



kuoyinji de yuanli yu weixiu

扩音机的原理与维修

扩音机的原理与维修

王沛清 编

湖南科学技术出版社

扩音机的原理与维修

王沛清 编

责任编辑：陈清山

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1980年4月第1版第1次印刷

字数：350,000 印张：15.25 印数：1—41,000

统一书号：15204·29 定价：1.40元

前 言

本书通过剖析几种有代表性的扩音机电路，使读者对扩音机的原理有较深入的了解。在讲解扩音机的原理中，结合介绍了常见的电子电路，如低频电压放大电路、低频功率放大电路（包括甲类、甲乙₁类、甲乙₂类、乙类）、倒相电路、负反馈电路、整流电路、滤波电路、变频电路、中放电路、检波电路等。掌握这些电路的特点，能为进一步学习电子技术，打下一定的基础。

在讲明扩音机的原理后，本书全面地阐述了扩音机的维护和修理知识，针对扩音机可能出现的各种故障，系统地介绍了一套行之有效的检修方法。读者在认真实践的基础上，结合本书的学习，经过一段时间的努力，不难排除扩音机的一般故障。考虑到维修扩音机的特殊性，书中专门列有一章叙述扩音机变压器的修理方法，最后对与扩音机配套的电声器件也作了较详细的介绍。

本书适于有线广播站的机务人员阅读，对中、小学教师和广大青少年亦有参考价值。

限于作者水平，书中缺点、错误一定不少，请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 电子管扩音机的电路原理	(1)
第一节 真空三极管的特性曲线和参数	(1)
第二节 分析电子管放大电路的两种方法	(6)
第三节 前级放大级	(12)
第四节 功率放大级	(22)
第五节 推动级	(33)
第六节 收音部分	(39)
第七节 电源供给部分	(47)
第八节 几种典型电子管扩音机电路分析	(59)
第二章 晶体管扩音机的电路原理	(72)
第一节 分析晶体管放大电路的两种方法	(72)
第二节 功率放大级	(80)
第三节 推动级	(90)
第四节 前级放大级	(95)
第五节 收音部分	(102)
第六节 电源供给部分	(107)
第七节 几种典型晶体管扩音机电路分析	(114)
第三章 扩音机的使用	(122)
第一节 扩音机的安置	(122)
第二节 扩音机的日常维护	(125)
第四章 扩音机与扬声器的匹配	(128)
第一节 基本概念	(128)
第二节 定阻抗式扩音机的匹配	(130)
第三节 定电压式扩音机的匹配	(137)
第四节 线间变压器	(138)
第五节 用电压法计算定阻抗式扩音机的匹配	(139)
第五章 扩音机的修理知识	(144)
第一节 修理前的准备工作	(144)

第二节	初步判断故障部位	(146)
第三节	怎样检查元件	(147)
第四节	元件的更换	(152)
第五节	检查故障的方法	(153)
第六节	扩音机各级工作电压、电流参考数值	(156)
第六章	电子管扩音机的检修	(162)
第一节	电子管扩音机电源供给部分的检修	(162)
第二节	无声故障的检修	(168)
第三节	音轻故障的检修	(172)
第四节	功率放大管屏极发红故障的检修	(177)
第五节	交流声故障的检修	(180)
第六节	失真故障的检修	(184)
第七节	哨叫声和汽船声故障的检修	(186)
第八节	杂音故障的检修	(188)
第九节	收音部分故障的检修	(190)
第十节	电子管扩音机故障原因一览表	(193)
第七章	晶体管扩音机的检修	(200)
第一节	晶体管扩音机故障的特殊性	(200)
第二节	大功率晶体管的保护	(202)
第三节	晶体管扩音机故障分析	(203)
第四节	晶体管扩音机故障原因一览表	(206)
第八章	扩音机的变压器	(209)
第一节	怎样绕制变压器	(209)
第二节	电源变压器	(220)
第三节	推动变压器	(227)
第四节	输出变压器	(231)
第五节	线间变压器	(235)
第九章	电声器件	(239)
第一节	扬声器	(239)
第二节	话筒	(249)
第三节	电唱机	(252)

第一章 电子管扩音机的电路原理

扩音机是有线广播中的关键设备，它能将微弱的音频电信号放大。放大到一定量的音频电信号通入扬声器，就能得到宏亮的声音。扩音机的类型是多种多样的，但不论扩音机的结构多么复杂，也不论是电子管扩音机还是晶体管扩音机，它的组成都如图1—1所示，其中包括以下几部分：

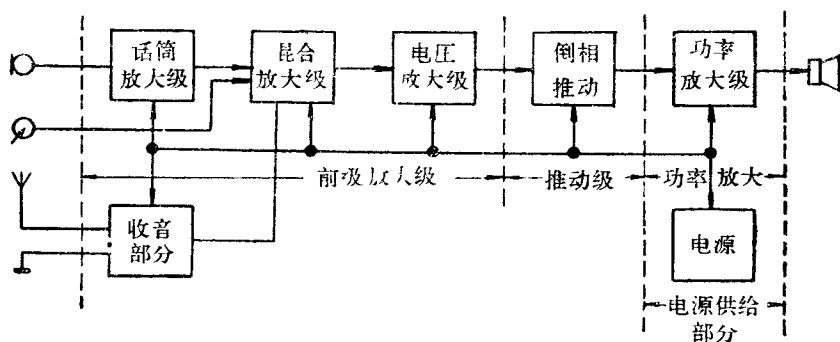


图1—1

1. 前级放大级——由话筒放大级、混合放大级和电压放大级等组成。它的作用是把话筒、拾音器、录音机、收音机等方面送来的微弱的音频电压放大到一定的程度。由于话筒输出的电压比拾音器、收音机输出的电压低得多（拾音器、收音机输出的电压约100毫伏，而普通动圈话筒输出的电压只有2毫伏，两者相差50倍），所以在进入混合放大级前，对话筒信号要多进行一级放大，这级放大器就叫话筒放大级。

