

无线电爱好者丛书

收音机中的新技术



无线电爱好者丛书

晶体管收音机中的新技术

王新成 编著



人民邮电出版社

内 容 提 要

本书介绍了晶体管收音机中较新颖的电路。例如：采用场效应管的高放、变频电路，低噪声前置放大电路；使用变容管、发光二极管、恒流二极管及陶瓷滤波器的各种电路；低电压收音机电路；使用集成电路的收音机电路；另外还有高保真度低放电路和全波段收音机电路，其中包括频率均衡器、音调控制器、等响度控制器、通频带控制器、立体声放音电路及设备。

无线电爱好者丛书
晶体管收音机中的新技术
王新成 编著

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
天津新华印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1982年10月第一版
印张：11 20/32 页数：186 1982年10月天津第一次印刷
字数：265 千字 插页：6 印数：1—292,000册

统一书号：15045·总2639-无6209

定价：0.92 元



中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主 编：孟昭英

副主编：杜连耀

编 委：毕德显 吴朔平 叶培大 任 朗
吴鸿适 童志鹏 陶 棫 顾德仁
王守觉 甘本祓 (兼常务编委)
张恩虬 何国伟 周炯槃 邱绪环
陈芳允 秦诒纯 王玉珠 周锡龄

本书责任编辑：邱绪环

2506/25

丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版。其余两套是：《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理，提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术，使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的读者对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者对这套丛书的编写和出版工作提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

目 录

第一章 特殊半导体器件及其应用	1
1-1 场效应管	1
1-2 变容二极管	19
1-3 发光二极管	27
1-4 稳压二极管	33
1-5 恒流二极管	38
1-6 陶瓷滤波器	44
1-7 硅晶体管	53
第二章 低电压收音机	62
2-1 放大器在低电压供电下的工作情况	62
2-2 振荡器在低电压供电下易产生的问题	65
2-3 低压供电时增强A G C的方法	66
2-4 提高压降适应性的方法	70
2-5 输出、输入变压器设计	72
2-6 钻石7 J 1型和山花C 153型1.5伏收音机简介	77
2-7 低电压收音机适用的电池	80
第三章 集成电路收音机	85
3-1 线性集成电路的特点	85
3-2 单功能通用集成电路及其应用	91
3-3 集成运算放大器及其应用	101
3-4 模拟乘法器的功能	121
3-5 收音机专用集成电路	134
3-6 厚、薄膜电路及其应用	143
第四章 全波段收音机的高频电路	147

4-1	全波段收音机概说	147
4-2	高频电路的组成和要求	150
4-3	调幅收音机高频电路	152
4-4	调频收音机高频电路	166
4-5	降低噪声的方法	175
4-6	高频电路中的新技术	181
第五章	全波段收音机的中频电路	191
5-1	中频电路的性能	191
5-2	中频电路的结构形式	194
5-3	自动增益控制	202
5-4	中频通频带控制	210
5-5	调频信号的解调	215
5-6	锁相技术在中频电路中的应用	223
5-7	附属电路	234
5-8	调频立体声解调器	239
第六章	高保真度低频放大电路	248
6-1	高保真度低频放大电路概况	248
6-2	频率均衡、补偿电路	253
6-3	高质量辅助放大器	263
6-4	等响控制电路	266
6-5	音调控制	272
6-6	通频带控制电路	281
6-7	功率放大器的种类和特点	286
6-8	有变压器的功率放大器	291
6-9	无变压器的功率放大器	296
6-10	开关型功率放大器	309
6-11	音频电路的结构选择和装配	312

6-12	高保真度电路的电源.....	315
6-13	超甲类功率放大器.....	320
6-14	立体声辅助电路.....	326
第七章	放声系统	332
7-1	扬声器的选择	332
7-2	音箱设计	338
7-3	分频器	350
7-4	声音的修饰和美化.....	357
7-5	放声系统的装配和调试	360

