

06 频谱非线性变换

- 角度调制参数
- 载波调频
- 载波调相

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

01 角度调制参数

调制信号表达式

$$V_{\Omega}(t) = V_{\Omega} \cos \overset{2\pi f_{\Omega}}{\omega_{\Omega}} t$$

载波信号表达式

$$V_C(t) = V_C \cos \underset{2\pi f_C}{\omega_C} t$$

调制信号频率

$$f_{\Omega}$$

载波信号频率

$$f_C$$

最大频偏

$$\Delta f$$

最大角频偏

$$\Delta \omega = 2\pi \Delta f$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

02 载波调频

频偏灵敏度

$$k_f$$

最大频偏

$$\Delta f = k_f V_\Omega$$

调频指数

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_\Omega}$$

调频瞬时表达式

$$\omega(t) = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_\Omega t$$

调相瞬时表达式

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt = \omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)$$

调频波FM表达式

$$v_{FM} = V_c \cos \varphi(t) = V_c \cos[\omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)]$$

调制信号表达式

$$V_\Omega(t) = V_\Omega \cos \overset{2\pi f_\Omega}{\omega_\Omega} t$$

载波信号表达式

$$V_c(t) = V_c \cos \underset{2\pi f_c}{\omega_c} t$$

调制信号频率

$$f_\Omega$$

载波信号频率

$$f_c$$

最大频偏

$$\Delta f$$

最大角频偏

$$\Delta\omega = 2\pi\Delta f$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

03 载波调相

频相灵敏度

$$k_p$$

最大频偏

$$\Delta f = k_p V_{\Omega} f_{\Omega}$$

调相指数

$$m_p = k_p V_{\Omega}$$

调相瞬时表达式

$$\varphi(t) = \omega_c t + m_p \cos \omega_{\Omega} t$$



调频瞬时表达式

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_c - m_p \sin(\omega_{\Omega} t)$$



调相波PM表达式

$$v_{PM} = V_c \cos \omega(t) = V_c \cos[\omega_c t - m_p \sin(\omega_{\Omega} t)]$$

调制信号表达式

$$V_{\Omega}(t) = V_{\Omega} \cos \overset{2\pi f_{\Omega}}{\omega_{\Omega}} t$$

载波信号表达式

$$V_c(t) = V_c \cos \underset{2\pi f_c}{\omega_c} t$$

调制信号频率

$$f_{\Omega}$$

载波信号频率

$$f_c$$

最大频偏

$$\Delta f$$

最大角频偏

$$\Delta \omega = 2\pi \Delta f$$

03 载波调相

调频瞬时表达式

$$\omega(t) = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_\Omega t$$



调相瞬时表达式

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt = \omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)$$



调频波FM表达式

$$v_{FM} = V_c \cos \varphi(t) = V_c \cos[\omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)]$$

调相瞬时表达式

$$\varphi(t) = \omega_c t + m_p \cos \omega_\Omega t$$



调频瞬时表达式

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_c - m_p \sin(\omega_\Omega t)$$



调相波PM表达式

$$v_{PM} = V_c \cos \omega(t) = V_c \cos[\omega_c t - m_p \sin(\omega_\Omega t)]$$

03 载波调相

调频瞬时表达式

$$\omega(t) = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_\Omega t$$



调相瞬时表达式

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt = \omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)$$



调频波FM表达式

$$v_{FM} = V_c \cos \varphi(t) = V_c \cos[\omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)]$$



调频瞬时表达式

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_c + m_p \cos(\omega_\Omega t)$$



调相波PM表达式

$$v_{PM} = V_c \cos \omega(t) = V_c \cos[\omega_c t + m_p \cos(\omega_\Omega t)]$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

03 载波调相

调制信号表达式

$$V_{\Omega}(t) = V_{\Omega} \cos \overset{2\pi f_{\Omega}}{\omega_{\Omega}} t$$

载波信号表达式

$$V_C(t) = V_C \cos \underset{2\pi f_C}{\omega_C} t$$

调制信号频率

$$f_{\Omega}$$

载波信号频率

$$f_C$$

最大频偏

$$\Delta f$$

最大角频偏

$$\Delta \omega = 2\pi \Delta f$$

带宽

$$BW = 2(m_f + 1)f_{\Omega}$$

平均功率

$$P_{av} = \frac{1}{2} \times \frac{V_C^2}{R_L}$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 25

高频
电子线路(C)

已知一调角后的信号为 $v(t)=0.5\cos(2\pi\cdot 10^8t+20\sin 2\pi\cdot 10^3t)$ V，负载电阻 $R_L=50\Omega$ ，求解：

