

フォトダイオード用 トランスインピーダンス・ アンプの 周波数特性の改善方法

アナログ・デバイセズ株式会社

石井 聡



このセッションは「フォトダイオード用トランスインピーダンス・アンプの周波数特性の不思議」の後編です

- ▶ 前編（TIAの周波数特性の不思議）の振り返り
- ▶ 周波数特性の改善方法は
- ▶ 逆バイアスをかけて接合容量 C_j を低下させる
- ▶ トランスインピーダンス（ R_F ）を1/10にしてみる
- ▶ ブート・ストラップを活用し特性を改善する

TIAの動作周波数特性はGBWの比の平方根の関係です

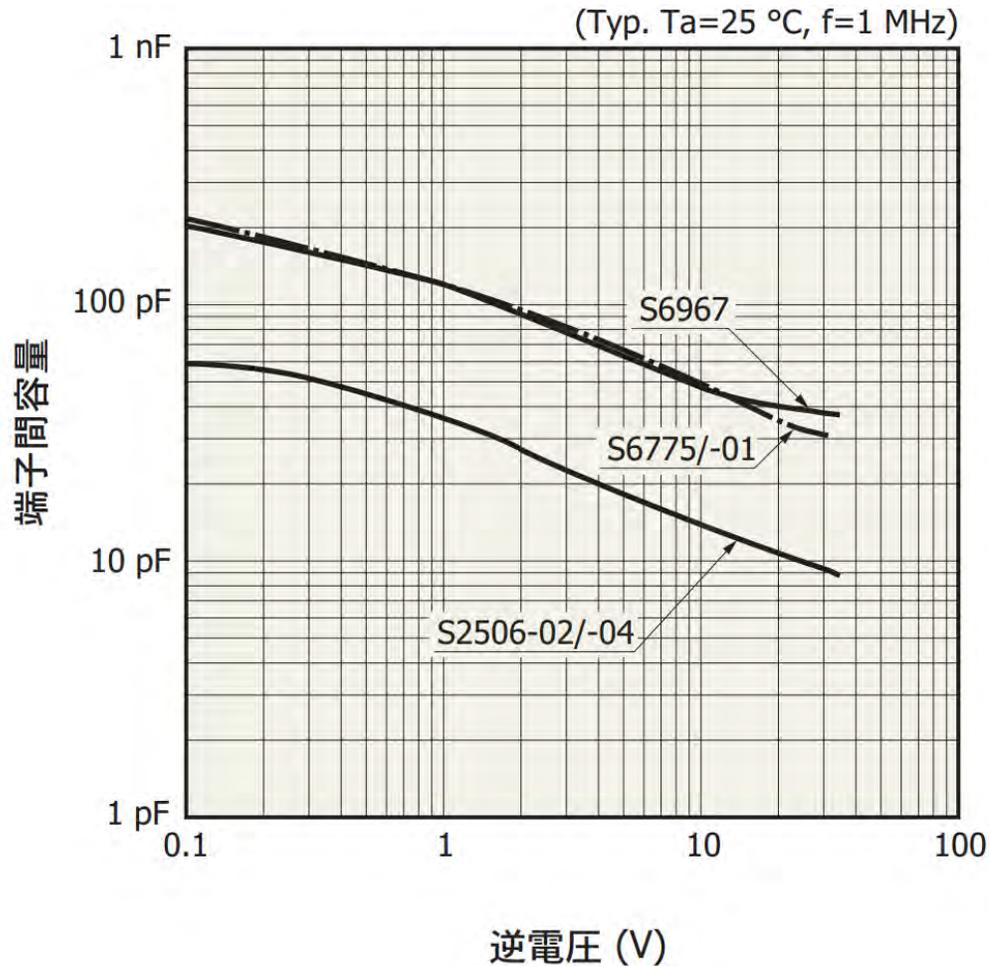
$$\sqrt{\frac{GBW_2}{GBW_1}}$$

- ▶ 原因はフォトダイオードにある接合容量 C_j と電流電圧変換抵抗（帰還抵抗） R_F でできるポールです
- ▶ 意外と周波数特性を向上させるのは難しい・・・

周波数特性の改善方法は

- ▶ 接合容量 C_j を低下させればよいので、 C_j の小さいフォトダイオードを用いる
 - ループゲインのクロスオーバー周波数を上昇させることができる
 - しかし光電変換効率が低下するので、現実的ではない
- ▶ フォトダイオードに逆バイアスをかけて C_j を低下させる
 - しかし「暗電流」と呼ばれるリーク電流的なものが増加し、あまりよくない
- ▶ R_F を下げて $C_j R_F$ により形成されるポールの周波数を上昇させる
 - しかし次のスライドに示すように、ノイズ特性が劣化してしまう
- ▶ 「ブートストラップ技術」を用いる
 - 以降のスライドでこの方法を示す

