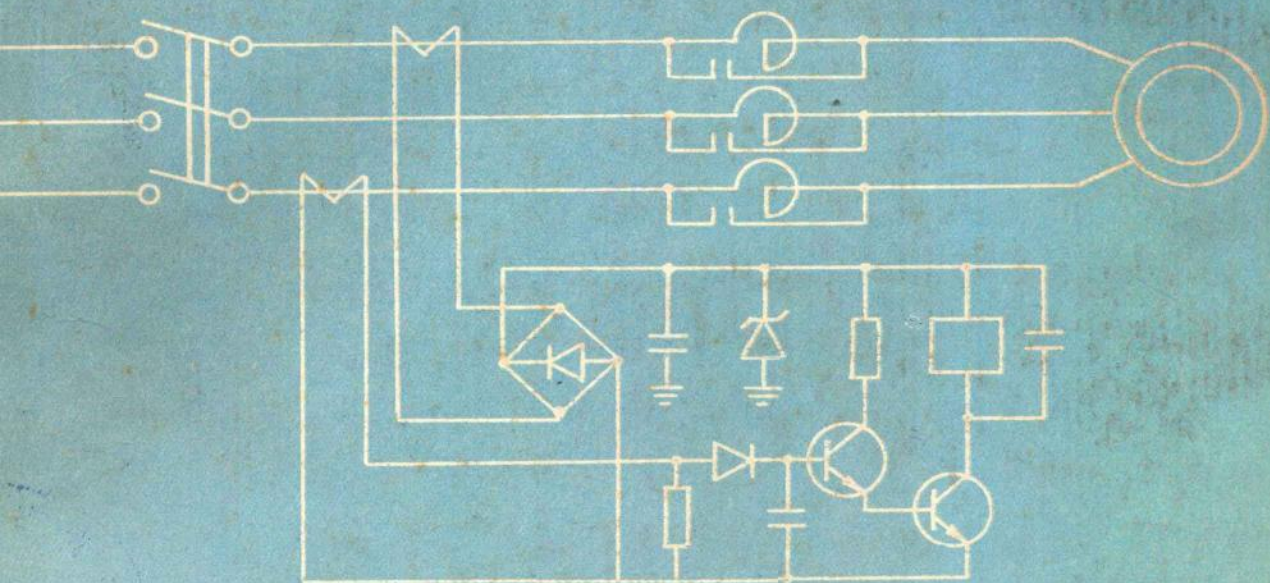


电动机节电技术



浙江省科技情报研究所

前 言

电动机是一种重要的原动力设备，其应用遍及工农业生产和生活服务各个领域。据有关方面统计表明，电动机用电比例约占总发电量的65—70%左右。这些电能是通过电动机转换为机械能的过程中，由于种种原因，有相当部分的电能被无谓损耗掉。尤其是在目前电力供需矛盾突出的情况下，避免或减少这种电能损耗，已引起各方面的日益关注。

造成电动机使用中电能浪费的原因很多。归结起来看，主要有：电动机在使用中组织管理不善；生产设备与配用的电机不合理；生产工艺和设备落后陈旧致使电力消耗增多；电动机运行、控制方式不当等等。这些问题只有通过各种不同的方法、途径，采取相应的技术措施才能予以解决。

在上述这些问题中，我们侧重关心的是由于电动机运行不合理、控制方式不当而导致电动机运行中造成电能无谓损耗问题。譬如，有些机械的负荷轻重变化频繁，造成电动机不能稳定地在最佳效率区域内运行；设备的设计要求决定电动机容量不能减小，但实际使用中却经常处于、甚至长期处于额定负载的50%以下运行；因生产设备性能或操作工艺需要，电动机运行中占有大量空载运行时间和辅助工时；需要流量能予调节的风机性负载作恒速运转等等。这些并非能靠改善组织管理、“大马换小马”等手段予以解决，唯有通过技术改造，研

究、采用各种节电技术方能见效。

近年来，我省和兄弟省、市在开展电动机运行、控制方面的节电技术改革中，研制成很多电动机节电技术（装置）。并经实践证明，在解决上述的问题中，取得了显著节电效果。我们通过收集整理，编辑成“电动机节电技术”专集，供我省从事电动机节电工作的同志作借鉴与参考。对于资料中所介绍的每一实例，我们在技术上作了尽可能详细的介绍。

本资料分为四个部分。第一部分，交流电动机变压节电运行。实现电动机变压运行的方法很多，例如，电动机Y— Δ 变换、可控电抗变压运行、可控硅调压运行、控制功率因数节电等，都是目前广为采用的一些节电技术。它们的共同特点是，通过检测、反馈电动机运行中不同参量，经相应的各种控制电路，调整电动机外加电压，使电动机出力与负荷处于最合理的匹配，从而提高电动机效率，减少无功功率和有功功率的损耗。第二部分，交流电动机变速运行节电。电动机变速运行方式很多，这里主要介绍采用可控硅技术，解决企业在生产过程中，因不同工艺、产品等要求，需要不同的机械运行速度，以及对风机性负载实行变速运转节电的实例。从这些事例可以看到，实现电机变速运行后，不仅能满足生产要求，节约相当可观有功电能，有些装置还可向电网馈送无功电能。第三部分，电动机效率测试。考核电动机运行效率、经济性和节电效果，是电动机节电工作中必不可少的一环。鉴于目前大多数企业都缺少专门测试仪器，以及现场测试并不要求有完整的电动机效率等曲线，我们介绍一些简单可行、有一定测试精度保证的计测方法，供进行测试时参考。第四部分，交流接触器无声运行。这是当前较为成熟的一项节电技术。我们介绍的目的，

