14 직렬공진회로

이때까지의 회로해석에서 우리는 회로소자와 전원주파수는 고정된 것으로 가정했다. 그러나 통신공학에서는 전력계통과 달라서 보통 고정된 단일주파수가 아니라, 어떤 범위 내의 여러 주파수를 동시에 다루게 된다(예 : 유선전화계통의 회로에서는 보통 300～3400 Hz 범위의 모든 주파수가 문제되며, 또 라디오수신기에서는 안테나에 포착되는 많은 방송국의 전파 중 요망되는 국의 특정된 주파수범위를 선택할 필요가 있다). 리액턴스소자(L 또는 C)를 포함한 회로의 응답은 일반적으로 주파수에 따라서 달라진다. 이 장에서는 주파수선택성이 강한 직렬공진회로의 특성을 고찰한다.

14.1 주파수응답

처음에 고려할 회로는 그림 14.1과 같은 $R-C$ 직렬회로이다. 이 회로에서 입력단자에 연결된 전압원의 전압의 크기를 일정하게 유지하고 주파수를 변화시킬 때 정상상태에서 출력단자의 전압, 즉 C 양단의 전압이 어떻게 변하는가를 고찰

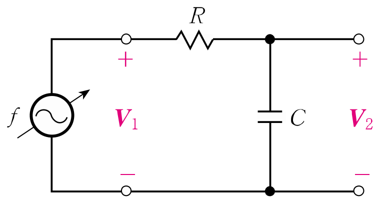


그림 14.1 $R-C$ 직렬회로

한다. 전압분배의 법칙에 의하여

$$\boldsymbol{V}_2 = \frac{1/j\omega C}{R+1/j\omega C}\boldsymbol{V}_1 = \frac{1}{1+j\omega CR}\boldsymbol{V}_1 \tag{14.1}$$

따라서 $$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}} V_1 \tag{14.2}$$

$$\phi = -\tan^{-1}\omega RC \tag{14.3}$$

여기서 ϕ는 출력전압과 입력전압과의 위상차이다. 식 (14.2), (14.3)으로부터 출력전압의 크기와 양 전압의 위상차는 둘다 주파수의 함수임을 알 수 있다. 주파수에 따른 이 두 양의 변화는 그래프를 그려봄으로써 일목요연하게 알 수 있다. 그림 14.2는 이와 같은 그래프이며 (a)를 **진폭응답곡선**, (b)를 **위상응답곡선**이라 하며, 양자를 함께 **주파수응답곡선**이라 한다.

그림 14.2에서 보는 바와 같이 출력전압의 크기는 $\omega=0$에서 입력전압과 같지만 주파수가 높아짐에 따라 점차로 떨어진다. 한편 출력전압의 위상은 주파수가 높아짐에 따라 입력전압보다 더욱 늦어지며 $\omega=\infty$에서는 90° 늦어진다. 주파수

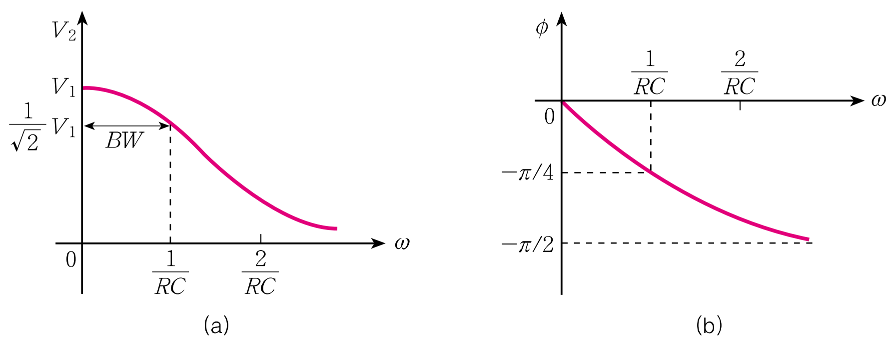


그림 14.2 $R-C$ 회로의 주파수응답곡선

에 따른 이와 같은 변화는 회로를 보고 정성적으로 추측할 수도 있다. 즉, 낮은 주파수에서는 커패시티브 리액턴스가 크므로 입력전압의 대부분은 C 양단에 걸리나 주파수가 높아짐에 따라 $1/\omega C$은 R에 비하여 자꾸만 적어지므로 입력전압은 R 양단에 더욱 많이 분배되고, 따라서 C 양단에는 더욱 작은 전압이 나타난다.

