17 비사인주기파

이제까지 우리는 주로 사인파(일종의 주기파)를 취급하였다. 그러나 비사인주기파도 공학적으로 자주 발생하며 그 성질과 이런 파형에 대한 선형회로의 응답을 구명하는 것은 매우 중요하다. 그런데 이 장에서 배우겠지만 어떠한 파형의 주기파라도 이것을 상이한 주파수를 갖는 여러 개의 사인파의 합으로써 표시할 수 있다. 그러므로 회로가 선형이면 중첩의 원리를 적용하여 각 성분사인파에 대한 시간적 응답을 보통의 교류회로이론에 의하여 구하고 그 결과를 합함으로써 비사인주기파에 대한 응답을 구할 수 있다.

이 장의 목적은 비사인주기파를 여러 개의 사인파의 합으로써 표시하는 방법 ── 이것을 **푸리에분석**(Fourier analysis)이라 함 ── 과 비사인주기파에 대한 선형회로의 응답을 구하는 데 있다. 초학자에게는 불필요한 복잡한 수식유도를 생략하는 대신 푸리에급수의 응용면을 중시하면서 기술한다.

17.1 비사인주기파

2개 또는 그 이상의 상이한 주파수의 사인파를 합하면 비사인파가 생긴다. 특히 어떤 주파수의 사인파 $f_1(t)$가 그 정수배의 주파수를 갖는 사인파 $f_i(t)$ $(i=2, 3, 4, \cdots)$들을 합하면 $f_1(t)$와 동일한 주기를 갖는 비사인파가 얻어진다. 이때 $f_1(t)$를 **기본파**(fundamental wave), $f_i(t)$를 **고조파**(harmonics)라고 한다. 그림 17.1의 (a), (b)는 각각 기본파와 제 2 고조파, 기본파와 제 3 고조파를 합해서 비사인주기파가 얻어짐을 보인다. 이것으로부터 여러 가지 진폭, 위상관계를 갖는 많은 고조파를 합함으로써 실로 다양한 파형의 **비사인주기파**(non-sinusoidal periodic wave)가 얻어짐을 알 수 있다. 반대로 임의의 비사인주기파는 이와 동일한 주기를 갖는 기본파와 그 정수배의 주파수(정수분의 1의 주기)를 갖는 고조파들과의 합으로써 나타낼 수 있음을 짐작할 수 있다. 다음 절에서는 비사인주기파(이하 단순히 비사인파라 부르겠음)의 성분주파수의 진폭 및 위상을 구하는 방법을 기술한다. 사인파가 비선형소자(다이오드, 과구동 또는 스위칭되는 트랜지스터, 또는 철심변압기 등)에 인가되면 비사인파가 생기고 또 실험실에서 쓰는 function genertor는 각종 비사인주기파를 발생시킨다.

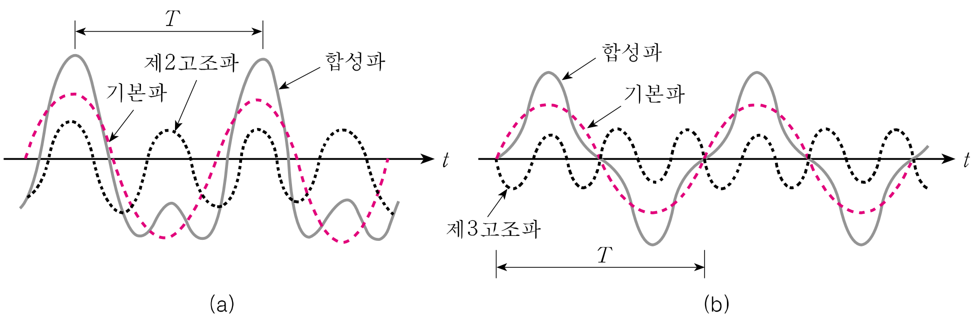


그림 17.1 기본파와 고조파의 합

17.2 푸리에급수에 의한 비사인파의 전개

일반적으로 주기 T인 비사인파를 $f(t)$라 하면

$$f(t) = f(t+T) \tag{17.1}$$

이고, 이것은 다음과 같은 **푸리에급수**(Fourier series)로 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} f(t) = &\ a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \cdots + a_n \cos n\omega_0 t + \cdots \\ &+ b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + \cdots + b_n \sin n\omega_0 t + \cdots \end{aligned}$$

또는
$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}a_n\cos n\omega_0 t+\sum_{n=1}^{\infty}b_n\sin n\omega_0 t \tag{17.2}$$

여기서 ω_0 는 비사인파의 주기 T 및 주파수 f_0 와 다음 관계를 갖는다.

