

晶体管

电路基础

下册

(四) 复式滤波器.....	8 — 1 6
小结.....	8 — 1 9
附录: 小功率电源变压器的设计与制造.....	8 — 2 0
第二节 晶体管直流稳压电源.....	8 — 2 5
(一) 硅稳压管稳压电路.....	8 — 2 6
(二) 串联型晶体管直流稳压电源的原理.....	8 — 3 4
(三) 串联型晶体管稳压电源的设计计算.....	8 — 3 9
(四) 稳压电源的调式步骤及调试中 注意的问题.....	8 — 4 4
小结.....	8 — 4 7
第三节 相敏整流电路.....	
(一) 半波相敏整流电路.....	8 — 4 9
(二) 桥式相敏整流电路.....	8 — 5 1
第九章 可控硅元件及可控整流.....	9 — 1
第一节 可控硅元件.....	9 — 2
(一) 可控硅的工作原理.....	
(二) 可控硅的伏安特性与参数.....	
第二节 可控整流.....	9 — 1 1
(一) 研究可控整流要抓着哪些矛盾.....	
(二) 单相半波可控整流.....	
(三) 单相桥式可控整流.....	
(四) 三相可控整流.....	
第三节 触发电路.....	9 — 3 7
(一) 单结晶体管的特性和特性.....	
(二) 单结晶体管的自振荡电路.....	

(三) 单晶体管的同步振荡电路

(四) 触发电路的参数选择

(五) 应用举例

第四节 主电路保护装置..... 9 - 4 3

(一) 过电流保护

(二) 过电压保护

(三) 串并联保护

毛主席语录

一切矛盾着的东西,互相联系着,不但在一定条件之下共处于一个统一体中,而且在一定条件之下互相转化,这就是矛盾的同一性的全部意义。

第六章 正弦波振荡器

在工业技术领域,我们常常要用到一种能产生不同频率的信号的正弦波振荡器。例如为了测试扩音机的频率响应特性,就需要用正弦波振荡器作为音频信号源。有时正弦波振荡器可作为一种小容量的能源转换器,例如在船舶、飞机上常利用它把直流电转换成中频交流电,作为导航和通信仪器的能源。此外正弦波振荡器也是实验室常用的电子仪器设备。

在讨论晶体管交流放大器时我们知道,放大倍数的提高往往和放大器的稳定性发生矛盾。所谓放大器的不稳定性一般指的是在没有输入信号时也会有输出电压出现。如果用示波器去观察输出波形,往往可以看到这种意外的输出电压是周期性变化的,这情况叫做自激振荡。放大器一旦发生了自激振荡,就会把正规信号 没掉,同时还会消耗电功率,甚至使功率晶体管发热烧坏。为此就需要采用负反馈或其他措施来消除振荡。但是,“我们必须学会全面地看问题,不但要看到事物的正面,也要看到它的反面。在一定的条件下,坏的东西可以引出好的结果,好的东西也可以引出坏的结果。”放大器产生振荡固然是一件坏事,但是在实践中却常常利用振荡来产生所需要的各种频率的正弦波信号。下面我们首先来了解产生自激振荡的原因和条件。

第一节 正弦波振荡器的起振条件

现在我们来分析一个带有反馈的放大器产生自激振荡的条件。图 6-1 表示放大器在有反馈情况下的方框图。为了强调反馈网络的作用,图中把它独立画出、事实上反馈网络只是把输出电压 U_{sr} 的一部分 βU_{sr} 回送到放大器的输入端,这里 β 称为反馈系数。

假定我們在放大器輸入端加
进一个正弦波信号

$$u_{sr} = U_{sr} \sin \omega t$$

(开关K接在“1”位置), 則輸出电压 $u_{sc} = K_u u_{sr}$ 和反饋信号 βu_{sc} 都将是正弦波。这时如果反饋信号和輸入信号相位相同, 即它們之間差的相位差为 0 或 2π 的倍数; 而且幅度也足够大, 满足 $\beta u_{sc} = \beta K_u u_{sr} \geq u_{sr}$ 。

