

电工仪器仪表 检定与修理

《电工仪器仪表检定与修理》编写组



国防工业出版社



电工仪器仪表检定与修理

下 册

《电工仪器仪表检定与修理》编写组



国防工业出版社

2583/35

内 容 简 介

《电工仪器仪表检定与修理》下册一书，是继上、中册第一至第七部分后的第八、九、十部分。第八部分分七章，主要介绍：数字电压表的基础知识；比较式、斜波式、积分式和复合式等数字电压表的原理、使用和检定方法、常见故障和维修。第九部分分三章，主要介绍：指示仪表检定用的电源及调节装置；精密稳压、稳流电源的工作原理、使用方法、常见故障及调修。第十部分分五章，主要介绍：电磁屏蔽的基本概念和理论；屏蔽技术在测量中的应用。

本书可供从事电工仪器仪表生产、使用、检定和修理的工人、检定员、工程技术人员和有关院校师生阅读参考，也可供电子技术和热工计量专业人员参考。

电工仪器仪表检定与修理

下 册

《电工仪器仪表检定与修理》编写组

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张13 331千字

1983年9月第一版 1983年9月第一次印刷 印数：00,001—35,000册

统一书号：15034·2537 定价：1.60元

编 者 序

为了普及精密仪器仪表的原理、使用与计量维修知识，在出版《电工仪表修理》之后，我们又编写了《电工仪器仪表检定与修理》（上、中、下册）一书。

本书编写内容，广泛取材于从事精密仪器仪表计量维修和仪器生产、科研和教学的工程技术人员、工人、教员的实践经验。因此，内容比较丰富，图表、数据和实例较多，叙述比较通俗。既有以往的常用方法，也有新近摸索的经验。既有一批新型仪表的检修实例，也有国内外老产品仪表的检修方法。为广泛适应检修的需要，还介绍了一些精度较高、有特殊用途的仪表。

全书分上、中、下三册，共有十个部分。上册主要内容有：误差理论；电学度量器；直流电位差计的原理、检定与修理；电阻箱、分压箱、电桥的原理、检定与修理；检流计的原理、使用与调修。中册主要内容有：电气测量指示仪表（主要包括磁电系、电磁系、电动系、热电系、静电系、感应系）的工作原理、产生误差的原因及检修的基本知识和方法；磁测量的基本知识，测量的基本方法，常用测量仪表仪器的工作原理、特性及维修。下册主要内容有：数字式电压表的原理、使用与调修；精密稳压、稳流电源的原理、使用与维修；精密电气测量中的干扰及其屏蔽等。

本书由国营北京建中机器厂和国营北京电子管厂负责主编。参加本书下册编写的单位还有：国营北京第一无线电器材厂、电力部热工研究所、中国计量科学研究院电磁室、北京市计量局、五院计量站、二院计量站、北京无线电一厂、上海第二电表厂等。

本书下册执笔人有：段孝斌、陆正荣、郝木兰、袁德富、陈炜、张叔涵、李光锡、叶培健、冯占岭、周庚如、金俊臣、倪本

来、吴光宇、付易根、陈立坚等。封面设计：刘显明。

本书下册编写过程中，还得到上海电表厂、北京电表厂、一院计量站、北京无线电研究所、长城电工仪器厂、哈尔滨电工学院、哈尔滨电工仪表研究所、江苏省计量局、无锡市计量所等许多单位的领导和同志们热情帮助和大力支持，并付出了辛勤的劳动，在此致以衷心谢意。

