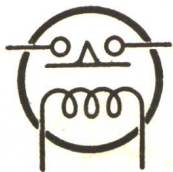


繼電保護裝置叢書

第 六 冊

电网的方向保护装置

許 敬 賢著



水利电力出版社

內 容 提 要

本书用通俗的文字对高压电网应用电力方向保护装置的原则、結綫图和計算基本公式等作了詳細的介紹，还敘述了运用各种原理作成的电力方向元件及这些元件的工作情况和继电器主要特性。为了切合实用，书中还列出一些保护装置的典型原理結綫图和計算示例，以供讀者在实际工作中参考。

本书各章的論述与前几册密切相关，具有初中程度的工作人員继前几册学习后可通过自学掌握电网方向保护的主要內容。

本书可供继电保护領域內担任設計、施工、运行和調整試驗的初級技術人員以及电气技工学习用，并可作为中等技术学校和技工学校的教学参考书。

×

×

×

×

继电保护装置丛书

- | | | | |
|-----|--------------|------|-------------------|
| 第一册 | 电路的基本原理 | 第十册 | 电网的高頻保护装置 |
| 第二册 | 短路电流計算 | 第十一册 | 发电机和同期調相机的保护装置 |
| 第三册 | 继电器和继电保护装置 | 第十二册 | 变压器和发电机-变压器組的保护装置 |
| 第四册 | 电流互感器和电压互感器 | 第十三册 | 母綫和低压母綫引出綫的保护装置 |
| 第五册 | 电网的电流和电压保护装置 | 第十四册 | 电动机的保护装置 |
| 第六册 | 电网的方向保护装置 | 第十五册 | 交流操作的继电保护装置 |
| 第七册 | 电网的接地保护装置 | 第十六册 | 继电保护装置試驗 |
| 第八册 | 电网的差动保护装置 | | |
| 第九册 | 电网的距离保护装置 | | |

电网的方向保护装置

許 敬 賢 著

*

2751D659

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里內）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本*4 $\frac{3}{4}$ 印張*90千字*定价(第9类)0.47元

1960年6月北京第1版

1960年6月北京第1次印刷(0001—5,670册)

目 录

第一章 电力方向元件	3
第1节 电力方向元件的用途	3
第2节 电力方向元件的种类	4
第3节 对电力方向元件的基本要求	6
第4节 电力方向继电器的特性	6
第5节 电力方向继电器的构造	11
第6节 单元件电力方向继电器的 90° 接线法	18
第7节 电力方向继电器死区的计算	23
第8节 接在非故障相电流中电力方向继电器的工作	26
第9节 振荡时电力方向继电器的工作	28
第10节 系统中发生故障时, 正序、负序和零序 电力的分配	32
第11节 零序和负序电力方向继电器	34
第12节 电压互感器二次回路断线时电力方向 继电器的工作	42
第二章 方向过电流保护装置	44
第1节 保护装置的功用和其动作原理	44
第2节 保护装置的时限	48
第3节 保护装置的纵续动作	50
第4节 保护装置的动作电流	52
第5节 保护装置的灵敏度	56
第6节 方向过电流保护装置的接线方式	59
第7节 非故障相电流对保护装置的影响	62
第8节 接地时对方向过电流保护装置的闭锁方法	70
第9节 负序方向过电流保护装置	71

第10节 对方向过电流保护装置的评价	73
第三章 方向电流和电压速断装置	75
第1节 保护装置的功用	75
第2节 方向电流、电压速断装置和电流闭锁 电压速断装置	79
第3节 对保护装置的简短评价	82
第4节 方向和非方向性电流、电压保护装置結綫图	83
第四章 保护装置設計計算示例	112

