

簡易報告：プリアンプ部の特性について

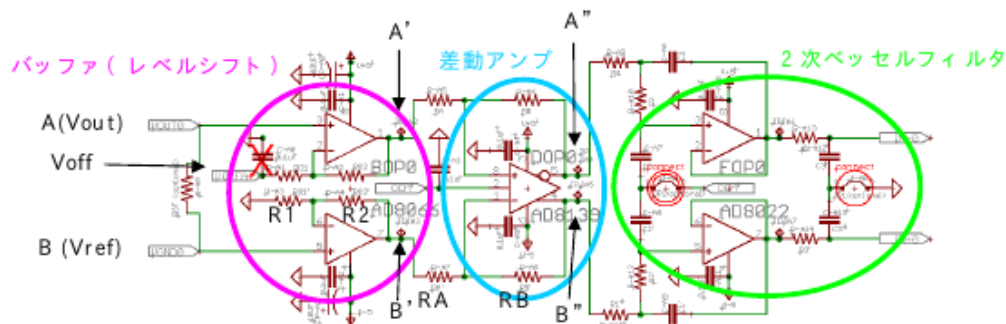


図 20 プリアンプ部の回路図

図 1: プリアンプ部の回路図

一段目のバッファ，及び作動アンプに関してはそれぞれ問題なく稼働していた．初段は約 1.3 倍の倍率を実現しており，作動アンプもそれぞれの出力から期待通りの電圧が出ていた．最後の 2 次ベッセルフィルタについては，まず計算によってフィルタ特性を求めてから実際の応答がそれにしただけかどうか確認した．

1.1 ベッセルフィルタの特性について

作成中

図 2: ベッセルフィルタ

ベッセルフィルタ (+ RC ローパスフィルタ) の概略図を 2 に示した．それぞれの回路定数は $R_1, R_2 = 820 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$, $C_1 = 150 \text{ pF}$, $C_2 = 120 \text{ pF}$, $C_3 = 2.2 \text{ nF}$ である．入力電圧を V_{in} ，出力電圧を V_{out} とすると，それぞれ次のような式が成立する．

$$V_{in} - V_{ocm} = R_1(i_1 + i_2) + R_2 i_2 + Q_2 / C_2 \quad (1.1)$$

$$V_{out} - V_{ocm} = Q_2 / C_2 \quad (1.2)$$

$$V_{in} - V_{out} = R_1(i_1 + i_2) + Q_1 / C_1 \quad (1.3)$$

ただし， i_1, i_2 はかくキャパシタンスに流れ込む電流量を表し， Q_1, Q_2 はそれぞれのチャージを表している．よって， $i_k = \dot{Q}_k$ の関係が成り立つ．これらの式を組み合わせることで， V_{in}, V_{out} の間には次の関係式が成り立つと分かる．

$$V_{in} = C_1 C_2 R_1 R_2 \left(\ddot{V}_{out} + \frac{1}{C_1} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \dot{V}_{out} + \frac{V_{out}}{C_1 C_2 R_1 R_2} \right) \quad (1.4)$$

周波数特性が知りたいので Fourier 変換する．

$$\tilde{V}_{\text{out}} = \frac{\omega_0^2}{-\omega^2 + i\omega_0/Q\omega + \omega_0^2} \tilde{V}_{\text{in}}. \quad (1.5)$$

ただし，

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}}, \quad Q = \omega_0 C_1 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (1.6)$$

以下，記述を簡単にするため $\alpha \equiv \omega_0/Q, \beta \equiv \omega_0^2$ と定義する．よって，フィルタの特性関数 $\tilde{F}(\omega)$ は，

$$\tilde{F}(\omega) = \frac{\beta}{-\omega^2 + i\alpha\omega + \beta}. \quad (1.7)$$

ゲインは

$$|\tilde{F}(\omega)| = \frac{\beta}{\sqrt{(\beta - \omega^2)^2 + \alpha^2 \omega^2}}. \quad (1.8)$$

また，位相のずれは

$$\tan \theta = -\frac{\alpha\omega}{\beta - \omega^2} \quad (1.9)$$

となる．計算によって導かれた式とそれぞれの測定結果をまとめた図を以下に示す．図 3 は横軸を周波数 [Hz]，縦軸をゲインにとったときの図である．周波数が $\sim 1 \times 10^6$ 程度までは理論式にほぼ乗っかっていると考えられる．これよりも周波数が高い領域では個々の素子が期待通りに働かなかったため理論式から少し浮き上がっているのではないかと考えられる．図 4 は横軸を周波数 [Hz]，縦軸を位相のずれ [degree] にとったときの図である．