由于编写人员的水平所限，书中难免存在不少缺点和错误，请广大读者批评指正。

1981年12月

目 录

第八部分 数字式电压表的原理、使用与调修

第一章 数字电压表的一般知识	1
§ 8-1-1 概述	1
§ 8-1-2 数字电压表的分类	3
§ 8-1-3 模-数转换器的工作原理	4
§ 8-1-4 数字电压表的技术特性	16
§ 8-1-5 数字电压表的结构与使用	28
第二章 直流数字电压表的检定方法	38
§ 8-2-1 数字电压表的一般检查和检定要求	38
§ 8-2-2 数字电压表误差的检定方法	41
§ 8-2-3 数字电压表其它技术指标的测试方法	49
第三章 数字电压表维修的一般知识	60
§ 8-3-1 数字电压表维修方法和步骤	60
§ 8-3-2 数字电压表维修实例	63
第四章 逐次比较式数字电压表的原理与维修	67
§ 8-4-1 逐次反馈比较式数字电压表的工作原理	67
§ 8-4-2 基本单元电路的组成及功能	70
§ 8-4-3 PZ8 型数字电压表的整机故障检查步骤	91
§ 8-4-4 PZ8 型数字电压表的整机故障	94
§ 8-4-5 PZ8 型数字电压表主要单元电路的故障现象及检修方法	102
第五章 斜波电压比较式数字电压表的原理与维修	116
§ 8-5-1 斜波电压比较式数字电压表的工作原理、测量过程、 主要波形和特点	116
§ 8-5-2 斜波电压比较式数字电压表各单元的工作原理及功能	122
§ 8-5-3 斜波电压比较式数字电压表的常见故障	142
§ 8-5-4 斜波电压比较式数字电压表的维修要点	147

第六章 双斜率积分式数字电压表的原理与维修	150
§ 8-6-1 双斜率积分式数字电压表的原理	150
§ 8-6-2 DS-26 型双积分数字电压表的工作过程	153
§ 8-6-3 DS-26 型双积分数字电压表的电路说明	158
§ 8-6-4 DS-26 型双积分数字电压表的维修	169
第七章 脉冲宽度调制积分式数字电压表的原理与调修	174
§ 8-7-1 脉宽调制式数字电压表的原理	174
§ 8-7-2 脉冲调宽式数字电压表常见故障及排除方法	181

第九部分 精密稳压、稳流电源的

原理、使用与维修

第一章 指示仪表检定用的电源及调节装置	186
§ 9-1-1 一般检修工作常用的电源及调节装置	186
§ 9-1-2 万用表检验用的电源装置	191
第二章 精密仪表检定用的稳压、稳流电源	204
§ 9-2-1 基础知识	204
§ 9-2-2 YJ-10A 型晶体管稳流器的原理与调修	212
§ 9-2-3 JW-30 型晶体管稳流器的原理与调修	222
§ 9-2-4 高稳定度宽量程可控硅整流的稳流器	237
§ 9-2-5 精密仪表检定用的稳压电源	241
第三章 精密稳压电源及其在电位差计和电桥中的应用	249
§ 9-3-1 精密电仪器用的精密稳压电源的基础知识	249
§ 9-3-2 直流电位差计用的精密稳压电源	261
§ 9-3-3 光电控制型高稳定度稳压稳流电源	265
§ 9-3-4 精密测试及电桥用的稳压电源	273
§ 9-3-5 YJV-1 型直流标准电压源	276
§ 9-3-6 直流标准电流源和电压源的原理与调修	285

第十部分 精密电气测量中的干扰及其屏蔽

第一章 屏蔽的基础知识	292
§ 10-1-1 屏蔽和泄漏电流	292

§ 10-1-2 绝缘材料体积电阻和表面电阻的测量	295
§ 10-1-3 摇表的屏蔽系统	297
§ 10-1-4 用检流计测量高阻值的屏蔽电路	299
§ 10-1-5 仪器、仪表的屏蔽系统	300
§ 10-1-6 屏蔽方法和屏蔽效果	301
第二章 元件的静电屏蔽	306
§ 10-2-1 单端屏蔽和授位屏蔽	306
§ 10-2-2 散漫泄漏电流及其转化、集中	307
§ 10-2-3 泄漏电流的控制	310
§ 10-2-4 屏蔽元件的阻抗表达式	316
§ 10-2-5 带屏蔽的电阻、电感和电容	322
§ 10-2-6 单电桥电路的卡尔瓦罗定理	328
第三章 等电位屏蔽及其应用	335
§ 10-3-1 等电位屏蔽	335
§ 10-3-2 直流电位差计(装置)的等电位屏蔽	339
§ 10-3-3 标准电池检定装置的等电位屏蔽	352
§ 10-3-4 直流标准分压器的等电位屏蔽	354
第四章 屏蔽技术在测量仪器中的应用	357
§ 10-4-1 低功率因数功率表的静电屏蔽系统	357
§ 10-4-2 工业电源供电的电子仪器的屏蔽系统	364
§ 10-4-3 共模干扰、串模干扰及其屏蔽	376
第五章 直流测量电路的静电干扰及其屏蔽	381
§ 10-5-1 测量电路的静电干扰	381
§ 10-5-2 测量电路的静电屏蔽	387
参考资料	401
附录一 直流数字式电压表主要技术特性参考数据	402
附录二 直流标准电压源	408

