

電機工程問題詳解

A. E. 菲茨杰拉德 原著
黃 天 立 譯著

曉 園 出 版 社
世 界 圖 書 出 版 公 司

電機工程問題詳解

A. E. 菲茨杰拉德 原著
黃 天 立 譯著

曉 園 出 版 社
世界圖書出版公司

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1994年10月第 一 版 开本: 850×1168 1/32
1994年10月第一次印刷 印张: 17
印数: 0001—500 字数: 40万字

ISBN: 7-5062-1989-1/TM·3

定价: 24.60元 (WB9405/18)

世界图书出版公司已向台湾晓园出版社购得重印权
限国内发行

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

(目 錄)

第 一 章	電路的物理基礎·····	1
第 二 章	電路分析－電阻網路·····	19
第 三 章	正弦波穩態電路分析·····	48
第 四 章	簡單網路的響應·····	85
第 五 章	拉普拉斯變換·····	131
第 六 章	頻率響應及系統表示法·····	171
第 七 章	半導體元件的物理基礎·····	223
第 八 章	基本放大級·····	262
第 九 章	多級放大器·····	313
第 十 章	類比訊號處理·····	359
第十一章	離散訊號處理·····	398
第十二章	數位計數·····	428
第十三章	磁路。變壓器，三相電路·····	451
第十四章	機電能量變換·····	467
第十五章	直流電機·····	481
第十六章	交流電機·····	496
第十七章	控制系統及固態電力處理·····	507
附 錄 B	複數代數·····	531

第一章 電路的物理基礎

1-1 一白熾燈當由 120 V 恒定電源供應時，所用電能率為 100 W。求：

- 燈的電流。
- 每小時流經電路的電荷。
- 假定燈每天點 10 小時，電費為每 kWh (千瓦小時) 6.0 分錢，求一年應繳電費。

解 a $100 = 120 I$

$$\therefore I = 0.833 \text{ (A)}$$

$$\text{b } q = It = 0.833 \times 60 \times 60 = 2998.8 \approx 3000 \text{ (Coul)}$$

$$\text{c } 100 \times 10 = 1000 = 1 \text{ (kWh)}$$

$$\therefore 365 \times 6 \times 10^{-2} = 21.9 \text{ (元)}$$

1-2 用一只 12 V 鉛蓄電池來供給 120 W 負載。

- 求負載電流。
- 如果電池組額定在 60 A · h (安 · 時)，問可供給此負載多長時間？
- 問儲存在蓄電池中的總電荷有多少？

解 a $120 = 12 I$

$$\therefore I = 10 \text{ (A)}$$

$$\text{b } 60 = 10 t$$

$$t = 6 \text{ (hr)}$$

$$\text{c } q = It = 10 \times 6 \times 3600 = 216000 \text{ (Coul)}$$

1-3 如圖 1-18 a 所示電裝置的電壓與電流波形，繪於圖 1-18 b 中。

- 試繪為時間函數的裝置功率曲線。
- 問在時段 $0 \leq t \leq 4$ 秒以內，由裝置發散的平均功率有多少？

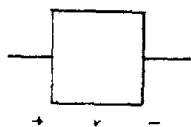


圖 1-18 a

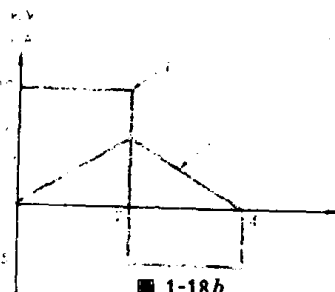


圖 1-18 b

解 a $0 \leq t \leq 2$

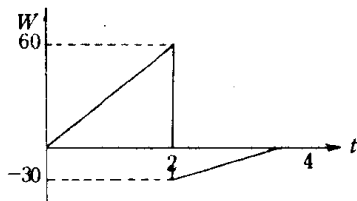
$$p = vi = 10 \times 3t = 30t$$

$$2 \leq t \leq 4$$

$$p = vi = (12 - 3t)(-5) = -60 + 15t$$

$$b \quad W = \frac{1}{2} \times 60 \times 2 - \frac{1}{2} \times 2 \times 30 = 30$$

