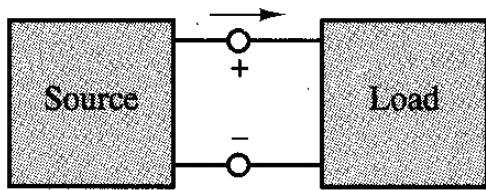
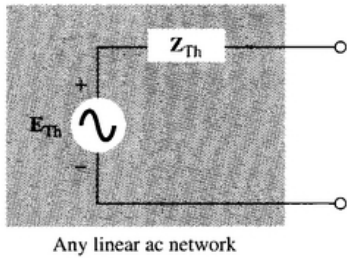


關於 maximum power transfer

Load 要能夠從 source 獲得最大的功率，Load 的組合？以及 max. power？

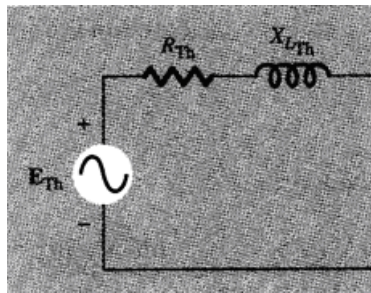


技巧一：先利用 Thevenin theorem 將 source 端以 Thevenin 等效表達：

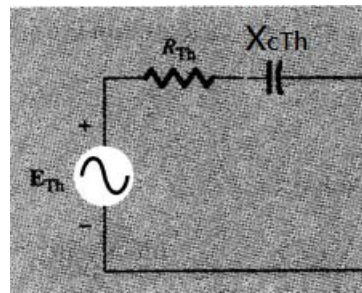


問題： E_{Th} 怎麼求？ Z_{Th} 怎麼求？

其中， Z_{Th} 可能電阻+電感，或者是電阻+電容



$$Z_{Th} = R_{Th} + jX_{LTh}$$



$$Z_{Th} = R_{Th} - jX_{cTh}$$

技巧二：由 Z_{Th} 判斷 Load 的組合：(1) 如果 Z_{Th} 是電阻+電感，則 Load 是電阻+電容；(2) 如果 Z_{Th} 是電阻+電容，則 Load 是電阻+電感；

問題：Load 的電阻？電容？電感？

	$R_L = R_{Th}$
and	$X_{L(\text{load})} = X_{CTh}$
or	$X_{C(\text{load})} = X_{LTh}$

當 Z_{Th} 是電阻+電感，則 Load 的電阻是 Z_{Th} 的電阻，Load 的容抗等於 Z_{Th} 的感抗，至於 Load 的電容得由容抗換算 $C = 1/\omega X_C$ (單位?)；

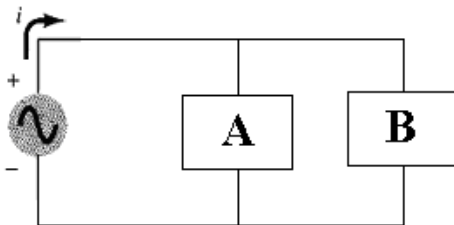
當 Z_{Th} 是電阻+電容，則 Load 的電阻是 Z_{Th} 的電阻，Load 的感抗等於 Z_{Th} 的容抗，至於 Load 的電感得由感抗換算 $L = X_L/\omega$ (單位?)

技巧三：max. power 隨之可得

$$P_{L \max} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$$

關於 power factor correction

已知電路中，在負載端加入一個元件（電容？電感？），可以讓電路系統的 power factor 調升為 1（即進行 power factor correction）。例如：已知電源的電壓 E 為 220 V、頻率為 60 Hz。A 是一具功率為 5-hp、efficiency η 為 75% 的機器，其 power factor 為 0.8 (lagging)。B 是另一具功率消耗 (Real power dissipated) 為 6 KW 的機器，Power factor 為 0.6 (Leading)。若要進行 power factor correction，則要與 A、B 並聯加入哪一種元件？



你必須先確認，下列問題答得出來嗎？

1. 何謂 apparent power? 如何計算? 單位為何? 是否與負載端有關?
2. 何謂 reactive power? 如何計算? 單位為何? 是否有正或負值區隔?
3. 何謂 real power? 如何計算? 單位為何?
4. 前述三種 power 的關係?
5. 就一個電路系統而言，若 apparent power 等於 real power，則該電路系統的特性為何? 若 apparent power 高於 real power，則該電路系統的特性為何? reactive power 的正或負值，與電路系統的電感或電容性強弱關係為何?
6. power factor 與前述三種 power 的關係? 若 power factor 為 lagging，則 reactive power 為正或為負?

