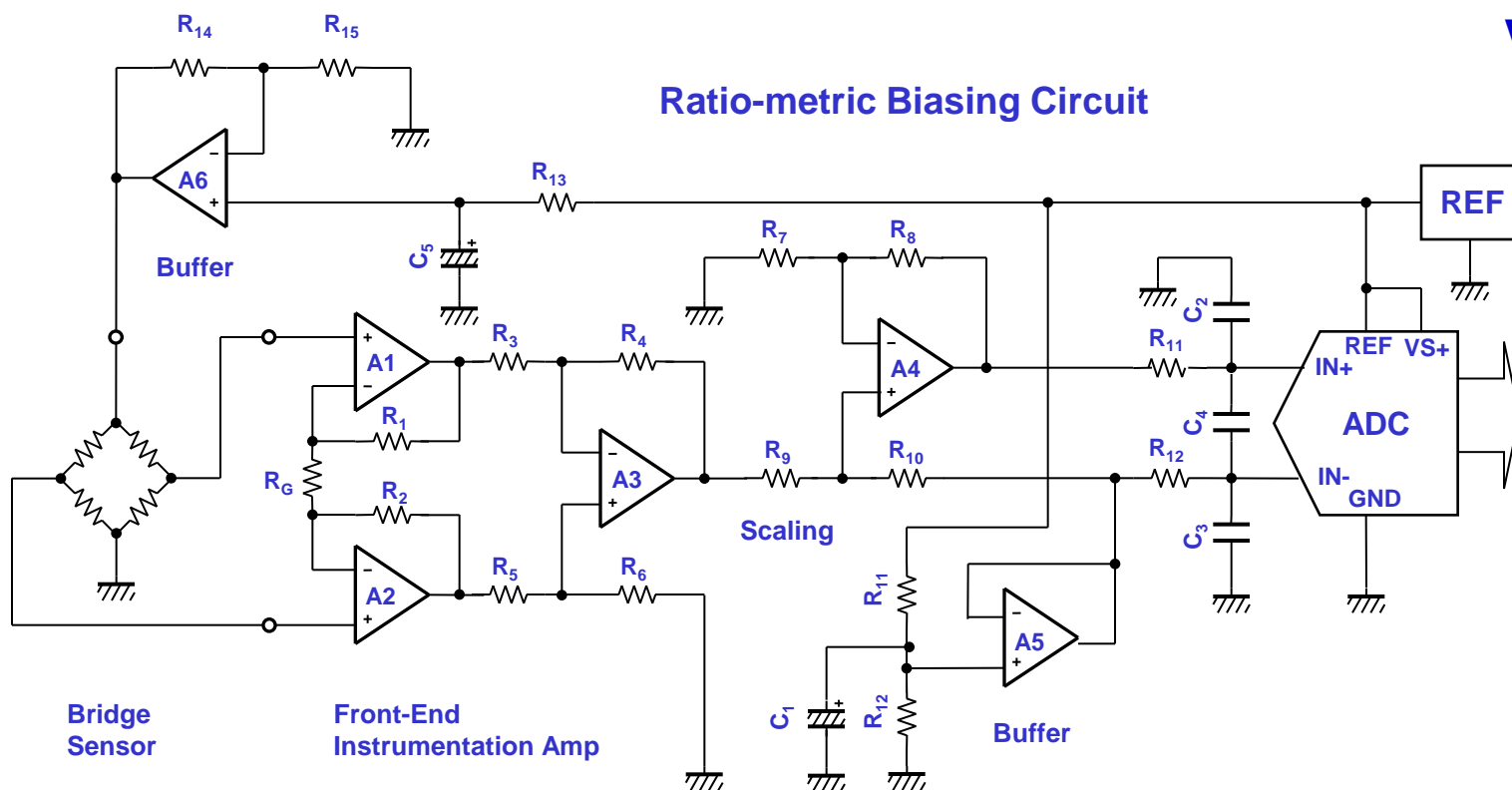


Let's learn Signal Chain

データ・シート徹底理解による適切な製品選択

Ver.-1.0



セッション・インデックス

✦ S10.1 データ・シートに記載される主な単位・記述

- (1) 基本単位と補助単位
- (2) 複合単位とデシベル表記
- (3) 上部欄外記述は後続スペックの前提条件

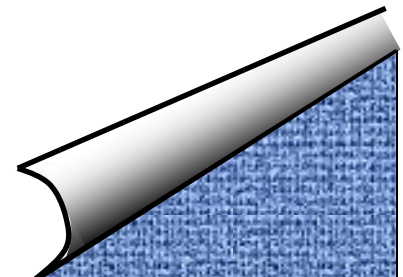
✦ S10.2 オペアンプのデータ・シート

- (1) DCスペック
- (2) ACスペック

✦ S10.3 A/Dコンバータのデータ・シート

- (1) 分解能の表記
- (2) ドライブ条件
- (3) システム性能
- (4) サンプリング性能
- (5) ダイナミック性能

✦ S10.4 各ステージでの重要項目



✦ S10.1 データ・シートに記載される主な単位・記述

- (1) 基本単位と補助単位
- (2) 複合単位とデシベル表記
- (3) 上部欄外記述は後続スペックの前提条件

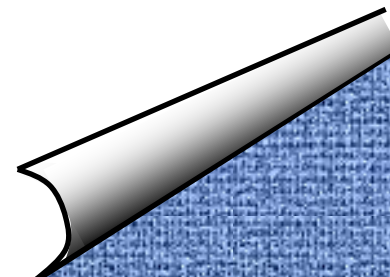
✦ S10.2 オペアンプのデータ・シート

- (1) DCスペック
- (2) ACスペック

✦ S10.3 A/Dコンバータのデータ・シート

- (1) 分解能の表記
- (2) ドライブ条件
- (3) システム性能
- (4) サンプリング性能
- (5) ダイナミック性能

✦ S10.4 各ステージでの重要項目



基本単位と補助単位

基本単位

| 呼び名 | ボルト | アンペア | ワット | オーム | ヘルツ | セック | クーロン | ジーメンズ |
|------|-----|------|-----|---------------|-----|--------|------|---------|
| 単位記号 | V | A | W | Ω | Hz | s, sec | C | s |
| 物理量 | 電圧 | 電流 | 電力 | 抵抗 インピーダンス | 周波数 | 時間 | 電荷 | コンダクタンス |

補助単位

| 呼び名 | テラ | ギガ | メガ, メグ | キロ | デシ | ミリ | マイクロ | ナノ | ピコ | フェムト |
|-----|-----------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 記号 | T | G | M | K, k | d | m | μ | n | p | f |
| 数値 | 10^{12} | 10^9 | 10^6 | 10^3 | 10^{-1} | 10^{-3} | 10^{-6} | 10^{-9} | 10^{-12} | 10^{-15} |

<記事> 補助単位は3桁刻みで割り当てられている。

例: $k = 10^3 = 1000$, $m = 10^{-3} = 1/1000 = 0.001$

比率の単位

| 呼び名 | パーセント | ピーピーエム | エスピーエス |
|-----|-------|----------|--------|
| 記号 | % | ppm | sps |
| 数値 | 1/100 | $1/10^6$ | サンプル/秒 |

<記事> ppmはパーツ・パー・ミリオンの略で100万分の1を表す。
すなわち... $1\text{ppm} = 1/10^6 = 10^{-6} = 0.0001\%$

複合単位とデシベル(dB)表記

複合単位の一般的な記述方法 → 基本単位1 / 基本単位2

■ オペアンプに見られる記述として...

- ▶ 例1: V/ μ s (電圧/時間) → 1 μ sあたりの出力電圧の変化で, スルーレートに使用.
- ▶ 例2: μ V/ $^{\circ}$ C (電圧/温度) → 1 $^{\circ}$ Cあたりの電圧変化で, 入力オフセット電圧ドリフトに使用.
- ▶ 例3: μ V/V (電圧/電圧) → 1Vあたりの入力オフセット電圧変化で, 電源変動除去に使用.

■ 電圧源ICに見られる記述として...

- ▶ 例1: ppm/ $^{\circ}$ C (比率/温度) → 1 $^{\circ}$ Cあたりの出力電圧の変化. 出力を2.5V, 10ppmとすれば...
$$2.5\text{V} \times 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} = 25\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$$
- ▶ 例2: μ V/mA (電圧/電流) → 負荷電流1mAあたりの出力電圧の変化.

■ デシベル(dB)表記は, 2つ量の比率を表すのに広く使用される.

- ▶ 例1: CMRR = $20 \times \text{Log}_{10}$ (差動モード・ゲイン/コモンモード・ゲイン) (dB) → 80dBなど
- ▶ 例2: 歪率 = $20 \times \text{Log}_{10}$ (歪レベル/信号レベル) (dB) → -96dBなど

比率が1より小さいときは“-”dBで, 1より大きいときは符号なしのdBが一般的.

上部欄外記述は後続スペックの前提条件

上部欄外記述には、電源電圧範囲、温度範囲、負荷条件などが記述され、スペック表に特記条件が無い場合は、これらの条件が適用される。

OPA188/2188/4188の例

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: High-Voltage Operation

$V_S = \pm 4\text{ V to } \pm 18\text{ V}$ ($V_S = +8\text{ V to } +36\text{ V}$)

Boldface limits apply over the specified temperature range, $T_A = -40^\circ\text{C to } +105^\circ\text{C}$.

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ connected to $V_S/2$, and $V_{\text{COM}} = V_{\text{OUT}} = V_S/2$, unless otherwise noted.

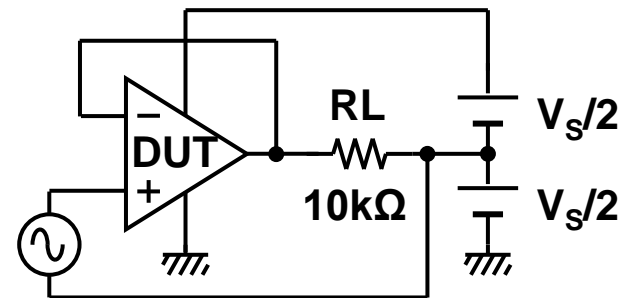
LMP2021/2022の例

2.5V 電気的特性 (Note 5)

特記のない限り、すべてのリミット値は $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V^+ = 2.5\text{V}$ 、 $V^- = 0\text{V}$ 、 $V_{\text{CM}} = V^+ / 2$ 、 $R_L > 10\text{k}\Omega \sim V^+ / 2$ で保証されます。太字のリミット値は、全動作温度範囲に対して適用されます。

$-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$

- 太字のスペックは全温度範囲で規定.
- それ以外では、周囲温度 25°C で規定
- 入・出力負荷は電源電圧の $1/2$ に固定.



記述を回路で表した図

✦ S10.1 データ・シートに記載される主な単位・記述

- (1) 基本単位と補助単位
- (2) 複合単位とデシベル表記
- (3) 上部欄外記述は後続スペックの前提条件

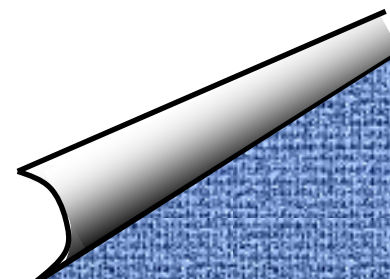
✦ S10.2 オペアンプのデータ・シート

- (1) DCスペック
- (2) ACスペック

✦ S10.3 A/Dコンバータのデータ・シート

- (1) 分解能の表記
- (2) ドライブ条件
- (3) システム性能
- (4) サンプリング性能
- (5) ダイナミック性能

✦ S10.4 各ステージでの重要項目



DCスペック:入力段のDCスペック(LMP2021/2022)

電源+5Vのスペック

| Symbol | Parameter | Conditions | Min (Note 7) | Typ (Note 6) | Max (Note 7) | Units |
|------------|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| V_{OS} | Input Offset Voltage 入力オフセット電圧 | <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; width: fit-content;"> Note 8 の要約 V_{OS}の全変化量 ÷ (最高温度 - 最低温度) = 入力オフセット電圧ドリフト/°C </div> | | -0.4 | ±5 ① ±10 | μV |
| TCV_{OS} | Input Offset Voltage Drift (Note 8) | | | -0.004 | ② ±0.02 | μV/°C |
| I_B | Input Bias Current 入力バイアス電流 | | | ±25 | ③ ±100 ±300 | pA |
| I_{OS} | Input Offset Current 入力オフセット電流 | | | ±48 | ④ ±200 ±250 | pA |
| CMRR | Common Mode Rejection Ratio 同相モード除去比(G = +1) | $-0.2V \leq V_{CM} \leq 4.2V$ $0V \leq V_{CM} \leq 4.0V$ | 120 ⑤ 115 | 139 | | dB |
| CMVR | Input Common-Mode Voltage Range (同相モード)入力電圧範囲 | Large Signal CMRR ≥ 120 dB Large Signal CMRR ≥ 115 dB | -0.2 ⑥ 0 | | ⑥ 4.2 4.0 | V |