식 (14.1)의 분모에서 허수부가 실수부와 같게 되는 주파수

$$\omega = \boxed{\omega_0 = \frac{1}{RC}}, \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \tag{14.4}$$

에서 $V_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} V_1$이 되고 $\phi = -45°$가 된다. 이 회로는 대체로 보아서 $\omega < \omega_0$의 범위에 있는 낮은 주파수는 출력에 잘 나타나지만 $\omega \geqq \omega_0$의 범위에 있는 높은 주파수는 많이 감소되어 나타나는 주파수선택성을 갖는다. 이와 같은 회로를 **저역통과필터**(low-pass filter)라고 하고, $0 \sim \omega_0$를 필터의 **대폭**(bandwidth ; BW), $1/RC$를 필터의 **차단주파수**(cut-off frequency)라고 한다.

여러 가지 주파수선택성을 갖는 필터가 있는데, 이 장에서는 어떤 주파수범위만 잘 통과시키고 이 범위보다 낮은 주파수 및 높은 주파수를 크게 감쇠시키는 **대역통과필터**(band-pass filter)의 역할을 하는 공진회로를 다룬다. 필터는 통신, 계측, 제어공학 등에서 매우 중요하므로 제 22 장에서 총괄하여 다룬다.

규 준 화

만일 그림 14.3 (a)에서와 같이 세로축의 변수로서 V_2 자체가 아니라 입력전압과의 비 V_2/V_1를 취하고, 또 가로축의 변수로서는 ω 자체가 아니라 차단주파수

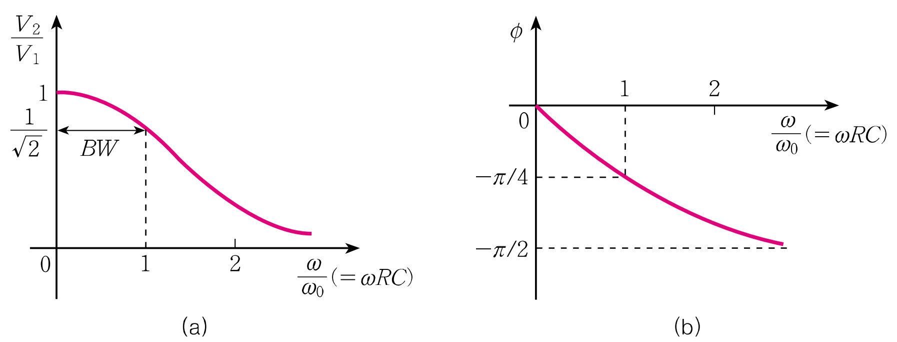


그림 14.3 그림 14.2에서 ω를 ω_0로, V_2를 V_1으로 규준화한 주파수응답곡선

와의 비 ω/ω_0(단, $\omega_0 = 1/RC$)를 취하여 그린 곡선은 V_1, ω_0의 값 여하에 불구하고 사용할 수 있다. 그림 (b)의 위상응답곡선 역시 마찬가지이다. 이와 같이 어떤 양 자체가 아니라, 다른 기준량과의 비를 생각하면 수식이나 그래프가 더 일반성을 가지게 된다. 어떤 양과 기준량과의 비를 취하는 것을 그 양을 그 기준량에 관하여 **규준화한다**고 한다. 기준량으로는 각 경우에 따라 적당한 것을 택해야 한다. 규준화된 양은 이미 원(元)을 갖지 않으며 따라서 그래프에서 가로 · 세로축의 척도는 명수가 붙지 않는 단순한 수치가 된다(그림 14.3 참고). 수식에서도 각 항은 원이 없어진다. 가령 식 (14.1)을 규준화된 양으로 표시하면,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0}}, \quad \text{단} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}\left(f_0 = \frac{1}{2\pi RC}\right) \tag{14.5}$$

와 같이 된다.

[수치예] 그림 14.1에서 $R = 1\,\text{k}\Omega$, $C = 0.1\,\mu\text{F}$일 때 $\dfrac{V_2}{V_1} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$이 되는 주파수는 $\dfrac{1}{2\pi \times 10^3 \times 10^{-7}} = 1591.5\,\text{Hz}$이고, 이 주파수에서 V_2는 V_1보다 위상이 45° 늦어진다.

다음에는 $R-L-C$ 직렬회로의 주파수응답을 고찰하겠는데, 이에 앞서 공진현상에 관하여 설명한다.

