

● 新型电子电路应用指南

信号产生电路

● 解月珍 秦履多 谢沅清 编 著

● 电子工业出版社

122



73.4122
760

新型电子电路应用指南

信号产生电路

解月珍 秦履多 谢沅清 编著

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

2011/08

新型电子电路应用指南

信号产生电路

责任编辑：洋 溢

*

电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱 (100036)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

顺义李史山印刷厂印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：6.5 插页：1 字数：16.5 千字

1994 年 11 月第一版 1994 年 11 月北京第一次印刷

印数：8000 册 定价：7.50 元

ISBN 7-5053-2536-1/TN·745

2700129

编 委 会

主 任 谢沅清

副主任 赵学泉

编 委 (按姓氏笔画排序)

华正权 杨世成 张乃国 张国华

郭 斌 解月珍

序 言

本丛书是为应用电子电路的工程技术人员提供一些必备的基础知识而编写的。

目前公开出版的电子电路书籍有两类,一类是教科书,一类是应用手册。教科书偏重于理论,而且由于受到学时和篇幅的限制,只能讲述一些主要的基本电路。众所周知,一个实用的电路,往往比原理性电路要复杂一些。初出校门的读者,阅读实际电路,或是自己设计一个实用电路,仅依靠教科书上介绍的电路知识,有一定的困难。而在许多电子电路手册或是电子电路集锦中,往往只给出电路及其所能实现的功能,原理阐述不够。不利于读者灵活变通应用。本丛书试图弥补上述不足,确定了如下的编写宗旨。

1. 考虑到本书的主要读者对象是中等以上水平的工程技术人员和电子爱好者。他们和教科书的读者——很少接触电子电路实际的青年学生不同。具体地说,这些读者或多或少有一些电子电路方面的基本知识。另一方面,相当多的一部分读者不一定具备高等数学基础。因此,本书讲述基础知识时,并不是所有基本理论都从头讲起,对有些问题的讲述,其起点比一般的教科书略高一些,编写时尽量避免应用较深的数学分析和推导,而是注重定性分析和工程结算。

2. 和教科书稍有不同的是,本丛书着重讲述和实际应用有关的理论,介绍一些经验公式和数据。书中还适当附上部分常用元器件和特性数据及选型原理。讲述设计时,不强调从头到尾的通盘设计和精确计算,偏重于利用参考电路作一些局部修改以适应实际需要的工程计算,还适当介绍某些调测电路的方法。

3. 本丛书的选材着眼于目前国内普遍应用的电路。对于一些已经过时,虽然在部分陈旧设备中还有应用的电路,则不予选用。

本丛书第一批选题内容的安排以信号流程为主线,分为信号产生、信号放大、信号处理、信号变换、测量、电源及数字逻辑电路

七个分册。每一分册相对独立,不存在某一分册为其它分册打基础的问题。

本丛书在动笔前,编委会曾多次集会研讨编写宗旨,内容深度、广度,制定出各分册的编写要求和大纲,并对若干分册的样章进行过讨论。各分册初稿完成后,由主编一一过目,各分册均确定了审稿人,提出修改意见,返回作者修改定稿。但由于各分册作者工作较忙,无法集中长时间进行写作,还由于水平有限,书成后未能全部达到预期目的。书中还难免出现这样或那样的缺点甚至错误,敬希广大读者批评指正

编者

1994年1月

前 言

信号产生电路与其它诸如信号放大、信号处理等电路不同,它是一种能自动将直流电源提供的能量转换为所需要的交流电能的能量转换电路。它不需要外加输入信号就能自动地产生一定波形、一定频率和振幅的交流信号。

信号产生电路广泛用于电子设备中。如无线通信发射机中产生运载信号的载波,超外差接收机中产生“本机振荡”的信号等。在各种测量仪表、自动控制、航空航天、医疗器械等各个领域,都离不开信号产生电路。