$$\omega_0=\frac{2\pi}{T}=2\pi f_0 \tag{17.3}$$

비사인파가 주어지면 그 주기, 따라서 각주파수 ω_0 를 알 수 있으므로 푸리에급수 전개에서 각 계수들 —— 이것을 **푸리에계수**라고 함 —— 을 구하는 것이 문제가 된다. 유도는 생략하고 결과만 적으면

$$a_0=\frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}f(\omega_0 t)d(\omega_0 t) \tag{17.4}$$

a_0 는 주기함수의 1주기간의 평균치이고 이것을 보통 **직류성분**이라고 한다. 이 일정한 a_0 는 파형의 관찰로부터 쉽게 구할 수 있는 경우가 많다.

$$a_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos n\omega_0 t\,dt=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}f(\omega_0 t)\cos n\omega_0 t\,d(\omega_0 t)$$
$$(n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots) \tag{17.5}$$

$$b_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin n\omega_0 t\,dt=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}f(\omega_0 t)\sin n\omega_0 t\,d(\omega_0 t)$$
$$(n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots) \tag{17.6}$$

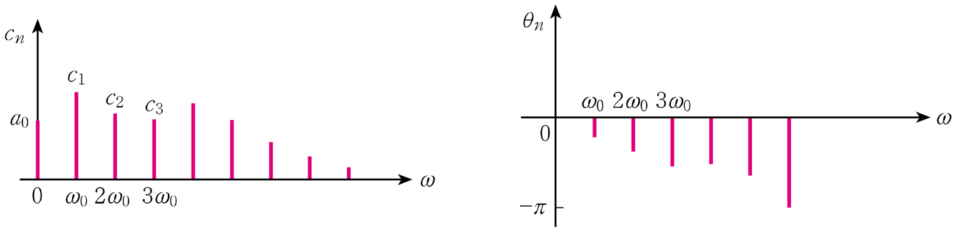
푸리에급수식 (17.2)에서 동일주파수의 cos 항과 sin 항을 결합하면 sin 항만으로 표시할 수 있다. 즉, 식 (7.23)의 유도과정을 거치면

$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}c_n\sin(n\omega_0 t+\theta_n) \tag{17.7}$$

단,
$$c_n=\sqrt{a_n^2+b_n^2}\qquad (n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots) \tag{17.8}$$

$$\theta_n=\tan^{-1}\frac{a_n}{b_n}\qquad (n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots) \tag{17.9}$$

식 (17.7)로부터 명백히 알 수 있는 바와 같이 임의의 주기함수는 그 평균치



(a) 진폭스펙트럼 (b) 위상스펙트럼

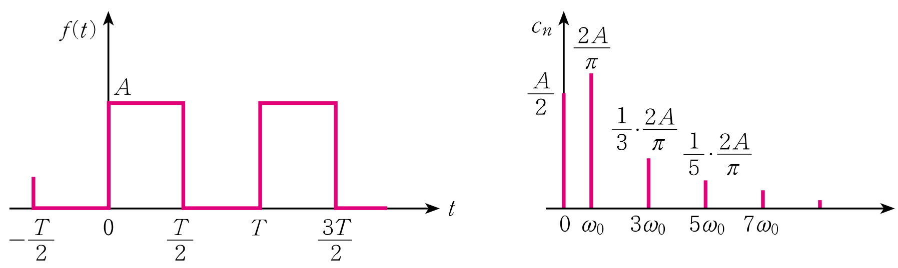
그림 17.2 **주파수스펙트럼의 한 예**

(즉, DC 성분), 주기함수와 동일주파수를 갖는 사인파(즉, 기본파) 및 그 정수배의 주파수를 갖는 사인파(즉, 고조파)로 분해할 수 있다. 이와 같이 분해하는 것을 **푸리에분석** 또는 **조파분석**(harmonic analysis)이라고 한다. 각 성분파의 진폭과 위상은 각각 식 (17.8), (17.9)로 주어진다.

c_n의 크기와 θ_n을 주파수에 대하여 그린 그래프를 각각 **진폭스펙트럼**, **위상스펙트럼**이라고 부르며, 양자를 병칭하여 **주파수스펙트럼**이라고 한다. 이 그래프들이 선으로 될 것은 명백하다. 그림 17.2는 주파수스펙트럼의 일례로, $\omega = 0$에 대한 것은 DC 성분이며 많은 경우 진폭스펙트럼만이 문제된다. 위상스펙트럼은 시간원점의 선택에 따라 달라진다. 주기함수의 주기 T가 증가할수록(즉, ω_0가 감소할수록) 스펙트럼 간격이 좁아진다.

