第十章　　非正弦周期电流电路与信号的频谱

10-1　已知 $i_1(t)=10\cos\omega t+5\cos(3\omega t-30^\circ)-3\cos(5\omega t+60^\circ)A,\ i_2(t)=$

$20\cos(\omega t-30^\circ)+10\cos(5\omega t+45^\circ)$ A.。求 $i(t)=i_1(t)+i_2(t)$

及 i(t)的有效值 I。

答案

解：
$$i(t)=i_1(t)+i_2(t)\begin{aligned}&=[10\cos\omega t+20\cos(\omega t-30^\circ)]+5\cos(3\omega t-30^\circ)\\&[-3\cos(5\omega t+60^\circ)+10\cos(5\omega t+45^\circ)]A\end{aligned}$$

$$\dot I_{11m}=10\angle 0^\circ A,\quad \dot I_{21m}=20\angle-30^\circ A=17.32-j10A$$

$$\dot I_{1m}=\dot I_{11m}+\dot I_{21m}=27.32-j10=29.1\angle-20.1^\circ A$$

$$\therefore i_1^{'}(t)=29.1\cos(\omega t-20.1^\circ)A$$

$$\dot I_{15m}=3\angle 60^\circ=1.5+j2.9A\quad \dot I_{25m}=10\angle 45^\circ=7.07+j7.07A$$

$$\dot I_{5m}=-\dot I_{15m}+\dot I_{25m}=5.57+j4.17=6.96\angle 36.8^\circ A$$

$$\therefore i_5^{'}(t)=6.96\cos(5\omega t+36.8^\circ)A$$

$$i(t)=i_1^{'}(t)+i_3^{'}(t)+i_5^{'}(t)=29.1\cos(\omega t-20.1^\circ)+5\cos(3\omega t+30^\circ)+6.96\cos(5\omega t+36.8^\circ)A$$

$$I=\sqrt{\frac{29.1^2}{2}+\frac{5^2}{2}+\frac{6.96^2}{2}}=22A$$
。

10-2 图题 10-2 图示电路，$u_1(t)=400+100\cos 3\times 314t-20\cos 6\times 314tV$。求 $u_2(t)$ 及其有效值。

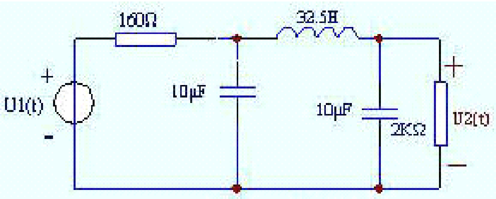


图 10－2

答案

解：（1）$U_o=400V$ 单独作用：

$$U_{2o}=\frac{400}{160+20000}\times 2000=370.37V$$。

（2）$u_3(t)=100\cos 3\times 314t$ 单独作用：

$$3\omega L=30615\Omega，\frac{1}{3\omega C}=106.2\Omega$$

，

$$Z_3=160+j30615+\frac{2000(-j106.2)}{2000-j106.2}\approx j30509\Omega$$

$$\dot{I}_{23m}=\frac{100\angle 0^\circ}{Z_3}=\frac{100\angle 0^\circ}{j30509}A$$

$$\dot{U}_{23m}=\dot{I}_{23m}\frac{2000(-j106.2)}{2000-j106.2}=-0.347\angle 0^\circ V$$

$$u_{23}(t)=-0.347\cos 3\times 314tV$$

（3） $u_3(t)=20\cos 6\times 314tV$ 单独作用：

$$6\omega L=61230\Omega,\ \frac{1}{6\omega C}=53.08\Omega,$$

$$Z_6 = 160 + j61230 - j53.08 \approx j61177\Omega$$

$$\dot{I}_{26m} = \frac{20\angle 0^{\circ}}{Z_6} = \frac{20\angle 0^{\circ}}{j61177} A$$

$$\dot{U}_{26m} = \dot{I}_{26m}\frac{2000(-j53.08)}{2000 - j53.08} = 0.0173\angle 0^{\circ} V$$

$$u_{26}(t) = 0.0173\cos 6\times 314tV$$

故 $u_2(t) = U_{20} + u_{23}(t) - u_{26}(t) = 370.37 - 0.347\cos 3\times 314t - 0.0173\cos$

$$U_2 = \sqrt{370^2 + (\frac{0.347}{\sqrt{2}})^2 + (\frac{0.0173}{\sqrt{2}})^2} = 370V$$

10-3 已知电路，

$R = 20\Omega, \omega L_1 = 0.625\Omega, \frac{1}{\omega C} = 45\Omega, \omega L_2 = 5\Omega, \frac{1}{\omega C} = 45\Omega,$

