

图解电路设计与制作系列

高频电路

设计与制作

■ [日] 铃木宪次 著

■ 何中庸 译

■ 边宇枢 校



科学出版社

www.sciencep.com

图字：01-2005-1153 号

内 容 简 介

本书是“图解电路设计与制作系列”之一。本书详尽地阐述高频电路的理论与实际制作,其中配有丰富的零件图及印刷电路板图,具有极高的参考价值。全书共分8章,首先对高频概念加以定位,然后对一般高频电路加以介绍,其中包括高频放大电路、高频振荡电路、PLL电路、频率变换电路、FM调制/解调电路、AM调制/解调电路等,并通过工作原理来验证设计制作,最后介绍检测仪器的制作,使读者对高频电路有更深入的了解。

本书可供从事广播传媒等相关领域技术人员参考,也可作为电子、信息工程等专业本科生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电路设计与制作/(日)铃木宪次著;何中庸译;边宇枢校. —北京:科学出版社,2005

(图解电路设计与制作系列)

ISBN 7-03-015103-8

I. 高… II. ①铃…②何…③边… III. 高频-电子电路-电路设计-图解
IV. TN710.2-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第016137号

责任编辑:杨凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:朱 平

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年4月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年4月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1-4 000 字数: 310 000

定 价: 30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

近些年来,电子工业的发展非常惊人。处在这种状况下而想要学习电路技术的人,无不对此快速变化感到难以适应。

不过学习电路技术应遵循“理论学习”、“动手设计”、“进行制作并加以实验”的顺序进行。而且为理解高深的内容,必先精通基本的原理,方能见微知著。

作为高频电路的入门书,本书通过实际制作使读者加深理解。如果通过制作进而再加实验来亲自尝试电路技术,那么仅停留于脑海中的知识才能真正应用到现实中。

此外,从制作中还会发觉到高频电路的简易等效电路理论与实际的电路并不一致。所以并不能光靠理论,还需进一步深入探究。通过制作还会发现电路的要点所在,并使读者获得有关零件的知识。

为了制作电路,必须取得零件。但是最近个人方面想要取得零件已日趋困难,这是笔者本人的感觉。以日本为例,漫步于东京和大阪的零件店(parts shop)街,不仅能够购得的零件种类锐减,而且零件店本身也渐失踪影。所以,在编撰本书时尚在出售的零件,也许读者在看到本书时却不易买到。尤其是部分民用的 IC,在短期间内就从市场上消失踪影。

遇到这种情况时如果是晶体管与二极管,只要参考资料手册和 CQ 出版社的半导体规格表就不难找到互换型号。但是在选购 IC 的时候就稍感棘手。不过,不该受挫灰心,应当契而不舍地从规格表与资料手册中找出同功能的 IC,变更设计勇于挑战。这个时候所展现的才是真才实学。

最后,谨向本书发行之际提供过帮助的 CQ 出版株式会社浦生良治氏,增田久喜氏深致谢忱。

著 者

目 录

第 1 章 高频电路概述	1
1.1 亲身体验高频电路	1
1.2 高频电路的基本常识	11
1.2.1 为何要学高频电路	11
1.2.2 低频电路与高频电路的比较	11
1.2.3 集中常数电路与分布常数电路	12
1.2.4 高频信号传送的情况	13
1.2.5 行波与反射波的产生	14
1.2.6 驻波的产生	15
1.2.7 阻抗匹配	16
1.2.8 信号的大小的表示	17
专栏 1.1 关于 $\text{dB}\mu$ 与 dBm	19
第 2 章 高频放大电路的设计与制作	20
2.1 高频放大电路应该具备的特性	20
2.1.1 在所使用的频带范围内其功率增益要高	20
2.1.2 所产生的噪声要小	20
2.1.3 截止点(IP: intercept point)要高	22
2.2 使用 FET 的高频放大器的设计与制作	23
2.2.1 FM 广播频带的小信号放大器应具备的特性	23
2.2.2 噪声要低	24
2.2.3 取得噪声匹配	27
2.2.4 使用零偏压	29
2.2.5 负载阻抗为 50Ω	32
2.2.6 高频电路的印刷电路板设计要点	34
2.2.7 FM 调谐器用高频放大器的调整方法	37

