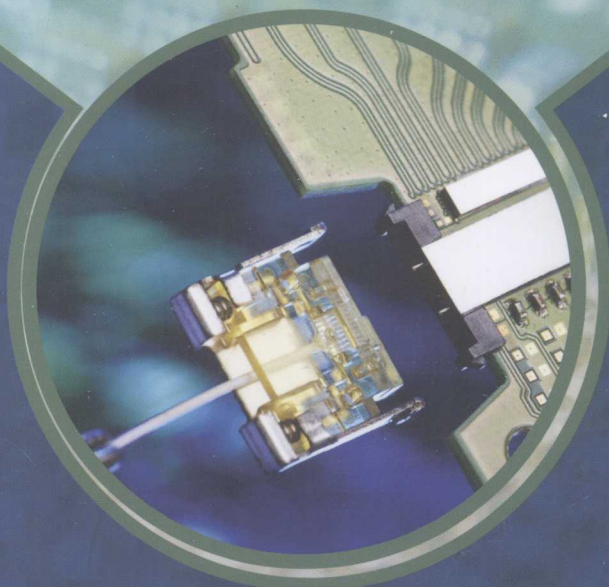


DIANLU JI DANPIANJI
SHEJI FANGZHEN LILUN YU TANJIU

电路④单片机

设计仿真理论与探究

主编 林吉海 于艳敏 朱清友

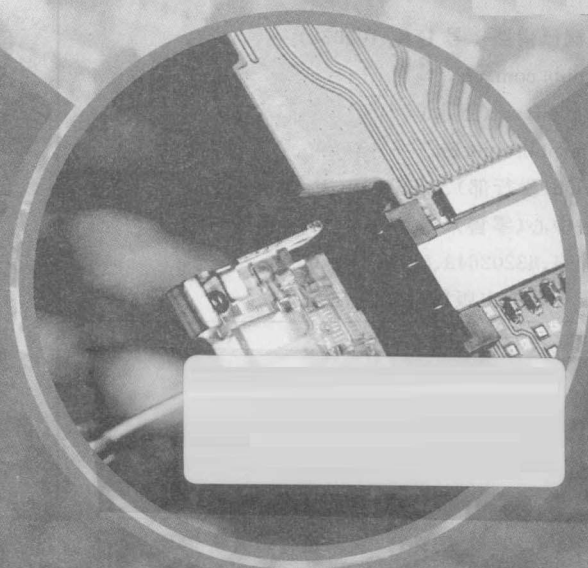


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

DIANLU JI DANPIANJI
SHEJI FANGZHEN LILUN YU TANJIU

电路④单片机 设计仿真理论与探究

主 编 林吉海 于艳敏 朱清友
副主编 刘 冬 韩建文 雷 喏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书首先介绍了模拟电路与数字逻辑电路的分析、设计,随后引进了单片机的概念,内容涉及单片机仿真软件 Proteus、MCS-51 单片机的结构与工作原理、单片机的指令系统与汇编语言程序设计、单片机的 C51 语言程序设计、单片机的中断系统与仿真、单片机的定时器/计数器与设计仿真、单片机串行通信与设计仿真、单片机系统扩展与设计仿真、单片机人机交互接口技术与实例仿真、A/D 和 D/A 转换接口应用实例与仿真等。

图书在版编目(CIP)数据

电路及单片机设计仿真实理论与探究/林吉海,于艳敏,朱清友主编.--北京:中国水利水电出版社,2013.4

ISBN 978-7-5170-0808-8

I. ①电… II. ①林…②于…③朱… III. ①电路设计—计算机仿真②单片微型计算机—系统仿真 IV. ①TN702②TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 081773 号



策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 封面设计:马静静

书 名	电路及单片机设计仿真实理论与探究
作 者	主 编 林吉海 于艳敏 朱清友
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www. waterpub. com. cn E-mail:mchannel@263. net(万水) sales@waterpub. com. cn
经 售	电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京鑫海胜蓝数码科技有限公司
印 刷	北京市登峰印刷厂
规 格	185mm×260mm 16 开本 23 印张 588 千字
版 次	2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷
定 价	78.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

单片机也称单片微处理器或嵌入式微控制,就是将一个简单的计算机系统集成在一个芯片上。它是微型计算机的一个分支,具有体积小、价格便宜、控制功能强、性能稳定等特点,其开发应用在工业测控、机电一体化、办公自动化、家用电器、航天航空、军事装置等多领域占有重要地位。

单片机种类繁多、系列产品层出不穷,而不同种类单片机其对应的指令系统不同,汇编语言无法通用,且编程繁杂。本书中单片机的机型选用 MCS-51 系列单片机,结合当前应用广泛的 C51 程序设计及其对应编译器,以汇编语言为辅在汇编程序的基础上,着重介绍利用 C 语言进行的单片机程序设计。书中还给出了很多应用实例,并通过 Proteus 虚拟仿真详细分析、说明,力图使读者能够熟练掌握相关理论,并提高实际应用能力。

