

电火花加工 四回路晶体管脉冲电源

北京机床研究所

第一机械工业部技术情报所

1977.7

目 录

概 论	1
一 工作原理	2
二 主振电路	5
三 低压主电路	6
四 高压主电路	10
五 切断电路	12
〔1〕 部份切断和单级切断	12
〔2〕 多级切断	14
六 稳压电路和自动调压电路	18
七 主轴进给控制电路	20
八 主要技术指标	22
九 电路的检查和调试	23
〔1〕 稳压电源的调试	23
〔2〕 主振级调试	24
〔3〕 自动调压及稳压电路的调试	25
〔4〕 检测电路	26
〔5〕 多级切断	27
〔6〕 低压前级电路	28
〔7〕 低压末前级电路	29
〔8〕 低压功率级	29
〔9〕 高压前级电路	30
〔10〕 高压末前级电路	30
〔11〕 高压功率级电路	30
〔12〕 电源箱调试	31
〔13〕 插件板数量	31
〔14〕 主轴进给控制电路	32
〔15〕 加工试验	33
十 多回路加工工艺	33
〔1〕 冲模的多回路加工	33
〔2〕 型腔模的多回路加工	34
十一 加工实例	36
十二 小结	42
附录	43
〔1〕 JF-420Q 型四回路脉冲电源电器元件表	43
〔2〕 DYJT 型静压主轴头控制电路的电器元件表	47

概 论

电火花加工是现代金属加工方法中特种加工之一，它利用脉冲放电的电蚀过程蚀除金属而完成尺寸加工，能够加工任何硬度的金属材料、形状复杂的模具和零件，在电机、电器、仪器、仪表、汽车、拖拉机和轻工、国防等行业方面，获得了愈来愈多的应用。

十二年前，电火花加工用的脉冲电源，主要是 RC 或 RLC 型的弛张式脉冲发生器，其特点是结构简单，使用可靠。之后，国内广泛应用的脉冲电源，则是闸流管和电子管的独立式脉冲发生器。与前者相比，其优点是加工生产率高，电能利用率也高，已成功地用于冲模、特别是小斜度（一般为 3~5 分）冲模的加工。但是，这类电源都需采用脉冲变压器输出，所以脉冲参数的调节不甚方便，特别是脉冲宽度的调节范围受到一定限制，不能很方便地用于型腔模的加工。

作为脉冲电源的开关元件，晶体管具有使用安全、参数调节方便、易于控制等特点，有可能同时满足冲模和型腔模的加工需要。

国内电机制造厂的复式冲模，是保证提高电机产量和质量常用模具，品种多、用量大。复式冲模的特点是加工周长较长，加工余量也较大，国内电机制造厂虽已大部分采用电火花加工，但关键问题是加工时间太长（例如，加工一付八号机座的复式冲模需近百个小时），加工过程、特别是精加工过程不稳定，长时间的二次放电往往使间隙变大，影响模具质量。此外电机制造厂还有一些型腔模具（如风扇压铸模等）需要电加工。所以，生产中希望获得一种高效率的多用电源，不仅能够大幅度地提高大、中型复式冲模的加工效率，而且可以加工较大的型腔模具。

营口电火花机床厂、北京电机厂、北京机床研究所三结合协作研制的 JF-420Q 型、200 安四回路的晶体管脉冲电源，在北京电机厂经历了大、中型复式冲模加工的生产验证，一九七六年四月在北京通过国家鉴定，并已在北京电机厂正式投入生产使用。营口电火花机床厂决定成批生产这种电源装置，并使之系列化。

本电源具有以下特点：

1. 在同样加工精度下（包括表面光洁度、间隙和尺寸精度等），能比单回路脉冲电源成倍地提高电火花加工的生产率。

一般，电火花加工的生产率可用下式表示：

$$\gamma = 60K_1 f W \quad \text{毫米}^3/\text{分}$$

式中 K_1 ——与电极材料的物理性能、工作液成份和脉冲宽度等有关的系数，毫米³/焦耳；

f ——脉冲频率，赫；

W ——放电加工的单个脉冲能量，焦耳。

由上式可以看出，在不同加工条件下，将得到不同的加工生产率。从电参数的作用来看，提高脉冲频率和加大单个脉冲能量，都可以提高电火花加工的生产率。

电火花加工的另一项工艺指标表面不平度，由下式表示：

$$\delta_{\text{平均}} = K_2 W^{\frac{1}{2}}$$

式中 K_2 ——与电极材料、工作液类型、排屑条件等因素有关的系数。

不难看出,加工表面不平度随着单个脉冲能量加大而加大。因此,在一定的光洁度要求下,用加大单个脉冲能量的方法来提高生产率是行不通的。这样,唯一的方法就是提高加工的脉冲频率。但是,脉冲频率的提高又受到放电间隙消电离的限制,例如,在钢打钢时,脉冲频率只能用到五、六万赫。所以,在保证一定的表面光洁度和放电间隙的要求下,进一步提高单回路脉冲电源的加工生产率是受到限制的。

多回路脉冲电源由几个在电气上彼此隔离的功率输出级组成,可以同时供给几个放电间隙加工。多回路电源总的生产率为:

$$\gamma_{\text{总}} = K_s N \gamma$$

式中 K_s ——多回路利用率(小于1);

N ——回路数;

γ ——单回路加工的生产率。

显然,多回路的特点是,在保证一定的光洁度和间隙的要求下,能够比单回路成倍地提高电火花加工的生产率。但是,随着回路数的增多,利用率 K_s 将会下降,因而回路数也不宜过多。本电源采用了四个回路,其多回路利用率 K_s 一般为0.5~0.8。

2. 适用于加工大、中型(如6号机座以上)复式冲模。由于大、中型复式冲模的加工周长较长,加工余量也较大,所以采用多回路电源能成倍地缩短电火花加工周期,保证模具质量。北京电机厂一年多的实际使用表明,采用本电源加工大、中型复式冲模,比采用130双闸流管脉冲电源的加工生产率提高5~6倍,而加工精度和表面光洁度毫不逊色。

3. 适用于较大的型腔模加工。本电源能输出200安的平均工作电流,可以加工较大的型腔模具,表面光洁度可达 $\nabla 6 \sim \nabla 7$,使钳工修整模具的劳动强度和工作量大为减小。在加工型腔模具时,既可将四回路合成单回路加工,也可用四回路加工。

4. 电源中采用了切断电路,可以根据放电间隙的工作状态来控制电源的有关脉冲参数,以减少电极烧伤和防止电极模具的严重烧伤,并能在较恶劣的加工条件下,提高电火花加工的稳定性。

