

附录 G 拉普拉斯变换的补充定理

在第 14 章内容的基础上,本附录将给出拉普拉斯变换的几个补充定理,它们一般用于更为复杂的问题。

G.1 周期时间函数的变换

在估计周期时间函数的变换中时移定理非常有用。假定对于 $t > 0$, $f(t)$ 的周期为 T 。我们知道, $t < 0$ 时 $f(t)$ 的情况对(单边)拉普拉斯变换没有影响。这样, $f(t)$ 可以写成:

$$f(t) = f(t - nT), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

如果定义一个新的时间函数,它只在 $f(t)$ 的第一个周期不为零:

$$f_1(t) = [u(t) - u(t - T)]f(t)$$

原来的 $f(t)$ 可以表示为无穷多个这样函数的和,它们之间具有 T 的整数倍时延。即:

$$\begin{aligned} f(t) &= [u(t) - u(t - T)]f(t) + [u(t - T) - u(t - 2T)]f(t) \\ &\quad + [u(t - 2T) - u(t - 3T)]f(t) + \dots \\ &= f_1(t) + f_1(t - T) + f_1(t - 2T) + \dots \end{aligned}$$

或

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} f_1(t - nT)$$

这个求和的拉氏变换正是变换的求和:

$$\mathbf{F}(s) = \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{L}\{f_1(t - nT)\}$$

所以由时移定理得出:

$$\mathbf{F}(s) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nTs} \mathbf{F}_1(s)$$

其中:

$$\mathbf{F}_1(s) = \mathcal{L}\{f_1(t)\} = \int_{0-}^T e^{-st} f(t) dt$$

由于 $\mathbf{F}(s)$ 不是 n 的函数, $\mathbf{F}(s)$ 可以从求和式中提出,成为:

$$\mathbf{F}(s) = \mathbf{F}_1(s)[1 + e^{-Ts} + e^{-2Ts} + \dots]$$

对方括号中的表达式应用二项式定理,它可简化为 $1/(1 - e^{-Ts})$ 。所以得出结论,周期为 T 的时间函数 $f(t)$ 的拉氏变换为:

$$\mathbf{F}(s) = \frac{\mathbf{F}_1(s)}{1 - e^{-Ts}} \quad (\text{G.1})$$

其中:

$$\mathbf{F}_1(s) = \mathcal{L}\{[u(t) - u(t - T)]f(t)\} \quad (\text{G.2})$$

是这个时间函数第一个周期的变换。

为了演示这个周期函数变换定理的应用,将它用于熟悉的矩形脉冲串,见图 G.1。可以将这个周期函数写成解析式:

$$v(t) = \sum_{n=0}^{\infty} V_0 [u(t - nT) - u(t - nT - \tau)], t > 0$$

容易算出函数 $V_1(s)$ 为:

$$V_1(s) = V_0 \int_0^{\tau} e^{-st} dt = \frac{V_0}{s} (1 - e^{-s\tau})$$

为了获得要求的变换,只要除以 $(1 - e^{-sT})$:

$$V(s) = \frac{V_0(1 - e^{-s\tau})}{s(1 - e^{-sT})} \quad (G.3)$$

应该注意到几个不同定理是怎样出现在式(G.3)中的。分母中的系数 $(1 - e^{-sT})$ 说明函数的周期性,分子上的 $e^{-s\tau}$ 源于负方波的时延,它关断了脉冲。系数 V_0/s 当然是 $v(t)$ 所涉及的阶跃函数的变换。

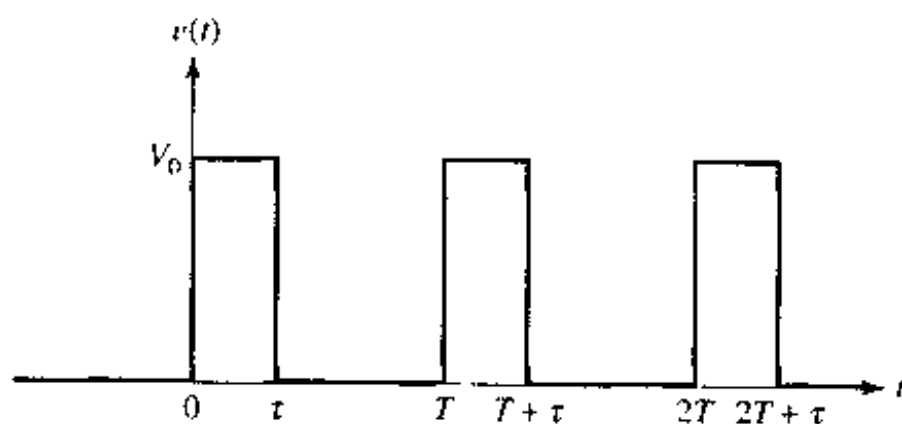


图 G.1 周期性矩形脉冲串,其变换为 $F(s) = (V_0/s)(1 - e^{-s\tau})/(1 - e^{-sT})$

例题 G.1 确定图 G.2 所示周期函数的拉普拉斯变换

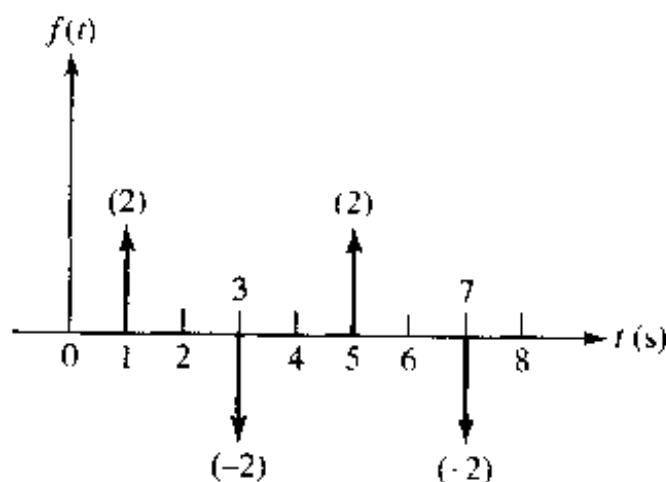


图 G.2 基于单位冲激函数的周期函数

首先写出描写 $f(t)$ 的方程,它是由交替出现的正负冲激函数组成:

$$f(t) = 2\delta(t - 1) - 2\delta(t - 3) + 2\delta(t - 5) - 2\delta(t - 7) + \dots$$

定义一个新的函数 f_1 , 注意周期 $T = 4$ s:

$$f_1(t) = 2[\delta(t - 1) - \delta(t - 3)]$$

可以利用表 14.2 中给出的有关时间周期性的运算,求出 $F(s)$:

$$F(s) = \frac{1}{1 - e^{-Ts}} F_1(s) \quad (G.4)$$

其中:

$$F_1(s) = \int_0^T f(t) e^{-st} dt = \int_0^T f_1(t) e^{-st} dt$$

有几种方法求出这个积分。最容易的方法是认识到如果积分上限增加到 ∞ ,它的值保持不变,这样就可以利用时移定理。所以:

$$F_1(s) = 2[e^{-s} - e^{-3s}] \quad (G.5)$$

用式(G.4)中的系数乘以式(G.5)就可以完成本例题:

$$F(s) = \frac{2}{1 - e^{-4s}} (e^{-s} - e^{-3s}) = \frac{2e^{-s}}{1 - e^{-4s}}$$

练习

G.1 确定图 G.3 所示周期函数的拉普拉斯变换。

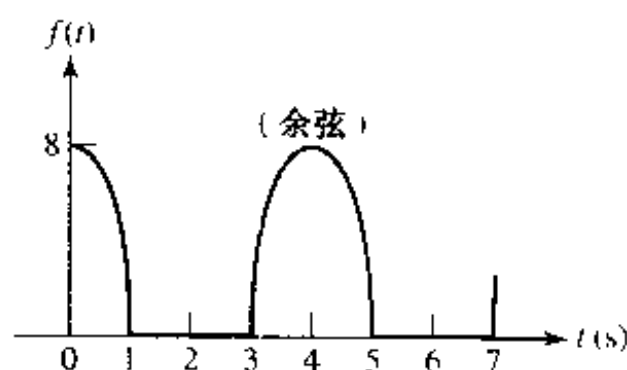


图 G.3

答案: $\left(\frac{8}{s^2 + \pi^2/4}\right) \frac{s + (\pi/2)e^{-s} + (\pi/2)e^{-3s} - se^{-4s}}{1 - e^{-4s}}$

G.2 频移

下一个定理建立起 $F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$ 和 $F(s+a)$ 之间的关系。考虑 $e^{-at}f(t)$ 的拉普拉斯变换:

$$\mathcal{L}\{e^{-at}f(t)\} = \int_0^\infty e^{-st} e^{-at} f(t) dt = \int_0^\infty e^{-(s+a)t} f(t) dt$$

仔细观察上面的结果,发现等式右边的积分即为 $F(s)$ 的定义,只是用 $(s+a)$ 取代了 s 。由此:

$$e^{-at}f(t) \Leftrightarrow F(s+a) \quad (G.6)$$

可以得出结论,在频域用 $(s+a)$ 取代 s 对应于在时域乘以系数 e^{-at} ,这就是频移定理。利用它可以立刻求出前面多次用过的指数衰减余弦函数的变换。从已知的余弦函数的变换开始:

$$\mathcal{L}\{\cos \omega_0 t\} = F(s) = \frac{s}{s^2 + \omega_0^2}$$

$e^{-at} \cos \omega_0 t$ 的变换一定是 $F(s+a)$:

$$\mathcal{L}\{e^{-at} \cos \omega_0 t\} = F(s+a) = \frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega_0^2} \quad (G.7)$$

练习

G.2 求 $\mathcal{L}\{e^{-2t}\sin(5t + 0.2\pi)u(t)\}$ 。

答案: $(0.588s + 4.05)/(s^2 + 4s + 29)$

G.3 频域微分

接下来看看 $F(s)$ 关于 s 的导数。结果为:

$$\frac{d}{ds}F(s) = \frac{d}{ds}\int_0^{\infty} e^{-st}f(t)dt = \int_0^{\infty} -te^{-st}f(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-st}[-tf(t)]dt$$

