

# DESIGN NOTES

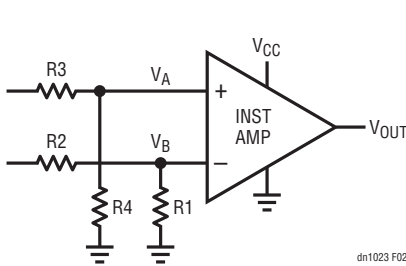
## 高精度に整合した抵抗による 差動アンプの CMRR の自動改善とその方法

デザインノート 1023

Kris Lokere, Tyler Hutchison, Greg Zimmer

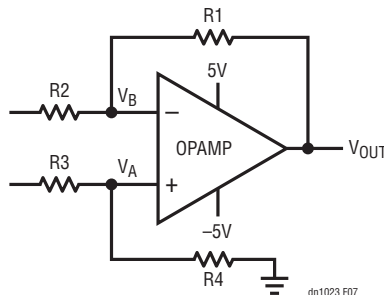
はじめに

抵抗の整合は、次のような多くの差動回路の性能にとってきわめて重要です。



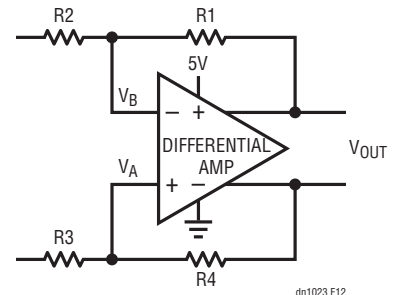
計装アンプ

dn1023 F02



差電圧アンプ

dn1023 F07



差動アンプ

dn1023 F12

これらの回路の抵抗は、理想的には  $R1/R2 = R4/R3$  となるように選択します。これらの比率が整合していないと、同相誤差が生じます。CMRR (同相信号除去比) は、これらの回路にとって重要な尺度であり、不要な同相信号が出力に出現する程度を示します。これらの回路において、抵抗による CMRR は次式で計算できます。

$$CMRR_{R\_ONLY} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(G+1)}{\Delta R/R}$$

ここで、 $CMRR_{R\_ONLY}$  は抵抗のみによる CMRR (理想アンプの場合)、 $\Delta R/R$  は抵抗の整合比、 $G$  は  $R1/R2$  の公称比です。

例えば、 $G = 1$  の差動回路で許容誤差 1% の抵抗 (すなわち 2% の整合) を使用した場合、CMRR はわずか 34dB になります。

### LT5400 の $\Delta R/R_{CMRR}$

LT5400 は、全温度範囲で保証される抵抗間の整合に加えて、「CMRR 整合」という新たな尺度を備えています。「**CMRR 整合**」(すなわち  $(\Delta R/R)_{CMRR}$ ) の仕様を提供しているのは **LT5400 だけです**。特定の抵抗ペア  $R1/R2$  および  $R4/R3$  を使用した差電圧構成で LT5400 を使用した場合、この仕様によって、抵抗による CMRR 誤差の寄与が保証されます。

「CMRR 整合」は、次のように定義されます。

$$\Delta R/R_{CMRR} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R1}{R2}\right) \left(\frac{R2}{R1} - \frac{R3}{R4}\right) = \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 - \frac{R1R3}{R2R4}\right)$$

LT5400 抵抗の改善された CMRR 性能を計算するのは簡単です。次のように、抵抗の整合比 ( $\Delta R/R$ ) を「CMRR 整合」の仕様 ( $\Delta R/R_{CMRR}$ ) に置き換えるだけです。

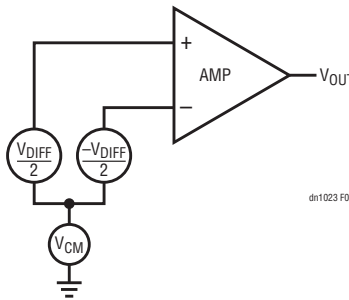
$$CMRR_{R\_ONLY} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(G+1)}{\Delta R/R_{CMRR}}$$

式 1  
ここで、 $\Delta R/R_{CMRR}$  は「CMRR 整合」の規格値です。

例えば、LT5400A は、0.01% の抵抗間の整合と 0.005% の「CMRR 整合」を提供しています。この「CMRR 整合」により、86dB の CMRR が得られます。

### CMRR の定義

アンプの CMRR (同相除去比) は、差動利得と同相利得の比です。この計算では、アンプの同相利得と差動利得のみを考慮します。そのため、アンプの出力は次式で決まります。  $V_{OUT} = (V_{CM} \cdot A_{CM}) + (V_{DIFF} \cdot A_{DIFF})$



