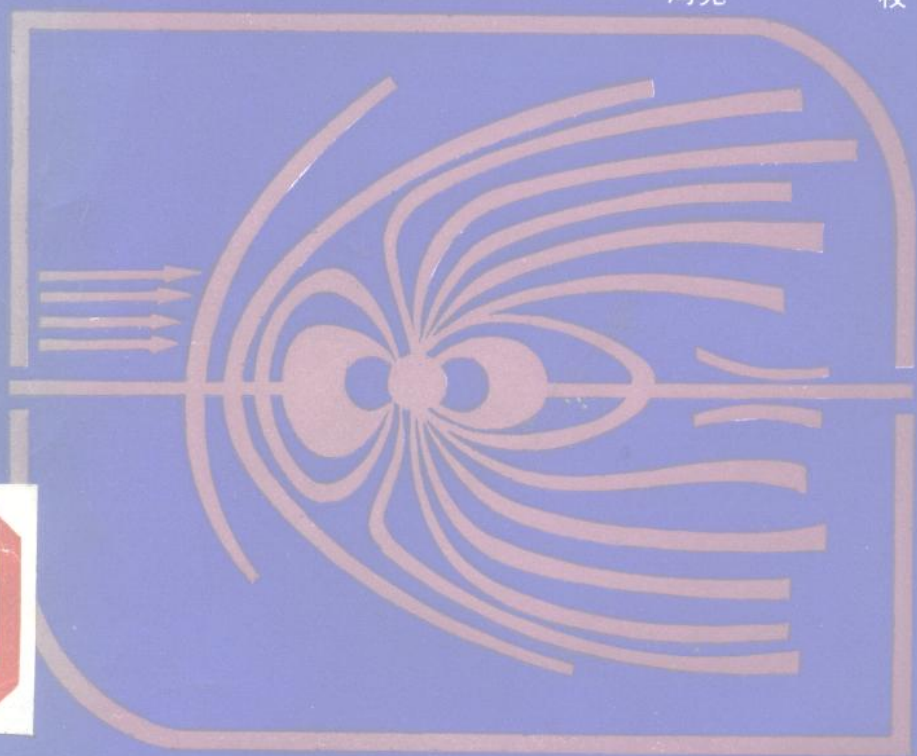


无线电工程中的 电磁兼容

●〔波兰〕维尔海尔姆·罗特基耶维兹 编

● 冯竞 兰得春 译

冯竞 校



73-512

无线电工程中的电磁兼容

[波兰] 维尔海尔姆·罗特基耶维兹 编

冯 竞 译

兰得春

冯 竞 校

人民邮电出版社

无线电工程中的电磁兼容

[波兰] 维尔海尔姆·罗特基耶维兹 编

冯竞 兰得春 译

冯 竞 校

责任编辑 曾德汲

*

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

顺义向阳胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 1990年10月 第 一 版

印张: 11 8/32 页数: 180 1990年10月北京第1次印刷

字数: 294 千字 插图: 2 印数: 1—3 000 册

ISBN 7-115-04298-5/TN·372

定价: 5.20 元

译者前言

当前国际上无线电通信频道日趋拥挤,相互干扰问题日趋严重。因此,如何经济地和合理地分配和使用人类共同财富——“频谱资源”,是当务之急。在国际上,“电磁兼容”概念是六十年代中期提出的,我国在电磁兼容工程方面起步较晚,但随着社会主义通信事业的发展,电子和电器设备的广泛使用,电磁兼容的研究工作正逐步开展。

本书的特点就在于阐述如何合理地利用频谱和保护电磁频谱,怎样与系统内及系统外的电磁干扰源作斗争,以达到电磁兼容的目的,从而能将电磁频谱作为有价值的自然资源为人类所共享,并在此原则上提出了国际间的协作和标准。在具体问题上本书从电磁兼容的观点出发,对陆上和海上无线电发射设备的有意、无意发射以及接收机的灵敏度提出了具体的要求,并阐述了对电磁干扰源如何进行测量和采用计算机进行自动监测的方法。最后作者对现代无线电通信网路,特别对“网格式”公用无线电通信网路的电磁兼容作了比较全面的分析,在解决电磁兼容的空间和频谱问题上提出了许多有益的见解。

