

低雑音プリアンプの選択と設計を学ぶ、その二

2021/09/05 Zoffy

センサなどの微小信号源からの信号を増幅する PreAmp は、①信号が電圧_電流_電荷なのか、②信号源出力インピーダンス、③求められる応答帯域、等の条件により設計します。

「その一」では、[電圧-電圧アンプ](#)において NF 社の製品と「トランジスタ技術」@2014 年に掲載された、おじさん工房の低雑音 PreAmp を紹介しました。今回は、この PreAmp の [ノイズレベルを更に改善 \(\$1\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \rightarrow 0.35\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}\$ \)](#) するために、おじさん工房が行った工夫を紹介します。

1. 低雑音プリアンプの設計例 #1 (トランジスタ技術 2014 年 4 月号より、「その一」で紹介)

J-FET によるディスクリット差動アンプの入力段と OP アンプによりハイブリッド構成した前段アンプにより、低電圧雑音と低電流雑音を両立しています。PreAmp は 2 段カスケードであり、後段で更に Gain を稼ぐ構成です。前段ハイブリッドアンプの構成をブロック図 1 に、全体の回路を図 2 に示します。

目標仕様

入力換算雑音電圧密度: $1\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下
周波数応答: 10Hz から 1MHz
入力インピーダンス: $1\text{ M}\Omega$
Gain: 60 dB

前段ハイブリッドアンプの構成

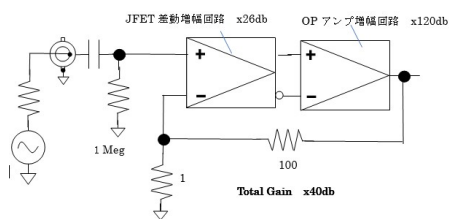


図 1、ブロック図

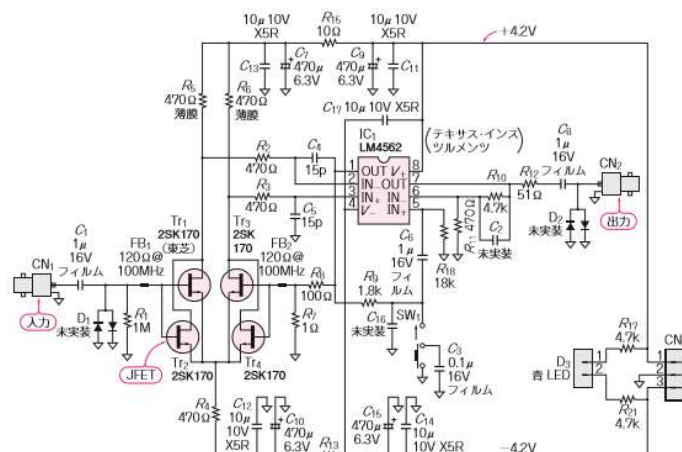


図 2、回路図

素晴らしい性能ですが、設計者の小川氏は以下の欠点を挙げています。

- JFET を入力段としていることで、低ノイズ化を図っているが、[差動構成のために JFET ノイズが \$\sqrt{2}\$ 倍](#)となる。・・・(A)
- DC 動作点を一定の範囲に収めるためには、[JFET の選別](#)が必要。



2. 低雑音プリアンプの設計例 #2 2014 年 PreAmp の改良版

ノイズレベル $0.35\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ プリアンプの設計例 (トランジスタ技術 2017 年 9 月)

小川氏は、3 年後の 2017 年 9 月のトランジスタ技術に更なる低ノイズの Preamp を発表しています。



図 3、改良型低雑音 Preamp 記事

この記事では、2014 年版の設計から、更に入力換算雑音レベルを下げる手法として以下の対策を行っています。

入力換算雑音レベルを抑える対策

- 入力部 JFET の並列数を増す事で JFET 部の等価雑音抵抗を小さくする。物量作戦
- シングルアンプ構成とする。(入力段の雑音の軽減、・・(1 頁、A) の対策)

しかしながら、当初上記の対策を行うためには、以下の問題点が有りました。

上記手法の課題

- ① シングルアンプ構成では、入力段の直流動作点の調整が必要であり困難。
- ② 入力容量が増す。
- ③ シングルアンプ構成では、JFET AMP 段の電源ノイズが、OP アンプ増幅段に筒抜けになる。

そこで、小川氏は前段のハイブリッドアンプ部に次のような解決策を施しました。前段のハイブリッドアンプ部のブロック構成を図4に示します。また全体の回路を図5に示します。

解決策)

- ① スーパーボで直流動
作点を調整する。
- ② FET 型番の再選定：
2SK170 (旧) 2パラで
60pF → BF862 (新)
8パラで 80pF。
- ③ 電源として三端子電源
出力を Tr. Active Filter
で数 $\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}$ へ清
浄する。
- ④ ③に加えて電源電圧のノイズを OP アンプ増幅段の基準電圧側に重畳すること
で、電源ノイズをキャンセルする。

