

岛津ED150L型

500毫安X线机电路分析

潘 惠 恩 编

曲 国 珉 审

《医用放射技术杂志》编辑部

目 录

第一讲	主电路	(1)
第二讲	方波产生电路	(5)
第三讲	空间电荷补偿电路	(7)
第四讲	摄影管电流调节电路	(8)
第五讲	X 线管灯丝电路	(10)
第六讲	透视 mA 调节电路	(12)
第七讲	稳定X 线管电流控制电路	(12)
第八讲	瞬时电路	(14)
第九讲	保护电路	(16)
第十讲	一般摄影电路	(20)
第十一讲	mA及mAs 表电路	(22)
第十二讲	过负载保护电路	(25)
第十三讲	旋转阳极启动电路	(28)
第十四讲	影象亮度稳定装置 IBS 电 路 结 构	(29)
第十五讲	限时器电源同步电路	(31)
第十六讲	SPT—C—10 光 电 限 时 器 控 制 器	(33)

注：分图见《进国医用X 线机电路图集》（第一集）

编辑：《医用放射技术杂志》编辑部 发行：《医用放射技术杂志》编辑部
出版：辽宁省医疗器械研究所 印刷：沈阳六〇一印刷厂

辽宁省期刊登记内字第 76 号

出版时间：一九八七年四月十日

第一讲 主电路

(见分图501—06660G)

一、概况:本机电源电压设计使用 AC 单相220V, 50Hz 或 400V、50Hz, 符合我国一般所用 200V 或 380V 的电源电压。本机要求的电源电阻分别是 220V 时应为 0.06Ω 、400V 时应为 0.18Ω , 电源电阻可用本机内的电阻 RL_1 来调整 (0.04Ω —180W), 如果电源电阻达不到以上标准时, 可将电阻 RL_1 短路甚至降低使用条件, 当电源进线 AL400V 时, 必须通过的附加自耦变压器的接线端子 L_1L_2 , 输入电源进线的范围。

200V	180V—260V
------	-----------

400V	360V—420V
------	-----------

如果电源电压使用 200V 时:

193 ± 16V	接到端子	150
-----------	------	-----

205 ± 16V	接到端子	160
-----------	------	-----

216 ± 16V	接到端子	170
-----------	------	-----

228 ± 16V	接到端子	180
-----------	------	-----

240 ± 16V	接到端子	190
-----------	------	-----

252 ± 16V	接到端子	200
-----------	------	-----

如果电源电压使用 400V 时:

$386 \pm 32V$ 接到端子 150

$410 \pm \begin{matrix} 10V \\ 32V \end{matrix}$ 接到端子 160

机器的标准电源电压经过 RLV 调节, 由电源电压表 L, V 指示到 ▼ 标记处, 电源电压达不到标准时, 说明电源电压太高或太低, 这时可用导线 RL2 来选择到合适的电压范围挡 (150—200) 相应的端子上。

二、高压初级电路: 高压变压器初级 T_1 和 T_2 是自耦变压器的四个线圈, 由 OL—28L、OF—152、O—200、OS—15S 组合供电。

摄影时通过 KR 接触器, 透视时通过 KF 接触器接通高压初级 T_2 端, 另一端 T_1 由可控硅导通来控制高压初级 T_1 端, 可控硅 G_2 和 G_1 触发导通角, 由时间控制继电器 K—V₁₁ 来控制, K—BU 继电器为保护继电器。

三、当主可控硅发生短路故障, 就能引起保护继电器 K—BU 工作。

四、在正常情况下, 限时器不动作时, 为使发生高压时继电器 K_2 — T_2 瞬时打开, 能维持一段时间继电器 K—BU 工作, 而使控制电路 K_1 —V 得电工作, 安全地切断摄影预备电路。

五、X 线管灯丝初级电源电路: 大焦点 $165C \rightarrow [8W] \rightarrow 165C \rightarrow F-C (5A) \rightarrow C_2 \rightarrow [7C] \rightarrow X$ 线管灯丝变压器初级。

小焦点: $34C \rightarrow [8W] \rightarrow 34C \rightarrow F-C (5A) \rightarrow CP \rightarrow [7C] \rightarrow X$ 线管灯丝变压器初级。

