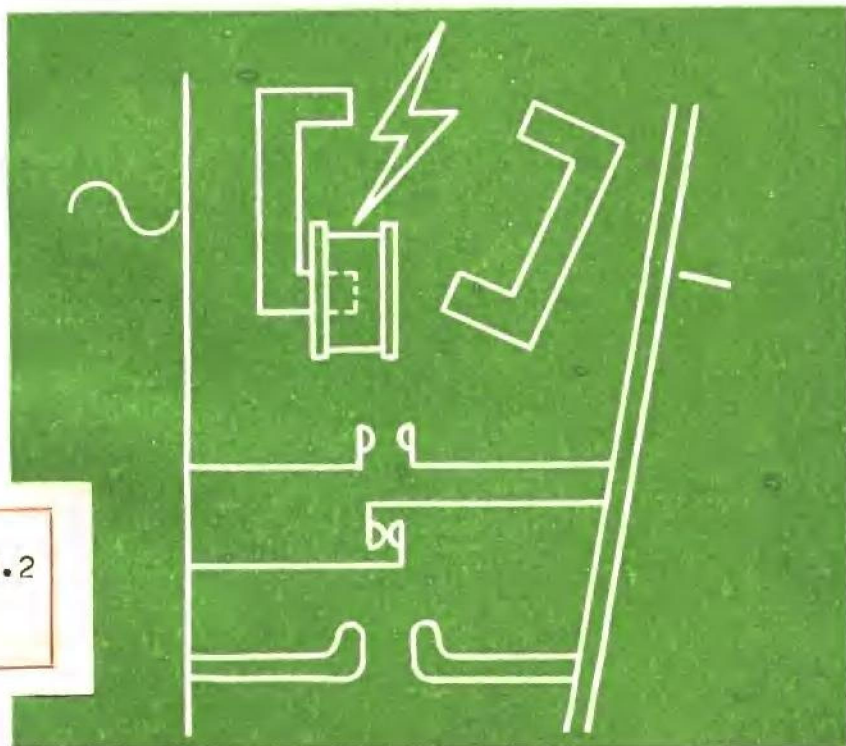


交流接触器 直流运行技术

潘家忠 编著



机械工业出版社

交流接触器直流运行也称无声运行，又称经济运行，它不仅消除了交流接触器运行时的噪声，而且具有显著的节约电能的效果，是全国推广的节电技术之一。

本书系统地介绍了交流接触器直流运行电路的工作原理及应用实例，还介绍了常见故障及其排除方法。内容说理简明，易于理解；实例具体，便于参照改装；适合工矿企业电工自学及电气技术人员参考，学以致用，以利推广。

交流接触器直流运行技术

潘家忠 编著

责任编辑 董保申

封面设计 王 伦

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $3 \frac{1}{8}$ ·字数 67 千字

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数 0,001—4,840·定价 0.73 元

统一书号: 15033·6624

前 言

自从开展节电活动以来，全国各地积累了不少节电经验，其中交流接触器的直流运行技术应用得比较广泛。它不仅节能，而且能消除交流接触器的噪声，对改善工作环境、保障工人的身心健康有一定的好处。而且，其工作原理比较简单，易于理解，改装方便，便于推广。

交流接触器的直流运行也称为“无声运行”或“经济运行”等。由于工作时的交流接触器线圈中流过的是一个直流电流，所以称作为“直流运行”比较直观。

了解交流接触器直流运行电路的工作原理，正确选用元件，对减少运行故障有重要的作用。本书集中地分析和讨论了有关的基本电路和一些实用电路的原理，希望能对这一技术的推广和应用有一定的促进作用。