$$\therefore p_{av} = 30 \div 4 = 7.5 \text{ (W)}$$



1-4 如圖 1-19 所示電壓及電壓的梯形波形，與用在數位計算機的電子開關中的波形相似。

a 試繪為時間函數的功率圖。

b 求在第一個 100 奈秒 (ns, 10^{-9} 秒) 以內的平均功率。

c 求在第一個 100 奈秒 (ns) 以內的平均電壓與電流。

d 以本題 b 中所得結果與平均電壓及電流的乘積相較，並且解釋任何差別。

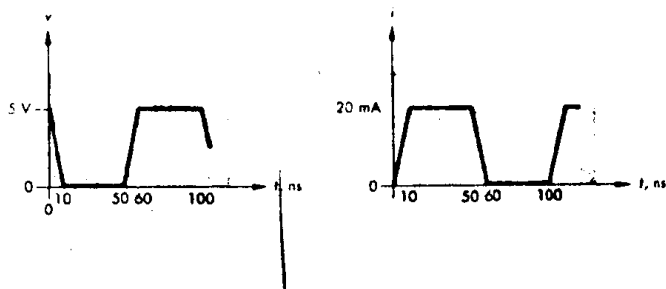


圖 1-19

解 a (1) $0 < t < 10 \text{ ns}$

$$p = vi = (5 - 0.5 \times 10^{-9}t)(2 \times 10^{-3} \times 10^9 t) \\ = 10^{-2} \times 10^9 t - 10^{-3} \times 10^{18} t^2$$

$$t = 5 \text{ ns}, P_{\max} = 0.025 = 25 \text{ (mW)}$$

(2) $10 < t < 50 \text{ (ns)}$

$$p = vi = 0$$

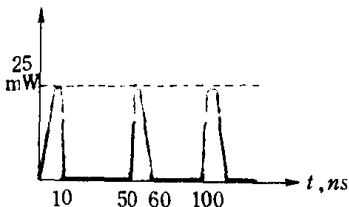
(3) $50 < t < 60$ (ns)

$$p = vi$$

和(1)類似 $p_{\max}$ 在 $t = 55$ (ns) 時(4) $60 < t < 100$ (ns)

$$p = vi = 0$$

(5) 以下類似



$$\begin{aligned} \text{b 在 } 0 \sim 10 \text{ ns 內 } W &= \int_0^{10^{-8}} p dt = 10^7 \cdot \frac{1}{2} t^2 \int_0^{10^{-8}} -10^{15} \cdot \frac{1}{3} t^3 \Big|_0^{10^{-8}} \\ &= 1.67 \times 10^{-10} \text{ (joule)} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{前 } 100 \text{ ns 內 } p_{av} = \frac{(1.67 \times 10^{-10} \times 2)}{100 \times 10^{-9}} = 3.33 \text{ (mW)}$$

$$\text{c 平均電壓 } V_{av} = [(\frac{1}{2} \times 5 \times 10) \times 2 + (40 \times 5)] / 100 = 2.5 \text{ (V)}$$

$$\text{平均電流 } I_{av} = [(\frac{1}{2} \times 20 \times 10) \times 2 + (40 \times 20)] / 100 = 10 \text{ (mA)}$$

$$\text{d } 2.5 \times 10 = 25 \text{ (mW)} > 3.33 \text{ (mW)}$$

此乃因為週期方波相位差 180° ; 若 v, i 同相則 p_{av} 最大為 43.3 (mW)

