

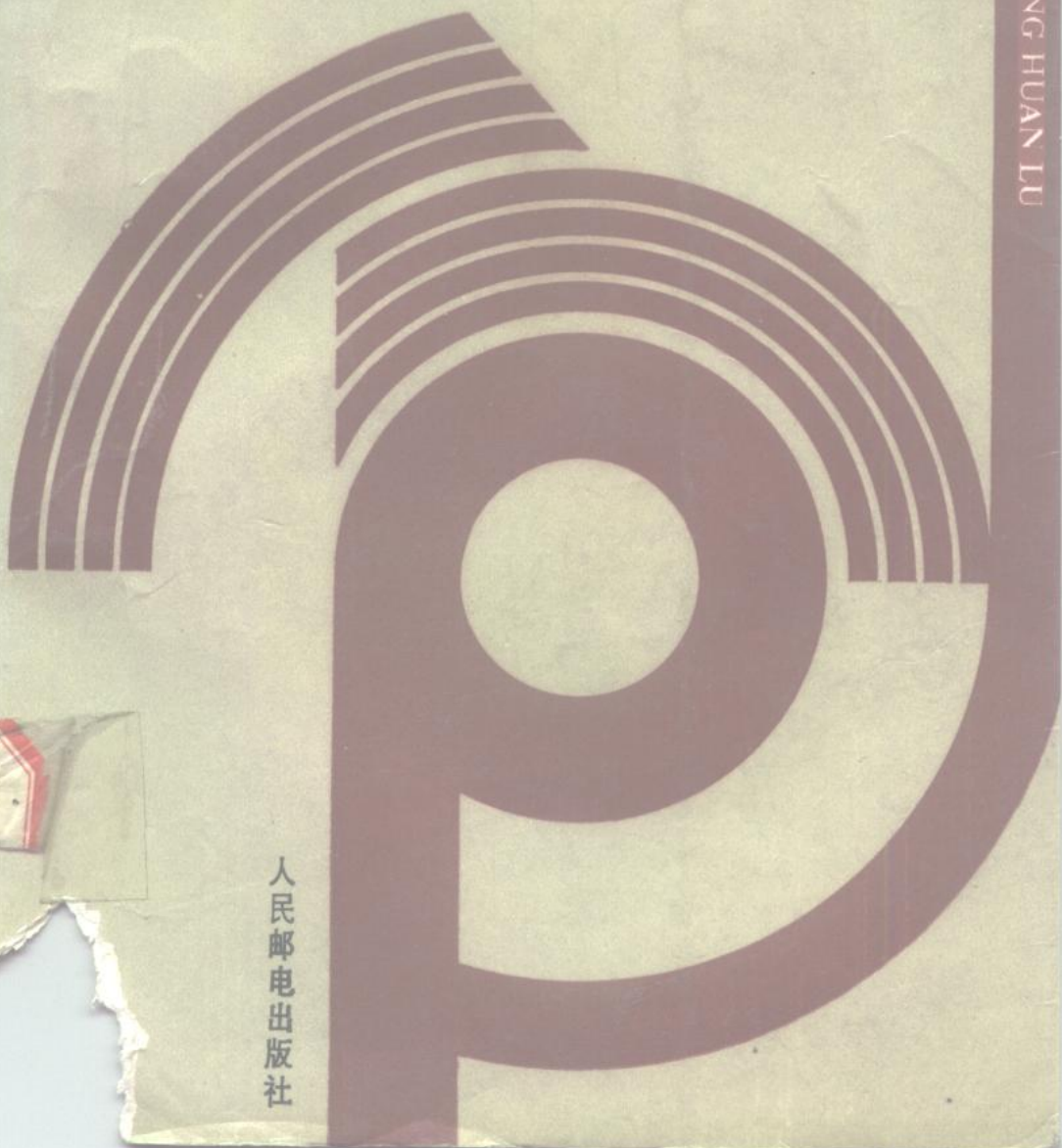
JICHENG SUO XIANGLUAN LU

集成锁相环路

——原理、特性、应用

万心平 张厥盛 编著

人民邮电出版社



集成锁相环路

—原理 特性 应用—

万心平 张厥盛 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

全书共分两部分。第一部分（第一章、第二章）属“锁相环原理与应用”部分，作为学习的入门材料。第二部分（第三章至第七章）属“锁相环集成电路与性能测试”部分。书中涉及到单片集成鉴相器、单片集成压控振荡器、通用单片集成锁相环、单片集成频率合成器和专用单片集成锁相环三百余种；从工程实际出发，详细介绍了其中七十余种有代表性的电路；为方便读者，书末附有国内外典型产品的型号、生产厂家、特性和电路。

本书可供电子学科的师生作教科书或教学参考书，也便于电子工作者更好地应用集成锁相环组件。

集成锁相环路

——原理 特性 应用——

方心平、张盛盛 编著

责任编辑：徐德霆

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京顺义兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本：850×1168 1/32 1990年12月 第一版

印张：15 8/32 页数：244 1990年12月 北京第1次印刷

字数：401 千字 插页：2 印数：1—3 000 册

ISBN7-115-04397-3/TN·420

定价：7.20元

前 言

目前,锁相技术已日趋普及,应用也更加广泛。从1974年开始,我们先后编写了“锁相环路原理与应用”(1976年,1984年修订再版)、“同步控制原理”(1980年)、“通信工程中的锁相环路”(1980年)和“锁相技术”(1985年)等书籍与教材,顺应了这一发展的需要。近几年来,数字电路与集成电路技术的发展已加速了锁相环路的数字化和集成化。与分立元件锁相环路相比,集成锁相环路具有成本低、体积小、性能可靠、使用方便以及多功能等一系列优点,因而受到人们的关注。目前,国外各种类型的锁相集成部件与环路的产品已不下数百个品种。因此,不少电子工作者迫切希望了解这方面的知识,以便更好地应用这类组件。使读者感到不方便的是,在这方面的资料大多分散刊载在国外各公司的产品样本和杂志上,尚没有这方面的专著。

