

## 半導体圧力センサの使い方

### 1. 定電流駆動回路

弊社の圧力センサには定電流駆動をおすすめ致します。図 1 は基本的な定電流駆動回路です。定電圧ダイオードなどの定電圧素子でつくられた基準電圧( $V_{ref}$ )は、OP アンプ(A1)の非反転端子に印加されます。ここで定電圧素子の代わりに分割抵抗により基準電圧をつくる安価な方法もありますが、その場合電源電圧( $V_{cc}$ )の変動が定電流特性に影響しますので高精度を要求される場合にはおすすめできません。OP アンプの反転端子電圧は基準電圧と等しいと考えられますので、定電流( $I$ ) とそのときの OP アンプの出力電圧( $V_A$ )は

$$I = \frac{V_{ref}}{R_2} \quad \dots [1]$$

$$V_{A1} = V_{ref} + I \times R_b = I \times (R_2 + R_b) \quad \dots [2]$$

ここで  $R_b$  はブリッジ抵抗

電源電圧( $V_{cc}$ )は  $V_{A1}$  よりも十分高いことが要求されます。センサチップが圧力による歪を受けないとき、各出力端子電圧( $V_1, V_2$ )は次式で表されます。

$$V_1 = V_2 = V_{ref} + I \times \frac{R_b}{2} = I \times \left( R_2 + \frac{R_b}{2} \right) \quad \dots [3]$$

図 2 は FPM タイプを使用した基本的な回路です。LM385-1.2 の基準電圧は、1.235V で温度ドリフトは 150ppm/°Cです。したがって  $R_2$  両端の電圧も 1.235V となり、FPM の駆動電流を流す為に  $R_2$  は

$$R_2 = \frac{1.235V}{1.5mA} = 820\Omega$$

FPM のブリッジ抵抗は 4000 から 6000 $\Omega$  ですので  $V_{A1}$  の最大値は

$$V_{A1 \max} = 1.5 \times (820 + 6000) = 10.23$$

そこで電源電圧( $V_{cc}$ )は 12V とします。LM385-1.2 の動作電流を 1mA 程度にするため  $R_1$  は

$$R_1 = \frac{12V - 1.235V}{1mA} = 10k\Omega$$



ゼロバランストリマーが接続出来るように FPM はブリッジ回路の一端がオープンになっています。ゼロ調整をこの点で行わずに後段の増幅回路で行うときは、図 1 のように接続して使用することも可能です。

