

无线电电路研究

[英] J. K. 戈 登 著

忻鼎勇 李启全 译



新 时 代 出 版 社

无线电电路研究

〔英〕 J. K 戈 登 著

忻鼎勇 李启全 译

新 时 代 出 版 社

内 容 简 介

本书通过大量实例,介绍了高保真度调频和立体声等高质量接收机的新型电路,其原理和各种元器件的功能,有源和无源的,都作了说明。全书共九章,主要内容包括了由晶体管、场效应管和线性集成块所组成的射频、中频和低频电路以及立体声编码、解码电路等。书中叙述比较通俗易懂,并列出了实用电路和具体参数。可供从事新型接收机设计、维修人员,高等院校无线电系师生及无线电爱好者参考。

RADIO CIRCUITS EXPLAINED

Gordon J. King

Newnes Technical Books 1977

*

无线电电路研究

〔英〕 J. K. 戈 著

忻鼎勇 李启全 译

责任编辑 林秀权

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.1875印张 150千字

1987年8月第1版 1987年8月北京第1次印刷

印数: 0001—5600册

统一书号: 15241·105 定价: 1.70元

前 言

我在写这本书的时候，我的目的是要着重写用在各式各样的现代无线电接收机中，从简易的晶体管接收机到特制的高保真度接收机的电路的多样性。不管人们的职业、爱好和兴趣如何，都应与不断提高的技术水平相适应。而那些技术上的新成就现已巧妙地运用到民用电子仪器方面，在这些电子仪器中，新的器件、元件和电路技术经常是在实验室中研究设计出来的。

大约在最近的十年期间，电视领域得到异常迅速的发展，而且在这门学科方面出版了很多书籍，但是涉及无线电接收机设计和电路技术的发展方面却很少。现在，随着重点强烈地转向高保真度调频制和立体声，对于无线电接收机又引起了一种新的和扩大的兴趣，因此，立体声无线电接收、立体声唱片和立体声磁带录制等也都得到了顺利的发展。

为此，本书试图弥补这方面的不足，同时也补充一下我的电视电路著作的内容，而这些电路在《纽恩斯彩色电视维修手册》和我以前写的最近又再版的关于无线电学科、电视、音频和高保真度等书中都可以找到。

虽然重点放在无线电电路和它们如何工作方面，而上面已叙述到的有关电路设计和测量的某些更加重要的方面也进行了研究，例如，第二章着重于信噪比和噪声系数的研究，而第三章是考察振荡线路的要求。书中采用了一种典型的叙述次序，首先用方框、流程和最近的“功能辨识操作系统

(FIMS)图”的形式对电路的组成进行了研究，然后通过一台接收机的各级作出具体说明。从前端部分开始，接着是包括用于高保真度接收机中的音频级，最后是立体声解码器。

每一章专写接收机一个特殊的部分或者一种特殊形式的电路，其原理和各种元件的功能，有源的和无源的，都作了说明。

结果，形成了一本关于无线电电路的书籍，这不但是从事无线电和音频设备维修技术的人员，为了适应专业的发展而对它特别感兴趣，而且本书对参加“联合城市”或“同业公会”的人员，对于无线电爱好者及所有这些人都是有益的。虽然在某些方面还可以供学生作为学习的辅导参考书，但在写此书时，我还是谨慎地避免偏重用数学来说明，且就了解这门课程来说也不要要求深入学习电路原理。

最后，我仅向世界各地的制造商免费提供有关他们的商品的技术资料，有时还为分析仪器提供贷款表示衷心的感谢。没有我的朋友和在无线电工业界的同行如此热情的帮助，这本书是绝对写不出来的。

J. K 戈登

目 录

第一章 方框图和流程图	1
一、方框图	2
二、流程图	6
第二章 射频放大器和混频器电路	10
一、非周期放大器	11
二、场效应晶体管的射频放大器	14
1. 中和	16
2. 绝缘栅场效应管射频放大器	18
3. 可变电容器调谐	20
4. 维修须知	22
5. 中频射频放大器	23
三、混频器电路	25
四、前置级的噪声	30
五、噪声系数	31
六、杂散响应	33
第三章 频率变换器和射频振荡器电路	36
一、变频器电路	36
二、调谐回路的跟踪	37
三、典型电路	41
四、磁性天线	43
五、本振级	45
1. 克服频率漂移	48
2. 自动频率控制 (AFC)	49
3. 按钮式调谐	49
4. 双变频	50
5. 振荡器的谐波	51

