

入力インピーダンス実例

具体的に入力インピーダンスを求めてみましょう。

●オペアンプの正入力部に信号が入る場合

まずは、図1に示すような入力部を持つエフェクターの入力インピーダンスを求めてみましょう。

オペアンプの入力抵抗はとても大きいのでオペアンプの入力部に電流が流れ込まないものと考えます。すると、入力インピーダンスに関与する部材は、input から bias の間のものだけなので、キャパシタ C_1 と抵抗 R_1 だけになります。これらは直列に接続されるので入力インピーダンス Z は次のようになります。ただし、 $j=\sqrt{-1}$ で、 f は入力音の周波数(Hz)です。

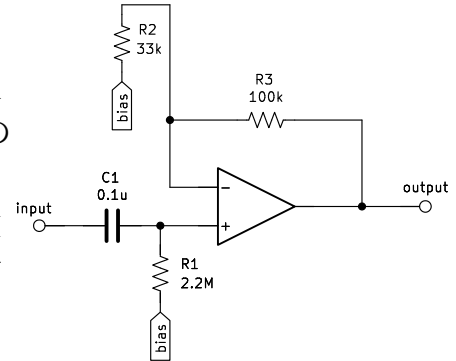


図 1: オペアンプ 1

$$Z = R_1 + \frac{1}{2j\pi f C_1} = R_1 - j \frac{1}{2\pi f C_1}$$

入力インピーダンスの大きさ $|Z|$ を求めてみましょう。

$$|Z| = \sqrt{(Z\text{の実部})^2 + (Z\text{の虚部})^2} = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{-1}{2\pi f C_1}\right)^2} = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C_1}\right)^2}$$

なお、余談ですが音が十分に高いとき、即ち f が十分に大きいときは

$\left(\frac{1}{2\pi f C_1}\right)^2$ は 0 に近づくので、入力インピーダンスの大きさ $|Z|$ は R_1 に収束します。¹

詳細は第二章の[交流回路計算](#)などを見てください。

●オペアンプの正入力部に信号が入る場合(機械スイッチ式)

上述の図1の入力部を持つエフェクターがエフェクト・オン・オフのために[機械スイッチ式](#)を採用しているとき(いわゆる「ツウルー・バイパス方式」というやつです)、図2にあるように抵抗 R_0 が付加されます。この抵抗 R_0 が付加された場合の入力インピーダンスを見てみましょう(R_0 が付加された以外は図1のものと同じです)。先程求めた入力インピーダンス Z を Z_0 とおきます。上記の結果をそのまま利用できるので Z_0 は

$$Z_0 = R_1 + \frac{1}{2j\pi f C_1} = R_1 - j \frac{1}{2\pi f C_1} \quad \text{となります。}$$

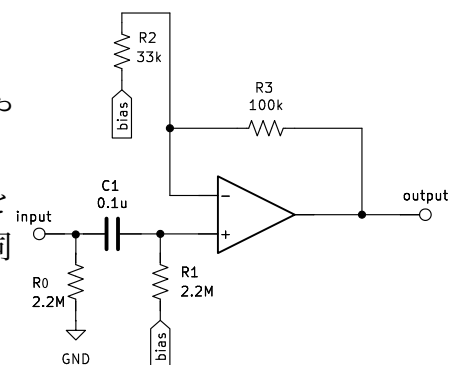


図 2: オペアンプ 1 と機械スイッチ

ただし、 $j=\sqrt{-1}$ で、 f は入力音の周波数(Hz)です。

そして、input から見て Z_0 と R_0 は並列なので、入力インピーダンス Z は

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{Z_0}} = \frac{R_0 Z_0}{Z_0 + R_0} \text{ となります。}$$

音が十分に高いとき、即ち f が十分に大きいとき $|Z_0|$ は R_1 に収束するので
入力インピーダンスの大きさ $|Z|$ は

$$\lim_{f \rightarrow \infty} |Z| = \frac{R_0 R_1}{R_0 + R_1} \text{ となります。}$$

●オペアンプの負入力部に信号が入る場合

次に、図3に示すような入力部を持つエフェクターの入力インピーダンスを求めてみましょう。

抵抗 R_1 と抵抗 R_2 の間は「イマジナリー・アース (イマジナリー・ショート、仮想接地)」と呼ばれ、input にどのような信号が入力されても電位は bias と等しい一定値になります。ここをグラウンドとみなし得るので、入力インピーダンスに關与する部材はキャパシタ C_1 と抵抗 R_1 だけになります。こ

