7 회로소자와 사인파 및 임피던스

이 장에서는 사인파가 인가된 회로소자 R, L, C 및 $R-L$ 직렬회로에서의 전압, 전류관계를 삼각함수 계산으로 구하고, 임피던스의 개념을 확실히 함으로써 교류회로의 시간적 응답을 구하는 한 가지 방법을 배운다. 이 방법은 비효율적이긴 하지만 교류회로의 기본적 특성을 이해하는 데 도움이 된다.

7.1 사인파에 대한 각 회로소자에서의 전압-전류 관계

이 절에서 우리는 이상적 선형소자인 저항기, 인덕터, 커패시터의 각각에 사인파전압이 인가되었을 때의 전류 또는 그 각각을 사인파전류가 흐를 때의 단자간의 전압을 구하기로 한다. 각 소자는 직접 전압원에 연결되어 있든지, 또는 직접 전류원에 연결되어 있든지, 또는 전원을 포함한 복잡한 회로의 일부를 형성하고 있든지간에 각 소자의 단자전압과 전류와의 관계는 유일하게 결정된다(그림 2.3 참고).

편의상 우리는 전류가 먼저 주어진 것으로 가정하고 단자전압을 구하기로 한다. 전류 i의 방향으로의 전압강하를 v라 할 때 일반적인 $v-i$ 관계식 $v_R = Ri$, $v_L = L\dfrac{di}{dt}$, $v_C = \dfrac{1}{C}\int i\,dt$는 사인파의 경우에도 물론 성립된다.

저 항

저항 R을 통하여

$$i = I_m \sin\omega t \tag{7.1}$$

로 표시되는 사인파전류가 흐를 때 저항 양단의 전압은 옴의 법칙으로부터

$$v = Ri = RI_m \sin\omega t \tag{7.2}$$

여기서 전압, 전류의 최대치의 관계는 $V_m = RI_m$이다. 이 양변을 $\sqrt{2}$로 나누어 실효치로 표시하면

$$\boxed{V = RI} \quad \text{또는} \quad \boxed{I = \frac{V}{R}} \tag{7.3}$$

식 (7.3)은 저항 양단에서 성립하는 옴의 법칙이라 할 수 있다. 그림 7.1은 저항소자에서의 v, i의 그래프이다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 저항에 사인파가 인가되었을 때에는

(1) 전압과 전류는 동일주파수의 사인파이다.

(2) 전압과 전류는 동상이다(단, 전압과 전류의 기준방향을 그림 7.1과 같이 취했을 때)

(3) 전압과 전류의 실효치(또는 최대치)의 비는 R이다.

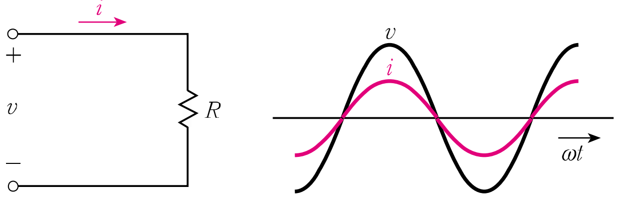


그림 7.1 저항 양단의 전압과 전류

예제 7.1

두 저항 $R_1 = 1\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 3\,\text{k}\Omega$이 직렬로 되어 있는 회로의 양단자에 $8\,\text{V}$, $\omega = 10^4$ rad/s ($f = 1.6\,\text{kHz}$)의 교류전압을 인가할 때 R_2 양단의 전압을 구하라.

풀 이

$v = \sqrt{2} \cdot 8 \sin 10^4 t$ V라 하면 R_2 양단의 전압 v_2는 전압분배의 법칙에 의하여

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v = \frac{3}{4} \sqrt{2}\, 8 \sin 10^4 t = \sqrt{2}\, 6 \sin 10^4 t\ \text{V}$$

와 같고, 그 실효치는 6V이다. 이 결과는 식 (7.3)을 이용하면 직접 얻을 수 있다.

$$V_2 = R_2 I = R_2 \frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{3}{4} \times 8 = 6\,\text{V}$$

인덕턴스

인덕턴스 L에 식 (7.1)로 표시된 사인파전류가 흐를 때 전류의 방향으로 생기는 전압강하를 v라 하면

$$\begin{aligned} v &= L\frac{di}{dt} = L\frac{d}{dt}(I_m \sin \omega t) \\ &= \omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t + 90°) \end{aligned} \tag{7.4}$$

여기서 전압, 전류의 최대치의 관계는 $V_m = \omega L I_m$이다. 또 실효치로는

$$\boxed{V = \omega L I} \quad \text{또는} \quad \boxed{I = \frac{V}{\omega L}} \tag{7.5}$$

그림 7.2는 인덕턴스에서의 v, i의 그래프이다.

이상으로부터 알 수 있는 바와 같이 인덕턴스에 사인파가 인가되었을 때에는

(1) 전압과 전류는 동일주파수의 사인파이다.

