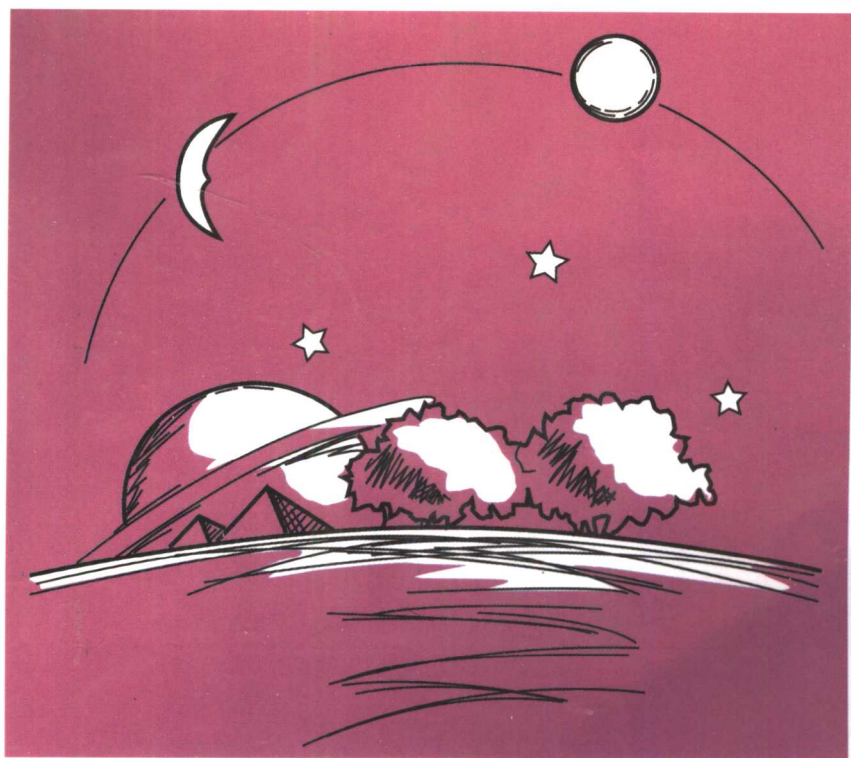


图解电子电路习题集系列 4

脉冲电路 习题集

〔日〕 菅谷光雄 中村征寿 著



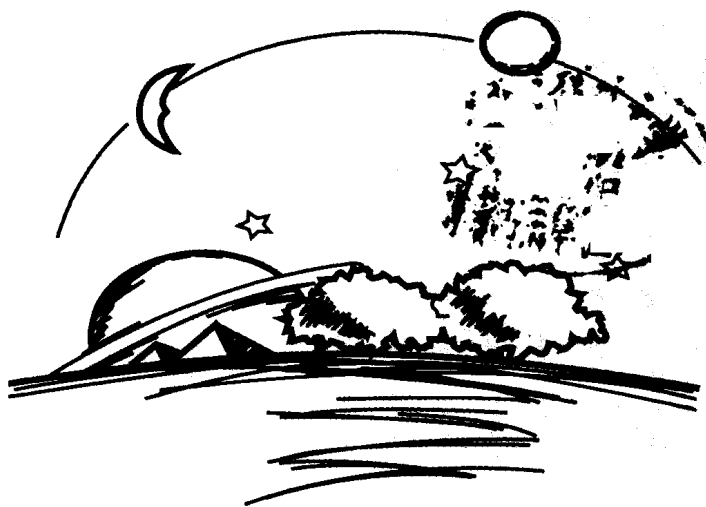
科学出版社 OHM社

图解电子电路习题集系列④

脉冲电路

习题集

〔日〕菅谷光雄 中村征寿 著
何希才 译
卢乃洪 校



科学出版社 OHM 社

图字:01-2000-3218 号

Original Japanese edition

Etoki Denshi Kairo Enshuu Shirizu ④ Parusu Kairo no Kiso Enshuu

by Mitsuo Sugaya and Masatoshi Nakamura

Copyright © 1991 by Mitsuo Sugaya and Masatoshi Nakamura

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

絵とき電子回路演習シリーズ④

パルス回路の基礎演習

菅谷光雄 中村征寿 オーム社 1991

图书在版编目(CIP)数据

脉冲电路习题集/[日]菅谷光雄,中村征寿著;何希才译.-北京:科学出版社,2001
(图解电子电路习题集系列④)