公用线: $OV \rightarrow \boxed{8W} \rightarrow OV \rightarrow F-CP \rightarrow C_1 \rightarrow \boxed{7C} \rightarrow X$ 线
灯丝变压器初级。

六、X线管旋转阳极启动电源电路: $L_{125} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow$
 $L_{125} \rightarrow \boxed{1W} \rightarrow$ 旋转阳极启动电路。

$L_{40} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_{40} \rightarrow \boxed{1W} \rightarrow$ 旋转阳极运转电路。

$L_0 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_0 \rightarrow \boxed{1W} \rightarrow$ 旋转阳极电路公用线。

七、透视床电源电路: $L_{125} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_{125} \rightarrow F-$
 $L_{125H} (10A) \rightarrow L_{125H} \rightarrow \boxed{4W} \rightarrow$ 透视床电源电路。

$L_{100} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_{100} \rightarrow F-L_{100H} (10A) \rightarrow L_{100H} \rightarrow$
 $\boxed{4W} \rightarrow$ 透视床电源电路。

$L_{28} \rightarrow \boxed{7W} \rightarrow F \rightarrow L_{28H} (10A) \rightarrow 28H \rightarrow \boxed{4W} \rightarrow$ 透视床
电源电路。

$L_0 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_0 \rightarrow \boxed{4W} \rightarrow$ 透视床电源电路公用线。

八、准直仪电源电路: $L_{125} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_{125} \rightarrow F-$
 $L_{125H} (10) \rightarrow L_{125H} \rightarrow \boxed{3H} \rightarrow$ 准直仪变压器初级电路。

$L_{100} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow F-L_{100H} \rightarrow (10A) \rightarrow L_{100H} \rightarrow \boxed{3H}$
 $\rightarrow$ 准直仪变压器初级电源。

$L_0 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow \boxed{3H}$ 准直仪变压器初级电源电路。

九、操作回路电源电路: $L_{100} \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L_{100} \rightarrow F-$
 $L_{100} (3A) \rightarrow L_{100E} \rightarrow \boxed{1E} \rightarrow$ 操作回路电源电路共用线。

十、空间电荷补偿变压器电源电路

(一) 摄影空间电荷补偿仟伏调节 $Cm_1, NoR, KVREG$
 $\rightarrow KVR \rightarrow \boxed{3W} \rightarrow KV_1 \rightarrow \boxed{9W} \rightarrow T_1。$

(二) 透视空间电荷补偿: $12F \rightarrow$ 自耦变压器 $\rightarrow \boxed{3W}$
 $KVF \rightarrow 5F \rightarrow$ 自耦变压器 $\rightarrow \boxed{3W} \rightarrow KV。$

十一、仟伏表电源电路: $168 \rightarrow LV, 2 \rightarrow \boxed{2W} \rightarrow LV$ 表,
电源调节器 $\rightarrow LV_1 \rightarrow \boxed{2W} \rightarrow LV$ 表。

十二、方波产生电源电路: $L100 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow F - L100P$
 $(3A) \rightarrow \boxed{3W}。$

十三、限时器电源电路: $L100 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow F - L100P$
 $(3A) \rightarrow \boxed{3W} L0 \rightarrow \boxed{3W}。$

十四、直流电源电路: $L100 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow F - L100P \rightarrow$
 $(5A) \rightarrow \boxed{3W} \rightarrow L0 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L0 \rightarrow \boxed{3W}。$

十五、主可控硅触发器电源电路: $L100 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow F$
 $- L100P (5A) \rightarrow \boxed{3W} \rightarrow L0 \rightarrow \boxed{10W} \rightarrow L0 \rightarrow \boxed{3W}。$

十六、透视仟伏调节电源电路: $5F \rightarrow$ 自耦变压器 $\rightarrow 12F$
 $\rightarrow TF \rightarrow FL (20A) \rightarrow RFL \rightarrow KF$ 接点 $\rightarrow T_2。$

$28L \rightarrow$ 主可控硅 $\rightarrow T_1。$

第二讲 方波产生电路

(见分图501—06662O1/2)