① 細字が $T_a = 25^\circ\text{C}$ における初期値で、太字が *BOX法による最大値の規定。

±の記号は変化方向が不定であることを意味する。

② 温度変化 -対- オフセット電圧シフトは非直線なので、*バタフライ法による平均ドリフトと考える。

③ 入力バイアス電流も周囲温度で増減し、一般に高温で増大。“-”流れ出しで“+”が流れ込み。

④ 入力オフセット電流はESD保護ダイオードのリークが支配的。FETのゲート電流は正味50pA。

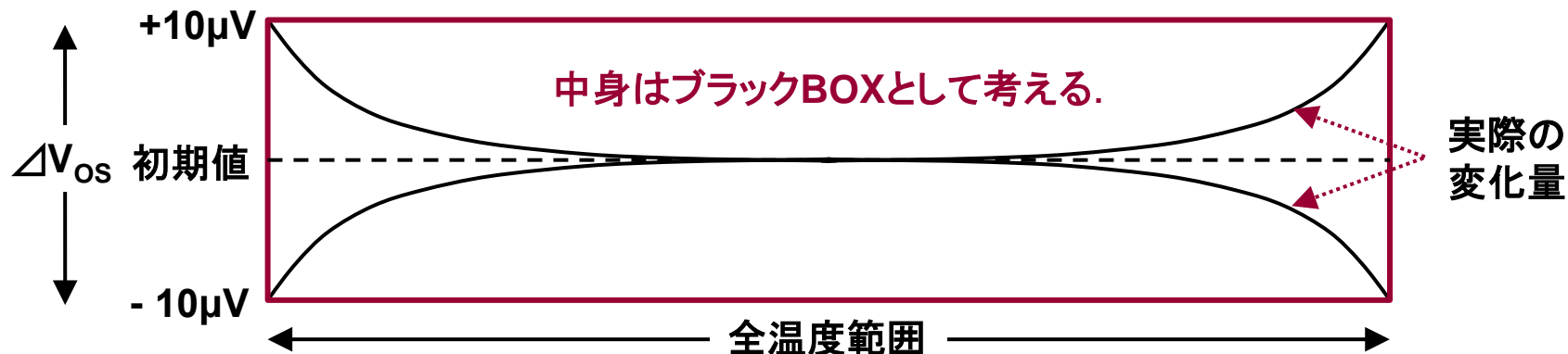
⑤⑥ 入力範囲と非直線性の規定。*出力を飽和させないで測定する。

V_{CM} の範囲で値が異なるが、この場合0V~4Vの規定115dB(全温度)を一般的には採用。

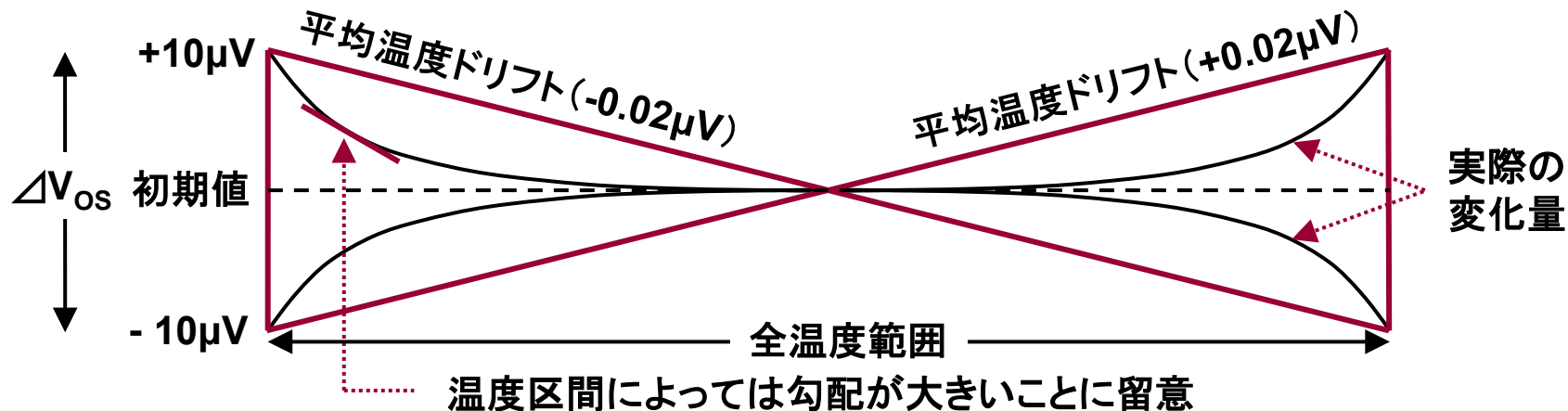
DCスペック: オフセット電圧ドリフトの表現方法

数値はLMP2021/2022のスペック

BOX法による入力オフセット電圧の温度ドリフト規定. ① の表現



バタフライ法による入力オフセット電圧の温度ドリフトの規定. ② の表現



DCスペック: 同相モード除去比と同相モード入力範囲

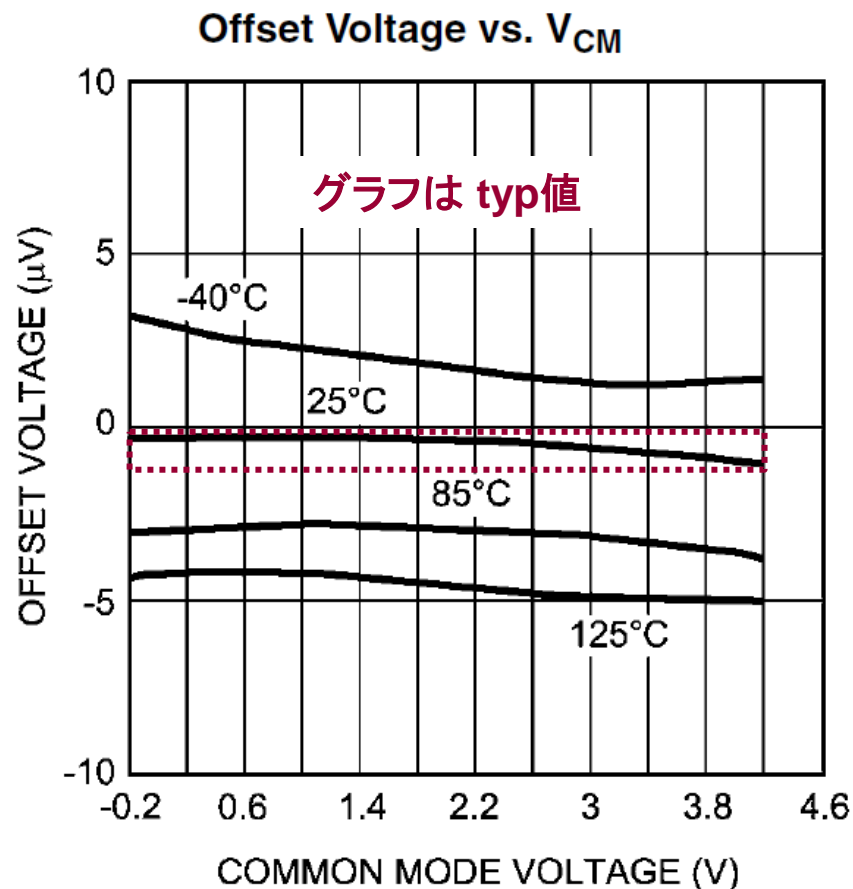
数値はLMP2021/2022のスペック

差動モード・ゲイン $G_D = 1$ とすれば, CMRRは
コモンモード・ゲイン G_C の逆数なので...

$$\text{CMRR} = 20 \times \text{LOG} \left(\frac{\Delta V_{\text{CM}}}{\Delta V_{\text{OS}}} \right) = n = 115(\text{dB}) \quad \text{式13-1}$$

$$\Delta V_{\text{OS}} = \frac{\Delta V_{\text{CM}}}{10^{\frac{n}{20}}} = \frac{4\text{V}}{10^{\frac{115\text{dB}}{20}}} = 7.1(\mu\text{V}) \quad \text{式13-2}$$

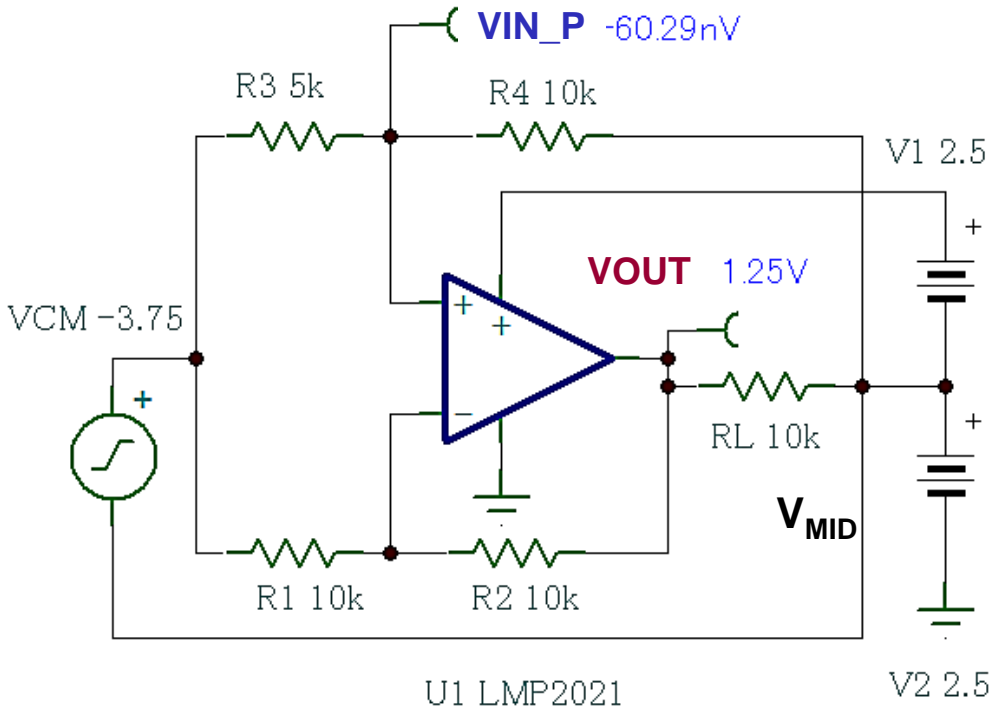
エンド・ポイント法による非直線性誤差の表現



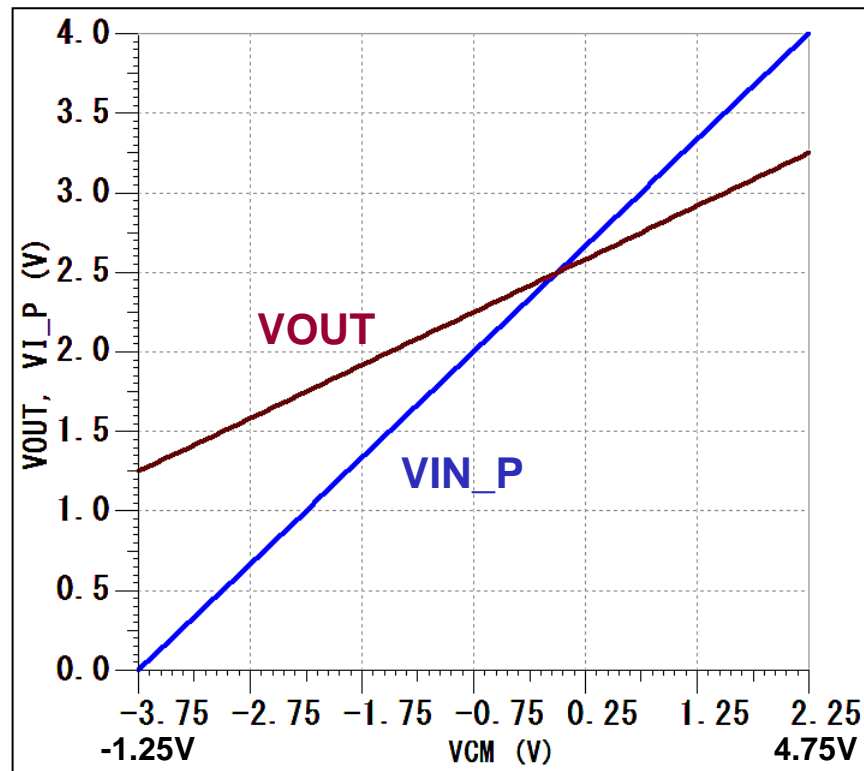
DCスペック: 同相モード入力範囲のテスト方法(参考)

差動アンプ構成によるテスト回路例

出力が飽和しない範囲で同相モード. ゲイン G_C を大きくして測定.



グラフはX軸が V_{MID} 基準でY軸がGND基準.



伝達式
$$V_{OUT} = \frac{R_4(R_1 + R_2)(V_{CM} - V_{MID}) + (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)V_{MID} - R_2 V_{CM}(R_3 + R_4)}{R_1(R_3 + R_4)}$$
 式13-3

DCスペック:ゲイン段・出力段のDCスペック(LMP2021/2022)

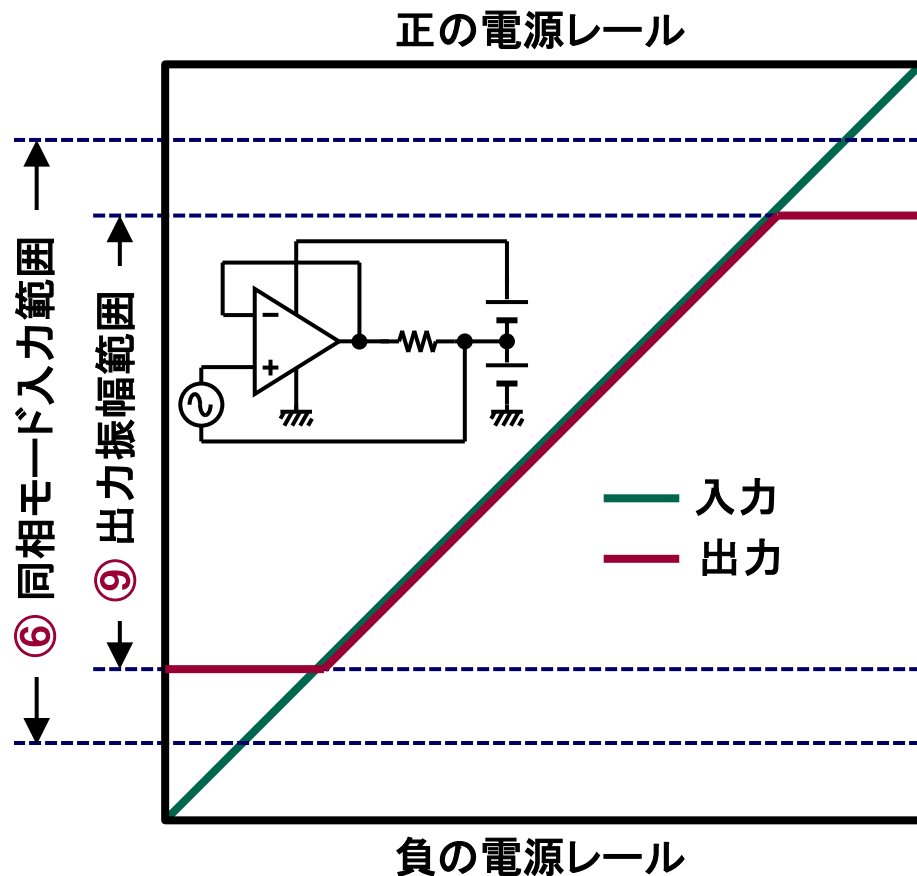
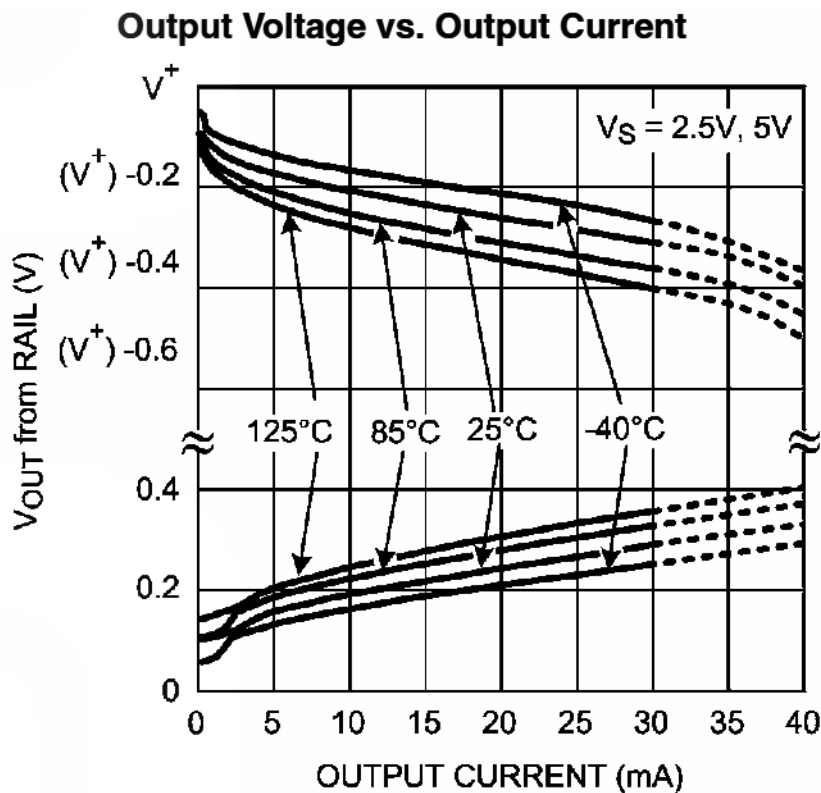
| Symbol | Parameter | Conditions | Min (Note 7) | Typ (Note 6) | Max (Note 7) | Units |
|------------------|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio 電源変動除去比 | $2.5V \leq V^+ \leq 5.5V, V_{CM} = 0 \leftarrow 1/2V_S?$ | ⑦ 115 112 | 130 | | dB |
| | | $2.2V \leq V^+ \leq 5.5V, V_{CM} = 0 \leftarrow 1/2V_S?$ | ⑦ 110 | 130 | | |
| A _{VOL} | Large Signal Voltage Gain 開ループ・ゲイン | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $V^+/2$ $V_{OUT} = 0.5V$ to $4.5V$ | ⑧ 125 120 | 160 | | dB |
| | | $R_L = 2\text{ k}\Omega$ to $V^+/2$ $V_{OUT} = 0.5V$ to $4.5V$ | ⑧ 123 118 | 160 | | |
| V _{OUT} | Output Swing High 正側振幅 | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $V^+/2$ | ⑨ | 83 | 135 170 | mV from either rail |
| | | $R_L = 2\text{ k}\Omega$ to $V^+/2$ | ⑨ | 120 | 160 204 | |
| | Output Swing Low 負側振幅 | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $V^+/2$ | ⑨ | 65 | 80 105 | |
| | | $R_L = 2\text{ k}\Omega$ to $V^+/2$ | ⑨ | 103 | 125 158 | |
| I _{OUT} | Linear Output Current 正常動作での出力電流 | Sourcing, $V_{OUT} = 4.5V$ | ⑩ 30 | 50 | | mA |
| | | Sinking, $V_{OUT} = 0.5V$ | ⑩ 30 | 50 | | |

- ⑦ 電源電圧の変動 ΔV_S -対- 入力オフセット電圧の変動 ΔV_{OS} (計算方法はCMRR参照).
- ⑧ 開ループ・ゲインは負帰還なしでの入/出力電圧の比で, 負荷抵抗の値によって増減.
- ⑨ 出力が振幅できる能力を表し, 振幅範囲は負荷抵抗の値によって増減.
- ⑩ 入出力電流リミッタが動作する前の最大出力電流 (リミッタが動作した時は短絡電流と呼ぶ).