总的说来,本书的基本理论比较全面,实用性较强,适宜于无线电通信专业教师及工程技术人员参考,也可供相应专业的高年级学生参考。

因时间仓促,翻译中不妥之处在所难免,请读者指正。

冯 竞 兰得春

1985年11月于昆明云南大学无线电系

前 言

即使在无线电通信的早期,关于不同用户共享无线电频谱问题已引起了某些最优秀的学术见解。现今,大量的无线电技术和业务已经成为人民福利和国家经济的命脉。这些业务项目分享了无线电频谱的资源,以提供跨洋、跨洲的通信;保证海上、航空和陆上运输的效率与安全;通过广播传授知识、加深了解和进行娱乐;预报天气和勘察地球自然资源;甚至通过太空研究和射电天文观察去探测宇宙的奥秘。频谱共享是电磁兼容课题中的一个主要的问题,就广义而言,它涉及到电磁环境中相互作用的影响。

电磁兼容包括无线电通信科学和工程中很广泛的一些课题。电磁理论和波的传播的基本知识对于欲收场和干扰场的预测是十分重要的。自然的和人为的无线电噪声的研究描述了无线电系统的工作环境,并提出估算干扰源影响的理论和测量方法。对发射机和接收机特性的研究,产生了降低干扰的方法。描述和测量频谱占有的方法对于规划和监视频谱的使用是很重要的。国际电信联盟(ITU)的国际规定,国际无线电咨询委员会(CCIR)的各项建议和国际电工技术委员会(IEC)的各项标准,提供了一个开发和合作使用无线电频谱的国际技术方案。

本书系由从事电磁兼容研究和开发的一些波兰作者所编写的,书中提供的许多广泛的且有价值的导论,它们涉及到有关的物理、工程和国际协作等方面的问题。

国际无线电咨询委员会(CCIR)

国际电信联盟

主任 李查德

C. 克尔拜

(Richard C. Kirby)

目 录

第一章	导论.....	1
	W. 罗特基耶维兹 (Wilhelm Rotkiewicz)	
第二章	大地电磁环境.....	3
	R. G. 斯特鲁扎克 (Ryszard G. Struzak)	
2.1	自然源的磁场	3
2.1.1	靠近地表的地磁场	3
2.1.2	地球磁层	5
2.1.3	磁场起伏和磁暴	7
2.2	自然源的电场	10
2.2.1	靠近地表的电场	10
2.2.2	大气中的电流	11
2.2.3	雷暴和闪电放电	13
2.2.4	地电流和地电场	18
2.3	自然界的无线电噪声	21
2.3.1	大气中的无线电噪声	21
2.3.2	地球外的无线电噪声源	32
2.3.2.1	简介	32
2.3.2.2	银河系射频频辐射	33
2.3.2.3	太阳的射频频辐射	36
2.3.3	最低噪声电平	37
2.4	电磁环境和人类活动	41
2.4.1	人为辐射源	41
2.4.1.1	单个的技术装置	41
2.4.1.2	城市是辐射源的集合体	43

2.4.1.3	市区电磁环境	49
2.4.2	人工接收机	51
2.4.3	发展趋势	53
2.4.4	环境保护和电磁兼容	57
第三章	电磁频谱保护 国际协作和标准化.....	63
	W. 莫龙(Wladyslaw Moroń)	
3.1	引言	63
3.2	国际合作和国际组织	67
3.2.1	国际合作的组织基础	67
3.2.2	国际电信联盟	68
3.2.2.1	活动的梗概	68
3.2.2.2	电联的结构及其各部门的功能	69
3.2.2.3	无线电规则	74
3.2.3	国际电工技术委员会(IEC).....	82
3.2.3.1	IEC 组织	83
3.2.3.2	从事电磁频谱保护的技术委员会	85
3.2.3.3	无线电干扰国际特别委员会	87
3.2.4	国际无线电科学联合会	90
3.3	国家级频谱保护	91
3.4	后记	93
第四章	发射机和天线技术中电磁兼容的课题.....	100
	D. J. 贝姆(Daniel J. Bem)	
4.1	作为干扰源的发射机	100
4.2	发射机的离散模式	101
4.2.1	基本辐射	101
4.2.2	谐波辐射	102
4.2.3	非谐波辐射	104
4.3	发射机的频带模式	105
4.3.1	基本辐射	105