方波产生器：由运算放大器 A_1-06 、 A_1-07 、 A_1-08 、 A_1-09 组成。该方波产生器与电源同步，因为晶体管 Q_2-01 集电极输出信号电压与电源同步，电源 $25VA$ 和 $25VB$ ，经电阻移相，分别经电阻和电容输出。相位角 ϕ_1 、 ϕ_2 大约相差 53° 左右。然后经齐纳二极管滤波。运算放大器 A_1-06 、 A_1-07 为整形器，运算放大器 A_1-08 、 A_1-09 为比较器，在运算放大器 A_1-08 同相输入端③脚加入一个固定 $+1.5$ 电压，在运算放大器 A_1-09 反相输入端②脚加一个固定 $-7.5V$ 电压。

其电路： $2C \rightarrow 25VA \rightarrow R_{21} \rightarrow R_{13} \rightarrow 06$ 正半波 $\rightarrow$ 运算放大器 A_1-06 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-06$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $D_2-12 \rightarrow$ 运算放大器 A_1-08 反相输入端②脚输入 $\rightarrow A_1-08$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 三极管 $D_2-O_3 \rightarrow 2$ 端。

$2C \rightarrow 25VA \rightarrow R_{21} \rightarrow R_{13} \rightarrow 06$ 负半波 $\rightarrow$ 运算放大器 A_1-06 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-06$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $D_2-09 \rightarrow$ 运算放大器 A_1-09 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-09$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $D_2-05 \rightarrow 2$ 端。

$2C \rightarrow 25VB \rightarrow C_1 \rightarrow O_2 \rightarrow R_{13} \rightarrow 07$ 正半波 $\rightarrow$ 运算放大器

A_1-07 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-07$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $2D-11 \rightarrow$ 运算放大器 A_1-08 反相输入端②脚输入 $\rightarrow A_1-08$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $D_2-03 \rightarrow 2$ 端。

$2C \rightarrow 25VB \rightarrow$ 电容 $C_1-02 \rightarrow R_{13}-07$ 负半波 $\rightarrow$ 运算放大器 A_1-07 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-07$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $D_2-10 \rightarrow$ 运算放大器 A_1-09 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-09$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 二极管 $D_2-05 \rightarrow 2$ 端。

运算放大器输入、输出各点波形见图1。在2端输出为叠加方波 $\rightarrow R_{20} \rightarrow$ 晶体管 Q_2-01 放大后加入③端 $\rightarrow \begin{matrix} K_1 \leftarrow SF_1 \\ \text{---} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} K_1 \leftarrow C \\ \text{---} \end{matrix} \rightarrow$ 运算放大器 A_1-01 同相输入端③脚输入 $\rightarrow A_1-01$ ⑥脚输出 $\rightarrow$ 晶体管 $Q_2-03 \rightarrow$ 主晶体管基极 TB 。

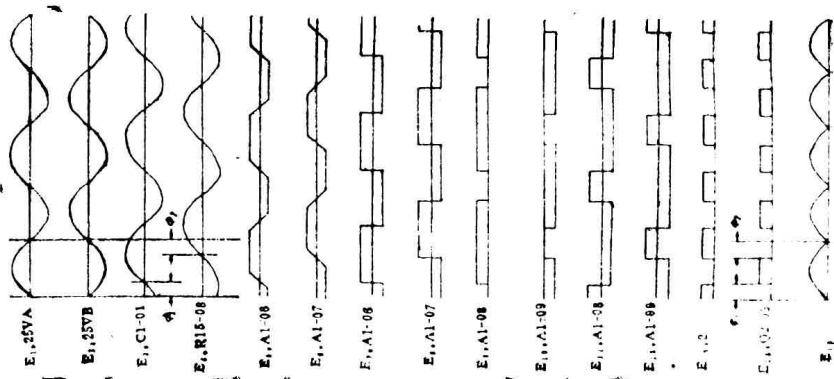
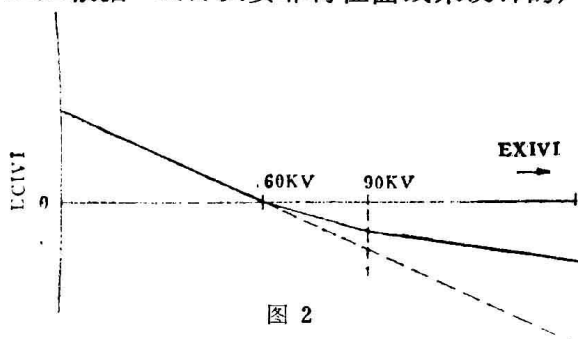