2.2.8	功率增益及频率特性的测试	39
2.3	使用 IC 的宽频带放大器的设计与制作	41
2.3.1	VHF/UHF 波带放大也迈入 IC 时代	41
2.3.2	需要使用电视用 Booster 时	42
2.3.3	Booster 的设计规格与宽频带放大器的规格	43
2.3.4	Booster 电路的设计	46
2.3.5	电视用 Booster 印刷电路板的制作	50
2.3.6	Booster 安装在天线时	51
2.3.7	所制作的电视用 Booster 的特性	52
2.3.8	如何做成 VHF/UHF 用 Booster	52
专栏 2.1	50Ω/75Ω 的阻抗变换	53
专栏 2.2	什么是 y 参数	56
2.4	宽频带功率放大器的设计与制作	56
2.4.1	小信号放大器与功率放大器的差异	56
2.4.2	功率放大器工作点的选取方法	57
2.4.3	为提升效率的阻抗匹配	58
2.4.4	AB 类工作功率放大器的设计规格 (明细)	59
2.4.5	阻抗变换电路的设计	59
2.4.6	增益 10dB、1W 晶体管放大电路的设计	60
2.4.7	阻抗变换电路的设计	65
2.4.8	功率放大器的制作与调整	67
2.4.9	制作完成的宽频带放大器的特性	68
专栏 2.3	负反馈与频带宽	69
第 3 章	高频振荡电路的设计与制作	71
3.1	振荡电路概述	71
3.1.1	振荡电路的分类	71
3.1.2	振荡的工作原理	72
3.1.3	振荡电路具有的特性	73
3.2	哈特莱型 LC 振荡电路的设计与制作	73
3.2.1	LC 振荡电路概述	73
3.2.2	哈特莱振荡电路的原理	74
3.2.3	振荡频率的确定	75

3.2.4	振荡用晶体管放大器	78
3.2.5	缓冲用晶体管放大器	79
3.2.6	LC 振荡器的制作	80
3.2.7	用以稳定振荡的反馈量调整	82
3.2.8	如何调整振荡频率范围	82
3.2.9	所制作的 LC 振荡电路的特性	83
3.3	考毕兹振荡电路与下陷表的设计与制作	84
3.3.1	考毕兹振荡电路的原理	84
3.3.2	下陷表是什么	85
3.3.3	下陷表的结构	86
3.3.4	振荡频率的改变端依赖于变容二极管的使用	87
3.3.5	下陷表的制作	88
3.3.6	为了便于使用需要机匣与刻度盘	90
3.3.7	调整与频率的校准	91
专栏 3.1	频率稳定度高的克拉普振荡电路	92
专栏 3.2	关于谐振电路	94
3.4	晶体振荡电路的设计与制作	94
3.4.1	压电元件是什么	95
3.4.2	使用皮尔斯振荡电路	96
3.4.3	不需调整即可使用的晶体振荡电路	97
3.4.4	使用 CMOS 反相器的晶体标示器的制作	99
3.4.5	控制晶体振荡频率的 VXO 电路	100
第 4 章	PLL 电路的设计与制作	103
4.1	PLL 电路的基本结构	103
4.1.1	PLL 电路概况	103
4.1.2	PLL 的结构	104
4.1.3	相位比较器的功用	105
4.1.4	环路滤波器的选择方法	105
4.2	PLL-VCO 的设计与制作	106
4.2.1	PLL-VCO 的工作	106
4.2.2	PLL 用 IC 为 MC145163P	107
4.2.3	VCO 电路的设计	108

