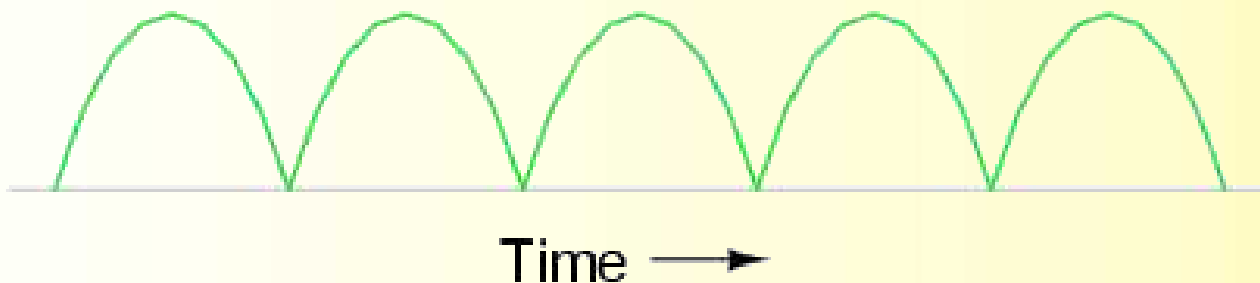


濾波電路

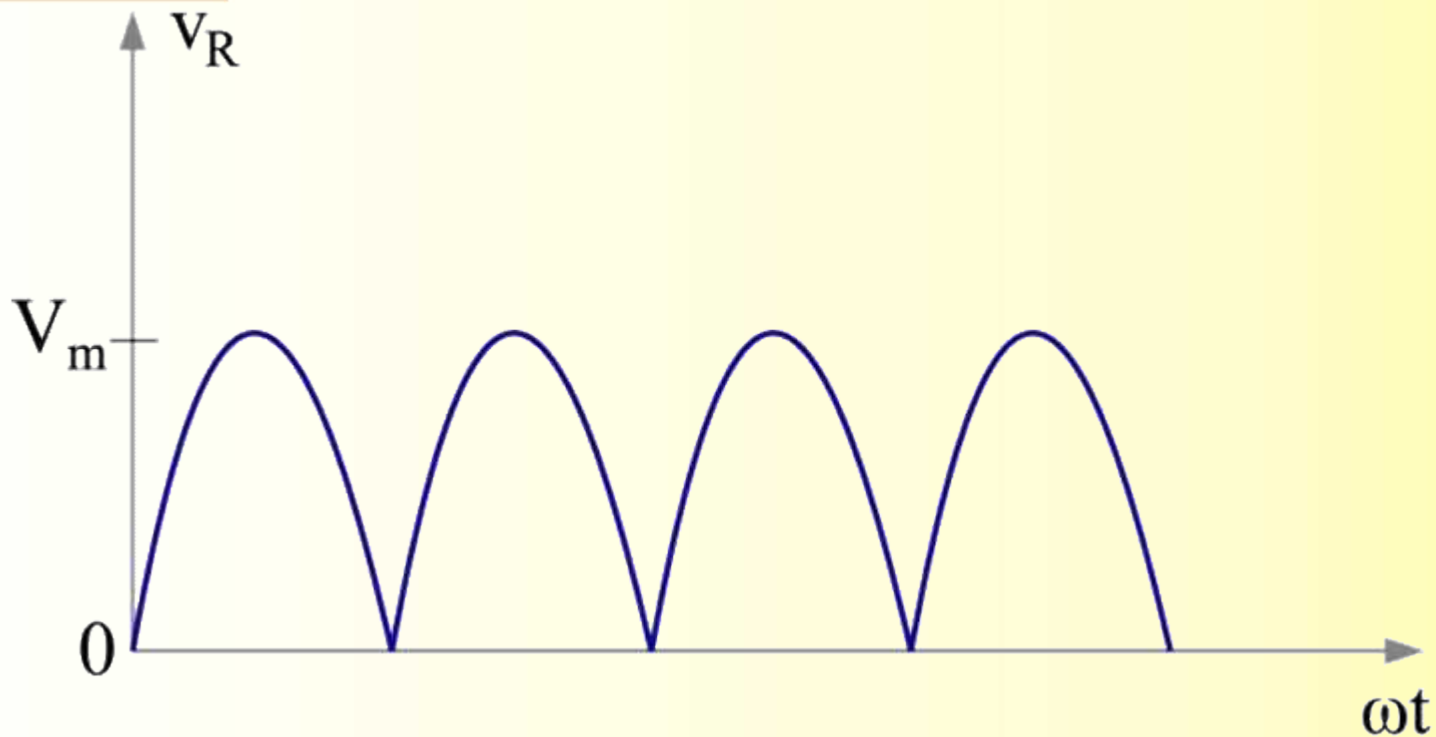
Full-wave, rectified DC voltage



Full-wave, rectified DC voltage, with filtering

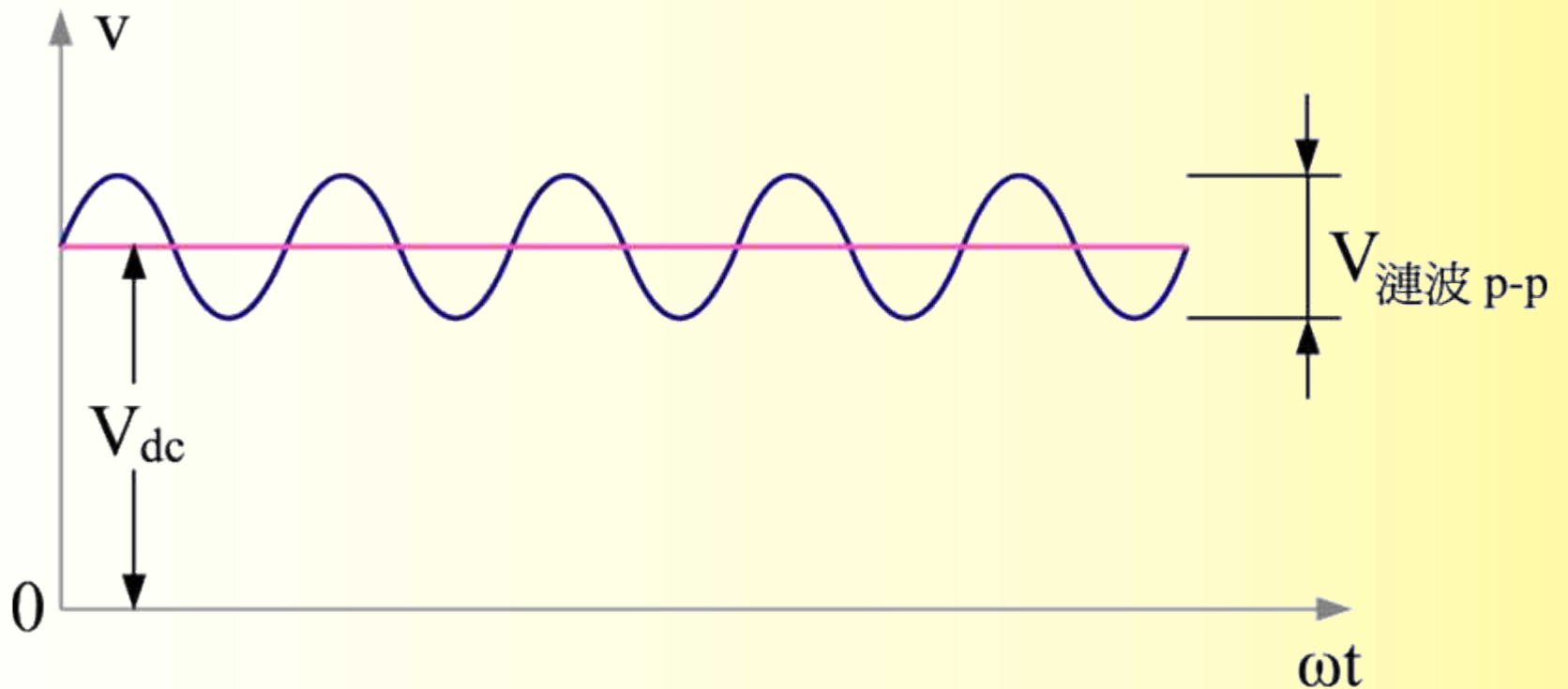


濾波器的功能

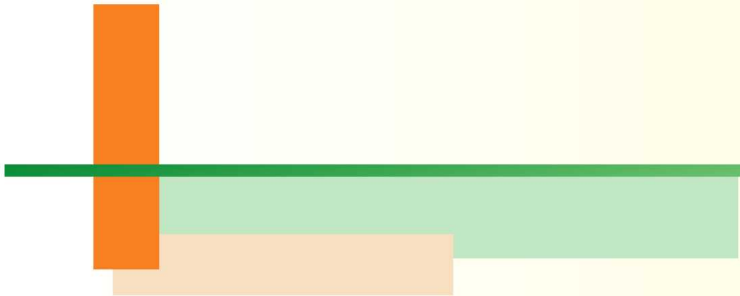


(a) 脈動直流電壓

濾波器的功能



(b) 經濾波後的之輸出電壓


$$r = \text{漣波因數} = \frac{\text{漣波電壓}_{(rms)}}{\text{平均直流電壓}} = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}}$$

$$r \% = \text{漣波 \%} = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \% = r \times 100 \%$$

包含一項直流成分的交流訊號可寫成

$$v_{ac} = v - v_{dc}$$

交流部分的均方根值為

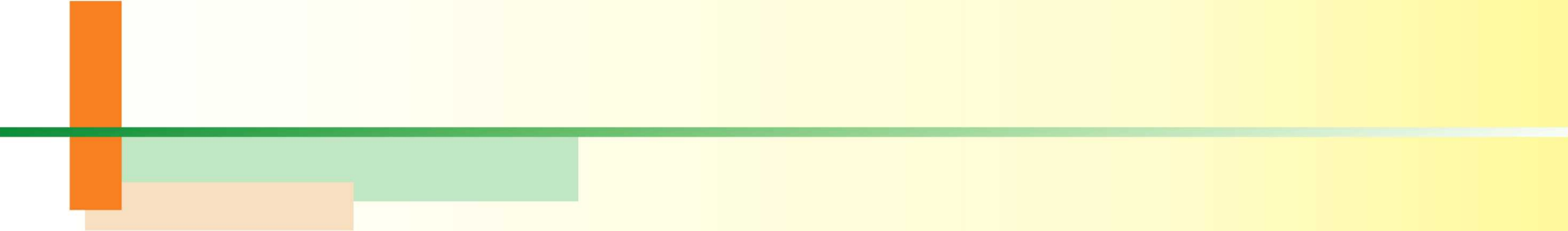
$$V_{r(rms)} = \sqrt{[V_{(rms)}^2 - V_{dc}^2]}$$

半波整流的漣波百分率為

$$r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \% = \frac{0.385V_m}{0.318V_m} \times 100 \% = 121 \%$$

全波整流的漣波百分率為

$$r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \% = \frac{0.308V_m}{0.636V_m} \times 100 \% = 48 \%$$

- 
- 漣波因數為一絕對值，與電壓峰值等無關
 - 漣波因數愈小者，濾波器性能愈佳
 - 漣波電壓等於零，則漣波因數為零

使用一個直流和一個交流伏特計來測量濾波器的輸出電壓時，得到的直流電壓是 25V，交流漣波電壓是 2.5V，試計算這濾波器輸出中的漣波因數及漣波百分比

(1) 漣波因數

$$r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} = \frac{2.5}{25} = 0.1$$