2. 推动级——包括倒相、推动等部分。它进一步将前级放大级送来的电信号放大，并将它分成为大小相等、相位相反的两部分，以推动后面的功率放大级工作。

3. 功率放大级——采用推挽功率放大电路，将推动级输入的音频电信号放大到一定的电功率，送入扬声器，发出宏亮而动听的声音。

4. 收音部分——用来接收无线电广播。

5. 电源供给部分——供给各放大级正常工作所需要的交、直流电压和电流。

第一节 真空三极管的特性曲线和参数

在真空二极管的屏极（又称阳极或板极）与阴极之间，加入一个网状电极（称为控制栅极或简称栅极），就成了真空三极管。它的内部结构和符号如图1—2所示，其中a表示屏极，g表示栅极，k表示阴极。阴极分直热式和旁热式两种。直热式阴极的加热电流直接流入灯丝，

而热电子也是从灯丝上发射出来的。旁热式阴极表面涂上一层钨、钽的氧化物，内部装有热丝的镍质套管，依靠加热电流通过热丝，使阴极间接加热。扩音机中用到的电子管，大部分是旁热式阴极。

在画电路符号时，由于旁热式阴极的热丝加热电源是独立的，与其它电路（如栅极回路、屏极回路等）没有直接的联系，因此往往略去，如图1—2d。

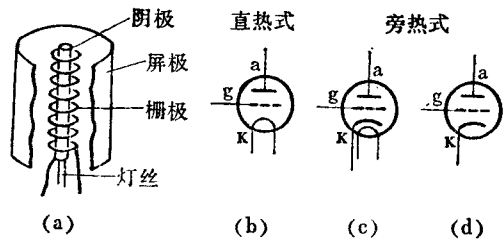


图1—2

真空三极管在扩音机中接成的基本电路如图1—3所示。从图中可以看出，三极管接入电

路时，除了灯丝电路外，还有两个基本电路，一个是屏极回路，另一个是栅极回路。屏极回路是指屏极与阴极间的电路。屏极与阴极间的电压称为屏压，以 U_a 表示，一般屏压总是正的，即屏极电位比阴极电位高，因此屏极回路经常有屏流 i_a 流通，屏极回路所接的电源称为屏极电源，用 E_a 表示。栅极回路是指栅极与阴极间的电路，栅极与阴极间的电压称为栅压，以 U_g 表示。在大多数情况下，栅压是负的，即栅极电位比阴极电位低，因而栅极回路没有电流。栅极回路所接的电源称为栅偏压电源，用 E_g 表示。

三极管的栅极在电路中起什么作用呢？如果将三极管按图1—3接好，这时在电子管阴极附近将存在两个电场：一个是屏极所产生的吸引电子的电场，另一个是栅极所产生的排斥电子的电场。因此，电子管的屏流 i_a 的大小，不仅与屏压 U_a 有关，而且也与栅压 U_g 有关。

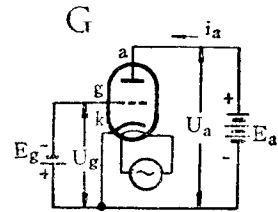


图1—3

设屏压 U_a 固定不变，如果栅极电压愈负，则对电子的排斥力愈大，屏流愈小。反过来，如果把栅压减小，则栅极对电子的排斥力将减少， i_a 也随着增加。可见在栅极加上大小不同的电压，就能控制由阴极流向屏极去的电子的数量，也就是说栅极有控制屏流 i_a 大小的作用。由于栅极距离阴极比屏极距离阴极近，所以栅极控制电子流的能力要比屏极大得多，即栅压 U_g 有少量的变化，就能引起屏流 i_a 发生较大的变化，这就是三极管具有放大作用的根本原因。

图1—4是一个简单的三极管放大器电路。当在栅极回路加入一个微小的交变电压 e_x 时，就会使栅压 U_g 发生变化，这将使屏流 i_a 较大地变化。如果我们在屏极回路中接入一个负载电阻 R_a ，当电路中各元件的数值选择得合适， i_a 流过 R_a 时，在 R_a 两端电压的变化要比 U_g 的变化大得多，因此就产生了放大电信号的作用。例如电子管6N2，当它的屏极电源电压 E_a 是250伏，

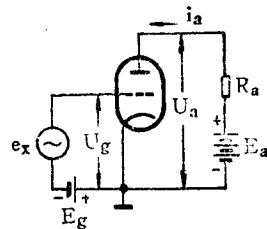


图1—4

负载电阻 R_a 用50千欧时，如果输入信号电压 e_x 使 U_g 从-3伏变到零伏（变化范围是3伏），这时 i_a 将从0.4毫安变到2.4毫安。那么屏流在50千欧负载上所产生的电压就从20伏（0.4毫安 \times 50千欧=20伏）变到120伏（2.4毫安 \times 50千欧=120伏），变化范围是100伏。结果输出