DCスペック: 入／出力段を考慮したアンプのリニア動作範囲

アンプのリニア動作範囲は、入／出力のいずれか狭い方で決まる。

LMP2021/2022の振幅能力



ACスペック:入力段とゲイン段のACスペック(LMP2021/2022)

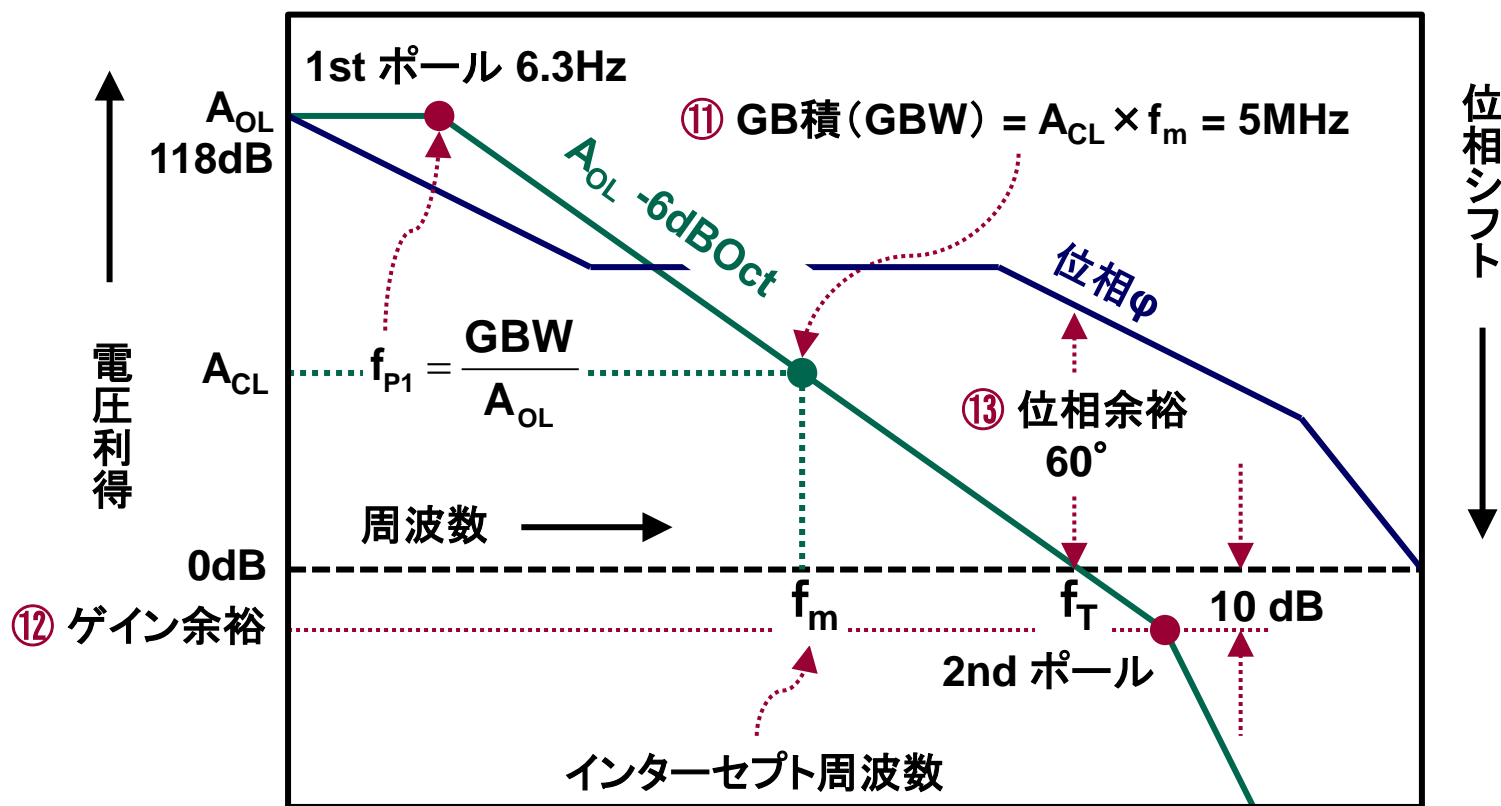
| Symbol | Parameter | Conditions | Min (Note 7) | Typ (Note 6) | Max (Note 7) | Units |
|----------|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| GBW | ゲイン・バンド幅積 Gain Bandwidth Product | $C_L = 20 \text{ pF}, R_L = 10 \text{ k}\Omega$ | | ⑪ 5 | | MHz |
| G_M | Gain Margin ゲイン余裕 | $C_L = 20 \text{ pF}, R_L = 10 \text{ k}\Omega$ | | ⑫ 10 | | dB |
| Φ_M | Phase Margin 位相余裕 | $C_L = 20 \text{ pF}, R_L = 10 \text{ k}\Omega$ | | ⑬ 60 | | deg |
| C_{IN} | Input Capacitance 入力容量 | Common Mode | | ⑭ 12 | | pF |
| | | Differential Mode | | 12 | | |
| e_n | Input-Referred Voltage Noise Density 入力換算(RTI)電圧ノイズ密度 | $f = 0.1 \text{ kHz or } 10 \text{ kHz}, A_V = 1000$ | | ⑮ 11 | | $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| | | $f = 0.1 \text{ kHz or } 10 \text{ kHz}, A_V = 100$ | | 15 | | |
| | Input-Referred Voltage Noise 入力換算(RTI)電圧ノイズ | 0.1 Hz to 10 Hz Noise | | ⑯ 260 | | nV_{PP} |
| | 0.01 Hz to 10 Hz Noise | | 330 | | | |
| i_n | Input-Referred Current Noise 入力換算(RTI)電流ノイズ | $f = 1 \text{ kHz}$ | | ⑰ 350 | | $\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$ |

- ⑪ A_{OL} が $-6\text{dB}/\text{Oct}$ で降下する帯域内における A_{CL} とインターセプト周波数との積。
ここで、 A_{OL} = 開ループ・ゲインで A_{CL} = 閉ループ・ゲイン。
- ⑫ ボード線図上において、 $A_{OL} = 0\text{dB}$ のラインを基準としたセカンド・ポールの位置(dB換算)。
- ⑬ A_{OL} が 0dB となる周波数において、アンプの位相シフトが正帰還となるまでの位相差。
- ⑭ 外部からみた入力部の容量で、同相モードと差動(2つの入力ピン間)モードで定義される。
- ⑮ 1Hz の帯域幅で見た雑音電圧の大きさ。入力換算とは出力雑音電圧を設定ゲインで割った値。
- ⑯ 任意の帯域幅で見た雑音電圧の総量。入力換算(同上)。
- ⑰ 1Hz の帯域幅で見た雑音電流の大きさ。入力換算(同上)。

ACスペック:ボード線図で見るGB積, ゲイン余裕, 位相余裕

⑫ ゲイン余裕 ⑬ 位相余裕は, オペアンプを低ゲインで使用したときの安定度に関わる.

LMP2201/2022 は A_{OL} の降下率が 0dB 以下まで -6dB/Oct(-20dB/Dec)なので, GB積 = f_T となる. $A_{CL} = 1000$ とすれば, GB積からの逆算で f_m の位置は 5kHz.



ACスペック: GB積 (GBW) と A_{OL} の関係および A_{CL} の精度

⑧ 開ループ・ゲイン A_{OL} は、閉ループ・ゲイン A_{CL} の精度に関わる。

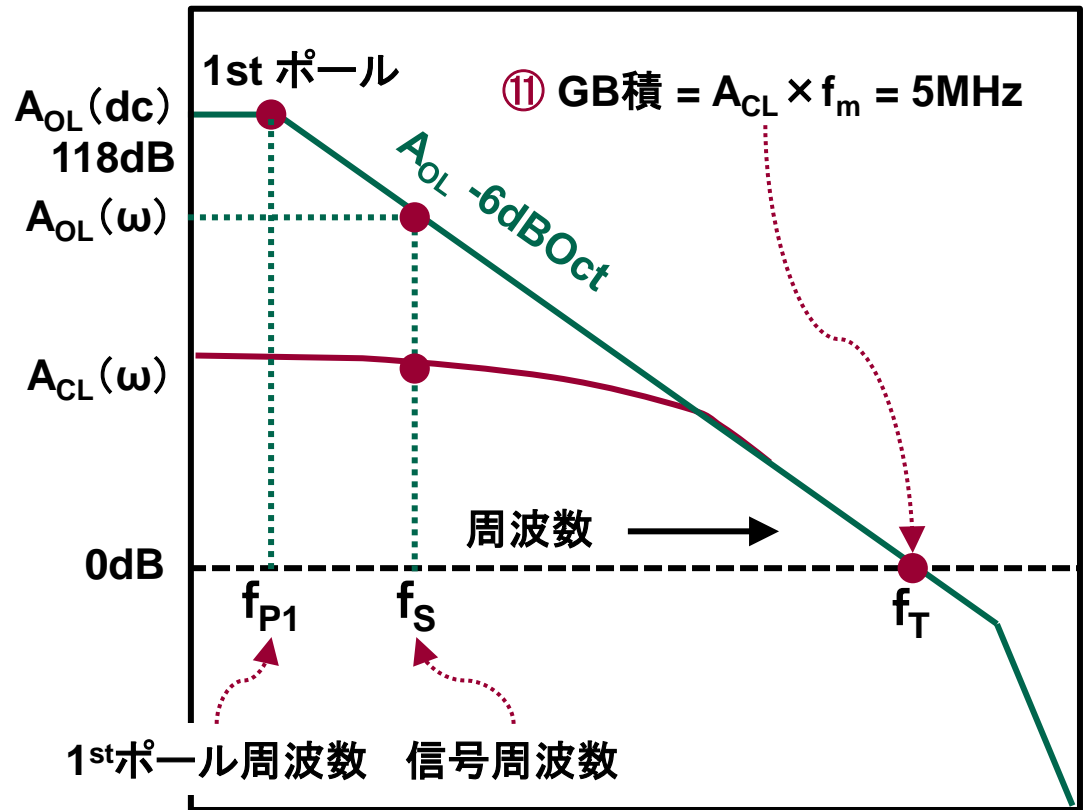
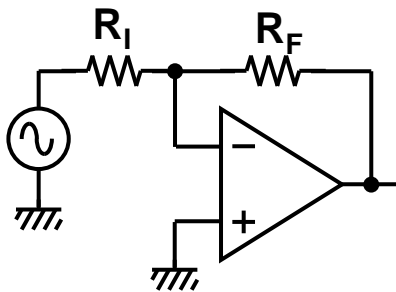
$f_s < f_{P1}$ では $A_{OL}(\omega) = A_{OL}(dc)$ 式13-4

$f_{P1} < f_s$ では $A_{OL}(\omega) = \frac{A_{OL}(dc)}{f_s}$ 式13-5

非反転 $A_{CL}(\omega) = \frac{A_{OL}(\omega)}{1 + A_{OL}(\omega)\beta}$ 式13-6

反転 $A_{CL}(\omega) = -\frac{A_{OL}(\omega)(1-\beta)}{1 + A_{OL}(\omega)\beta}$ 式13-7

ここで... $\beta = \frac{R_I}{R_F + R_I}$

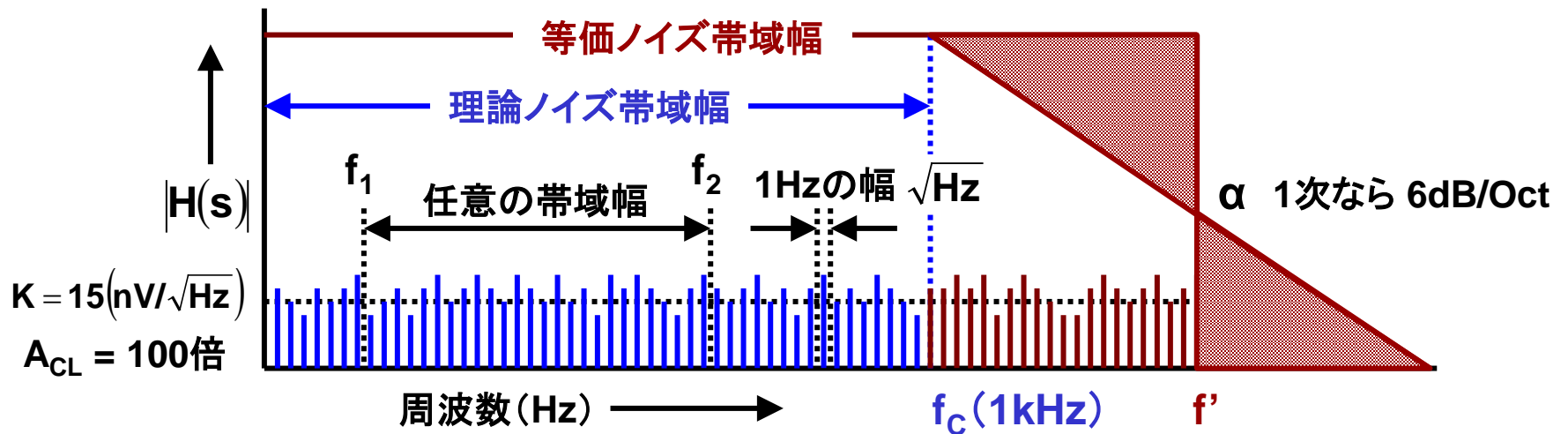


ACスペック:ノイズの単位の意味と等価ノイズ帯域幅

全ノイズの計算に必要な, ノイズの単位に関する概念と等価ノイズ帯域幅.

- $\sqrt{\text{Hz}}$ ノイズ(密度)とは, 任意の周波数(f_n)において1Hzの幅で見たノイズ・レベル.
- 実効値ノイズとは, 任意の帯域幅($f_2 - f_1$)における全ノイズ. $V_N = K\sqrt{f_2 - f_1} (V_{\text{rms}})$
- V_{p-p} ノイズとは, ノイズの正と負の波高値の幅. 実効値ノイズ $\times 6.6$ 倍 = V_{p-p} ノイズ(確率99.9%)
- 等価ノイズ帯域幅とは, ロールオフの傾斜“ α ”で定まる全ノイズ計算上の帯域幅.

次数 $n=1$ では $f' = f \frac{\pi}{2} = 1.56(\text{kHz})$ 式13-8 $n=2$ では $f' = 1.194f = 1.194(\text{kHz})$ 式13-9

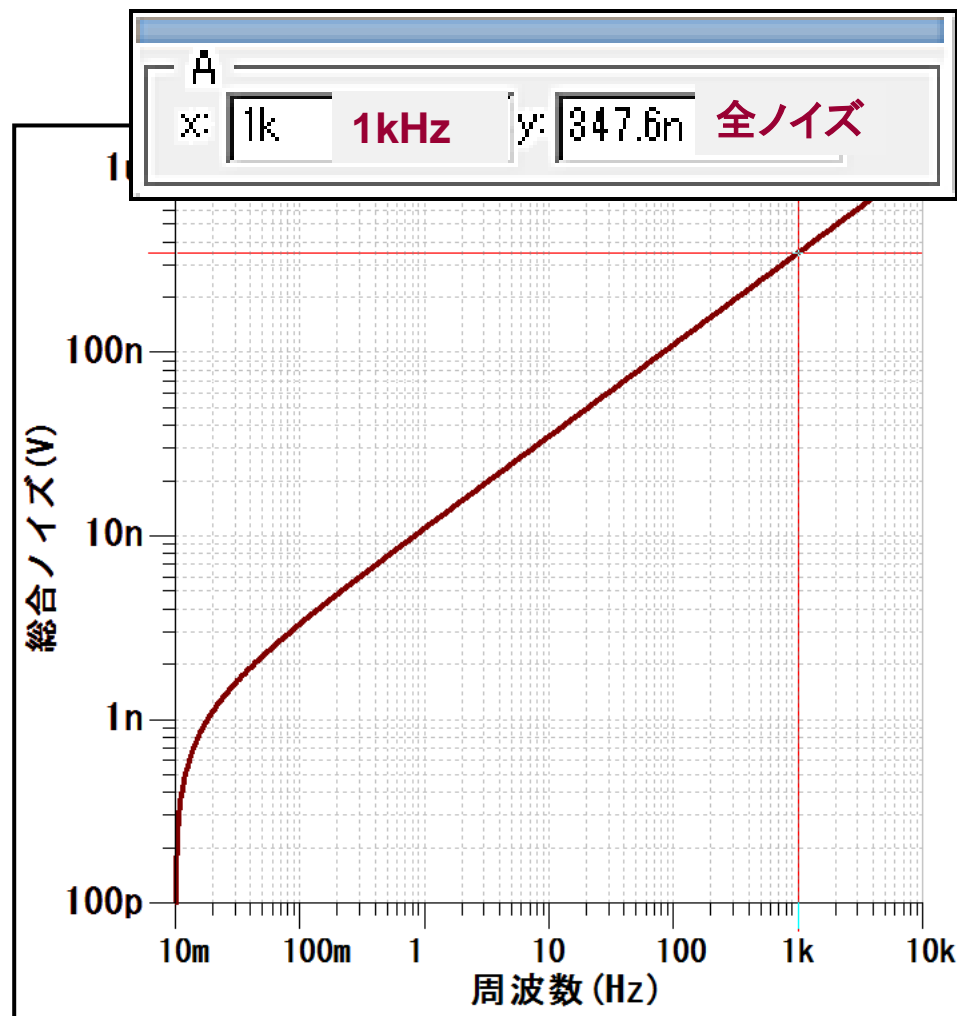
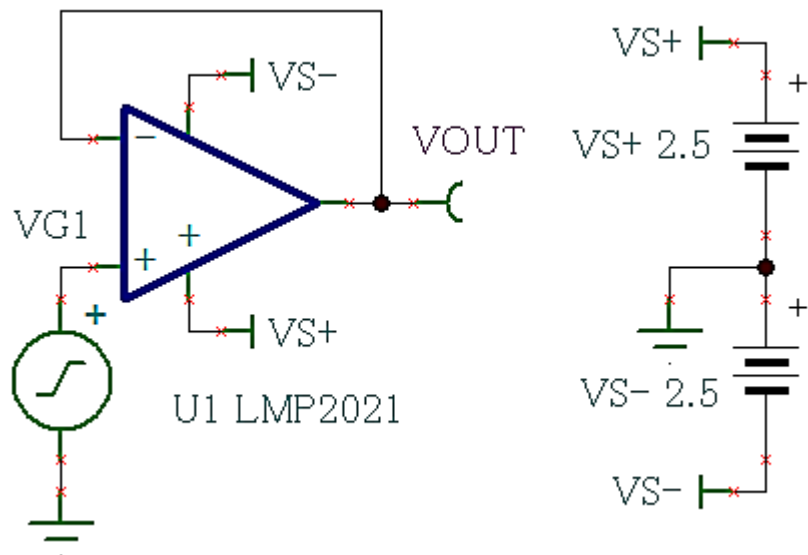