(2) 漣波百分率為

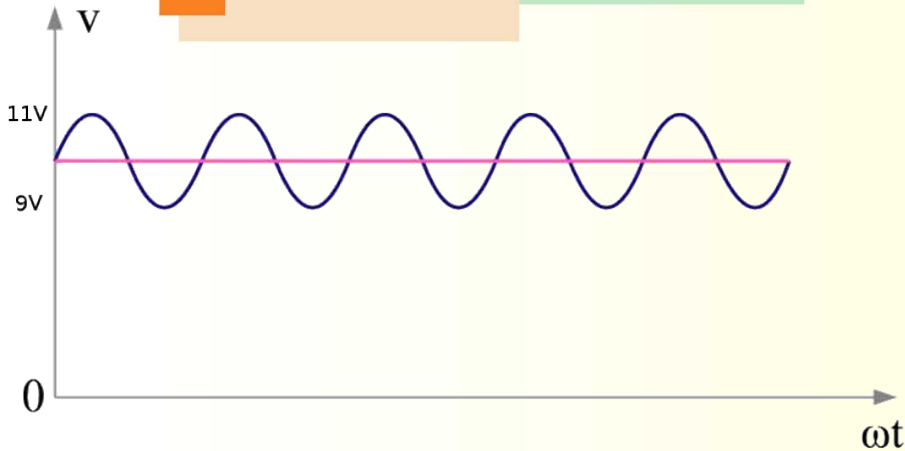
$$r\% = r \times 100\% = 0.1 \times 100\% = 10\%$$

使用一交、直流電壓表測得一濾波器電路的輸出電壓，獲得 25V 直流電壓及 4V 峰值之交流電壓，其漣波百分比為多少？

(1) 漣波因數

$$r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \% \simeq \frac{4 \times 0.707}{25} = 11.31 \%$$

有一濾波電路的輸出如圖所示，若漣波為正弦波形，試求漣波百分率 $r\%$ 為多少？



$$V_{dc} = 10V$$

$$\begin{aligned}\therefore r\% &= \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100\% \simeq \frac{0.707V_{r(m)}}{V_{dc}} \times 100\% \\ &= \frac{0.707 \times 1V}{10} \times 100\% = 7.07\%\end{aligned}$$

試求半波整流電路之輸出波形（未濾波前）的漣波百分率 $r\%$ 為多少？

由於輸出波形包含直流的 V_{dc} 及交流的 V_r 兩部分，而這兩部分均會對負載提供能量，即：

$$\frac{V_{rms}^2}{R_L} = \frac{V_{dc}^2}{R_L} + \frac{V_{r(rms)}^2}{R_L} \Rightarrow V_{rms}^2 = V_{dc}^2 + V_{r(rms)}^2$$

因為半波整流電路的輸出電壓的直流值 V_{dc} 與均方根值 V_{rms} 分別為：

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{V_m}{\pi} \simeq 0.318V_m \quad V_{rms} = V_{eff} = \frac{V_m}{2} = 0.5V_m$$

所以輸出漣波電壓的有效值 $V_{r(rms)}$ 為：

$$V_{r(rms)} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2} \simeq \sqrt{(0.5V_m)^2 - (0.318V_m)^2} \simeq 0.385V_m$$

$$\therefore r\% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100\% \simeq \frac{0.385V_m}{0.318V_m} \times 100\% = 1.21 \times 100\% = 121\%$$

電壓調整

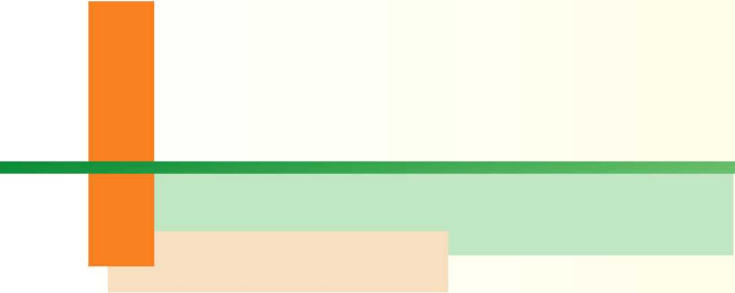
- 電源供應器接上負載時，其輸出電壓都會下降。
- 一個優良的電源供應器接上負載時，其輸出電壓以下降愈少者為佳。

電壓調整

$$\text{電壓調整} = \frac{\text{無負載電壓} - \text{全負載電壓}}{\text{全負載電壓}}$$

$$V.R. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}$$

$$V.R. \% = \text{電壓調整} \% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \%$$

- 
- 全負載與無負載的電壓相同，則 $V.R.\% = 0\%$ ，為最佳值
 - $V.R.\%$ 愈小愈好。
 - 半導體電源電壓調節為 0.01% 或更低。

輸出無負載時，某直流電源供給 60V，當負載自電源抽取滿載電流時，輸出電壓降為 52V，試計算其電壓調整與電壓調整百分率

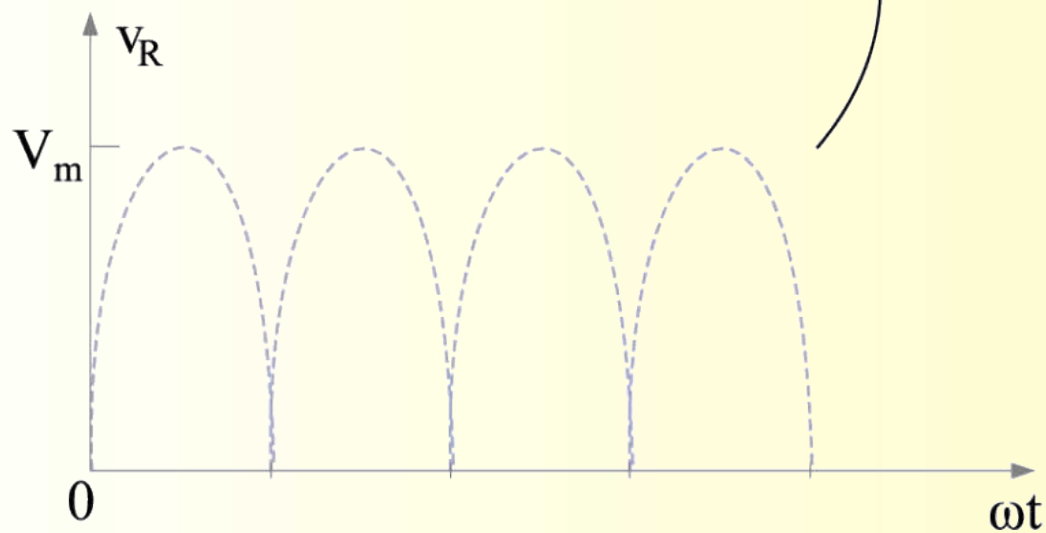
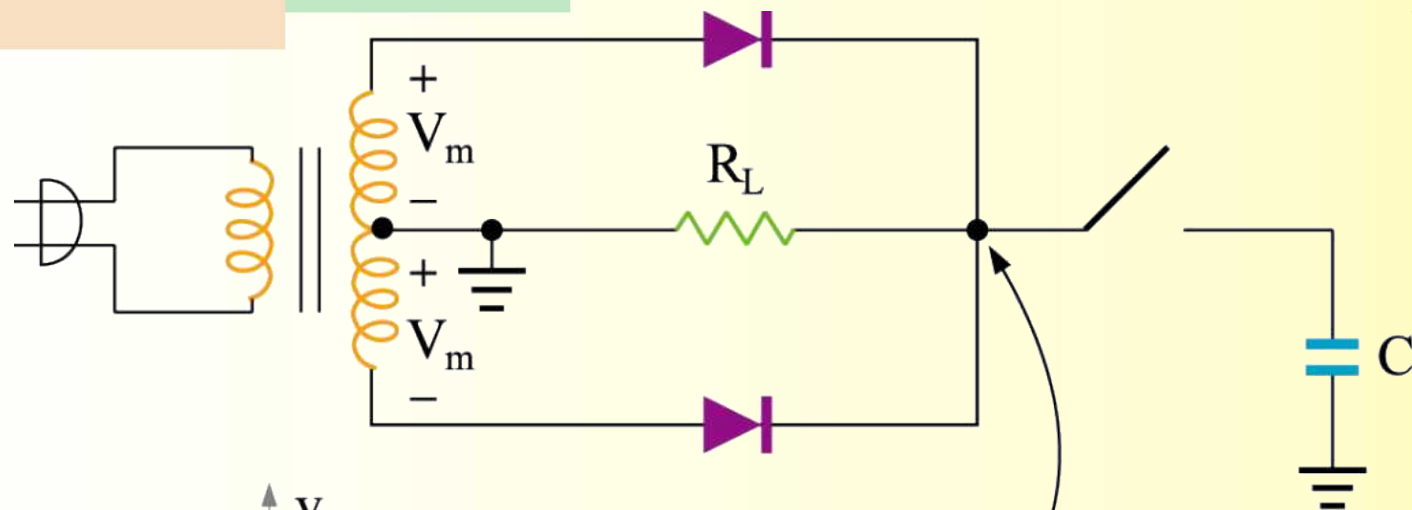
$$V.R. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} = \frac{60 - 52}{52} = 0.1538$$