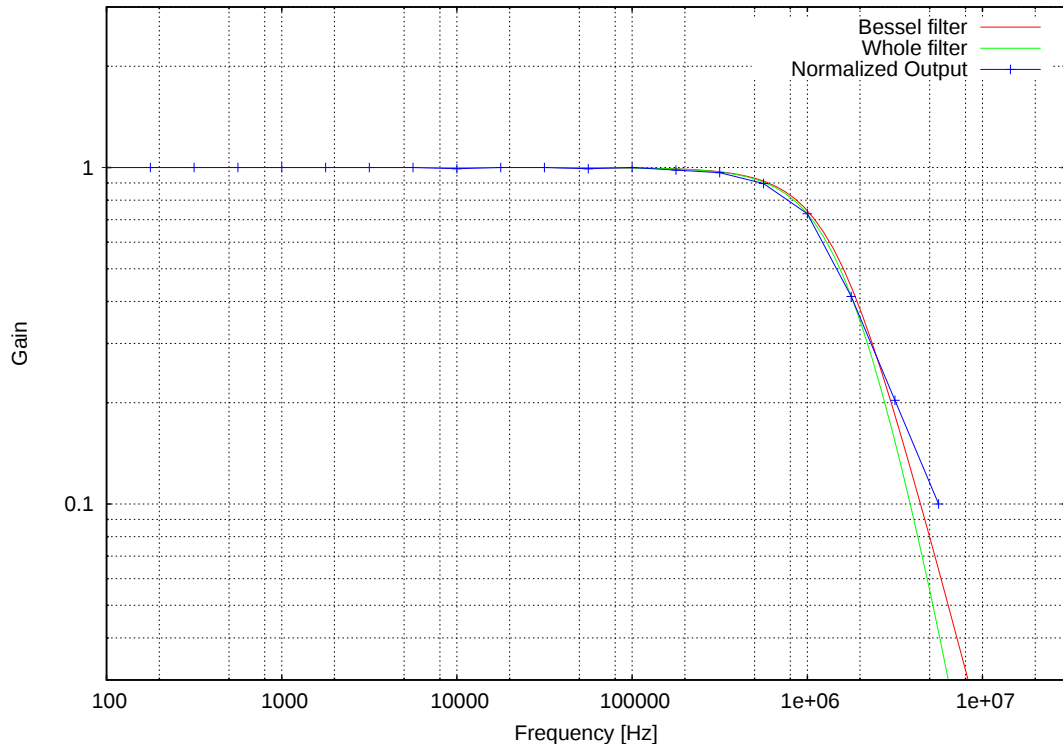


図 3: ゲインの周波数変化

測定の誤差がかなり大きかったため綺麗に線の上には乗らなかったが、傾向は概ね一致しているといえる。

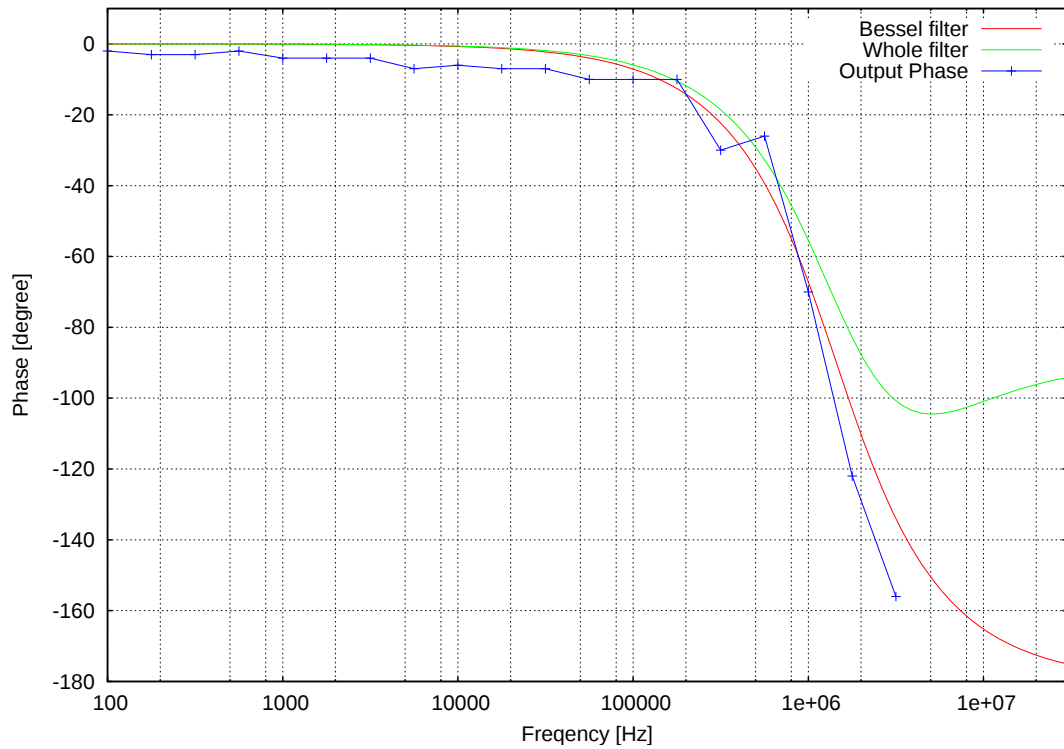


図 4: 位相のずれ

1.2 矩形波入力に対する応答

矩形波の入力に対する応答を見る．入力が階段関数であるとするとその Laplace 変換は

$$\tilde{V}_{\text{in}} = V_0 \int_0^s \theta(t - T) e^{-st} dt = V_0 \frac{e^{-st}}{s}. \quad (1.10)$$