是为了在进行电动机节电工作的同时，对其相应的电器控制部分中接触器加以改革，以期取得更好节电效果，并期望能对当前正在开展的交流接触器改造工作有所帮助。

应该指出，本资料收集的各个电动机节电实例，都是针对他们各自遇到的问题而采取不同的节电方法，所涉及的各种电气线路也有简有繁，各有千秋，有些则尚属初期研制阶段。因此，我们在学习他们的经验时，应根据本单位的实际情况，有所选择，有所创新，以期取得更大的节电效果，并为我省电动机节电工作开创更多更新的路子。

限于我们对材料收集范围不广，还有大量先进的电动机节电技术未被猎及。同时，由于我们的水平有限，内中错误在所难免，请读者批评指正。

一九八二年十一月

目 录

第一部分 交流电动机变压节电运行

一、DZJ型电动机节能器.....	(1)
二、异步电动机控压节电器.....	(2)
三、采用双向可控硅的三相异步电机节电器.....	(4)
四、YJ型三相异步电动机调压节电器.....	(6)
五、适于织机电机的JNQ—F型省能器.....	(10)
六、冲剪机床电机改成星—角转换运行.....	(12)
七、星接法电动机的JD— Δ 型晶体管节电器.....	(13)
八、机床电机Y/ Δ 切换运行的几种线路.....	(18)
九、ZH—1省电器.....	(24)
十、继电器接触控制的Y/ Δ 自动切换装置.....	(27)
十一、电动机自动倒换接线.....	(33)
十二、机床电机简易节电装置.....	(34)
十三、采用离合器传动的压机节能控制线路.....	(36)
十四、大型机床应用Y— Δ 自动切换节电技术.....	(39)
十五、Y— Δ 切换节电在龙门刨床的应用.....	(40)
十六、改革车床控制电路 实行Y/ Δ 自动切换.....	(42)
十七、机床电机的省能装置.....	(44)
十八、异步电动机Y— Δ 运行节电的探讨.....	(47)
十九、机床拖动的异步电动机采用Y— Δ 变换可以节电.....	(51)
二十、电抗调压节电.....	(56)
二十一、单相交流感应电动机的节能装置.....	(58)
二十二、织机电机变压运行节能器的设计与应用.....	(61)
二十三、DJD—I型小容量电动机节电器.....	(65)
二十四、切削机床节电技术.....	(71)
二十五、车床电动机在车头停半分钟后再停止运转.....	(72)
二十六、机床空载运行自动停车装置.....	(73)
二十七、锅炉链条炉排的节电控制.....	(74)

第二部分 可控硅变速运行节电

一、KGJA—I型可控硅串级调速装置.....	(77)
-------------------------	--------

二、锅炉风机可控硅串级调速.....	(81)
三、镗床主轴可控硅无级调速.....	(94)
四、磨木机链条传动可控硅自动调速.....	(96)
五、双层布夹丝光机可控硅直流调速.....	(101)
六、水泥回转窑尾排风机可控硅串级调速.....	(107)

第三部分 电动机效率测试

一、小型三相异步电动机任意负载下有功损耗和无功功率的计算.....	(113)
二、用单相有功电度表测功率因数.....	(116)
三、用有功功率表测量无功功率的方法.....	(119)
四、确定三相异步电动机最高效率时输出功率和功率因数.....	(121)
五、用日光灯测定电动机有功负荷.....	(123)
六、泵与风机的运行特性测试.....	(125)

第四部分 交流接触器无声运行

一、交流接触器无声运行.....	(139)
二、采用锁相控制技术的接触器直流运行线路.....	(143)
三、交流接触器直流运行的电路分析.....	(146)
四、交流接触器线圈无电压运行.....	(151)
五、交流接触器节电运行改进.....	(153)
六、接触器线圈桥式整流供电无声运行.....	(155)
七、交流接触器直流运行的电源的几个问题.....	(162)
八、交流接触器直流运行的公用电源.....	(166)

一、DZJ型电动机节能器

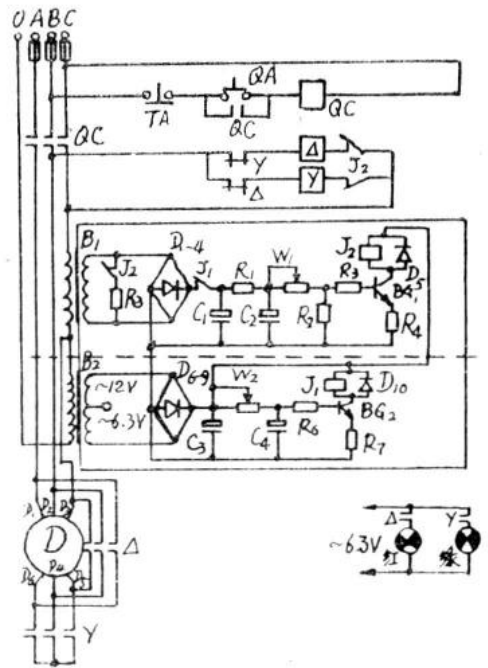
浙江农大校办节电器厂设计、试制成功了一种电动机“ Δ —Y”自动变换的DZJ型节电器。