$u(t) = 100 + 276\cos\omega t + 100\cos 3\omega t + 50\cos 9\omega tV$。求

$i(t)$ 及其有效值 I。

答案

解：（1）$U_o = 100V$ 单独作用时：

$$I_o = \frac{U_o}{R} = \frac{120}{20} = 5A$$，

（2）$u_1(t) = 276\cos\omega tV$ 单独作用时：

$$Z_1 = R + j\omega L_1 + \frac{j\omega L_2 \dfrac{1}{j\omega C}}{j\omega L_2 + \dfrac{1}{j\omega C}} = 20.95\angle 17.6^\circ \Omega$$

$$i_1(t) = 13.2\cos(\omega t - 17.6^\circ)A,$$

（3）$u_3(t) = 100\cos 3\omega t V$ 单独作用时：

$$3\omega L_2 = 15\Omega, \frac{1}{3\omega C} = 15\Omega$$

即发生了并联谐振，故 $\dot{I}_{3m} = 0$ $i_s(t) = 0$

（4）$u_9(t) = 50\cos 9\omega t V$ 单独作用时

$$Z_9 = R + j9\omega L_1 + \frac{j9\omega L_2 \dfrac{1}{j9\omega C}}{j9\omega L_2 + \dfrac{1}{j9\omega C}} = 20\Omega$$

即电路对第九次谐波发生串联谐振。

$$\dot{I}_{9m} = \frac{\dot{U}_{9m}}{Z_9} = 2.5\angle 0^\circ A$$

$$i_9(t) = 2.5\cos 9\omega t A$$

故 $i(t) = I_o + i_1(t) + i_3(t) + i_9(t) = 5 + 13.2\cos(\omega t - 17.6^\circ) + 2.5\cos 9\omega t A$

$$I = \sqrt{5^2 + (\frac{13.2}{\sqrt{2}})^2 + 0 + (\frac{2.5}{\sqrt{2}})^2} = 10.7A$$

10-4 图题 10-4，求图示电压 u(t) 的有效值 U。

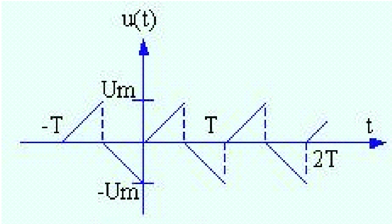


图 题 10—4

答案

解： u(t)在一个周期内的表达式
为

$$u(t)=\begin{cases}\dfrac{2U_m}{T}t, 0<t<\dfrac{T}{2}\\ U_m-\dfrac{2U_m}{T}t。\dfrac{T}{2}<t<T\end{cases}$$

故 $$U=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T[u(t)]^2\,dt}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}}(\frac{2U_m}{T}t)^2\,dt+\frac{1}{T}\int_{\frac{T}{2}}^{T}(U_m-\frac{2U_m}{T}t)^2\,dt}$$

10-5 有效值为 100V 得正弦电压加在电感 L 两端，得电流 10 安。当电压中还有三次谐波时，其有效值认为 100V，得电流为 8 安。求此 电压的基波和
三次谐波电压的有效值。

答案

解： $$|Z_1|=\omega L=\frac{100}{10}=10\Omega,$$

$$|Z_3|=3\omega L=30\Omega,$$

$$U_1^2+U_3^2=100^2 \qquad ①$$

$$I_1^2+I_3^2=8^2 \qquad ②$$

$$U_1 = 10I_1 \qquad ③$$

$$U_3 = 30I_3 \qquad ④$$

联解得

$I_1 = 7.714A$ $\quad I_3 = 2.12A \; U_1 = 77.14V \; U_3 = 63.6V$ 。

10-6　图题 10−5 电路，u(t)波形如图所示，T=6.28 微秒。求 i(t)和 $u_c(t)$。

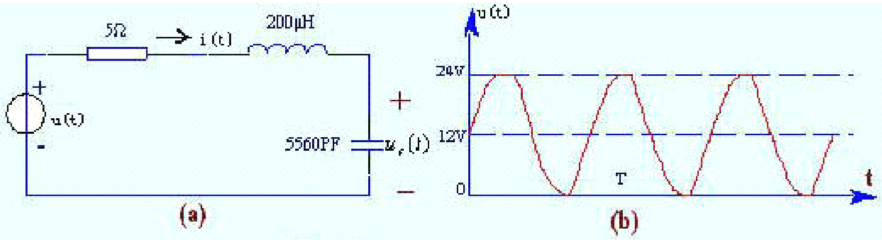


图　题10－6

答案

解：$u(t) = 12 + 12\sin\omega t = 12 + 12\sin 10^6 tV$。

故 $I_o = 0$，

$$Z_1 = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = 5 + (200 - 180) = 5 + j20\Omega = 20.6\angle 76^\circ A,$$

$$\dot{I}_{1m} = \frac{\dot{U}_{1m}}{Z_1} = \frac{12\angle 0^\circ}{20.6\angle 76^\circ} = 0.58\angle -76^\circ A,$$