4.2.4	PLL-VCO 基板的制作与调整	110
第 5 章	频率变换电路的设计与制作	114
5.1	频率变换(变频)电路概述	114
5.1.1	频率变换的目的	114
5.1.2	呈现交互调制特性的影响	115
5.1.3	频率变换的原理——使用乘法电路	116
5.2	使用 DBM 的频率变换电路的设计与制作	117
5.2.1	乘法电路使用 DBM	117
5.2.2	准备制作的频率变换器的设计规格	118
5.2.3	二极管 DBM 电路的工作原理	119
5.2.4	DBM 电路的设计	120
5.2.5	高通带滤波器的设计	123
5.2.6	频率变换器的制作与调整	124
5.2.7	制作完成的频率变换器的特性测试	126
5.3	接收机用晶体变频器的设计与制作	127
5.3.1	晶体变频器概述	127
5.3.2	利用双栅极 FET 的高频放大/频率变换电路	129
5.3.3	放大电路/调谐电路的设计	131
5.3.4	频率变换电路的设计	132
5.3.5	晶体变频器的印刷电路板的制作与调整	134
5.3.6	制作完成的晶体变频器的特性	136
5.3.7	如何把输出频率变成 10~20MHz	138
第 6 章	FM 调制/解调电路的设计与制作	139
6.1	FM 调制的基础技术	139
6.1.1	FM 调制的构想	139
6.1.2	FM 调制波占有的频带宽	140
6.1.3	FM 调制电路的实验	141
6.2	FM 无线麦克风的设计与制作	142
6.2.1	为频率稳定而使用陶瓷振荡器	142
6.2.2	准备制作的无线麦克风概述	143

6.2.3	用振荡电路进行频率调制	144
6.2.4	振荡输出的倍增	145
6.2.5	麦克风放大器的设计	146
6.2.6	FM 无线麦克风的制作	147
6.2.7	调整无线麦克风的输出电平	148
6.2.8	调制度及频率的调整	149
6.2.9	制作完成的 FM 无线麦克风的特性	151
6.3	FM 解调/中频放大电路的设计与制作	152
6.3.1	何谓 FM 解调电路	152
6.3.2	FM 中频放大电路的工作原理	153
6.3.3	利用晶体管的中频放大电路的设计	154
6.3.4	FM IF 用陶瓷滤波器与 TA7303P	156
6.3.5	求 FM 检波电路常数	158
6.3.6	FM 中频放大器的制作与调整	159
6.3.7	所制成的 FM IF 放大器的特性测试	161
6.4	FM 立体声解调电路的设计与制作	163
6.4.1	FM 立体声概述	163
6.4.2	播送台所播送的 FM 信号	164
6.4.3	FM 信号在接收端的分离	165
6.4.4	立体声多路传输(stereo multiplex)解调 电路	166
6.4.5	立体声放大器部的结构	169
6.4.6	FM 前端的设计	170
6.4.7	FM 立体声接收机的制作与调整	173
第 7 章	AM 调制/解调电路的设计与制作	177
7.1	AM 调制的基础技术	177
7.1.1	AM 调制的构想	177
7.1.2	关于占有频带与 SSB	178
7.1.3	AM 调制实例	179
7.2	SSB 发生器的设计与制作	180
7.2.1	SSB 发生器的工作与原理	180
7.2.2	双重平衡差动放大电路所构成的 DBM	181
7.2.3	DBM 用 IC SN76514N 的使用方法	181

7.2.4	频率选择应使用晶体滤波器	184
7.2.5	SSB 发生器的制作	184
7.2.6	SSB 发生器的调整	185
7.2.7	AF 输入对 DSB、SSB 输出特性与频率特性	187
7.3	AM 检波/中频放大电路的设计与制作	189
7.3.1	二极管检波与中频放大	189
7.3.2	中频放大电路的工作原理	190
7.3.3	选择中频放大用晶体管	191
7.3.4	中频晶体管外围电路常数的计算	192
7.3.5	AGC 电路的设计	193
7.3.6	确定选择度的陶瓷滤波器	194
7.3.7	AM 检波采用肖特基二极管	196
7.3.8	中频放大/AM 检波电路的制作与调整	196
7.3.9	制作完成的 AM 检波电路特性	198
7.3.10	中频放大电路接以晶体变频器	200
7.4	SSB 发射机的设计与制作	201
7.4.1	发射机与 LC 滤波器	201
7.4.2	LC 低通带滤波器原理	202
7.4.3	什么是定 K 型低通带滤波器	202
7.4.4	21MHz 发射机用 LC 滤波器的设计与制作	204
7.4.5	所制作的低通带滤波器特性	205
7.4.6	21MHz SSB 发射机的制作	206
7.4.7	频率变换部的制作与调整	209
第 8 章	高频电路用测试器的制作	211
8.1	制作晶体管的 h_{FE} 测验器	211
8.2	FET 的 I_{DSS} 测验器的制作	212
8.3	高频电压探测棒的制作	213
8.4	低频振荡器的制作	215
8.4.1	关于 ICL8038CC	216
8.4.2	振荡器的制作与调整	217
8.5	简易型信号发生器的制作	219