第四章 中频电路	52
一、自动增益控制 (AGC)	54
二、Q 因子	56
三、选择性的要求	57
四、调准	63
五、调频中频电路	63
六、幅度限幅	64
七、调频静噪电路	66
八、自动增益控制电路	68
九、陶瓷滤波器	69
十、集成电路	76
1. 调准	77
2. 自动频率控制 (AFC)	77
第五章 检波电路	78
一、调幅检波器电路	78
二、实际电路	80
1. 自动增益控制 (AGC)	80
2. 阻尼二极管	82
3. 仪表指示电路	82
4. 仪表放大器	82
三、调频检波器电路 (鉴频器)	85
1. 福斯特-西利 (Foster-Seeley) 电路	86
2. 比例鉴频电路	88
3. 非平衡电路	88
4. 限幅级	90
5. 平衡电路	90
6. 实际电路	91
7. 调频调谐表	93
8. 信号强度表	93
9. 自动频率控制源	93
10. 脉冲计数鉴频器	94
11. 正交鉴频器	95

12. 锁相环鉴频器	97
四、高保真度要求	99
五、延迟线调频鉴频器	100
六、立体声	102
七、去加重	103
第六章 音频放大器电路	106
一、双极型晶体管电路	107
二、放大器的型式	109
三、共发射极放大器	109
1. 输入电阻	111
2. 功率增益	114
四、共基极型式	114
五、共集电极型式	115
六、场效应晶体管电路	115
七、两级电路	119
1. 基极偏压	120
2. 直接耦合	120
3. 达林顿对	121
4. 自举电路	122
八、反馈放大器	123
1. 反馈系数	124
2. 偏置反馈	125
3. 信号反馈	126
4. 频率响应特性的改善	126
九、拾音器补偿	126
十、音调控制放大器	127
十一、响度控制	129
十二、音调控制	129
十三、集成电路放大器	130
1. 输入	131
2. 放大器的基本型式	134

3. 反馈	131
4. 输入电阻	131
5. 响应特性的调整	133
6. 集成电路型音调控制电路	134
7. 集成电路式拾音均衡器	135
8. 高通和低通滤波器	135
第七章 功率放大器电路	139
一、甲类电路	140
1. 散热器	144
2. 失真	145
二、推挽电路	146
三、乙类工作	148
1. 互补推挽	150
2. 变压器耦合	151
3. 互补对激励	153
4. 准互补电路	156
5. 全互补电路	157
6. 短路保护	160
7. 偏差电压保护	160
8. 达林顿功率管	162
四、集成电路功率放大器	164
五、场效应晶体管功率放大器	167
六、关于负反馈的补充	167
七、前馈	170
第八章 电源电路	172
一、半波整流电路	172
二、全波整流电路	174
三、桥式整流电路	174
四、双极性电源电路	175
五、电压稳定性	176
六、齐纳二极管	176
七、晶体管稳压电路	178

八、运算放大器电路	182
九、运算放大器型稳压器	183
第九章 立体声编码和解码电路	186
一、立体声编码	187
二、立体声解码	191
三、立体声解码器电路	191
四、尖叫声滤波器	195
五、串音补偿	196
六、立体声指示	196
七、频率复用解码器	198
八、锁相环集成电路解码器	200
参考书目	208

第一章 方框图和流程图

一个复杂电路是由若干级简单的电路块级联而成。在无线电接收机的设计和发展过程中，工程师们发展了有关组合件概念的基本电路块。那时，这种组合件的概念对他们是很有用的，而运用这种组合件的新概念，使他们能够创造出一种在限定的价格内具有最佳性能的新型接收机。

当然，电路设计师需要经常、大量地与电路图打交道，但是与电路图打交道的不仅是他们。一种产品生产出来之后，电路图对于修理和维护技术人员来说是同等重要的，而且对于学生和无线电爱好者也是很重要的。没有详细和符合要求的各级电路图及其功能说明，将会给维修工作带来困难。

