Experiment: TIA simple Z2 Z5 ZL

Filter 1

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ R_4,\ \infty,\ L_L s + R_L + \frac{1}{C_L s}\right)$

$H(s)$: $\frac{\left(C_L L_L s^2 + C_L R_L s + 1\right)\left(R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4\right)}{2C_L L_L R_2 g_m s^2 + 4C_L L_L s^2 + C_L L_L s^2 + C_L R_2 R_4 g_m s + 2C_L R_2 R_L g_m s + C_L R_2 s + C_L R_4 s + 4C_L R_L s + 2R_2 g_m + 4}$

Q: $\frac{2L_L \sqrt{\frac{1}{C_L L_L}}(R_2 g_m + 2)}{R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_L L_L}}$

Bandwidth: $\frac{R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}{2L_L(R_2 g_m + 2)}$

Qz: $\frac{L_L \sqrt{\frac{1}{C_L L_L}}}{R_L}$

Filter 2

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ R_4,\ \infty,\ \frac{L_L s}{C_L L_L s^2 + 1} + R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{\left(R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4\right)\left(C_L L_L R_L s^2 + L_L s + R_L\right)}{C_L L_L R_2 R_4 g_m s^2 + 2C_L L_L R_2 R_L g_m s^2 + C_L L_L R_2 s^2 + C_L L_L R_4 s^2 + 4C_L L_L R_L s^2 + 2L_L R_2 g_m s + 4L_L s + R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}$

Q: $\frac{C_L \sqrt{\frac{1}{C_L L_L}}(R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L)}{2(R_2 g_m + 2)}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_L L_L}}$

Bandwidth: $\frac{2(R_2 g_m + 2)}{C_L(R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L)}$

Qz: $C_L R_L \sqrt{\frac{1}{C_L L_L}}$

Filter 3

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ L_4 s + \frac{1}{C_4 s},\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(C_4 L_4 R_2 g_m s^2 + C_4 L_4 s^2 - C_4 R_2 s + R_2 g_m + 1\right)}{C_4 L_4 R_2 g_m s^2 + C_4 L_4 s^2 + 2C_4 L_4 R_L g_m s^2 + C_4 R_2 s + 4C_4 R_L s + R_2 g_m + 1}$

Q: $\frac{L_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(R_2 g_m + 1)}{2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}$

Bandwidth: $\frac{2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L}{L_4(R_2 g_m + 1)}$

Qz: $\frac{L_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(-R_2 g_m - 1)}{R_2}$

Filter 4

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ \frac{L_4 s}{C_4 L_4 s^2 + 1},\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(-C_4 L_4 R_2 s^2 + L_4 R_2 g_m s + L_4 s - R_2\right)}{2C_4 L_4 R_2 R_L g_m s^2 + C_4 L_4 R_2 s^2 + 4C_4 L_4 R_L s^2 + L_4 R_2 g_m s + L_4 s + 2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L}$

Q: $\frac{C_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L)}{R_2 g_m + 1}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}$

Bandwidth: $\frac{R_2 g_m + 1}{C_4(2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L)}$

Qz: $-\frac{C_4 R_2 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}}{R_2 g_m + 1}$

Filter 5

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ L_4 s + R_4 + \frac{1}{C_4 s},\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(C_4 L_4 R_2 g_m s^2 + C_4 L_4 s^2 + C_4 R_2 R_4 g_m s - C_4 R_2 s + C_4 R_4 s + R_2 g_m + 1\right)}{C_4 L_4 R_2 g_m s^2 + C_4 L_4 s^2 + 2C_4 L_4 R_L g_m s^2 + C_4 R_2 R_4 g_m s + 2C_4 R_2 R_L g_m s + C_4 R_2 s + C_4 R_4 s + 4C_4 R_L s + R_2 g_m + 1}$

Q: $\frac{L_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(R_2 g_m + 1)}{R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}$

Bandwidth: $\frac{R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}{L_4(R_2 g_m + 1)}$

Qz: $\frac{L_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(R_2 g_m + 1)}{R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4}$

Filter 6

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ \frac{1}{C_4 s + \frac{1}{R_4 + \frac{1}{C_4 s}}},\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(-C_4 L_4 R_2 s^2 + L_4 R_2 R_4 g_m s - L_4 R_2 s + L_4 R_4 s - R_2 R_4\right)}{2C_4 L_4 R_2 R_L g_m s^2 + C_4 L_4 R_2 s^2 + 4C_4 L_4 R_L s^2 + L_4 R_2 R_4 g_m s + 2L_4 R_2 R_L g_m s + L_4 R_2 s + L_4 R_4 s + 4L_4 R_L s + 2R_2 R_4 R_L g_m + R_2 R_4 + 4R_4 R_L}$

Q: $\frac{C_4 R_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L)}{R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}$

Bandwidth: $\frac{R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}{C_4 R_4(2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L)}$

Qz: $-\frac{C_4 R_2 R_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}}{R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4}$

Filter 7

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ \frac{L_4 s}{C_4 L_4 s^2 + 1} + R_4,\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(C_4 L_4 R_2 R_4 g_m s^2 - C_4 L_4 R_2 s^2 + C_4 L_4 R_4 s^2 + L_4 R_2 g_m s + L_4 s + R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4\right)}{C_4 L_4 R_2 R_4 g_m s^2 + 2C_4 L_4 R_2 R_L g_m s^2 + C_4 L_4 R_2 s^2 + C_4 L_4 R_4 s^2 + 4C_4 L_4 R_L s^2 + L_4 R_2 g_m s + L_4 s + R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}$

Q: $\frac{C_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L)}{R_2 g_m + 1}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}$

Bandwidth: $\frac{R_2 g_m + 1}{C_4(R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L)}$