4.3.2	谐波辐射	106
4.3.3	非谐波辐射	107
4.3.4	发射机噪声	108
4.4	供预测电磁干扰的天线模式	108
4.4.1	天线模式的参数	108
4.4.2	天线的分类	110
4.4.3	广播天线	111
4.4.4	定向天线	116
4.4.4.1	有意辐射区	116
4.4.4.2	非有意辐射区	119
4.4.5	近场区	121
4.5	非电离电磁辐射的生物效应	127
4.6	电磁辐射安全标准	129
第五章	电磁兼容在接收技术中的课题.....	134
	W. 罗特基耶维兹(Wilhelm Rotkiewicz)	
5.1	接收中的干扰,基本概念.....	134
5.2	无用信号和通过基本和相邻频道侵入的干扰	136
5.3	经由寄生通道侵入的干扰	137
5.4	互调	140
5.5	交叉调制	143
5.5.1	引言	143
5.5.2	调幅信号的交叉调制	143
5.5.3	调频信号的交叉调制	146
5.5.4	采用变容二极管调谐的谐振回路中的交叉调制	149
5.6	由于强干扰信号引起接收机的阻塞	157
5.7	干扰啸叫	158
5.8	透过不良屏蔽渗入的干扰信号	162

5.9	从电源线来的干扰信号	162
5.10	接收机的抗干扰性	163
5.11	共用天线系统内的电磁兼容	165
5.12	从调幅、调频和电视接收机发出的辐射	167
第六章	发射机和天线的测量	170
	D. J. 贝姆 (Daniel J. Bem)	
6.1	引言	170
6.2	频率测量	171
6.3	输出功率测量	173
6.4	带宽测量	175
6.5	非必要振荡的测量	180
6.6	辐射方向图和增益的测量	182
6.7	辐射危害的测量	184
第七章	接收技术测量	187
	W. 罗特基耶维兹	
7.1	单信号选择性曲线的测量	187
7.2	中频信号、镜象信号和由本振谐波而收到的信号衰减的测量	193
7.3	双信号选择性测量	195
7.3.1	一般测量原理	195
7.3.2	由强干扰信号所引起的接收机阻塞	197
7.3.3	调频接收机中共频道干扰信号影响的研究 ...	199
7.3.4	调频接收机相邻频道中的干扰信号影响的研究	200
7.4	互调干扰的研究	201
7.5	干扰啸叫的研究	205
7.5.1	在装有第二个振荡器的超外差接收机中,没有接收信号参予时内部干扰啸叫的研究	205
7.5.2	调幅接收机干扰啸叫的单信号研究	206

7.5.3	调幅接收机干扰啸叫的双信号研究	207
7.5.4	电视接收机干扰的研究	208
7.6	接收机的抗干扰性的研究	210
7.6.1	调频接收机的抗脉冲干扰性	210
7.6.2	电视接收机抗脉冲干扰性的主观测试	212
7.6.3	调幅接收机对来自电源线的干扰的抗扰性 ...	213
7.6.4	电视接收机对来自电源线的干扰的抗扰性 ...	215
7.6.5	接收机对电场的抗扰性	216
7.6.6	接收机对磁场的抗扰性	218
7.7	接收机附近的干扰电平	220
7.8	从电源线到接收天线的干扰窜入因素	221
7.9	声音广播和电视接收机辐射的研究	222
7.9.1	引言	222
7.9.2	对来自声音广播接收机辐射的干扰电压的测量	223
7.9.3	电视接收机扫描电路辐射所引起的干扰电压 的测量	224
7.9.4	在高于30MHz 的频率范围内广播及电视接收 机的辐射场强的测量	225
7.9.5	在甚高频和超高频波段中接收机辐射的可用 功率测量	226
第八章	人为噪声测量	229
	W. 斯塔弗斯基(Włodzimierz Stawski)	
8.1	引言	229
8.2	干扰源 一般测量条件 单位	231
8.3	测量方法	234
8.3.1	干扰电压和电流的测量	234
8.3.2	干扰场强的测量	239
8.3.3	辐射干扰功率的测量	242