逆バイアスをかけて接合容量 C_j を低下させる



フォトダイオードに逆方向電圧(逆バイアス)を加える
(AD8615/AD8616/AD8618のデータシートより)

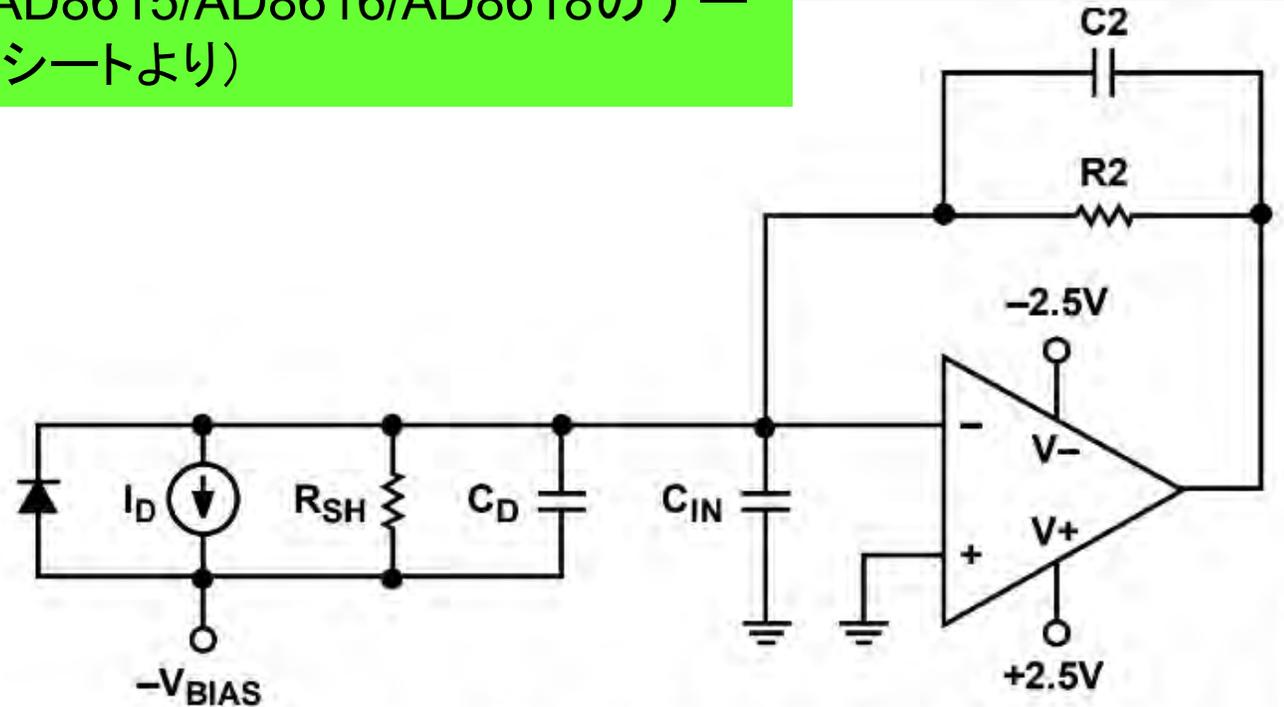
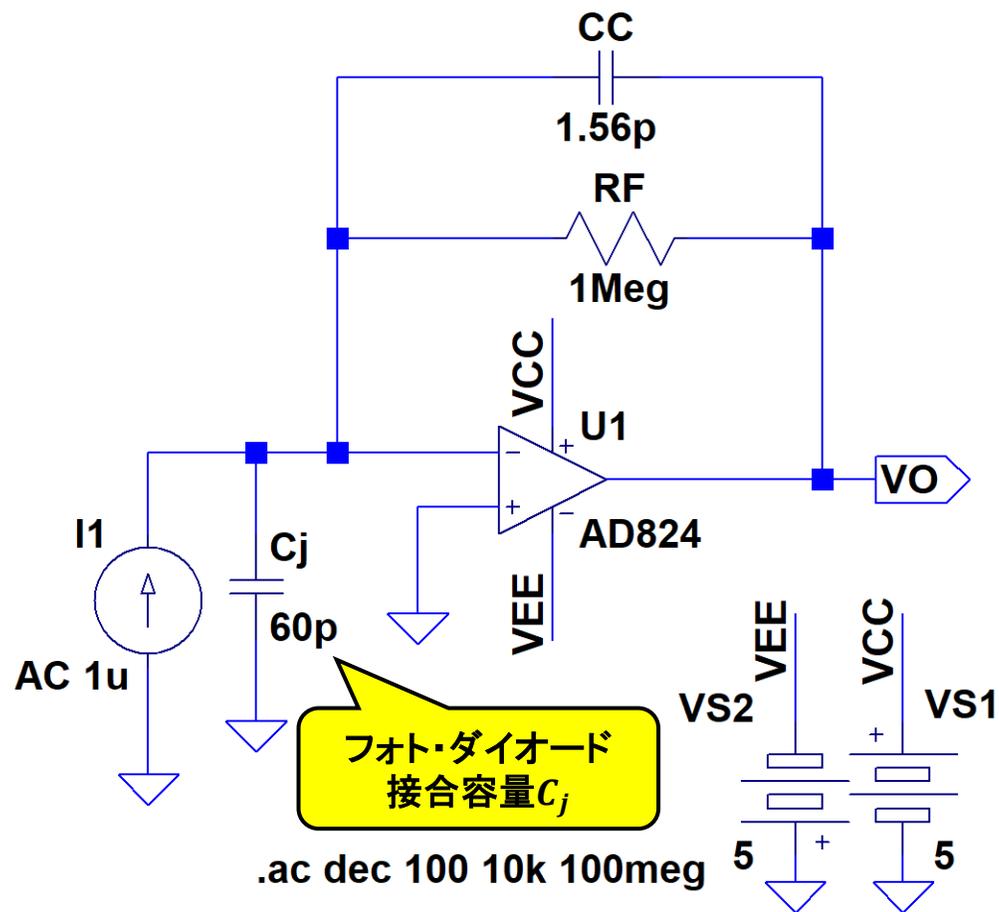