图 1

第三讲 空间电荷补偿电路

(见分图501—06662O1/2)

大家都知道X线管有个特性，管电压增加，管电流也随着增加，管电压增加得越高，管电流增加得就越大。为了补偿管电压的变化引起管电流的变化，就要保持管电流的稳定。岛津机器不是采用线性补偿，而是采用非线性补偿，补偿校正电压和管电压的关系，来达到较高的精度以调节管电流。管电压在60KV时，补偿电压 $EC = 0$ ，管电压在小于60KV时， EC 为正值，大于60KV时 EC 为负值，在60KV和90KV有两个坡度。这是根据X线管伏安非特性曲线来设计的，见图2。



在空间电荷补偿电路中PV3、PV4输出AC15V电压，这个电压随着FKV和RKV电压成比例的变化，其电压比值15V/150KV（空间电荷补偿变压器）。AC15V电压被桥块D₁-01-D₁-04整流后，经电容C8滤波，获得一个平滑的直流电压，当FKV为零的时候，电桥输出也为零伏，这时电容C8+端连接—

个6.5V的直流电压, $\frac{3.9\text{K}\Omega}{5.1\text{K}\Omega + 3.9\text{K}\Omega} \times 15\text{V} = 6.5\text{V}$ 。如果FKV低于60KV时, 电容 C_8 负端电位相对于电源。V端的电压是一个正的补偿电压、二极管 D_2-01 和 D_2-02 的设计是分别改变60KV和90KV—V补偿电压斜率, 当大于60KV、二极管 D_2-01 导通, 当大于90KV二极管 D_2-02 导通。当FKV小于60KV时→运算放大器 A_1-03 同相输入端③脚输入→ A_1-03 ⑥脚输出→晶体管 Q_2-02 → R_{16-02} → R_{13-02} →3端正信号电压。当 $60\text{KV} < \text{FKV} < 90\text{KV}$ 时, FKV →二极管 D_2-01 →OV; FKV —运算放大器 A_1-03 同相输入端③脚输入→ A_1-03 ⑥脚输出→晶体管 Q_1 → R_{16-02} → R_{13-02} →3端负信号电压。通过晶体管 Q_1 进行电流放大。电位器 R_{16-01} 是60KV, 2mA 空间电荷补偿调节器, 电位器 R_{16-02} 是90KV 空间电荷补偿调节器。

第四讲 摄影管电流调节电路

(见分图501-06662O1/2、501-06661B)

空间电荷校正电压是 $\text{KCm } \overline{4C}$ 加入照像mA调节回路和mA选择回路。+15V、OV也进入mA调节回路, 这个电压加到 CR_2 、 CR_3 、继电器 K_1-C 的常开接点, 同时也加到运算放大器 A_1-01 同相输入端③脚, 由 A_1-01 ⑥脚输出, 经过 R_{19-01} 、 R_{7-01} 、 R_{17} 到运算放大器 A_1-02 同相输入端

③脚，由A₁—02 输出 到 晶体管 Q₂—03，二极管 D₂—04、TB、6C 触发控制主晶体管集电极电流，（也就是控制mA大小）。例如二台50mA空间电荷补偿调节电路分析：KCm → 4C → KCm → R₅₀₋₂₂ → R₃₋₁₀ → — $\parallel$ — → — $\parallel$ — → mA2

K₁—N₂₁ K₁₁—N31

→ 2A → mA选择器 → 2A → CR₁ → 4C → CR₁ → CR₂

K₁—C

→ CR₃ → — $\parallel$ — → 运算放大器A₁—01同相输入端 ③脚 → A₁—01⑥脚 → R₁₃—01 → R₇—01 → R₁₇ → 运算放大器A₁—02③脚 → A₁—02⑥脚 → 晶体管Q₂—03 → 二极管D₂—04 → TB → 6C → 触发控制主晶体管集电极电流大小，（也就是控制 mA大小）。

这两部分的调节电压总和的一半分别输出到端子mA11, Am2、mA13、mA2—mA9，这个电压由mA选择器和X线管选择器加到CR₁端，CR₃端至主晶体管基极，可变微调电阻R₃₀—11、R₃—12、R₃₀—12、是60KV空间电荷补偿调节器，X线管电压应调节在60KV状态下进行空间电荷补偿。调节另外一组可变微调电阻R₃₀—21、R₃₀—22、R₃₀—23、是90KV空间电荷补偿调节器。X线管电压应调节在90KV状态下进行空间电荷补偿调节。