$$V.R. \% = 0.1538 \times 100 \% = 15.38 \%$$

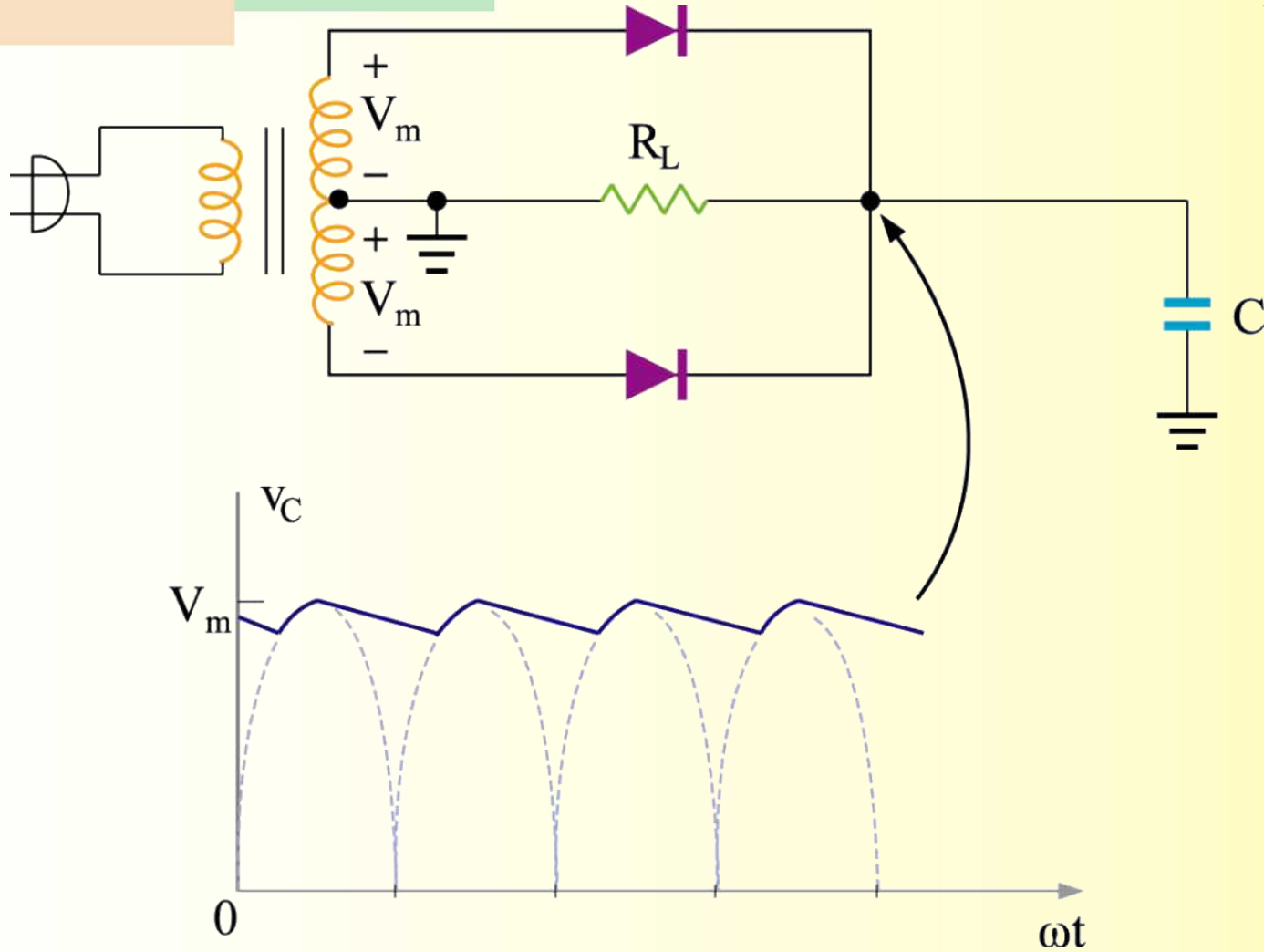
電源濾波器的種類

- 濾波電路的結構由輸入元件的不同分為
 - 電容濾波
 - 電阻電容濾波
 - II型濾波
 - 電感濾波

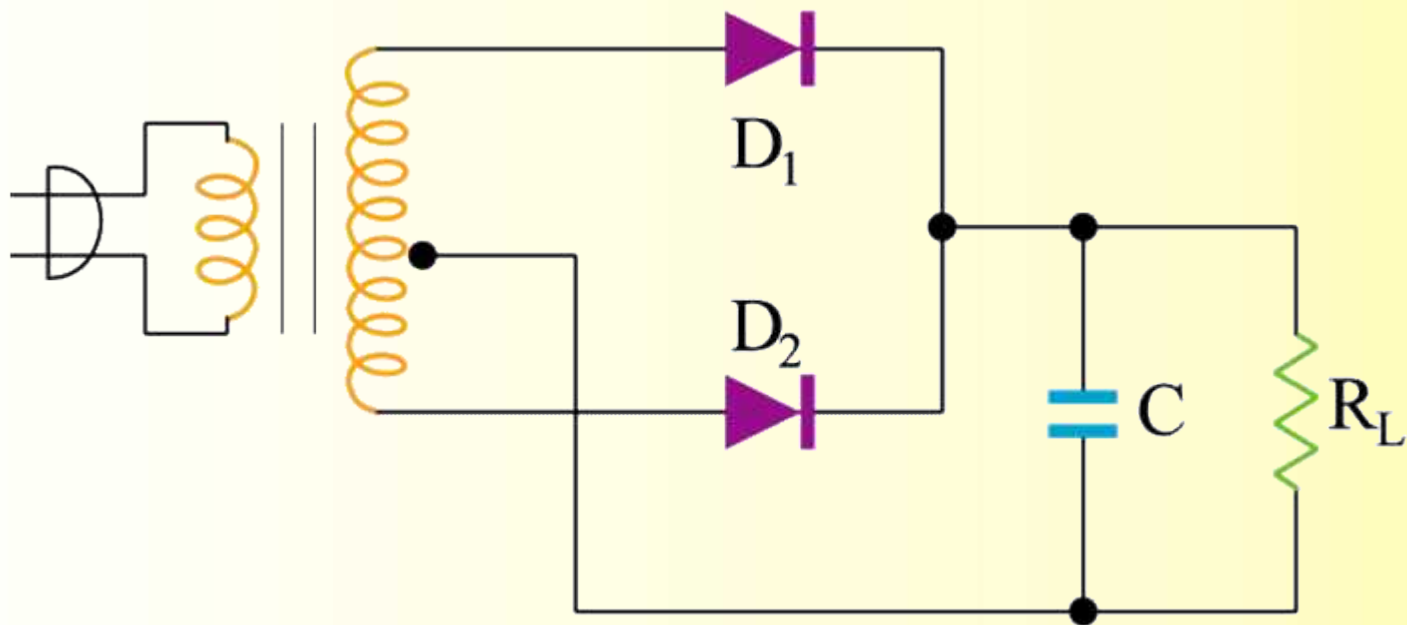
電容濾波器的操作



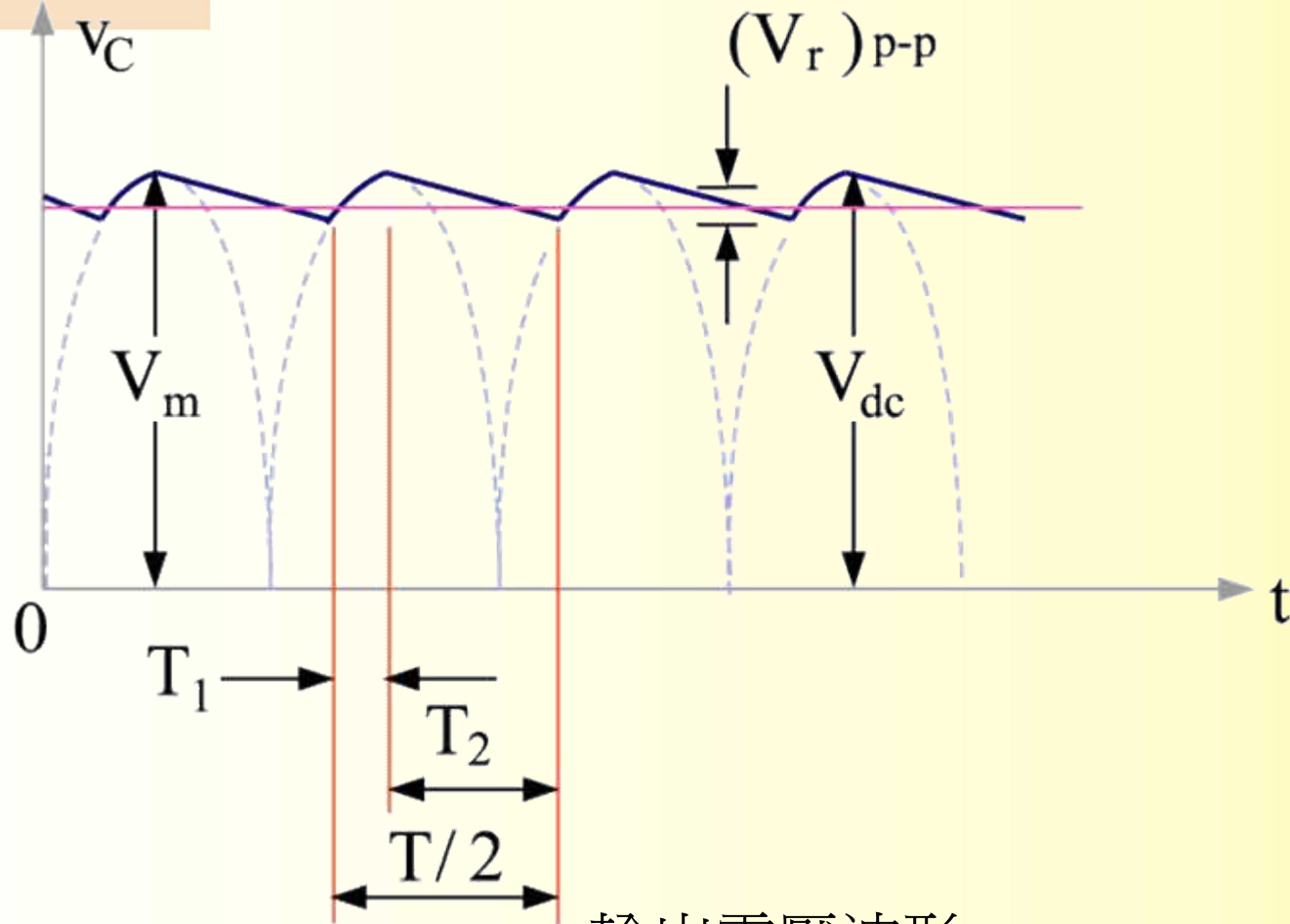
電容濾波器的操作



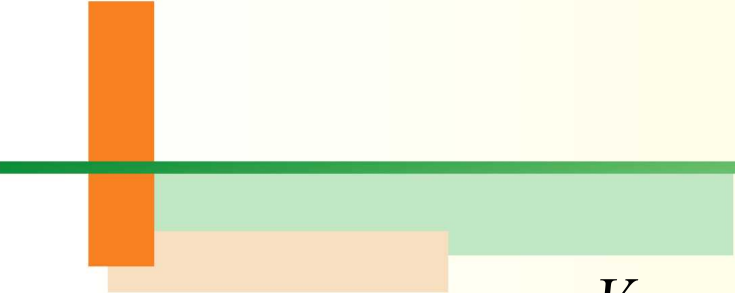
電容濾波器



電容濾波器



輸出電壓波形


$$V_{dc} = V_m - \frac{V_{r(P-P)}}{2}$$

$$V_{r(rms)} = \frac{V_{r(P-P)}}{2\sqrt{3}} \simeq \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}fC} \times \frac{V_{dc}}{V_m}$$

在輕負載下， $V_{dc} \simeq V_m$


$$V_{r(rms)} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}60C}, \text{ 當 } f = 60\text{Hz}, I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L}$$

$$V_{r(rms)} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}60C} = \frac{2.4 \times 10^{-3} I_{dc}}{C} = \frac{2.4 \times I_{dc}}{C} = \frac{2.4V_{dc}}{R_L C}$$

R 單位為 $K\Omega$ ， C 單位為 μF ， I_{dc} 單位為 mA

有一全波整流的電容濾波器，該整流器有一個 $200\mu\text{F}$ 的濾波電容器接到 40mA 的負載上，試求其漣波電壓。

$$V_{r(rms)} = \frac{2.4I_{dc}}{C} = \frac{2.4 \times 40}{200} = 0.48\text{V}$$


$$r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 = \frac{2.4I_{dc}}{CV_{dc}} \times 100 \%$$

$$\text{又 } I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L}$$

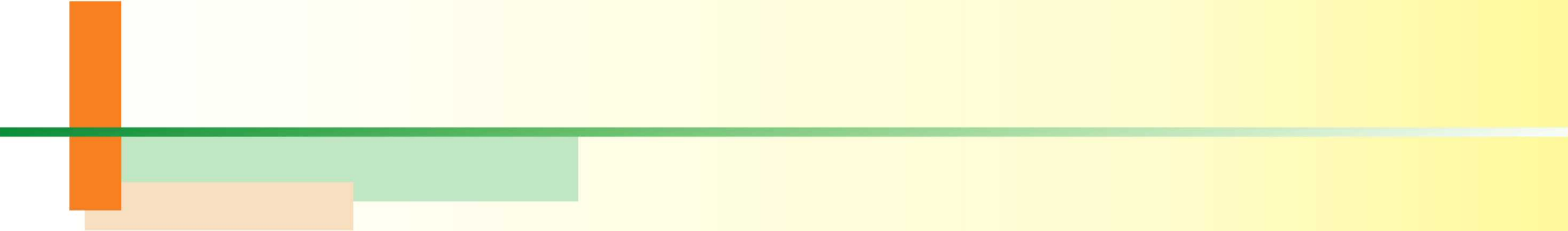
$$r \% = \frac{2.4}{R_L C} \times 100 \%$$