附图：1.熊猫B—11型收音机电路图

附图：2.海鸥101型收音机电路图

附图：3.红灯735型收音机电路图

第一章 特殊半导体器件及其应用

自从晶体管问世以来，电子器件就分为两大类，即电真空器件和半导体器件。半导体器件虽然出现得晚，但由于具有独特的优点，很快就后来居上。尤其是最近十几年来，发展速度十分惊人。新材料，新工艺和新器件层出不穷。电子线路也日新月异发生着变化。

本章主要介绍七种特殊半导体器件。其实它们早已用在各种电子线路中。有些在收音机中也已应用多年了。这里把它们称做特殊器件，只不过是和普通晶体管相区别而已。

1-1 场效应管

场效应管的理论早在1930年就已提出，但受当时的工艺和材料限制，直到1958年才开始正式投入生产。现在我国生产的场效应管就有多种规格和型号。最近几年已在收音机或扩音机等设备中开始应用。许多书刊都介绍过它们的工作原理。这里就不再重复了。只介绍一下它的特点、种类及在收音机电路中的应用。

1. 独特的优点

场效应管除了和一般半导体器件一样具有体积小、功耗低等优点外，还具有下列独特的优点：

(1) 场效应管是压控器件，即在一定的条件下，它的漏

极电流只取决于栅极电压，而栅极上基本上不消耗功率。这就减轻了前级信源的负载，因而耦合方便，电路简单、这一特点和电子管很相似。

(2) 漏极电流 i_D 与栅极电压 U_g 有近似平方律的关系，因此对于到达它的输入端的二个以上的信号电压所产生的组合频率只有和频及差频，不致产生高次组合频率。因此其互调失真可比一般晶体管好1~2个数量级，使接收能力大为提高。

(3) 输入阻抗高。在直流和低频应用时，结型场效应管(JFET)输入阻抗在 $10^7 \Omega$ 以上，绝缘栅型场效应管(MOSFET)在 $10^9 \Omega$ 以上。这是因为场效应管的输入回路工作在PN结反向偏置(JFET)和电绝缘(MOS)状态下，不象晶体管的输入回路工作在PN结的正向偏置状态下。因此便于和恒流源匹配(如陶瓷拾音器、高阻话筒、电子管等)，并能进一步提高电路的某些性能。

(4) 场效应管是一种低噪声器件，质量较好的JFET的噪声系数可小于1dB，而高频噪声一般都在5dB以下。因此场效应管收音机灵敏度高。在没有输入信号时，基本上听不到收音机本身的噪声。为实现低噪高保真度创造了条件。

(5) 场效应管种类繁多，电路设计灵活性大，不同导电极性的场效应管，其栅偏压可正可负，甚至可以在零偏压下工作。而电子管只能在负偏压下工作，晶体管只能在正向偏压下工作。