예제 17.1

그림 17.3 (a)에 표시된 **정구형파**를 푸리에급수로 전개하여라.



(a) 구형파 (b) 진폭스펙트럼

그림 17.3 **예제 17.1의 그림**

풀 이

먼저 주어진 파형에 대한 1주기간($0 < t < T$)의 표시식을 쓴다.

$$f(t) = \begin{cases} A, & 0 < t < T/2 \\ 0, & T/2 < t < T \end{cases}$$

DC 성분은 파형의 관찰로부터

$$a_0 = \left(A \times \frac{T}{2}\right) \Big/ T = \frac{A}{2}$$

다음에 cos 항의 계수 a_n 은 식 (17.5)에 의하여

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos n\omega_0 t\, dt = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} A\cos n\omega_0 t\, dt$$

$$= \frac{2A}{n\omega_0 T}\left[\sin n\omega_0 t\right]_2^{T/2} = \frac{a}{n\pi}\sin n\pi = 0$$

즉, cos 항은 없다. 마지막으로 sin 항의 계수 b_n은 식 (17.6)에 의하여

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin n\omega_0 t\, dt = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} A\sin n\omega_0 t\, dt$$

$$= \frac{2A}{n\omega_0 T}\left[-\cos n\omega_0 T\right]_0^{T/2} = \frac{A}{n\pi}(1-\cos n\pi)$$

$$= \begin{cases} 0 & ;\ n = 2, 4, 6, \cdots \\ \dfrac{2A}{n\pi} & ;\ n = 1, 3, 5, \cdots \end{cases}$$

이상으로

$$f(t) = \frac{A}{2} + \frac{2A}{\pi}\left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t + \cdots\right) \tag{17.10}$$

여기서 ω_0 는 정구형파의 주기 T 와 $\omega_0 = 2\pi / T$ 의 관계가 있다. 이 파의 진폭스펙트럼은 그림 17.3 (b)와 같다. 모든 n 에 대하여 $\theta_n = 0$ 이므로 위상스펙트럼은 표시할 필요가 없다.

17.3 푸리에급수의 예

대표적인 비사인파에 대한 푸리에급수 전개식을 들고 진폭스펙트럼을 그린다.

【예 1】 구형파(그림 17.4)

$$f(t) = \frac{4}{\pi}A\left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t + \cdots\right) \tag{17.11}$$

[식 (17.10)과 비교]

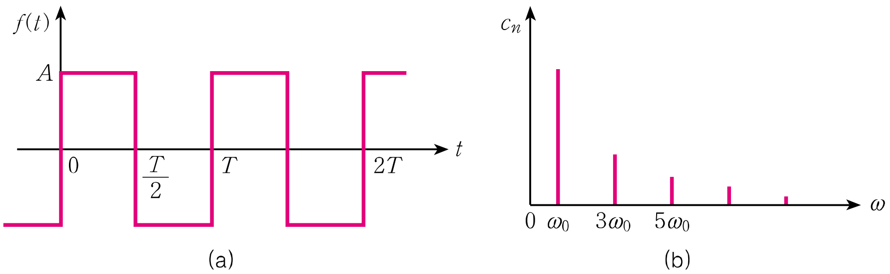


그림 17.4 구 형 파

【예 2】 톱니파(그림 17.5)

$$f(t)=\frac{2}{\pi}A\left(\sin\omega_0 t-\frac{1}{2}\sin 2\omega_0 t+\frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t-\cdots\right) \tag{17.12}$$

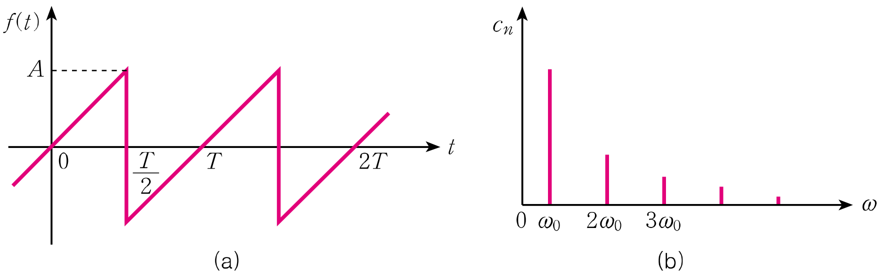


그림 17.5 톱 니 파

【예 3】 삼각형파(그림 17.6)

$$f(t)=\frac{8A}{\pi^2}\left(\sin\omega_0 t-\frac{1}{3^2}\sin 3\omega_0 t+\frac{1}{5^2}\sin 5\omega_0 t-\cdots\right) \tag{17.13}$$