信号产生电路分为由模拟电路构成的信号产生电路和数字电路构成的信号产生电路。本书只涉及前者,而后者则由数字电路分册介绍。

全书共分四章。第一章为正弦波振荡器,主要介绍反馈型 LC 正弦波振荡器、RC 正弦波振荡器及负阻正弦波振荡器。第二章是张弛振荡器,介绍反馈型方波、三角波、脉冲、锯齿波及特种波发生器电路,以及负阻型张弛振荡器电路。第三章是频率合成器,着重介绍了锁相频率合成器电路。第四章为寄生振荡和信号产生电路应用中的实际问题。

本书不同于教科书。教科书通常偏重于原理的讲述,限于教学学时和书的篇幅所限,对实用电路的介绍较少。本书则对各类信号产生电路,尽可能给出典型实用电路。而且,电路中标有元件参数值和器件的型号,并给出主要特性指标。在讲述电路工作原理的同时,还突出讲明了它的主要特色,以供读者选用时参考。

本书也有别于一般的电子电路手册。常见的电路手册,往往只是给出电路图及其主要指标,对电路的原理讲述甚少,不便于读者灵活运用。特别是在制作过程中,如若对电路原理了解不透彻,在处理遇到的问题时便会不那么顺手。本书除讲述信号产生电路的一般工作原理外,对书中每一个有特色的实例还针对其特殊部分

作了重点讲解。

本书由解月珍主编,秦履多提供了相当数量的实用电路的素材。全书内容的安排由解月珍和谢沅清共同确定。谢沅清还提供了部分理论素材,并编写了个别章节,还担任了全书的审阅和定稿工作。徐长胜帮助绘制了部分电路图。

限于编者的水平,书中难免有不少缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

编著者

于 94. 3.

目 录

第一章 正弦波振荡器	(1)
1.1 自激振荡原理	(1)
1.2 反馈型正弦波振荡器的工作原理	(3)
1.3 三点式 LC 正弦波振荡器的电路	(9)
一、电路型式及工作原理	(9)
二、三种不同反馈型式振荡电路的比较	(15)
三、振荡器的功率输出电路	(17)
1.4 振荡器的振幅和频率的稳定	(18)
一、振幅稳定	(19)
二、频率稳定	(24)
三、振幅与频率不稳定的原因及稳定的方法	(26)
四、石英晶体振荡器	(33)
1.5 集成 LC 正弦波振荡器	(51)
一、振幅稳定的集成 LC 振荡器	(51)
二、频率稳定的集成 LC 振荡器	(53)
三、高频集成 LC 正弦波振荡器	(54)
1.6 RC 正弦波振荡器	(58)
一、RC 正弦波振荡器的电路形式	(58)
二、RC 正弦波振荡器的特点	(60)
三、文氏电桥振荡器	(61)
四、移相式 RC 正弦波振荡器	(71)
五、积分式 RC 正弦波振荡器	(77)
1.7 负阻型正弦波振荡器	(81)
一、负阻器件	(81)
二、负阻型 LC 正弦波振荡器	(82)
第二章 张弛振荡器	(88)
2.1 反馈型张弛振荡器	(88)
一、反馈型张弛振荡器的工作原理	(88)
二、由集成运放构成的张弛振荡器的基本电路	(88)

三、 555 时基电路构成的张弛振荡器	(108)
四、 单片集成张弛振荡器	(117)
2.2 压控张弛振荡器	(124)
一、 压控方波-三角波振荡器	(125)
二、 电流差分放大器构成的压控张弛振荡器	(127)
三、 单片集成压控张弛振荡器	(130)
2.3 特种波发生器	(130)
一、 阶梯波发生器	(131)
二、 斜坡电压发生器	(135)
2.4 多功能信号发生器	(138)
一、 5G8038 多功能信号发生器的基本工作原理	(138)
二、 5G8038 多功能信号发生器的应用	(142)
2.5 负阻型张弛振荡器	(145)
一、 工作原理	(145)
二、 单结晶体管振荡电路	(146)
第三章 频率合成器	(152)
3.1 频率合成的基本概念	(152)
一、 频率合成的含义	(152)
二、 频率合成器的基本类型	(152)
3.2 锁相频率合成器	(159)
一、 锁相环的基本原理	(159)
二、 锁相环频率合成器	(166)
三、 集成锁相环频率合成器	(174)
第四章 寄生振荡和信号产生电路在应用中的实际问题 ...	(186)
4.1 寄生振荡	(186)
一、 公用电源内阻抗寄生耦合	(186)
二、 元器件之间的寄生耦合	(188)
三、 引线电感、器件极间电容和接线电容构成振荡回路的甚高频寄生振荡	(188)
四、 正常反馈环的负反馈变为正反馈	(189)
五、 寄生振荡的鉴别	(190)
4.2 信号产生电路应用中的实际问题	(193)