I_{dc} 單位為 mA , C 單位為 μF , V_{dc} 單位為 V

R_L 單位為 $K\Omega$

有一全波整流的電容濾波器，該整流器有一個 $200\mu\text{F}$ 的濾波電容器接到 40mA 的負載上，整流後峰值電壓為 40V 。試求濾波器的直流電壓。

$$V_{dc} = V_m - \frac{4.17I_{dc}}{C} = 40 - \frac{4.17 \times 40}{200} = 40 - 0.83 = 39.17\text{V}$$

- 
- 濾波器輸出直流電壓小於整流後的峰值電壓
 - 取自濾波器的平均電流愈大，輸出的直流電壓愈小
 - 濾波器的電容愈大，輸出的直流電壓愈接近峰值

全波電容濾波器中漣波因數

$$r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 = \frac{2.4I_{dc}}{CV_{dc}} \times 100 \%$$

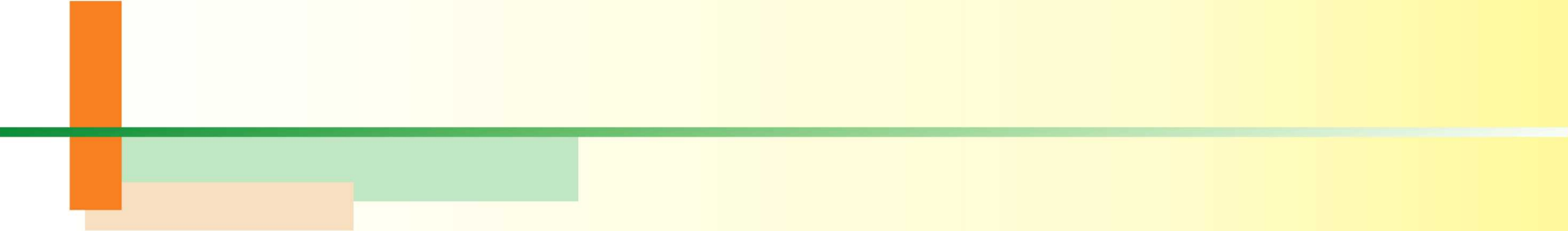
$$\text{又 } I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L}$$

$$r \% = \frac{2.4}{R_L C} \times 100 \%$$

I_{dc} 單位為 mA , C 單位為 μF , V_{dc} 單位為 V
 R_L 單位為 $K\Omega$

一電容濾波電路， $C=200\mu\text{F}$ ，被抽取了 40mA 的負載電流，如果整流後的峰值電壓為 40V ，試計算漣波因數 ($V_{dc}=39.2\text{V}$)

$$r = \frac{2.4I_{dc}}{CV_{dc}} = \frac{2.4 \times 40}{200 \times 39.2} = 0.0122$$



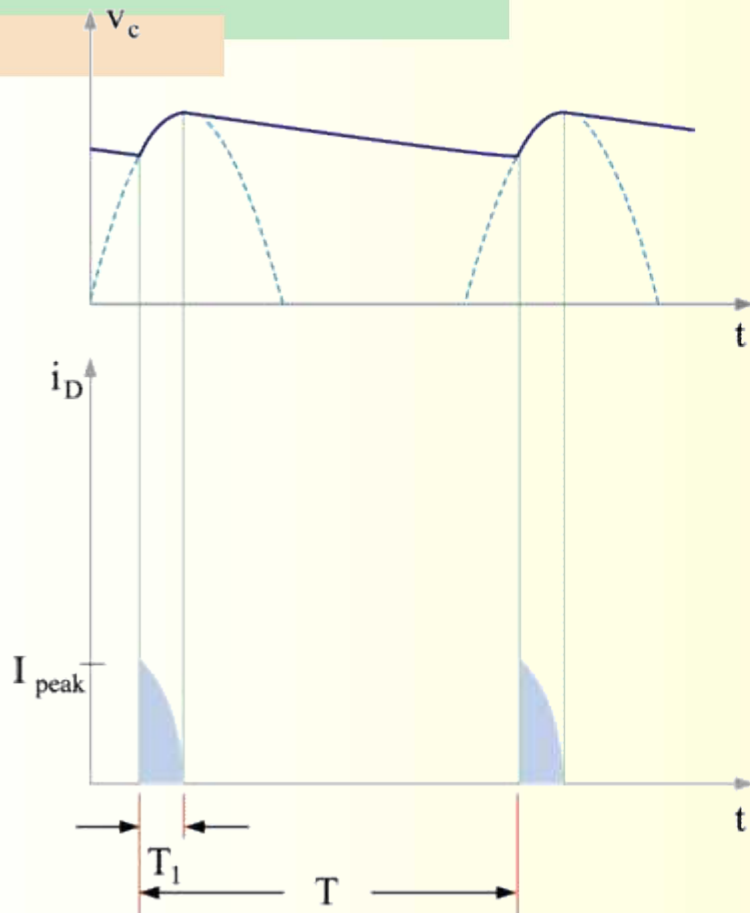
- 濾波電容值愈大

- ❖ 漣波愈小

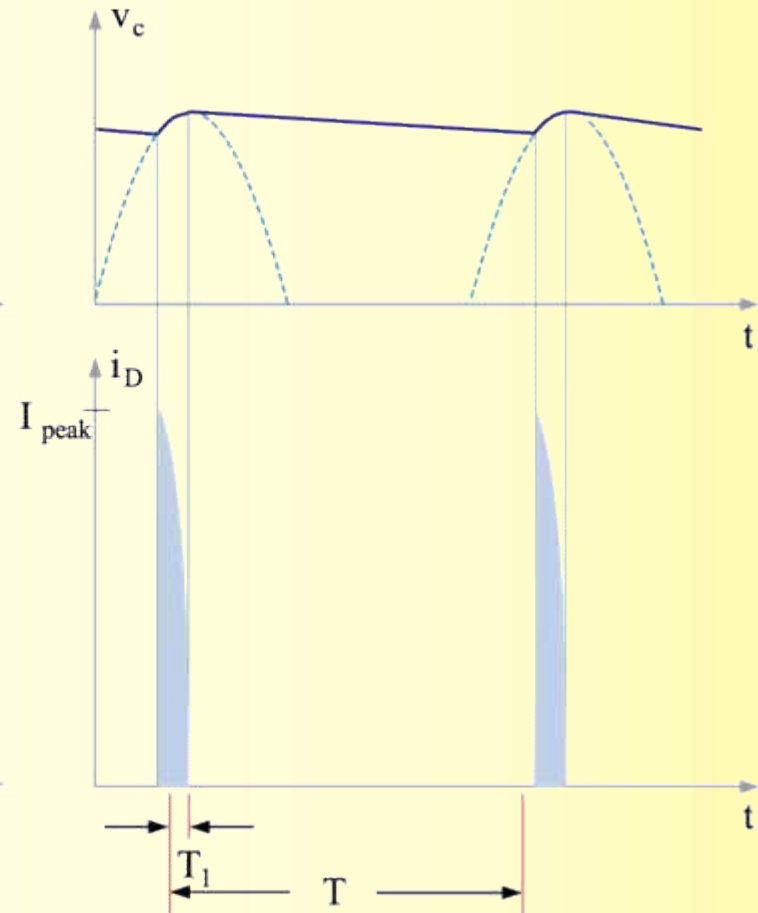
- ❖ 平均電壓愈高

- ❖ 通過二極體的峰值電流愈大

輸出電壓與二極體電流波形

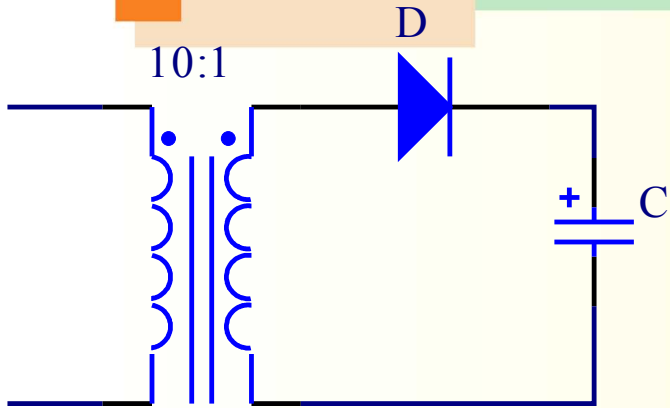


(a) 小 C



(b) 大 C

如圖，若正弦波輸入電壓的有效值為 100V ，
試求 (1) 輸出電壓 (2) 二極體的 PIV 值

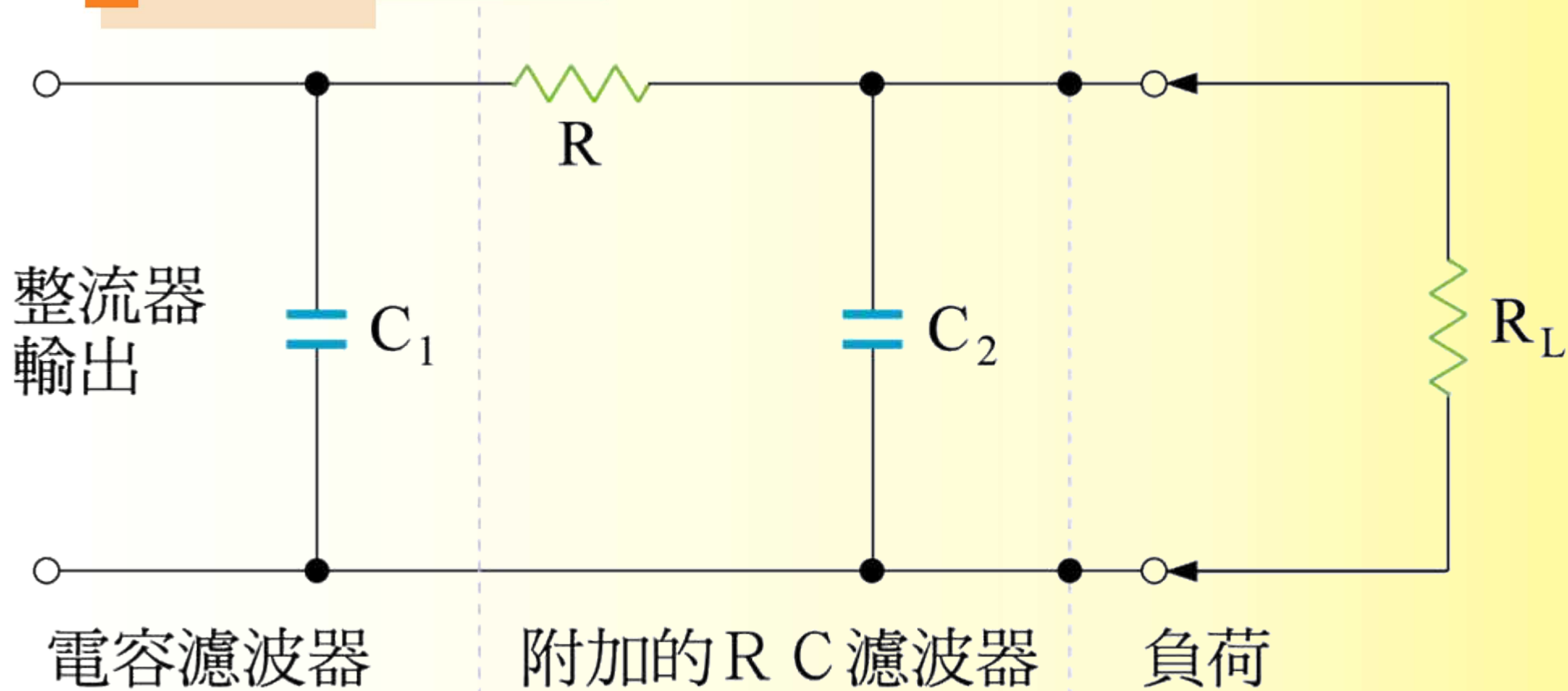


$$(1) V_{2(rms)} = V_{1(rms)} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 100 \times \frac{1}{10} = 10\text{V}$$

$$v_o = V_m = \sqrt{2} V_{2(rms)} \approx 1.414 \times 10 = 14.14\text{V}$$

$$(2) PIV = V_m + v_c = V_m + V_m \approx 2 \times 14.14\text{V} = 28.28\text{V}$$