1-5 如圖 1-17a 所示之裝置中的電流與電壓為

$$v(t) = 20 \cos t$$

$$i(t) = 5 \cos t$$

a 試繪瞬時功率圖。

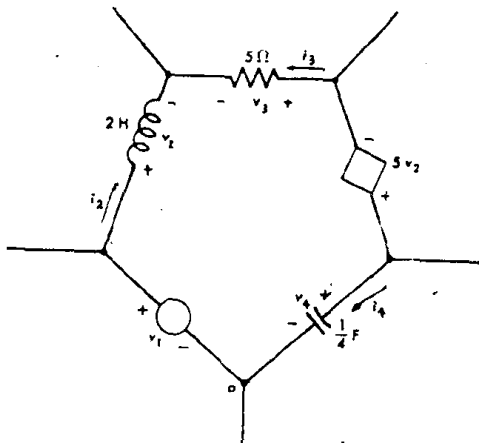
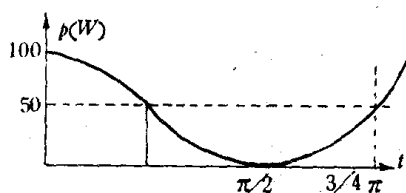
b 求在一周內 ($0 \leq t \leq 2\pi$) 所散逸的平均功率。

圖 1-17a

4 電工學問題詳解

解 a $p(t) = vi = 100 \cos^2 t = 50 + 50 \cos 2t$

b 如圖，平均功率為 50 (W)



1-6 重作習題 1-5，就

a $v(t) = 10 \cos t$

$i(t) = 2 \cos(t + 60^\circ)$

b $v(t) = 15 \cos t + 5 \cos 2t$

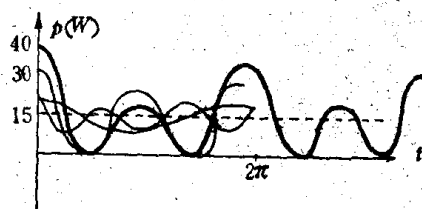
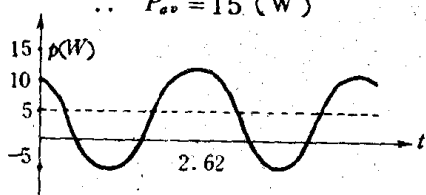
$i(t) = 2 \cos t$

解 a $p(t) = vi = 20 \cos t \cos(t + 60^\circ)$
 $= 10 [\cos(2t + 60^\circ) + \cos 60^\circ]$

平均功率為 $10 \cos 60^\circ = 5$ (W)

b $p(t) = vi = 30 \cos^2 t + 10 \cos t \cos 2t$
 $= 15 + 15 \cos 2t + 5 \cos t + 5 \cos 3t$

$\therefore P_{av} = 15$ (W)



1-7 重作習題 1-5，就

a $v(t) = 5 - 5 \cos 2t$

$i(t) = 2 + 2 \cos 2t$

b $v(t) = 50 \cos 2t$

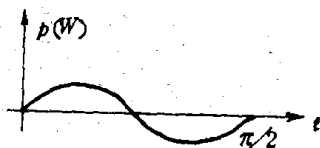
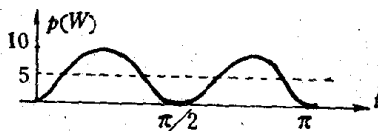
$i(t) = 5 \sin 2t$

解 a $p(t) = vi = 10 - 10 \cos^2 2t$
 $= 5 - 5 \cos 4t$

$\therefore$ 平均功率 5 (W)

b $p(t) = vi = 250 \cos 2t \sin 2t$
 $= 125 \sin 4t$

$\therefore$ 平均功率 0 (W)



