

中等专业学校电子信息类教材

# 高频电子线路

■ 刘 骋 王 川 编



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph.com](http://www.xduph.com)

中等专业学校电子信息类教材

# 高频电子线路

刘 骋 王 川 编

西安电子科技大学出版社

2000

## 内 容 简 介

本书主要介绍高频电子线路的基本原理、分析方法及基本计算。主要内容有谐振放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅与检波、角度调制与解调、混频、模拟乘法器、反馈控制电路等。每章后均附有本章小结及思考题与习题。

本书可作为中等专业学校无线电技术专业及相关专业的教材,也可作为工程技术人员及其他人员自学电子线路的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/刘骋,王川编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2000.7

中等专业学校电子信息类教材

ISBN 7-5606-0861-2

I. 高… II. ①刘… ②王…

Ⅲ. 高频-电子电路-专业学校-教材 IV. TN7

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 25918 号

责任编辑 杨宗周 叶德福

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安辞源印刷厂

版 次 2000年7月第1版 2000年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.25

字 数 351千字

印 数 1~4 000册

定 价 16.00元

ISBN 7-5606-0861-2/TN·0147

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

# 前 言

本书主要介绍高频电子线路的基本概念、基本原理和分析方法。

全书共分十章。第一章为绪论，主要介绍高频电子线路在无线电通信系统中的作用和地位，并简单介绍了无线电信号的一些基础知识和基本概念。第二章到第八章分别介绍了各种功能电路：高频小信号谐振放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅与检波电路、混频器、调频与鉴频电路等。考虑到集成模拟乘法器和锁相环路已作为电子器件广泛地用于各类电子线路，本书第九章和第十章分别介绍了它们的基本原理和应用。

关于本书内容的安排，有以下几点说明：

(1) 随着集成技术的迅速发展，集成电路已被广泛地引入到通信电路中，本书对集成电路的介绍给予足够的重视，但在基本的电路分析方面仍以分立元件电路为主。

(2) 本书强调基本概念和基本分析方法，着重介绍单元电路的实际应用及在整机中的作用，对复杂的数学推导一般予以省略。

(3) 高频电子线路是一门实践性很强的课程，没有包含实验方面的内容，建议对本课程设置专门的实验课，本教材的使用应与相应的实验课教材相配合。

(4) 本书每章后均附有本章小结及思考题与习题。

本书由刘骋主编，第一、二、三、四、五章及第九、十章由刘骋执笔，第六、七、八章由王川执笔，全书由刘骋统稿。

本书由西安铁路运输学校赵连城主审，他对本书提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

本书在编写时，力求根据中专学生的特点，努力做到精选内容、深入浅出、通俗易懂。同时，尽可能多地涉及一些电子技术的新成果、新概念，以反映电子技术发展的新趋势。但由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2000年5月

## 常用符号表

### 一、基本符号

$I, i$	电流
$U, u$	电压
$P, p$	功率
$R, r$	电阻
$G, g$	电导
$X, x$	电抗
$B, b$	电纳
$Z$	阻抗
$Y$	导纳
$L$	电感
$C$	电容
$M$	互感
$F, f$	频率
$\Omega, \omega$	角频率
$T$	热力学温度, 脉冲重复周期
$t$	时间
$\tau$	脉冲宽度, 充放电时间常数
$N_F$	噪声系数

### 二、电压、电流

$u(i)$	表示交流电压(电流)瞬时值
$U(I)$	表示正弦电压(电流)有效值或振幅值
$U_Q(I_Q)$	工作点直流电压(电流)
$u_f$	反馈电压
$u_i$	输入电压
$u_o$	输出电压
$u_{AGC}$	自动增益控制电压
$u_c$	控制电压
$E_C$	集电极直流电源电压
$E_B$	基极直流电源电压
$E_S$	电源电动势
$A_u$	电压增益