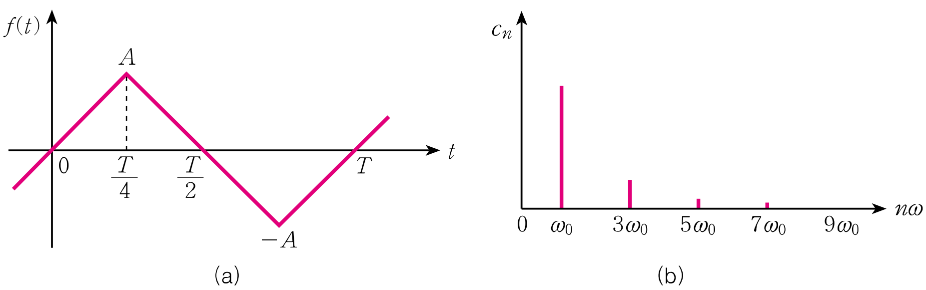


그림 17.6 삼각형파

【예 4】 반파정류파(그림 17.7)

$$f(t)=\frac{A}{\pi}+\frac{A}{2}\cos\omega_0 t+\frac{2A}{\pi}\left(\frac{1}{3}\cos 2\omega_0 t-\frac{1}{3\cdot 5}\cos 4\omega_0 t\right.$$
$$\left.+\frac{1}{5\cdot 7}\cos 6\omega_0 t-\cdots\right) \tag{17.14}$$

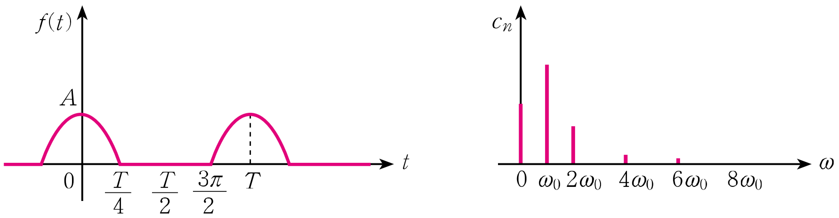
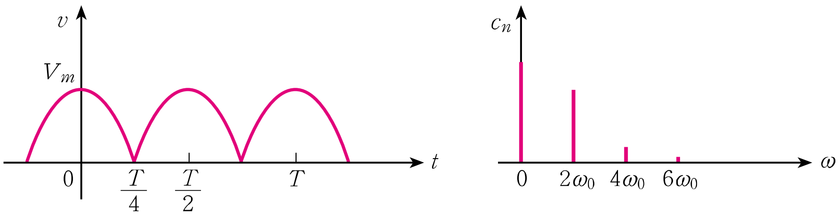


그림 17.7 반파정류파

【예 5】 전파정류파(그림 17.8)

$$f(t)=\frac{2A}{\pi}+\frac{4A}{\pi}\left(\frac{1}{3}\cos 2\omega_0 t-\frac{1}{3\cdot 5}\cos 4\omega_0 t+\frac{1}{5\cdot 7}\cos 6\omega_0 t-\cdots\right) \tag{17.15}$$



(a) (b)

그림 17.8 전파정류파

비사인주기파 $f(t)$의 푸리에급수에서 성립되는 몇 가지 사실들을 증명 없이 나열한다.

1. **대 칭 성**

(1) $f(t)$가 **짝함수**이면, 즉 $f(t)=f(-t)$이면 그 푸리에급수는 sin 항을 갖지 않는다 —— 식 (17.14), (17.15).

(2) $f(t)$가 **홀함수**이면, 즉 $f(t)=-f(-t)$이면 그 푸리에급수는 cos 항을 갖지 않는다 —— 식 (17.11), (17.12), (17.13).

(3) $f(t)$가 **반파대칭**이면, 즉 $f(t) = -f\left(t \pm \frac{T}{2}\right)$이면 그 푸리에급수는 짝수 고조파성분을 갖지 않는다 ── 식 (17.11), (17.13).

2. 파형의 이동(shift)

(1) $f(t)$의 파형을 상하로 이동시키면 DC 성분만 변할 뿐, 다른 스펙트럼(진폭 및 위상)은 불변이다.

(2) $f(t)$의 파형을 좌우로(시간축에 따라서) 이동시키면 위상스펙트럼만이 변한다.

예제 17.2

그림 17.6에 대한 삼각형파의 푸리에급수가 식 (17.3)과 같이 됨을 유도하라.

