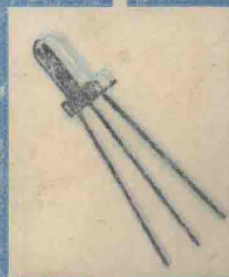
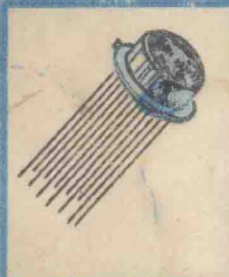


半导体线路

下 册

上海复旦大学编



湖南省电信局翻印
湖南省革委会生产指挥组科技情报服务站

半 导 体 綫 路

上海复旦大学編

下 册

湖 南 省 电 信 局

湖南省革委会生产指挥组科技情报服务站

编 者 的 话

毛主席教导我们：“要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国，我们面前的工作是很艰苦的，我们的经验是很不够的。因此，必须善于学习。”在电子工业大普及、大发展的形势下，为了自力更生地尽快赶上和超过世界先进水平，广大工农兵群众和革命科技人员迫切要求加强学习，以便更好地将经验上升为理论，更自由地应用理论指导实践。然而，旧教材和旧参考书根本不能适应当前革命形势的需要，那些资产阶级权威编的书严重脱离无产阶级政治，严重脱离当前生产实践，颠倒历史，鼓吹资产阶级形而上学和唯心主义，书中大搞形式主义和烦琐哲学；“买办洋奴哲学”，“爬行主义”，资产阶级腐朽没落的世界观渗透在书中的字里行间，如果不经过彻底改造，根本不能为无产阶级所用。

在工人阶级领导下，教育战线上的斗、批、改日益深入向前发展。我们教材组的同志批判了封、资、修的旧教材，打破了对“洋人”“专家”“权威”的迷信，抱着为工农兵服务，为三大革命服务的决心，走出校门，深入工厂，和有实践经验的工人、革命科技人员相结合编写了这本教材。在实践中，我们体会到编写无产阶级新教材必须高举毛泽东思想伟大红旗，应用毛主席辩证唯物主义的分析方法，突出无产阶级政治，密切结合当前生产实践，尽可能反映国内外科学技术发展的最新水平；对外国的科学技术成就则要坚持批判继承的原则，执行“古为今用，洋为中用”，“推陈出新”的方针；而且内容要由浅入深，语言要通俗易懂。这样才能更好地为工农兵服务。

本着这样的精神，在上海无线电二十一厂、上海无线电仪器厂、上海东方红电表厂等十几个工厂和科研单位的广大工人和革命技术人员的热情帮助与大力支持下我们编写了这本“半导体线路”。它概述了当前半导体电子技术的主要应用，其中主要介绍了半导体线路的基本原理和应用技术，同时对目前一些

典型的新技术也作了简要介绍。

由于我们活学活用毛主席著作很不够，修正主义教育路线在我们头脑里流毒还未批深批透，对新教材的编写缺乏经验；加上我们实践经验较少，调查研究也不够全面，特别是后面的一些章节，由于时间仓促，写得很粗糙；书中肯定会存在很多缺点、错误和不完善的地方。毛主席教导我们：“**我们的责任，是向人民负责。每句话，每个行动，每项政策，都要适合人民的利益，如果有了错误，定要改正，这就叫向人民负责。**”我们诚恳地希望战斗在电子工业第一线的广大工农兵群众、革命干部和革命技术人员对本书从大纲、内容到结构文句等各个方面无保留地提出宝贵的意见，帮助我们做好“**去粗取精**”的工作，使它逐步完善，真正做到具有革命性、实践性、先进性、针对性，达到更好地为工农兵服务，为我国电子工业革命服务的目的。

“半导体线路”总目录

上 册

- 第一章 晶体二极管
- 第二章 晶体三极管和放大器基础
- 第三章 脉冲基本知识
- 第四章 放大电路
- 第五章 脉冲电路

下 册

- 第六章 正弦振荡器
- 第七章 晶体管的非线性应用
- 第八章 晶体管电源设备
- 第九章 常用测量仪器
- 第十章 数字测量技术
- 第十一章 取样技术
- 第十二章 固体电路

下 册 目 录

第 六 章 正弦振荡器	(1)
第一节 振荡器的基本原理.....	(1)
第二节 RC 振荡器.....	(3)
第三节 LC 振荡器.....	(15)
第四节 LC 振荡器的设计考虑.....	(20)
第五节 振荡器频率的稳定.....	(24)
第六节 振荡器幅度的稳定.....	(37)
第七节 超高频振荡器.....	(40)
第八节 扫频振荡器.....	(43)
 第 七 章 晶体管的非线性应用	(48)
第一节 概 述.....	(48)
第二节 调 制.....	(50)
第三节 变频和混频.....	(60)
第四节 检 波.....	(66)
第五节 鉴 频.....	(72)
 第 八 章 晶体管电源设备	(79)
第一节 整流技术.....	(79)
〔附 录〕: 电源变压器的设计.....	(94)
第二节 晶体管稳压电源.....	(98)
第三节 晶体管稳流电源.....	(120)

