

最新电子手表原理、 使用与维修

● 王新运 谢源开 编著



·523

36

● 电子工业出版社

最新电子手表原理、 使用与维修

王新运 谢源开 编著

电子工业出版社

(京)新登字055号

内 容 提 要

本书介绍最新电子手表的工作原理、选购、使用与维修。广大电子手表用户及无线电爱好者可借助本书初步掌握CMOS数字电路技术,了解如何去市场选购和使用电子手表。出了故障,可以独立地进行维修;电子手表制造业的工程技术人员和工人借助于它,可以深入了解电子手表的原理以及如何去装配、装配中如何保证质量;电子手表修理人员借助于它,可帮助你提高寻找故障的能力。

本书对象是广大电子手表使用者、无线电爱好者,电子手表制造厂的工程技术人员和工人以及维修人员。

最新电子手表原理使用与维修

王新运 谢源开 编 著

责任编辑 魏永昌

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 4.875 字数: 105千字

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

印数: 1-20100册 定价: 2.90元

ISBN 7-5053-1793-8/TN·498

前 言

电子手表是近三十年来得到迅速发展和广泛使用的电子计时器件，它具备走时准确、功能多、售价低廉、结构新颖、使用方便等优点，大有独占手表市场鳌头之势。在我国，使用电子手表的人越来越多，早已遍及城乡各个角落，广泛受到使用者的欢迎。

电子手表尽管很小，但它代表一个国家的精密机械工业和微电子工业的水平。我国从70年代初开始试制电子手表，尽管起步较晚，但也取得了可喜的成绩，市场上早就有了国产的电子手表。

目前介绍电子手表的科普读物已有几本，但很少有涉及电子手表电路的，本书以较短的篇幅详细地介绍了电子手表发展过程中四代电子手表的原理与内部结构，并分别举例分析了它们的实际电路，书末第五章还比较系统地讲述了电子手表的装配、选购、使用与维修，以照顾各方面读者的阅读。

本书可供广大电子手表使用者、无线电爱好者、电子手表制造行业的工程技术人员和工人以及维修人员使用。限于编者的水平，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者 1991年11月于广州

KA115/04

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 电子手表的分类	(3)
第二章 第一代摆轮游丝式与第二代音叉式电 子手表电路	(6)
第一节 第一代电子手表电路	(6)
第二节 第二代电子手表电路	(10)
第三章 第三代电子手表——指针式石英表电路	(13)
第一节 石英晶体振荡器与波形整形电路	(15)
第二节 分频器	(28)
第三节 脉冲宽度压缩电路	(37)
第四节 驱动电路	(41)
第五节 步进电机	(42)
第六节 校时电路	(44)
第七节 微型扣式电池	(46)
第四章 第四代电子手表——数字式石英表电路	(54)
第一节 计数器	(55)
第二节 译码器	(70)
第三节 驱动电路	(78)
第四节 显示器件	(83)
第五节 升压电路	(100)
第六节 电平转换电路	(104)

第七节 控制电路·····	(105)
第八节 第四代电子手表电路实例分析·····	(106)
第五章 电子手表的装配、选购、使用与维修·····	(116)
第一节 电子手表的装配·····	(116)
第二节 电子手表的选购·····	(124)
第三节 电子手表的使用·····	(126)
第四节 电子手表的维修·····	(137)
附录一·····	(147)
附录二·····	(148)
参考文献·····	(149)

第一章 概 述

第一节 引 言

长期以来手表是人们的计时仪器，工作、学习、生活都需要它。随着科学技术的发展，现在的手表分为机械手表和电子手表两大类。在机械手表未出现以前，人们最先按“日出而作，日入而息”的方式劳动和生活。到了公元前一千一百年的时候，周公在洛阳建造了一座八尺高的“周公测量台”，它实际上是一个巨型的计时“圭表”。以后相继出现了“日晷”、“铜壶滴漏”、“计时砂漏瓶”和烛钟，这些都是比较原始的计时仪器，但它是我国古代劳动人民的伟大发明，是在计时仪器上的重大贡献。1655年左右欧洲人发明了摆轮游丝，才使今天的机械手表的生产成为可能。