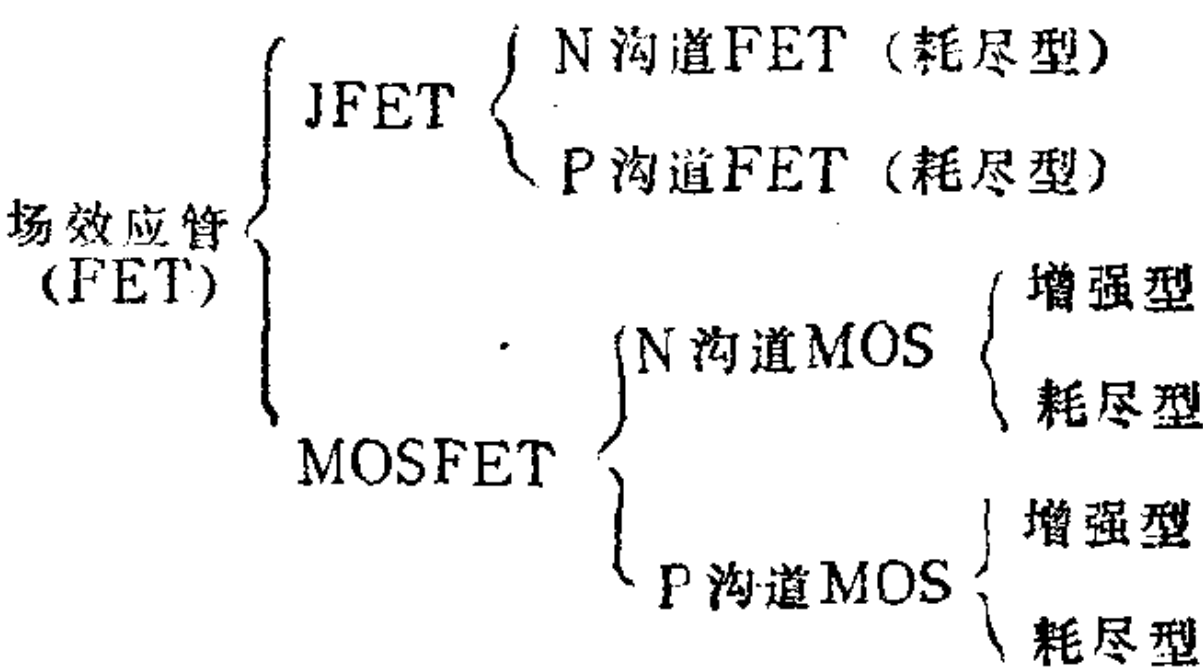
(6) 场效应管动态范围大，基本上克服了晶体管易阻塞的缺点。使收音机的非线性失真、交叉调制和互调失真降到一个新水平。

除此以外，场效应管不易受温度和辐射影响，本身还有一个零温度系数工作点。就是说栅偏压在某一合适值时，漏极电流

不受温度影响。因此在恶劣环境中（如卫星、导弹和飞船中）稳定性比晶体管好。

2. 种类和参数

常用的场效应管有两大类，即结型（JFET）和绝缘栅型或叫金属氧化物半导体型（MOSFET）且每一型根据其导电沟道的材料不同又分为P沟道N沟道两种。P沟道和N沟道的MOS场效应管又可分为增强型和耗尽型两种。为了清楚起见，将它列成下面的分类表。



不同类型的场效应管具有不同的转移特性，必须施加不同极性的电压才能正常工作。表1-1是各类管的符号、转移特性和电压极性表。

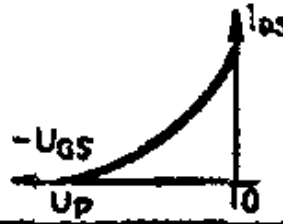
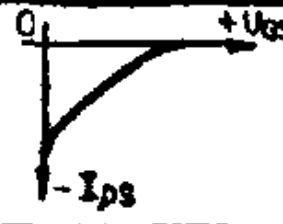
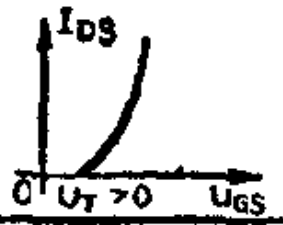
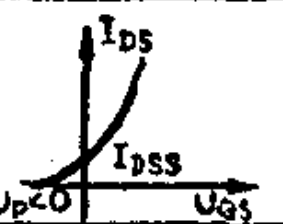
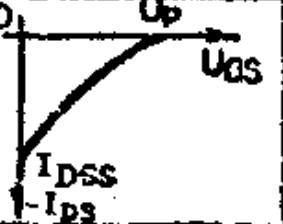
现在使用的绝大多数场效应管都是硅材料制成的，此外砷化镓场效应管和“金属—氮化物—半导体”场效应管（MNS）也发展很快。

场效应管的各参数中，比较重要的有三个，即夹断电压 U_P 、饱和漏电流 I_{DSS} 和低频跨导 g_m （增强型无 U_P 和 I_{DSS} ）。它们的定义如下：

