

无线电爱好者丛书

电子乐器

田进勤 编著



无线电爱好者丛书

电 子 乐 器

田进勤 编著

黄翔鹏 审阅

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书以深入浅出的笔法比较全面和系统地阐述了电子乐器的原理、设计原则及几种简易电子琴的制作方法。为便于非音乐专业的读者阅读，还讲述了乐器声学及和声方面的若干知识。

本书可供无线电爱好者阅读和实践使用，也可作为从事电子乐器研究、制作和演奏者参考。

无线电爱好者丛书

电 子 乐 器

田 进 勤 编 著

黄 翔 鹏 审 阅

责任编辑：沈 成 衡

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1984年1月 第 一 版
印张：10 页数：160 1986年6月河北第2次印刷
字数：228千字 插页：3 印数：20,001-31,000册

统一书号：15045·总2820—无6267

定价：1.65元

中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主 编：孟昭英

副主编：杜连耀

编 委：	毕德显	吴朔平	叶培大	任 朗
	吴鸿适	童志鹏	陶 枏	顾德仁
	王守觉	甘本祓	张恩虬	何国伟
	周炯槃	邱绪环	陈芳允	秦治纯
	王玉珠	周锡龄		

丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速,应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识,中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会,组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》,由人民邮电出版社出版,其余两套是《电子应用技术丛书》,由科学普及出版社出版;《电子学基础知识丛书》,由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用;介绍各种家用电子设备(如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等)的原理、制作、使用和修理;提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术,使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者,对这套丛书的编辑出版提出意见,给以帮助,以便共同努力,为普及电子科学技术知识,为实现我国四个现代化作出贡献。

前 言

电子乐器是电子技术和音乐艺术（甚至声效艺术）相结合的产物。尽管世界上早已有了许多种上市的电子乐器产品，但在我国，这一技术领域却实际上还处于起步阶段。

许多人不仅喜欢，而且希望能自己动手设计和装置适合自己“口味”的电子乐器，但大多苦于缺乏比较系统和具体实用的资料，因此或望洋兴叹，或半途而废。几年来笔者曾收到不少读者来信，希望能编写一本深入浅出、较系统地介绍电子乐器原理及制作方法的书籍。对广大读者这种热切的愿望和求知精神，笔者深为感动。在一些专家、朋友和出版界人士的鼓励 and 帮助下，终于鼓起了勇气写出了这本册子，希望在普及和发展我国电子乐器事业的道路上尽一砖一石之力。

需要读者谅解的是，由于笔者条件、阅历和个人水平的限制，使本书所涉及的具体内容（方案、原理、电路和结构等）大部分只能取材于笔者自己过去和近年来实践摸索的部分结果。本书若能起到一点抛砖引玉的作用，能使读者从中得到一点什么启发，笔者便感到由衷地快慰了。

电子技术是一个飞速发展的领先技术，要写成并出版一本在“现代科学技术速度”上没有“延迟”的书是很困难的，因此笔者并不希望肯动手的读者都照着本书的介绍依样画葫芦地去作；而是希望通过阅读，掌握其基本原理，然后根据自己的条件和今后市面上发展了的器材供应条件，举一反三，灵活应用。

笔者也希望本书能对从事电子乐器研制、设计和生产的单位或个人有一点参考作用。

从艺术方面评价电子乐器，是一个复杂的理论问题；如何正确发展和使用电子乐器，也是一个历来就有争论的问题，因此有关这两方面的内容本书都没有专门提及。

关于电子乐器方面的术语，目前国内尚无统一规定。本书中有些术语是笔者自撰的，如“音形”、“分谐波”、“调谱音”等。

本书在编写和出版过程中，中国舞台科技研究所所长王湘老师曾给了热情的帮助和指导，中央文化部文学艺术研究院中国音乐研究所黄翔鹏老师在审阅中曾提出许多宝贵意见并作了若干重要补充。在此谨对他们以及协助完成本书有关电路试验的同志们表示诚挚的谢意！