因此，当每台接收机（如收音机、电视机等）出厂时，需要附上一份电路图，这至少对于快速有效的维修来说，要比赠送别的東西更好。一般来说，这种电路图对于不搞专门技术的产品用户是不适用的，但是对于搞电路设计、维修技术人员及其它感兴趣的人（如无线电爱好者），则是希望制造厂能够提供的。经营无线电产品的商人，为了保证机器性能的完好，当然也要求给他们提供一份维护手册，其中包括电路图和它关于维护设备性能所必须的关键资料。随同一些接收机，特别是进口设备，一份电路图是附于操作小册子内，或者是在包装箱内壁附一小本。也有一些接收机在出厂时，就把电路图钉在木制包装箱的底部上。

电路图至少应该对感兴趣的用户提供各项电子设备的有关知识。由于出版的一些困难，一些制造厂似乎不耐烦提供这种信息的有关资料，但是，他们的经销部或至少是质量检验工程师和技术员将要求这样做。因为若没有电路图的指导，不仅可能造成人身的危险，而且更有可能影响和降低设备的性能，以至使设备损坏。

这里，我们着眼于无线电电路的原理和维修方面的研究，而不打算放在电路的设计方面，虽然在设计方面将会更大量地应用电路的原理图。

看无线电电路图同阅读书籍一样，从左到右为序。为电路研究和维修准备的电路图，要求简洁而内容充实。电路从一方块到另一方块要流通容易、自然。通常在电路中提供一张由方框图组成的系统总图，通过这张图，只要稍加研究，就能给技术员提供所要知道的设备的工作过程，而无需花很多功夫。事实上，用少量的篇幅来说明一个电路的作用，较好的办法就是图示。

一、方框图

最简单的方框图是由一系列方框连接而成，其左边连接输入端，右边连接输出端，图中用箭头表示信号或信息的流动方向，如图1.1 (a) 所示。

每一方框代表一个具有特殊功能的电路块，并通常在方框内或旁边标明这种功能，如图1.1 (b) 所示。由图中我们可以得出其中有三级放大器，即前置放大器输出给驱动放大器，驱动放大器输出给输出放大器。在方框图中，甚至还可以有更多的内容指示出来，如图1.1 (c) 所示，该图是一张更加完备的设备图。由图可见，前置放大器是一个能

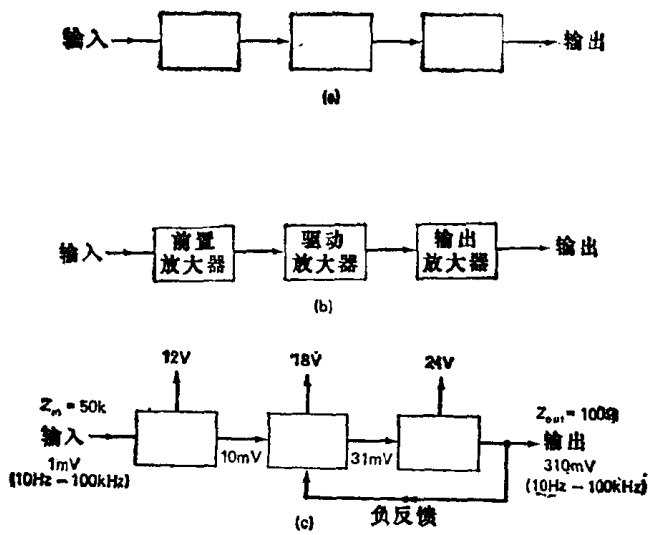


图1.1 基本框图及用箭头表示信息流向的方框图

(a) 基本框图; (b) 方框内标注功能; (c) 包括了关键信息及流向的框图。

输入具有 $1mV$ 低电平信号的放大器, 信号的频率范围可由 $10Hz \sim 100kHz$ 。放大器的前置级放大量为 $10:1$, 驱动级的放大量为 $3.1:1$, 输出级的放大量为 $10:1$ 。从图中还可以知道电路的输入阻抗是 $50k\Omega$, 输出阻抗是 100Ω ; 第一级电源电压是 $12V$, 第二级是 $18V$, 第三级是 $24V$ 。此外, 图中还示出了从输出放大器负反馈至驱动放大器的电路。