本书在编写方面主要有以下特点:

- (1)力求做到难易适当、深入浅出,融会贯通。
- (2)在基本概念、原理理论及分析方法的基础上,突出单片机的实践性。
- (3)案例丰富,在重难点内容上精选最新范例,保证理论与实际结合,务求实用。

全书共分 12 章,第 1、2 章主要是介绍模拟电路与数字逻辑电路的相关分析、设计。第 3 章简介单片机概念,着重讲解单片机仿真软件 Proteus 的使用。第 4~6 章以 MCS-51 单片机为例,详细分析单片机的结构组成、工作原理、指令系统、程序设计等方面的内容。从第 7 章到第 12 章依次介绍单片机的中断系统、定时器/计时器、串行通信、系统扩展、人机交互接口以及 A/D、D/A 接口的相关技术原理和对应的应用实例和仿真。

本书在编写过程中得到了许多同行专家的支持和帮助,在此表示衷心的感谢;编写时参考了大量的相关著作和文献资料,选用了其中的部分内容和习题,在此向有关作者表示感谢。

由于编写时间仓促、编者水平有限,书中难免会出现一些错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2013 年 3 月

目 录

第 1 章 模拟电路设计	1
1.1 信号放大电路的设计	1
1.2 信号发生电路的设计	6
1.3 信号处理电路的设计	14
1.4 电源电路的设计	19
第 2 章 数字逻辑电路的分析与设计	33
2.1 组合逻辑电路的分析	33
2.2 组合逻辑电路的设计	35
2.3 常用的组合逻辑电路器件	37
2.4 时序逻辑电路的分析	45
2.5 时序逻辑电路的设计	48
2.6 常用的时序逻辑电路器件	50
第 3 章 单片机及单片机仿真软件 Proteus	62
3.1 单片机概述	62
3.2 Proteus 简介	66
3.3 Proteus ISIS 的基本操作	71
3.4 Proteus ISIS 的原理图绘制	84
3.5 Proteus VSM 虚拟系统模型	92
第 4 章 MCS-51 单片机的结构与工作原理分析	105
4.1 单片机的组成结构	105
4.2 单片机的引脚功能	107
4.3 单片机的存储器结构	110
4.4 单片机的时钟电路与时序	116
4.5 单片机的复位	119
4.6 单片机的并行 I/O 接口	122

第 5 章 单片机的指令系统与汇编语言程序设计	126
5.1 指令系统概述	126
5.2 MCS-51 单片机的寻址方式	128
5.3 MCS-51 单片机的指令系统	132
5.4 MCS-51 伪指令	149
5.5 MCS-51 汇编语言程序设计	152
第 6 章 单片机的 C51 语言程序设计	166
6.1 C51 程序的基本结构	166
6.2 C51 的数据类型	170
6.3 C51 的数据存储类型及存储模式	173
6.4 C51 的运算符与表达式	176
6.5 C51 的流程控制语句	181
6.6 C51 的函数	184
6.7 C51 的数组与指针	191
6.8 C51 的结构体、联合体与枚举	195
6.9 C51 的预处理命令	199
第 7 章 单片机的中断系统与仿真	202
7.1 中断系统概述	202
7.2 MCS-51 中断系统	203
7.3 外部中断触发方式选择	210
7.4 外部中断扩展方法	211
7.5 中断程序设计	212
7.6 中断应用实例与仿真	215
第 8 章 单片机的定时器/计数器与设计仿真	231
8.1 定时器/计数器的结构与工作原理	231
8.2 定时器/计数器的相关寄存器	232
8.3 定时器/计数器的工作方式分析	234
8.4 定时器/计数器 T2	236
8.5 定时器/计数器的应用实例与仿真	240
第 9 章 单片机串行通信与设计仿真研究	252
9.1 串行通信概述	252
9.2 串行口的结构与工作原理	256
9.3 串行口的相关寄存器	259
9.4 串行口的工作方式分析	262

9.5	波特率设计	263
9.6	串行接口的应用实例与仿真	264
9.7	单片机多机通信	270
9.8	单片机与 PC 机串行通信	277
第 10 章	单片机系统扩展与设计仿真研究	283
10.1	单片机系统扩展概述	283
10.2	存储器的扩展实例与仿真	286
10.3	并行 I/O 口的扩展实例与仿真	293
10.4	SPI 总线与 I ² C 总线实例与仿真	301
第 11 章	单片机人机交互接口技术与实例仿真	317
11.1	键盘接口应用实例与仿真	317
11.2	显示器接口应用实例与仿真	327
第 12 章	A/D、D/A 转换接口应用实例与仿真	343
12.1	A/D 转换接口与应用	343
12.2	D/A 转换接口与应用	351
参考文献		360

