



高 等 学 校 教 材

脉 冲 技 术

上 册

徐 則 琨 等 編



人 民 教 育 出 版 社



高等学校教材



脉 冲 · 技 术

上 册

徐 则 琨 等 编

人 民 教 育 出 版 社

脉 冲 技 术

上 册

徐 则 琨 等 编

北京市书刊出版业营业登记证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 K16010-1079 开本 250×1168 1/32 印张 14 5/16

字数 374,000 印数 22,501-25,000 定价 (7) 1.10元

1961年9月第1版 1964年11月北京第7次印刷

序

本书系根据我們为計算技术与装置专业讲授的“脉冲技术”課讲义改編而成的,分上下册出版,共包括二十二章。上册包括第一章至第十四章,其中前十三章为电子管脉冲技术部分,第十四章为毫微秒脉冲技术部分;下册包括第十五章至第二十二章,均为晶体管脉冲技术部分。

編写本书时,主要参考了Л. А. 米耶罗維奇、Л. П. 杰里欽科著的“脉冲技术”等书。参加本书編写工作的有徐則琨(第四、五、八、九、十一、十二、十三、十五、二十章),吳純园(第一、十、十四、十六、十八章),迂桂芬(第六章),于宝貴(第七章),胡德河(第二章)和賈超(第十九章)等同志。第十七、二十一、二十二等三章选自西安交通大学“晶体管脉冲技术”讲义,第三章选自北京工业学院无綫电系1958年“脉冲技术”讲义。本书在前几次印刷时原以“徐飞”的名义发表,自这次重印时起改用“徐則琨等”的名义。

由于編者业务水平所限,且經驗不足,缺点和錯誤之处在所难免,我們誠懇地希望讀者多提意見,以便改正。

編 者

1963年4月

目 录

序	vi
緒言	1
§ 0-1. 脉冲工作状态和它的特点	1
§ 0-2. 脉冲的形状	3
§ 0-3. 脉冲技术研究的对象和应用	5
第一章 脉冲过程的数学分析方法	7
§ 1-1. 富氏级数和富氏积分	8
§ 1-2. 若干脉冲信号的频谱特性	13
§ 1-3. 线性网络的频率特性	17
§ 1-4. 脉冲波形通过线性网络的畸变	19
§ 1-5. 拉氏变换	23
§ 1-6. 用运算方法分析过渡过程	29
§ 1-7. 叠加积分	35
第二章 脉冲放大	38
§ 2-1. 脉冲放大器的特点	38
§ 2-2. 具有补偿元件的基本线路	44
§ 2-3. 脉冲放大器的高频补偿	45
§ 2-4. 脉冲放大器的低频补偿	54
§ 2-5. 脉冲放大器的安装和檢驗	61
§ 2-6. 阴极跟随器	64
第三章 削波器(限幅器)	76
§ 3-1. 削波器的用途	76
§ 3-2. 削波器的种类	78
§ 3-3. 寄生电容的有害影响	88
§ 3-4. 定位器	90
第四章 电容微分电路	100
§ 4-1. 一般概念	100
§ 4-2. 有限的边沿持续时间对脉冲形状和大小的影响	103
§ 4-3. 寄生参数对微分电路的影响	108
§ 4-4. 脉冲形状的计算	114
§ 4-5. 微分回路参数的选择	117
§ 4-6. 电容微分电路的计算举例	120

第五章 用振荡回路形成脉冲	129
§ 5-1. 引言	129
§ 5-2. 振荡回路的基本线路	130
§ 5-3. 振荡回路的微分方程式	133
§ 5-4. 校准标志脉冲的获得	136
§ 5-5. 尖顶脉冲的获得	141
§ 5-6. 用冲击振荡回路作为整形元件	143
§ 5-7. 矩形脉冲的获得	146
§ 5-8. 用振荡回路形成脉冲计算举例	148
第六章 延迟线	152
§ 6-1. 长线	153
§ 6-2. 四端网络	165
§ 6-3. 延时网络节——延迟线	172
§ 6-4. 用延迟线及二端网络形成脉冲	184
§ 6-5. 具有分布参数的延迟线	190
第七章 触发器	193
§ 7-1. 引言	193
§ 7-2. 触发器的工作原理	196
§ 7-3. 具有正反馈电阻耦合放大器的触发特性分析	203
§ 7-4. 触发方式	206
§ 7-5. 线路参数的影响	211
§ 7-6. 转换过程及加速转换过程的几个方法	214
§ 7-7. 阴极耦合回路	226
§ 7-8. 触发器的设计	239
第八章 单稳触发器	236
§ 8-1. 单稳触发器的工作原理	236
§ 8-2. 电阻耦合单稳态触发电路	240
§ 8-3. 阴极耦合单稳态触发电路	247
§ 8-4. 电容耦合单稳态触发电路	254
§ 8-5. 具有正偏压的单稳态触发电路	258
§ 8-6. 工作时间宽度的调节	261
§ 8-7. 单稳态触发电路的触发方法	262
§ 8-8. 单稳态触发电路在电子计算机中应用举例	263
§ 8-9. 单稳态触发电路计算举例	265
第九章 自激多谐振荡器	274
§ 9-1. 引言	274
§ 9-2. 自激多谐振荡器的工作原理	274