故 $i_1(t) = 0.58\sin(10^6 t - 76^\circ)A$

故 $i(t) = I_o + i_1(t) = 0.58\sin(10^6 t - 76^\circ)A$

$$U_o = 12V$$

$$\dot{U}_{1m}=-j\frac{1}{\omega C}\dot{I}_{1m}=180\angle-90^{\circ}\times0.58\angle-76^{\circ}=104.4\angle-166^{\circ}$$

故 $u_1(t)=104.4\sin(10^6t-166^{\circ})V$

$$u_c(t)=U_o+u_1(t)=12+104.4\sin(10^6t-166^{\circ})V$$

10-7　图题10-7，图示为一种滤波器电路 $u_1(t)=U_{1m}\cos\omega t+U_{3m}\cos3\omega t$ 伏，$L=0.12$ 亨，$\omega=314rad/s$。欲使 $u_2(t)=U_{1m}\cos\omega t$ 伏，问 C_1、C_2 的值。

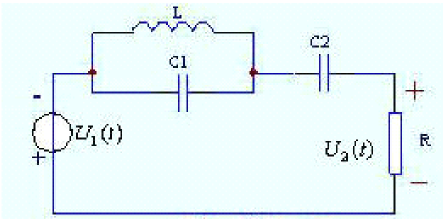


图　题10－7

答案

解：$\sqrt{\dfrac{1}{LC_1}}=3\omega,$

$$\frac{j\omega L\dfrac{1}{j\omega C_1}}{j\omega L+\dfrac{1}{j\omega C_1}}+\frac{1}{j\omega C_2}=0$$

联解得　$C_1=9.39\mu F,\ C_2=75.13\mu F$

10-8　图题 10-8，图示电路，已知$u(t)=U_{1m}\cos10^3t+U_{4m}\cos(4\times10^3t+\psi_4)$。欲使$u_2(t)=U_{4m}\cos(4\times10^3t+\psi_4)$，求$L_1$、$L_2$的值。

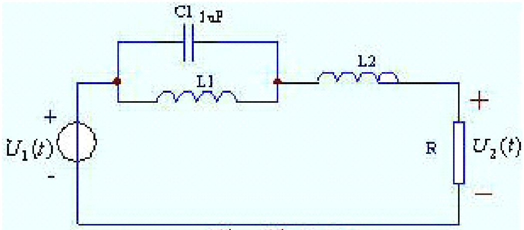


图　题10－8

答案

解：$$\frac{1}{\sqrt{L_1C}}=\omega$$

$$\frac{j4\omega L_1\times\dfrac{1}{j4\omega C}}{j4\omega L_1+\dfrac{1}{j4\omega C}}+j4\omega L_2=0,\qquad \omega=10^3rad/s.$$

联解得　$L_1=1H,L_2=66.67H$

10-9　图题 10-9，图示单口网络 N 的端电压和端电流分别为

$u(t)=\cos(t+\frac{\pi}{2})+\cos(2t-\frac{\pi}{4})+\cos(3t-\frac{\pi}{3})V$，$i(t)=5\cos(2t+\frac{\pi}{4})A.$ 求：

(1) 各分量频率时网络 N 的输入阻抗；（2）网络 N 吸收的平均功率。

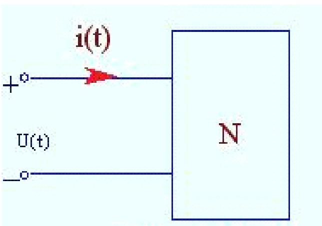


图　题10－9

答案

解：（1） $Z(j\omega)=\dfrac{1\angle 90^{\circ}}{5\angle 0^{\circ}}=j0.2\Omega$

$$Z(j2\omega)=\frac{1\angle -45^{\circ}}{2\angle 45^{\circ}}-j0.5\Omega$$

$$Z(j3\omega)=\frac{1\angle -60^{\circ}}{0}=\infty$$

（2） $P_1=\dfrac{1}{2}\times 1\times 5\cos(90^{\circ}-0^{\circ})=0$

$$P_1=\frac{1}{2}\times 1\cos(-45^{\circ}-45^{\circ})=0$$

$$P_3=\frac{1}{2}\times 1\times 0=0$$

故 $P=P_1+P_2+P_3=0$。

10-10 图题 10-10 图示电路，$u_{s1}(t)=u_{s2}(t)=\cos tV$ （1）求 i(t)及其有效值 I；（2）求电阻消耗的平均功率 P；（3）求 u_{s1} 单独作用时电阻消耗的平均功率 P_1；（4）求 u_{s2} 单独作用时电阻消耗的平均功率 P_2；（5）由（2），（3），（4）的计算结果得出什么结论？

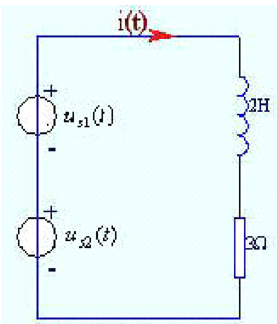


图　题10－10

答案

解：（1）$Z=R+j\omega L=3+j2=3.6\angle 33.69^{\circ}$

$$\dot{I}_m=\frac{1\angle 0^{\circ}+1\angle 0^{\circ}}{3.6\angle 33.69^{\circ}}=0.555\angle -33.69^{\circ}A$$

$$i(t)=0.555\cos(t-33.69^{\circ})A$$

$$I=\frac{0.555}{\sqrt{2}}=0.392A$$

(2)

$$P=I^2R=0.392^2\times 3=0.462W$$

(3)

$$\dot{I}_{1m}=\frac{1\angle 0^{\circ}}{3.6\angle 33.69^{\circ}}=0.277\angle -33.69^{\circ}A$$

$$P_1=\frac{1}{2}0.277^2\times 3=0.1154W$$

(4) 同（3）可得 $P_2=0.1154W$

（5）可见 $P\neq P_1+P_2$

10-11　接续上题，当 $u_{s2}(t)=\cos 2tV$ 时，再求解各项，并讨论结果。

答案

解：（1）对一次谐波，$\omega_1=1rad/s$：

$$\dot{I}_{1m}=\frac{1\angle 0^{\circ}}{3.6\angle 33.69^{\circ}}==0.277\angle -33.69^{\circ}A,$$

$i_1(t)=0.277\cos(t-33.69°)A$。

对于二次谐波，$\omega_2=2rad/s$：

$Z_2 = R + j\omega_2 L = 3 + j2L = 5\angle 53.13^{\circ}\Omega$，

$\dot{I}_{2m} = \dfrac{1\angle 0^{\circ}}{5\angle 53.13^{\circ}} = 0.2\angle -53.13^{\circ} A$，

$i_2(t) = 0.2\cos(2t - 53.13^{\circ}) A$。

故 $i(t) = i_1(t) + i_2(t) = 0.277\cos(t - 33.69^{\circ}) + 0.2\cos(2t - 53.13^{\circ}) A$

$I = \sqrt{(\dfrac{0.277}{\sqrt{2}})^2 + (\dfrac{0.2}{\sqrt{2}})^2} = 0.242 A$。

（2）$P = I^2 R = 0.242^2 \times 3 = 0.1754 W$。

（3）$P_1 = \dfrac{1}{2} \times 0.277^2 \times 3 = 0.1154 W$。

（4）$P_2 = \dfrac{1}{2} \times 0.2^2 \times 3 = 0.06 W$

（5）可见有 $P = P_1 + P_2$。

10-12 图题 10-12,图示稳态有源一端口网络，已知 $u_s(t) = 10 + 3\cos t V$。求该一端口网络向外电路所能提供的最大功率 $P_{\max}$。

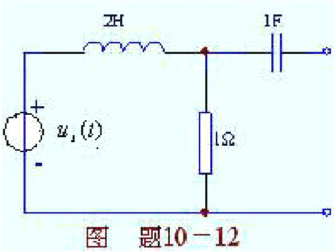


图　题10－12

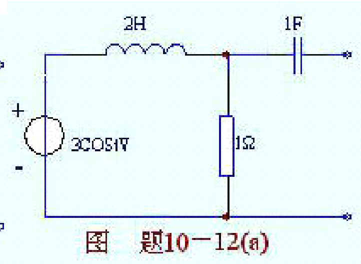


图　题10－12(a)

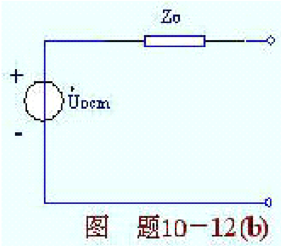


图　题10－12(b)

答案

解：　因有电容 1F 存在，故直流电压分量 10V 不向外电路提供功率。一次谐波电压作用的电路如图题 10－12（a）所示，该电路的等效电压源电路如图题 10－12（b）所示。