また， s -空間域でのフィルタの特性関数は $i\omega \rightarrow s$ とすることにより，

$$\tilde{F}(s) = \frac{\beta}{s^2 + \alpha s + \beta}. \quad (1.11)$$

よって入出力の関係式はそれぞれの積になり，

$$\tilde{V}_{\text{out}} = \tilde{F}(s) \cdot \tilde{V}_{\text{in}}. \quad (1.12)$$

それぞれ代入して Laplace 変換しやすいように式変形すると，

$$\tilde{V}_{\text{out}} = V_0 \left[\frac{1}{s} - \frac{s'}{s'^2 + s_0^2} - \frac{\alpha/2}{s_0^2} \frac{s_0}{s'^2 + s_0^2} \right] e^{-st}. \quad (1.13)$$

ただし, $s' \equiv s + \alpha/2$, $s_0 \equiv \beta - \alpha^2/4$. 変換表を用いて逆変換をおこなうと,

$$V_{\text{out}}(t) = V_0 \theta(t') \left[1 - e^{-\frac{\alpha}{2} t'} \left[\cos s_0 t' + \frac{\alpha/2}{s_0} \sin s_0 t' \right] \right]. \quad (1.14)$$

ここで $t' \equiv t - T$ とした. この式と, ベッセルフィルタに入力した信号の対応を図 5 に示した. 入力した信号は 0–3 [V] の階段関数である. 図を見ると実際の応答と理論式はほとんど一致しているように思われる. 理論式によればはオーバーシュートが 1% 程度であり, 値が振幅の 2^{-16} 程度に落ち着くまで 1.3×10^{-6} [s] 必要であるので, 実際の回路でも同程度の値であると考えられる.

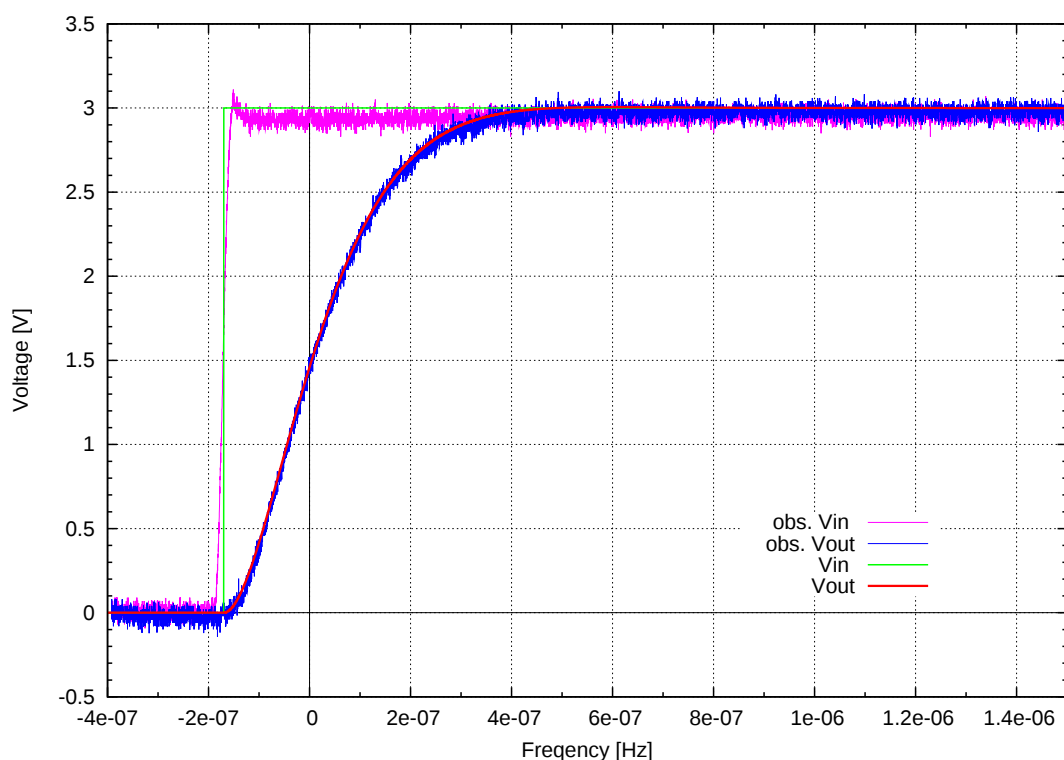


図 5: 矩形波に対する反応