它不过是 $[-tf(t)]$ 的拉普拉斯变换。因此得出结论,在频域中对 s 求导,结果为在时域中乘以 $-t$,即:

$$-tf(t) \Leftrightarrow \frac{d}{ds}F(s) \quad (G.8)$$

假定 $f(t)$ 是单位斜坡函数 $tu(t)$,其变换已知为 $1/s^2$ 。可以利用刚刚得到的频域微分定理来确定 $1/s^3$ 的反变换为:

$$\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{s^2}\right) = -\frac{2}{s^3} \Leftrightarrow -t\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s^2}\right\} = -t^2u(t)$$

且

$$\frac{t^2u(t)}{2} \Leftrightarrow \frac{1}{s^3} \quad (G.9)$$

继续同样的过程,求得:

$$\frac{t^3}{3!}u(t) \Leftrightarrow \frac{1}{s^4} \quad (G.10)$$

一般地,有:

$$\frac{t^{(n-1)}}{(n-1)!}u(t) \Leftrightarrow \frac{1}{s^n} \quad (G.11)$$

练习

G.3 求 $\mathcal{L}\{t\sin(5t + 0.2\pi)u(t)\}$ 。

答案: $(0.588s^2 + 8.09s - 14.69)/(s^2 + 25)^2$

G.4 频域积分

$F(s)$ 对 s 积分所产生的对 $f(t)$ 的影响,可以再次从定义看出:

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st}f(t)dt$$

从 s 到 ∞ 进行频域积分:

$$\int_s^\infty \mathbf{F}(s) ds = \int_s^\infty \left[\int_{0^-}^\infty e^{-st} f(t) dt \right] ds$$

交换积分次序:

$$\int_s^\infty \mathbf{F}(s) ds = \int_{0^-}^\infty \left[\int_s^\infty e^{-st} ds \right] f(t) dt$$

求出内部的积分:

$$\int_s^\infty \mathbf{F}(s) ds = \int_{0^-}^\infty \left[-\frac{1}{t} e^{-st} \right]_s^\infty f(t) dt = \int_{0^-}^\infty \frac{f(t)}{t} e^{-st} dt$$

因此:

$$\frac{f(t)}{t} \leftrightarrow \int_s^\infty \mathbf{F}(s) ds \quad (\text{G.12})$$

例如,已经建立了变换对:

$$\sin \omega_0 t u(t) \leftrightarrow \frac{\omega_0}{s^2 + \omega_0^2}$$

那么:

$$\mathcal{L} \left\{ \frac{\sin \omega_0 t u(t)}{t} \right\} = \int_s^\infty \frac{\omega_0}{s^2 + \omega_0^2} ds = \tan^{-1} \frac{s}{\omega_0} \Big|_s^\infty$$

求得:

$$\frac{\sin \omega_0 t u(t)}{t} \leftrightarrow \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{s}{\omega_0} \quad (\text{G.13})$$

练习

G.4 求 $\mathcal{L} \{ \sin^2 5t u(t) / t \}$ 。

答案: $\frac{1}{4} \ln[s^2 + 100/s^2]$

G.5 时间伸缩定理

下面通过求 $f(at)$ 的值来推导拉普拉斯变换理论中的时间伸缩定理,假定已知 $\mathcal{L}\{f(t)\}$ 。推导过程非常简单:

$$\mathcal{L}\{f(at)\} = \int_{0^-}^\infty e^{-st} f(at) dt = \frac{1}{a} \int_{0^-}^\infty e^{-(s/a)\lambda} f(\lambda) d\lambda$$

其中使用了变量代换 $at = \lambda$ 。可以认出最后那个积分就是 $1/a$ 乘以 $f(t)$ 的拉普拉斯变换,只是在变换中 s 已经用 s/a 取代。由此得出:

$$f(at) \leftrightarrow \frac{1}{a} \mathbf{F}\left(\frac{s}{a}\right) \quad (\text{G.14})$$

作为应用时间伸缩定理的一个简单例子,考虑求 1 kHz 余弦波形的变换。假定已经知道 1 rad/s 余弦波的变换为:

$$\cos t u(t) \leftrightarrow \frac{s}{s^2 + 1}$$

则:

$$\mathcal{L}\{\cos 2\,000\pi tu(t)\} = \frac{1}{2\,000\pi} \frac{s/2\,000\pi}{(s/2\,000\pi)^2 + 1} = \frac{1}{s^2 + (2\,000\pi)^2}$$

练习

G.5 求 $\mathcal{L}\{\sin^2 5tu(t)\}$ 。

答案: $50/[s(s^2 + 100)]$ 。

附录 H 题号为单数的习题答案

第 2 章

1. (a) $12\ \mu\text{s}$; (b) $750\ \text{mJ}$; (c) $1.130\ \text{k}\Omega$ (d) $3.50\ \text{Gbit}$; (e) $6.5\ \text{mm}$; (f) $13.56\ \text{MHz}$; (g) $39\ \text{pA}$; (h) $49\ \text{k}\Omega$; (i) $11.73\ \text{pA}$
3. (a) $131\ \text{kW}$; (b) $1.41\ \text{GJ}$; (c) 1 个电池
5. 假定脉冲具有方波形状, (a) $13.3\ \text{GW}$; (b) $100\ \text{mW}$
7. (a) $40\ \text{C}$; (b) $40.5\ \text{C}, 2.12\ \text{s}$; (c) $24.7\ \text{A}$; (d) 见图 P2.7

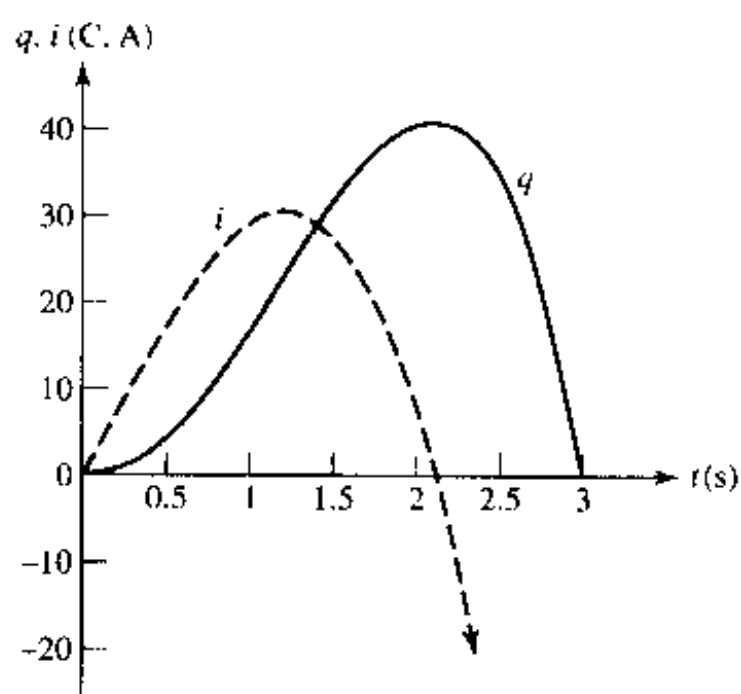


图 P2.7

$t(\text{s})$	$q(\text{C})$	$i(\text{A})$
0	0	0
0.25	1.117	8.875
0.5	4.375	17.00
0.75	9.49	23.6
1	16.00	28.0
1.25	23.2	29.4
1.5	30.4	27.0
1.75	36.4	20.1
2	40.0	8.00
2.25	40.0	-10.125
2.5	34.4	-35.0
2.75	21.7	-67.4
3	0	-108.0

9. (a) $800\ \text{mA}$; (b) 0; (c) 见图 P2.9

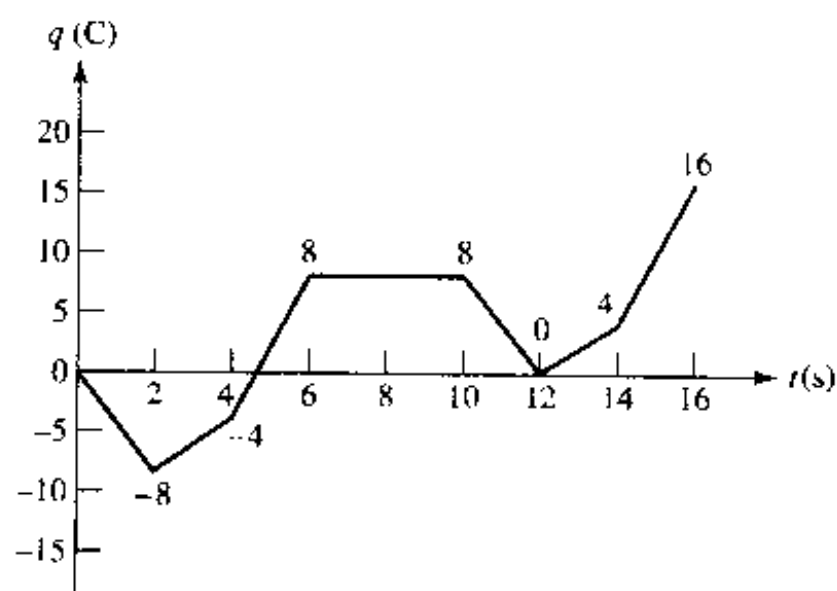


图 P2.9

11. (a) $P_{\text{abs}} = \frac{1}{2} [6 - 600t] e^{-100t} + 3te^{-100t} \Big|_{t=0.5 \text{ ms}} \mu\text{W} = 16.6 \mu\text{W}$; (b) $E = \int_0^\infty P_{\text{abs}} dt = 18 [1/200^2] - 1800 [2/200^3] = 0$
13. (a) 3 A; (b) 488 mV; (c) $\approx 940 \text{ mW}$
15. (a) 45 W; (b) V_s 提供 5 W, 受控电流源提供 40 W; (c) 是。按照能量守恒理应如此: 提供的能量必须等于吸收的能量。因为电路中吸收功率的速率等于提供功率的速率, 它的意思就是功率守恒
17. (a) 57.6 W; (b) 4.8 A
19. (a) 43.54 mW; (b) 230.9 mW; (c) 253.0 mW
21. (a) 319.1 m Ω ; (b) 156.7 m Ω ; (c) 1.411 W
23. (a) 见图 P2.23(a); (b) 2.128 mS, 469.9 Ω (c) 见图 P2.23 (b)