一、 如何根据实际需要选用电路形式	(193)
二、 如何选用有源器件	(194)
三、 如何设计电路的元件参数	(194)
四、 调测振荡器电路的注意事项	(195)
参考文献	(196)

r

第一章 正弦波振荡器

振荡器的种类很多,以振荡产生的波形分,可以分为正弦波振荡器和张弛振荡器。前者产生近似理想的正弦波输出,后者则产生方波、脉冲波、三角波和锯齿波等非正弦波。以产生振荡的原理分,则可以分为反馈型振荡器和负阻型振荡器。反馈型振荡器是振荡回路通过正反馈网络与有源器件构成一个闭合环路产生振荡。而负阻型振荡器则是将负阻器件直接接到振荡回路中,利用负阻器件呈现的负电阻抵消回路中的耗能而产生振荡。

本章介绍正弦波振荡器电路,且以反馈型振荡器为重点,分析振荡产生的机理,振幅和频率稳定的条件和方法,并对典型实例进行介绍。

1.1 自激振荡原理

图 1-1 所示电路,将开关 K 先打向“1”端,电容 C 被充电后,再打向“2”端,当线圈 L 的铜损电阻 r 足够小时,便会在电路图中产生如图 1-2 所示的电流。形成这样一个衰减振荡的物理原因是电容 C 在充电期间所贮存的能量向电感线圈 L 转移,然后又从电感线圈往电容器中转移,不断地来回交换能量,形成振荡。在能量来回转移的过程中,电流流过电阻 r ,不断地有能量消耗,因而振荡幅度逐渐减小。如能设法给回路补充能量,而且补充的能量与消耗的能量相等,便能在回路中维持等幅振荡。

给 LC 振荡回路补充能量,以获得等幅振荡的方法有两种,一种是放大器加正反馈,另一种方法是接入有负微变电抗的器件。这两种方法的实质都是器件在振荡回路产生的振荡电压(或电流)的控制作用下,将直流电能转换为交流电能补充给振荡回路。