第四节	晶体管直流变换器.....	(123)
第九章	常用测量仪器	(136)
第一节	晶体管电压表.....	(136)
第二节	示波器.....	(150)
第三节	晶体管参数测量仪.....	(199)
第十章	数字化测量技术	(239)
第一节	概 述.....	(239)
第二节	数字化测量电路的基本部件.....	(240)
第三节	数码的测量 (数字式频率计)	(271)
第四节	模拟—数字转换器 (数字电压表)	(277)
第五节	数字—模拟转换.....	(305)
第十一章	取样技术.....	(319)
第一节	概 述.....	(319)
第二节	触发式取样示波器.....	(322)
第三节	随机取样示波器原理的介绍.....	(358)
第四节	其它取样式电子仪器的介绍.....	(360)
第十二章	固体电路.....	(366)
第一节	数字逻辑电路.....	(367)
第二节	线性集成电路.....	(417)

第六章 正弦振荡器

第一节 振荡器的基本原理

在伟大的七十年代的第一个春天，我国人民发扬了自力更生，奋发图强的精神，实现了毛主席的伟大号召：“我们也要搞人造卫星。”从我国第一颗人造地球卫星上传来的《东方红》乐曲响彻全球。当我们在聆听这激动人心的乐曲时，自然地会想到它是怎样从遥远的卫星传到地球上来的呢？在这里，振荡器就是必不可少的了。由振荡器发出的20.009兆周的载波信号被乐曲的信号调制后，传送到地球上，再经过电台传布即可在收音机里听到乐曲了，我们日常所听的广播也正是从各个广播电台以不同的载波频率发送出来的。振荡器在广播，通讯，遥控遥测等各个方面都有着广泛的应用，在本章，我们将讨论振荡器怎样产生振荡的，以及一些基本指标的计算和一些具体问题。

首先，我们需要知道的是：怎样能得到一个振荡器呢？在学习放大器一章时，我们已经知道，反馈放大器在处理不当时，有时会产生一个麻烦现象，如信号没有输入时，电路已自行有信号输出了，这正是振荡器所应具有的特性。这就给了我们一个启发：放大器与振荡器并没有绝对严格的界限，它们是可以互相过渡的，如放大器满足了某些特殊条件时，它就会变成振荡器。毛主席教导我们：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。这就是世界上诸种事物所以有千差万别的内在的原因，或者叫做根据。”现在我们就来找出振荡器所具有的特殊矛盾。

还是从放大器着手：图6—1—1所示为一典型的二级放大器电路，我们知道，通过两级放大器后，输入信号与输出信号之间的相位差是 360° 也就是说，它们是同相的。

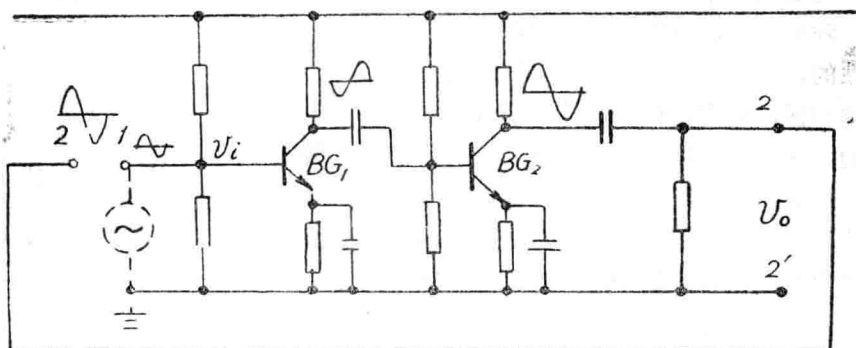


图 6—1—1

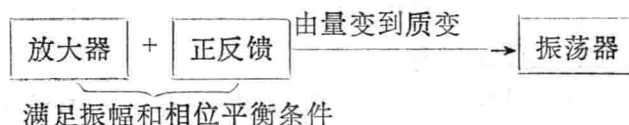
如果我们将两级放大器的输出端再反馈到输入端，这显然是一个正反馈，如果反馈回来的信号比较输入信号还要大，即 $V_o = K\beta V_i \geq V_i$ ，那么，即使将信号源拿掉，在电路的输入端也始终有一个信号从输出端加过来，因而一直维持有输出。这时，放大器变成了振荡器。

由此可见，由放大器变成振荡器必须满足两个条件：①电路中存在正反馈通路，即反馈电压与输入电压位相差为 $2n\pi$ 。

②反馈电压 $\geq$ 输入电压，即 $K\beta \geq 1$ (β 为反馈系数)