第 1 章 模拟电路设计

1.1 信号放大电路的设计

1.1.1 分立元件信号放大电路

虽然现在集成化的放大器已很多,但是由晶体三极管和一些电阻、电容等分立元件组成的信号放大电路仍在各类电子产品中被广泛应用。

1. 单级低频放大器的工程计算方法

图 1-1 所示为一个典型的单级低频放大器。在设计放大电路前,我们应先明确:要设计的这个放大电路的负载(R_L)是多少;在已知输入信号的前提下,需要把输入信号不失真地放大到多少伏(即最大不失真输出电压 V_{Omax}),这期间信号被放大了多少倍(即增益 A_v);工作频率范围是多少。明确了这三点后,就可以开始设计放大电路了。

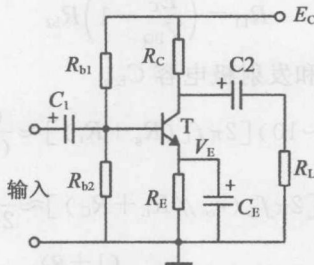


图 1-1 低频放大电路

第一步,由所需要的增益 A_v 计算确定 R_L 和 R_C 。

$$\text{因为 } |A_v| = \beta \frac{R_L}{r_{be}}$$

$$\text{所以 } R'_L = |A_v| \frac{r_{be}}{\beta}$$

式中, β 值可用万用表实测; r_{be} 是与工作点有关的量,一般为 $1k\Omega$ 左右,我们取 $1.5k\Omega$ 。而

$$R'_L = R_C // R_L$$

$$\text{则 } R_C = \frac{R_L R'_L}{(R_L - R'_L)}$$

通常确定 R_C 时必须考虑增益 A_v 和输出电阻 R_O 的要求,一般取

第二步,确定静态工作点。

由负载特性曲线可知,要输出最大不失真输出电压,工作点 Q 应设在交流负载线的中点。若忽略晶体三极管截止区的影响,则

$$V_{CEQ} = V_{CE(sat)} + \sqrt{2} V_{Omax}$$

式中, $V_{CE(sat)}$ 为晶体三极管饱和时集电极到基极的压降,一般设为 $1V$,这时的 I_{CQ} 为

$$I_{CQ} = \frac{\sqrt{2} V_{Omax}}{R'_L}$$

第三步,确定电源电压 E_C 和发射极电压 V_{EQ} 。

$$E_C = (1.2 \sim 1.5) (I_{CQ} R_C + V_{CEQ} + V_{EQ})$$

式中, $(1.2 \sim 1.5)$ 为余量系数, V_{EQ} 可取

$$V_{EQ} = 1 \sim 3V \text{ 或 } V_{EQ} = 0.2 E_C$$

第四步,确定发射极电阻 R_E 。

$$R_E \approx \frac{V_{EQ}}{I_{CQ}}$$

第五步,确定基极电压 V_{BQ}

$$V_{BQ} = V_{EQ} + V_{BE(on)}$$

第六步,确定分压偏置电路电流 I_1 。

取

$$I_{BQ} = 10 \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

第七步,确定分压偏置电阻 R_{b1} 和 R_{b2} 。

$$R_{b2} = \frac{V_{BQ}}{I_1}$$

则

$$R_{b1} = \left(\frac{E_C}{V_{BQ}} - 1 \right) R_{b2}$$

第八步,确定耦合电容 C_1 、 C_2 和发射极电容 C_E 。

$$C_1 = (5 \sim 10) [2\pi f_L (R_g + R_i)] \approx \frac{(5 \sim 10)}{(2\pi f_L R_i)}$$

$$C_2 = (5 \sim 10) [2\pi f_L (r_{ce} // R_L + R_C)] \approx \frac{(5 \sim 10)}{2\pi f_L (R_L + R_C)}$$

$$C_E = (1 \sim 3) \frac{(1 + \beta)}{[2\pi f_L (R_g // R_1 // R_2 + r_{be})]}$$

式中, R_i 为放大器输入电阻; R_g 为信号源内阻。

这样,我们把整个放大器的参数都确定下来了,但这只是“纸上谈兵”,整个放大器的参数最终是否合理,还要经过搭试电路、调试后才能最终确定。

放大器工作必须稳定,否则将造成整个系统工作不正常。放大器稳定性问题指当晶体管参数和环境温度变化后,放大器的静态工作点维持不变的能力。

2. 影响放大器静态工作点稳定性的因素

影响放大器静态工作点稳定性的因素主要有两点。

(1) 晶体管参数的离散性。晶体管参数的离散性较大,即使是同型号的晶体管,其 β 、 I_{cbo} 、 V_{be} 等参数也大不相同。

(2) 晶体管参数的不稳定性。晶体管 β 、 I_{cbo} 、 V_{be} 等参数都是温度的函数。

造成放大器的静态工作点不稳定的主要原因是晶体管参数的变化,而晶体管参数的变化最终都反映在 I_C 或 I_E 上。为了提高电路的稳定性和成批生产时产品的一致性,就必须尽量减小工作电流对晶体管参数的依赖性。发射极电阻 R_E 可用于提高电路的稳定性,利用发射极电阻 R_E 的电流负反馈作用可使电路稳定。