Figure 44. High Speed Photodiode Preamplifier

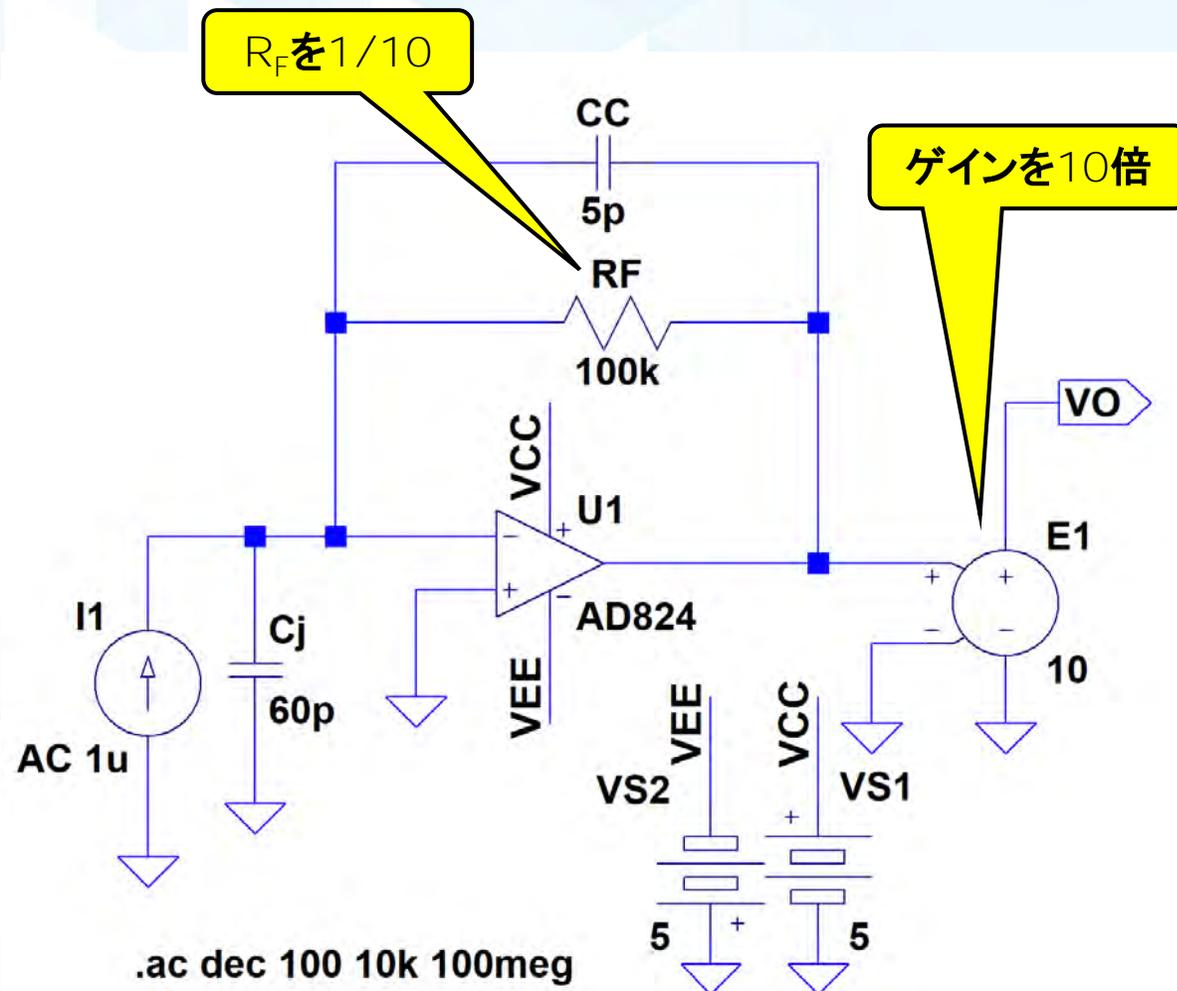
逆バイアス

フォトダイオードに逆方向電圧(逆バイアス)を加えたときの端子間容量(浜松ホトニクスS2506-02データシートのp. 3より転載)

