

实用电子测量技术 及其电路精解

卢文科 编著

国防工业出版社

实用电子测量技术 及其电路精解

卢文科 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

实用电子测量技术及其电路精解/卢文科编著. —北京:国防工业出版社, 2000. 8

ISBN 7-118-02280-2

I. 实… II. 卢… III. 电气测量 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 13748 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/32 印张 8 1/4 178 千字
2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷
印数: 1 - 3000 册 定价: 14.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

本书重点介绍了电子测量技术,也介绍了数学运算器和电路及电源方面的技术,并对其电路作了详细的分析。

本书的内容是根据作者大学毕业后十多年的工作经验和在国内外技术性刊物上发表过的 60 余篇论文及一些其它资料为基础编写而成的,其中选用的电路是经作者亲手设计并实验过的,性能可靠,实用性强。

本书有两个特点:(1)对电路的工作原理分析较透彻;(2)为了提高测量电路的精度,较详细地论述了提高精度的一些方法和措施(如电路元器件的选择等)。

由于本书具有上述两个特点,所以读者阅读后,就能很容易地设计出实际电路,并且能很容易地调试出实验结果,有助于读者开阔设计思路,因而在实际工作中有一定的参考价值。

由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳切希望读者予以指正。

作 者

目 录

第一章 数学运算器和电路	1
第一节 加法器	1
第二节 减法器	2
第三节 乘法器	4
第四节 除法器	14
第五节 倒数电路	15
第六节 开平方电路	17
第七节 绝对值电路	18
第八节 积分器	20
第九节 微分器	21
第二章 测量电阻、电容、电感及三极管 β 值	23
第一节 测量电阻	23
一、恒流源式测量电阻	23
二、基准电压源式测量电阻	25
第二节 测量电容	27
一、方波式测量电容	27
二、积分式测量电容	34
三、交流基准电压源式测量电容	39
第三节 测量电感	41
一、方波式测量电感	41
二、积分式测量电感	47

第四节 测量三极管 β 值	49
一、NPN 三极管 β 值测量	49
二、PNP 三极管 β 值测量	52
第三章 测量电压、电流	55
第一节 测量电压	55
一、直流电压测量	55
二、交流电压测量	56
第二节 测量电流	62
一、直接式测量电流	62
二、间接式测量电流	64
第四章 测量功率、相位、磁场	72
第一节 测量功率	72
一、测量功率的一般方法	72
二、霍耳乘法器测量功率的方法	76
第二节 相位测量	82
一、 $0^\circ \sim 360^\circ$ 数字相位测试仪	82
二、 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ 数字相位测试仪	86
第三节 磁场测量	92
一、直流磁场测量	92
二、交流磁场测量	97
第五章 温度、压力、流量的测量	102
第一节 温度测量	102
一、硅三极管测量温度	102
二、双硅三极管测量温度	103
三、热敏电阻测量温度	107
四、铜电阻测量温度	116
五、热电偶测量温度	118

04 第二节 压力测量	120
04 第三节 流量测量	122
第六章 其它方面的测量	125
07 第一节 线圈匝数的测量	125
02 一、电感线圈式测量线圈匝数的方法	125
02 二、霍耳直接检测式测量线圈匝数的方法	131
02 三、霍耳检零式测量线圈匝数的方法	133
02 第二节 转速测量	136
01 一、转速测量原理	136
40 二、实际电路的设计以及主要的元器件的选择	137
03 第三节 绕线机可逆圈数测量	141
03 一、测量原理	141
03 二、具体电路的设计及元器件的选择	145
07 三、精度	147
02 第四节 异步电动机转速和转差率测量	148
02 一、测量原理	148
09 二、实际电路的设计以及元器件的选择	152
05 第五节 镀(涂)层测量	153
00 一、测量原理	153
70 二、实际电路的设计及元器件的选择	156
00 三、仪表的测量范围及准确度	157
06 第六节 电压-电流和电流-电压变换器	157
00 一、电压-电流变换器	157
00 二、电流-电压变换器	159
07 第七节 速度和里程的测量	160
01 一、速度和里程测量原理	160
81 二、实际电路的设计以及主要的元器件的选择	163