此外,电源中还采用了高、低压复式电路,以提高钢打钢的加工稳定性。

一 工作原理

JF-420Q型脉冲电源的工作原理如图1所示。

图中上部是交流电路和高低压整流电路。

方框1是主振电路,由主振级直流稳压电源供电(+15伏、-10伏)。主振电路产生矩形脉冲,推动低压主电路和高压主电路。

方框2是高压主电路,前级由稳压电源供电(+15伏、-10伏)。高压主电路产生高压脉冲并输至放电间隙,用作钢打钢的先导击穿,以提高加工稳定性;或作其他用途的加工。推动高压功率级的高压前级、高压末前级和高压功率级本身,都由高压直流电源供电,并可根据加工需要对两种不同的高压电压进行选择。例如:钢打钢粗加工时,采用250伏;精加工时,采用200伏。

方框3是低压主电路,其前级由低压前级直流稳压电源供电(+15伏、-10伏)。推动低压功率级的低压前级、低压末前级和低压功率级本身,都由低压直流电源供电(+60伏)。

低压主电路产生低压脉冲并输至放电间隙，是电火花加工的主要能量。

方框 4 是检测电路，由稳压电源供电（+15 伏、-10 伏）。根据放电间隙的工作状态，检测电路将控制信号输向切断电路，以消除加工中出现的异常现象（例如产生电弧或短路），减少电极烧伤，使加工过程更为有效。

方框 5 是切断电路，由稳压电源供电（+15 伏，-10 伏，+5 伏）。切断电路接收检测电

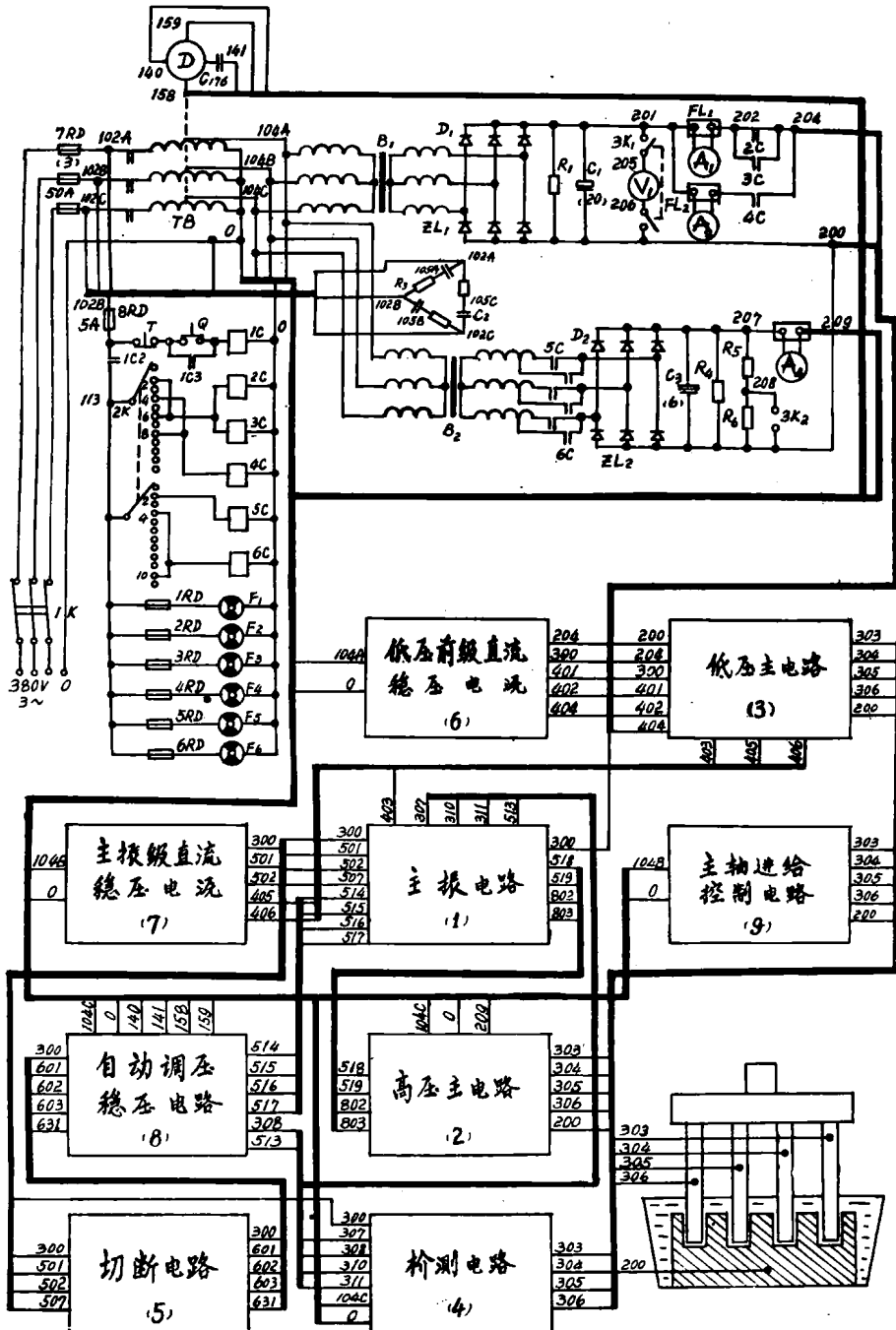


图 1 JF-420Q 型脉冲电源电路

路的信号，切断一部分加工脉冲，以消除放电间隙的异常现象，改善加工性能。

方框 6 和 7 是参数相同的稳压电源，输出三种电压：+15 伏；-10 伏；20 伏。

方框 8 是自动调压及稳压电路。由于交流电网电压经常出现大幅度的波动，例如，+10%，-15%，会使加工的工艺指标（表面光洁度、放电间隙和刃口斜度等）不稳定，影响模具质量或电火花加工的效率。所以，线路中采用了自动调压电路，控制三相自耦调压器 TB ，使其输向低压电源变压器 B_1 和高压电源变压器 B_2 的电压，波动不超过 $\pm 3 \sim 5\%$ 。这部分还有一个输出电压为 +5 伏的直流稳压电源，供多级切断电路中的集成电路用电。

方框 9 是主轴进给多回路控制电路。

图 1 上部，三相四线交流电源经过熔断器 $7RD$ 、交流接触器 $1C$ 和自耦调压器 TB ，向低压电源变压器 B_1 、高压电源变压器 B_2 及其他电路供电。

变压器 B_1 的次级电压经三相全波整流器 ZL_1 整流、电容器 C_1 滤波，可输出电压 60 伏，电流 200 安。 R_1 和 R_2 是电容器 C_1 的放电电阻。为了使加工电流的读数清晰，采用了两个直流电流表 A_1 （量程 300 安）和 A_2 （量程 20 安）。