RC 濾波器





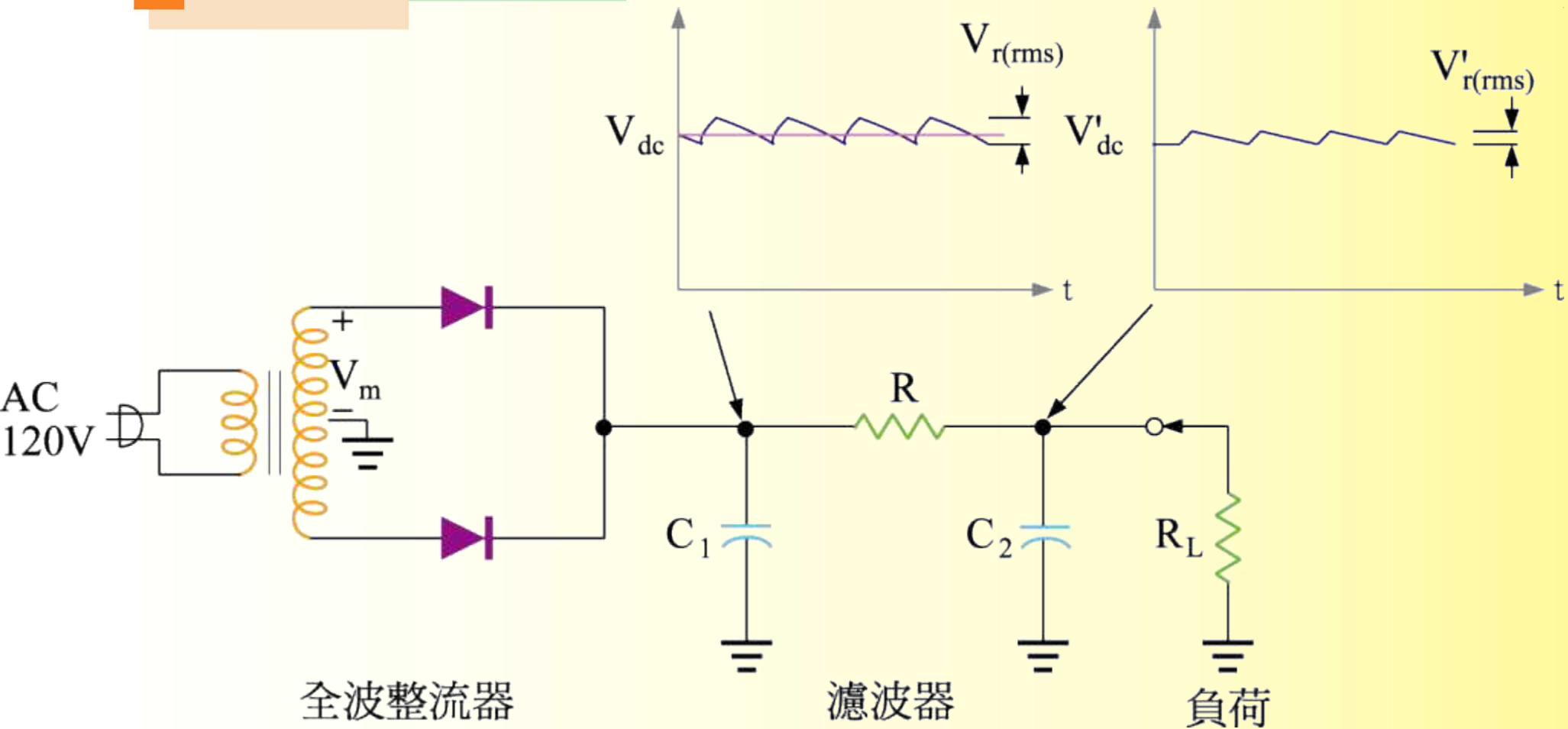
- RC 濾波器

- ❖ 濾波效果較單一電容濾波器為佳

- ❖ 輸出直流電壓降低

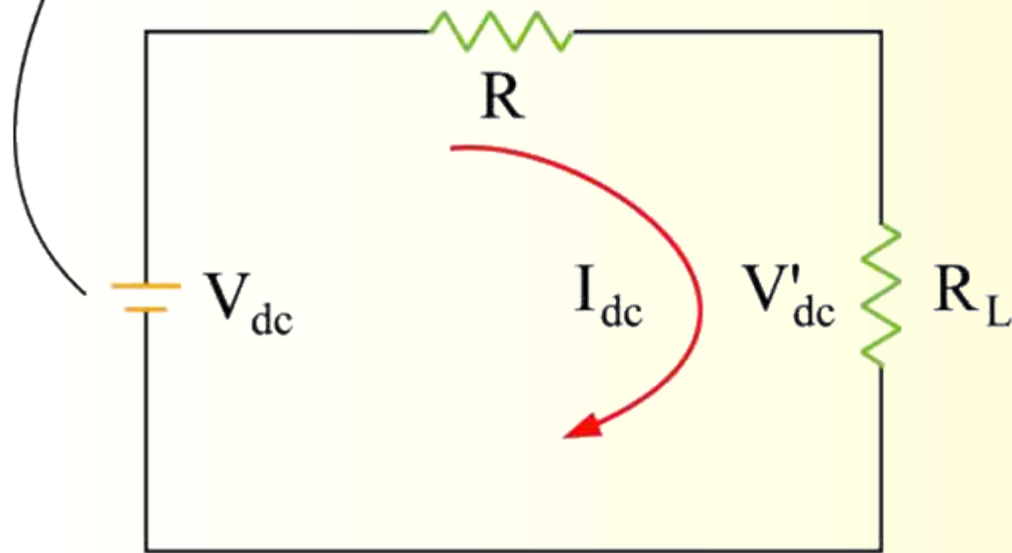
- ❖ 成本高

全波整流器及 RC 濾波電路



RC 濾波器之直流等效電路

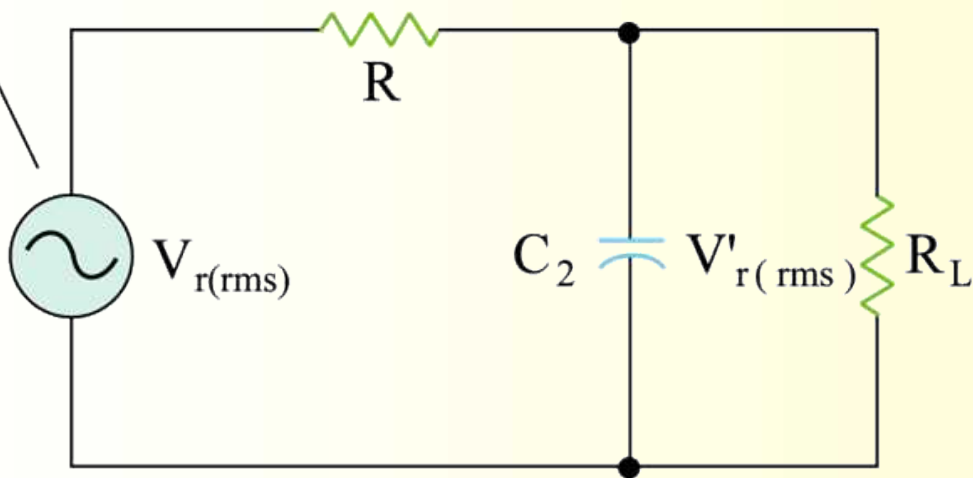
產生在電容器 C_1
上的直流電壓



$$V'_{dc} = \frac{R_L}{R + R_L} V_{dc}$$

RC 濾波器之交流等效電路

產生在電容器 C_1
上的交流漣波電壓

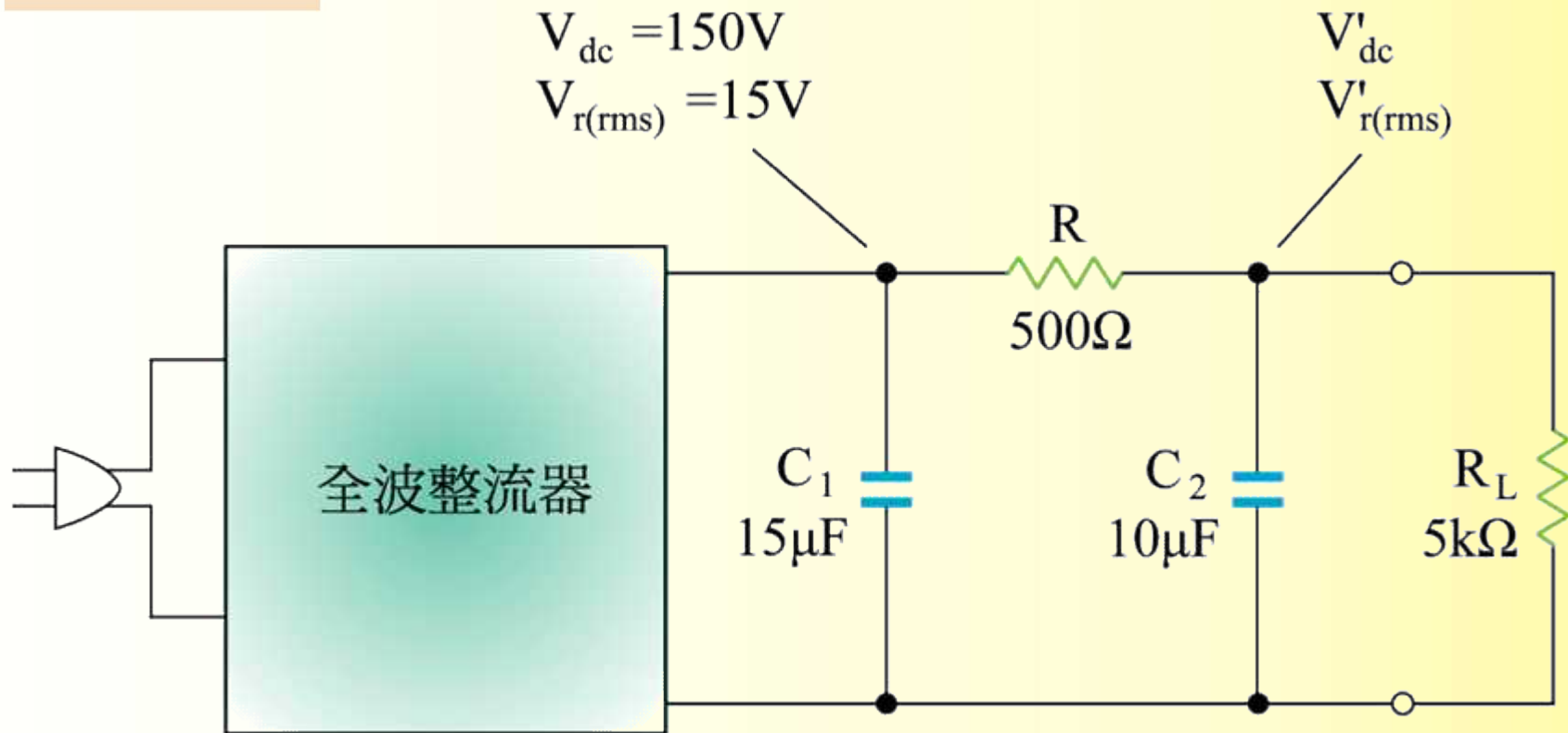



$$V'_{r(rms)} \approx \frac{X_{C2}}{\sqrt{R^2 + X_{C2}^2}} V_{r(rms)}$$
$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi fC}$$