信号电压比输入信号电压放大了三十多倍($\frac{100\text{伏}}{3\text{伏}} = 33.3$)。

根据上述放大电路的工作过程，我常常把栅极回路叫输入回路，屏极回路叫输出回路。

由于在真空三极管中，影响屏流(i_a)的主要是屏压(U_a)和栅压(U_g)，所以我们可以通过如图1—5所示的实验装置来测定 i_a 随 U_a 变化的情况和 i_a 随 U_g 变化的情况，并将测试结果在直角坐标系(取纵坐标表示变量 i_a ，横坐标分别表示 U_a 和 U_g)中，用曲线形象地表示出来，前者称为电子管的屏极特性曲线，后者称为屏栅特性曲线。

测量屏极特性曲线时，先把栅压 U_g 固定在某一数值上，然后把屏压 U_a 从零开始逐渐升高，每改变一次屏压便得到一个相应的屏流的数值，这样就在坐标上确定一个点，把很多点连起来就可以得到一条屏极特性曲线。然后取不同的栅压，用同样的方法可以得到在

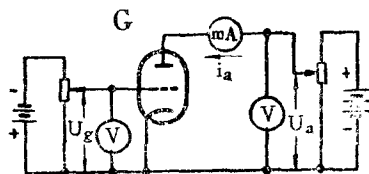


图1—5

不同的栅压下的屏极特性曲线，从而得到屏极特性曲线族。图1—6即为扩音机中用得很多的真空三极管6N1的屏极特性曲线族。从曲线族上可以看出，栅极控制屏流的能力要比屏极强得多。例如屏压为120伏时，栅极电压从-2伏变到-1伏(变动1伏，从图1—6中的点a变到点c)，屏流变化约为5毫安(从6毫安变到11毫安)。如果栅极电压保持-1伏不变，而使屏流由11毫安变回到6毫安，屏极电压便要由c点的120伏下降到b点的80伏。这说明要使屏流发生5毫安的变化，改变栅极电压1伏就能达到，而屏压则需要改变40伏，这表示栅极电压控制屏流的能力比屏压控制屏流能力大得多。

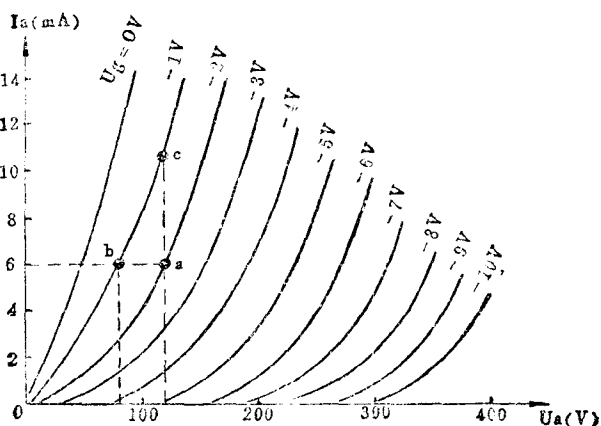


图1—6

测量屏栅特性曲线仍用图1—5所示的电路，只是把屏压 U_a 固定在某一数值上，然后读出不同的栅压下相应的屏流数值，作出一条屏栅特性曲线。在不同的屏压下作出的很多条屏栅特性曲线就组成了屏栅特性曲线族。图1—7就是三极管6N1的屏栅特性曲线族。由图看出，屏压固定不变，如取60伏，当栅压为负1伏时，屏流为3毫安(在点a)；栅压负2伏时，屏

流为0.8毫安(在点b)。栅压愈负,屏流愈小,当栅压达到-3伏时,屏流减小为零,这时栅负压就是所谓截止栅负压。屏压愈高,截止栅负压愈大(指它的绝对值),屏栅特性曲线就愈往左移。由屏栅特性曲线也可以看出栅压变化对屏流的影响是很大的,栅压稍有增加,屏流就会显著增加。

电子管的特性除了通过上述的特性曲线来反映外,还可以用电子管的参数来表示。三极管的参数是表示屏流与屏压、栅压微小变化量之间的关系的,所以又称为微变参数。屏流 i_a 、屏压 U_a 和栅压 U_g 的微小变化量分别用 Δi_a 、 ΔU_a 和 ΔU_g 表示,这些微小变化量称为增量。

三极管的主要参数有三个,即内阻、跨导和放大系数。

内阻的定义是:在栅压保持不变时,屏压 U_a 在某一工作点上变化一微小增量 ΔU_a ,将引

起屏流相应地变化一个增量 Δi_a ,比值 $\frac{\Delta U_a}{\Delta i_a}$ 称为内阻,用符号 R_i 表示,即

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} \quad (\Delta U_a \text{以伏特为单位, } \Delta i_a \text{以毫安为单位,得 } R_i \text{的单位为千欧。})$$

内阻的物理意义是,在栅压保持不变的条件下,在某一工作点,要屏流变化1毫安,屏压需要变化多少伏特。它说明屏压对屏流的控制能力,内阻愈小,屏压控制屏流的能力就愈强。内阻可以由屏极特性曲线求出。6N1的屏极特性曲线族如图1-8所示,在工作点a屏压为140伏,栅压为-2伏。如果使栅压保持不变,屏压由140伏增加到160伏(即 $\Delta U_a = 20$ 伏),屏流将由8毫安升到11毫安(即 $\Delta i_a = 3$ 毫安),则在工作点a附近,6N1的内阻为 $R_a = \frac{20}{3} = 6.67$ (千欧)。一般三极管的内阻在1千欧到100千欧之间。