1.1.2 运算放大器信号放大电路

1. 运算放大器的基本概念

运算放大器是一个具有差动输入和高放大倍数的直流放大器,它与一些元件以适当的方式组合,就能进行数学运算或构成数学模型。运算放大器属于线性系统,可用叠加原理进行分析。

理想运算放大器具有如下性能:开环电压放大倍数 A_o 趋于无穷大;输入阻抗 Z_i 无穷大;输出阻抗 Z_o 等于零;全频带内幅频特性平坦,即 $f_H \rightarrow \infty$, $f_L = 0$;输入信号为零时,输出等于零。

但理想运算放大器是不存在的,实际运算放大器只能以一定的精度逼近理想状态。因实际运算放大器的性能比较接近理想运算放大器的性能,因此在一般分析讨论中,将实际运算放大器看成理想运算放大器不会引起明显误差。分析运算放大器时应掌握“虚短”和“虚断”两个概念。

(1) 虚短

从运算放大器的输入端看进去,运算放大器的同相输入端 V_+ 与反相输入端 V_- 是“短路”的,即虚短。当运算放大器工作在线性区内时,其输出电压 V_o 便是一个有限的数值。

$$V_o = A_o (V_+ - V_-)$$

在 A_o 足够大的条件下,差动输入电压 $(V_+ - V_-)$ 就基本为零,即 $V_+ - V_- = 0$ 或 $V_+ = V_-$ 。这就相当于运算放大器的同相输入端 V_+ 与反相输入端 V_- 是“短路”的。

应注意,实际运算放大器的同相输入端 V_+ 与反相输入端 V_- 并没有短接,也不能短接,只是为分析电路方便而用“虚短”概念。

(2) 虚断

从运算放大器的输入端看进去,运算放大器的输入端是“断路”的。既然理想运算放大器的输入阻抗无穷大,那么运算放大器不会向外部电路索取任何电流,其输入电流为零,相当于运算放大器的输入端是开路的,即“断路”。

应注意,实际运算放大器的输入端并没有开路,也不能开路,只是为分析电路的方便而用“虚断”概念。

这两个概念对理想运算放大器显然成立,对实际运算放大器也基本正确,因此这两个普遍适用的重要结论,就成为分析运算放大器应用电路的基本出发点,必须熟练掌握。

2. 设计中实际问题的解决方法

(1) 自激振荡的抑制——运算放大器的相位补偿技术

实际放大器中,自激振荡发生时,如果用万用表交流电压挡测量放大器输出端,在没有输入信号的情况下,输出端总能够测量到一个固定的电压(自激振荡频率低于 20kHz 时);如果用示波器测量,会发现有一个我们不需要的频率信号叠加在有用信号之上,如图 1-2 所示。

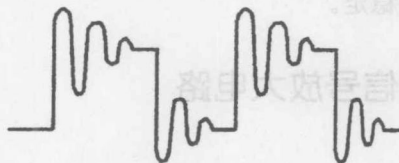


图 1-2 自激振荡波形

要区分这个我们不需要的信号是自激振荡还是噪声,要看这个信号的频率和幅度是否一定。如果信号的频率和幅度一定,则是自激振荡;如果信号的频率和幅度杂乱无章,则是噪声。这里我们着重讨论自激振荡的抑制。

放大器产生自激振荡将造成系统无法正常工作,因此必须避免。放大器产生自激振荡,要同时满足自激振荡的相位条件和幅值条件,因此只要破坏其中一个条件,放大器就无法产生自激振荡。集成运算放大器的相位补偿技术就是用破坏自激振荡的相位条件来抑制自激振荡的技术。自激振荡的相位条件是 $\Delta\Phi = \Phi_A + \Phi_F = \pm 180^\circ$, 其中 Φ_A 为放大器的相移, Φ_F 为反馈网络的相移。

① 滞后补偿

如图 1-3 所示,在输入端加补偿网络 R_B 、 C_B ,产生附加相移,使放大器闭环相位增加,从而破坏自激振荡的相位条件,抑制自激振荡。这种方法称为滞后补偿。