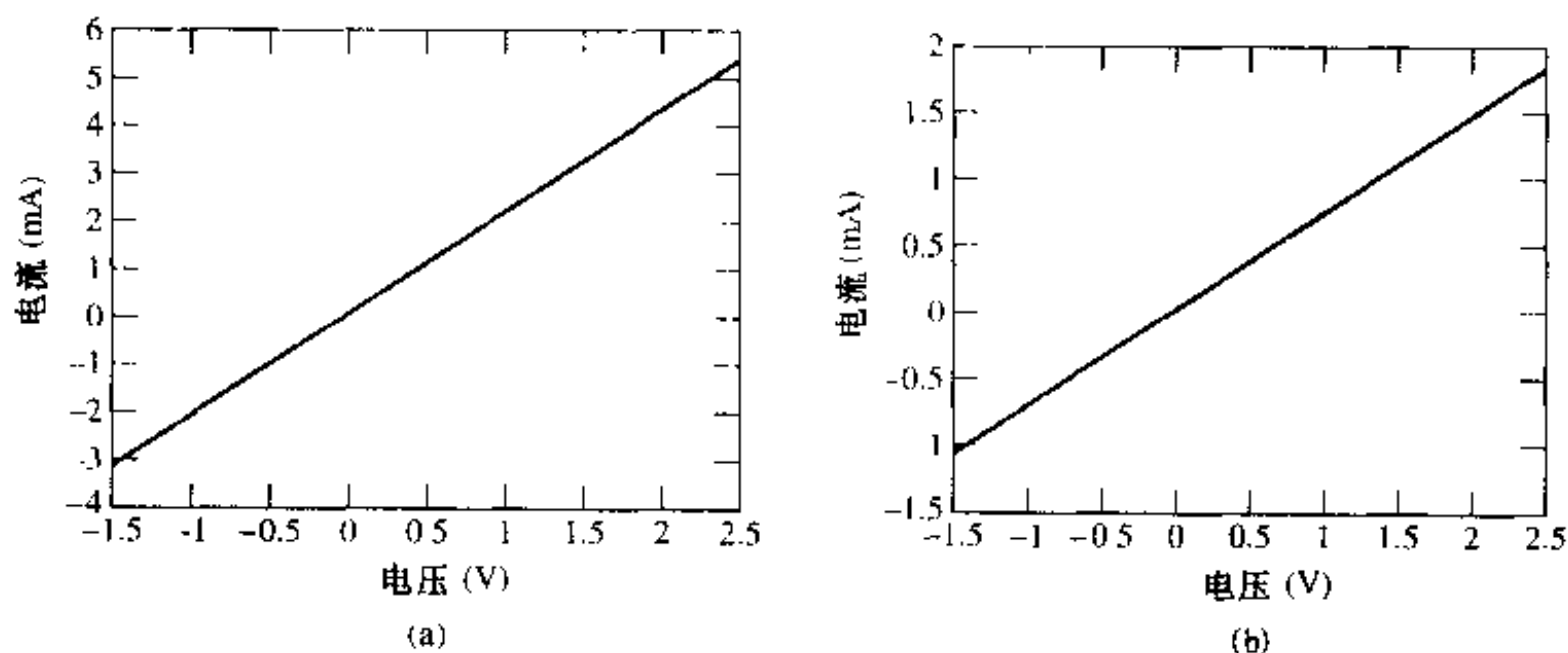


图 P2.23

25. $v_{\text{out}} = -0.01 \cos 1000t \text{ V}$
27. 6 620 ft
29. 许多个可能的答案之一是: 选择尽可能短的 # 28 线; 要求的长度是 153.1 ft

第 3 章

1. 6 个节点
3. (a) 4 个节点; (b) 5 条支路; (c) 路径, 是; 环路, 不是
5. (a) $i_x = 3 \text{ A}$; (b) $i_x = -3 \text{ A}$; (c) $i_x = 0$
7. $i_x = 1 \text{ A}$; $i_y = 5 \text{ A}$
9. (a) $i_y = 2.5 \text{ A}$, $v_x = 25 \text{ V}$; (b) $i_x = 600 \text{ mA}$, $i_y = 300 \text{ mA}$; (c) 不可能存在这样的值
11. (a) 125 mA; (b) -1 A
13. (a) $v_1 = v_2 = 60 \text{ V}$, $i_2 = 3 \text{ A}$, $v_3 = 15 \text{ V}$, $v_4 = 45 \text{ V}$, $v_5 = 45 \text{ V}$, $i_5 = 9 \text{ A}$, $i_4 = 15 \text{ A}$, $i_3 = 24 \text{ A}$, $i_1 = 27 \text{ A}$; (b) $p_1 = -1.62 \text{ kW}$, $p_2 = 180 \text{ W}$, $p_3 = 360 \text{ W}$, $p_4 = 405 \text{ W}$, $\sum p_{\text{abs}} = 0$
15. (a) $v_{13} = 8 \text{ V}$, $v_{23} = -4 \text{ V}$, $v_{24} = -12 \text{ V}$; (b) $v_{13} = 14 \text{ V}$, $v_{23} = 2 \text{ V}$, $v_{24} = -6 \text{ V}$; (c) $v_{13} = 2 \text{ V}$, $v_{23} = -10 \text{ V}$, $v_{24} = -18 \text{ V}$

17. (a) 25 W; (b) 24 W; (c) 16 W; (d) 18.37 W; (e) -600 W

19. (a ~ d) 无解

21. 10.43 V

23. (a) 2.43 k Ω ; (b) $R = 0$; (c) 见图 P3.23

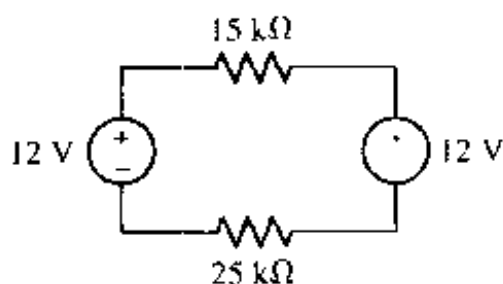


图 P3.33

25. $v_o(t) = -248.5 \cos 5t$ mV

27. (a) $p_{5A} = -1.389$ kW, $p_{10mS} = 771.6$ W; $p_{40mS} = 3.086$ kW, $p_{\text{dependent}} = -2.469$ kW; (b) $P_{5A} = -775.9$ W, $P_{10mS} = 240.8$ W, $P_{40mS} = 963.1$ W, $P_{\text{dependent}} = -428.1$ W

29. $p_{6\Omega} = 150$ W, $p_{12\Omega} = 75$ W, $p_{4\Omega} = 225$ W, $p_{7A} = -210$ W, $p_{6A} = -240$ W, $\sum = 0$

31. (a) -50 mA; (b) 50 V

33. 638 mW

35. 1.45×10^{-3} mile

37. (a) 1 A; (b) 右边的电流源标注错误, 应为 3.5 A, 此时得到答案为 9 A

39. (a) 10 mA; (b) 3.8 A

41. (a) 571.4 mA; (b) 0 A; (c) 71.43 mA

43. -515 V

45. 1 k Ω

47. (a) 两个并联的 10 k Ω 电阻; (b) 见图 P3.47(a); (c) 见图 P3.47(b)

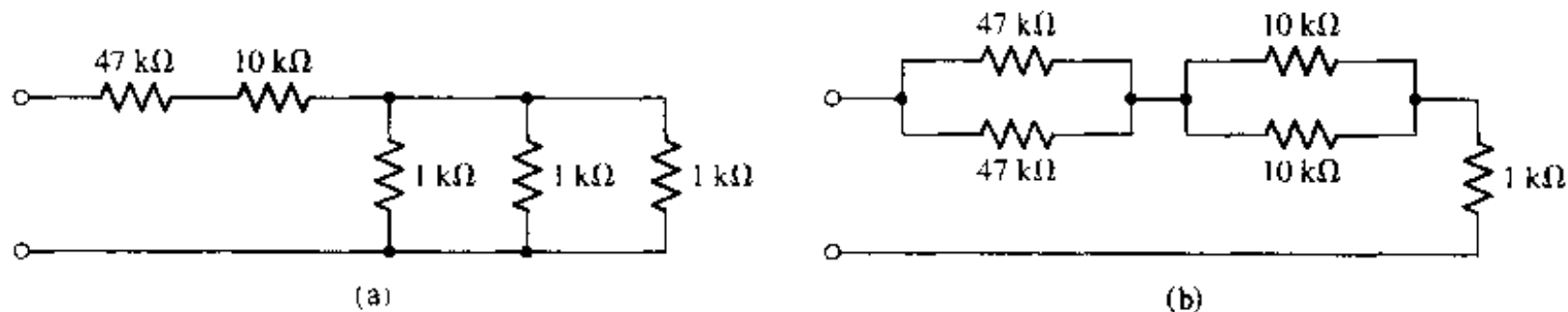


图 P3.47

49. 5.5 k Ω

51. (a) 60 Ω ; (b) 213.3 Ω ; (c) 51.79 Ω

53. $p_{2.5} = 250$ W; $p_{30} = 187.5$ W; $p_6 = 337.5$ W, $p_5 = 180$ W, $p_{20} = 45$ W

55. (a) 850 μ s; (b) 135.9 mS

57. 一个可能的解: 用一根比例题 2.3 中更细的线, 比如 # 28。以适当的形状绕制一个合适长度的线圈与 1 Ω 电阻串联。65.3 Ω /1 000 ft, 9 Ω 对应 137.8 ft。应当从结构的顶部刮去绝缘层, 增加一根线, 一端接到线圈上, 另一端固定, 这样导线可以从线圈的一