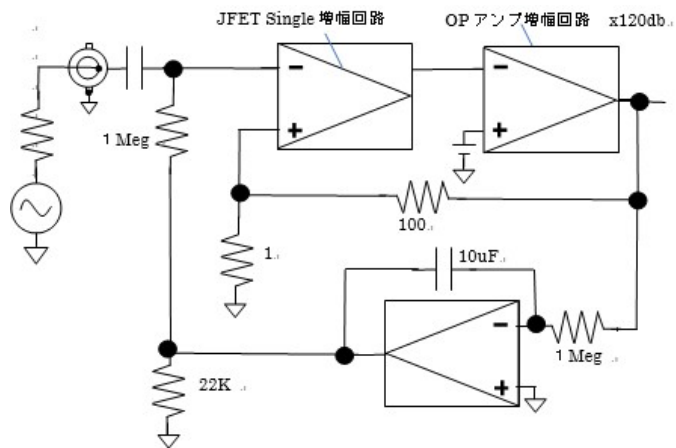


図4、前段ブロック図

回路図

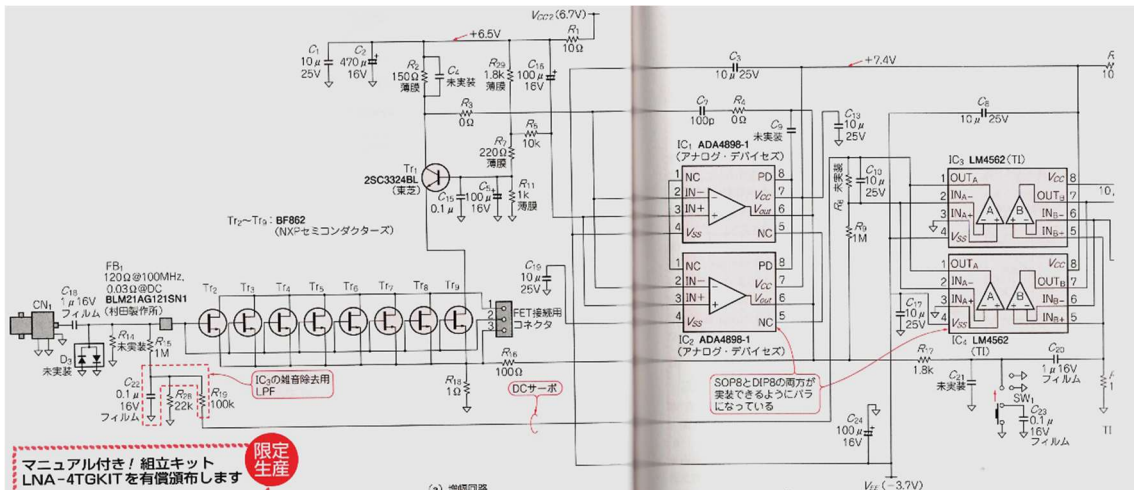


図5、全体回路

入力部は JFET を 8 個並列入力としています。等価雑音抵抗値 Req を計算すると以下の値になります。

$$Req = 2 / (3 * gm) = 2 / (3 * 45E-3 * 8) = 1.85 \Omega、(gm \text{ は、FET の電圧-電流増幅率})$$

これより、電圧雑音は 0.18 nV／√Hz と計算されます。

$$\text{電圧雑音} = 0.13 \sqrt{Req} \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}} = 0.18 \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}}$$

最後に JFET_BF862 の Data を添付します。表面実装型、けっこう優れものであることが分かります。

N-channel junction FET

BF862

FEATURES

- High transition frequency for excellent sensitivity in AM car radios.
- High transfer admittance.

APPLICATIONS

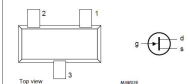
- Pre-amplifiers in AM car radios.

DESCRIPTION

Silicon N-channel symmetrical junction field-effect transistor in a SOT23 package. Drain and source are interchangeable.

PINNING SOT23

PIN	DESCRIPTION
1	source
2	drain
3	gate



DYNAMIC CHARACTERISTICS

Common source; T_{amb} = 25 °C; V_{GS} = 0; V_{DS} = 8 V; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
y _{fs}	common source forward transfer admittance	T _j = 25 °C	35	45	—	mS
g _{DS}	common source output conductance	T _j = 25 °C	—	180	400	μS
C _{iss}	input capacitance	f = 1 MHz	—	10	—	pF
C _{rss}	reverse transfer capacitance	f = 1 MHz	—	1.9	—	pF
e _n	equivalent noise input voltage	f = 100 kHz	—	0.8	—	nV/√Hz
f _T	transition frequency		—	715	—	MHz

以上