8.6	简易型标准信号发生器的制作	221
8.6.1	改造 PLL-VCO	222
8.6.2	改造频率变换器	223
8.6.3	SSG 用宽频域放大器的制作	223
8.6.4	单元之间的连接	226
8.6.5	调整信号发生器	226
8.7	噪声发生器的制作	227
8.7.1	噪声发生器的使用方法	228
8.8	分级衰减器的制作	230
8.9	微功率表的制作	232
8.9.1	电路的设计与制作	233
8.9.2	校准刻度的重要性	236
8.10	终端型功率表的制作	237
8.11	SWR 表的制作	238
8.12	测频器的制作	241
8.12.1	测频器的结构	242
8.12.2	测频器的制作与调整	245
	参考文献	247

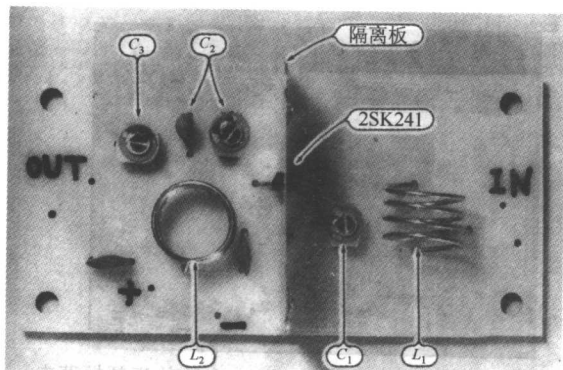
第 1 章 高频电路概述

在学习高频电路的各种技术之前，准备就本书所要进行制作的各种高频电路，以及高频电路特有的基本常识(common sense)加以介绍。

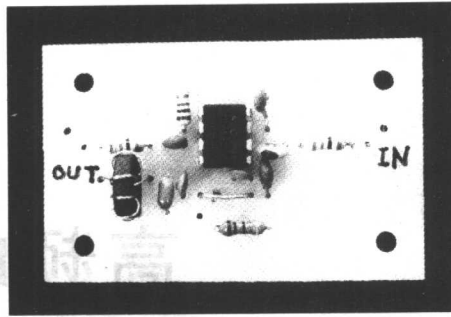
1.1 亲身体验高频电路

本书所介绍的电路，其印刷电路板一律都是亲自制作(从电路图案设计直至腐刻处理)的单面基板，虽然不及照片中显示的那样美观，但是相信可以明白所制作的是什么。

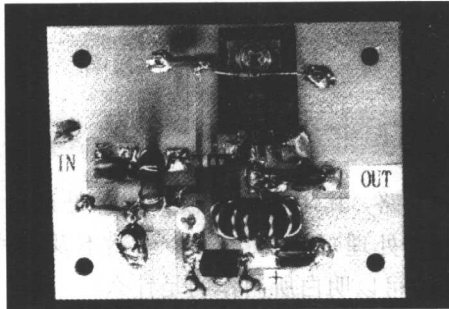
高频电路，提到理论难免有点担心，但是实际上亲自经过一番制作便会慢慢明白。因此，本书将逐一介绍实际制作高频电路的方法。(如照片 1.1~1.28 所示)