端旋转到另一端

59. $1.1 \text{ mA}, R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

61. $i_x = 139 \text{ }\mu\text{A}, p_{15} = 868 \text{ }\mu\text{W}$

63. $18.12 \text{ }\mu\text{W}$

65. (a) $V_1 R_2 (R_3 + R_4) / [R_1 (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 (R_3 + R_4)]$; (b) $V_1 R_1 (R_2 + R_3 + R_4) / [\text{den.}]$; (c) $V_1 R_2 / [\text{den.}]$

67. (a) 42 A ; (b) 11.90 V ; (c) 两者都是 0.238

69. $V_1 R_3 R_5 / [R_2 (R_3 + R_4 + R_5) + R_3 (R_4 + R_5)]$

71. $56.02 \cos(10t + 90^\circ) \text{ V}$

第 4 章

1. (a) -8.39 V ; (b) 32

3. 171.6 V

5. (a) $v_1 = 58.5 \text{ V}, v_2 = 64.4 \text{ V}$; (b) 543 W

7. -28 V

9. -8.086 V

11. 63.1 V

13. $148.1 \text{ V}, 178.3 \text{ W}$

15. -1.636 A

17. $-1.909 \text{ V}, 4.333 \text{ V}, 4.091 \text{ V}, 5 \text{ V}$

19. 133.2 W

21. 2.79 A

23. 提供 -384.1 W (实际为吸收功率)

25. $1.077 \text{ mA}, -1.197 \text{ mA}, -478.8 \text{ }\mu\text{A}, 239.3 \text{ }\mu\text{A}$

27. (a) $-5.69 \text{ k}\Omega$; (b) R 的值是惟一的, 没有其他值可以满足所要求的一组自恰方程

29. (a) $333 \text{ }\mu\text{A}$; (b) $333 \text{ }\mu\text{A}$; (c) 为一个电阻值。可以想像为 1 V 电源所看到的电阻

31. $2 \text{ mA}; 5 \text{ mW}; 4 \text{ V}; -6 \text{ mV}; 1000 i_3; 4.5 \text{ mW}; 6 \text{ V}; 9 \text{ mW}; 0.5 i_2; -5.62 \text{ mW}$

33. -3.654 W

35. 1.035 V , 右边为正

37. $4.5 \text{ }\Omega$

39. $v_x = 0; v_x = 96 \text{ V}; v_x = -38.46 \text{ V}$

41. $i_1 = 3.550 \text{ A}, i_2 = 1.687 \text{ A}$

43. $i_3 = 120.6 \text{ mA}, i_{10} = 4.694 \text{ A}$

45. 定义支路电流为向右流动或向下流动: $677.4 \text{ mA}, -322.6 \text{ mA}, 1 \text{ A}, 242 \text{ mA}, 181.7 \text{ mA}, 1.424 \text{ A}$

47. 350 mA

49. $2.653 \text{ mA}, 3.204 \text{ mA}, -3.796 \text{ mA}, -1 \text{ mA}, 2 \text{ V}$ 电源“+”端向下, 7 mA 电源箭头向下

51. -4 mA

53. -15.85 V

55. $5.5 \text{ V}, 3 \text{ V}, 3.5 \text{ V}, 1.5 \text{ V}, 1.25 \text{ A}, -250 \text{ mA}, -2.25 \text{ A}, 750 \text{ mA}$

57. 一个可能的解, 见图 P4.57。可以用 8 个并联的 1Ω 电阻为 1 组, 5 个这样的组串联构成 $625 \text{ m}\Omega$ 电阻

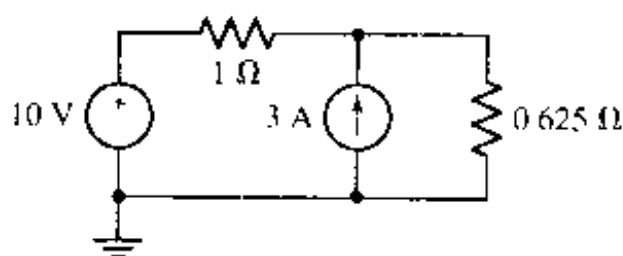


图 P4.57

59. 一个可能的解见图 P4.59。用来仿真电路的网络表为:

```
.OP
V_V1      1 0 DC 9V
R_R1      321 k
R_R2      145 k
R_R3      421 k
R_R4      302 k
.END
```

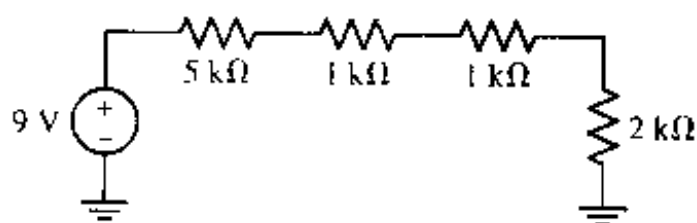


图 P4.59

第 5 章

1. $f(x) = 1 + x$ 定义误差为 $[e^x - f(x)]/e^x$ 。从下表可见当 $x = 0.1$ 时, 误差大约为 0.5%, 之后则快速增加

x	e^x	$f(x)$	误差
0.001	1.001 00	1.001	5×10^{-7}
0.005	1.005 01	1.005	1×10^{-5}
0.01	1.010 05	1.01	5×10^{-5}
0.05	1.051 27	1.05	1×10^{-3}
0.1	1.105 17	1.1	5×10^{-3}
0.5	1.648 72	1.5	9×10^{-2}
1.0	2.718 28	2.0	2×10^{-1}
5.0	148.4 13	6.0	1

3. 10.33 V

5. (a) 1.3 A ; (b) $1 \text{ A}; 60 \text{ W}; 200 \Omega; 18 \text{ W}; 100 \text{ V}; -130 \text{ W}; 50 \Omega; 32 \text{ W}; 0.5 \text{ A}; 20 \text{ W}$

7. (a) 200 V ; (b) -142.9 V

9. $956.6 \mu\text{W}$

11. 不可能分别确定每个源对消耗功率的贡献, 因为叠加原理仅适用于线性量。 2Ω 电阻消耗的总功率为 76.15 mW

13. 17.65 V

15. $V_x = 2.455 \text{ V}$, $V_x' = 546 \text{ mV}$, $V_x'' = 1.909 \text{ V}$; $V_x' + V_x'' = 2.455 \text{ V} = V_x$

17. 10.46 mV
 19. 33.07 μW
 21. 12.77 mW
 23. 764 nA
 25. 7.25 A, 箭头向下; $2\ \Omega$
 27. 参见表 5.1, 求得 1.584 V, $1.67\ \Omega$ (提示: 试着先用实验点数据画出曲线)
 29. 为明确起见, 应给出参考端: 从左边开始, 8.515 V 和 $2.01\ \text{M}\Omega$; 从右边开始, 5.99 V 和 $2.253\ \text{M}\Omega$
 31. (a) 75 V 电源与 $12.5\ \Omega$ 电阻串联; (b) 72 W; (c) 112.5 W
 33. (a) 69.3 V 电源与 $7.32\ \Omega$ 电阻串联; (b) 59.5 V 电源与 $16.59\ \Omega$ 电阻串联
 35. 0 A 电源与 $10.64\ \Omega$ 电阻并联
 37. 83.49 V, $8.523\ \text{k}\Omega$
 39. (a) $\sim \infty\ \text{A} \parallel \sim 0\ \Omega$, 使得 $IR = 12\ \text{V}$; (b) $\sim \infty\ \text{V}$ 电源与 $\sim \infty\ \Omega$ 电阻串联, 使得 $V/R = 2\ \text{A}$ 。由于电阻值的原因, 两个转换过程都不切合实际
 41. 23.73 V, 100 mA, $237.3\ \Omega$
 43. $47.62\ \Omega$
 45. $667(1 + 0.0215r_x) \parallel 2 \times 10^6\ \Omega$
 47. 6.329 W
 49. (a) $15\ \Omega$, 65 V; (b) 282 W
 51. (a) 200 V; (b) 125 W; (c) $80\ \Omega$
 53. 在使用最大功率传输定理时必须记住, 是传输功率“到”某处。因此, 将电池两端短路, $R_{\text{load}} = 0$, 尽管这时产生最大电流流出电池, 但是 $i^2 R_{\text{load}} = 0$ 。随着 R_{load} 的增大, $i^2 R_{\text{load}}$ 也从零开始增大。可是在另一个极端 ($R_{\text{load}} = \infty$), 没有电流流出, 传输到负载的功率同样为零。当 $R_{\text{load}} = R_{\text{TH}}$, 传输功率最大。
 55. $8\ \text{k}\Omega$
 57. $1.225\ \Omega$, $540\ \text{m}\Omega$, $4.9\ \Omega$
 59. $9.90\ \Omega$
 61. 5.45 V, $1.046\ \Omega$
 63. 3.25 V, $15.83\ \Omega$

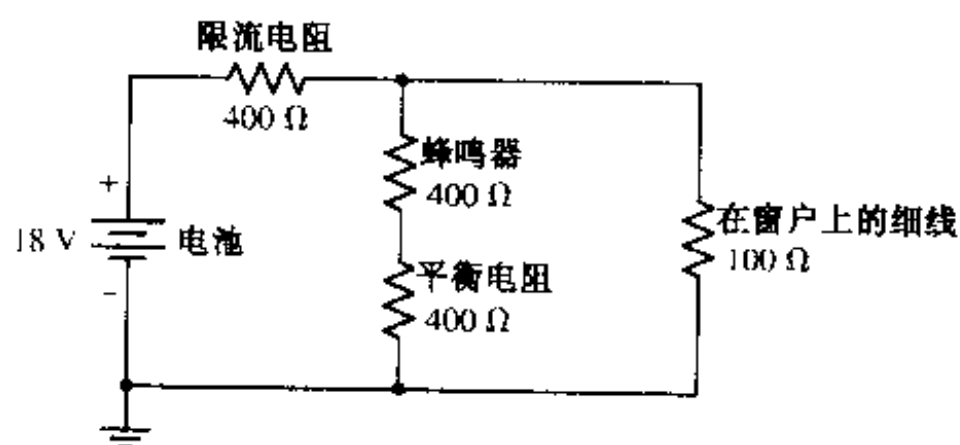


图 P5.71

65. 这个网络可以化简,但不能化简为一个电阻

67. 223.9 mA

69. 1.429 Ω

71. 一个可能的解: 见图 P5.71

73. 一个可能的解: 一个 9 V 电池串联两个 100 Ω 电阻、一个 10 Ω 电阻和发光二极管

第 6 章

1. -2.2 V

3. 一个可能的解: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_f = 134 \text{ k}\Omega$ 的反相放大器