全书共分六个部分，主要介绍交流接触器直流运行的电路原理和应用实例，最后还介绍了交流接触器直流运行的常见故障及其排除方法。

在编写过程中，参考了一些杂志上的资料，在这里，向其作者表示感谢。

由于水平所限，错误之处在所难免，尚请读者批评指正。

编者

1984.5

目 录

前 言

一 交流接触器简介	1
(一) 交流接触器的吸力特性	2
(二) 交流接触器的反力特性	4
(三) 交流接触器的电磁吸力	5
二 交流接触器直流运行简介	10
三 交流接触器直流运行电路	14
(一) 直流运行电路工作原理	15
(二) 直流起动电路工作原理	24
(三) 交流接触器直流运行时吸力特 性及其与反力特性的配合	26
四 交流接触器直流运行电路的数值计算	28
(一) 铁心线圈等值电感的数值解法	29
(二) 二极管特性的分段线性化方法	32
(三) 电容、电感线性时域模型	32
(四) 电路计算	34
(五) 参数选择	38
五 交流接触器直流运行的应用	40
(一) 直流起动直流运行电路	40
1. 对释放时间没有要求的电路	40
2. 需要适时切断直流起动回路的电路	44
3. 采用电容器起动大阻值的小型接触器的电路	45
4. 利用充电电容器起动的电路	50
5. 起动与运行共用一个二极管的电路	57
6. 用电流互感器做直流运行电源的电路	59
7. 利用变压器代替降压电容的电路	62

8. 桥式直流运行电路	64
9. 采用公共电源的电路	65
(二) 交流起动直流运行电路	70
1. 交流起动直流运行电路之一	70
2. 交流起动直流运行电路之二	73
3. 交流起动直流运行电路之三	75
4. 交流起动直流运行电路之四	76
5. 采用公共续流回路的交流起动直流运行电路	77
(三) 交流电磁铁的直流运行	78
(四) 交流接触器直流运行在继电保护中的应用	82
1. 断相保护	82
2. 过流保护	84
(五) 交流接触器直流运行在绕线式异步电动机上的应用	86
(六) 交流接触器直流运行电磁机构小型化与整体化	87
六 交流接触器直流运行的常见故障	89
(一) 续流二极管 D_2 击穿	89
(二) 起动电路中的接触器常闭辅助触头熔焊	91
(三) 接触器主触头熔焊	91
附录	
1. 交流接触器吸引线圈参数汇总表	93
2. CJ12及CJ12B交流接触器技术数据表	94
主要参考资料	95

一 交流接触器简介

接触器是用来接通或断开交直流主电路的控制电器，它可以用于频繁操作、远距离控制，具有失压保护功能。接触器生产方便、成本低、用途广，是电气控制线路中量大面广的一种基础器件。据统计，电力系统中有一半以上的电能是通过接触器分配到各种用电设备的。

接触器的结构示意图如图 1 所示。

接触器主要由两部分组成：电磁系统和触头系统，电磁系统是动作部分，主要由铁心和线圈组成。线圈通电以后，在铁心中产生一个磁场，吸引衔铁，使衔铁向着铁心运动，并最终吸合在一起。触头系统是执行部分，动触头是与衔铁机械地固定在一起的。当动衔铁被铁心吸引而运动

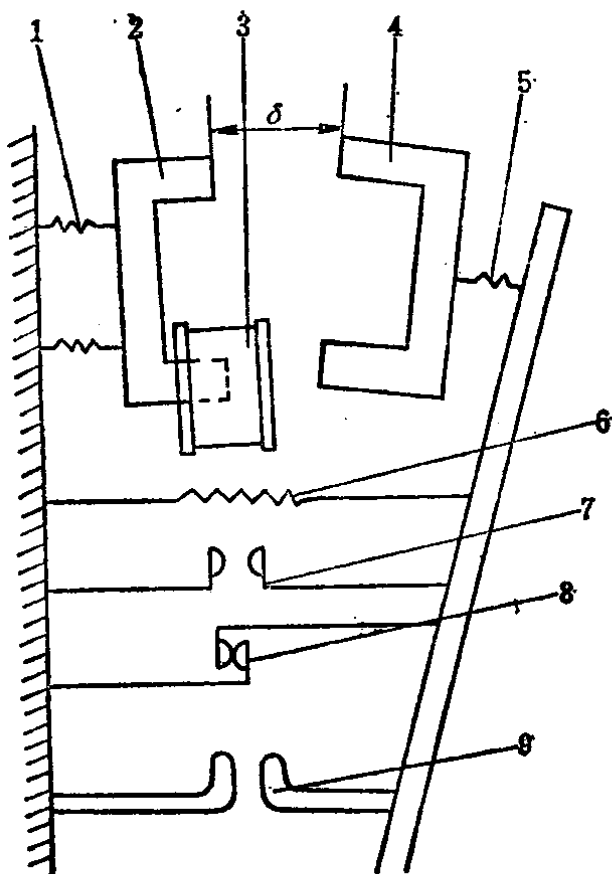


图1 接触器结构示意图

- 1、5—缓冲弹簧 2—铁心 3—线圈
4—衔铁 6—释放弹簧 7—常开触头
8—常闭辅助触头 9—主触头

是与衔铁机械地固定在一起的。当动衔铁被铁心吸引而运动

时，动触头亦随之运动与静触头闭合，动静触头闭合后，主电路便接通；当电源电压消失或显著降低时，线圈失去励磁或励磁不足，衔铁就会因电磁吸力的消失或过小，在释放弹簧等反力的作用下释放，脱离铁心，此时，和衔铁装在一起的动触头也与静触头脱离，切断主电路。