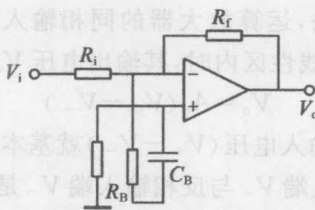


图 1-3 相位滞后补偿

滞后补偿以降低中频段回路增益为代价,来达到稳定电路的目的。滞后补偿会导致放大器通频带变窄。适用于对通频带要求不高的低频放大器。

② 超前补偿

如图 1-4 所示,在反馈电阻 R_f 两端加补偿电容 C_B 产生附加相移,使放大器闭环相位减少,从而破坏自激振荡的相位条件,抑制自激振荡。这种方法称为超前补偿。

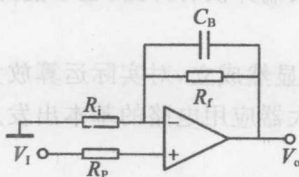


图 1-4 相位超前补偿

在反馈电阻 R_f 两端加补偿电容 C_B , 实质是通过改变反馈回路的频率特性来抑制自激振荡。超前补偿会导致放大器通频带变宽, 但有时超前补偿的效果不明显, 它适用于对通频带要求较高的低频放大器。

③ 滞后—超前补偿

滞后—超前补偿电路如图 1-5 所示, 它实质上是综合了滞后补偿和超前补偿的优点, 并克服了各自的缺点, 从而在满足稳定性要求的前提下获得较宽频带的目的。该电路稳定性好, 放大器通频带较宽, 适用于各种对稳定性要求较高的低频放大器。

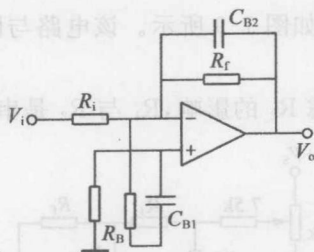


图 1-5 相位滞后—超前补偿

(2) 失调电压/电流的补偿——运算放大器的调零技术

① 反相放大器失调电流补偿常用的反相放大器失调电流补偿方法有三种。

第一种, 用于对固定输入电阻的偏流补偿。输入偏流在反相输入端产生的失调电压, 可通过同相输入端上的电阻 R_P 来消除, 如图 1-6 所示。这是一种最简单的补偿方法, 要求设计电路时 $R_P = R_f // R_i$ 。

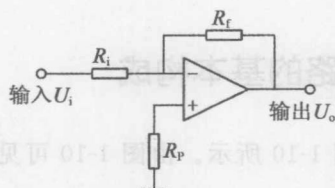


图 1-6 反相放大器失调电流补偿①

第二种, 利用外加的补偿电压来实现失调电流的补偿。如图 1-7 所示, $\pm 15V$ 电压经 R_w 分压后, 由 R_1 、 R_2 组成的分压器固定衰减 750 倍 ($\pm 20mV$), 然后加到同相输入端。

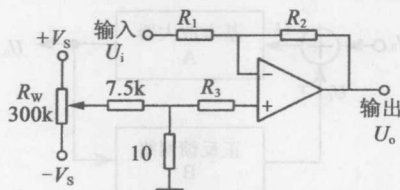


图 1-7 反相放大器失调电流补偿②

该电路的电位器 R_w 可调, 失调电流的补偿不受反馈元件的影响, 因此应用较第三种, 同样利用外加的补偿电压来实现失调电流的补偿, 如图 1-8 所示。

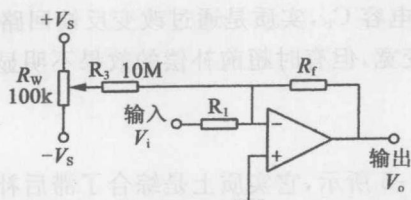


图 1-8 反相放大器失调电流补偿③

②同相放大器失调电流补偿

同相放大器失调电流补偿电路如图 1-9 所示。该电路与图 1-7 很相似,只是把补偿电路放在反相输入端,补偿原理相同。

注意在计算电路增益时,要考虑 R_2 的影响, R_1 与 R_2 是串联的。

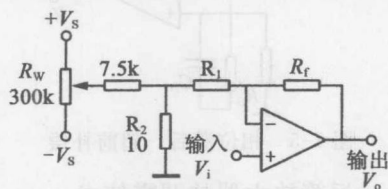


图 1-9 同相放大器失调电流补偿

1.2 信号发生电路的设计

1.2.1 反馈型振荡电路的基本构成

反馈型振荡电路的方框图如图 1-10 所示。由图 1-10 可见,反馈型振荡电路应由以下几部分构成:

- (1)控制能量转换的有源器件(如晶体管、场效应管、运算放大器等),图中以基本放大器代替。
- (2)具有正反馈作用的选频网络(如 LC 选频回路、RC 选频回路等)。
- (3)稳定振荡幅度的限幅电路(有源器件常兼有限幅作用)。