(2) 전압은 전류보다 위상이 90° 앞선다. 또는 전류는 전압보다 위상이 90° 늦다. [단, 전류와 전압의 기준방향을 그림 7.2 (a)와 같이 취할 때]

(3) 전압과 전류의 실효치(또는 최대치)의 비는 ωL과 같다.

식 (7.4)의 유도과정에서 한 가지 주목할 것은 사인파 $\sin \omega t$를 미분하면 크기가 ω배가 되고 위상이 90° 앞선다는 것이다.

식 (7.5)를 식 (7.3)과 비교하면 ωL은 인덕턴스를 흐르는 전류를 제한하는 일

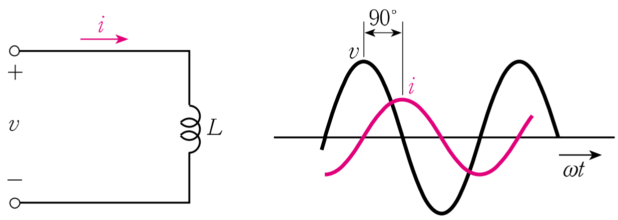


그림 7.2 인덕턴스 양단의 전압과 전류

종의 교류저항임을 알 수 있다. 그러나 보통의 저항과는 달라서 전류, 전압 사이에 90°의 상차를 생기게 하는 효과가 있으므로, 이 ωL을 특히 **인덕티브 리액턴스**(inductive reactance)라 하며 보통 X_L로써 표시한다. 그리고 그 **원**(元; dimension)이 volt/amp이므로 저항과 동일한 단위 Ω을 쓴다. 즉,

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad \Omega \tag{7.6}$$

따라서 식 (7.5)는

$$V = X_L I \ \ \mathrm{V} \quad \text{또는} \quad I = \frac{V}{X_L} \ \ \mathrm{A} \tag{7.7}$$

와 같이 쓸 수 있다. 이것은 형식상 인덕턴스에서의 옴의 법칙이라고 할 수 있다.

식 (7.6)에서 보듯이 인덕티브 리액턴스는 인덕턴스가 클수록 또 주파수가 높을수록 커지며 일정한 전압하에서 전류가 감소한다. 그림 7.3에는 인덕턴스와 인가전압이 일정할 때 주파수의 변화에 따르는 리액턴스 및 전류의 변화를 그린

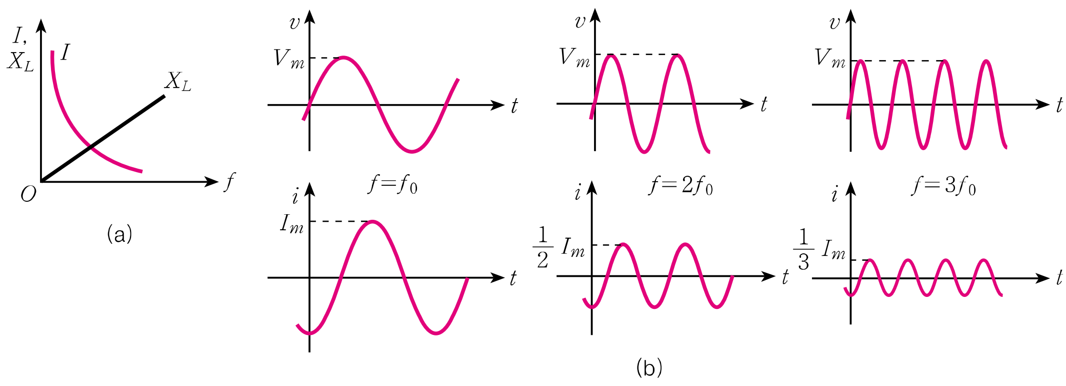


그림 7.3 주파수변화에 따른 인덕턴스의 리액턴스 및 전류의 크기의 변화[(a)]와 파형의 변화[(b)](L 및 인가전압은 일정)

것이다. 이와 같이 주파수가 높을수록 전류는 L을 통하여 흐르기 어려우므로 인덕터는 여러 가지 주파수의 신호전압이 인가되는 회로에서 고주파의 신호전류가 흐르는 것을 억제하는 데 사용할 수 있다.

끝으로 부언할 것은 직류가 인덕터를 흐를 때에는 $di/dt = 0$이므로 직류에 의한 인덕터에서의 전압강하는 0이다$\left(v_L = L\dfrac{di}{dt}\right)$. 이것을 바꾸어 말하면 아무리 미소한 직류전압을 유도기에 인가해도 정상상태에서는 무한대의 전류가 흐른다. 이것은 직류를 주파수가 0인 사인파로 간주함으로써 설명할 수도 있다. 즉, 식 (7.5)에서 $\omega = 2\pi f = 0$이라 놓으면 $V = \omega LI = 0$이 된다. 그러나 이상 말한 것은 어디까지나 인덕턴스만을 가진 이상적 인덕터에 대한 것이고, 실제의 유도기는 모두 L 이외에 다소의 저항을 가지므로 이상과 같은 일은 실제로는 일어나지 않는다.