也许我们会得到这样的印象，似乎振荡器在开始的一瞬间还要加一个输入信号，当上述两个条件满足后拿去输入信号，电路才自行振荡其实不然，电路的起振不是依靠外加信号（当然也有这种所谓他激式的振荡器，在此不准备讨论）。当电源一接通后，电路内部必然会存在某种偶然的扰动，例如电源接通瞬间的瞬变过程，电路内部的热扰动等等，这种微小的电压变化，通过电路的正反馈而逐步增强，最后形成振荡。这就是常叫做自激式振荡器的基本原理。

通过上述的分析，可以得出结论，振荡器实质上就是：



但是如果按图 6—1—1 这样简单的方式来组成振荡器，所得到的振荡波形将是矩形波，也就是说包含了多种频率，因为图中所示的放大器对某一频率范围内的信号给予同样的放大，且相移都接近于 0，为了得到单一频率的正弦波，我们还必须使反馈网络具有选频特性，使得通过这个选频网络后，只有某一个频率满足振荡的上述两个条件。这样一来就可以产生单一频率的正弦波了，因此，振荡器往往由图 6—1—2 所示的方框图组成。

仔细一想，也许又会发现新的问题：为 $K\beta > 1$ 时，每经过一次输入 $\rightarrow$ 输出 $\rightarrow$ 输入的循环，信号就增大一些，这样不断循环下去，振荡幅度不是会趋向于无穷大了吗？事实上并不是如此，我们知道，晶体管的特性曲线并不是全部线性的，它大致可以分为截止区，放大作用区和饱和区，只有在作用区的一部分范围内

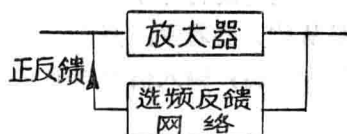


图 6—1—2

是线性的，在其它区域则是非线性的，当信号不断增加后，结果必然使管子工作于非线性区域，这时，放大器的放大倍数逐渐减小，输出信号也就不再随输入信号而增加，最后达到一个稳定的振幅。所以说，在振荡器开始起振的时候，它的趋势是使 $K\beta > 1$ ，而由于电路中非线性元件的作用，使 K 逐渐减小而后达到 $K\beta = 1$ 而得到稳幅振荡，当然这个非线性元件可以由晶体管来担任，也可以由其它元件担任，这在以后的实际电路中将述及。

现在我们可以归纳一下，振荡器必须由以下几个部分所组成：

1. 具有一条正反馈通路
2. 反馈网络应具有选频特性
3. 具有非线性元件，以达到等幅振荡
4. 直流电源，以使振荡器能将此直流电能转换为交流能量

而振荡器的振幅平衡条件和相位平衡条件是一切形式的振荡器所应具有的特点，在分析每个具体电路时，捉住这个主要矛盾，问题就能得到解决。

第二节 RC 振荡器

在上一节中我们分析了振荡器的一般问题，亦就是说一个振荡器总是由一个晶体管放大器和一个反馈网络所构成。而反馈网络应该具有选频特性，因此它必须包含有电抗性元件。根据反馈网络的构成情况，一般振荡器又可分为 RC 振荡器（反馈网络由电阻，电容构成）和 LC 振荡器（反馈网络由电感，电容组成）。

我们这一节专门讨论 RC 振荡器，下一节再讨论 LC 振荡器。

图 6—2—1 所示电路便是一个简单的 RC 振荡器电路， BG_1 ， BG_2 构成一个二级正反馈电路； R_1 ， C_1 ， R_2 ， C_2 组成反馈网络。

毛主席教导我们：“研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话，就要用全力找出它的主要矛盾。”在 RC 振荡器中，又有放大器，又有选频反馈网络，这里谁是主要关键呢？我们说作为振荡器与放大器的区别来看，主要关键是选频网络，因此必须搞透它。然后再根据振幅和相位二方面因素进一步分析，为了配合这个选频网络产生自激振荡，放大器应满足些什么条件。