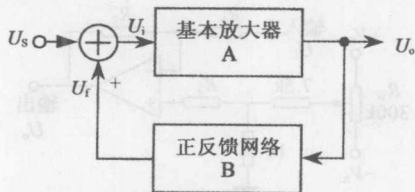


图 1-10 反馈振荡电路方框图

1.2.2 信号发生电路的主要性能要求

1. 振荡频率和频率稳定度

振荡频率是指振荡器振荡输出信号的频率。频率稳定度是指振荡电路的实际工作频率偏离

标称频率的程度,它是振荡电路一个重要的技术指标。因为它通常是作为某种信号源使用的,所以振荡频率不稳将会导致系统的性能恶化。例如,通信系统中所用的振荡器,若频率不稳,将有可能使所接收的信号部分甚至完全收不到,还有可能干扰其他正常工作的信道。再如,数字系统中用到的定时器都是以振荡器为时钟源的,频率不稳会造成定时不稳。因此必须采取必要的措施,以保证使用要求。

频率稳定度通常定义为在一定时间间隔内,振荡频率的相对变化,用 $\left. \frac{\Delta f}{f_0} \right|_{\text{时间间隔}}$ 表示。这个数值越小,频率稳定度越高。例如,电视台的频率稳定度要求是 $5 \times 10^{-7}/\text{日}$,短波、超短波发射机的频率稳定度要求是 $10^{-4} \sim 10^{-7}/\text{日}$,所以前者的频率稳定度要求比后者的频率稳定度要求高。

2. 振荡幅度和幅度稳定度

由于振荡电路主要工作在非线性状态,精确分析起来比较困难,因此对振荡幅度,一般都不做定量的计算,只在实际电路中测定调整。但电路中必须采取措施,保证幅度的稳定性。

3. 波形纯正度

希望振荡电路振荡输出纯正的波形,无谐波失真和其他寄生干扰。

但由于振荡电路的用途不同,工作频率和工作状态不同,对振荡电路的性能要求也不尽相同。例如,除上述主要性能要求外,还有温度特性、电源电压特性等。

设计时,设计者要根据振荡电路的用途和性能指标要求,合理选择设计电路方案。

1.2.3 信号发生电路的一般设计方法

设计振荡电路的主要任务有三项:正确地选择有源器件;合理地选择振荡电路形式;正确地计算元件参数值。

1. 选择有源器件

从原理上讲,凡是具有放大能力的晶体管和集成器件都可用来组成振荡器。而且现在有很多按振荡器工作特点设计的集成电路可供选用,用它们组成振荡器,不但电路简单、性能优良,而且调试也方便。所以在相应的频率范围内,应优先选用此类器件。

选用有源器件时,应首先考虑器件的工作频率范围。为了满足振荡器的起振条件,集成器件的单位增益带宽(BW_G)至少要比振荡频率大 $1 \sim 2$ 倍,分立器件的最高截止频率至少要比振荡频率大 3 倍。为了保证振荡器有足够高的频率稳定度,当采用集成器件时,一般应取 3dB 带宽 $BW \geq f_g$ 或 $BW_G \geq (1 \sim 3)f_g$;当采用三极管时,一般应取特征频率 $f_T > (2 \sim 10)f_g$ 。因此,石在几百千赫兹以下时,可选用集成运放、比较器和集成功放等; f_g 在数兆赫兹以下时,可选用集成宽带放大器、射频中频放大器和双差分放大器或高频晶体管等。其次,应考虑器件的最大输出电压幅度和负载特性是否满足要求。再次,当所设计振荡器要求低噪声时,应考虑选用低噪声有源器件。

2. 确定振荡器电路形式

选择振荡器电路形式时,应首先考虑振荡器的工作频段和频率稳定度的要求。从工作频段

考虑,一般说来,低频段应选用 RC 振荡器,高频段应选用 LC 振荡器或晶体振荡器;从频率稳定度要求来考虑,RC 振荡器频率稳定度较低,在 $10^{-2} \sim 10^{-3}/\text{日}$;LC 振荡器(科皮兹、哈特莱振荡器)的频率稳定度在 $10^{-3} \sim 10^{-4}/\text{日}$;改进型 LC 振荡器(克拉泼、西勒振荡器)的频率稳定度在 $10^{-4} \sim 10^{-5}/\text{日}$;晶体振荡器的频率稳定度较高,在 $10^{-6}/\text{日}$ 以上。其次,要从产生的波形及其精度两方面考虑,当组成正弦波振荡器时,推荐选用“桥式振荡器”,因为它不仅容易组成外稳幅电路从而保证有优良的输出波形,而且当器件增益较高时,它有较强的相位梯度,对频率稳定有益。再其次,需要考虑负载与振荡器的隔离问题,除某些集成振荡器内部有性能优良的隔离电路外,设计者还要设计缓冲级。