[수치예] 인덕턴스가 2 mH인 인덕터의 60 kHz에 대한 리액턴스는 $2\pi \times 60 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3} = 754\,\Omega$이고, 이에 실효치 0.5 mA, 60 kHz의 사인파전류가 흐를 때 인덕터 양단의 전압은 $754 \times 0.5 \times 10^{-3} = 0.377\,\text{V}$. 또 10 V, 60 kHz의 전압을 인가할 때 흐르는 전류는 $10/754 = 0.013\,\text{A}$ (실효치)

예제 7.2

(a) 어떤 인덕터의 인덕턴스가 31.8 mH이다. 주파수 50 Hz에 대한 이 인덕터의 리액턴스를 구하라. 또 100, 200 Hz에 대한 리액턴스는 얼마인가?

(b) 실효치가 10 V이고 주파수가 (a)에서와 같은 여러 가지 전압을 이 인덕터에 인가할 때 흐르는 전류의 실효치를 구하라. 단, 코일의 저항은 무시한다.

풀 이

(a) 50 Hz에 대한 리액턴스는 $X_L = 2\pi \times 50 \times 31.8 \times 10^{-3} = 10\,\Omega$이다. 인덕터의 리액턴스는 주파수에 비례하므로 100, 200 Hz에 대한 리액턴스는 각각 $10 \times 2 = 20\,\Omega$, $10 \times 4 = 40\,\Omega$이다.

(b) 식 (7.7)에 의하여 50 Hz에 대한 전류는 $I = 10/10 = 1\,\text{A}$이다. 인덕터에서는 동일한 인가전압에 대한 전류는 주파수에 반비례하므로 100, 200 Hz에 대한 전류는 각각 $1 \times 1/2 = 0.5\,\text{A}$, $1 \times 1/4 = 0.25\,\text{A}$이다.

커패시턴스

커패시턴스 C에 식 (7.1)로 표시되는 사인파전류가 흐를 때 전류방향으로의

전압강하를 v 라 하면

$$v=\frac{1}{C}\int i\,dt=\frac{1}{C}\int I_m \sin\omega t\,dt=-\frac{1}{\omega C}I_m\cos\omega t$$
$$=\frac{1}{\omega C}I_m\sin(\omega t-90^\circ) \tag{7.8}$$

여기서 전압, 전류의 최대치의 관계는 $V_m=\dfrac{1}{\omega C}I_m$ 이다. 실효치로는

$$\boxed{V=\left(\frac{1}{\omega C}\right)I} \quad \text{또는} \quad \boxed{I=\omega CV=\frac{V}{\left(\dfrac{1}{\omega C}\right)}} \tag{7.9}$$

와 같다. 그림 7.4는 커패시턴스에서의 v, i 의 그래프이다.

이상으로부터 알 수 있는 바와 같이 커패시턴스에 사인파가 인가되었을 때에는

(1) 전압과 전류는 동일주파수의 사인파이다.

(2) 전압은 전류보다 위상이 90° 늦다. 또는 전류는 전압보다 위상이 90° 앞선다. [단, 전압, 전류의 기준방향을 그림 7.4 (a)와 같이 취할 때]

(3) 전압과 전류의 실효치의 비는 $1/\omega C$과 같다.

이상의 사실은 C 양단의 전압을 $v=V_m\sin\omega t$ 라고 할 때

$$i=C\frac{dv}{dt}=\omega CV_m\cos\omega t,\quad I_m=\omega CV_m$$

로부터 유도할 수도 있다.

식 (7.8)의 유도과정에서 한 가지 주목할 것은 사인파 $\sin\omega t$ 를 적분하면 크기는 $1/\omega$ 배가 되고 위상이 90° 늦어진다는 것이다.

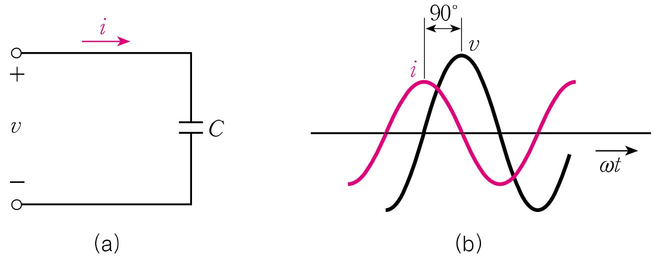


그림 7.4 커패시턴스 양단의 전압과 전류

식 (7.9)를 식 (7.3)과 비교하면 $1/\omega C$은 커패시턴스회로의 전류를 제한하는 일종의 교류저항임을 알 수 있으며, 인덕티브 리액턴스와 마찬가지로 전류, 전압 사이에 90°의 상차를 생기게 한다. 일반적으로 리액턴스라는 용어는 전류, 전압 사이에 90°의 상차를 생기게 하는 회로소자의 특성을 가리키는 양인데, 전압이 전류보다 90° 앞서는 경우와 90° 늦는 경우를 구별하기 위하여 인덕티브 리액턴스를 양, **커패시티브 리액턴스**를 음으로 정의한다[식 (9.18) 참조]. 즉, 커패시티브 리액턴스를 X_C라 하면