V_1 是直流电压表，借助波段开关 $3K$ ，可以测量 11 种电压：

方框 2 的两种电压，+15 伏，-10 伏；

方框 4 的两种电压，+15 伏，-10 伏；

方框 6 的两种电压，+15 伏，-10 伏；

方框 7 的两种电压，+15 伏，-10 伏；

方框 8 的电压，+5 伏；

低压电源电压，+60 伏；

高压电源电压，+200 伏或 +250 伏。

高压电源变压器 B_2 的次级电压，经三相全波整流器 ZL_2 整流、电容器 C_2 滤波，可输出 8 安的高压电流。根据加工工艺需要，变压器 B_2 有两组抽头：交流接触器 $5C$ 吸合时，输出电压 250 伏；交流接触器 $6C$ 吸合时，输出电压 200 伏。 R_4 是电容器 C_2 的放电电阻。电阻 R_5 和 R_6 组成分压电路，供直流电压表 V 测量高压电压。 A_4 是测量高压电流的直流电流表。

图 1 左中部是操作控制电路。按下常开按钮 Q 时，交流接触器 $1C$ 吸合，交流供电。按下常闭按钮 T 时，交流断电。

波段开关 $2K$ 用来控制不同的工作状态，共有五个位置，其作用如表 1 所示。

表 1

2 K 位 置	2	4	6	8	10
接 触 器 动 作	2C, 3C, 5C	4C, 6C	2C, 3C	4C	6C
高压电压 (伏)	250	200	—	—	200
低压电流 (安)	>20	<20	>20	<20	—
适 用 范 围	钢打钢粗加工	钢打钢精加工	铜打钢或石墨打钢粗中加工	铜打钢或石墨打钢精加工	利用火花找正电极位置

$F_1 \sim F_6$ 和 $1RD \sim 6RD$ 是散热用的仪表风扇及其相应的熔断器。

空气开关 $1K$ 是电器箱的总电源开关。

二 主 振 电 路

主振电路的作用就是使脉冲起振，其原理电路如图 2 所示。

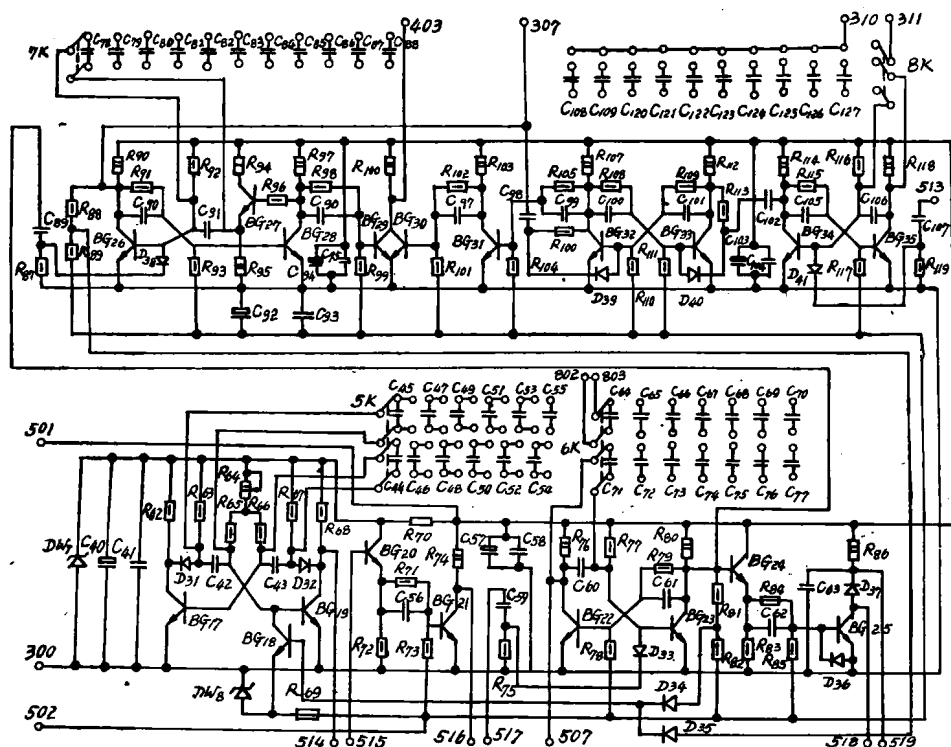


图 2 主振级原理电路

为了便于钢打钢，本电源中采用了高低压复式回路，其波形如图 3 所示。在时间 $t_1 \sim t_3$ 之间，为高压脉冲； $t_2 \sim t_4$ 为低压脉冲； $t_4 \sim t_5$ 为停歇时间。

图 2 中，晶体管 BG17 和 BG19 组成多谐振荡器，振荡周期由电容器 $C_{42} \sim C_{55}$ 粗调，电阻 R_{64} 微调。多谐振荡器的周期 T_0 就是加工脉冲的停歇时间，即图 3 所示的 $t_4 \sim t_5$ 。隔离二极管 D_{31} 和 D_{32} 用来改善晶体管 BG17 和 BG19 的正跃变波形。

在晶体管 BG19 的集电极电位由“0”变“1”瞬时（本电路中均采用正逻辑，“1”代表高电位，“0”代表低电位），射极跟随器晶体管 BG20 的射极也出现“0”→“1”的正跃变。采用射极跟随器不仅能加大负载能力，而且提高了多谐振荡器的抗干扰能力。多谐振荡器和射极跟随器由电阻 R_{70} 和稳压管 D 所组成的稳压电路供电，电压 +6 伏。 C_{40} 和 C_{41} 是滤波电容。

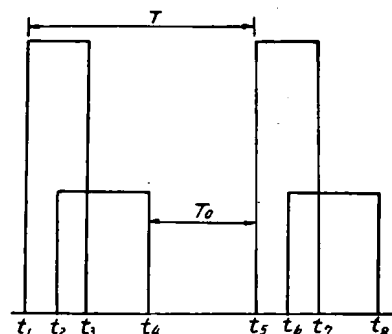


图 3 高低压波形示意

晶体管 BG_{20} 射极的正跃变, 经过反相器晶体管 BG_{21} 成为负跃变, 推动由晶体管 BG_{22} 和 BG_{23} 组成的延时单稳。根据加工稳定性的要求, 低压脉冲应比高压脉冲滞后一段时间, 以保证实现高压击穿、低压放电的原则。延时单稳的脉宽, 就是延时的长短 (图 3 中的 $t_1 \sim t_2$)。

图 2 中点 514、515 和 516、517 与多级切断电路连接, 倘不使用多级切断电路, 则点 514 与 515 连接在一起, 516 与 517 连接在一起。

在 $t = t_1$ 瞬时, 延时单稳的导通管 BG_{23} 截止, 发出 “0” $\rightarrow$ “1” 的正跃变, 其输出分为三路。

1. 输向射极跟随器 (BG_{24}), 使它也输出 “0” $\rightarrow$ “1” 的正跃变, 然后反相器晶体管 BG_{25} 导通。这一导通信号通过点 518 和 519 输向隔离高低压电路的脉冲变压器, 推动高压电路, 使之发出高压脉冲。