机械手表至今已有三百多年的历史，这段漫长的历史就是不断和各种外来干扰（如位差、温度、湿度、空气密度、磁性、冲击、振动和加速度等等）作斗争的历史，也就是不断提高走时精度的历史。现在的机械手表，不仅具有防水、防震、防磁、高频和自动上条等优点，而且还有日历和周历，质量不断提高，产量成倍增加，但是，这种手表尚存在以下缺点：

（1）走时精度不高。例如市场上出售的一般机械手表，在出厂检验时每日误差 $< \pm 45$ 秒的都算合格品，即使高级

的机械手表，日差也有几秒。

(2) 每天要上发条，忘了就会停走。自动机械手表虽然可以例外，但它必须经常戴在手腕上。

(3) 轮系运转时因有磨损，需要定期清洗、润滑与调整。

(4) 零部件多，装配困难，不宜采用自动生产线生产。

一只17钻的统机表，就有130多个零部件，一个熟练的工人采用传统的手工作业一天只能安装几块。随着人们生活水平的日益提高，对手表的要求也高了，首先感到的是走时精度不够，需要经常校对时间。每天中央人民广播电台广播“刚才最后一响，是北京时间×点整”时，人们就注视着自己的手表，是否需要校准时间。其次，每天要上发条也不方便，往往由于忘记而使手表停走。1955年瑞士埃包虚(EBAUCHES S·A)首先研制了电子手表，机械手表的这些缺点也就随着电子手表的出现和发展，逐渐地得到了不同程度的克服，从而使手表工业进入了电子时代。

电子手表采用电池作为能源，摒弃了发条装置，不再需要每天上条，变成了全自动手表。电子手表的走时精度目前最好的可以作到年差只有几秒，这种精度是机械手表达不到的。电子手表的另一特点，是除了可以计时(时、分、秒、日历、周历、年历、世界时、秒表、闹表)外，一般还具有许多其它功能，这也是机械手表所不能比拟的，例如：有的电子手表可以作生理监护使用，如测量体温、脉搏和血压；有的带有电子计算器，可以进行加、减、乘、除、乘方、开方、三角函数和反三角函数等运算；有的附上收发电路，可以作步谈机使用；有的可以用来测量环境污染；有的可用口语报时，即所谓“秘书手表”，如此等等。多功能是电子手表目前

的一个重要发展方向。

第二节 电子手表的分类

所谓电子手表，就是以电池为能源的手表的统称。按时间先后一般分为如下几类。

1. 第一代电子手表

第一代电子手表又叫摆轮游丝式电子手表，1953年提出设计思想，1955年由瑞士埃包虚公司首先生产，投放市场。它是在机械手表的基础上发展起来的，工作原理和现在市售的摆轮游丝式电子钟一样，它保留了摆轮游丝系统，大胆地革除了原有的动力装置——发条，采用微型扣式电池作为能源，并且用晶体管、电阻、电容和电感线圈等组成一个无触点开关电路，定时地向摆轮游丝系统提供能量，来维持摆轮游丝的等时摆动。摆轮的摆动再通过计数叉和计数轮传动轮系和指针，用时、分、秒三个指针指示时间。

摆轮游丝式电子手表与普通的机械手表相比，机械零件约可减少10%，摆动频率比一般快摆机械手表的振荡频率（3赫）稍高。它不再需要定时上发条，也同时消除了由于发条松紧产生的摆幅变化所带来的走时误差，使走时精度稍有提高，可达 $\pm 1\sim 3$ 秒/日，但无数量级的改变。

2. 第二代电子手表

第二代电子手表又叫音叉式电子手表，1960年首先由美国布洛瓦表厂生产并上市销售。它的工作原理和现在市售的音叉钟一样，用音叉来代替摆轮游丝作为振荡元件，同样采用微型钮扣电池作为能源，用无触点开关电路定时向音叉提供

能量,来维持音叉的等时振动。音叉臂的振动再通过固定在一个臂上的一个棘爪,带动棘轮转动,从而使机芯轮系运转,最后带动时、分、秒三个指针走动。

音叉式电子手表中的音叉是用温度系数小的合金材料制成的,因此振动频率相当稳定,其频率大小一般为360~720赫,比摆轮游丝系统的振动频率高得多。振动频率愈高,愈能减小手表在不同方向和位置时振动系统因受地球引力不同而产生的走时位差,因此提高了走时精度(走时精度一般可达 $\leq \pm 1$ 分/月)。