描述图 1-1 所示电路中电流的数学模型是一个如下式所示的二阶微分方程

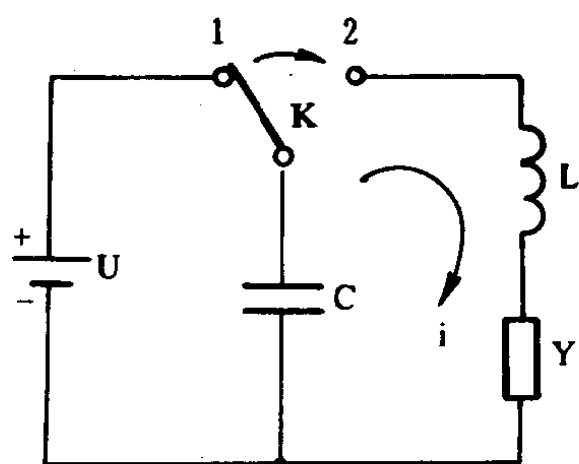


图 1-1 电感和电容交换能量产生振荡的电路

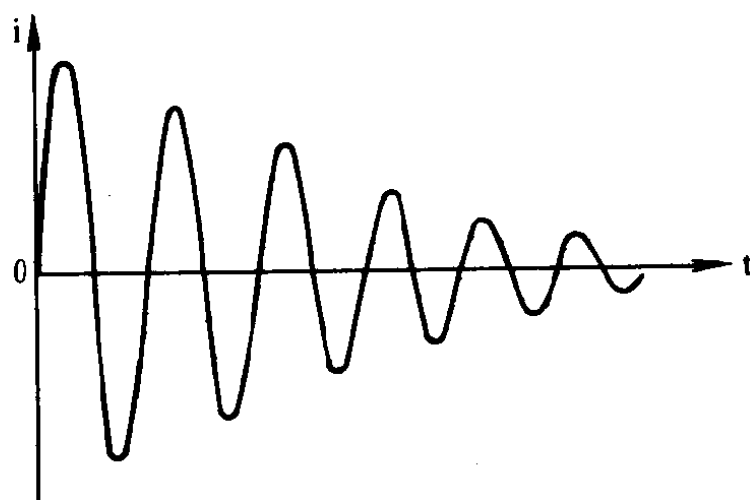


图 1-2 电路产生的振荡电流波形

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\delta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = 0 \quad (1-1)$$

$$\text{式中 } \delta = \frac{r}{2L} \quad (1-2)$$

称为衰减系数。

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1-3)$$

当 $\delta < \omega_0$ 时, 即前面提到的 r 值足够小, 式(1-1)的特征根为共轭复数, 回路方能产生周期性自由振荡

$$i = I_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (1-4)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (1-5)$$

标作阻尼振荡角频率。 I_0 和 φ_0 由回路的初始条件确定。

当引入有正反馈或接入具有负微变电阻的器件时,等效于引入一个负电阻,式(1-2)中的 r 便应换为电路中的总等效电阻。

除了图 1-1 所示电路中的电流可以用式(1-1)所示的二阶微分方程描述外,还有一些电路中的电流和电压也可以用式(1-1)描述。只要一个电路中的电流或电压可以用式(1-1)描述,而且能调整电路参数,使得相应的微分方程的一阶导数的系数为零,都可以产生正弦波振荡。所以,不仅是接有 LC 振荡回路的电路可以产生正弦波振荡,还有一些其他形式的电路,只要是其中电流或电压可以用式(1-1)描述,并且可以使一阶导数的系数为零,便可产生等幅正弦波振荡。这些不同形式的电路中产生振荡的物理过程,不象图 1-1 那样可以简单地理解为电容器和电感线圈交换能量。下面要介绍的正弦波振荡电路,我们将不拘泥于用某一种观点来描述其原理,而是根据怎样能比较简单明了地把问题讲清楚,便于读者理解,选择所采用的方法。

下面将正弦波振荡器分为两类来介绍。即放大器引入正反馈的电路和采用负微变电阻器件的电路。前者称为反馈型振荡器,后者称为负阻型振荡器。在下一章介绍非正弦波振荡器,或者称为张弛振荡器时,也分成这样的两类电路。

1.2 反馈型正弦波振荡器的工作原理

图 1-3 所示是一个加有正反馈的放大器的方框图。如果反馈网络的输出电压 U_f 和放大器输入电压 U_i 的幅度相等,而且相位相同,就能在没有外加输入信号的情况下,维持放大器有输出电压。而如果是反馈电压 U_f 和 U_i 同相,但振幅不等,这时有两种可能的情况,一是 $U_f > U_i$,那么,每经过一轮反馈循环, U_o 的振幅就会增大一些,在电路中便会产生增幅振荡。另一种情况是 $U_f < U_i$,在这种情况下,每经过一轮反馈循环, U_o 的振幅就会减小一

