

高频信号发生器原理、 维修与检定

常新华 林春勋 等编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高频信号发生器原理、维修与检定

常新华 林春勋 主编

电子工业出版社

内 容 简 介

高频信号发生器是信号发生器大家族中一个非常重要的组成部分。它广泛用于广播、电视、通讯、雷达、电子对抗及电子测量各个方面。

本书着重介绍高频信号发生器的三种类型,即调谐信号发生器、锁相信号发生器、合成信号发生器的构成、特点、基本原理以及现代高频信号发生器中采用的一些新技术、新电路。针对当前通信及精密测量等用户对高频信号发生器的频谱纯度尤其是单边带相位噪声要求的呼声越来越高的情况,本书第四章专门介绍了高纯度信号发生器的特点、要求、构成和测量方法。本书的第六章到第十二章是介绍国内大量使用的各种高频信号发生器的工作原理、常见故障分析及修理办法。最后介绍了维修后的计量、检定方法及自动检测技术。

本书是本行业专家多年工作经验的总结,内容丰富、实用,可作为从事高频信号发生器研制、生产、使用、维修技术人员的参考书,也可作为培养高频信号发生器专业人员,特别是维修计量人员的基础教材,也是一本资料齐全的技术手册。

高频信号发生器原理、维修与检定

常新华 林春勋 主编

责任编辑:祖振升 范传立(特约)

*

电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱(100036)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社计算机排版室排版

北京市顺义县李史山印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:28 插页:5 字数:720千字

1996年5月第一版 1996年5月北京第一次印刷

印数:1000册 定价:50.00元

ISBN 7-5053-3301-1/TN·914

前 言

高频信号发生器是指能产生频率、幅度已校准的正弦信号,其频率范围部分或全部覆盖100kHz~1GHz(允许向外延伸)并具有—种或多种调制的信号发生器。在电子测量中,任何电子设备、整机、零部件的参数及技术特性都必须在电信号的激励下才能测量与表征。信号发生器是电子测量中广泛使用的仪器,高频信号发生器所占的频段又是通信、广播、电视、雷达等使用最密集的频段。

电子部科技质量监督司为着眼普及信号发生器的基础知识,培养信号发生器计量、测试、使用、维修的专业人才,提高其理论水平和实践能力,同时也为了满足广大使用、维修信号发生器的技术人员的需要,特组织编写了本书。

本书包括原理、维修、检定及自动测试技术等部分,共十四章。另外,还附录了国内外射频信号发生器的标准索引,以及国内外高频信号发生器的主要生产厂商及产品情况等内容,本书是本行业专家多年研制、生产、使用高频信号发生器的工作总结,内容丰富实用,适用于从事高频信号发生器生产、使用、计量、维修的广大技术人员参考,也可作为培养高频信号发生器的专业人员特别是计量、维修人员的基础教材,也是一本资料齐全的高频信号发生器技术手册。

第一章为概述部分,介绍了高频信号发生器的特点、分类、简史和发展趋势。第二章到第五章是原理部分。第二章是介绍传统的调谐信号发生器的工作原理,从整机到各单元电路的构成,原理及常用的电路作了较详细的论述。第三章是介绍锁相信号器的工作原理,主要论述了锁相信号发生器的特点及基本工作原理,对其锁相环路中涉及的压控振荡器、晶体振荡器、混频器、鉴相器、环路滤波器等单元电路作了详细介绍。第四章主要介绍了高频信号发生器的频谱纯度的重要性及其表征方式,高纯度信号发生器的特点、主要指标、测量方法、工作原理以及发展动态。第五章着重介绍了当前信号发生器发展的主导产品,即合成信号发生器的特点、发展动向以及所使用的数字锁相环、小数分频、数字电流型鉴相器、智能合成信号发生器的自检、自诊断、自校、自修正功能及其系统软件等新技术。

第六章到第十二章是维修部分主要针对我国大量使用的各种高频信号发生器选出几种有代表性,量大面广的产品,从基本原理开始到各单元电路的故障分析、维修,直至整机的常见故障现象,产生故障的原因及排除方法,都进行了详细的阐述。第十二章为高频信号发生器的检定部分,编入了各类信号发生器的检定规程8个,其中5个代号为JJG的是国家级检定规程,1个代号为JJG(电子)的是部级检定规程,另外2个是报批稿或是试行检定规程。

随着科学技术的发展,要求高频信号发生器(特别是合成信号发生器)测量数据多、测量要求高、误差处理量大、测量花费时间长,因此实现高频信号发生器的自动检测成为当前主要发展方向,本书十四章着重介绍了利用HP8902A测量接收机等测量仪器构成自动测试系统,以及各种技术指标的自动检测方法和误差分析。

本书在编写过程中,国防科工委、国家计量院、电子部的有关领导和有关部门给予了大力支持和帮助,国内主要生产厂家以及有关研究所作了许多具体工作,在此一并表示衷心地

感谢,由于时间紧,掌握的资料有限,对一些新动态、新技术研究还不够,一些新产品也来不及编入,文中错漏之处,亦在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
1995.10

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 高频信号发生器的特点与分类	(1)
一、高频信号发生器的特点与地位	(1)
二、高频信号发生器的分类	(1)
第二节 射频信号发生器的发展动态	(3)
一、射频信号发生器发展简史	(3)
二、射频信号发生器的发展动态	(4)
第二章 传统射频信号发生器的工作原理	(10)
第一节 传统射频信号发生器的工作原理	(10)
第二节 传统射频信号发生器的主振级	(13)
一、主振级的作用及要求	(13)
二、LC 正弦振荡器原理和电路	(14)
三、主振级频率的稳定	(17)
四、主振级幅度的稳定	(21)
第三节 传统射频信号发生器的调频	(21)
一、变容二极管调频的原理	(23)
二、调频振荡器的实用调频电路	(23)
第四节 传统射频信号发生器的调幅	(26)
一、二极管环形调制器	(26)
二、PIN 调制器	(28)
三、视频调制器	(29)
第五节 传统射频信号发生器中的倍频器	(31)
一、宽带二倍频的方案	(31)
二、电路形式	(31)
三、宽带二倍频器实用电路	(32)
第六节 射频信号发生器的输出级电路	(33)
一、输出级电路的作用和要求	(33)
二、宽带放大器电路	(33)
三、自动电平控制电路	(35)
四、射频信号发生器的衰减器	(36)
第三章 锁相信号发生器的工作原理	(39)
第一节 概述	(39)
一、锁相信号发生器的特点	(39)
二、锁相信号发生器的操作特点	(40)
第二节 锁相信号发生器的基本原理	(41)

第三节 锁相信号发生器射频电路工作原理	(43)
一、压控振荡器的工作原理	(44)
二、晶体振荡器的工作原理	(45)
三、混频器的工作原理	(46)
四、输出电平控制原理	(46)
第四节 锁相信号发生器的锁相电路工作原理	(47)
一、鉴相器工作原理	(47)
二、环路滤波器工作原理	(49)
第五节 控制电路工作原理	(49)
一、调制状态置定单元	(49)
二、频率置定单元	(50)
三、输出电平置定单元	(50)
第六节 存储电路原理	(51)
 第四章 高纯度信号发生器	(53)
第一节 概述	(53)
一、信号源频谱纯度及其表征量	(53)
二、高纯度信号发生器的特点	(56)
三、基本工作原理	(58)
四、高纯度锁相信号源的功能特点及主要技术指标	(59)
五、高纯度信号发生器的发展与动态	(60)
第二节 高纯度锁相信号源主要电路工作原理	(67)
一、信号产生部分的工作原理	(67)
二、锁相环与调频锁相	(78)
第三节 输出电路	(86)
一、输出电路工作原理	(86)
二、幅度调制器	(86)
三、输出宽带放大器	(88)
四、自动电平控制(ALC)电路	(89)
五、射频保险丝	(90)
六、步进衰减器	(90)
第四节 电源	(90)
第五节 高纯度锁相信号源结构设计的特点	(91)
一、良好的屏蔽与隔离	(91)
二、严格的抗震措施	(91)
第六节 高纯度锁相信号发生器频谱特征的测量方法	(92)
一、单边带相位噪声的测量方法	(92)
二、谐波、分谐波含量及杂散的测量	(94)
三、不需要的调制(寄生调制)分量的测量	(94)
 第五章 合成信号发生器工作原理	(96)
第一节 概述	(96)

一、合成信号发生器的特点	(96)
二、基本方框图及工作原理	(98)
三、操作方法	(100)
四、发展与动态	(103)
第二节 频率合成的基本原理	(104)
一、直接合成的基本原理及特点	(104)
二、间接合成的基本原理及特点	(105)
第三节 锁相环的基本原理	(107)
一、锁相环的基本理论	(107)
二、鉴相器电路工作原理	(108)
三、分频器工作原理	(109)
四、压控振荡器工作原理	(110)
五、环路中的低通滤波器电路及工作原理	(111)
第四节 QF1480 型合成信号发生器主要电路工作原理	(112)
一、10MHz 基准晶振电路工作原理	(112)
二、主锁相环电路及其工作原理	(113)
三、800MHz/40MHz 锁相环电路及其工作原理	(115)
四、分频器、鉴相器、压控振荡器、滤波器的介绍	(116)
五、输出电路(组件)工作原理	(118)
六、控制电路(组件)工作原理	(120)
七、衰减器电路(组件)介绍	(120)
第五节 智能合成信号发生器介绍	(122)
一、智能合成信号发生器的特点	(122)
二、智能合成信号发生器的系统软件介绍	(123)
三、智能合成信号发生器接口介绍	(124)
四、智能合成信号发生器中的自诊断和自修正技术	(125)
 第六章 XFC-6A 型标准信号发生器的维修	(129)
第一节 概述	(129)
一、XFC-6A 型方框图(图 6-1)	(129)
二、主要技术特征	(130)
第二节 仪器基本工作原理及维修	(131)
一、主振器及调频电路工作原理及故障分析	(131)
二、载波指示系统电路、稳幅电路工作原理及故障分析	(135)
三、宽带放大器及调幅器工作原理及故障分析	(136)
四、高频衰减器工作原理及故障分析	(138)
五、视频调制器工作原理及故障分析	(140)
第三节 调制器及控制部分工作原理及维修	(140)
一、调制器的工作原理及故障分析	(140)
二、控制部分工作原理	(141)
第四节 电源部分工作原理及故障分析	(143)
第五节 整机故障分析	(144)

第七章 XG2 型标准信号发生器的维修	(147)
第一节 概述	(147)
第二节 整机工作原理简述	(150)
一、仪器方框图	(150)
二、电路及工作原理简介	(150)
第三节 整机结构特点	(158)
一、结构特点	(158)
二、仪器结构各部分的拆除	(159)
三、仪器机械故障分析及修理	(163)
第四节 几种主要技术指标的调整	(164)
第五节 整机故障分析及维修	(167)
一、直流供电电压的检查	(167)
二、整机各种低频信号连接	(168)
三、高频载波输出的故障分析	(170)
四、高频部分各级工作状态检查及维修	(171)
五、调幅度输出的故障分析及维修	(173)
六、调频输出的故障分析及维修	(175)
七、外同步和同步放大盒的故障分析与维修	(177)
八、载波输出电压波形失真的检修	(178)
九、泄漏的检修	(178)
第六节 低频振荡器的检查维修	(178)
一、原理简介	(178)
二、低频振荡器的维修	(179)
第七节 面板控制部分的检修	(182)
一、工作原理简介	(182)
二、调制表放大器的故障分析及维修	(182)
三、增量调节电路的维修	(184)
四、单独维修面板部分	(184)
第八节 同步表放大器电路的维修	(185)
一、原理简介	(185)
二、故障分析及检修	(185)
第九节 调频阻抗转换器的检修	(186)
一、工作原理简介	(186)
二、检查与维修	(186)
第十节 电源部分的故障分析及维修	(187)
一、工作原理简介	(187)
二、故障分析与维修	(187)
第八章 QF1074 型标准信号发生器的维修	(191)
第一节 概述	(191)
第二节 整机工作原理	(193)
一、仪器方框图	(193)

二、整机工作原理简介	(193)
第三节 整机结构	(200)
一、结构特点及各单元位置分布	(200)
二、面板部分各控制机构分析	(201)
三、各单元的拆除	(204)
四、常见机构故障分析与维修	(205)
第四节 几种主要技术指标的调整	(206)
第五节 整机故障分析及维修	(207)
一、直流供电电压检查	(207)
二、射频输出的故障分析与维修	(209)
三、射频输出频率显示的故障分析	(212)
四、调频输出的故障分析及维修	(213)
五、调幅输出的故障分析与维修	(215)
六、脉冲调制的故障分析与维修	(216)
七、扫频工作的故障分析与维修	(217)
八、外调制输入电路故障分析	(217)
九、谐波含量的故障分析	(218)
十、整机辐射的检修	(218)
第六节 主要单元的原理简介及故障分析与维修	(219)
一、主振级调频振荡电路的调整	(219)
二、缓冲放大器的检查调整	(221)
三、倍频放大器的检查和调整	(223)
四、调制器的检查与调整	(224)
五、宽带放大器的检查调整	(224)
六、带通滤波器的检查调整	(226)
七、低通滤波器的检查调整	(227)
八、检波器的检查	(229)
九、指示电路的检查	(229)
十、三角波方波发生电路的检查	(230)
十一、隔离放大器的检查	(232)
十二、音频振荡器的检查	(233)
十三、频率计数器的检查和维修	(234)
十四、电源部分的检查和维修	(236)
十五、输出衰减器的检查和维修	(238)
第九章 XB44 型标准信号发生器的维修	(239)
第一节 概述	(239)
第二节 主振荡器电路的维修	(241)
一、电路简介及各直流电平	(241)
二、常见故障	(242)
第三节 发射极输出器电路的维修	(243)
一、电路简介及各点直流电平	(243)
二、常见故障	(244)

第四节 调制放大器电路的维修	(244)
一、电路简介及各直流电平	(244)
二、常见故障	(247)
第五节 衰减器的维修	(248)
一、电路简介及衰减量的组合	(248)
二、常见故障	(250)
第六节 电表指示电路的维修	(250)
一、电路简介	(250)
二、常见故障	(252)
第七节 辅助放大器和混频器电路的维修	(252)
一、电路简介及各直流电平	(252)
二、常见故障	(254)
第八节 晶体校准振荡器电路的维修	(255)
一、电路简介及各点直流电平	(255)
二、常见故障	(256)
第九节 低频放大器电路的维修	(257)
一、电路简介及各直流电平	(257)
二、常见故障	(258)
第十节 音频振荡器电路的维修	(258)
一、电路简介及各点直流电平	(258)
二、常见故障	(260)
第十一节 稳压电源电路的维修	(260)
一、电路简介及各点直流电平	(260)
二、常见故障	(262)
 第十章 QF1052 型信号发生器的维修	(263)
第一节 概述	(263)
一、概述	(263)
二、QF-1052 型信号发生器主要技术指标	(263)
第二节 维修注意事项	(265)
第三节 音频电源部分的维修	(265)
一、电源	(265)
二、400Hz/1kHz 音频振荡器	(267)
三、外调制放大器	(267)
四、FM/AM 控制电路	(268)
五、调制指示放大器	(268)
第四节 射频部分的维修	(269)
一、工作原理简介	(269)
二、主要技术参数	(270)
第五节 锁相部分	(272)
第六节 控制部分的维修	(275)
一、概述	(275)
二、各部分的工作原理和工作特性	(276)

第十一章 QF1090 型标准信号发生器的维修	(279)
第一节 电路原理	(279)
一、电源电路	(279)
二、控制电路	(280)
三、宽带信号发生器电路	(280)
四、ALC 和 AM 调制器电路	(280)
五、频率计数器电路	(282)
六、锁相环(PLL)和 FM 调制电路	(282)
第二节 故障的判断与修理	(284)
一、按照框图顺序判断故障	(286)
二、印制电路板判断故障	(288)
三、主振荡器	(291)
四、输出衰减器单元	(292)
五、高频部分	(292)
第三节 调整	(297)
一、前言	(297)
二、调整方法	(298)
第十二章 QF1480 型合成信号源的故障检查与维修	(301)
第一节 概述	(301)
一、电路简介	(301)
二、QF1480 的主要技术性能	(303)
第二节 故障的判断	(304)
一、AAA 显示区域误差码——调制电路故障码	(304)
二、BBB 显示区域误差码——合成电路故障码	(304)
三、CCC 区域——数字电路故障码	(304)
四、DDD 区域——输出电路故障码	(305)
第三节 电源的维修	(306)
一、电路简介	(306)
二、常见故障	(308)
第四节 控制电路的维修	(308)
一、电路简介	(308)
二、故障检修	(309)
第五节 前面板部分	(311)
一、电路简介	(311)
二、常见故障	(311)
第六节 合成电路的维修	(313)
一、电路简介	(313)
二、常见故障	(315)
第七节 输出电路的维修	(318)
一、电路简介	(318)
二、常见故障	(320)

第十三章 高频信号发生器的计量检定	(322)
一、标准信号发生器	(322)
二、调频立体声信号发生器	(322)
三、电视标准信号发生器	(322)
四、频率合成器及合成信号发生器	(322)
五、扫频信号发生器	(322)
第一节 XFG -7 型高频信号发生器试行检定规程[JIG 174-85]	(323)
一、概述	(323)
二、技术要求	(323)
三、检定条件	(324)
四、检定项目和检定方法	(324)
第二节 XFC-6A 型标准信号发生器检定规程[JIG 173-86]	(328)
一、概述	(328)
二、技术要求	(328)
三、检定条件	(329)
四、检定项目和检定方法	(330)
第三节 XFC-1 型超高频标准信号发生器检定规程[JIG 325-83]	(334)
一、概述	(334)
二、主要技术特征	(334)
三、检定条件	(334)
四、检定项目及检定方法	(335)
第四节 XG-2 型标准信号发生器检定规程[JIG 438-86]	(339)
一、概述	(339)
二、技术要求	(339)
三、检定条件	(341)
四、检定项目和检定方法	(342)
第五节 合成信号发生器检定规程	(348)
一、概述	(348)
二、技术要求	(348)
三、检定条件	(350)
四、检定项目和检定方法	(353)
第六节 XB48 型电视标准信号发生器检定规程[JIG(电子)*-*]	(362)
一、概述	(362)
二、技术要求	(362)
三、检定条件	(364)
四、检定项目及检定方法	(366)
第七节 MSG-2161FM stereo/FM-AM 信号发生器试行检定规程	(371)
一、概述	(371)
二、技术要求	(371)
三、检定条件	(372)
四、检定项目和检定方法	(373)
第八节 频率合成器检定规程[JIG502-87]	(379)
一、概述	(379)

二、主要技术要求	(379)
三、检定条件	(380)
第十四章 高频信号发生器自动检测技术	(387)
第一节 概述	(387)
第二节 系统的构成	(387)
一、自动检测系统中仪器、设备的作用	(387)
二、自动检测系统仪器的技术要求	(388)
三、自动检测系统软件控制程序共 14 个	(389)
第三节 检测用标准仪器的自动校准	(393)
一、hP8902A 测量接收机校准	(393)
二、hP8568B 频谱分析仪校准	(394)
三、确定相位噪声检测系统(相检法)的灵敏度	(394)
第四节 射频信号发生器技术指标的自动检测	(395)
一、合成频率检查及频率准确度的检测	(395)
二、射频功率检测	(396)
三、衰减电平检测	(396)
四、调幅检测	(396)
五、内调频准确度、调频失真及伴随调幅检测	(397)
六、调相检测	(397)
七、外调制检测	(397)
八、剩余调幅和剩余调频检测	(398)
九、频谱纯度检测	(398)
十、射频信号发生器自动检测的分流程图	(398)
第五节 射频信号发生器自动检测系统的误差分析	(400)
一、射频信号发生器参考晶振及载波频率检测准确度	(400)
二、检定射频频率的准确度	(402)
三、射频信号发生器输出电平检定时不确定度	(402)
四、射频信号发生器小电平输出检测时的不确定度	(403)
五、射频信号发生器调制度检定时不确定度	(404)
第六节 频率转换时间的自动检测	(405)
一、概述	(405)
二、系统的构成及自动检测工作过程	(405)
三、技术性能及控制程序流程图	(407)
四、误差分析	(408)
第七节 相位噪声功率谱密度自动检测技术	(409)
一、概述	(409)
二、相位噪声功率谱密度的检测	(411)
 附录 A 射频信号发生器标准索引	 (423)
附录 B 国内外射频信号发生器主要生产厂商	(423)
附录 C 国内外射频信号发生器产品一览表	(429)

第一章 概 述

第一节 射频信号发生器的特点与分类

一、射频信号发生器的特点与地位

无论是研制、生产还是使用维修各种电子元器件、电路部件及整机设备,其性能特性只有在一定的电信号作用时,才能显露出来。所以,几乎在所有的电子测量中都需由信号源提供一系列的已校准的信号,才能确保各种电子测量的顺利进行。因此可以说信号源是电子测量系统中应用最普遍的电子测量仪器。

射频信号发生器的定义:产生正弦信号、频率范围部分或全部覆盖 $30\text{kHz} \sim 1\text{GHz}$ (允许向此范围外延伸),并且具有一种调制或一种以上调制或组合调制的信号发生器。射频信号发生器的特点:

- (1) 输出信号的频率和电平可在一定的范围内调节并能准确读数;
- (2) 具有一种或多种的调制功能;
- (3) 良好的屏蔽性能。

二、射频信号发生器的分类

根据国家标准 GB12114-89《高频信号发生器技术条件》的规定、射频信号发生器按其工作原理分类为:

1. 调谐信号发生器

由调谐振荡器构成的信号发生器称之为调谐信号发生器。

早期的传统调谐信号发生器、都是由调谐振荡器和统调的调幅放大器(输出放大器)加上一些指示电路构成。这种信号发生器的结构比较复杂,除了要统调的多联可变电容器外,每一级都需有统调的波段转换开关,它们既要保证接触可靠,又要保证每个波段的各频率点的调谐。因此,传统的调谐信号发生器的频率覆盖范围不可能做得很宽,而且其输出信号幅度的动态范围小,谐波含量大,频响差,最大的缺点是可靠性、稳定性差。

到了 70 年代,由于半导体器件的高速发展,促进了宽带技术和倍频、分频、数字电路技术的发展,宽频带放大器,宽频带调制器及滤波器的运用,替代了统调式的调幅放大器,这样不仅大大减少了波段转换开关的接触点数(也有的调谐信号发生器采用高 Q 腔调谐振荡回路,通过倍频分频电路可获得很宽的频率覆盖范围,完全省去了传统的波段转换开关),省去了多联的可变电容器,提高了调谐信号发生器的可靠性和稳定性。由于其调制器和放大器分别用宽带调制器和宽带放大器以及相应的滤波器,从而大大改善了调谐信号发生器的调幅特性,输出动态范围,输出信号的谐波含量及输出的频响指标。经过改善提高的调谐信号发生器,虽然指标不先进,但价格低廉。由于元器件少,又省去了波段开关,可变电容器等。其稳定性、可靠性较好,对于要求不高的用户来说,还是比较受欢迎的。

2. 锁相信号发生器

由可调谐振荡器通过锁相的方法获得输出信号频率的发生器称之为锁相信号发生器。

随着广播通信事业的不断发展,测量技术不断提高,对信号发生器的频率稳定度、频率精度的要求越来越高。对于频率稳定度在 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 量级的调谐信号发生器,已不能满足其测试要求。为了提高信号发生器的频率稳定度和频率精度,在调谐信号发生器中,增加计数单元,并将信号源的振荡频率锁定在频率计数器的时基上,从而大大地提高了信号发生器的频率稳定度和频率精度。这类锁相信号发生器的频率和精度稳定度可达 10^{-5} 到 10^{-6} 量级。

到了 70 年代末,80 年代初,由于移动通信广泛用于交通运输、公安、矿山、工厂、森林等各个部门,用户大量增加,信息量不断增长,导致了通信电台占的频率范围越来越宽,而通信的频道越来越窄。面对迅速发展的众多的移动通信,以往生产的各种调谐信号发生器已远远不能满足要求了,当在测试移动通信接收机所需微弱信号的能力时,尤其是测试需抑制邻近频道的强信号或干扰信号时,则需要一种输出信号频率覆盖范围宽、稳定度高、频谱纯度高,即单边带相位噪声低、杂散分量谐波含量少的信号发生器。针对这一目标,世界各国生产信号发生器的厂商,在如何改善信号发生器的频谱纯度方面进行了激烈的竞争。在此期间,世界各大仪器公司相继在市场上投放了新型的高纯度锁相信号发生器,这些锁相信号发生器的振荡电路,大都采用了高 Q 同轴谐振腔振荡器的形式。其有源器件则采用低噪声的微波管或场效应管,其目的就是为了提高信号发生器输出信号的频谱纯度,降低相位噪声和点噪声(包含单边带相位噪声)。

这类高纯度的锁相信号发生器,不仅具有较高的频率稳定度和精度(一般在 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ 量级),而且信号的频谱纯度指标无论是单边带相位噪声,还是杂散分量或非谐波含量等,都具有较好的性能特性。比一般的调谐信号发生器优越得多。

由于这类高纯度的锁相信号发生器的输出信号频率调整是通过机械传动方式来实现,因此给快速程控带来了困难,同时输出信号的频率分辨率较差。

3. 合成信号发生器

采用频率合成方法做成的信号发生器称之为合成信号发生器。

由于合成信号发生器具有高的频率稳定度(可达 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ 量级),而且很容易实现数字显示频率。因此,频率分辨率高和频率的置定重复性好,以及能方便实现频率的程序控制则成为合成信号发生器的重要特点。合成信号发生器广泛地应用在通信、雷达、导航、频率时间标准等各种重要的技术领域。例如:在通信设备中,合成信号发生器不但工作频率精确和稳定,而且能使收发两端实现无搜索、无微调的快速通信;在雷达及电子对抗中,可以利用合成信号发生器迅速准确的改换频率,以避免敌人的侦察和干扰;在精密测量中,合成信号发生器能提供高分辨力和低相位噪声的信号,以保证各种精密测量的需要。

然而,合成信号发生器本身在进行频率运算的过程中,往往会产生一些新的频率分量,这种分量将会使输出信号中存在与输出信号无关的寄生分量,它将对信号正常处理过程形成干扰。这些寄生分量称为杂散。另外,合成信号发生器中,由宽带放大器、混频器、倍频器、分频器、锁相环路所产生的噪声都混杂在输出信号中,因而改善其相位噪声也是相当困难的。可以说相位噪声和杂散是衡量现代合成信号发生器最重要的性能指标之一。

第二节 射频信号发生器的发展动态

一、射频信号发生器发展简史

为了测量无线电接收机的性能,早在 1928 年美国 General Radio 公司生产出了第一台调幅信号发生器,它的结构和线路都非常简单,只采用了两只电子管和一个调谐回路。到 1939 年信号发生器的频率范围已扩展到了甚高频波段。随着广播通信事业的发展,在 40 年代初就出现了调频信号发生器。到了 50 年代,频率到 480MHz 的各种调频调幅信号发生器相继出现。然而,这些信号发生器都是由电子管构成的调谐信号发生器。进入 60 年代,信号发生器逐步由晶体管替代电子管。1964 年 HP 公司在信号源领域中设计成功一种 HP5100A 型频率合成器。该信号发生器使用了二千多个分立的晶体管器件,最高频率为 50MHz,分辨能力达 0.1Hz。1968 年,美国 Logi Metrics 公司生产了一种内装计数器的 900 系统信号发生器。由于频率合成技术及内装计数器技术的出现,使得信号发生器的频率精度和频率稳定度的指标得到大大提高。由于高质量,高性能的元器件及中、大规模集成电路的应用,促进了频率合成,调谐调相,宽带放大宽带调制等新技术的不断出现和发展,到 70 年代在原来调谐信号发生器的基础上,加上计数单元和锁相单元后,派生出了一种新型信号发生器——锁相信号发生器;以及在频率合成的基础上不断完善调制功能,提高其输出特性指标而形成了另一种新型信号发生器——合成信号发生器。

我国的信号发生器工业在解放前是一片空白。在 50 年代研制成功了 FCC-6 型高频信号发生器,60 年代到 70 年代相继研制生产了 XFC-2、XFC-1、XFC-6、XG-2 等电子管的各种调谐信号发生器。其中 XFC-6 当时在国内属于频率范围宽、输出电平特性好、具有多种调制功能的一种射频信号发生器。它泛用于通信、电视、雷达电子对抗等各电子行业中。到 70 年代末 80 年代初,全晶体管化的高频信号发生器及频率合成器相继在我国研制成功,其中有代表性的有北京无线电仪器二厂的 XB44 型、XB46 型高频信号发生器,PZ13 型频率合成器,上海无线电 26 厂的 XB16 型、XB28A 型高频信号发生器及上海无线电仪器厂的 S102 型高频信号发生器,国营前锋无线电仪器厂的 XB41 型、XB43 型、XB48 型高频信号发生器,以及 PO16 型、PO17 型频率合成器,这些信号发生器和频率合成器,都是属于一般的调谐信号发生器或者是不带调制的频率合成器。

在党的十一届三中全会的改革开放政策指引下,到 80 年代中期,我国生产射频信号发生器的工厂相继引进并组装了一些具有 80 年代国际水平的锁相信号发生器、合成信号发生器。如:前锋无线电仪器厂引进组装了美国 FLUKE 公司的 6071A、6060B 型合成信号发生器;日本安立公司的高纯度的锁相信号发生器 MG645B;上海无线电 26 厂引进组装了日本松下公司的 VP8177A 锁相信号发生器;北京无线电仪器二厂引进组装了日本目黑公司的 MSG-2560B、MSG-2580 型锁相信号发生器;山东潍坊计算机公司仪器厂引进组装了英国 Farnell 仪器公司的 SSG520 型、SSG1000 型合成信号发生器等。在此期间,这些厂家在引进国外先进产品及元器件的同时,消化并吸收其先进技术和工艺,因而大大推动了我国射频信号发生器的开发和研制工作,相继研制开发了具有一定水平的各种类型的射频信号发生器,其中有 QF1050、QF1051、QF1052 型等各种锁相信号发生器。(其性能特性相当于日本松下公司