§ 9-3. 多諧振蕩器自激振蕩過程的研究	277
§ 9-4. 具有正偏壓的自激多諧振蕩器	282
§ 9-5. 負載對自激振蕩器工作的影響以及工作狀態的選擇	284
§ 9-6. 脈沖寬度的穩定性	286
§ 9-7. 自激多諧振蕩器設計舉例	290
第十章 脈沖變壓器和間歇振蕩器	297
§ 10-1. 脈沖變壓器和它的等效電路	297
§ 10-2. 傳遞脈沖的畸變	304
§ 10-3. 間歇振蕩器的基本原理	309
§ 10-4. 間歇振蕩器工作過程的分析	314
§ 10-5. 間歇振蕩器的一些電路和特點	326
第十一章 弛張振蕩器的同步和脈沖的分類	334
§ 11-1. 緒言	334
§ 11-2. 短脈沖的同步	334
§ 11-3. 矩形脈沖的同步	338
§ 11-4. 正弦電壓的同步	340
§ 11-5. 同步範圍研究的結論和修正	344
§ 11-6. 分類器	345
第十二章 鋸齒電壓波	355
§ 12-1. 積分電路的概念	355
§ 12-2. 直線變化電壓的基本參量	357
§ 12-3. 獲得直線變化電壓的方法	360
§ 12-4. 直線變化電壓產生的電路	368
第十三章 脈沖的調制和解調	377
§ 13-1. 脈沖調制的種類	377
§ 13-2. 脈沖的幅度的調制和解調	379
§ 13-3. 脈沖的調寬和解調	386
§ 13-4. 脈沖的調相和解調	402
第十四章 毫微秒脈沖技術	409
§ 14-1. 阻容電路的脈沖發生器	409
§ 14-2. 電感反饋的脈沖發生器	417
§ 14-3. 滯後反饋的脈沖發生器	422
§ 14-4. 用放電長線形成脈沖	430
§ 14-5. 分布參數放大器	438
§ 14-6. 脈沖的變換	445
§ 14-7. 脈沖示波器	447

緒 言

§ 0-1. 脉冲工作状态和它的特点

近代的許多无綫电装置和数字計算机是在脉冲状态下工作的。这些装置中的电压和电流,不是連續作用的,而是断續作用的。对于連續作用的装置来讲,在接入电压以后到断开电源之前,中間这一段穩态过程是这些装置工作的時間,而接入电压和切除电压时所发生的过渡过程,不是这些装置有效的工作時間。对于間断工作的装置,电压的反复接入和切除,过渡过程的反复进行,是正常工作的状态。由于电压反复接入、切断而形成的电压和电流的間断性称为脉冲电压和脉冲电流。

在无綫电技术和計算装置中,脉冲电压和电流,按一定的規律組成脉冲信号。例如:图 0-1, a 所示是雷达系統中的脉冲信号,它由两个脉冲組成,两个脉冲的間隔 T_b 和雷达站到捕获目标的距离成正比。图 0-1, b 是无綫电通訊或遙控装置采用的脉冲信号,信号所传递的信息,由脉冲的排列,也就是時間間隔 T_1, T_2 等来决定。

图 0-1, c 所示是数字計算机中采用的

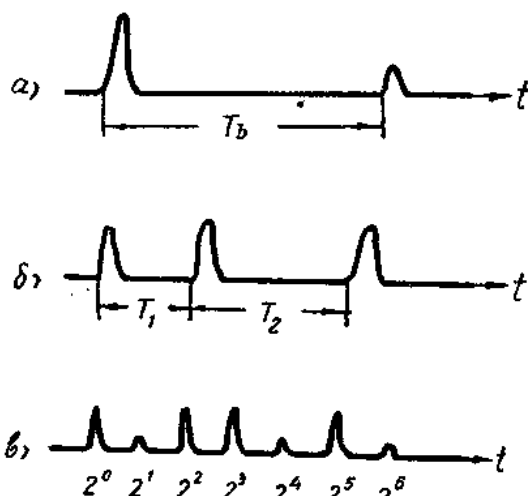


图 0-1.