些,在电路中即使产生振荡,将是减幅的,最终结果是振荡消失。但增幅振荡的结果并不会使振荡无限制地增长,最终会由于器件工

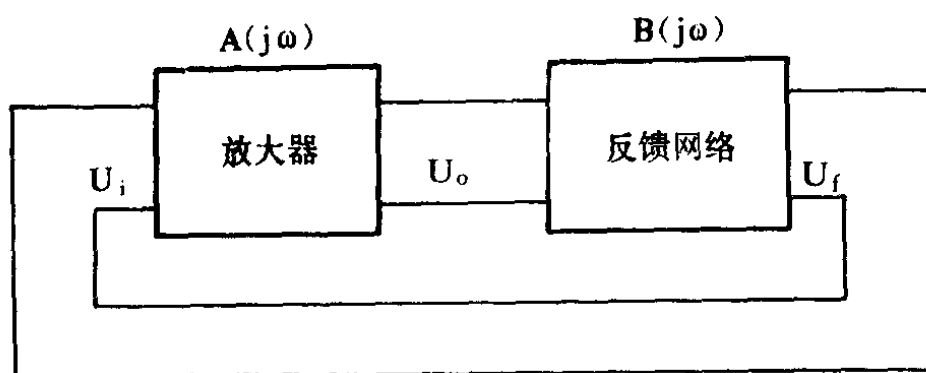


图 1-3 具有正反馈的放大器方框图

作进入非线性区而限幅。在图 1-3 中,放大器的放大系数为

$$\frac{U_o(j\omega)}{U_i(j\omega)} = A(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi_A(\omega)} \quad (1-6)$$

反馈系数

$$\frac{U_f(j\omega)}{U_o(j\omega)} = B(j\omega) = B(\omega)e^{j\varphi_B(\omega)} \quad (1-7)$$

$$A(j\omega)B(j\omega) = A(\omega)B(\omega)e^{j[\varphi_A(\omega) + \varphi_B(\omega)]} = \frac{U_f(j\omega)}{U_i(j\omega)} \quad (1-8)$$

上述 $U_f(j\omega) = U_i(j\omega)$ 或 $U_f(j\omega) > U_i(j\omega)$ 均可在电路中产生振荡,故电路中可以激起振荡的条件,简称起振条件是

$$A(j\omega)B(j\omega) \geq 1 \quad (1-9)$$

亦即

$$A(\omega)B(\omega) \geq 1 \quad (1-10a)$$

$$\varphi_A(\omega) + \varphi_B(\omega) = \varphi_{AB}(\omega) = 2n\pi \quad (n=0,1,2\cdots) \quad (1-10b)$$

式(1-10a)称为起振的振幅条件,而式(1-10b)称为起振的相位条件。

但是作为正弦波振荡器,为了使振荡器输出单一频率的振荡,只能容许某一个频率满足式(1-10)。因此,作为正弦波振荡器,电路中必须有选频网络,依靠选频网络的选频特性,使得电路只是在我们所期望的频率满足式(1-10)。选频网络还有另一个作用,这就是当电子器件的运用范围扩大时,将会进入非线性区工作,因此,

选频网络还要起滤除由于器件进入非线性区工作产生谐波的作用。

根据构成选频网络的元件不同,又可以将正弦波振荡器分成两大类。一是电感、电容构成选频网络的 LC 正弦波振荡器。另一类是电阻、电容构成选频网络的 RC 正弦波振荡器。通常,LC 选频网络的选频特性远比 RC 选频网络的选频特性好,故在 LC 振荡器中,容许器件进入强非线性区工作,而由此产生的非线性失真,可以借助 LC 选频网络优良的选频特性滤除谐波,获得良好的正弦波输出。RC 振荡器是不容许器件进入强非线性区工作的。除此之外,LC 正弦波振荡器的振荡频率十分接近作为选频网络的 LC 振荡回路的谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。当要求振荡频率很低时,振荡回路的电感和电容的值会很大,电感量很大的电感和电容量很大的电容,体积大且造价高,故 LC 振荡器不易工作于低频。RC 振荡器的振荡,频率反比于 RC 的乘积,工作频率低时,要求电阻和电容值大,但电阻的阻值增大并不导致元件的体积增大,故低频振荡器一般都是 RC 振荡器。