5. 21.1 V

7. $-2(2 + 2 \sin 3t)$; -5.648 V

9. 一个可能的解: $R_1 = 100 \Omega$, $R_f = 23.69 \text{ k}\Omega$

11. (a) 两个都可; (b) $R_1 = \infty$, $R_A = 10 \text{ k}\Omega$, $R_B = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$; (c) 两个都可

13. 929 mV

15. 4.209 V

17. $V_{\text{out}} = -R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots \right]$

19. 一个可能的解: $V_i = 0.75 \text{ V}$, $R_1 = 70 \text{ k}\Omega$

21. 一个可能的解见图 P6.21

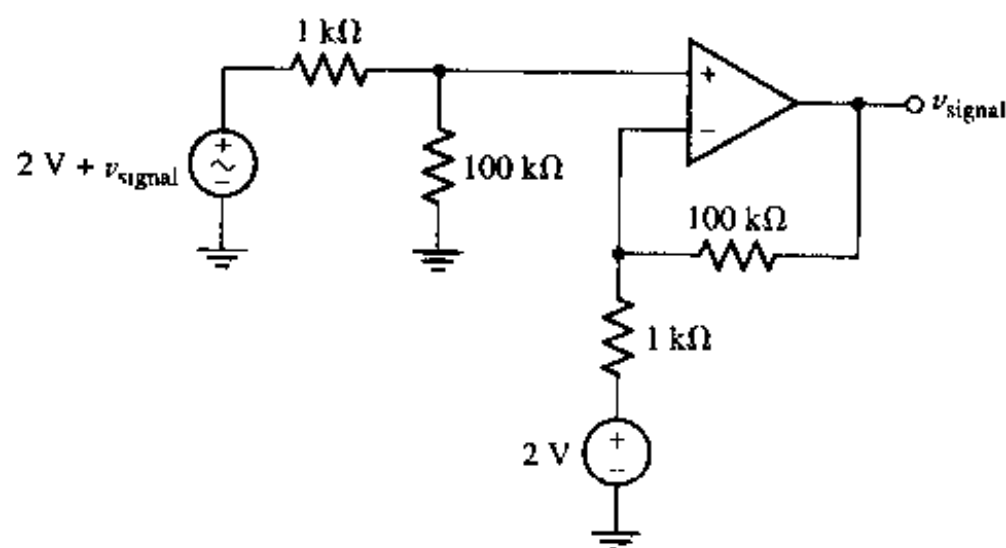


图 P6.21

23. $V_{\text{out}} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_2 - V_1 \frac{R_f}{R_1}$

25. 33.3 Ω

27. 忽略任何输入失调电压, (a) 0 W; (b) 46.45 pW; (c) 185.6 aW; (d) 135 mW

29. (a) $8 \sin 2t \text{ nV}$; (b) $80 \sin 2t \text{ nV}$

31. 忽略任何输入失调参量, (a) 0 W; (b) 46.45 pW; (c) 290.3 μW

33. 用光标测量斜率, PSpice 得到的增益是 -99.95; 按理想模型得到的增益为 -100, 两者符合得很好

35. (a) $\mu\text{A}741$: -92 μA , 54 μV ; (b) LM324: 43 μV , 333 μV ; (c) LF411: -35 μV , 43 μV

37. $\mu\text{A}741$: $R_{\text{TH}} = 54.9 \Omega$; LF411: $R_{\text{TH}} = 38.46 \Omega$. 当供电电压在 ± 2 到 ± 15 之间时, 没有观

察到实际改变

39. (a) 理想上, 输出电压的范围是 -15 V 到 $+15\text{ V}$, 但是实际运算放大器的输出会稍小一些; (b) 200, 假定 $\pm 15\text{ V}$ 之内运放不会饱和
41. 一个可能的解是将图 P6.21 的电路做少许修改

第 7 章

1. (a) 6.954 pF ; (b) 17 kV ; (c) 71.9
3. 一个可能的解: 像图 P7.3 那样制造一组梳状结构的可旋转平行半导体片。如果使用空气介质, 盘片之间间隔为 $100\text{ }\mu\text{m}$, 盘片半径为 1.5 cm , 那么用 16 个盘片就能达到要求
5. (a) 33.42 mV ; (b) 33.42 mV ; (c) 50.13 mV
7. (a) $-0.12\sin 400t\text{ mA}$; (b) $6.4\text{ }\mu\text{J}$; (c) $400(1 - e^{-100t})\text{ V}$; (d) $500 - 400e^{-100t}\text{ V}$
9. (a) $2\text{ k}\Omega$; (b) 证明(略)
11. (a) 见图 P7.11; (b) 40^- ms ; (c) $20^+, 40^+ \text{ ms}$; (d) 2.5 J

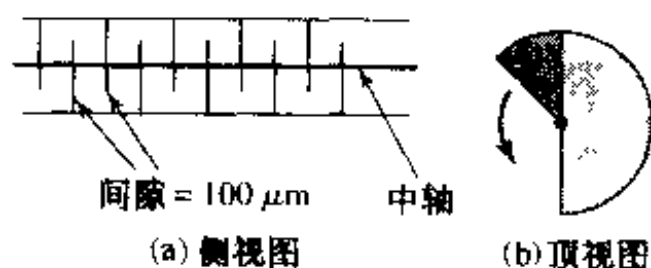


图 P7.3

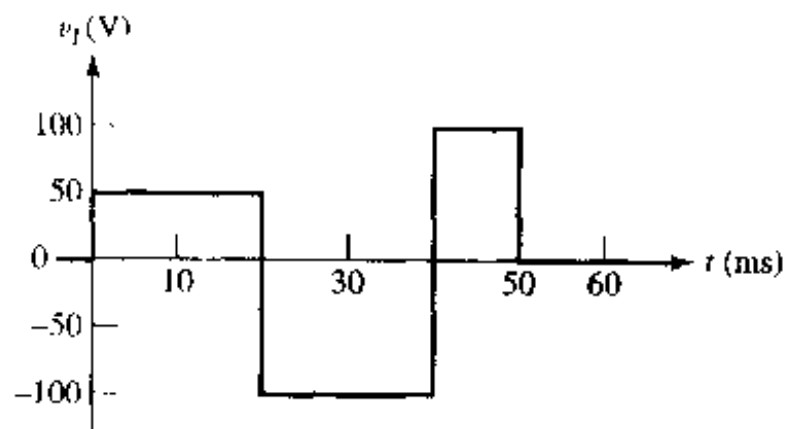


图 P7.11

13. (a) $4t^2 + 4t\text{ V}$; (b) $4t + 4t^2 + 5\text{ A}$
15. (a) 2 A ; (b) 5.63 J ; (c) 1 A
17. (a) 100 V ; (b) 60 V
19. (a) 20.5 mJ ; (b) 9.16 J ; (c) 3.28 J
21. (a) $4.286\text{ }\mu\text{F}$
23. (a) 见图 P7.23; (b) 3.6 V
25. 85.21 nF
27. 136 nF
29. (a) 3 H ; (b) N 亨
31. 1.625 nH
33. (a) $11.38\text{ }\Omega$; (b) 11.38 H ; (c) 8.79 F
35. (a) (4 个 C 串联) $\parallel C \parallel C$; (b) 1 个 C 与 (3 个 C 并联) 串联; (c) [(2 个 C 串联) $\parallel 4C$] 与 $2C$ 串联
37. (a) $-6.4e^{-80t}\text{ mA}$; (b) $80e^{-80t} - 60\text{ V}$; (c) $20e^{-80t} + 60\text{ V}$
39. $v_L(t) = 2.4\sin 10^3 t\text{ V}$, $v_C(t) = 9.2\text{ V}$
41. (a) $v_0(t) = -RC\frac{dv_i}{dt}$; (b) $v_0' + \frac{1+A}{RC}v_0 + Av_i' = 0$

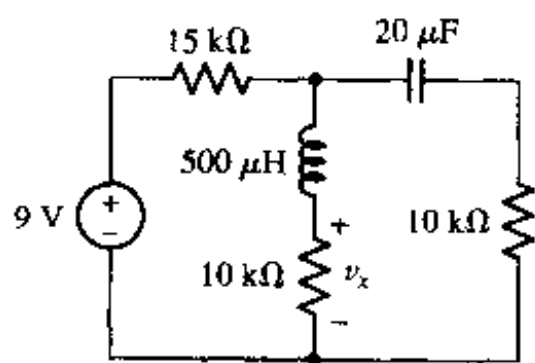


图 P7.23

43. (a) $10.005 \sin 10t + 0.0005(1 - \cos 10t) \text{ V}$; (b) $10 \sin 10t \text{ V}$

45. (a) $v_{\text{out}}(t) = -\frac{R}{L} \int_0^t v_1 dt'$; (b) 实际上基于电容的运放更常见, 一定的电容值更容易获得