其中 $\dot{U}_{ocm}=1.342\angle-63.4^{\circ}V$，$Z_o=0.8-j0.6\Omega$。

$$P_{\max}=\frac{(\frac{1.342}{\sqrt{2}})^2}{4\times0.8}=0.28W$$

10-13　图题 10-13 图示电路，$u(t)=10+20\sqrt{2}\cos\omega t+10\sqrt{2}\cos3\omega tV$，$T=0.02$ 秒。求 $i_1(t)$，$i_2(t)$。

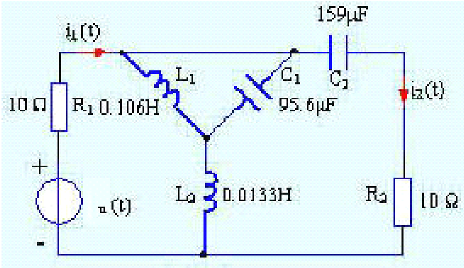


图 题10-13

答案

解：（1）直流分量：

$$I_{10}=\frac{10}{10}=1A$$

$I_{20}=0$。

(2) 基波分量：

$$\omega=\frac{2\pi}{T}=314rad/s$$

$X_{L_1}=\omega L=33.3\Omega$ $X_{C_1}=\frac{1}{j\omega C_1}=33.3\Omega$

故 L_1 与 C_1 电路对基波发生了并联谐振，相当于开路。 故

$$Z_1=R_1+R_2+\frac{1}{j\omega C_1}=20-j20\Omega$$，

$$\dot{I}_{11}=\dot{I}_{21}=\frac{20\angle 0^\circ}{20-j20}=\frac{1}{\sqrt{2}}\angle 45^\circ A$$

(3) 三次谐波分量：

$X_{L_3}=33.3\times 3=99.9\Omega$ $X_{L_3}=33.3/3=11.1\Omega$

$X'_{L3}=3\omega L_2=12.5\Omega$

故 $Z'=\frac{j100(-j11.1)}{j(100-11.1}=-j12.5\Omega$

故对 3ω 而言，L_1 与 C_1 并联支路与 L_2 发生了串连谐振，相当于短路。故

有

$$\dot{I}_{13}=\frac{10\angle 0^{\circ}}{R_1}=1A,$$

$$\dot{I}_{23}=0$$

故得 $i_1(t)=1+\cos(\omega t+45^{\circ})+\sqrt{2}\cos 3\omega t A$,

$i_2(t)=0+\cos(\omega t+45^{\circ})+0A$

10-14　图题 10-14 图示电路，非线性电阻的伏安特性为 $i_1(t)=0.3u+0.4u^2$，i_1 与 u 的单位分别 mA,V 电流表的内阻抗认为等于零。求 $i_2(t)$ 与电流 表的读数。(提示：理想变压器可以调耦合直流分量)

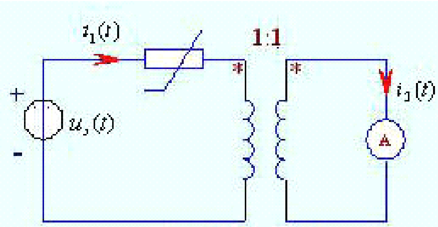


图　题10-14

答案

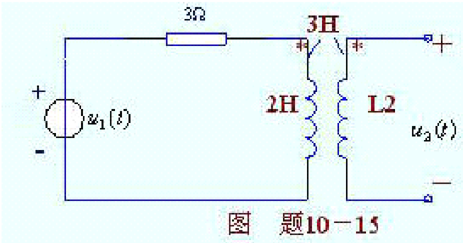
解：　$i_2(t)=i_1(t),\ u(t)=u_s(t)$

故

$i_2(t)=0.3u+0.04u^2=0.3u_s(t)+0.04[u_s(t)]^2=200+30\sin\omega t+200\cos 2\omega t A$

$$I_2=\sqrt{200^2+(\frac{30}{\sqrt{2}})^2+(\frac{200}{\sqrt{2}})^2}=0.246A$$

10-15　图题 10-15, 图示电路，$u_1(t)=30+80\cos 2t+20\cos 6t V$. 求 $u_2(t)$。



答案

解：$U_{20}=0$

求一次谐波$u_{21}(t)$：

$$Z_1=3+j2\times 2=5\angle 53.1^\circ\Omega$$

$$\dot{I}_{1m}=\frac{80\angle 0^\circ}{Z_1}=16\angle -53.1^\circ A$$

$$i_1(t)=16\cos(2t-53.1^\circ)A$$

$$u_{21}(t)=M\frac{di_1(t)}{dt}=96\cos(2t+36.9°)V$$

求三次谐波$u_{23}(t)$：

$$Z_3=3+j6\times 2=3(1+j4)=12.37\angle 75.96^\circ\Omega$$

$$\dot{I}_{3m}=\frac{20\angle 0^\circ}{12.37\angle 75.96^\circ{}_1}=1.62\angle -75.96^\circ A$$