音叉按其发展先后又有三种类型,U型音叉,H型音叉和不对称音叉,主要是为了减小走时位差、提高走时精度而逐渐设计出来的。

3. 第三代电子手表

第三代电子手表又叫指针式石英表,瑞士电子计时中心和日本精工公司于1967年分别研制出样品,1969年日本精工公司首先将这种表投放市场。它是利用石英晶体的压电效应作成的石英谐振器作为振荡元件,以代替摆轮游丝或音叉等机械振荡元件作为计时基准的并和其它元件(晶体管、电阻和电容等)一起组成石英晶体振荡器,振荡频率一般为32,768赫;这个信号再通过分频器分频,使频率降低到适合于步进电机,经驱动电路后使步进电机旋转,电机的旋转再带动轮系和指针,用时、分、秒三个指针指示时间。

由于石英的物理和化学性能极其稳定,因此振荡频率也很稳定,走时精度可以提高到 $\leq \pm 1$ 分/年,最好的一年只差几秒。

4. 第四代电子手表

第四代电子手表又叫数字式石英表或全电子手表，1970年首先在美国汗密尔顿公司研制成功，1972年在市场销售。它与第三代电子手表一样，仍采用石英谐振器作为振荡元件，不同的是它经过分频、计数、译码和驱动电路后，利用显示器件以数字的形式来显示时间。它内部没有任何机械传动装置，成为一个纯电子产品，因此不存在磨损和清洗问题，每换一次电池可以工作一年以上。由于零部件大量减少，装配简单，可以采用自动生产线生产，故成本也很低廉，成为当今电子手表的主流。

第四代电子手表由于仍用石英谐振器作为振荡元件，所以走时精度与第三代电子手表一样，一般为 $\leq \pm 1$ 分/年。

电子手表的发展和其它一样，也是和现代科学技术的发展紧密相关的。没有1948年的晶体管问世，就不可能有1955年的第一代电子手表，没有1963年的CMOS集成电路的出现，就不可能有1969年的第三代与1972年的第四代电子手表。所以，我们说它是现代科学技术的结晶。电子手表虽然小，但它却代表了一个国家精密机械工业和微电子工业的水平。从1955年第一代电子手表问世到现在，只不过经历了短短三十多年的历史，三十多年来，电子手表的发展是相当迅速的，它以雷霆万钧之势，席转传统的机械手表市场。电子手表的发展，美国、日本和香港一直处于领先地位，给瑞士这个古老的钟表工业国冲击很大，已经威胁到它的机械手表的生产，它正在急起直追，组织力量发展电子手表，企图保住手表方面的优势。可以预计，手表未来的天下是第四代电子手表，当然完全取代机械手表也是不可能的。

第二章 第一代摆轮游丝式 与第二代音叉式电 子手表电路

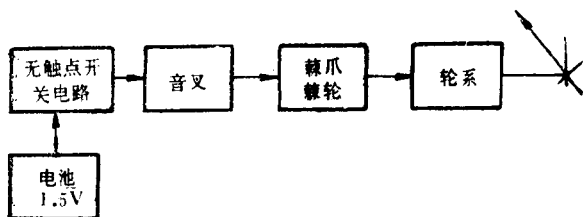
第一代与第二代电子手表由于走时精度不高，功能少，在国际市场上已基本淘汰，生产量很少。

第一节 第一代电子手表电路

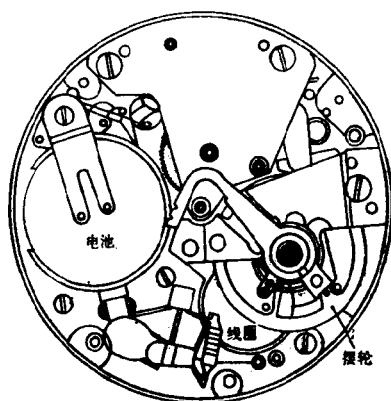
第一代电子手表的基本工作原理在第一章中已作了扼要的说明，现在来分析它的具体电路，它的方框图、机芯布置图和常用电路如图2-1所示。

图中 E 为微型扣式电池； R 为晶体管的偏置电阻； C_1 为耦合电容，起耦合和隔直的作用； C_2 为补偿电容，防止电路产生自激； L_1 是基极感应线圈； L_2 是集电极驱动线圈，这两个线圈并绕在一起并且安装在摆轮的间隙中，它们一起组成一个共射连接的晶体管开关电路，工作原理如下：