第八部分 数字式电压表的 原理、使用与调修

第一章 数字电压表的一般知识

§ 8-1-1 概 述

一、数字电压表的发展

数字电压表 (DVM) 是一种能够自动地以数字形式显示被测电压值的仪表。它是在电子技术和计算技术飞速发展的基础上用于测量技术中而产生的一种先进的电测仪表。

以往采用直流电位差计测量电动势虽然具有准确度高、几乎不消耗被测对象功率等优点,但由于完成测量过程需要人工调整,因此存在测量速度慢、使用麻烦、量程范围小等缺点。

随着科学技术的不断进步,特别是电子工业的发展,使自动化测量和自动化数据处理成为一个新的科技领域,因而对测量技术提出了新的要求。以数字电压表为例,(以下简称 DVM) 它的每一位数码好比电位差计的每一个盘,每一位数码的每一个十进位数字好比电位差计的每盘十进点,其小量程开关好比电位差计的倍乘系数,其大量程开关好比电位差计配合使用的分压箱,所以数字电压表的应用,大大地改善了电位和电位差的测量技术。

数字电压表问世以来,也经历了不断改进的过程,它的线路结构由一、二种发展到十几种,从初期采用的继电器、电子管到现在采用的晶体管及集成电路,其准确度也从初期的 0.2% 提高到现在的百万分之几或更高;既有供实验室使用的高精度仪器,也有供生产部门使用的通用和廉价的仪器。目前已出现了能够用于开关板上的开关板型数字式仪表,其体积由大变小,耗电量逐

渐减少。DVM 也已由单一的发展成多用的数字式仪表。

随着科研、生产的不断发展, DVM 必将继续沿着提高精度、灵敏度、速度及其可靠性, 降低成本, 实现小型化等方向发展。特别是七十年代产生了微处理器式的 DVM, 它具有程序控制、信息存贮、数据处理等功能, 便于与其他计算机系统配合使用。仪器能自动校准、自动切换量程、自动检修, 而且体积小, 价格便宜, 这是 DVM 的又一重大发展。

二、数字电压表及其特点

所谓数字电压表 (DVM), 就是将被测的连续电压量自动地转换成断续量, 然后进行数字编码, 并将测量结果以数字形式显示出来的一种电测仪表。其转换原理如图 8-1-1 所示。由图可知 DVM 可以简单的理解为模-数转换器加电子计数器, 其核心部分为模-数转换器。DVM 的主要特点如下:

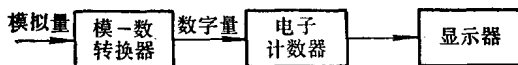


图8-1-1 DVM原理方框示意图

1. 准确度高

目前可达 10^{-6} 数量级, 一般通用型很容易达到 0.05%, 而直读仪表要达到 0.1% 就很困难, 所以用它代替直读仪表可以大大提高测量精度。

2. 灵敏度高

DVM 的灵敏度一般为 $10\mu\text{V}$ 及 $1\mu\text{V}$, 目前已有毫微伏数量级的。

3. 测量速度快

由于它采用电子线路, 尽管它有量程转换时间、响应时间, 但仍有很快的采样速度, 一般每秒钟为几十次到上万次, 甚至可达百万次。从而为自动化生产过程提供了高速的测量工具。

4. 读数准确、没有视差

因为它是数字显示，所以读数准确，不存在直读仪表那样必有的视差，人为误差可以不计。随着液晶、荧光管等技术发展，功耗将进一步下降，读数视角更广，色彩更柔和，更有利于读数。

5. 输入阻抗高

DVM的输入阻抗一般可达 $1000\text{M}\Omega$ 以上（基本量程）；而且工作时零电流很小，一般在基本量程可达 $1 \times 10^{-10}\text{A}$ ，质量高的可达 $1 \times 10^{-12}\text{A}$ 。