2. 经过电阻 R_{81} 和 R_{82} 分压, 在二极管 D_{84} 的一端产生高电位 “1”, 使晶体管 BG_{18} 导通。在点 300 (0 伏) 与 502 (-10 伏) 之间, 接入由电阻 R_{89} 及稳压管 DW_8 组成的稳压电路。于是, 晶体管 BG_{18} 的发射极便接在 -6 伏的电压上。晶体管 BG_{18} 导通后, BG_{19} 的基极处于负压, 多谐振荡器停振, 晶体管 BG_{19} 截止, BG_{17} 导通。这时, 电容器 C_{42} 上的电压保持着停振瞬时的状态, 等待脉冲结束后, 重新开始下一次停歇时间的振荡。

3. 触发由晶体管 BG_{26} 、 BG_{27} 、和 BG_{28} 组成的低压脉宽单稳。低压脉冲宽度, 可由电容器 $C_{78} \sim C_{88}$ 进行调整, 即图 3 中的 $t_2 \sim t_4$ 。

低压单稳中的晶体管 BG_{27} 的作用是加速电容器 C_{81} 的充电过程, 以便在停歇时间较短而脉宽又较宽时, 也能完成充电过程, 从而保证低压脉宽不受停歇时间变化的影响。

低压单稳翻转后, 截止管 BG_{28} 导通, 其集电极发出低压负脉冲, 经过反相器晶体管 BG_{29} , 由点 403 输出低压正脉冲至低压前级。

与此同时, 导通管 BG_{26} 截止, 集电极呈现低压正脉冲 (图 3 中 $t_2 \sim t_4$)。经过电阻 R_{88} 、 R_{89} 分压, 在二极管 D_{35} 一端出现高电位 “1”, 使晶体管 BG_{18} 导通, 多谐振荡器停振。

由上述过程可以看出, 当延时单稳和低压单稳翻转时, 亦即在高、低压脉冲发生时, 均可封锁多谐振荡器, 即在图 3 的 $t_1 \sim t_4$ 时间内, 使之停振。这样, 多谐振荡器便只能在脉冲的停歇时间内振荡 (图 3 中 $t_4 \sim t_5$), 借此实现脉冲宽度和停歇时间的独立调节, 消除彼此的牵制和影响。

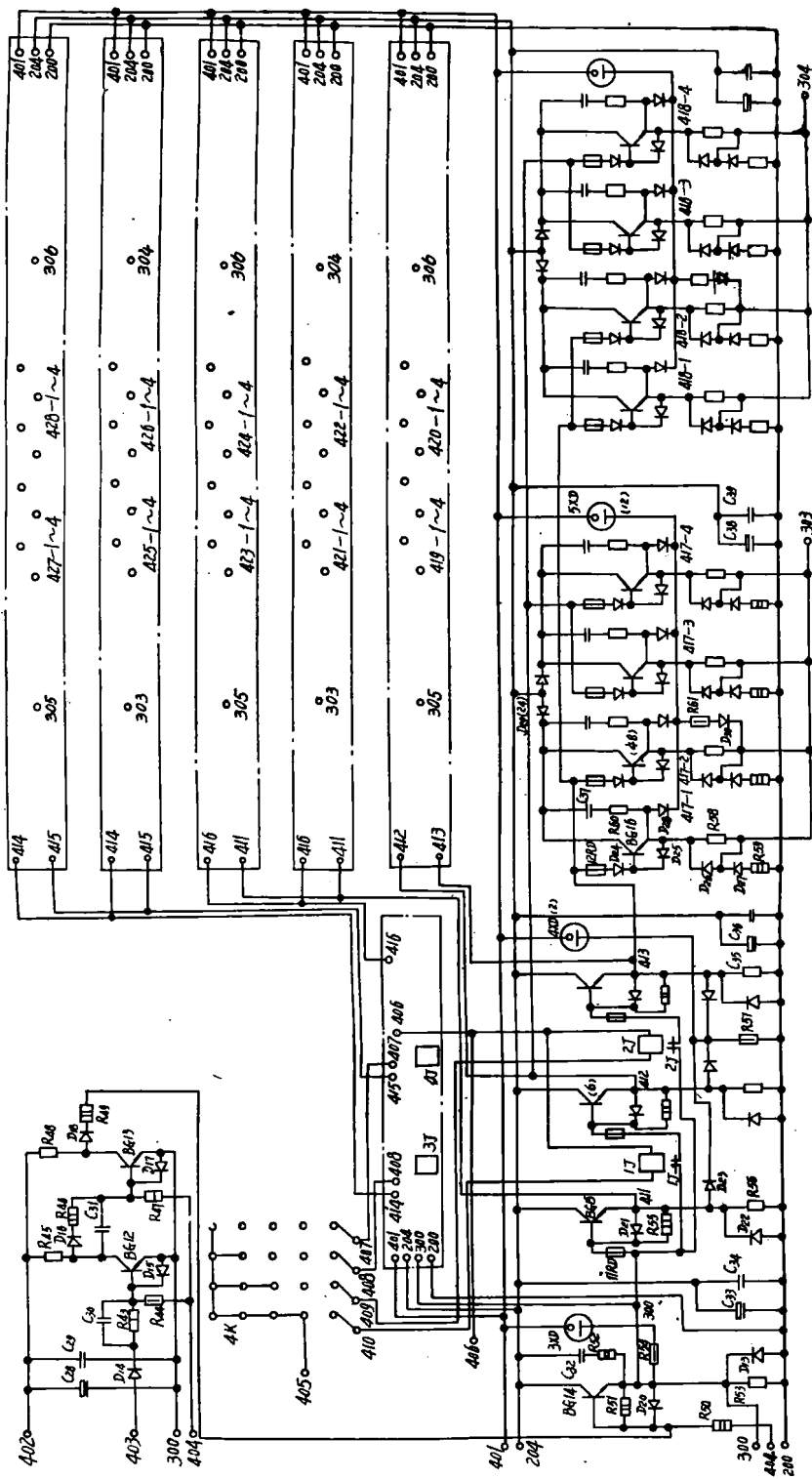
图 2 右上方晶体管 $BG_{30} \sim BG_{35}$ 属于切断电路, 将在下文叙及。

三 低压主电路

低压主电路如图 4 所示。

由点 403 输入低压正脉冲信号, 使反相器晶体管 BG_{12} 导通, 晶体管 BG_{13} 截止并在集电极输出低压脉宽的正脉冲, 使前级晶体管 BG_{14} 导通。这时, 线路中电源电压由 +15 伏、-10 伏过渡到 +60 伏。

对于低压功率级的电源电压, 各种晶体管电源采用的数值都不一样, 均须根据本身特点和加工的需要加以选择。如国内的晶体管电源, 电源电压有采用 80 伏的, 也有采用 70 伏的, 而美国有的电源电压竟低至 42 伏。