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} = -\frac{1}{2\pi f C} \,^{*}\ \Omega \tag{7.10}$$

따라서 식 (7.9)는

$$V = |X_C| I \quad \text{또는} \quad I = \frac{V}{|X_C|} \tag{7.11}$$

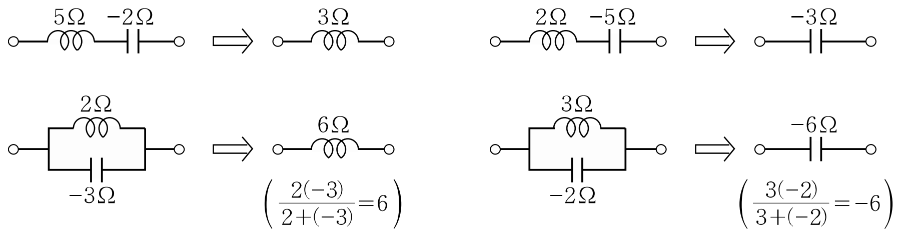
와 같이 쓸 수 있다. 이것은 형식상 커패시턴스에서의 옴의 법칙이라고 할 수 있다.

식 (7.10)에서 보는 바와 같이 커패시티브 리액턴스는 커패시턴스가 클수록 또 주파수가 높을수록 그 절대치가 적어지며 전류가 증가한다. 그림 7.5는 커패시턴스와 인가전압이 일정할 때 주파수에 따르는 리액턴스 및 전류의 변화를 그린 것이다. 이와 같이 주파수가 낮을수록 전류는 커패시터를 통하여 흐르기 어려우므로 커패시터는 여러 가지 주파수의 신호전압이 인가되는 회로에서 저주파의 신호전류가 흐르는 것을 억제하는 데 사용할 수 있다.

마지막으로 부언할 것은 커패시터는 직류를 통과시키지 않는다는 것이다. 즉, 정상상태의 직류회로에서는 전압이 일정하므로 $dv/dt = 0$이고, 따라서 커패시터에는 전류가 흐르지 않는다$\left(i_C = C\dfrac{dv}{dt}\right)$. 이것은 직류를 주파수가 0인 사인파로

---

* X_C를 음으로 정의하면 AC 회로해석이 통일적으로 이루어진다. 예컨대 L, C의 직렬 또는 병렬회로에서 어떤 주파수에서의 L, C의 리액턴스가 주어졌을 때 그 주파수에서의 등가리액턴스는 저항회로의 계산에 준하여 다음과 같이 구해진다.



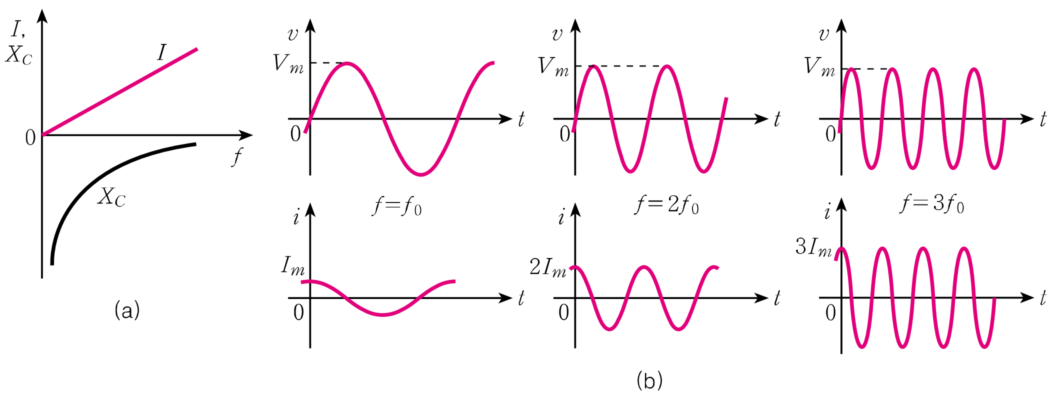


그림 7.5 주파수변화에 따른 커패시턴스의 리액턴스 및 전류의 크기의 변화[(a)]**와 파형의 변화**[(b)](C 및 인가전압을 일정)

간주함으로써 설명할 수도 있다. 즉, 식 (7.9)에서 $\omega = 2\pi f = 0$이라 놓으면 $I = V/\infty = 0$이 된다.

