

开关电器的机构

刘绍岐编著



机械工业出版社

开关电器的机构

刘紹峻編著

出版者的話

本书叙述了机构在开关电器中的作用及电器对机构的要求，并着重介绍了分析各类机构性能的方法。

本书主要内容有：1. 机构的一般特性；2. 开关电器常用的机构种类及性能；3. 联动机构、直线运动机构与脱扣机构的性能分析与计算；4. 高速机构的掣动；5. 电器的开断与关合过程的性能分析与计算；6. 气动机构的工作原理及计算方法。

本书的读者对象是电器工程技术人员，和高等学校的师生。

NO. 3190

1960年4月第一版 1960年4月第一版第一次印刷

850×1168¹/₃₂ 字数115千字 印张4¹⁰/₁₆ 0,001—7,100册

机械工业出版社(北京阜成门外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业许可证出字第008号 定价(11-8) 0.96元

目 录

序言	6
第一章 机构的某些特性	7
1. 連杆曲綫	7
2. 机构的运动特性曲綫	8
3. 联动比或速度比	9
4. 联动比曲綫	10
5. 死点及其在机构上的应用	11
6. 摩擦圓与死带	12
7. 效率	13
第二章 联动机构	14
1. 定义与种类	14
2. 对称的联动机构	14
3. 同步联动机构	16
4. 非对称联动机构	18
5. 倍角机构	18
6. 四連杆联动机构的特性	20
7. 双平行四边行机构	28
8. 在三个或以上的平行軸間傳动的联动机构	29
9. 空間机构	31
10. PJH戶外式隔离开关上所用的破冰机构	35
第三章 直綫运动机构与脫扣机构	38
1. 直綫运动机构的种类	38
2. 直綫机构的設計	43
3. 断路器上用的几种提升机构	44
4. 断路器的傳动装置与脫扣机构	45
5. 脫扣元件的某些計算問題	48
第四章 高速机构的掣动与緩冲器	54

1. 概述	52
2. 緩冲器作用时的基本运动方程式	54
3. 当运动系統中未有反作用彈簧力时, 机构的掣动特性	54
4. 运动系統中有反作用彈簧力时, 机构的掣动特性	58
5. 彈性緩冲器	61
6. 油緩冲器	63
7. 彈簧緩冲器	67
8. 气体緩冲器	68
第五章 断路器的开断速度与开断彈簧的計算	71
1. 概述	71
2. 計算彈簧参数与开断速度时所用的方法与基本方程式	71
3. 各环节的质量与各作用力(慣性力除外) 的決定	74
4. 质量的归化	79
5. 慣性力	84
6. 力的归化方法	84
7. 求彈簧参数法	86
8. 求分断速度曲綫及其他曲綫	87
第六章 断路器的关合功、关合速度与关合电流	91
1. 断路器合閘时合閘功的計算	91
2. 关合速度的計算	93
3. 在关合过程的时间段內(从触头开始接触时起至 完全关合时止) 的电动力	95
4. 允許关合电流的決定	98
5. 回路系数 $k(h)$ 的計算	104
第七章 气动机构上几个气体动力学問題	106
1. 概述	106
2. 气体动力学上常用的几个方程式	107
3. 在无摩擦情况下, 空气导管中的气流	109
4. 摩擦力对于空气导管內气流的影响	113
5. 盛器的放气	116
6. 从无限容积的盛器对有限容积盛器的充气	119
7. 从有限容积的盛器对有限容积盛器的充气	122

第八章 气动机构与气动元件的计算	124
1. 差动阀的工作原理及其计算	124
2. 直动阀的工作原理及其计算	134
3. 压缩空气断路器中, 活塞与触头固接的 运动元件速度的计算	140
4. 气动传动装置的工作原理及其计算	143
参考文献	147

序 言

机构是开关电器结构上的主要部分，和灭弧装置一样，也是开关电器上难于处理的问题之一。要设计一具性能完善的开关电器，就要求这一电器的机构具有合理的结构。

以断路器为例，为了保证它的断路容量和关合容量，就需要保证它的开断速度与关合速度，就应该从选择与设计性质良好的机构入手。此外，机构设计的合理与否，尚直接关系到电器的外形尺寸、成本、寿命以及其他各种性能。

