

低电压技术

河南省鹤壁市科学技术委员会

还是费劲的。但是随着技术的发展，推广的深入这种状态会逐渐改变的。例如一九七三年北京西苑的讨论会上，认为1.5伏收音机失真大，功率上不去是个难关。可是在七七年柳州会议上，参加测试的机器都克服了这个问题，当然也就没有人再提它了。原来认为1.5伏收音机很难修，现在会修的人很多，具有一般电工知识的人也都能修理了。再如，原来必须采用高 β 管子，现在看来 β 不高的也行了。可见上述的问题是可以逐渐克服的，是前进中的问题。

这项研究试验工作是在各级党委的领导和支持下进行的。它们是中国科学院生物物理研究所、四机部二局、四机部三所、省科委、省机械局、市科委、市重工业局、北京东风电视机厂、鹤壁无线电六厂等。在工作中也曾得到许多领导和同志们的指导帮助。他们是陈芳允教授，四机部黄积良同志、乐陶、郁文工程师，省机械局郭正鸿工程师东风电视机厂刘瑞泉、孙锡武技术员，鹤壁科委王扬同志。还有许多同志他们给了很多帮助，在此一并表示感谢！

由于我们水平不高，把我们所做的工作发表出来只能算仅仅是开始，抛砖引玉，征求意见，仅供同志们参考。

目 录

I 采用低电压的道理

(1) 可靠性高	(1)
(2) 用电经济	(4)
(3) 使用方便	(7)
(4) 提高元、器件的使用率、合格率	(7)

II 低电压晶体管电路的设计

(1) 晶体管在低电压下的性能	(8)
(2) 低电压放大器	(10)
(3) 低电压变频电路	(13)
(4) 低电压功率放大器	(17)
(5) 低电压功率放大器的失真	(24)
(6) 低电压、微功率放大器	(27)
(7) 低电压直流放大器	(30)
(8) 硅管在低电压收音机中的应用	(33)
(9) 低电压收音机的音质问题	(35)
(10) 低电压收音机的噪声	(39)
(11) 低电压收音机的简化电路	(40)
(12) 抗干扰问题	(42)
(13) 1.25伏与非门电路, 及其组成的逻辑电路	(43)
(14) 低电压双稳态触发器	(46)
(15) 低电压单稳态电路	(50)
(16) 低电压多谐振荡器	(52)
(17) 低电压频率可变化的多谐振荡器	(53)
(18) 低电压直流电压变换器的分析	(55)
(19) 缩小电沅变压器的探讨	(57)

III 低电压产品、电路列举

(1) 设计 1.5 伏收音机应当注意的技术问题	(61)
(2) 昆仑7015A型 1.5V 收音机	(62)
(3) 太行756型 1.5V 收音机	(62)
(4) 山花牌 C153 型 三波段收音机	(64)

(5) 汾水FS—27—2 1.5伏两波段收音机	(64)
(6) 风雷 605 — 2型收音机	(67)
(7) 铅石751型1.5伏收音机	(67)
(8) 宝石花 705 型收音机	(68)
(9) 海鸥 709 型收音机	(70)
(10) T ₄ 型150瓦晶体管扩音机	(71)
(11) 12伏50瓦汽车专用扩音机	(72)
(12) 磁石电话机加装晶体管放大器	(73)
(13) 3 伏小型发射机电路	(74)
(14) 音控电话单机电路	(74)
(15) 无变压器小功率输出级	(75)
(16) 1.5 伏 无线话筒发射机	(75)
(17) 低电压晶体管探穴治疗仪	(76)
(18) 全硅管无变压器输出级	(77)
(19) ZT — 3 型 1.5 伏助听器	(78)
(20) 微功率低电压放大器	(79)
(21) 低电压差分放大器	(79)
(22) 1.5 伏毫温度测量器	(80)
(23) 低电压防空警报声音产生器	(81)
(24) 3 V 地震报警器	(83)
(25) 1.5 伏晶体管钟	(84)
(26) 用氖泡做成的低功耗指示器	(84)
(27) 3 V 高低频信号发生器	(85)
(28) 1.5 V 伏信号发生器	(86)
(29) 一个简单的报警器	(86)
(30) 1.5 伏计数率计	(86)
(31) 3 V 小型万次闪光灯	(87)
(32) 1.5 V 直流电压变换器	(88)
(33) LSKC 型 粮食水份测量仪电沅的改制	(89)
(34) 1.25伏多谐振荡器	(89)
(35) TW ₁ 微型瓦斯报警器	(89)
(36) 低压电沅	(91)
(37) 1.25伏计数器	(92)
(38) 1.25伏十进位计数器	(93)
(39) 用1.25伏与非门组成的双向移位寄存器	(95)
(40) 1.25伏分立元件移位寄存器	(96)
(41) 1.25伏简易的教学表演用的电子计算器	(98)

I 采用低电压的道理

(1) 可靠性高

电子装置的可靠性就是在规定条件下, 在规定的时间内, 完成规定功能的能力。

假设一台电子装置, 由 n 个元件组成。在规定时间 T 内, 每个元件损坏的几率为 q , 这台机器在 T 时间内不出现故障的几率以 P 表示, 那么则有:

$$P = (1 - q)^n$$

当 q 很小时则有:

$$P \approx 1 - nq$$

也就是, 整机的故障率近似等于元件故障率乘以元件数目。显然, 降低元件的故障率就可以提高整机可靠性, 对元件多的机器尤其是这样。

经验表明, 同一个元件, 在不同的条件下使用, 其可靠性大不相同。

根据电介质物理中的瓦格纳理论, 电容器的损坏以热击穿为主, 电容器的击穿几率 q 与电压有下列关系:

$$q \propto U^2$$

α 表示正比符号。可知, 降低加于电容器的电压可以有效地降低电容器的损坏几率。

密勒(S. L. Miller)对于PN结击穿进行了研究, 指出它的击穿几率 q 与电场 E 之间的关系如下:

$$q \propto \left[6 e^{3.9 \times 10^5 E} \right]$$

其中: α 为正比符号, e 为自然对数的底数。根据上述理论, 如将电沅电压降低十倍, 电容器, 晶体管击穿的可能性分别降低为100倍和二万倍。实际上, 元器件的损坏, 击穿是一个重要原因, 但不是全部原因。因此, 实际是不可能得到上述所估计的效果的。