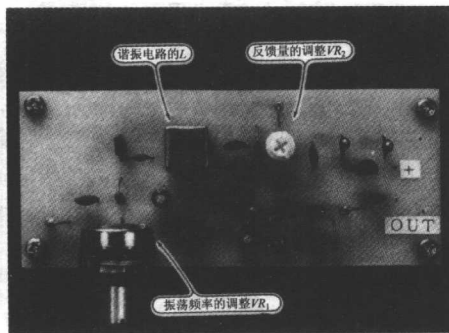
照片 1.1 使用 FET 的高频放大器(第 2 章)。放大 FM 广播电波(VHF 带)的电路。插入天线与 FM 调谐器之间使用，深具效果，可作为学习高频放大电路的基础



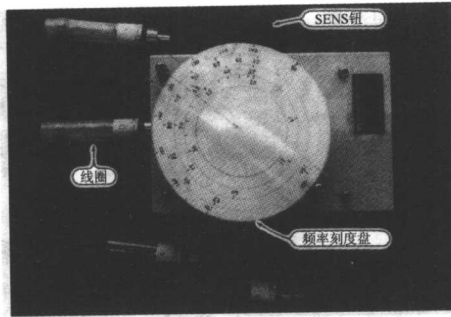
照片 1.2 使用 IC 的宽频带放大器(第 2 章)。放大 TV(VHF 用)广播电波的电路。插入天线与电视机之间使用,最近已经可以购得便宜的低噪声宽频带放大 IC



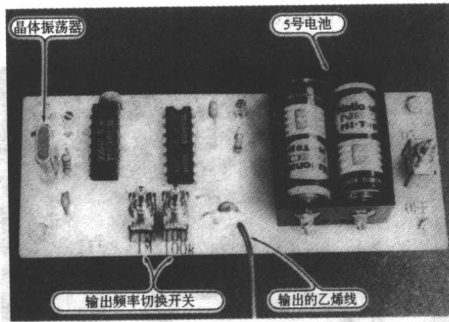
照片 1.3 宽频带功率放大器(第 2 章)。输出 1W, 1~50MHz 频带的放大器。就此而言功率虽小,但可用于大输出 RF 功率放大器的驱动器等



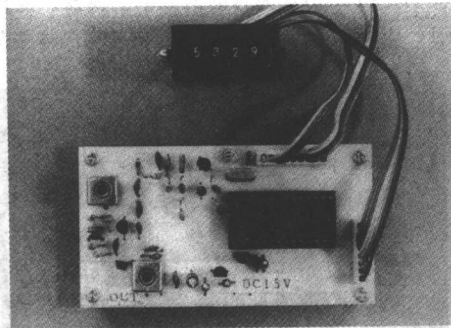
照片 1.4 LC 振荡电路(第 3 章)。多数的高频振荡电路都属于 LC 振荡电路。此处所制作的是 10~20MHz 的哈特莱型振荡电路,若放在机匣内就成为颇具规模的信号发生器



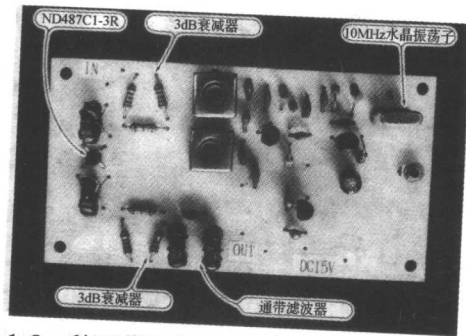
照片 1.5 dipmeter(下陷表)(第 3 章)。虽与照片 1.4 同属 LC 振荡电路,但应用考毕兹振荡电路,可以简单测试振荡频率与谐振频率,频率涵盖 10~180MHz



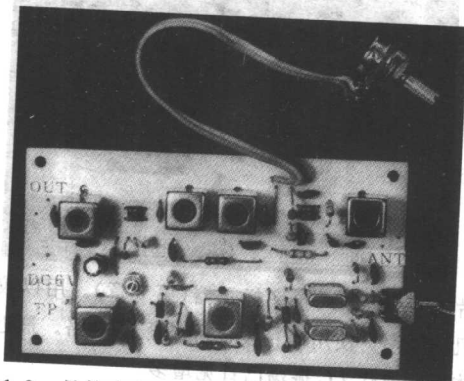
照片 1.6 晶体式频率标示器(第 3 章)。用以校准接收机的频率。使用高精度的晶体振荡电路。最近使用晶体振荡取代 LC 振荡已日见增多



