅地位，苏联在这方面的技术也像其他許多方面一样，已經大大地超前于外国。

現今的任务是找出能使交流操作的繼电保护最广泛和最有效地应用于配电网、发电厂厂用电、發电机、同步补偿机及电动机上的方法；解决此任务的对策已在本書中有了部份的反映。

在編写本書的过程中，苏联电站部技术司副司長依·阿·塞洛米雅特尼克夫，基輔动力系統中心保护处处长叶·非·考尔尼恩柯、基輔动力系統中心試驗所所長斯·叶·卡施普洛夫斯基以及基輔动力系統、莫斯科动力系統、阿塞动力系統、頓巴斯动力系統、高尔基动力系統和莫斯科火电設計分院的其他許多工作人員，都給了著者很大的帮助。

# 目 录

## 前 言

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 第一章 操作电流和手动—自动式传动机构 .....                          | 7   |
| 1. 操作电流 .....                                      | 7   |
| 2. 高压断路器用的手动—自动式传动机构 .....                         | 11  |
| 3. 手动—自动式传动机构跳闸线圈及附装的直接动作<br>继电器的特性 .....          | 17  |
| 4. 减少跳闸线圈所消耗的容量的方法 .....                           | 31  |
| 5. 跳闸线圈起动电流的近似计算及衔铁与停止器间的空<br>气间隙对起动电流的影响的确定 ..... | 34  |
| 6. 在跳闸线圈中采用薄管壁式衔铁的条件 .....                         | 42  |
| 第二章 电流互感器 .....                                    | 43  |
| 1. 电流互感器的选择 .....                                  | 43  |
| 2. 电流互感器的特性 .....                                  | 49  |
| 3. 电流互感器的接线法 .....                                 | 53  |
| 4. 电流互感器的一次电流和误差的确定 .....                          | 58  |
| 5. 吸收电流的确定 .....                                   | 66  |
| 6. 电流互感器二次电流最大的倍数 .....                            | 73  |
| 7. 电流互感器的最大容量 .....                                | 78  |
| 第三章 中间饱和电流互感器 .....                                | 82  |
| 1. 实际采用的中间饱和电流互感器 .....                            | 82  |
| 2. ПНТ 线圈的配置 .....                                 | 87  |
| 3. ПНТ 的铁芯 .....                                   | 89  |
| 4. ПНТ 的负荷特性 .....                                 | 94  |
| 5. ПНТ 和跳闸线圈的起动电流 .....                            | 104 |
| 6. 中间饱和电流互感器的计算 .....                              | 110 |
| 7. 中间饱和自耦变流器的计算 .....                              | 127 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 8. 中間的互感器和自耦變流器的試驗 .....                   | 135        |
| <b>第四章 保護裝置操作回路的供電方式 .....</b>             | <b>146</b> |
| 1. 繼電保護操作回路由中間飽和電流互感器供電的方式 .....           | 146        |
| 2. 保護裝置操作回路帶固體整流器的電源的結綫方式 .....            | 158        |
| 3. 保護裝置操作回路帶電容器的電源的結綫方式 .....              | 163        |
| 4. 用繼電器接點使斷路器的跳閘綫圈去分流的結綫方式 .....           | 183        |
| 5. 保護裝置操作回路各種供電方式的比較 .....                 | 188        |
| 6. 特殊的結綫方式 .....                           | 191        |
| 7. 操作回路由中間電流互感器供電的過電流保護的結綫<br>方式的靈敏度 ..... | 196        |
| <b>附錄 .....</b>                            | <b>213</b> |