1-8 在一電網路中電壓與電流已知為

$$v(t) = 100e^{-3t}$$

$$i(t) = 2(1 - e^{-3t})$$

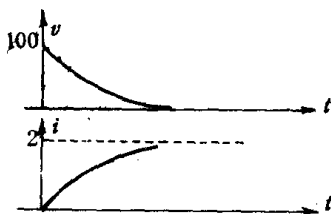
a 試繪 $v(t)$ 與 $i(t)$ 的圖。

b 試繪瞬時功率圖。

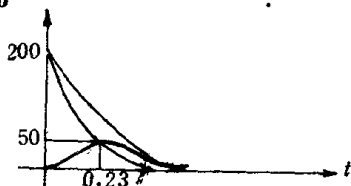
c 求在時段 $0 \leq t \leq \frac{1}{3}$ 秒以內所散逸的總能量。

d 問在第一秒鐘以內所散逸的總能量有多少？

解 a



b



$$p = vi = 100e^{-3t} \cdot 2(1 - e^{-3t})$$

$$= 200(e^{-3t} - e^{-6t})$$

$$dp/dt = 200[-3e^{-3t} + 6e^{-6t}]$$

$$e^{-3t_0} = 2e^{-6t_0} \quad -3t_0 = \ln 2 - 6t_0$$

$$t_0 = \frac{1}{3} \ln 2 = 0.23 \text{ 此時 } p \text{ 最大, 爲}$$

$$50 \text{ (W)}$$

$$c \quad W_1 = \int_0^{1/3} 200(e^{-3t} - e^{-6t}) dt$$

$$= 200 \left[-\frac{1}{3} e^{-3t} \Big|_0^{1/3} + \frac{1}{6} e^{-6t} \Big|_0^{1/3} \right]$$

$$= 200 \left[\frac{1}{3} - \frac{1}{3} e^{-1} + \left(-\frac{1}{6} \right) + \frac{1}{6} e^{-2} \right] = 13.32 \text{ (joule)}$$

$$d \quad W_2 = \int_0^1 p dt = 200 \left[\frac{1}{3} - \frac{1}{3} e^{-3} + \frac{1}{6} e^{-6} \Big|_0^1 \right]$$

$$= 200 \left[\frac{1}{3} - \frac{1}{3} e^{-3} + \frac{1}{6} e^{-6} - \frac{1}{6} \right] = 0.15 \text{ (joule)}$$

1-9 重作習題 1-8, 就

a $v(t) = 10e^{-1.5t}$

$$i(t) = 1 - e^{-1.5t}$$

b $v(t) = 20e^{-t}$

$$i(t) = te^{-t}$$

解 a $p = vi = 10e^{-1.5t} (1 - e^{-1.5t})$

$$= 10(e^{-1.5t} - e^{-3t})$$

$$dp/dt = 10(-1.5e^{-1.5t} + 3e^{-3t})$$

$$e^{-1.5t_0} = 2e^{-3t_0}$$

$$-1.5t_0 = \ln 2 - 3t_0$$

$$t_0 = 2/3 \ln 2 = 0.462 \text{ 此時 } p \text{ 最大為 } 2.5 \text{ (W)}$$

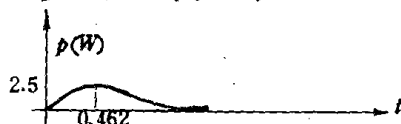
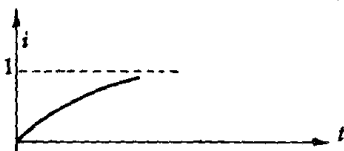
$$W_1 = \int_0^{1/3} p dt$$

$$= 10 \left[-\frac{2}{3} e^{-\frac{3}{2}t} \Big|_0^{1/3} + \frac{1}{3} e^{-3t} \Big|_0^{1/3} \right]$$

$$= 10 \left[-\frac{2}{3} e^{-\frac{1}{2}} + \frac{2}{3} + \frac{1}{3} e^{-1} - \frac{1}{3} \right] = 0.516 \text{ (joule)}$$

$$W_2 = \int_0^1 p dt$$

$$= 10 \left[-\frac{2}{3} e^{-\frac{3}{2}} + \frac{2}{3} + \frac{1}{3} e^{-3} - \frac{1}{3} \right] = 2.01 \text{ (joule)}$$