選用 R、C 值應注意事項

- R 值愈大，漣波降在 R 上愈多，輸出漣波愈少
- C_2 電容量愈大， X_{C_2} 愈小，輸出漣波愈少
- C_1 電容量愈大，輸出漣波愈小
- 全波較半波有較佳的濾波效果 (X_C 變小)


計算在 $5\text{k}\Omega$ 負載上所得之直流電壓與漣波電壓



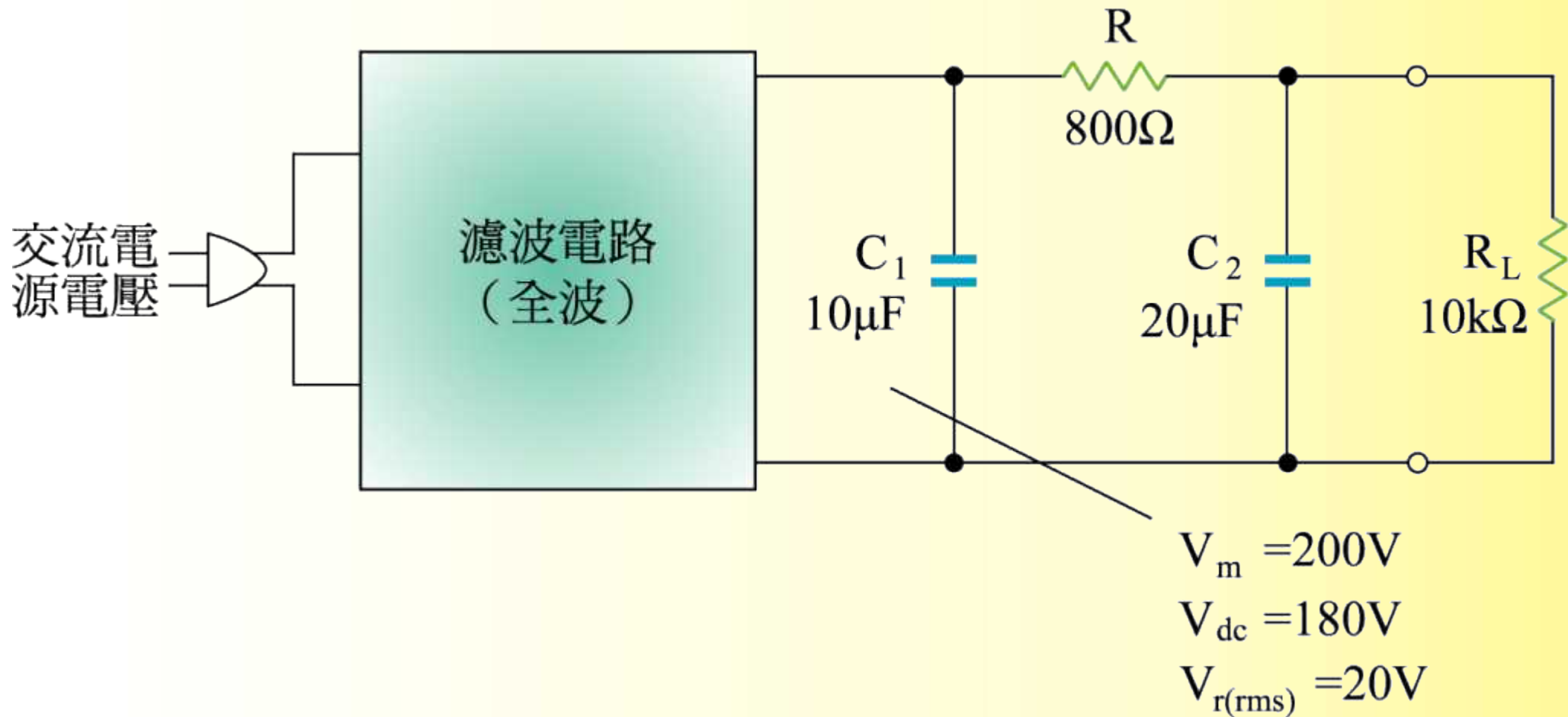

$$V'_{dc} = \frac{R_L}{R + R_L} \times V_{dc} = \frac{5000}{500 + 5000} \times 150 = 136.36\text{V}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi fC_2} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 120 \times 10 \times 10^{-6}} = 133 \Omega$$

$$V'_{r(rms)} = \frac{X_{C2}}{\sqrt{R^2 + X_{C2}^2}} \times V_{r(rms)} = \frac{0.133}{\sqrt{0.5^2 + 0.133^2}} \times 15 = 3.86\text{V}$$


$$V_{FL} = V'_{dc} = \frac{R_L}{R + R_L} \times V_{dc}$$

電壓供給至 $10\text{k}\Omega$ 的負載電阻，試求在全負載時電路的電壓調整





無載時 $V_{NL} \simeq V_m = 200\text{V}$

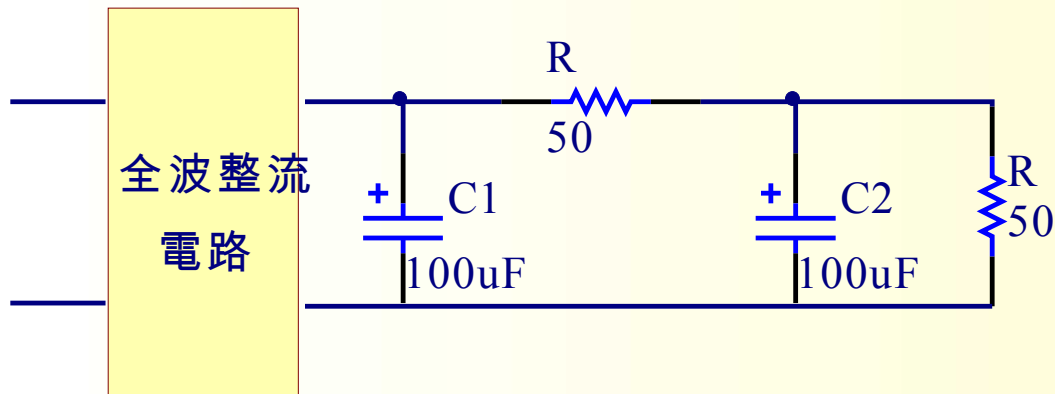
滿載時 $V_{FL} = \frac{R_L}{R + R_L} \times V_{dc} = \frac{10}{10.8} \times 180 = 166.7\text{V}$

$$V.R. \% = \frac{200 - 166.7}{166.7} \times 100 \% = 20 \%$$

如圖，若電容器 C_1 上輸出的直流電壓 $V_{dc} = 100V$ ，連波電壓

$V_{r(rms)} = 10V$ ，試求 (1) 負載 R_L 兩端的直流電壓 V'_{dc} 與連波電壓

$V'_{r(rms)}$ (2) C_1 與 C_2 兩端輸出電壓的連波百分率 $r\%$ 與 $r'\%$ ？



$$f = 2 \times 60 = 120 \text{ Hz}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 120 \times 100 \times 10^{-6}} = 13.3 \Omega$$

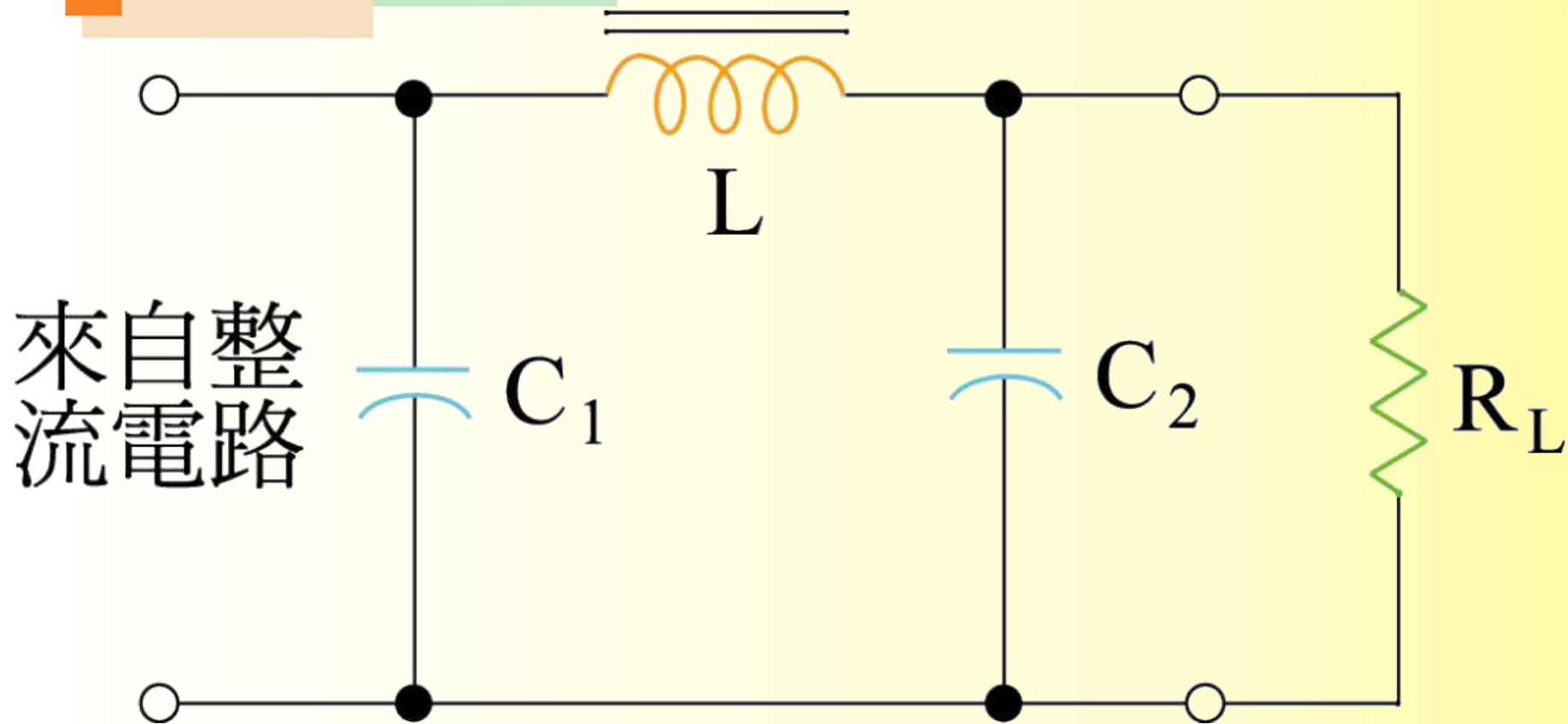
$$(1) V'_{dc} = \frac{R_L}{R + R_L} \times V_{dc} = \frac{5000}{50 + 5000} \times 100 = 99 \text{ V}$$

$$V'_{r(rms)} = \frac{X_{C2}}{\sqrt{R^2 + X_{C2}^2}} \times V_{r(rms)} = \frac{13.3}{\sqrt{50^2 + 13.3^2}} \times 10 = 2.57 \text{ V}$$

$$(2) C_1: r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \% = \frac{10}{100} \times 100 \% = 10 \%$$

$$C_2: r \% = \frac{V'_{r(rms)}}{V'_{dc}} \times 100 \% = \frac{2.57}{99} \times 100 \% = 2.6 \%$$