ACスペック:ノイズ密度から帯域幅1kHzの総合ノイズを求める

LMP2021/2022のノイズ密度から帯域幅1kHzにおける全ノイズ(RTI)を計算値

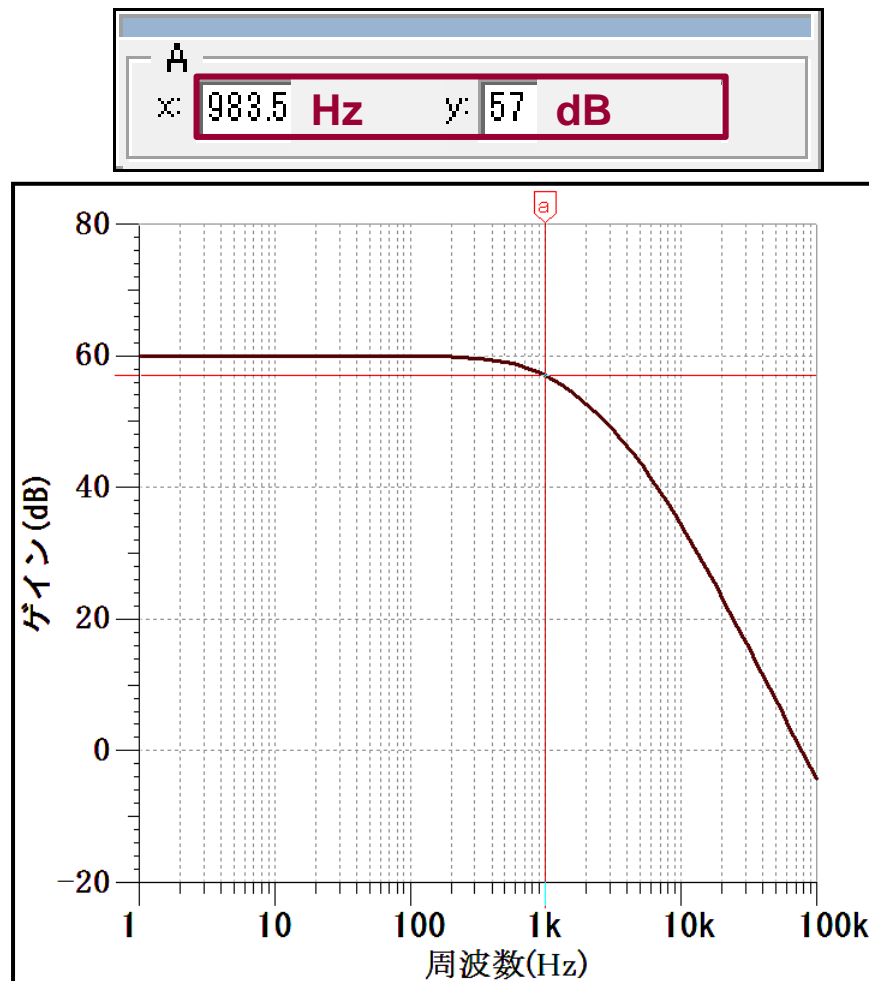
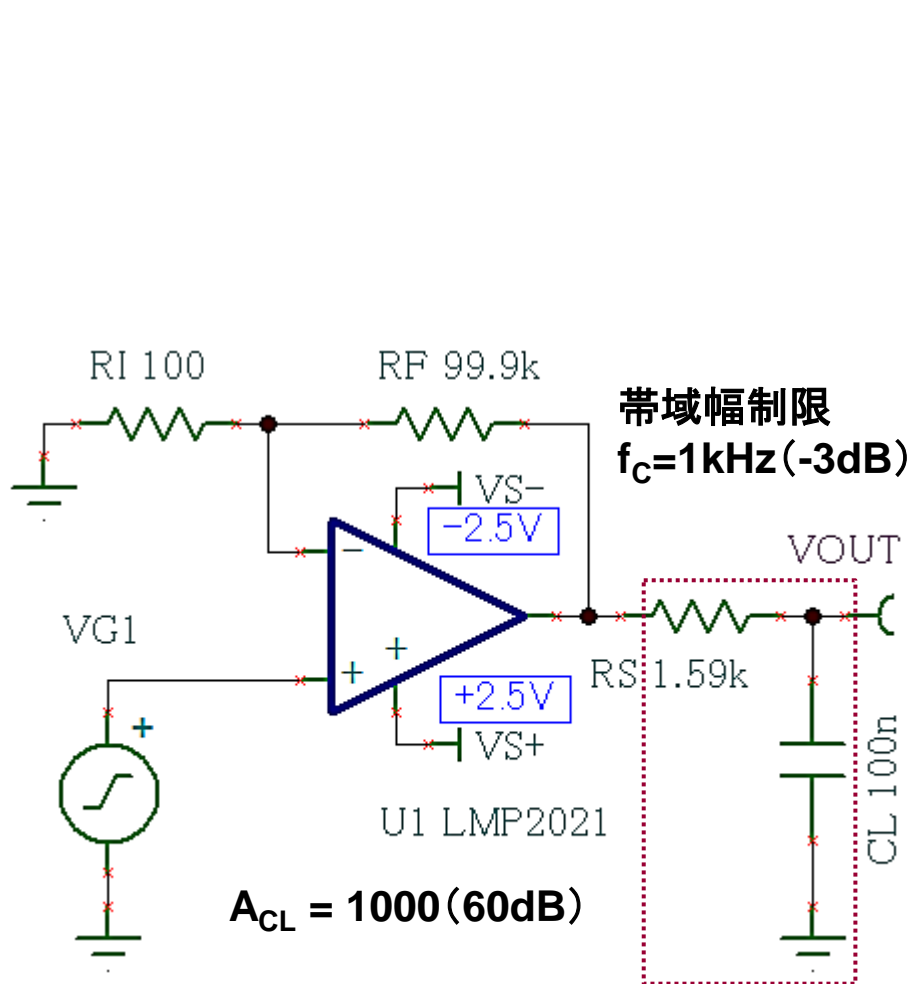
$$11\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}(100\text{Hz} \rightarrow 1\text{kHz}, A_{\text{CL}} = 1000)$$

$$V_N(\text{Vrms, RTI}) = K\sqrt{f_2 - f_1} \quad \text{式13-10}$$
$$= 11\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}} \times \sqrt{1\text{k} - 0.01} = \underline{0.348(\mu\text{Vrms})}$$



ACスペック: 等価ノイズ帯域幅とノイズ密度から全ノイズを計算(1)

帯域制限を付加して回路の周波数特性を0dBまで傾斜を -6dB/oct にする。



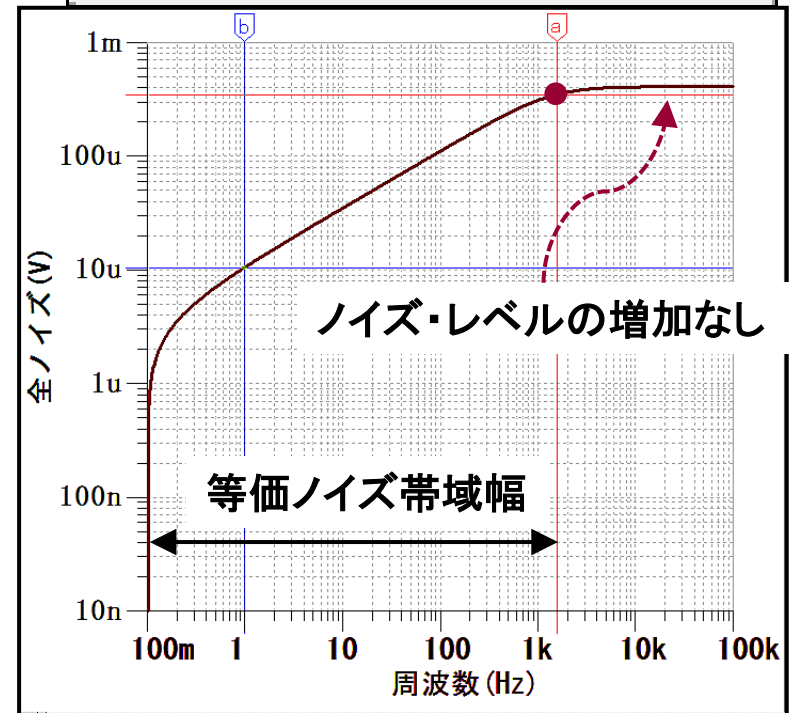
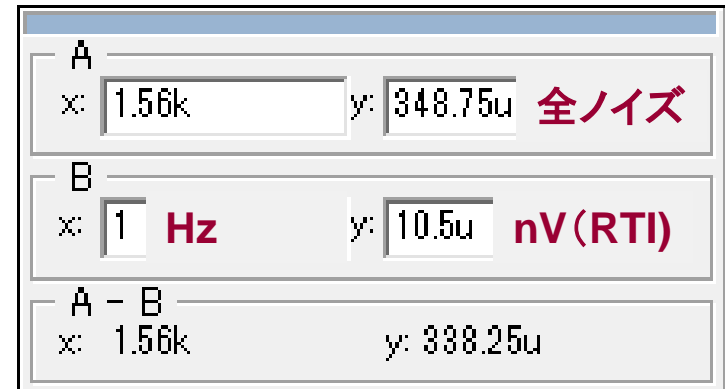
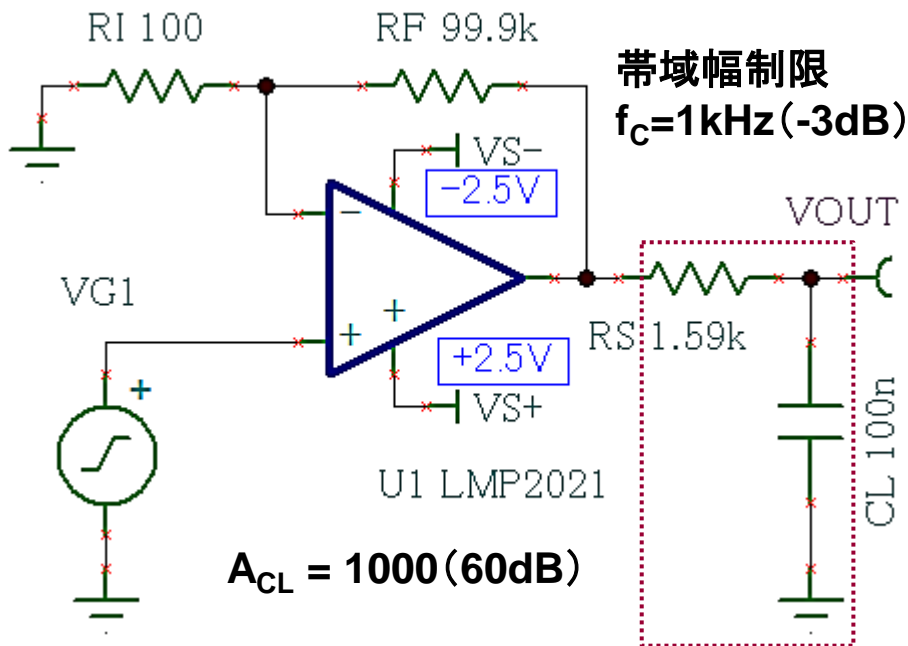
ACスペック: 等価ノイズ帯域幅とノイズ密度から全ノイズを計算(2)

全ノイズ(RTO)を等価ノイズ帯域幅1.56kHzで計算

$$V_N(V_{rms}, RTO) = K \sqrt{f_2 - f_1} \times A_{CL} \quad \text{式13-11}$$

$$= 11 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \times \sqrt{1.56\text{k} - 0.01} \times 1000 = \underline{434.4} (\mu\text{Vrms})$$

$$V_N(V_{P-P}) = V_N(V_{rms}) \times 6.6 = 2.87 (\text{mV}_{P-P}) \quad \text{式13-12}$$



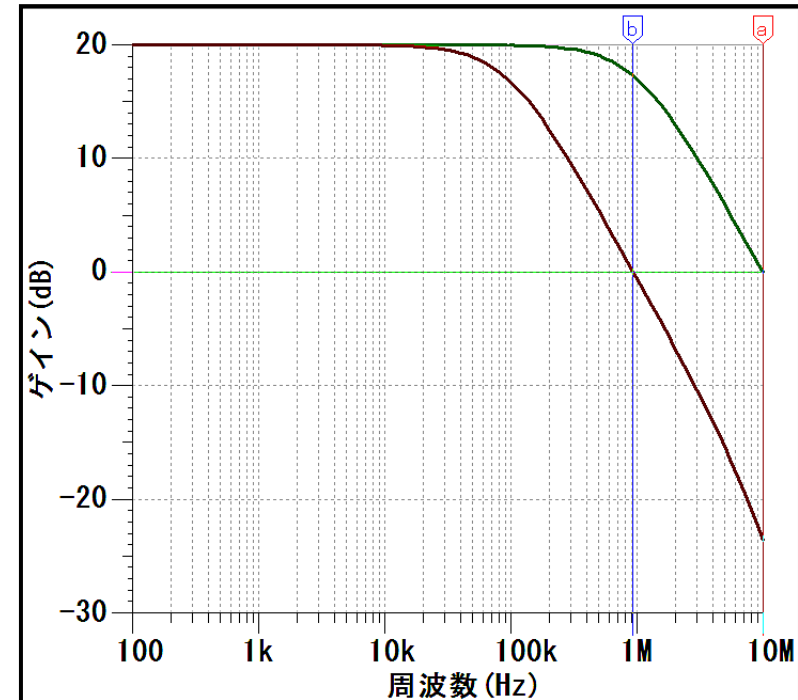
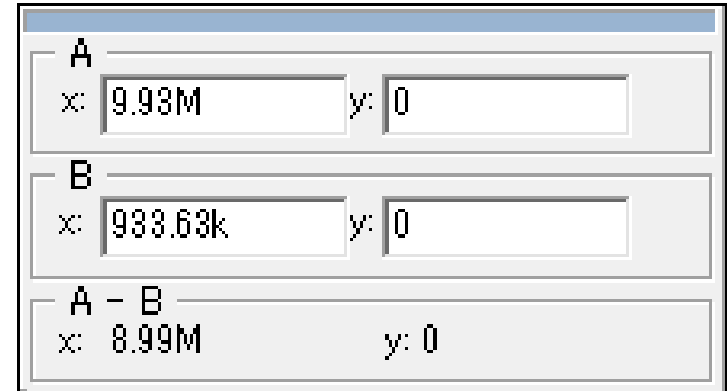
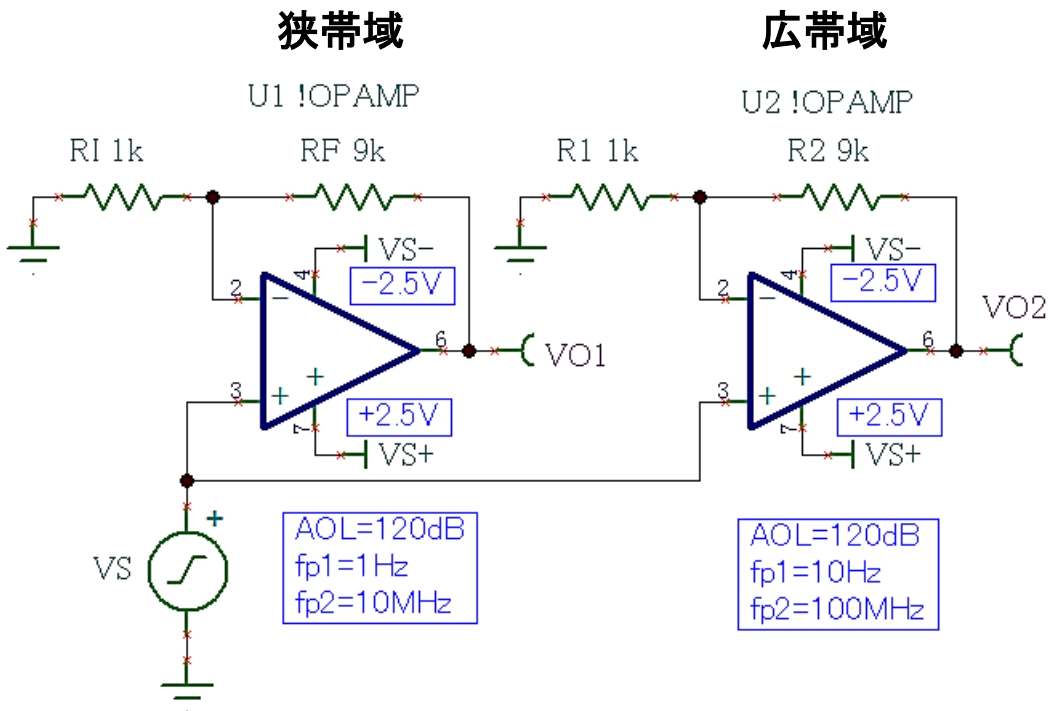
ACスペック: 複合等価ノイズ帯域幅の考え方(1)

帯域幅が1桁異なるオペアンプで考察

U1: fp1 = 1Hz, U2: fp1 = 10Hz

ACLは共に非反転 ゲイン10倍.

