低雑音プリアンプの選択と設計を学ぶ、その 1

ZOFFY

センサなどの微小信号源からの信号を増幅する Pre-amp 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はいくつか、③求められる周波数帯域は、　等により選択します。ここでは、電圧-電圧アンプにおいて（株）NF 回路設計ブロックの製品からその実例と選択を考察します。また「トランジスタ技術」掲載の設計例より、低雑音プリアンプの設計手法を紹介します。

1.　（株）NF 回路設計ブロックの電圧-電圧アンプ製品

信号源の出力インピーダンスに対応して、2 種類が用意されている。

CA-261F2

バイポーラ入力。　入力換算雑音電圧密度が小さい。0.8nV/√Hz。一方で電流雑音が 1.5pA/√Hz と大きく、出力インピーダンスが大きい信号源の増幅ではノイズフィギュアが悪化。

CA-271F 4

FET 入力。　電流雑音が小さいため高インピーダンス出力信号源の増幅に適する。10fA/√Hz、一方で電圧ノイズが 1.6nV/√Hz。CA-261F2 と比べて大きい。

以上の特性より、出力インピーダンスが小さい電圧信号源に対しては、CA-261F2 を、出力インピーダンスが大きい電圧信号源に対しては、CA-2 7 1F 4 を選択する。
詳細な仕様は、Data Sheet を参照。

Data　Sheet の比較

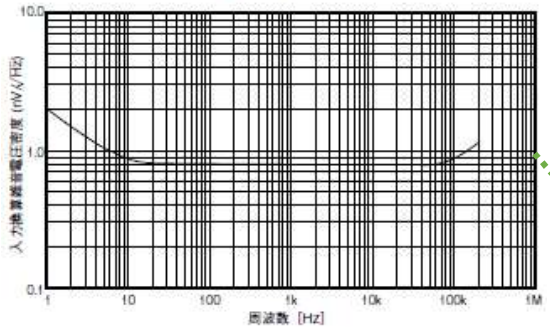
CA-261F2 バイポーラ入力

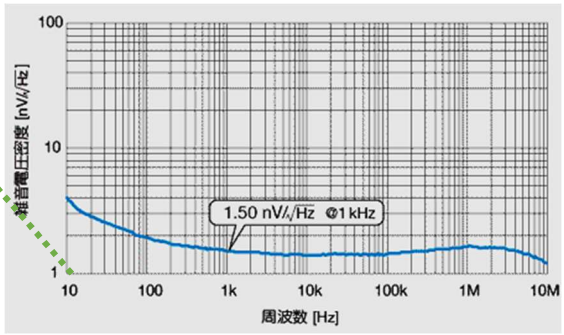
▼入力部	
入力形式	直流結合　不平衡片線接地入力
入力インピーダンス	100kΩ±5%以内　@DC、①-②ピン接続 並列容量　80pF(typ)
線形最大入力電圧	±100mV以上　@1kHz
入力バイアス電流	±20nA(typ)
入力換算雑音電圧密度	0.9nV/√Hz以下　@1kHz(入力端短絡) 0.8nV/√Hz(typ)　@1kHz(入力端短絡)
入力換算雑音電流密度	1.5pA/√Hz(typ)　@10kHz
入力換算オフセット電圧	±20μV(typ)(入力端短絡) 外付け半固定抵抗器によりゼロに調整可能
入力換算直流ドリフト	±0.3μV/℃(typ)(入力端短絡)　0～40℃
▼出力部	
出力形式	直流結合　不平衡片線接地出力
最大出力電圧	±10V以上@1kHz(負荷抵抗≧1kΩ)
最大出力電流	±10mA以上
スルーレート	10V/μs(typ)
出力インピーダンス	50Ω±5%以内　@DC
▼増幅部	
電圧利得	40±0.2dB以内　@1kHz
電圧利得周波数特性	DC～200kHz　+0.5／−3dB以内
入出力位相	同相
高調波ひずみ率	0.006%(typ)　@1kHz　±10V出力