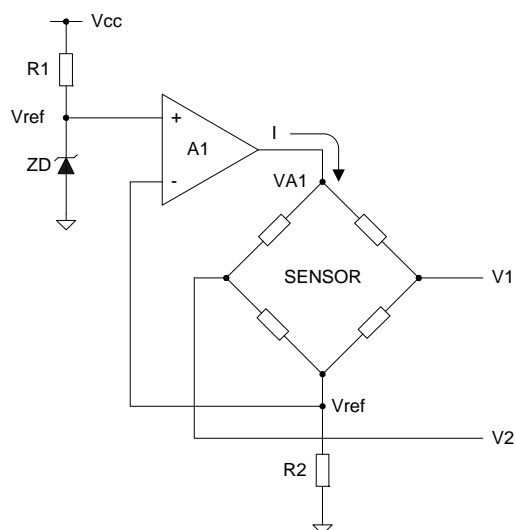


Fig.1 Constant current source

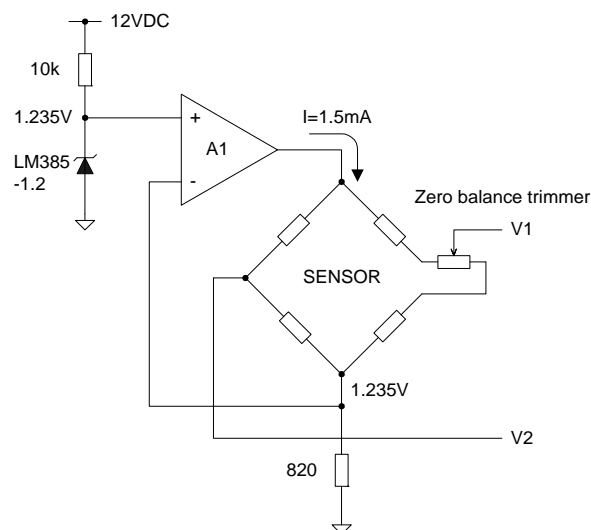
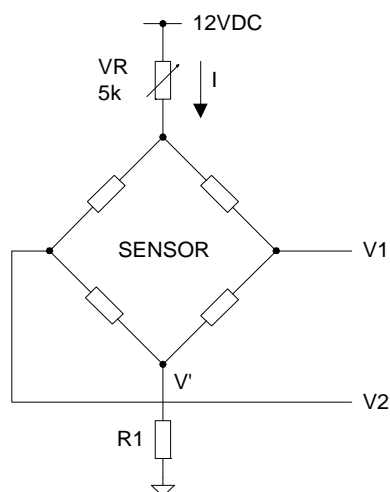


Fig. 2 Basic circuit for type FPM

## 2. 定電圧駆動回路

先にも述べた通り、弊社の圧力センサには定電流駆動をおすすめしますが、一方定電圧駆動をお望みの場合もあるかもしれません。一例として基本的な定電圧駆動回路を図 3 に示します。この場合ご注意して頂きたいのは後述する温度特性が、定電流駆動に比べて悪くなるということです。詳しくは4-2をご参照ください。



\*\*\* Example for FPM sensor \*\*\*

Vcc:	12VDC
Bridge resistance:	4,000 ~ 6,000 ohm
I:	1.5mA
R1:	100 ohm
V':	150mV
VR:	1,900 ~ 2,500 ohm

or

Vcc:	7.5VDC
VR:	0 ohm
Bridge resistance:	4,000 ~ 6,000 ohm
R1:	0 ohm
I:	1.9 ~ 1.3mA

Fig. 3 Basic circuit of constant voltage source



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

### 3. 増幅回路

センサの出力電圧は微小でしかも差動出力型式ですので、差動増幅器を用いて信号の増幅とシングル出力への変換を行います。簡単な差動増幅回路を図4に示します。ここで出力電圧(Vout)は次式で表されます。

$$V_{out} = \frac{R5}{R3} \times (V1 - V2) \dots [4]$$

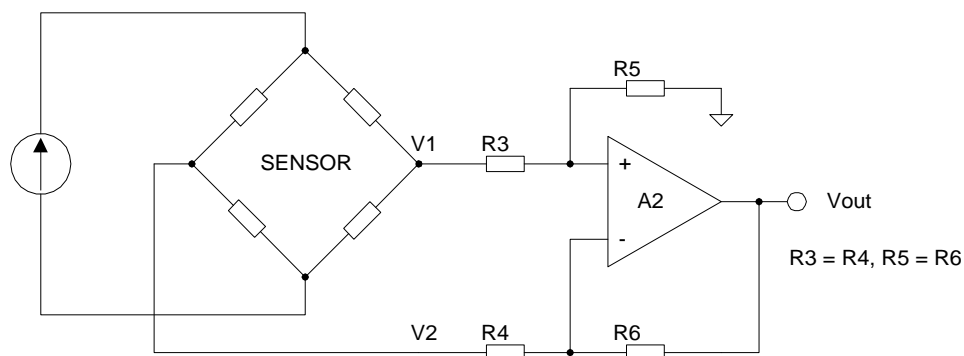


Fig. 4 Simple differential amplifier

図4で示された差動増幅回路は入力インピーダンスが十分に高いとはいえないためにセンサ特性に多少なりとも影響を与えてしまいます。そこで精度を求める場合は図6に示すような高入力インピーダンスのインストゥルメンテーションアンプを使用します。この図で各出力電圧 VA2, VA3, Vout は次のように表されます。

$$VA2 = V1 + \frac{R5}{VR1} \times (V1 - V2) \dots [5]$$

$$VA3 = V2 - \frac{R5}{VR1} \times (V1 - V2) \dots [6]$$

$$V_{out} = \frac{R7}{R5} \times (VA2 - VA3) = \frac{R7}{R5} \times \left(1 + \frac{2 \times R3}{VR1}\right) \times (V1 - V2) \dots [7]$$