[수치예] 커패시턴스 $0.1\,\mu\mathrm{F}$의 $10\,\mathrm{kHz}$에 대한 리액턴스는 $-1/(2\pi\times 10\times 10^3\times 0.1\times 10^{-6}) = -159.2\,\Omega$. 이 커패시터에 $10\,\mathrm{kHz}$, $10\,\mathrm{mA}$의 전류가 흐를 때 커패시터 양단의 전압은 $159.2\times 0.1 = 15.92\,\mathrm{V}$. 또 $10\,\mathrm{kHz}$, $5\,\mathrm{V}$의 전압을 인가할 때 흐르는 전류는 $5/159.2 = 0.031\,\mathrm{A}$

예제 7.3

(a) 어떤 커패시터의 커패시턴스가 $1.06\,\mu\mathrm{F}$이다. 주파수 $1000\,\mathrm{Hz}$에 대한 이 커패시터의 리액턴스를 구하라. 또 $5000\,\mathrm{Hz}$, $15{,}000\,\mathrm{Hz}$에 대한 리액턴스는 얼마인가?

(b) 실효치가 $15\,\mathrm{V}$이고, 주파수가 (a)와 같은 여러 가지 전압을 이 커패시터에 인가할 때 흐르는 전류의 실효치를 구하라.

풀 이

(a) $1000\,\mathrm{Hz}$에 대한 리액턴스는

$$X_C = -\frac{1}{2\pi\times 10^3\times 1.06\times 10^{-6}} = -150\,\Omega$$

커패시터의 리액턴스는 절대치가 주파수에 반비례하므로 $5000\,\mathrm{Hz}$, $15{,}000\,\mathrm{Hz}$에 대한 리액턴스는 각각 $-150\times 1/5 = -30\,\Omega$, $-150\times 1/15 = -10\,\Omega$이다.

(b) 식 (7.11)에 의하여 $1000\,\mathrm{Hz}$에 대한 전류는 $I = \dfrac{15}{150} = 0.1\,\mathrm{A}$

또는 직접 식 (7.9)로부터 $I = 2\pi f\,CV = 2\pi\cdot 10^3\cdot 1.06\cdot 10^{-6}\cdot 15 = 0.1\,\mathrm{A}$이다. 커패시터에서는 동일한 인가전압에 대한 전류가 주파수에 비례하므로 $5000\,\mathrm{Hz}$, $15{,}000\,\mathrm{Hz}$에 대한 전류는 각각 $0.1\times 5 = 0.5\,\mathrm{A}$, $0.1\times 15 = 1.5\,\mathrm{A}$이다.

예제 7.4

그림 7.6 (a)의 회로에서 (a) v_S = DC 10 V일 때 v_C, i_R를 구하라.
(b) 전압원주파수가 매우 높으면 i_L, v_C, i_R는 어떻게 되겠는가?

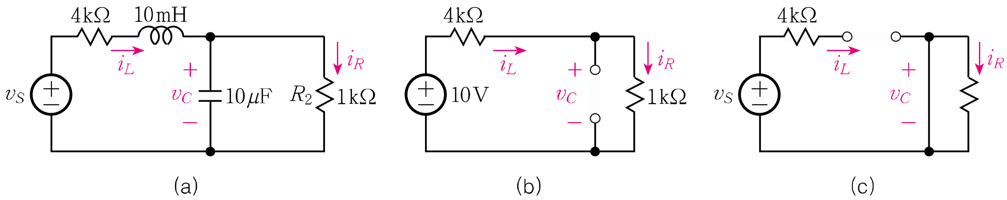


그림 7.6 예제 7.4의 회로

풀 이

(a) DC에서 L은 단락, C는 개방상태가 되므로 그림 7.6 (b)로부터

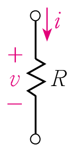
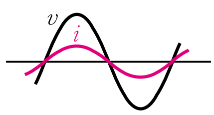
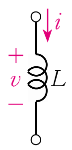
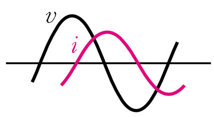
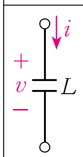
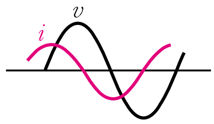
$$i_R = \frac{10\,\mathrm{V}}{5\,\mathrm{k\Omega}} = 2\,\mathrm{mA}$$

$$v_C = 1\,\mathrm{k\Omega}\text{의 양단전압} = 1\,\mathrm{k\Omega} \times 2\,\mathrm{mA} = 2\,\mathrm{V}$$

(b) 신호주파수가 매우 높으면 $X_L \to \infty$, $|X_C| \to 0$이 되므로 그림 (c)로부터 $i_L \to 0$, $v_C \to 0$, $i_R \to 0$이 된다.