6. 使用方便和多种用途

DVM使用方便，开机后预热预调即可使用。它又具有编码信息输出，可配接打印机自动记数，在配接相应的转换器后可用来测量交流电压、直流电流、电阻、温度等。

它与微处理机配合，能进行更复杂的自动测量与控制工作。但是，线路复杂，维修较困难。

§ 8-1-2 数字电压表的分类

为了更好地分析和了解DVM，有必要对其分类进行分析。分类的方法繁多，现列举几种如下：

按用途可分为

(1) 实验室型 它精度高，对环境条件要求比较严格，适宜在实验室内使用。

(2) 通用型 它具有一定精度，对环境条件要求比较低，适宜现场测量。

(3) 开关板型 它精度低，环境条件要求比较宽，是一种指示型DVM。

按测量速度可分为

(1) 低速（几次/秒～几十次/秒）；

(2) 中速（几百次/秒～几千次/秒）；

(3) 高速（几万次/秒以上）。

按模-数转换器的工作原理可分为

- (1) 比较式
 - 逐次比较式
 - 跟随比较式
- (2) 斜波式
 - 锯齿波式
 - 阶梯波式 (V-T 式)
- (3) 积分式
 - V-F 变换式
 - 脉冲调宽式 (V-T 式)
 - 双积分式 (V-T 式)
- (4) 复合式
 - 两次取样电阻分压比较式
 - 两次取样电感分压比较式
 - 三次取样式
 - 电流比较仪式

以上几种形式的特点各自不同, 其主要特点见表 8-1-1。

表 8-1-1

类 别	特 点
比 较 式	精度高、速度快、线路复杂
斜 波 式	精度低、线路简单
积 分 式	抗干扰能力强、线路简单、速度低
复 合 式	精度高、灵敏度高、抗干扰能力强、线路复杂

§ 8-1-3 模-数转换器的工作原理

模-数转换器的作用是在现实存在的连续变化的模拟信号(A 信号)和人为的分立的数字信号(D 信号)之间进行转换。它分两类:

能把模拟量(如连续变化的待测电压)转化为数字量的装置称“模-数”转换器, 或用 A/D 表示(又称编码器), 反之, 能把

数字量转换为模拟量的装置称“数-模”转换器，或用 D/A 表示（又称解码器）。

由于 A/D 转换器的不同，产生了各种类型的 DVM，现介绍几种常见数字电压表中的 A/D 转换器的简单工作原理，D/A 转换器将结合典型仪表在后面叙述。

一、逐次逼近式 A/D 转换器的工作原理

其原理类似于天平测重原理，它是由一组相当于砝码的基准权电压与被测电压（相当于被测重物）进行比较，并逐次减小其差值，使之逼近平衡，最后以数字形式显示的平衡值即为被测电

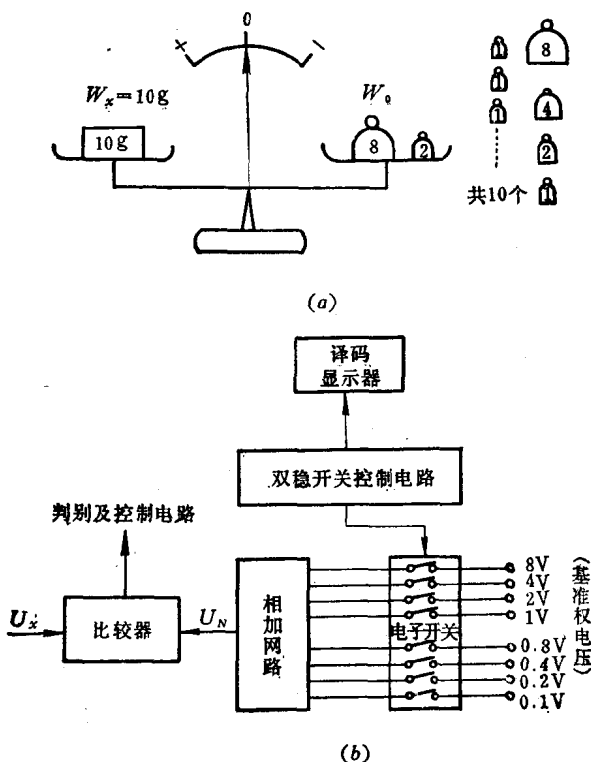


图8-1-2 比较法原理图

(a)天平称量法示意；(b)电压测量法原理。

压值, 见图 8-1-2(a) 所示。测量的准确度决定于砝码的准确度及平衡指示器的分辨力 (在天平中称感量), 当然还决定于最小砝码的数值及精确度。

逐次逼近式 A/D 转换器的转换过程可以与天平称量过程加以类比。根据上述原理可以设想如图 8-1-2(b) 那样的电压测量方法。设有一组标准电压“砝码”或称为“基准权电压”其值分别为 8、4、2、1 V 和 0.8、0.4、0.2、0.1 V 和 0.08、0.04、0.02、0.01 V……等等。