图(I—1—1)原载于M I L—HDBK—127A.1, December 1965年〔注〕。它给出了电容器, 晶体管故障率与电压、温度之间的关系, 因为我们不知道具体的试验条件, 因此只能作为参考。根据曲线可查得, 当电沅电压下降10倍, 可靠性大约能提高50倍左右。

〔注〕引自 成都电讯 微型器件 第3期 1973.6

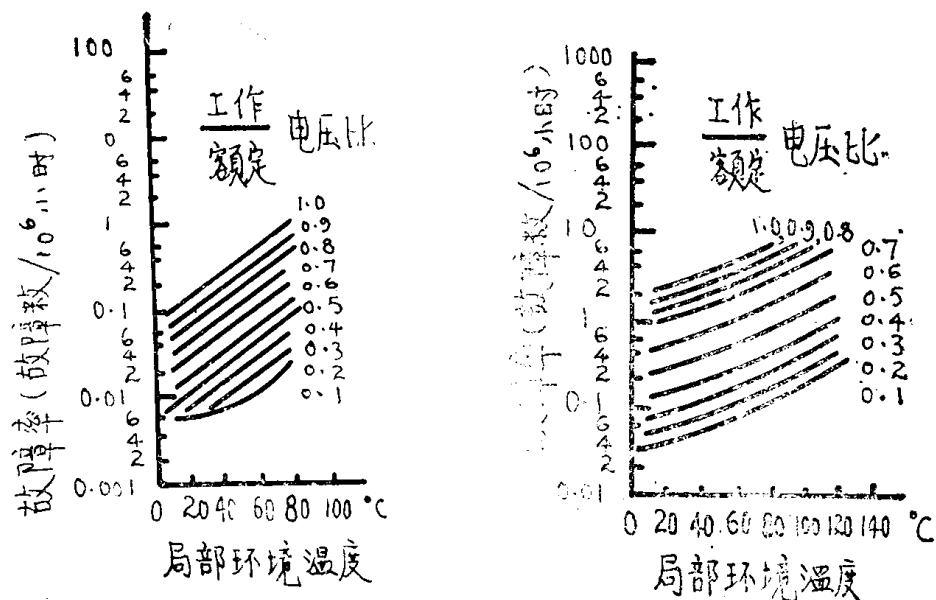


图 I-1-1

经验上也证明，降低电阻器的功率和电压也可减少它的失效几率。

应当指出，在降低电压的同时，还必须注意保障电子装置功能上的可靠，只有这样，降低电压，才是有意义的。

下面以晶体管扩音机为例子，说明在大功率的晶体管放大器中采用低电压的道理。

图（I-1-2）是晶体管的安全工作区，顶部受管子最大允许电流的限制， P_{CM} 部分是受管子功耗限制的部分。 P_{SB} 是受二次击穿所限制的部分，侧面的部分是受晶体管所能承受的最大电压的限制。所谓安全工作区就是，在使用中任何瞬间，任何情况下工作点都不超出它的范围，那么管子是坏不了的。

