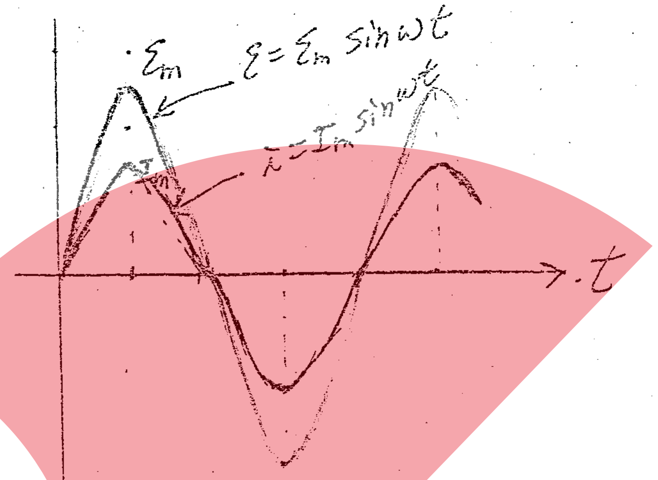
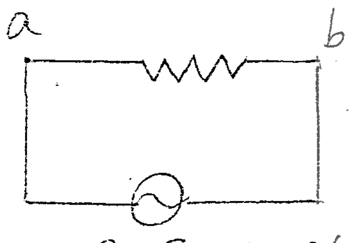
Chapter 21 Alternating Current Circuits and Electromagnetic Waves

在§20.5已討論過交流發電机（$\mathcal{E}=\mathcal{E}_m \sin\theta=\mathcal{E}_m \sin\omega t$ $=\mathcal{E}_m \sin 2\pi f t$）其中$\mathcal{E}$為交流電动勢在任意瞬間$t$的瞬間值，$\mathcal{E}_m$為最大值.



§21.1 Resistors in an AC Circuit（電阻電路）



$\mathcal{E}=\mathcal{E}_m \sin\omega t$

（課本：$\Delta V=\Delta V_{max} \sin\omega t$）

a, b 兩端間的瞬時電压為

$\mathcal{E}=\mathcal{E}_m \sin\omega t$

電阻器上瞬時電流為 $i=\frac{\mathcal{E}}{R}=\frac{\mathcal{E}_m}{R}\sin\omega t$ $[\mathcal{E}_m=NBA\omega]$

電流極大值為 $I_m=\frac{\mathcal{E}_m}{R}$ $(\mathcal{E}_m=I_m R)$

$\therefore i=I_m \sin\omega t$

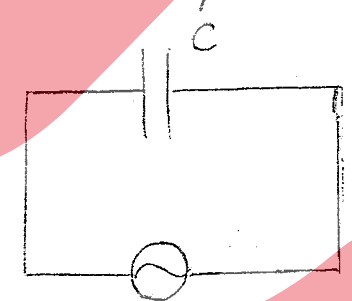
$$I_{rms}=\frac{I_{max}(I_m)}{\sqrt{2}}=0.707\, I_{max}$$

$$\Delta V_{rms}=\frac{\Delta V_{max}(\mathcal{E}_m)}{\sqrt{2}}=0.707\,\Delta V_{max}$$