CA-271F４　FET 入力

▼入力部	
入力形式	直流結合　不平衡片線接地入力
入力インピーダンス	1GΩ以上(typ.)　f=1Hz 1MΩ±5%以内　①-②ピン短絡、f=1Hz 並列容量 50pF以下(typ.)
信号入力電圧範囲	±100mV
入力バイアス電流	±50pA以内(typ.) 約7℃上昇で2倍に増加
入力換算雑音電圧密度	1.8nV/√Hz以下　f=1kHz、入力接地 1.6nV/√Hz以下(typ.) f=1kHz、入力接地
入力換算雑音電流密度	10fA/√Hz以下(typ.)　f=1kHz
入力換算オフセット電圧	±50μV以内(typ.)入力接地 外付け半固定抵抗器にて0Vに調整可能
入力換算オフセット電圧 温度ドリフト	±10μV/℃以内(typ.) 入力接地、0～40℃
▼出力部	
出力形式	直流結合　不平衡片線接地出力
出力電圧	±10V以上　f=1kHz、負荷1kΩ以上
出力電流	±10mA以上　f=1kHz
スルーレート	CA-271F4　±300V/μs以上(typ.) CA-271F5　±600V/μs以上(typ.)
出力インピーダンス	50Ω±5%以内　f=1kHz
▼増幅部	
電圧利得	40±0.2dB以内　f=1kHz
電圧利得温度ドリフト	±100ppm/℃以内(typ.)　0～40℃
電圧利得周波数特性	CA-271F4　DC～10MHz CA-271F5　DC～20MHz +0.5dB/−3.0dB以内、1Vp-p出力 1kHz基準にて

入力換算雑音電圧密度

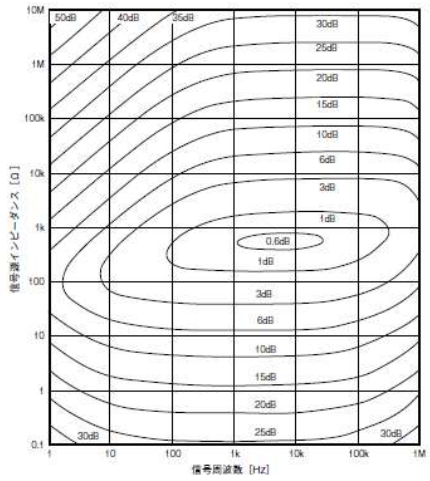




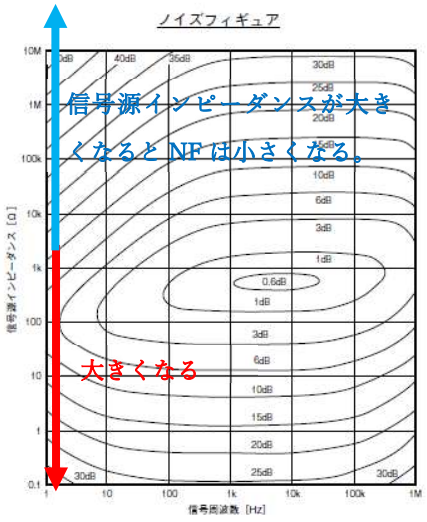
Noise Figure

Data sheet 無し。CA261F2 の Noise figure に比べて、信号源インピーダンスに対し、どうなるか予想。

ノイズフィギュア

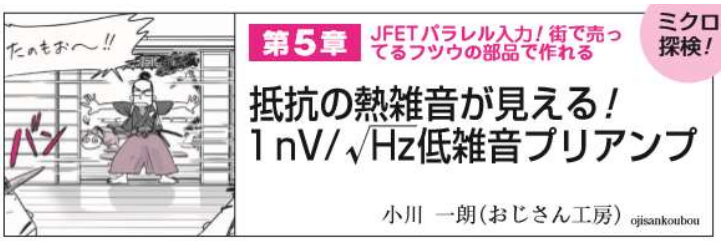


ノイズフィギュア



2.　低雑音プリアンプの設計例（トランジスタ技術 2014 年 4 月号より）

低電圧雑音と低電流雑音を両立する電圧-電圧 Pre-amp の設計例。NF 社製に挑戦した記事。



信号が小さいと，回路の内部雑音に紛れて，うまく観測や処理ができません．そのようなときは，低雑音アンプで信号を増幅してやる必要があります．

ところが，超低雑音OPアンプのほとんどは，バイポーラ・トランジスタ入力のタイプです．汎用的に使えるFET入力のOPアンプでは，少しノイズの多い製品しかありません．