由于教学和科研工作的需要,我们近年来广泛收集了这方面的资料,曾先后为本校和有关工厂编写过“集成锁相环路讲义”和“集成锁相环路原理与应用综述”等材料,在此基础上,考虑到近年来的发展,经进一步充实编成此书。书中涉及到的单片集成鉴相器、单片集成压控振荡器、通用单片集成锁相环、单片集成频率合成器和专用单片集成锁相环共三百余种,在正文中详细介绍了其中七十余种有代表性的电路,在附录中简要说明了二十五种常见电路。在内容的安排上,从工程实际出发,力求使读者对各种锁相集成电路的组成、工作原理和典型应用有较明确的概念。为了使读者不必翻阅更多的参考资料,就能顺利阅读此书,在书的开头还增加了锁相环路原理与应用两章入门材料。此外,为了方便读者,在书的末尾还列出了国内外大量锁相集成电路的型号、主要特性、生产

厂家和某些常见电路。

全书包括正文七章、附录十个。绪论、第二、三、六章和附录一至十由万心平执笔；第一、四、五、七章由张厥盛执笔。

本书在编写过程中，参阅了大量国内外出版的书刊、手册、资料，为避免冗繁，恕不一一列举，书后只给出了主要部分，供读者参考，在此谨向有关作者及提供资料的同志致谢。

由于时间仓促及编者水平有限，书中错误和不妥之处恳请读者批评指正。

编著者

一九八八年六月

于西安电子科技大学

绪 论

一、锁相技术发展概况

早在1932年,锁相技术首先被用在同步接收中,为同步检波提供一个与输入信号载波同频同相的本地参考信号。同步检波具有能在低信噪比条件下工作及没有大信号检波的一系列失真等优点,而受到人们关注。但由于电路构成复杂以及成本高等原因,当时没有得到广泛应用。

锁相环路(PLL)的普遍应用是1943年从黑白电视机水平同步电路中开始的,它可以减少噪声对同步的影响,使电视图象的同步性能得到很大的改善。1954年锁相环又进一步用于彩色电视机的色同步信号提取。