# 第一章 操作电流和手动—自动式传动机构

## 1. 操作电流

在繼电保护的結綫中，操作电流使断路器的传动机构跳閘或合閘、使訊号裝置發出訊号，以及使帶有重錘或彈簧的自动重合閘裝置和备用設備自动合閘裝置起動。

在变电所，配电站或变压器站中，操作电流的电源可以采用蓄电池組、低压电、电压互感器及电流互感器。

操作电流可以用直流，也可以用交流。根据操作电流的种类，在断路器的传动机构中，安裝适当的跳閘綫圈。

实际上，在电压为 35 仟伏及以下的高压電網中，裝有各种型式的手动—自动式传动机构的很多种。保护結綫方式都用交流作操作电流。

交流操作主要是应用于無經常值班人員的电气裝置上，以及沒有独立直流电源的发电厂和变电所中。

在电压为 35 仟伏及以下的任何电气裝置中，即使有直流操作电源，但如采用交流操作能使保护裝置簡單化时，同样可以采用交流操作。

动力系统 and 許多工業企業中許多很簡單的交流操作保护方式的多年运行經驗証明：它的維護非常簡單，且在运行上也具有高度的可靠性。

許多动力系统里各种用交流操作的繼电保护的結綫方式的多年运行中，还没有一次由于操作电流的过失而造成保护裝置失效的情形。

在繼电保护的結綫中，主要的交流操作电源是电流互感器和电压互感器。

电流互感器能多种多样地用作操作电流的电源。

在最簡單的具有直接动作繼电器的过电流保护方式中，电流互感

器的二次电流  $I_2$  只有一个任务：使繼电器动作(决定于起动电流的整定值)。繼电器則在經過由其本身特性所确定的時間之后，使断路器的傳动機構跳閘(圖 1)。

在大多数具有間接动作繼电器的过电流保护方式中，电流互感器的二次电流  $I_2$  有两个任务：(1)使繼电器动作；(2)在繼电器的接点閉合或开啓之后，直接地或通过中間飽和电流互感器而使断路器的跳閘綫圈动作。

在具有間接动作繼电器的过电流保护結綫中，由电流互感器向跳閘機構的綫圈供电的方式如下：

- a) 直接供电，也就是使跳閘綫圈去分流的結綫方式(圖 2)；
- 6) 借助于中間飽和电流互感器(圖 3 及 4)；
- B) 应用固体整流器(圖 5)；

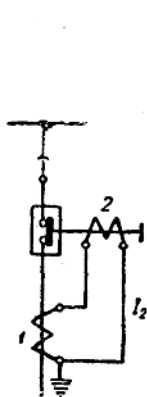


圖 1 具有直接动作繼电器的过电流保护的原理接綫圖  
1—电流互感器；2—断路器傳动機構中附裝的直接动作的过电流繼电器。

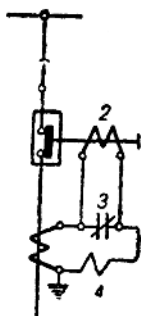


圖 2 具有間接动作繼电器利用跳閘綫圈去分流的方法的过电流保护的操作回路供电的原理接綫  
1—电流互感器；2—跳閘綫圈；3—过电流繼电器的常时閉路接点；4—过电流繼电器的綫圈。

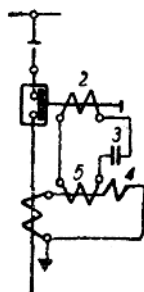


圖 3 具有中間飽和电流互感器的过电流保护的操作回路供电的原理接綫  
1—电流互感器；2—跳閘綫圈；3—过电流繼电器的常时开路接点；4—过电流繼电器的綫圈；5—中間飽和电流互感器。

г) 利用电容器的放电能量(圖 6),

在具有間接动作繼电器的过电流保护結綫中, 如果有双鉄心的电流互感器, 則其中每一个电流互感器的二次电流  $I_2$  仅有一个任务。一个二次綫卷的电流使繼电器动作, 而另一个二次綫卷的电流, 在繼电器的接点閉合或开啓之后, 直接地(圖 7a), 或通过中間电流互感器(圖 7б), 或通过固体整流器(圖 7в), 而使断路器的跳閘綫圈动作。

在低电压保护裝置或接地保护裝置中, 操作电流的电源可以采用仪表用电压互感器, 电力变压器的低压母綫, 或从外部引进的低压电(圖 8、9 及 10)。

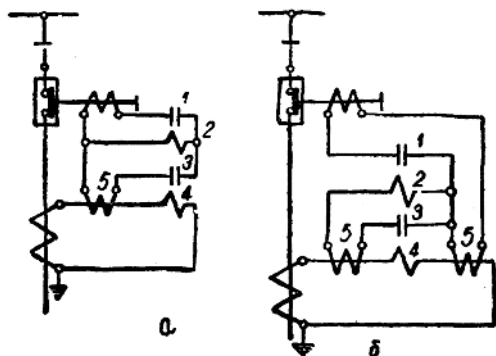


圖 4 具有時間、繼电器和中間飽和电流互感器的过电流保护的操作回路电源的原理接綫圖

1—時間繼电器的接点; 2—時間繼电器的綫圈; 3—瞬动过电流繼电器的接点; 4—瞬动过电流繼电器的綫圈; 5—中間飽和电流互感器 ПНТ。

在瓦斯及差动保护結綫中, 采用一个或两个操作电流电源(电流互感器及电压互感器)。

使用电流互感器作为操作电流电源的主要缺点是在短路电流的情况下互感器输出的容量大大地增加, 因此, 就有必要采用具有大容量接点的繼电器, 或采用限制二次电流数值的特殊裝置。