Qz: $\frac{C_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4)}{R_2 g_m + 1}$

Filter 8

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ R_2,\ \infty,\ \frac{R_4\left(L_4 s + \frac{1}{C_4 s}\right)}{L_4 s + R_4 + \frac{1}{C_4 s}},\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(C_4 L_4 R_2 R_4 g_m s^2 - C_4 L_4 R_2 s^2 + C_4 L_4 R_4 s^2 - C_4 R_2 R_4 s + R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4\right)}{C_4 L_4 R_2 R_4 g_m s^2 + 2C_4 L_4 R_2 R_L g_m s^2 + C_4 L_4 R_2 s^2 + C_4 L_4 R_4 s^2 + 4C_4 L_4 R_L s^2 + 2C_4 R_2 R_4 R_L g_m s + C_4 R_2 R_4 s + 4C_4 R_4 R_L s + R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L}$

Q: $\frac{L_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L)}{R_4(2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L)}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}$

Bandwidth: $\frac{R_4(2R_2 R_L g_m + R_2 + 4R_L)}{L_4(R_2 R_4 g_m + 2R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4R_L)}$

Qz: $\frac{L_4 \sqrt{\frac{1}{C_4 L_4}}(-R_2 R_4 g_m + R_2 - R_4)}{R_2 R_4}$

Filter 9

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty,\ L_2 s + \frac{1}{C_2 s},\ \infty,\ R_4,\ \infty,\ R_L\right)$

$H(s)$: $\frac{R_L\left(C_2 L_2 R_4 g_m s^2 - C_2 L_2 s^2 + C_2 R_4 s + R_4 g_m - 1\right)}{C_2 L_2 R_4 g_m s^2 + 2C_2 L_2 R_L g_m s^2 + C_2 L_2 s^2 + C_2 R_4 s + 4C_2 R_L s + R_4 g_m + 2R_L g_m + 1}$

Q: $\frac{L_2 \sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_4 g_m + 2R_L g_m + 1)}{R_4 + 4R_L}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}$

Bandwidth: $\frac{R_4 + 4R_L}{L_2(R_4 g_m + 2R_L g_m + 1)}$

Qz: $\frac{L_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_4 g_m - 1)}{R_4}$

Filter 10

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty, \ L_2 s + R_2 + \frac{1}{C_2 s}, \ \infty, \ R_4, \ \infty, \ R_L \right)$

$H(s)$: $\frac{R_L \left(C_2 L_2 R_4 g_m s^2 - C_2 L_2 s^2 + C_2 R_2 R_4 g_m s - C_2 R_2 s + C_2 R_4 s + R_4 g_m - 1 \right)}{C_2 L_2 R_4 g_m s^2 + 2 C_2 L_2 R_L g_m s^2 + C_2 L_2 s^2 + C_2 R_2 R_4 g_m s + 2 C_2 R_2 R_L g_m s + C_2 R_2 s + C_2 R_4 s + 4 C_2 R_L s + R_4 g_m + 2 R_L g_m + 1}$

Q: $\frac{L_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_4 g_m + 2 R_L g_m + 1)}{R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}$

Bandwidth: $\frac{R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L}{L_2 (R_4 g_m + 2 R_L g_m + 1)}$

Qz: $\frac{L_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_4 g_m - 1)}{R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4}$

Filter 11

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty, \ \frac{L_2 s}{C_2 L_2 s^2 + 1} + R_2, \ \infty, \ R_4, \ \infty, \ R_L \right)$

$H(s)$: $\frac{R_L \left(C_2 L_2 R_2 R_4 g_m s^3 - C_2 L_2 R_2 s^3 + C_2 L_2 R_4 s^3 + L_2 R_4 g_m s - L_2 s + R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4 \right)}{C_2 L_2 R_2 R_4 g_m s^3 + 2 C_2 L_2 R_2 R_L g_m s^3 + C_2 L_2 R_2 s^3 + C_2 L_2 R_4 s^3 + 4 C_2 L_2 R_L s^3 + L_2 R_4 g_m s + 2 L_2 R_L g_m s + L_2 s + R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L}$

Q: $\frac{C_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L)}{R_4 g_m + 2 R_L g_m + 1}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}$

Bandwidth: $\frac{R_4 g_m + 2 R_L g_m + 1}{C_2 (R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L)}$

Qz: $\frac{C_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4)}{R_4 g_m - 1}$

Filter 12

Filter Type: GE

$Z(s)$: $\left(\infty, \ \frac{R_2\left(L_2 s + \frac{1}{C_2 s}\right)}{L_2 s + R_2 + \frac{1}{C_2 s}}, \ \infty, \ R_4, \ \infty, \ R_L \right)$

$H(s)$: $\frac{R_L \left(C_2 L_2 R_2 R_4 g_m s^2 - C_2 L_2 R_2 s^2 + C_2 L_2 R_4 s^2 + C_2 R_2 R_4 s + R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4 \right)}{C_2 L_2 R_2 R_4 g_m s^2 + 2 C_2 L_2 R_2 R_L g_m s^2 + C_2 L_2 R_2 s^2 + C_2 L_2 R_4 s^2 + 4 C_2 L_2 R_L s^2 + C_2 R_2 R_4 s + 4 C_2 R_2 R_L s + R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L}$

Q: $\frac{L_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L)}{R_2(R_4 + 4 R_L)}$

ω_0: $\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}$

Bandwidth: $\frac{R_2(R_4 + 4 R_L)}{L_2 (R_2 R_4 g_m + 2 R_2 R_L g_m + R_2 + R_4 + 4 R_L)}$

Qz: $\frac{L_2\sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}(R_2 R_4 g_m - R_2 + R_4)}{R_2 R_4}$