### 三、功率

$P_i$	输入信号功率
$P_o$	输出信号功率
$P_c$	载波功率
$P_C$	集电极损耗功率
$P_D$	直流功率
$A_P$	功率增益

### 四、阻抗、导纳、频率、相位

$R_i$	输入电阻
$R_o$	输出电阻(回路谐振电阻)
$R_L$	负载电阻
$R_S$	信号源内阻
$r$	回路损耗电阻
$g_o$	回路谐振电导
$R_e$	高频功率放大器等效负载电阻
$\omega_o$	回路谐振角频率
$f_o$	回路谐振频率
$\omega_c$	载波角频率
$f_c$	载波频率
$\Omega$	调制角频率
$F$	调制频率
$\omega_{L0}$	本振角频率
$\omega_1$	中频角频率
$\omega(t)$	瞬时角频率
$\varphi(t)$	瞬时相位

### 五、电路参数

BW	通频带, 频谱宽度
$2\Delta f_{0.7}$	通频带
$Q_o$	回路固有品质因数
$Q_L$	回路有载品质因数
$k$	耦合系数

$p$	接入系数 $\gamma$ 变容二极管的变容指数
$\xi$	一般失谐量, 集电极电压利用系数
$m_a$	调幅指数
$m_f$	调频指数
$m_p$	调相指数
$S_0$	稳定系数
$\eta$	耦合因数
$\theta$	导通角
$\eta_c$	集电极效率
$K_r$	矩形系数

## 六、器件符号及参数

$V_D$	二极管
$V$	三极管
$C_j$	PN 结结电容
$g$	跨导
$U_j$	导通电压
$r_e$	发射结结电阻
$r_{bb'}$	基极体电阻
$U_{CES}$	集电极饱和压降
$I_{CM}$	集电极最大允许电流
$P_{CM}$	集电极最大允许损耗功率

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 无线电信号及频谱 .....	2
一、无线电信号的表示方式 .....	2
二、无线电信号的基本分析 .....	3
三、无线电信号的调制 .....	5
第三节 通信系统的组成及原理 .....	6
一、通信系统的组成 .....	6
二、发送设备和接收设备的组成及原理 .....	7
本章小结 .....	8
思考题与习题 .....	9
<b>第二章 小信号谐振放大器</b> .....	10
第一节 概述 .....	10
一、小信号谐振放大器在整机中的作用 .....	10
二、主要技术指标 .....	11
第二节 晶体管的高频等效电路 .....	13
一、共发混合 $\Pi$ 等效电路 .....	13
二、 $y$ 参数等效电路 .....	14
第三节 单回路谐振放大器 .....	16
一、单级共射单回路谐振放大器的工作原理和等效电路 .....	16
二、单回路谐振放大器的主要性能指标 .....	18
第四节 双回路谐振放大器 .....	23
一、双回路谐振放大器的 $y$ 参数等效电路 .....	23
二、主要性能指标 .....	25
第五节 多级谐振放大器 .....	28
一、多级单回路谐振放大器 .....	28
二、多级双回路谐振放大器 .....	30
第六节 小信号谐振放大器的稳定性 .....	31
一、晶体管内部反馈的有害影响 .....	31
二、谐振放大器的稳定系数与稳定增益 .....	32
三、提高放大器稳定性的方法 .....	33
第七节 集中选频放大器 .....	35
一、集成宽带放大器 .....	36
二、集中滤波器 .....	37