ISBN 7-03-008849-2

I. 脉… II. ①菅…②中…③何… III. 脉冲电路 IV. TN78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 76240 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 1 月第 一 版 开本: A5

2001 年 1 月第一次印刷 印张: 6 5/8

印数: 1—5 000 字数: 171 000

定 价: 14.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

随着集成电路等半导体元器件的迅速发展,在汽车与家用电器,工厂的自动装配设备等方面,到处都有电子电路的应用。这些电路的电信号大部分是非正弦交流信号。非正弦交流信号包含锯齿波、方波以及各种脉冲波。以冲击方式产生的信号波形称为脉冲,但本书将正弦波以外的信号都作为脉冲波来处理。

由于元器件的发展,电子电路也在改变。但基本上是由电阻、电容与电感等无源元件和晶体二极管、晶体三极管等有源器件构成。因此,本书主要讨论由这些元器件构成的电路问题,也涉及由集成电路构成的电路问题。

本书处理非正弦波的傅里叶级数展开及微积分电路、波形变换电路、多谐振荡器与脉冲放大电路,还处理脉冲调制解调电路,定性与定量地分析各种脉冲电路的问题,由此就能具体地理解脉冲响应。作者希望通过求解习题来理解基础知识,即通过章末的习题解答来提高读者的应用能力。

本书是已出版的“图解电子电路系列”第4卷《脉冲电路》¹⁾的习题集,若与图解电子电路系列配套使用,则更有利于读者进一步理解本书内容。

最后,在本书出版之际,对从始至终提供帮助的欧姆社的各位表示衷心的感谢。

作 者

1) 中译本已由科学出版社出版。——译者注

目 录

1	脉冲波	
1.1	电信号的波形	2
1.2	非正弦波的分析与处理	10
1.3	脉冲波及其处理	20
	习 题	30
2	脉冲电路的基础知识	
2.1	微积分电路	34
2.2	脉冲响应	44
2.3	IC 与脉冲电路	55
	习 题	64
3	多谐振荡器	
3.1	多谐振荡器的工作原理	68
3.2	IC 多谐振荡器	82
	习 题	94
4	脉冲波的产生	
4.1	间歇振荡电路	98
4.2	IC 振荡电路	107
	习 题	116
5	各种脉冲电路	
5.1	取出波形一部分的电路	120
5.2	箝位电路	127
5.3	脉冲放大电路	130

5.4 特殊波形发生电路	139
习 题	145
6 脉冲调制与解调电路	
6.1 脉冲调制	150
6.2 脉冲调制电路	154
6.3 脉冲解调电路	157
6.4 PCM 通信	160
习 题	168
7 脉冲电机及其电路	
7.1 脉冲电机的结构与工作原理	172
7.2 脉冲电机的励磁方式与驱动电路	178
习 题	185
习题解答	187

1

脉冲波

电子计算机、电视接收机、雷达等装置中使用的电信号通常是脉冲波、锯齿波之类的非正弦波形。除此以外,非正弦波还有很多种,用脉冲电路可以产生各种非正弦波形并对波形进行处理。

本章帮助读者了解正弦波与非正弦波的不同点及其性质,研究非正弦波的分析与处理方法。而且,概括了典型脉冲波的基本概念和基础知识,从下章开始将帮助读者理解各种脉冲电路。

1.1 电信号的波形

要

点

(1) 正弦交流

若交流电压的最大值(振幅)为 V_m [V], 角频率为 ω [rad/s], 频率为 f [Hz], 周期为 T [s], 相位角为 θ [rad], 则瞬时值为

$$v = V_m \sin \theta = V_m \sin \omega t = V_m \sin 2\pi f t = V_m \sin 2\pi \times \frac{1}{T} t \quad [\text{V}] \quad (1.1)$$

同样, 若交流电流的最大值为 I_m , 则瞬时值为

$$i = I_m \sin \omega t \quad [\text{A}] \quad (1.2)$$

(a) 有效值

有效值 = $\sqrt{(\text{瞬时值})^2}$ 的平均值

$$\text{电压的有效值} \quad V = \sqrt{\frac{V_m^2}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad (1.3)$$

$$\text{电流的有效值} \quad I = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad (1.4)$$