锁相环在空间技术中的应用是从1956年国外发射第一批人造卫星开始的。这些飞行器载有低功率(约10mW)连续波发射机,接收的距离在数百乃至数千公里以上,因而接收的信号是异常微弱的,加之有多普勒频移及发射机振荡器的频率漂移,接收机的带宽必须很宽才行,而噪声强度是与带宽成正比的,这样信噪比就相当低,约在-10dB~-30dB的数量级上。此时只有采用锁相环路做成的窄带锁相跟踪接收机才能把深埋在噪声中的信号提取出来,普通的接收技术是无能为力的。所以空间技术的发展促进了人们对锁相环路及其理论的进一步探讨,极大地推动着锁相技术的发展。

六十年代以后,锁相技术就在通信、雷达、航天、航海、测量仪表、计算机、红外、激光、原子能、电视、立体声、马达控制以及工业、地质等技术部门获得了广泛的应用。

由于锁相环路在电子技术各领域的广泛应用,使它逐渐成为电

子设备中常用的一种基本部件，为便于调整、降低成本和提高可靠性，使它在各种电子设备中更好地发挥作用，迫切希望它能集成化、数字化、小型化和通用化。国外自六十年代末第一个锁相环集成产品问世以来，十几年间发展极为迅速，产品种类繁多，工艺日新月异。目前，除某些特殊用途的锁相环路外，几乎全部集成化了，已生产出数百个品种。国内虽然起步较晚，但在锁相环集成电路生产上，也取得了可喜的进展。锁相环集成电路由于性能优良、价格便宜、使用方便，正被许多电子设备所采用。当前集成锁相环路已成为锁相技术发展的一项重要进展。

二、集成锁相环路的特点

锁相环是一个相位反馈控制系统，其最大特点是可以不用电感线圈，实现对输入信号频率和相位的自动跟踪。在结构上的特点和有源滤波器相同，但有源滤波器由于受到使用带宽及要求采用精密RC元件的限制，难以实现集成化。而在功能上的特点与有源滤波器不同，它具有对信号频率和相位的自动跟踪能力。由于锁相环易于集成化，且性能优越，所以集成锁相环路是继集成运算放大器之后，又一类用途广泛的集成电路。此外，数字集成电路技术对扩大锁相环的功能和提高锁相环的性能有很大的帮助，因此，在集成锁相环路中，尤其在数字式集成频率合成器中被大量采用，使集成锁相环路成为模拟技术和数字技术相结合的优秀典型。正因为如此，集成锁相环路已成为引人注目的功能器件。

三、集成锁相环路的分类

集成锁相环路种类很多。按电路形式可分为模拟式与数字式两大类。

按用途，无论模拟式还是数字式的又都可分为通用型与专用型两种。通用型的有“多功能”与“部分多功能”两种设计，例如鉴相器、模拟相乘器、压控振荡器、波形发生器、在内部集成部件之

间不直接连线的单片集成锁相环等，因为有很多的功能，就属于多功能设计的产品；而各集成部件之间在内部有部分连线的单片集成锁相环，它只能完成几种功能，就属于部分多功能设计产品。专用型的均为单功能设计，像调频立体声解调环（MPX）、四声解调（CD-4）、正交色差信号的同步检波环，单片集成频率合成器，以及频率合成器中的参考振荡器、前置分频器、程序分频器和数字混频器等，就属于这种类型的产品。现将上述分类示于表0-1；

表0-1 集成锁相环分类

集成锁相环路	模拟式	通用型 (多功能、部分多功能)	- VCO - PD - PD+VCO+AMP - PD+VCO+施密特触发器
		专用型 (单一功能)	- 解调用—AM/FM, MPX, CD-4 - 电视用—色同步环、行振荡环
	数字式	通用型 (多功能、部分多功能)	- VCO, VCM - PD+AMP - PD+VCO - PD+参考分频+程序分频, 计数器
		专用型 (单一功能)	- 民用合成器 - 电机控制 - 合成器部件 - 参考振荡器 - 前置分频器 - 程序分频器 - 数字混频器

四、集成锁相环路的工艺特点与频率范围

集成锁相环路的工艺比较复杂，涉及的工艺种类较多。

一般说来，模拟型以线性集成电路为主，几乎都是双极性的。

数字型是用逻辑电路构成的，它又以TTL（包括HTTL、LS-TTL、STTL等）电路为主，在要求高速的逻辑电路中采用ECL电路。已广泛使用的单片集成频率合成器，大部分采用CMOS电路，这是考虑到，虽然其频率响应不一定好。但它具有噪声容限大、集成度高、功耗小、成本低等优点，引人注目。目前，国外正引入

I^2L 和LOC MOS工艺, 並把它用来制造大规模多功能单片集成频率合成器获得成功。

模拟、数字集成电路混合在一个单片内和多种电路工艺的结合使用是集成锁相环路工艺上的重要特点。现将集成锁相环路的工艺特点与频率范围列成表0-2。

表0-2 集成锁相环路工艺特点与频率范围

集成锁相环路	模拟型—双极性电路 (0~50MHz)	
	数字型	双极性电路
		TTL(0~25MHz) LSTTL(0~50MHz) STTL(0~85MHz) ECL(0~250MHz) ECL+分立VCO(0~1GHz) ECL+分立VCO+分立混频器(>1GHz) I^2L +分立VCO(0~1GHz)
		单极性电路

五、本书内容

全书共分两部分: 第一部分包括第一、二章, 属“锁相环原理与应用”部分。第一章从锁相环路的基本组成出发, 着重从物理概念上阐述锁相环路的工作原理和基本特性, 作为学习锁相环路的入门材料。第二章综述锁相环路在各方面的应用, 並着重介绍适合于集成锁相环路的某些应用, 作为后继各章中集成锁相环路具体应用的理论基础; 第二部分包括第三、四、五、六、七章, 属“集成锁相环路与性能测试”部分。第三章是集成锁相环路的基本部件之一——单片集成鉴相器, 在这章中详细介绍了各种典型的模拟乘法器、电平比较型数字鉴相器和边沿触发型鉴相器的线路原理与主要应用。第四章是集成锁相环路的另一个基本部件——单片压控振荡器, 在这章中详细介绍了各种典型的RC压控振荡器、LC压控振荡器和晶体压控振荡器的线路原理与主要应用, 其中包括各种典型的

压控函数（或波形）发生器的线路原理与应用。第五章首先对通用单片集成锁相环路的种类和特点作了概述，然后系统地介绍各种典型的低频、高频和超高频模拟与数字式的通用单片集成锁相环的线路原理与主要应用。第六章是专用集成锁相环路的一个重要分支——单片集成锁相环频率合成器。这一章首先对单片集成频率合成器的种类、特点和锁相环频率合成器的组成作了全面概述，然后介绍了频率合成器两个主要部件——程序分频器和变模前置分频器，最后用较大的篇幅对各种典型的四位数据总线、并行码、串行码和BCD码输入编程的中、大规模单片集成锁相环频率合成器电路的组成、特点与主要应用作了详细介绍。第七章结合典型的单片集成锁相环路，简要地介绍了环路主要性能的测量。末尾十个附录附有国内外部分典型产品的型号、生产厂家、特性和电路供读者参考。

考虑到用于FM立体声解码器、彩色电视色处理、电视调谐、马达速度控制和室内电力线载波电话等设备中的专用集成锁相环路与系统结合十分紧密，在本书中不便单独介绍，故在附录五中列出了部分专用单片集成锁相环路产品型号，有兴趣的读者可参阅有关专著。

目 录

前言

绪论

一、锁相技术发展概况	(1)
二、集成锁相环路的特点	(2)
三、集成锁相环路的分类	(2)
四、集成锁相环路的工艺特点与频率范围	(3)
五、本书内容	(4)

第一章 锁相环路原理与特性 (1)

第一节 锁相环路工作原理 (1)

一、组成	(1)
二、环路方程	(5)
三、一阶锁相环路的工作过程	(6)