使用电压互感器作为操作电流电源的主要缺点是互感器在短路时

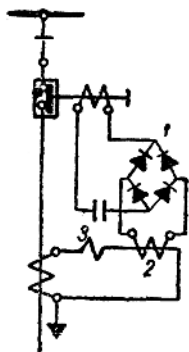


圖 5 具有固体整流器的过电流保护的操作回路电源的原理接线图

1—固体整流器；2—整流器的中间饱和和互感器 ПНТБ；3—电流继电器。

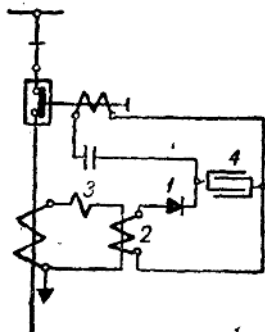


圖 6 具有电容器的过电流保护的操作回路电源的原理接线图

1—固体整流器；2—ПНТБ；3—电流继电器；4—电容器。

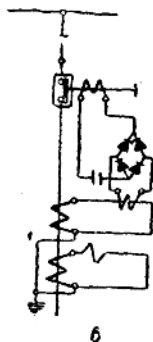
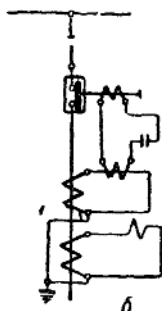
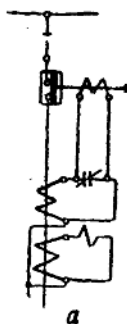


圖 7 过电流保护的操作回路由双组式仪表用电流互感器供电时的原理接线图

1—双组式电流互感器。

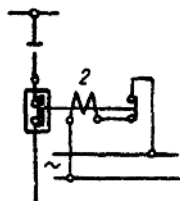


圖 8 具有直接動作繼電器的低電壓保護的操作回路電源的原理接綫

1—低壓母綫；2—直接動作的低電壓繼電器。

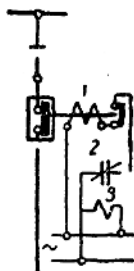


圖 9 具有間接動作繼電器的低電壓保護的操作回路由低壓母綫供電時的原理接綫圖

1—跳閘綫圈；2、3—低電壓繼電器。

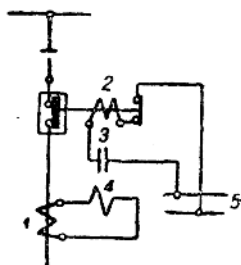


圖 10 接地保護的操作回路由低壓母綫供電時的原理接綫圖

1—零序電流互感器；2—電壓跳閘綫圈；3—過電流繼電器的接點；4—過電流繼電器的綫圈；5—低壓母綫。

大大地減少它的輸出容量，所以它的应用被限制于某些接綫方式中。

## 2. 高压断路器用的手动—自动式傳动機構

不論断路器傳动機構的構造怎样，都可以采用交流操作的保護裝置。但是，这种保護裝置迄今仍主要是与手动—自动式傳动機構配合使用。

在各种电气裝置和配电网中，手动—自动式，傳动機構的应用是很普遍的。

手动—自动式傳动機構規定如下：

1) 利用手輪或槓桿，而手动使断路器合閘和跳閘；

2) 利用电磁鉄，使断路器自动跳閘或远方跳閘，这电磁鉄的綫圈則經過保護繼電器的接點或远方控制的按鈕而接到交流或直流的电源上；

3) 利用各种設備（有重錘或彈簧的自动重合閘，裝置 АПВ，或备用設備自动合閘裝置 АВР）使断路器自动合閘。

很多年以来，“电器”工厂都出产在运行中很著名的 KAM 型手动

一自动式传动机构。后来出产的传动机构有 ПРА、РБА 和 ПРБА 型及“电器”工厂的 ПАШ-10、ПРА-10 和 ППР-21 型新式传动机构。

上述这些型式的传动机构，都有使断路器和传动机构在跳闸时可以分离的自由脱扣机构。它们之间的区别仅在于外形、重量及传动方式。KAM、ПРА、РБА 和 ПРБА 型传动机构允许采用同样的附装继电器。