8.3.4	喀声测量	248
8.4	测量设备	251
8.4.1	引言	251
8.4.2	干扰计	252
8.4.3	喀声分析仪	263
8.4.4	人工电源网络	266
8.4.5	测量天线	271
8.4.6	吸收钳	273
8.4.7	电流探头	275
第九章	无线电监测(概貌).....	280
	R. G. 斯特鲁扎克 (Ryszard G. Strużak)	
9.1	引言	280
9.2	监测活动	281
9.3	监测站	284
9.3.1	固定监测站	284
9.3.2	移动台和可迁移的台	286
9.4	监测中的自动化问题	289
9.4.1	概述	289
9.4.2	测量过程	292
9.4.3	计算机控制的测量/监视系统	294
9.4.4	标准接口	296
9.5	灵巧仪器和计算机控制系统的例子	300
9.5.1	概述	300
9.5.2	灵巧的测试接收机	303
9.5.3	灵巧的频谱分析仪	306
9.5.4	移动式高频信号探测及测向系统	308
9.5.5	固定式高频信号探测、测向及电台定位系统	309
第十章	陆地无线电通信系统的电磁兼容.....	314

A. 沃伊纳尔(Andrzej Wojnar)

10.1	基本概念.....	314
10.1.1	引言.....	314
10.1.2	无线电通信链路.....	315
10.1.3	无线电通信网路.....	319
10.1.4	陆地无线电通信的兼容准则.....	321
10.2	无线电台的作用半径.....	324
10.2.1	地波在视距内的传播.....	324
10.2.2	地波的超视距传播.....	328
10.2.3	服务半径和干扰半径.....	331
10.3	电磁兼容的设计原理.....	333
10.3.1	网格式结构中的内部兼容.....	333
10.3.2	算法的网路设计的原则.....	337
10.3.3	高级电磁兼容分析介绍.....	341
10.4	密集的网络式无线电通信系统.....	344
10.4.1	小网格单元概念的密度问题.....	344
10.4.2	电磁兼容和网络式方法的通信量.....	346

第一章 导论

W. 罗特基耶维兹

每个无线电通信系统均工作在一定的自然的和人为的电磁(EM)环境中。自然的电磁环境起源于地球和宇宙的自然过程(例如来自地球大气层的放电或来自太阳及外层空间的各种自然过程)。而人为环境则是来自人类的活动并包括由无线电发射机有意产生的各种电磁场,以及这些发射机和其它技术设备产生的附加电磁场。它们构成了对某一无线电通信系统的有害的电磁干扰(EMI)环境,而工作系统又必须与这种环境兼容。什么是兼容呢?一般地说,这个术语涵义较为广泛,它描述一种共存状态,即能够共存。在这个意义上,它广泛用于各种自然的和人造的系统中。一个很好的例子就是一条河中鱼的生态。这条河的水被工厂排入的有毒废物所污染。如果采用有效的过滤装置,鱼的生命便不受威胁,鱼和工厂两者则均可兼容。电磁兼容(EMC)限于与电磁场及其现象有关的那些科学、技术及生活的领域。国际电工技术委员会(IEC)下了一个很好的定义:“电磁兼容是设备的一种能力,它在其电磁环境中能完成它的功能,而不至于在其环境中产生不能容忍的干扰”。这是一个考虑周到的定义,但它所针对的范围已超出本书所讨论的信息传输问题。在这点上,还是国际电工技术委员会那旧的狭义的定义更适合一些;其旧定义为:“电磁兼容是信号及干扰共存的能力,使包含在欲收信号中的信息不致损失”。

应该指出,电磁兼容提出了扩大我们电工理论与实践的知识面的任务,以制定方案和控制整个电磁现象。它要求一种特殊的方法分

析所产生系统的特点。不仅必须考虑系统的基本功能,而且还应预料到在给定的电磁环境中使给定的系统工作时所引起的所有副作用。

已有相当多的文献谈到了无线电通信中电磁兼容的一些细节,本书不再重述。本书的目的是在选定的各问题上加以系统的介绍,而这些问题是我们努力达到电磁兼容时所必须考虑的;作者们也相信本书填补了文献中某些不足之处。