附录 并联谐振回路及其选频特性 .....	38
一、简单并联谐振回路及其特点 .....	38
二、并联回路的幅频特性和相频特性 .....	41
三、并联回路的通频带 .....	42
四、信号源内阻和负载电阻对并联回路的影响 .....	42
五、部分接入的并联谐振回路 .....	43
六、谐振回路的选频和滤波作用 .....	45
本章小结 .....	46
思考题与习题 .....	47
<b>第三章 高频功率放大器</b> .....	<b>49</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>49</b>
一、高频功率放大器的作用和任务 .....	49
二、高频功率放大器与低频功率放大器的异同 .....	50
三、高频功率放大器与小信号放大器的异同 .....	50
四、高频功率放大器的分析方法和性能指标 .....	50
<b>第二节 高频功率放大器的工作原理</b> .....	<b>51</b>
一、高频功率放大器的组成及工作原理 .....	51
二、高功放各级电压、电流波形 .....	52
三、高功放的功率和效率 .....	52
四、进一步提高高功放效率的途径 .....	53
<b>第三节 高功放集电极余弦脉冲电流的分析</b> .....	<b>54</b>
一、折线分析法 .....	54
二、集电极余弦脉冲电流的分析 .....	54
<b>第四节 高功放的动态分析和外部特性</b> .....	<b>59</b>
一、高功放的动态分析 .....	59
二、负载特性 .....	61
三、放大特性 .....	63
四、调制特性 .....	64
五、丙类放大器工作状态的计算举例 .....	65
<b>第五节 高频功率放大器的实际电路</b> .....	<b>66</b>
一、馈电电路 .....	67
二、高功放的输出回路 .....	69
<b>第六节 丙类倍频器</b> .....	<b>72</b>
本章小结 .....	74
思考题与习题 .....	74
<b>第四章 正弦波振荡器</b> .....	<b>76</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>76</b>
<b>第二节 反馈型振荡器的工作原理</b> .....	<b>76</b>
一、反馈型振荡器的组成 .....	76
二、反馈型振荡器举例 .....	77
三、振荡器的振荡条件 .....	78



四、振荡器的偏置及工作状态 .....	82
第三节 LC 三点式振荡器 .....	83
一、LC 三点式振荡器的组成原则 .....	83
二、电容反馈三点式振荡器 .....	84
三、电感反馈三点式振荡器 .....	86
第四节 改进型电容反馈三点式电路 .....	87
一、串联改进型电容反馈三点式电路——克拉泼电路 .....	87
二、并联改进型电容反馈三点式电路——西勒电路 .....	88
第五节 振荡器的频率稳定度 .....	90
一、频率稳定的意义 .....	90
二、振荡频率不稳的原因 .....	91
三、稳频措施 .....	92
第六节 石英晶体振荡器 .....	93
一、石英晶体谐振器 .....	94
二、石英谐振器的稳频原理 .....	95
三、石英晶体振荡器电路 .....	96
四、使用石英晶体时应注意的事项 .....	99
第七节 集成电路振荡器 .....	100
一、差分对管振荡电路 .....	100
二、单片集成振荡电路 E1648 .....	100
三、集成运放振荡器 .....	102
第八节 RC 正弦波振荡器 .....	102
一、RC 选频网络的频率特性 .....	102
二、文氏电桥振荡器 .....	104
本章小结 .....	106
思考题与习题 .....	107
<b>第五章 频率变换电路分析基础</b> .....	<b>112</b>
第一节 概述 .....	112
第二节 非线性元器件的特性描述 .....	113
一、非线性电阻性元器件 .....	113
二、非线性电容性元器件 .....	113
第三节 非线性电路的分析方法 .....	114
一、折线分析法 .....	114
二、幂级数分析法 .....	115
三、开关函数近似法 .....	116
第四节 非线性元器件的频率变换作用 .....	117
一、单一正弦电压作用下的频率变换作用 .....	117
二、两个不同频率正弦电压作用下的频率变换作用 .....	118
本章小结 .....	119
思考题与习题 .....	120

<b>第六章 调幅与检波</b> .....	121
第一节 概述 .....	121
第二节 调幅信号及频谱 .....	122
一、调幅信号的波形 .....	122
二、调幅波的数学表达式 .....	124
三、调幅波的频谱 .....	124
四、调幅波的功率 .....	126
第三节 调幅电路 .....	127
一、调幅技术 .....	127
二、二极管平方律调幅 .....	129
三、平衡调幅电路和环形调幅电路 .....	130
四、高电平调幅电路 .....	134
五、单边带调幅电路 .....	138
第四节 调幅信号检波的原理及电路 .....	139
一、调幅信号检波的基本原理 .....	139
二、二极管小信号平方律检波器 .....	139
三、二极管大信号包络检波器 .....	142
四、同步检波器 .....	148
本章小结 .....	150
思考题与习题 .....	150
<b>第七章 混频</b> .....	154
第一节 概述 .....	154
一、为什么要进行混频 .....	154
二、混频器的作用 .....	154
三、混频器的组成、波形及频谱 .....	155
四、混频器的工作原理 .....	156
五、混频器的分类 .....	157
第二节 三极管混频器 .....	157
一、电路的组态 .....	157
二、工作原理 .....	158
三、实例分析 .....	160
第三节 二极管混频器 .....	162
一、二极管平衡混频器 .....	162
二、环形混频器 .....	164
第四节 混频器的干扰 .....	165
一、组合频率干扰 .....	166
二、副波道干扰 .....	168
三、交叉调制干扰 .....	170
四、互相调制干扰 .....	171
五、阻塞干扰 .....	171
六、混频器中减小非线性失真的措施 .....	172
本章小结 .....	172