机构的种类复杂，本书只是就个人所知道的一些资料，加以综合整理，介绍开关电器上对机构的一些要求，并着重介绍分析和计算机构性能的方法。

本书的主要内容是：

(1) 机构的特性。

(2) 开关电器上常用机构的种类及性能：

(一) 联动机构；

(二) 直线运动机构；

(三) 脱扣机构。

(3) 高速运动机构的掣动与缓冲器。

(4) 断路器的开断速度与关合速度的计算；开断弹簧与关合电流的计算。

(5) 气动机构的计算。

第一章 机构的某些特性

1 連杆曲綫

机构的連杆上某点在运动时所走的軌迹，叫做此点的連杆曲綫。在图1-1所示的四連杆机构中， AB 、 CD 为杠杆， BC 为連杆， EF 在 G 点与 BC 固定联接，也可以算做連杆上的一部分。当机构运动时， AB 与 CD 上的任意点的运动軌迹皆为圓，而連杆上各点的运动軌迹（除了 B 、 C 外），則具有不同的形状，可以为直綫，可以为圓，也有时为其他奇怪的形状。

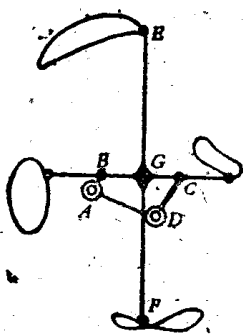


图1-1 連杆曲綫。

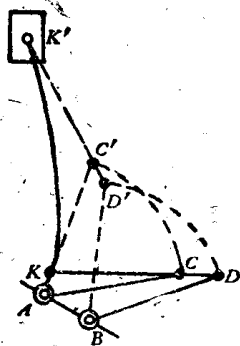


图1-2 連杆曲綫在隔离开关
接地刀上的应用。

在电器的結構上，利用机构的連杆曲綫，可以解决一些特殊問題。例如：

（一）隔离开关接地刀的机构 如图1-2， DCK 为接地刀， K 为动触点。因为 K 的运动軌迹为掘入的，故在运动中，当 K 插入刀座中时，在 A 軸上所产生的摩擦力小；并且刀在一定行程时， A 的轉角也小。

（二）隔离开关的信号触头机构 在一般情形下，連杆上某

点的运动速度不同，利用此一特性，可以满足信号触头的要求。如图1-3，当B点的速度为常数时，F点的速度不为常数。当手柄由2转到5的位置时，信号触头F的位移很小，速度很小；当手柄在最后位置5~6内运动时，则信号触头的速度很大，因此能够很快地关合。