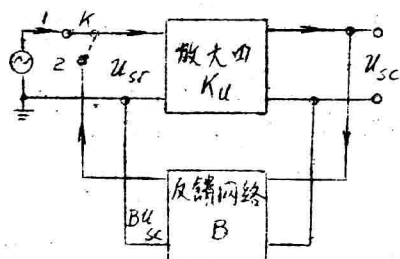


图 6-1

則当断开輸入信号而将反饋通路接通时 (K 从“1”转到“2”), 放大器将能維持原有的正弦波輸出信号, 也就是说放大器已形成了自激振盪。

由此可知, 自激振盪有二个基本条件:

①相位平衡条件

放大器輸入与反饋网络輸出之間相位差,

$$\varphi = 0 \quad \text{或} \quad 2\pi \text{ 的倍数,} \quad (6-1)$$

即放大器要形成正反饋。

②振幅平衡条件

反饋信号幅度应等于或大于輸入信号的幅度

$$\beta u_{sc} = \beta K_u u_{sr} \geq u_{sr}$$

即

$$K_u \beta \geq 1 \quad (6-2)$$

只有在满足以上两个基本条件时, 放大器才能自激振盪, 并转化成为正弦波振盪器。

振盪器的起振一般不需要外加信号, 因为只要电路內略有一点扰动信号, 例如电源的突然接通或电路元件的热扰动等, 这种电压或电

流的变化经过放大和反馈就能形成自激振荡。但是，这种放大和反馈的过程，一般不能使信号无限制地增大。因为晶体管的特性不是线性的，一旦信号幅度超出晶体管的线性工作范围进入饱和区或截止区时，管子的平均放大倍数就将下降，使振幅平衡条件不能满足。因此，振荡器又有自动限制振幅的倾向。

此外，为使振荡器具有单一的频率，必须使反馈网络具有频率选择性，即采用所谓选频网络，它只能在一个频率下使整个放大器满足振荡条件。

因此，一个正弦波振荡器必须包括三个主要组成部分：

- ①交流放大器；
- ②具有选频特性的反馈网络；
- ③具有非线性特性的元件，起到限制振幅的作用。

第二节 L、C 振荡器

利用电感 L 和电容 C 组成的谐振回路作为选频网络的振荡器叫做 L 、 C 振荡器。一般用来产生高频正弦波电压。

(一) 正弦波振荡器的工作原理

图 6-2 (a) 和 (b) 是 L 、 C 振荡器的原理图和等效电路，晶体管 T 接成共基极形式，集电极接有一个 L 、 C 并联谐振回路，其中 L 是变压器初级的电感。 R_{b1} 、 R_{b2} 为直流偏置电阻，放大器的静态工作点是由它们决定的。反馈信号通过变压器的互感和电容 C_b 耦合到发射极-基极回路。电容 C_b 在工作频率下的容抗应能保证信号畅通。

电路的振荡频率将取决于 L 、 C 回路的谐振频率。为此我们首先要弄清楚 L 、 C 谐振回路的特点。图 6-3 是它的实际电路，其中 V 代表变压器耦合过来的负载电阻，铜线电阻和等效损耗电阻的总和。通常电感的阻抗 $\omega L \gg r$ ，这里 $\omega = 2\pi f$ 是回路外加电压的角频率。