上述空间电荷补偿调节器是1管、2管、3管、30mA、60KV；30mA、90KV调节器。1管、2管、3管、70mA、100mA、150mA、200mA、300mA、400mA、500mA、60KV、90KV空间电荷补偿调节。见图501—06661B。

第五讲 X线管灯丝电路

(见分图501—06662O2/2)

在灯丝电路中继电器 $K_1—C$ 为摄影准备继电器，继电器 $K_3—H$ 为冷阴极保护继电器，继电器 $K_5—H$ 为过压保护继电器。

一、X线管小焦点透视灯丝电路分析： $\boxed{7C} \rightarrow C_1 \rightarrow C$

$\rightarrow \boxed{1H} \rightarrow X\text{线管灯丝变压器初级} \rightarrow \boxed{1H} \xrightarrow{K_2-1n} CS \rightarrow \text{---} \parallel \text{---} \rightarrow$
 $K_3—H \rightarrow \text{二极管 } D_6—03 \rightarrow RF1B \rightarrow \boxed{5C} \rightarrow RF12 \rightarrow RF_{11} \rightarrow \text{二}$
 $\text{极管 } D_6—05 \rightarrow TC \rightarrow \boxed{6C} \rightarrow \text{主晶体管集电极} \rightarrow \text{发射极} \rightarrow \boxed{6C}$
 $\rightarrow TE \rightarrow R_2 \rightarrow 0V \rightarrow \text{二极管 } D_6—02 \rightarrow RSB \rightarrow RS \rightarrow \boxed{5C} \rightarrow RSA$
 $\rightarrow \boxed{C2}$ 。

二、X线管小焦点摄影灯丝电路分析： $\boxed{7C} \rightarrow C_1$

$\rightarrow C \rightarrow \boxed{1H} \xrightarrow{K_2-1n} X\text{线管灯丝变压器初级} \rightarrow \boxed{1H} \rightarrow CS \rightarrow \text{---} \parallel \text{---} \rightarrow$
 $K_4—BU \quad K—C$
 $K_3—H \rightarrow \text{---} \parallel \text{---} \rightarrow \text{二极管 } D_6—03 \rightarrow \text{---} \parallel \text{---} \rightarrow \text{二极管 } D_6—05 \rightarrow$
 $TC \rightarrow \boxed{6C} \rightarrow \text{主晶体管集电极} \rightarrow \text{发射极} \rightarrow \boxed{6C} \rightarrow TE \rightarrow R_2 \rightarrow$
 $0V \rightarrow \text{二极管 } D_6—02 \rightarrow RSB \rightarrow RS \rightarrow RSA \rightarrow \boxed{C2}$ 。

三、X 线管大焦点灯丝摄影电路分析: $\boxed{7C} \rightarrow C_1 \rightarrow C$

$\rightarrow \boxed{1H} \rightarrow X \text{ 线管灯丝变压器初级} \rightarrow CL \rightarrow \overset{K-C \quad K_2-m}{\text{---}\# \text{---}} \rightarrow K_3$

$\overset{K_4-BU}{\text{---}H \text{---}\# \text{---}} \text{ 二极管 } D_6 \text{---}03 \rightarrow \overset{K-C}{\text{---}\# \text{---}} \rightarrow \text{ 二极管 } D_6 \text{---}05 \rightarrow TC$
 $\rightarrow \boxed{6C} \rightarrow \text{主晶体管集电极} \rightarrow \text{发射} \rightarrow \boxed{6C} \rightarrow TE \rightarrow R_2 \rightarrow OV \rightarrow \text{二}$

$\text{极管 } D_6 \text{---}02 \xrightarrow{K_2-m} \text{---}\# \text{---} \rightarrow \boxed{C_2} \text{。}$

四、X 线管大焦点灯丝预热电路分析: $\boxed{7C} \rightarrow C_1 \rightarrow C \rightarrow$

$X \text{ 线管灯丝变化器初级} \rightarrow \boxed{1H} \xrightarrow{K-C} CL \rightarrow \text{---}\# \text{---} \rightarrow R_1 \rightarrow CP \text{。}$