$$b \quad di/dt = \frac{d}{dt} (te^{-t}) = e^{-t} - te^{-t}$$

$$e^{-t_0} = t_0 e^{-t_0} \quad t_0 = 1 \quad i(1) = 0.368 \text{ (A)}$$

$$p = vi = 20 te^{-2t}$$

$$dp/dt = 20 [e^{-2t} - 2te^{-2t}]$$

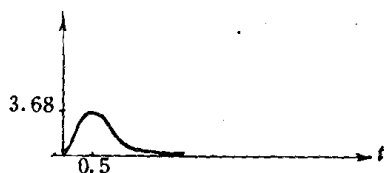
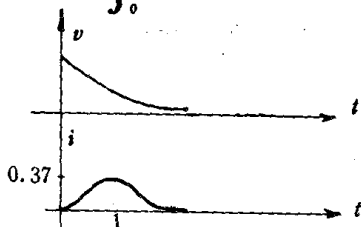
$$e^{-2t_1} = 2t_1 e^{-2t_1} \quad t_1 = 0.5 \quad p(0.5) = 3.68 \text{ (W)}$$

$$W_1 = \int_0^{1/3} 20 te^{-2t} dt$$

$$= 20 \left[-\frac{1}{2} te^{-2t} \Big|_0^{1/3} - \int_0^{1/3} \left(-\frac{1}{2}\right) e^{-2t} dt \right]$$

$$= 20 \left[-0.0857 - \frac{1}{4} e^{-2t} \Big|_0^{1/3} \right] = 0.72 \text{ (joule)}$$

$$W_2 = \int_0^1 20 te^{-2t} dt = 20 \left[-\frac{1}{2} e^{-2t} t \Big|_0^1 - \frac{1}{4} e^{-2t} \Big|_0^1 \right] = 2.97 \text{ (joule)}$$



1-10 求下列各元件的電阻，以歐姆為單位

- 習題 1-1 的白熾燈。
- 習題 1-2 中的負載。

解 $p = VI = V^2/R \quad R = V^2/P$

- $R = 120^2/100 = 144 (\Omega)$
- $R = 12^2/120 = 1.2 (\Omega)$

1-11 一電阻器的額定功率為 0.5W ，電阻有 $10\text{K}\Omega$ 。

- 問在不超出額定功率下，電阻器中的最大直流電流是多少？
- 一電流 $i(t) = (2 + \sqrt{2} \sin 10^6 t) \times 10^{-3}$ 供給於電阻器，試繪一周的電壓與瞬時功率圖。
- 當此電阻器以本題 b 中的已知電流供給時，求一周內所散逸的平均功率。

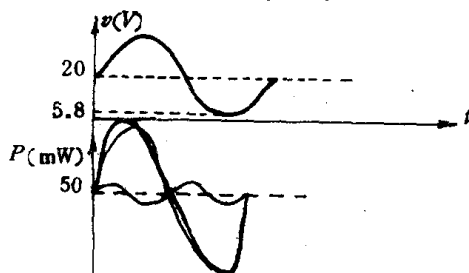
解 a $0.5 = I^2 \times 10 \cdot 10^3$

$\therefore I = 7.07 (\text{mA})$

b $v = iR = 10(2 + \sqrt{2} \sin 10^6 t)$

$p = vi = 10^{-2} \times (2 + \sqrt{2} \sin 10^6 t)^2$
 $= 50 + 40\sqrt{2} \sin 10^6 t + 10 \sin 2 \times 10^6 t (\text{mW})$

c 故平均功率為 $50 (\text{mW})$



1-12 某一鉑電阻溫度計的電阻以下列公式表示

$$R_T = R_0 (1 + 5.42 \times 10^{-3} T - 4.17 \times 10^{-6} T^2)$$

其中 R_T 是在溫度 T 時的電阻

R_0 是在溫度 0°C 時的電阻

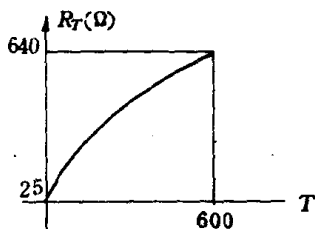
以及 T = 溫度， 0°C

- 就 $R_0 = 25 \Omega$ ，試繪作為 T 函數的 R_T 的圖，而 T 的範圍為 $0^\circ \leq T \leq 600^\circ\text{C}$ 。
- 當 6V 電壓加在此溫度計時，測得 15mA 的電流，求此溫度。