夹断电压 U_P ：在 U_{DS} 为某一定值时，使 I_{DS} 近似为零的偏压值 U_{GS} 。

饱和漏电流 I_{DSS} ：在栅偏压为零时，漏极所加电压大于 U_P

表 1-1 场效应管的符号，转移特性和电压极性表

结构类型	工作方式	符号	转移特性	电压极性	
			$I_{DS} \sim U_{GS}$	U_{GS}	U_{DS}
N沟道结型	耗尽型			-	+
P沟道结型	耗尽型			+	-
N沟道绝缘栅型	增强型			+	+
	耗尽型			正负皆可， 一般用负。	+
P沟道绝缘栅型	增强型			-	-
	耗尽型			+	-

时的沟道电流。

低频跨导 g_m :表示栅极电压 U_{GS} 对 I_D 的控制能力，

即
$$g_m = \frac{dI_D}{dU_{GS}} \quad \text{或} \quad g_m = \frac{\Delta I_P}{\Delta U_{GS}}$$

g_m 是衡量场效应管放大作用的重要参数，相当于电子管的跨导 S 。它可由公式 $g_m \approx -\frac{2I_{DSS}}{U_P} \left(1 - \left|\frac{U_{GS}}{U_P}\right|\right)$ 求得，也可用图解法在转移特性曲线上求得。

场效应管的其他参数具有和一般晶体管相似的意义，可在半导体器件手册中查到。表1-2给出适于收音机使用的几种场效应管的主要参数。表中的MOS管都是内部带保护电路的。

3. 基本场效应管放大级的设计方法

场效应管可用于高、低频信号的放大，但最基本的单元放大级如图1-1所示（这里画的是结型管）。图(a)是用分压偏置的情况；图(b)是提高输入阻抗的接法；图(c)是用自给偏置的情况。