もしも+方向へのレベルシフトが必要なときは、A4の非反転端子にシフト電圧(Vshift)を加えて下さい。そのときの出力電圧は

$$V_{out} = \frac{R7}{R5} \times \left(1 + \frac{2 \times R3}{VR1}\right) \times (V1 - V2) + V_{shift} \dots [8]$$



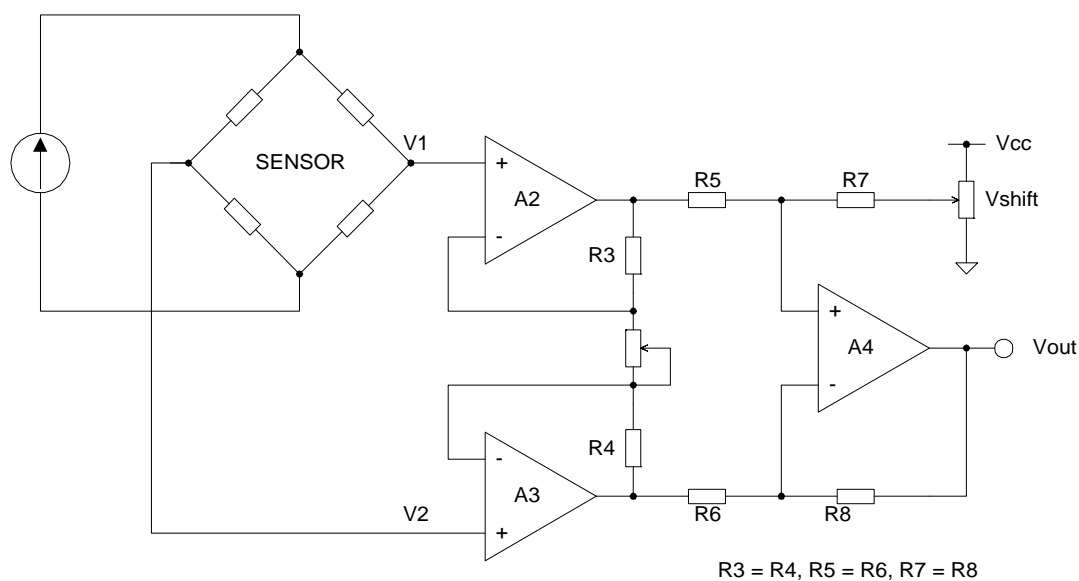


Fig. 5 Instrumentation amplifier

FPM-07PG(R)を用いたときの回路定数は次のようになります。

◆FPM-07PG(R)の電気特性

圧力レンジ-0.492~+0.492Kg/cm<sup>2</sup>(ゲージ圧)

センサ出力-100~+100mV(代表値 I=1.5mA)

◆増幅器の仕様

電源電圧 12VDC

出力電圧 1~9V

利得 = (1~9V) / (-100~100mV) = 8V / 200mV = 40倍

R3=R4=R5=R6=R7=R8=10K

VR1=2k (出力電圧が 1~9Vになるように調整)

Vref=1.235V (図 2 参照)

VR2=10k (Vsift が 5V になるように調整)