节电器的结构如图所示。图中框线内表示节电器结构的平面。线路分两个部分，上半部为延时电路，下半部为开关电路。

节电器的基本原理是， Δ 接法的电动机(380伏)，采用变换“ Δ —Y”接线方法，即当电动机在空载或轻载中启动时，可选择Y接法启动，改变电动机启动性能，又减小启动电流，节约启动时的电耗。启动后，若仍无较大负载，电动机仍按Y接法运转，直到负载率超过0.3~0.4时，电动机自动切换成 Δ 接法运转；一旦负载减小，再自动返回Y接法运转。从而达到节电目的。

节电器的工作过程：启动时，将 W_2 调到一定值，继电器 J_1 不动作， BG_2 基极无电压，继电器 J_2 也不动作，此时电动机呈Y接法运行。启动后， J_1 动作，但电动机负载未超过 W_1 调整的整定值时， BG_1 仍截止， J_1 也不动作。随着电动机负载增加到超过整定值时， BG_1 导通， J_2 得电后动作，电动机便自动切换成 Δ 接法运转。此时，电阻 R_5 并接于互感器次级两端，增加 J_2 释放时的负载电流，减少回差（即Y— Δ 切换和 Δ —Y切换的电流差）。当负载减小， BG_1 基极电流也随之减小，直到 BG_1 截止。 J_1 失电释放，电动机便又返回Y接法运行。

该节电器适用于 Δ 接法380伏的电动机。DZJ—1型为直接式，用于4.5~20千瓦的电动机，DZJ—2型要配以适当电流互感器，可用于20千瓦以上的电动机。切换灵敏度均为0.7安。经实际应用，有功电流可节约20~30%，无功电流可节约60~70%，功率因数普遍提高一倍多。



二、异步电动机控压节电器

浙江湖州永昌丝织厂针对电动机在空载或轻载时，致使电机效率及线路功率因数降低（图1），造成电能浪费的问题，研制了异步电动机控压节电器。

通常电动机的输入电压是恒定的，电动机负荷越轻，效率、功率因数也越低。当电动机处于轻载时，如果降低电动机输入电压，使电动机处于一经济运行的电压内，则电动机就等于由原来轻载运行变为“满载”运行，从而降低电动机损耗，达到提高效率，改善线路功率因数目的。控压节电器就是按不同负荷，自动调节输入电压，使电机出力、功率因素及用电量都处于较佳状态。其控压原理见方框图（图2）。当电动机负荷增大时，功率因素 $\cos\phi$ 也增大，三相输入电压 U 也增大，电动机出力提高；电动机负荷减小，功率因数 $\cos\phi$ 减小，三相输入电压 U 也随之减小，电动机出力降低。

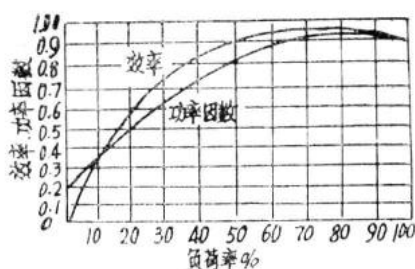


图1 电动机负荷与功率因数、效率关系

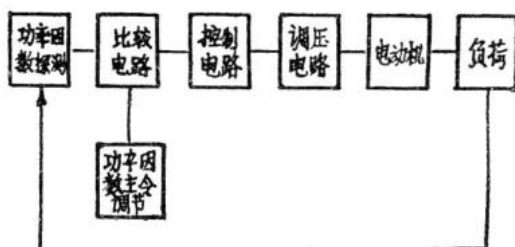


图2 控压节电器方框图

控压节电器能自动调节 P 、 F 、 C （ P 为输入功率， F 为出力， C 为功率因数）。当电动机输出电压调整到恰好与负荷匹配时，用电最省。电动机降压后的输出功率可用下式表示：

$$W = W_H \left(\frac{V}{V_H} \right)^2$$

式中： W ——输出功率； W_H ——电动机额定功率； V ——降压后的电压； V_H ——电动机额定电压。

控压节电器的电气原理图见图3。

节电器的调压元件，采用可控电抗器（图4）。它是由冷轧硅钢片铁芯和装在铁芯上的绕组所组成。在绕组中，分别通入直流和交流电。改变直流电流的大小，铁芯的饱和程度随之改变，交流电路中的电抗也发生改变，从而达到控制电动机电压的目的。采用可控电抗器能承受较大的过电流、过电压的冲击，可靠性好，久经耐用，成本低，容量大，能适应各种频繁起动、可逆运转的机械设备。且避免了一些电子元件对电网的干扰现象。