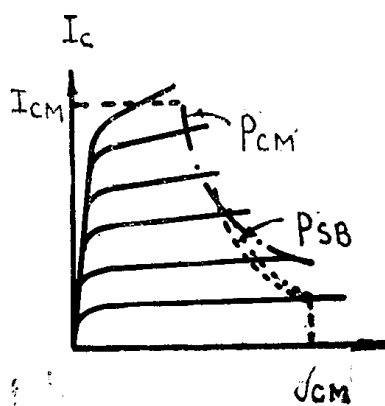


图 I-1-2

各种条件下的负载线，测量结果见图 I-1-3

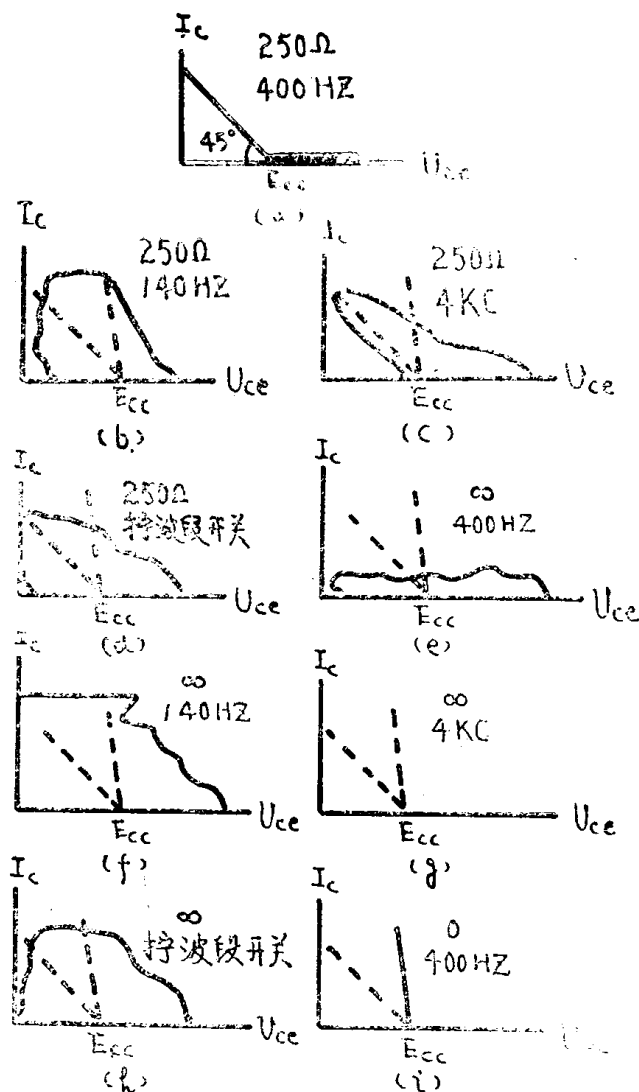


图 I-1-3

图中 (a) 是在负载电阻匹配, 输入信号为400赫芝时的负载线。

(b) 是在负载电阻匹配, 输入信号为140赫芝时的负载线。

(c) 是在负载电阻匹配, 输入信号为4000赫时的负载线。

(d) 是在负载电阻匹配, 拧波段开关时所产生的负载线。

(e) 是开路, 不接任何负载时输入信号为400赫时的负载线。

(f), (g), (h) 分别是在开路不接任何负载时, 频率在140赫芝, 4000赫和拧波段开关时的负载线。

(i) 是输出端短路, 在400赫芝时的负载线。

以上的实验都是在一百次实验中取最严重者。

将上述的安全区, 与负载线做对比, 可明显看出: 采用低电压容易取得安全可靠的效果。〔注〕

(2) 用电经济

任何一台电子装置总归要消耗一定的电能。能量是守恒的那么降低电压怎么能用电经济呢？

根据试验，如将干电池的体积作为横坐标，单位体积干电池的容量为纵坐标。将有图I—2—1所示的关系曲线。采用低电压后，电池数目少了，在电子装置体积相同的

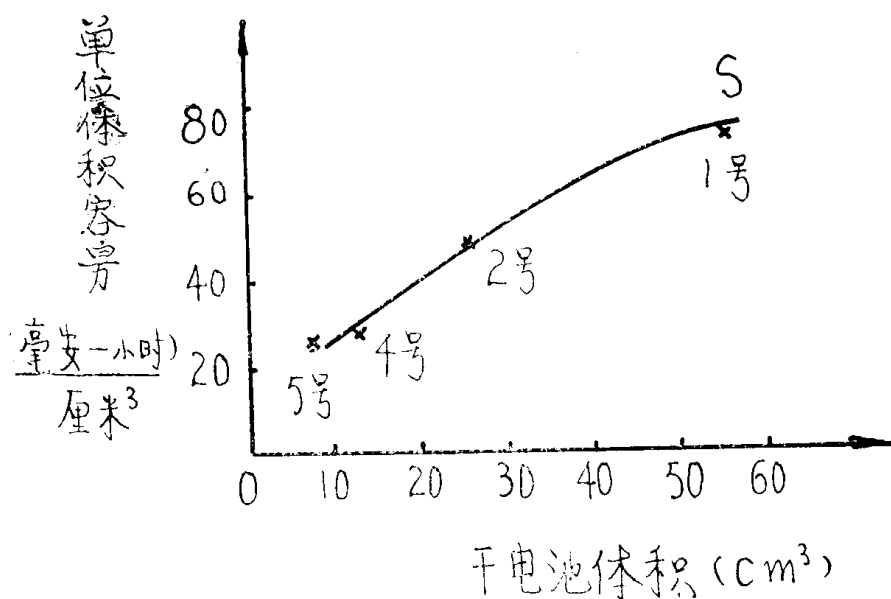


图 I-2-1

干电池的总容量与单位体积容量之间的关系

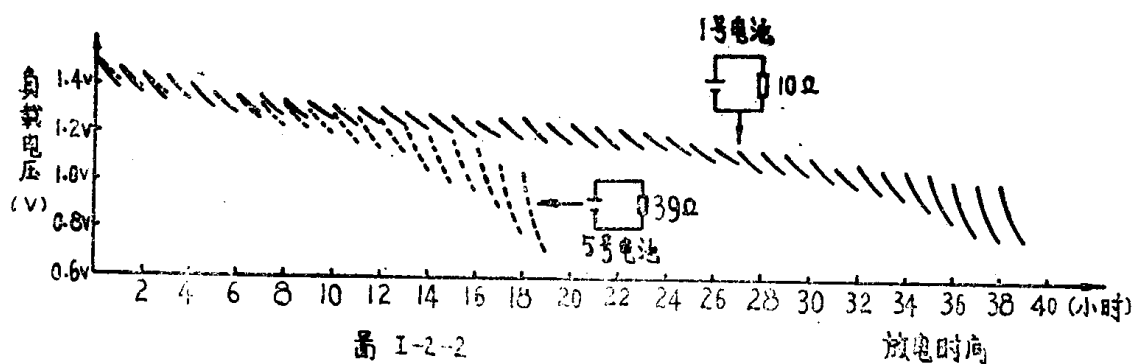
条件下就允许采用体积较大型号的电池，由于它的单位体积容量加大了，所以降低电压后总容量比高电压的大为增加。因此，达到了用电经济之目的。