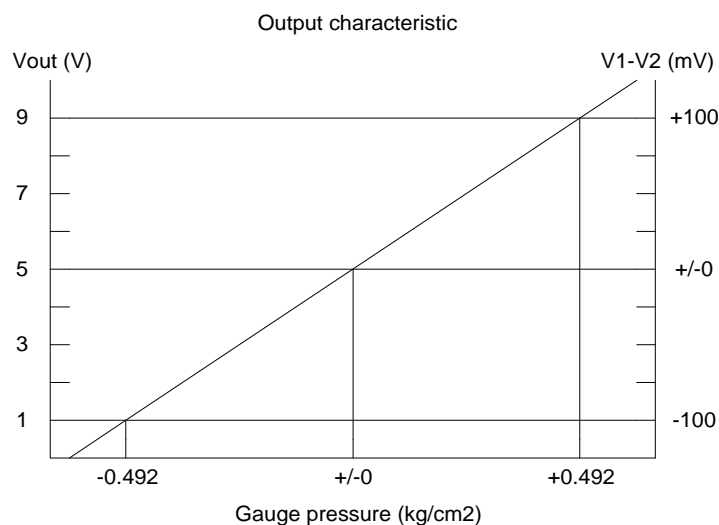
・全ての抵抗は 1/4W で 1%精度のものをおすすめします。

・温度補償回路については、次以降を参照下さい。



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

出力特性を示します。



#### 4. 温度補償

ピエゾ抵抗式圧力センサは、それ自身温度特性を持っていますので高精度の計測が必要な場合は温度補償を行って下さい。温度特性には、オフセット電圧温度特性(Temperature Characteristic of Offset 略して TSO)、感度温度特性(Temperature Coefficient of Span output 略して TCS)があります。以下それぞれの温度特性の補償方法について述べます。

##### 4-1 オフセット電圧温度特性(TSO)

TSO はセンサが圧力を受けない状態、すなわちチップが無歪の状態におけるブリッジ不平衡電圧の温度特性で、次の事柄がその原因となっています。

1. (a) センサを構成する材料間の熱膨張係数の違い。例えば、シリコンチップと台座ガラス、シリコンチップとパッケージなど。
2. (b) シリコンチップ表面におけるシリコン、シリコン酸化膜、アルミ配線の熱膨張係数の違い。
3. (c) ブリッジを構成する4つのピエゾ抵抗素子の温度係数のばらつき。
4. (d) ピエゾ抵抗素子の抵抗値のばらつき。



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

TSO の補償のため、ピエゾ抵抗素子に金属皮膜抵抗器のような温度係数の小さい抵抗器を並列に接続します。図 6 の接続で抵抗値を決定するための手順を以下に述べます。

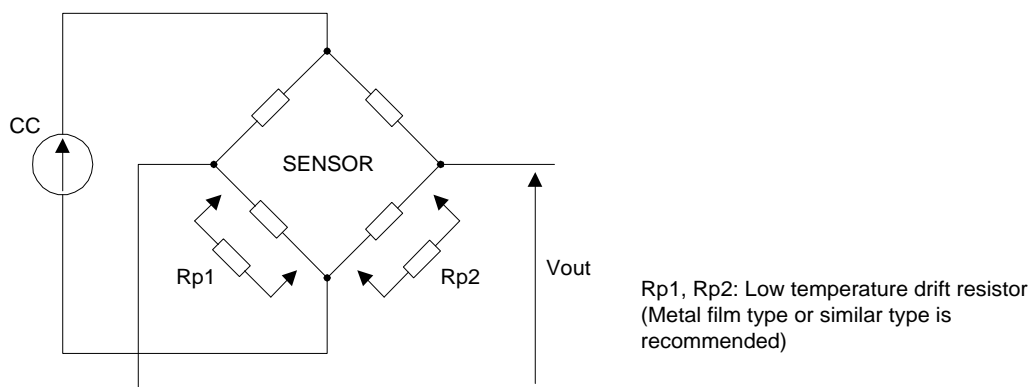


Fig. 6 Connection for TSO compensation

- ・  $(p,t)$  は、圧力が  $p$  で、温度が  $t$  のときのセンサ出力電圧を表します。
- ・  $p0$  は、圧力がない状態を表します。例として  $V(P0)$  はオフセット電圧を表します。
- ・  $t_c$  は、動作温度範囲の下限を表します。同様に  $t_h$  は、上限を表します。