풀 이

관찰에 의하여 이 주기파는 기함수인 동시에 반파대칭임을 알 수 있다. 따라서 그 푸리에급수의 전개식은 n이 기수인 b_n항만 포함된다. 그리고 그 계수를 구하는 데는 1/4주기간만 평균하여 2배하여 주면 된다. 즉,

$$b_n = \frac{8}{T}\int_0^{T/4} f(t)\sin n\omega_0 t\,dt \quad (n = 1,\ 3,\ 5,\ \cdots)$$

$$f(t) = \frac{4A}{T}t, \qquad 0 \leqq t \leqq T/4$$

이므로 $$b_n = \frac{32A}{T^2}\int_0^{T/4} t\sin n\omega_0 t\,dt$$

$$= \frac{32A}{T^2}\left[\frac{1}{n^2\omega_0^2}\sin n\omega_0 t - \frac{1}{n\omega_0}t\cos n\omega_0 t\right]_0^{T/4}$$

$$= \frac{8A}{n^2\pi^2}\sin\frac{n\pi}{2} \qquad (n : \text{기수})$$

$$= \begin{cases} \dfrac{8A}{n^2\pi^2} & ;\ n = 1,\ 5,\ 9,\ \cdots \text{일 때} \\[2ex] -\dfrac{8A}{n^2\pi^2} & ;\ n = 3,\ 7,\ 11, \cdots \text{일 때} \end{cases}$$

그러므로 $$f(t) = \frac{8A}{\pi^2}\left[\sin\omega_0 t - \frac{1}{3^2}\sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5^2}\sin 5\omega_0 t - \cdots\right]$$

17.4 비사인파에 대한 선형회로의 정상상태의 응답

앞의 두 절에서 우리는 비사인파를 푸리에급수로 전개함으로써 비사인파의 실효치, 전력 등이 각 성분파의 그것들에 의하여 간단하게 표시됨을 알았다. 선형

회로해석에서의 조파분석의 중요성은 이보다도 다음과 같은 사실에 있다. 즉, 선형회로에서는 중첩의 원리가 적용되므로 비사인파에 대한 정상상태의 응답을 구하려면

(1) 전원함수(전원전압 또는 전원전류의 시간함수를 의미함)를 조파분석하고
(2) 각 성분파에 의한 응답을 개별적으로 구하고
(3) 그 각 응답의 순간치표시를 합하면 된다.

이 제 2 과정에서 각 성분파는 사인파이므로 우리는 페이저를 이용하는 보통의 교류이론을 적용할 수 있다. 주의할 것은 제 3의 과정에서는 반드시 각 조파의 순간치를 합해야 하며, 그들의 페이저를 합해서는 안된다는 것이다. 그것은 각 조파의 주파수가 다르기 때문이다.

예제 17.3

그림 17.9 (a)는 정류기의 출력의 맥동을 제거하기 위하여 쓰이는 필터회로이다. 정류기의 출력전압(= 필터의 입력전압)이 그림 (b)와 같이 최대치 V_m, 60 Hz의 전파정류기일 때 200 Ω 부하 양단에 나타나는 전압의 순간치표시식을 구하고 파형을 그려라.

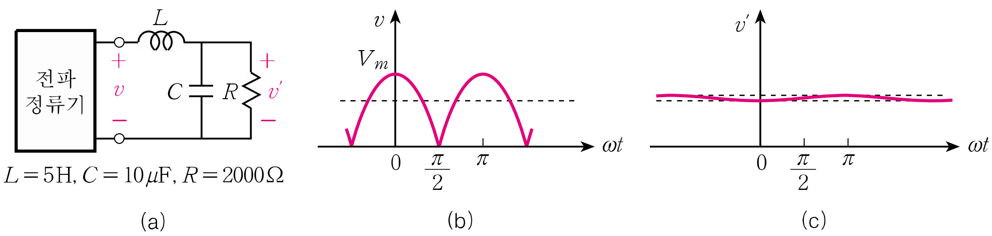


그림 17.9 저역통과필터회로

풀 이

우선 필터의 입력전압을 푸리에급수로 전개하면[식 (17.15)]

$$v=\frac{2V_m}{\pi}+\frac{4V_m}{\pi}\left(\frac{1}{3}\cos 2\omega_0-\frac{1}{15}\cos 4\omega_0 t+\frac{1}{35}\cos 6\omega_0 t-\cdots\right)$$

여기서 $\omega_0=377\,\text{rad/s}$

이 회로의 전달전압비를 $\boldsymbol{H}(j\omega)$라 하면 전압분배의 법칙에 의하여

$$\boldsymbol{H}(j\omega)=\frac{\boldsymbol{V}'}{\boldsymbol{V}}=\frac{\dfrac{R}{j\omega RC+1}}{j\omega L+\dfrac{R}{j\omega RC+1}}=\frac{1}{1-\omega^2 LC+j\omega L/R}$$