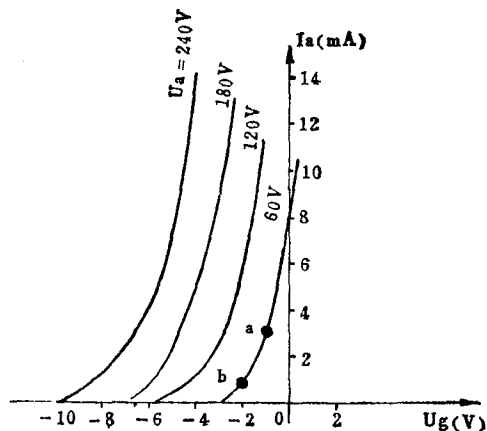


图1-7

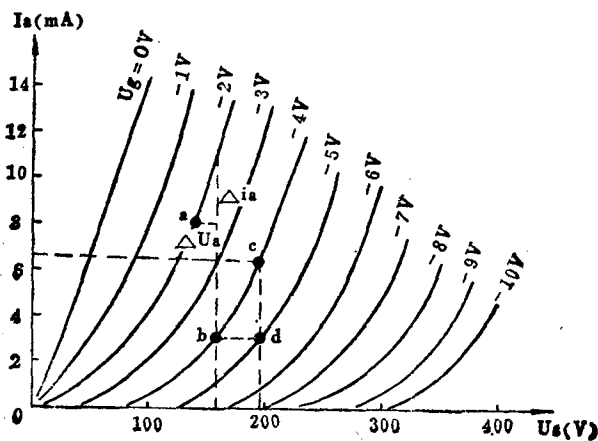


图1-8

跨导的定义是：在屏压保持不变时，栅压 U_g 在某工作点上变化一微小增量 ΔU_g 将引起屏流 i_a 相应地变化一个增量 Δi_a ，比值 $\frac{\Delta i_a}{\Delta U_g}$ 称为跨导，用符号 S 表示，即

$$S = \frac{\Delta i_a}{\Delta U_g} \quad (\Delta i_a \text{以毫安为单位, } \Delta U_g \text{以伏特为单位, 得} S \text{的单位为毫安/伏})。$$

跨导的物理定义是，在屏压固定不变的条件下的某一工作点，栅压变化1伏时，屏流变化了多少毫安。它表明栅压控制屏流的能力，跨导愈大，栅压控制屏流的能力就愈强。例如，在某一固定的屏压下，栅压变化2伏能使屏流变化10毫安，那么跨导就是 $S = \frac{10}{2} = 5$ 毫安/伏。电子管的跨导可以由屏栅特性曲线求出，例如图1-9中，在 U_a 为180伏的屏栅特性曲线上，工作点 a 处的栅压为-4伏，屏流为5毫安，如果栅压升高到-3伏，即 $\Delta U_g = -3 - (-4) = 1$ 伏，这时屏流增加到9毫安，也就是 $\Delta i_a = 9 - 5 = 4$ 毫安，所以 a 点附近的跨导 $S_a = \frac{4}{1} = 4$ 毫安/伏。一般三极管的跨导值约为0.5~10毫安/伏。

放大系数的定义是：在某一工作点，当屏压变化一微小的增量 ΔU_a ，为了保持屏流不变，栅压 U_g 必须相应地变化一个 ΔU_g ， ΔU_a 与 ΔU_g 的比值的绝对值，称为放大系数，用符号 μ 表示，即

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right| \quad (i_a \text{固定})$$

放大系数没有单位。为了保持屏流不变， ΔU_a 和 ΔU_g 的符号必定相反（如屏压增加而要屏流不变，栅压必须减少），它们的比值是一个负数，所以放大系数应取绝对值。例如在图1-8中，当栅压为-4伏，屏压从160伏（ b 点）增加到195伏（ c 点）时，屏流从3毫安增加到6.5毫安，要使屏流仍然保持在3毫安，栅压必须从-4伏变到-5伏（ d 点）。说明在工作点 b ，为保持屏流在3毫安，栅压变化-1伏（ ΔU_g ）与屏压变化35伏（ ΔU_a ）的作用相当，我们说此时电子管的放大系数 $\mu = \left| \frac{35}{-1} \right| = 35$ 。意思就是栅压对屏流的控制能力是屏压的35倍。一般三极管的放大系数约在2.5~100之间。

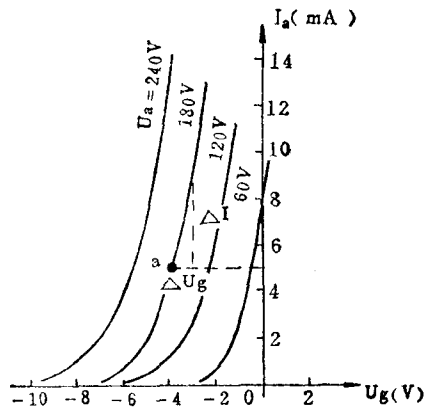


图1-9

电子管的三个参数 R_i 、 S 和 μ 三者之间有一定的关系，这个关系如下：

$$\text{因为 } R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} \right| \quad (U_g \text{固定})$$

$$S = \frac{\Delta i_a}{\Delta U_g} = \left| \frac{\Delta i_a}{\Delta U_g} \right| \quad (U_a \text{固定})$$

把 R_i 与 S 相乘得：

$$R_i \times S = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} \right| \times \left| \frac{\Delta i_a}{\Delta U_g} \right| = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right|$$

而 μ 的定义是

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right|$$

所以 $\mu = R_i \times S$

这个方程表明了电子管三个参数之间的相互关系，即放大系数等于内阻与跨导的乘积。

第二节 分析电子管放大电路的两种方法

一、典型的电子管放大电路

图1—10是一个由真空三极管 6N1 组成的典型的电压放大电路。 R_a 称屏极负载电阻，输入的信号电压(通常用 u_{sr} 表示)从栅极回路引入，被放大的信号电压由屏极和地之间输出(通常用 U_{sc} 表示)。直流电源 E_g 和 E_a 分别为栅偏压电源和屏极电源。