控压节电器经较长时间试运转，性能稳定，节电效果良好，有功节电率在5~40%，无功节电率在20~70%，见图5。

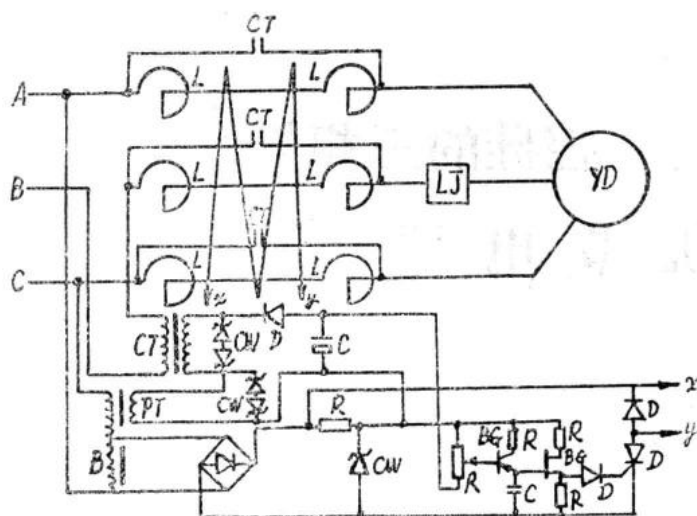


图3 节电器电气原理图

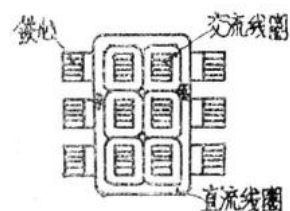


图4

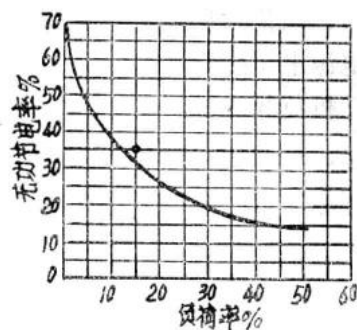
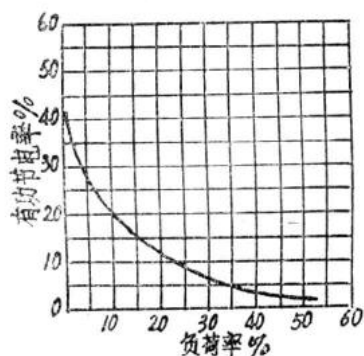


图5

从图5可见，当电动机负载越轻，节电越多，故对负载较轻或负载变化较大的机床，如车床、刨床、钻床、油压机等，均有显著节电效果。

控压节电器结构简单，使用中不需要作任何改动，只要将节电器串入电动机的主回路便可。该厂目前生产有JD—A空载节电器（0.6~1KW），1KW、3KW、10KW控压节电器，其主要技术规格列于下表。

节电器	1 KW	3 KW	10KW	空载节电器
额定电压 (V)	380	380	380	380
输出电压 (V)	180~375	200~375	220~375	150~160
输出功率 (KW)	1	3	10	0.6~1
输出电流 (A)	3.5	10	25	
重量 (kg)	6	14	25	1.5
体积 (cm ³)	10×19×19	25×10×9	31×21×14	11.5×13×11
调压结构	三相共芯式	三相六铁芯式	三相六铁芯式	

三、采用双向可控硅的三相异步 电机节电器

该节电器是杭州机床电器厂研制成功的，它是利用电子装置不断检测电动机的负载和电源电压的变化，来控制电动机主电路上的双向可控硅，自动调节电动机的输入电压值，达到提高功率因素、降低损耗、提高效率、节约电能的目的。

电动机是电感性负载，其电流 i 落后于电压 U 一个相位角 ϕ ，如图 1 所示。当电动机拖动的负载增大时，相位角 ϕ 自动减小；反之，负载减小时，相位角 ϕ 自动增大。而电源电压波动时，相位角也会随之变动。电源电压升高，相位角 ϕ 增大；电源电压降低，相位角 ϕ 减小。因此，相位角 ϕ 既能反应电动机负载变化，又能反应电源电压的波动，是一理想的控制量，可利用相位角 ϕ 通过电子装置转换成触发控制角，来控制电动机主电路上的双向可控硅。

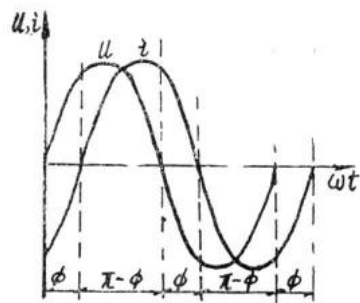


图 1 电压和电流相位关系

假设在 ϕ 角部分把双向可控硅关断，而在 $(\pi - \phi)$ 角部分使双向可控硅导通。这样，当负载增大或电源电压降低时，相位角 ϕ 自动减小，即 $(\pi - \phi)$ 角增大，电动机两端的电压有效值增大；反之，当负载减轻或电源电压升高时，相位角 ϕ 自动增大，即 $(\pi - \phi)$ 角减小，电动机两端的电压有效值减小。这样，就可不断检测电动机负载变化和电源电压的波动，自动调节输入电动机的电压，以达到提高功率因数、降低损耗、提高效率、节约电能的目的。