### アンプの CMRR と抵抗の CMRR の結合

抵抗による CMRR のほかに、アンプによる有限な CMRR の寄与も考慮する必要があります。先に示した差動回路のいずれにおいても、CMRR の合計は次式で求められます。

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(G+1)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right)\left(\frac{1}{2}\right)(G+1) + \Delta R/R_{CMRR}}$$

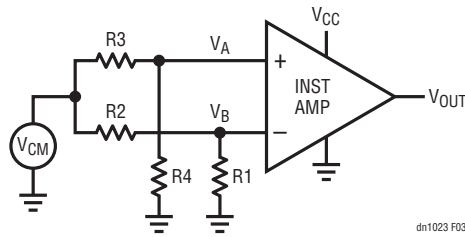
式 2  
ここで、 $CMRR_{amp}$  はアンプの CMRR 仕様値、 $CMRR_{TOTAL}$  は抵抗の CMRR とアンプの CMRR を合わせた和です。

### CMRR の計算

本デザインノートの以降のセクションでは、先に示した各差動回路の CMRR の算出方法を説明します。3 つの回路すべてにおいて、CMRR が式 1 と式 2 で計算できることが分かるでしょう。各セクションの最後に、 $CMRR_{TOTAL}$  (抵抗およびアンプ) の計算例も記載します。

## ケース 1：理想計装アンプ (CMRR<sub>amp</sub> が無限大)

CMRR の算出、ステップ 1：回路の同相利得 (A<sub>CM</sub>) を計算



$$V_A = V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$V_B = V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right)$$

$$V_{OUT} = (V_A - V_B) \cdot G_{amp}$$

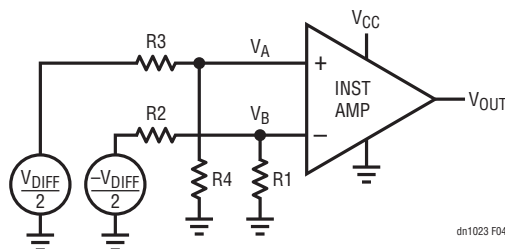
$$V_{OUT} = \left[ V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] G_{amp}$$

$$V_{OUT} = V_{CM} G_{amp} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]$$

$$\boxed{\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = G_{amp} \left( \frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2} \right)}$$

理想計装アンプ、G<sub>amp</sub> = アンプの利得

CMRR の算出、ステップ 2：回路の差動利得 (A<sub>DIFF</sub>) を計算



$$V_A = \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$V_B = -\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right)$$

$$V_{OUT} = (V_A - V_B) \cdot G_{amp}$$

理想計装アンプ、G<sub>amp</sub> = アンプの利得

$$V_{OUT} = \left[ \left( \frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] G_{amp}$$

$$V_{OUT} = V_{DIFF} G_{amp} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R4}{R3+R4} + \frac{R1}{R1+R2} \right)$$

$$\boxed{\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} = G_{amp} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4} \right)}$$

CMRR の算出、ステップ 3：回路の CMRR ( $A_{DIFF}/A_{CM}$ ) を計算

$$\begin{aligned} CMRR_{R\_ONLY} &= \frac{G_{amp} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4} \right)}{G_{amp} \left( \frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2} \right)} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4} \right)}{\left( \frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2} \right)} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{2} \right) (R1R3 + R1R4 + R1R4 + R2R4)}{(R1R4 + R2R4 - R1R3 - R1R4)} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{2} \right) (2R1R4 + R2R4 + R1R3)}{(R2R4 - R1R3)} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{R2R4} \right) \left( \frac{1}{2} \right) (2R1R4 + R2R4 + R1R3)}{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{R2R4} \right) (R2R4 - R1R3)} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{2R1R4}{R2R4} + \frac{R2R4}{R2R4} + \frac{R1R3}{R2R4} \right)}{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R2R4}{R2R4} - \frac{R1R3}{R2R4} \right)} \\ CMRR_{R\_ONLY} &= \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{2R1}{R2} + 1 + \frac{R1R3}{R2R4} \right)}{\left( \frac{1}{2} \right) \left( 1 - \frac{R1R3}{R2R4} \right)} \end{aligned}$$

式 3

この中間結果は、他の計算でも参照します。

この式は、次に注目することで単純化できます。

$$\Delta R/R_{CMRR} = \left(\frac{1}{2}\right)\left(1 - \frac{R1R3}{R2R4}\right), \frac{R1}{R2} \approx \frac{R4}{R3} \approx G, \left(\frac{R1R3}{R2R4}\right) \approx 1$$