3. 确定元件的数值

首先,要正确设计器件的偏置电路。设计者必须注意,各类集成器件的输入偏置电路是有所不同的,具体情况要参见器件手册。当选用的是双电源器件而振荡器电路采用单电源时,输入端还需设置一定的偏置电压。对分立元件的晶体管振荡器,一般按三极管的静态电流 $I_{CQ} \approx 1 \sim 4\text{mA}$ 来设计偏置电路,使静态工作点远离管子的截止区。

设计决定振荡频率的元件参数是非常关键的。需要注意的是,振荡电路的类型不同,计算公式也各不相同,设计者可参见本章电路实例中所列出的计算公式。

设计正弦波振荡器还要考虑反馈系数 B 的大小。对集成器件组成的振荡器,环路增益即反馈系数 B 与基本放大器增益 A 的乘积应略大于 1;对桥式振荡器,则应使正、负两个反馈支路构成的总反馈系数与增益的乘积略大于 1;对分立元件的三点式振荡器, B 一般取 $1/2 \sim 1/8$ 。

1.2.4 正弦波振荡电路的设计

1. 桥式 RC 正弦波振荡电路设计

(1) 桥式 RC 正弦波振荡电路的基本电路设计

桥式 RC 正弦波振荡电路适用于产生数赫兹到数百千赫兹的正弦波,其基本构成如图 1-11 所示。图中,RC 串、并联电路构成正反馈的选频网络; R_3 为具有负温度系数的热敏电阻,起稳幅作用; R_3, R_4 构成负反馈支路,其作用是改善振荡波形和进一步稳幅。

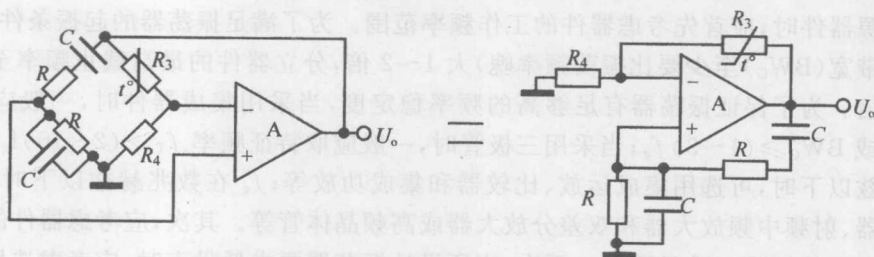


图 1-11 文式电桥 RC 正弦振荡电路的基本构成

图示文式电桥 RC 正弦波振荡电路的振幅条件为:

$$1 + \frac{R_3}{R_4} = 3$$

振荡频率为:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

其起振条件为:

$$A_u = 1 + \frac{R_3}{R_4} \geq 3$$

(2) AGC 型文式电桥振荡电路设计

AGC 型文式电桥振荡电路通常在数 10~100 千赫兹频率范围内使用,其实用电路如图 1-12 所示。

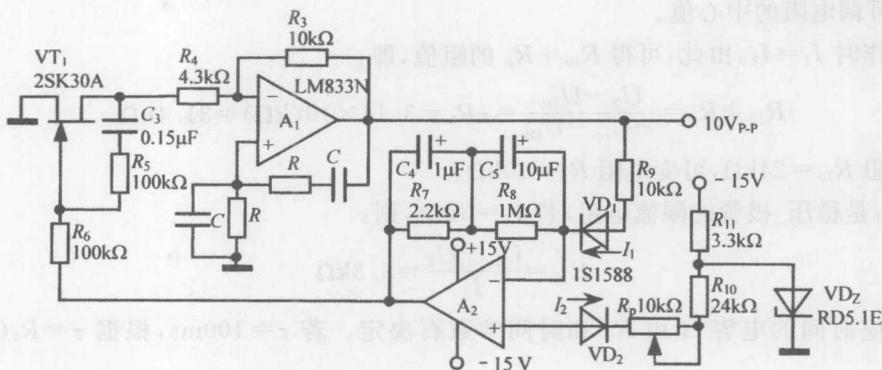


图 1-12 实用 AGC 型文式电桥振荡电路

电路由主振电路和稳幅电路构成,电路中,运放 A_1 工作时增益 $A \approx 3$,但采用 FET(代替以前的热敏电阻)作为可调电阻进行自动增益控制(AGC)。图 1-13 中的参数是按 $f_g = 100\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$ 设计的,下面讲述具体的设计过程。

① 主振部分的设计

考虑到振荡频率上限为 100kHz,以及振荡波形要求失真率较低等实际要求,振荡电路选户 H 通用运算放大器 LM833N(功率带宽最大值为 120kHz)。它的谐波失真比一般通用运算放大器小。