(b) 平均值

正弦交流的正半周或负半周期间的平均值

$$I_a = \frac{2}{\pi} I_m = 0.637 I_m \quad (1.5)$$

(c) 有效值与平均值

$$I = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_a \approx 1.11 I_a \quad (1.6)$$

(2) 非正弦交流(失真波交流)

对于有规律地重复的交流是由频率不同的若干个正弦交流构成。非正弦交流电压的瞬时值若为 $v[\text{V}]$, 则有效值为

$$V = \sqrt{v^2 \text{ 的 } 1 \text{ 个周期的平均值}} \quad (1.7)$$

例 题 1)

家庭中使用的交流电压频率称为市电频率, 为 50Hz 或 60Hz。试求其周期。

解 法

若用示波器观察交流电压, 则其波形如图 1.1(a) 所示, 它是大小和方向都随时间作周期性变化的波形, 这种波形称为正弦交流波形。图 1.1(b) 中每经过一个用 $T[\text{s}]$ 表示的时间间隔, 就重复出现相同大小的电压, 这重复的时间间隔 T 就是交流的周期。周期短意味着重复速度快。

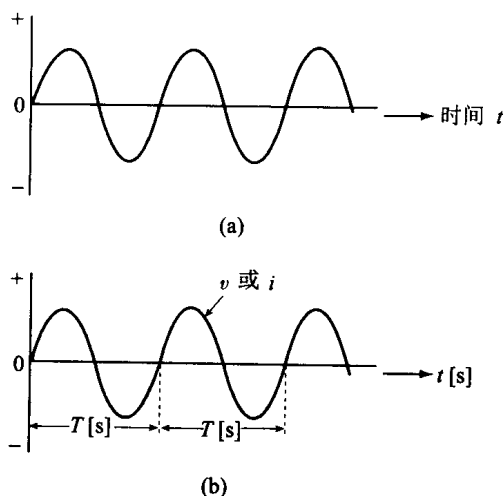


图 1.1 正弦交流波形

周期为 $f[\text{Hz}]$ 的交流波形就是 1 秒钟之内波形重复 f 次, 每次的时间为 $1/f[\text{s}]$ 。其值为周期 $T[\text{s}]$ 的倒数, 即

$$T = \frac{1}{f} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

答 案

交流电压频率 f 为 50Hz 时,其周期为

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02\text{s} = 20\text{ms}$$

频率 f 为 60Hz 时,其周期为

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} \approx 0.0167\text{s} = 16.7\text{ms}$$

例 题 2

正弦交流的频率为 1kHz 时,试求其角频率。再试求时间为 $250\mu\text{s}$ 时的角度。

解 法

现假设将某物体描绘成如图 1.2 所示的圆图形,物体以某一定速度转动时,1 秒钟后转动一定角度,1 秒钟之内转动的角度称为该物体的角速度,常用 $\omega[\text{rad/s}]$ 表示。

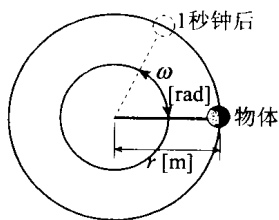


图 1.2 角速度

若 1 秒钟之内物体转动 1 圈,则角度为

$$360^\circ = 2\pi[\text{rad}] \quad \dots\dots\dots ①$$

因此,若 1 秒钟之内物体转动 f 圈,则角速度 $\omega[\text{rad/s}]$ 可表示如下:

$$\omega = 2\pi f \quad \dots\dots\dots ②$$

对于正弦交流波形上式也成立。因此,相对于频率 $f[\text{Hz}]$ 来说, ω 称为角频率。若 $t[\text{s}]$ 钟之内变化的角度为 $\theta[\text{rad}]$, 则 ω 与 θ 之间的关系为:

$$\theta = \omega t \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$$

为了以度 $[\circ]$ 为单位来表示相同的角度,若角度为 $x[\circ]$,则 $360:2\pi = x:\theta$ 关系式成立,可根据下式求出 $x[\circ]$:

$$x = \frac{\theta}{2\pi} \times 360 = \frac{\theta}{\pi} \times 180 \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{4}$$

答 案

频率 $f=1\text{kHz}$ 时的角频率 $\omega = 2\pi \times 1 \times 10^3 = 2000\pi \text{ [rad/s]}$ 。