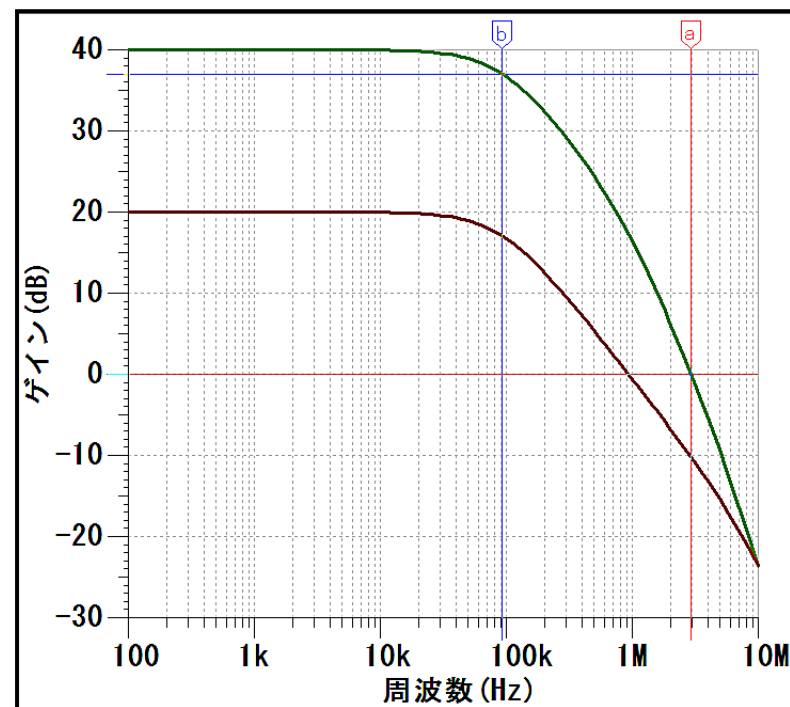
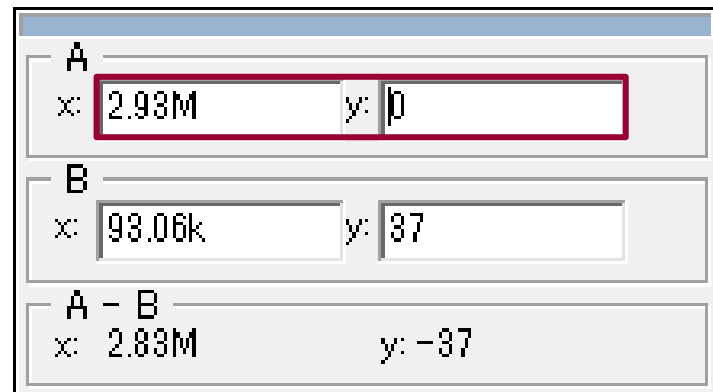
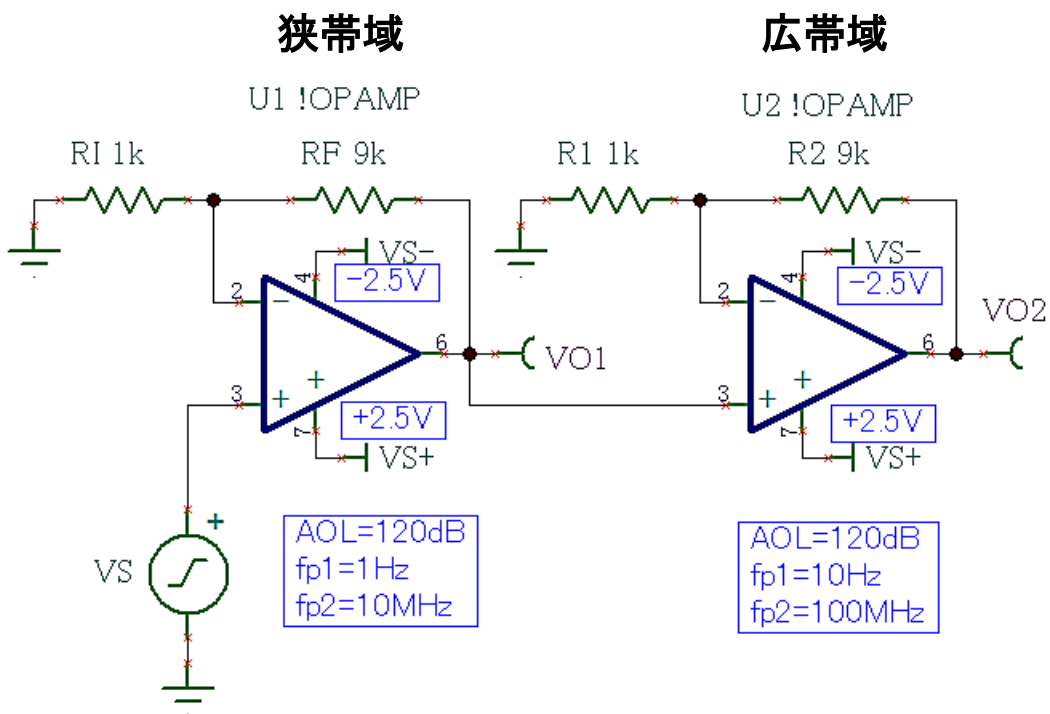
高域での減衰率(傾斜)は1次の応答 -6dB/oct.



ACスペック: 複合等価ノイズ帯域幅の考え方(2)

初段が狭帯域, 2段目が広帯域の組み合わせ

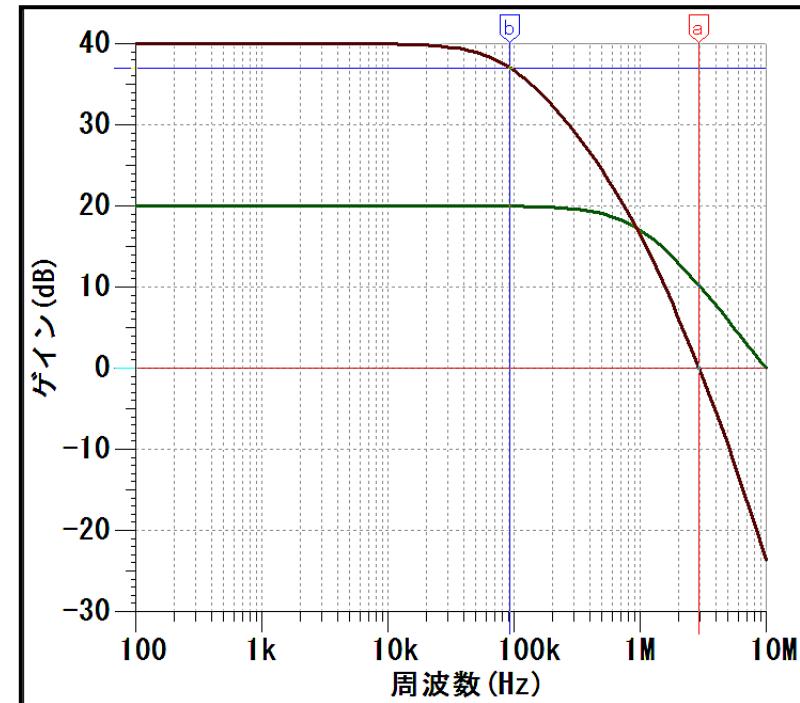
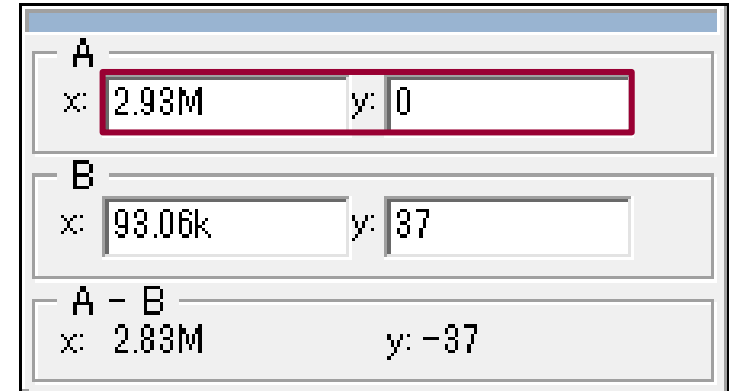
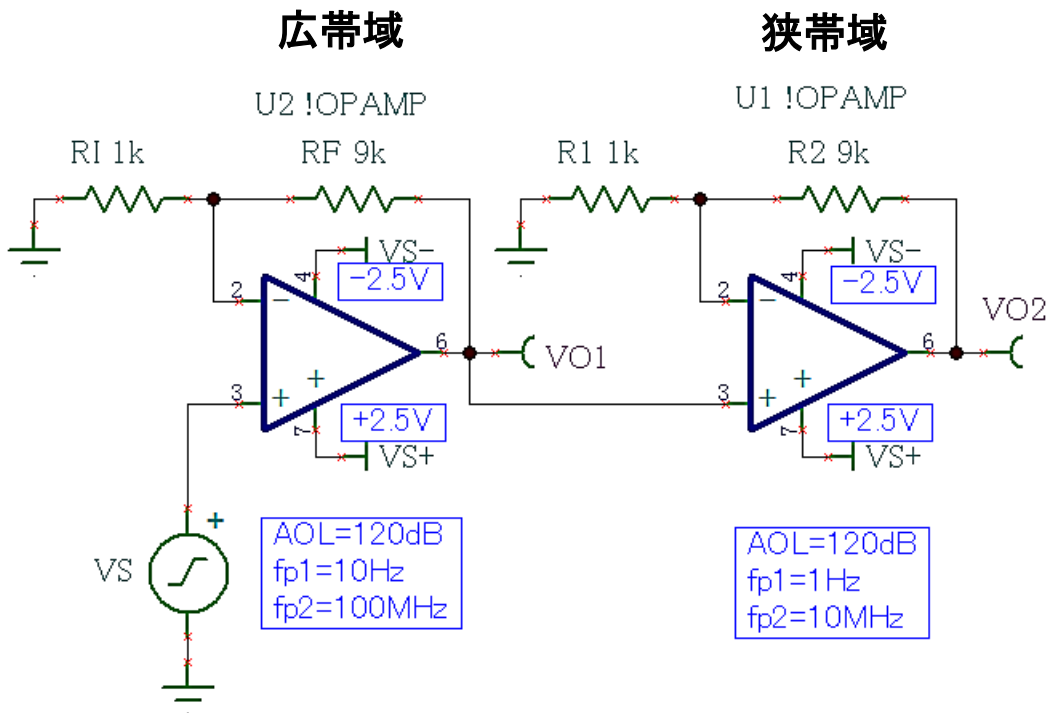
総合周波数特性は初段の狭帯域
 オペンプ U1で決定されている。
 傾斜は2次の応答 -12dB/oct 。
 総合ゲインが 0dB になる周波数は 2.93MHz 。



ACスペック: 複合等価ノイズ帯域幅の考え方(3)

初段が広帯域, 2段目が狭帯域の組み合わせ

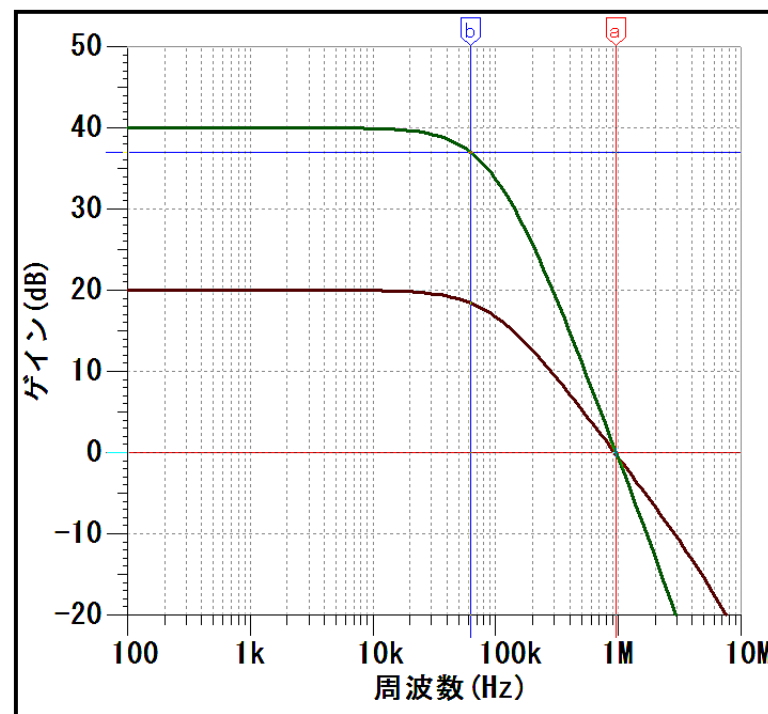
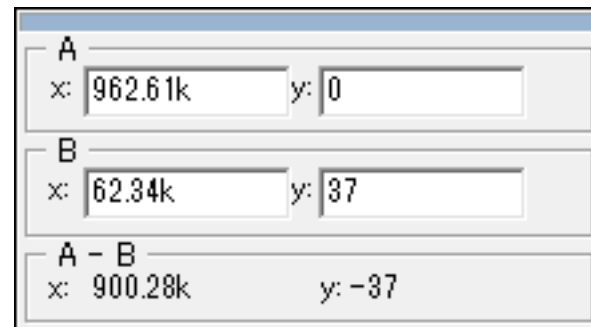
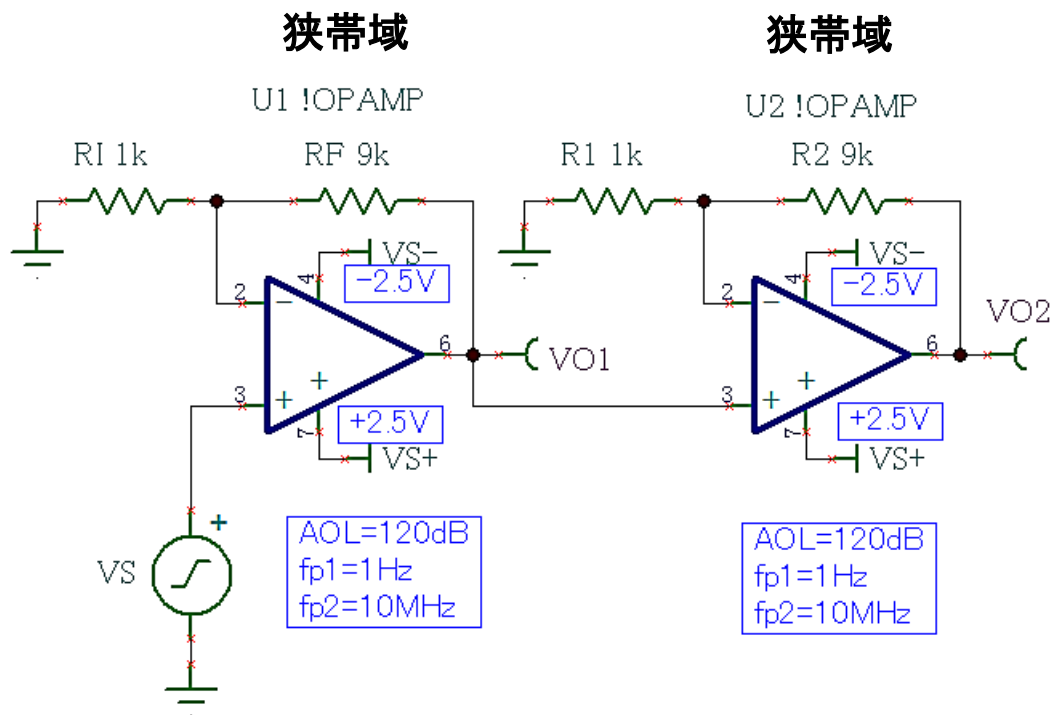
総合周波数特性は2段目の狭帯域オペアンプ U1で決定されている。傾斜は2次の応答 -12dB/oct 。
総合ゲインが 0dB になる周波数は 2.93MHz なので組み合わせの順序に関係なく同じ。



ACスペック: 複合等価ノイズ帯域幅の考え方(4)

初段, 2段目共に狭帯域の組み合わせ

総合周波数特性は最も帯域幅が狭く
高域での傾斜は2次の応答(-12dB/oct).