对于其它类型的电池和蓄电池，也都有类似的关系曲线，因此对于使用其它类型电池的机器，结论也是一样的。

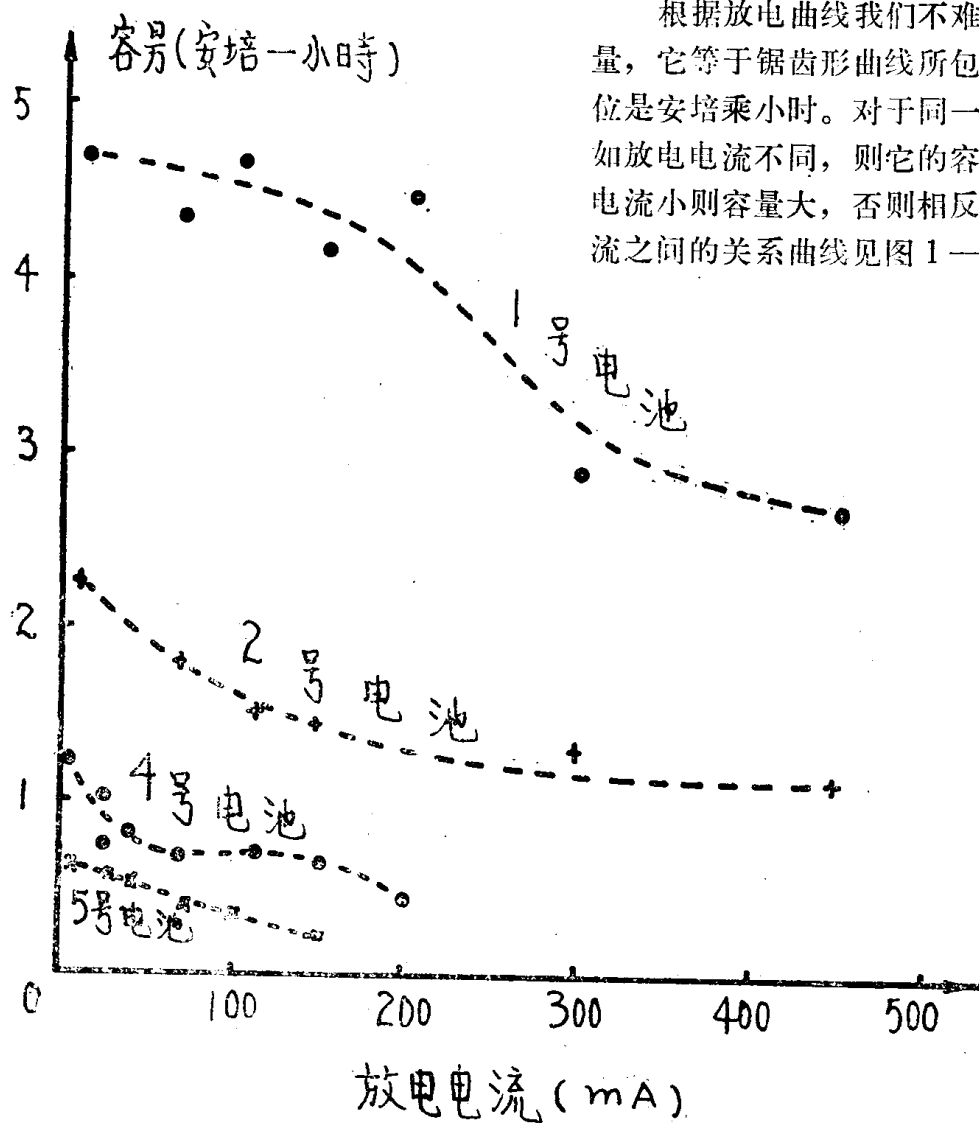
现在我们再看图I—2—1中的曲线。开始曲线上升很快，当到达S点之后，曲线接近于水平。可知，对于在S点以左才有降低电压用电经济的效果。在S点以右，降低电压单位体积的容量增加并不显著，这时降低电压就不会达到用电经济的目的。下面我们将具体讨论用电经济问题。

我们着重谈普通锌锰电池的放电规律。这种电池是最常用的一种电池。它的放电特性与放电方式，放电电流，环境温度，贮存时间，个体差异等很多因素有关。以常用的1号、2号、4号、5号四种电池做放电试验。模拟收音机的放电方式，每日放电一小时，每周做六天，定阻放电。以电压下降到0.75伏时为放电终止。这样每一只电池便得到了一条放电曲线。这里只列出两条有代表性的曲线，见图(I—2—2)。它的纵坐

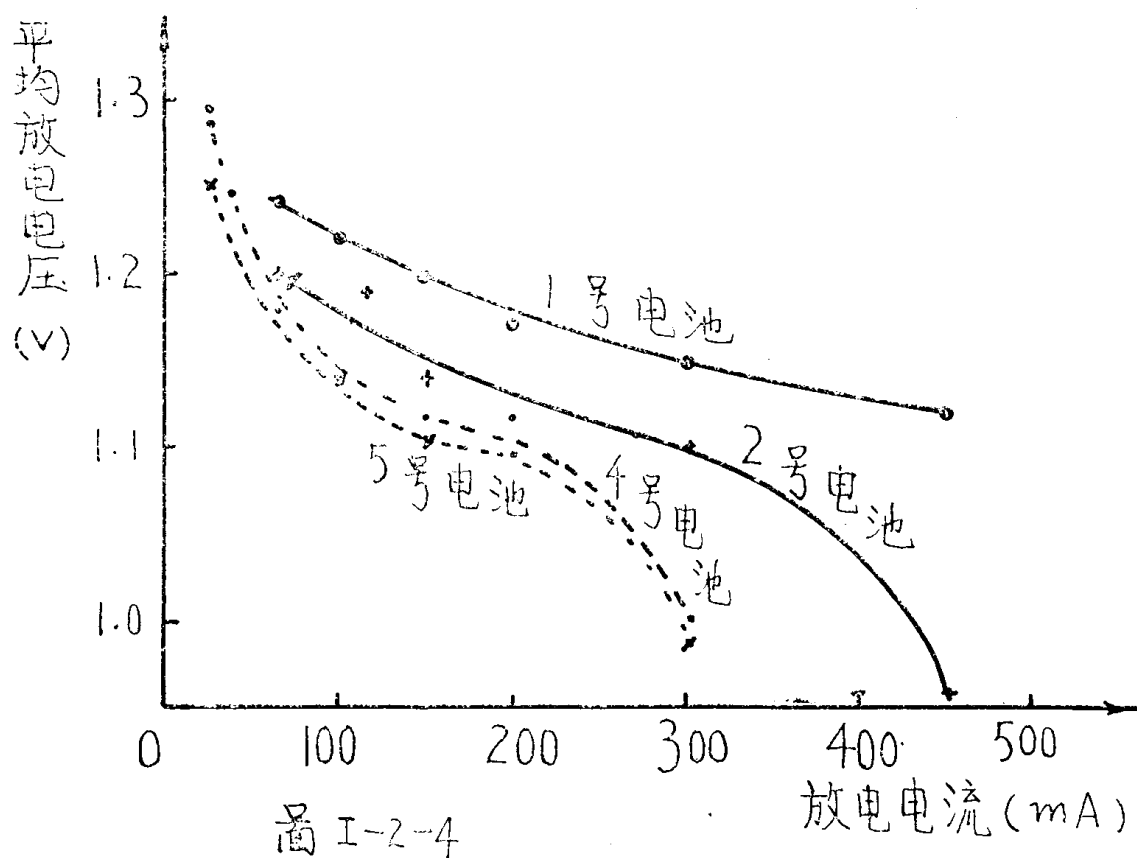
标表示电池负载电压，横坐标代表放电的时间。图中每一个锯齿代表一次放电试验。图中延续较长的一条曲线是1号干电池的放电特性曲线，它的负载电阻是10欧姆。较短的那条曲线是5号电池的放电特性曲线，它的负载电阻为39欧姆。