- 1) 若为FM调频波，求载波频率 f_c ，调制频率 f_Ω ，调频指数 m_f ，最大频偏、带宽BW和平均功率
- 2) 若为PM调相波，已知调相灵敏度 $k_p=5$ rad/V，求调相指数 m_p 、原调制信号 $v_\Omega(t)$ 和最大频偏

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 25

高频
电子线路(C)

已知一调角后的信号为 $v(t) = 0.5 \cos(2\pi \cdot 10^8 t + 20 \sin 2\pi \cdot 10^3 t)$ V, 负载电阻 $R_L = 50 \Omega$, 求解:

1) 若为FM调频波, 求载波频率 f_c , 调制频率 f_Ω , 调频指数 m_f , 最大频偏、带宽BW和平均功率

解: $v_{FM} = V_C \cos \varphi(t) = V_C \cos[\omega_C t + m_f \sin(\omega_\Omega t)]$

$$V_C = 0.5 \quad \omega_C = 2\pi \cdot 10^8 \quad m_f = 20 \quad \omega_\Omega = 2\pi \cdot 10^3$$

$$f_c = \frac{\omega_C}{2\pi} = \frac{2\pi \times 10^8}{2\pi} = 1 \times 10^8 \text{ Hz} \quad f_\Omega = \frac{\omega_\Omega}{2\pi} = \frac{2\pi \times 10^3}{2\pi} = 1 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_\Omega} = \frac{\Delta f}{1 \times 10^3} = 20 \quad \text{解得最大频偏} \quad \Delta f = 2 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$BW = 2(m_f + 1)f_\Omega = 2(20 + 1) \times 10^3 = 42 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$P_{av} = \frac{1}{2} \times \frac{V_C^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{0.5^2}{50} = 0.025 \text{ W}$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 25

高频
电子线路(C)

已知一调角后的信号为 $v(t)=0.5\cos(2\pi\cdot 10^8t+20\sin 2\pi\cdot 10^3t)$ V, 负载电阻 $R_L=50\Omega$, 求解:

2) 若为PM调相波, 已知调相灵敏度 $k_p=5$ rad/V, 求调相指数 m_p 、原调制信号 $v_\Omega(t)$ 和最大频偏

解: $v_{PM} = V_C \cos \omega(t) = V_C \cos[\omega_C t + m_p \sin(\omega_\Omega t)]$

$$V_C = 0.5 \quad \omega_C = 2\pi \cdot 10^8 \quad m_p = 20 \quad \omega_\Omega = 2\pi \cdot 10^3$$

$$m_p = k_p V_\Omega = 5V_\Omega = 20 \quad \text{解得} \quad V_\Omega = 4$$

$$V_\Omega(t) = V_\Omega \sin \omega_\Omega t = 4 \sin 2\pi \times 10^3$$

$$f_\Omega = \frac{\omega_\Omega}{2\pi} = \frac{2\pi \times 10^3}{2\pi} = 1 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = k_p V_\Omega f_\Omega = 5 \times 4 \times 10^3 = 2 \times 10^4 \text{ Hz}$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 26

高频
电子线路(C)

已知载波信号 $V_c(t) = 5\cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 t)$ V，调制信号 $V_\Omega(t) = 1.5\cos(2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 t)$ V，求解：

- 1) 若进行调频，且频偏灵敏度为4kHz，写出调频和调相的瞬时表达式，以及调频波FM表达式，并求带宽
- 2) 若进行调相，且相移灵敏度为3rad，写出调频和调相的瞬时表达式，以及调相波PM表达式，并求带宽

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 26

高频
电子线路(C)

已知载波信号 $V_c(t) = 5\cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 t)$ V, 调制信号 $V_\Omega(t) = 1.5\cos(2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 t)$ V, 求解:

1) 若进行调频, 且频偏灵敏度为 4kHz, 写出调频和调相的瞬时表达式, 以及调频波 FM 表达式, 并求带宽

解: $V_\Omega(t) = V_\Omega \cos \omega_\Omega t$ $V_c(t) = V_c \cos \omega_c t$

$$V_c = 5 \quad \omega_c = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 \quad V_\Omega = 1.5 \quad \omega_\Omega = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^3$$

$$\Delta f = k_f V_\Omega = 4000 \times 1.5 = 6 \times 10^3 \text{ Hz} \quad \Delta\omega = 2\pi\Delta f = 2\pi \times 6 \times 10^3 \quad m_f = \frac{\Delta f}{f_\Omega} = \frac{6 \times 10^3}{2 \times 10^3} = 3$$

$$\omega(t) = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_\Omega t = 2\pi \times 5 \times 10^7 + 2\pi \times 6 \times 10^3 \cos(2\pi \times 2 \times 10^3 t)$$