接触器分为直流接触器和交流接触器两种。直流接触器主要用于远距离频繁地接通与分断额定电压至 400 伏。额定电流至 600 安的直流电路，其线圈电源一般是直流；交流接触器主要用于远距离频繁地接通与分断电压至 380 伏、电流至 600 安的 50 赫或 60 赫的交流电路，其线圈电源一般是交流。接触器的主要控制对象是电动机。

当接触器处于静止状态或运动状态时，衔铁受到系统内各种力的作用，这些力主要有电磁吸力、释放弹簧反力、触头反力及缓冲弹簧作用力等，这些力的大小和铁心与衔铁之间的气隙有关系，下面就来分析这些力及其相互关系。

(一) 交流接触器的吸力特性

交流接触器线圈通电之后，衔铁将被铁心吸引而产生运动，这个平均电磁吸力与气隙的关系即 $F_x = f(\delta)$ 称为交流接触器的吸力特性。

当外加一个正弦电压于接触器线圈的两端时，铁心中将有交变磁通 ϕ 产生。在实际计算中，可把 ϕ 近似地看作是按正弦规律变化的，即 $\phi = \phi_m \sin \omega t$ ，这个变化的磁通使线圈两端产生自感电势，感应电势的大小与磁通的变化率有关，即

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -N\phi_m \omega \cos \omega t = -2\pi f N \phi_m \cos \omega t$$

当忽略线圈电阻上的压降时，此感应电势与外加电压相

平衡，即：

$$U \approx E = 4.44fN\phi_m \times 10^{-8} \text{ (伏)}$$

式中 f ——交流电源的频率 (赫)；

N ——线圈匝数；

ϕ_m ——磁通的最大值 (麦)。

由上式可得

$$\phi_m \approx \frac{U}{4.44fN} \times 10^8$$

可见，当外加电压为定值时，磁通的最大值也接近于定值，因而吸力也接近于定值。这是交流接触器的一个重要特性，它说明交流接触器的磁通 ϕ 基本上与气隙的大小无关，这就保证了在通电一开始（这时气隙最大）它就有足够的吸力。

由磁路的欧姆定律可知，磁势 IN 与磁通 ϕ 、磁阻 ($R_\delta + R_m$) 之间的关系为：

$$IN = \phi(R_\delta + R_m)$$

式中 R_δ ——气隙磁阻；

R_m ——铁心磁阻。

在具有气隙的磁路中，由于 $R_\delta \gg R_m$ ，所以在计算时往往忽略铁心磁阻 R_m ，而只考虑气隙磁阻 R_δ ，将各参数代入上式则有

$$\sqrt{2} IN = \phi_m \cdot R_\delta \times 10^{-8}$$

由此得

$$I = \frac{UR_\delta}{4.44\sqrt{2}fN^2}$$

由这个公式可以看出，电流 I 的大小与气隙磁阻成正比，气隙越大，即磁阻越大电流越大，这就是说大气隙时的

足够吸力是靠大电流来保证的。如果把磁阻 R_0 与线圈电感 L 联系起来就更好理解了,气隙大时,即磁阻 R_0 大、电感 L 值小,因 $I = \frac{U}{\omega L}$,故电流

就大;反之,气隙小时,电流亦小。随着衔铁的移动,气隙随之改变其大小,电流便随之调整其大小。当交流接触器处于释放位置时,其气隙最大,需要很大的起动电流;当运动及至衔铁吸合时,电流便减小到额定值。在整个吸合过程中, ϕ 值变化不大,交流接触器的吸力特性与直流接触器的吸力特性相比较,要平坦得多,如图2所示(直流接触器的线圈电流在吸合过程中是不变的,当气隙减小时, ϕ 增加,吸力增加很快,吸力特性比较陡直)。