第一章 电力方向元件

第1节 电力方向元件的用途

第三册中曾简单地介绍过电力方向继电器的原理、结构和它的主要特性。由于电网的不断发展，网络结构将愈来愈复杂，一般的电流、电压保护装置往往不能满足所需的灵敏度和速动性的要求。因此，在现今高压和超高压电网的保护装置中经常采用横联差动方向、距离方向和高频方向等保护装置。这些保护装置中，电力方向元件是个主要元件，它用来闭锁保护范围外短路时可能引起的误动作；对于一般的电流、电压保护装置，当应用电力方向元件后，亦可提高保护装置的灵敏度，同时，在保护装置的整定时限上亦可得以降低。

电力方向元件是利用电力方向继电器构成的，就全套保护装置来说，电力方向继电器和相应的结线联合起来，起着—个电力方向元件的功用。在第三册中已经谈到电力方向继电器可分成两大类：一类只反应功率符号，它的动作功率不能任意改变；另一类是在过功率状态下动作的。在一般情况下，保护装置的灵敏度都由其他元件来整定，而不取决于电力方向继电器，因此只反应功率符号的继电器得到了广泛的应用，本册中所讨论的电力方向元件即属此类。

当被保护线路外部短路时本线路两侧的短路功率方向是不同的，例如图 1-1 上的 K 点发生三相短路时，靠近电源侧的保护装置中通过的电流 I_1 系由母线指向线路，如取图示电流的方向作为正方向，则电流 I_1 将滞后于母线残余电压 U_1 。

一个角度 φ_1 ，在綫路对側保护装置中通过的电流虽然亦为 I_1 ，但由于它的方向系由綫路指向母綫；如取图示电流 I_1 的方向作为正方向，则电流 $\dot{I}_1 = -\dot{I}_1$ ，即电流 I_1 的向量系越

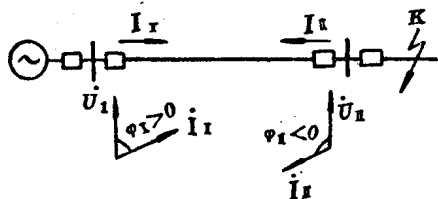


图 1-1 当外部三相短路时綫路两侧
电流和电压的向量图

前母綫残余电压 U_1 ，越前的角度为 φ_1 ；若两侧装設同一类型的电力方向继电器，则它們所感受的功率符号就不相同；如取电流滞后电压向量的功率符号为正，则当电流越前电压

向量时的功率符号将变为負。利用这一特点即可在电网中广泛使用电力方向继电器来控制保护装置的工作情况，当保护范围内短路时容許保护装置动作；反之，在保护范围外短路时起着閉鎖作用。

第 2 节 电力方向元件的种类

当前继电保护技术中应用着許多型式的电力方向元件，根据它們的特点和应用电力方向元件的不同方法可分为以下几种：

一、根据电力方向元件所反应的数值而分，有：

- (1) 反应 $UI\cos\varphi$ 的余弦型电力方向元件；
- (2) 反应 $UI\sin\varphi$ 的正弦型电力方向元件；
- (3) 反应 $UI\cos(\varphi \pm \alpha)$ 的混合型电力方向元件。

二、根据电力方向元件的短路类型而分，有：

- (1) 用于三相短路的保护装置；
- (2) 用于两相短路的保护装置；

(3) 用于接地的保护装置。

三、根据电力方向继电器的构造型式而分，有：

(1) 电磁式；

(2) 感应式；

(3) 电动式；

(4) 整流式(极化式或检波式)；

(5) 无接点式及其他。

四、根据联接电力方向元件的相数而分，有：

(1) 三相电力方向元件；

(2) 两相电力方向元件；

(3) 单相电力方向元件。

五、根据电力方向继电器中的元件数目而分，有：

(1) 三元件电力方向继电器；

(2) 两元件电力方向继电器；

(3) 单元件电力方向继电器。

六、根据联接至电力方向元件上的电气量的特性而分，

有：

(1) 联结在全电流和全电压上的电力方向元件；

(2) 联结在对称分量(正序、负序或零序)上的电力方向元件；

(3) 联结在复合分量(例如负序电流和零序电流)上的电力方向元件。

七、根据联接电压和电流回路的方法而分，有：

(1) 电流和电压回路不切换的；

(2) 电压回路进行切换；

(3) 电流和电压回路同时进行切换。

当应用单相电力方向继电器时，方向元件可由三个、两

个或一个继电器組成，因此分为三系統、两系統和单系統电力方向元件。

从以上各种电力方向元件中可看出，根据不同条件分类可得許多型式，就目前得到普遍使用的元件來說，主要是运用单相单元件按照一、二、三、六和七項分类方法构成的不同类型电力方向元件。