そこで，ディスクリートのトランジスタを使い，超低雑音なアンプLNA-1（写真1）を作りました．低雑音アンプを設計するときの考え方を解説します．

〈編集部〉

目標仕様

入力換算雑音電圧密度：	1nV/√Hz　以下	→　50Ω抵抗の熱雑音レベル
周波数応答:	10Hz から　1MH z 、	AC アンプ
入力インピーダンス：	1 MΩ	
Gain:	60 dB	

最初は OP アンプを使おうとしたが、低雑音の AD797 や LT1028 においても、バイポーラ入力のために電流ノイズは 2 p A/√Hz typ.と大きく、信号源インピーダンスを 1kΩとするとノイズレベルは 2nV/√Hz と目標仕様に届かない。以下は、AD797 のデータシートより。

INPUT CURRENT NOISE	f = 1 kHz	±15 V	2.0	2.0	pA/√Hz

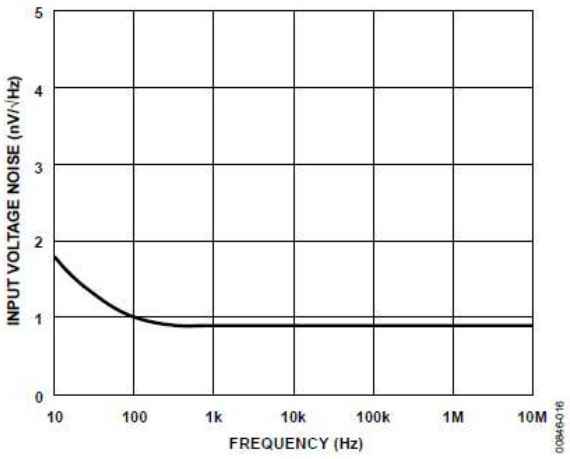
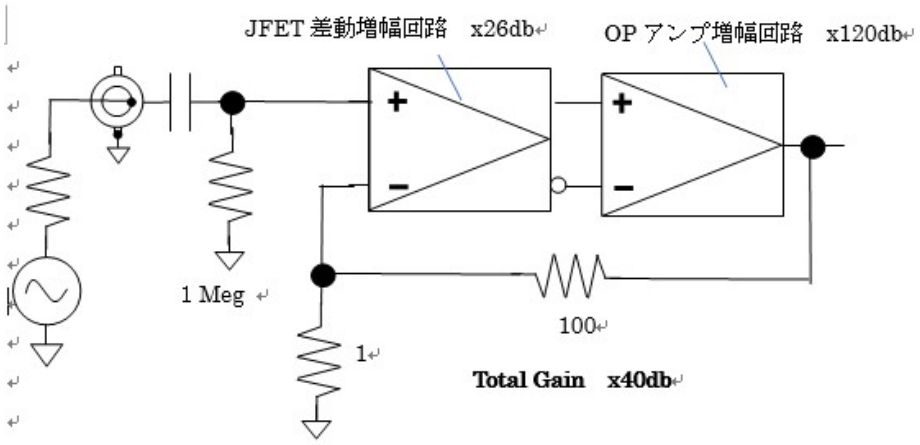


図 16.入力電圧ノイズ・スペクトル密度

解決の手法例として、**「JFET 差動増幅回路　と　OP アンプ」のハイブリッド構造**とする。初段に低雑音・高入力インピーダンスアンプを JFET で構成し（差動 Gain20 倍程度)、次段に OP アンプを繋げる 2 段構成増幅器とする。これより、次段の OP アンプノイズを入力換算雑音電圧では、JFET 差動増幅回路の Gain 分の 1 に抑えることができる。

ハイブリッドアンプの構成



JFET の雑音

主な雑音には、(1)ソース・ドレイン間の熱雑音、(2)フリッカ雑音(1/f 雑音)、(3)ゲート過剰逆電流（D-G 間電流)、G-S 間リーク電流、による雑音があるそうです。