电路的振荡频率由下式决定,即:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

为了减小运放负载、减小杂散电容的影响,RC 串并联回路阻抗应设计在 $5\text{k}\Omega \sim 500\text{k}\Omega$ 范围内。运放 A_1 工作时增益 $A \approx 3$,但起振时需要 $A > 3$ 。因此,若取 $R_3 = 10\text{k}\Omega$,则有:

$$R_4 + r_{ds} \leq \frac{R_3}{A - 1} = 5\text{k}\Omega$$

实验表明,在加有局部反馈时,2SK30A 的 r_{ds} 在 $500\Omega \sim 2\text{k}\Omega$ 范围内波形无失真或失真极小,因此,设计使 FET 工作存 $r_{ds} = 1\text{k}\Omega$,故可取 $R_4 = 4.3\text{k}\Omega$ (标称值)。 R_5, R_6 是用于减小失真的反馈电阻,最女子是 $R_5 = R_6$,其阻值要远大于 r_{ds} ,本例选用 $R_5 = R_6 = 100\text{k}\Omega$ 。

频率为最低振荡频率的 1/10 时,隔直电容 C_3 为:

$$C_3 \geq \frac{1}{2\pi \times 0.1 f_{\min} R_5} = \frac{1}{2\pi \times 0.1 \times 10 \times 100 \times 10^3} = 0.15\mu\text{F}$$

实际上,电阻尺 5 和电容 C3 的值要求并不太严格。

②稳幅部分的设计

基准电压的稳定性决定着图 1-13 电路的振幅稳定度,因此,构成稳定性高的基准电压时,最好使用温度系数小的 4.7~5.1V 的稳压管,电路中的稳压管选用 RD5.1E。

若输出电压的峰一峰值为 10V(±5V),则流经 AGC 整流电路的平均电流 I_1 为:

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left(\frac{+U_{op} - U_{D1}}{R_9} \right) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{5 - 0.5}{10^4} \right) = 143.3 \mu A$$

同样, I_2 为:

$$I_2 = \frac{U_Z - U_{D1}}{R_{10} + R_p}$$

式中, R_p 为可调电阻的中心值。

因为工作时 $I_1 = I_2$,由此,可得 $R_{10} + R_p$ 的阻值,即:

$$R_{10} + R_p = \frac{U_Z - U_{D2}}{+U_{op} - U_{D1}} = \pi R_9 = 3.14 \times 10 (k\Omega) = 31.4 k\Omega$$

选定固定电阻 $R_{10} = 24 k\Omega$,可变电阻 $R_p = 10 k\Omega$ 。

电阻 R_{11} 是稳压极管的限流电阻,若 $I_Z = 3mA$,则:

$$R_{11} = \frac{U_{cc} - U_Z}{I_Z} = 3.3 k\Omega$$

决定积分响应时间的电容 G 由 R_9 和时间常数石决定。若 $\tau = 100ms$,根据 $\tau = R_9 C_5$,可求出 C_5 即:

$$C_5 = \frac{\tau}{R_9} = \frac{100 \times 10^{-3}}{10 \times 10^3} = 10 \mu F$$

R_7 是用于缩短稳幅时间、抑制过冲引起的振铃进行相位超前补偿的电阻,最佳值为 R_9 的 20%左右,本例取标称值 $R_7 = 2.2 k\Omega$ 。然而,积分器输出产生振荡频率的脉动,波形失真变大,为此与 R_7 并联一个比 C_5 容毫小的电容 C_4 。

R_8 是用于限制积分器最大直流增益的电阻,根据 $R_8 = AR_9$,若 $A = 100$,则可求得 $R_8 = 1M\Omega$ 。

2. 高频 LC 正弦波振荡电路设计

前沐的 RC 振荡器多用于低频振荡波形的产生,主要是因为存低频振荡下,它具有体积小、重量轻、成本低、失真小、幅度稳定度高等优点。而在高频振荡中,更多采用 LC 元件作为选频元件,有时其振荡频率甚至会超过集成电路使用的频段。

当需要数十兆赫兹至 300 兆赫兹(VHF 频段)的频率时,通常都使用频率稳定度较高的西勒振荡电路(改进型的科皮兹振荡电路),西勒振荡电路如图 1-13 所示。

图 1-11 振荡电路的振荡频率近似由输出调谐电路(π 型输出电路)的谐振频率决定,即:

$$f_g = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

实际中,由于晶体管的集电结电容和电路杂散电容与 LC 调谐回路并联,会使正略低于计算频率,因此需要通过实验进行调整。

电路中,由 π 型输出电路对应低阻抗负载,这样通过改变电容 C_1 与 C_2 之比就能任意变换。也