解答例

1.

（１）理想オペアンプでは，$R_{in} = \infty\ \Omega$，$R_{out} = 0\ \Omega$

（２） $V_{\mathrm{out}} = A \times (V_+ - V_-)$

（３） $V_c = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{\mathrm{out}}$

（４） $V_{\mathrm{out}} = A \times \left(V_{\mathrm{in}} - \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{\mathrm{out}}\right)$

$$\frac{V_{\mathrm{out}}}{A} = V_{\mathrm{in}} - \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{\mathrm{out}}$$

$$V_{\mathrm{out}}\left(\frac{1}{A} + \frac{R_1}{R_1+R_2}\right) = V_{\mathrm{in}}$$

$$\therefore \quad \frac{V_{\mathrm{out}}}{V_{\mathrm{in}}} = \frac{1}{\frac{1}{A}+\frac{R_1}{R_1+R_2}}$$

（５）A→∞とすると，（４）の結果は

$$\frac{V_{\mathrm{out}}}{V_{\mathrm{in}}} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

となる。

2.

（１）|300-500| = <u>200 Hz, 150 Hz</u>　※150 Hz の周波数成分は変化せず，300 Hz の周波数成分はエイリアシングにより 200 Hz に変化する。

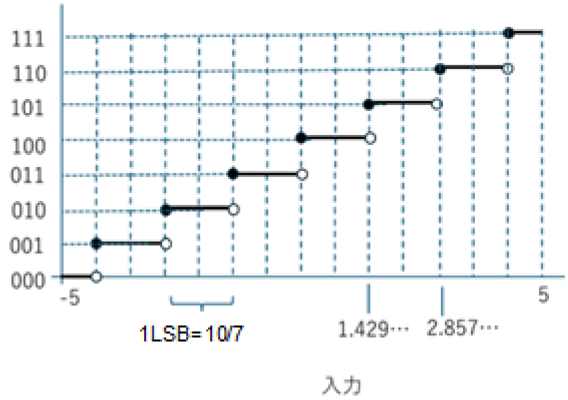
（２）<u>10/7</u>

量子化ステップ幅Δ=量子化範囲÷(レベル数-1)　 = (5 – (-5)) / (2^3-1) = 10 / 7 ≒1.43

（３）量子化器の出力:5　(=101)

図から量子化後の値：5-2LSB=5-2*10/7 = 2.143

量子化誤差≒ |2.143-1.8| =<u>0.343</u>



（4） $F[k] = \sum_{n=0}^{N-1} f[n]\, e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$

$F[0] = f[0] + f[1] + f[2] + f[3] = 1+1+0+0 = 2$

$F[1] = f[0]*1 + f[1]*e\text{^}(-j\pi/2) + f[2]*e\text{^}(-j\pi) + f[3]*e\text{^}(-3j\pi/2)$

$= 1*1+1*(-j) + 0*(-1) + 0*(j) = 1-j$

$F[2] = 0$

$F[3] = 1+j$

（5） 実部: (2,1,0,1), 虚部 (0,-1.0, 1)

振幅スペクトル $|F[k]| = \sqrt{(Re(F[k]))^2 + (Im(F[k]))^2}$

$|F[0]| = \sqrt{2^2+0^2} = 2$

$|F[1]| = \sqrt{1^2+(-1)^2} = \sqrt{2}$

$|F[2]| = \sqrt{0^2+0^2} = 0$

$|F[3]| = \sqrt{1^2+1^2} = \sqrt{2}$

<u>振幅スペクトル</u>：$(2, \sqrt{2}, 0, \sqrt{2})$

位相スペクトル $\arg(F[k]) = \tan^{-1}\left(\frac{Im(F[k])}{Re(F[k])}\right)$

$\arg(F[0]) = \tan^{-1}\left(\frac{0}{2}\right) = 0$

$\arg(F[1]) = \tan^{-1}\left(\frac{-1}{1}\right) = -\frac{\pi}{4}$

$\arg(F[2]) = \tan^{-1}(0/0) = 0$（不定でも正解とする）

$\arg(F[3]) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{1}\right) = \frac{\pi}{4}$

<u>位相スペクトル</u>：$(0, -\frac{\pi}{4}, 0, \frac{\pi}{4})$（第 3 成分は不定でも正解とする）

3.

（1） 運動方程式は，$M\ddot{x} = f - Kx - D\dot{x}$，整理すると，$M\ddot{x} + D\dot{x} + Kx = f$

初期値をゼロとして両辺ラプラス変換すると，$(Ms^2 + Ds + K)X(s) = F(s)$

したがって，

伝達関数$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2+Ds+K}$

（2） M=1，D=3，K=2 より，伝達関数$G(s) = \frac{1}{s^2+3s+2}$

入力が単位ステップ関数$F(s) = \frac{1}{s}$のときの応答は，

$$X(s) = G(s)F(s) = \frac{1}{s^2+3s+2} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{s(s+1)(s+2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{s+1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s+2}$$

逆ラプラス変換すると，$x(t) = \frac{1}{2} - e^{-t} + \frac{1}{2}e^{-2t}$

（3） 周波数伝達関数は， $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega+1} = \frac{1}{\omega^2+1} - j \cdot \frac{\omega}{\omega^2+1}$

したがって，ゲイン$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\omega^2+1}}$，位相$\angle G(j\omega) = -\tan^{-1}\omega$

また，角周波数 ω=2 rad/s のときのゲイン$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{5}}$ ，よって振幅は$\frac{1}{\sqrt{5}}$倍になる。

（4） ブロック線図の内側のループの伝達関数$G'(s) = \frac{\frac{1}{s}}{1+\frac{K_V}{s}} = \frac{1}{s+K_V}$,

したががって，入力 x から出力 y までの伝達関数$G(s) = \frac{K_P \cdot G'(s) \cdot \frac{1}{s}}{1+K_P \cdot G'(s) \cdot \frac{1}{s}} = \frac{K_P}{s^2+K_V s+K_P}$

（5） 2 次遅れ系は，$G(s) = \frac{{\omega_n}^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+{\omega_n}^2}$と表せる。

（4）の結果より，$K_V = 2\zeta\omega_n = 20$，$K_P = {\omega_n}^2 = 100$