根据放电曲线我们不难得出电池的容量，它等于锯齿形曲线所包围的面积、单位是安培乘小时。对于同一种型号的电池，如放电电流不同，则它的容量也不同，放电电流小则容量大，否则相反。容量和放电电流之间的关系曲线见图1—2—3。



我们根据实测的放电曲线还可以得到平均电压这样一个指标，它是将放电曲线上的锯齿高度进行平均而得。对于同一种型号的干电池，当放电电流不同时，其平均电压也不同。平均电压与放电电流之间的关系曲线见图（I—2—4）。这些曲线在设计收音机等电子装置时都是有一定的参考价值的。



根据上述的放电试验，我们不难看出对于对于半导体收音机，以不同的方式降低电压后的各种效果。参见表（I—2—1）。由这些实验也就不难得出图I—2—1的曲线了。

表 I—2—1 各种电池代替意义

代 替 内 容		产 生 效 果
以 大 代 小	1×1#代4×5#	节省电费五倍, 保持原体积, 方便
	1×1#代3×2#	节省电费二倍, 体积由便携式缩小为袖珍式, 方便
	1×1#代2×2#	节省电费二倍, 体积缩小, 方便,
	2×1#代4×5#	节省电费五倍, 体积增加,
	1×2#代2×5#	节省电费二点五倍, 体积基本不变, 方便。
	2×2#代4×5#	节省电费二点五倍, 体积稍有增加,
同 号 代 替	2×5#代4×5#	减小体积, 电费化整为零, 不省电,
	1×5#代2×5#	减小体积, 电费化整为零, 不省电, 新颖。
	1×1#代2×1#	减小体积, 电费化整为零, 不省电。
以 小 代 大	1×5#代1×1#	大大减小了体积, 但电费增加
	1×5#代1×2#	同 上

注: 1#表示1号, 4×5#表示四节5号电池。

(3) 使用 方 便

电子装置采用低电压将具有使用方便的特点, 这是很容易理解的。

例如: 1.5伏的收音机, 医疗机等它用一节一号电池, 电池好买, 贮存期长, 电池数目少这自然是方便的。

再如: 晶体管扩音机, 电台若用低电压, 就可以用汽车电灯, 使用方便。电子装置在矿井下采用一节一号电池, 它本身不需任何措施就是安全火花, 这样仪器就变得非常简单。还有一些便携式装置, 采用低电压, 电池数目就少, 重量就可以减轻。这些都将为使用者带来方便。

(4) 提高元、器件的使用率, 合格率

电灯电压低了, 由于耐压一项指标而不合格的元、器件都能够使用了, 因此可以提高元、器件的使用率、合格率。使因耐压不合格而成废品的元、器件变为合格品而得到利用, 为国家节省大量的资财。

II 低电压晶体管电路的设计

(1) 晶体管在低电压下的性能

一般三极管的输入特性曲线、输出特性曲线，频率特性曲线和集电极电容与 U_{ce} 之间的关系参见图(II-1-1)，(II-1-2)，(II-1-3)，(II-1-4)。