(1) 次の 10 点におけるセンサ出力電圧を測定します。

Output	Rp1	Rp2
$V1=V(p0,t_c)$	open	open
$V2=V(p0,t_c)$	500k	open
$V3=V(p0,t_c)$	1M	open
$V4=V(p0,t_c)$	open	500k
$V5=V(p0,t_c)$	open	1M
$V6=V(p0,t_h)$	open	open
$V7=V(p0,t_h)$	500k	open
$V8=V(p0,t_h)$	1M	open
$V9=V(p0,t_h)$	open	500k
$V10=V(p0,t_h)$	open	1M



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

(2) それぞれの補償抵抗の条件における温度ドリフトを計算します。

$$TCV1=V6-V1$$

$$TCV2=V7-V2$$

$$TCV3=V8-V3$$

$$TCV4=V9-V4$$

$$TCV5=V10-V5$$

(3) TCV の点をプロットし、図 7 のようなグラフを作成します。

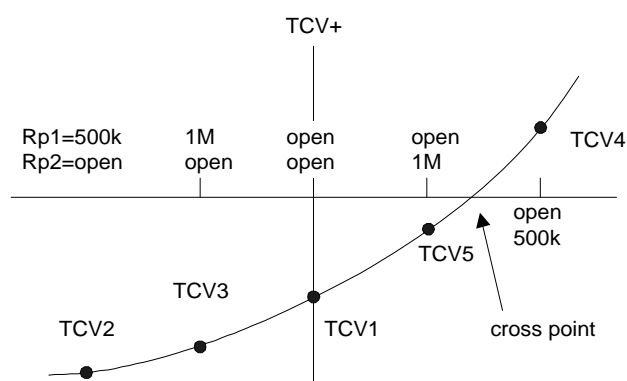


Fig. 7 Rp1, Rp2 vs. TCV

(4) 求める抵抗値はX軸との交点にあります。図 7 では、Rp1 はオープン、Rp2 は約 750KΩと推定されます。

#### 4-2 感度温度特性(TCS)

TSC はセンサの動作温度と出力スパン電圧との関係です。これは次に挙げる事柄に影響されます。

- (a) ピエゾ抵抗素子の表面不純物濃度
- (b) ピエゾ抵抗素子の方位
- (c) 負荷抵抗の値

ここでは、(a)と(c)の詳細について述べます。



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

4-2-1 ピエゾ抵抗素子の表面不純物濃度の影響について

TCS はピエゾ抵抗素子の表面不純物濃度に大きく依存します。定電流駆動における TCS と表面不純物濃度の関係は図 8 のようになります。図からわかるように 表面不純物濃度を制御することで TCS を最適化することが可能です。

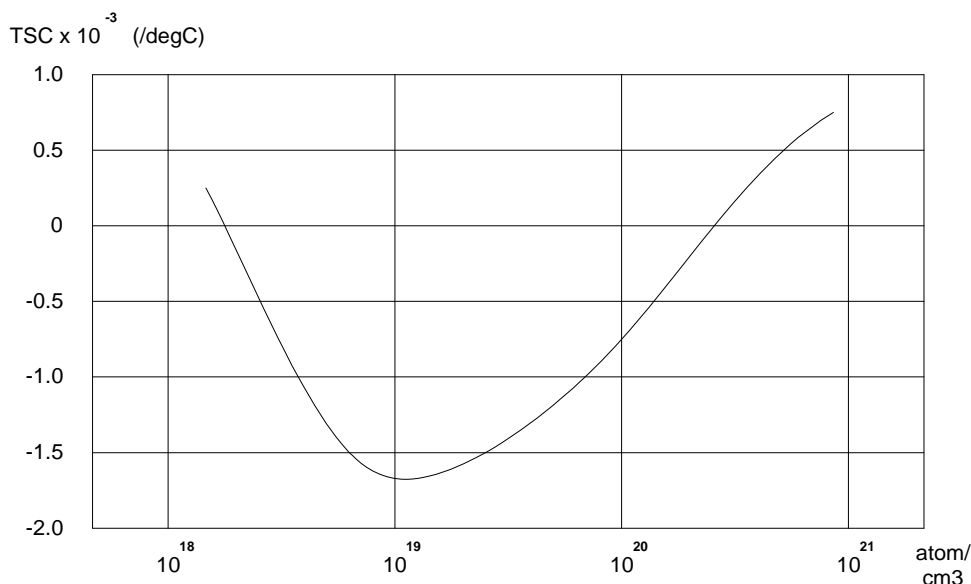


Fig. 8 Relation between temperature coefficient of the pressure sensitivity and impurity surface concentration