이상 이 절에서 배운 결과를 정리하면 표 7.1과 같다.

표 7.1 교류회로에서의 수동소자의 전압-전류 관계

소자	방 정 식	$\frac{V_m}{I_m}$ 또는 $\frac{V}{I}$	위 상 관 계	그 래 프
	$i = I_m \sin\omega t$ $v = V_m \sin\omega t$	$R[\Omega]$	i와 v는 동상	
	$i = I_m \sin\omega t$ $v = V_m \sin(\omega t + 90°)$	$X_L = \omega L[\Omega]$	i는 v보다 90° 늦음	
	$i = I_m \sin\omega t$ $v = V_m \sin(\omega t - 90°)$	$\lvert X_C\rvert = \frac{1}{\omega C}[\Omega]$	i는 v보다 90° 앞섬	

이 표에 관하여 몇 가지 부언할 것이 있다.

1. 전류, 전압의 최대치의 비와 위상관계는 소자의 성질에 의해서 결정되는 것이며, 시간의 원점을 어디에 선택하는가에는 관계가 없다. 그것은 물리적 현상, 더 구체적으로는 전압, 전류의 파형들이 해석의 편의상 도입되는 시간원점의 선택으로 전혀 영향을 받지 않기 때문이다. 일반적으로 교류회로의 해석에서 시간의 원점은 임의로 편리하게 택할 수 있다. 따라서 위의 표 제 2 란에서 전류가

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha) \tag{7.12}$$

와 같이 0이 아닌 위상각 α를 갖도록 시간의 원점을 택했을 경우에도 위상관계는 불변이므로

$$v_R = V_m \sin(\omega t + \alpha) \tag{7.13}$$

$$v_L = V_m \sin(\omega t + \alpha + 90°) \tag{7.14}$$

$$v_C = V_m \sin(\omega t + \alpha - 90°) \tag{7.15}$$

와 같이 되고, 이때의 V_m / I_m도 제 3 란에 표시한 그대로이다.

2. 또 먼저 전압이

$$v = V_m \sin(\omega t + \beta) \tag{7.16}$$

와 같이 주어졌을 때에도 위상관계는 불변이므로 각 소자를 흐르는 전류는

$$i_R = I_m \sin(\omega t + \beta) \tag{7.17}$$

$$i_L = I_m \sin(\omega t + \beta - 90°) \tag{7.18}$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t + \beta + 90°) \tag{7.19}$$

와 같이 되며, V_m / I_m은 이때에도 제 3 란과 같다.

3. 이 표 및 이상의 모든 식에서 sin을 cos으로 바꾸어도 그대로 성립된다. 이는 시간의 원점을 임의로 택할 수 있기 때문이다.

4. 어느 소자에서나 이를 흐르는 전류가 사인파일 때 양 단자간의 전압도 역시 같은 주파수의 사인파가 된다는 것은 매우 중요한 사실이다. 소자가 여러 개 있을 때에는 2개 이상의 전압, 전류를 가감함으로써 다른 부분의 전류, 전압을 구할 수 있는데, 동일주파수의 두 사인파(따라서 여러 개의 사인파)를 가감해도 역시 같은 주파수의 사인파가 얻어진다. 이상의 두 사실로부터 다음과 같이 결론지을 수 있다.

"선형회로의 임의의 부분에서의 전류 또는 전압이 사인파이면 모든 부분에서의 전류, 전압은 동일한 주파수의 사인파이다."

이리하여 사인파에 기초를 둔 회로해석이 간단하고 용이해진다.

5. 인덕터와 커패시터는 여러 가지 점에서 상반되는 성질을 갖는다. 첫째로 정상상태의 직류회로에서 인덕터는 단락상태가 되나 커패시터는 개방상태가 된다. 둘째로 정상상태의 교류회로에서 인덕터에서는 전류가 전압보다 위상이 90° 늦으나 커패시터에서는 90° 앞선다. 따라서 인덕티브 리액턴스는 양이나, 커패시티브 리액턴스는 음이다. 셋째로 인덕티브 리액턴스는 주파수와 인덕턴스에 비례하나, 커패시티브 리액턴스는 주파수와 커패시턴스에 반비례한다. 넷째로 유도기는 자기에너지를 축적하나 용량기는 전기에너지를 축적한다.

이 모든 사실은 결국 양 소자에서의 $v-i$ 관계$\left(v = L\dfrac{di}{dt},\ i = C\dfrac{dv}{dt}\right)$에서 v와 i, L과 C가 서로 바뀌어 있는 데 기인한다. 다시 말하면, L과 C가 쌍대적인 양이기 때문이다. L과 C를 함께 **리액턴스소자**라고 부른다.