下面以分压偏置为例，分析基本放大单元的工作原理。

图1-1(a)的电路可用等效电路（图1-2）来表示。在图中

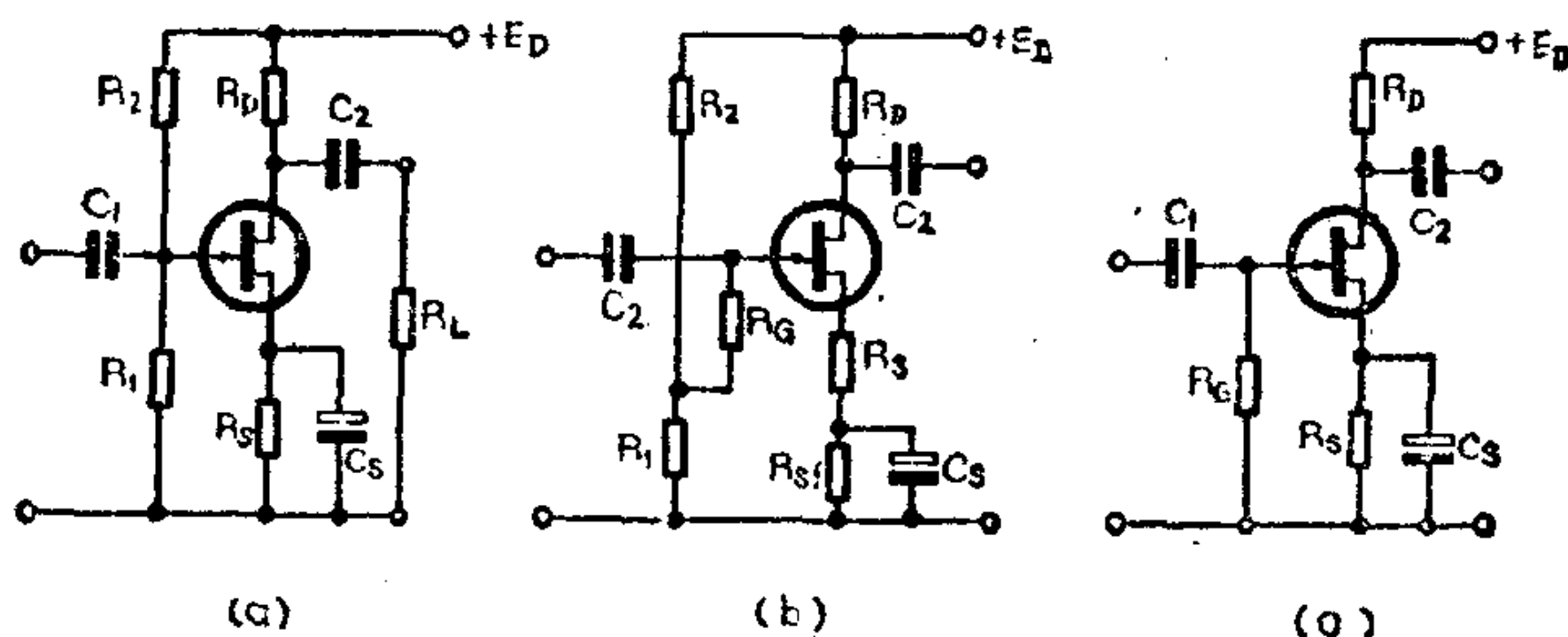


图 1-1 场效应管基本放大级

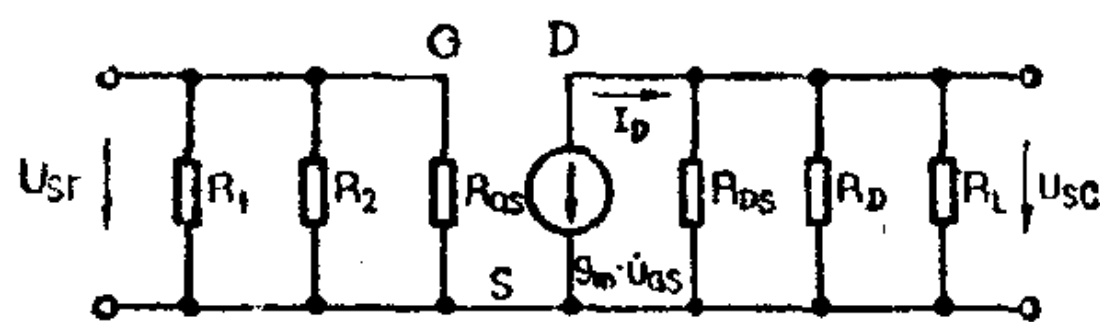


图 1-2 图1-1(a)的等效电路

如不考虑分布电容的影响，电路有下列关系：

$$U_{GS} = U_{gr}$$

$$U_{sc} = g_m U_{GS} (R_{DS} \parallel R_L \parallel R_D) \quad \text{令} \quad R'_L = R_D \parallel R_L,$$

则
$$U_{sc} = g_m U_{GS} (R_{DS} \parallel R'_L)$$

放大器增益 K_U 为：

$$K_U = \frac{U_{sc}}{U_{gr}} = g_m (R_{DS} \parallel R'_L)$$

表1-2 收音机常用场效应管的主要参数

参 数 型 号	I_{DSS}	V_P	R_{GS}	g_m	f_M	f_o
	ma	V	Ω	μv	MHz	MHz
3DJ2	0.3—10	<1—91	$\geq 10^7$	≥ 2000	≥ 300	
3DJ6	0.3—10		$\geq 10^7$	≥ 1000	≥ 300	
3DJ7	1—35	<1—91	$\geq 10^7$	>3000	≥ 90	
3DO2 B	0.3—20	<1—71	$\geq 10^8$	≥ 5000	≥ 300	
3DO4 B	0.3—10	<1—91	$\geq 10^9$	≥ 3000	≥ 200	
3DO6 B	1—3		$\geq 10^9$	≥ 2000		
4DO1 B	1—10			≥ 5000		≥ 100
4DO2 B	1—20			≥ 5000		≥ 200
参 数 型 号	BV_{DS}	BV_{GS}	I_{DSM}	P_{DM}	用 途	
	V	V	ma	mW		
3DJ2	20	20	15	100	高放、混频、振荡 中放、低噪声低放	
3DJ6	20	20	15	100		
3DJ7	20	20	15	100		
3DO2 B	12	15	25	100	高放、中放	
3DO4 B	15	25	15	100	高放、中放	
3DO6 B	30	35		100	大幅度低放	
4DO1 B					调幅高、中频电路	
4DO2 B					调频高、中频电路	