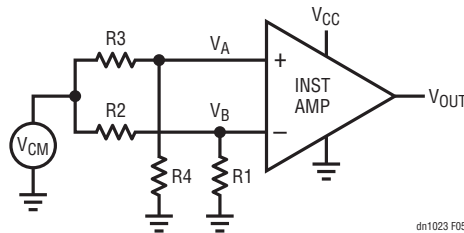
したがって、次式が得られます。

$$CMRR_{R\_ONLY} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)(2G+2)}{\left(\frac{1}{2}\right)\left(1 - \frac{R1R3}{R2R4}\right)}$$

$$CMRR_{R\_ONLY} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(G+1)}{\Delta R/R_{CMRR}}$$

## ケース 2：非理想計装アンプ (CMRR<sub>amp</sub> が有限)

CMRR の算出、ステップ 1：回路の同相利得 (A<sub>CM</sub>) を計算



$$V_{CM}' = (V_A + V_B) / 2$$

$$V_{DIFF}' = (V_A - V_B)$$

$$V_A = V_{CM} \cdot \left(\frac{R4}{R3+R4}\right)$$

$$V_B = V_{CM} \cdot \left(\frac{R1}{R1+R2}\right)$$

$$V_{OUT} = (V_{CM}' \cdot A_{CM}') + (V_{DIFF}' \cdot A_{DIFF}')$$

$V_{CM}'$  = アンプの入力における同相電圧  
 $V_{DIFF}'$  = アンプの入力における差動電圧

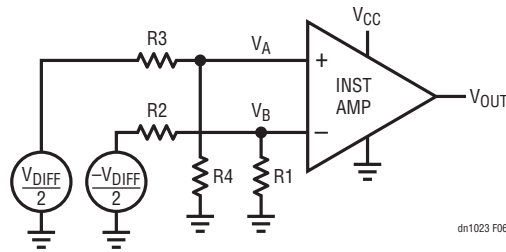
$A_{CM}'$  = アンプの同相利得  
 $A_{DIFF}'$  = アンプの差動利得

$$V_{OUT} = \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ V_{CM} \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) + V_{CM} \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right] + A_{DIFF}' \left[ V_{CM} \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) - V_{CM} \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right]$$

$$V_{OUT} = V_{CM} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) + \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) - \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right] \right]$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) + \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) - \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right] \right]$$

CMRR の算出、ステップ 2：回路の差動利得 ( $A_{DIFF}$ ) を計算



$$V_{CM}' = (V_A + V_B) / 2$$

$$V_{DIFF}' = (V_A - V_B)$$

$V_{CM}'$  = アンプの入力における同相電圧  
 $V_{DIFF}'$  = アンプの入力における差動電圧

$$V_A = \frac{V_{DIFF}}{2} \cdot \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right)$$

$$V_B = -\frac{V_{DIFF}}{2} \cdot \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right)$$

$$V_{OUT} = (V_{CM}' \cdot A_{CM}') + (V_{DIFF}' \cdot A_{DIFF}')$$

$A_{CM}'$  = アンプの同相利得  
 $A_{DIFF}'$  = アンプの差動利得

$$V_{OUT} = \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) + \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right]$$

$$+ A_{DIFF}' \left[ \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) - \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right]$$

$$V_{OUT} = \frac{V_{DIFF}}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] \right]$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] \right]$$

この式は、次に注目することで単純化できます。

$$A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] \gg \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right]$$

したがって、次式が得られます。

$$\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} \approx \frac{1}{2} \left[ A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] \right]$$

CMRR の算出、ステップ 3：回路の CMRR ( $A_{DIFF}/A_{CM}$ ) を計算

$$\begin{aligned}
 CMRR_{TOTAL} &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)A_{DIFF} \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) + \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right]}{\frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) + \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) - \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) \right]} \\
 &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right) [(R1R3+R1R4+R1R4+R2R4)]}{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right) (R1R3+R1R4+R1R4+R2R4) + (R1R4+R2R4-R1R3-R1R4)} \\
 &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{R2R4}\right) \left(\frac{1}{2}\right) (R1R3+2R1R4+R2R4)}{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{R2R4}\right) \left[ \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right) (R1R3+2R1R4+R2R4) + (R2R4-R1R3) \right]} \\
 &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R1R3}{R2R4} + \frac{2R1R4}{R2R4} + \frac{R2R4}{R2R4}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right) \left(\frac{R1R3}{R2R4} + \frac{2R1R4}{R2R4} + \frac{R2R4}{R2R4}\right) + \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R2R4}{R2R4} - \frac{R1R3}{R2R4}\right)} \\
 &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R1R3}{R2R4} + \frac{2R1}{R2} + 1\right)}{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right) \left(\frac{R1R3}{R2R4} + \frac{2R1}{R2} + 1\right) + \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 - \frac{R1R3}{R2R4}\right)}
 \end{aligned}$$