图 2 是控制线路的原理方框图。电压信号发生器是一个降压变压器，取自电压信号发生



图 2 控制线路原理方框图

器的电压信号输入电压方波发生器（可采用运算放大器），其输出为一组方波，与电源电压同相。同理，电流信号输入方波发生器的输出亦为一组方波，但相位与电流同相。而这两组方波相位差为 ϕ 。将这两组方波同时输入信号比较器（可采用运算放大器），从而得到一组宽度与 $(\pi - \phi)$ 成比例的脉冲，经触发器后，输出一组具有一定功率、一定相位的触发信号，去控制双向可控硅。同理，可得到其它两组触发信号。三个触发信号分别触发三个双向可控硅，控制三相异步电动机。

图 3 是电动机的接线图。双向可控硅 T_c 串入电动机电路，将 A B 相的电压 接到电压信号发生器，同时从 A 相的电阻 R 取出电流信号，接到电流信号发生器，将三个双向可控硅的控制极接到节电器的触发器，调节节电器上的三个旋钮，使三相电流平衡后，电动机即可投入正常运行。当电动机所拖动的负载发生变化时，由于节电控制器是一闭环控制系统，故能自动瞬时调节，达到节约最大电能的目的。

节电器采用双向可控硅电子元件，控制灵敏度高，不消耗无功电能，节电效果显著。电动机负载与节电百分数的关系如图 4 所示。当电动机负载率为 40% 至满载运行时，节电为 8~25%；当负载率为 20~30% 时，节电 35~45%；空载运行时，节电 50% 以上，最高达 75~80%。

该节电器自 81 年 9 月起，在有关工厂的拉丝机、浆纱机、牛头刨床、冲床等设备上运行表明，性能稳定，工作可靠，节电效果显著，实测节电 30% 左右，且节约了大量无功电能。它适用于 Y 型和 Δ 型联接的各种容量三相异步电动机。

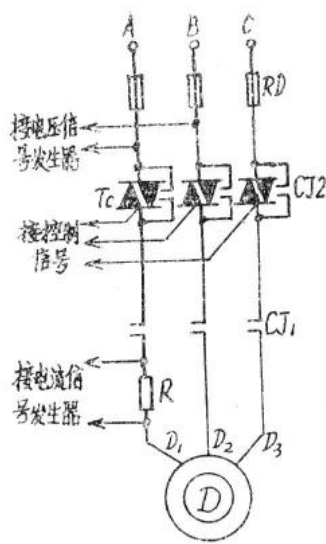


图 3 电动机主电路

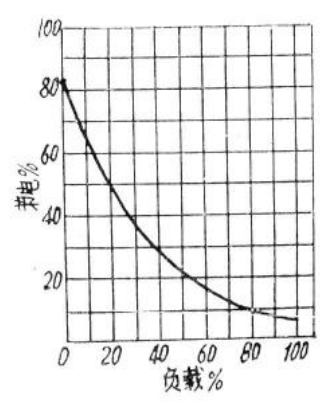


图 4 节电百分数与负载率关系

杭州机床电器厂

四、YJ型三相异步电动机节电器

电动机节电器应具有线路简单、性能可靠、成本低、便于基层单位使用与维修等特点。根据这些要求，丽水师专与丽水机床厂协作试制成采用开环调节方法的YJ型三相异步电动机节电器。

一、节电器开环调压原理

电动机工作过程中的功率消耗关系见图1。

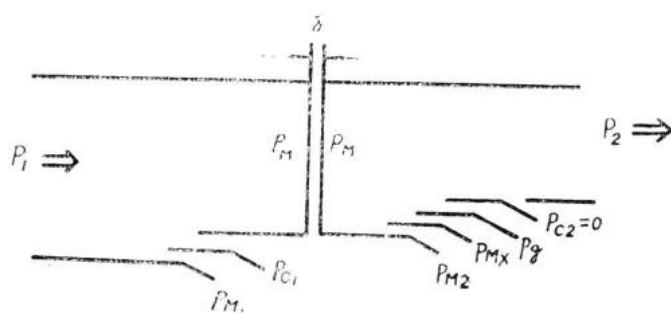


图 1

图中： P_1 —输入有功功率； P_{m1} —定子绕组铜损； P_{ci} —铁芯激励损失； P_m —气隙中电磁功率； P_{m2} —转子绕组铜损； P_{mx} —通风、摩擦损耗； P_g —杂散损耗； P_2 —输出机械功率。

从图1可知，所谓节电，实质上就是在保证供给所需的机械功率 P_2 前提下，设法减少电动机的有功和无功电能的损耗，以提高电动机的效率 η 和功率因数 $\cos \phi$ 。电动机的负载越轻， η 和 $\cos \phi$ 则越差，因而其节电潜力也越大。如果在电动机轻载时，适当地降低电动机端电压，以此提高 η 和 $\cos \phi$ ，就可节约很大的无功和有功电能。我们以JO₂—32—4、3KW的电动机作了降压试验，得到了电动机在不同端电压时的无功功率损耗曲线如图2，有功功率损耗曲线见图3。