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt = \omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t) = 2\pi \times 5 \times 10^7 t + 3 \sin(2\pi \times 2 \times 10^3 t)$$

$$v_{FM} = V_c \cos \varphi(t) = V_c \cos[\omega_c t + m_f \sin(\omega_\Omega t)] = 5 \cos[2\pi \times 5 \times 10^7 t + 3 \sin(2\pi \times 2 \times 10^3 t)]$$

$$BW = 2(m_f + 1)f_\Omega = 2(3 + 1) \times 2 \times 10^3 = 16 \times 10^3 \text{ Hz}$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 26

高频
电子线路(C)

已知载波信号 $V_c(t) = 5\cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 t)$ V, 调制信号 $V_\Omega(t) = 1.5\cos(2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 t)$ V, 求解:

2) 若进行调相, 且相移灵敏度为 3rad , 写出调频和调相的瞬时表达式, 以及调相波PM表达式, 并求带宽

解: $V_\Omega(t) = V_\Omega \cos \omega_\Omega t$ $V_c(t) = V_c \cos \omega_c t$

$$V_c = 5 \quad \omega_c = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 \quad V_\Omega = 1.5 \quad \omega_\Omega = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^3$$

$$m_p = k_p V_\Omega = 3 \times 1.5 = 4.5$$

$$\varphi(t) = \omega_c t + m_p \cos \omega_\Omega t = 2\pi \times 5 \times 10^7 t + \cos(2\pi \times 2 \times 10^3 t)$$

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_c - m_p \sin(\omega_\Omega t) = 2\pi \times 5 \times 10^7 - 4.5 \sin(2\pi \times 2 \times 10^3 t)$$

$$v_{PM} = V_c \cos \omega(t) = V_c \cos[\omega_c t - m_p \sin(\omega_\Omega t)] = 5 \cos[2\pi \times 5 \times 10^7 t - 4.5 \sin(2\pi \times 2 \times 10^3 t)]$$

$$BW = 2(m_p + 1)f_\Omega = 2(4.5 + 1) \times 2 \times 10^3 = 22 \times 10^3 \text{ Hz}$$

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 27

高频
电子线路(C)

用频率为4KHz、幅度为0.2V的正弦调制信号，对频率为10.7MHz、幅度为2V的余弦载波进行调角(同时进行调频和调相)，已知最大频偏为60KHz，求出FM和PM表达式。

题型解题引导

高频
电子线路(C)

@GhostKING学长

习题 27

高频
电子线路(C)

用频率为4KHz、幅度为0.2V的正弦调制信号，对频率为10.7MHz、幅度为2V的余弦载波进行调角(同时进行调频和调相)，已知最大频偏为60KHz，求出FM和PM表达式。

解： $V_C = 2$ $\omega_C = 2\pi \cdot 10.7 \cdot 10^6$ $V_\Omega = 0.2$ $\omega_\Omega = 2\pi \cdot 4 \cdot 10^3$
 $\Delta f = 6 \times 10^4$ $\Delta\omega = 2\pi\Delta f = 2\pi \times 6 \times 10^4$ $m_f = \frac{\Delta f}{f_\Omega} = \frac{6 \times 10^4}{4 \times 10^3} = 15$

$$\omega(t) = \omega_C + \Delta\omega \sin \omega_\Omega t = 2\pi \times 10.7 \times 10^6 + 2\pi \times 6 \times 10^4 \sin(2\pi \times 4 \times 10^3 t)$$

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt = \omega_C t - m_f \cos(\omega_\Omega t) = 2\pi \times 10.7 \times 10^6 t - 15 \cos(2\pi \times 4 \times 10^3 t)$$

$$v_{FM} = V_C \cos \varphi(t) = V_C \cos[\omega_C t + m_f \sin(\omega_\Omega t)] = 2 \cos[2\pi \times 10.7 \times 10^6 t - 15 \cos(2\pi \times 4 \times 10^3 t)]$$

由上式求导 $m_p = m_f = 15$

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_C + m_p \sin(\omega_\Omega t) = 2\pi \times 10.7 \times 10^6 + 15 \sin(2\pi \times 4 \times 10^3 t)$$

$$v_{PM} = V_C \cos \omega(t) = V_C \cos[\omega_C t + m_p \cos(\omega_\Omega t)] = 2 \cos[2\pi \times 10.7 \times 10^6 + 15 \sin(2\pi \times 4 \times 10^3 t)]$$