第3节 对电力方向元件的基本要求

由于現代高压电网的发展，长距离重負荷綫路的出現，在快速动作和高灵敏度的保护装置中，对于电力方向元件在力求簡化的基础上提出了以下几点基本要求：

一、电力方向元件和它的結綫方式应能保証在所反应的短路类型下具有足够的功率倍数（对电力方向元件的动作功率比值不小于 $2\sim 3$ ）；

二、应该运用相应結構的继电器和結綫方式尽可能地消除非故障相电流对电力方向元件工作的影响；

三、当三相短路时电力方向元件的死区（即在被保护范围内短路时电力方向继电器未能动作的区域）应该最小，即其动作所需的电力很小；此外，在其他类型短路时死区应该不存在；

四、电力方向继电器的动作時間应该力求最小；

五、电力方向元件应该尽可能簡化和可靠。

第4节 电力方向继电器的特性

电力方向继电器的工作决定于加到它綫卷端子上的电流 I_p 和电压 U_p 的数值，从第三册中已知混合型电力方向继电器工作轉矩 M_{op} 的一般形式为：

$$M_{op} = KU_p I_p \cos(\varphi_p \pm \alpha). \quad (1-1)$$

式中 φ_p ——电流 I_p 滞后电压 U_p 的相角；

α ——继电器的内角；

K ——系数，在一般情况下它决定于电流 I_p 。

继电器的动作边界条件是工作转矩等于机械转矩（即摩擦转矩和反作用弹簧转矩等）。为克服此机械转矩所需的最小转矩为 M_{min} ，则继电器动作方程为：

$$KU_p I_p \cos(\varphi_p \pm \alpha) = M_{min}. \quad (1-2)$$

在给定相角 φ_p 下，继电器的外加电流与电压间的乘积为一常数（因为每种电力方向继电器的内角系一恒定值），即

$$U_p I_p = \frac{M_{min}}{K \cos(\varphi_p \pm \alpha)}. \quad (1-3)$$

根据上式即可作出在动作情况 U_p 下，电流与电压间的关系曲线如图1-2所示，通常均以纵坐标代表电压 U_p ，横坐标代表电流 I_p ，此即电力方向继电器的伏安特性曲线。



式(1-3)中的左边代表加到继电器上的外施电力 S ，右边的 $\frac{M_{min}}{K}$ 值

图1-2 电力方向继电器的伏安特性曲线

实际上代表克服机械转矩所需的电力 S_0 ，将这些关系代入即可变换为下列形式：

$$S = \frac{S_0}{\cos(\varphi_p \pm \alpha)}, \quad (1-4)$$

在直角坐标上可以画出电力 S 与相角 φ_p 的关系曲线，根据余弦函数内的两种不同角度可分别画出图1-3a和b所示的曲线形状，当 φ_p 分别为 $(-\alpha)$ 和 (α) 值时余弦函数值等于1，此时所需的外施电力为极小值，即 S_0 。因此曲线在该处出现低

谷，同理，当 φ_p 值为 $\pm(90^\circ - \alpha)$ 或 $\pm(90^\circ + \alpha)$ 时曲线趋向无穷大，即表示继电器处在动作边缘的情况。图 1-3 上的曲线通常称为电力方向继电器的角度特性。