从电工原理我们知道回路的并联总阻抗为

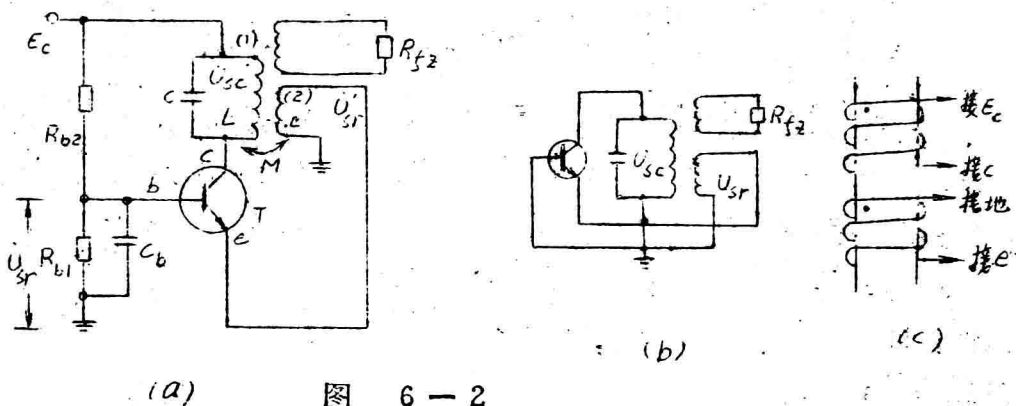


图 6-2

$$Z = \frac{(\gamma + j\omega L) \frac{1}{j\omega C}}{\gamma + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} \approx \frac{L/C}{\gamma + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} = \frac{L/C}{\gamma + jX} \quad |Z| \quad (4)$$

式中 $|Z| = \frac{L/C}{\sqrt{\gamma^2 + X^2}}$ 是并联回路阻抗的模；

$\varphi = \arctan\left(\frac{-X}{\gamma}\right)$ 是它的相移角。

当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (即 $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$) 时,

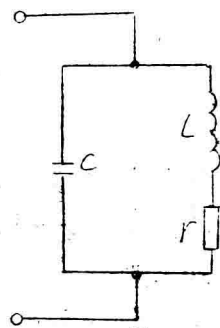


图 6-3

$Z = \frac{L/C}{\gamma} = R_{sc}$, $\varphi = 0$ 。并联回路的阻抗

呈纯电阻性质，而且它的数值达到最大值 R_{sc} 。这情况叫做谐振， ω_0 叫做谐振频率； R_{sc} 叫做谐振阻抗。

当 $\omega > \omega_0$ 时， $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ ， $X > 0$ ，故 $\varphi < 0$ ，即回路阻抗呈电容性。此时模值 $|Z|$ 将小于 R_{sc} 。

当 $\omega < \omega_0$ 时， $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ ， $X < 0$ ，故 $\varphi > 0$ ，即回路阻抗呈

电感性。模值 $|Z|$ 也小于 Rsc 。

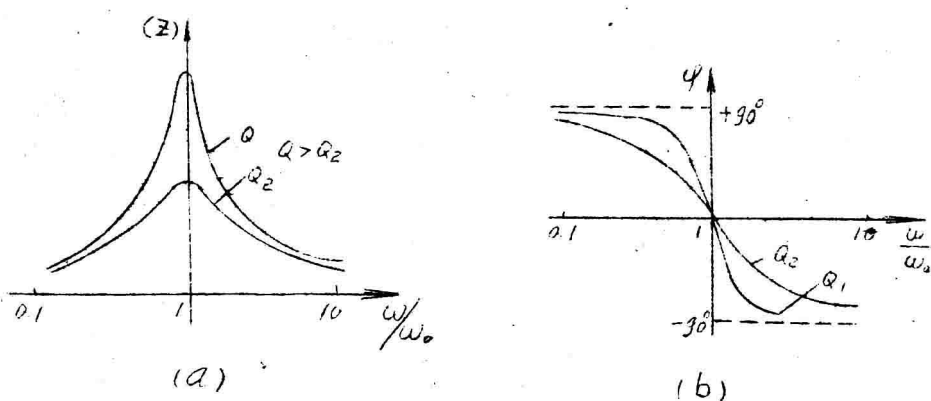


图 6-4

图 6-4 (a) 和 (b) 是 LC 并联回路的阻抗在不同频率时的特性，在谐振频率点，模值 $|Z|$ 最大，相移角 φ 则等于零。随着频率偏离谐振点，模值对称衰减，而相移角趋近于 $+90^\circ$ 或 -90° 。这就是并联谐振回路的选频特性，对振荡器能否实现自激振荡，常起着决定性作用。对于并联谐振回路，我们常常用品质因数 Q 作为它的质量指标

$$Q = \frac{\omega_0 L}{\gamma} = \frac{1}{\gamma} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