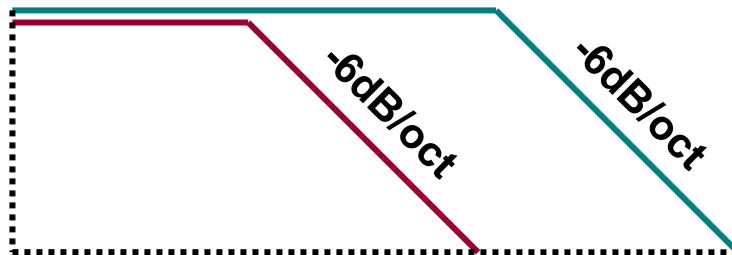


ACスペック: 複合等価ノイズ帯域幅の考え方(5)

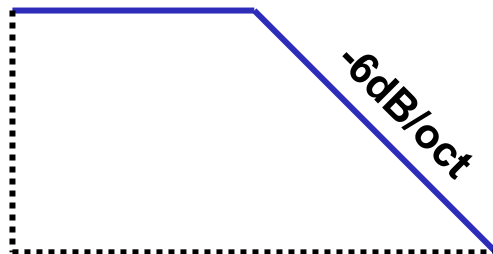
考え方のまとめ

帯域幅の異なるオペアンプを複数使用する場合は、簡略的に傾斜1次(-6dB/oct)の等価ノイズ帯域幅を採用すれば、全ノイズの見積りにマージンが得られる

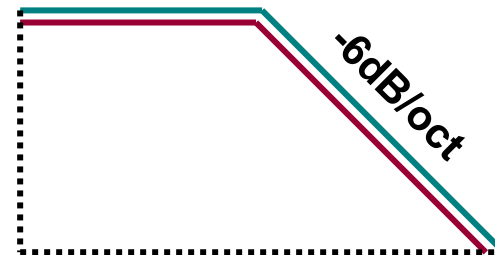
帯域幅が1桁以上違う場合



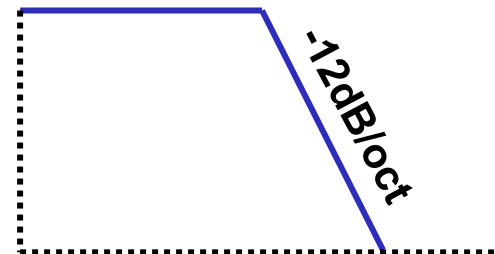
総合帯域幅は狭帯域と等しくなる



帯域幅が接近しているか同じ場合



総合帯域幅は元の帯域より狭くなる



✚ S10.1 データ・シートに記載される主な単位・記述

- (1) 基本単位と補助単位
- (2) 複合単位とデシベル表記
- (3) 上部欄外記述は後続スペックの前提条件

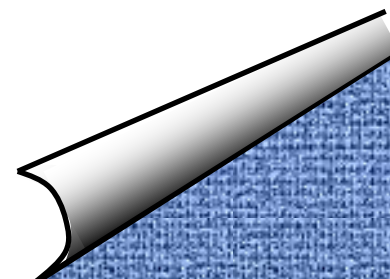
✚ S10.2 オペアンプのデータ・シート

- (1) DCスペック
- (2) ACスペック

✚ S10.3 A/Dコンバータのデータ・シート

- (1) 分解能の表記
- (2) ドライブ条件
- (3) システム性能
- (4) サンプリング性能
- (5) ダイナミック性能

✚ S10.4 各ステージでの重要項目



分解能の表記:ノイズの統計処理をADCの評価へ導入

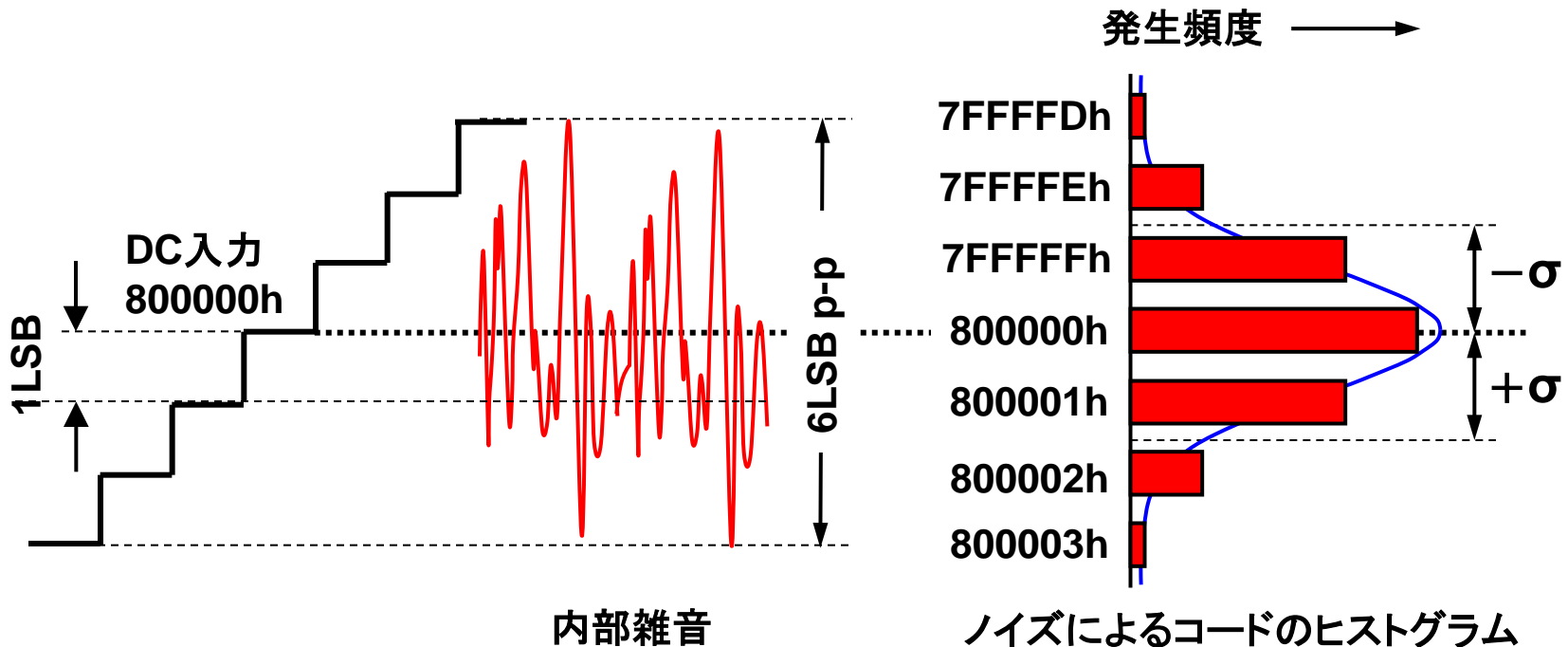
有効分解能 ENOB : $\pm 1\sigma$ のばらつき(実効値ノイズ)を差し引いた残りの有効なBit分解能

$$\text{ENOB} = N - \text{Log}_2(2\sigma) \text{ Bit(rms)} \quad \text{式13-13} \quad \text{ここでNは, 製品分解能}$$

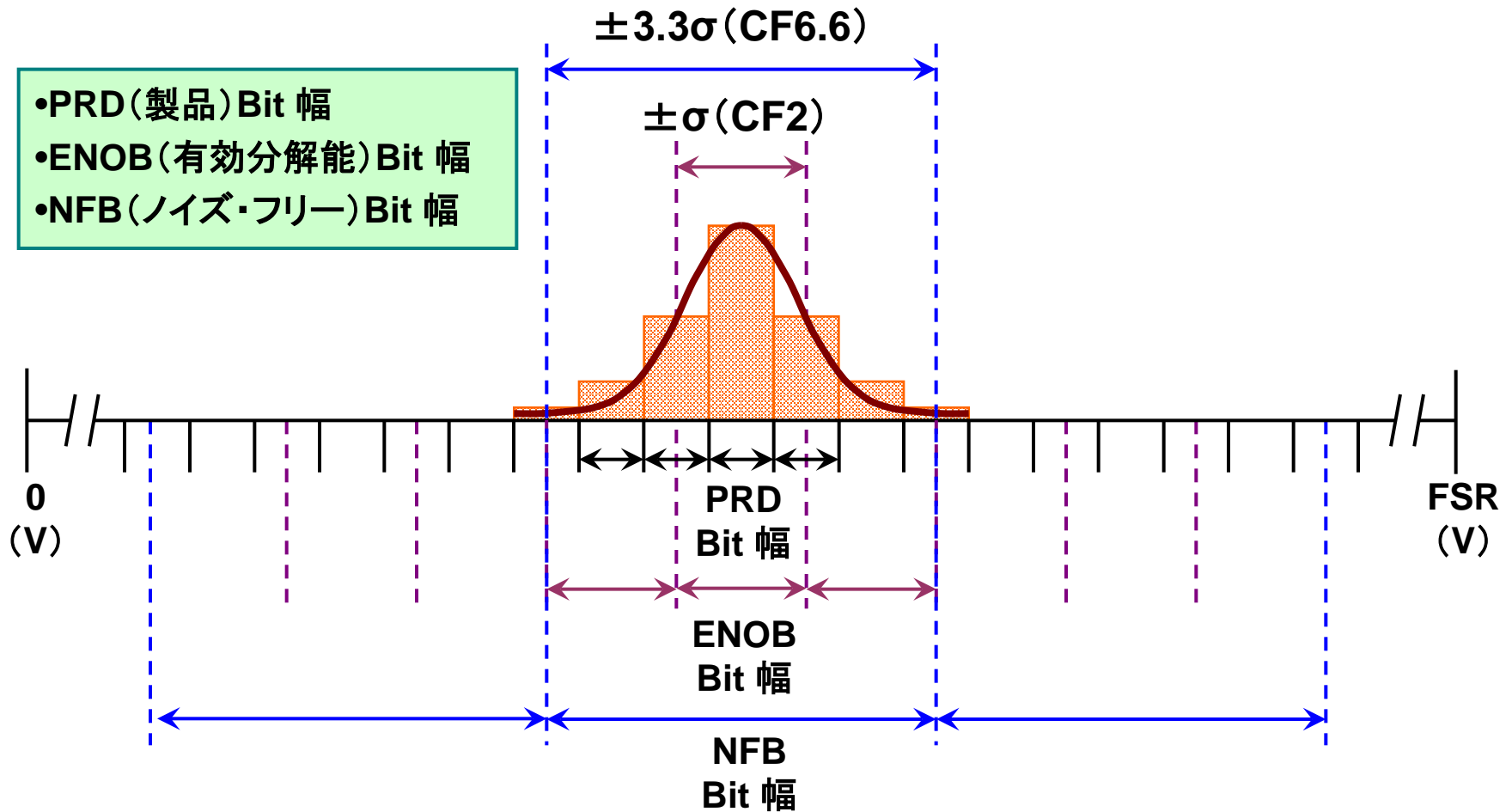
ピーク・ツー・ピーク・ノイズを差し引いた残りのBit分解能: ノイズフリー・ビット(以降, NFB)

$$\text{NFB} = N - \text{Log}_2(m) \text{ Bit(p-p)} \quad \text{式13-14} \quad \text{ここでmは, コードのp-p ばらつき}$$

下の例でA/Dを24Bitとすれば $\text{NFB} = 24 - \text{Log}_2(6) = \underline{21.4} \text{ Bit(p-p)}$



分解能の表記: 各分解能の概念



ドライブ条件: 外部から見たアナログ入力, ADS8422の例

SPECIFICATIONS

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $+V_A = 5\text{ V}$, $+V_{\text{AREG}} = 5\text{ V}$ to 3 V , $+V_{\text{BD}} = 5\text{ V}$ to 2.7 V , $f_{\text{SAMPLE}} = 4\text{ MSPS}$, $V_{\text{ref}} = 4.096\text{ V}$ (measured with internal reference buffer) (unless otherwise noted)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|------|
| ANALOG INPUT | | | | | |
| Full-scale input voltage ① | +IN – (–IN) ① | $-V_{\text{ref}}$ | | V_{ref} | V |
| Absolute input voltage ② | +IN | -0.2 | V_{REF} 基準 | $V_{\text{ref}} + 0.2$ | V |
| | –IN | -0.2 | | $V_{\text{ref}} + 0.2$ | |
| Common-mode input range ③ | ③ | $(V_{\text{ref}})/2 - 0.2$ | $(V_{\text{ref}})/2$ | $(V_{\text{ref}})/2 + 0.2$ | V |
| Input capacitance ④ | | | 30 | | pF |
| Input leakage current ⑤ | | | | 1 | nA |

フットノート

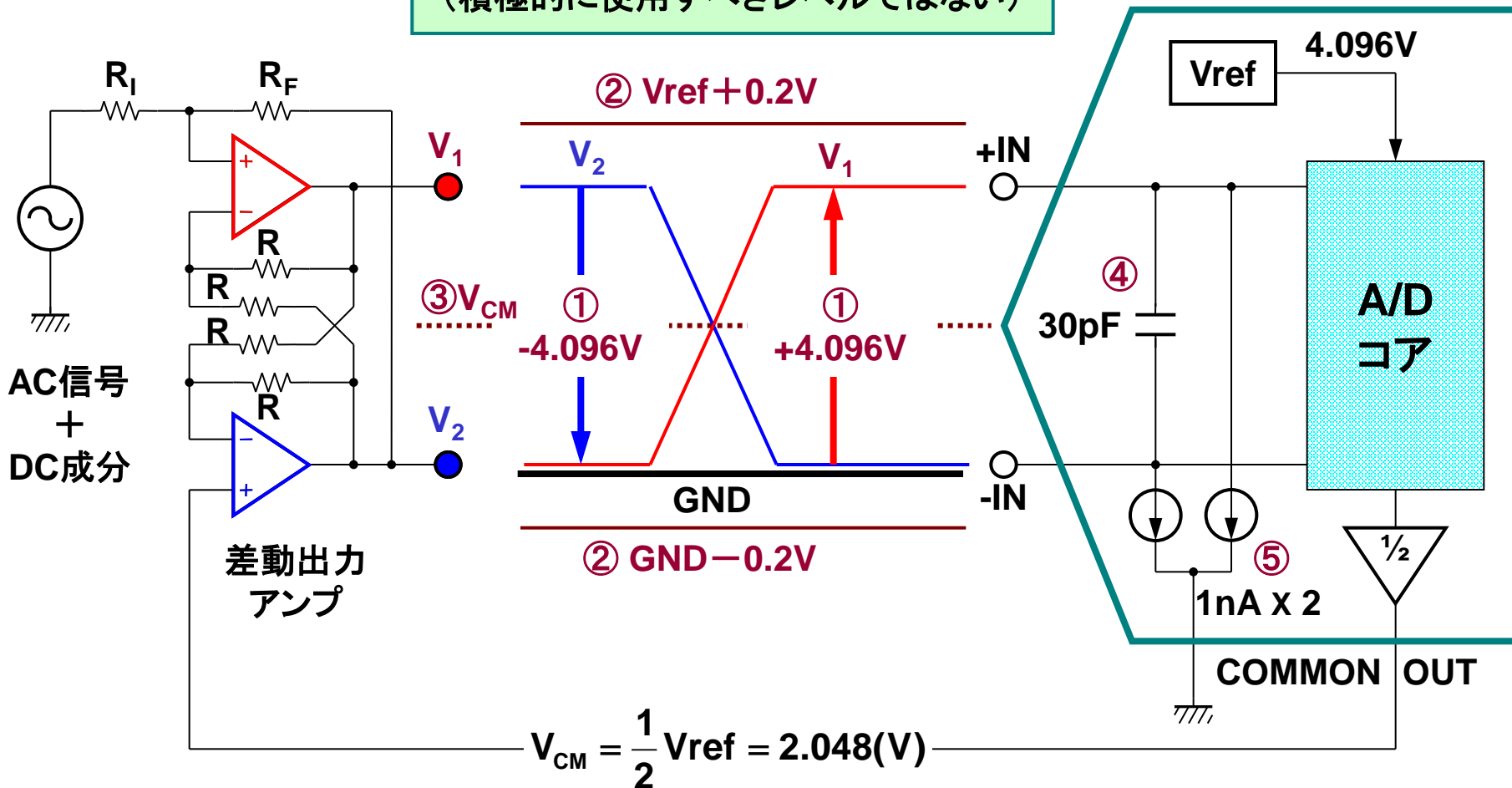
(1) Ideal input span, does not include gain or offset error.

前段アンプのドライブ能力に関係

記事: 入力容量が 50pF を越す場合は, 広帯域オペアンプでドライブできない(発振する).

ドライブ条件：前段アンプとの接続, ADS8422の例

リミット $V_{ref} + 0.2V$ と $GND - 0.2V$ は
前段アンプのオフセットのマージン。
(積極的に使用すべきレベルではない)



システム性能: ADCをシステムとして見る, ADS8422の例

| SYSTEM PERFORMANCE | | 上位15ビットは全コード発生 | MIN | TYP | MAX | |
|---|-----------|---|----------|-------|-----|--------------------------------|
| Resolution | | | | 16 | | Bits |
| No missing codes ① (NMC) | ADS8422I | NMCで2グレード | 15 | | | Bits |
| | ADS8422IB | | 16 | | | |
| Integral linearity ⁽²⁾⁽³⁾ (ILE / INL) ② | ADS8422I | ILEで2グレード | -6 | ±2 | 6 | LSB (16 bit) ⁽²⁾ |
| | ADS8422IB | | -2 | ±1 | 2 | |
| Differential linearity ③ (DLE / DNL) | ADS8422I | DLEで2グレード | -2 | ±0.7 | 2 | LSB (16 bit) |
| | ADS8422IB | | -1 | ±0.7 | 1.5 | |
| Offset error ④ | | ±4LSB | -0.5 | ±0.25 | 0.5 | mV |
| Offset error drift | | | | ±0.2 | | ppm/°C |
| Gain error ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ ⑤ | | V _{ref} = 4.096 V | -0.1 | ±0.05 | 0.1 | %FS |
| Gain error drift | | V _{ref} = 4.096 V | | ±2 | | ppm/°C |
| Common-mode rejection ratio | | At dc | | 81 | | dB |
| | | At code 0000h with [+IN + (-IN)]/2 = 512 mV _{pp} at 500 kHz, | | 78 | | |
| Noise | | At 0000h output code | 264μVp-p | 40 | | μV RMS |
| Power supply rejection ratio | | At 8000h output code | | 78 | | dB |

(2) LSB means least significant bit and is equal to $2V_{REF}/65536$.

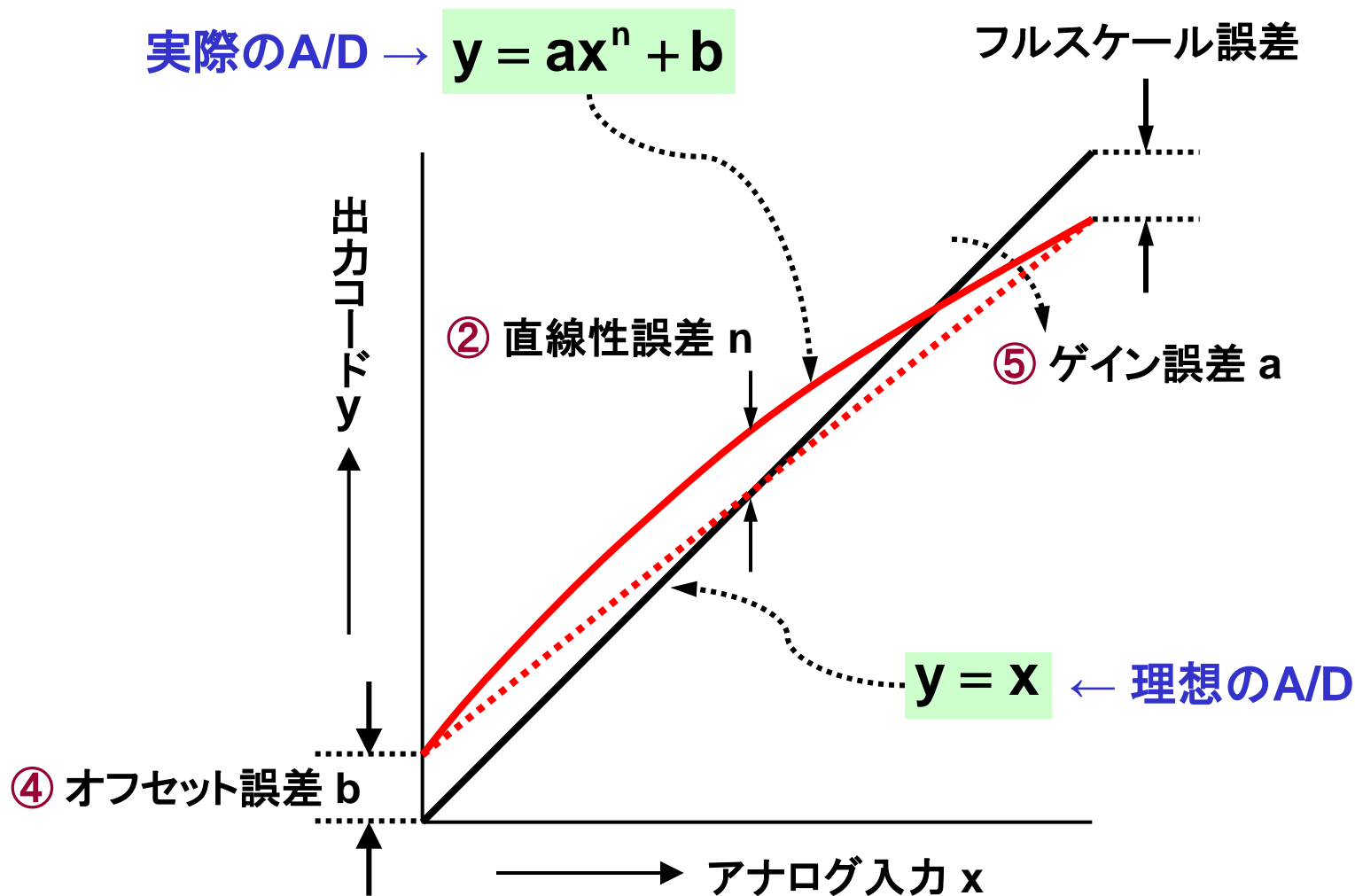
(3) This is endpoint INL, not best fit.

(4) Measured relative to an ideal full-scale input [+IN - (-IN)] of 8.192 V.

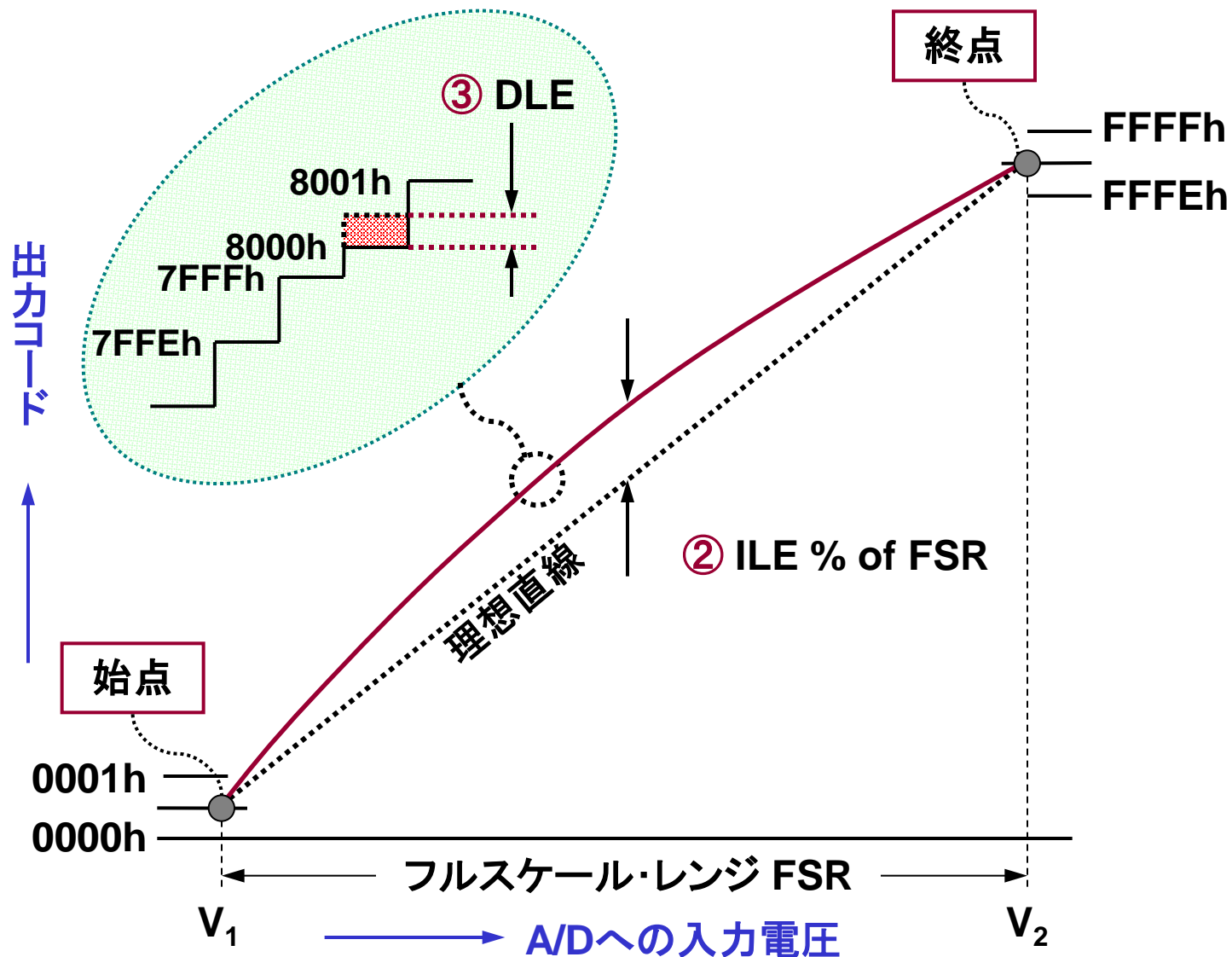
(5) This specification does not include the internal reference voltage error and drift.

.....▶ 1LSB = 125μV

システム性能: ②ILE, ④オフセット, ⑤ゲイン誤差の概念



システム性能: エンド・ポイント法での② ILE および ③ DLE



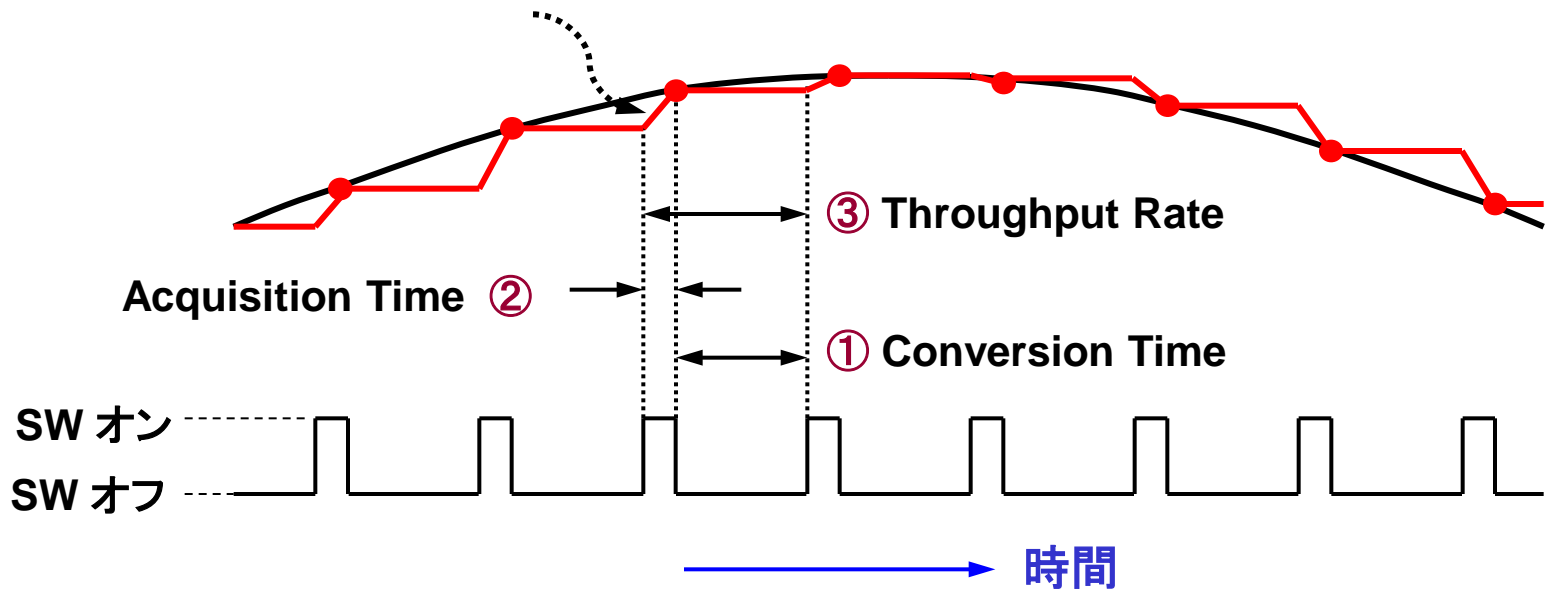
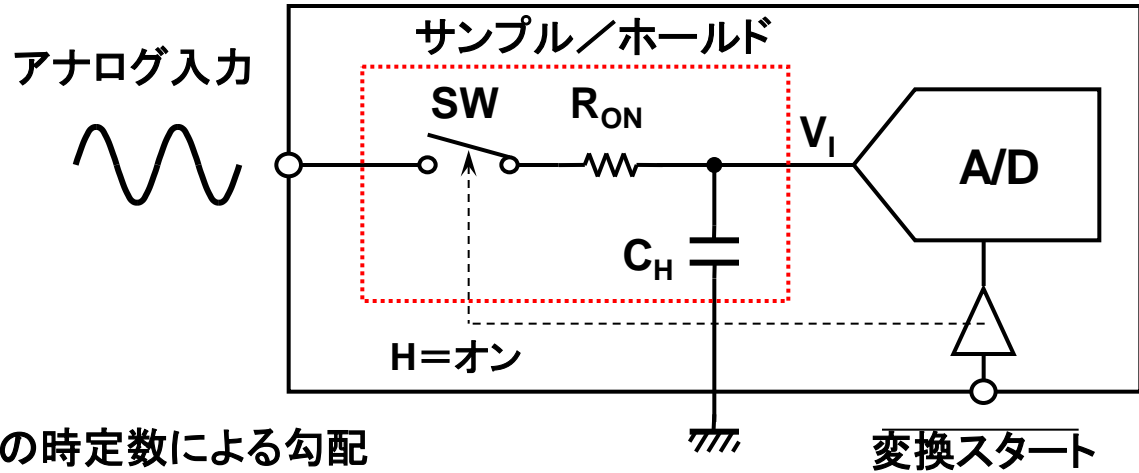
サンプリング性能: サンプリング・スペック, ADS8422の例

| SAMPLING DYNAMICS | | MIN | TYP | MAX | |
|------------------------|--|--------------|---------------------------|-------|--------|
| Conversion time ① | | | <i>180ns</i>▶ | 0.180 | μs |
| Acquisition time ② | | 0.070 ◀..... | <i>70ns</i> | | μs |
| Throughput rate ③ | | | <i>180ns+70ns=250ns</i> → | 4 | MHz |
| Aperture delay ④ | | | 3 | | ns |
| Aperture jitter ⑤ | | | 7 | | ps RMS |
| Step response ⑥ | | | 70 | | ns |
| Overvoltage recovery ⑦ | | | 140 | | ns |

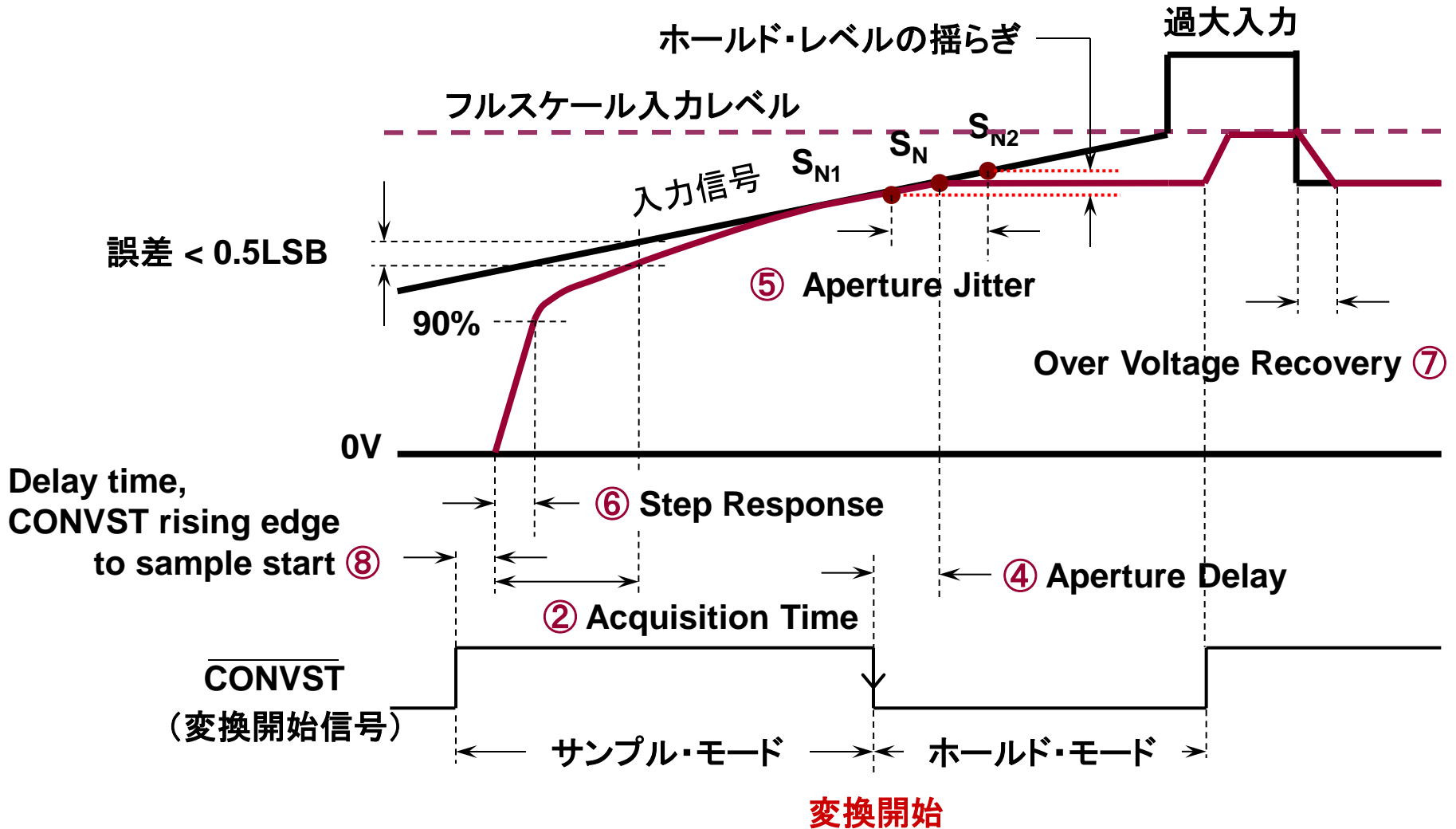
- ④ ⑤▶ 時間軸での精度. AC波形解析では重要なスペック
- ⑥▶ オペアンプのスルーレートに近いスペック
- ⑦▶ 過入力に変換時間の遅延要因.

サンプリング性能: スペックの用語と波形との対応(1)

- SW: アナログ・スイッチ
- R_{ON} : SWのオン抵抗
- C_H : ホールド・コンデンサ



サンプリング性能: スペックの用語と波形との対応 (2)



ダイナミック性能: AC解析に重要なスペック群

$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $+V_A = 5\text{ V}$, $+V_{\text{AREG}} = 5.25\text{ V}$ to 3 V , $+V_{\text{BD}} = 5\text{ V}$ to 2.7 V , $f_{\text{SAMPLE}} = 4\text{ MSPS}$, $V_{\text{ref}} = 4.096\text{ V}$ (measured with internal reference buffer) (unless otherwise noted)

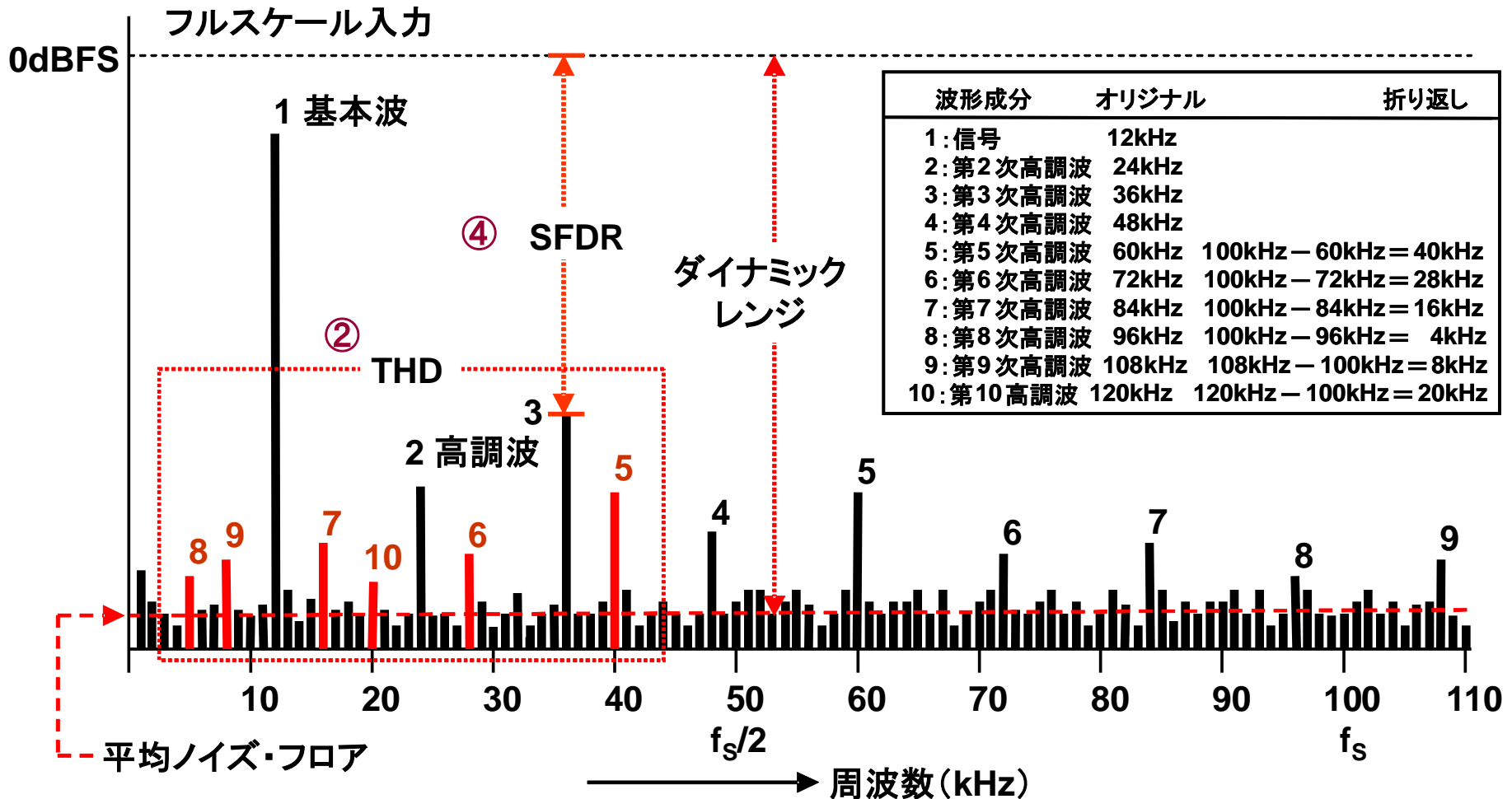
| PARAMETER | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|--|---------|------|-----|------|
| DYNAMIC CHARACTERISTICS | | | | | |
| ① Total harmonic distortion (THD) ⁽¹⁾ | $V_{\text{IN}} = 8\text{ V}_{\text{pp}}$ | 10 kHz | -114 | | dB |
| | | 100 kHz | -102 | | |
| | | 500 kHz | -100 | | |
| ② Signal to noise ratio (SNR) | $V_{\text{IN}} = 8\text{ V}_{\text{pp}}$ | 10 kHz | 93 | | dB |
| | | 100 kHz | 92 | | |
| | | 500 kHz | 90 | | |
| ③ Signal to noise + distortion (SINAD) | $V_{\text{IN}} = 8\text{ V}_{\text{pp}}$ | 10 kHz | 92.5 | | dB |
| | | 100 kHz | 91.5 | | |
| | | 500 kHz | 89.5 | | |
| ④ Spurious free dynamic range (SFDR) | $V_{\text{IN}} = 8\text{ V}_{\text{pp}}$ | 10 kHz | 116 | | dB |
| | | 100 kHz | 109 | | |
| | | 500 kHz | 106 | | |
| -3dB Small signal bandwidth ⑤ | | | 30 | | MHz |
| Maximum input frequency, $f_{i(\text{max})}$ ⁽²⁾ ⑥ | $V_{\text{IN}} = 8\text{ V}_{\text{pp}}$ | 2 | | | MHz |

① (1) Calculated on the first nine harmonics of the input frequency.

⑥ (2) ADC Sampling circuit is optimized to accept inputs until Nyquist frequency. Dynamic performance may degrade rapidly above $f_{i(\text{max})}$.

ダイナミック性能：高調波歪とSFDRの関係

5次～10次はエリアスで、周波数がナイキスト周波数 ($f_s/2 = 50\text{kHz}$) を超えるため、サンプリング周波数 $f_s = 100\text{kHz}$ のビートとして低周波領域に折り返す。



ダイナミック性能: A/Dのダイナミック特性に関する計算式

- ② SNR: S/N比のことで正弦波実効値電力とノイズ実効値電力との比.

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{\text{正弦波信号電力}}{\text{ノイズ電力}} \quad (\text{dBc}) \quad \text{式13-15}$$

- ① THD: 全高調波歪率. 規定の次数までの高調波成分の実効値電力の合計と, 正弦波実効値電力との比.

$$\text{THD} = 10 \log \frac{\text{全高調波電力}}{\text{正弦波信号電力}} \quad (\text{dBc}) \quad \text{式13-16}$$

- ③ SINAD: 正弦波実効値電力と(ノイズ+THD)実効値電力との比.
ダイナミック特性の中ではA/Dにとって最も厳しいスペック.

$$\text{SINAD} = 10 \log \frac{\square \square \square \square \square}{\square \square \square \square \square \square \square} \quad (\text{dBc}) \quad \text{式13-17}$$

✦ S10.1 データ・シートに記載される主な単位・記述

- (1) 基本単位と補助単位
- (2) 複合単位とデシベル表記
- (3) 上部欄外記述は後続スペックの前提条件

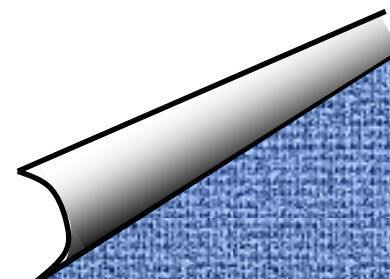
✦ S10.2 オペアンプのデータ・シート

- (1) DCスペック
- (2) ACスペック

✦ S10.3 A/Dコンバータのデータ・シート

- (1) 分解能の表記
- (2) ドライブ条件
- (3) システム性能
- (4) サンプリング性能
- (5) ダイナミック性能

✦ S10.4 各ステージでの重要項目



各ステージでの重要項目:mVオーダのデータ収集システムの例

各ステージで求められるキー・スペックが異なる

A1

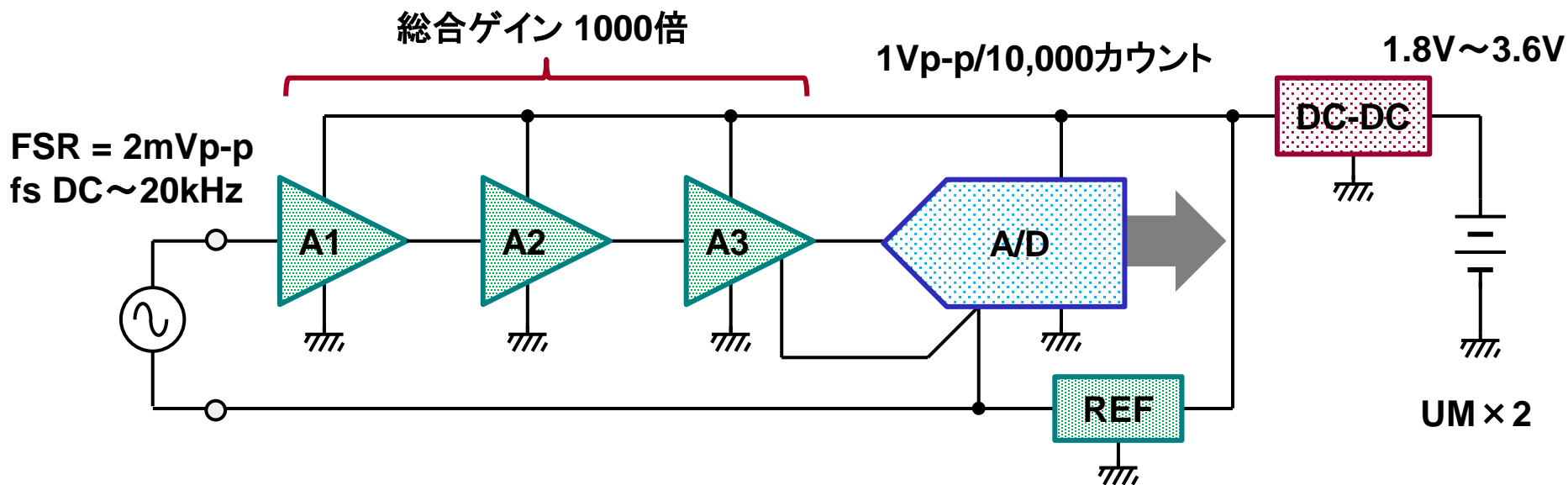
- ドリフト
- ノイズ性能
- 帯域幅

A2

- 帯域幅
- 全ての間

A3

- スルーレート
- CMR(直線性)
- 帯域幅
- ドライブ能力



各ステージでの重要項目:mVオーダのデータ収集システムの例

A/Dと周辺部品のキー・スペック

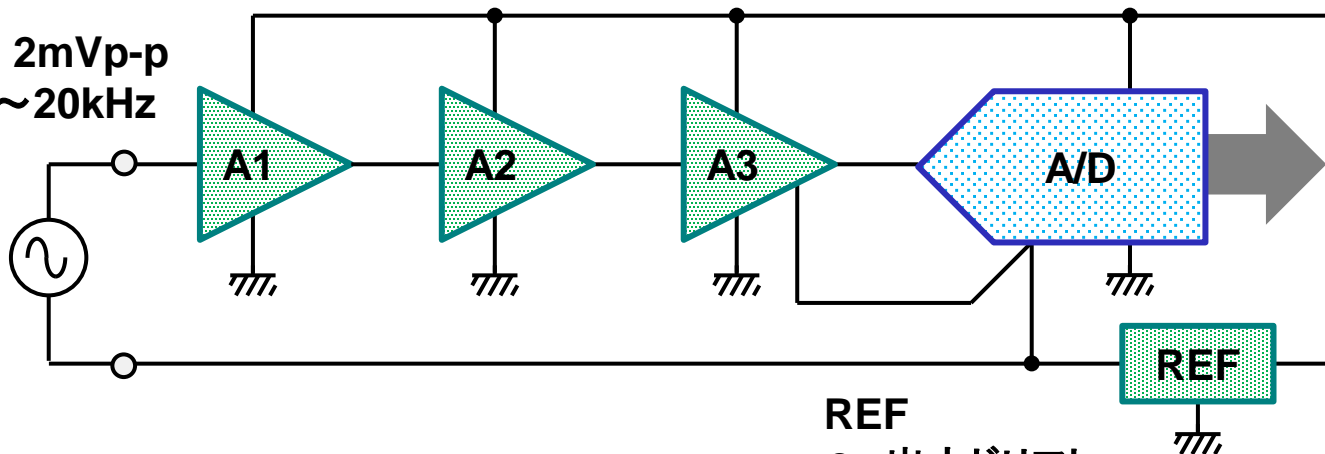
A3

- スルーレート
- CMR(直線性)
- 帯域幅
- ドライブ能力

A/D

- ノイズフリー・ビット
- サンプリング・レート
- アナログ部の帯域幅
- SNR(アパチャジッタ)

FSR = 2mVp-p
fs DC~20kHz



1.8V~3.6V

DC-DC

UM x 2

REF

- 出力ドリフト
- 出力ノイズ

<記事>

コスト優先の場合は、高速ADC(4ⁿ倍)を用いて変換データの平均化により回路ノイズ低減する。

各ステージでの重要項目: 4のn乗平均による回路ノイズの軽減

$4^1 = 4$ 個のデータ平均で1ビット(6dB)改善

$4^2 = 16$ 個のデータ平均で2ビット(12dB)改善

$4^3 = 64$ 個のデータ平均で3ビット(18dB)改善

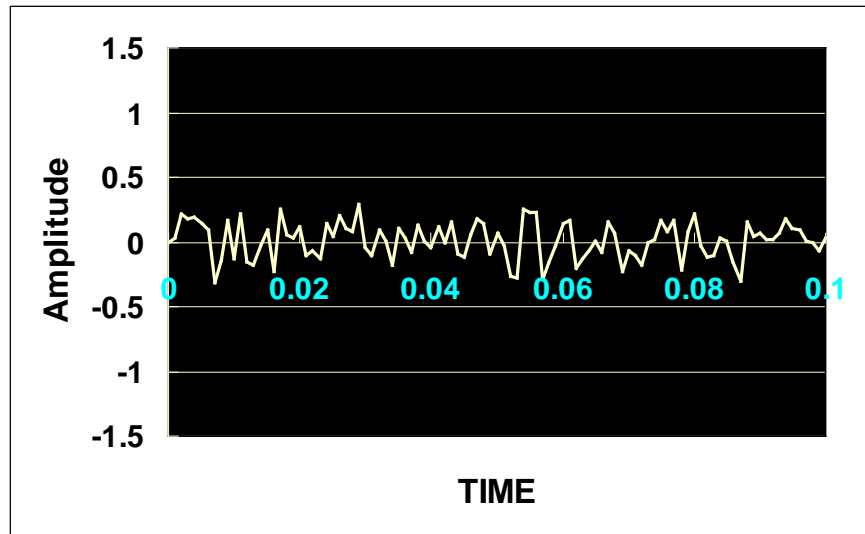
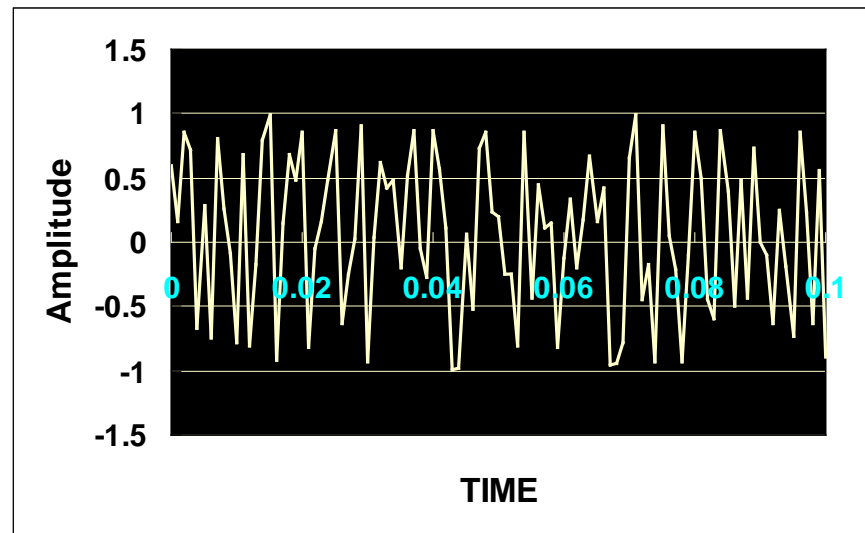
| t | DATA 1 |
|-------|-------------|
| 0 | 0.309953275 |
| 0.001 | 0.842464658 |
| 0.002 | -0.17138265 |
| 0.003 | -0.82536564 |

`=RAND()*2-1`

| DATA 1 |
|-------------|
| 0.309953275 |
| 0.842464658 |
| -0.17138265 |
| -0.82536564 |

| DATA 16 | AVE, n=16 |
|-------------|-------------|
| 0.735941684 | -0.04811349 |
| 0.278487203 | 0.286797075 |
| -0.57689685 | 0.131392997 |
| 0.91347042 | 0.050656713 |

| RSS DATA1 | RSS AVE | RATIO |
|------------|-------------|-------|
| 18.4424876 | 4.595834988 | 0.249 |



セッション10 終わり

お疲れ様でした.