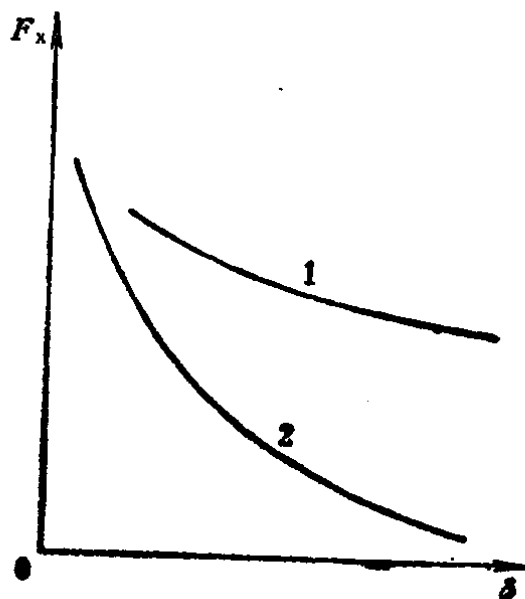


图2 交、直流接触器吸力特性
1—交流接触器吸力特性 2—直流接触器吸力特性

(二) 交流接触器的反力特性

作用在衔铁上的反力主要有:复位弹簧(即释放弹簧)的反力、触头的反力以及可动部分的重量等。反作用力与气隙的关系,即 $F_r = \varphi(\delta)$ 称为反力特性,如图3所示。横轴下方有斜线阴影的部分表示常闭触头的反力与气隙的关系,在起始位置 δ_0 处,常闭触头反力最大,随着气隙的减小,常闭触头反力也减小,直至气隙为 δ_1 时,常闭触头分断,常闭

触头反力减到零。由于常闭触头的反力对动铁心的运动起推动作用，所以将其画在横轴的下方，表示是一种“负”反力。

当衔铁运动至气隙为 δ_2 时，常开触头的动静触头开始接触，触头反作用力突然加到衔铁上，如图3中竖线阴影部份所示。由于常开触头反力是阻碍衔铁运动的，所以将其画在横轴的上方。随着气隙的减小，常开触头反力逐渐增大。

在衔铁上始终作用着释放弹簧的力；衔铁的重量对它也起释放力的作用（这要视其安装位置而定），这两种反作用力与气隙的关系如图中斜线ab所示，它随气隙的减小而线性地增大。

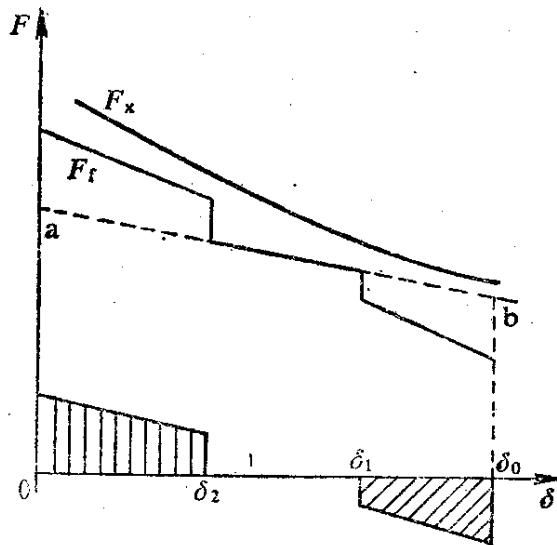


图3 交流接触器的反力特性

总的反力特性为这三部分反力特性之和，如图中折线 F_r 所示。通过调节释放弹簧可以使反力特性 F_r 沿纵轴方向上下移动，即调节了反力的大小。

为了使接触器能正常地工作，在衔铁吸合过程中，电磁吸力必须始终大于反作用力，即应保证吸力特性 F_x 始终在反力特性 F_r 的上方，为了保证接触器的电磁性能良好。二者之间必须配合恰当。