주파수는 기본주파수의 정수배인 불연속적인 값을 취하므로 윗식에서 $\omega=n\omega_0$라 놓고

주어진 수치를 대입하면

$$H(jn\omega_0) = \frac{V'}{V}\bigg|_{\omega=n\omega_0} = \frac{1}{1-n^2\omega_0^2LC+jn\omega_0L/R}$$
$$= \frac{1}{1-n^2\times 7.11+jn\times 0.943}$$

이것을 각 성분주파수($n=0, 2, 4, \cdots$)에 대하여 계산하여 아래 표를 얻는다. 단, 사인파의 페이저표시는 $A\cos\omega_0 t$ 를 $A\underline{/0°}$ 로 하였다(구태여 $A\underline{/90°}$ 로 할 필요가 없다).

n	0	2	4
V_n	$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{4V_m}{\pi}\frac{1}{3}\underline{/0°}$	$-\frac{4V_m}{\pi}\frac{1}{15}\underline{/0°}$
H_n	1	$0.0364\underline{/-176.1°}$	$0.0093\underline{/-178.1°}$
$V_n'=H_nV_n$	$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{2V_m}{\pi}0.0242\underline{/-176.1°}$	$-\frac{2V_m}{\pi}0.0012\underline{/-178.1°}$

이상으로

$$v'(t) = \frac{2V_m}{\pi}[1+0.0242\cos(2\omega_0 t-176.1°)-0.0012\cos(4\omega_0 t-178.1°)+\cdots]$$

그림 17.9 (c)에는 출력전압의 시간적 변화를 그렸다. 여파기의 입력파가 리플(ripple ; 맥동)이 심한 전파정류파인 데 반하여 출력파는 거의 리플이 없는 DC이다. 제 2 고조파(120 Hz)는 DC 성분의 2.4%, 제 4 조파는 0.12%밖에 안된다. 한편 DC 성분은 입력측에서나 출력측에서 동일하다 —— 이것은 DC 전압에 대해서는 L은 단락상태, C는 개방상태가 되기 때문이다. 이 회로에서 $\omega=2\omega_0$에 대하여 X_L이 $R /\!/ C$의 임피던스에 비하여 크면 리플전류는 감소되고, $|X_C| \ll R$이면 그것이 C로 바이패스(by-pass)되므로 리플전압이 적어진다.

시간영역과 주파수영역에서의 해석

위의 예제에서 보듯이 입력파에 포함된 각 고조파는 회로에 의하여 변화를 받아서 출력에 나타난다. 더 자세히 말하면 $|V_n'|=|H_n||V_n|$이므로 출력파의 각 고조파의 진폭은 이에 대응하는 입력파의 고조파의 진폭에 그 주파수에서의 전달함수의 크기를 곱한 것과 같고, 또 $\underline{/V_n'}=\underline{/H_n}+\underline{/V_n}$이므로 출력파의 각 고조파의 위상각은 이에 대응하는 입력파의 고조파의 위상각에 그 주파수에서의 전달함수의 각을 합한 것과 같다. 이것을 주파수스펙트럼을 빌어서 달리 표현하면 출력파의 진폭스펙트럼의 각 선의 길이는 입력파의 진폭스펙트럼의 길이에 진폭응답곡선의 그 주파수에서의 높이를 곱한 것과 같고, 또 출력파의 위상스펙

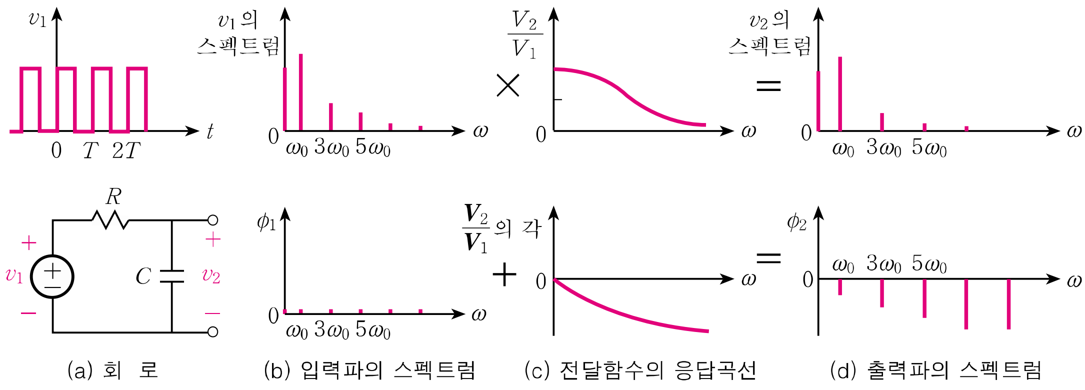


그림 17.10 $R-C$ **회로의 주파수응답과 주파수스펙트럼**

트럼의 각 선의 길이는 입력파의 위상스펙트럼의 길이에 위상응답곡선의 그 주파수에서의 값을 합한 것과 같다.