$$i_3(t)=1.62\cos(6t-75.96^\circ)A$$

$$u_{23}(t)=M\frac{di_3(t)}{dt}=29.16\cos(6t+14.04^\circ)V$$

10－16 图题 10-16,图示电路，$u(t)=\cos\omega t V, i(t)=1A$。求$i_1(t)$。

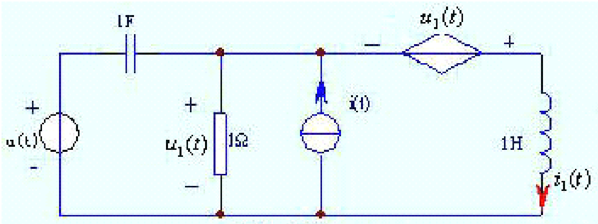


图 题10－16

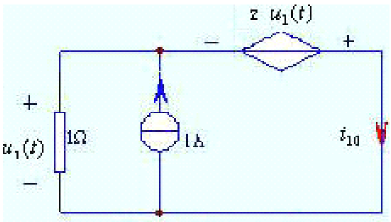


图 题10－16(a)

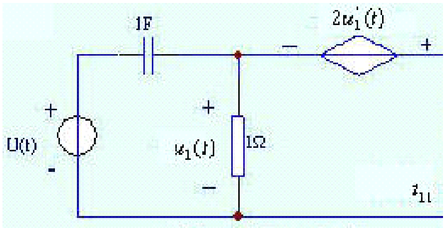


图 题10－16(b)

答案

解：该电路在总体上是非正弦的，故只能用迭加原理求解。

电流源单独作用时的电路如图题 10－16（a）所示，

可求得 $i_{10}(t)=1$，电压源 $u(t)$ 单独作用时的电路

如图 10－16（b）所示，可求得 $i_{11}(t)=1.34\cos(t+\angle 63.4^{\circ})A$。故得

$$i_1(t)=i_{10}(t)+i_{11}(t)=1+1.34\cos(t+\angle 63.4^{\circ})A$$

*10-17　求图 10-17 各信号的频谱函数 $F(j\omega)$，并画出频谱图。

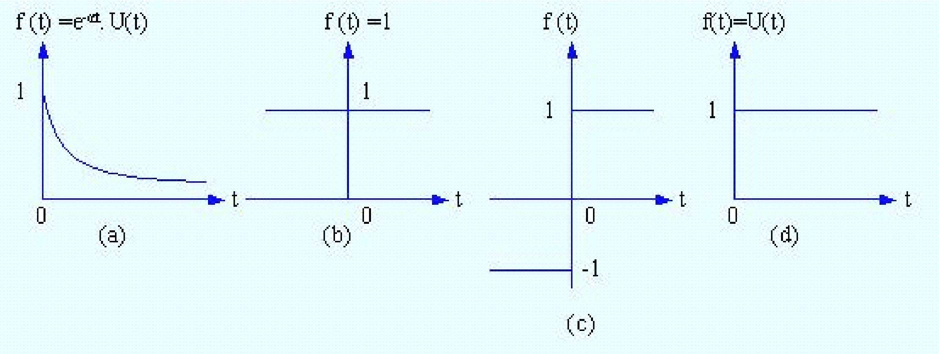


图 题 10—17

答案

解：（a） $$F(j\omega)=F[f(t)]=\int_0^{\infty}e^{-at}e^{-j\omega t}dt=\frac{1}{j\omega+\alpha}=\frac{1}{\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}\angle-arctg\frac{\omega}{\alpha}$$

故得 $|F(j\omega)|=\dfrac{1}{\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}$， $\varphi(\omega)=-arctg\dfrac{\omega}{\alpha}$

其频谱如图题 10—17（a'）所示。

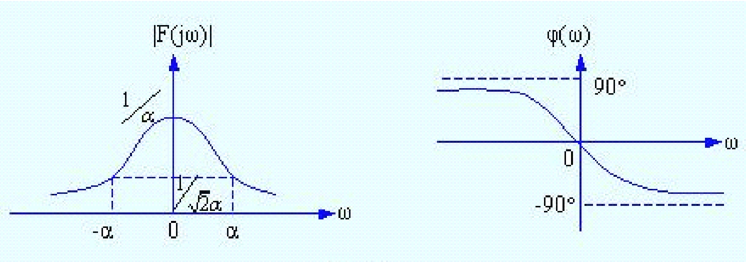


图 题 10—17(a′)