从这二簇曲线可见，降低电压可以节约较多的无功电能。对有功损耗来说，额定效率低的节电较多，负载率 P_2/P_N 小时节电多。因此在设计时，我们采用将电动机端电压根据负载的变化，并以最佳节电为原则加以跟踪增减的开环调压方案，并在电机负载达到50%左右时，将节电器短接。整个节电器的电气原理图见图4。图中Z为单铁芯圆柱型三相电抗器，CJ₁、CJ₂为交流接触器，R₁、R₂为分流电阻。节电器动作由电流加以控制，其整个工作过程可叙述如下：

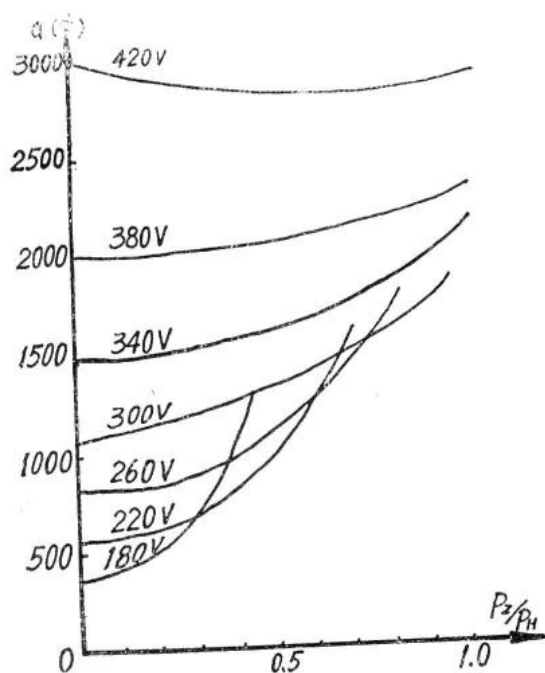


图 2 $Q = f(P_2/P_{11})$

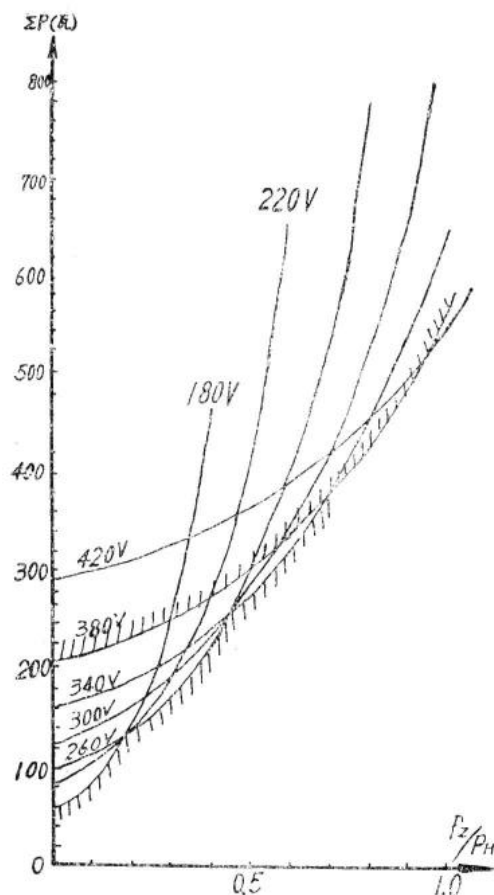


图 3 $\Sigma P = f(P_2/P_{11})$

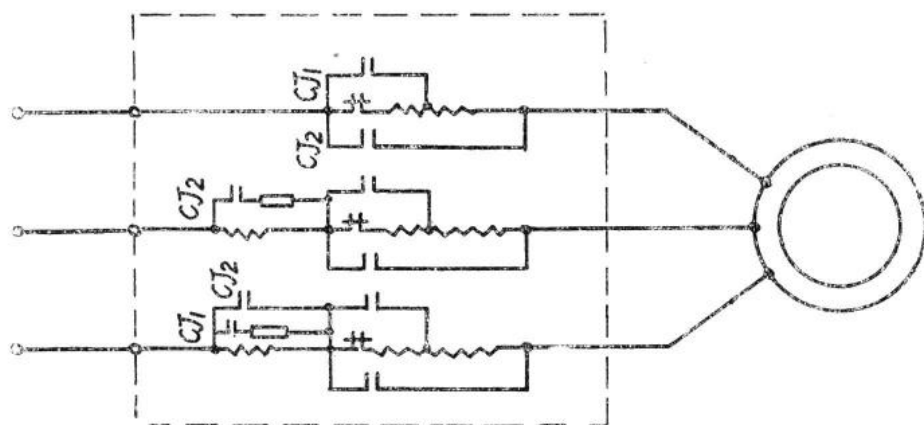


图 4 节电器原理图

1、电动机空载时，交流接触器均不吸合，三相电抗器串入电路，电动机降压运行以节电。

2、当电机负载增加，电机电流随之增大，到负载率 $\geq 25\%$ 时，第一级接触器动作，三相电抗器的感抗减小，电动机的端电压适当增加；如果电机负载继续增加，电机电流也继续

增加,到负载率 $\geq 50\%$ 时,第二级接触器也开始动作,将三相电抗器短接,电动机在电网电压下运行。

3、当电机负载又变小时,电机的电流随之减小,使第二级、第一级接触器相应释放,电动机又恢复降压节电运行。

4、电动机起动时,开始是降压运行,待起动电流足够大时,第一级、第二级接触器相继动作,三相电抗器被短接,电动机全压起动。

节电器线路的主要特点:

1、采用单铁芯园柱型三相电抗器。

电抗器三相绕组在空间互差 120° ,通入三相交流电后将产生旋转磁场。因此它有下列优点:

(1)磁链紧凑,磁性能良好——三相对称性好;

(2)节约材料,减少损耗——可节约硅钢片30%左右;节约漆包线50%左右。因此减少了铁耗和铜耗;

(3)三相绕组分散在若干槽中,对散热和绝缘性能均带来好处;

(4)减小外形尺寸50%左右。

2、节电器的控制环节简单可靠:

(1)接触器采用电流控制;

(2)利用分流电阻R,提高接触器的返回系数。

二、节电效果

被试电动机铭牌参数(杭州电器厂生产)为:

JO₂-32-4; 3 KW; 1430转/分; 380伏/Y; $I_{1H} = 6.47$ 安。

第一级节电效果:有功功率节电率 $\Delta P/P_1(\%) = f(P_2/P_H)$ 与无功功率节电率 $\Delta Q/Q(\%) = f(P_2/P_H)$ 见图5和图6中的曲线1。

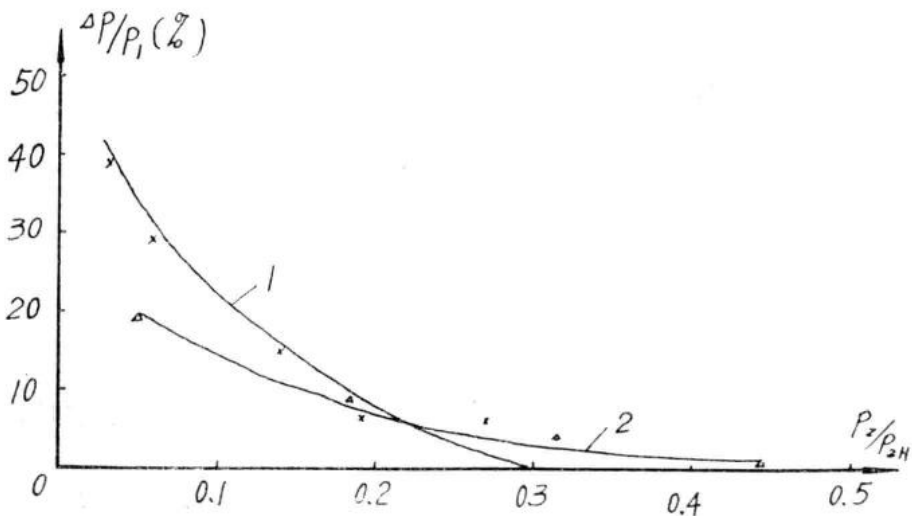


图 5

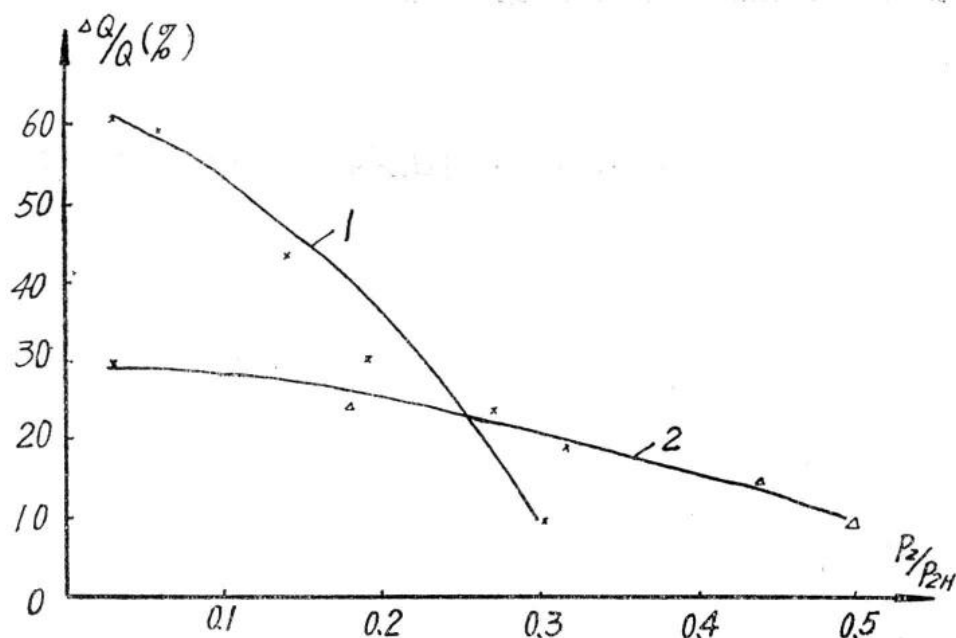


图 6

第二级节电效果：有功功率节电率 $\Delta P/P_1 (\%) = f(P_2/P_{2H})$ 与无功功率节电率 $\Delta Q/Q (\%) = f(P_2/P_{2H})$ 见图 5 和图 6 中的曲线 2。