8.3.3 三、精度分析	167
8.4 第八节 纸张厚度的测量	167
8.4.1 一、电容式纸张厚度的测量方法	167
8.4.2 二、霍耳效应式纸张厚度的测量方法	173
8.5 第九节 消除不平衡电桥电源电压波动和非线性 影响的新方法	183
8.5.1 一、电阻电桥测量电阻	183
8.5.2 二、电感电桥测量电感	186
8.5.3 三、电容电桥测量电容	188
第七章 电源	191
7.1 第一节 高稳定度稳压电源	191
7.1.1 一、原理计算	191
7.1.2 二、元件选择	193
7.1.3 三、调试	194
7.1.4 四、使用注意事项	195
7.2 第二节 恒流源	195
7.2.1 一、直流恒流源	195
7.2.2 二、交流恒流源	203
第八章 常用、新型运算放大器	212
8.1 第一节 常用运算放大器	212
8.1.1 一、F7650(ILC7650)	212
8.1.2 二、F07(OP07)	214
8.1.3 三、F5027(CAW5027)	217
8.1.4 四、F05(OP05)	219
8.1.5 五、XFC78A	222
8.1.6 六、F741(μ A741)	224
8.1.7 七、F101、F201、F301(LM101、LM201、LM301)	226

八、F010	228
九、F108、F208、F308(LM108、LM208、LM308)	229
十、F3130(CA3130)	232
十一、F3140(CA3140)	233
十二、双运算放大器 F747(μ A747)	236
十三、四运算放大器 F124、F224、F324 (LM124、LM224、LM324)	237
第二节 新型的高输入阻抗运算放大器	239
一、设计思想	240
二、实际电路	240
参考文献	250

第一章 数学运算器和电路

第一节 加 法 器

图 1-1 所示的电路就是由运算放大器构成的加法器。设这里有三个电压信号 U_1 、 U_2 、 U_3 。

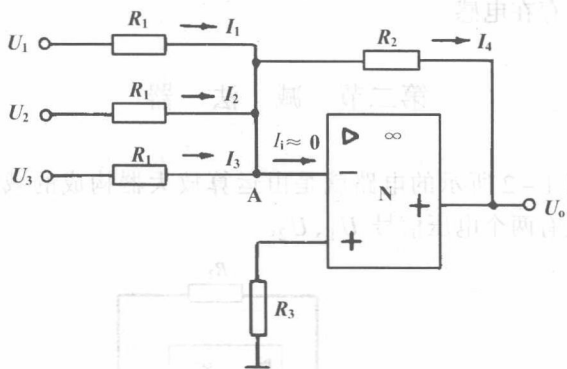


图 1-1 加法器

由于运算放大器本身的输入阻抗很高,开环电压增益很大,所以 $I_i \approx 0$,在节点 A 上:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_1} + \frac{U_3}{R_1} = - \frac{U_o}{R_2}$$

即
$$U_o = -\frac{R_2}{R_1}(U_1 + U_2 + U_3) \quad (1-1)$$

从式(1-1)可以看出:图 1-1 所示的电路能够实现加法运算功能。

如果想提高图 1-1 所示加法器的精度,应注意如下几个问题:

(1) 运算放大器 N 应选用高增益、低漂移、低噪声的运算放大器,如 F7650、F5027、OP07、XFC78 等。

(2) 三个阻值相同的电阻 R_1 和电阻 R_2 均选用稳定性良好的电阻,如 EE 系列。这里应注意,如对交流信号进行相加,那么,三个电阻 R_1 和电阻 R_2 不能选用线绕电阻,因为线绕电阻存在电感。

第二节 减 法 器

图 1-2 所示的电路就是由运算放大器构成的减法器。设这里有两个电压信号 U_1 、 U_2 。

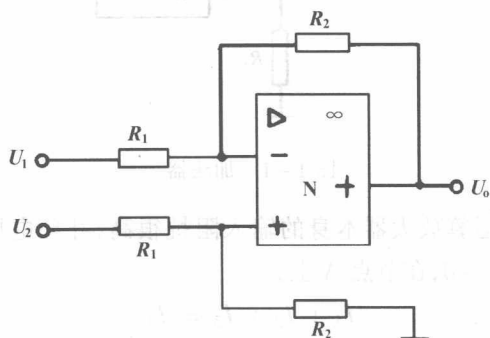


图 1-2 减法器

下面对图 1-2 所示的减法器用叠加原理进行分析:

第一步,假定 $U_2=0$,则图 1-2 就变成了图 1-3 所示的电路。

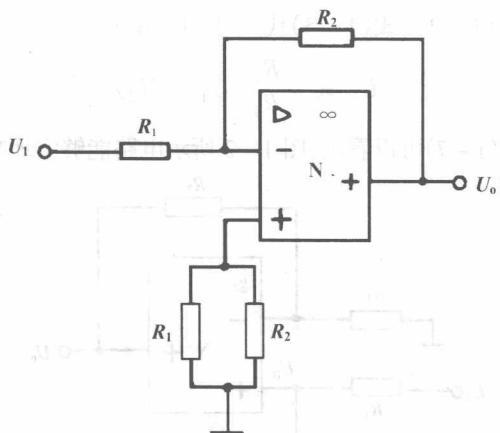


图 1-3 反相放大器

图 1-3 所示的电路是一个反相放大器,所以

$$U_o' = -\frac{R_2}{R_1} U_1 \quad (1-2)$$

第二步,假定 $U_1=0$,则图 1-2 就变成了图 1-4 所示的电路。

图 1-4 所示的电路是一个同相放大器,所以

$$U_o'' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_B \quad (1-3)$$

$$U_B = \frac{U_2}{R_1 + R_2} R_2 \quad (1-4)$$

从式(1-3)、式(1-4)得

$$U_o'' = \frac{R_2}{R_1} U_2 \quad (1-5)$$

第三步,由叠加原理知道

$$U_o = U_o' + U_o'' \quad (1-6)$$

将式(1-2)、式(1-5)代入式(1-6)得

$$U_o = -\frac{R_2}{R_1}(U_1 - U_2) \quad (1-7)$$

从式(1-7)可以看出:图1-2所示电路能够实现减法功能。

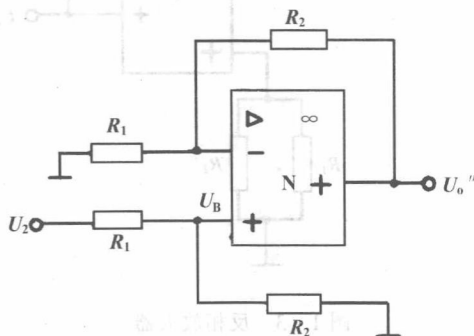


图 1-4 同相放大器

如果想提高图1-2所示减法器的精度,则应注意如下几个问题:

(1) 运算放大器应选用高增益、低漂移、低噪声的运算放大器,如 F7650、F5027、OP07、XFC78 等。

(2) 电阻 R_1 、 R_2 选用稳定性良好的电阻,如 EE 系列。如果对交流信号进行减法运算,则电阻 R_1 、 R_2 不要选用线绕电阻。

第三节 乘法器

本节主要介绍时间分割式乘法器的工作原理。用一般元

器件,其精度可达 0.5% 左右;如果选用指标较高的元器件,其精度可达 0.05% ~ 0.01%。此种乘法器的性能与价格比是非常合理的,因而有一定实用价值。这里主要讨论如何选择指标较高的元器件,使乘法器的精度可达 0.05% ~ 0.01%。

一、设计原理

乘法器的电路图及电路各点的波形图分别如图 1-5 和图 1-6 所示。

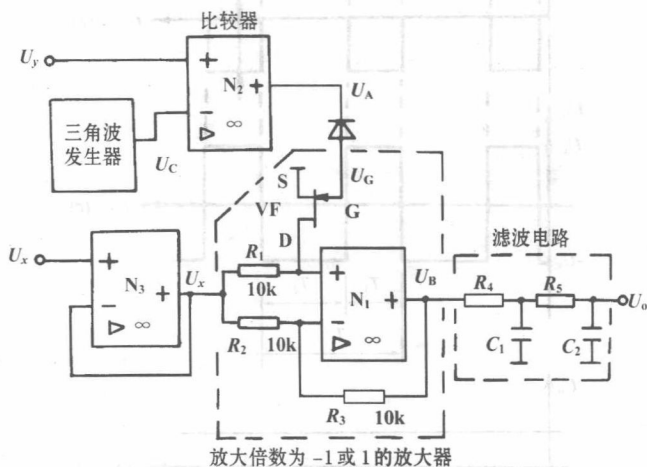


图 1-5 乘法器电路图

从图 1-6 中知道:直角三角形 ABC 相似于直角三角形 ADE,则有:

$$\frac{AC}{AE} = \frac{BC}{DE}$$

$$\frac{U_{Cm} - U_y}{U_{Cm}} = \frac{T_1/2}{T/4}$$

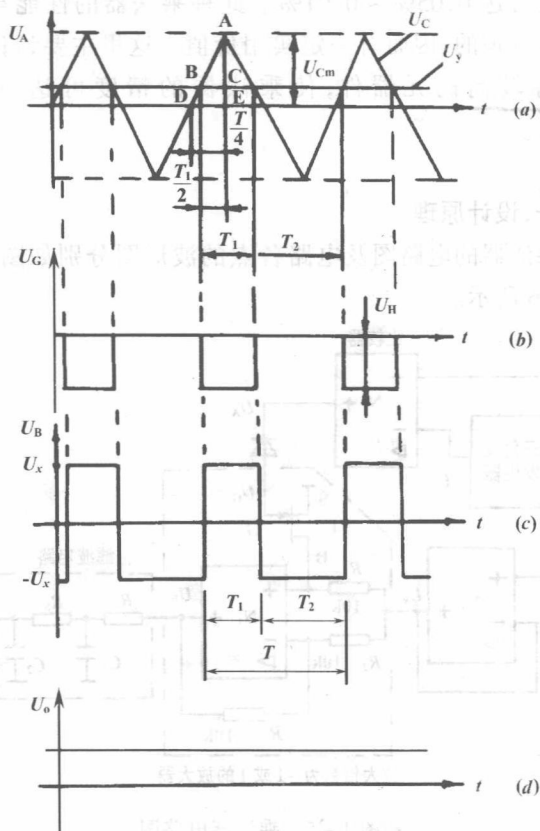


图 1-6 各点的波形图

即
$$T_1 = \frac{U_{Cm} - U_x}{2U_{Cm}} T \quad (1-8)$$

我们又知道:

$$T = T_1 + T_2 \quad (1-9)$$

将式(1-8)代入式(1-9)得

$$T_2 = \frac{U_{Cm} + U_x}{2U_{Cm}} T \quad (1-10)$$

这样一来,在 T_1 时间内,比较器 N_2 的输出电压 $U_A(U_C)$ 为低电平,使开关 VF 断开,这时放大器 N_1 相当于放大倍数为 1 的放大器,其输出电压 $U_B = U_x$ 。

在 T_2 时间内,比较器 N_2 的输出电压 $U_A(U_C)$ 为高电平,使开关 VF 接通,这时放大器 N_1 相当于放大倍数为 -1 的反相器,其输出电压 $U_B = -U_x$ 。

因此,在放大器 N_1 的输出端得到了一个正负振幅值为 $\pm U_x$ 的脉冲信号。

从图 1-6 中的 U_B 的波形图可知:

$$U_o \propto \overline{U_B} = \frac{1}{T} \int_0^T U_B dt = \frac{U_x}{T} (T_1 - T_2) \quad (1-11)$$

将式(1-8)、式(1-10)代入式(1-11)得

$$U_o \propto \overline{U_B} = -\frac{U_x U_y}{U_{Cm}} \quad (1-12)$$

从式(1-12)知道: U_o 与 $U_x U_y$ 的乘积成正比,所以达到了 U_x 与 U_y 相乘运算的目的。

下面我们再介绍一下放大倍数为 -1 或 1 的放大器 N_1 、比较器 N_2 、跟随器 N_3 和三角波发生器的工作原理(即单元电

路的工作原理)。

二、三角波发生器的工作原理和元器件的选择

(一) 放大倍数为 -1 或 1 的放大器 N_1 的工作原理

1. 在 T_2 时间内, 开关 VF 的控制电压 $U_G = 0V$, 见图 1-7(a), 开关 VF 导通。将图 1-7(a) 所示的电路等效为图

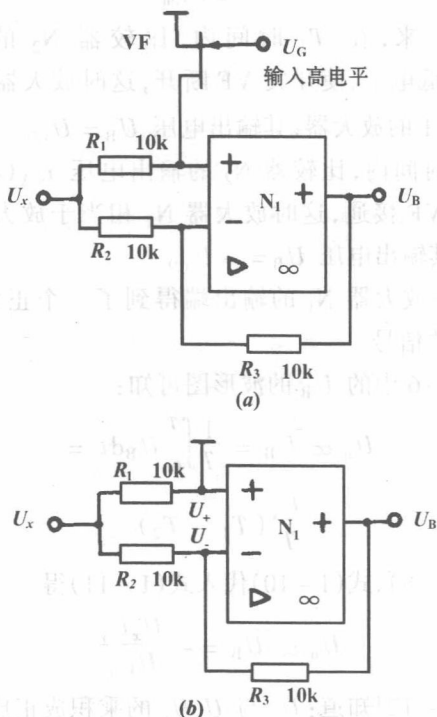


图 1-7 输入高电平时放大器 N_1 等效图

1-7(b)所示电路, 由图可知: