

数字电视接收技术

Television Receivers:

Digital Video for DTV, Cable, and Satellite



Jerry Whitaker 主编
姚冬苹 蔡超时 等译

Mc
Graw
Hill



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

数字电视接收技术

Television Receivers

Digital Video for DTV, Cable, and Satellite

(美) Jerry Whitaker 主编

姚冬苹 蔡超时 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

Jerry Whitaker

Television Receivers: Digital Video for DTV, Cable, and Satellite

ISBN: 0-07-138042-6

Copyright © 2001 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original Language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No Part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly by McGraw-Hill Education (Asia) Co. And Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和美国麦格劳-希尔(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2002-2863

图书在版编目(CIP)数据

数字电视接收技术 / (美)惠特克(Whitaker.J.)著;姚冬苹,蔡超时等译. —北京:电子工业出版社,2003.9
书名原文: Television Receivers: Digital Video for DTV, Cable, and Satellite
ISBN 7-5053-8992-0

I.数… II.①惠…②姚…③蔡… III.数字电视—电视接收机 IV.TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 069069 号

责任编辑: 张来盛

印刷: 北京民族印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经销: 各地新华书店

开本: 787×1092 1/16 印张: 26.5 字数: 678.4 千字

版次: 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印数: 5000 册 定价: 39.00 元

出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
8279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至

译者的话

无论对视频专业人员还是对消费者来说这都是一个激动人心的时代。随着大规模集成电路、计算机和通信技术的迅速发展和融合,特别是数字压缩编码技术和数字视频技术的长足进步,灵活多样、声像完美的数字视频消费产品已以崭新的面貌呈现在观众面前。通过数字信号的处理,节目制作效果不仅有了极大的改善,节目的多次复制所引起的损伤也不会积累,而且数字压缩编码技术提高了节目的传输效率和频率利用率,数字视频显示技术的应用使消费者获得了全新的视听感觉。

消费者对图像的分辨率和清晰度的更高要求,使得数字视频技术不断发展和完善,从而使数字视频技术的研究和应用一直是人们关注的热点话题。

本书作者从最基本的频段划分、不同波段的电波传播特性出发,叙述了一般发射/接收系统的频率基准、接收机的组成和指标要求、信道传输模型、各类功率放大器、信号模/数转换、数字滤波、数字调制与解调、数字编解码、数字信号处理器、自适应均衡等基本原理。深入详尽地讨论了电视接收机原理、ATSC数字电视(DTV)接收系统、有线电视系统、卫星传输系统和它们的天线问题。随着网络的发展,电视和因特网的联手开创了一个全新的服务领域——交互电视,网络与视频及交互电视也是作者述及的问题。最后作者就彩色显示设备、投影显示设备及各种平板显示器件的原理,图像显示质量及测量手段作了专题论述。本书内容全面、广泛,有些章节不失详尽地介绍了数字电视接收机的原理,集成了作者对本领域的最新研究成果。书中提供的大量文献索引可以帮助读者进一步查找相关信息。

本书既适合数字广播电视及应用领域的专业技术人员、大专院校相关专业的师生阅读参考,也可以为本专业经营决策人员提供有益的帮助。

本书的翻译由姚冬苹和蔡超时组织校译和定稿,第1,5,7,8,9,11章由蔡梦凡翻译,第2,3章由张鹏翻译,第4,6章由熊磊翻译,第10章、前言由姚冬苹翻译,第12章由蔡超时翻译,第13章由张云珠翻译,第14章、索引由江浩翻译,第15,16,23,24章由吴丽云翻译,第17章由杨霏翻译,第18章由施亮翻译,第19,20,21章由杨刚翻译,第22章由帅千钧翻译,第25章由张绍辉翻译。

译文不妥之处,敬请读者批评指正。

前 言

在过去几年中，我们非常熟悉的、无处不在的电视接收机有了根本性的变革。曾经是仅为满足用户通过无线广播电视收看节目的功能简单、目标单一的电视接收机已经变成了家用娱乐和信息服务的综合载体。原本只是集多功能于一体的接收机已发展成了一套完整的具有多种选项的、操作灵活、控制简单、图像和声音完美的视频设备。事实上，电视接收机的发展路线与 20 世纪 70 年代音频系统的发展过程如出一辙。20 世纪 60 年代的“台式立体声音响”就是从多功能（虽然并不灵活）听觉娱乐系统演化成了时下十分流行的高级组合音响的。

将音响的组合方式引入电视是非常重要的，它能够让用户自己选择满足个人需求和口味的组件和功能，而且升级也简单。应将显示器和相关的电路分开，这样在接收机更新换代（如 NTSC 制接收机变为 NTSC/DTV 接收机）时，就不用淘汰显示器。显示器是接收机中价格最贵的部分，未来几年真正意义上的发展是在显示器上。有线电视和卫星电视也可纳入其中，为用户提供新的服务。

在组合视频的讨论中，复杂性与价格的问题依然是争论的焦点。用户明确指出他们所要的娱乐设备要操作简单、安装方便，价格还要便宜。再者，音频设备的组合方法就是视频设备组合的发展趋势，很明显用户只为满足其要求的设备或系统付费。

与用户电视不同，视频会议系统是另一电视发展领域。桌面会议系统和其他交互服务虽然不是严格意义上的电视（在许多情况下，它是计算机），但它们将视频通信引入商业应用，这要比电话方便得多。最近，长期困扰网络通信的带宽瓶颈问题已经克服，高速、实时网络通信已经使桌面视频会议成为可能。

数字电视

数字电视（DTV），特别是高清晰度电视（HDTV），是电视接收系统的发展潮流，整个系统从头到尾都是 HDTV 节目，这项新技术的出现，产生了新的商业契机。广播公司是最早进行 DTV 工作的，带动了其他相关行业用 HDTV 设备按 ATSC DTV 标准制作商品化的节目、图像。现在 HDTV 的商用范围之广简直令人惊叹——从 NASA 到影视的后期制作再到医用成像。电视接收机是数字革命中的关键角色。

无论对视频专业人员还是对消费者来说，这都是一个激动人心的时代。我们的新数字电视系统开播了，它是全世界的科学家和工程技术人员经过十多年不懈努力的结果。它的图像非常完美，不可否认这正是 10 年前 ATSC DTV 系统的梦想。

每一新技术投入市场都要经过艰苦的努力。20 世纪 50 年代，电视工作者面对的是他们的老板要将黑白电视改为彩色电视。1954 年，已经可以成功地接收黑白电视信号了，NTSC 彩色系统要兼容原有黑白电视的信道和信号形式，系统性能受到了很多限制，图像也不够完美。接收机不仅体积大、价格高，而且不可靠。显像管是圆形的，脖子还很长。尽管如此，这样的接收机还是风靡美国。在 RCA CTC-15 底盘上有 24 个集中的调谐钮来选择频道。从第一台能实际工作的样机到开始有了彩色广播信号播出经历了近 10 年的时间。

后来分析，问题出在细节上。同样 DTV 也要克服困难，迎接挑战。如果说彩色电视的发展带给我们什么启示的话，那就是系统的整体性能好坏将取决于一个好的标准以及播送系

统运营商与接收机制造商的良好合作和整体系统协调一致。

当然，ATSC 数字电视的标准仅是技术标准，是完成特定任务的技术方案。它是中立的，没有任何商业利益。DTV 符合以上原则。

在向 DTV 过渡的过程中，还有许多困难等待我们克服。有许多我们还心中没底，就像早先的电视技术人员一样要边学边干。但无论如何 DTV 是专业视频工业的未来。

关于本书

本书讨论的是电视视频信号的接收、解码和显示技术。它囊括了现代接收机中的关键技术，并给出了一些典型的应用实例。此外，本书还对新技术的发展及工作特性作了解释和概述。

本书适合于视频接收系统的设计、规划、安装和维护人员阅读。本书虽讨论了模拟和数字电视接收和显示的基本原理，但重点强调其关键技术对未来应用的影响。

作者努力使其覆盖电视接收机的各个方面。每章最后大量的参考文献可方便读者直接查阅原文以获取其他信息。

未来技术

在消费电子行业，图像的分辨率和清晰度的改善使新产品层出不穷。市场上可以拿到成熟的机顶盒，它可从地面 DTV 发射台、卫星服务和有线电视（附加有普通的电视信号）中接收、解码 HDTV 广播信号。在显示器方面，平面及宽屏 HDTV 背投显示器，无论是性能还是价格都将有一个飞跃。

本书的目的正是让读者理解接收机的各种概念和技术特点。

Jerry C. Whitaker

2001 年 6 月

内容简介

数字电视 (DTV), 特别是高清晰度电视 (HDTV), 是电视接收系统的发展潮流。本书全面、系统地讨论了电视视频信号的接收、解码、显示和测量技术, 涵盖了现代电视接收机中的关键技术, 并给出了一些典型的应用实例。内容包括: 电磁波频段划分与传播特性, 频率源与基准, 接收机特性, 无线信道, 功率放大器, 信号模/数转换, 数字滤波, 数字调制与编码, 数字信号处理器 (DSP), 自适应均衡, 电视接收原理, ATSC DTV接收系统, 消费视频与连网, 有线 (光纤) 电视, 卫星传输系统, 接收天线系统, 交互电视与视频会议, Internet 内容分配与基于 PC 的 DTV 接收机, CRT 显示设备, 投影显示, 平板显示 (液晶、等离子体、场致发射), 以及显示器和图像质量的测量等。

本书内容全面、新颖, 且具有前瞻性, 既适合数字广播电视及应用领域的专业技术人员、大专院校相关专业的师生参考, 也可以为相关专业经营决策人员提供有益的帮助。

目 录

第 1 章 电磁波谱	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 谱的划分	(1)
1.2.1 光谱	(2)
1.2.2 直流 (DC) 到光	(3)
1.2.3 光到伽马射线	(7)
参考文献	(9)
第 2 章 电波传播	(10)
2.1 引言	(10)
2.2 自由空间的电波传播	(10)
2.3 平面大地上的电波传播	(14)
2.3.1 平面大地上的电场强度	(14)
2.3.2 平面大地上天线间的传输损耗	(16)
2.3.3 球面大地上的电波传播	(18)
2.3.4 视线距离以外的电波传播	(18)
2.3.5 山丘、建筑物、植被和大气层的影响	(20)
2.3.6 低空大气层 (对流层) 的影响	(25)
2.3.7 大气衰耗	(26)
参考文献	(27)
第 3 章 频率源和基准	(28)
3.1 引言 ¹	(28)
3.2 晶体器件的特性	(28)
3.2.1 频率稳定度	(29)
3.2.2 石英谐振器的等效电路	(29)
3.2.3 温度补偿	(30)
3.2.4 压力补偿	(31)
3.2.5 老化效应	(31)
3.3 振荡器	(32)
3.4 锁相环合成器	(34)
3.4.1 实际的 PLL 电路	(36)
3.4.2 分数分频合成器	(37)
3.5 多环合成器	(38)
3.6 直接数字合成	(40)
参考文献	(42)
第 4 章 接收机的特性	(44)

4.1	引言	(44)
4.2	接收系统	(45)
4.3	选择性	(48)
4.4	动态范围	(49)
4.4.1	灵敏度抑制	(50)
4.4.2	AM 交调	(51)
4.4.3	互调 (IM)	(51)
4.4.4	误差矢量幅度	(53)
4.5	增益控制	(54)
4.6	数字接收机特性	(56)
4.6.1	BER 的测试	(56)
4.6.2	发送和接收质量	(58)
	参考文献	(58)
第 5 章	无线信道	(59)
5.1	引言	(59)
5.2	信道冲激响应	(60)
5.3	多普勒效应	(62)
5.4	传输函数	(64)
5.5	信道冲激响应的时域响应和传输函数	(65)
第 6 章	低功率放大器	(67)
6.1	引言	(67)
6.2	单级晶体管或 FET 放大器	(67)
6.2.1	DC 特性	(68)
6.2.2	输入阻抗、输出阻抗、电压和电流增益	(68)
6.2.3	多级放大器	(71)
6.2.4	功率输出级	(75)
6.3	放大器的分类	(77)
6.4	增益模块和运算放大器	(78)
6.4.1	反馈和前馈	(79)
6.4.2	输出阻抗和输入阻抗	(81)
6.4.3	前馈和估计误差的修正	(82)
6.4.4	差分放大器	(82)
	参考文献	(82)
第 7 章	模 / 数信号转换	(84)
7.1	引言	(84)
7.2	奈奎斯特 (Nyquist) 极限及混叠现象	(84)
7.3	A/D 转换过程	(85)
7.3.1	逐次逼近	(87)
7.3.2	并行 (闪烁) 转换	(87)

7.4 D/A 转换过程	(88)
7.5 转换器的性能标准	(90)
参考文献	(91)
第 8 章 数字滤波器	(92)
8.1 引言	(92)
8.2 FIR 滤波器	(92)
8.2.1 各种设计技术	(93)
8.2.2 各种应用	(94)
8.2.3 有限字长效应	(95)
8.3 无限冲激响应滤波器	(95)
参考文献	(97)
第 9 章 数字调制	(98)
9.1 引言	(98)
9.2 数字调制技术	(98)
9.2.1 QPSK	(99)
9.2.2 信号分析	(99)
9.3 数字编码	(100)
9.3.1 信源编码	(100)
9.3.2 信道编码	(101)
9.3.3 纠错编码	(101)
参考文献	(101)
第 10 章 DSP 器件和系统	(103)
10.1 引言	(103)
10.2 数字信号处理基础 ¹	(103)
10.2.1 离散系统	(103)
10.2.2 冲激响应和卷积	(104)
10.2.3 复数	(106)
10.2.4 数学变换	(107)
10.2.5 单位圆和收敛域	(109)
10.2.6 极点和零点	(110)
10.3 DSP 的基本单元	(111)
10.3.1 误差源	(112)
10.3.2 DSP 集成电路	(112)
10.3.3 DSP 的应用	(114)
10.3.4 DSP 举例	(115)
参考文献	(118)
第 11 章 自适应接收机	(119)
11.1 引言	(119)
11.2 自适应天线处理	(119)

11.3 自适应均衡	(124)
参考文献	(127)
第 12 章 电视接收原理	(129)
12.1 引言	(129)
12.2 基本工作原理	(129)
12.2.1 调谐器的工作原理	(130)
12.2.2 先进的调谐系统	(134)
12.2.3 对中频放大器的要求	(137)
12.2.4 视频信号的解调	(141)
12.2.5 自动增益控制 (AGC)	(143)
12.2.6 自动频率控制 (AFC)	(145)
12.2.7 声音载波的分离系统	(145)
12.2.8 视频放大	(147)
12.2.9 彩色接收机的亮度信道	(149)
12.2.10 色度副载波的处理	(150)
12.2.11 RGB 矩阵和 CRT 驱动	(152)
12.2.12 扫描同步	(156)
12.2.13 高压的形成	(161)
参考文献	(164)
第 13 章 ATSC DTV 接收系统	(165)
13.1 引言	(165)
13.2 接收系统概述	(166)
13.2.1 调谐器	(167)
13.2.2 频道滤波和 VSB 载波恢复	(168)
13.2.3 段同步和符号时钟恢复	(168)
13.2.4 非相干 AGC 和相干 AGC	(170)
13.2.5 数据场同步	(170)
13.2.6 干扰抑制滤波器	(170)
13.2.7 频道均衡器	(172)
13.2.8 相位跟踪环路	(174)
13.2.9 网格解码器	(174)
13.2.10 数据解交织器	(176)
13.2.11 其他接收机功能模块	(176)
13.2.12 接收机均衡器问题	(177)
13.2.13 接收机的接收场强	(179)
13.2.14 兼容性标准	(184)
13.2.15 数字接收机的改进	(185)
13.3 8-VSB 接收机性能问题	(185)
13.3.1 DTV 调谐器	(186)

13.3.2	中频处理	(186)
13.3.3	模/数转换和数字解调	(187)
13.3.4	自动增益控制	(187)
13.3.5	载波同步	(188)
13.3.6	符号同步	(188)
13.3.7	自适应均衡	(188)
13.3.8	电子导向天线	(189)
13.3.9	天线(空间)分集	(189)
13.3.10	极化分集	(190)
13.3.11	接收机结构上的改变	(190)
参考文献		(190)
第 14 章 消费视频与连网的问题		(192)
14.1	引言 ¹	(192)
14.2	IEEE 1394	(193)
14.3	数字家庭网络	(194)
14.4	先进电视增强论坛	(195)
14.4.1	规范	(196)
14.4.2	内容类型	(196)
14.4.3	传输	(197)
14.4.4	触发信号和声明	(197)
14.4.5	绑定	(198)
14.4.6	UHTTP	(198)
14.5	实时电视	(198)
14.6	数字电视应用软件环境	(199)
14.7	数字电视产品分类	(200)
参考文献		(202)
第 15 章 有线电视系统		(203)
15.1	引言	(203)
15.2	基于同轴电缆的有线电视系统	(203)
15.2.1	节目源	(204)
15.2.2	频道容量	(204)
15.2.3	频道配置	(204)
15.2.4	有线电视系统的组成	(204)
15.3	基于光纤的有线系统	(218)
15.3.1	混合光纤/同轴电缆	(218)
15.3.2	HFC 结构	(219)
15.3.3	返回路径	(221)
15.4	管理规定	(222)
15.4.1	初始权限和规则	(222)

15.4.2	1984 年国会政策和法规	(223)
15.4.3	1992 年国会政策和法规	(223)
15.4.4	1996 年国会政策和法规	(223)
15.4.5	有线电视的定义	(223)
15.4.6	信号传输要求	(224)
15.4.7	技术标准	(225)
	参考文献	(226)
第 16 章	卫星传输系统	(227)
16.1	引言	(227)
16.2	卫星通信链路	(227)
16.2.1	卫星	(228)
16.2.2	转发器	(228)
16.2.3	电源	(229)
16.2.4	卫星的监控	(230)
16.2.5	电视的卫星传输方式	(232)
16.2.6	上行链路	(232)
16.2.7	下行链路	(233)
16.3	性能因素	(233)
16.4	数字传输	(236)
	参考文献	(237)
第 17 章	接收天线系统	(238)
17.1	引言	(238)
17.2	VHF/UHF 接收天线	(240)
17.2.1	对称振子天线	(240)
17.2.2	四分之一波长单极天线	(242)
17.2.3	环形天线	(243)
17.2.4	多元阵列	(244)
17.3	直播卫星 (DBS) 接收	(245)
17.4	分集接收	(247)
17.5	传输线	(253)
17.6	有源天线系统	(256)
	参考文献	(257)
第 18 章	内容分配	(258)
18.1	引言	(258)
18.2	因特网内容的发展趋势	(258)
18.2.1	因特网基础设施的局限性	(258)
18.2.2	内容分配网络的出现	(259)
18.2.3	广播因特网	(260)
18.2.4	数字电视内容分配模式	(262)

18.3	基于个人计算机(PC)的数字电视接收机	(263)
18.3.1	DTVPC 解决方案的要求	(263)
18.3.2	基本的特点	(264)
18.3.3	实际执行的考虑	(264)
18.4	交互式视频会议	(267)
18.4.1	基础设施问题	(267)
18.4.2	全运动视频	(268)
18.4.3	应用标准	(268)
18.4.4	桌面系统——硬件和软件	(269)
18.4.5	系统运行	(269)
18.4.6	建立连接	(270)
第 19 章	交互电视	(272)
19.1	引言	(272)
19.2	交互电视的实现	(272)
19.2.1	版权保护	(273)
19.2.2	因特网协议的总览	(273)
19.2.3	数据广播	(273)
19.2.4	数据广播的体系结构	(275)
19.3	高级电视论坛	(275)
19.4	数字电视应用软件环境	(276)
	参考文献	(278)
第 20 章	阴极射线管显示设备	(279)
20.1	引言	(279)
20.1.1	荫罩式阴极射线管	(279)
20.1.2	荫栅式彩色阴极射线管	(280)
20.2	显像管几何结构	(282)
20.2.1	保护带	(284)
20.2.2	荫罩的设计	(284)
20.2.3	屏幕尺寸	(288)
20.2.4	提高分辨率的技术	(288)
20.3	电子枪	(289)
20.4	多电子束的偏转	(292)
20.5	新的用户设备	(295)
	参考文献	(295)
第 21 章	投影显示系统	(299)
21.1	引言	(299)
21.1.1	高清晰度电视应用的显示器	(299)
21.1.2	投影系统的基本原理	(300)
21.2	光学投影系统	(303)