技巧一：由已知資訊，求出 A 與 B、A+B 的三種 power。

A 電路：

機器 A 的輸出功率 $P_o = 5 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 3,730 \text{ W}$

機器 A 的 input power $P_A = P_o / \eta = 3,730 \text{ W} / 0.75 = 4,973.333 \text{ W}$

因 power factor 為 0.8，故 $\theta = \cos^{-1} 0.8 = 36.86^\circ$

因為是 lagging，表示機器 A 的 reactance power 為正，屬於電感

$$Q_A = P_A \tan \theta = 4,973.333\text{W} \times \tan 36.87^\circ = 3,730.014\text{VAR} \quad (\text{L} \quad +)$$

綜上得知：電路 A 的 real power 為 4,973.333W，reactive power 為 +3,730.014VAR

B 電路：

機器 B 的 real power 為 6,000W

因 power factor 為 0.6，故 $\theta = \cos^{-1} 0.6 = 53.13^\circ$

因為是 leading，表示機器 B 的 reactive power 為負，屬於電容

$$Q_B = -P_B \tan \theta = -6,000.00\text{W} \times \tan 53.13^\circ = -7,999.970\text{VAR} \quad (\text{C} \quad -)$$

A+B 電路

Total real power、total reactive power、apparent power ?

$$P_T = 4,973.333\text{W} + 6,000\text{W} = 10,973.333 \text{ W}$$

$$Q_T = 3,730.014\text{VAR} - 7,999.970\text{VAR} = -4,269.956 \text{ VAR} \quad (\text{負})$$

$$\text{電壓源提供的 Apparent power} \quad S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = 11,774.828\text{VA}$$

$$\text{電壓源流出的電流} \quad I = \frac{S_T}{E} = \frac{11,774.828\text{VA}}{220\text{V}} = 53.522\text{A}$$

如何 power factor correction ?

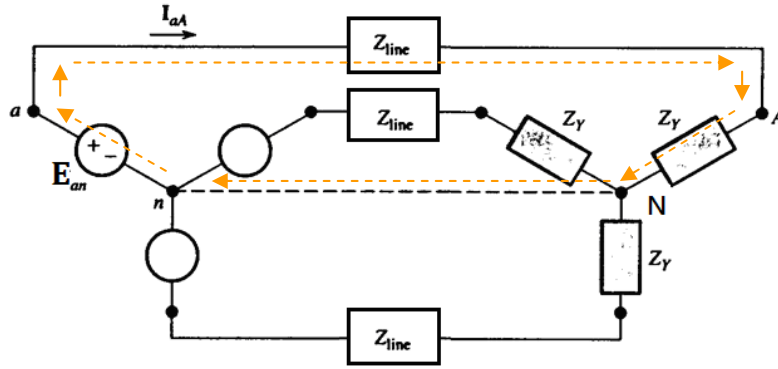
因為 A+B 電路的 total reactive power 為負，所以要加入電感（電感的 reactive power 為正）。

已知要加入的電感的 reactive power 為 4,269.956 VAR，該電感與 A、B 並聯，所以電壓降為 220V，如何求電感的電感值？

關於 Three-Phase system

平衡三相 Y-Y 系統中，負載端每相具有 8Ω 的電阻與 8Ω 的電感串聯 (Z_Y)；其電源端的線電壓大小為 $120\sqrt{3}$ V，試求 (a) 負載端的相電壓？(b) 負載端的線電壓？(c) 負載端的相電流？(d) 負載端的線電流？(e) 負載端的 real power？reactance power？(f) 電源端的 apparent power？(g) 系統的 power factor？leading 或 lagging？

技巧：把三相，分解成三個單相。其中一相由 $n \rightarrow E_{an}$ (電壓源) $\rightarrow a \rightarrow Z_{line}$ (電壓源與負載間加入元件的 impedance) $\rightarrow A \rightarrow$ (負載端) Z_Y (負載端 branch 的 impedance) $\rightarrow N \rightarrow n$