一般说, 电源电压越低, 则电能利用率越高, 但功率输出级的晶体管利用率较低。反之, 则电能利用率较低, 而功率输出级的晶体管利用率较高。

所谓电能利用率, 是指输入放电间隙的能量与直流电源消耗的能量之比, 可用下式表示:

$$\eta_1 = \frac{\mu_p}{E}$$

式中 E ——直流电源电压 (伏);

μ_p ——放电时的间隙电压, 主要随电极对的材料不同而异, 一般为20~35伏。

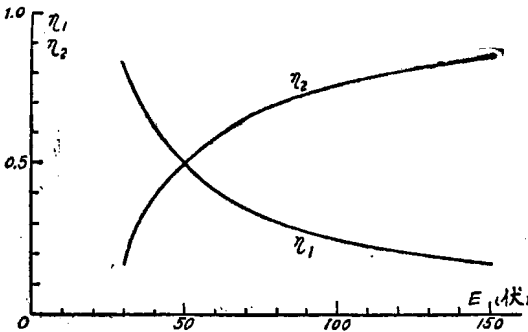


图5 不同电源电压时的电能利用率和晶体管利用率。

所谓晶体管的利用率, 是指放电加工时晶体管中通过的电流幅值与间隙短路时的电流幅值之比, 可用下式表示:

$$\eta_2 = \frac{E - \mu_p}{E}$$

现在假定放电电压 $\mu_p = 25$ 伏, 将上列两式制成 $\eta_1 = f_1(E)$ 和 $\eta_2 = f_2(E)$ 的关系曲线, 如图5所示。

由图5可以看出, 电源电压采用在60~80伏之间较好, 这时电能利用率为0.42~0.31, 晶体管的利用率为0.58~0.69。

采用更高或更低的电压, 不是电能利用率过低, 便是晶体管利用率过低, 都不太好。本电源是200安的, 电流较大, 应多考虑电能利用率, 加之所采用的3DA7B型大功率晶体管的反压不太高 ($BV_{ceo} = 80$ 伏), 所以低压电源采用60伏。

射极跟随器晶体管 BG_{14} 导通后, 推动六个末前级的射极跟随器晶体管 BG_{15} 。每个晶体管 BG_{15} 又推动八个功率级晶体管 BG_{16} , 此八个晶体管分属四个回路 (每一回路有两个晶体管 BG_{16})。总计功率级有晶体管 BG_{16} 48个, 每一回路12个。前级、末前级和功率级晶体管的脉冲电流, 都输入放电间隙。

在三极射极跟随器中, 电阻 R_{51} 和 R_{55} 用来消除前级和末前级晶体管的剩余载流子, 以缩短截止时延。

氖灯3XD~5XD 用来观察所有大功率晶体管的工作状态。当加工过程中发现某个氖灯不亮时, 即表示相应的晶体管已有损坏。

功率管的基极电路中各串接一个二极管 D_{24} 和一个熔断器12RD。前者的作用是: 当任一功率管被反向击穿时, 防止其他功率管直通; 减小放电间隙对前级的干扰; 削弱功率管的阻容保护电路对输出波形的不良影响; 保证功率管截止可靠。后者则用来保护末前级晶体管, 以防功率管集电极烧断时引起损伤。

二极管 D_{20} 、 D_{21} 和 D_{25} 用于防止各级晶体管的基射结反向击穿。而二极管 D_{29} 则用于防止高压电压对低压电路的损害, 同时, 用于降低功率管的导通压降, 使其在大电流工作时不致过热。

低压直流电源的电压是60伏, 而氖灯 (WN-5) 的起辉电压为80伏, 因此在点401和204

之间，串有20伏的附加电源，以帮助氖灯起辉。

在装置中，采用印刷电路板的插接结构，安装、调整和维修都比较方便。每块功率级印刷电路板装有四个晶体管 BG_{16} ，属于同一个回路。12块印刷电路板上的48个晶体管 BG_{16} ，分属四个回路（I、II、III、IV）。借助开关 $4K$ ，使继电器 $1J \sim 4J$ 切断一个、两个、三个或四个末前级晶体管 BG_{16} 的基极电路时，便将在四个回路中各切断两个、四个、六个或八个功率管 BG_{16} 。本电源每个回路中可调节的功率管数为4、6、8、10、12五挡，用以调节加工脉冲的电流幅值。

在低压主回路的各种印刷电路板的末端，附有必要的检测点，用来观察该板电路的工作情况。

现在看一下低压主电路中功率级的放电情况。为了分析方便起见，将功率级的放电等效电路简化如图6所示。图中 E 代表低压电源电压； R 是限流电阻； μ_p 代表间隙电压； K 代表功率级晶体管，当开关闭合或断开时，表示晶体管导通或截止； i 代表放电电流； L_s 代表放电回路的寄生电感。

图6电路的微分方程式为：

$$E = L_s \frac{di}{dt} + Ri + \mu_p$$

改写成拉氏变换式：

$$\frac{E - \mu_p}{P} = \overline{i} (PL_s + R)$$

因此

$$\overline{i} = \frac{E - \mu_p}{L_s p \left(p + \frac{R}{L_s} \right)}$$

将此象函数表示式变换成原函数，则放电电流为：

$$i = \frac{E - \mu_p}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_s} t} \right)$$

由此可见，放电回路中的放电时间常数 $\tau = \frac{L_s}{R}$ 其大小决定着脉冲放电电流的前沿斜度： τ 大，则前沿斜； τ 小，则前沿陡。

电火花加工时，输至放电间隙的平均功率为：

$$P = i \mu_p \frac{t_p}{T} = \frac{(E - \mu_p) \mu_p t_p}{TR} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_s} t} \right)$$

式中 T ——放电周期；

t_p ——低压脉冲宽度。

从上式可以看出，放电回路的寄生电感越大，则放电的平均功率越小，特别是窄脉冲时，更是如此。

当功率晶体管截止、即图6中开关 K 断开时，在截止时间 t_D 内，放电电流由

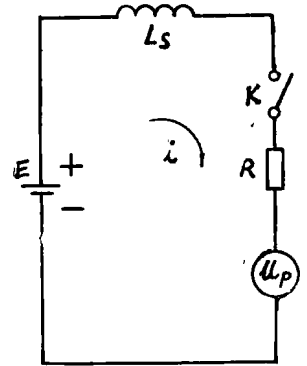


图6 放电等效电路

$i_p = \frac{E - \mu_p}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_s} t_p} \right)$ 降到零。由于放电回路寄生电感存贮了磁场能量，将在放电回路中产生的感应电势为：

$$e = -L \frac{di}{dt} \approx -L_s \frac{i_p}{t_n}$$

此感应电势的方向与电流相同，大小与 L_s 和 i_p 成正比，与 t_n 成反比。也就是说，除了电流这个因素外，放电回路中的寄生电感越大，晶体管截止越快，则感应电势越大。这一感应电势，通过电源 E 串联叠加在晶体管的集电极上，有可能击穿晶体管的集基结。