太原电子乐器研究所 田进勤

1983年1月

目 录

绪言	(1)
第一章 乐音、乐器和电子乐器	(6)
第一节 乐器声学简述	(6)
一、声音、语音、乐音和噪声	(6)
二、音阶之间的数学关系—律制问题	(12)
三、谐和性问题	(15)
四、共鸣在乐器中的作用	(17)
第二节 电子乐器和传统乐器的主要区别	(19)
一、发音方法和音强控制方法的区别	(19)
二、音色变化方面的不同	(21)
三、伴奏方法和特殊效果	(22)
第三节 电子乐器的组成	(23)
一、音阶发生器及音色处理电路	(23)
二、自动伴奏部分	(25)
第二章 电子乐器的基本功能电路	(28)
第一节 音阶发生器电路	(28)
一、电子乐器对音阶发生器的要求	(28)
二、音阶振荡器	(29)
三、LC振荡器	(30)
四、RC振荡器	(33)
五、分频器	(44)
六、数字分频式音阶发生器	(50)
第二节 颤音电路	(56)
一、正弦波颤音振荡器	(56)

二、方波和三角波颤音振荡器	(61)
三、延迟颤音	(62)
四、调幅颤音—震音	(65)
第三节 音色形成电路	(67)
一、频谱合成器	(68)
二、音色滤波器	(72)
三、形成特定音色的其它方式	(80)
第四节 音形门电路(包络产生器)	(85)
一、吹、拉音形形成电路	(85)
二、弹奏音形形成电路	(88)
三、拨奏音形形成电路	(91)
第五节 音量控制电路	(92)
一、脚踏电位器式	(93)
二、光敏电阻式	(94)
三、电磁感应式	(96)
第三章 自动伴奏器及特殊声效电路	(97)
第一节 自动打击乐节奏伴奏电路	(97)
一、自动节奏伴奏器的基本原理	(97)
二、时序脉冲发生器	(100)
三、打击乐模拟电路	(121)
第二节 自动和声伴奏电路	(131)
一、和声的基本知识	(131)
二、和声伴奏电路	(133)
第三节 自动分解和弦伴奏电路	(146)
一、分解和弦的基本知识及使用原则	(146)
二、自动分解和弦伴奏电路原理	(147)
第四节 特殊声效电路	(151)
一、调谱音	(151)

二、回荡音	(161)
三、残响效果	(165)
第四章 电子乐器的放大器和电源	(173)
第一节 放大器在电子乐器中的作用	(173)
第二节 电子乐器对放大器的要求	(177)
第三节 小信号放大器	(185)
一、基本的单级和两级放大器	(186)
二、几种发射极跟随器	(189)
三、带选频特性的放大器	(192)
四、压控放大器	(196)
五、静噪电路	(200)
第四节 终端放大器及音调控制电路	(200)
一、电子乐器用的功率放大器	(200)
二、音调控制(音色调节)和分频带输出电路	(209)
三、游移立体声	(215)
第五节 音箱及特殊共鸣	(217)
一、吉它兼音箱	(218)
二、薄板音箱及简易残响装置	(218)
三、音碗	(219)
第六节 电源的软起动和保护电路	(220)
一、软起动电源	(220)
二、电源保护电路	(222)
第五章 几种业余电子琴	(228)
第一节 电子吉它	(228)
一、电路原理	(228)
二、元件要求	(231)
三、结构与安装	(232)
四、调试与演奏方法	(236)

第二节 吹奏式电子乐器	(239)
一、电路原理	(239)
二、结构	(243)
三、调试	(247)
四、练习及演奏方法	(250)
第三节 简易自动节奏器	(252)
一、电路原理	(252)
二、印制板和调试	(258)
三、使用方法	(260)
第四节 电子口琴 (简易和声电子琴)	(260)
一、电路原理	(261)
二、排音方式和琴键结构	(263)
三、印制板及调试	(265)
四、演奏方法	(267)
第五节 简易多功能电子琴	(268)
一、旋律演奏部分	(269)
二、和声伴奏部分	(273)
三、自动打击乐伴奏部分	(277)
四、功率放大和电源部分	(283)
五、元件选择及制作	(284)
六、安装与琴键的排音方式	(289)
七、调试	(291)
八、演奏方式	(296)
九、进一步简化或进一步完善的方案	(298)
第六节 数字音源电子琴	(305)
附图 本书用到的几种 CMOS 集成电路外形及接线端子图	(310)

绪 言

电子乐器是用纯电子方法通过演奏手段产生音乐效果的音乐演奏器具。现代电子乐器和传统乐器比较起来，有着音色多变、音域宽阔、伴奏功能多样及可以产生特殊声效（如立体声、残响、回荡声效、变谱音，甚至能“听声仿音”）等许多为传统乐器所根本无法具备的特点。因此，电子乐器越来越多地引起了人们的兴趣。

在我国，五十年代末和六十年代期间，曾有少数单位和个人致力于电子乐器的试制和研制，随后停顿了很久一段时间，直到1977年后，电子乐器才又引起人们的注意。到目前为止，已有一些单位在研制和生产种类不同的电子乐器。