式 4  
この中間結果は、他の計算でも参照します。

$$CMRR_{amp} = \frac{A_{DIFF}}{A_{CM}}$$

この式は、次に注目することで単純化できます。

$$\Delta R/R_{CMRR} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 - \frac{R1R3}{R2R4}\right), \quad \frac{R1}{R2} \approx \frac{R4}{R3} \approx G, \quad \left(\frac{R1R3}{R2R4}\right) \approx 1$$

したがって、次式が得られます。

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) + \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 - \frac{R1R3}{R2R4}\right)}$$

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right) (1+G)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right) \left(\frac{1}{2}\right) (1+G) + \Delta R/R_{CMRR}}$$

## CMRR の計算例

リニアテクノロジーの計装アンプ LTC2053 (利得 1 に構成) と LT5400A-1 を使用した場合、次のようになります。

$$CMRR_{amp(2053)} = 100\text{dB}$$

$$G \approx \frac{R1}{R2} \approx \frac{R4}{R3} \approx \frac{10\text{k}}{10\text{k}} \approx 1$$

$$100\text{dB} \rightarrow (1/CMRR_{amp(2053)}) = 0.001\%$$

$$\Delta R/R_{CMRR} = 0.005\%$$

式 2 を使用すると、次のようになります。

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{(1)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right)(1) + (\Delta R/R_{CMRR})}$$

$$\approx \frac{1}{0.00001 + 0.00005}$$

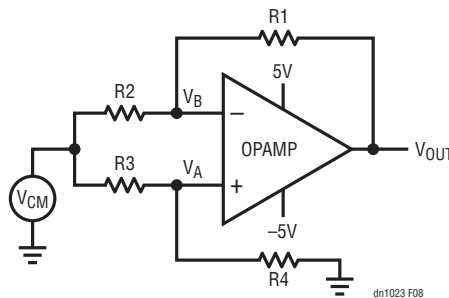
$$\approx 16667$$

$$CMRR_{TOTAL}(\text{dB}) \approx 20\log(16667)$$

$$\approx 84.44\text{dB}$$

## ケース 3: 理想オペアンプを使用する差電圧アンプ (CMRR<sub>amp</sub> が無限大)

CMRR の算出、ステップ 1: 回路の同相利得 (A<sub>CM</sub>) を計算



$$V_B = V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right)$$

$$V_A = V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$V_A = V_B$$

$$V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) = V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

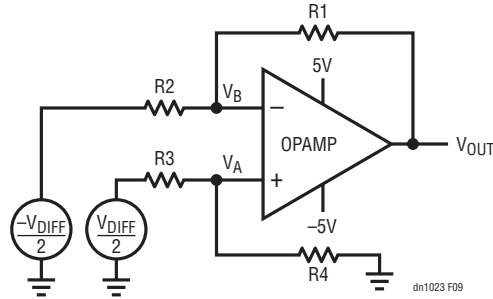
$$V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) = V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2} \right)$$

理想オペアンプ



$$\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = \frac{\left( \frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2} \right)}{\left( \frac{R2}{R1+R2} \right)}$$

CMRR の算出、ステップ 2：回路の差動利得 ( $A_{DIFF}$ ) を計算



$$V_A = \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$V_B = -\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right)$$

$$V_A = V_B$$

$$-\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) = \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) = \left( \frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} = \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4} \right)}{\left( \frac{R2}{R1+R2} \right)}$$

理想オペアンプ

CMRR の算出、ステップ 3：回路の CMRR ( $A_{DIFF}/A_{CM}$ ) を計算

$$CMRR_{R\_ONLY} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4}\right)}{\left(\frac{R2}{R1+R2}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2}\right)}{\left(\frac{R2}{R1+R2}\right)}$$