図9は表面不純物濃度が  $2 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  のときの温度ドリフトを示しています。定電流駆動における温度ドリフトは、定電圧駆動の場合よりも小さいことがわかります。よりいっそうの温度補償を要求される場合は次ページに述べる外部負荷抵抗を用いる方法をおすすめします。定電圧駆動における温度ドリフトは、図9に示されるように直線的でしかも定電流駆動に比べて大きなものです。そのため、温度補償にはマイクロプロセッサなどの能動素子が用いられます。



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)



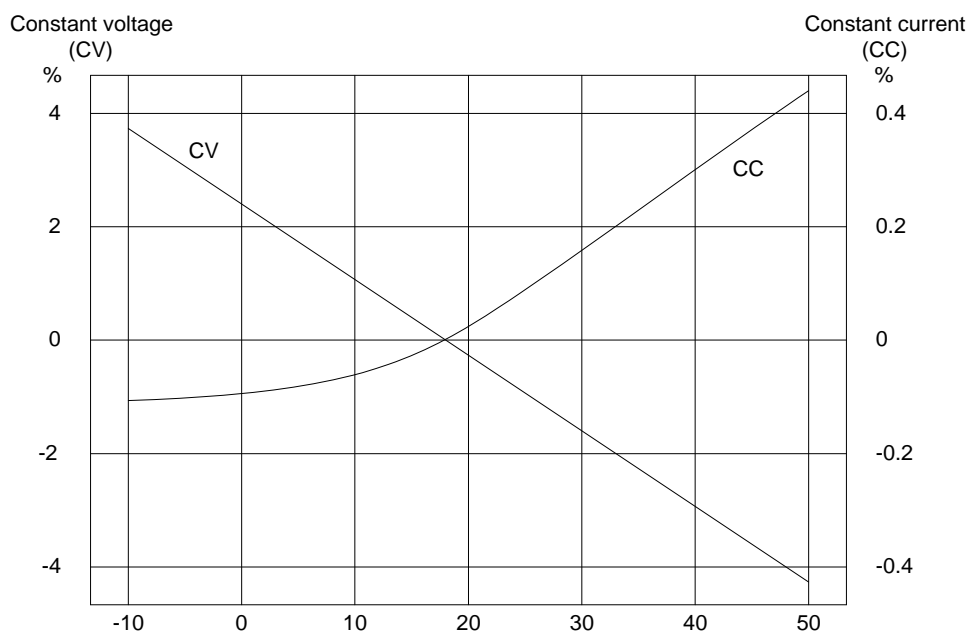


Fig. 9 Temperature drift of pressure sensitivity for voltage and current drive

#### 4-2-2 外部負荷抵抗の影響について

負荷抵抗を接続した回路を図 10(a)に示します。増幅器のような外部回路がある場合、その入力インピーダンスが負荷抵抗としてセンサの出力端子に接続されていると考えられます。

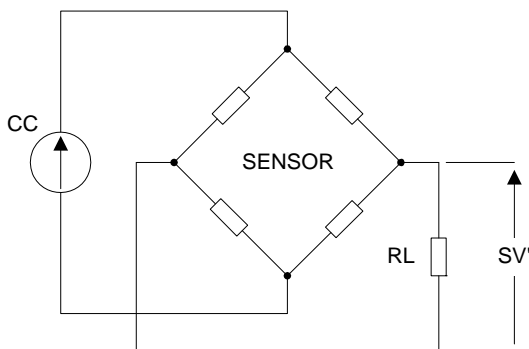


Fig. 10(a) Circuit with load resistor RL

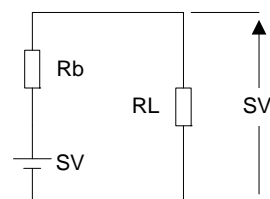


Fig. 10(b) Equivalent circuit

TCSは図 11 が示すように負荷抵抗によって変化する、そしてTCSを補償する最適な負荷抵抗を求めることができます。ここで注意していただきたいのは、負荷抵抗のない状態での TCS が温度に対して負の特性であるとき、負荷抵抗による温度補償が出来ないことです。