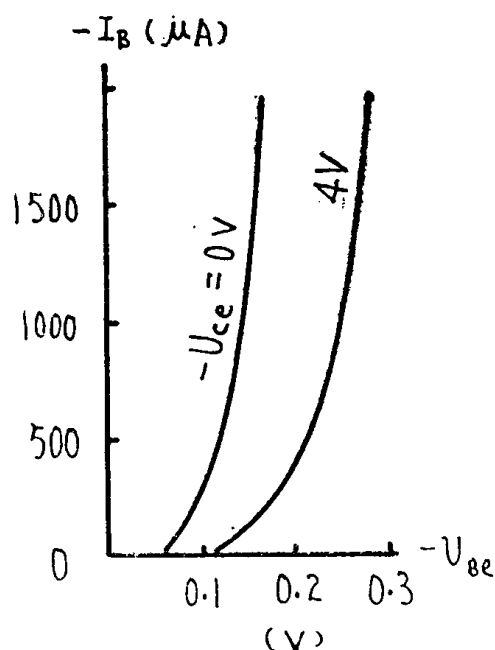


图 II-1-1

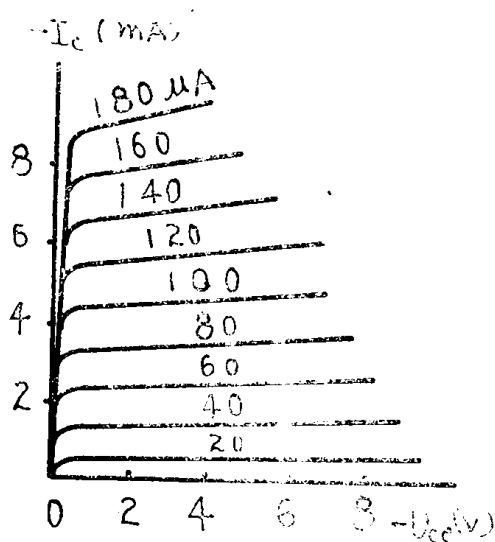


图 II-1-2

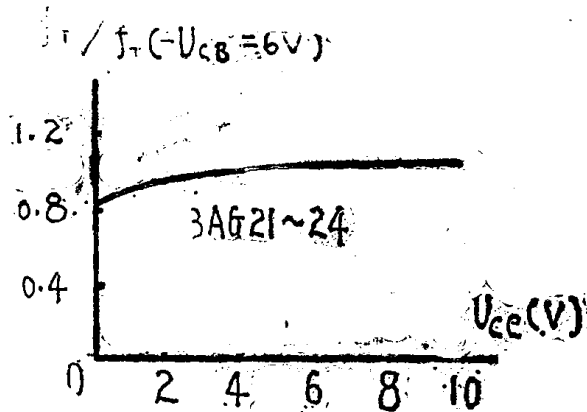


图 II-1-3

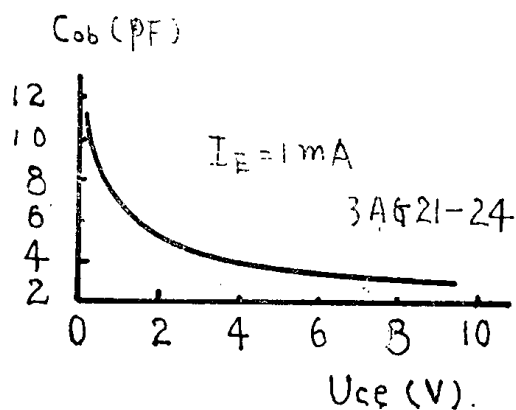


图 II-1-4

图(Ⅱ—1—1)是输入特性曲线,图中所画的是低频小功率锗管3AX21—24的性能,对于高频小功率锗管也有类似的性能。硅三极管电压在0.6~0.7伏左右才开始工作。锗管在0.2伏左右。因此可见,从这个特性来讲各种管子在1.5伏以下都能工作。对于锗管最低能工作的电压不能低于0.2伏左右。硅管不能低与0.7伏左右。在这个数值以下因为无法产生 I_B 自然就无法工作了。

图I—1—2是一般小功率锗管的输出特性曲线。曲线族左边部分称饱和区,曲线拐弯处称饱和电压,在饱和电压以上管子均可正常工作。由图可见在1.5伏电压下,由这个特性曲线来看对于低频小功率锗管,高频小功率锗管,都可正常工作。硅三极管具有和低频小功率锗管类似的曲线。有的管子在小电流时饱和电压比锗的还略低一些,可见1.5伏电压时硅管也能很好地工作。3AX31管在小电流时饱和电压不到0.2伏,可见只要电压高于0.2伏它就能工作。在一百毫安左右它的饱和电压大约为0.35伏,就是说这时必须在0.35伏以上它才能正常工作。高频小功率锗管,和硅管饱和电压在0.3—0.4伏左右,可知在此电压以上他们都能正常工作。低频大功率管饱和电压在1—2伏之间,就是说它们工作电压必须比这个数高得多时它们才能有效地工作。

图(Ⅱ—1—3)是频率的变化特性曲线。横坐标是集电极—发射极电压,纵坐标是特征频率的相对值,以6伏的为1。从这个特性来看降低电沅电压对特征频率 f_T 影响不大,是可以工作的。

图(Ⅱ—1—4)是集电极电容和集电极电压 U_{ce} 二者之间的关系曲线。当频率不太高时,由于它的数值不那么大,是完全可以忽略不计的。但若频率较高,它的作用便不可忽视。

结电容 C 和结电压 U 之间有下列的关系:

$$C = \left(\frac{K \cdot q \cdot N_d}{8\pi} \right)^{1/2} U^{-1/2}$$

电容随电压的变化速率为:

$$\frac{dC}{dV} = \left(\frac{K \cdot q \cdot N_d}{8\pi} \right)^{1/2} \left[-\frac{1}{2} U^{-3/2} \right]$$

试估计高电压下,和低电压下这个变化速率之差别:

$$\left(\frac{dc}{dv} \right)_{1v} / \left(\frac{dc}{dv} \right)_{10v} = 10^{\frac{3}{2}} = 30 \text{倍}$$

也就是 C_{ob} 的斜率在低电压时比在高电压时大得多,因此在频率高电压低场合这种效应是不能忽视的。例如,在设计短波收音机时,就得特别注意这种效应。高频部份电沅必须特别稳定,有时只有采用电子滤波器才能解决问题。〔注〕