另外,正弦交流的角频率变化时,若 $t=250\mu\text{s}$ 时的角度为 $\theta[\text{rad}]$,则

$$\theta = 2000\pi \times 250 \times 10^{-6} = 0.5\pi [\text{rad}]$$

用度表示即为 90° 。

例 题 3

(1) 正弦交流的电流瞬时值 $i = 20\sin 200\pi t [\text{mA}]$,试求其最大值 I_m ,有效值 I ,平均值 I_a ,频率 f 以及周期 T 。并试求 $t=3\text{ms}$ 时的瞬时值。

(2) 写出有效值为 5V ,周期为 40ms 的正弦交流瞬时值 v 的表达式。

解 法

正弦交流电的大小是时刻都在变化的,如图 1.3 所示,各时刻交流电的大小称为**瞬时值**,若电压瞬时值用 $v[\text{V}]$ 表示,则

$$v = V_m \sin \theta = V_m \sin \omega t = V_m \sin 2\pi f t \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

式中, V_m 为电压瞬时值中的最大值,称为**电压最大值**。

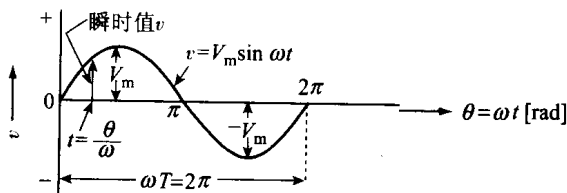


图 1.3 正弦交流电压

电流也是一样,若电流的最大值为 I_m ,则瞬时值 i [A] 表示为

$$i = I_m \sin \theta = I_m \sin \omega t = I_m \sin 2\pi f t \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

因为交流电的瞬时值是不断变化的,通常,用交流电作功多少所决定的值(有效值)来表示交流的大小,如图 1.4 所示。若在 1 个周期中流过电阻 R 的交流电流 i 所消耗的电功率,与在相同时间流过相同电阻的直流电流 I 所消耗的电功率相等,则 i 与 I 作了相同的功,即电流 I 称为交流电流 i 的有效值。

在图 1.4 的直流电路中,交流在 1 个周期 T [s] 内所消耗的电功率为

$$W = RI^2T \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$$

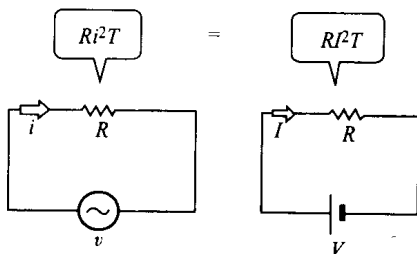


图 1.4 有效值

在交流电路中,电流 i 随时间而变化,如果采用 i^2 的平均值替代直流电路中的 I^2 ,则消耗的电功率为

$$W' = R \times (i^2 \text{ 的平均值}) \times T \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{4}$$

式中,若设 $W = W'$,则有

$$I = \sqrt{i^2 \text{ 的平均值}} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{5}$$

因此,若将表示正弦交流的式②代入式⑤,就得到下述关系式:

$$I = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{6}$$

图 1.5(a)是用作图法求得 i^2 值,图 1.5(b)表示正弦交流的瞬时值 i 、

最大值 I_m 以及有效值 I 之间的关系。

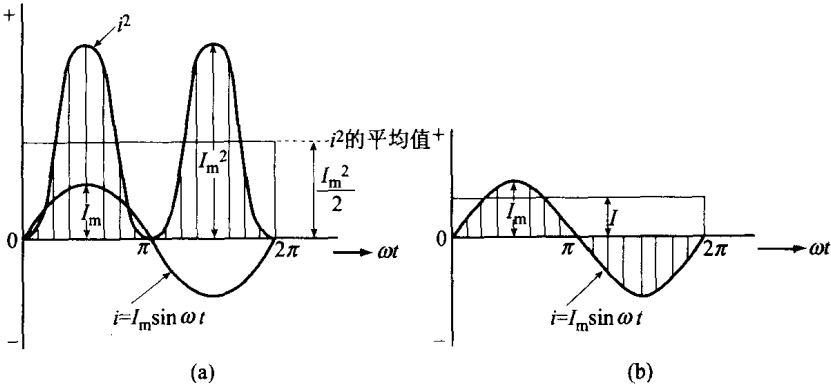


图 1.5 i^2 的平均值以及 I 和 I_m 之间的关系

为表示交流的大小,还可以采用正弦交流的正或负半周期的平均值,称为交流平均值。若设平均值为 I_a [A],则有如下关系式:

$$I_a = \frac{2}{\pi} I_m = 0.637 I_m \dots\dots\dots \textcircled{7}$$

正弦交流电压有效值的表示方法与交流电流相同。一般家庭用的交流电压为 220V,指的是有效值,最大值为 $\sqrt{2} \times 220 = 282.8\text{V}$,交流电压表与电流表都按照有效值进行刻度。