当栅极回路加上信号电压 U_{sr} 时，将引起屏极电流 i_a 作较大的变化， i_a 流过 R_a 时，由于 R_a 的阻值足够大，所以它两端电压的变化将比输入信号电压 U_{sr} 大很多倍，因此电子管屏极和地之间的信号电压(输出电压 U_{sc})比

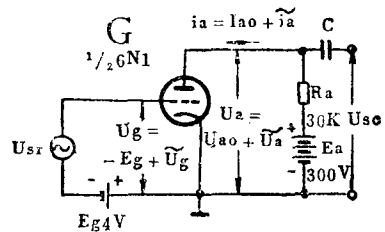


图1—10

U_{sr} 大很多倍。 R_a 的作用是把变化的屏极电流转变为变化的电压。如果没有 R_a ，尽管屏流 i_a 发生变化，电子管屏极与地之间的电压不会变化。

当放大器的栅极没有信号电压输入时，电子管处于静止的工作状态，它的输入回路和输出回路中的电压、电流都是直流，如图1—11所示。栅极回路只有栅偏压 E_g ，屏极回路有一定的直流屏流 I_{a0} 。由于 I_{a0} 通过负载电阻 R_a 产生了电压 $I_{a0} \times R_a$ ，因此实际加在屏极和阴极之间的电压是： $U_{a0} = E_a - I_{a0} R_a$ 。 I_{a0} 称为屏流的直流分量，而 U_{a0} 称为屏压的直流分量。

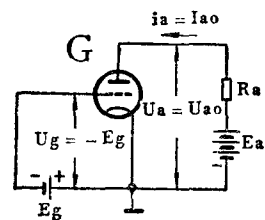


图1—11

当栅极回路有信号电压输入时(为讨论方便，我们设 U_{sr} 是正弦电压)，各有关的电压、电流量的波形如图1—12所示。栅极和阴极之间的电压 U_g 是：

$U_g = -E_g + \tilde{U}_g = -E_g + U_{sr}$ (\tilde{U}_g 是栅压的交流分量)，即在直流电压 $-E_g$ 上叠加了一个交流电压 U_{sr} ，它的波形图如图1—12a所示。

由电子管的特性可知，栅压增加时屏流增加，而栅压减小时屏流跟着减小，所以屏流在直流分量 I_{a0} 的基础上发生变化，如图1—12b所示。屏流 i_a 是：

$$i_a = I_{a0} + \tilde{i}_a \quad (\tilde{i}_a \text{表示屏流中的交流分量})$$

当屏流变化时，例如屏流增加， R_a 上的电压增加，而屏极电源电压 E_a 是固定不变的，所以屏极电压 U_a 将相应地减小。反过来，屏流减小时， U_a 将相应地增加，因此 U_a 也是在 U_{a0} 的

基础上变化，不过变化情况刚好和屏流、栅压的变化情况相反，它的波形如图1—12c所示。屏极电压 U_a 是：

$$U_a = U_{a0} + \tilde{U}_a \quad (\tilde{U}_a \text{表示屏压中的交流分量})。$$

我们在电子管的屏极接上一个偶合电容器 C （见图1—10）， U_a 中的交流分量 \tilde{U}_a 经过 C 到达输出端，而 U_a 中的直流分量 U_{a0} 被 C 所隔离，这就得到了放大的输出电压 U_{sc} ，即

$$U_{sc} = \tilde{U}_a, \text{ 见图1—12d。}$$

通过以上的分析可以看到，电子管放大电路的一个重要的特点，是电路中一般都同时存在着直流分量和交流分量两种成分，其中直流电流和电压（如 I_{a0} 、 U_{a0} 、 E_g 等）决定电子管的直流工作状态，而交流电流和电压（如 U_{sr} 、 U_{sc} 、 \tilde{U}_r 、 \tilde{i}_a 、 \tilde{U}_a 等）则代表着信号的变化情况。显然， U_{sr} 、 \tilde{U}_r 、 \tilde{i}_a 变化相位

相同（同相），而它们和 \tilde{U}_a （或 \tilde{U}_r ）相位相差 180° （反向）。如图1—10所示的一般电子管放大电路中，输出电压 U_{sc} 和输入电压 U_{sr} 反相，这是一个十分重要的特点，常称放大器的反相作用。

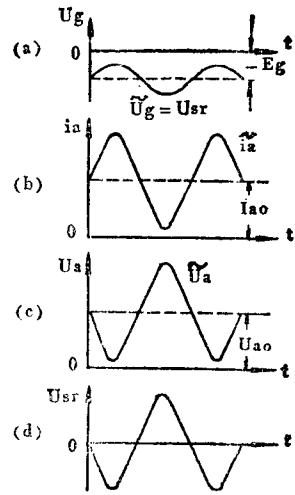


图1—12

二、放大器的图解分析方法

因为电子管的特性可以通过特性曲线反映出来，所以我们可以利用电子管的特性曲线族来分析电子管放大器的工作情况，这种分析方法称为图解分析方法。下面我们结合图1—10所示的基本电路来说明这种分析方法的要点（6N1的屏极特性曲线族如图1—13所示）。