$$\Delta V_{rms}=I_{rms}R$$

Example 21.1

§21.2 Capacitors in an AC Circuit（電容電路）



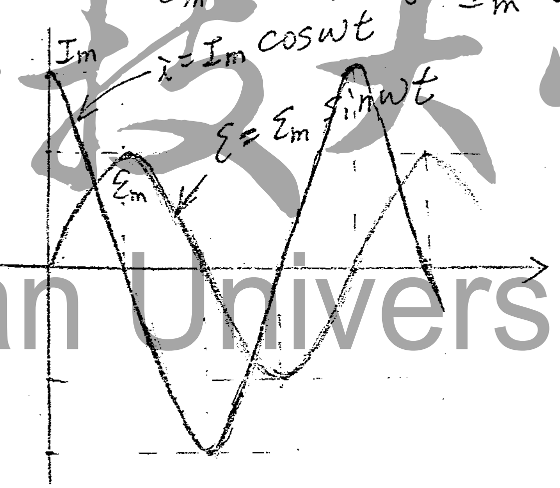
任意瞬間電容器兩端的電压也等於電源上的電压。

由 $q(Q)=CV$ 得知電容器上瞬時電荷 $q(Q)$ 為

$q(Q)=CV=C\,\mathcal{E}_m \sin\omega t$

$\therefore i=\frac{dq}{dt}=C\,\mathcal{E}_m\,\omega \cos\omega t$

令 $I_m=C\mathcal{E}_m\omega$ 則 $i=I_m \cos\omega t=I_m \sin(\omega t+90^\circ)$



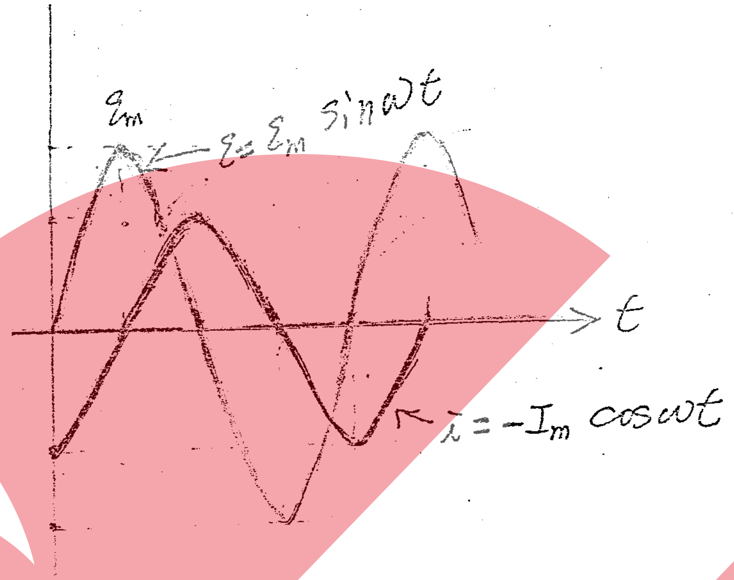
電流超前電压90°
（或電压落後电流90°）

我們將電容的電阻性稱為容抗 (capacitive reactance),
X_C；以歐姆定律比較後得容抗大小為

$$X_C = \frac{\mathcal{E}_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$(\Delta V_{rms} = I_{rms} X_C)$$

Example 21.2



電流落後電壓90°
(或電壓超前電流90°)

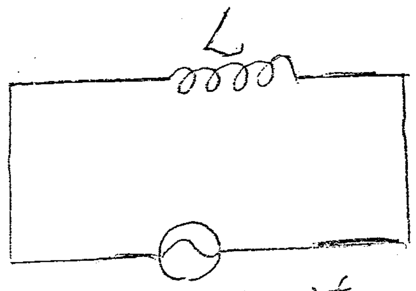
我們將電感的電阻性稱為感抗 (inductive reactance),
X_L；以歐姆定律比較後得感抗大小為

$$X_L = \frac{\mathcal{E}_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$$

$$(\Delta V_{rms} = I_{rms} X_L)$$

Example 21.3

21.3 Inductors in an AC Circuit (電感電路)



$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin\omega t$

任意瞬間電感兩端的電壓與電源電壓相等.

由 $L\frac{di}{dt} = \mathcal{E}_m \sin\omega t$

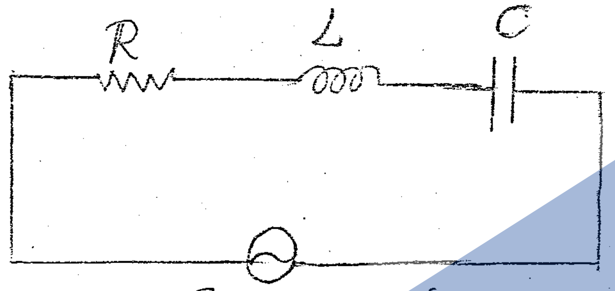
(自感: $L\frac{dI}{dt} = \mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin\omega t$)

$di = \frac{\mathcal{E}_m}{L} \sin\omega t \, dt$

積分得 $i = -\frac{\mathcal{E}_m}{L\omega} \cos\omega t$

令 $I_m = \frac{\mathcal{E}_m}{\omega L}$　∴ $i = -I_m \cos\omega t$
$= I_m \sin(\omega t - 90°)$

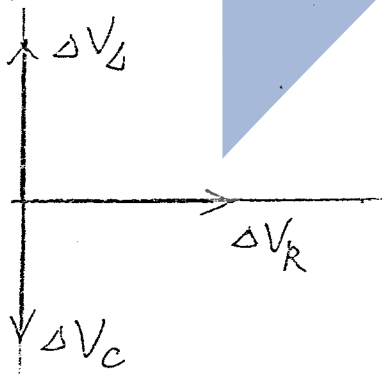
§21.4 The RLC Series Circuit (包含電阻、電容、電感的電路)



$\mathcal{E}=\mathcal{E}_m \sin\omega t$

考慮一個RLC串聯电路：

在一RLC串聯电路中，三個电压相量(註:相量: phasor)(ΔV_R, ΔV_L, ΔV_C)之關係.



$\Delta V_{max.} = \sqrt{\Delta V_R^2 + (\Delta V_L-\Delta V_C)^2}$

設串聯組合的阻抗為Z，

則 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$

設 $\Delta V_{max.}$ (最大電压)與電流之相角為ϕ

則 $\tan\phi = \dfrac{\Delta V_L-\Delta V_C}{\Delta V_R} = \dfrac{X_L-X_C}{R}$

($\Delta V_{max.} = I_{max.} Z$)

Table 21.2 (p.701)

Example 21.4

§21.5 Power in an AC Circuit

平均來講，只有電阻會消耗能量，也就是說：在一個RLC串聯電路中：平均功率 $P_{av} = I_{rms}^2 R$
$= I_{rms}(\Delta V_R)$

又 $\Delta V_R = \Delta V_{rms}\cos\phi$

∴ $P_{av} = I_{rms}\Delta V_{rms}\cos\phi$

($\cos\phi$稱為功率因數(power factor)).