（b）图题 10—17 (b) 所示信号的函数表达式为

$$f_1(t)=\begin{cases}e^{\alpha t},t<0\\ e^{-\alpha t},t>0\end{cases}$$

其中 α 为大于的实常数。$f_1(t)$ 的频谱为

$$F_1(j\omega)=F[f_1(t)]=\int_{-\infty}^{\infty}f_1(t)e^{-j\omega t}dt=\int_{-\infty}^{0}e^{\alpha t}e^{-j\omega t}dt+\int_{0}^{+\infty}e^{-\alpha t}e^{-j\omega t}dt$$

$$=\frac{1}{\alpha-j\omega}+\frac{1}{j\omega+\alpha}=\frac{2\alpha}{\alpha^2+\omega^2}$$

图题 10－17（b）所示的直流信号 $f(t)=1$ 可视为图 10－17 $(b^{'})$ 所示信号 $f_1(t)$ 在 $\alpha\to 0$ 时的极限，即 $f(t)=\lim\limits_{\alpha\to 0}f_1(t)$

故 $F(j\omega)=F[\lim\limits_{\alpha\to 0}f_1(t)]=\lim\limits_{\alpha\to 0}F_1(j\omega)=\lim\limits_{\alpha\to 0}\frac{2\alpha}{\alpha^2+\omega^2}=\begin{cases}0,\omega\neq 0\\ \infty。\ \omega\neq 0\end{cases}$

可见 $F(j\omega)$ 为自变量为 ω 的冲击函数，且有

$$\int_{-\infty}^{\infty}F(j\omega)d\omega=\int_{-\infty}^{\infty}\lim_{\alpha\to 0}\frac{2\alpha}{\alpha^2+\omega^2}d\omega$$

$$=\lim_{\alpha\to 0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{2\alpha}{\alpha^2+\omega^2}d\omega=\lim_{\alpha\to 0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{2}{1+(\frac{\omega}{\alpha})^2}d(\frac{\omega}{\alpha})$$

得 $\lim\limits_{\alpha\to 0}[2arctg\frac{\alpha}{\omega}]=2\pi$

即该冲击函数的强度(面积)为 2π 。即

$$F(j\omega)=F[f(t)]=F[1]=2\pi\delta(\omega)$$

其曲线如图题 10-17 $(c^{'})$ 所示。

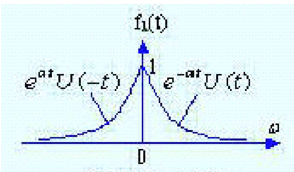


图 题 10－17(b')

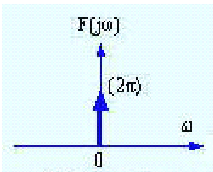


图 题 10－17(c')

（c）图题 10－17 $(d^{'})$ 所示信号的函数表达式为

$$f_1(t)=\begin{cases}-e^{\alpha t},t<0\\ e^{-\alpha t},t>0\end{cases}$$

其中 α 为大于零的实常数。$f_1(t)$ 的频谱为

$$F_1(j\omega)=F[f_1(t)]=\int_{-\infty}^{\infty}f_1(t)e^{-j\omega t}dt$$

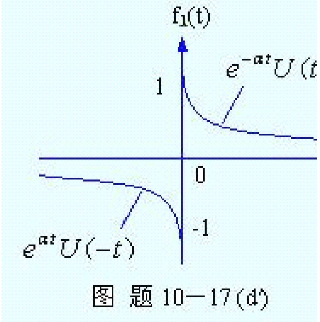


图 题 10—17(d')

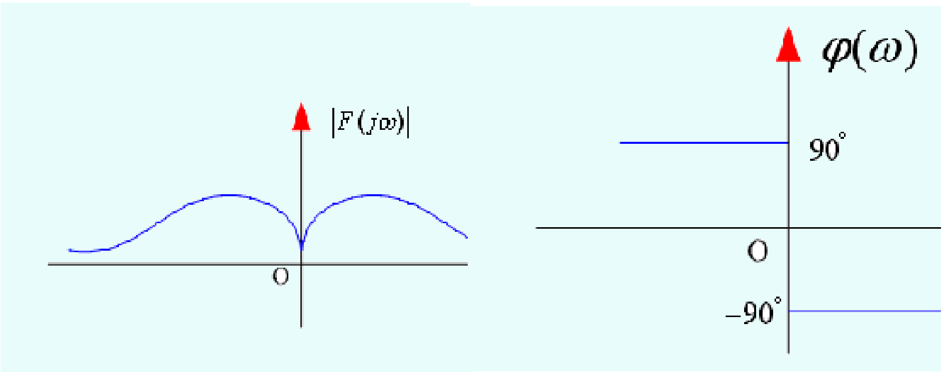
$$=\int_{-\infty}^{0^-}-e^{\alpha t}e^{-j\omega t}dt+\int_{0^+}^{+\infty}e^{-\alpha t}e^{-j\omega t}dt=-\frac{1}{\alpha-j\omega}+\frac{1}{j\omega+\alpha}$$