（三）交流接触器的电磁吸力

前面“交流接触器的吸力特性”一节，讲的是平均电磁

吸力与气隙 δ 之间的关系，那末，交流接触器在各个瞬时的电磁吸力是多大呢？下面就来分析这方面的问题。

交流接触器吸合后，其励磁线圈中流过的是交变电流，因此，铁心衔铁之间的电磁吸力也是随时间变化的，各瞬时的电磁吸力可作如下分析。

当外加电压按正弦规律变化时，在实际计算中，可以把铁心中的磁通 ϕ 也看作是按正弦规律变化的，即

$$\phi = \phi_m \sin \omega t$$

其电磁吸力为

$$\begin{aligned} F &= \left(\frac{\phi}{5000} \right)^2 \cdot \frac{1}{S} = \left(\frac{\phi_m}{5000} \right)^2 \cdot \frac{1}{S} \sin^2 \omega t \\ &= \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t \end{aligned}$$

式中 S —— 铁心横截面积；

$$F_m \text{——吸力最大值, } F_m = \left(\frac{\phi_m}{5000} \right)^2 \cdot \frac{1}{S};$$

上式指出：交流接触器的电磁吸力有两个分量，一个是直流分量，其值为最大吸力 F_m 的一半，即 $F_0 = \frac{1}{2} F_m$ ，另一个是交变分量，其幅值也为最大吸力 F_m 的一半，其频率为电源频率的二倍，即 $F_{\sim} = F_0 \cos 2\omega t$ ，电磁吸力的瞬时值在 $0 \sim F_m$ 之间变化，电磁吸力的平均值等于直流分量的数值，如图 4 所示。

交流接触器吸合后，其衔铁仍受反力之和 F_r 的作用，所以必须保证电磁吸力的平均值始终大于反力 F_r ，方能保持吸合状态。由于电磁吸力是在 $0 \sim F_m$ 之间变化的，因而就会出现某些时刻的电磁吸力小于反力 F_r ，接触器有释放的倾向，如图 4 中画斜线的阴影部分；但是，很快就被另一时刻的电

磁吸力大于反力 F_f 所挽回。这就是交流接触器产生振动和噪声的原因。

为了消除振动和噪声，可采用加分磁环的办法，即在铁心的端部极面上开一个槽，槽内嵌入一个铜环（即分磁环），如图5a所示。

安装分磁环之后，主磁通 ϕ 可分为 ϕ_1 、 ϕ_2 两部分： ϕ_1 不穿过分磁环， ϕ_2 穿过分磁环。 ϕ_2 在分磁环内产生感应电势 E_{k0} 和感应电流 I_k ， I_k 又产生磁通 ϕ_k 。这样，在

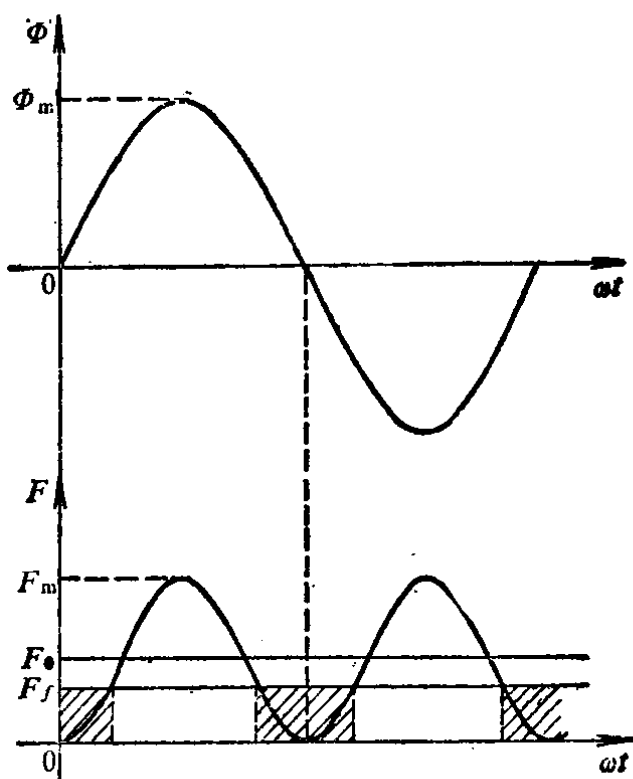


图4 交流接触器电磁吸力曲线

分磁环内外的合成磁通分别为 ϕ_{2k} 和 ϕ_{1k} ，两者之间的相角差为 φ_k 。 ϕ_{1k} 和 ϕ_{2k} 产生的电磁吸力 F_{1k} 和 F_{2k} 也相差一个角度 φ_k ，两者不同时为零。