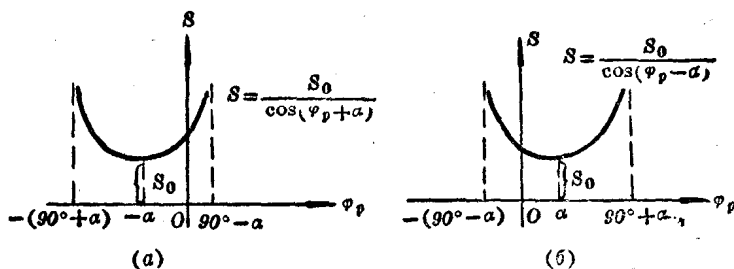


图 1-3 电力方向继电器的角度特性曲线

a— $U_p I_p \cos(\varphi_p + \alpha)$ 型；b— $U_p I_p \cos(\varphi_p - \alpha)$ 型。

除上述情况外，通常亦有应用电压 U_p 作为纵坐标来绘制角度特性。在给定电流 I_p 下继电器动作所需的电压可由 (1-3) 式求得：

$$U_p = \frac{M_{\text{min}}}{K I_p \cos(\varphi_p \pm \alpha)}, \quad (1-5)$$

从式 (1-5) 中同样可得与图 1-3 完全相同形状的角度特性，所不同者只是较图 1-3 的纵坐标单位减小了 I_p 倍。

电力方向继电器的角度特性亦可在复数平面上表示，首先在复数平面上任取一向量作为电力 S 的向量，通过该向量的终端作与实数轴间的夹角分别为 $(90^\circ - \alpha)$ 和 $(90^\circ + \alpha)$ 的直线，这两直线即可代表混合型电力方向继电器的角度特性，如图 1-4a 和 b 所示。从原点作该直线的垂直线，此垂直线的向量即代表电力 S_0 ，与式 (1-4) 比较很易看出，图 1-4 上所表示的特性是能很好地满足方程式的；图上画斜线的部分表示继电器的动作范围，当电力向量 S 的末端落在斜线部分内时，

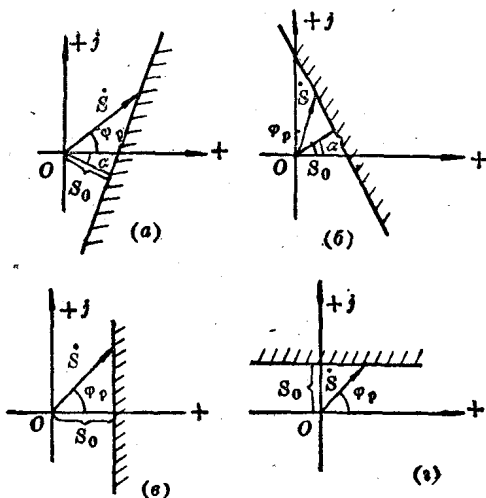


图 1-4 在复数平面上电力方向继电器的角度特性

$$a-U_p I_p \cos(\varphi_p + \alpha) \text{ 型}; \quad b-U_p I_p \cos(\varphi_p - \alpha) \text{ 型}; \\ c-U_p I_p \cos \varphi_p \text{ 型}; \quad d-U_p I_p \sin \varphi_p \text{ 型}.$$

向量 $S_0 \cos(\varphi_p \pm \alpha)$ 值将大于 S_0 ，继电器动作。

由图 1-4a 和 b 中又可引伸而得余弦型和正弦型电力方向继电器角度特性的复数平面表示图，即图 1-4c 和 d。令图 a 中的 α 值等于零， S_0 向量便朝逆时针方向转过 α 角，此时特性曲线变为平行于虚数轴的一条直线如图 1-4c 所示，此即余弦型电力方向继电器的角度特性。类似地将图 b 中的 α 值取为 90° ，则向量 S_0 将与虚数轴迭合，因此特性曲线即变为平行于实数轴的一条直线如图 1-4d 所示，此即正弦型电力方向继电器的角度特性。