(2) 低电压放大器

我们试利用一般的等效电路对低电压放大器进行分析。

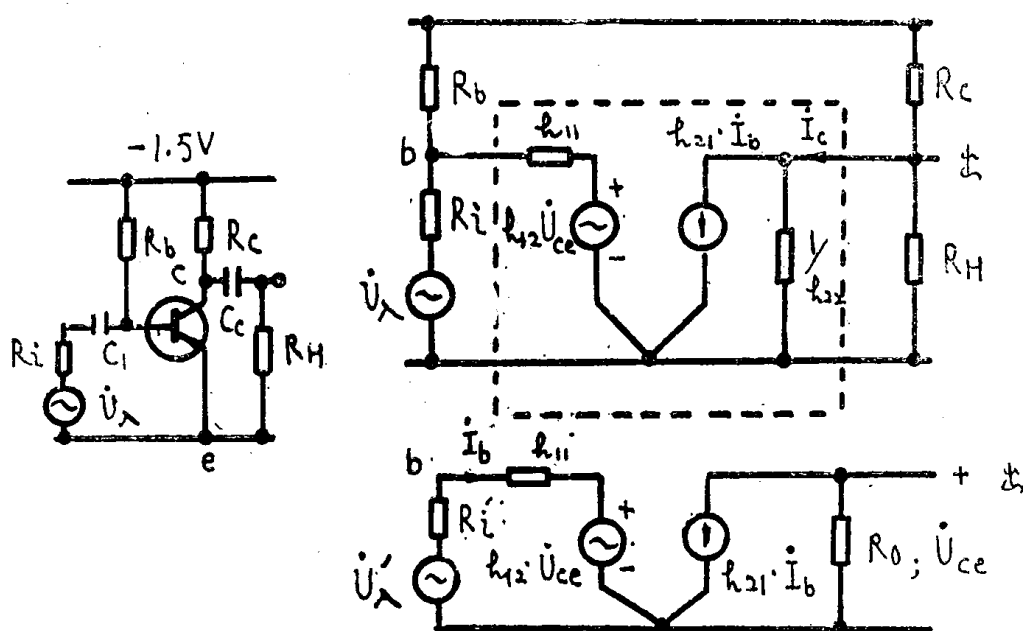


图 II-2-1

参见图 II-2-1 假设 C_1 和 C_c 两端电压恒定，则有：

$$\dot{U}_{\text{出}} = \dot{U}_{ce} = -h_{21} \cdot \dot{I}_b \cdot R_o$$

$$\dot{I}_b = (\dot{U}_{\lambda'} - h_{12} \dot{U}_{ce}) / R_i' + h_{11}$$

符号顶上标一个点，表示它的一个小变化量。

以上两式中的符号注解如下：

$$\frac{1}{R_o} = h_{22} + \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_c}$$

$$\frac{1}{R_i'} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_b}$$

$$\dot{U}_{\lambda'} = \frac{R_b}{R_i + R_b} \cdot \dot{U}_{\lambda}$$

解上述方程则有：

$$\dot{U}_{\text{出}} = - \left(\frac{R_b}{R_i + R_b} \right) \left[\frac{1}{R_i' + (h_{11} - h_{12}h_{21} \cdot R_o)} \right] (h_{21} \cdot R_o) \dot{U}_{\lambda}$$

$$K_u = \frac{\dot{U}_{\text{出}}}{\dot{U}_{\lambda}} = \frac{-h_{21} \cdot R_o}{R_i' + (h_{11} - h_{12} \cdot h_{21} \cdot R_o)} \cdot \frac{R_b}{R_b + R_i} \quad (\text{II-2-1})$$

如果: $R_i = 0$ 并且 $h_{11} \gg h_{12} \cdot h_{21} \cdot R_o$.

$$\text{则: } K_u = -h_{21} \cdot \frac{R_o}{h_{11}} \quad (\text{II-2-2})$$

以下我们讨论这个放大器的输入电阻。

$$R_{\lambda} = \frac{\dot{U}_{\lambda}}{\dot{I}_{\lambda}} - R_i \quad \left(R_{\lambda} = \frac{R_b \cdot R_{\lambda be}}{R_b + R_{\lambda be}} \right)$$

$$R_{\lambda be} = \frac{\dot{U}_{be}}{\dot{I}_b}$$

由等效电路可知:

$$\begin{cases} \dot{U}_{be} = h_{11} \cdot \dot{I}_b + h_{12} \dot{U}_{ce} \\ \dot{U}_{ce} = -h_{21} \cdot R_o \cdot \dot{I}_b \end{cases}$$

$$\text{则: } U_{be} = (h_{11} - h_{12} \cdot h_{21} \cdot R_o) \cdot \dot{I}_b$$

$$\therefore R_{\lambda be} = R_{11} - R_{12} \cdot R_{21} \cdot R_o \quad (\text{II-2-3})$$

如果认为 $h_{12} = 0$ 或 $h_{11} \gg h_{12} \cdot h_{21} \cdot R_o$.

$$\text{则: } R_{\lambda be} = h_{11} \quad (\text{II-2-4})$$

图 (II-2-2) 是一个计算输出电阻的等效电路, 其输出特性为一个恒流沉。

$$R_{\text{出}} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \text{ 或 } G_{\text{出cc}} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} - \frac{1}{R_c}$$

$$\dot{I}_2 = h_{21} \cdot \dot{I}_b + \left(h_{22} + \frac{1}{R_c} \right) \dot{U}_2$$