品质因数包含着双重意义：一方面 Q 值愈大，则储能元件 L 在谐振时的电抗，相对于消耗能量的电阻 γ 的比值愈大，因此振荡能量的衰减将愈慢，亦即振荡愈能持久。另一方面， Q 愈大，谐振阻抗

$$Rsc = \frac{L/C}{\gamma} = Q \sqrt{\frac{L}{C}}$$

也愈大，这时并联回路的频率特性将愈益陡峭，即选频性能愈好。一般振荡器的 LC 谐振回路， Q 值约为几十到二百左右。

现在我们再回到图 6-2 来讨论。在谐振频率点 $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ ，放大器的集电极负载（并联回路）呈纯电阻特性，因此集电极输出电压

U_{sc} 与基极输入电压 U_{sr} 反相 (相位差等于 180° 的整数倍)。如果变压器初级和次级的连接取图 6-2 (C) 上标出的极性, 则反馈电压 U_{sr} 与 U_{sc} 也相差 180° 相位角。这时 U_{sr} 与基极输入电压相位一致, 满足相位平衡条件能够起振。在其他频率下, 由于谐振回路带来了相位够, 相位平衡条件将不能满足, 因此就不能产生自激振荡。

此外, 从谐振回路阻抗的数值来看, 在谐振频率点 f_o 时的模值最大, 且为纯电阻; 因此放大器的放大倍数也将最大。在其他频率下, 阻抗的模值将显著减小, 电压放大倍数也随着下降, 结果将使振幅的平衡条件遭到破坏而不能起振。

由此可见, 上述电路只要在 LC 回路的谐振频率 (或固有频率) 点上适当调整变压器初、次级间的耦合、选择容量足够大的耦合电容 C_b , 就可满足自激的二个基本条件而使电路在固有频率 f_o 上起振, 振荡频率可由关系式 $\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C}$ 推出

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

在上述振荡器中, 反馈信号靠变压器耦合过去的, 因此也叫做变压器耦合 LC 振荡器。此外, 振荡器中的放大管接成共基极电路, 电路的工作频率可以做得较高而且工作稳定, 因此得到广泛应用, 例如半导体收音机的变频级振荡部分就采用类似的电路。

变压器耦合振荡器也有采用共发射极连接形式, 图 6-5 所示是它的典型例子。图中负载 R_{fz} 可以是一个具有开关作用的晶体管的基极回路。改变变压器耦合的疏紧程度, 可使振荡器起振或停振, 从而改变后面的开关电路的工作状态。这种电路可用来作为无

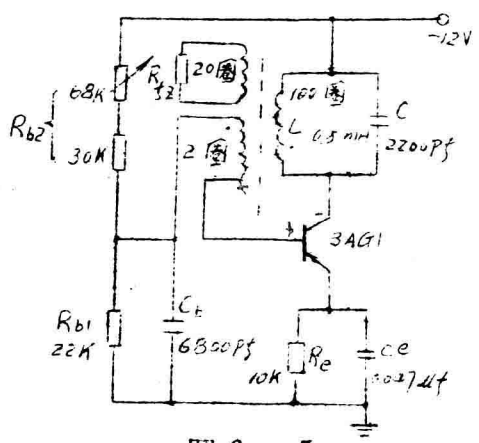


图 6-5

触点开关的控制器。

(二) L、C 振荡器的其他型式

LC 正弦波振荡器的类型很多，下面我们再介绍几种常见的形式。

1. 电感三点式振荡器

图 6-6(a) 是电感三点式振荡器的原理图，其交流等效电路如图 6-6(b) 所示。它仍然是一个 LC 振荡器，只是反馈电压取自电感线圈上的一部分分压 (L_2 上的电压)。由于电感线圈有三个引线头，故称电感三点式振荡器。从图 6-6(b) 中电感 L_1 、 L_2 上的电压极性不难看出，如果在晶体管基极加上对地为负的信号，经晶体管放大后将在集电极得到对地为正的信号。这里假定电路工作在谐振频率上，因此 LC