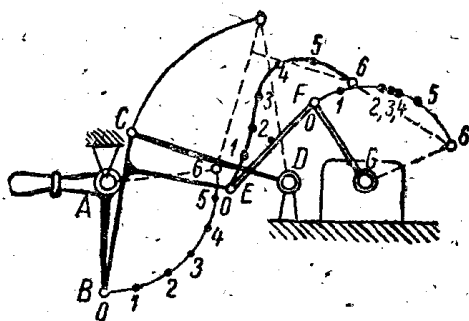


图1-3 连杆曲线在信号触头上的应用。

(三) 直线运动机构 在断路器上常用的直线运动机构，就是一种具有直线的连杆曲线的特别联动机构。关于这一种机构，在以后还要讲到。

2 机构的运动特性曲线

在机构中，主动部分的位移与被动部分的位移的函数关系，叫做机构的运动特性曲线。在四连杆机构中，机构的运动特性曲线为

$$\alpha_2 = f(\alpha_1), \quad (1-1)$$

式中 α_1 ——主动轴的转角；

α_2 ——被动轴的转角。

在断路器的传动机构中，

其运动特性曲线为

$$H = f(\alpha) \quad (1-2)$$

式中 H ——动触头的行程；

α ——主转轴的转角。

$H = f(\alpha)$ 曲线，在计算断路器的分合速度时很重要。

机构的运动特性曲线，可以用分析法或图解法求得。图1-4示图解法的作图步骤，在图上用直尺及量角器可以直接量出 $H =$

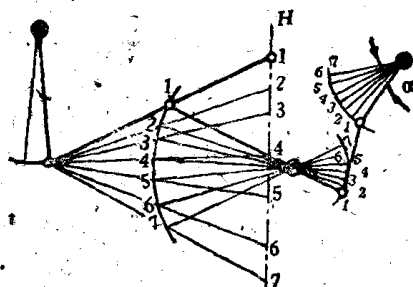


图1-4 用图解法求断路器操作机构的运动特性曲线。

$f(\alpha)$ 的关系曲线。图中所示为断路器上的传动机构。

3 联动比或速度比

在四连杆机构中，联动比是被动轴与主动轴的角速比。如图 1-5，机构的联动比为

$$C = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (1-3)$$

式中 ω_2 ——被动轴的角速；

ω_1 ——主动轴的角速。

根据力学与机械原理上的原理，知力的作用线分割两轴的中心连线，其对应分段长度与轴的角速成反比。

因得

$$C = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{O_1K}{KO_2} = \frac{O_2 \text{ 的角速}}{O_1 \text{ 的角速}}, \quad (1-4)$$

式中 O_2 ——被动轴；

O_1 ——主动轴。

在图 1-6 所示的机构中，其联动比各如其中对应线段的长度比。

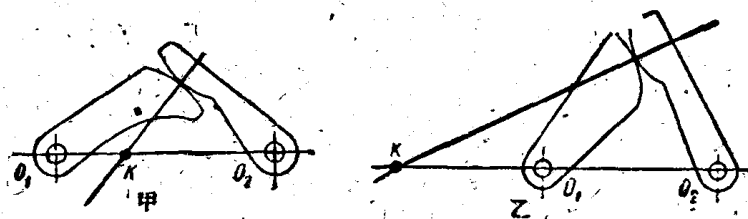


图 1-6 传动机构的联动比。

如图 1-5，在四连杆机构中，由两轴作连杆的垂线 a_1 、 a_2 ，则由几何学原理得：

$$C = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{O_1K}{KO_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{\frac{d\alpha_2}{dt}}{\frac{d\alpha_1}{dt}} = \frac{d\alpha_2}{d\alpha_1}, \quad (1-5)$$

式中 α_2 ——被动軸的角位移；

α_1 ——主动軸的角位移。

假使忽略摩擦力不計，則在机构轉动时，主动軸与被动軸的瞬时功应相等，即

$$M_1 d\alpha_1 = M_2 d\alpha_2$$

因得

$$C = \frac{d\alpha_2}{d\alpha_1} = \frac{M_1}{M_2}, \quad (1-6)$$

式中 M_1 ——主动軸上的轉矩；

M_2 ——被动軸上的轉矩。

在断路器的傳动机构中，也可以用 $\frac{dH}{d\alpha} = F(\alpha)$ 来表示联动比的特性。这是在机构的計算中重要的特性之一。

4 联动比曲綫

在机构的运动过程中，联动比不为常数，它与机构的位置，也就是与主动軸或被动軸的轉角有关，即

$$C = f_1(\alpha_1). \quad (1-7)$$

在已知机构的 $\alpha_2 = f(\alpha_1)$ 曲綫后，即可由其求出 $C = f_1(\alpha_1)$ 联动比曲綫。

假使忽略摩擦力不計，則联动比曲綫也可以代表兩轉軸上轉矩比的曲綫。

在断路器的傳动机构中，假使已知 $H = f(\alpha)$ 曲綫，也可以用作图法求出联动比曲綫，也就是 $\frac{dH}{d\alpha} = f_1(\alpha)$ 曲綫。如图 1-7，在 $f(\alpha)$ 曲綫上

点 1 作 $f(\alpha)$ 的法綫，再过点 1 作法綫的垂綫 l ，則 l 的斜度即为 $\frac{dH_1}{d\alpha_1}$ ，其相当的 α_1 如图中点 1 的橫坐标所示。因之可求出 $(\frac{dH_1}{d\alpha_1}, \alpha_1)$ ，也就是联动比曲綫上的一点。故用作法綫及切綫的方法，可以由 $H = f(\alpha)$ 曲綫求出联动比曲綫。

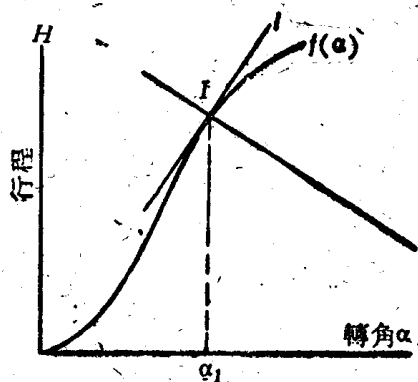


图1-7 $\frac{dH}{d\alpha}$ 数值的确定。

5 死点及其在机构上的应用

如图 1-8，在四连杆机构中，当主动杠杆与连杆成一直线时，联动比之值为：

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{d\alpha_2}{d\alpha_1} \approx 0, \quad (1-8)$$