下面简述一下本书各章节的内容。第二章描述大地的自然和人为电磁环境的基础。第三章详细地叙述为保护电磁频谱而与电磁干扰作斗争,并将电磁频谱作为很有价值的自然资源来保存方面的国际协同努力的情况。第四章阐述在无线电发射中的电磁兼容的基本概貌,而第五章是无线电接收机中的同样问题。其后的第六、七、八章讨论测量的重要基本原理,而这些测量必须是从电磁兼容的观点出发,对无线电发送设备、无线电接收设备以及对工业电磁干扰源来进行的。第九章略述无线电监测的基础,它对减少电磁频谱的拥挤问题是很重要的。最后第十章分析无线电通信网路的电磁兼容,以此作为前面所讨论过的一些想法的一个例子。

本书不包括不直接与无线电通信中的“通常”电磁兼容有关的电磁场。例如由于核爆炸所引起的非常强的具有摧毁性的电磁场和在地球环境中自然存在的一种迄今尚未解释清楚的十分微弱的场就是这样的场*。

所有的电磁场(强的或弱的,可测的或不可测的)会不同程度地影响某些活的有机体和植物。这是电磁场辐射的生物效应领域的一个很大的课题,它已经远远超出无线电通信领域的电磁兼容范畴。虽然如此,在第四章中还是简单地谈到了非电离辐射对活的有机体的影响。

* 这种场合人们是无法用现有的仪器来测量的,但是可用一种“生物物理探测器”来进行探测。这时,人充当了实际的探测器,而人体的摆动或神经则充当了仪表指针的功能。

第二章 大地电磁环境*

R. G. 斯特鲁扎克

2.1 自然源的磁场

2.1.1 靠近地表的地磁场

在我们周围存在的一种自然场就是地磁场。它的强度随着时间和地点的不同而在 16 到 56 A/m 的范围内变化。所谓地磁场恒定强度,就是指某地点某年内的平均场强。在地球表面,这个场差不多具有轴的对称。它的水平分量方向是由南到北;而垂直分量方向,在北半球是向下,而在南半球则向上。在某一地区磁场矢量和水平面的夹角称为磁倾角。在地球上,有两个点的磁倾角为 90° ,那里的场强最强。这就是地球的磁极(图 2—1)。磁极的位置是不固定的,随着较长时间而变化(即所谓长期变化)。现在南极位于南极洲(Antarctica)地区,北极则在北美洲。