并联回路呈纯电阻特性。反馈电压是从 L_2 上取出的，负端接基极而正端接发射极，电路实现了正反馈，满足相位平衡条件。现在只要我們改变电感线圈中心抽头“2”的位置，即选择适当的电感量 L_1 和 L_2 的比例，使放大倍数 K_u 和反馈电路的反馈系数 β 的乘积大于或等于 1，就满足了振幅平衡条件，这样电路就会自激振荡。振荡频率决定于谐振回路的参数

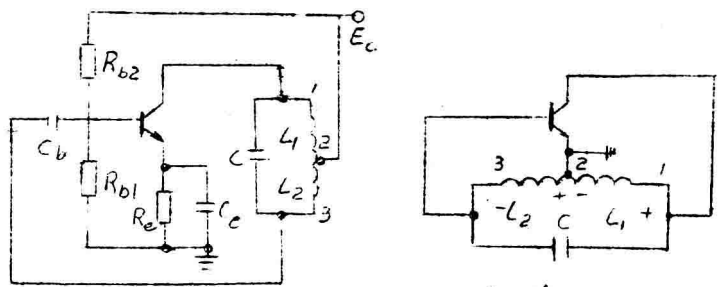


图 6-6

的位罝，即选择适当的电感量 L_1 和 L_2 的比例，使放大倍数 K_u 和反馈电路的反馈系数 β 的乘积大于或等于 1，就满足了振幅平衡条件，这样电路就会自激振荡。振荡频率决定于谐振回路的参数

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}}$$

这里取 $L = L_1 + L_2$ ，互感略去不计。

电感三点式振荡器比较容易起振，振荡频率的改变也很方便（一般调节 C ）。缺点是振荡波形较差，因为它利用电感 L_2 上的电压作反馈，对高次谐波的反饋量就将很大，结果输出波形中高次谐波含量也较高。权衡起振条件和波形质量，实践中 L_1 和 L_2 的圈数比取在 $4:1$ 到 $8:1$ 之间。

2. 电容三点式振荡器

图 6—7 所示是电容三点式振荡器电路及其等效电路。

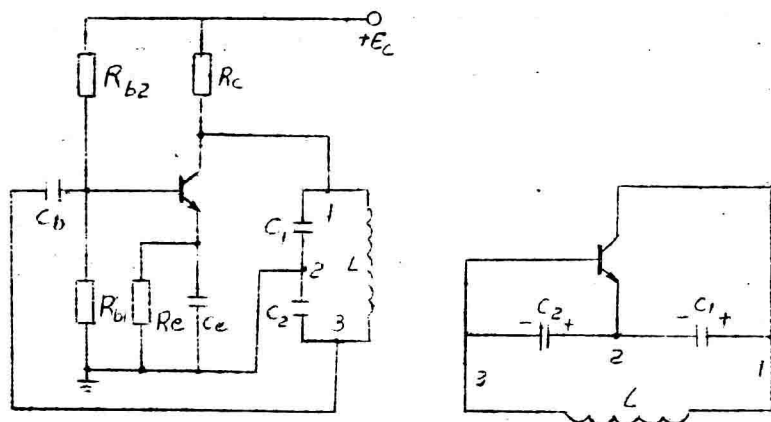


图 6—7

电路的结构和工作原理与电容三点式振荡器很相似，这里只是利用电容 C_1 和 C_2 代替了原来的电感 L_1 和 L_2 ，谐振回路的电容支路也有三个连接点，所示叫做电容三点式振荡器，电路中反馈电压取自电容器 C_2 ，它对高频信号来讲是低阻抗元件，因此能削弱高次谐波的反饋量，使振荡波形更接近纯正弦波。其缺点是电容的大小牵涉到反馈量的强弱。因此，如依靠改变电容量来调节振荡频率时，将影

响到起振条件。这就使频率调节范围受到一定的限制。不宜用来构成频率范围宽广的振荡器，而较多地作为固定频率的振荡器。

电容三点式振荡器的频率可由下式决定

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{LC_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