机构的此一位置叫做死点，在此点时，

联动比 = 0， $M_1 \neq 0$ ，或 $d\alpha_2 = 0$ 。

在开关电器中，死点机构有如下的应用：

(一) 作用在主动轴上极小的力矩，可以平衡作用在被动轴上的很大力矩。在电器的结构中，在触头行程的終了，当压缩接触弹簧与开断弹簧时，常利用死点机构。这样可使在触头接近于合闸位置时，仅需要较小的操作力矩。在隔离开关中，也常利用死点机构，使刀片在关合的位置被锁住，以防止短路电流的电动力使刀片脱开的作用（图1-9）。

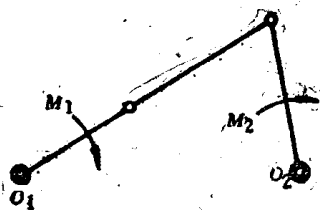


图1-8 机构的死点。

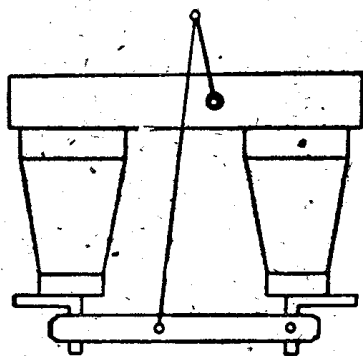


图1-9 死点机构在隔离开关上的应用。

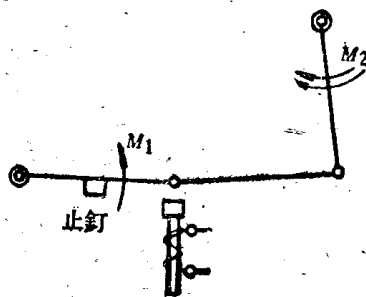


图1-10 死点机构在脱扣机构上的应用。

(二) 死点机构的另一特点是：在很大的主动轴位移之下，被动轴仅有极小的位移。利用这一特性可使被动元件在接近关合

的最終位置时，位移极小，这样，可以减少制造上誤差所引起的严重性。

(三) 利用死点机构，在脱扣机构上可以减少开断电磁鉄的开断力，如图1-10。此时断路器轉軸上的力矩 M_2 虽然很大，但所需要使机构脱离死点地位因而使断路器断开的力矩是很小的。

6 摩擦圓与死带

上面談机构的性质时，未考虑及摩擦力。下面看一看摩擦力对于机构性能的影响。

在机构的轉軸及銷軸部分，假使用摩擦圓的方法来表示摩擦力矩的損失，則可以大为簡化分析計算的手續，也可以較清楚地看清摩擦力的作用。

如图1-11，由力学知識，知带有負載力 P 的軸轉动时，軸座对軸所产生的摩擦轉矩为

$$\text{摩擦轉矩} = fPR = PR \sin \varphi = P\rho, \quad (1-9)$$

式中 $f \approx \tan \varphi \approx \sin \varphi$ —— 摩擦系数；

R —— 軸的半徑；

φ —— 摩擦角，其值很小；

ρ —— 摩擦圓的半徑。

如图1-11，当有摩擦力存在时，力 P 的作用方向也改变了。如果在沒有摩擦力时，作用力的方向通过軸的中心；則当摩擦力存在时，力的作用綫应切于摩擦圓，并且通过軸与軸座的切点。

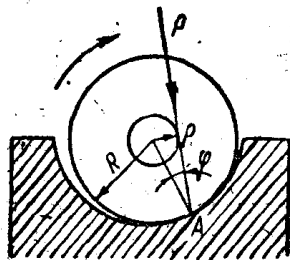


图1-11 摩擦圓。

如图1-12，設 P 在軸上作用，使軸上产生轉矩 M ，假使沒有摩擦力，則轉矩为

$$M = Pa, \quad (1-10)$$

当有摩擦力时，則

$$Pa = M + P\rho = \text{有效轉矩} + \text{摩擦轉矩},$$

故 $M = Pa - \bar{P}\rho = P(a - \rho),$ (1-11)