負載側 $Z_Y = 8\Omega + j 8\Omega = 11.314\Omega \angle 45^\circ$

電源端的線電壓為 $120\sqrt{3}$ V，則相電壓 E_{an} (或 E_ϕ) 為 120V

(a) 負載側的相電壓為 $V_\phi = E_\phi = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{120\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = 120\text{V}$ (串聯關係, KVL)

(b) 負載側的線電壓為 $V_L = \sqrt{3}V_\phi = 208\text{V}$ (Y接法, 線電壓是相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍)

(c) 負載側的相電流為 $I_\phi = \frac{V_\phi}{|Z|} = \frac{120}{\sqrt{8^2 + 8^2}} = 10.607\text{A}$ (簡單的歐姆定律)

(d) 負載側的線電流為 $I_L = I_\phi = 10.607\text{A}$ (Y接法, 線電流等於相電流)

(e) 負載側的 Real power 為 (利用相電壓、相電流來計算, 注意單位)

提醒: 45° 怎麼來的? ($Z_Y = 8\Omega + j 8\Omega = 11.314\Omega \angle 45^\circ$)

$$P_L = 3V_\phi I_\phi \cos \theta = 3 \times 120 \times 10.607 \times \cos 45^\circ = 2,700.101\text{W}$$

負載側的 Reactance power 為

$$Q_L = 3V_\phi I_\phi \sin \theta = 3 \times 120 \times 10.607 \times \sin 45^\circ = 2,700.101\text{VAR}$$

(f) 電源端的 apparent power

$$S_T = 3 \times 120 \times 10.607 = 3,818.52\text{VA}$$
 (利用相電壓、相電流來計算, 注意單位)

(g) 系統的 power factor

$$F_P = \frac{P_T}{S_T} = 0.707 = \cos 45^\circ \quad (\text{Lagging})$$

若在電源端與負載端之間, 加入 $Z_{line} = 4\Omega - j3\Omega$, 則 (a) 負載端的相電壓?

(b) 負載端的線電壓? (c) 負載端的相電流? (d) 負載端的線電流? (e)

負載端的 real power? reactance power? Z_{line} 的 real power? reactance power?

(f) 電源端的 apparent power? (g) 系統的 power factor? leading 或 lagging?

相對於上個例題, 只是在串聯的電壓源與負載端之間加入 $Z_{line} = 4\Omega - j3\Omega$ 。

負載側 $Z_Y = 8\Omega + j 8\Omega = 11.314\Omega \angle 45^\circ$

電源端與負載端之間 $Z_{line} = 4\Omega - j 3\Omega = 5\Omega \angle -36.87^\circ$

故 $Z_{total} = 12\Omega + j 5\Omega = 13\Omega \angle 22.62^\circ$ 【電感性較強】

(a) 負載側的相電壓 V_ϕ (注意, 負載側的相電壓不直接等於電壓源的相電壓)

E_{an} 或 E_{ϕ})

$$E_{\phi} = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = 120V$$

$$V_{\phi} = E_{\phi} \times \left| \frac{Z_Y}{Z_{total}} \right| = 120 \times \left| \frac{11.314 \angle 45^{\circ}}{13 \angle 22.62^{\circ}} \right| = 104.434 \angle 22.38^{\circ} = 104.434V \quad (\text{利用})$$

voltage divider rule 分算跨越 Z_Y 的電壓降)

(b) 負載側的線電壓為 $V_L = \sqrt{3}V_{\phi} = 180.885V$ (Y 接法, 線電壓是相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍)

(c) 負載側的相電流為 $I_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{|Z_{total}|} = \frac{120}{13} = \frac{V_{\phi}}{|Z_Y|} = \frac{104.434}{\sqrt{8^2 + 8^2}} = 9.231A$ (簡單的歐

姆定律)

(d) 負載側的線電流為 $I_L = I_{\phi} = 9.231A$ (Y 接法, 線電流等於相電流)