一、RC 选择网络

根据第一节分析，我们知道，这个选频网络应具有如下特性

(1) 对于某一特定频率，这个反馈网络的传输系数很大，而对于其它频率的信号则随着对该频率的偏离而迅速衰减，这样，就有可能使得在该频率下，

$|K\beta| = 1$ 得以满足，而其他的频率不满足。

(2) 同样，在这个频率下，要求反馈网络对信号的相移为 0，因为，两级放大器已有 360° 的相移，如果反馈网络再有相移，则不能满足振荡的相位平衡条件了。

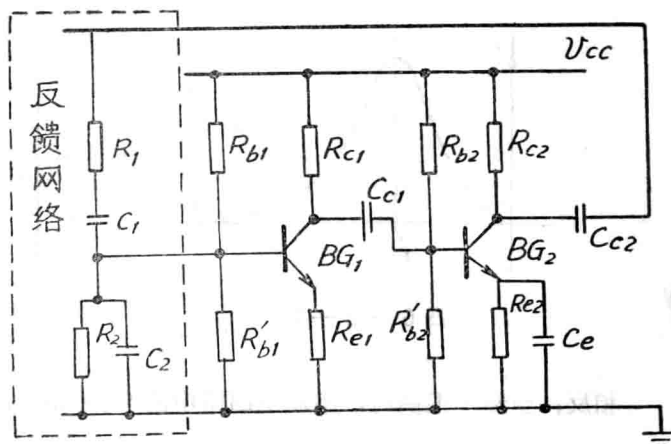


图 6—2—1

事实上, 图 6—2—1 电路中所选用的 RC 网络 (如图 6—2—2 所示) 是具有这种特性的, 这里因为电容 C_1 和 C_2 的容抗与频率有关, 因此它的传输系数 $\beta = \frac{e}{V}$ 亦是与频率有关的。

当频率 $\rightarrow 0$ 时, C_1 的容抗趋近于无穷大, 输入 V 几乎全部降落在 C_1 上, 而 e 几乎为零。 C_2 这时阻抗也是趋近 ∞ , 但它和 R_2 并联, 因此可略去, 由于 $R_2 \ll X_{C_1}$ 这样 e 就几乎为零了。随着频率逐渐升高, C_1 的容抗也逐渐减小, 因此 C_1 上的降压减小, R_2 上的分压逐渐增加, 可见, 从 $f = 0$ 开始, 当频率增加时, e 的数值也随之增加。

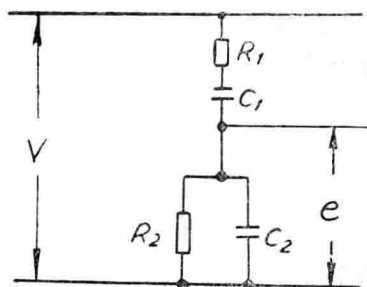


图 6—2—2

再看 $f \rightarrow \infty$ 的情况: 这是由于 C_1 C_2 的容抗很小, C_1 串联于回路中, 因此可略去, 而 C_2 并联在 R_2 上, 它起主导作用。由于 $\frac{1}{\omega C_2} \rightarrow 0$, 所以 C_2 两端的电压 $e \rightarrow 0$, 随着频率降

低, $\frac{1}{\omega C_2}$ 逐渐增大, 电压 e 也随之逐渐增加, 因此我们可以得到 图 6—2—3 所示的 $e \sim f$ 的曲线, 在某一频率 f_0 处, e 达到最大, 而当 f 减小或增加时, e 的数值都随之减小。这个反馈网络对频率 f_0 的信号, 传输系数最大, 而对其他频率的信号很快衰减。

进一步再来分析一下网络的输入和输出之间的相位关系: 当 $f \rightarrow 0$ 时, 由于 $\frac{1}{\omega C_2}$ 很大, 与 R_2 相比可略去, 流过电阻 R_2 的电流也就是流过电容 C_1 的电流, 而我们已知流过电容的电流 i_{C_1} 在相位上比加在它两端的电压 V 超前一角度 φ , 而 $e = i_{C_1} R_2$ 当然也比 V 超前 φ , 随着频率增加, φ 逐渐减小。

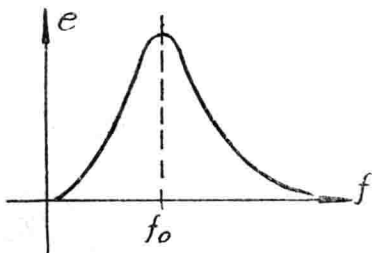


图 6—2—3

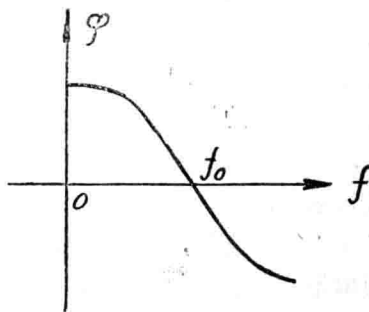


图 6—2—4

相反, 当频率很高时, 串联于回路中的 C_1 可略去, 而 $\frac{1}{\omega C_2}$ 的作用显著, 很显然 C_2 两端的电压 e 在位相上落后于输入电压 V 。而频率从高到低, 落后的这个相角 φ 逐渐减小, 于是可以得到如图 6—2—4 所示的 $\varphi \sim f$ 关系图, 在当中有某一个频率 f_0 , e 与 V

是同相的，即经过这个网络引起的相移 $\varphi = 0$ 可以用数学方法证明，传输系数最大时对应的频率 f_o ，亦正好是相移最小， $\varphi = 0$ 。