世界上第一台电乐器是美国人T·卡西尔(Thaddens Cahill)于1897年发明的。在他的电乐器中，是靠着铁质齿轮旋转于电磁线圈近旁产生感应而发出音调的。由于当时扬声器还没有得到应用，因此他是借助一台电话接收机来放音的^①。真空三极管发明后，苏联无线电工程师莱温·泰乐民(Leon Theremin)于1920年创制了一台由电子管组成的无键电子乐器。这是一种简单而有趣的电子乐器，有的地方干脆就用发明者的名字把它称作“泰乐民”。因为人们在演奏它时既不按键也不按弦，只是两手在空中来回“比划”（一手改变音调高度，另一手控制音强），所以也称为“空中电琴”。

^①《电子乐器手册》P147 亚兰·道格拉斯著。（牛津辞典上说是1907年发明的）

到1928年，法国作曲家兼电气工程师莫里斯·马尔托诺（Maurice Martenot）发明了用电子管振荡产生音响，用键盘控制音阶的电子乐器。直到1943年电子风琴才由美国的哈蒙顿兄弟发明。这对以后电子乐器的发展起了重要的作用。到五十年代以后，美国、苏联、西德、日本等许多国家都争先研制电子乐器。到六十年代，由于晶体管的出现，晶体管式电子乐器很快就代替了电子管式电子乐器。七十年代以来，许多电子乐器中都尽可能地采用了集成电路，特别是那些担任着较复杂的逻辑功能的电路，如各种自动伴奏装置及音阶形成系统。七十年代末，先进的电子乐器已采用微处理机组件，使乐器在功能、体积、重量、结构甚至模拟音色和实现音色变换的基本原理上都大大优越于过去任何电子乐器。

由于电子乐器在我国实际上还处于起步阶段，觉得谈一点有关概念和认识方面的问题是有必要的。

有些地方把电吉它一类乐器也叫做电子乐器，笔者认为这是不很确切的。笔者认为象电动管风琴、电吉它、电提琴等只以某些传感器及放大器为手段使音量加大，而其基本发音源还是传统乐器的，不应称作电子乐器，可以叫它“电动乐器”、“电乐器”或“电声乐器”。所以这里把目前有关电及电子的乐器分为三大类：

1. 电乐器，
2. 半电子乐器，
3. 电子乐器。

一、电乐器

这是指那些以电力为发音动力或以传感器及放大器为扩音手段的乐器。前者如电动风琴、电动管风琴等，后者如电吉

它、电琵琶、电钢琴等。现代所谓的电乐器，主要是指后面这几种。其实它们都是在传统乐器的基础上利用某种传感器（电磁检拾线圈或拾音器、传声器等），借以将某乐器原来的声振动（机械能）转化成相应的电信号，再通过电子放大器，将音量扩大之后在扬声器中放音。为了改善音色，多数电吉它放大器中都装有音色滤波器或简单的音调调节装置。为了以更大的对比度改变音色，比较考究的电吉它上常使用着不止一个，有时多至三、四个的拾音器，分别安放在沿琴弦长度的不同部位。调节这些拾音器部位的距离和从每个拾音器输出的信号强度，就可以更有效地改变电吉它的音色。

近年来在我国一些民族乐器上也进行了类似的改革，出现了电琵琶、电柳琴、电阮、电二胡等电气乐器。但另一个同样使人关心的是，如何作到在使用电方法扩大民族乐器音量的同时不改变其音色，或使其音色朝着更理想的民族化方向去发展。

二、半电子乐器

半电子乐器是指上述电乐器的进一步发展。有的文章中称它为“音乐电子转奏器”。原则上它可以将任何一种传统乐器的音色转变为与它截然不同的其它乐器的音色，或另外的音色。例如将手风琴的音色转变为单簧管的音色，将小提琴的音色转换为大提琴的音色等。它是一种音乐信息的电子转换装置。但它的音源仍是来自传统乐器。

它是根据这样的原理工作的：

首先将一种拾音器安装到某一传统乐器的适当部位，把传统乐器演奏的声音变为电信号，再送入整形电路，以便将这些不规则的波形变为适于转奏的方波或尖脉冲。然后经过分频器

或倍频器，产生出许多新的谐波成分。通过不多的几个按键，可以将这些谐波加以组合，从而形成完全不同于原来波形的新波形。这些新的信号再通过滤波器加以修饰后送入主放大器，就可以从扬声器中放出经过“转奏”的音色。