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

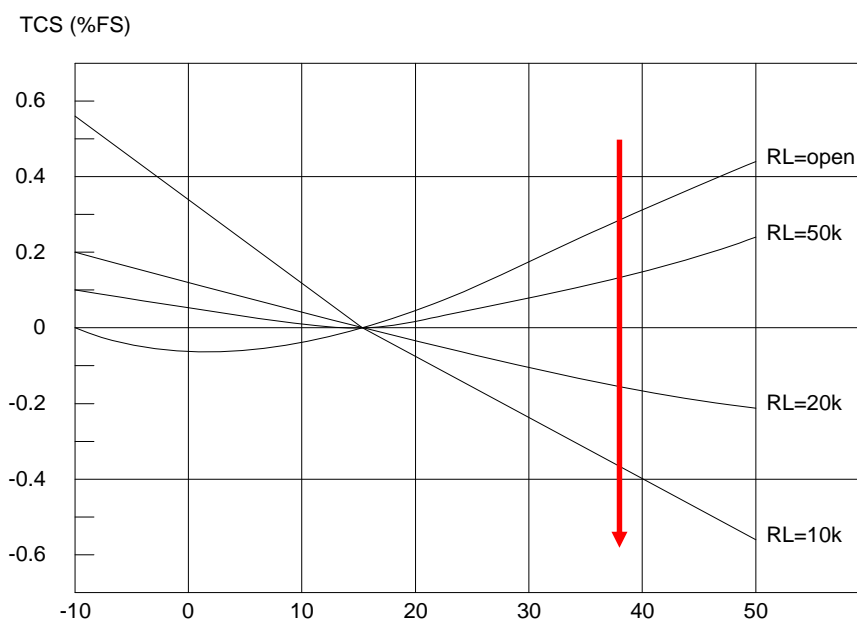


Fig. 11 Example of the relation between RL and TCS

図 10(b)は、(a)の等価回路です。これをもとに負荷抵抗の値は次式で求められます。

$$RL = \frac{SVc \times Rbh - SVh \times Rbc}{SVh - SVc} \quad \dots[9]$$

ここで Svc:動作温度範囲下限の時の出力スパン電圧

Svh: " 上限 "

Rbc:動作温度範囲下限の時のブリッジ抵抗

Rbh: " 上限 "