解 a $R_T = 25(1 + 5.42 \times 10^{-2}T - 4.17 \times 10^{-6}T^2)$

$$R_{T, \max} \text{ 時 } T = -\frac{5.42 \times 10^{-2}}{-2 \times 4.17 \times 10^{-6}} = 6498.8 (^{\circ}\text{C})$$

故如下圖所示 $R_T(600) = 640.4$



b $R_T = 6/15 \times 10^{-3} = 400$

$$400 = 25(1 + 5.42 \times 10^{-2}T - 4.17 \times 10^{-6}T^2)$$

$$\therefore 4.17 \times 10^{-6}T^2 - 5.42 \times 10^{-2}T + 15 = 0$$

$$\therefore T = 282.9 (^{\circ}\text{C})$$

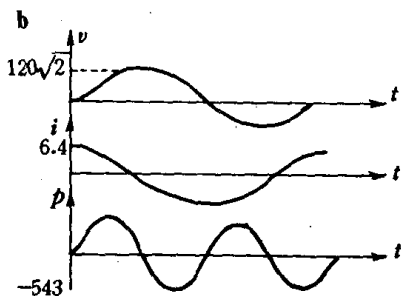
1-13 跨接一只 $100 \mu\text{F}$ 電容器的電壓為 $120\sqrt{2} \sin 377t$ 。

a 求作為時間函數的電容器電流。

b 試繪電流與電壓波形。

c 求電容器中瞬時功率的方程式，並且繪出作為時間函數的功率圖。

解 a $i = C \frac{dv}{dt} = 100 \times 10^{-6} \times 120\sqrt{2}(377) \cos 377t$
 $= 6.4 \cos 377t (\text{A})$



c $p = vi = Cv \frac{dv}{dt} = 1086 \cos 377t \sin 377t$
 $= 543 \sin 754t$

1-14 就 $v(t) = 12(1 - e^{-10^3 t})$ ，重作習題 1-13。

解 a $i = C \frac{dv}{dt} = 100 \times 10^{-6} \times 12 \times (10^3 e^{-10^3 t}) = 1.2 e^{-10^3 t}$

$$p = vi = 12(1 - e^{-10^3 t}) \times 1.2 e^{-10^3 t}$$

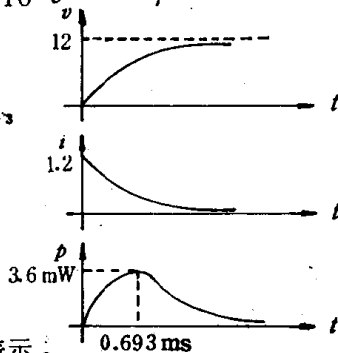
$$= 14.4(e^{-10^3 t} - e^{-2 \times 10^3 t})$$

$$\frac{dp}{dt} = 14.4(-10^3 e^{-10^3 t} + 2 \times 10^3 e^{-2 \times 10^3 t})$$

$$\therefore e^{-10^3 t_0} = 2e^{-2 \times 10^3 t_0}$$

$$t_0 = \frac{1}{1000} \ln 2 = 0.639 \times 10^{-3}$$

$$\therefore p_{\max} = 3.6 \text{ (mW)}$$



1-15 跨接 50 pF 電容器的電壓，以下式表示。

$$v(t) = \begin{cases} 10^8 t & 0 \leq t \leq 50 \text{ ns} \\ 7.5 - 5 \times 10^7 t & 50 \leq t \leq 150 \text{ ns} \\ 0 & t > 150 \text{ ns} \end{cases}$$