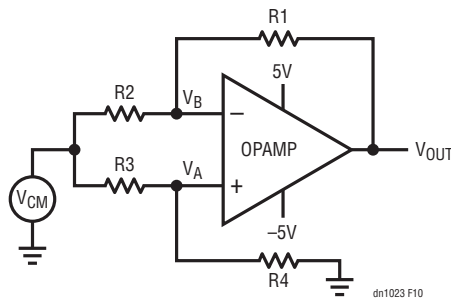
$$= \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4}\right)}{\left(\frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2}\right)}$$

これは式 3 です。式 3 を式 1 に単純化できることは、既に示したとおりです。

$$CMRR_{R\_ONLY} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(G+1)}{\Delta R/R_{CMRR}}$$

ケース 4：非理想オペアンプを使用する差電圧アンプ ( $CMRR_{amp}$  が有限)

CMRR の算出、ステップ 1：回路の同相利得 ( $A_{CM}$ ) を計算



$$V_{CM}' = (V_A + V_B) / 2$$

$$V_{DIFF}' = (V_A - V_B)$$

$$V_A = V_{CM} \cdot \left(\frac{R4}{R3+R4}\right)$$

$$V_B = V_{CM} \cdot \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) + V_{OUT} \cdot \left(\frac{R2}{R1+R2}\right)$$

$$V_{OUT} = (V_{CM}' \cdot A_{CM}') + (V_{DIFF}' \cdot A_{DIFF}')$$

$V_{CM}'$  = アンプの入力における同相電圧  
 $V_{DIFF}'$  = アンプの入力における差動電圧

$A_{CM}'$  = アンプの同相利得  
 $A_{DIFF}'$  = アンプの差動利得

$$V_{OUT} = \frac{1}{2}A_{CM} \left[ V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

$$+ A_{DIFF} \left[ V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) - V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

$$V_{OUT} = V_{OUT} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

$$+ V_{CM} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$V_{OUT} - V_{OUT} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

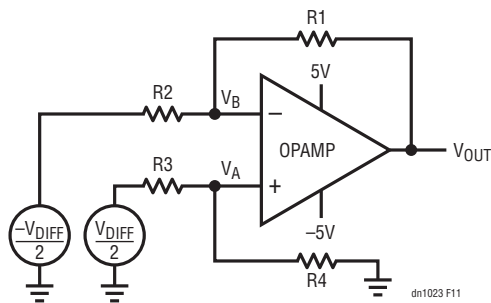
$$= V_{CM} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$V_{OUT} \left[ 1 - \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$= V_{CM} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = \frac{\frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]}{1 - \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]}$$

CMRR の算出、ステップ 2：回路の差動利得 ( $A_{DIFF}$ ) を計算



$$V_{CM}' = (V_A + V_B) / 2$$

$$V_{DIFF}' = (V_A - V_B)$$

$V_{CM}'$  = アンプの入力における同相電圧  
 $V_{DIFF}'$  = アンプの入力における差動電圧

$$V_A = \frac{V_{DIFF}}{2} \cdot \left( \frac{R4}{R3+R4} \right)$$

$$V_B = -\frac{V_{DIFF}}{2} \cdot \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \cdot \left( \frac{R2}{R1+R2} \right)$$

$$V_{OUT} = (V_{CM} \cdot A_{CM}') + (V_{DIFF} \cdot A_{DIFF}')$$

$A_{CM}' = \text{アンプの同相利得}$   
 $A_{DIFF}' = \text{アンプの差動利得}$

$$V_{OUT} = \left( \frac{1}{2} A_{CM}' \right) \left[ \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \\ + A_{DIFF}' \left[ \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) - V_{OUT} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

$$V_{OUT} = V_{OUT} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF}' \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \\ + \frac{V_{DIFF}}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$V_{OUT} - V_{OUT} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF}' \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \\ = \frac{V_{DIFF}}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} = \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]}{1 - \left[ \left( \frac{1}{2} A_{CM}' \right) \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF}' \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]}$$

この式は、次に注目することで単純化できます。

$$(A_{DIFF}') \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \gg \left( \frac{1}{2} A_{CM}' \right) \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]$$

したがって、次式が得られます。

$$\boxed{\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} \approx \frac{\left( \frac{1}{2} \right) A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]}{1 - \left[ \left( \frac{1}{2} A_{CM}' \right) \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) - A_{DIFF}' \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]}}$$