脉冲信号,它表示一个二进位的数碼。图中所示的数碼是:

$$N = 1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^6 \\ = 1 + 0 + 4 + 8 + 0 + 32 + 0 = 45.$$

在一般情况下,脉冲工作状态是处理一定形状的脉冲序列,序列按着一定规律組合。在特殊情况下,脉冲以一定的時間間隔重复出现(图 0-2)。

在图 0-2 中: T_n 为脉冲的重复周期;

T_u 为脉冲間隔宽度;

t_u 为脉冲宽度。



图 0-2.

脉冲过程的特点是脉冲宽度小;脉冲間隔大,也就是說,脉冲过程具有很大的間歇性:

$$Q = \frac{T_n}{t_u}. \quad (0-1)$$

Q 这个数值很大, Q 的倒数即脉冲填充系数 ξ 就很小

$$\xi = \frac{1}{Q} = \frac{t_u}{T_n}. \quad (0-2)$$

脉冲的宽度可由几秒到几个毫微秒,如在自动控制綫路中,可以是几秒,而在近代物理学中,可以达到一个毫微秒(10^{-9} 秒)。在计算机中为了提高計算速度,現在已經采用几个微秒到百分之几微秒的脉冲。

当脉冲电压或电流作用在綫路上的时候,由于电路具有存儲能量的元件,因此产生了过渡过程,过渡过程的时间 t_{nepe} 一般相当于电路的时间常数的几倍。一般情况下, $t_{nepe} < t_u$ 。如果 $Q \gg 1$, 綫路受到序列脉冲作用,当一个脉冲开始作用时,可以认为上一个脉冲所引起的过渡过程已經平息。这样我們只研究其中一个脉冲所引起的过渡过程就够了。

对于产生脉冲序列的振荡器来讲,也有它的特点。就是在比较长的时间间隔内,逐渐地存储能量,这样就不要求具有大功率的能源。而向负载元件释放能量时,是在很短的时间内完成的(等于脉冲宽度),这样就使脉冲集中了比较大的能量。因此,脉冲振荡器的功率比同样体积的连续工作状态的振荡器得到的振荡功率要大许多倍。原因是振荡器的发热情况是受到平均功率的限制,而脉冲序列的 Q 很大,平均功率很小。如:氧化物阴极的电子管,在脉冲状态工作时,其工作电压允许超过连续工作状态时容许电压的几十倍。这种情况,就使得能够采用体积不大的电子仪器,在短时间内得到强大的功率。这对国防和航空事业是有极大意义的。

§ 0-2. 脉冲的形状

脉冲的形状有很多种。如:在图 0-3 中就列举出了 1)矩形的; 2)梯形的; 3)三角形的; 4)指数曲线形的; 5)钟形的脉冲。

当把脉冲加到一个线路上去的时候,脉冲的各个部分起着不同的作用。为了说明组成脉冲形状的这些部分,我们把脉冲形状加以理想化(图 0-4)。

图 0-4 指明了脉冲形状的几个部分:

前沿 (ab)部分;

顶部 (bb')部分;

后沿 (bc)部分;

尾部 (cd)部分。

这几个部分有一定的

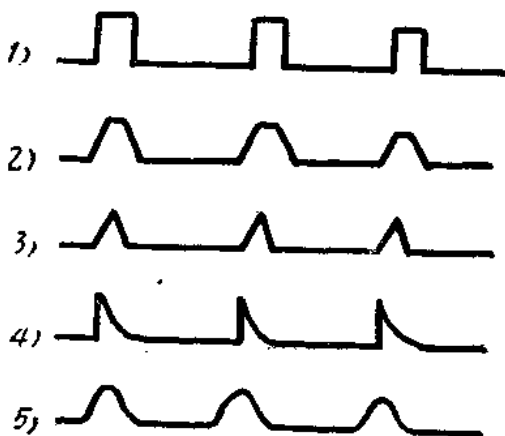


图 0-3.