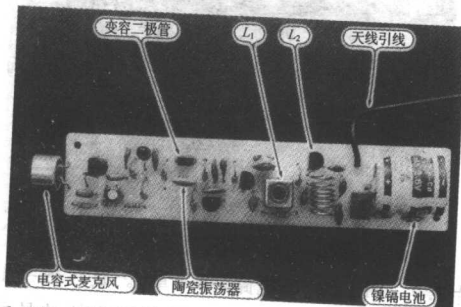
照片 1.7 PLL-VCO 电路(第 4 章)。是在数字上控制振荡电路时深具效果的电路。此处所介绍的是可以把 40~60MHz 之中的 10MHz 按 10kHz step 设定,又叫做 synthesizer



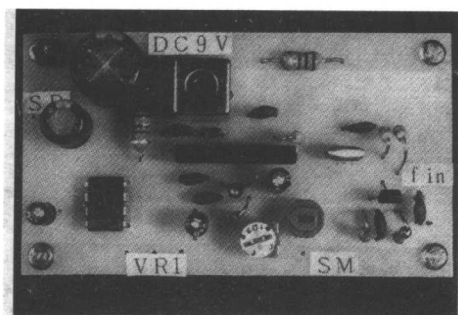
照片 1.8 利用 DBM 的频率变换器(第 5 章)。对原来的振荡频率而言,把别的振荡器信号加以混合制成新的频率,就是频率变换器。此处所介绍的是可以把 50MHz 的信号发生器当作 80MHz 使用。DBM 是 Double Ballanced Mixer 的简称



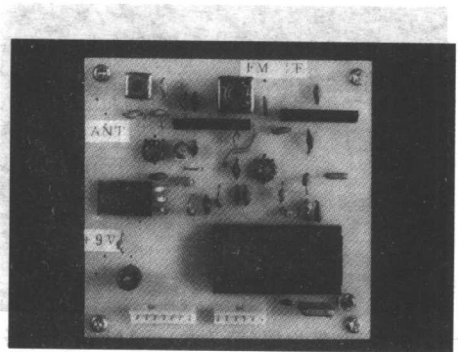
照片 1.9 晶体变频器(第 5 章)。以 50MHz 波带接收机接收 118~136MHz 为目的的频率变换器。混合器使用 FET,基本振荡(局部振荡)电路则使用晶体振荡电路



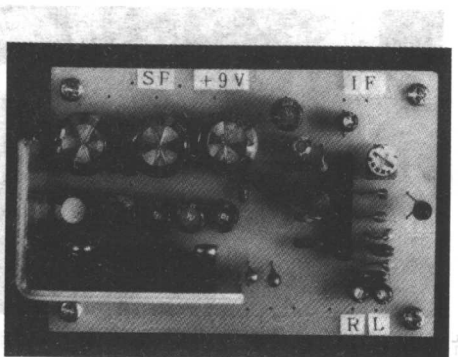
照片 1.10 FM 无线麦克风(第 6 章)。欲实际使用 RF 电路,有赖此无线麦克风。输出功率虽小但可供家庭内使用。同时也可以学习 FM 调制技术



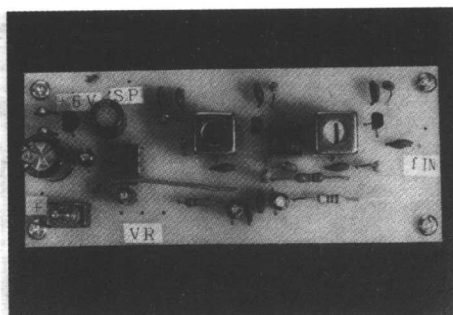
照片 1.11 FMIF 放大电路(第 6 章)。如接收机等,一般都把高的输入频率一度降为中频(IF)再进行检波。FM 接收机的中频为 10.7MHz,通过它来理解完成 FM 接收机所需的限幅器及 FM 检波包含在内的电路技术