トランスインピーダンス (R_F) を1/10にしてみる

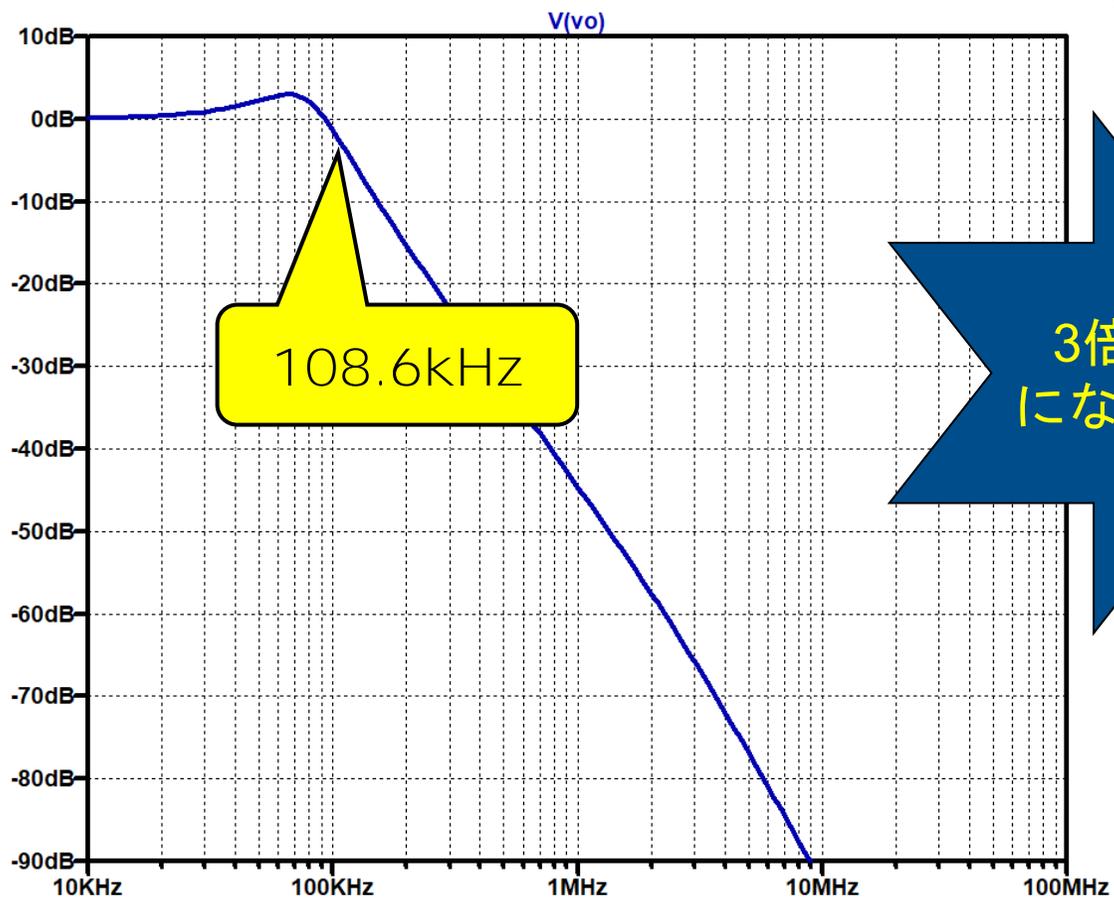


AD824 $R_F = 1M\Omega$

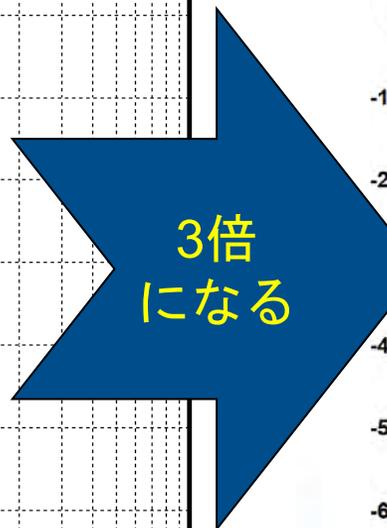


AD824 $R_F = 100k\Omega$

トランスインピーダンス R_F を1/10に (TIA周波数特性)