14.2 공진의 의미

어떤 물체에 외부에서 주기적인 힘을 가하는 경우 그 힘의 주기를 물체가 진동하는 주기에 일치시키면 적은 힘으로도 큰 진동을 일으킬 수 있다는 것은 우리가 일상 경험하는 바이다. 가령 외나무다리를 걸을 때 다리의 상하진동에 보조를 맞추어 걸으면 순식간에 큰 진동이 일어나며, 또 무거운 종이라도 알맞은 주기로 계속 밀고 당겨주면 진폭을 크게 할 수 있다. 이와 같은 현상을 **공진**(resonance)이라고 한다[음의 경우에는 **공명**이라고 한다]. 전기계에도 이와 같은 현상이 있다. 즉, 전기회로에 인가되는 전원의 주파수가 회로 자체의 **고유주파수**(natural frequency)와 일치하면 회로에는 큰 전기적 진동이 일어난다. 전기적 공진회로에는 L과 C의 공존이 필요하며 이것들이 연결되는 방식에 따라서 직렬공진, 병렬공진, 직병렬공진회로 등으로 나누어진다.

14.3 직렬공진회로

그림 14.4와 같은 $R-L-C$ 직렬회로의 입력단자에 연결된 전압원의 전압의 크기를 일정하게 유지하고 주파수만을 변화시킬 때 정상상태에서 회로에 흐르는 전류의 크기와 전류, 전압의 상차가 주파수에 따라 어떻게 변하는가를 고찰하자.

편의상 먼저 임피던스부터 고찰한다. 이 회로의 임피던스는

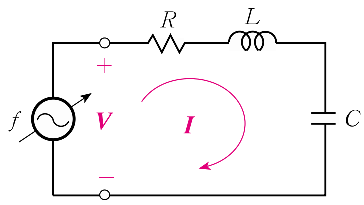


그림 14.4 $R-L-C$ 직렬공진회로

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jX \tag{14.6}$$

단,
$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C} \tag{14.7}$$

따라서
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{14.8}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X}{R} \tag{14.9}$$

그림 14.5에는 $X_L = \omega L$, $X_C = -1/\omega C$ 및 이 양자의 합으로서의 리액턴스 X가 ω에 따라서 어떻게 변하는가를 그렸다. 낮은 주파수에서는 커패시티브 리액턴스가 우세하고 높은 주파수에서는 인덕티브 리액턴스가 우세하며, 이 중간에서 $X = 0$($L-C$ 양단이 단락상태)되는 점이 생긴다. 이 주파수에서는 Z 또는 Y는 순실수가 되고 단자전압과 전류는 동상이 된다. 이때 우리는 회로가 **공진상**

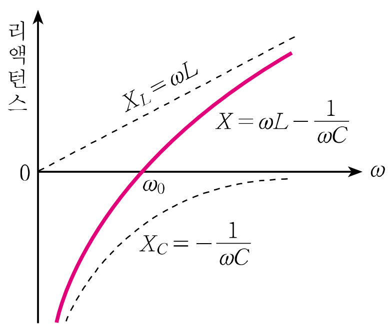


그림 14.5 $R-L-C$ 직렬공진회로의 리액턴스의 주파수에 따른 변화

태에 **있다**라고 말한다.

더 정확히 말하면 일반적으로 2단자회로의 단자전압과 전류가 어떤 특정한 주파수에서 동상이 될 때 이 회로는 그 주파수에서 공진상태에 있다고 한다. 그리고 그 주파수를 **공진주파수**라고 한다. 공진조건을 달리 표현하면 2단자회로의 역률이 1이 되는 경우 또는 Z 또는 Y가 순실수가 되는 경우라고 말할 수 있다. 이것들은 모두 꼭 같은 내용을 다르게 표현한 것이다.

$R-L-C$ 직렬공진회로의 공진주파수*를 ω_0라 하면 $\omega_0 L - \dfrac{1}{\omega_0 C} = 0$이므로

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{또는} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{14.10}$$

그림 14.6 (a)에는 R, X 및 Z의 ω에 따른 변화를 그렸다. Z의 곡선은 식 (14.18)로부터 그려진다. 공진주파수에서는 $X=0$이므로 $Z=R$이고, 임피던스는 최소가 된다. 이 그림에서 R은 주파수에 관계없이 일정한 것으로 가정하였으며 공진점에서 멀어지면 $R \ll |X|$이므로 $Z \simeq |X|$가 된다. 임피던스곡선이 공진주파수 부근에서 좀 둥글지만 대체로 V자형임을 주목하라.