π形濾波電路

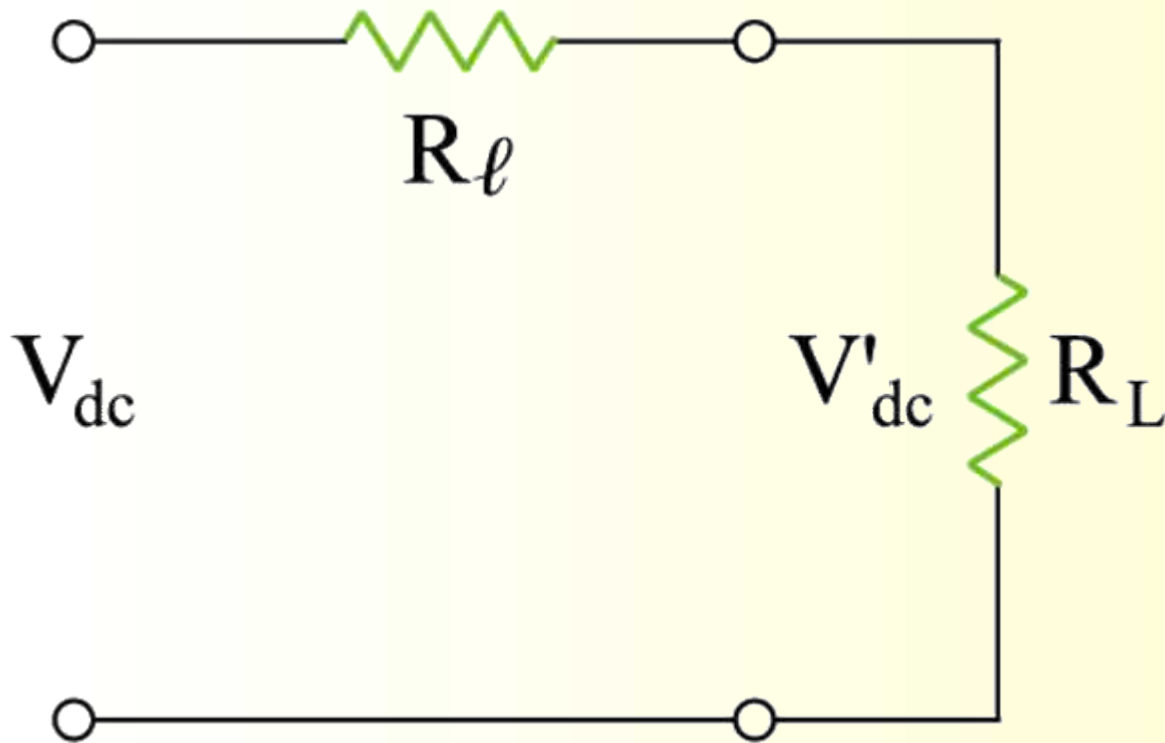


π形濾波電路

- 將 RC 濾波器的電阻換為 L
- L 的直流電阻甚低，但交流電阻高
- 可減少直流壓降損失及漣波電壓

$$X_L = 2\pi f L$$

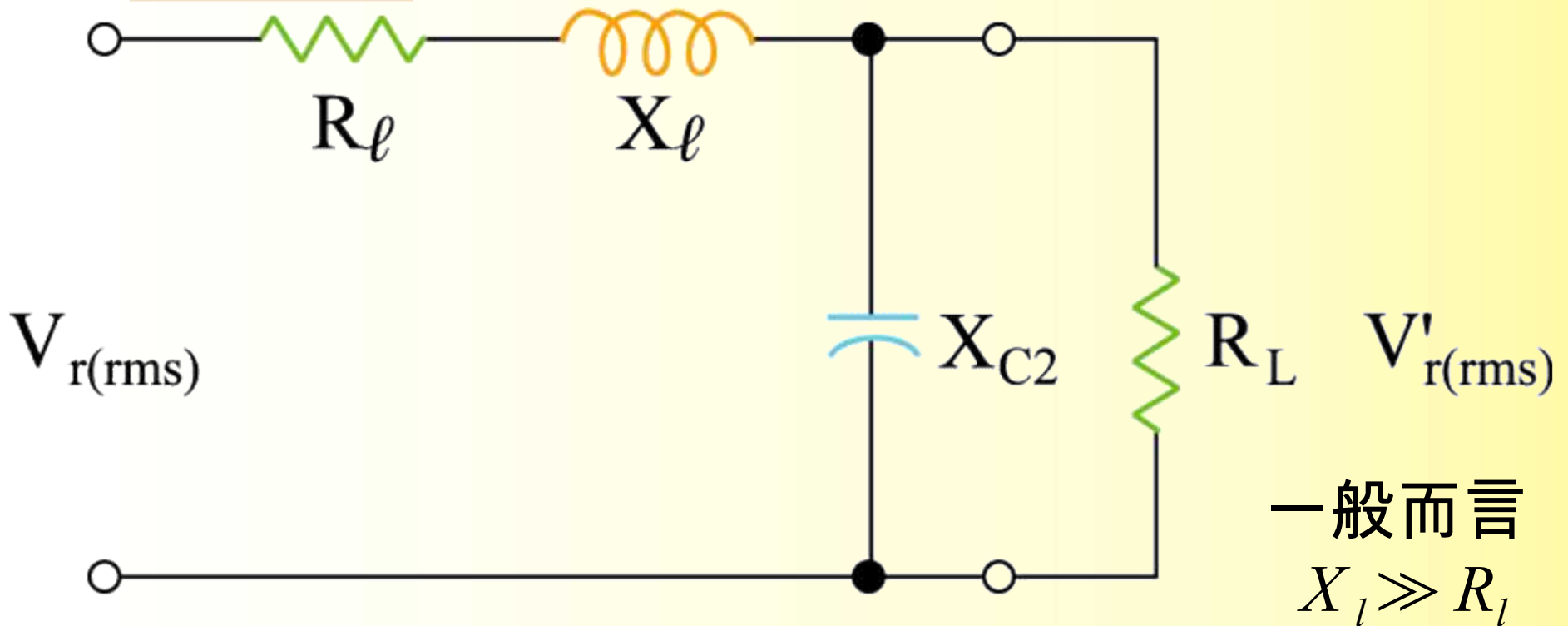
π形濾波器直流等效電路



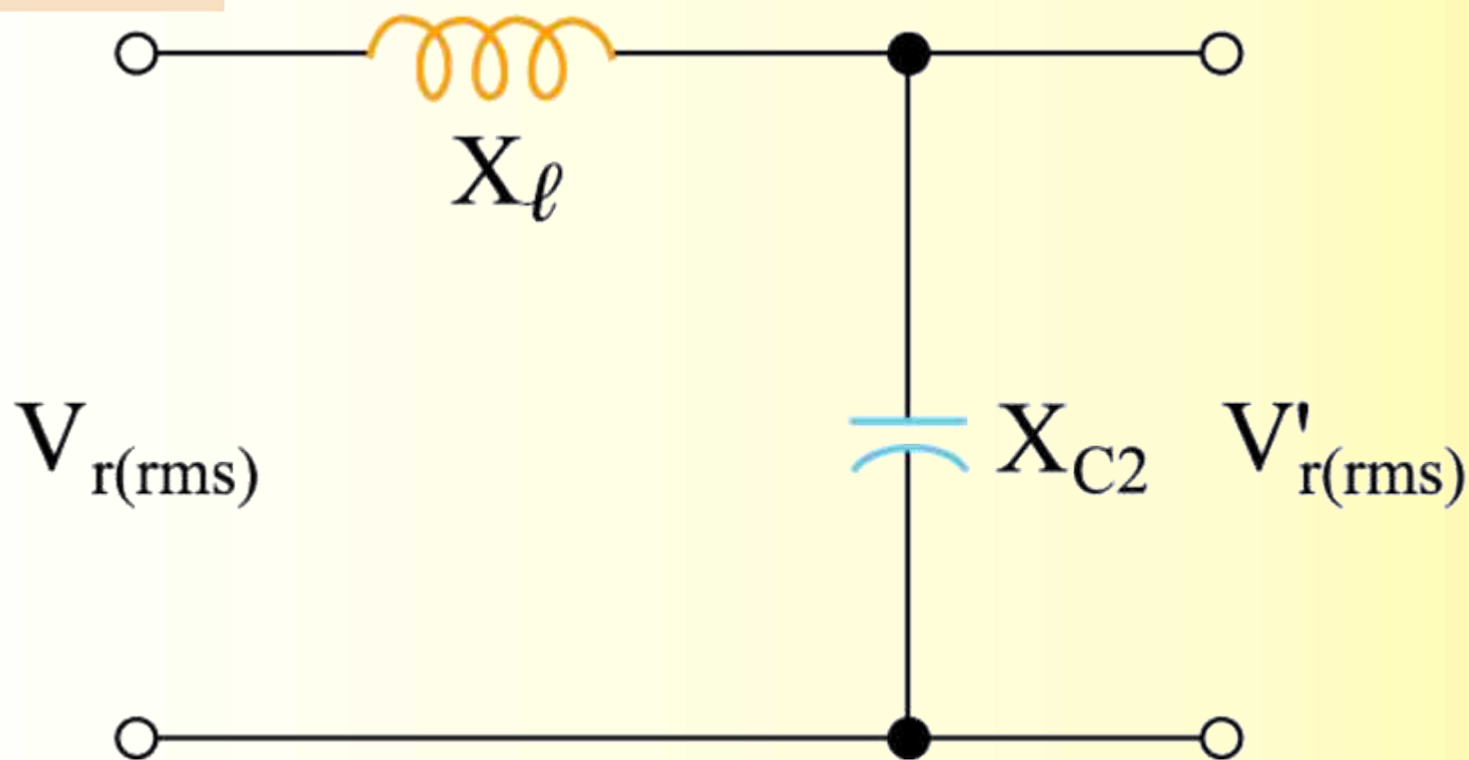
$$V'_{dc} = V_{dc} \times \frac{R_L}{R_l + R_L}$$