从原理上讲,凡是具有放大能力的三极管、场效应管或集成器件都可以作为有源器件用来组成振荡器,但一般来讲,集成运放频带宽度不如单管放大器,故高频振荡器一般用单管放大器或宽带集成放大器组成。

下面以反馈型 LC 正弦波为例,讲述反馈型 LC 振荡器的工作原理。

图 1-4 为一变压器反馈式 LC 振荡器电路。反馈信号通过由线圈 L_1 和 L_2 组成的变压器,由集电极反馈到基极。由图中所标同各端符号可知,反馈为正。

在这种电路中,振荡的建立有两种可能的情况,一种情况是电路的初始状态处于平静的静止的工作状态。由于电路中有不可避免的扰动,例如电子的热骚动,这种骚动含有宽广的频谱。经 LC 选频网络选出满足自激条件,即 $AB \geq 1$ 的频率分量,电路便激起

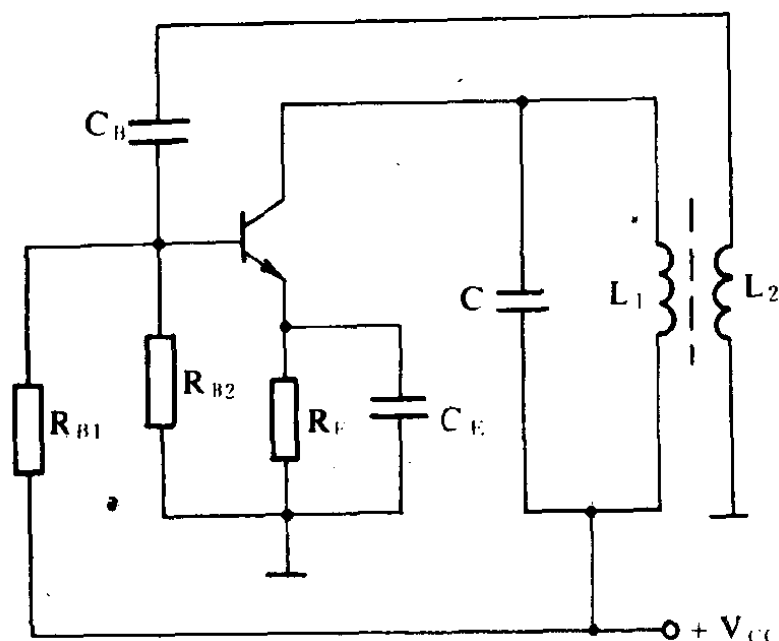


图 1-4 反馈型 LC 振荡器

增幅或等幅振荡。当振幅不断增大时,由于器件伏安特性呈指数律,电路中便发生非线性导电现象,从图 1-4 可以看出,该电路满足形式自生反偏压的三个条件,在 R_s 、 R_{B1} 和 R_{B2} 上产生自生反偏压。自生反偏压形成后,器件的导通角减小,放大倍数 A 减小,于是环反馈系数 AB 减小,当 AB 减至等于 1 时,振幅便停止增长而稳定于某一值。图 1-5 示出上述振荡建立过程中, i_c 及 U_{BE} 随时间的变化,图中所示情况,在稳定状态下,总的偏压为反向偏压。根据电路中振荡建立起来后产生自生反偏压这一物理事实,人们往往用下述简易方法,判断振荡是否起振,这就是在设法去除正反馈前后,测量器件偏压的变化。在图 1-4 中,可以通过将 L_2 短路以去除正反馈,而又不影响静态直流工作状况。如果去除反馈后,器件的正向偏压增大,或是由反变正,则意味着电路已起振。

电路中建立振荡的另一种情况是电路中出现大的扰动,例如接通电源的瞬间,可能在电路中激起很大振荡,此时器件进入强非线性区,放大倍数很小,致使 $AB < 1$ 。在这种情形下,振荡的幅度将会衰减,随着振幅的衰减,器件的导通角增大,放大倍数增大,环反馈系数 AB 也增大,当到达 $AB = 1$ 时,振幅便稳定下来。

在实践中,人们还遇到另一种情况,静止工作点的小信号 AB