어드미턴스의 주파수특성곡선은 임피던스곡선의 역으로서 그림 14.6 (b)와 같이 그려진다. $\omega=\omega_0$에서 Y는 최대가 되며 그 값은 $1/R$과 같다. 따라서 회로의 손실이 적을수록 Y곡선은 더욱 첨예하게 된다. 이 직렬회로의 인가전압이 일정할 때 회로전류는 어드미턴스에 비례하므로($I=YV$) 그림 (b)의 곡선은 그대로 $R-L-C$ 직렬공진회로의 전류응답곡선이 된다. 그래서 전원주파수가 식 (14.8)에 의하여 정해지는 회로의 공진주파수와 일치할 때 회로에는 최대의 전류

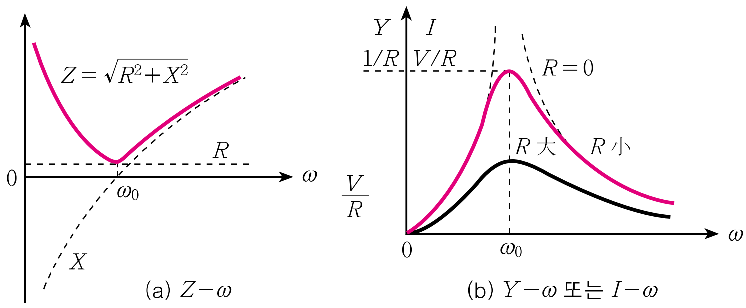


그림 14.6 직렬공진회로의 응답

* 앞으로 각주파수를 간단히 주파수라고 할 때가 있으니 양해하기 바란다.

V/R가 흐르고 공진주파수에서 멀어질수록 전류는 적게 흐른다. 즉, $R-L-C$ 직렬회로는 일종의 대역통과(band-pass) 특성을 갖는 주파수선택회로이다. 회로의 저항이 적으면 공진전류는 매우 크게 되며 L 또는 C 양단에는 매우 큰 전압(인가전압의 수십~수백 배가 될 때도 있다)이 나타난다.

공진회로의 임피던스의 크기, 어드미턴스의 크기 또는 전류의 크기가 주파수에 따라서 변하는 모양을 그린 그림 14.6의 곡선을 **공진곡선**이라고 한다. 공진곡선은 공진회로의 주파수특성을 일목요연하게 나타내므로 널리 이용된다.

[수치예] $R=5\,\Omega$, $L=1\,\text{mH}$, $C=0.1\,\mu\text{F}$의 직렬회로의 공진주파수는 $\omega_0=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}=\dfrac{1}{\sqrt{10^{-3}\times 0.1\times 10^{-6}}}=10^5\,\text{rad/s}$ 또는 $f_0=\dfrac{10^5}{2\pi}=15.915\,\text{kHz}$이고, 공진주파수에서의 입력임피던스는 순저항 $5\,\Omega$이 된다.

14.4 직렬공진회로의 어드미턴스의 규준화

$R-L-C$ 직렬공진회로에서 $\boldsymbol{I}=\boldsymbol{V}/\boldsymbol{Z}=\boldsymbol{Y}\boldsymbol{V}$이고 $\boldsymbol{V}=V\underline{/0^\circ}=$일정할 때 $\boldsymbol{I}\propto\boldsymbol{Y}$. 따라서 주파수에 따른 I의 변화는 주파수에 따른 Y의 변화로부터 알 수 있다.

어드미턴스를 그 최대치 $Y_0=1/R$에 관하여 규준화하고, 주파수를 공진주파수 $\omega_0=1/\sqrt{LC}$에 관하여 규준화하자. 즉,

$$\frac{\boldsymbol{Y}}{Y_0}=\frac{R}{R+j\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)}=\frac{1}{1+j\dfrac{1}{R}\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)}$$

$$=\frac{1}{1+j\dfrac{\omega_0 L}{R}\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}-\dfrac{\omega_0}{\omega}\right)} \tag{14.11}$$

위에서 $\omega_0^2=1/LC$의 관계를 이용하였다. 지금

$$\boxed{Q_0\equiv\frac{\omega_0 L}{R}=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}}\quad (R-L-C\text{ 직렬회로에 대하여}) \tag{14.12}$$

로서 정의되는 원(元)이 없는 양 Q_0를 도입하면 식 (14.11)은 결국

$$\frac{Y}{Y_0} = \frac{1}{1 + j\,Q_0\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)} = \frac{I}{I_0} \quad (I_0\text{은 공진시의 전류}) \tag{14.13}$$

와 같이 표시된다. Q_0는 quality factor의 약인데, 이 수치가 공진회로에서 갖는 중요한 의미는 차차 알려질 것이나, 당분간은 공진시의 리액턴스의 저항에 대한 비라고 알아두면 된다.