그림 17.10은 $R-C$ 회로의 입력측에 구형파의 전압이 가해질 때 C 양단에 나타나는 전압파의 주파수스펙트럼을 구하는 과정을 표시한 것이다($R-C$ 회로의 주파수응답곡선은 그림 14.2 참고).

이와 같이 신호전달의 문제를 다루는 데 있어서 시간함수로서의 입력신호파가 회로에 의하여 어떠한 변화를 받아서 출력측에 나타나는가 하는 것을 구명하는 것보다 입력파의 주파수스펙트럼이 회로에 의하여 어떠한 변화를 받는가 하는 것을 구명하는 것이, 즉 **시간영역**(time domain)에서 생각하는 것보다 **주파수영역**에서 생각하는 것이 훨씬 더 취급하기 쉽고 또 중요한 의미를 가질 때가 있다. 가령 예제 17.3의 필터문제에서 우리는 출력전압의 시간함수의 완전한 표시식이나 또는 출력전압의 정확한 파형 자체보다는 출력파에 포함된 리플전압의 개략치만 알면 되는 것이며, 이것은 입력파의 제 2 고조파의 진폭에 전달함수의 이 주파수에서의 크기를 곱한 것으로부터 알 수 있다.

예제 17.4

그림 17.11 (a)에서 전류원은 높이 I, 기본주파수 ω_0인 구형파를 발생한다. 병렬회로의 공진주파수가 $3\omega_0$일 때

(a) 정확한 해석에 앞서 출력전압 v의 파형에 대하여 어떤 예측을 할 수 있는가?

(b) 공진회로의 Q가 10일 때 $\omega=\omega_0,\ 3\omega_0,\ 5\omega_0$에서의 출력파의 주파수성분을 구하라.

풀 이

(a) 주파수영역에서 고찰하는 것이 가장 이해하기 쉽다. 그림 (b)의 입력전류파의 스펙트럼[식 (17.10) 참조]과 그림 (c)의 병렬공진회로의 임피던스의 주파수특성을 곱

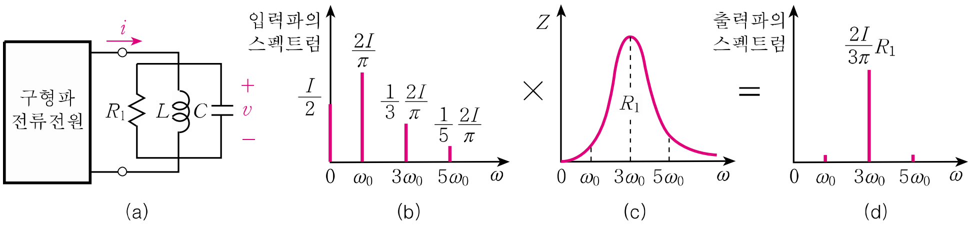


그림 17.11 **구형파전류원으로 구동되는 병렬공진회로**(i는 높이 I인 구형파)

합으로써 출력전압의 스펙트럼이 그림 (c)와 같이 얻어진다. 공진회로의 Q가 클수록 공진곡선이 더 좁아지므로 $\omega = \omega_0, 5\omega_0, 7\omega_0, \cdots$ 등에서의 출력파의 진폭이 공진주파수 $3\omega_0$에서의 진폭에 비해서 작아지고, 따라서 출력전압은 진폭 $\frac{2I}{3\pi}R_1$인 순사인파에 가까워지리라는 것을 예측할 수 있다. 즉, Q를 매우 크게 하면 구형파로부터 그 3배 주파수의 순사인파를 얻을 수 있다.

(b) 병렬공진회로의 임피던스는 식 (15.5)를 이용하여 구할 수 있다. 이 문제에서 공진주파수는 $3\omega_0$이므로

$$\left.\frac{Z}{R_1}\right|_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{1+10^2\left(\frac{1}{3}-3\right)^2}} = 0.0375$$

$$\left.\frac{Z}{R_1}\right|_{\omega=5\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{1+10^2\left(\frac{5}{3}-\frac{3}{5}\right)^2}} = 0.0933$$

따라서 출력전압의 주파수성분은 공진주파수 $3\omega_0$에서의 진폭 $\frac{2I}{3\pi}R_1 = V_0$라 할 때

$$\left.\frac{V}{V_0}\right|_{\omega=\omega_0} = 3\times 0.0375 = 0.113$$

$$\left.\frac{V}{V_0}\right|_{\omega=5\omega_0} = \frac{3}{5}\times 0.0933 = 0.056$$

연/습/문/제

17.1 다음 각 함수의 곡선을 그려라.