第三节 R、C 振荡器

上面讨论的 L、C 正弦波振荡器，一般只用来产生高频振荡。如果要想产生几赫到几十千赫的低频（音频）振荡时，电感 L 的数值就要很大，因此线圈的匝数将增多或者采用笨重的铁芯电感线圈，显得很不合理；如果采用大的电容 C，也会由于体积庞大和漏电阻等原因而很不相宜。因此，在低频振荡范围内广泛采用由电阻和电容构成的选频网络，即构成所谓 R—C 振荡器。

（一）R—C 选频网络的频率特性

图 6—8 是一种低频振荡电路中广泛应用的 RC 串并联反馈网络。它具有如下的特点：输出信号幅度和相位移随着输入信号频率不同而变，并在某一频率时输出电压最大而相位移等于零。

事实上，网络的反馈系数

$$\beta = \frac{U_{sc}}{U_{sr}} = \frac{U_{sc}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}}{R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}} = \frac{j\omega RC}{(1 - \omega^2 R^2 C^2) + 3j\omega RC}$$

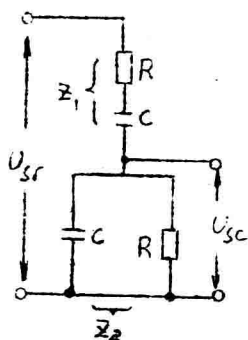


图 6-8

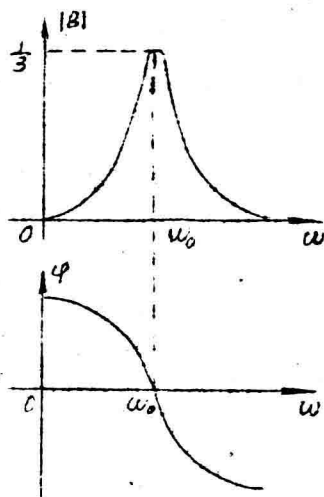


图 6-9

在某一 ω_0 满足 $\omega_0^2 R^2 C^2 = 1$, 即 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ 时, $\beta = \frac{1}{3}$ 为实数,

且达到最大值。网络的相移角 $\varphi = 0$ 。

在其他频率下, 网络反馈系数的模和相移角如图 6-9 所示。可见, RC 网络具有良好的选频特性。用它作为放大器的反馈网络, 就很容易满足自激振荡的条件。

(二) RC 桥路振荡器

图 6-10 所示是采用 RC 串联网络作反馈回路的振荡器原理图, 图中右边的方框是一个两级阻容耦合放大器, 左边部分为 RC 反馈网络。放大器输入电压 U_{sr} 经二级放大后得到输出电压 U_{sc} , 它和输入电压同相。

由于在 $f = f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ 时, RC

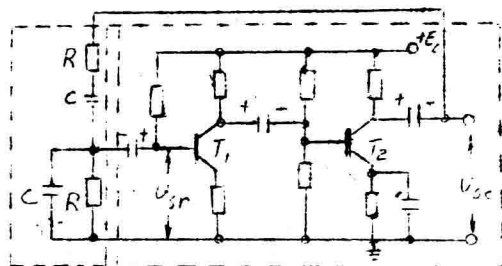


图 6-10

网络的相位移 $\varphi = 0$ ，因此反馈到放大器输入端的信号将与 U_{sr} 同相，即整个电路满足自激振荡的相位平衡条件。这时只要再满足振幅平衡条件，电路就能产生自激振荡。我们知道，RC 网络在 $f_o = \frac{\omega_o}{2\pi}$ 时的反馈系数 $\beta = \frac{1}{3}$ ，如果使放大器的电压放大倍数 K_u 满足

$$K_u \beta \geq 1 \quad \text{即} \quad K_u \geq 3$$

则电路将满足振幅平衡条件而起振。振荡频率由 RC 网络的参数决定

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$$

为了保证振荡器工作稳定可靠，即不受环境温度等因素的影响，在放大器中还引用了负反馈来稳住它的放大倍数。实际的 RC 振荡器常采用这种措施。图 6-1-1 是一个频率为 1 千赫，输出电压为 2.5V 的 RC 振荡器的电路图。其中放大器输出 U_{sc} 经过电位器 R_f 和 R_{e1} 组成的分压器，把电压 U_f 反馈到 T_1 的发射极，使 T_1 基极回路的输入电压 $U_{be1} = U_{sr} - U_f$ ，即引进了一个附加的负反馈信号，这时放大器的总放大倍数将下降，但要稳定得多。只要这个负反馈放大器的总放大倍数等于或大于 3，电路仍能自激振荡。