식 (14.13)으로부터 규준화된 어드미턴스의 크기는

$$\frac{Y}{Y_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_0^2\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} = \frac{I}{I_0} \tag{14.14}$$

또 어드미턴스의 각은

$$\phi = -\tan^{-1}\left[Q_0\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right] \tag{14.15}$$

와 같이 표시된다. 이 두 식은 매우 중요한 의미를 갖는다. 즉, 직렬공진회로의 규준화된 어드미턴스의 주파수특성이(크기나 각이 모두) Q_0만에 의하여 결정된다는 것이다. 그러므로 2개의 $R-L-C$ 직렬회로의 주파수응답을 비교하자면 양 회로의 Q_0만을 비교하면 족하다는 결론이 생긴다.

그림 14.7은 가로축에 ω/ω_0를 취하여 식 (14.14), (14.15)를 그린 것이다. Q_0가 커짐에 따라(즉, 회로손실 R이 적을수록) 공진곡선은 더욱 첨예해지고 주파

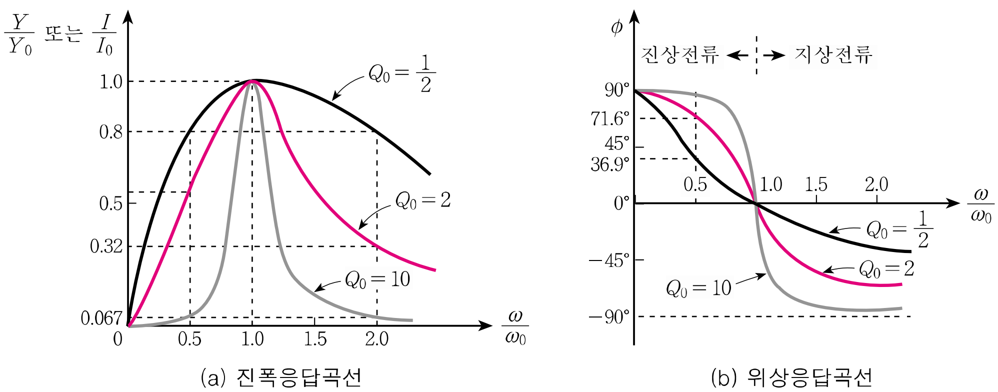


그림 14.7 Q_0의 대소에 따른 $R-L-C$ 직렬공진회로의 규준화된 주파수응답곡선

수선택성이 좋아진다. 즉, Q_0는 공진곡선의 **첨예도**(sharpness)를 나타낸다. 이 공진곡선의 Q_0가 클 때에는 $\omega \simeq \omega_0$에서 대칭에 가까우나 Q_0가 낮을수록 비대칭이 되는 것에 주목하라.

무선공학에서 쓰이는 공진회로의 Q_0는 매우 높다. 예컨대 1000 kHz AM 방송국의 전파는 1000 kHz를 중심으로 약 15 kHz의 대폭을 가지므로, 이것을 선택하기 위한 공진회로의 Q는 $1000/15 = 67$이 되어야 한다(Q가 너무 크면 필요한 신호의 고주파성분이 깎인다).

[수치예] $R = 5\,\Omega$, $L = 1\,\mathrm{mH}$, $C = 0.1\,\mu\mathrm{F}$의 직렬공진회로의 Q_0는 $\dfrac{\omega_0 L}{R}$ 또는 $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{L}{C}}$로부터 20이고, $\omega = \omega_0$에서의 전류와 $\omega = 2\omega_0$ $\left(\text{또는 } \omega = \frac{1}{2}\omega_0\right)$에서의 전류의 비는 $\dfrac{1}{\sqrt{1 + 20^2\left(2 - \dfrac{1}{2}\right)^2}} \simeq \dfrac{1}{30}$

14.5 직렬공진회로의 대폭

직렬공진회로에서 Q_0가 클수록 공진곡선이 첨예해지므로 대폭(BW)이 좁아진다. 이하 Q_0와 대폭간의 정확한 관계를 구해 보자. 최대응답의 $1/\sqrt{2}$을 주는 두 주파수를 ω_1, ω_2 $(\omega_1 < \omega_2)$라 하면 정의에 의하여 대폭은 $BW = \omega_2 - \omega_1$이다(그림 14.8).