由此可见，放电回路的寄生电感应尽量减小，否则，姑且不谈其他不良影响，至少会减小输出的放电功率（特别是窄脉冲精加工时）和增加晶体管过压击穿的危险性。因此，功率级回路的走线应采用平行导线，而且尽可能地短一些。

此外，为了减小感应电势的冲击，本电源中采取了一些措施：在前级晶体管 BG_{14} 的集电极之间并联由电容器 C_{32} 和电阻 R_{62} 组成的阻容吸收电容，借以稍为加长截止时间 t_D 以减小感应电势 e ，同时吸收一部分冲击能量以保护晶体管 BG_{14} ；在功率级晶体管 BG_{18} 的集电极与发射极之间并联由电容器 C_{37} 和电阻 R_{60} 组成的阻容吸收电路，将大部分寄生电感的磁场能量转变成电场能量，借以防止晶体管 BG_{18} 截止时的过压击穿；采用反向二极管削弱各部分的感应电势，如二极管 D_{26} 用于削弱限流电阻 R_{58} 电路中的感应电势，二极管 D_{27} 用于削弱放电间隙电路中的感应电势， R_{69} 是二极管 D_{27} 的均流电阻。实践表明，上述措施是有效的。

前级、末前级和功率级采用了三极射极跟随器输出电路，其特点为：多回路分割方便，如果需要，每个功率管都可分割成一个回路；线路简单，元件较少；抗放电间隙干扰的能力较强；调整方便；前级和末前级晶体管的电流都通过放电间隙，不仅提高了电能利用率，而且减少了电器箱内的发热量。

四 高压主电路

高低压电路之间，必须采用脉冲变压器隔离。图 7 示出了高低压电路隔离的示意图。

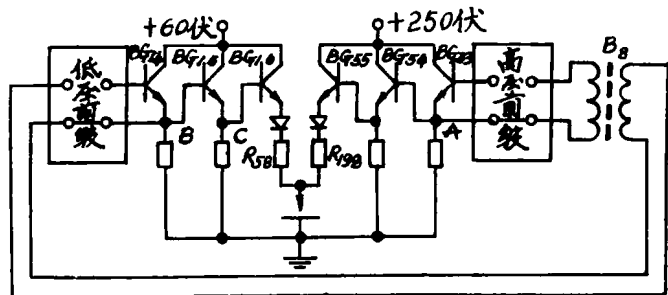
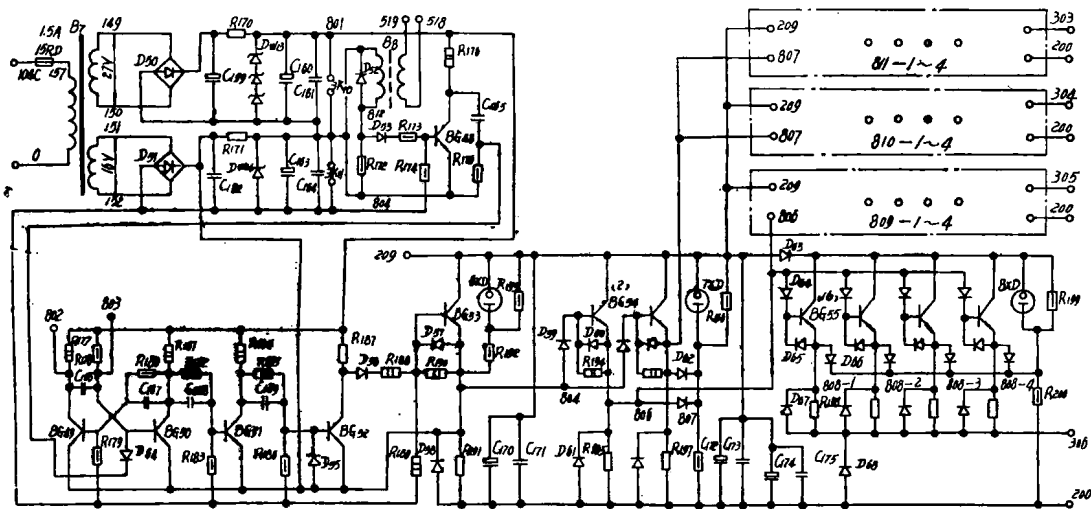


图 7 高低压电路隔离示意图

当低压电路的晶体管 BG_{14} 、 BG_{15} 、 BG_{16} 和高压电路的晶体管 BG_{53} 、 BG_{54} 、 BG_{55} 同时导通时，如果没有脉冲变压器 B_8 在电路上加以隔离，则 A 点的 +250 伏电压将直接到达 B 点，经过晶体管 BG_{15} 到达 C 点，最后经过晶体管 BG_{16} 到达放电间隙。由于低压功率级限流电阻 R_{68} （6 欧）远小于高压功率级的限流电阻 R_{198} （220 欧），所以当间隙短路时，在每个低压功率管 BG_{16} 的基射结中将出现 40 安以上的大电流，而晶体管 BG_{15} 中的电流将更大得多。显然，电路必然遭到破坏，这是绝对不能允许的。因此，必须采用脉冲变压器 B_8 隔离高低压电路。

高压主电路的原理电路如图 8 所示。



本电源的高压功率级，每回路用四个功率管，四回路共十六个功率管。

由于高压功率管(3DD50型)是低频高反压大功率三极管，截止时间较长，因而截止时产生的过电压不太高，加上所选用管子的耐压较高($BV_{ceo} \geq 500$ 伏)，所以无须采用阻容保护电路。

每块高压功率级印刷电路板上装有四个晶体管 BG_{55} ，共用一个二极管 D_{55} ，用来削弱放电间隙回路的感应电势。

在三级高压电路中，其他的保护元件和电路，基本上与低压电路相同，高压电路的特点也与低压电路类似，故不在此一一赘述。

五 切 断 电 路

〔1〕 部份切断和单级切断

在加工过程中，由于加工条件的恶化，例如：钢电极加工复式冲模较深时，采用石墨电极加工型腔时；或者加工深孔窄缝等，往往会出现异常现象，即一般所谓的“烧弧”和“短路”。这时，轻则加工不稳定，降低生产率；重则烧伤电极，甚至使模具报废。

为了改善加工条件恶化时的加工稳定性，以及减少电极烧伤，JF-420Q型电源中采用了切断电路。

所谓切断电路，从消极的意义上说，是当放电间隙出现异常现象而又为检测电路所检测到时，切去一部分或全部加工脉冲，使间隙充分消电离，借以恢复稳定的加工，防止电极烧伤。而从积极的观点来看，则可根据不同的加工状态，自动取舍，切去应切去的部份脉冲，使电源适应放电间隙各个阶段的加工条件，发挥最高的加工效率，以提高电火花加工的工艺指标。