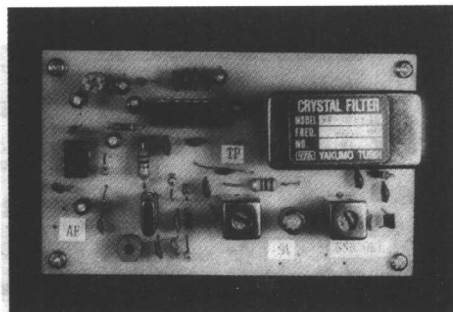
照片 1.12 FM 前端电路(第 6 章)。相当于 FM 立体声接收机初级电路。最近,由于能够简单构成而使用 PLL Synthesizer LSI 的人与日俱增



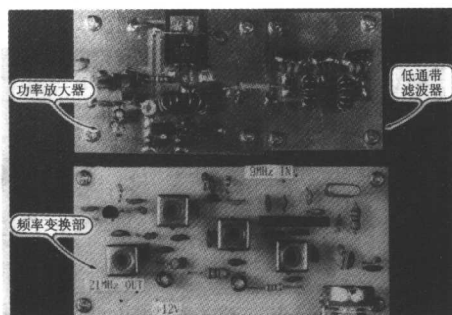
照片 1.13 FM 立体声多路传输解调电路(第 6 章)。用以把 FM 立体声信号,在接收机端解调为左右信号的电路。因为使用 IC,实际的结构也就简单多了



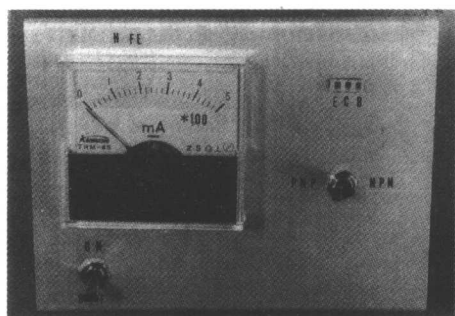
照片 1.14 AMIF 放大器(第 7 章)。AM 收音机的中频为 455kHz。用来介绍经由滤波器选择信号进而加以检波的技术。只要连接频率变换电路便可做成收音机



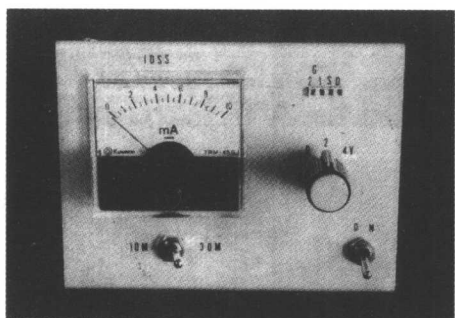
照片 1.15 SSB 发生器(第 7 章)。AM 调制电路之一，有所谓的单边带(SSB)波产生。此处介绍变换声频信号为 9MHz SSB 波的技术



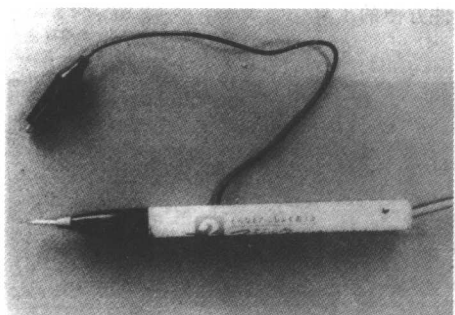
照片 1.16 21MHz SSB 发射机(第 7 章)。利用照片 1.15 的 SSB 发生器与滤波器再加以频率变换即可做成发射机。如果接以照片 1.3 的功率放大器那就……



照片 1.17 晶体管的 h_{FE} 测验器(第 8 章)。用以测试晶体管的直流放大率。借此更可以了解到 h_{FE} 颇为参差不一



照片 1.18 FET 的 I_{DSS} 测验器(第 8 章)。FET 相当于晶体管的 h_{FE} 参数为 g_m ，本测验器就是测试与此 g_m 相关连的饱和漏极 I_{DSS} 的测试工具



照片 1.19 高频电压探测棒(第 8 章)。测试电表与三用电表等均有频率特性，一般无法测试高频电压。本探测棒就是为此目的而准备的工具。利用笔筒作为机匣