如果分磁环设计得比较合理，即 φ_k 角近于 90° ，并且 F_{1k} 和 F_{2k} 也近似相等，如图5c所示，则合成吸力 F 波形就相当平稳，它的交变分量 $F_{\sim m}$ 便很小，平均吸力 F_0 则比较大，这时极面上的最小吸力为

$$F_{\min} = F_0 - F_{\sim m}$$

只要在任何时刻，电磁吸力能满足

$$F_{\min} > F_f,$$

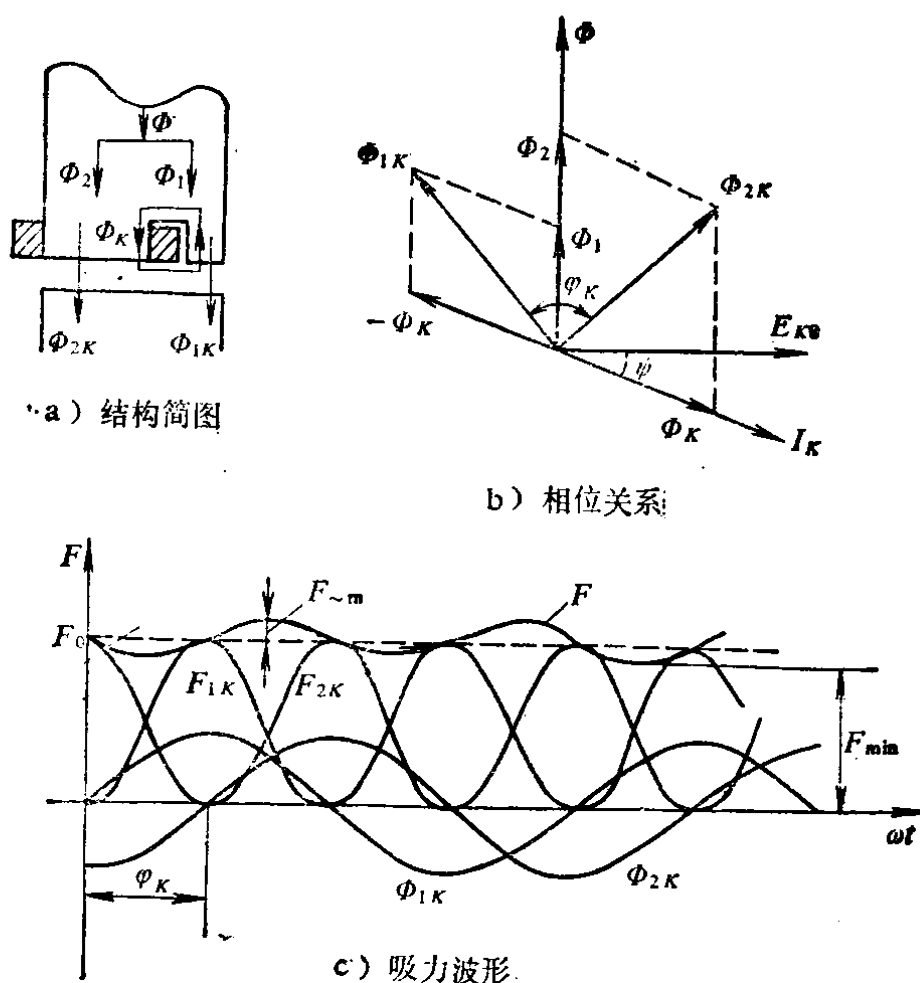


图5 分磁环的作用

那末，交流接触器就不会产生振动和噪声。

分磁环固然在消除交流接触器的振动和噪声方面起了很大的作用，但是也带来了一些问题：首先，是由于分磁环的存在，电能损耗增加了，为了减少损耗，就必须使线圈采用较粗的导线，而且由于铁心温度的升高，影响接触器的寿命。由于电能损耗取决于分磁环中感生电流的平方与分磁环的电阻之积，即 $I_K^2 R_K$ ，为了能让 ϕ_{1K} 与 ϕ_{2K} 之间有较大的相位差，使吸力交变分量的最大值 F_m 尽可能地小，最小吸力 F_{min} 尽可能地大，就必须使产生 ϕ_K 的 I_K 大一些，可见， ϕ_K 角的产生与能量的损耗是分不开的；其次，铁心极面的磁通密