物理意义。如前沿和后沿,在简单的情况下,相当于电子管的开启和关

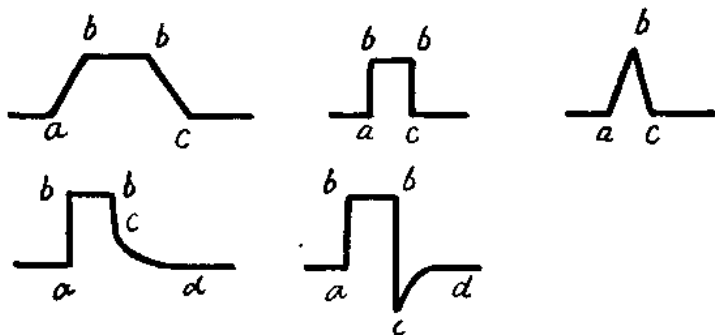


图 0-4.

閉時間；頂部相當於脈衝的主要工作部分，可以是表示電子管的開啟狀態延續時間；尾部有時是形成了脈衝裝置的恢復階段，以便過一定時間後（尾部結束時）重新形成脈衝。

脈衝的基本參數包括：

A ——脈衝的最大幅度；

ΔA ——脈衝頂部的下降（即傾斜）；

t_{ϕ} ——脈衝前沿寬度；

t_c ——脈衝後沿寬度；

t_x ——脈衝尾部寬度；

t_u ——脈衝寬度。

下面我們就一個近似矩形的脈衝（實際上是梯形的）來說明一些參數的含義（圖 0-5）。

由圖 0-5 可以看到 A 是脈衝的最大高度，也就是脈衝幅度。整個脈衝的形狀，隨時間變化的規律

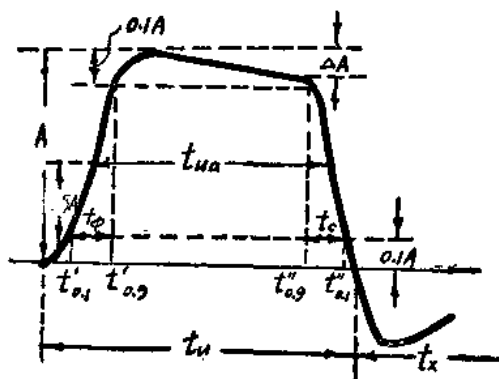


图 0-5.

以 $a(t)$ 来表示,这样就可以规定前沿和后沿宽度的含义: 它们是 $a(t)$ 由 $0.1A$ 上升到 $0.9A$ 和由 $0.9A$ 下降到 $0.1A$ 所需要的时间。在图 0-5 上看来就是:

$$\begin{aligned} t_d &= t'_{0.9} - t'_{0.1}; \\ t_e &= t''_{0.1} - t''_{0.9}. \end{aligned} \quad (0-3)$$

脉冲有效宽度 t_{aa} 是 $a(t) = 0.5A$ 的两点之间的间隔。

如果用一根直线来逼近脉冲的顶部,那就可以确定 ΔA 的含义。 ΔA 是这根逼近线段与 A 值的最大差值。

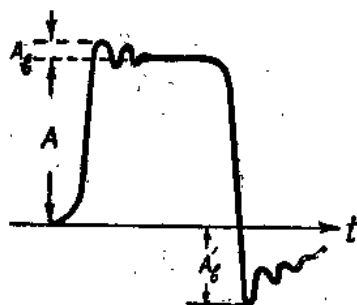


图 0-6.

如果由于脉冲线路内的寄生参数的作用,使得在基本的脉冲形状上,又有了附加的振荡,这就在脉冲的顶部产生冲击量 A_s ,在尾部产生反击量 A'_s (图 0-6)。

§ 0-3. 脉冲技术研究的对象和应用

脉冲技术是一门技术科学,它研究的对象是获得各种形状的脉冲的方法,脉冲系统的放大和变换,这些脉冲过程的分析、计算以及脉冲线路元件的计算、设计问题。

研究脉冲过程的方法和一系列其他电子装置、无线电装置工作过程的研究方法不同,基本差别在于脉冲过程实际上是过渡过程,而其他电子装置往往着眼于稳态过程的研究。脉冲过程往往体现为电容的电荷量的改变或者电感线圈的电流的改变。

脉冲信号不同于正弦交流信号,后者通过线性网络后仍然是正弦交流信号,前者即使是通过线性网络,也会使脉冲形状发生很大改变。这种性质就使得我们可以用线性电路来形成一定形状的脉冲信号。