如果忽略机械转矩（即 $S_0 = 0$ ）在复数平面上的电力方向继电器角度特性均将通过原点，图 1-5 中表示不计机械转矩时混合型电力方向继电器的角度特性。

从第三册的图1-316 中可看到轉矩为 $M_{ap} = KU_p I_p \cos(\varphi_p + \alpha)$ 的电力方向继电器在 R 、 X 复数平面上的特性曲线，若将式中的 α 取为 $(-\alpha)$ ，则轉矩方程将变为 $M_{ap} = KU_p I_p \cos(\varphi_p - \alpha)$ ，此时它在 R 、 X 复数平面上的特性曲线与 R 轴的夹角将变为 $90^\circ - (-\alpha) = 90^\circ + \alpha$ ，此結論与图 1-5 是相符合的。

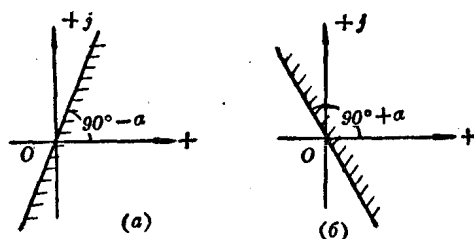


图 1-5 当 $M_{min}=0$ 时在复数平面上电力方向继电器的角度特性
 $a-U_p I_p \cos(\varphi_p + \alpha)$ 型； $b-U_p I_p \cos(\varphi_p - \alpha)$ 型。

根据继电器的角度特性可以看出，电力方向继电器的动作与否主要决定于角度 φ_p 值（因为 S_0 值通常均很小），因此如加到继电器端子上的电流与电压极性联接不正确时即可造成继电器的误动作或拒絶动作。例如在应该动作的方向发生故障时，由于极性的接反而使继电器感受的电力向量 S 的末端落在不动作范围内，继电器便拒絶动作；反之，就可能在保护方向的反面故障时却使继电器误动作。因此，对于联接有两个或两个以上电气量而又涉及其间相角差的关系时都必须注意继电器线卷的极性，通常在电力方向继电器的电流和电压线卷的一端标以极性的记号（例如：IMB-170A 感应式电力方向继电器），当同极性端子引入电流和电压且其间相角差等于最大灵敏角（对混合型电力方向继电器来说即相当于 $\mp \alpha$ ）时继电器应能动作。

目前最常用的电力方向继电器是 IMB-170A 四极感应圆筒式单相单元件混合型电力方向继电器。这种继电器的构造原理，主要技术特性和消除潜动的方法已在第三册中作过详细介绍，在此不再赘述。

第 5 节 电力方向继电器的构造

根据本章第 2 节所述的分类可以看到常用单元件电力方向继电器可按电磁、感应、电动、整流和无接点式原理构成，因此也就出现不同的结构类型，以下分别予以介绍。

一、电磁式

在理论上依据电磁原理作成电力方向继电器是完全可行的，但从苏联既往的试验指出：应用这种原理作成的电力方向继电器很难得出良好的结果，因此目前各国均未加以采用。苏联在 1938 年曾由技术改进局拟制过利用具有同一轴的两个 ΘT 型电流电磁系统来作成平衡型电磁式电力方向继电器，但实际上也未得到推广使用。

二、感应式

运用感应式原理可以将转动元件作成转盘式和圆筒式两种。随着系统的发展对电力方向继电器在动作迅速性和灵敏性方面提出更高要求以后，转盘式的继电器已被淘汰，目前广泛使用的是四极感应圆筒式继电器。这种继电器对一般 220 千伏及以下电压的电网是完全能满足要求的。如将继电器的参数设计恰当，转动元件与磁极间的间隙减到相当小程度，这种原理作成的继电器尚可满足 400 千伏电网的要求。第三册中已较详细地介绍过用这种原理作成的电力方向继电器。