第二节 跟踪特性 (9)

一、环路传递函数	(9)
二、锁相环路的暂态响应	(14)
三、锁相环路的稳态相差	(17)
四、对输入正弦调频信号的稳态响应	(19)
五、稳定性	(20)
六、对输入噪声的响应	(22)
七、对环内压控振荡器相位噪声的响应	(25)

第三节 捕获特性 (27)

一、采用无源比例积分滤波器的二阶环.....	(27)
二、捕获方法.....	(31)
第四节 数字锁相环.....	(32)
第二章 锁相环路应用.....	(35)
第一节 概述.....	(35)
一、锁相环路的基本特性.....	(35)
二、锁相环路的应用领域.....	(36)
第二节 锁相稳频.....	(37)
一、锁相倍频与分频.....	(38)
二、频率变换.....	(39)
三、频率合成.....	(41)
第三节 锁相调制.....	(42)
一、一点注入锁相调频.....	(42)
二、两点注入锁相调频.....	(43)
三、FSK信号产生.....	(44)
第四节 锁相解调.....	(45)
一、FM、PM、FSK信号解调器.....	(46)
二、AM、DSB/SC信号同步检波器.....	(48)
三、PSK信号相干解调器.....	(51)
第五节 锁相同步.....	(52)
一、载波同步.....	(52)
二、码元同步.....	(54)
三、网同步.....	(56)
第六节 其它应用.....	(60)
一、电机速度控制.....	(60)
二、锁相移相.....	(61)
三、同步滤波.....	(62)

第三章 单片集成鉴相器	(65)
第一节 概述.....	(65)
第二节 模拟相乘器的工作原理.....	(66)
一、双平衡模拟相乘器.....	(66)
二、改进的双平衡模拟相乘器.....	(73)
三、线性化双平衡模拟相乘器.....	(74)
第三节 模拟相乘器的应用.....	(77)
一、鉴相器.....	(77)
二、平衡调制器.....	(83)
三、调幅器.....	(85)
四、振幅检波器.....	(86)
五、乘积检波器.....	(87)
六、鉴频器.....	(87)
七、数学运算.....	(88)
八、应用情况比较.....	(89)
第四节 单片集成双平衡模拟相乘器.....	(90)
一、MC1496/MC1596 (F14 96 /F 1596、XD-5202)	(90)
二、TA7310P平衡调制——解调器.....	(100)
第五节 单片集成线性化双平衡模拟相乘器.....	(103)
一、MC1495 L/MC1595 L.....	(104)
二、其它模拟相乘器.....	(114)
第六节 门鉴相器.....	(122)
一、或门鉴相器.....	(123)
二、异或门鉴相器.....	(125)
三、典型门鉴相器产品举例.....	(127)
第七节 鉴频——鉴相器的基本原理.....	(129)

一、鉴频——鉴相器的功能.....	(129)
二、鉴相原理.....	(131)
三、鉴频原理.....	(133)
第八节 典型集成鉴频——鉴相器.....	(136)
一、MC4044/MC4344.....	(136)
二、MC12040/MC12540.....	(149)
三、931鉴频——鉴相器	(152)
第四章 集成压控振荡器.....	(158)
第一节 概述.....	(158)
第二节 集成晶体压控振荡器.....	(159)
一、一般原理.....	(159)
二、MC12061/MC12561集成晶体压 控振荡器.....	(163)
第三节 集成LC压控振荡器.....	(168)
一、一般原理.....	(168)
二、MC1648.....	(169)
第四节 积分—施密特触发电路型压控 多谐振荡器.....	(173)
一、基本原理.....	(173)
二、NE566/SE566.....	(175)
三、ICL8038 (5G8038) 函数波形发 生 器.....	(181)
四、XR—2206函数发生器.....	(187)
第五节 射极耦合多谐振荡型压控振荡器.....	(195)
一、基本原理.....	(195)
二、MC1658压控多谐振荡器.....	(197)
三、MC4324/MC4024双压控多谐振荡器.....	(199)
第六节 数字集成压控振荡器.....	(202)
一、SN54LS324/SN74LS324~SN54LS327/	