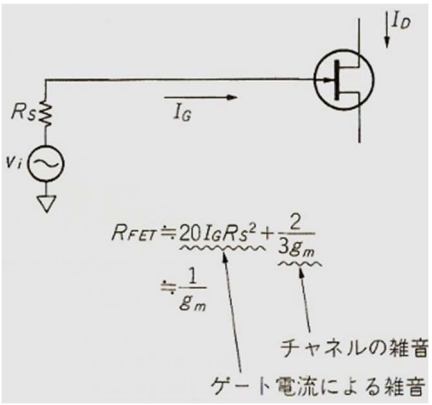
電流雑音　　fA レベルなので無視できるほど小さい。

電圧雑音　　熱雑音は、**等価雑音抵抗 Req** で示される。

Req = 2/(3*gm) 、gm は、FET の電圧-電流増幅率

電圧雑音 ＝0.13√Req （nV/√Hz）＝ √(k*T*R*B)

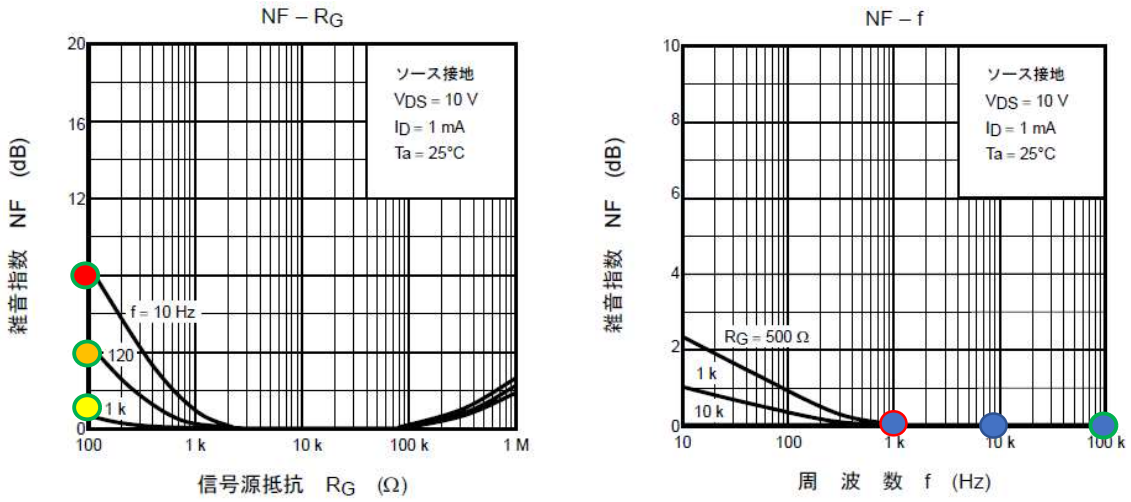
K:ボルツマン定数　T:絶対温度　R:抵抗値　B:帯域幅



型名	g_m@5 mA [mS]	C_{iss} [pF]	C_{rss} [pF]	g_m/C_{iss}
2SK117	18	13	2	1.38
2SK170	30	30	6	1
2SK369	40	75	15	0.53

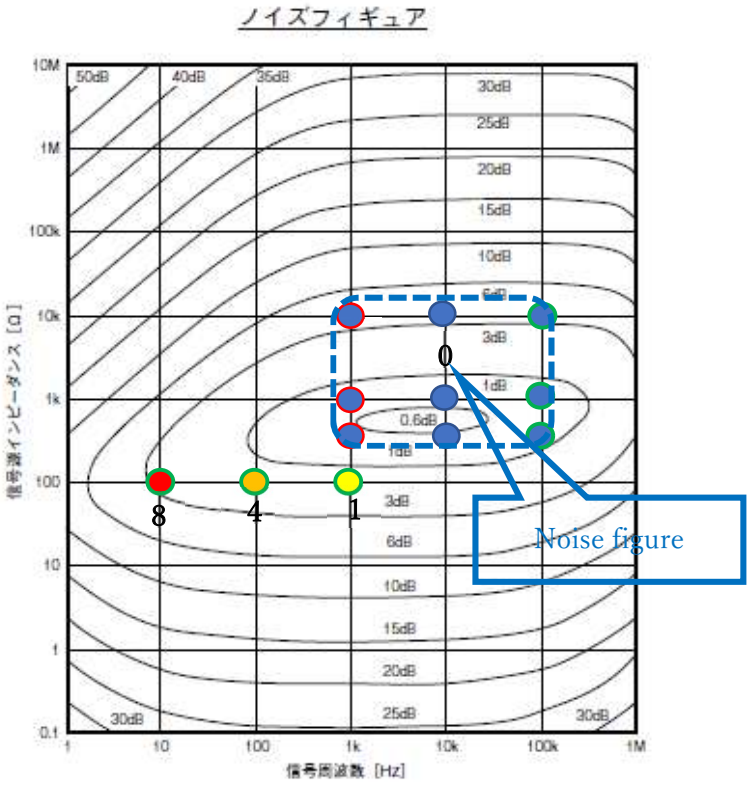
2 SK170 を並列接続すると等価雑音抵抗　Req = 2/(3*gm) = 2 / (3 * 2 *30mS) = 11Ω。
Req が発生する熱雑音は、0.13√11 = 0.4 nV/√Hz と計算される。