根据上面对反馈网络的定性分析，可以肯定，这个网络具有选频作用，在某一频率 f_o ，它的反馈系数最大，而相移 $= 0$ ，对于其他的频率，反馈系数很快衰减而相移也不为 0。显然，利用这个 RC 网络和放大器构成正反馈，并且调节放大器的增益 K ，那么当 K 增加到一定大小， $(K\beta)_{f_o} = 1$ ，那么电路将自激，产生频率为 f_o 的正弦振荡（而对其他频率，因为 $\beta_f < \beta_{f_o}$ ，因此 $K\beta_f < 1$ ，不能自激），这就是 RC 振荡器的基本工作原理。

二、起振条件和振荡频率

了解了电路的工作原理，还是不满足的。我们应该“胸中有‘数’。这是说，对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。”在这里，我们就应该知道选频网络的 f_o 究竟是多少；放大器的增益要多大才能开始自激等等。这些都可以通过简单的计算来解决。图 6—2—2 可以看出，这个 RC 反馈网络的反馈系数 β 为：

$$\beta = \frac{e}{V} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{其中 } Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}; \quad Z_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

代入上式则

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\frac{1}{1 + j\omega R_2 C_2}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}} \\ &= \frac{1}{(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}) + j\omega C_1 R_1 C_2 - \frac{1}{\omega^2 R_2 C_1}} \quad (6-2-1) \end{aligned}$$

将 (6—2—1) 式代入振荡条件 $K\beta = 1$ 中

即 $K\beta - 1 = 0$ ，令其中实部 $= 0$

$$\text{可得 } R_2(1 - K) + R_1 + \frac{R_2 C_2}{C_1} = 0$$

$$K = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} \quad (6-2-2)$$

令虚部 $= 0$ ，则有

$$\omega C_2 R_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1} = 0$$

$$\text{即 } \omega_o^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad (6-2-3)$$

一般为调整方便起见，往往取 $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$

则 (6-2-2) 式为 $K = 3$

(6-2-4)

(6-2-3) 式为 $\omega_o = \frac{1}{RC}$, 即 $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$

(6-2-5)

从这些式子中我们可以得出如下结论：

(1) 图 6-2-1 所示的电路在 $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$ 时产生振荡。

(2) 为使此电路在 f_o 时产生振荡，整个放大器的放大倍数要大于（或等于）3。

三、完整的文氏电桥电路

到此为止，我们已知利用图 6-2-1 所示的具有 RC 选频网络的正反馈放大器，能够构成一个振荡器，但是问题并未结束。从基本原理的讨论中已经知道，要使振荡器最后达到稳幅振荡，必须利用电路中的非线性元件来实现，在图 6-2-1 的线路中，RC 选频反馈网络全部是由线性元件构成，因此只有将晶体管工作到非线性区域，即其放大倍数随讯号幅度加大而开始减小，才能实现稳幅振荡。然而我们知道，当放大器工作于非线性区域时，其非线性失真必然增大。这就使得输出的振荡波形失真得很厉害。产生波形失真的原因不仅如此，由图 6-2-3 和图 6-2-4 还可以看出，RC 选频网络虽然在 $f = f_o$ 处具有最大的反馈系数且相移 = 0，但是，在 f_o 附近，幅度的衰减还是不够大，且相移也不太多（为了使振荡稳定，放大器增益必须比 3 大一些），因此，对于接近于 f_o 的频率，仍有可能满足振荡条件而产生振荡。这就意味着输出波形中可能包含较多种的频率造成失真，这也是我们所不希望的，因此对图 6-2-1 的电路还必须加以改进。图 6-2-5 就是改进后的电路。

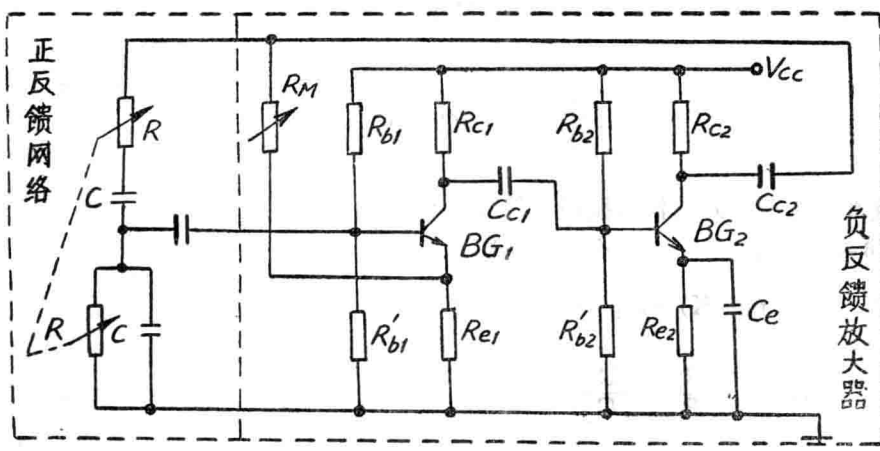


图 6-2-5

对此图 6-2-5 和图 6-2-1 可以看出，它们的唯一区别在于多了一条由 R_M （热敏电阻）与 R_{e1} 所组成的负反馈回路。这一负反馈支路的反馈系数为