被测电压由比较器的左边输入, 好像重物置于天平的一边, “基准权电压” (电压砝码) 通过开关加到比较器的另一边, 好像砝码置于天平的另一边。究竟放多少砝码才能平衡, 只能用试探的方法, 把砝码由大到小一个一个的试探。若指示器指示过量就去掉, 称“去码”; 若轻了就保留, 称“加码”。一直试探到比较器输出为零时, 就表示被测电压与基准权电压的总和相平衡, 从开关的闭合状态就可以读出基准权电压的数值, 并用它来表示被测电压的值。测量的精确度决定于基准权电压的准确度和比较器失去平衡的分辨力, 以及基准权电压的位数。

逐次逼近式 A/D 转换器的原理方框图如图 8-1-3(a) 所示。

被测电压 U_x 经输入电路后为 U_i , 在比较器与 D/A 转换器送过来的权电压 U_N 相比较。D/A 转换器在这里, 就是一组由“权电阻”网路组成的装置, 它的输出由程序控制器控制, 按 8、4、2、1 编码 (又称 BCD 码, 即二-十进制计数码) 的规则, 也可以用其它编码从大到小逐次变化。

当 U_i 与 U_N 相比较, 在比较器输出 $\Delta' < 0$ 时, 说明此时所加之权电压大, 应舍去不用, 数码寄存器对应为“0”状态。当 $\Delta' > 0$ 时, 说明此时权电压小, 应该保留, 数码寄存器对应此数为“1”状态。这样, 基准电压通过 D/A 转换器变成权电压由高位到低位逐位加码比较, 大者去, 小者留, 逐次积累, 逐步逼近, 最后所保留的权电压的总和即可近似的等于 U_x 。数码寄存

器所寄存的状态, 就是被测电压模拟量的相应数字量, 并可经译码显示器显示出来。以 $U_x = 0.531\text{V}$ 为例 (当输入电路传递系数为 1 时, 即 $U_x = U_i$) 逐次逼近的比较过程如图 8-1-3(b) 所示。

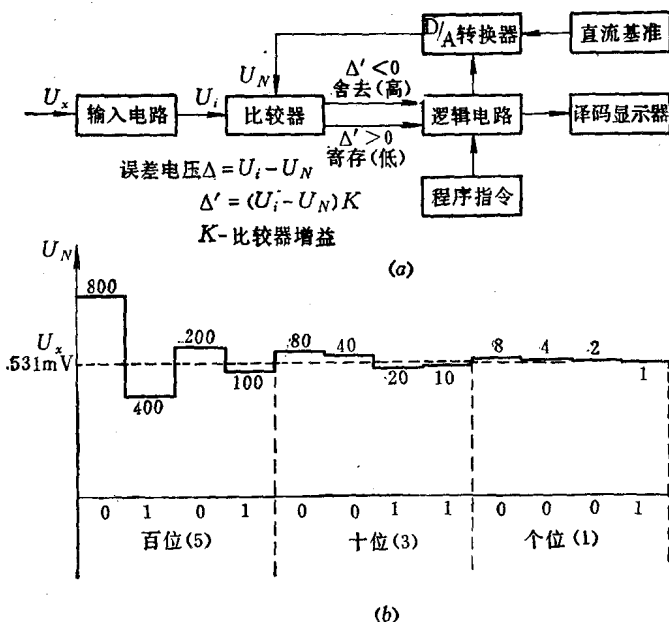


图8-1-3 逐次逼近式A/D转换器原理

(a) 方框原理图; (b) 逐次逼近型反馈编码过程图。

综上所述, 逐次逼近比较式(又称反馈编码式) A/D 变换器的基本原理, 是将被测的输入电压与幅度递减的固定基准电压逐次比较。当作为基准的比较电压的总和大于被测电压时, 逻辑系统就把它舍去, 而当比较电压的总和等于或小于被测电压时就保留下来。也就是基准电压与被测电压进行比较, 并逐次减小其差值, 使之逼近平衡。这样程序变换终了时, 作为基准的比较电压的总和就近似于被测电压, 其精度由比较电压的最小电压增量来决定。