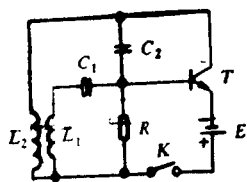
在接通电源开关 K 的瞬间，电源 E 通过线圈 L_1 和晶体管的发射结很快地向电容器 C_1 充电（由于发射结正向导通时的等效电阻较小，因此充电过程进行得很快），有基极电流出现，晶体管导通。由于晶体管的电流放大作用，在晶体管的集电极回路有一个被放大的瞬时电流，此电流流过驱动线圈 L_2 时，就产生一个瞬时磁场，此磁场与固定在摆轮上的磁



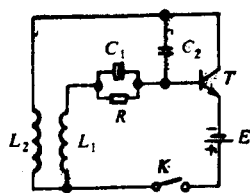
(a) 方框图



(b) 机芯布置图



(c)



(d)

图 2-1 第一代电子手表的方框图、机芯布置图和电路图

石相互作用而推斥摆轮，使摆轮起摆，当摆轮摆到极限位置后，在游丝扭力的作用下，使摆轮往回摆动，当摆轮上的磁石经过线圈时，线圈切割摆轮上两块磁石的磁力线，在线圈 L_1 中就产生了一个正负交变的感生电动势（一般通过调整，当磁石向线圈 L_1 靠拢时， L_1 中的磁力线增加，使感生电势为负；当磁石远离线圈 L_1 时，通过 L_1 中的磁力线减少，使感生电动势为正。感生电动势的正、负极性可通过改变磁石的极性来达到），磁石向线圈靠拢时所产生的负向感生电动势，由于晶体管的静态工作点在乙类附近，不能使晶体管导通， L_2 中无电流流过，因而对磁石的运动不产生影响。而磁石远离线圈 L_1 时所产生的正向感生电动势却使晶体管再次导通，于是在晶体管的集电极回路又有一个放大的瞬时电流，此电流流过线圈 L_2 时，再次产生推斥摆轮的磁场，又给摆轮一个推力，补偿摆轮在旋转中因摩擦损耗而使摆幅减小的趋势。

当摆轮摆到极限位置后，由于游丝的扭力又往回摆动时，磁石再次掠过线圈，与上述情况完全一样，如此反复循环，就实现了把电能转换成机械能的作用，电池通过晶体管开关电路间歇地向摆轮补充能量，就可以维持摆轮的等时摆动。

晶体管开关电路的设计要保证低功耗（微安级），电源接通后能自动起摆和保持摆幅的稳定。为了保证低功耗，晶体管不能工作在甲类工作状态，但如果采用固定偏压使工作点在乙类或丙类工作，摆轮又无法自动起摆，所以在图2-1(c)所示的电路中采用了电阻 R 和电容器 C_1 组成的自给偏压电路，当电源开关刚接通时，电容器 C_1 相当于短路，此时电源

有很大的基极电流通过 L_1 和发射结向 C_1 充电(晶体管此时工作于甲类), 晶体管很快导通, 由于充电时间常数很小, C_1 两端的电压很快充到 $E - V_{BE}$ 值 (V_{BE} 是晶体管发射结的正向压降值), 从而使基极电流减小, 工作点迅速下降。在晶体管截止期间, 由于时间常数 RC_1 很大, 因此电容器 C_1 通过电阻 R 的放电是很慢的。在稳定的情况下, 晶体管在截止期间 C_1 通过 R 所放掉的电荷恰好等于当 L_1 两端有正向感生电动势时晶体管导通期间 C_1 所充的电荷, 所以可以认为在摆轮摆动的一个周期内, C_1 两端电压的平均值是不变的, 相当于一个直流偏压, 此直流偏压的大小与电源电压 E 、时间常数 RC_1 的大小和 L_1 两端感生电动势的大小有关。这样就可以使工作点由开始时的甲类移向乙类(甚至丙类)而稳定下来。集电极电流在稳定情况下是间歇式的脉冲电流, 如图 2-2 所示, 其平均电流分量很小, 这样就可以大大地提高电路效率, 延长电池的使用寿命。