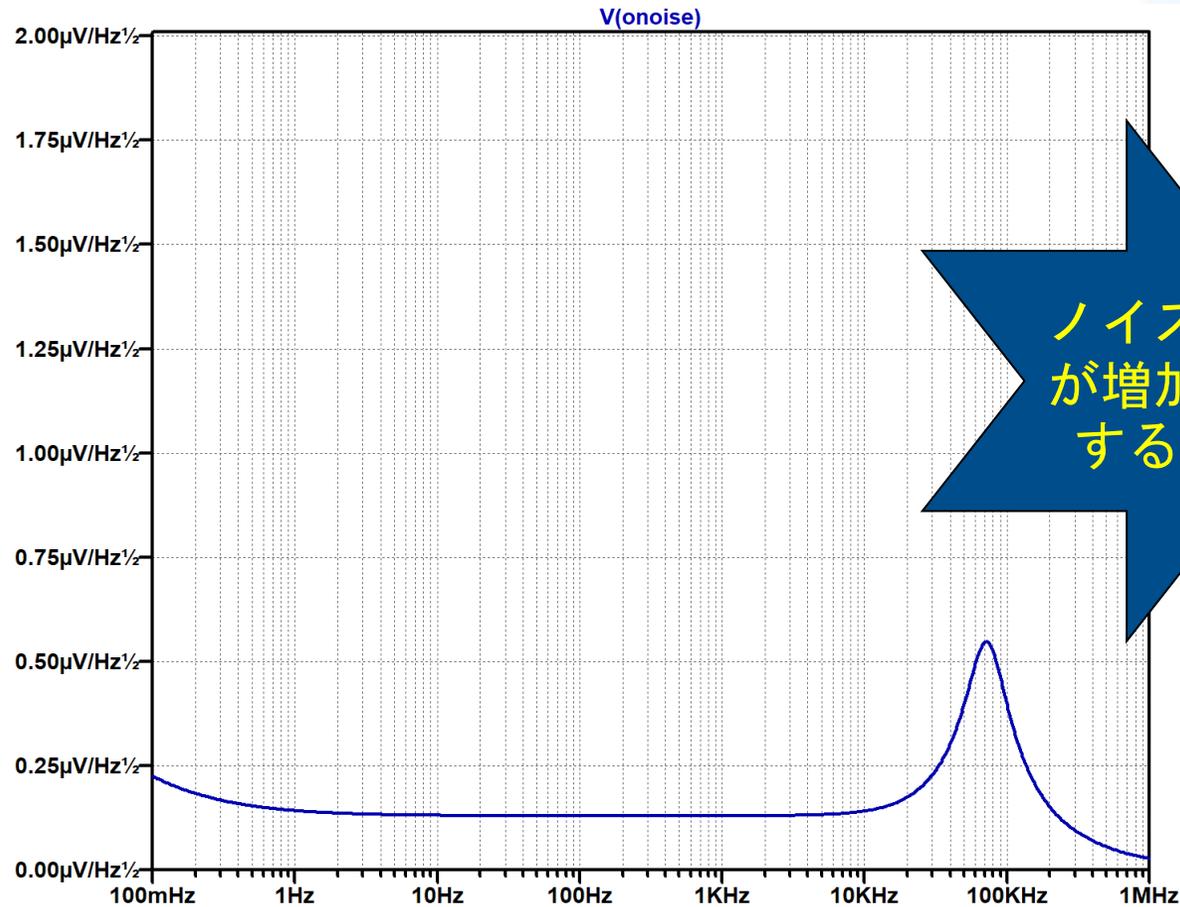


AD824 $R_F = 1M\Omega$

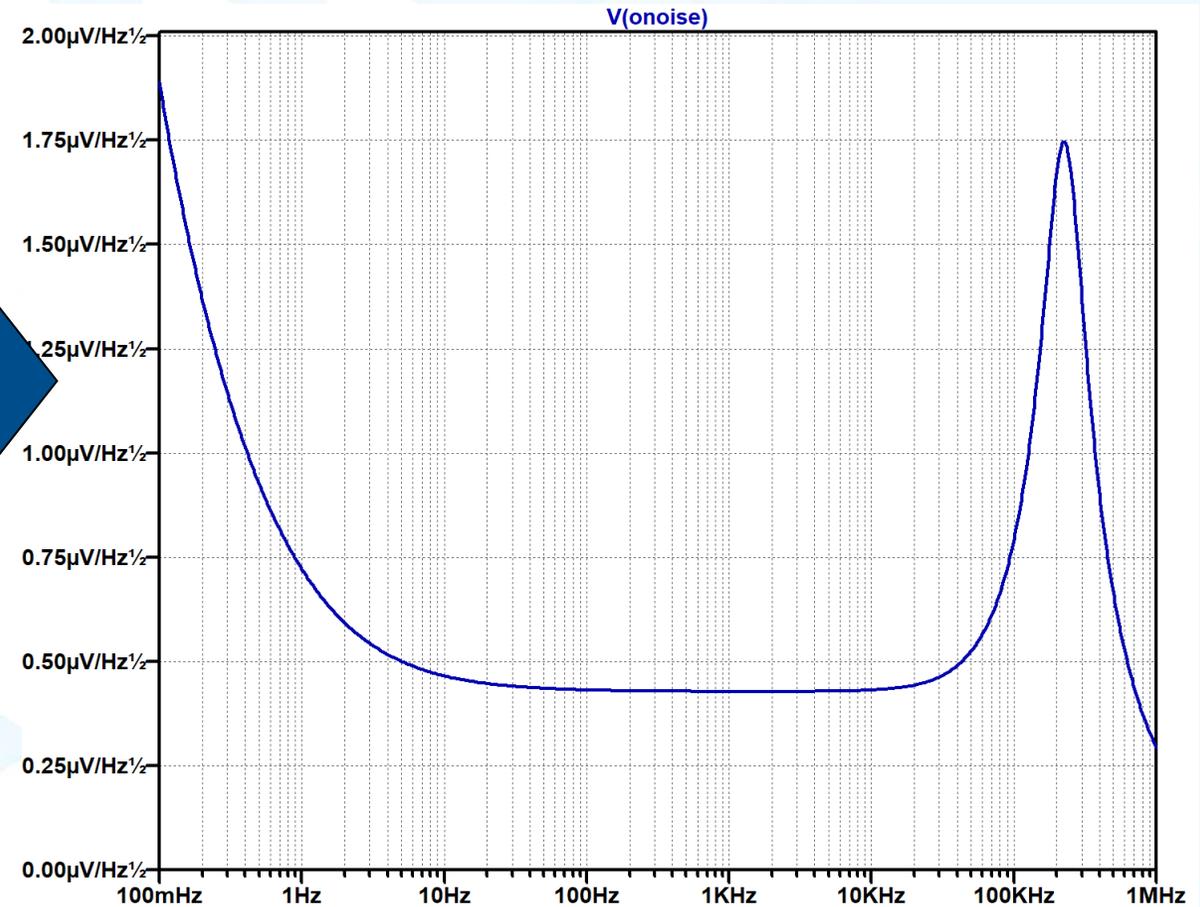


AD824 $R_F = 100k\Omega$

トランスインピーダンスの R_F を1/10に (TIAノイズ特性)