$$\beta_- = \frac{R_{e1}}{R_M + R_{e1}}$$

其中热敏电阻为非线性元件，它的阻值随温度而变化，当温度升高时，阻值变小。反之亦然。这条反馈支路加入后所以能起稳幅作用就在于热敏电阻的非线性：设电路的输出端幅度增大，则加到 $R_M R_{e1}$ 支路上的信号也增大，流过 R_M 的电流也随之增加，这就引起了热敏电阻功耗增加即温度升高，其阻值则相应减小。于是增加

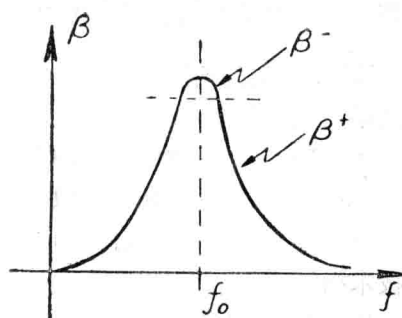


图 6—2—6

了反馈系数 $\beta_- = \frac{R_{e1}}{R_M + R_{e1}}$ 之值，也就是说，负反馈增强了，它的趋势当然是阻止输出幅度的增加，相反，当输出幅度减小时， β_- 也将随之减小而达到阻止输出减小的目的。可见，利用了非线性元件——热敏电阻所组成的负反馈支路，可以达到稳幅的作用，而无须使晶体管工作到非线性区域，这样就避免了输出波形失真，和输出幅度的不稳定。

在这个电路中存在着一对矛盾：RC 正反馈网络使电路输出愈来愈大即产生增幅振荡，而 $R_M R_{e1}$ 负反馈支路则阻止输出幅度的增加，这一对矛盾互相斗争着，最后达到了稳幅振荡。

然而在这一对矛盾中，起主要作用的还是正反馈支路。正如毛主席所说的：“事物的性质，主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。”正反馈支路决定了电路能够振荡（满足振幅和相位条件），这是最根本的一点，加入负反馈后，仍应满足振荡条件： $K\beta = 1$ ，此处， $\beta = \beta_+ - \beta_-$ 所以 $K(\beta_+ - \beta_-) = 1$

从图 6—2—6 可以看出，在 $f = f_0$ 及其附近，必须使 $\beta_+ > \beta_-$ ，而在其他频率则 $\beta_- > \beta_+$ 不能产生振荡。为了保证单一频率一般使 β_+ 稍大于 β_- ，即 $\beta_+ \approx \beta_-$ （因为 $\beta_+ - \beta_-$ 很小），这时为使 $K(\beta_+ - \beta_-) = 1$ 满足，则需使不包括反馈的两级放大器具有足够大的放大倍数。当然，如果把负反馈支路包括在放大器中（如图 6—2—5 中右边的虚线框），则放大倍数仍应如前面计算的为 3 倍，即

$$K_f = \frac{K}{1 - K\beta_-} = 3$$

总之，根据以上分析可得出下面的结论：

文氏电桥振荡器选频性能较好，输出失真度较低，配合质量较好的热敏电阻可使失真度小到 0.2%。

利用调节双联电位器或电容可以很方便的改变振荡频率。调节的范围也可以比较宽。

文氏电桥振荡器一般用于低频范围，故目前音频振荡器大多采用这种方案。对于高频振荡，这种方案就不适当了，因为这时 RC 数值很小，放大器部分与反馈网络部分相互影响就显著了，且电路的分布参数也起了显著作用，因此高频时不采用此电路。