根据高压电网平行线路横联差动方向保护装置的需要

(詳細原理可參閱第八分冊)，必須對每回綫路考慮裝設一個單獨的單相單元件電力方向繼電器以便在該綫路故障時可有選擇地切除故障。利用IMB-171A型(新型號為GG-11型)電力方向繼電器時每套橫聯差動方向保護裝置的每相中必須配置兩個這種繼電器，這樣就使結綫較為複雜，繼電器數量亦增多，此外，還占用配電盤上較多的面積。為此曾設計出一種新型的双方向動作的電力方向繼電器 它的結構與普通IMB-170A繼電器基本上相同，區別只在於接點系統和反作用彈簧(如图1-6)。繼電器具有兩個靜接點，為了避免在正常時閉合任一回綫路的直流回路而造成誤動作，必須在繼電器的轉動軸上裝設兩個相反方向作用的反作用彈簧。利用彈簧轉矩的相互平衡來保持繼電器動接點處在打開位置。當其中某一回路故障時，轉子(鋁質圓筒)就向某一方向轉動，因此固定在轉子上的動接點也就隨之閉合某一靜接點，使該綫路的保護裝置發出跳閘脈沖，此時僅由與動作方向相反作用的

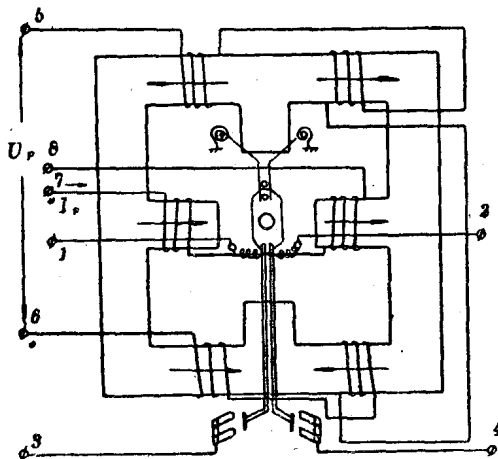


图 1-6 PBM-22/M型双方向动作电力方向继电器的结构

反作用彈簧起制動作用；如故障發生在另一回路上，則轉矩的方向適與上述情況相反，動接點便閉合另一側的靜接點，使該綫路有可能動作於跳閘。蘇聯目前已生產的 PBM-02, 12 和 22/M271A, 278A, 型雙方向動作電力方向繼電器即按此結構原理作成。此種繼電器的電流和電壓潛動必須很好地消除，根據蘇聯經驗指出，經過一定的調整後是完全能夠做到的。

三、電動式

應用電動式原理作成的電力方向繼電器在西歐的某些國家中目前還使用得比較普遍，例如東德的 RER 型接地電力方向繼電器就是按此原理作成的。在 RD7 的距离保護裝置中亦曾應用這種原理作成的聯結在全電流和全電壓上的電力方向繼電器。繼電器的結構和動作原理已在第三冊中闡述過。這種繼電器由於可動綫卷繞在鐵芯上，因此它的靈敏度很高，一般來說它的動作時間不及四極感應圓筒式來得快，但當接點距離調整到足夠地小，在很大輸入功率倍數下，它的動作時間也可達到 0.04 秒以下。

四、整流式

第三冊中曾提到過整流式電力方向繼電器，利用這種原理作成的繼電器它的靈敏度很高，由於應用極化繼電器作為出口執行元件，因此它的動作時間往往很短，同時繼電器本身的損耗不大，考慮到這些優點目前各國均一致認為整流式繼電器是個新的发展方向，廣泛地利用它可以大大地改善現有保護的特性，因此國內當前有很多科研單位都在着手進行此項研究試驗工作。

混合型電力方向繼電器在複數平面上的角度特性已在圖 1-5 上示出。繼電器不論按何種原理實現，它的角度特性必須符合圖示的基本特性。對整流式電力方向繼電器而言，必須

从整流原理出发考虑适当的回路結綫来满足上述要求。

整流式继电器与一般感应式继电器的动作原理不同。如前所述，感应式电力方向继电器的工作轉矩与加至继电器的电流、电压和两者間相位差的乘积成比例，但对整流式继电器來說，继电器的动作应直接反应电气量的整流值^①，即它的工作轉矩可直接由某一綜合电气量經整流后的值所产生。根据继电器的不同特性，制动轉矩可由一个或两个經整流后的电气量所产生。