从类似这样的方框图, 我们几乎能想像得出各个方框内的电路内容。当电路正常工作时, 加入 $1mV$ 信号到前置级输入端, 便可在驱动级输入端得到 $10mV$, 而在输出级的输入端得到 $31mV$ 的信号等等。因此, 只要在各级输入端增加输入通路, 我们便能迅速检查电路的工作情况。为此可以不必知道更多的信息, 而只需一个 $1mV$ 的输入信号(可由试

验发生器产生)送到电路输入端,然后依次测量各级的输入信号电压(可用交流毫伏表测量),最后测得输出电压。采用同样的方法,我们还能检查 10Hz~100kHz 范围内的频率响应。

如果电路不能工作,我们可以检查各级电源电压是否正常,同时如果需要,还可以循着电路逐级检查输入信号,检测信号在哪一点上中断。

方框图还表明输出放大器的功率输出值是 $0.31^2/100$, 或 96.1mW (即连续或平均正弦波功率是等于 V^2/R , 其中 V 是加在负载上的信号电压有效值, R 是负载电阻并以欧姆计)。

有时方框图还提供其它有用的信息,其中包括试验点,输入、输出信号电压的测量位置,或可供示波器显示用的信号点,可控功能,以dB计的增益值等。假设给定电路级的输入、输出阻抗相等,则电压增益(dB)等于 $20\lg(V_{out}/V_{in})$, 这里 V_{out} 、 V_{in} 分别为输出、输入信号电压。根据这个假定,因此图中前置放大器的增益为 $20\lg 10$, 或 20dB^②。

图 1.2 是一个无线电接收机方框图。如同图 1.1 类似,我们从左至右阅读,便可立刻得到几项有用的信息。例如,可以清楚地见到此接收机的设计是用来接收调频(FM)信号的,接收频段是从 88~108MHz,称之为波段 I 的甚高频(VHF)频段;同时知道中频(IF)是 10.7MHz,它是由本地振荡频率(f_o)减去输入调谐信号频率(f_s)得到的。这就是说,本振频率通常高于信号频率 10.7MHz。因此,如果接收机调谐在 95MHz,则本振要产生 105.7MHz 的信号。

② 原书为 10dB,有误。——译注

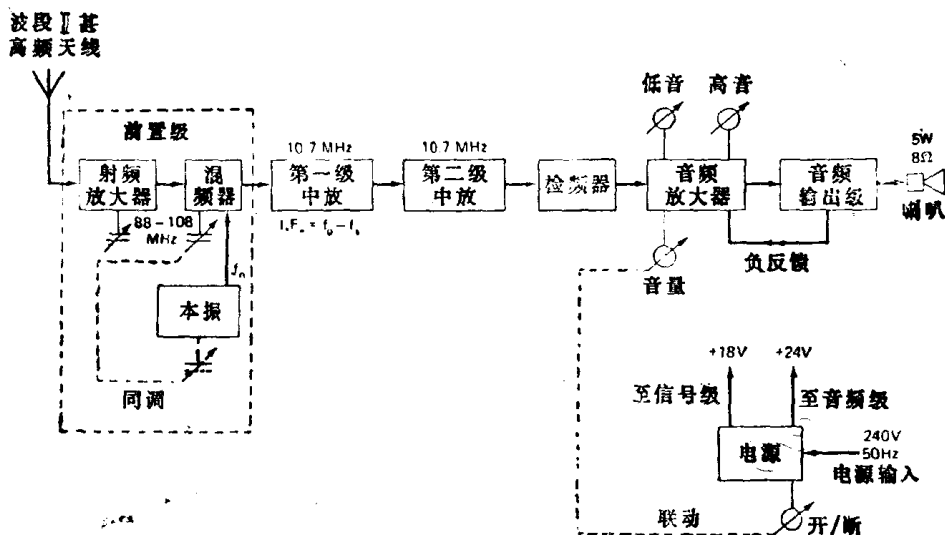


图1.2 包括设计和信息传递的无线电调频接收机方框图

此图同时指出，射频（RF）放大器、混频器和本振器构成了一个独立的前置级，三级采用统调电容器对电台进行选择。同时，除本振外，RF放大和混频二级是调在谐振点上。

该方框图还示出，接收机有二级中放，它的输出送给调频鉴频器；有一级音频放大，它把信号送至输出级；电源是由 240 V 50Hz 变换形成的，它输出 18 V 和 24 V 电压，分别供给信号级和音频级。我们还看出，音频级有一个负反馈环（值得注意的是往往用双箭头表示一个反馈环，以区别于用单箭头表示的主要电路），用来减低信号畸变，同时提供平顶的频率响应；接收机装有高、低音控制和音量控制与电源