四、实用电路举例和简单的计算

(1) XB-8 型高频信号发生器中供给调制信号的音频振荡器。
它的频率覆盖分三个波段：

第一波段	20C - 200C
第二波段	200C - 2KC
第三波段	2KC - 20KC

主要技术指标：

- (1) 频率准确度 10% (印刷化度盘)
- (2) 输出幅度 大于 2V
- (3) 非线性失真 小于 1%
- (4) 输出阻抗 小于 600Ω

可以利用频率公式来验算一下 RC 选频网络的数值是否适当

第一波段：20C - 200C

当 $f = 20\text{KC}$ 时，设 $C = 0.27\mu\text{f}$

$$\text{由 } R = \frac{1}{2\pi fC} \cong 30\text{K}$$

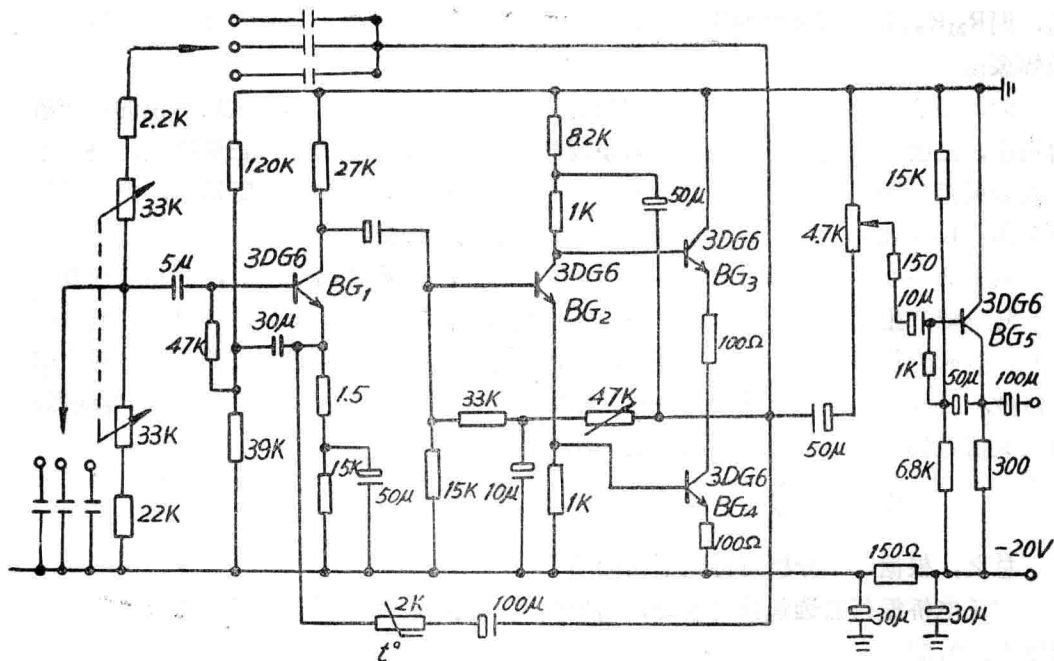


图 6-2-7

$$\text{当 } f = 200\text{KC} \text{ 时, } R = \frac{1}{2\pi fC} \cong 3\text{K}$$

∴ 在第一波段 $C = 0.27\mu\text{f}$, $3\text{K} < R < 30\text{K}$

用 $2.2K + 33K$ 电位器可满足频率覆盖的要求。

其它波段电容按比例改变。当然也能满足。

(2) 图 6—2—8 介绍一个简单的实用电路

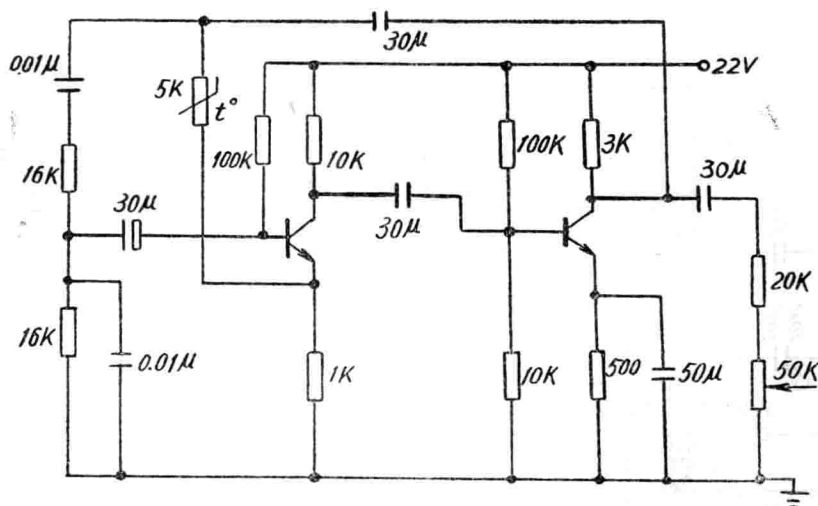


图 6—2—8

此电路振荡频率为 $f = 1KC$

(3) 图 6—2—9 介绍了XD1型信号发生器的线路，这个发生器具有较宽的频率范围和较大的功率输出，其振荡频率可从1周→1兆周，输出功率为5W，失真度为0.5%。

此发生器采用了文氏电桥振荡器，为了提高输入阻抗， BG_1 采用了高输入阻抗的场效应管。

图 (a) 为振荡部分，图 (b) 为功率放大部分。

五、RC 相移振荡器

图 6—2—10所示为 RC 相移振荡器，这是另一种 RC 振荡器，它是由一级晶体管放大器和一个三节 RC 相移网络所组成的振荡器，放大器的基极电压与收集极电压位相相差 180° 。为了满足振荡条件，三节 RC 网络必须在某一频率下也产生 180° 的相移，那么当 RC 网络的输出端与放大器的输入端一接通，且放大器有足够大的放大倍数，这时电路便能产生振荡，这一点是很容易做到的。