式中 a ——由軸中心至 P 力作用綫的垂直距离。

当 $a = \rho$ 时, 那么 P 的作用綫变成摩擦圓的切綫, 此时有效轉矩为零, 軸將不能轉动。如图1-12, 自 A 点作摩擦圓的两切綫, 当通过 A 点的作用力的作用綫在此两切綫所包含的範圍內时, 將不能引起軸的轉动, 此範圍称为死带。

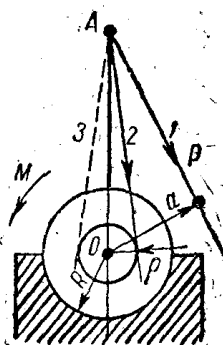


图1-12 死带。

在上述的机构中, 若是 P 的作用綫通过軸的中心, 而且沒有摩擦力, 則仅在力的作用綫真正通过軸的中心时, 軸才不能轉动。这是死点的条件。当有摩擦力存在时, 則死点的情况就变成死带的情况了。

7 效 率

在联动机构中, 因有摩擦力存在, 故在傳送力能的过程中有功能的損失。如图1-13, 以四連杆机构为例, 当未有摩擦損失时,

$$M_1 d\alpha_1 = M_2 d\alpha_2$$

因之

$$\text{效率} = \frac{M_2 d\alpha_2}{M_1 d\alpha_1} = 1. \quad (1-12)$$

当有摩擦損失时, 則

$$M_1 d\alpha_1 = M_2 d\alpha_2 + \text{摩擦損失},$$

而

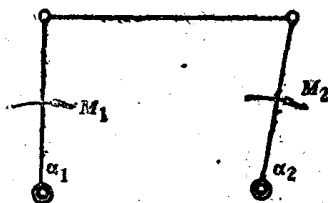


图1-13 四連杆机构。

$$\text{效率} = \frac{M_2 d\alpha_2}{M_1 d\alpha_1} = \frac{M_1 d\alpha_1 - \text{摩擦損失}}{M_1 d\alpha_1} = 1 - \frac{\text{摩擦損失}}{M_1 d\alpha_1}, \quad (1-13)$$

式中 M_1 与 M_2 ——主动軸与被动軸上的轉矩;

α_1 与 α_2 ——主动軸与被动軸的轉角。

第二章 联动机构

1 定义与种类

电器上主要用的联动机构为四连杆机构，图 2-1 示四连杆机构的简图。这一机构，使 A 与 D 两轴联动， A 叫做主动轴， D 叫做被动轴。

联动机构分为两大类：（一）平面的；（二）空间的。在平面的联动机构中，又有两平行轴间联动与多平行轴间联动机构的区别。



图2-1 四连杆机构。

在两平行轴联动机构中，因其特性不同，又有对称的、同步的、非对称的、倍角的以及双平行四边形机构之别。下面分述各类联动机构的特性。

2 对称的联动机构

图 2-2 示对称的联动机构，其中主动轴 A 与被动轴 D 所描扫的角度 α_1 及 α_2 的分角线 a_1 及 a_2 彼此平行，并且这二分角线垂直于连杆 BC 。在这种机构中，在两极限位置时（图 2-2 中的 BC 及 $B'C'$ ）连杆的位置重合成一直线。如图 2-2，此种机构的必要条件是

$$2R_1 \sin \frac{\alpha_1}{2} = 2R_2 \sin \frac{\alpha_2}{2}, \quad (2-1)$$

式中 R_1 ——主动杠杆的长度；

R_2 ——被动杠杆的长度。

设计时， R_1 及 R_2 的长度根据结构上的情况来选择。

在决定 R_1 及 R_2 的长度及转角 α_1 及 α_2 后，为了准确地并且便利地得到所要求的联动机构，必须最先决定分角线 a_1 及 a_2 的长

度。图 2-3 表示求分角綫长度的方法。如

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= R_1 \cos \frac{\alpha_1}{2}, \\ a_2 &= R_2 \cos \frac{\alpha_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

在決 a_1 及 a_2 之值后，应进一步决定連杆的极限位置。作法如图 2-4；以 O_1O_2 为直径作半徑，以 $(a_1 - a_2)$ 的长度为半徑作圓弧，交半圓于 C 点，联 O_1C ，并延长，在其上取 $O_1A_1 = a_1$ 。作 $O_2A_2 \parallel O_1A_1$ ，并令 $O_2A_2 = a_2$ 。联 A_1A_2 ，即得联动机构在极限位