SN74LS327.....	(202)
二、SN54LS124/SN74LS124双压控振荡器.....	(205)
三、SN74LS724.....	(208)
第五章 单片集成锁相环.....	(210)
第一节 高频单片集成锁相环.....	(210)
一、NE—560.....	(210)
二、NE—561.....	(216)
三、NE—562 (L—562)	(221)
四、HA—2800.....	(233)
五、XR—210.....	(237)
第二节 超高频单片集成锁相环.....	(239)
一、电路原理与特点.....	(240)
二、应用电路举例.....	(248)
第三节 低频单片集成锁相环.....	(252)
一、NE—565 (BG322、X—38)	(252)
二、SE/NE—567.....	(261)
三、HA—2820.....	(270)
第四节 CMOS单片集成锁相环.....	(270)
一、HEF 4046B	(272)
二、MM54HC4046/MM74HC4046.....	(280)
第五节 单片集成数字锁相环.....	(284)
一、概述.....	(284)
二、工作原理.....	(286)
第六章 集成锁相环频率合成器.....	(289)
第一节 概述.....	(289)
一、集成频率合成器发展概况.....	(289)
二、集成频率合成器的种类.....	(289)

三、集成锁相环频率合成器的优点	(290)
第二节 锁相环频率合成器的组成	(292)
一、单环锁相频率合成器	(292)
二、变模前置分频锁相环频率合成器	(297)
三、多环锁相频率合成器	(300)
四、小数分频锁相频率合成器	(302)
第三节 可变程序分频器	(307)
一、可变程序分频器的分类	(307)
二、中规模集成TTL可变十分频器	(309)
三、中规模集成TTL可变 $\div N$ 分频器	(319)
第四节 变模前置分频器	(322)
一、双模前置分频器	(322)
二、四模前置分频器	(332)
第五节 中规模组合集成锁相环频率合成器	(335)
一、一般组成	(335)
二、E 12014/ 12514	(336)
三、应用举例	(337)
第六节 中规模单片集成锁相环频率合成器	(340)
一、电路说明	(340)
二、应用举例	(344)
第七节 四位数据总线输入编程的大规模	
模单片集成锁相环频率合成器	(347)
一、MC145145-1	(347)
二、MC 145144	(357)
三、MC145146-1	(359)
四、N J8820	(364)
第八节 并行码输入编程的大规模单片集成	
锁相环频率合成器	(367)
一、MC145151-1	(367)

二、MC145152-1.....	(370)
第九节 串行码输入编程的大规模单片	
集成锁相环频率合成器.....	(375)
一、MC145155-1.....	(375)
二、MC 145156-1.....	(379)
三、MC145157-1, MC 145158-1.....	(383)
四、MC145159-1.....	(386)
第十节 BCD码输入编程的大规模单片	
集成锁相环频率合成器.....	(394)
一、HEF4750/4751.....	(394)
二、MC145163.....	(406)
三、NJ8811.....	(408)
第七章 集成PLL参数测量.....	(411)
一、压控振荡器自由振荡频率 f_0 的测量.....	(411)
二、VCO增益 K_0 的测量.....	(412)
三、鉴相器增益 K_d 的测量.....	(412)
四、同步带 $\Delta\omega_H$ 与捕获带 $\Delta\omega_P$ 的测量.....	(414)
五、无阻尼振荡频率 ω_n 与阻尼系数 ζ 的测量.....	(416)
六、闭环频率响应 $H(j\Omega)$ 的测量.....	(418)
附录一 国外部分单片集成鉴相器.....	(421)
附录二 国外部分单片集成压控振荡器.....	(422)
附录三 国外部分通用单片集成锁相环.....	(424)
附录四 国外部分单片集成频率合成器与部件.....	(427)
附录五 国外部分专用单片集成锁相环.....	(433)
附录六 国内集成锁相环介绍.....	(435)
附录七 单片集成鉴相器.....	(438)
一、MC 12000.....	(438)
二、MC12002/12502.....	(438)