21.2.1	光学失真	(305)
21.2.2	图像设备	(305)
21.2.3	应用实例	(308)
21.3	光阀系统	(308)
21.3.1	艾多福反射光学系统	(308)
21.3.2	Talaria 彩色透射系统	(309)
21.3.3	激光束投影扫描系统	(311)
21.3.4	电子束投影系统	(313)
21.4	液晶显示投影系统	(313)
21.4.1	同向性 LCLV	(315)
21.4.2	激光定址液晶光栅	(317)
21.4.3	图像光放大器 (ILA)	(318)
21.5	机械转换系统	(321)
21.5.1	数字微镜设备	(321)
21.5.2	光栅光阀系统	(324)
21.6	影院应用时投影需求	(326)
	参考文献	(328)
第 22 章	平板显示	(330)
22.1	引言	(330)
22.2	液晶显示器	(330)
22.2.1	工作原理	(330)
22.2.2	AMLCD 的性能参数	(334)
22.2.3	等离子寻址液晶显示器	(336)
22.3	等离子体显示器	(338)
22.3.1	气体放电特性	(338)
22.3.2	存储型交流等离子体显示器	(341)
22.3.3	交流-直流混合等离子体显示器	(342)
22.3.4	彩色等离子体显示器	(343)
22.3.5	视频应用中的性能特征	(344)
22.3.6	先进的 XGA 显示器	(344)
22.4	场致发射显示器件	(345)
22.5	固定像素方式	(347)
	参考文献	(347)
第 23 章	彩色显示器的测量	(349)
23.1	引言	(349)
23.2	显示器测量技术	(353)
23.2.1	CRT 显示器的主观测量	(354)
23.2.2	CRT 客观测量	(356)
23.3	观看环境的考虑	(357)

参考文献	(359)
第 24 章 波带片的应用	(360)
24.1 引言	(360)
24.2 简单的波带图	(360)
24.3 合成图形	(363)
24.4 时间 (运动) 维	(364)
参考文献	(366)
第 25 章 图像质量测量	(367)
25.1 引言	(367)
25.2 信号/图像质量	(367)
25.3 自动的图像质量测量	(369)
参考文献	(371)
附录 A 电视 / 视频标准	(373)
索引	(393)
关于编者	(408)

第1章 电磁波谱

John Norgard

1.1 引言

电磁 (EM) 谱包括从直流到可见光再到伽马 (γ) 射线的通过空间辐射的所有形式的电磁波。EM 谱可以按照频率和 / 或波长而划分为多个区域, 通常每个区域都有一定的宽度, 而每个宽度之内的 EM 波有一些特有的共性, 比如与辐射的产生和检测有关的特性。一个常见的例子就是白光的辐射能量谱在棱镜的分解下, 会产生由各种颜色成分而形成“彩虹”。特定的频率范围通常称为频带; 几个相邻的频带通常称为谱; 一个频带中的子频带有时称为频段。

EM 谱可以由频率 (或波长) 的形式表示。在空间中, 频率和波长成反比例, $f = c/\lambda$ (其中 $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 是光在真空的速度)。频率的单位是赫 (Hz), 而波长的单位是米 (m)。频率也可以用以下的单位来表示:

- kHz, $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$;
- MHz, $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$;
- GHz, $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$;
- THz, $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$;
- PHz, $1 \text{ PHz} = 10^{15} \text{ Hz}$;
- EHz, $1 \text{ EHz} = 10^{18} \text{ Hz}$ 。

对于更高的频率, 可用电子伏 (eV) 作为频率的单位, $1 \text{ eV} \approx 2.41 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 。

波长也可以用以下的单位来表示:

- cm, $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$;
- mm, $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$;
- μm , $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$;
- nm, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$;
- 埃 ($\text{\AA}$), $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$;
- pm, $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$;
- fm (飞米), $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$;
- am (阿米), $1 \text{ am} = 10^{-18} \text{ m}$ 。

1.2 谱的划分

为方便起见, 整个 EM 谱可以分为三个主要的子区域:

- 光谱;
- 直流 (DC) 到光;
- 光到伽马射线。

这几个主要的 EM 谱子区域将在下面讨论。需要注意的是有些谱区域之间的划分界限是不确定的。有些谱频带之间并没有严格的边界, 而是相互融合的, 而谱的频段之间也有些重叠。