일정한 전압하에 $\omega = \omega_1$, ω_2에서는 $\omega = \omega_0$일 때의 전류의 $1/\sqrt{2}$배의 전류가 흐르므로 회로에 공급되는 전력(즉, R에서 소비되는 전력 $P = RI^2$)은 공진시에 공급되는 전력의 반이 된다. 이러한 의미에서 ω_1, ω_2를 **반전력주파수**라고 하며, $BW = \omega_2 - \omega_1$을 특히 **반전력대폭**(단순치 **대폭**이라고도 한다)이라고 명시할 때가 있다. 따라서 일정한 전압하에 $\omega_1 \sim \omega_2$ 사이의 모든 주파수의 신호는 공진전

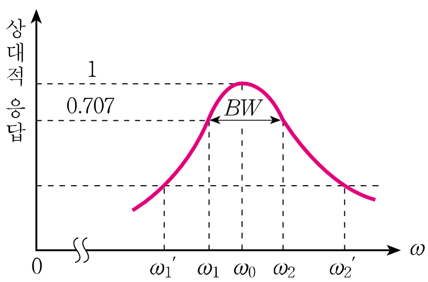


그림 14.8 직렬공진회로의 대폭($\omega_1\omega_2 = \omega_0^2 = \omega_1'\omega_2'$)

력의 반 이상으로 회로에 전달되나 이 범위를 벗어난 주파수의 신호는 공진전력의 반 이하로 저지된다.

ω_1, ω_2는 식 (14.13)의 분모의 허수부를 ± 1로 놓음으로써 구해진다.

$$\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \pm \frac{1}{Q_0} \tag{14.16}$$

에서 우변이 $+$일 때의 해가 ω_2, $-$일 때의 해가 ω_1을 주므로

$$\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2} = \frac{1}{Q_0} \tag{14.17a}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_1} = -\frac{1}{Q_0} \tag{14.17b}$$

각 식을 풀면

$$\omega_2 = \omega_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2Q_0}\right)^2} + \frac{1}{2Q_0} \right] \tag{14.18a}$$

$$\omega_1 = \omega_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2Q_0}\right)^2} - \frac{1}{2Q_0} \right] \tag{14.18b}$$

이들로부터

$$\boxed{\omega_1 \omega_2 = \omega_0^2} \tag{14.19}$$

$$\boxed{BW = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q_0} = \frac{R}{L}} \quad \text{(반전력대폭)} \tag{14.20}$$

즉, 공진주파수가 같을 때 공진회로의 대폭은 회로의 Q_0에 반비례한다. 윗식을 고쳐 쓰면

$$\boxed{\frac{BW}{\omega_0} = \frac{1}{Q_0}} \tag{14.21}$$

이 좌변을 **비대폭**이라고 한다. 폭이 좁은가 넓은가 하는 것은 공진주파수와 비교해서 상대적으로 생각하는 것이 합리적이다. 왜냐하면 가령 1000 rad/s의 대폭은 공진주파수가 5000 rad/s일 때에는 넓다고 하겠으나 공진각주파수가 10^8 rad/s일 때에는 상대적으로 좁다고 밖에 볼 수 없기 때문이다. 이러한 의미

에서 비대폭이 더 중요한 의미를 갖는다. 비대폭은 Q_0의 역수와 같다.

$Q_0 > 10$일 때 식 (14.18), (14.21)로부터

$$\omega_{1,2} \simeq \omega_0 \mp \frac{BW}{2}, \quad \text{단} \quad Q_0 > 10 \tag{14.22}$$

즉, Q_0가 크면 ω_1, ω_2는 ω_0 상하에서 같은 양($BW/2$)만큼 떨어짐을 알 수 있다.

예제 14.1

$R = 5\,\Omega$, $L = 0.1\,\text{mH}$, $C = 0.01\,\mu\text{F}$의 직렬회로에서 다음을 구하라.

(a) 공진주파수 (b) Q_0

(c) BW (d) 반전력주파수 ω_1, ω_2

(e) R이 10배가 되면 (a)~(d)는 어떻게 되겠는가?

풀 이

(a) $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{\sqrt{10^{-4} 10^{-8}}} = 10^6\,\text{rad/s} \quad \left(f_0 = \dfrac{10^6}{2\pi} = 159.2\,\text{kHz}\right)$

(b) $Q_0 = \dfrac{\omega_0 L}{R} = \dfrac{10^6 \times 10^{-4}}{5} = 20 \quad \left(\text{또는 } Q_0 = \dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{L}{C}} = \dfrac{1}{5}\sqrt{\dfrac{10^{-4}}{10^{-8}}} = 20\right)$

(c) $BW = \dfrac{10^6}{20} = 50\,\text{krad/s}\ (= 7.958\,\text{kHz})$

(d) Q_0가 매우 크므로

$\omega_1 = \omega_0 - \dfrac{BW}{2} = 1025\,\text{krad/s} \ \ (f_1 = 163.1\,\text{kHz})$