$$=-j\frac{2\omega}{\alpha^2+\omega^2}=\frac{2\omega}{\alpha^2+\omega^2}\angle 90^\circ$$

故得 $|F(j\omega)|=\left|\frac{2\omega}{\alpha^2+\omega^2}\right|$

$$\varphi(\omega)=\begin{cases}-90^\circ,\omega>0\\ 90^\circ。\ \omega<0\end{cases}$$

其曲线如题图 10—17(e')所示。



题图 10—17 (e')

图题 10—17（c）所示信号可视为图题 10—17(d')所示信号在$\alpha\to 0$时的极限，即$f(t)=\lim\limits_{\alpha\to 0}f_1(t)$

故有

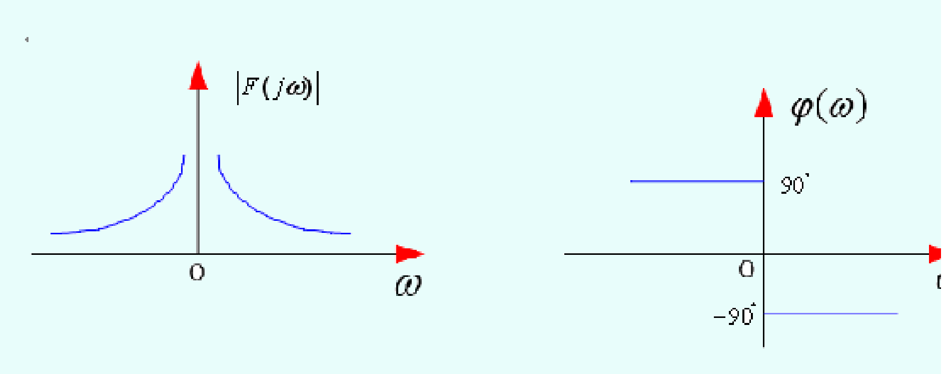
$$F(j\omega)=F[\lim_{\alpha\to 0}f_1(t)]=\lim_{\alpha\to 0}F_1(j\omega)$$

$$=\lim_{\alpha\to 0}[-j\frac{2\omega}{\alpha^2+\omega^2}]=-j\frac{2}{\omega}=\frac{2}{\omega}\angle-90^\circ$$

故得 $\left|F(j\omega)\right| = \left|\frac{2}{\omega}\right|$

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} -90^{\circ}, \omega > 0 \\ 90^{\circ}。\omega < 0 \end{cases}$$

其频谱曲线如图题 10－17 $(f^{'})$ 所示。



图题10-17(f′)

（d）可将图题 10－17（d）的信号 $f(t) = U(t)$ 视为图题 10－17 $(g^{'})$ 所示两个信号 $f_1(t)$ 、$f_2(t)$ 的相加，即 $f(t) = U(t) = f_1(t) + f_2(t)$

故有 $F(j\omega) = F_1(j\omega) + F_2(j\omega)$

$$= \frac{1}{2}(-j\frac{2}{\omega}) + \frac{1}{2} \times 2\pi\delta(\omega) = \pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}$$

（e） $F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-j\omega 0} dt = 1$

其频谱曲线如图题 10－17 $(h^{'})$ 所示。

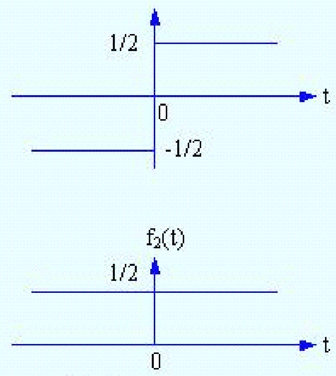


图 题 10—17 (g')

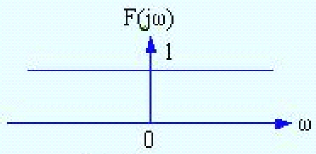


图 题 10—17 (h')