形成脉冲振荡的另外的方法是利用电子管或晶体管特性的非线性

部分。这些电子元件往往被当作具有两个状态的电子开关：一个状态是接通——通过电流，另一状态是切断——电流截止。

脉冲技术应用的范围正在不断扩大。它推进了雷达技术、电视技术、脉冲无线电通讯和无线电导航等技术部门的发展，利用脉冲技术可以实现电码通讯，它具有很高的隐蔽性和抗干扰能力。脉冲技术被广泛地应用在水无线电遥测、遥控和多路通讯技术中。

在一系列的科学技术部门中，例如原子物理学中，用脉冲技术的方法来进行特殊测量。

在近代快速电子计算机中，数码是用脉冲信号来表示的。运算、存取、控制等基本工作过程，实际上就是脉冲信号的传送和变换的过程。因此计算机所采用的数字元件、部件的设计、分析和实验，都要用到脉冲技术的理论和方法。对于计算机的速度和可靠性的进一步提高以及调整 and 运行情况的改善，脉冲技术都有着指导的意义。因此体会和掌握脉冲技术的基本原理和方法，对从事计算机的研究、设计和制造的技术工作者是不可缺少的。

掌握脉冲技术也与掌握其他科学一样，应当用理论与实际相结合的方法，事实上，由于脉冲线路实际上的复杂性，很难用理论和数学作全面的精确的描述，结论和公式大都是近似的，作了许多简化以后得出的，这就须要借助于实验的工具和方法来进行观察和研究。在实验当中观察到的现象（例如示波器中看到的波形）又需要结合理论加以分析和说明，以便找到进一步改进脉冲线路的途径。事实上，我们在设计和调试计算机元件时，也是经过了设计和调试的反复进行、反复修改的过程。

第一章 脉冲过程的数学分析方法

脉冲过程的分析包括两个方面，一方面是分析脉冲对于线路的作用的过程，一方面是分析脉冲的振荡的产生的过程。这两方面都包括着线性和非线性的两种线路类型。从数学的角度来看，线性方程和非线性方程的分析方法有很大的差别，后者的分析和研究要比前者困难和复杂得多。

一个线路要用非线性微分方程来描述，原因是线路内包含着许多非线性的元件。主要的非线性元件是运用在非线性区域的电子管或者晶体管。这种非线性特性曲线有各种不同的数学描述方法，例如一个二极管的特性曲线可以用指数函数等曲线来逼近。在工程问题上这些方法都比较复杂和不适用。为了简化分析方法而又能抓住非线性的主要特点，往往用一些直线段来逼近。这样，对组成折线的每一直线段，又可以用线性微分方程来描述。只要能找到每一段的初始条件就可以了。

例如一个三极管的板极伏安特性，可以用图 1-1 的一簇折线来逼近。对于折线的每个直线段，都有一个线性方程：对于直线 1（也就是横坐标轴 U_a ）：

$$i_a = 0.$$

对于平行直线族 2：

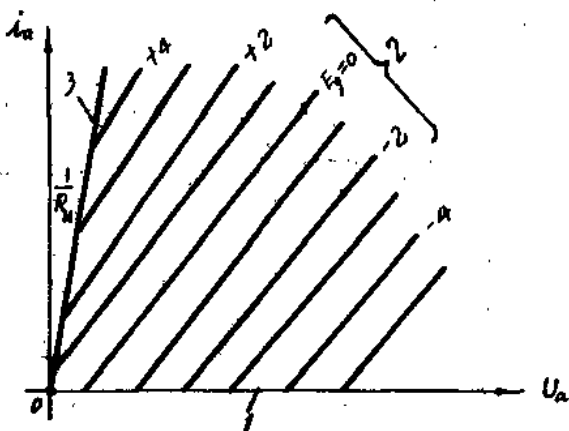


图 1-1.

$$i_a = \frac{1}{R_i} [\mu(U_g + E_g) + U_a - e_0],$$

这里 E_g 是栅偏压。

对于直线 3:

$$i_a = \frac{1}{R_a} U_a. \quad (1-1)$$

因此,对于三极管,可以作出其等效线路,如图 1-2 所示。开关应当把哪一个回路闭合,要由三极管工作在哪个区域而定。

这种用直线段来逼近特性曲线的方法,并不是适用于任何情况的,有时还要用到图解法,或者是图解—分析法,这要视具体情况而定。

这一章的内容,只包括线性网络的脉冲过程的数学分析方法。具体的说,是经常要用到的两种数学工具: 频谱分析

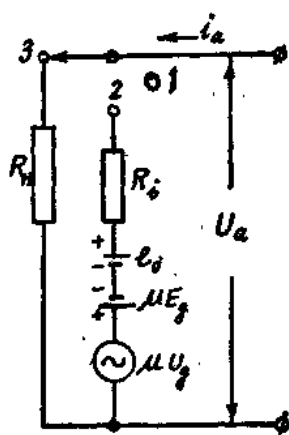


图 1-2.