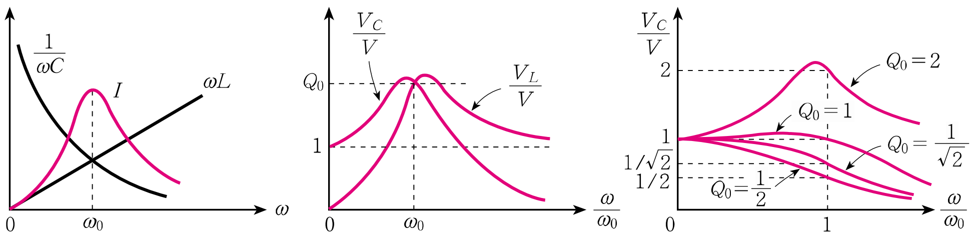
$\omega_2 = \omega_0 + \dfrac{BW}{2} = 975\,\text{krad/s} \ \ (f_2 = 155.2\,\text{kHz})$

(e) ω_0는 그대로이고 Q_0와 BW는 0.1배가 된다. Q_0는 그밖에 안되므로 ω_1, ω_2는 식 (14.18)로써 $\omega_1 = 972.6\,\text{krad/s}$, $\omega_2 = 1024.6\,\text{krad/s}$로 구할 수 있다.

14.6 직렬공진회로의 전압응답

이때까지는 $R-L-C$ 직렬회로의 전류응답을 주로 취급하였으나 실제에서는 L 또는 양단의 전압응답도 중요하다.

공진시, $V_L = j\omega_0 L I_0$ 및 $V_C = -j\dfrac{1}{\omega_0 C} I_0$에 $I_0 = V/R$, $Q_0 = \dfrac{\omega_0 L}{R} = \dfrac{1}{R\omega_0 C}$을 대입하면



(a) 전류 및 리액턴스의 변화 ($Q_0 \simeq 2$)　(b) V_L, V_C의 변화 ($Q_0 \simeq 2$)　(c) Q_0가 낮을 때의 V_C의 변화

그림 14.9 직렬공진회로의 L, C 양단전압의 진폭응답

$$\boldsymbol{V_L = -V_C = jQ_0 V}, \quad V_L = V_C = Q_0 V \text{ (공진시)} \tag{14.23}$$

즉, $R-L-C$ 직렬회로가 공진상태에 있으면 L 또는 C 양단에 인가전압의 Q_0 배의 전압이 나타난다. 그러므로 Q_0가 큰 직렬공진회로는 공진주파수에 대해서는 일종의 전압증폭기의 역할을 한다. 참고로 공진시에는 $\boldsymbol{V_L} + \boldsymbol{V_C} = 0$이므로 $L-C$ 양단은 단락상태가 된다(이것은 $\boldsymbol{Z} = R + j0$으로부터도 설명된다).

그림 14.9 (b)는 그림 (a)의 전류곡선과 리액턴스곡선을 곱함으로써 얻은 V_L, V_C의 진폭응답곡선이다($Q_0 \simeq 2$). 특히 Q_0가 클 때 $\omega \simeq \omega_0$에서는 I의 변화가 리액턴스의 변화보다 훨씬 급격하므로 대체로 I의 변화에 따른다(그러나 $\omega \to 0$에서 $V_C \to V$, $\omega \to \infty$에서 $V_L \to V$).

그림 (c)에는 Q_0가 낮은 몇 가지 값에 대한 V_C의 진폭응답곡선을 그렸다. 특히 $Q_0 < 1/\sqrt{2}$일 때에는 피크가 생기지 않는 저역통과의 특성을 갖게 된다.

예제 14.2

$R = 18\,\Omega$, $L = 150\,\mu\text{H}$인 코일과 손실을 무시할 수 있는 가변커패시터(소위 **바리콘**)가 $719\,\text{kHz}$, $1\,\text{mV}$의 전원에 직렬로 연결된 회로가 있다. 다음을 구하라.

(a) 회로를 전원주파수에 공진시키는 데 필요한 가변커패시터의 커패시턴스

(b) 공진시의 회로의 Q_0

(c) 공진시의 커패시터 양단의 전압의 크기

(d) 반전력대폭

풀 이

(a) $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 로부터

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L} = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times (710 \times 10^3)^2 \times 150 \times 10^{-6}} = 336\,\mu\mu\text{F}$$

(b) $Q_0 = \dfrac{\omega_0 L}{R} = \dfrac{2\pi \times 710 \times 10^3 \times 150 \times 10^{-6}}{18} = 37.2$

(c) 공진시 $V_C = Q_0 V = 37.2 \times 1 = 37.2\,\mathrm{mV}$

(d) $BW = \dfrac{f_0}{Q_0} = \dfrac{710}{37.2} = 19.1\,\mathrm{kHz}$

연/습/문/제

14.1 그림 p 14.1의 각 회로에서

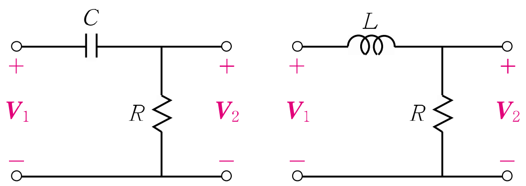
(a) V_2 / V_1 에 대한 표시식을 써라.