7.2 R-L 직렬회로

앞절까지는 하나의 수동소자에서의 $v-i$ 관계를 구했으나, 이 절에서는 그림 7.7 (a)와 같은 $R-L$ 직렬회로의 $v-i$ 관계를 구해 보자. 단자 a, b가 직접 전압원에 연결되어 있든지, 전류원에 연결되어 있든지 또는 복잡한 회로의 일부를 형성하고 있든지간에 관계없이 이 단자에서의 $v-i$ 관계는 유일하게 결정된다. 직렬회로에서는 전류가 공통이므로 전류 i를

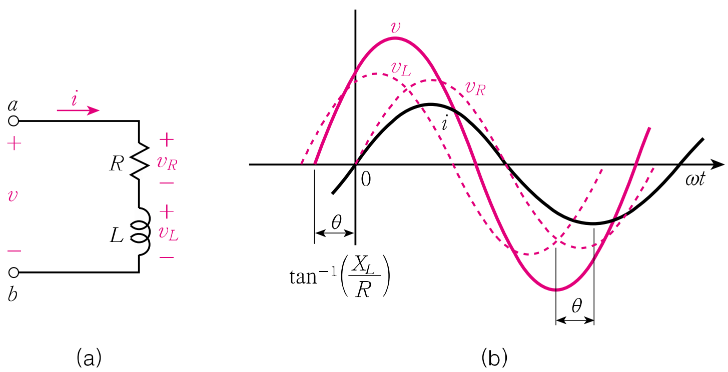


그림 7.7 $R-L$ 직렬회로의 전류 및 전압파형

$$i = I_m \sin \omega t \tag{7.20}$$

와 같이 가정하고, 이 전류에 의한 단자전압을 구해 보자. 전류 i 의 방향으로 생기는 각 소자에서의 전압강하를 v_R, v_L 이라 하고 전체의 전압강하를 v 라 하면 KVL에 의하여

$$v = v_R + v_L \tag{7.21}$$

여기서 v_R, v_L 과 i 와의 관계는 표 7.1로부터

$$v_R = RI_m \sin \omega t$$
$$v_L = \omega L I_m \sin(\omega t + 90°) = \omega L I_m \cos \omega t$$

이것들을 식 (7.21)에 대입하면

$$v = I_m (R \sin \omega t + X_L \cos \omega t) \tag{7.22}$$

우변의 ( ) 안은 다음과 같은 삼각함수의 관계식을 이용하면 간단하게 표시할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} a \sin x + b \cos x &= \sqrt{a^2 + b^2} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \sin x + \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cos x \right) \\ &= \sqrt{a^2 + b^2} (\cos \theta \cdot \sin x + \sin \theta \cdot \cos x) \\ &= \sqrt{a^2 + b^2} \sin(x + \theta) \end{aligned} \tag{7.23a}$$

여기서 $$\theta = \tan^{-1} \frac{b}{a} \tag{7.23b}$$

그림 7.8은 이상의 유도과정을 이해하는 데 도움이 된다(a, b 의 부호에 따라 θ 의 상한이 달라진다. 예컨대 $a > 0$, $b < 0$ 이면 θ 는 제 4 상한의 각이 되고 $a < 0$, $b > 0$ 이면 θ 는 제 2 상한의 각이 된다). 이 결과를 식 (7.22)에 적용하면

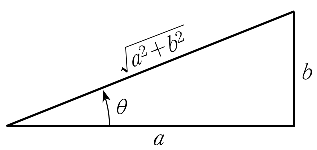


그림 7.8 **식 (7.23)을 기억하는 데 편리한 그림**(a, b 의 부호에 따라 θ 의 상한이 달라진다)

$$v = I_m \sqrt{R^2 + X_L^2} \sin(\omega t + \theta) = V_m \sin(\omega t + \theta) \tag{7.24}$$

단,

$$V_m = I_m \sqrt{R^2 + X_L^2} \tag{7.25a}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_L}{R} \tag{7.25b}$$

그림 7.7 (b)에는 i, v_R, v_L, v 의 그래프를 그렸다. 이 그래프 또는 식 (7.20)과 (7.25)로부터 알 수 있는 바와 같이 $R-L$ 직렬회로에서는 전류는 전압보다 위상이 $\theta(>0)$만큼 늦으며 그 상차는 0°와 90° 사이이다. $X_L = R$일 때에는 전류는 전압보다 45° 늦고, X_L이 R에 비하여 적을수록 전류는 전압과 동상에 가까워지고, 반대로 X_L이 R에 비하여 클수록 전류는 전압보다 90°에 더욱 가깝게 늦는다. 양 극단에 가서는 저항만의 회로, 인덕턴스만의 회로가 된다.