答 案

(1) 若 $i = 20\sin 200\pi t$ [mA] 与 $i = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} I \sin 2\pi ft$ 相对应,则
最大值 $I_m = 20\text{mA}$

$$\text{有效值 } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{20 \times 10^{-3}}{\sqrt{2}} \approx 14.1 \times 10^{-3} \text{ A} = 14.1\text{mA}$$

$$\text{平均值 } I_a = \frac{2}{\pi} I_m = \frac{2}{\pi} \times 20 \times 10^{-3} \approx 12.7 \times 10^{-3} \text{ A} = 12.7\text{mA}$$

$$\text{频率 } f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{200\pi}{2\pi} = 100\text{Hz}$$

$$\text{周期 } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \text{瞬时值 } i &= 20 \sin 200\pi t = 20 \sin 200\pi \times 3 \times 10^{-3} \\ &= 20 \sin(0.6 \times 180^\circ) = 20 \sin 108^\circ \approx 20 \times 0.95 = 19 \text{ mA} \end{aligned}$$

(2) 若设交流电压的有效值为 $V[\text{V}]$, 周期为 $T[\text{s}]$, 则瞬时值 $v[\text{V}]$ 为

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2} V \sin 2\pi \frac{1}{T} t = \sqrt{2} \times 5 \sin 2\pi \times \frac{1}{40 \times 10^{-3}} t \\ &\approx 7.07 \sin 50\pi t = 7.07 \sin 157t [\text{V}] \end{aligned}$$

例 题 4

非正弦交流电压 $v = 10 \sin \omega t + 5 \sin 2\omega t [\text{V}]$, 试求其有效值 $V[\text{V}]$ 。

解 法

非正弦交流的波形虽与正弦波有很大的不同, 但是有规律地重复的非正弦交流是由频率不同的若干个正弦交流构成的。

现设非正弦交流为

$$v = \sqrt{2} V_1 \sin \omega t + \sqrt{2} V_2 \sin 2\omega t \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

其波形如图 1.6 所示。表示非正弦交流的大小也与正弦交流一样采用有效值。交流的有效值一般用与波形无关的瞬时值平方的平均值的平方根表示。即, 若非正弦交流电压的瞬时值为 $v[\text{V}]$, 有效值为 $V[\text{V}]$, 则

$$V = \sqrt{v^2 \text{ 的 1 个周期的平均值 }} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

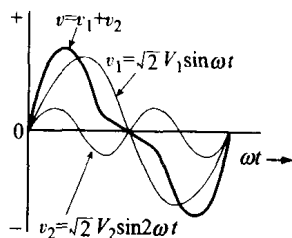


图 1.6 非正弦波

首先根据式①求出 v^2 , 即

$$\begin{aligned} v^2 &= (\sqrt{2}V_1 \sin \omega t + \sqrt{2}V_2 \sin 2\omega t)^2 \\ &= 2V_1^2 \sin^2 \omega t + 2V_2^2 \sin^2 2\omega t + 4V_1 V_2 \sin \omega t \sin 2\omega t \\ &= 2V_1^2 \times \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) + 2V_2^2 \times \frac{1}{2}(1 - \cos 4\omega t) \\ &\quad + 4V_1 V_2 \times \frac{1}{2} \{ \cos(-\omega t) - \cos 3\omega t \} \end{aligned}$$

这里,若考虑 v^2 的 1 个周期的平均值,则因上式中的 $\cos 2\omega t$ 、 $\cos 4\omega t$ 、 $\cos(-\omega t)$ 以及 $\cos 3\omega t$ 等均为 0,故有

$$\begin{aligned} v^2 \text{ 的平均值} &= 2V_1^2 \times \frac{1}{2}(1 - 0) + 2V_2^2 \times \frac{1}{2}(1 - 0) + 4V_1 V_2 \times \frac{1}{2}(0 - 0) \\ &= V_1^2 + V_2^2 \end{aligned}$$