(a) $f(t) = 100\sin\omega t + 5\cos 2\omega t$

(b) $f(t) = 100\sin\omega t + 5\sin(3\omega t + 60°)$

17.2 입·출력 관계가 $v_o = kv_i^2$과 같이 표현되는 비선형소자에 입력 $v_i = V_0 + V_1 \sin\omega t$를 인가할 때 나타나는 출력 v_o(그림 p 17.2)의 DC 성분, 기본파성분, 제 2 고조파성분을 구하라.

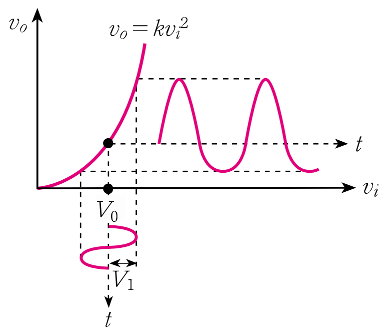


그림 p 17.2

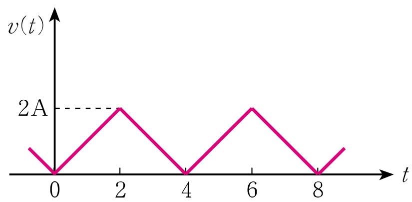


그림 p 17.3

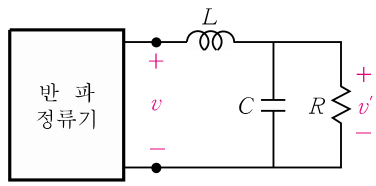
17.3 그림 p 17.3의 주기파형에 대한 푸리에급수의 계수(a_0, a_n, b_n) 중에서 어떤 것들이 0이 되는지 파형의 대칭성에 의하여 판단하라. 또 세로축을 $t = 1$만큼 우측으로 이동시키면 어떻게 되겠는가?

17.4 그림 17.6을 A만큼 위쪽으로 이동시킨 파형에 대한 푸리에급수의 표시식을 써라.

17.5 $R-C$ 직렬회로에 $v = 10 + 10\cos\omega_0 t + 5\cos 3\omega_0 t$로 표시되는 전압이 인가될 때 정상상태에서 C 양단에 나타나는 전압의 순간치표시식을 구하라. 단, $R = 1/\omega_0 C$이라고 한다. (힌트 : 중첩의 정리 이용)

17.6 그림 17.4의 구형파전압(주기는 2π ms라고 함)이 $R = 5\,\Omega$, $L = 1$ mH의 직렬회로에 인가될 때 R 양단에 나타나는 전압에 대한 진폭 및 위상스펙트럼을 그려라.

17.7 그림 p 17.7의 필터회로에서 입력전압이 60 Hz 반파정류일 때 출력전압에서의 제 2 및 제 4 고조파성분의 직류성분에 대한 비를 구하라.



$L=2\text{H},\ C=5\mu\text{F},\ R=1000\,\Omega$

그림 p 17.7

17.8 주기가 1 ms인 구형파전압을 $R=10\,\Omega$, $L=27\,\text{mH}$, $C=10.8\,\mu\text{F}$의 직렬회로에 인가할 때 C 양단에 나타나는 전압의 파형에 대하여 정확한 계산에 앞서 어떤 예측을 할 수 있는가? 출력전압의 진폭스펙트럼을 그려서 생각하라.

17.9 그림 p 17.9 (a)의 적분기의 입력에 그림 (b)의 구형주기파를 인가할 때 정상상태에서의 출력전압 $v_o(t)$의 표시식을 다음 두 가지 방법으로 구하라.

(a) $v_o=-\dfrac{1}{RC}\displaystyle\int v_i\,dt$ 의 관계를 이용하여

(b) 전달함수를 이용하여 17.4절의 방법으로

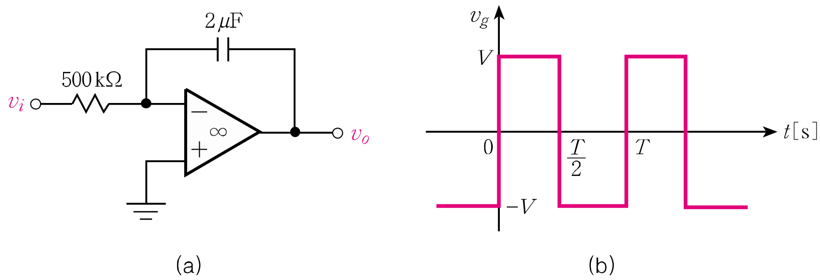


그림 p 17.9