ノイズ
が増加
する



AD824 $R_F = 1\text{M}\Omega$

AD824 $R_F = 100\text{k}\Omega$

ブート・ストラップを活用し特性を改善する

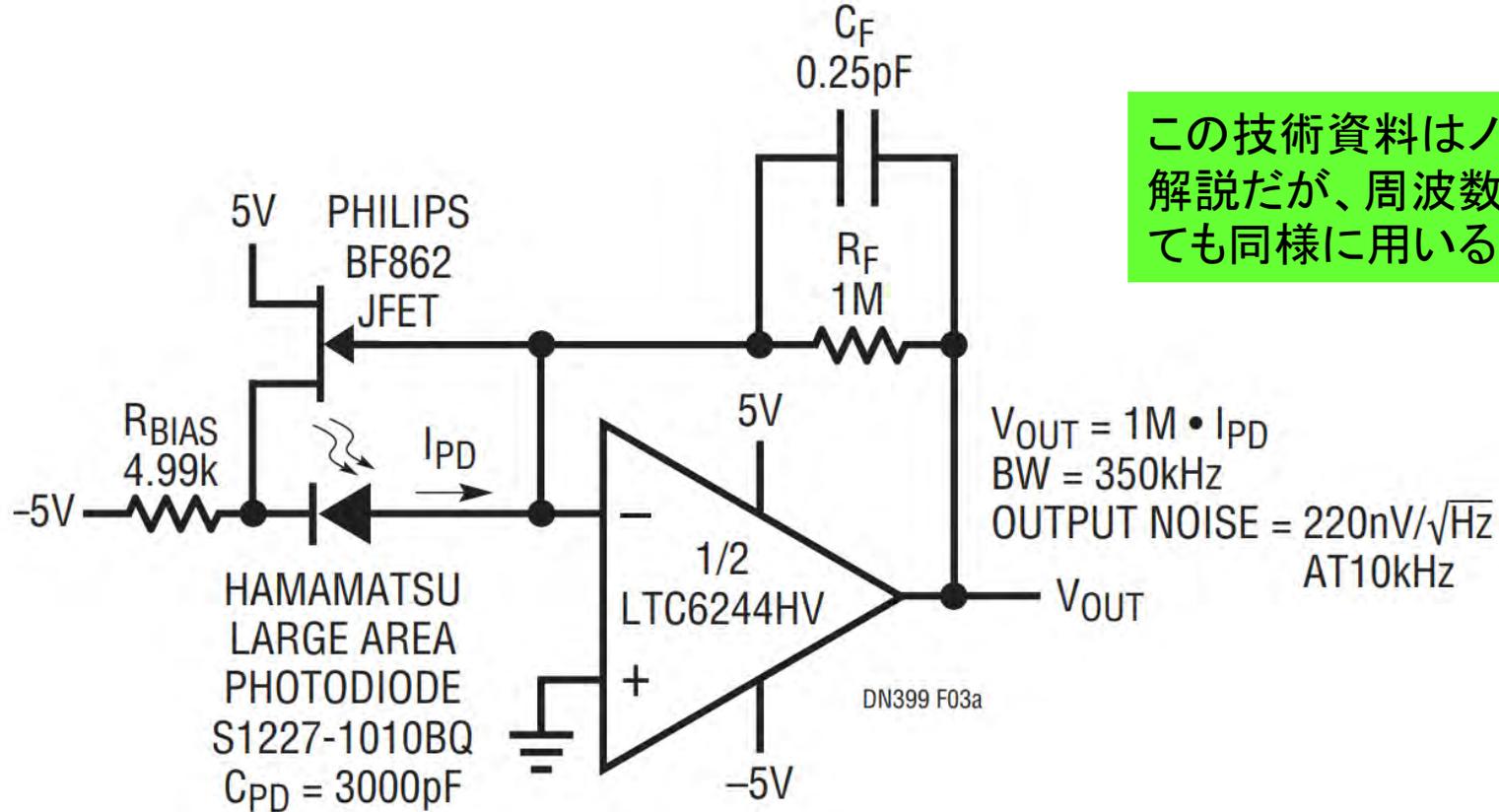


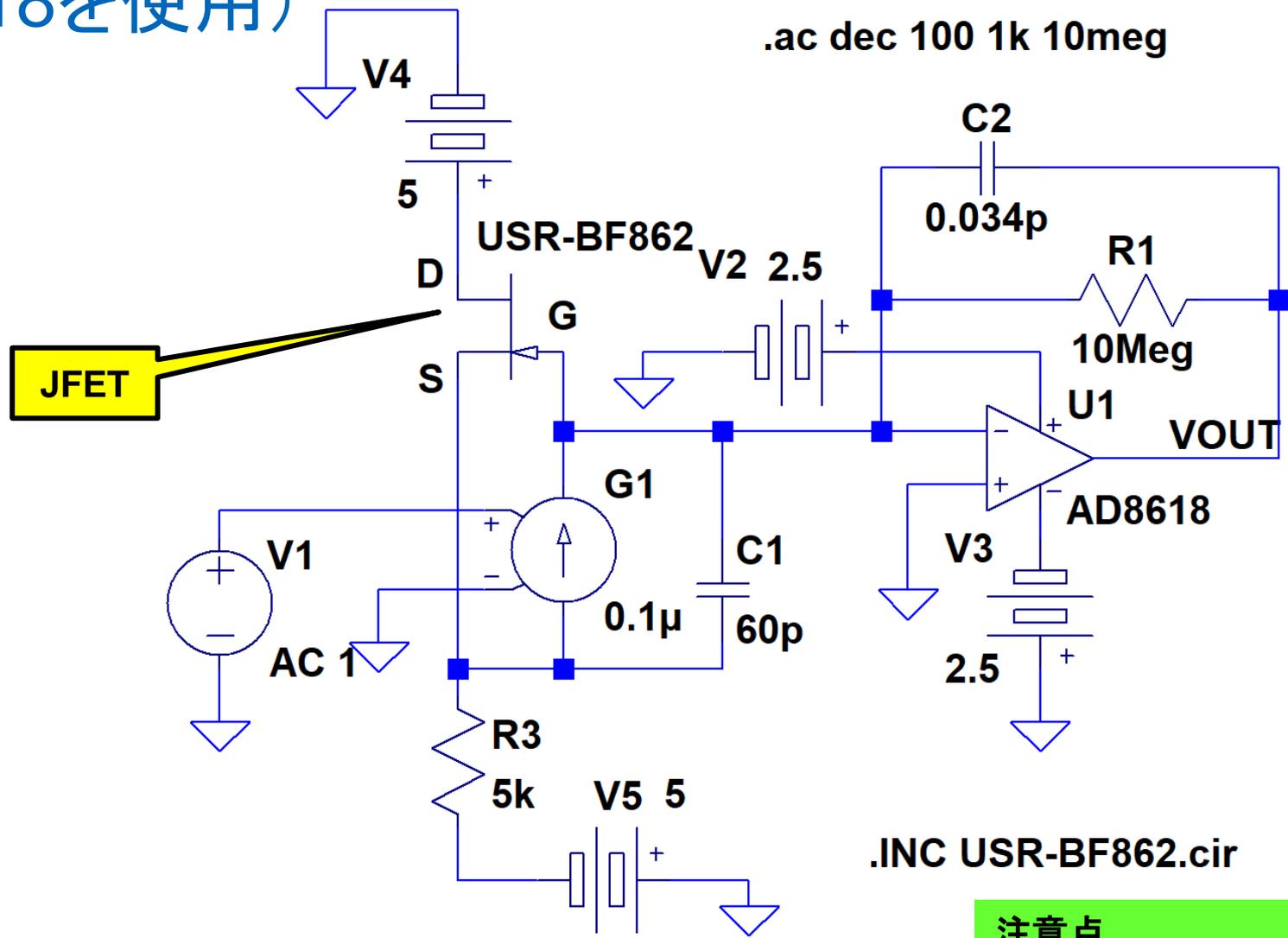
Figure 3a. Large Area Diode Bootstrapping