图 2-1(c) 中的电阻也可以与电容器 C_1 并联, 如图 2-1(d) 所示, 工作原理完全一样。

电子手表中使用的电子元件都是微型的。晶体管不用金属外壳而直接采用环氧树脂封装, 要求它的反向电流要小(用硅管), 电流放大系数 β 在 100 左右。电容器 C_1 用钽电容,



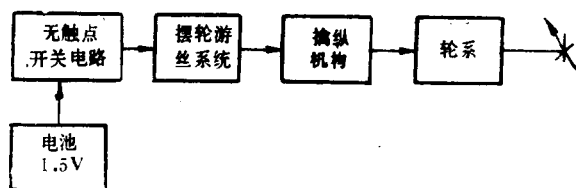
图 2-2 集电极电流波形图

它具有体积小、容量大和漏电小等优点，电容量约 $2\mu\text{F}$ 左右。 C_2 是没有特殊性能要求的低压陶瓷电容器，电容量为 $3000\sim 8000$ 皮法。电阻 R 采用微型电阻，阻值为 $2.4\sim 3$ 兆欧。线圈导线用 $\phi 0.015\sim 0.02$ 毫米的具有自粘性聚胺脂漆包线。上述所有元件装在一块小的印刷电路板上，成为电路基板。

第二节 第二代电子手表电路

第二代电子手表是等时性和抗震性都比第一代电子手表更良好的又一类型计时仪器，它的电路部分与第一代电子手表基本相同，但振荡元件完全不一样。第二代电子手表没有摆轮游丝来回摆动，而是用一个共射连接的晶体管开关电路通过线圈与磁石的相互作用周期性地向一个机械音叉提供能量，使音叉不停地往复振动，方框图、机芯布置图和常用电路图如图2-3所示。

在音叉两臂的端部各焊一个用高导磁材料制成的磁杯，磁杯中央各镶有一块磁石，这块磁石在磁杯的空间内形成一



(a)

个磁场。再在磁杯与中心磁石之间各套上一个线圈，它与二者均不接触(线圈装在塑料制造的骨架上，骨架再固定到手表的主夹板上)。位于磁石与磁杯之间的空间里。一边的线

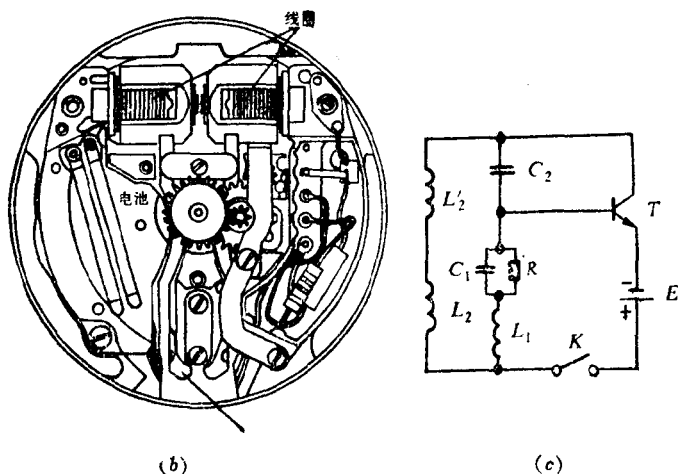


图 2-3 第二代电子手表的方框图、机芯布置图和电路图

圈只绕有驱动线圈 L_2 (用 $\phi 0.015$ 毫米线绕6000圈), 另一边的线圈除绕有驱动线圈 L_2' 外, 还绕有感应线圈 L_1 (用 $\phi 0.015$ 毫米线绕3000圈)。当电源开关 K 接通时, 有基极电流出现, 在晶体管的集电极就有放大的集电极电流流过驱动线圈 L_2 和 L_2' , 选择好磁石的极性, 使线圈的磁场对磁石产生排斥作用, 使音叉的两个臂离开平衡位置, 同时向中间运动, 音叉起振。当音叉臂运动到极限位置, 转为同时向两边运动时, 因磁石向感应线圈 L_1 靠拢, 通过 L_1 的磁力线增加, L_1 两端产生负向感生电动势, 由于晶体管工作在乙类(甚至丙类)工作状态, 此负向感生电动势不能使晶体管导通, 驱动线圈 L_2 和 L_2' 中无电流, 因此对音叉的运动不产生影响。当音叉臂运动到极限位置因弹力作用又同时返回向中间运动时, 因通过线圈 L_1 的磁力线减少, L_1 两端的感生电动势为正,