为了进一步改善声音效果，转奏器中还没有包络变换电路，可以将持续音变为断续的弹拨音，或将一个弹拨音变为持续音，使你根本听不出基本音源到底是那一种乐器。

但是不论电乐器还是半电子乐器，严格地讲都不是完全的电子乐器，因为它们的根本信号源——音源仍然来自传统乐器的机械振动，从发音到音色形成、音形*（包络）处理的整个过程不是用纯电电子方法实现的。这就是说，它还不是完全的电子乐器。

三、电子乐器

这就是本书将要较为详细地讨论的“纯”电子乐器。它从音源的产生，音色的形成，音形的产生到各种特殊声效的形成都是通过电子方法来实现的。电子风琴、电子钢琴、弦控式电子乐器和吹奏式电子乐器等都属于这类“纯”电子乐器。

由于电子声学的发展，还出现了“电子音响合成器”。它是利用电子技术的“频率及频谱合成”手段，以少数“声素”电路形成多种声效或音乐效果的电子音响装置。

简单而形象点说，电子音响合成器有点像画家的调色盘。原则上，画家用红、黄、蓝三种颜料——三基色——就可以搭配出任何其它颜色，去满足描绘各种对象的需要。类似地，声效工

* 声形是指发声时声强变化的过程，例如有弹拨音形、吹拉音形……等，笔者在过去的一些文章中曾称音形为“音型”，该术语易与音乐中的同名（异意）术语相混，故本书改称为“音形”。

907190

作人员也可通过合成器这个声音的“调色盘”，以对几种“声素”电路的逻辑联结产生出不可数计的声音。

五十年代，一些大型电子音乐合成器曾以穿孔纸带的程序控制形式合成完整的音乐作品，并在合成器终端直接刻制该合成音乐作品的唱片模盘。近代一些小型电子音乐合成器，由于使用了集成电路和微处理机的先进技术，具备了随机贮存的能力，使它可以不像过去的合成器那样，要经过很繁琐的合成手续和花费较长的合成时间才能得到一个较好的合成效果，以致很难实现即兴或即席演奏。目前先进的电子合成器甚至能以比电子乐器更快的速度去变换音色或声效，并且可以实现贮存演奏效果和自动演奏的功能。如果把音乐演奏比作绘画，那么电子合成器有点像可以灵活调色绘画的工具——调色盘，而电子乐器则有点像可以用多种固定颜色快速绘画的工具——彩色蜡笔。一般说来前者细腻而多变，但速度慢，后者线条较粗，但便于使用。因此近代电子乐器与电子合成器看来有一种互相借鉴、取长补短，在某些方面互相靠拢的趋向。

除前面所说的几种电子乐器外，还有几种能自动演奏的电子化“八音盒”。如电子自动演奏器，电子音乐钟，电子音乐盒、电子门铃等。它们虽然都是十足的电子音乐器具，但因为不能实现像乐器一样的即兴演奏，不能表达演奏者的即时艺术情感，所以算不算作电子乐器，可以讨论。

作者认为这些装置基本应属于信息“储存”装置，是特定情况下的“录声”，故不列入电子乐器为宜。

第一章 乐音、乐器和 电子乐器

第一节 乐器声学简述

一、声音、语音、乐音和噪声

如果说：“我们听到的一切都是声音”，这话固然也无不可，但这并没有说明声音的特点和本质。有人给声音下了一个很有意思的定义说：有调的声谓之音，无调的音谓之声。这就是说，声音是由有调的和无调的两个因素组成的。用汉藏语系的语音学分析方法说来，声音是由无调的子音(辅音)和有调的母音(元音)组成的。子音是气流摩擦或受阻冲击而产生的，没有可辨别的音高，是非周期的振动，很难持续，即使持续，也不悦耳。而母音则是由声带振动以及和口腔的共鸣而产生的，它是一种规律性很强的周期性持续振动，给人的感觉是悦耳的。在实际的语言现象中，子音和母音都是必不可缺的因素。子音的运用决定了语言的个性特点和清晰度。没有子音，任何语言都不可能清晰而流畅地进行。母音的运用则决定了语音的实际强度并表达着讲话者的内心情感。绝大部分的子音都是由噪声构成的，而所有母音都是由乐音构成的。这里之所以要提到上述语音学上的问题，原因在于：第一，任何器乐演奏都是对人声歌唱的模拟和艺术再造；第二，歌唱性“语言”中包含了远比任何乐器更为丰富的音乐“材料”或“素材”。作为乐