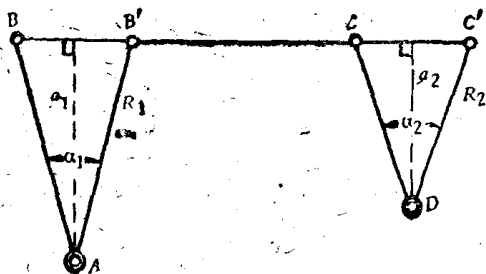


图 2-2 对称联动机构。

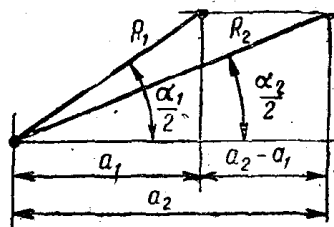


图 2-3 求对称联动机构的分角綫长度。

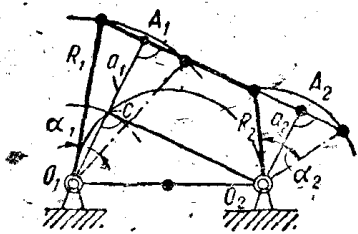


图 2-4 决定对称机构連杆的极限位置。

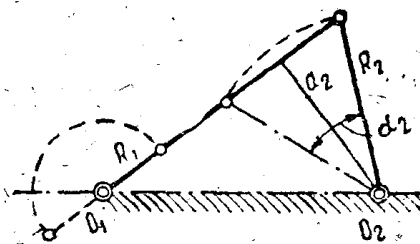


图 2-5 对称机构的特殊机构。

置时連杆的位置。以 R_1 及 R_2 为半徑作圓弧，即可求出連杆的极限位置。

当 $a_1 = 0$ ，主动軸轉角为 180° 时，被动軸轉 α_2 角。此时可得到图 2-5 所示的特殊机构。

3 同步联动机构

在电器的结构中，联动机构轉軸的轉角不超过 $110^\circ \sim 120^\circ$ ，在最多的使用情形下，轉角为 $50^\circ \sim 90^\circ$ 。假使主动軸与被动軸在任何一段时间內的轉角均相等，則称为同步机构。

同步机构有两种：（一）主动軸与被动軸向同一方向旋轉；（二）主动軸与被动軸向不同的方向旋轉。

（一）向同一方向旋轉的同步机构——任意平行四边形的联动机构均属于此类。图 2-6 中所示机构， $AD = BC$ ， $AB = DC$ ，故为同一方向旋轉的同步机构。在此种机构中，联动比为常数，并且等于 1，与轉角的位置无关。

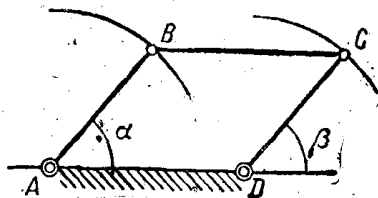


图2-6 同步机构。

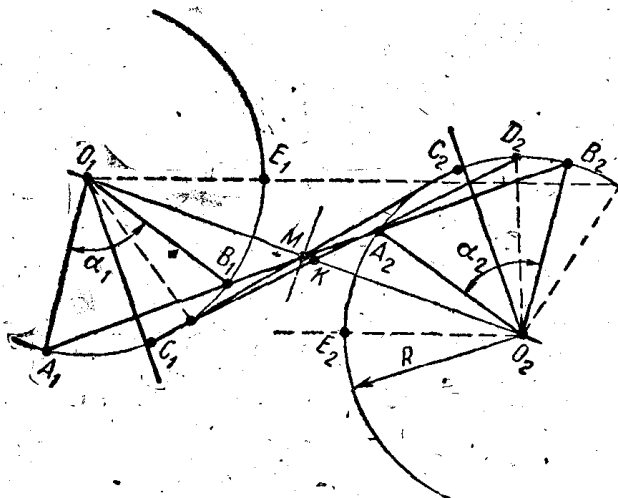


图2-7 旋轉方向不一致的近似同步机构。

（二）旋轉方向不一致的同步机构——图2-7表示此种机构。实际上，这种机构仅能叫做近似同步机构。在完全的同步机构中，当連杆在任意位置时，均將軸心联綫 O_1O_2 分切成相等的两半，事实証明，在这种机构中是不可能的。