CMRR の算出、ステップ 3：回路の CMRR ( $A_{DIFF}/A_{CM}$ ) を計算

$$\begin{aligned}
 CMRR_{TOTAL} &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)A_{DIFF}'\left[\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)+\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)\right]}{1-\left[\left(\frac{1}{2}A_{CM}'\right)\left(\frac{R2}{R1+R2}\right)-A_{DIFF}'\left(\frac{R2}{R1+R2}\right)\right]} \\
 &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)A_{DIFF}'\left[\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)+\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)\right]}{\frac{1}{2}A_{CM}'\left[\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)+\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)\right]+A_{DIFF}'\left[\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)-\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)\right]} \\
 &\approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)A_{DIFF}'\left[\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)+\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)\right]}{\frac{1}{2}A_{CM}'\left[\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)+\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)\right]+A_{DIFF}'\left[\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)-\left(\frac{R1}{R1+R2}\right)\right]}
 \end{aligned}$$

これは式 4 です。式 4 を式 2 に単純化できることは、既に示したとおりです。

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(1+G)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right)\left(\frac{1}{2}\right)(1+G)+\Delta R/R_{CMRR}}$$

#### CMRR の計算例

リニアテクノロジーのオペアンプ LT1468 と LT5400A-3 を使用した場合、次のようになります。

$$CMRR_{amp(1468)} = 96\text{dB}$$

$$G \approx \frac{R1}{R2} \approx \frac{R4}{R3} \approx \frac{100\text{k}}{10\text{k}} \approx 10$$

$$96\text{dB} \rightarrow (1/CMRR_{amp(1468)}) = 0.00158\%$$

$$\Delta R/R_{CMRR} = 0.005\%$$

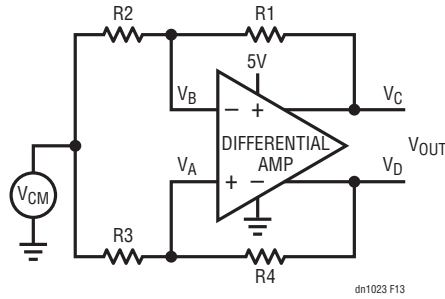
式 2 を使用すると、次のようになります。

$$\begin{aligned}
 CMRR_{TOTAL} &\approx \frac{(5.5)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right)(5.5)+(\Delta R/R_{CMRR})} \\
 &\approx \frac{5.5}{(0.00005)+(0.0000869)} \\
 &\approx 40175
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CMRR_{TOTAL}(\text{dB}) &\approx 20\log(40175) \\
 &\approx 92.08\text{dB}
 \end{aligned}$$

## ケース 5：理想差動アンプ (CMRR<sub>amp</sub> が無限大)

CMRR の算出、ステップ 1：回路の同相利得 (A<sub>CM</sub>) を計算



$$V_{OUT} = V_C - V_D$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)V_{OUT} = V_C = -V_D$$

$$V_A = V_{CM} \left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right) + V_D \left(\frac{R_3}{R_3+R_4}\right)$$

$$V_B = V_{CM} \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) + V_C \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)$$

$$V_A = V_B$$

$$V_{CM} \left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right) + V_D \left(\frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = V_{CM} \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) + V_C \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)$$

$$V_{CM} \left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right) + (-V_{OUT}) \left(\frac{1}{2}\right) \frac{R_3}{R_3+R_4} = V_{CM} \frac{R_1}{R_1+R_2} + V_{OUT} \left(\frac{1}{2}\right) \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$V_{OUT} \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right) + V_{OUT} \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = V_{CM} \left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right) - V_{CM} \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)$$

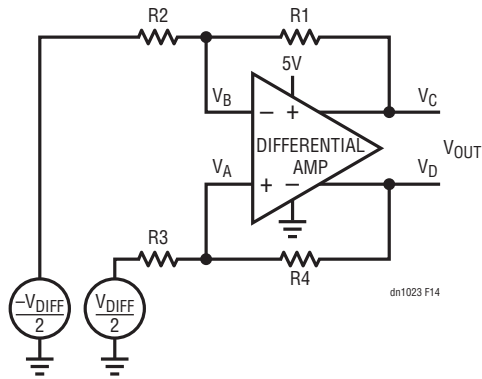
$$V_{OUT} \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = V_{CM} \left(\frac{R_4}{R_3+R_4} - \frac{R_1}{R_1+R_2}\right)$$

$$\boxed{\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = \frac{\left(\frac{R_4}{R_3+R_4} - \frac{R_1}{R_1+R_2}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_3}{R_3+R_4}\right)}}$$

ここで、V<sub>OUT</sub> は平衡出力を仮定した差動出力電圧です。

理想アンプ

CMRR の算出、ステップ 2：回路の差動利得 ( $A_{DIFF}$ ) を計算



$$V_{OUT} = V_C - V_D$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)V_{OUT} = V_C = -V_D$$