Data sheet より、２SK170 の Noise Figure は、以下の通り。



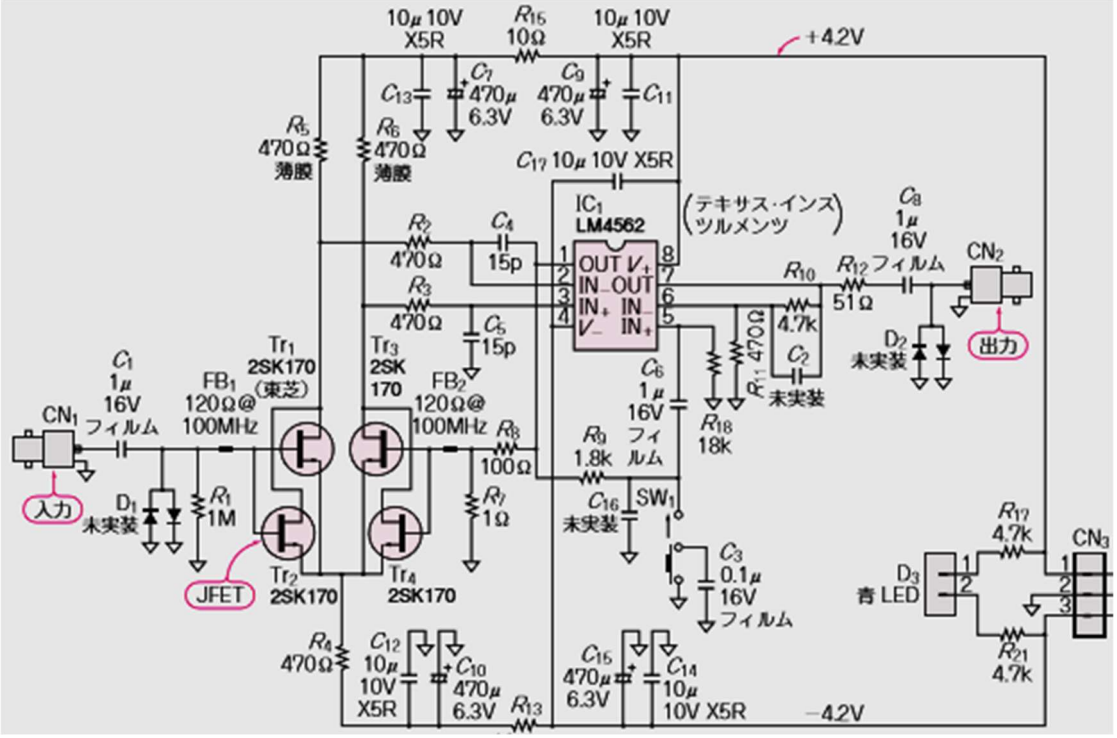
２SK170 の Noise Figure を CA-261F2（バイポーラ入力）データシートと重ねると以下の通り。

下図より、２SK170 の NF は、信号源インピーダンスが大きいと CA-261F2 の NF より小さく、一方で低い周波数、低い信号源インピーダンスだと不利なことが分かる。



全体回路図

60dB の Gain を得るために、初段で 40dB、次段で 10dB 増幅する構成となっている。



実測データ

入力端に零Ωから 1kΩまでの抵抗を接続し、抵抗の熱雑音を観測。出力をスペアナで測定とのこと。短絡時の測定値　-0.5 (dbu/√Hz)より、Pre-amp の入力換算ノイズレベル $V_{N\text{-}IN}$ は、$V_{N\text{-}IN} = 10^{-0.5/20}/1000$ (uV／√Hz) = 0.94 (nV／√Hz)。1000 は、AMP の Total gain.

(a) 雑音のスペクトラム

以上