在没有信号电压输入的情况下，即 $u_{sr} = 0$ ，电子管处于静止的工作状态，简称静态。从图1—14可以看出，这时栅压等于静止栅偏压，即 $U_g = -E_g$ 。工作点应当在屏极特性曲线族

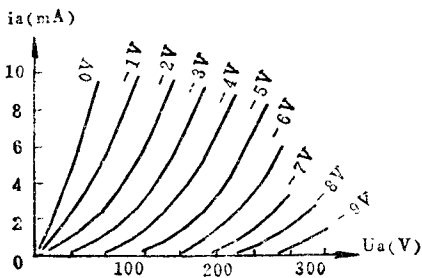


图1—13

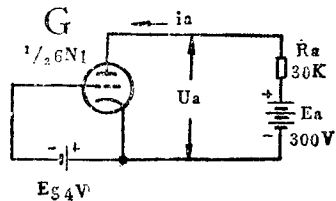


图1—14

中 $U_g = -E_g$ 这一条曲线上（图1—14中， $U_g = -E_g = -4V$ ），究竟在曲线上的哪一点呢？这就应该由屏极回路来确定。从图1—10可以看出屏极电压（ U_a ）等于电源电压（ E_a ）减去屏极负载电阻（ R_a ）上的电压降（ $R_a i_a$ ），即

$$U_a = E_a - R_a i_a$$

因为 E_a 和 R_a 都是常数，所以 U_a 随 i_a 的变化的图线是一条直线，这条直线的一般作法是这样的：取 $i_a = 0$ ，则 $U_a = E_a$ ，得M点(见图1—15)；取 $U_a = 0$ ，则 $E_a = R_a i_a$ ， $i_a = \frac{E_a}{R_a}$ ，得N

点。连M、N两点的直线称为放大器的直流负载线。直线MN和 $U_g = -E_g$ (图中 $U_g = -4V$)这条屏极特性曲线的交点Q就是我们所要求的静态工作点。由静态工作点可以找到在没有信号输入时，6N1的静态屏流 I_{a0} 为4.3mA，静态屏压 $U_{a0} = 172V$ 。显然，当 E_g 、 E_a 、 R_a 变动时，静态工作点Q也会变动，因而静态屏流和静态屏压会有所不同。

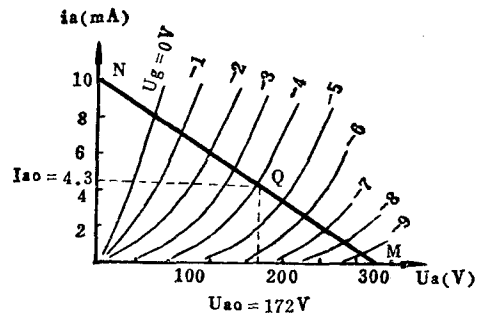


图1—15

我们再来看看如图1—10所示的电路，在栅极回路有信号电压输入时的工作情况(动态工作情况)：

设输入信号电压的变化规律为： $U_{sr} = \tilde{U}_g = 2 \sin \omega t$ ，则加在电子管栅极与阴极之间的总电压 $U_g = -E_g + \tilde{U}_g = -4 + 2 \sin \omega t$ ，即栅压的变化范围是从-2伏到-6伏，所以工作点在图1—16中 Q' 点和 Q'' 点之间移动(因为当栅压为-2伏时，工作点在 Q' 点；栅压为-6伏时，工作点在 Q'' 点)。当 $U_g = -2$ 伏时，工作点 Q' 所对应的屏压最小，为 $U_{a \min} = 120$ 伏；屏流最大，为 $i_{a \max} = 5.7$ mA。当 $U_g = -6$ 伏时，工作点 Q'' 所对应的屏压最大，为 $U_{a \max} = 224$ 伏；屏流最小，为 $i_{a \min} = 2.9$ mA。因此，当输入振幅为2伏的正弦信号后，屏压的变化从120伏到224伏

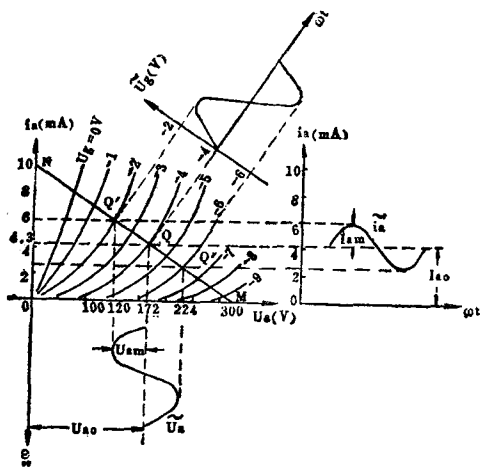


图1—16

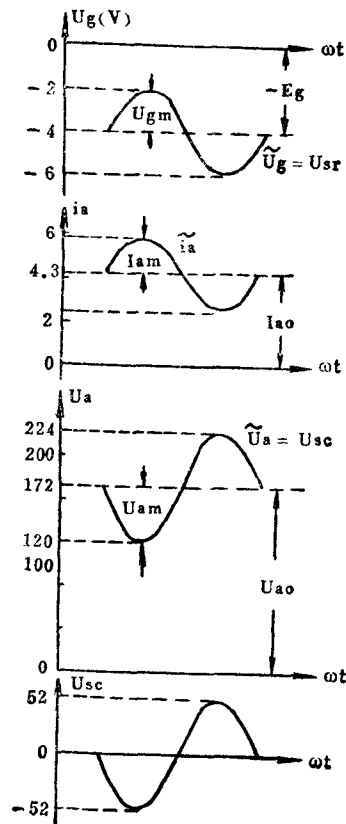


图1—17

(振幅为 $\frac{(224-120)}{2}$ 伏 = 52 伏), 可见输出电压为输入电压的 $\frac{52}{2} = 26$ 倍, 即这个电路的放大倍数为 26 倍。