47. 见图 P7.47

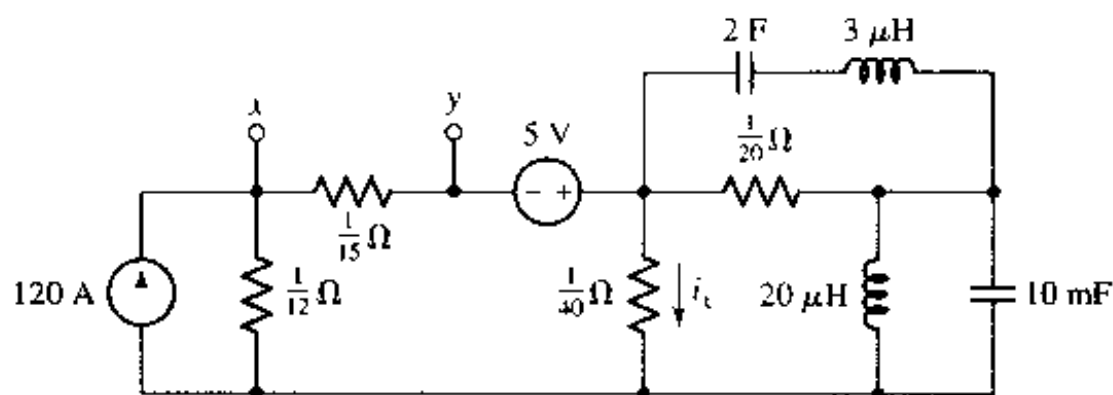


图 P7.47

49. (a) 见图 P7.49

51. $221 \mu\text{J}$

53. $100 \Omega, 31.83 \text{ mH}$

55. $558.3 \mu\text{J}$

第 8 章

1. (a) $2e^{-400t} \text{ A}$; (b) 36.6 mA ; (c) 1.733 ms

3. (a) 1.289 mA ; (b) 7.71 mA

5. (a) $i_L(0^-) = 4 \text{ A}, v(0^-) = 0$; (b) $i_L(0^+) = 4 \text{ A}, v(0^+) = -48 \text{ V}$

7. (a) $2.30, 4.61, 6.91$; (b) $t/\tau = 2$

9. 见图 P8.9

11. $6.285 \text{ k}\Omega$, 这是满足条件的最小值

13. (a) $192e^{-125t} \text{ V}$; (b) 18.42 ms

15. $v_c(t < 0) = 6.667 \text{ V}; v_c(t > 0) = 6.667e^{-25t} \text{ V}; i_c(t > 0) = 333e^{-25t} \mu\text{A}$

17. (a) 2.68 A ; (b) 1.889 A

19. (a) 85 V ; (b) 28.94 V ; (c) $t = 34.61 \mu\text{s}$

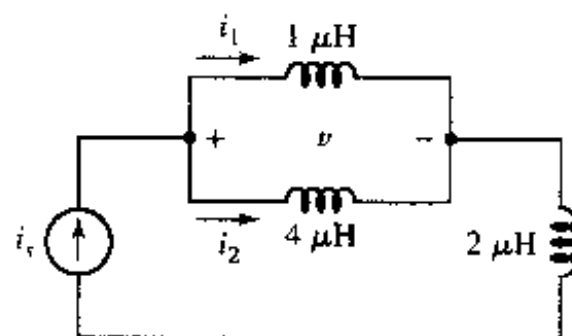


图 P7.49

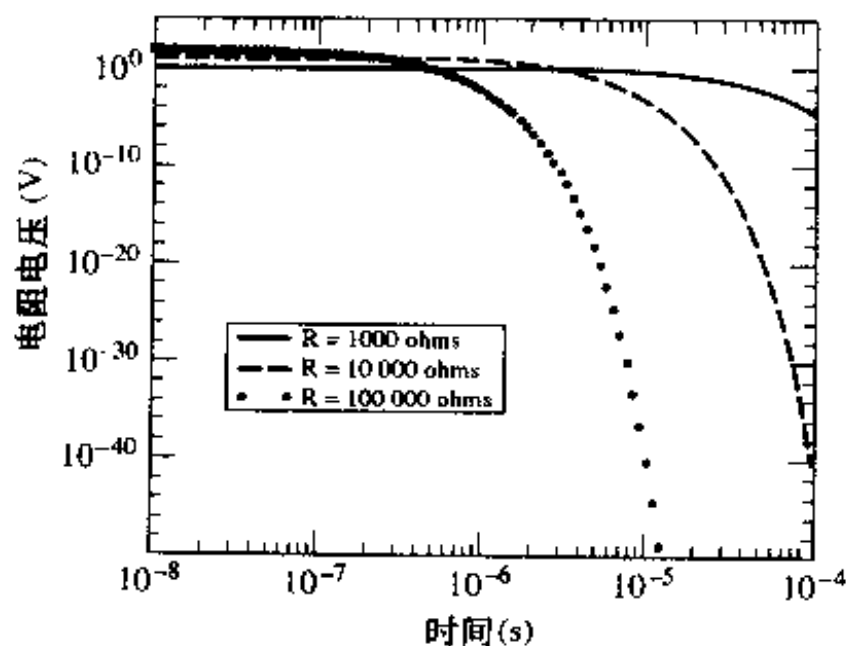


图 P8.9

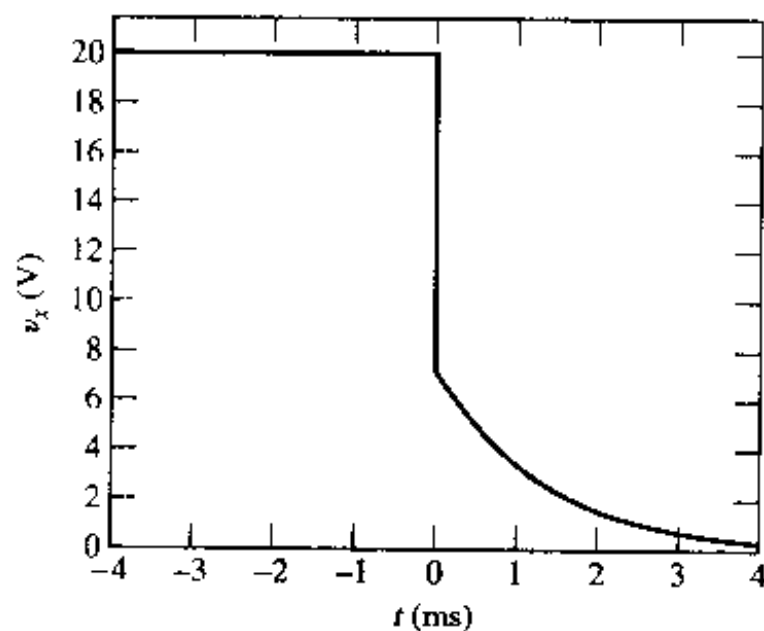


图 P8.21

21. (a) $400e^{-750t}$ mA, $t > 0$; (b) 见图 P8.21
23. $i_1(-0.1) = 5$ A; $i_1(0.03) = 2.285$ A; $i_1(0.1) = 1.852$ A; $i_1(t) = 2.5e^{-3t}$ A, $t > 0$
25. (a) 30 A; (b) 1.667 ms; (c) $30e^{-600t}$ A; (d) $-1.44e^{-600t}$ kV; (e) $i_1 = 24e^{-600t} - 14$ A, $i_2 = 6e^{-600t} + 14$ A; (f) $49 + 36 = 85$, 得证
27. (a) 290 mA; (b) 200 mA; (c) 50 mA; (d) 277 mA; (e) 33.5 mA
29. (a) -60 mA; (b) $12e^{-100t}$ mA
31. (a) $20e^{-250000t}$ V; (b) 9.447 V
33. (a) 87.6 V; (b) $87.6e^{-2500t}$ V
35. (a) 100, 0, 和 0 V; (b) 100, 0 和 100 V; (c) 80 ms; (d) $100e^{-12.5t}$ V; (e) $5e^{-12.5t}$ mA; (f) $-20e^{-12.5t} + 80$ V 和 $-80e^{-12.5t} + 80$ V; $(64 + 16) + 20 = 100$ mJ
37. (a) 20 mA; (b) $20e^{-10^4 t} - 2e^{-5 \times 10^3 t}$ mA
39. 1 A, 600 mA, -400 mA, 600 mA
41. (a) 1; (b) 12; (c) 1.472
43. 2.5, 3, 2.5, 2, -2, 单位均为安培
45. $v(1) = 9.8$ V; (b) 2 Ω 电阻
47. (a) 2 A; (b) 3.427 A; (c) 3.953 A
49. $4(1 - e^{-1000t})u(t)$ A; (b) $(100 - 80e^{-1000t})u(t)$ V
51. (a) 10 A; (b) $8 + 2e^{-10t}$ A
53. (a) 80 mA; (b) $80(1 - e^{-25t})$ mA; (c) $160 - 80e^{-25t}$ mA; (d) $16 \cos 50t + 32 \sin 50t - 16e^{-25t}$ mA
55. (a) -15 A; (b) -15 A; (c) 5 A; (d) $5 - 20e^{-40t}$ A
57. (a) 3 A; (b) 4 A; (c) 3.449 A
59. $4.615(1 - e^{-200t})u(t)$
61. (a) 电压脉冲: DC = 0, $T_1 = 0$, $T_2 = 2.5$, $V_1 = 600$, $V_2 = 2100$; (b) 电流脉冲: DC = 0, $T_1 = 1$, $T_2 = 2.5$, $I_1 = 0$, $I_2 = 9$
63. $2.5u(-t) + (10 + 7.5e^{-10^5 t})u(t)$ mA