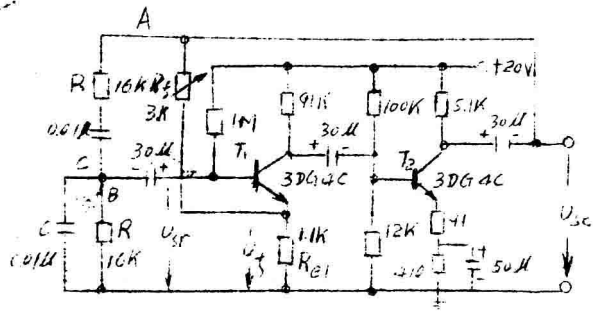


图 6-1-1

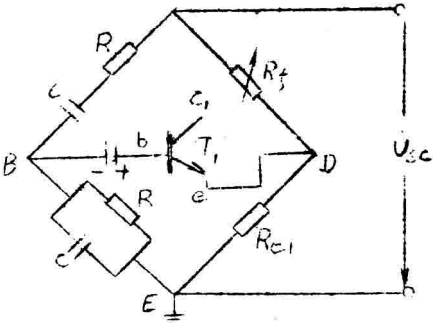


图 6-1-2 6-1-1

如果把正、負两种反饋合併来看，总的反饋电路将如图 6—12 所示，实际上就是一个电桥电路。RC 网络的串联部分和并联部分构成桥臂 AB 和 BE， R_f 和 R_{e1} 构成桥臂 AD 和 DE。电桥 AE 两端接到放大器輸出端；BD 端接到放大器輸入级 T_1 的基极和发射极，即引入反饋电压。因此，这种振盪器又称 RC 桥式振盪器或文士电桥振盪器。

如果进一步把反饋电阻 R_f 改用热敏电阻，这种电阻的阻值将随温度升高而减小。这样， R_f 又可起到稳定振盪幅度的作用。因为如果振盪器輸出电压 U_{sc} 的幅度增加时， R_f 中的电流也随着增加， R_f 就将发热而阻值下降，阻值的下降将使負反饋增强，結果輸出电压 U_{sc} 幅度的增加受到了限制。此外，振盪器开始工作时，热敏电阻 R_f 的阻值（冷）较大，負反饋较弱，因此电路也比较容易起振。总之采用热敏电阻 R_f 可使振盪器的振幅自动稳定下来，不再需要利用放大器的非线性工作特性来限制振幅，結果使振盪的波形也得到了改善。

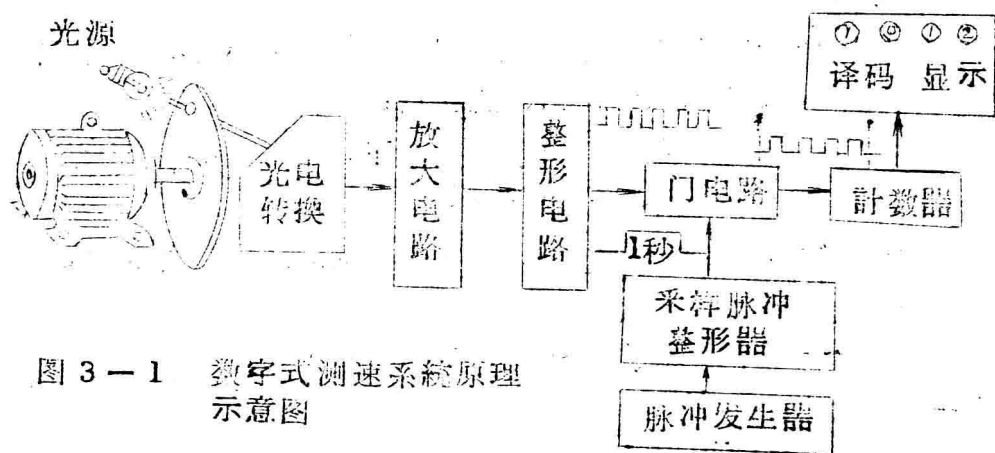
RC 桥式振盪器常做成频率連續可变的结构，一般只要把选频网络的两个电阻 R 用同轴电位器（或电容 C 采用双連可变电容）即可。这种振盪器就是實驗室常用的低频信号源。