[수치예] (a) $R=1\,\Omega$, $L=0.1\,\mathrm{H}$의 직렬회로에 $i=\sqrt{2}\,5\sin 10t\,\mathrm{A}$의 교류전류가 흐를 때 단자전압은 $v=\sqrt{2}\,5\sqrt{1^2+1^2}\sin(10t+\tan^{-1}1)=10\sin(10t+45°)\,\mathrm{V}$

(b) $3\sin\omega t - 4\cos\omega t = 5\sin\left(\omega t + \tan^{-1}\dfrac{-4}{3}\right) = 5\sin(\omega t - 53.1°)$

$-3\sin\omega t - 4\cos\omega t = 5\sin\left(\omega t + \tan^{-1}\dfrac{-4}{-3}\right) = 5\sin(\omega t - 126.9°)$

7.2절에서 배운 바로 미루어 보아 삼각함수공식을 이용하여 좀 복잡한 교류회로를 해석하는 것은 막대한 계산량을 필요로 한다. 따라서 이 방법은 더 추구하지 않고 훨씬 더 간단한 방법을 다음 장부터 배운다.

연/습/문/제

7.1 (a) $i = I_m \cos \omega t$ 로 표시되는 전류가 R, L, C 각각에 흐를 때의 단자전압 v_R, v_L, v_C를 cos 함수로 표시하고 그래프를 그려라.

(b) $v = V_m \cos \omega t$ 로 표시되는 전압이 R, L, C 각각에 인가될 때 흐르는 전류 i_R, i_L, i_C를 cos 함수로 표시하고 그래프를 그려라.

(c) (a)에서 $i = I_m \cos(\omega t + \alpha)$인 경우에 대하여 반복하라.

(d) (b)에서 $v = V_m \cos(\omega t + \beta)$인 경우에 대하여 반복하라.

7.2 $R = 100\,\Omega$, $L = 0.1\,\mathrm{H}$가 직렬로 된 회로가 있다.

(a) 60 Hz에서의 이 회로의 임피던스의 크기와 각을 구하라.

(b) 60 Hz, 100 V의 교류전압이 인가될 때 흐르는 전류를 구하라.

(c) 이때의 R 양단의 전압과 L 양단의 전압의 실효치를 구하라.
이 양자를 합해도 100 V가 되지 않는데 그 이유는 무엇인가?

7.3 $R-C$ 직렬회로의 임피던스의 크기와 각이 각각 $\sqrt{R^2 + \left(\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$ 와 $-\tan^{-1} \times \left(\dfrac{1}{\omega CR}\right)$이 됨을 유도하라.

7.4 $R-C$ 직렬회로에서 $R = 80\,\Omega$, $C = 1\,\mu\mathrm{F}$이고 인가전압이 $v = 10 \sin 10^4 t\,\mathrm{V}$라 한다. 위 문제 7.3의 결과를 이용하여

(a) 인가전압의 주파수에 대한 이 회로의 임피던스와 각을 구하라.

(b) 흐르는 전류의 순간치에 대한 표시식을 써라.

(c) R, C 양단의 전압강하의 실효치를 구하라.

7.5 그림 7.8의 회로에서 측정 또는 계산에 의하여 $i = 10 \cos 2\pi \cdot 60t\,\mathrm{V}$, $v = 50 \cos(2\pi \cdot 60t + 30°)\,\mathrm{V}$임을 알았다. 이 회로에 인가된 전압이 $v = 150 \sin(2\pi \cdot 60t + 20°)\,\mathrm{V}$라면 i 는 어떻게 표시되겠는가?

7.6 그림 p 7.6에서 $R = 2\,\mathrm{k}\Omega$, $C = 1.91\,\mu\mu\mathrm{F}$, $v = 10 \sin \cdot 10^6 t$ 일 때

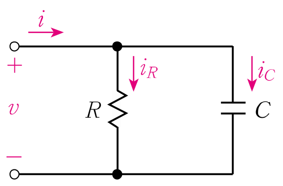


그림 p 7.6

(a) i_R, i_C를 구하라.

(b) $i = i_R + i_C$를 식 (7.23)을 이용하여 구하라.

(c) v, i_R, i_C, i의 곡선을 그려라.

(d) 처음에 $i = 5\sin \cdot 10^6 t$ A로 주어졌을 때 v를 구하라.
[힌트 : (b)의 결과를 이용하라]

7.7 $2\sin 10t - 3\cos 10t$를 하나의 sin 함수로 표시하라.

7.8 $a\cos x + b\sin x$를 하나의 cos 함수로 표시하라.

7.9 다음 각 함수를 하나의 sin 함수 및 cos 함수로 표시하라.

(a) $2\sin 10t + 3\cos 10t$

(b) $2\sin 10t - 3\cos 10t$

(c) $-2\sin 10t + 3\cos 10t$

7.10 그림 p 7.10의 회로에서 $i = \sin 100t$ A일 때 v를 구하라.

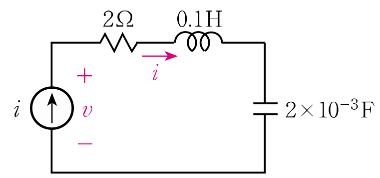


그림 p 7.10