在出现异常现象后，到底是将加工脉冲全部切断好？还是切断一部份好呢？

一般说，检测电路虽能快速反映出间隙的异常现象，但是，很难分辨出“真”或“假”短路。例如，由于放电毛刺或其他杂物搭桥引起的“假短路”，在消除后本来不会引起严重烧伤，如果立即将加工脉冲全部切断，反而会降低加工的生产率。因此，不宜将脉冲全部切断，而只需切去一部份，即保留一定量较小的电流，用以烧断这些毛刺和杂物，同时又促进放电间隙的消电离，使加工尽快地恢复正常状态。

检测电路如图9所示，另有一部分切断电路包括在图2中的右上部。当图2中的低压脉宽单稳翻转时，由点307发出低压脉宽正脉冲，其前沿是“0”→“1”的正跃变，输至图9的射极跟随器，经反相器晶体管 BG_2 成为“1”→“0”的负跃变，使定时单稳翻转，发出一个窄脉冲，作为检测信号。窄脉冲是用低压脉冲前沿触发的，所以检测的窄脉冲是定在图3中的 t_2 瞬时，也就是说，在每一个脉冲周期内的 t_2 瞬时，发出一个检测脉冲，用以控制切断电路。

然而，这个脉冲信号能否发出，却取决于间隙状态。

图9中，晶体管 $BG_5 \sim BG_9$ 组成了鉴别间隙状态的检测电路。二极管 D_5 的四个出头 I、II、III、IV 直接连接到分割电极上，用以接受间隙状态的信号。工件与信号的另一端点300

相连, 参看图 4 知道, 点 300 是 低压前级晶体管 BG_{14} 的发射极。这一点的电位, 减去晶体管 BG_{15} 和 BG_{16} 的基射结电压降, 就是功率级晶体管 BG_{16} 的发射极电位。当放电间隙空载时, 通过限流电阻 R_{58} 中的电流为零, 点 I、II、III、IV 上的电位即等于晶体管 BG_{16} 发射集的电位, 亦即接近于点 300 的电位, 电路中不发出检测脉冲。当间隙正常放电时, 通过限流电阻 R_{58} 的电流使之产生一定量的电压降, 这时点 I、II、III、IV 上的电位将低于 (即负于) 点 300 电位一定的数值。通过电路中参数的安排, 使检测电路在放电间隙空载和正常工作时, 不发出检测脉冲。即放电间隙空载和工作时, 晶体管的状态为: $BG_9 \rightarrow$ 导通一些; $BG_8 \rightarrow$ “1”; $BG_7 \rightarrow$ “0”; $BG_6 \rightarrow$ “1”; $BG_5 \rightarrow$ “0”。这时, 由于晶体管 BG_4 和 BG_5 组成的是与门电路, 所以定时单稳便发不出检测信号, 系统中也就不会切断脉冲。属于正常的工作状态。

当放电间隙出现“短路”或“电弧”时, 其电流较大, 便在低压功率级的限流电阻 (图 4 中的 R_{58}) 两端产生较大的电压降, 于是在二极管 D_8 的 I、II、III、IV 上, 出现一个或几个较大的负电压。这时, 晶体管的状态为: BG_9 截止一些; $BG_8 \rightarrow$ “0”; $BG_7 \rightarrow$ “1”; $BG_6 \rightarrow$ “0”; $BG_5 \rightarrow$ “1”。因此, 图 9 中点 308 上便出现检测信号, 即正向窄脉冲。这一正向脉冲信号, 经过转换继电器 7J (见图 15), 送到图 2 的点 513, 触发由晶体管 BG_{34} 和 BG_{35} 组成的保留单稳。

间隙状态“正常”和“异常”的划分, 可用电平选择器、即图 9 中电位器 R_{81} 的滑点位置选定。

保留单稳翻转后, 保留脉冲的后沿触发双稳, 使晶体管 BG_{33} 集电极的电位为“1”, BG_{32} 为“0”。

所谓保留, 就是在前沿时间, 接受到检测的“异常”信号, 但并不立即切断加工脉冲, 而要等到后沿才触发双稳, 进行切断。

双稳翻转后, 图 2 中晶体管 BG_{31} 截止, BG_{30} 导通。晶体管 BG_{29} 和 BG_{30} 组成或非门, 其逻辑关系为:

$$P = \overline{A + B}$$

式中 A ——晶体管 BG_{29} 基极的电平;

B ——晶体管 BG_{30} 基极的电平;

P ——点 403 的电平。

显然, 这时 $P = \overline{A + B} = \overline{0 + 1} = \overline{1} = 0$, 所以切断了点 403 的输出脉冲。

双稳的复位信号, 来自晶体管 BG_{26} 的集电极, 所以双稳在低压脉冲后沿、即图 3 中 t_4 瞬时复位。

根据保留脉宽 t_b 与低压脉宽 t_p 的比值不同, 可以得到两种切断状态。

1. 保留脉宽 t_b 小于低压脉宽 t_p 时, 得到局部切断。图 10 是局部切断示意图。其中: A —检测脉冲信号; B —低压脉冲; C —保留单稳脉冲; D —双稳波形。

当检测到间隙的异常现象后, 在 t_1 瞬时, 检测脉冲信号触发保留单稳。这时, 即在 $t_1 \sim t_2$ 时间内, 因双稳尚未翻转, 所以还不切断低压脉冲, 而要等到保留脉冲结束时, 即 t_2 瞬时, 触发双稳。双稳于低压脉冲后沿 t_3 瞬时复位。在双稳翻转时间 $t_2 \sim t_3$ 内, 切断低压脉冲, 如图 10B 中所示阴影部份。以后的 $t_4 \sim t_6$, $t_7 \sim t_8$ 过程同上。

由于保留脉宽 t_b 小于低压脉宽 t_p , 所以低压脉宽保留了保留脉宽的 $t_1 \sim t_2$ 部份, 而切断

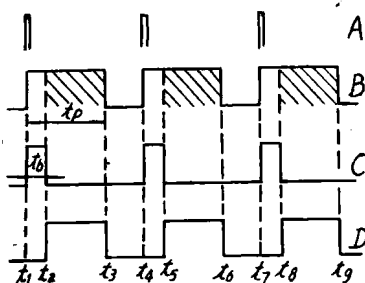


图10 局部切断示意

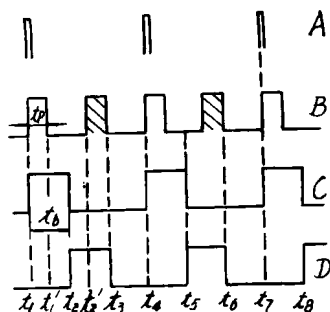


图11 单级切断示意

了 $t_2 \sim t_3$ 部分，因此称为局部切断。当检测到间隙的异常状态时，利用窄脉冲 $t_1 \sim t_2$ 烧断毛刺或杂物，而又不致引起电极的严重烧伤，同时停歇时间由 $t_3 \sim t_4$ 加大到 $t_2 \sim t_4$ ，有利于放电间隙的消电离，使间隙迅速恢复正常的工作状态。