思考题与习题 .....	173
<b>第八章 角度调制与解调 .....</b>	<b>175</b>
第一节 概述 .....	175
第二节 调频信号与调相信号的分析 .....	175
一、调频信号 .....	175
二、调相信号 .....	177
三、调频信号与调相信号的比较 .....	178
四、调频信号的频谱和频带宽度 .....	179
第三节 调频原理及电路 .....	182
一、调频信号的产生 .....	182
二、调频电路 .....	183
第四节 鉴频原理及电路 .....	188
一、概述 .....	188
二、斜率鉴频器 .....	190
三、相位鉴频器 .....	192
四、比例鉴频器 .....	196
本章小结 .....	200
思考题与习题 .....	202
<b>第九章 集成模拟乘法器及其应用 .....</b>	<b>204</b>
第一节 模拟乘法器的基本概念 .....	204
第二节 实用集成模拟乘法器举例 .....	205
一、模拟乘法器的基本原理 .....	205
二、实用集成模拟乘法器举例 .....	206
第三节 模拟乘法器在频率变换中的应用 .....	208
一、振幅调制 .....	208
二、同步检波 .....	210
三、混频 .....	211
四、倍频 .....	212
本章小结 .....	213
思考题与习题 .....	213
<b>第十章 反馈控制电路 .....</b>	<b>214</b>
第一节 概述 .....	214
第二节 自动增益控制电路 .....	215
一、自动增益控制电路的基本工作原理 .....	215
二、放大器的增益控制 .....	217
第三节 自动频率微调 .....	218
第四节 锁相环路的工作原理及性能分析 .....	219
一、锁相环路的基本组成 .....	220
二、锁相环路的相位模型 .....	223

三、锁相环路的捕捉与锁定 .....	224
四、锁相环路的跟踪 .....	225
五、锁相环路的窄带特性 .....	225
第五节 锁相环路的应用 .....	226
一、锁相 FM(PM)调制器 .....	226
二、锁相鉴频(鉴相)器 .....	226
三、同步检波器 .....	226
四、锁相倍频与分频 .....	227
五、锁相接收机 .....	228
第六节 集成锁相环简介 .....	228
本章小结 .....	230
思考题与习题 .....	230
<b>参考文献</b> .....	<b>231</b>

# 第一章

## 绪 论

### 第一节 概 述

无线电技术可以说是我们这个时代发展最迅速、应用最广泛的一门学科。无线电技术的发展和用已经渗透到人们生产和生活的各个领域，人们对它的研究涉及各个方面，但信息的传输和处理始终是其主要内容。

实际上，在很早以前，人们就不断地寻求各种方式进行信息的传递。如用烽火台的火光传递敌人入侵的消息就是史料记载的最早的信息传递方式。其后，又出现了旗语、驿站、信鸽等传递消息的方式。

19 世纪初，人们开始研究如何利用沿导线传输的电信号来传递消息，即所谓的“有线电通信”。1837 年，莫尔斯发明了电报，他用点、划、空适当组合的代码代表字母和数字，这种代码称为莫尔斯代码。1876 年，贝尔发明了电话，直接将声音信号转变为电信号并沿导线传播。