当 $R'_L \ll R_{DS}$ 时，近似有：

$$K_U \approx g_m \cdot R'_L$$

电路输入阻抗为：

$$R_i = (R_1 \parallel R_2) \parallel R_{GS}$$

一般 $R_{GS} \gg (R_1 \parallel R_2)$, 因此, 近似为

$$R_i \approx R_1 \parallel R_2$$

输出阻抗为:

$$R_o = R_{DS} \parallel R'_L \approx R'_L$$

在图1-1(b)中, 由于接入了 R_G 和 R_S , 因此输入阻抗和增益变为:

$$R_i = R_G + (R_1 \parallel R_2)$$

$$K_U = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R_S}$$

根据以上基本关系, 场效应管基本放大单元可按以下步骤设计:

(1) 选择电源电压 E_D : 它的大小应满足:

$$E_D = (1.1 \sim 1.5) (U_{PP} + U_{DSS} + U_S)$$

式中 U_{PP} 是要求输出信号峰峰值; $U_S = I_D R_S$ 是源极电压, 一般约为 $(0.2 \sim 0.3) E_D$

(2) 确定工作点: 原则是保证有最大的线性工作区。一般在输出曲线族上图解, 也可在已定 R_1 、 R_2 的情况下由以下关系式求得。

$$U_{GS} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_D - I_D R_S$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

$$U_{DS} = E_D - I_D (R_D + R_S)$$

(3) 由增益要求确定 R_D 。有时也可用下式确定

$$R_D = \frac{E_D - (U_{DS} + U_S)}{I_D}$$

(由增益要求确定 R_D 时, 先确定了 R_D 再定工作点)。

(4) 源极电阻 R_S :

$$R_S = \frac{U_S}{I_D}$$

(5) 分压电阻 R_1 、 R_2 , 根据 U_{GS} 要求定,

$$I_{DS}R_S - |U_{GS}| = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_D$$

如果有 R_G 时, 应使 $R_G \gg R_1, R_2$ 。

(7) 旁路和耦合电容:

$$C_S \geq (5 - 10) \frac{1}{2\pi f_d R_S}$$

$$C_1 = C_2 \geq (3 - 10) \frac{1}{2\pi f_d R_O}$$

式中 f_d 为放大级低频截止频率, R_O 泛指与 C_1 、 C_2 构成回路的回路电阻值。

4. 高频电路中的应用

这里所指的高频电路, 是指检波器以前的电路, 即包括高放、中放、混频和本机振荡等电路。场效应管用于收音机的高频电路, 基本上克服了晶体管收音机噪声大、易过载的缺点, 使整机灵敏度、选择性、像频抑制比和中频抑制比都得到很大改善。场效应管转移特性的平方律关系使得交互调制得到改善。因此近来公认场效应管是制作高级收音机的良好器件。

目前, 我国生产的中、高级收音机多采用了场效应管作高放和混频, 并逐渐向中放、本振和普及机型中推广和过渡。基本电路形式有单管共源放大, 双管共源一共栅级联放大和双栅管共源放大等几种。图1-3就是在国产一、二级机中的应用实例。图(a)是海鸥101型一级机的调频高放电路, 选用了单栅高跨导