或 $V'_{dc} = V_{dc} - I_{dc} R_l$

π形濾波器交流等效電路



π形濾波器交流等效電路



$$V'_{r(rms)} = V_{r(rms)} \cdot \frac{X_{C2}}{|X_L - X_{C2}|}$$

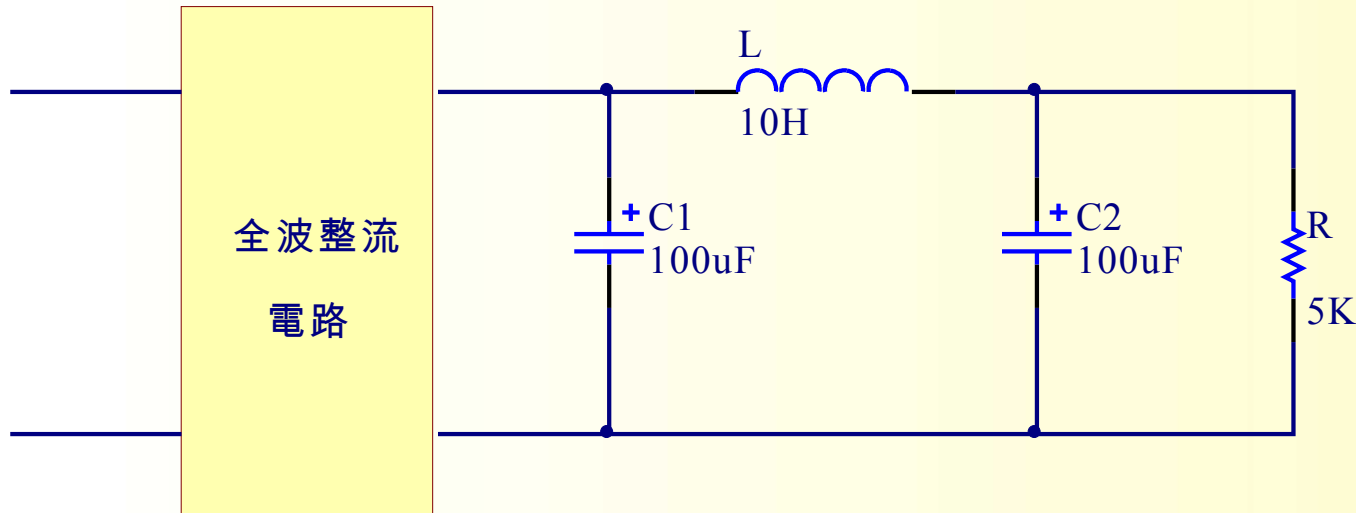
某 π 型濾波器有 160V 的輸入直流電壓跨於輸入電容器，假如濾波器電感有 300Ω 的直流阻抗及 5mH 的電感量，試求負載電流為 100mA 的直流輸出電壓

$$\begin{aligned} V'_{dc} &= V_{dc} - I_{dc} R_L = 160 - 100\text{mA} \times 300\Omega \\ &= 160 - 30 = 130\text{V} \end{aligned}$$

如圖，若電容器 C_1 上輸出的直流電壓 $V_{dc} = 100V$ ，連波電壓

$V_{r(rms)} = 10V$ ，試求 (1) 負載 R_L 兩端的直流電壓 V'_{dc} 與連波電壓

$V'_{r(rms)}$ (2) C_1 與 C_2 兩端輸出電壓的連波百分率 $r\%$ 與 $r'\%$ ？



$$f = 2 \times 60 = 120 \text{ Hz}$$

$$X_{C_2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 120 \times 100 \times 10^{-6}} = 13.3 \Omega$$

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 120 \times 10 \text{ H} \approx 7540 \Omega$$

$$(1) V'_{dc} = V_{dc} = 100 \text{ V}$$

$$V'_{r(rms)} = \frac{X_{C_2}}{X_L - X_{C_2}} \times V_{r(rms)} = \frac{13.3}{7540 - 13.3} \times 10 = 0.0177 \text{ V}$$

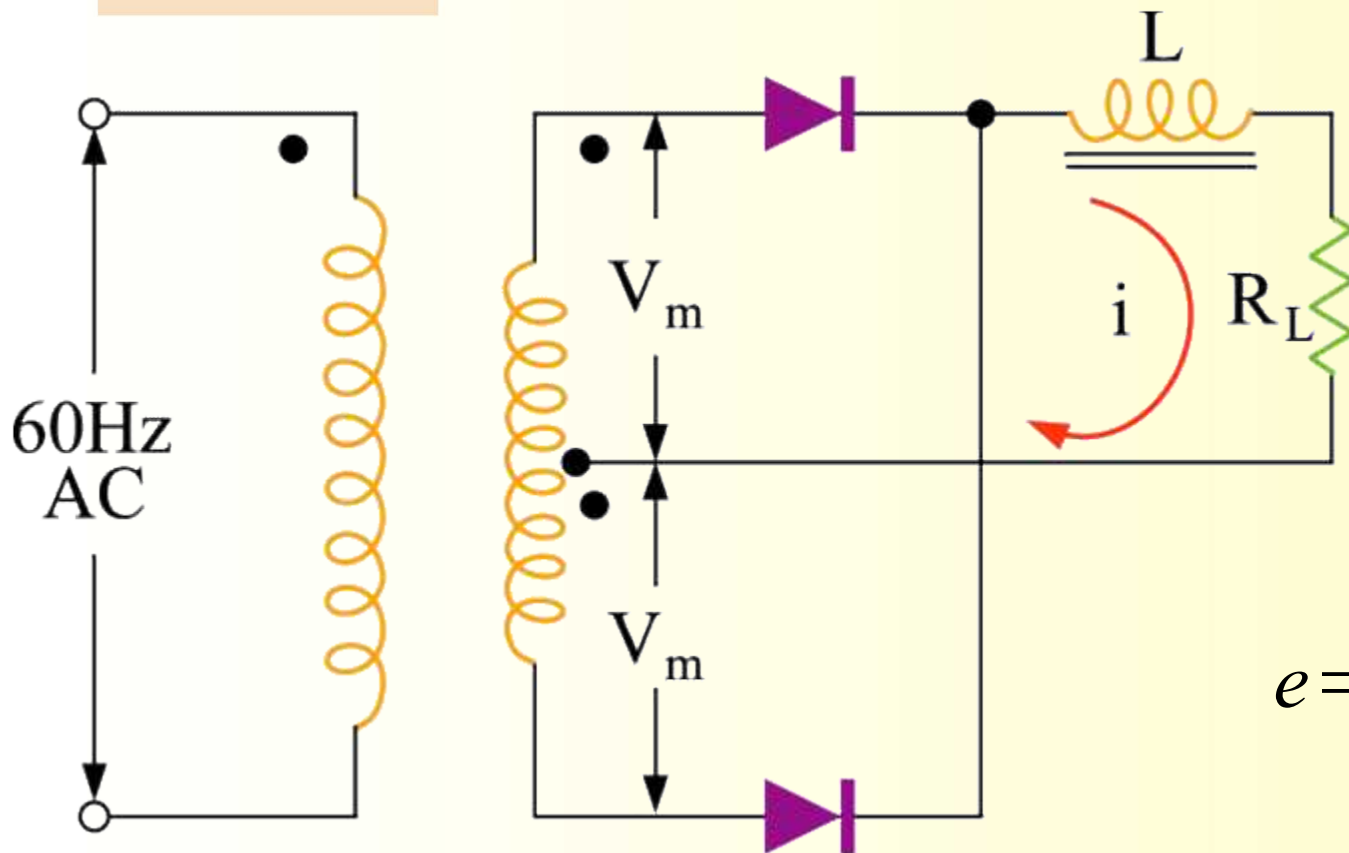
$$(2) C_1: r \% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \% = \frac{10}{100} \times 100 \% = 10 \%$$

$$C_2: r \% = \frac{V'_{r(rms)}}{V'_{dc}} \times 100 \% = \frac{0.0177}{100} \times 100 \% = 0.0177 \%$$

電感濾波器

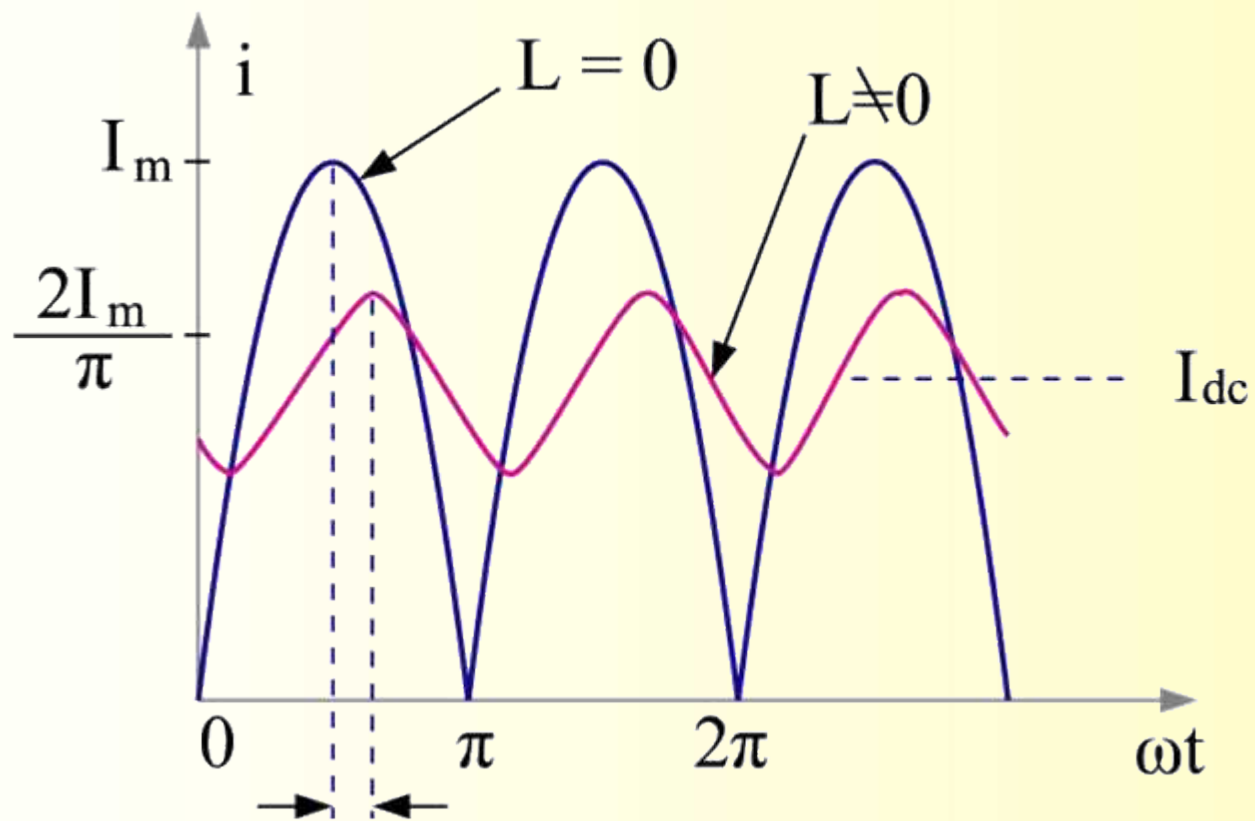
- 電容濾波器用於輕負載時，可得到低漣波高輸出電壓的效果
- 電感濾波器用於高負載時，可得到低漣波高輸出電壓
- 缺點為輸出電壓較電容濾波器為低
- 利用電感反抗電流變化特性來完成濾波作用
- 高負載時，次級圈的電阻、二極體順向動態電阻、電感器的電阻皆不可忽略。


電感濾波器



$$e = -L \frac{di}{dt}$$

電感濾波器負載電流波形




$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \frac{R_L}{R_S + R_f + R_l + R_L}$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{2V_m}{\pi} \frac{1}{R_S + R_f + R_l + R_L}$$

$$\text{或 } V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} - I_{dc}(R_S + R_f + R_l)$$

有峰值 150V 電壓經全波整流器後，接於電感濾波器。
設線圈阻抗為 500Ω ，全負載電流為 40mA，試求電感
濾波器輸出直流電壓。

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} - I_{dc} R_l = 0.636(150) - 40\text{mA} \times 500\Omega = 75.4\text{V}$$

LC 濾波器

- 為提高濾波效果，在電感濾波器後再加上電容濾波器
- 電感量與電容量愈高，濾波效果愈好
- 輸出電壓的直流值大約等於整流電路輸出電壓的平均值