手动—自动传动机构可以用来操作额定电压在 35 千伏以下的屋外及室内装置的合闸力不超过 30 公斤的高压断路器。

所有的 BM、BMБ、BMД、BMГ、BMЭ、БГ 和 МГ 型断路器，都可以采用手动—自动传动机构。

BMГ-133、BMЭ-6、BM-16 及 BM-35H 型断路器和 РБА 或 ПРБА 型的传动机构配合使用；BMБ-10 型断路器和 ПРА-10 型传动机构配合使用；БГ 型断路器则和 ППР-21 型传动机构配合使用。

### KAM 型传动机构

为了用手来操作断路器，KAM 型传动机构。轴上装有手轮（飞轮）。KAM 型传动机构的外形如图 11 所示。

KAM 型传动机构有两种尺寸——小型的 KAM-II，用于 BM-6 和 BM-16 型断路器，而大型的 KAM-III，则用于需要较大合闸力的 BM-18、BM-22 及 BM-35 型断路器。

如果是屋外装置，则传动机构应装在专用的金属箱内，以防雨雪。

箱中除传动机构和联动横杆之外，并装有用以联接闭锁装置、信号装置及电流互感器回路的端子板。

KAM 型传动机构，根据它的尺寸、附装继电器的数目、跳闸线圈、及其用途的不同，其重量也各不相同。KAM-II 型传动机构的重量为 36 至 43 公斤，KAM-III 型为 60 至 72 公斤，屋外装置用的带箱的 KAM-III 型则为 150 至 160 公斤。

为了断路器的自动跳闸，在 KAM 型传动机构中，可以附装过电流电磁继电器、低电压电磁继电器，以及跳闸线圈（电磁铁）。这些设备

的数目在一个到三个之間，根据所选择的保护方式而定。

根据动作原理和用途的不同附装的电磁继电器有下列几种：

1)瞬动的过电流继电器——用以保护过负荷和短路电流；

2)有限反时限的过电流继电器——用以保护过负荷和短路电流；

3)瞬动的低电压继电器——用以保护电网中电压的低落。

跳闸线圈可以制成适应于不同的操作电流，且在各种保护方式中通过个别继电器接点的闭合或开启而动作。

KAM 型的传动机构现在已不生产，但在许多电力系统和工业电气装置中还装有很多，并且它们的动作完全可靠。

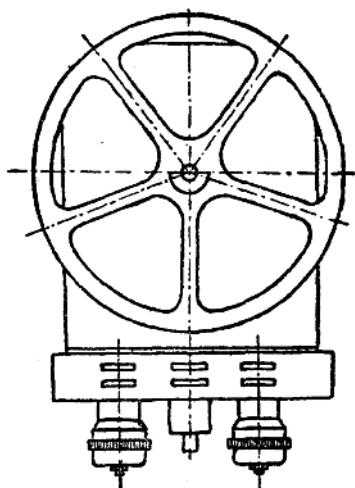


圖 11 KAM 型手动—自动传动机构的外形

### ПРА 型传动机构

ПРА 型手动—自动传动机构(圖 12)在 1937 年由烏拉尔电机工厂开始生产。

为了用手来操作断路器，ПРА 型传动机构有臂长为 300 公厘的手柄，从传动机构箱的两边固定到横杆系统的轴上。

ПРА 型传动机构的传动方式完全不同于 KAM 型传动机构的传动方式。

制造厂將 ПРА 型传动机构与合闸所需的功不超过 15 公斤-公尺的 БМГ-22 和 БМГ-32 型的断路器配合使用。

为了断路器的自动跳闸，在 ПРА 型传动机构中，可以附装像 KAM 型传动机构中同样构造和同样数量的电磁继电器及跳闸线圈。

ПРА型傳動機構現在已不生產了，但在某些電力系統和工業的裝置中仍為數很多。

### РВА型傳動機構

在1940年，烏拉爾工廠轉入РВА型傳動機構的生產，這種傳動機構比上述傳動機構具有較為改善的跳閘機構，以及另外的安裝尺寸和外型尺寸。

為了手動來操作斷路器，РВА型傳動機構有長350公厘的槓桿，固定在傳遞力量到斷路器牽引桿上去的內部機構的軸上。

為了斷路器的自動跳閘，在РВА型傳動機構中根據標準接線方式而裝有一組到三組瞬動的過電流繼電器，低電壓繼電器及跳閘線圈。與KAM型傳動機構不同，РВА型傳動機構中，不附裝延時的過電流繼電器。