(e) 負載側的 Real power 為 (利用相電壓、相電流來計算, 注意單位)

$$P_L = 3I_{\phi}^2 \times 8 = 3 \times 9.231^2 \times 8 = 2,045.017W$$

負載側的 Reactance power 為 (利用相電壓、相電流來計算, 注意單位)

$$Q_L = 3I_{\phi}^2 \times 8 = 2,045.017VAR$$

Z_{line} 的 Real power 為 (利用相電壓、相電流來計算, 注意單位)

$$P_{Line} = 3I_{\phi}^2 \times 4 = 3 \times 9.231^2 \times 4 = 1022.563W$$

負載側的 Reactance power 為 (利用相電壓、相電流來計算, 注意單位)

$$Q_L = -3I_{\phi}^2 \times 3 = -3 \times 9.231^2 \times 3 = -766.902VAR$$

$$P_T = 3,067.58 W$$

$$Q_T = 1,278.115 VAR$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = 3,323.195VA$$

(f) 電源端的 apparent power

$$S_T = 3 \times 120 \times 9.231 = 3,323.16VA$$

(g) 系統的 power factor

$$F_p = \frac{P_T}{S_T} = 0.923 = \cos 22.62^{\circ} \quad (\text{Lagging})$$

關於 Filter、Frequency Response

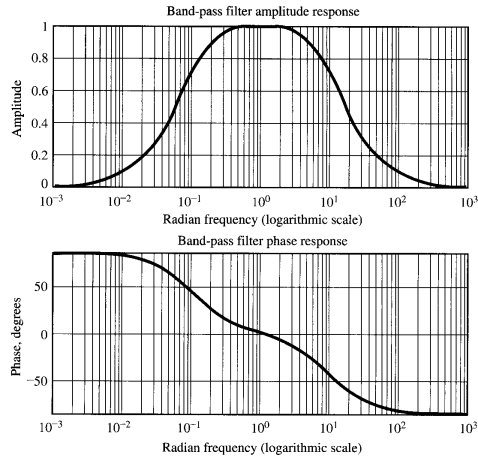
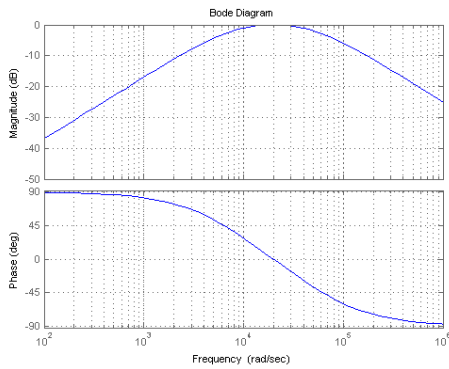
如何從電路的 frequency response 了解 Filter 電路的特性?

你必須先確認, 下列問題答得出來嗎?

1. 何謂電路的 frequency response?
2. 如何以 Bode plot 表達電路的 frequency response $H_v(j\omega) = |H_v(j\omega)| \angle \Phi_H$?
3. 什麼是 dB?
4. 什麼是 cutoff frequency? 什麼是 bandwidth? 什麼是 resonant frequency?

若你能回答上述問題，你就有能力由 Bode plot 判斷上述訊息。

下圖是一個 Band-pass filter 的 frequency response，(左圖) 為 Bode plot。



關於磁路一

相對於電路的電壓 V (voltage)、電流 I (current) 與電阻 R (resistor)，相對於磁路的磁動勢 (Magnetomotive force)、磁通 (magnetic flux)，它們的符號？單位為何？

關於磁路二

要在 transformer 上，若 transformer 上沒有 gap，則要建立某一特定量的磁通量 Φ ，需要多少電流？若 transformer 上有 gap，結果又如何？

提醒：

1. 因 Core 部分與 Air gap 部分為串聯關係，而磁通密度 B 如同電路的電流，因此 $B_{\text{core}} = B_{\text{air gap}}$ 。
2. 依據 Ampere's Circuital Law (相似應用於電路的 KVL)，環繞 closed path，mmf 的和為零：
$$\sum \mathcal{F} = NI - H_{\text{core}}l_{\text{core}} - H_{\text{gap}}l_{\text{gap}} = 0$$
3. Gap 的 B 與 Core 的 B 相同，但 H 不同！Core 部分，利用 B - H 關係圖，由 B_{core} 找 H_{core} ；Gap 部分， H_{gap} 與 B_{gap} 關係固定： $H_g = 7.96 \times 10^5 B_g$