磁倾角为零的点的轨迹称之为地磁赤道。它并不与地理赤道重合,在南美地区它们之间的最大偏差约 15° ,在地磁赤道上的场强大约只有磁极处的一半。

* 本章简要介绍有关地球物理和太阳与大气等物理知识,读者若愿深入研究请参阅本章末的有关参考文献。

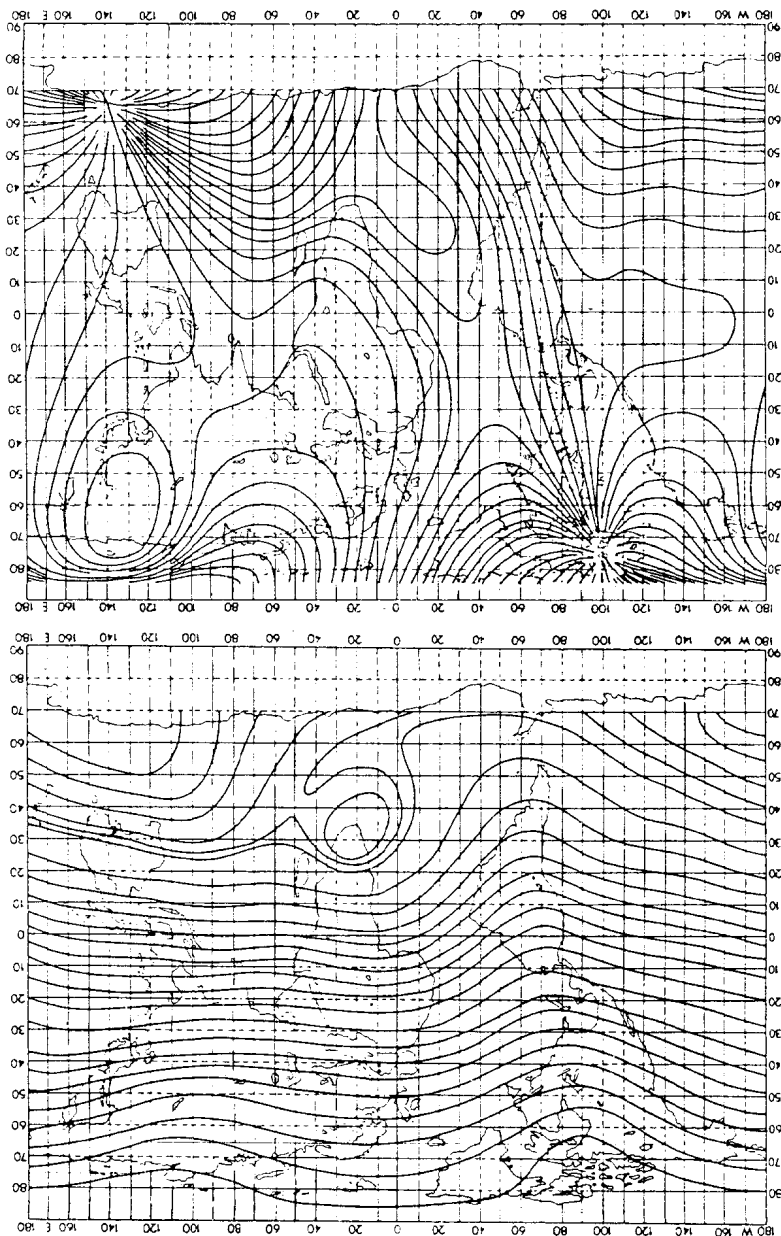


图 2—1 在地表的地磁场

(来源:CCIR 的建议和报告卷 6, ITU, 日内瓦 1978, P. 212、213) a—磁倾角图(年代 1975.0), b—磁偏角图(年代 1975.0)

在地球表面几何场(地磁场)矢量的水平分量切线的轨迹称为地磁子午线,而垂直于它们的线称为磁纬平行线。在每点的地理和地磁子午线相交成一个角度,称为磁变角或磁偏角。

如果地磁子午线向东偏离地理子午线,则磁偏角为正;如果向西偏离,则为负。相同磁偏角各点的连线称为等偏线。

观察到的地磁场 H , 可认为是两个分量之和。其一是地核和地壳深层的场, 其二是地壳的上层和区域的不均匀性的场, 前者称为正常场 H_n , 后者称为异常场 H_a 。

作为一级近似, 地磁正常场可以看成是一个位于地球中心磁矩为 $8.1 \times 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 的磁偶极子的场。偶极子的轴交于靠近地理极的地球表面的两个相对的点, 它们的坐标是北纬 78.3° 西经 69° 和南纬 78.3° 东经 111° , 这个偶极子的轴和地球的地理轴相交的角度约为 11.4° 。

作为二级近似, 磁偶极子要从球中心向北纬 15.6° 东经 150.0° 的点移开 436 km 。

相应的偶极子场强的分量为:

$$\begin{aligned} H_R &= 26 \frac{2\cos\theta}{R^3} \text{ A/m}, \\ H_\theta &= 26 \frac{\sin\theta}{R^3} \text{ A/m}, \\ H_\phi &= 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

这个关系式描述用极坐标系 (R, θ, ϕ) 表示的场, 极坐标的原点在偶极子的中心, 而其 $\theta=0$ 的轴与偶极子的轴相重合。为方便起见, 距离 R 用相对于地球半径 $R_0=6.37 \times 10^6 \text{ m}$ 归一化。用偶极子的场表示地磁场仅是近似正确。采用附加的磁偶极子则可获得较好的近似。

2.1.2 地球磁层

从宇宙飞船上所观察到的实验数据证明, 在离地球较远时, 地磁场的结构不同于上面所描述的偶极子场。特别是真实场占有有限的