从图 1—16 可以看出, 当输入信号电压工作在特性曲线的直线范围时, 在屏极回路所获得的输出交流电压 \tilde{U}_a 的波形和输入交流电压 \tilde{U}_g 波形相同, 但相位却相反。这一特点从图 1—17 清楚地反映出来: 当栅负压增加时(绝对值减小), 屏流便随着增加, 但屏压却降低。反之, 当栅负压减小时, 屏流随之减小, 但屏压却升高。因此, 栅压 \tilde{U}_g 与屏流 \tilde{i}_a 是同相的, 而 \tilde{U}_g 与屏压 \tilde{U}_a 却是反相的。

图 1—16 中所叙述的图解法, 是通过静态屏极特性曲线来求输出电流和电压的。在实际上还应用所谓动态特性曲线来找输入信号与输出信号之间的关系。

动态特性曲线是借助图 1—16 静态屏极特性曲线族和负载线找出 i_a 和 U_g 的对应关系, 然后绘出的曲线。下面介绍动态特性曲线的绘法及应用。

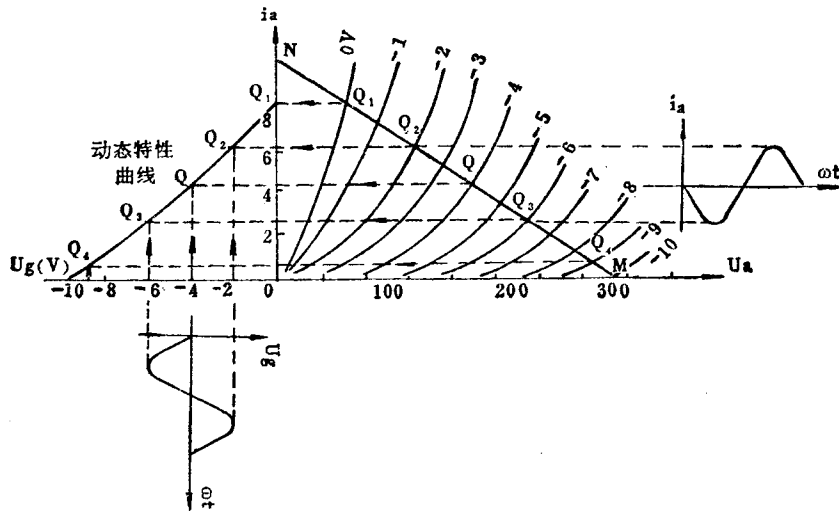


图 1—18

图 1—18 中画出了 6N1 的静态屏极特性曲线族和对应于图 1—10 电路的负载线。我们由负载线与特性曲线族的交点 Q_1 、 Q_2 、 Q 、 Q_3 、 Q_4 等, 可以进一步找到每一个交点所对应的 i_a 和 U_g 的值, 然后以 U_g 为横坐标, i_a 为纵坐标, 建立直角坐标系。在坐标系中找出与 Q_1 、 Q_2 、 Q 、 Q_3 、 Q_4 所对应的点, 把这些点连结起来, 即得到我们所要求的动态特性曲线。显然, 这条动态特性曲线是对 6N1 在 $E_a = 300V$, $R_a = 30K\Omega$ 的具体情况下作出的。

动态特性曲线可以帮助我们选择没有失真的静态工作点, 即工作点应选在动态特性曲线直线部分的中点。选定了静态工作点后, 又可以借助它, 由 U_g 对时间的关系, 求出 i_a 对时间的关系, 如图 1—18 所示。假定 $U_g = -4 + 2 \sin \omega t$ (伏), 由动态特性曲线就能求得 $i_a = 4.3 + 11.4 \sin \omega t$ (毫安)。

三、放大器的等效电路分析方法

图解法是分析放大电路的一种方法，这种方法比较直观，但是存在着一些不足之处。首先精确度不高，特别在输入信号较小时，更是如此；其次是只有当负载是纯电阻时，它的负载线才是直线，才有可能得到比较简单的结论，在电路比较复杂的情况下，例如负载是电感或调谐回路，用图解法就有一定的困难。因此有必要进一步掌握用等效电路来计算参数的方法。

等效电路法的实质是用一些电压源(或电流源)和阻抗组成的等效电路来代替放大器中的电子管，然后应用电路的基本知识去进行分析和计算，达到了解放大器性能的目的。从电路的角度来看，电子管电路与一般电路的差别就在于电路中有电子管，而电子管是一种非线性元件，也就是说它的屏栅特性曲线不是直线，屏极特性曲线也不是平行的等间隔的直线。但是当电子管在小信号运用的情况下，我们可以在其工作点附近的小范围内，用直线来代替电子管的特性曲线，因此电子管特性曲线的非线性就成为次要的了。(这种假定在扩音机的前级是适用的，如在话筒放大级或混合放大级信号只有毫伏的数量级)。这样一来，在小信号运用的情况下，我们就可以用一些线性元件(如电阻、电容)和电源等来模拟电子管内部所发生的物理过程，于是解决电子管电路的问题就归结为解一般电路的问题了。我们把电子管抽象成为一些线性的电路元件和电源，并且用它来研究电子管的工作，就能更方便更深刻地解决问题，这种方法就是等效电路法，它是分析电子电路的一种有效方法。在扩音机中，信号都是低频范围，因为工作频率低，所以电子管内部电抗的影响(如极间电容的容抗)都可以略去不计，用等效电路来分析电子管工作时，可以用一些电阻和电源来代替它。