因此,有效值为

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

一般来说,由具有直流分量 V_0 ,基波 V_1 以及有效值为 $V_2, V_3, \dots, V_n$ 等的高次谐波构成的非正弦交流电压, $v = V_0 + \sqrt{2}V_1 \sin \omega t + \sqrt{2}V_2 \sin \omega t + \sqrt{2}V_3 \sin \omega t + \dots + \sqrt{2}V_n \sin \omega t$ 的有效值 $V[V]$ 可用下式表示:

$$V = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} \quad \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

答 案

有效值为

$$V = \sqrt{\left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{5}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{50 + 12.5} \approx 7.9V$$

1.2 非正弦波的分析与处理

要

点

(1) 正弦波的合成与非正弦波

若将频率不同的正弦交流加以合成就变为非正弦交流。

(a) 非正弦的非对称波

若将频率为基波频率偶数倍的各正弦波相加,则得到非对称波形。

(b) 非正弦的对称波

若将频率为基波频率奇数倍的各正弦波相加,则得到对称波形。

(2) 非正弦波的分析

若用傅里叶级数表示恒定周期的非正弦交流的瞬时值 $v(t)$,则有

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n\omega t + b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos n\omega t \quad (1.8)$$

式中,若设 $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, $\theta_n = \tan^{-1}(b_n/a_n)$,则有

$$v(t) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (1.9)$$

(3) 频 谱

用一系列的直线表示,横轴为各高次谐波的频率,纵轴为其有效值,(也包含高次谐波的正负号),表明这些分量的直线的顶点连成光滑的曲线,这种曲线称为频谱。

(4) 非正弦波的失真

(a) 失真率

若高次谐波的有效值为 V_k ,基波的有效值为 V_1 ,则非正弦交流的失真率为

$$K = \frac{V_k}{V_1} \times 100 = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \cdots + V_n^2 + \cdots}}{V_1} \times 100 [\%] \quad (1.10)$$

(b) 波形系数与波峰系数

$$\text{波形系数} = \frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}, \quad \text{波峰系数} = \frac{\text{最大值}}{\text{有效值}} \quad (1.11)$$

例 题 1)

$$(a) \quad v_a = 10\sin\omega t + 5\sin 2\omega t$$

$$(b) \quad v_b = 10\sin\omega t + 5\sin 3\omega t$$

(a)、(b)合成波都是非正弦交流,但哪一个合成波是对称波呢?试画出实际波形并说明之。

解 法

由于非正弦交流的瞬时值也是按照一定周期重复相同的状态,因此可以采取类似于正弦交流的方法来处理。

现设 $\omega = 2\pi f$, 基波频率为 f [Hz] 的正弦交流电压 $v_1 = 10\sin 2\pi ft$ [V], 与频率为基波的 2 倍、最大值是其 1/2 的正弦交流电压 $v_2 = 5\sin 4\pi ft$ [V] 进行合成 ($v_a = v_1 + v_2$), 如图 1.7(a) 所示, 由于基波频率为 f [Hz] 的正弦交流电压 v_1 为负时, 与频率为基波 2 倍的正弦交流电压 v_2 正的部分进行合成, 因此, 合成波形 v_a 为非对称波。

再有, 基波频率为 f [Hz] 的正弦交流电压 $v_1 = 10\sin 2\pi ft$ [V] 与频率为基波的 3 倍、最大值是其 1/2 的正弦交流电压 $v_3 = 5\sin 6\pi ft$ [V] 进行合成 ($v_b = v_1 + v_3$), 如图 1.7(b) 所示, 当基波频率 f [Hz] 的正弦交流电压 v_1 为负时, 频率为基波 3 倍的正弦交流电压 v_3 也是负的, 这两部分合成后, 合成波 v_b 为对称波。在图 1.7 中频率最低的称为基波, 频率是基波的偶数倍的正弦波称为偶次谐波, 奇数倍的正弦波称为奇次谐波。

答 案

如图 1.7 所示, 基波加上偶次谐波就得到非对称波, 基波加上奇次谐波就得到对称波, 因此, 图 1.7(b) 的合成波 v_b 为对称波。