度是不均匀的，即 $B_{1m} > B_{2m}$ ，由于磁性材料的非线性， B_{1m} 不能过大，结果是铁心材料的利用率受到了限制；另外，为了嵌装分磁环，必须在完整的铁心极面上开槽，这就降低了极面的机械强度；而且，由于分磁环一般是用铜制作的，这在机械强度上是一个薄弱环节，事实说明，许多交流接触器的机械寿命不太高，往往是由于分磁环断裂所致，在使用交流接触器时，必须对此加以注意。

交流接触器的损耗主要有：线圈的铜损、铁心的铁损及短路环的损耗等，总的损耗可以在电路运行数据中反映出来，可利用如图 6 所示的电路，测出交流接触器的线圈电压 U 、电流 I 、功率因数 $\cos \varphi$ ，从而求出有功损耗为

$$P = UI \cos \varphi$$

需电源提供的无功功率为

$$Q = UI \sin \varphi$$

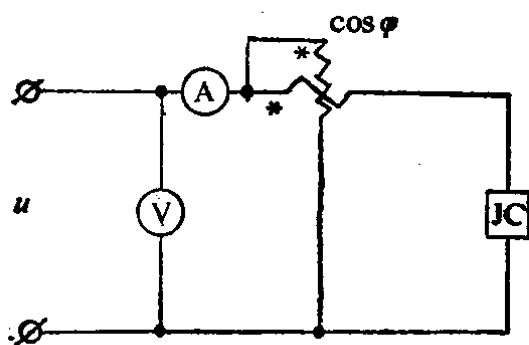


图6 交流接触器功耗测量电路

二 交流接触器直流运行简介

交流接触器投入运行时，虽然吸力方向始终不变，但其数值大小却在不断地变化，变化频率为电源频率的两倍，使铁心不断振动，发出噪声。虽然，人们采用安装分磁环的办法来减小振动和噪声，但往往由于衔铁铁心极面贴合不紧、或端面锈蚀、或沾染油污尘埃等原因，使吸力下降，仍会发出较大的噪声。

噪声对人体的损害是很严重的。噪声在45分贝时可影响人们的睡眠；在65分贝时对工作、学习就有影响；严重的噪声还会引起一系列生理和心理上的不良反应，产生多种病症。

交流接触器的噪声，不仅造成对工作环境的污染和影响现场操作工人的身心健康，而且，交流接触器的振动使得主触头的磨损加剧，使铁心和其它零件不断承受振动冲击而易于损坏；另外，交流接触器不仅消耗许多有功功率，使接触器温升高，寿命降低，而且，其功率因数很低，需要由电网供给较多的无功功率。

为了解决交流接触器的振动和噪声，曾在交流接触器上采用过附加机械锁扣和脱扣线圈的办法，其结构如图7a所示，其控制电路如图7b所示。按下起动按钮QA，交流接触器线圈JC通电起动吸合，电动机D起动运转，松开QA，交流接触器线圈JC断电，由于机械锁扣机构已钩住，所以，交流接触器能保持吸合状态，并不因线圈断电而释放，实现了交流接触器的无声运行。如欲停止电动机的运转，只要按下停止