继电器 K_3-H 工作, 其接点将 Cu_1, Cu_2 接通, 当灯丝电路没有电流时, $R_2 = OV$, 继电器 K_3-H 停止工作, 切断控制电路 Cu_1, Cu_2 , 使X线不能发生。

继电器 K_5-H 是X 线管灯丝变压器初级断路过压保护继电器。当X线管灯丝变压器发生断路时, 继电器 K_5-H 工作, 切断摄影控制回路, 使X线不能发生。

五、继电器的作用: $K-RE$ 是摄影准备继电器, K_1-SF_1 是点片交换继电器、继电器 K_1-C 摄影准备继电器, $K-C$ 是大焦点预热和大焦点切换继电器, K_2-m 是大焦点切换继电器, $K-V$ 是过载保护继电器。

第六讲 透视mA调节电路

(见图501-06662O1/2、2/2)

从mA 调节器来的直流电压加到 $\overline{1C}$ →Fm₃→R₁₃—01→3端→继电器K₁—SF₁常开接点→继电器K₁-C常闭接点→运算放大器A₁—01③脚→A₁—01⑥脚→R₁₉—01→R₇—01→R₁₇5端→运算放大器A₁—02③脚→A₁—02⑥脚→晶体管Q₂—03→二极管D₂—04→TB→ $\overline{6C}$ 触发控制主晶体管集电极电流大小，也就是控制mA 值的大小。

第七讲 稳定X线管电流控制电路

在X 线机中稳定X 线管电流是非常重要的。在岛津X 线机中，使用电源正弦波中的矩形中心分量、做为灯丝变压器初级电源，正弦波有波动，但是矩形波分量始终在正弦波的包络线之中。

图3 是稳定X线管灯丝变压器初级电压电源原理图。它由方波产生器R₁、BG₁、BG₂、R₂、D₁—D₄ 交直流电源、灯丝变压器组成。它的工作原理，当电源a点为正半周时，电源由a点→b→c→D₁→BG₂→R₁→D₃→D点。当D点前正半周时，由电源D点→D₄→BG₂→R₁→D₂→c→b→a。从图

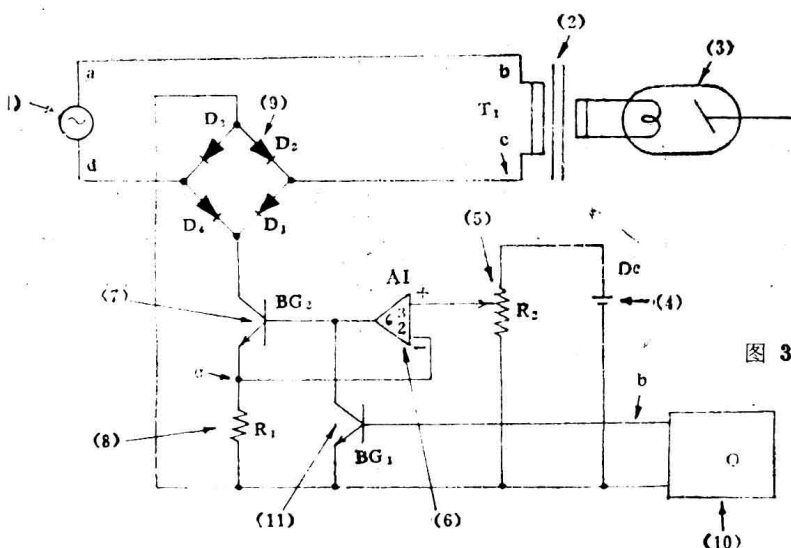


图 3

中可看出，只有主晶体管 BG_2 导通、灯丝变压器才有电流通过，只有 BG_2 导通的周期和电源同相、在 T_1 的初级获得一个完整的正弦波，主晶体管导通与截止的回路，有DC的恒流源加在电阻 R_2 两端，其幅度的大小由mA值来决定的，调节幅度有mA选择器来决定，电阻 R_2 的直流电压加到运算放大器 A_1 同相输入端③脚，从 A_1 ⑥脚输出，加到主晶体管 BG_2 基极，Q为矩形波发生器，输出的矩形波如图4(b)，只有输出矩形波，晶体管 BG_1 才能导通一次。运算放大器 A_1 ⑥脚输出为零。只有晶体管 BG_1 截止，晶体管 BG_2 才能导通。图4是波形图， d' 是电源正弦波， d 是正负矩形波，加在灯丝变压器初级 T_1 。只控制矩形波幅度，不超过正弦波包络线，电源如波动，它基本上不受影响。具体控制电路见分图501—06662O1/2、501—06662O2/2、501—06663A。主晶体管(BG_2)发射极加了检测电阻 R_1 ，检测电阻 R_1 的电压加到运算放大器 A_1 反相输入端②脚。检测灯丝变压器初级的稳定性。如果初级电