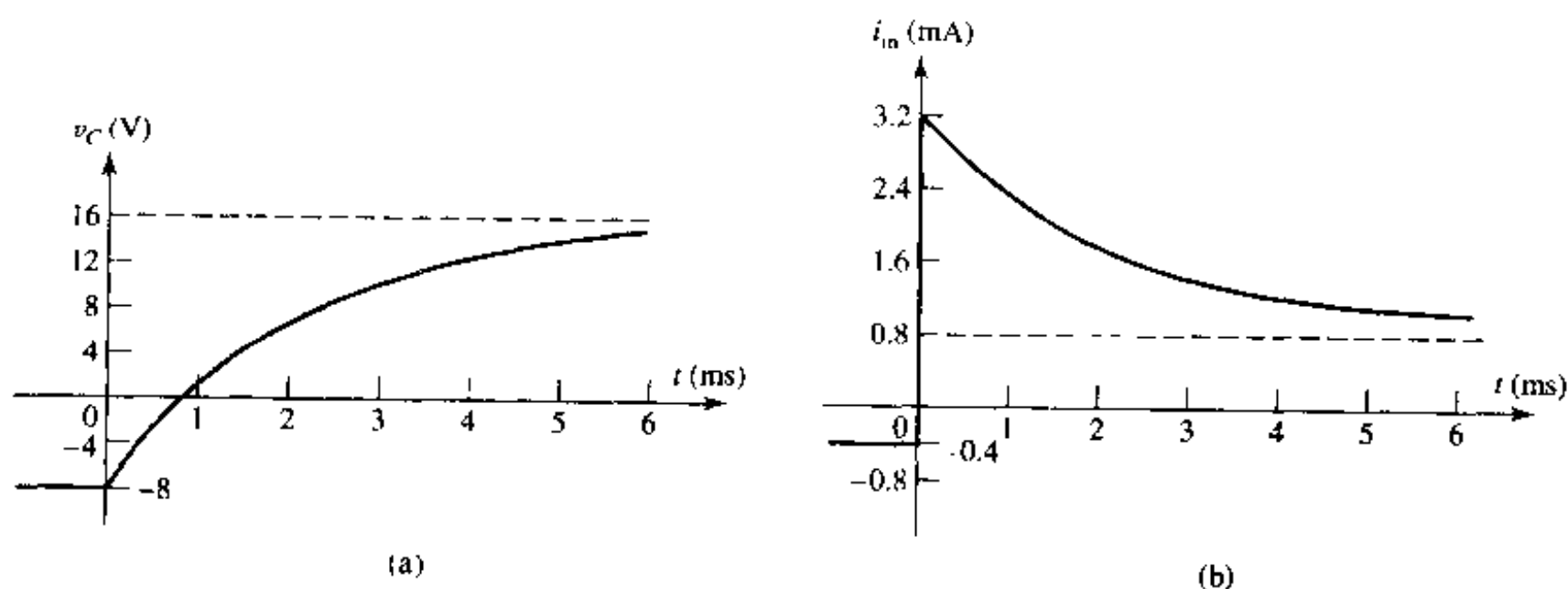


图 P8.65

65. (a) $-8u(-t) + (16 - 24e^{-500t})u(t)$ V, 见图 P8.65; (b) $-0.4u(t) + (0.8 + 2.4e^{-500t})u(t)$ mA, 见图 P8.65
67. 6.32 V 和 15.66 V
69. (a) 80 V; (b) $80 + 160e^{-10^5 t}$ V; (c) 80 V; (d) $80 - 32e^{-20 \times 10^3 t}$ V
71. 693 μ s
73. (a) 241 mV; (b) 3.11 mW; (c) 15 μ J
75. $1.25 e^{-10\,000t}u(t)$ V
77. (a) $-200(1 + e^{-30 \times 10^3 t})u(t)$ mV
79. 将运动传感器与一个常闭开关串联, 然后与一个报警电路相串联。接着将一个 200 nF 电容与报警电路并联

第 9 章

1. 4.95 Ω , 1.443 H, 14.43 mF
3. (a) 100 aF; (b) 1 M Ω ; (c) 5 Gs $^{-1}$; (d) $-5 \times 10^9 \pm j70.71 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$; (e) 7.071×10^{-5}
5. (a) 127.3 Hz; (b) $9.54 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$; (c) 95 400
7. (a) $-20e^{-10t} + 60e^{-40t}$ V, $t > 0$; (b) 见图 P9.7

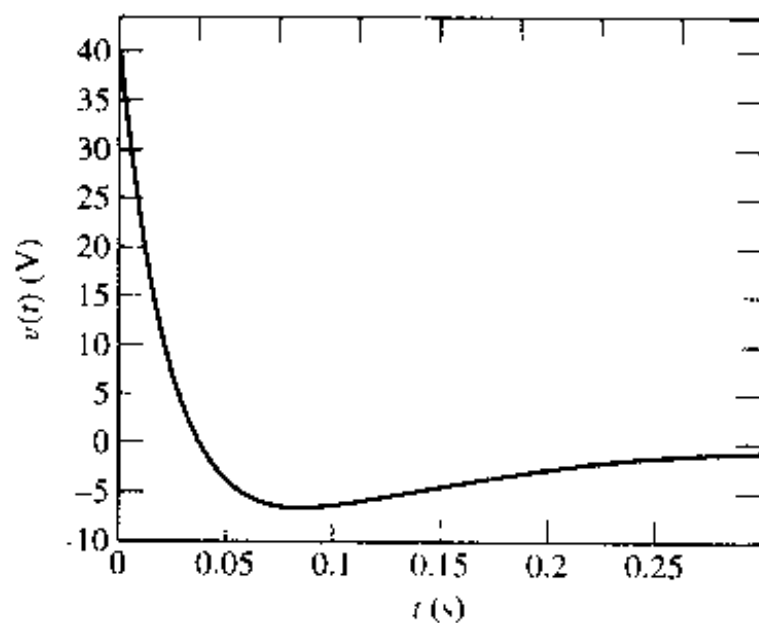


图 P9.7

9. $2.025e^{-50t} - 0.025e^{-450t}$ A, $t > 0$
11. $166.5e^{-8t} - 41.63e^{-2t}$ V
13. (a) 50 V; (b) 2 A; (c) $75e^{-6 \times 10^3 t} - 25e^{-2 \times 10^3 t}$ V; (d) 275 μ s; (e) 2.3 ms
15. $R < 498.8 \Omega$
17. (a) 8 mH; (b) 931 mA; (c) 24.0 ms
19. 498.8 Ω
21. $e^{-4\,000t}(-2 \cos 2\,000t + 4 \sin 2\,000t)$ A
23. (a) $e^{-5\,000t}(200 \cos 10^4 t + 100 \sin 10^4 t)$ V; (b) $10 - e^{-5\,000t}(10 \cos 10^4 t - 7.5 \sin 10^4 t)$ mA
25. $600 e^{-100t} \sin 1\,000t$ μ A
27. 10.38 Ω , 2.145 s
29. (a) $v_C(0^-) = 0$, $i_L(0^-) = 4$ A; (b) $i_L(t) = e^{-t}(4 \cos 5t + 0.8 \sin 5t)$, $t_s \approx 4.5$ s

31. $e^{-4t}(10 \cos 2t + 20 \sin 2t) \text{ A}$

33. $v_C(t) = [2.25e^{-300t} - 0.25e^{-6000t}]u(t) + 2u(-t) \text{ V}$, 见图 P9.33

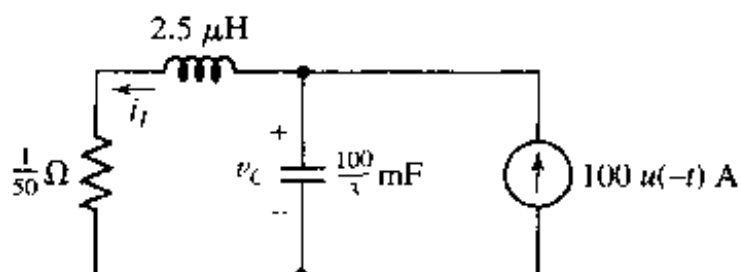


图 P9.33

35. (a) $500e^{-10t} \text{ mA}$; (b) $100e^{-10t} \text{ V}$

37. 4.7 kV

39. 1.5 Ω , 28.1 J

41. $[10 - e^{-4t}(20 \sin 2t + 10 \cos 2t)]u(t) \text{ A}$

43. $e^{-4000t}(2 \cos 2000t - 4 \sin 2000t) \text{ A}$

45. $12 - e^{-t}(t + 2) \text{ V}$

47. (a) $2.5e^{-500t} - 22.5e^{-1500t} \text{ mA}$; (b) $-2.5e^{-500t} + 22.5e^{-1500t} \text{ mA}$

49. (a) 30 V; (b) 51 V; (c) 44 V; (d) 44 V

51. (a) 0; (b) 0; (c) 923 mA; (d) -1.027 A

53. 943 Ω

55. -31.96 V

57. (a) $\frac{v_C}{R} + C \frac{dv_C}{dt} = 0$, $v_C(0^-) = 1.2 \text{ V}$; (b) 一个可能的解: 见图 P9.57