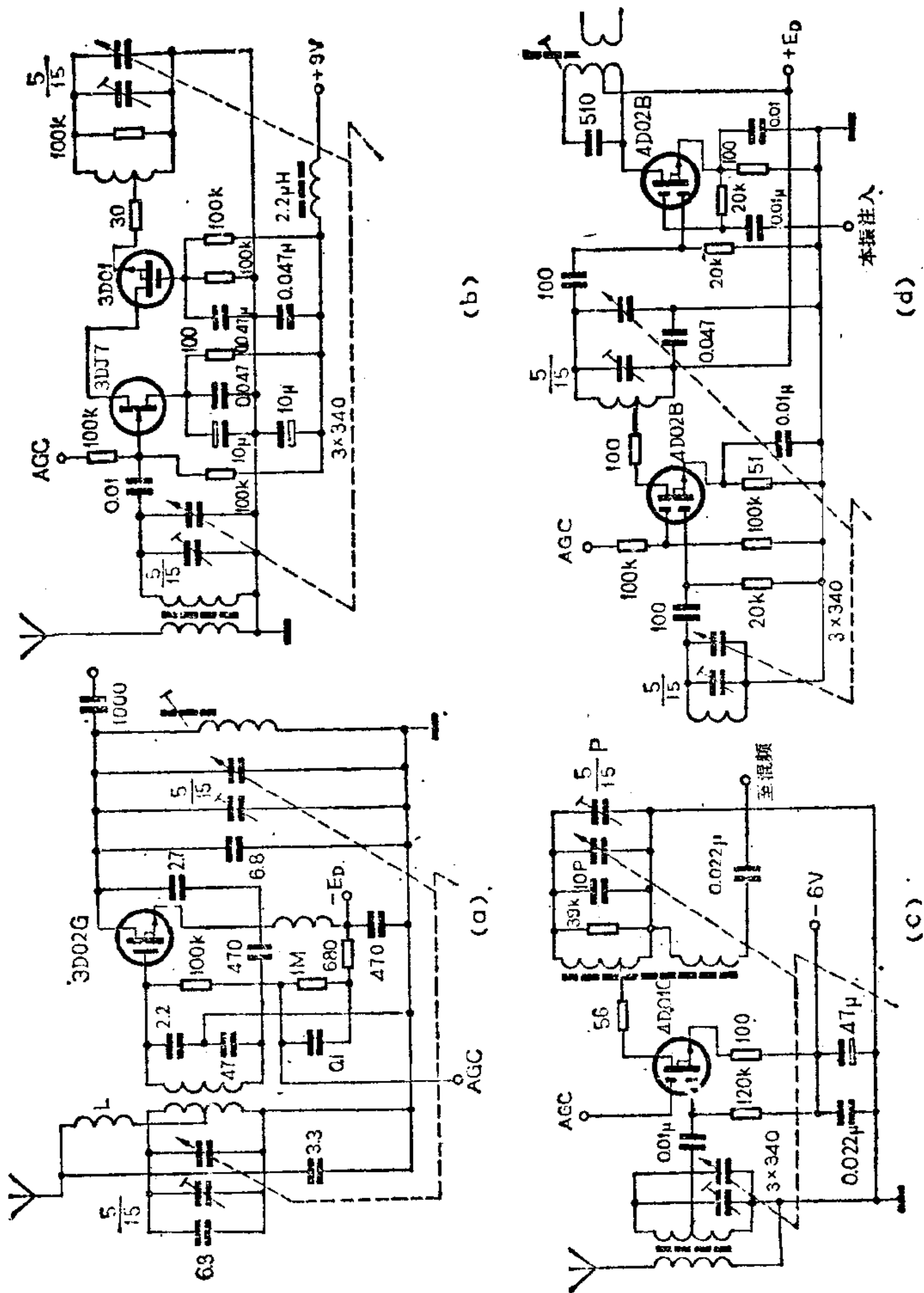


图 1-3 用场效应管的高放、混频电路