第七章 晶体管脉冲电路

晶体管脉冲电路是近十几年来发展起来的。由于它具有体积小、重量轻、坚固可靠、功耗小、寿命长等一系列优点，于是取代了电子管。目前更小型化更高速的集成电路的出现和大量生产，又使分立元件电路逐步跨进到集成电路的阶段。过去在刘少奇修正主义路线的影响下，一些资产阶级技术权威垄断新技术，极力散佈脉冲技术神秘論，妄图阻止工人群众攀登科学技术高峰。经过无产阶级文化大革命，广大工人群众，革命的技术人员遵照毛主席“不破不立”的教导，高举革命大批判的旗帜，粉碎了资产阶级束缚工人的种种精神枷锁，从战争中学习战争，不仅把脉冲技术应用于加强国防建設的重要設備上，也将它应用于各个生产领域中、如工业上許多机械的自动控制、机床的数字控制、计算机在发电厂的应用等，大大提高了工业自动化的程度和生产率。

下面举一个例子来说明脉冲技术如何应用到三大革命运动的实践中去的。

图 7-1 是一个测量电机转速的数字式测速系統，测量结果直接以十进制数字显示出来。下面介绍它的原理。



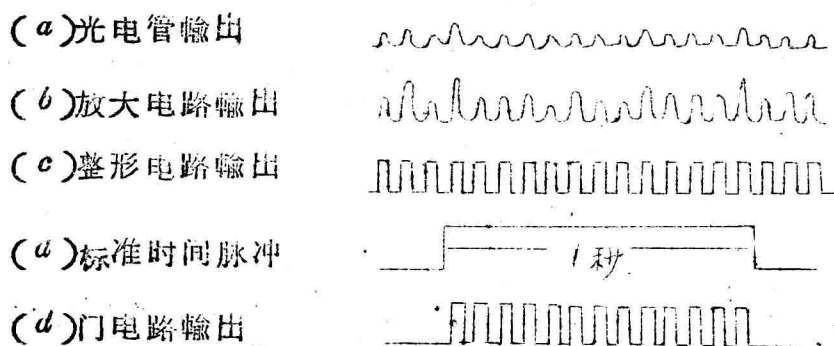


图 7-2 数字式测速系统的工作波形

电机每转一周，光线透过圆盘上的小孔照射光电管（把光信号变为电信号的元件）一次，光电管每秒发出的信号个数就代表电机的转速。但光电信号往往较小〔图 7-2 (a)〕，需要放大，经过放大电路放大后的信号就比较明显了〔图 7-2 (b)〕。

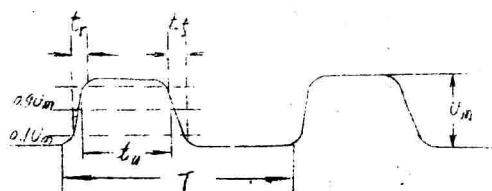


图 7-3 脉冲波

这些信号的波形和一般讲的正弦波不同，我们把它叫做脉冲。脉冲的主要参数如图 7-3 所示有：

U_m —— 脉冲幅度；

t_r —— 脉冲前沿，是由 $0.1 U_m$ 上升到 $0.9 U_m$ 所需要的时间。也有称为正跳沿或上升沿；

t_f —— 脉冲后沿，是由 $0.9 U_m$ 下降到 $0.1 U_m$ 所需的时间。也称为负跳沿或下降沿；

t_u —— 脉冲宽度，是由前沿的 $0.5 U_m$ 到后沿的 $0.5 U_m$ 所需的时间；

T —— 脉冲周期， $\frac{1}{T} = f$ 称为脉冲频率。