整流式电力方向继电器是一种較为简单的整流式继电器，它的动作方程可用两个綜合电气量的绝对值表示。例如

$$|\dot{B}_1| - |\dot{B}_2| \geq M_{Mex}.$$

式中 $\dot{B}_1$ ——起工作轉矩作用的綜合电气量；

$\dot{B}_2$ ——起制动轉矩作用的綜合电气量；

M_{Mex} ——机械轉矩。

当忽略机械轉矩时，上式变为：

$$|\dot{B}_1| - |\dot{B}_2| \geq 0,$$

为使上述方程式能完全符合图 1-5 所示的特性曲綫，这就必須合理地确定綜合电气量 $\dot{B}_1$ 和 $\dot{B}_2$ 。电气量 $\dot{B}_1$ 和 $\dot{B}_2$ 可設想为电压量或电流量，为方便起见，暫先假定为一綜合的电压量。由于 $\dot{B}_1$ 和 $\dot{B}_2$ 值應該滿足特性曲綫的要求，因此必須从特性曲綫着手設法找出。

图 1-5 所表示的座标平面系一复数平面，如将座标軸視作为电压軸，則复数平面就变为一电压复数平面，实数軸代表

① 按相灵敏結綫实现的整流式继电器除外，因为这种继电器已改变为反应綜合的整流量的符号，詳見第三册。

$i_p R$, 虚数轴代表 $i_p x$ (如图1-7), 这样外加到电力方向继电器上的电压向量 $\dot{U}_p$ 就可直接在该复数平面的某一象限内画出。

从图1-7可看出, 混合型电力方向继电器在电压复数平面上的特性系一通过原点的直线。划斜线一侧为继电器的动作区, 另一侧为不动作区, 当外加到电力方向继电器上的电压 $\dot{U}_p$ 处在划斜线一侧时继电器动作, 反之, 则不动作。由此可知, 当电压向量 $\dot{U}_p$ 落在特性直线上时, 继电器处于动作边界情况。

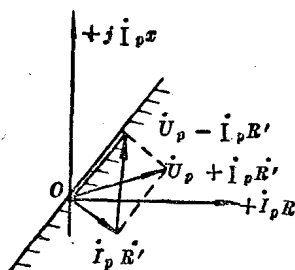


图1-7 在电压复数平面上电力方向继电器的角度特性

电力方向继电器的动作应由外加到继电器上的电压 $\dot{U}_p$ 和电流 i_p 决定。因此应用上列不等式表示时, 综合电气量 B_1 和 B_2 中必须包括 $\dot{U}_p$ 和 i_p 。为了使不等式能够成立, 我们可假想有一向量 $i_p R'$ 存在, 它与 $\dot{U}_p$ 之和等于 B_1 , 之差等于 B_2 。根据动作特性可知, 这种假想仅在 $i_p R'$ 系从原点引出垂直于特性曲线且指向继电器动作区的一侧时方才正确。在此情况下当外加到继电器上的电压 $\dot{U}_p$ 落在特性曲线的边缘时, $\dot{U}_p$ 与 $i_p R'$ 向量间的夹角恰为 90° , 它们便可组成一矩形, 而综合电气量 B_1 和 B_2 分别代表该矩形的两条对角线。由于矩形的两条对角线长度是相等的, 这样就实现了 $|B_1| - |B_2| = 0$ 的条件。式中 $|B_1|$ 代表工作转矩, $|B_2|$ 代表制动转矩。将上述关系代入后即得:

$$|\dot{U}_p + i_p R'| = |\dot{U}_p - i_p R'|, \quad (1-6)$$

此即整流式电力方向继电器动作的边界条件(动作方程式)。