无论是原始的传递信息的方式还是早期的有线通信方式，其准确性和可靠性均较差，并且受到自然环境和自然条件等诸多因素的约束，远远不能满足人们日益增长的对信息传输的要求。

直到 1873 年，英国物理学家麦克斯韦发表了电磁波方面的著名论文。人们开始尝试在空中高速传播的电磁波来传递信息。1895 年，意大利的马可尼和俄国的波波夫发明了无线电，实现了无线电通信，从而进入了无线电通信的应用和发展的新时代。

无线电通信的基本原理就是利用无线电通信系统将声音信号转变为电信号，然后经过处理，由天线发射出去，通过空间(或地表)传输，再由收端接收下来，还原成声音信号。

无线电信号按照其波长不同，可以分为长波、中波、短波、超短波等类型，与其对应的频率分别为低频、中低频、高频、超高频等。不同频率的无线电信号，具有不同的传播方式和应用范围，它们对于电子元件和电子器件的影响也是不同的。例如，在放大低频信号时，放大器的晶体管在工作期间，可以不考虑其内部结电容的影响，因为当信号频率很低时，晶体管内部结电容的容抗很大，可以近似等效为开路，其对放大器的影响可以忽略；而在放大高频信号时，放大器晶体管的结电容的影响则不能忽略，这是因为信号的频率越高，晶体管结电容呈现出的容抗就越小，其对放大器的影响也就较为突出的缘故。

表 1-1 列出了无线电波的波段划分情况。

表 1-1 无线电波的波段划分

波段名称	波长范围	频率范围	主要传播方式及用途
长波	1 000~10 000 m	30~300 kHz	地表波, 远距离通信, 导航
中波	100~1 000 m	300~3 000 kHz	地表波, 调幅广播, 船舶通信
短波	10~100 m	3~30 MHz	电离层反射波, 调幅广播
超短波	1~10 m	30~300 MHz	直射波, 调频通信, 电视, 雷达
分米波	10~100 cm	300~3 000 MHz	直射波, 对流散射波, 卫星通信
厘米波	1~10 cm	3~30 GHz	直射波, 卫星通信与雷达, 接力通信
毫米波	1~10 mm	30~300 GHz	