三、节电器的适用范围

该节电器仅适用于经常处于空载或轻载的生产机械，例如一般机床动力设备〔国内外资料表明，机床待切削时间一般为（30~60）%，轻载时间占（20~30）%，负载率在50%以上时间占（20~30）%〕和其它轻纺机械等生产设备。尤其是对目前使用量较大的3KW以下的小容量电动机，它们的 η_H 与 $\cos \phi_H$ 都较低，而且为380伏/Y联接，不宜采用“ Δ —Y”变换的节电方法。而YJ型节电器的降压范围是可以任意设计的，因而它对3KW以下的小容量电动机节电有较好的效果。

浙江丽水师专

五、适于织机电机的JNQ—F型省能器

目前纺织系统中的织机大多数仍由人工换梭操作，织机的效率一般在60~85%左右，织机电机实际负荷多在35~65%内，可见工作状态多数在轻载范围。尽管织机电机容量较小（一般在0.6~1 KW），但电力浪费仍是比较可观。根据织机的工作特点，浙江丝绸工学院和杭州第二电子管厂联合设计了“JNQ—F型”电动机省能器，对于棉、麻、丝绸等纺织系统中织机电机节能，能得到明显的节电效果。该省能器具有电气性能可靠、结构简单、体积小、成本低等特点，且安装维修也极为方便。

一、工作原理

当合上 D_K ，使织机电机通电启动后，电机处于空载运转状态。这时将织机操作手柄移开挂挡，瞬间传感器——即转换开关，驱动中间交流接触器，使其处于常开触点 J_2 断开，常闭触点 J_1 闭合状态，织机电机即进入满载运转。当织机需停机时，将织机操作手柄复位，在转换开关作用下，交流接触器由常闭转为常开，三相电压就经多匝电抗器降压，供电机低压运转。当恢复织机工作时，再将手柄返回原满载运转。

传感器中副设的辅助启动开关，是在电网电压波动时，能使电机正常启动的辅助装置。当低压供电时（最低达340伏），按住辅助开关，可瞬间改变中间转换的工作状态，即使常开转为常闭，使之提高电压，增大电流，启动电动机，待电机正常运转后再松手。

整个节电器的电原理见图1、图2。

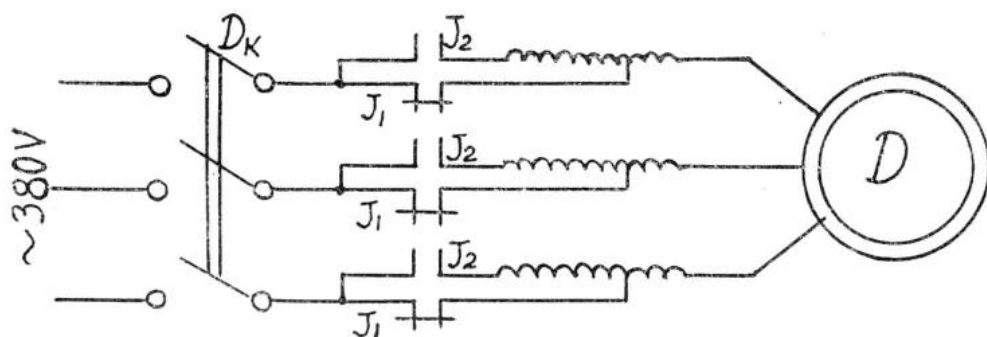


图1 节电器电原理图

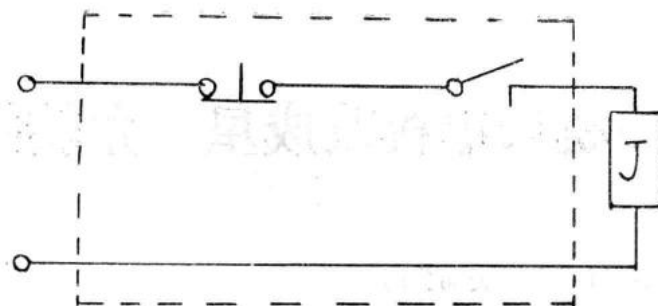


图 2 传感器原理图

节电器的技术性能如下:

- 1.节电器功耗不大于15W
- 2.节能定额电流为 3 A
- 3.电动机电源电压 380V $\pm$ 40V, 频率50HZ
- 4.传感器输入工作电压为36V
- 5.传感器安装面倾斜度小于 $\pm 30^\circ$
- 6.工作环境温度 $-25^\circ\text{C} \sim +55^\circ\text{C}$

二、节能效果

经在K272织机(电动机型号FO53—6型)上使用实测,其对比数据见表。

工 作 状 态		电网电压 (V)	电流I (A)	功率P (W)	功率因数 $\cos \phi$	有功节电 %	无功节电 %	日用电量 度/日
轻载	无节电器	380	1.224	221.5	0.207	47.8	42.6	无节电器
	有节电器	380	0.703	115.5	0.250			11.71
满载	无节电器	380	1.465	415	0.3992	9.2	14.6	有节电器
	有节电器	380	1.255	376.5	0.436			10.49

从上表可知,当织机满载时有功节电率达9.2%,无功节电率达14.6%;轻载时有功节电率达47.8%,无功节电率达42%,每天一台织机节电1.22度。而织机节能器成本在30元左右,投资约可在10个月收回。

杭州市第二电子管厂