压升高，检测电阻 R_1 上的电压就升高，再通过差动放大器两个输入端进行电压比较，运算放大器 A_1 ⑥脚输出的矩形波电压就降低，触发晶体管 BG_2 的电压就降低，那么就使加在灯丝变压器初级 T_1 矩形波电压就降低，就达到调节电压的目的。不管电流，电压如何地变化，灯丝电流通过电路达到稳定的目的。主晶管有六只大功率晶体三极管并联使用，在电路中设有X线管保护电路，见分图501—06662O2/2。

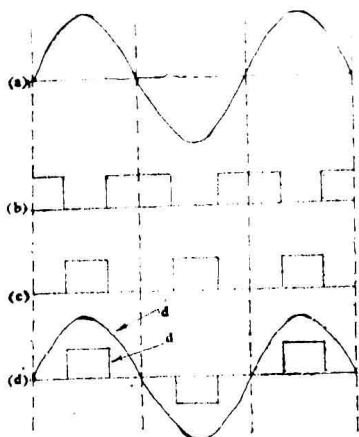


图 4

第八讲 瞬时电路

(见分图501—06662O1/2)

X线管灯丝加热在透视状态转为点片摄影时，要使灯丝加热到足够的温度，需要一定时间，为了加快X线管灯丝

增温，本机设有一个瞬时X线增温电路。由继电器 K_1-SF_1 常闭接点，电容 C_5 ，电阻 R_9 ， R_{22} ， $R_{14}-04$ ，二极管 D_2-06 组成。瞬时电路的输出，通过二极管 $D_2-06 \rightarrow$ 运算放大器 A_1-02 同相输入端③脚 $\rightarrow A_1-06$ ⑥脚 $\rightarrow$ 晶体管 Q_2-03 基极进行电流放大，然后通过二极管 D_2-04 加到 $TB \rightarrow [4C]$ 主晶体管基极，当按下预备按钮时，继电器 K_1-SF_1 不工作。

+15V 电压通过继电器 K_1-SF_1 常闭接点，开始向电容 C_5 充电，充电电压通过二极管 D_2-06 加到运算放大器 A_1-02 同相输入端③脚。当继电器 K_1-SF_1 工作时，由二极管 D_6-01-D_6-04 组成桥式整流器，其正极通过继电器 $K-C$ 常开接点，二极管 D_6-05 加到 $TC-[6C]$ 主晶体管集电极，二极管 $D_6-01 \sim D_6-04$ 整流器负极端通过检测电阻 $R_2 \rightarrow TE \rightarrow [6C] \rightarrow$ 主晶体管发射极。X线管灯丝电流检测电阻 R_2 两端电压与X线管灯丝电压成正比。这个检测电压经电阻 R_{26} 加入到运算放大器 A_1-02 反相输入端②脚、电阻 R_2 上的电压是同运算放大器 A_1-02 同相输入端③脚的电压成正比。

K_1-SF_1

充电电路： $+15V \rightarrow \text{---} \text{---} \text{---} \rightarrow$ 电容 C_5

K_1-SF_1

放电电路：电容 $C_5 \rightarrow \text{---} \text{---} \text{---} \rightarrow R_9 \rightarrow R_{27} \rightarrow$ 二极管 $D_2-06 \rightarrow$ 运算放大器 A_1-02 同相输入端③脚。

电容器 C_5 充电后随即放电，电压逐渐减少，经二极管 D_2-06 加到 A_1-02 同相输入端③脚。其结果运算放大器 A_1-02 同相输入端③脚的波形是上述电压和mA调节电压混合后的波形。X线灯丝电流波形随时间变化。电容 C_7 、 C_8 、 C_6