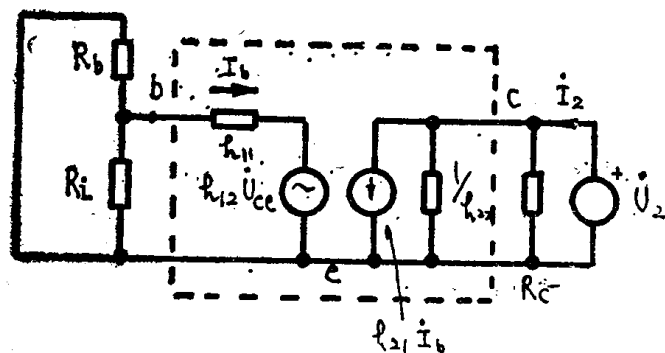


图 II-2-2 放大电路输出电阻的计算

$$\dot{i}_b = \frac{-h_{12} \cdot \dot{U}_{ce}}{h_{11} + h_{i'}} = -\frac{h_{12}}{h_{11} + h_{i'}} \cdot \dot{U}_2$$

$$\dot{I}_2 = \left[-\frac{h_{21} \cdot h_{12}}{h_{11} + R_{i'}} + h_{22} + \frac{1}{R_c} \right] \cdot \dot{U}_2$$

∴ 输出导纳为:

$$G_{\text{出cc}} = h_{22} - \frac{h_{21} \cdot h_{12}}{R_{11} + R_{i'}} \quad (\text{II}-2-5)$$

若 $h_{12} = 0$ 则: $G_{\text{出cc}} = h_{22} \quad (\text{II}-2-6)$

$$G_{\text{出}} = G_{\text{出cc}} + \frac{1}{R_c} = h_{22} + \frac{1}{R_c} - \frac{h_{21} \cdot h_{12}}{R_{11} + R_{i'}} \quad (\text{II}-2-7)$$

若 $h_{12} = 0$ 则 $G_{\text{出}} = h_{22} + \frac{1}{R_c} \quad (\text{II}-2-8)$

曾以一个放大器作试验, 电路见图(II-2-3)。所用3AG1C晶体管性能如下:

$$h_{11} = 4.2K \quad h_{12} \text{ 很小} \quad h_{21} = 51$$

$$h_{22} = 125 \mu\text{O} \left(\frac{1}{h_{22}} \approx 8K \right) \text{。用上述诸公式,}$$

近似计算结果如下:

$$K_u = 20$$

$$R_{\lambda} = 2K$$

$$R_{\text{出}} = 1.6K$$

当用内阻很小的信号进行测量时, 结果如下:

$$K_u = 22 \quad (100KC)$$

$$R_{\lambda} = 2K$$

$$R_{\text{出}} = 2K$$

输出电压: 不失真 0.16V

最大 0.46V

K_u 与电沅电压的关系如下:

电沅电压(伏)	1.54	1.36	1.16
电压增益(倍)	22	17	10

K_u 与温度的关系:

$$15^{\circ}\text{C}: 22\text{倍} \quad 30^{\circ}\text{C}: 30\text{倍}$$

可见试验实测结果与理论计算结果是基本一致的。可知低电压放大器是可以普通等放电路进行分析的。

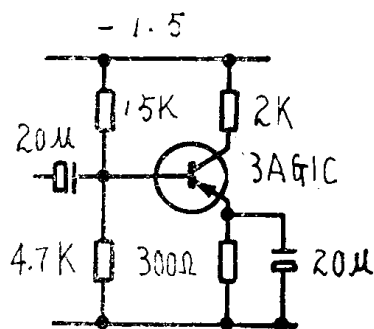


图 II-2-3

(3) 低电压变频电路

具有正反馈的放大器放大倍数 $\vec{K}_f$ 为：

$$\vec{K}_f = \frac{\vec{K}_o}{1 - \beta \vec{K}_o}$$

为了使电路为正反馈，反馈信号与输入信号要同相。它们之间的相位差为：

$$\phi = 0 \text{ 或 } 2n\pi \quad (n=1, 2, 3 \dots\dots)$$

反馈讯号的振幅应该大于或等于输入讯号振幅，即：

$$K\beta \geq 1$$

在这里 β 是反馈系数。只有满足了以上两个基本条件，电路才能成自激振荡。

在低电压1.5伏收音机中常用的变频电路见图(Ⅱ—3—1)。大量的使用和生产实践证明,对于1.5伏变频级最容易造成“振荡幅度减弱”甚至“完全停止振荡”现象。这时机器表现为灵敏度降低甚至造成完全停止工作。因此我们将着重讨论克服停振问题。

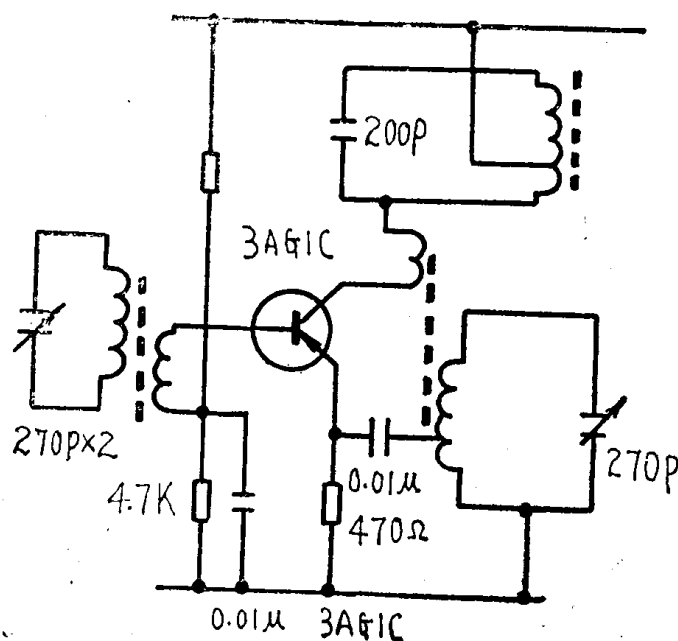


图 Ⅱ-3-1

我们以一个系数 τ 来度量一个振荡器保持振荡的稳定性。它的定义如下：

$$\tau = \frac{\text{电路开环增益}}{\text{电路起振的必须增益}}$$

这个系数愈大愈表示不容易停振。有的资料说最好是能大于4。根据 τ 的定义不难