这种切断方式，适用于石墨电极的粗、中加工和钢电极的粗加工。

2. 保留脉宽 t_b 大于低压脉宽 t_p 时，得到单级切断。

图 11 是单级切断示意图。其中 A、B、C、D 分图所表示意义，与图10相同。

在 t_1 瞬时，检测到间隙的异常情况，而且发出检测脉冲信号，使保留单稳翻转。在 t_2 瞬时，保留脉冲后沿触发双稳。

因保留脉宽 t_b 大于低压脉宽 t_p ，所以双稳在 t_2 瞬时触发，因此其复位点不在 t_1' ，而在 t_3 。这样，不是切去第一个脉冲，而是切去了第二个脉冲。

假定这时放电间隙的异常状态并未消除，但由于 $t_2' \sim t_3$ 的第二个脉冲被切断了，所以也就接受不到检测脉冲信号。尽管单稳在 t_2 瞬时已经复位，但在 t_2' 瞬时没有检测脉冲信号，所以保留单稳在 t_3' 瞬时并不翻转，保留了第三个脉冲。以下，如果间隙还未消除异常状态，则切断第四个脉冲，保留第五个脉冲。由图 11B 可以看出，阴影部份代表被切断的脉冲，即隔一个脉冲，切断一个脉冲。换句话说，在加工过程中，随着放电间隙工作状态的变化，有着两个加工频率 f_1 、 f_2 ($f_1 = 2f_2$) 可供自动选用，所以称之为单级切断。

由图 11B 还可以看出，加工过程中的脉冲停歇时间由 $t_1' \sim t_2'$ 增加到 $t_1' \sim t_4$ ，约增加一倍，对放电间隙的消电离过程是有利的。这种切断方式，适用于窄脉冲的精加工。

如果加工过程不需用切断电路(如铜打钢时)，可将图 2 中波断开关 8K 放在第一位置，使点310和311断开，则切断电路不工作。

〔2〕多级切断

如上所述，在窄脉冲的精加工过程中，随着放电间隙工作状态的变化，借助切断电路，使电源有两个自动转换的脉冲频率供加工使用。但是，在加工条件变化较大的情况下，例如，大、中型复式冲模的精加工和穿透，采用多级切断，则可使脉冲参数的变化范围比单级切断更广一些。

图12 是多级切断的原理电路，可分为以下几个部份。

1. 分频器部分

多级切断电路采用 TTL 型集成电路，其电源电压为 + 5 伏。与之连接的是主振级和检

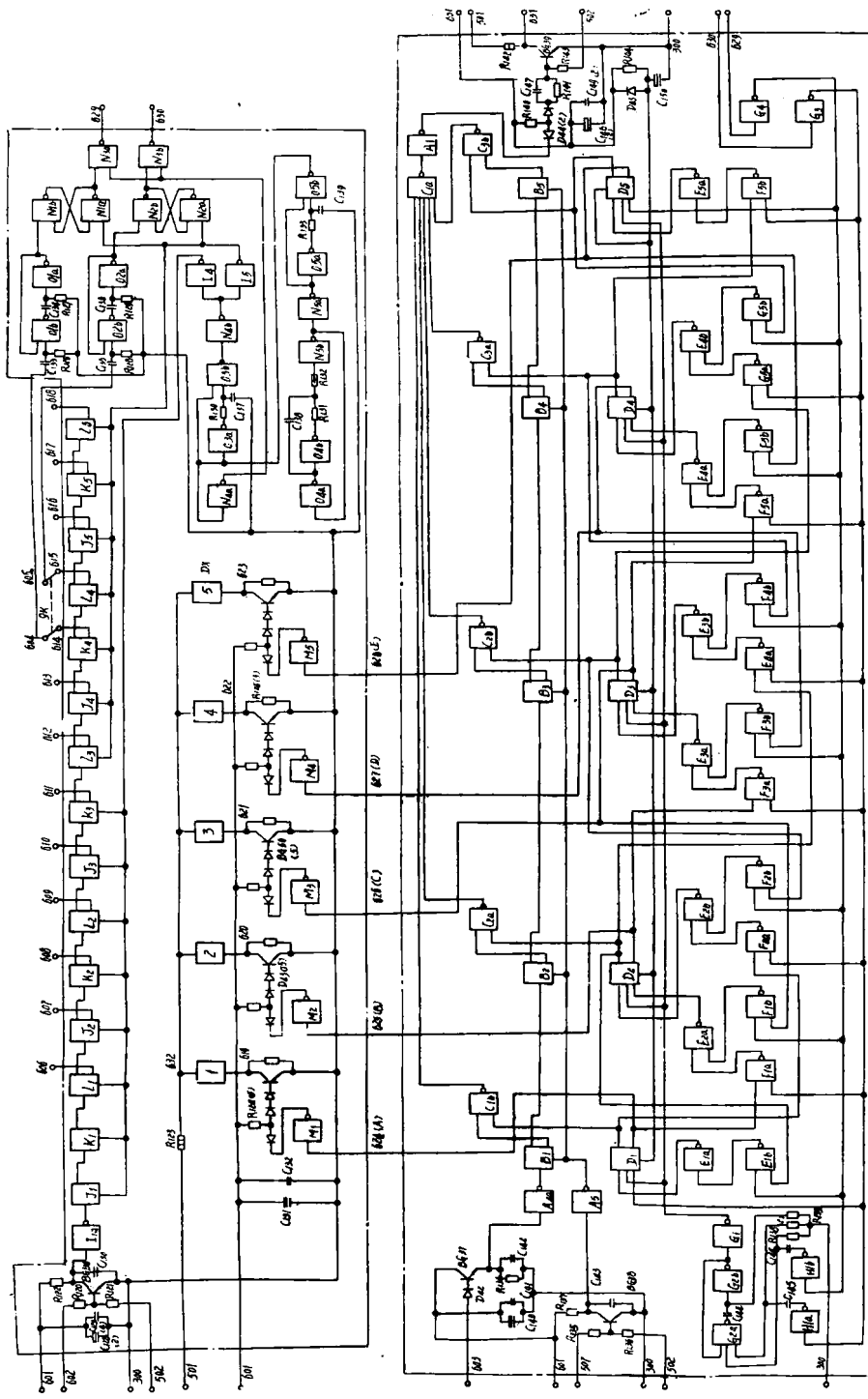


图12 多级切断电路