## 第二节 无线电信号及频谱

用变化的电流或电压来反映声音、图像等原始信号的变化规律的信息即为无线电信号。

### 一、无线电信号的表示方式

#### 1. 波形

波形就是将电流、电压随时间变化的规律直接用曲线表示出来。它是无线电信号的时域表示方法, 其特点是直观、简单。

无线电信号的波形如图 1-1 所示。

#### 2. 频谱

频谱就是将无线电信号的频率成分的分布在频率轴上表示出来。它是无线电信号的频域表示方法。

无线电信号的频谱如图 1-2 所示。

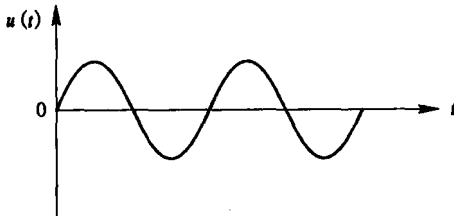


图 1-1 无线电信号的波形

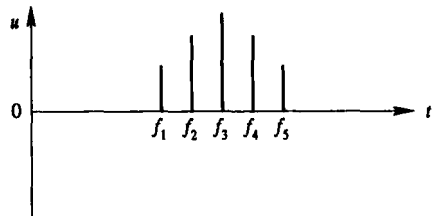


图 1-2 无线电信号的频谱

#### 3. 数学表达式

这是指用数学函数式来表示无线电信号, 其特点是精确。例如, 无线电余弦波信号, 可以用下述表达式

$$u(t) = U \cos \omega t \quad (1-1)$$

表示。

## 二、无线电信号的基本分析

我们可以简单地把无线电信号分为模拟信号和数字信号。

所谓模拟信号，就是直接用变化的电流或电压来模拟各种消息信号，如声音、图像等的变化规律。它们在时间上和数值上是连续变化的。

数字信号是指信号在时间上和数值上是离散变化的。就信号的表现形式而言，它们通常是一种矩形脉冲序列，即可以用 0 和 1 来表示的序列。

模拟信号和数字信号表示如图 1-3 所示。

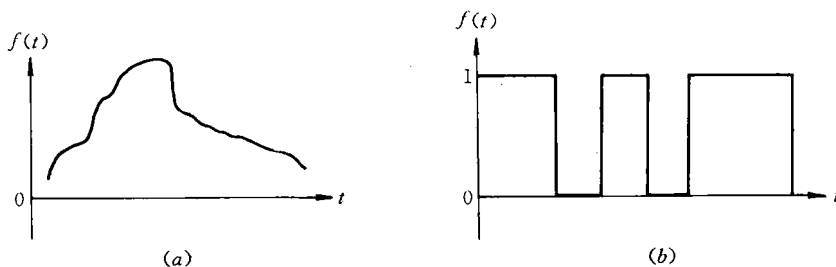


图 1-3 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号；(b) 数字信号

高频电子线路是用来传输和处理模拟信号的电路，即为模拟电路。本课程所讨论和分析的信号均为模拟信号。

无线电信号还可以分为周期性信号和非周期性信号。

周期性信号是指每隔一定的时间  $T$ ，按同一规律变化的信号，如图 1-4(a) 所示。

当周期性信号的重复周期  $T$  趋于无穷大时，周期性信号就变为非周期性信号，如图 1-4(b) 所示。

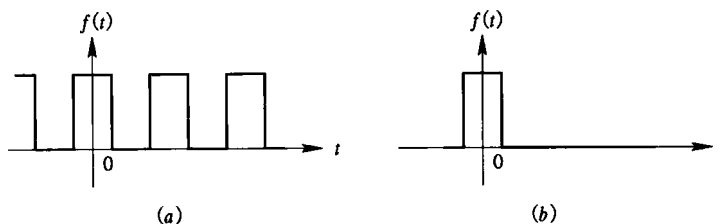


图 1-4 周期性信号和非周期性信号

(a) 周期性信号；(b) 非周期性信号

在高等数学中，我们知道，如果非正弦周期性函数满足狄里赫利条件，则可以把它分解为一系列周期性正弦函数之和。一般来说，无线电信号中的非正弦周期性信号均能满足狄里赫利条件，因此，任何非正弦周期性信号均能分解成许多不同频率的单一正弦信号之和；反之，任何非正弦周期性信号，都能用正弦信号来合成。合成的项数越多，准确度越高。

非正弦周期性信号的分解，可以利用傅立叶级数的展开来完成。

设非正弦周期性信号为  $f(t)$ ，则其傅立叶级数展开式为

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos \Omega t + a_2 \cos 2\Omega t + a_3 \cos 3\Omega t + \dots \\ &\quad + b_1 \sin \Omega t + b_2 \sin 2\Omega t + b_3 \sin 3\Omega t + \dots \\ &= \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t - \varphi_n) \end{aligned} \quad (1-2)$$

其中， $\Omega = 2\pi F = 2\pi/T$  为基波角频率， $F$  为基波频率；

$a_0$  为常数项；

$a_n$  为余弦项的振幅；

$b_n$  为正弦项的振幅。

$a_0$ 、 $a_n$ 、 $b_n$  可以由下列式子求出：

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt \quad (1-3)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos n\Omega t dt \quad (1-4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin n\Omega t dt \quad (1-5)$$

可以证明，如果函数  $f(t)$  为奇函数，即函数  $f(t)$  对原点对称，此时有  $f(-t) = -f(t)$ ，则此函数的傅氏级数可以表示为

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\Omega t \quad (1-6)$$

如果该函数是偶函数，即函数  $f(t)$  对  $y$  轴对称，此时有  $f(t) = f(-t)$ ，则函数  $f(t)$  的傅氏级数可以表示为

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\Omega t \quad (1-7)$$

**例 1-1** 试求图 1-5 所示信号的傅立叶级数。

**解：**图 1-5 为一个周期性矩形脉冲信号，其中， $A$  为脉冲幅度， $\tau$  为脉冲持续时间， $T$  为脉冲重复周期，这个信号在一个周期内的数学表达式为

$$\begin{cases} f(t) = A & \text{当 } -\frac{\tau}{2} \leq t < \frac{\tau}{2} \\ f(t) = 0 & \text{当 } \frac{\tau}{2} \leq t < T - \frac{\tau}{2} \end{cases} \quad (1-8)$$