a 求作為時間函數的電容器電流方程式。

b 試繪儲存在電容器中作為時間函數的能量圖。

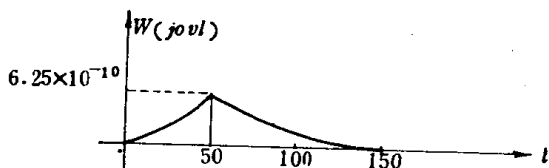
解 a $i = C \frac{dv}{dt}$

$$i(t) = \begin{cases} 5 \times 10^{-3} & 0 \leq t \leq 50 \text{ ns} \\ -2.5 \times 10^{-3} & 50 \leq t \leq 150 \text{ ns} \\ 0 & t > 150 \text{ ns} \end{cases}$$

b $p = vi$

$$= \begin{cases} 5 \times 10^{-3} t & 0 \leq t \leq 50 \text{ ns} \\ -18.75 \times 10^{-3} + 12.5 \times 10^{-3} t & 50 \leq t \leq 150 \text{ ns} \\ 0 & t \geq 150 \text{ ns} \end{cases}$$

$$W = \int p dt$$



1-16 在 10 mH 電感中的電流為

$$i(t) = 0.1414 \sin 377 t$$

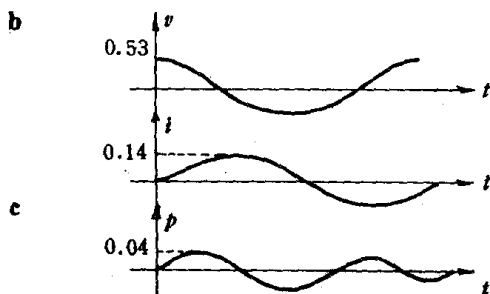
a 求跨接電感的電壓。

b 試繪電壓與電流波形。

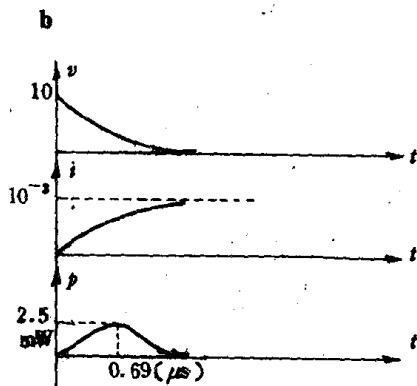
c 求瞬時功率的公式，並且繪瞬時功率的草圖。

$$\begin{aligned} \text{解 a } v &= L di/dt = 10 \times 10^{-3} \times 0.1414 \times 377 \cos 377 t \\ &= 0.533 \cos 377 t \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= vi = Li \frac{di}{dt} \\ &= 0.533 \cdot 0.1414 \cos 377 t \sin 377 t \\ &= 0.0377 \sin 754 t \end{aligned}$$

1-17 就 $i(t) = 10^{-3} (1 - e^{-10^6 t})$ ，重作習題 1-16。

$$\text{a } v = L di/dt = 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 e^{-10^6 t} \text{ (V)} = 10 e^{-10^6 t} \text{ (V)}$$



$$\begin{aligned} \text{c } p &= vi = Li \frac{di}{dt} \\ &= 10^{-2} e^{-10^6 t} (1 - e^{-10^6 t}) \\ \frac{dp}{dt} &= 10^{-2} [-10^6 e^{-10^6 t} \\ &\quad + 2 \times 10^6 e^{-2 \times 10^6 t}] \\ e^{-10^6 t_0} &= 2 e^{-2 \times 10^6 t_0} \\ \ln 2 &= 10^6 t_0 \\ \therefore t_0 &= 0.69 (\mu\text{s}) \\ P_{\max} &= 2.5 (\text{mW}) \end{aligned}$$