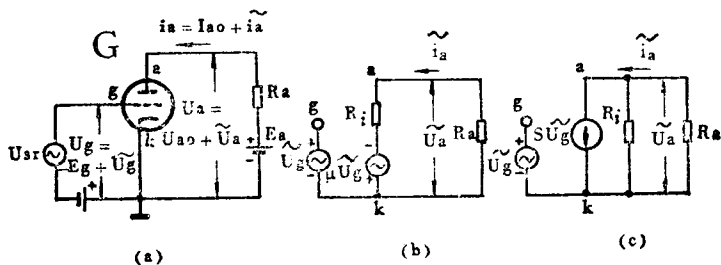


图1—19

电子管的放大电路如图1—19a，它的等效电路如图1—19b。当栅极和阴极之间的交流分量为 \tilde{U}_g 时，对交流来说，从负载两端向电子管的屏极与阴极之间看去，整个电子管可以用一个电动势为 $\mu\tilde{U}_g$ 、内阻为 R_i 的电源代替。这是因为栅压有变化量 ΔU_g 时，在屏极回路可以引起屏流的变化量为 Δi_a ；如果栅压不变，要引起屏流同样的变化量 Δi_a ，则屏极与阴极之间的电压必须变化 $\mu \cdot \Delta U_g$ 才行。因此，栅极上加有交流电压 \tilde{U}_g 与屏极回路中的电动势 $\mu\tilde{U}_g$ 是等效的。在等效电路中串联的一个电阻 R_i ，是代表着电子管的内阻。在图1—19b的等效电路中，我们还要注意 \tilde{U}_g 和等效的电动势 $\mu\tilde{U}_g$ 的极性区别，这个区别在图中用正、负号反映出来。例如，在

某一瞬间， \tilde{U}_g 上端为正、下端为负（即栅极为正，阴极为负），则 $\mu\tilde{U}_g$ 应该是上端为负，下端为正。只有这样， $\mu\tilde{U}_g$ 产生的屏流方向才会和实际的一致：当栅极为正时，屏流增大，屏流中的交变分量 \tilde{i}_a 的方向在电子管的内部（视为内电路）是由屏极流向阴极的，所以等效电动势 $\mu\tilde{U}_g$ 必须上端为负、下端为正，才能产生上述方向的电流（电流在内电路由电势低处流向电势高处）。

根据图1—19b的等效电路，用全电路的欧姆定律可以求得屏流中的交流分量 \tilde{i}_a 得：

$$\tilde{i}_a = \frac{\mu\tilde{U}_g}{R_i + R_a}$$

如果以 $\mu = SR_i$ 代入上式，可得：

$$\tilde{i}_a = S\tilde{U}_g \times \frac{R_i}{R_i + R_a}$$

由S的定义可知， $S\tilde{U}_g$ 代表一个等效的电流源，电流 $S\tilde{U}_g$ 和分式 $\frac{R_i}{R_i + R_a}$ 的乘积表示电流 $S\tilde{U}_g$ 流过并联着的两个电阻 R_i 和 R_a 而分配到 R_a 中的电流值（即 \tilde{i}_a ），根据这种意义，可以画出电子管放大电路的另一种形式的等效电路如图1—19c，这种等效电路称为定流源等效电路。定流源等效电路的意义是：对于屏极回路的交流分量来说，从负载两端向电子管屏极与阴极间看去，整个电子管可以用一个恒定的电流源 $S\tilde{U}_g$ 和与它并联的内阻 R_i 代替。

可见电子管放大器的等效电路有定势源等效电路和定流源等效电路两种形式，这两种形式对负载来说，效果是一样的。因为按定势源等效电路（见图1—19b）来考虑，流过负载的电流 $\tilde{i}_a = \frac{\mu\tilde{U}_g}{R_i + R_a}$ ；按定流源等效电路（见图1—19c）来考虑， $\tilde{i}_a = S\tilde{U}_g \times \frac{R_i}{R_i + R_a}$ 。由于 $\mu = SR_i$ ，所以由上两式求得的 \tilde{i}_a 是一样的。

在实际应用时，因为三极管的 μ 值基本上为常数，用定势源等效电路比较合适；而对于五极管（包括束射管），S值比较容易确定，因此用定流源等效电路较为方便。另外在计算时，如果并联支路多，用定流源等效电路较好，在只有一个回路时，则宜用定势源等效电路。用等效电路来分析放大器，只涉及到交流分量，因此在作等效电路时，输出回路和输入回路中，任何固定不变的电压（如 E_g 、 E_a 等）都要绘成短路，任何固定不变的电流（如 I_{a0} 等）都不必在等效电路中表示出来。

由图1—19b、c可知：

$$\tilde{i}_a = \frac{\mu\tilde{U}_g}{R_i + R_a} \quad \left(\text{或 } \tilde{i}_a = S\tilde{U}_g \times \frac{R_i}{R_i + R_a} \right)$$

$$\text{又 } \tilde{U}_a = -\tilde{i}_a \times R_a \quad \left(\text{负号表示 } \tilde{U}_a \text{ 和 } \tilde{i}_a \text{ 反相} \right)$$

$$\therefore \tilde{U}_a = -\frac{\mu\tilde{U}_g R_a}{R_i + R_a} \quad \left(\text{或 } \tilde{U}_a = -S\tilde{U}_g \times \frac{R_i R_a}{R_i + R_a} \right)$$