分析和运算方法。

§ 1-1. 富氏级数和富氏积分

在数学分析教程里面我们已经知道,任意形状的周期过程(图1-3),

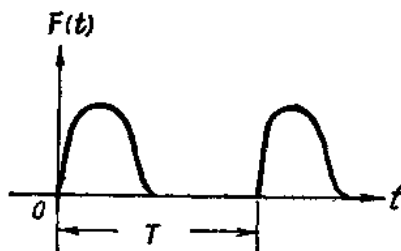


图 1-3.

都可以展开为正弦和余弦的振荡,振荡的频率是周期过程的重叠频率的整数倍。这种振荡组合为富氏级数:

$$F(t) = \frac{A_0}{2} + C_1 \cos \Omega t + C_2 \cos 2\Omega t + \dots$$

$$+ S_1 \sin \Omega t + S_2 \sin 2\Omega t + \dots \quad (1-2)$$

$A_0, C_1, C_2, \dots, S_1, S_2, \dots$ 这些系数分别为:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) dt, \\ C_n &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos n \Omega t dt, \\ S_n &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin n \Omega t dt. \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

上式中的 Ω 是周期性函数的基頻:

$$\Omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}. \quad (1-4)$$

如果考虑到:

$$C_n \cos n\Omega t + S_n \sin n\Omega t = A_n \cos(n\Omega t - \psi_n) \quad (1-5)$$

这里

$$\left. \begin{aligned} A_n &= \sqrt{C_n^2 + S_n^2}, \\ \psi_n &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{S_n}{C_n}. \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

把(1-5)代入到(1-2)内, 得到:

$$F(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} A_n \cos(n\Omega t - \psi_n). \quad (1-7)$$

可以把余弦表示为复指数函数的形式:

$$A_n \cos(n\Omega t - \psi_n) = \frac{A_n}{2} [e^{j(n\Omega t - \psi_n)} + e^{-j(n\Omega t - \psi_n)}]. \quad (1-8)$$

把(1-8)代到(1-7)内, 得到:

$$F(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n e^{-j\psi_n} e^{jn\Omega t}. \quad (1-9)$$

从(1-6)可以看到:

$$A_n e^{-j\psi_n} = A_n \cos \psi_n - j A_n \sin \psi_n = C_n - j S_n. \quad (1-10)$$

把(1-3)代入(1-10)内,可以得到:

$$\begin{aligned} A_n e^{-j\psi_n} &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) [\cos n\Omega t - j \sin n\Omega t] dt \\ &= \frac{2}{T} \int_0^T F(t) e^{-jn\Omega t} dt. \end{aligned} \quad (1-11)$$

如果令 $\omega = n\Omega$, 并且引入

$$\dot{A}(\omega) = \int_0^T F(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (1-12)$$

则(1-9)式可以写成:

$$F(t) = \frac{1}{T} \sum_{\omega=-\infty}^{+\infty} \dot{A}(\omega) e^{j\omega t}, \quad (1-13)$$

$\dot{A}(\omega)$ 是个复数,并且被称为频谱函数:

$$A(\omega) = A(\omega) e^{-j\psi_\omega}. \quad (1-14)$$

在上式中 $\psi_\omega = \psi_n$, $A(\omega) = \frac{T}{2} A_n$.

(1-13)还可写成下面的形式:

$$F(t) = \frac{\Omega}{2\pi} \sum_{\omega=-\infty}^{+\infty} \dot{A}(\omega) e^{j\omega t}. \quad (1-15)$$

这是因为根据(1-4)有:

$$\frac{1}{T} = \frac{\Omega}{2\pi}.$$

频谱函数 $\dot{A}(\omega)$ 的模 $A(\omega)$ 称为幅频谱, 而变量 $\varphi_\omega = \psi(\omega)$ 称为相频谱(图1-4)。由幅频谱和相频谱, 可以决定组成周期函数 $F(t)$ 的各次