Glen Brisebois; 小面積と大面積のフォトダイオード用の低ノイズ・アンプ, デザインノート399, Analog Devices (Legacy LTC document)

<https://www.analog.com/media/jp/reference-design-documentation/design-notes/jdn399f.pdf>

<https://www.analog.com/media/en/reference-design-documentation/design-notes/dn399f.pdf>

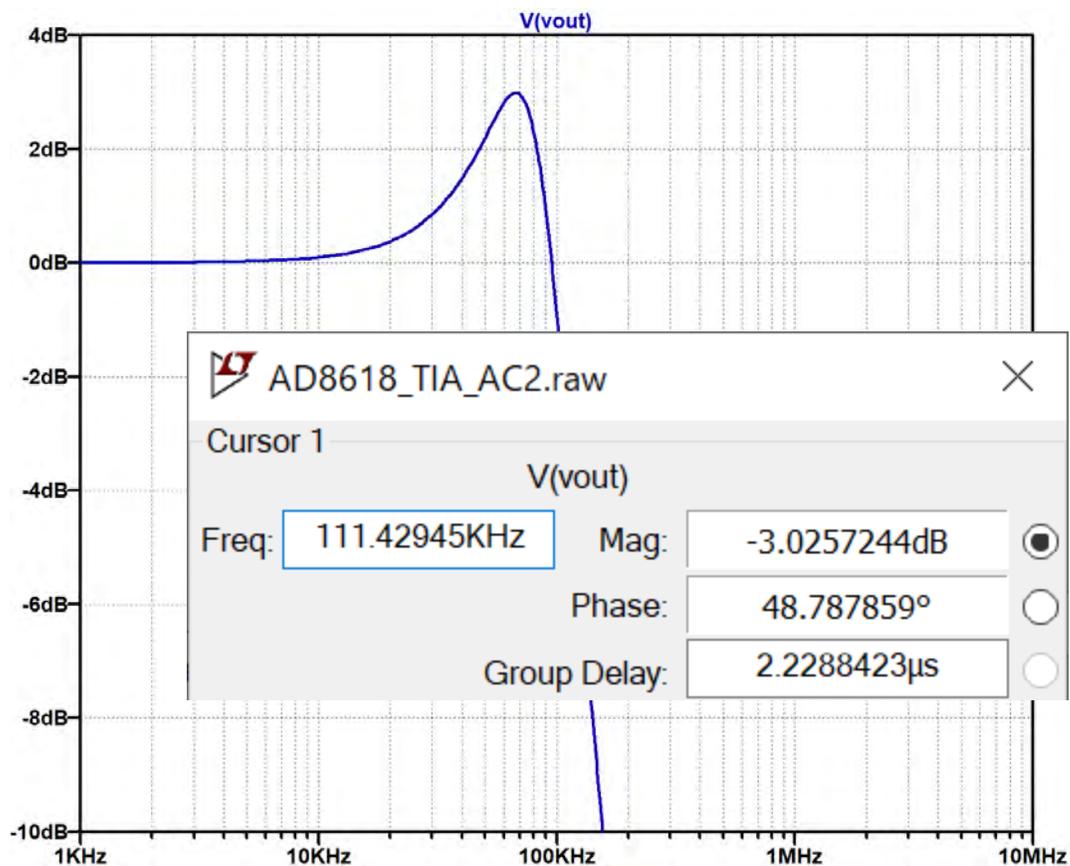
ブート・ストラップを活用したシミュレーション回路 (AD8618を使用)



注意点
この回路はJFETがPN順方向(フォワード・バイアス)になる可能性があるため、キック回路などの追加が必要と考えられる

周波数特性の改善

どちらも3dBのゲインピーク(同じQ値)に設定した



**-3dB周波数特性が
111kHzから493kHzと5倍近くになった！**

- ▶ フォトダイオードに逆バイアスをかけると接合容量は低下するが、暗電流が増加する
- ▶ トランスインピーダンス R_F を低下させると、周波数特性は遮減率の逆数の平方根で改善するが、ノイズ特性が劣化する
- ▶ ブート・ストラップもアイデア
 - キック回路が必要
- ▶ 電流帰還OPアンプを使用するという方法もある
 - 微小電流検出には難しい