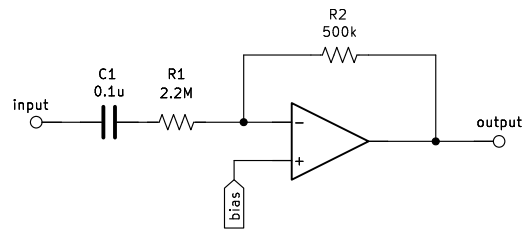


図3: オペアンプ2

れらが直列に接続されるので入力インピーダンス Z は次のようになります。ただし、 $j=\sqrt{-1}$ で、 f は入力音の周波数(Hz)です。

$$Z = R_1 + \frac{1}{2j\pi f C_1} = R_1 - j \frac{1}{2\pi f C_1}$$

入力インピーダンスの大きさ $|Z|$ を求めてみましょう。

$$|Z| = \sqrt{(Zの实部)^2 + (Zの虚部)^2} = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{-1}{2\pi f C_1}\right)^2} = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C_1}\right)^2}$$

●トランジスタに信号が入る場合

最後に、図4に示すような入力部を持つエフェクターの入力インピーダンスを求めてみましょう。

点Aからトランジスタと抵抗 R_4 を経由しグラウンドに至るまでの抵抗 R_T は、 $R_T = h_{FE} R_4$ になります(この等式は近似的に成り立つもので厳密なものではありません。しかし実用的にはこの等式で十

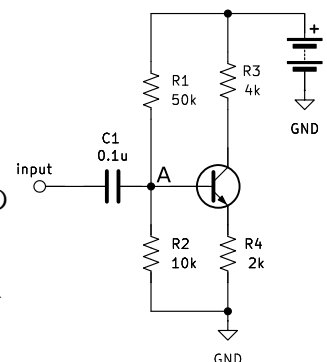


図4: トランジスタ

分です。 h_{FE} は「電流増幅率」で、使用するトランジスタによって独自の値になります。)。点 A とグラウンドの間で抵抗 R_1 、 R_2 、 R_T は並列に接続されているといえるのでⁱⁱ、その合成抵抗 R は

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_T}} = \frac{R_1 R_2 R_T}{R_2 R_T + R_1 R_T + R_1 R_2}$$

となります。

ただし、 $R_1 \ll R_T$ かつ $R_2 \ll R_T$ ならば $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_T}$ で $\frac{1}{R_T}$ を無視することができ

るので R は

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1} \text{ としても良いです。}$$

そして、入力インピーダンス Z は input からグラウンドに至る部材が関与するので、次のようになります。ただし、 $j = \sqrt{-1}$ で、 f は入力音の周波数(Hz)です。

$$Z = R + \frac{1}{2j\pi f C_1} = R - j \frac{1}{2\pi f C_1}$$

入力インピーダンスの大きさ $|Z|$ を求めてみましょう。

$$|Z| = \sqrt{(Z\text{の実部})^2 + (Z\text{の虚部})^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{-1}{2\pi f C_1}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C_1}\right)^2}$$

By 荻窪のおっちゃん

公開日:2024 年 06 月 26 日

最新更新日:2023 年 06 月 26 日

[「エフェクターの設計要点」](#)に行く

[「ホーム」](#)に行く

- i 「入力インピーダンスは R_i に収束します。」：人間の可聴周波数範囲は 20～20kHz なので、 f が 20Hz になるまでに R_i に収束するように、抵抗 R_i 及びキャパシタ C_i の値を調整します。ただし、ギター専用のエフェクターの場合、ギターの最低音は 82.4Hz なので、収束する周波数は 20Hz よりも少し高くなっても大丈夫です。
- ii 「点 A とグラウンドの間で抵抗 R_i 、 R_2 、 R_T は並列に接続されているといえるので」：点 A とグラウンドの間で抵抗 R_2 と抵抗 R_T は並列に接続されていることは明らかですが、抵抗 R_i が抵抗 R_2 、 R_T に対して並列とみなすことには違和感があるのではないのでしょうか。抵抗 R_i は点 A と電池のプラス側に接続しています。電池のプラス側は電池を介していますが電池の内部抵抗は実質的に 0Ω なので、グラウンドとみなすことが可能なのです。