1-18 通過 $500\ \mu\text{H}$ 電感的電流為

$$i(t) = \begin{cases} 10^4 t & 0 \leq t \leq 2\ \mu\text{s} \\ 2.5 \times 10^{-2} - 2.5 \times 10^3 t & 2 \leq t \leq 10\ \mu\text{s} \\ 0 & t \geq 10\ \mu\text{s} \end{cases}$$

a 決定跨接電感之電壓作為時間函數的方程式。

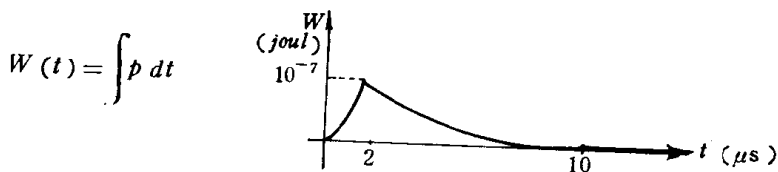
b 試繪儲存在電感中的能量作為時間函數的圖。

解 a $v(t) = L \frac{di}{dt}$

$$= \begin{cases} 5 & 0 \leq t \leq 2\ \mu\text{s} \\ -1.25 & 2 \leq t \leq 10\ \mu\text{s} \\ 0 & t \geq 10\ \mu\text{s} \end{cases}$$

b $p = vi$

$$= \begin{cases} 5 \times 10^4 t & 0 \leq t \leq 2\ \mu\text{s} \\ -0.03125 + 3125 t & 2 \leq t \leq 10\ \mu\text{s} \\ 0 & t \geq 10\ \mu\text{s} \end{cases}$$



1-19 如圖 1-9 所示在互耦線圈中的電流 $i_1(t)$ 與 $i_2(t)$ 分別為

$$i_1(t) = 10 \cos 377 t$$

$$i_2(t) = 5 \cos 377 t$$

各元件的值為： $L_1 = 10\ \text{H}$ ， $L_2 = 5\ \text{H}$ ， $M = 5\ \text{H}$ 。

求電壓 $v_1(t)$ 與 $v_2(t)$

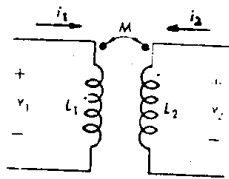
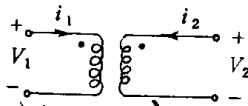


圖 1-9

解 $v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$



$$= -10 \cdot 10 \cdot 377 \sin 377 t - 5 \cdot 5 \cdot 377 \sin 377 t$$

$$= -47.125 \times 10^3 \sin 377 t \text{ (V)}$$

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

$$= 5 \cdot 10 (-377) \sin 377 t + 5 \cdot 5 (-377) \sin 377 t$$

$$= -28.275 \times 10^3 \sin 377 t \text{ (V)}$$

1-20 就 $i_1(t) = 5(1 - e^{-t})$ 與 $i_2(t) = 10(1 - e^{-t})$ ，重作習題 1-19。

解 $v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$

$$= 10 \cdot 5(\epsilon^{-t}) + 5 \cdot 10(\epsilon^{-t}) = 100 \epsilon^{-t} \text{ (V)}$$

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

$$= 5 \cdot 5(\epsilon^{-t}) + 5 \cdot 10(\epsilon^{-t}) = 75 \epsilon^{-t} \text{ (V)}$$

1-21 在圖 1-20 的電路中，源電壓為 $V_1 = 45 \text{ V}$ 與 $V_2 = 15 \text{ V}$ ，求

- 由 a 到 b 的電流
- 電壓降 V_{ac}
- 由 V_1 供給的功率
- 由 bc 段所吸收的功率

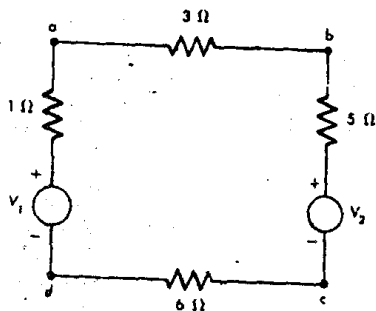


圖 1-20

解 a $\frac{45 - 15}{1 + 3 + 5 + 6} = 2 \text{ (A)}$

b $V_{ac} = 2 \cdot (3 + 5) + 15 = 31 \text{ (V)}$