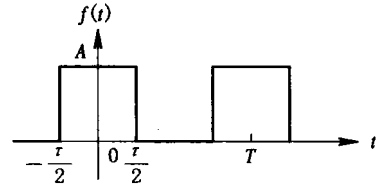


图 1-5 周期性矩形脉冲

由于矩形脉冲对称于  $y$  轴，所以  $f(t)$  为偶函数，

因此， $b_n = 0$ ，没有正弦分量，只有直流分量和余弦分量。根据式(1-3)和式(1-4)可得

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} f(t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} A dt = \frac{2A\tau}{T}$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} f(t) \cos n\Omega t dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} A \cos n\Omega t dt$$



$$= \frac{2E \sin n\Omega \cdot \frac{\tau}{2}}{n\pi}$$

由此，可以根据图 1-5 所示的矩形脉冲，写出其傅立叶级数表达式

$$f(t) = A \left[ \frac{\tau}{T} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\Omega \cdot \frac{\tau}{2}}{n} \cos n\Omega t \right]$$

如果知道了脉冲幅度  $A$ ，持续时间  $\tau$  和重复周期  $T$ ，就可以把各个分量的振幅值计算出来。

据此，还可画出这个信号的频谱图，如图 1-6 所示。

由本例题可知，周期性信号的频谱由不连续的谱线构成，每一条谱线代表一个正弦或余弦分量，每条谱线间的间隔相等，均等于基波角频率  $\Omega$ ，即所有谐波频率均为基波频率的整数倍，且其谐波成分的幅度随着谐波次数的增高而逐渐减小。



图 1-6 矩形脉冲序列的频谱

随着信号周期  $T$  逐渐增大，其角频率  $\Omega$  逐渐减小，频谱逐渐变密。当信号周期趋于无穷大，即  $T \rightarrow \infty$  时， $\Omega \rightarrow 0$ ，信号频谱由离散谱变为连续谱。也就是说，非周期性信号的频谱为连续谱。

### 三、无线电信号的调制

调制与解调是无线电通信中必不可少的过程，只有通过调制和解调，才可能实现远距离的和有效的通信。所谓调制，就是用低频信号来控制高频振荡信号的振幅，或者频率，或者相位，使其按照低频信号的变化规律而变化。这个低频信号就称为调制信号，高频振荡信号称为载波，调制后的信号称为高频已调信号。解调是调制的反过程，亦即把低频调制信号从高频已调信号中还原出来的过程。

用低频调制信号控制载波的振幅称为调幅。假设调制信号和载波均为正弦信号，则已调信号的波形如图 1-7 所示。

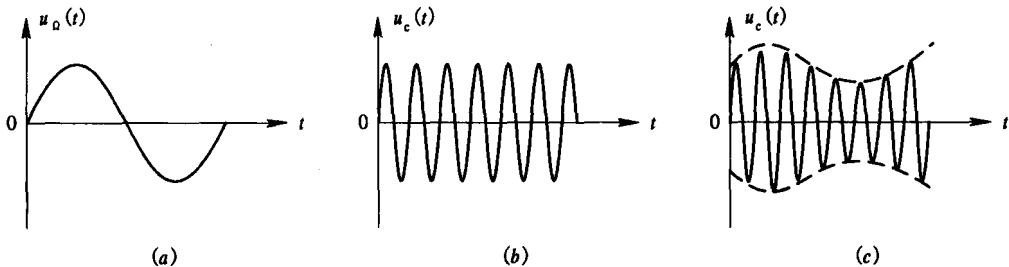


图 1-7 已调波波形图

(a) 低频调制信号；(b) 载波信号；(c) 已调波信号