59. (a) $\frac{di}{dt} = -4i$, $i(0^-) = 2 \text{ A}$; (b) 见图 P9.59

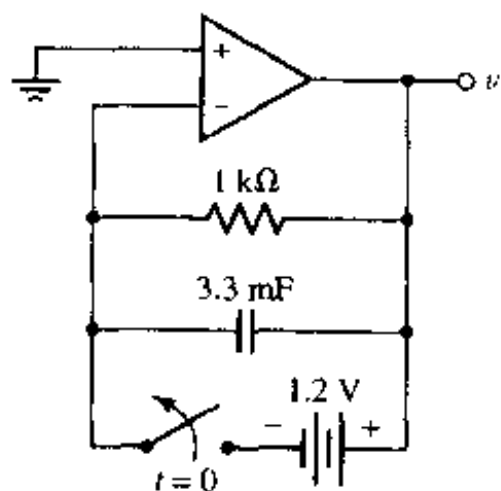


图 P9.57

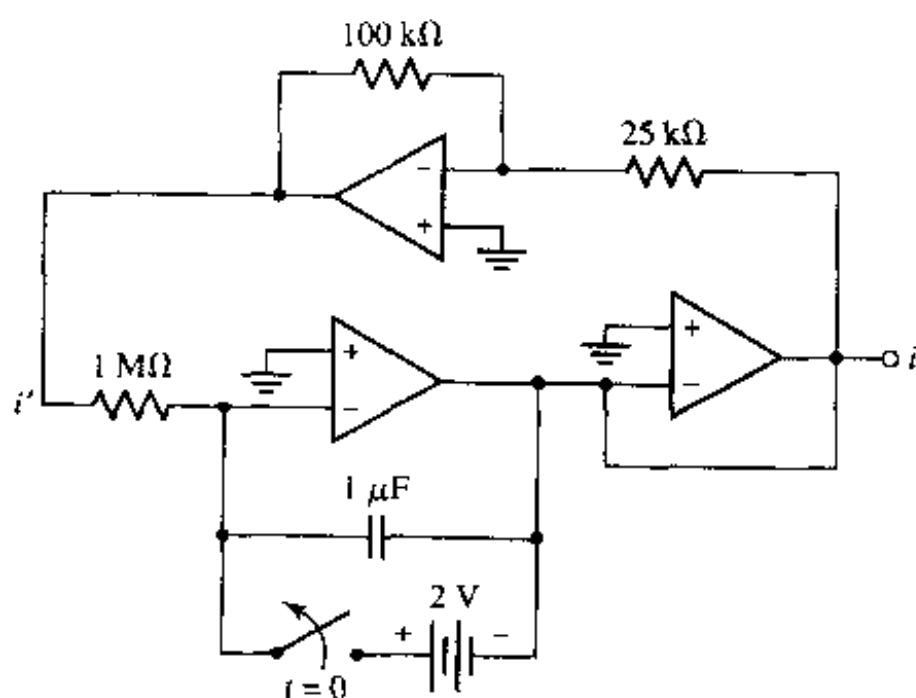


图 P9.59

第 10 章

1. (a) $8.5 \sin(291t + 325^\circ)$; (b) $8.5 \cos(291t - 125^\circ)$; (c) $-4.88 \cos 291t + 6.96 \sin 291t$
3. (a) 幅度 $f(t) = 58.3$, 幅度 $g(t) = 57.0$; (b) 133.8°
5. 38.73 V , 85.2 Mrad/s , 171.2°
7. (a) $-6 \cos(2\pi 60t + 9^\circ)$ 比 $6 \cos(2\pi 60t - 9^\circ)$ 滞后 162° ; (b) 如果两个角都用正角表示, $-\cos(t - 100^\circ)$ 比 $\cos(t - 100^\circ)$ 滞后 180° ; (c) 如果两个角都用正角表示, $\sin t$ 比 $-\sin t$ 滞后 180° ; (d) $7\,000 \cos(t - \pi)$ 比 $9 \cos(t - 3.14^\circ)$ 滞后 177°
9. (a) 800 mV ; (b) 771 mV ; (c) 814 mV ; (d) 805 mV
11. $671 \cos(500t - 26.6^\circ) \text{ mA}$
13. (a) $25.8 \mu\text{s}$; (b) 10.12 和 $25.8 \mu\text{s}$; (c) 15.71 和 $25.8 \mu\text{s}$
15. $5.88 \cos(500t - 61.9^\circ) \text{ mA}$
17. $1.414 \cos(400t - 45^\circ) + 1.342 \cos(200t - 26.6^\circ) \text{ A}$
19. (a) $V_m \cos \omega t = Ri + \frac{1}{C} \int i dt$, $-\omega V_m \sin \omega t = R \frac{di}{dt} + i/C$; (b) $\left[\frac{\omega C V_m}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \right] \cos \left[\omega t + \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega C R} \right) \right]$
21. (a) $16.81 - j5.861$; (b) $-j204$; (c) $0.3109 + j1.712$
23. (a) $18.72 \angle -16.41^\circ$; (b) $3.205 \angle 46.10^\circ$
25. (a) $39.39 \angle -76.20^\circ$; (b) $4.050 \angle -69.78^\circ$; (c) $2.397 + j8.945$; (d) $0.6687 + j0.2069$
27. $65.12 e^{j(10t + 125.62^\circ)} \text{ A}$
29. (a) $12 \angle 20^\circ \text{ A}$; (b) $7.616 \angle 113.2^\circ \text{ A}$; (c) $3.910 \angle -108.4^\circ$; (d) -64.95 V ; (e) 53.75 V
31. 34.96 mV
33. (a) $18.33 \cos(5\,000t - 40.89^\circ)$; (b) $75.88 \cos(5\,000t + 79.48^\circ) \text{ V}$; (c) $57.70 \cos(5\,000t + 118.70^\circ) \text{ V}$
35. $9.892 \cos(400t + 78.76^\circ) \text{ V}$
37. (a) $478.0 + j175.65 \Omega$; (b) $587.6 + j119.8 \Omega$
39. $212.4 \angle -45.82^\circ \text{ mA}$
41. (a) $196.1 \angle -11.31^\circ \Omega$; (b) $C = 72.45 \mu\text{F}$; (c) $\omega = 11.25$ 和 444.3 rad/s
43. $R_1 = 3.221 \Omega$, $R_2 = 4.335 \Omega$
45. (a) ab 开路: $2.378 - j1.730 \Omega$; (b) ab 短路: $2.440 - j1.636 \Omega$
47. $500 - j500 \text{ mS}$, $2\Omega \parallel 2\text{H}$
49. (a) 100 krad/s ; (b) 100 krad/s ; (c) 102.1 krad/s ; (d) 52.2 和 133.0 krad/s
51. (a) 8Ω , $250 \mu\text{F}$; (b) 5Ω , $100 \mu\text{F}$
53. $34.4 \angle 23.6^\circ \text{ V}$
55. $70.7 \cos(10^3 t - 45^\circ) \text{ V}$
57. $1.213 \cos(100t - 76.0^\circ) \text{ A}$
59. (a) $-j\omega C_1 R_f$; (b) $-j\omega C_1 R_f / (1 + j\omega C_f R_f)$
61. 2.235 kW

63. $C = 2.18 \text{ F}$

65. (a) $\theta = \tan^{-1}(g_m/\omega C_\mu) -$

$\tan^{-1} \left\{ \frac{\omega R_B r_\pi C_\pi R_s R'_L + [r_\pi R_B - R_s(r_\pi + R_B)]/\omega C_\mu}{(g_m R'_L R_s + R_s + R'_L) r_\pi R_B + (r_\pi + R_B) R'_L R_s + \omega R_B r_\pi C_\pi R_s / \omega C_\mu} \right\}$, 其中 $R'_L \equiv R_C \parallel R_L$; (b) 见图 P10.65; (c) 10^5 Hz

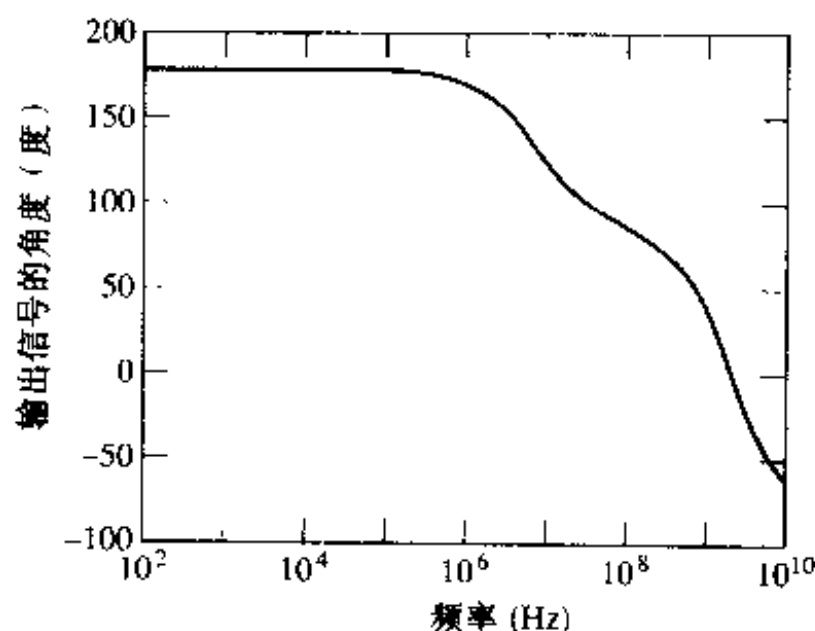


图 P10.65

67. $Y_{in} = j\omega/(1 - 2\omega^2 + j\omega) \text{ S}$, 当 $\omega = 1 \text{ rad/s}$ 时, $Y_{in} = 1/(1 + j) \text{ S}$, 由 $2 \Omega \parallel 2 \text{ H}$ 构成

69. $R_N = 2.5 \Omega$, $L_N = 1.25 \text{ H}$, $I_N = 894.4 \angle -63.43^\circ \text{ mA}$

71. $V_{TH} = 158.1 \angle 108.4^\circ \text{ V}$, $Z_{TH} = j150 \Omega$

73. 定义左边为正参考端, $v_C(t) = 88.23 \cos(t - 107.1^\circ) \text{ mV}$

75. 一个解见图 P10.75

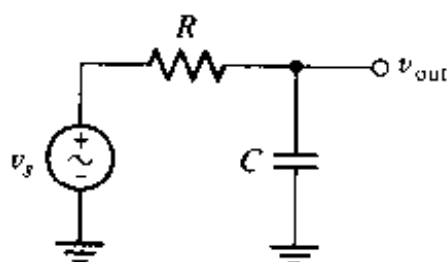


图 P10.75

77. (a) 电压源 $404 \text{ V}/505$ 与 80.2Ω 电阻、电容串联; (b) $\left| \frac{V_{out}}{V_s} \right| = \frac{405}{505} \frac{1}{\sqrt{1 + 2.532 \times 10^{-12} \omega^2}}$;

见图 P10.77

79. $v_1(t) = 3.227 \cos(10^4 t - 83.62^\circ) + 2.006 \times 10^{-4} \cos(10^5 t + 127.1^\circ) \text{ V}$, $v_2(t) = 31.13 \cos(10^4 t - 179.3^\circ) + 115.7 \cos(10^5 t - 92.91^\circ) \text{ mV}$

81. (a) $57.3 \angle -76.8^\circ \text{ A}$, $25.6 \angle -140.2^\circ \text{ A}$, $51.2 \angle -50.2^\circ \text{ A}$, $143.1 \angle 13.24^\circ \text{ V}$, $51.2 \angle -140.2^\circ \text{ V}$, $51.2 \angle -140.2^\circ \text{ V}$; (b) 见图 P10.81

83. $I_1 = 5 \angle -40.5^\circ \text{ A}$, $I_2 = 7 \angle 27.7^\circ \text{ A}$, 见图 P10.83