ここで、 $V_{OUT}$  は平衡出力を仮定した差動出力電圧です。

$$V_A = \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + V_D \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

$$V_B = -\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_C \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_A = V_B$$

理想アンプ

$$\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + (-V_{OUT}) \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) = -\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_{OUT} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) = \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)}{\left(\frac{1}{2}\right) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)}$$

CMRR の算出、ステップ 3：回路の CMRR ( $A_{DIFF}/A_{CM}$ ) を計算

$$CMRR_{R\_ONLY} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{R2}{R1+R2} + \frac{R3}{R3+R4}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{R2}{R1+R2} + \frac{R3}{R3+R4}\right)}$$

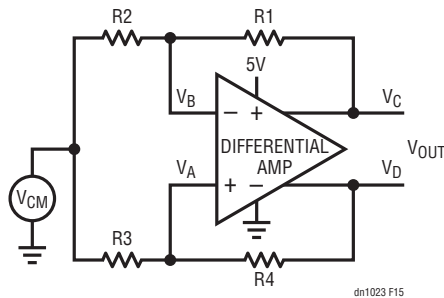
$$CMRR_{R\_ONLY} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{R1}{R1+R2} + \frac{R4}{R3+R4}\right)}{\left(\frac{R4}{R3+R4} - \frac{R1}{R1+R2}\right)}$$

これは式 3 です。式 3 を式 1 に単純化できることは、既に表示したとおりです。

$$CMRR_{R\_ONLY} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(G+1)}{\Delta R/R_{CMRR}}$$

ケース 6：非理想差動アンプ ( $CMRR_{amp}$  が有限)

CMRR の算出、ステップ 1：回路の同相利得 ( $A_{CM}$ ) を計算



$$V_{OUT} = V_C - V_D$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)V_{OUT} = V_C = -V_D$$

$$V_{CM}' = (V_A + V_B)/2$$

$$V_{DIFF}' = (V_A - V_B)$$

$$V_A = V_{CM}' \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) + V_D \left(\frac{R3}{R3+R4}\right)$$

$$V_B = V_{CM}' \left(\frac{R1}{R1+R2}\right) + V_C \left(\frac{R2}{R1+R2}\right)$$

$$V_{OUT} = (V_{CM}' \cdot A_{CM}') + (V_{DIFF}' \cdot A_{DIFF}')$$

ここで、 $V_{OUT}$  は差動出力電圧です。

平衡出力と仮定します。

$V_{CM}'$  = アンプの入力における同相電圧

$V_{DIFF}'$  = アンプの入力における差動電圧

$A_{CM}'$  = アンプの同相利得

$A_{DIFF}'$  = アンプの差動利得



$$V_{OUT} = \frac{1}{2}A_{CM} \left[ V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( -\frac{V_{OUT}}{2} \right) \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + \frac{V_{OUT}}{2} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \\ + A_{DIFF} \left[ V_{CM} \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( -\frac{V_{OUT}}{2} \right) \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - V_{CM} \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) - \frac{V_{OUT}}{2} \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

$$V_{OUT} = V_{CM} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right] \\ - \frac{V_{OUT}}{2} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$V_{OUT} + \frac{V_{OUT}}{2} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right] \\ = V_{CM} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$V_{OUT} \left( 1 + \left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right] \right) \\ = V_{CM} \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = \frac{\frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]}{1 + \left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right]}$$

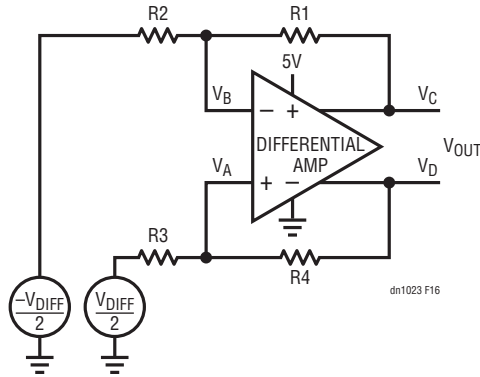
この式は、次に注目することで単純化できます。

$$(A_{DIFF}) \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \gg \left( \frac{1}{2}A_{CM} \right) \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]$$

したがって、次式が得られます。

$$\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} \approx \frac{\frac{1}{2}A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]}{1 + \left( \frac{1}{2} \right) A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]}$$