圖 12 ПРА 型手動—自動傳動機構的外形

用地方實驗室的力量就可以很容易地將KAM型中的繼電器，改裝到РВА型傳動機構中去。

根據附裝繼電器數量的不同，РВА型傳動機構的重量為22到24公斤。

### ПРВА型傳動機構

在1949年烏拉爾工廠開始生產ПРВА型傳動機構(圖13)，其不同於РВА型傳動機構者，就是它具有比較穩固的機構，並消除了自掉閘的可能。ПРВА和РВА型的傳動機構具有同樣的安裝尺寸和外型尺寸，製造廠將其裝於合閘所需的功不超過20公斤-公尺的БМГ-133、БМЭ-6、БМ-16及БМ-35型斷路器上。這種傳動機構也可以安裝於電壓為35仟伏以下在緩慢合閘的最大力量不超過30公斤的其他

型式的断路器上。

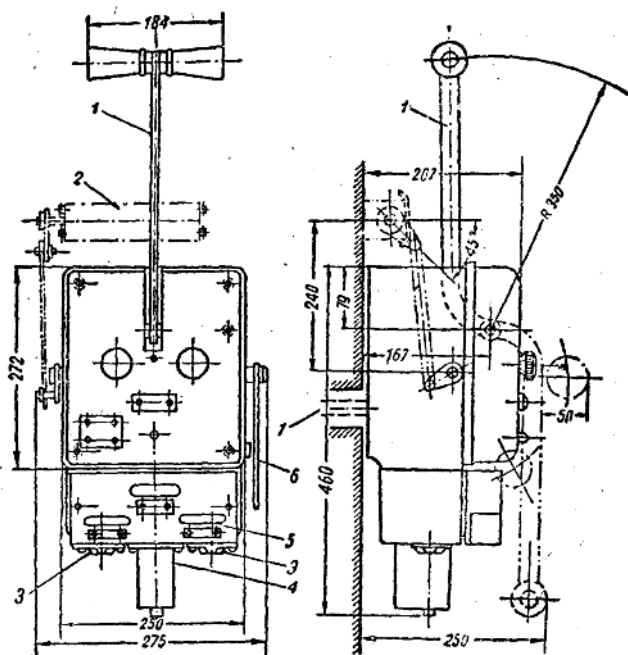


圖 13 ПРБА 型手动——自动传动机构的外形和尺寸  
1—操作横桿；2—KCA 型閉鎖接点；3—附裝的过电流繼电器或跳閘綫圈；4—低电压繼电器 PMH；5—端子板；6—掉牌指示器；7—曳引断路器的拉桿。

ПРБА 型传动机构与該廠前述各种型式的传动机构不同之点，就是除了一切其他的繼电器之外，还附裝有延时的过电流繼电器。

不論屋內裝置或屋外裝置都可以应用 ПРБА 型传动机构。当用来操作屋外裝置的 BM-35H 型油断路器时，传动机构应裝在 ШНП-35 型箱中。

### ПАШ-10型傳動機構

“電器”工廠從1948年開始生產 ПАШ-10 型傳動機構，與電壓為6和10仟伏，電流為200、400和600安的BMB-10型新式的油斷路器配合使用。

ПАШ-10型傳動機構代替了KAM-II型傳動機構，它們具有差不多相同的重量——39公斤，而且外形亦很相像。

ПАШ-10型傳動機構的傳動系統，依照構造來說，完全不同于KAM型傳動機構的傳動系統；它的機構比較靈活而完善。

ПАШ-10型傳動機構中的瞬動過電流繼電器有製造得很好的迴轉式轉換開關，可用來改造匝數，從而在5、6、7、8、10、12、15安的范围內，改變起動電流（跳閘電流）。

為了使電磁鐵鐵心的曳引力在整个行程中是均匀的，在此种傳動機構的過電流繼電器中，採用可以有一些好作用的圓錐形停止器。

像其他的KAM、ГРА、РБА型的傳動機構一樣，在ПАШ-10型傳動機構的箱中，可以附裝三組以下任意配合的瞬動的過電流繼電器、低電壓繼電器和跳閘絞圈。

用地方實驗室的力量，就可以把構造與KAM型傳動機構中所採用的繼電器的構造相同的有限反時限過電流繼電器裝在這種傳動機構上。

### ПРА-10型傳動機構

ПРА-10型傳動機構與ПАШ-10型傳動機構的區別，就是它有一個雙臂的槓桿而沒有手輪。

工廠所生產的此种傳動機構，除一切其他的繼電器之外，並附裝有延時過電流繼電器，而且，它所用的過電流繼電器與ПАШ-10型傳動機構中的過電流繼電器不同，却用平的停止器，與KAM型傳動機構中採用的過電流繼電器的構造一樣。