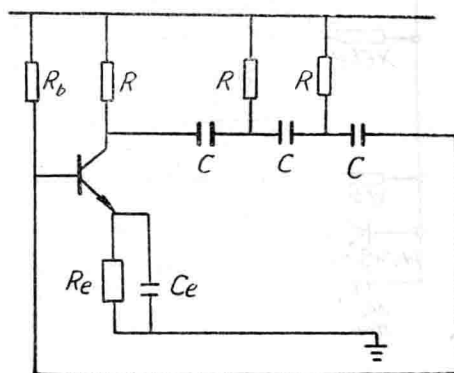
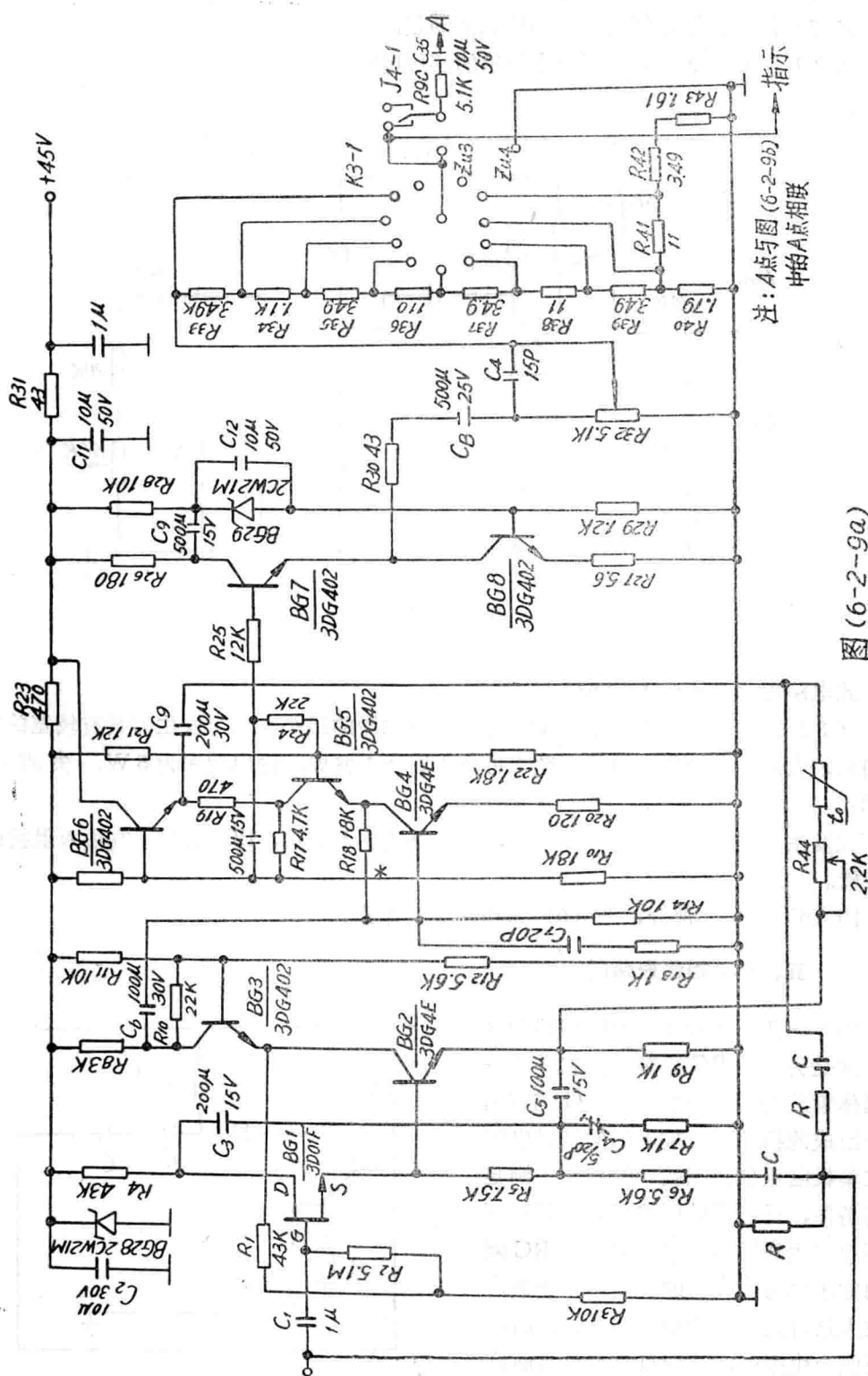


图 6—2—10



注：A点与图(6-2-9b)中的A点相联

图(6-2-9a)