按钮TA，释放电磁铁T通电，机械锁扣解扣，交流接触器释放。其中，热继电器RJ起过载保护作用。

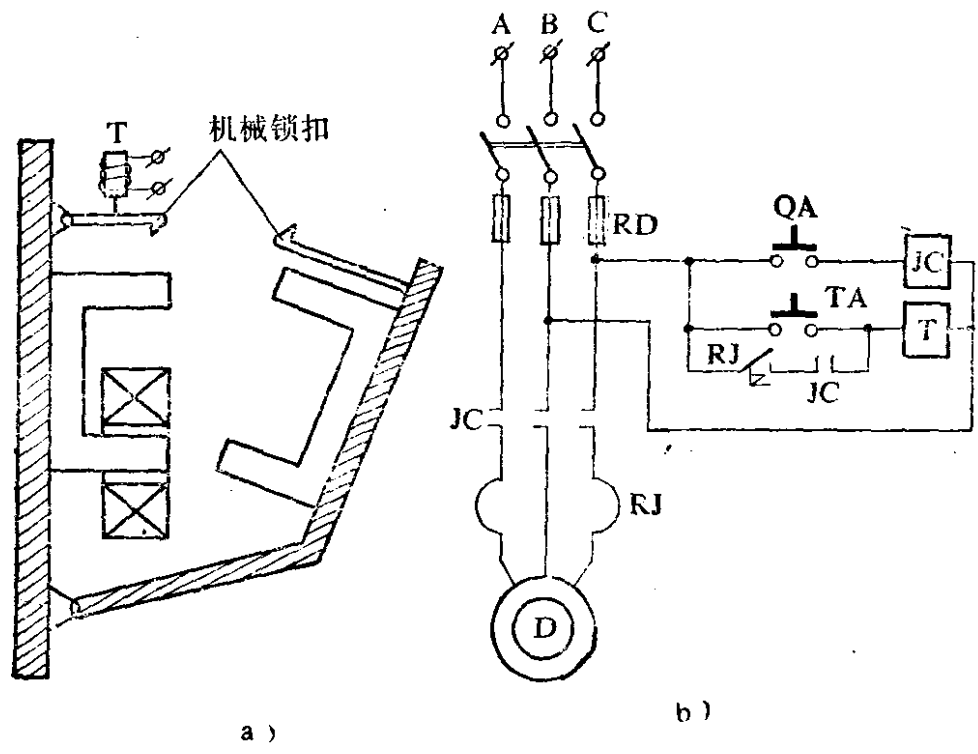


图7 带机械锁扣的交流接触器及其控制电路
a) 结构简图 b) 电气原理图

这种交流接触器的无声运行，完全消除了交流接触器的损耗和噪声，是较理想的运行方案，只是由于机械锁扣机构和释放电磁铁的安装及调整比较复杂，维修工作量较大，影响了这一方法的推广。

为了解决交流接触器的振动和噪声，人们又采用了如图8所示的交流接触器直流运行电路。它保留原有交流接触器的一切结构和参数，不需任何附加的机械加工，仅增加两只硅二极管、一个电容器和一个电阻，使交流接触器的线圈直流强励磁起动吸合，并自动转入直流运行。在这种运行状况下，不仅消除了交流接触器的振动和噪声，而且有显著的节电效果。

交流接触器的直流运行方式与交流运行方式比较，具有如下优点：

(1) 运行稳定、无噪声

交流运行时，吸力是脉动的，会产生很大的振动和噪声；直流运行时，线圈JC中流过的是比较平稳的直流电流，吸力基

本上是恒定的，因而运行稳定，无噪声，改善了运行环境，有利于工人的身心健康。

(2) 节约电能、延长接触器寿命

交流运行时，铁损和分磁环损耗都很大，这些损耗变为热能，使铁心、线圈和分磁环的温升很高，使线圈及分磁环的寿命减低。实践经验表明，中等容量以上的转动式交流接触器在正常交流运行时的铁损和分磁环损耗占交流接触器总损耗的91.5%，改为直流运行后，铁损和分磁环损耗几乎完全消除，铜损也由于工作电流较小而有所降低，因而节电效果是很显著的，一般在92%以上，另外，由于电容C的接入，还能向系统输送无功功率，用于改装而投入的费用，一般在半年至一年的时间内可以收回。

由于损耗大为减少，使接触器线圈温升大为降低，提高了线圈的寿命。由于消除了振动，因而减轻了主触头的磨损，也减少了其它零件的损坏，使接触器的寿命大为提高，减少了维修费用。另外，交流接触器和交流电磁铁还常常由于机械故障使衔铁不能吸合，导致线圈烧毁，采用直流运行

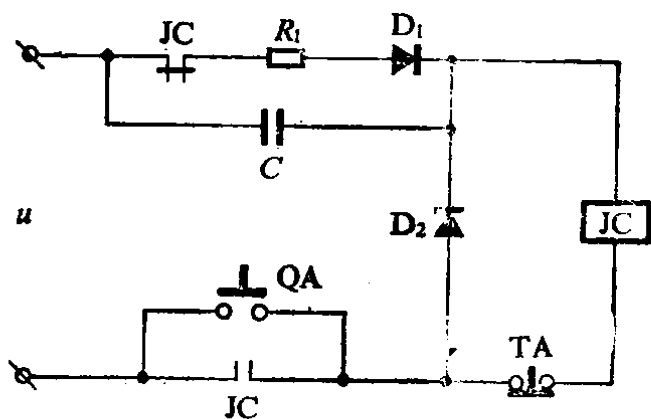


图8 交流接触器直流运行原理图