属于此类的有 PZ5 型、PZ8 型、LM-1480 型、DM2011 型等等。

二、斜波电压比较式 V-T 转换器的工作原理

此种转换器属于间接型 A/D 转换器的一种，又称单斜率模数转换器，其原理是将被测电压 U_x 与一个随时间线性增长的斜波电压相比较，从而测量变换成为与其成正比的时间间隔，即先完成“电压-时间”(V-T)的转换（也称为时间编码式转换器），然后再用电子计数器去测量此时间间隔，其方框原理如图 8-1-4 所示。

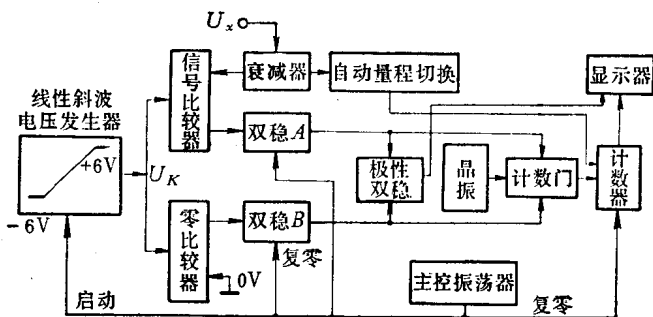


图8-1-4 斜波电压比较式V-T转换器

开始工作时，主控脉冲发生器产生复零信号，一方面使计数器复零，抹去上次测量结果，并使双稳 A 和 B 复原，处于测量准备状态，另一方面触发锯齿波发生器使它产生一个从负到正的线性变化的锯齿波电压 U_K 。

被测电压 U_x 与 U_K 同时加在两个比较器上进行比较。如果 U_x 是一个正电压，则锯齿波电压经过 0 V 时，使零比较器先动作并使双稳 B 翻转，打开计数门，使计数器开始计数（累积从晶振送过来的脉冲数）。当锯齿波从 0 V 上升到与 U_x 相等时，信号比较器动作，并使双稳 A 翻转，关闭计数门使计数停止。此时显示器即显示出被测电压的数值，而极性显示器显示出“+”的符号。相反，如果 U_x 是一个负电压，则信号比较器先动作，零比较器后

动作, 此时极性显示器显示出“-”的符号。两种情况的波形如图 8-1-5 所示。采用此种 A/D 变换器的有 DYJ-1 型、DYJ-2 型、PZ-17 型、SD-02 型等等。

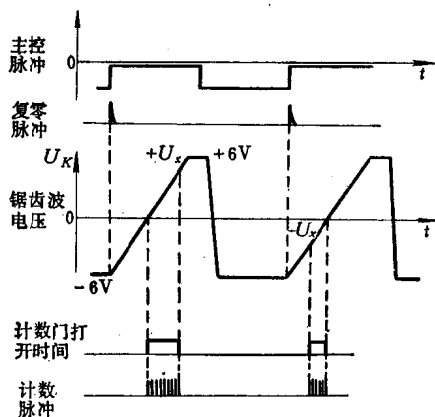


图 8-1-5 斜波电压比较式 V-T 转换器波形

三、积分式单斜率模-数转换器的工作原理

它属于电压-频率 (V-F) 变换型的一种, 它是将被测电压模拟量 U 变换成重复频率与它成正比的脉冲群, 即 $U = KF(t)$, 从而实现 A/D 转换。目前主要有: 定时间复原式 V-F 积分转换器; 定面积复原式 V-F 积分转换器; 电压反馈的 V-F 积分转换器。现例举说明定面积复原式 V-F 积分转换器工作原理, 如图 8-1-6 所示。

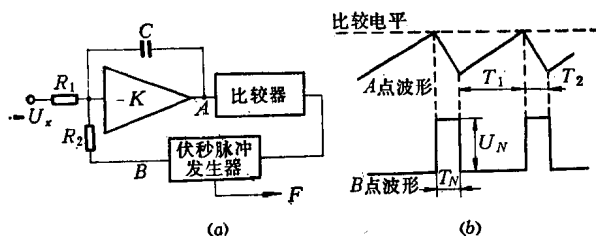


图 8-1-6 定面积复原式 V-F 积分转换器

(a) 原理方框图, (b) 波形图。