开/断共用的开关。最后还指出,输出级最大能给 $8\ \Omega$ 喇叭提供 $5\ \text{W}$ 功率。

此图虽然给出了非常完整的接收机模型,但是仍然没有包括电路的具体知识。

二、流程图

上述方框图的发展是信号流程 (“flow”) 图,或称原理识别维护系统 (FIMS) 图。这种流程图发展成各种形式,它对电路的检修和通常的维护来说,能提供最完整的信息,因此是非常有用的。

一台比较简单的高保真 (比较接近于实际) 放大器的流程图或原理方框图,如图 1.3 (Marantz Model 1070) 所示。这幅图提供了比基本方框图更多的信息,它示出了信号的输入、输出安排和主要电路之间的关系。

这种原理方框图的进一步发展如图 1.4 所示 (见于书末)。这是一幅引自东芝系列 (Toshiba range) Model SA-300 L 的 FM/AM 接收机电路图。虽然它还不能完全达到 FIMS 的要求,但是却比较接近于实际原理图,并能够比图 1.3 提供更多的信息,其中也包含了该图的主要电路。

为了便于识别,用虚线和点划线将线路的不同部分分成了许多方块。同看书一样,我们先在图的左上角找到了天线的引入端。调频天线可用非对称的 $75\ \Omega$ 同轴电缆馈电,也可用对称的 $300\ \Omega$ 平行电缆馈电。然后将它与输入耦合变压器连接起来,从而信号送至射频放大器的场效应管 (FET)。场效应管输出的信号同输入的天线信号一样并由可变调谐回路选出。这二个调谐回路同本振回路同调,并将本振信号和射频场效应管输出信号一起送至混频器。调频接收前置方框

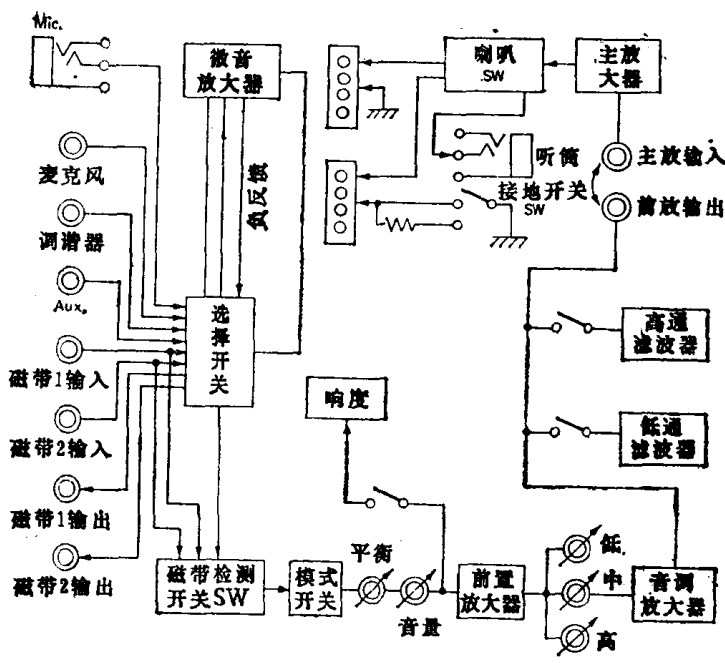


图1.3 高保真度放大器流程图

到中放级为止，与中放级间由频率为 10.7MHz 的带通耦合。

往右看，下面一方块是调频中放，它由五级中放和一级限幅器（两只二极管）组成。中频通带特性决定于三只陶瓷滤波器（每只相当于起到几个电感、电容的 LC 带通耦合作用），中放输出信号经耦合变压器送至调频比例鉴频器。在中放级中还包括一个独立的检波器，作为立体声解码器的门限开关。

继续往右看（右上角部分）是立体声解码器，称为 FM-MPX（简称调频多路调制器）方块，其中的各级电路是清楚的。由调频比例鉴频器得到的信号（立体声多路调制的）送至一只晶体管放大器，通过 LC 调谐耦合电路滤去 19kHz