CMRR の算出、ステップ 2：回路の差動利得 ( $A_{DIFF}$ ) を計算



$$V_{OUT} = V_C - V_D$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)V_{OUT} = V_C = -V_D$$

$$V_{CM}' = (V_A + V_B) / 2$$

$$V_{DIFF}' = (V_A - V_B)$$

$$V_A = \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + V_D \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

$$V_B = -\frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_C \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_{OUT} = (V_{CM}' \cdot A_{CM}') + (V_{DIFF}' \cdot A_{DIFF}')$$

ここで、 $V_{OUT}$  は差動出力電圧です。

平衡出力と仮定します。

$V_{CM}'$  = アンプの入力における同相電圧  
 $V_{DIFF}'$  = アンプの入力における差動電圧

$A_{CM}'$  = アンプの同相利得  
 $A_{DIFF}'$  = アンプの差動利得

$$V_{OUT} = \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + (-V_{OUT}) \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) + \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_{OUT} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \right]$$

$$+ A_{DIFF}' \left[ \frac{V_{DIFF}}{2} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + (-V_{OUT}) \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) - \left( -\frac{V_{DIFF}}{2} \right) \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) - V_{OUT} \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \right]$$

$$V_{OUT} = \frac{V_{DIFF}}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) - \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \right] \right]$$

$$- V_{OUT} \left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) - \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) + \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \right] \right]$$

$$V_{OUT} + \left( \frac{1}{2} \right) V_{OUT} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) - \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) + \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \right] \right]$$

$$= \frac{V_{DIFF}}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM}' \left[ \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) - \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \right] + A_{DIFF}' \left[ \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) + \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \right] \right]$$

$$\begin{aligned}
V_{OUT} & \left( 1 + \left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right] \right) \\
& = \frac{V_{DIFF}}{2} \left[ \frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right] \\
\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} & = \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]}{1 + \left( \frac{1}{2} \right) \left[ \frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \right]}
\end{aligned}$$

この式は、次に注目することで単純化できます。

$$A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \gg \frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]$$

and

$$A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right] \gg \frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]$$

$$\boxed{\frac{V_{OUT}}{V_{DIFF}} \approx \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left[ A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]}{1 + \left( \frac{1}{2} \right) A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]}}$$

CMRR の算出、ステップ 3：回路の CMRR ( $A_{DIFF}/A_{CM}$ ) を計算

$$\begin{aligned}
CMRR_{TOTAL} & \approx \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left[ A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]}{1 + \left( \frac{1}{2} \right) A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]} \\
& \approx \frac{\frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]}{1 + \left( \frac{1}{2} \right) A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R3}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R2}{R1+R2} \right) \right]} \\
& \approx \frac{\left( \frac{1}{2} \right) \left[ A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) + \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right] \right]}{\frac{1}{2} A_{CM} \left[ \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) + \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) \right] + A_{DIFF} \left[ \left( \frac{R4}{R3+R4} \right) - \left( \frac{R1}{R1+R2} \right) \right]}
\end{aligned}$$

これは式 4 です。式 4 を式 2 に単純化できることは、既に示したとおりです。

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{\left(\frac{1}{2}\right)(1+G)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right)\left(\frac{1}{2}\right)(1+G) + \Delta R/R_{CMRR}}$$

### CMRR の計算例

リニアテクノロジーの差動アンプ LTC6362 と LT5400A-6 を使用した場合、次のようになります。

$$CMRR_{amp(6362)} = 70\text{dB}$$

$$G \approx \frac{R1}{R2} \approx \frac{R4}{R3} \approx \frac{5\text{k}}{1\text{k}} \approx 5$$

$$70\text{dB} \rightarrow (1/CMRR_{amp(6362)}) = 0.0316\%$$

$$\Delta R/R_{CMRR} = 0.005\%$$

式 2 を使用すると、次のようになります。

$$CMRR_{TOTAL} \approx \frac{(3)}{\left(\frac{1}{CMRR_{amp}}\right)(3) + (\Delta R/R_{CMRR})}$$

$$\approx \frac{3}{(0.00005) + (3 \cdot 0.000316)}$$

$$\approx 3006$$

$$CMRR_{TOTAL}(\text{dB}) \approx 20\log(3006)$$

$$\approx 69.56\text{dB}$$

データシートのダウンロード: <http://www.linear-tech.co.jp>

## リニアテクノロジー株式会社

102-0094 東京都千代田区紀尾井町 3-6 紀尾井町パークビル 8F  
 TEL(03)5226-7291 FAX(03)5226-0268  
<http://www.linear-tech.co.jp>

dn1023f LT 0312 • PRINTED IN JAPAN



© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2012