Example 21.5

§21.6 Resonance in a Series RLC Circuit (共振)

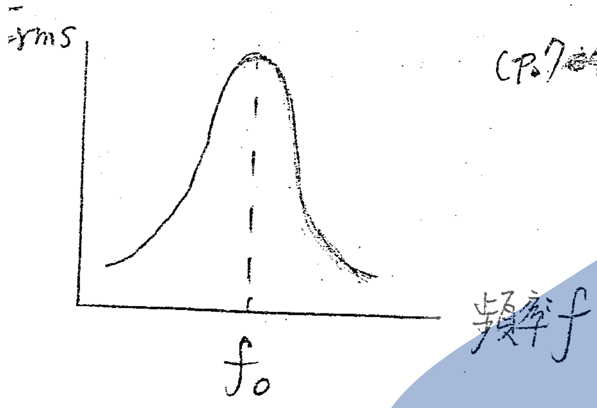
在RLC電路: $I_{rms} = \dfrac{\Delta V_{rms}}{Z} = \dfrac{\Delta V_{rms}}{\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}}$

(Z為阻抗)

當阻抗Z最小時，I_{rms}最大，而最小阻抗發生在頻率f_0時，此時 $X_L=X_C$ 或 $2\pi f_0 L = \dfrac{1}{2\pi f_0 C}$ ∴ $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

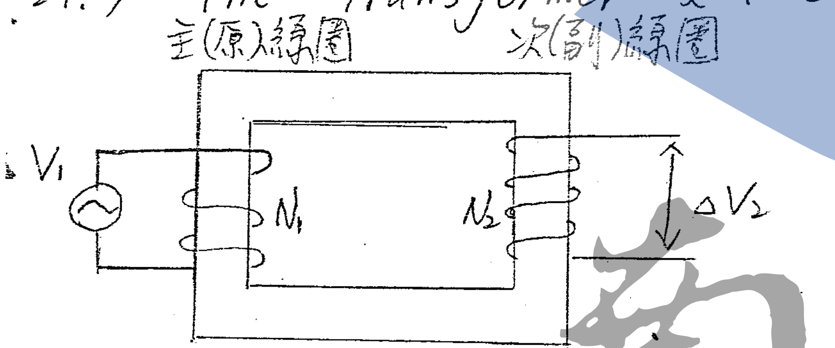
f_0 稱為共振頻率 (resonance frequency)

(P.7 Fig 21.13)



Example 21.6

§21.7 The Transformer 變壓器



$$\Delta V_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

$$\Delta V_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \left(\begin{array}{l} N_2 > N_1 \Rightarrow \text{升壓} \\ N_2 < N_1 \Rightarrow \text{降壓} \end{array} \right)$$

理想變壓器：輸入功率 = 輸出功率

(註：功率 $P = IV = I\mathcal{E}$)

$\therefore I_1 \Delta V_1 = I_2 \Delta V_2$

Example 21.7

§21.11 Properties of Electromagnetic Waves
特性 電磁 波

① 馬克士威爾証明了電場和磁場會耦合上下振盪形成一行進波，我們稱之為電磁波。

② 由法拉第的電磁感應定律敘述了因磁場改變而產生的感應電動勢 (emf).

③ 馬克士威爾預測相反的情況也會發生，也就是改變的電場也會產生磁場.

④ 電磁波是一種橫波，因為電場及磁場和波的行進方向，三者互相垂直。電磁波能在真空或物體中行進，因為電場和磁場能存在於真空或物體中。此外電磁波與繩波不同，它傳播時不需要介質。

⑤ 所有的電磁波通過真空的速度都一樣，以 c 來代表。（c 是光在真空中行進的速度，$c=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$，

$\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ N\cdot s^2/c^2$，$\epsilon_0=8.854\times10^{-12}\ C^2/N\cdot m^2$，

$c=2.99792\times10^8\ \frac{m}{s}\simeq3\times10^8\ \frac{m}{s}$），然而在物體中行進，它的速度便會小於 c 值。

⑥ 馬克士威爾也証明了：$\frac{E}{B}=c$　（E:电場 B:磁場）

電磁波傳播時：

每單位面積的平均功率 $=\frac{E_{max.}B_{max.}}{2\mu_0}=\frac{E^2_{max.}}{2\mu_0 c}$
(average power per unit area)
$=\frac{cB^2_{max.}}{2\mu_0}$

⑦ 馬克士威爾提出：

the total momentum (動量) $p=\frac{\text{total energy } U}{c}$ （完全吸收時）

the total momentum $p=\frac{2U}{c}$ （完全反射時）

Example 21.8

§21.12 The Spectrum (光譜) of Electromagnetic (電磁) Waves (波)

假設電磁波傳播速率為 v，頻率為 f，波長為 λ，則 $v=f\lambda$（或 $c=f\lambda$）

由 P.569 Fig 21.21 看出電磁波擁有廣大的頻率範圍（電磁波的光譜）