

お客様各位

カタログ等資料中の旧社名の扱いについて

2010年4月1日を以ってNECエレクトロニクス株式会社及び株式会社ルネサステクノロジが合併し、両社の全ての事業が当社に承継されております。従いまして、本資料中には旧社名での表記が残っておりますが、当社の資料として有効ですので、ご理解の程宜しくお願ひ申し上げます。

ルネサスエレクトロニクス ホームページ (<http://www.renesas.com>)

2010年4月1日
ルネサスエレクトロニクス株式会社

【発行】ルネサスエレクトロニクス株式会社 (<http://www.renesas.com>)

【問い合わせ先】 <http://japan.renesas.com/inquiry>

ご注意書き

1. 本資料に記載されている内容は本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。当社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に当社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、当社ホームページなどを通じて公開される情報に常にご注意ください。
2. 本資料に記載された当社製品および技術情報の使用に関連し発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権の侵害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
3. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。
4. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器の設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。本資料に記載されている当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途の目的で使用しないでください。また、当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器に使用することができません。
6. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「高品質水準」および「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途に当社製品を使用することができません。また、お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、意図されていない用途に当社製品を使用することができません。当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途または意図されていない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。なお、当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。
標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置、生命維持を目的として設計されていない医療機器（厚生労働省定義の管理医療機器に相当）
特定水準： 航空機器、航空宇宙機器、海底中継機器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの、治療行為（患部切り出し等）を行うもの、その他直接人命に影響を与えるもの）（厚生労働省定義の高度管理医療機器に相当）またはシステム等
8. 本資料に記載された当社製品のご使用につき、特に、最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他諸条件につきましては、当社保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないようお客様の責任において冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、機器またはシステムとしての出荷保証をお願いいたします。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様が製造された最終の機器・システムとしての安全検証をお願いいたします。
10. 当社製品の環境適合性等、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを固くお断りいたします。
12. 本資料に関する詳細についてのお問い合わせその他お気付きの点等がございましたら当社営業窓口までご照会ください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサスエレクトロニクス株式会社およびルネサスエレクトロニクス株式会社とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

インフォメーション

オペアンプの用語と特性

本資料に掲載の応用回路および回路定数は、例示的に示したものであり、量産設計を対象とするものではありません。

- 本資料に記載されている内容は2007年8月現在のもので、今後、予告なく変更することがあります。量産設計の際には最新の個別データ・シート等をご参照ください。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。当社は、本資料の誤りに関し、一切その責を負いません。
- 当社は、本資料に記載された当社製品の使用に関連し発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権の侵害等に関し、一切その責を負いません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
- 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器の設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責を負いません。
- 当社は、当社製品の品質、信頼性の向上に努めておりますが、当社製品の不具合が完全に発生しないことを保証するものではありません。当社製品の不具合により生じた生命、身体および財産に対する損害の危険を最小限度にするために、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等安全設計を行ってください。
- 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「特別水準」およびお客様に品質保証プログラムを指定していただく「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。

標準水準：コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット

特別水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置、生命維持を目的として設計されていない医療機器

特定水準：航空機器、航空宇宙機器、海底中継機器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器、生命維持のための装置またはシステム等

当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。意図されていない用途で当社製品の使用をお客様が希望する場合には、事前に当社販売窓口までお問い合わせください。

(注)

- (1) 本事項において使用されている「当社」とは、NECエレクトロニクス株式会社およびNECエレクトロニクス株式会社がその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいう。
- (2) 本事項において使用されている「当社製品」とは、(1)において定義された当社の開発、製造製品をいう。

はじめに

現状のオペアンプは理想的な性能に近い特性を持っているものの、厳密に言えばどのような応用回路にも使用できるものではありません。言い換えれば、規格値はオペアンプがどの程度理想に近いかを示しています。

ここでは、オペアンプ特有の用語と特性および実際の応用回路におけるそれぞれの関連について説明します。

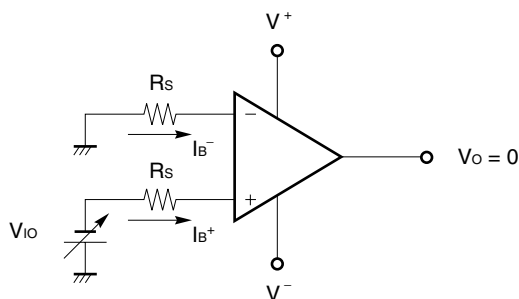
1. オペアンプの規格定義

1.1 入力オフセット電圧： V_{IO}

オペアンプの出力電圧を 0 V にするために必要な入力端子間の差電圧です。またこのときの電圧源と入力端子に接続する抵抗を信号源抵抗といいます（図 1-1 参照）。

実際には，負帰還が働いて入力段の差動増幅回路がバランスしているとき（出力電圧が 0 V）の入力端子間の差電圧です（他特性が影響していない場合）。

図 1-1 V_{IO} , I_{IO} , I_B 測定回路



1.2 入力オフセット電流： I_{IO}

オペアンプの出力電圧が 0 V のとき，それぞれの入力端子に流入または流出する入力電流の差です（図 1-1 参照）。

$$I_{IO} = |I_{B-} - I_{B+}|$$

1.3 入力バイアス電流： I_B

オペアンプの出力電圧が 0 V のとき，+ 入力端子と - 入力端子に流入または流出する入力電流の平均値です（図 1-1 参照）。

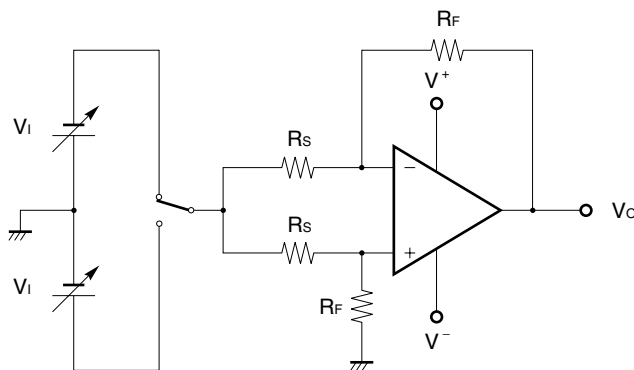
$$I_B = (I_{B-} + I_{B+}) / 2$$

1.4 同相入力電圧範囲： V_{ICM}

オペアンプが正常に動作する入力電圧の限界値を表します。正電源側と負電源側の両方の値があります（**図 1-2** 参照）。

実際には、入力オフセット電圧の変動が規定の同相信号除去比（CMR）以下の入力電圧の範囲です。

図 1-2 V_{ICM} , CMR 測定回路



1.5 同相信号除去比：CMR

入力電圧を変化させた場合に変動した入力オフセット電圧との変動比です（通常は DC 変動分）（**図 1-2** 参照）。

$$CMR = \Delta V_i / \Delta V_{io}$$

1.6 入力抵抗： R_i

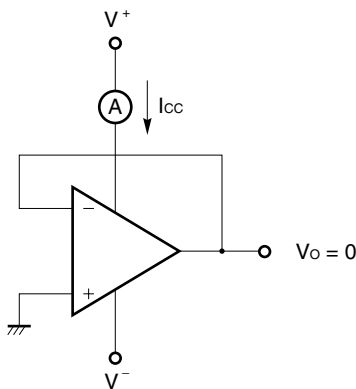
入力電圧を変化させた場合に変動する入力バイアス電流との変動比です。

$$R_i = \Delta V_i / \Delta I_B$$

1.7 回路電流： I_{CC}

負荷がない状態で出力電圧が 0 V のとき、電源端子に流れる電流です（**図 1-3** 参照）。

図 1-3 I_{CC} 測定回路



1.8 最大出力電圧： V_{om}

出力が飽和する電圧で、オペアンプが正常に動作する限界値を表します。正電源側と負電源側の両方の値があります。また条件として、出力端子と GND 間の負荷抵抗（2 k Ω , 10 k Ω ）か出力電流を設定します。

1.9 電源変動除去比：SVR

電源電圧を変化させた場合に変動する入力オフセット電圧との変動比です（通常は DC 変動分）。

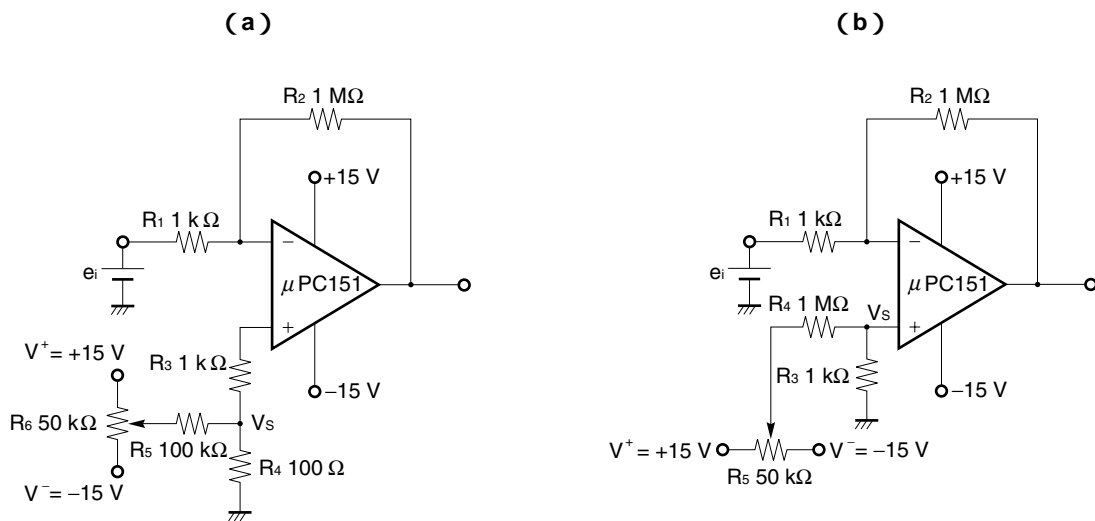
$$SVR = \Delta(V^+ - V^-) / \Delta V_{IO}$$

2. 規格値と電気的特性の関連

2.1 入力オフセット電圧およびその補正

初段のペア・トランジスタのミスマッチ分によって生じるベース エミッタ間差電圧を意味しています。したがって、入力電圧が 0 であるにもかかわらず、出力に電圧を生じるという不都合があり、高利得、高精度を要する応用回路では、これを 0 に補正して使用することが必要です。図 2-1、図 2-2 は μ PC151 に対するオフセット電圧補正回路ですが、ほかのアンプについても応用できます。

図 2-1 標準的な V_{IO} 調整回路



備考 $V_s = +15 \text{ mV} \sim -15 \text{ mV}$

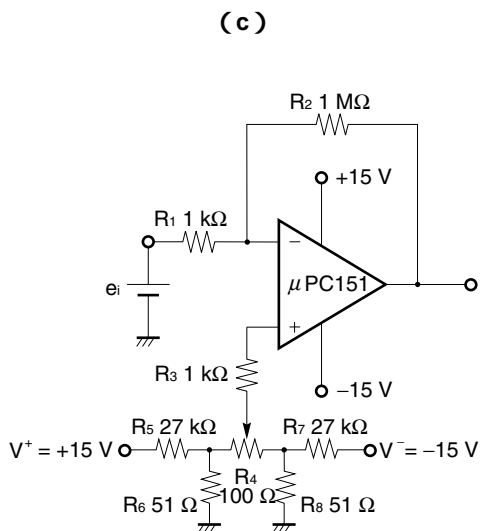
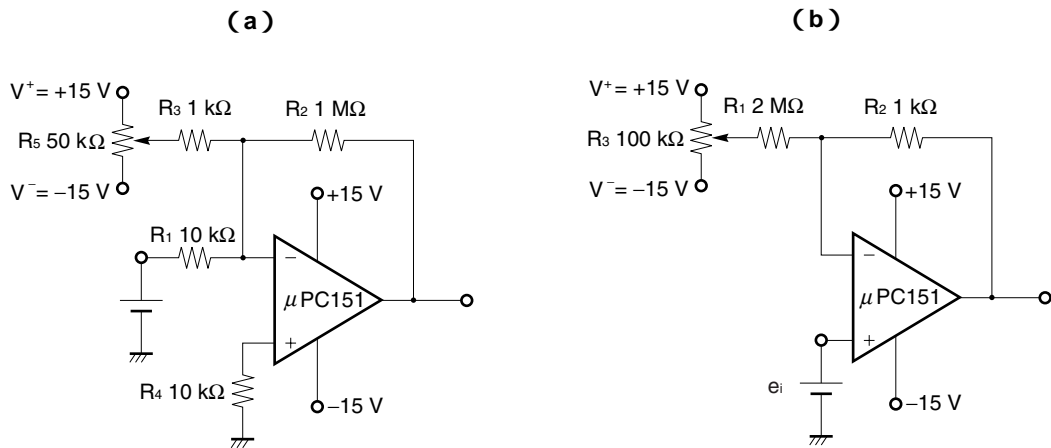


図 2-2 電流加算形の V_{io} 調整



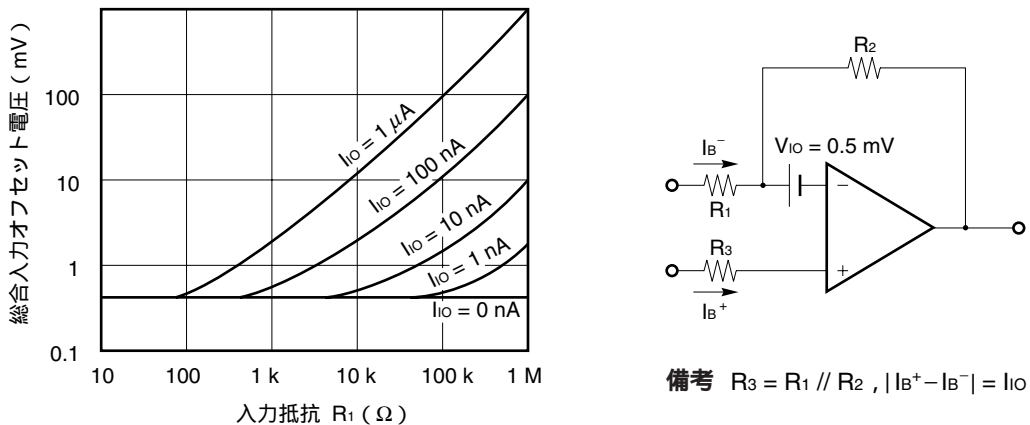
備考 可変範囲 : $V_{io} = \pm \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = \pm 7.5 \text{ mV}$

2.2 入力バイアス電流およびオフセット電流

バイポーラ・トランジスタによるオペアンプの入力バイアス電流は、50 ~ 200 nA 程度が一般的な値です。したがってその温度係数も -0.5 ~ -1.0 % / °C の温度係数を持っており、入力信号源抵抗が 50 kΩ を越える応用回路については増幅誤差が大きくなっていることが多いので注意してください。

図 2-3 は入力オフセット電圧が 0.5 mV のオペアンプに対して入力信号源抵抗が大きくなる場合、総合的な入力オフセット電圧がどのくらいの影響を及ぼすかについて示したグラフです。

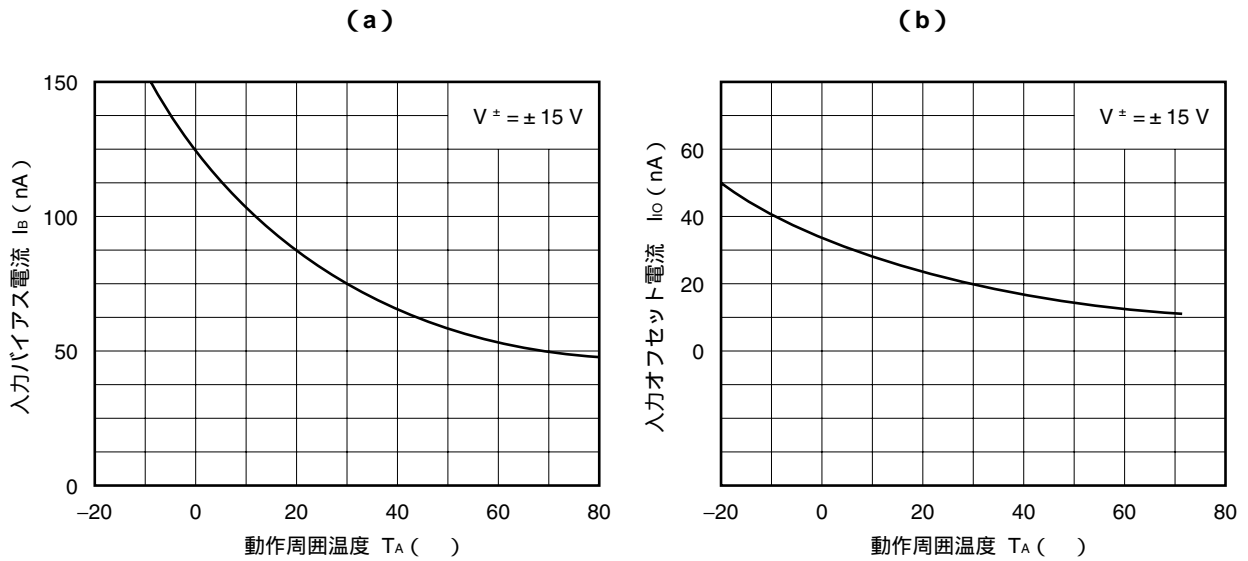
図 2-3 総合オフセット電圧と I_{io} の関係 ($T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)



備考 $R_3 = R_1 // R_2$, $|I_{B^+} - I_{B^-}| = I_{io}$

図 2-4 (a) および図 2-4 (b) は、代表的なオペアンプ μPC151 の入力バイアス電流およびオフセット電流の温度変化を示したものです。

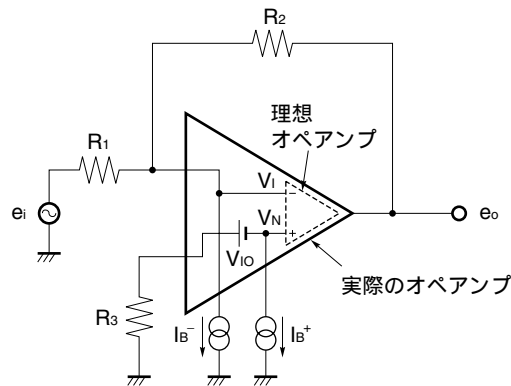
図 2-4 μ PC151 の $I_B, I_{IO} - T_A$ 特性



2.3 入力誤差項の影響

図 2-5 は入力オフセット電圧と入力バイアス電流が実際の回路に及ぼす誤差を表示する反転増幅回路です。

図 2-5 入力誤差項を含む反転増幅器



入出力特性を求めるために、理想オペアンプの入力端子電圧を V_i および V_N と仮定して数式をたててみることにします。

$$V_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot e_o + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot e_i - \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_{B^-} \quad \dots \quad (1)$$

$$V_N = -V_{IO} - R_3 \cdot I_{B^+} \quad \dots \quad (2)$$

$$e_o = A_v (V_N - V_i) \quad \dots \quad (3)$$

ここで、 $A_v = \infty$ とすると $V_N = V_i$ となり、(1)、(2) 式を整理すると、

$$e_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot e_i - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{IO} - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot R_3 \cdot I_B^+ + R_2 \cdot I_B^- \quad \dots \quad (4)$$

ここで、 $R_3 = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ 、 $I_B^+ - I_B^- = I_{IO}$ とおき (4) 式を整理すると、

$$\begin{aligned} e_o &= -\frac{R_2}{R_1} \cdot e_i - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{IO} - R_2 \cdot (I_B^+ - I_B^-) \\ &= \underbrace{-\frac{R_2}{R_1} \cdot e_i}_{\text{真 値}} - \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{IO}}_{\text{電圧誤差項}} - \underbrace{R_2 \cdot I_{IO}}_{\text{電流誤差項}} \quad \dots \quad (5) \end{aligned}$$

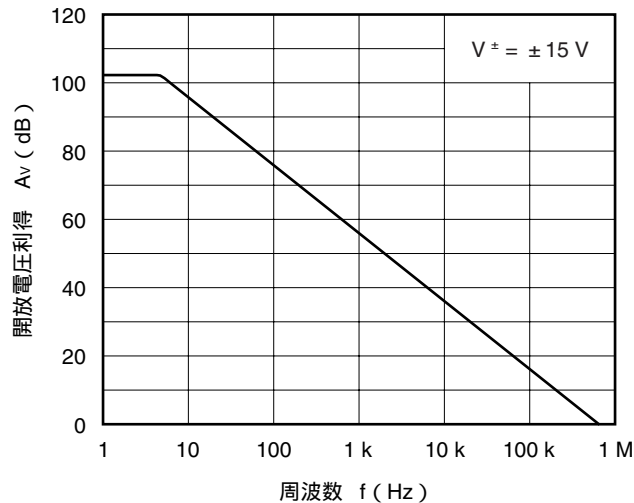
入力オフセット電流 ($I_{IO} = I_B^+ - I_B^-$) も、実際には、誤差項となって出力電圧に表れてくることが分かります。このことから、低ドリフト・アンプなどを設計する際は、入力バイアス電流も十分に考慮して信号源抵抗の値を決定しなければならないことが分かります。

2.4 大振幅電圧利得

開放電圧利得ともいわれ、データ・シートでは直流における差動電圧利得を意味しています。100 dB (10 万倍) 前後がオペアンプとして標準的な値です。

図 2-6 に汎用オペアンプ μ PC151 の $A_v \cdot f$ 特性を示します。

図 2-6 μ PC151 の $A_v \cdot f$ 特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)



2.5 最大出力電圧： V_{om}

出力電圧が内部回路構造によって正方向または負方向へ飽和するまでのダイナミック領域のことを意味し、負荷抵抗の値によっても制限されます。

オペアンプでは、 $R_L = 2\text{ k}\Omega$ および $10\text{ k}\Omega$ の2つについて規定するのが一般的で、一般に $V^\pm = \pm 15\text{ V}$ に対して $\pm 12\text{ V}$ 以上が得られます。

またオペアンプでは、出力電流制限回路を内蔵しているものが多く、図 2-7 のように負荷抵抗を小さくすると、最大出力電圧は低下します。

また出力電圧の飽和領域は、電源電圧とは無関係に一定の値となるため、図 2-8 のように電源電圧に対して直線的に変化します。

図 2-7 μPC151 の $V_{om} - R_L$ 特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

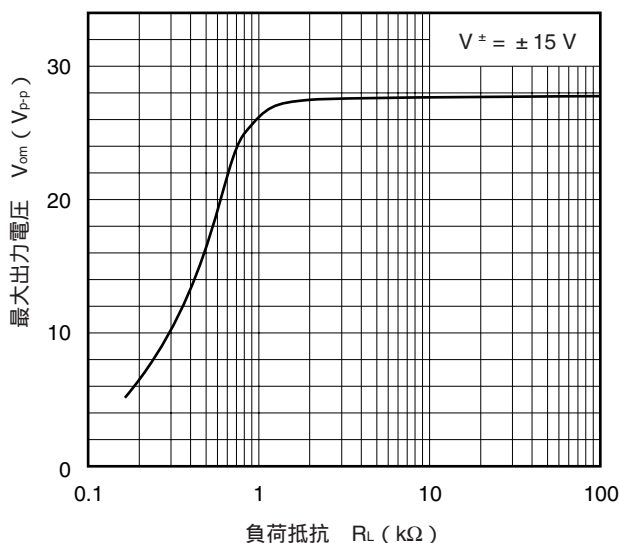
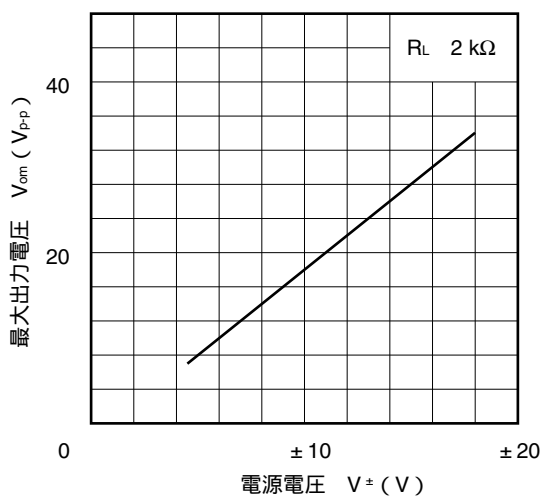


図 2-8 μPC151 の $V_{om} - V^\pm$ 特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)



2.6 出力抵抗：R_o

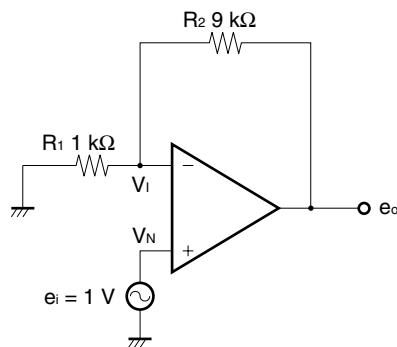
オペアンプの出力段回路を構成しているトランジスタの等価コレクタ抵抗によって決定され、100～500Ω程度の値が一般的です。

オペアンプの消費電力およびICチップの温度上昇を考慮すると、10mA以上の出力電流を期待する設計は、特に規格保証がないかぎり行わないでください。

2.7 同相信号除去比の影響

図2-9を用いて、実際の応用回路でCMRの影響がどのように表れてくるかを検討してみます。

図2-9 CMRの影響



備考
$$e_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) e_i \pm \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{\text{CMR}} \cdot e_i$$

$$= 10 \text{ V} \pm 0.1 \text{ mV}$$

$$\text{CMR} = \frac{A_v}{A_{v(\text{CM})}}$$

$$= 100 \text{ dB}$$

図中のオペアンプの差動利得 $A_v = 100 \text{ dB}$ および CMR を 100 dB と仮定し、同相利得を $A_{v(\text{CM})}$ とすると、次式が成立します。

$$\begin{cases} V_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot e_o \quad \dots \quad (1) \\ V_N = e_i \quad \dots \quad (2) \\ e_o = A_v(V_N - V_i) \pm A_{v(\text{CM})} \cdot e_i \quad \dots \quad (3) \end{cases}$$

$$e_o = \frac{A_v \pm A_{v(\text{CM})}}{1 + A_v \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \cdot e_i = \frac{1 \pm \frac{A_{v(\text{CM})}}{A_v}}{\frac{1}{A_v} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \cdot e_i \quad \dots \quad (4)$$

CMR は差動利得と同相利得の比を示すパラメータですから、 $\text{CMR} = A_v / A_{v(\text{CM})}$ となります。(4)式は(5)式のように書き換えることができます。

$$e_o = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot e_i}_{\text{真 値}} \pm \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{\text{CMR}} \cdot e_i}_{\text{CMR による誤差項}} \quad \dots \quad (5)$$

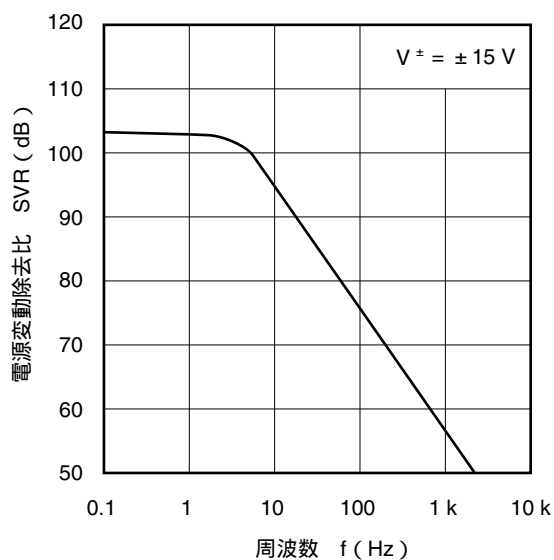
このことはオペアンプを同相増幅器として使用する際、 CMR が誤差項として表れてくることを意味しており、高精度増幅を行うときに、入力オフセット電圧と同様に注意すべきものであることを示しています。

2.8 電源変動除去比

オペアンプの電源電圧変動 1 V 当たりの入力オフセット電圧変動量を示すものです。

図 2-10 に高精度オペアンプ μ PC354 の SVR - f 特性を示します。

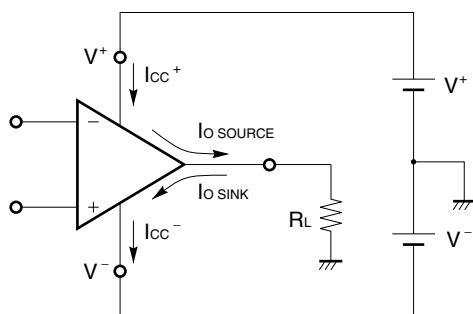
図 2-10 μ PC354 の SVR - f 特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)



2.9 回路電流

回路電流は負荷電流によって変化します。図 2-11 はその様子を示すものです。データ・シートに規定される値は $V_o = 0$ の場合の値で、オペアンプ自体のアイドル電流を表しています。

図 2-11 電源電流と負荷電流



備考 $I_{cc}^+ = I_{cc} + I_{o \text{ SOURCE}}$,
 $I_{cc}^- = I_{cc} + I_{o \text{ SINK}}$

2.10 スルーレート : SR

入力信号として kHz (キロヘルツ) オーダ以上の周波数を印加し、出力を V (ボルト) オーダ以上の大振幅で動作させる場合、出力波形が図 2-12 のように、三角波のようになってしまう現象が見られ、さらに高い周波数では急速に出力振幅が減少します。

正弦波に替えて、入りに急峻なパルス波形を印加し、出力電圧の立ち上がりを調べてみると、出力電圧の時間に対する変化率はオペアンプの品種ごとに決まっていることが分かります。このことを $1\ \mu\text{s}$ 当たりの出力電圧変化量で表示したものをスルーレートと呼び、 $\text{V}/\mu\text{s}$ の単位で示されます。

図 2-12 スルーレート不足による三角波形

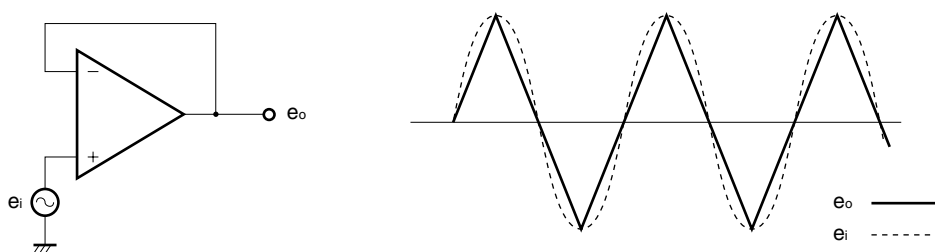
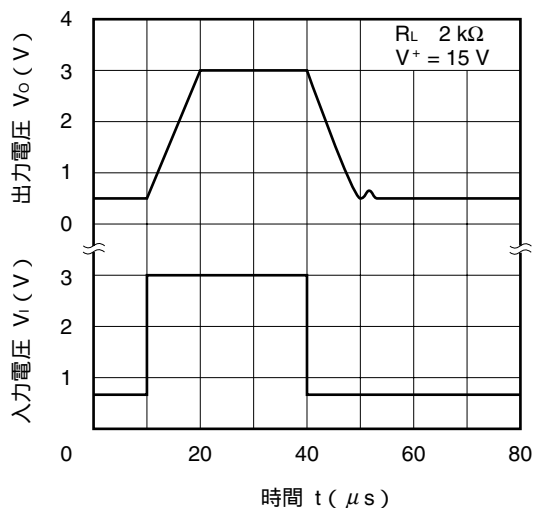


図 2-13 に μPC451 のパルス応答特性を示します。 μPC813 などの高速オペアンプでは、スルーレートの値が $25\ \text{V}/\mu\text{s}$ となっています。

図 2-13 μPC451 のパルス応答特性 ($T_A = 25\ ^\circ\text{C}$)



スルーレートは一般に出力ドライバ・トランジスタのベース コレクタ間に挿入される位相補正容量および駆動段アイドル電流値に反比例します。一般にスルーレートは $A_v = 1$ のボルテージ・フォロワ回路のパルス応答によって規定されています。

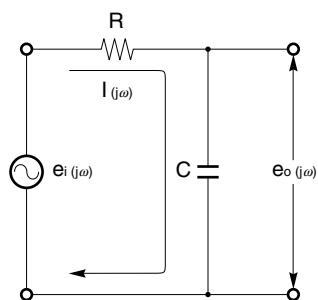
2.11 位相補正

ロウ・パス・フィルタの諸特性

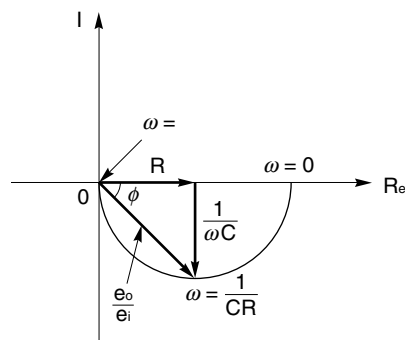
位相補正は、多段アンプには欠かすことのできないものであり、オペアンプ特有の用語ではありません。この用語を理解するためには、ロウ・パス・フィルタの諸特性をあわせて考える必要があります。

図 2-14 ロウ・パス・フィルタの諸特性

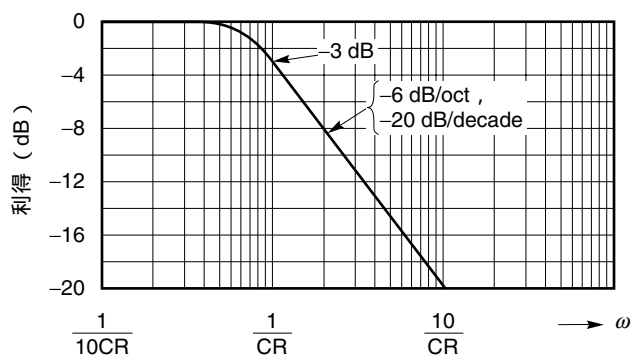
(a) 単純なロウ・パス・フィルタ



(b) ロウ・パス・フィルタのベクトル軌跡



(c) ロウ・パス・フィルタの利得周波数特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)



(d) ロウ・パス・フィルタの位相特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

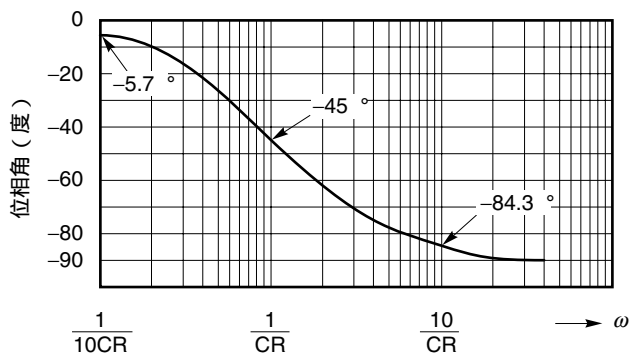


図 2-14 は単純な CR フィルタの伝達特性および位相特性を示したもので、閉回路電流 $I(j\omega)$ と出力電圧 $e_o(j\omega)$ は(1)、(2)式で与えられます。

$$I(j\omega) \frac{e^{i(j\omega)}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega C}{1 + j\omega CR} \cdot e^{i(j\omega)} \quad \dots \quad (1)$$

$$e_o(j\omega) = I(j\omega) \cdot \frac{1}{j\omega C} = \frac{e^{i(j\omega)}}{j\omega CR} \quad \dots \quad (2)$$

(1)、(2)式より、ロー・パス・フィルタの伝達関数 $|T(j\omega)|$ は(3)式のように表すことができます。

$$\begin{aligned} |T(j\omega)| &= \left| \frac{e_o(j\omega)}{e^{i(j\omega)}} \right| = \left| \frac{1}{1 + j\omega CR} \right| \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \angle \phi \quad \dots \quad (3) \end{aligned}$$

$$(\phi = -\tan^{-1} \omega CR)$$

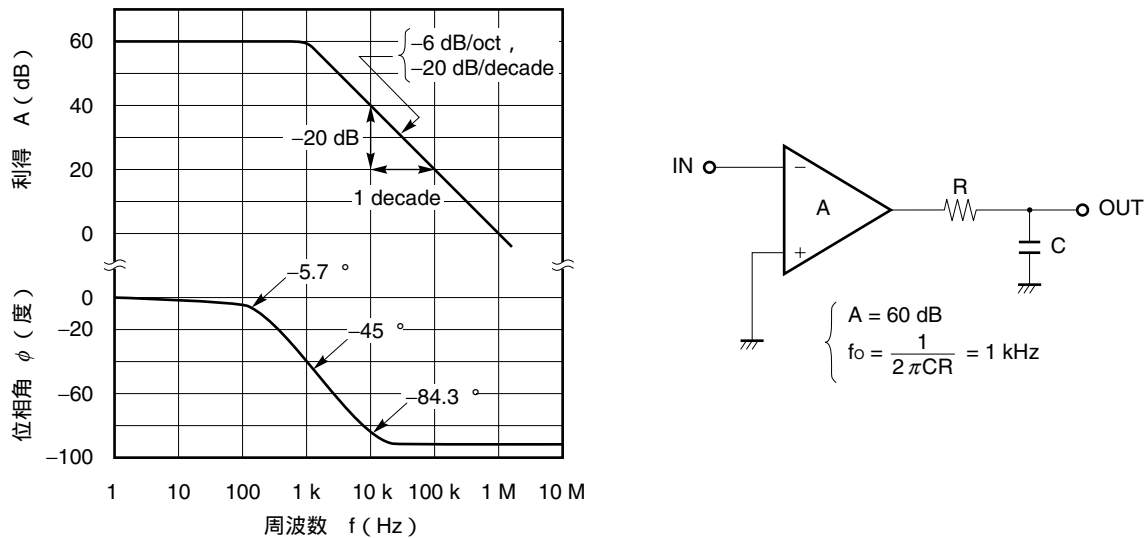
ϕ は入出力の位相角を示し、負記号は遅れ位相を意味します。図 2-14 (a)、(b)、(c) より明らかですが、 $\omega = 0$ の直流において利得は 1 (0 dB) で位相遅れはありません。

また伝達関数が $1/\sqrt{2}$ (-3 dB) となるロール・オフ・ポイントにおいては、 $\omega = 1/CR$ となって位相遅れは 45 度となります。次にロール・オフ・ポイントのちょうど 10 倍の周波数 $\omega = 10/CR$ において、伝達関数は約 $1/10$ (-20 dB) であって、位相遅れは約 85 度となります。さらに、 $\omega = 100/CR$ で利得は -40 dB となって、以後一定の傾斜 (-20 dB/decade) で直線的に減衰し、位相遅れは 90 度に近づきます。

理想 1 段アンプの周波数特性

図 2-15 は 1 段アンプの等価回路で、周波数特性が無限に良いアンプと、RC ロー・パス・フィルタの組み合わせで周波数特性を近似しています。したがって 1 段アンプにおいては利得傾斜が -20 dB/decade (-6 dB/oct) となり、入出力の位相差が 90 度を越えることはなく、出力電圧を入力にそのまま帰還しても発振することはありません。ここで等価的に示したコンデンサは増幅用トランジスタのベース コレクタ間容量 C_{ob} 、抵抗はコレクタ負荷容量に相当すると考えることができます。

図 2-15 理想 1 段アンプの周波数特性 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)



2 段アンプと位相補正

図 2-16 は 2 段アンプの利得 - 周波数特性と位相補正の原理を示したものです。

2 つのオペアンプのロール・オフ周波数を f_{o1} および f_{o2} とすると、総合的な利得 - 周波数特性は実線で示したものととなり、 f_{o2} 以上の周波数においては、 -40 dB/decade の傾斜となり、位相遅れも 135 度以上となってしまいます。

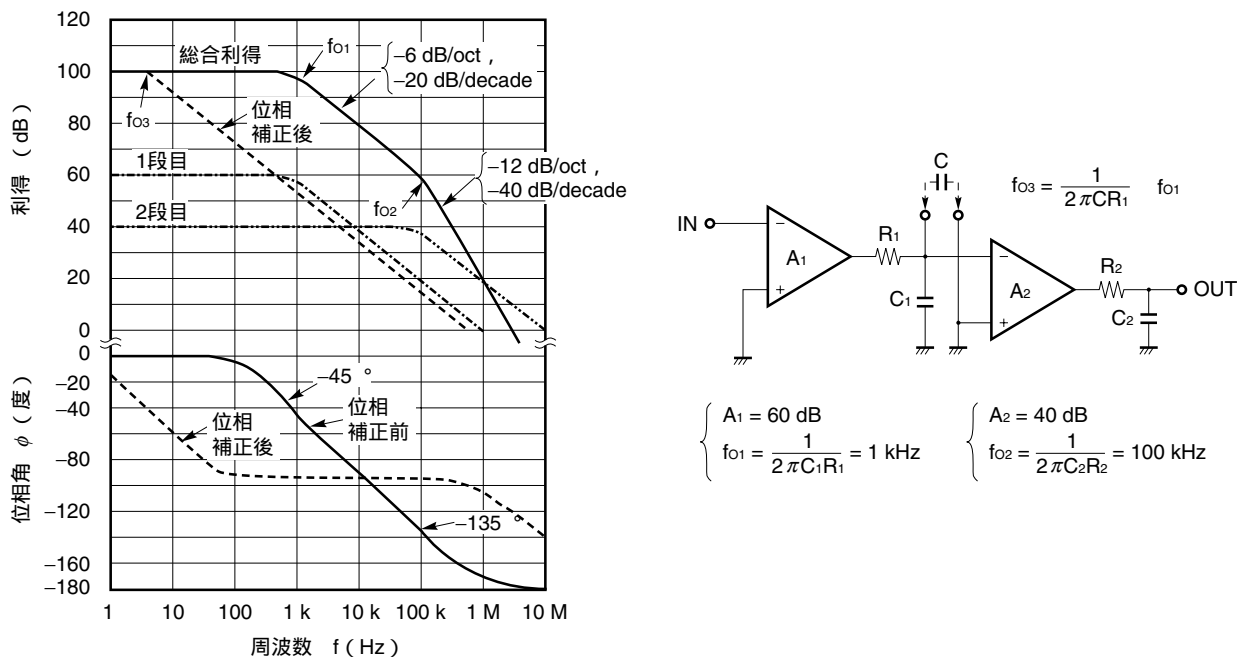
このような特性のアンプに負帰還をかけると、わずかな配線容量、入力容量などによって生ずる第 3 のロール・オフ・ポイントが発生することが多く、発振する可能性がきわめて大きくなってしまいます。アンプ周辺の配線に浮遊容量がまったくなく、電源ラインも非常にインピーダンスが低い場合には発振は起きませんが、このような状態は一般的に実現が難しく、何らかの対策処置を講じる必要があります。

ここで、 f_{o1} , f_{o2} より十分低い周波数に f_{o3} というロール・オフ・ポイントを作る方法を次に示します。

図 2-16 に示すアンプ固有の容量 C_1 または C_2 に比較して十分大きな容量 C を外付けすることによって f_{o3} を作るができます。破線で示した周波数特性および位相特性は、前述の 1 段アンプと同等です。したがって、利得が 0 dB 以下となった場合にも第 2 のロール・オフ・ポイントは発生せず、負帰還をかけても安定な動作が期待できます。

回路自体の持つ固有の利得 - 周波数特性を外付け素子によって変えることを「位相補正」と呼び、周波数特性を低くするように補正することを「遅れ補正」、また高くするように補正することを「進み補正」と呼びます。

図 2-16 2 段アンプと位相補正 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)



3. オペアンプの最大定格

3.1 電源電圧： $V^+ - V^-$

オペアンプの電源端子間に印加できる最大電圧を規定するものです。

2 電源動作の場合には、正電源と負電源の差となります。単電源動作の場合には印加電圧を規定します（**図 3-1** 参照）。

また BT などの電圧印加寿命試験には、**図 3-2** の回路を推奨します。

図 3-1 電源電圧，差動入力電圧測定回路

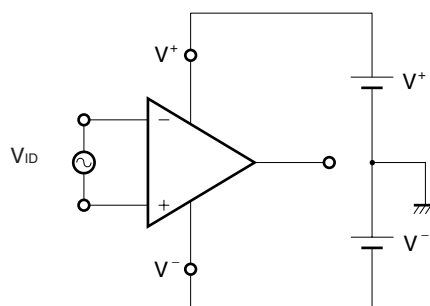
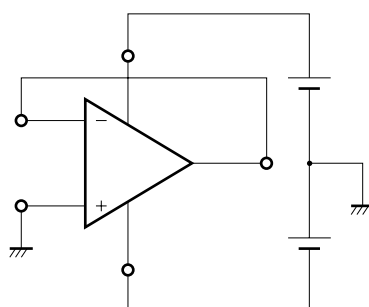


図 3-2 BT 試験推奨回路



3.2 差動入力電圧： V_{ID}

入力 2 端子間に印加できる最大入力電圧を規定するもので、いずれの入力端子を基準にとるかによって極性が正反対になることから、一般にプラスおよびマイナスで規定されます。

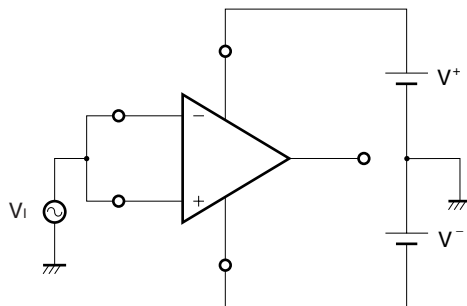
この電圧を越える入力電圧が印加された場合、初段トランジスタの特性が劣化したり、破損したりすることがあります（**図 3-1** 参照）。

3.3 入力電圧： V_i

図 3-3 のような状態の入力電圧が印加される場合の許容限界について規定され、電源電圧範囲内まで許容できます。

ただし、動作限界は別に電気的特性によって規定されます。

図 3-3 入力電圧測定回路



3.4 出力印加電圧： V_o

外部から出力端子に電圧が印加される場合の許容限界について規定され、電源電圧範囲内まで許容できます。

ただし、オペアンプとして得られる出力電圧は、電気的特性によって規定されます。

3.5 全損失： P_T

オペアンプが自己のアイドル電流を含んで、消費可能な最大消費電力を規定するもので、パッケージの熱抵抗によって制限される項目です。

図 3-4 (a) は 8 ピン・セラミック DIP 品と 8 ピン・プラスチック DIP 品のディレーティング特性を比較したものです。ただし、セラミック DIP 品では $T_{jmax} = 150$ ，プラスチック DIP 品では $T_{jmax} = 125$ を基準にディレーティングを行っています。

図 3-4 (b) は消費電力 (P_d) の概算方法について図示したもので、 I_o が吐き出し方向 ($I_{o SOURCE}$) の場合、

$$P_d = I_{CC} (V^+ - V^-) + (V^+ - V_o) \cdot I_o \quad \dots \quad (1)$$

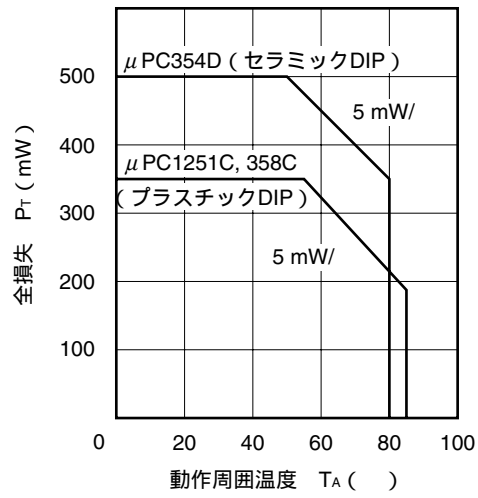
I_o が吸い込み方向 ($I_{o SINK}$) の場合には、

$$P_d = I_{CC} (V^+ - V^-) + (V_o - V^-) \cdot I_o \quad \dots \quad (2)$$

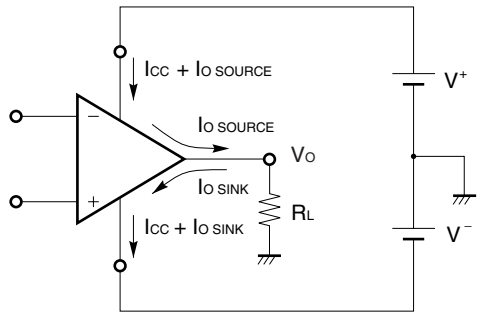
となります。

図 3-4 許容消費電力

(a) デイレーティング特性



(b) 消費電力



4. 各種の保護回路

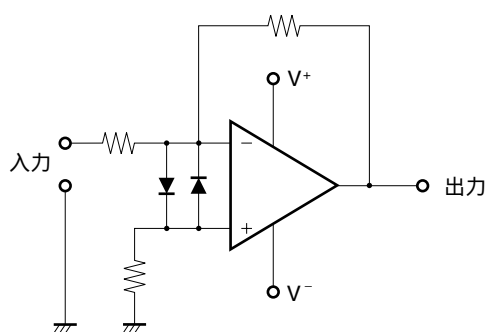
オペアンプを実際の装置に応用する際、電源ラインおよび入出力ラインに誘導する各種の過電圧に対して保護を行わなければならない場合があります。この章ではオペアンプに対して有効と考えられる保護回路についてまとめました。

4.1 差動入力電圧に対する保護

図 4-1 は、入力段回路の耐圧が比較的小さいアンプに対する差動過大入力電圧保護回路です。

オペアンプの入力 2 端子間の電位差は負帰還がかけられ、しかも出力が電源電圧以内のダイナミック領域にあるかぎり、mV (ミリボルト) オーダ以下と考えられます。したがって入力 2 端子間のダイオードには通常電圧がかからず、オペアンプの動作上ほとんど影響がありません。

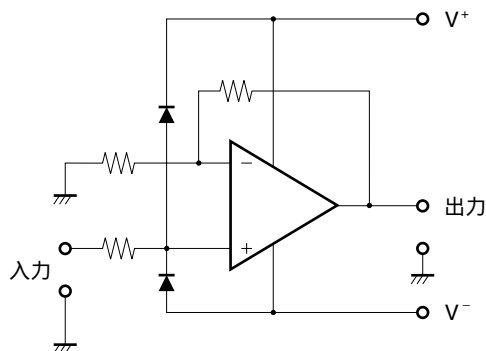
図 4-1 差動入力電圧保護回路



4.2 入力電圧に対する保護

図 4-2 は、過大入力電圧に対する保護回路です。オペアンプの入力ラインが電源電圧値以上に振れる可能性がある場合には、このように入力端子と正負電源端子間に順方向電圧の小さいダイオード (ショットキ・ダイオードなど) を挿入して回路を保護します。

図 4-2 入力電圧保護回路

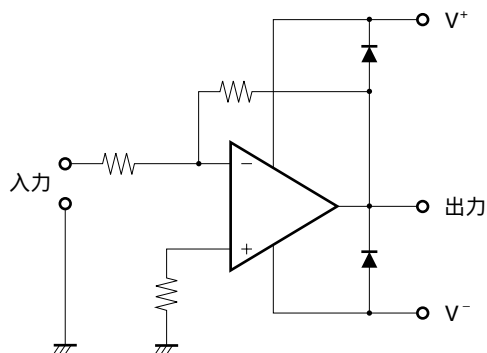


4.3 出力ラインに対する保護

図 4-3 は、オペアンプの出力ラインに誘導する電源電圧以上の過電圧に対する保護回路です。

最近のオペアンプはほとんど出力短絡保護回路を内蔵していますが、電源電圧以上の過電圧の印加に対しては効果がありません。このような場合には、順方向電圧の小さいダイオード（ショットキ・ダイオードなど）でオペアンプの出力端子を保護します。

図 4-3 出力ラインの保護回路

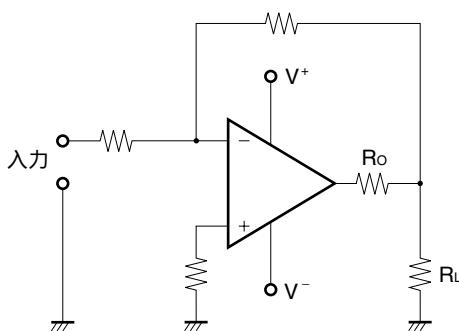


4.4 出力電流の制限

通常は軽負荷で動作していても、異常時に長時間出力を短絡し、消費電力の点で応用上好ましくない場合には、出力に電流制限用抵抗を付加してください。サンプル・アンド・ホールド回路などのように出力端子に大容量のコンデンサなどを接続する使用方法についてもこの方式は有効です。

ただし、 R_o により、出力電圧振幅が減少しますのでこの点については配慮が必要です（図 4-4 参照）。

図 4-4 出力電流制限回路



【発 行】

NECEレクトロニクス株式会社

〒211-8668 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

電話（代表）：044(435)5111

—— お問い合わせ先 ——

【ホームページ】

NECEレクトロニクスの情報がインターネットでご覧になれます。

URL（アドレス） <http://www.necel.co.jp/>

【営業関係，技術関係お問い合わせ先】

半導体ホットライン

（電話：午前 9:00～ 12:00，午後 1:00～ 5:00）

電 話 : 044-435-9494

E-mail : info@necel.com

【資料請求先】

NECEレクトロニクスのホームページよりダウンロードいただくか，NECEレクトロニクスの販売特約店へお申し付けください。