(b) 최대응답의 $1/\sqrt{2}$ 의 응답을 주는 주파수 f_0 를 구하라.

(c) $2f_0$ 에서의 상대적 응답 및 위상각을 구하라.

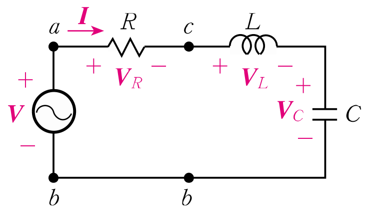
(d) 규준화된 진폭응답곡선 및 위상응답곡선을 그려라. 단, 주파수는 f_0 에 관하여 규준화하라.

(e) 어떤 주파수 선택회로인가를 말하라.



(a) (b)

그림 p 14.1



$R = 10\Omega$, $L = 10^{-3}$H, $C = 10^{-7}$F, $V = 0.1$V

그림 p 14.2

14.2 그림 p 14.2의 $R-L-C$ 직렬회로에서 다음을 구하라.

(a) 공진주파수 f_0 (b) 공진시의 Y_{ab} (c) 공진시의 전류 I_0

14.3 $R-L-C$ 직렬공진회로에서 $L = 10^{-3}$H, $C = 10^{-7}$F이다. 공진주파수를 구하고 이를 중심으로 한 대폭이 200Hz가 되도록 R의 값을 결정하라.

14.4 그림 p 14.4의 대역통과필터에서 중심주파수 1000rad/s, $BW = 100$rad/s가 되도록 L, R을 결정하라.

14.5 그림 p 14.5의 회로에서 공진주파수와 공진시의 $v_o(t)$를 구하라.

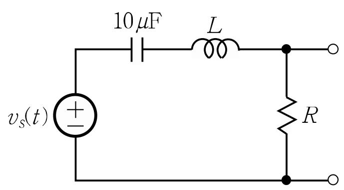


그림 p 14.4

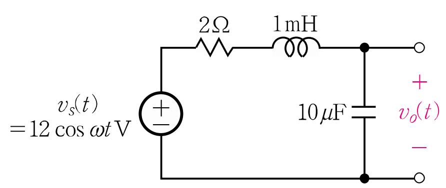


그림 p 14.5

14.6 그림 p 14.2의 $R-L-C$ 직렬회로에서 다음을 구하라.

(a) Q_0 (b) 반전력대폭 BW (c) 반전력주파수 f_1, f_2

(d) 주파수에 따른 $\left|\dfrac{I}{I_0}\right|$의 변화(그림으로 그려라 — 공진곡선)

14.7 그림 p 14.2의 $R-L-C$ 직렬회로에서 공진주파수 $f=f_0$, 반전력주파수 $f=f_1$ 및 f_2의 각각에서의 Y_{ab}, I, V_R, V_L, V_C, V_{ab}의 값을 구하라.

14.8 그림 p 14.2의 $R-L-C$ 직렬회로에서 공진주파수 $f=f_0$, $f=f_1$ 및 $f=f_2$의 각각에서 $\boldsymbol{I}$를 기준페이저로 할 때의 $\boldsymbol{V}$, $\boldsymbol{V}_R$, $\boldsymbol{V}_L$, $\boldsymbol{V}_C$, $\boldsymbol{V}_{cb}$의 페이저도를 그려라.

14.9 그림 p 14.2의 회로에서 만일 R을 2배로 하면 문제 14.2～14.4에서 어떤 변화가 생기는가를 말하라(예컨대 몇 배로 증가, 감소, 불변 등).

14.10 $R-L-C$ 직렬공진회로가 있다. C는 40 pF에서 350 pF까지 변할 수 있는 바리콘(varicon)이다.

(a) L을 얼마로 하면 최저공진주파수를 530 kHz로 할 수 있는가?

(b) 이와 같이 L을 정할 때 이 회로의 최고공진주파수는 얼마인가?

14.11 $R-L-C$ 직렬공진회로에서 공진주파수 = 1 MHz, 반전력대폭 = 20 kHz, 공진주파수에서의 임피던스의 크기 = 50 Ω이 되도록 설계하고자 한다.

(a) R, L, C의 값을 정하라.

(b) 반전력주파수를 구하라.