負荷抵抗を接続して温度補償を行うとき、出力スパン電圧はセンサ単体のときに比べて減少しますので、ご注意ください。

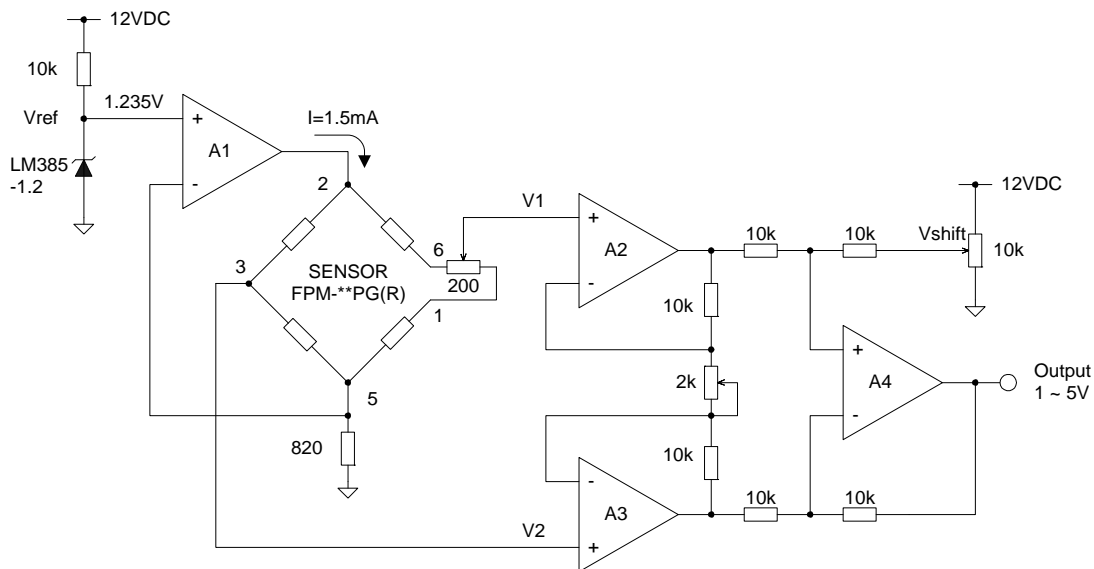
$$SV' = \frac{RL}{Rb + RL} \times SV \quad \dots[10]$$



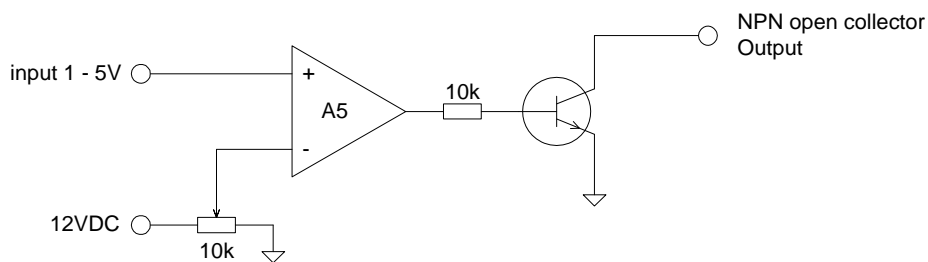
株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

－ 使用例 1 －

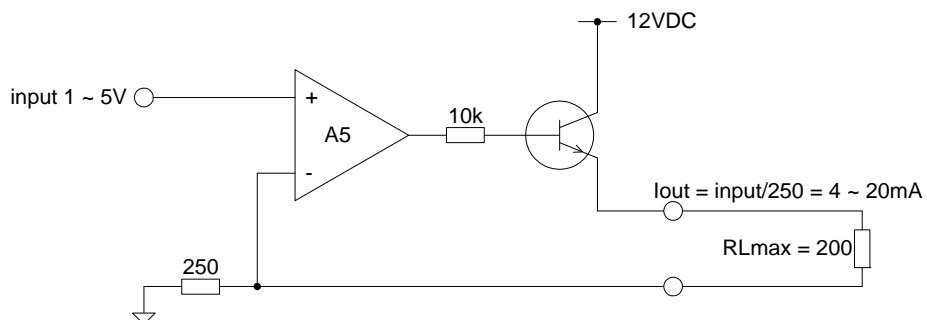
[ マノメータ(アナログ出力) ]



[ 圧力スイッチ出力例 ]



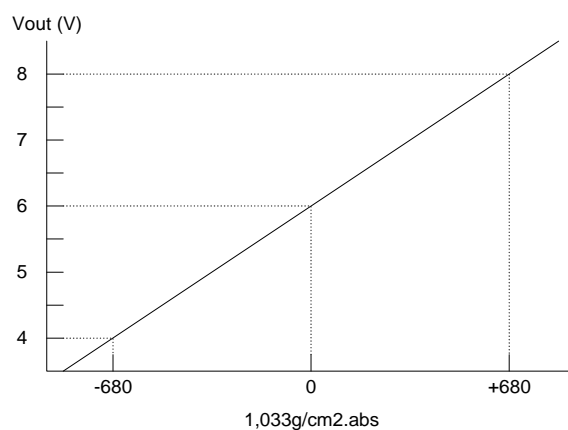
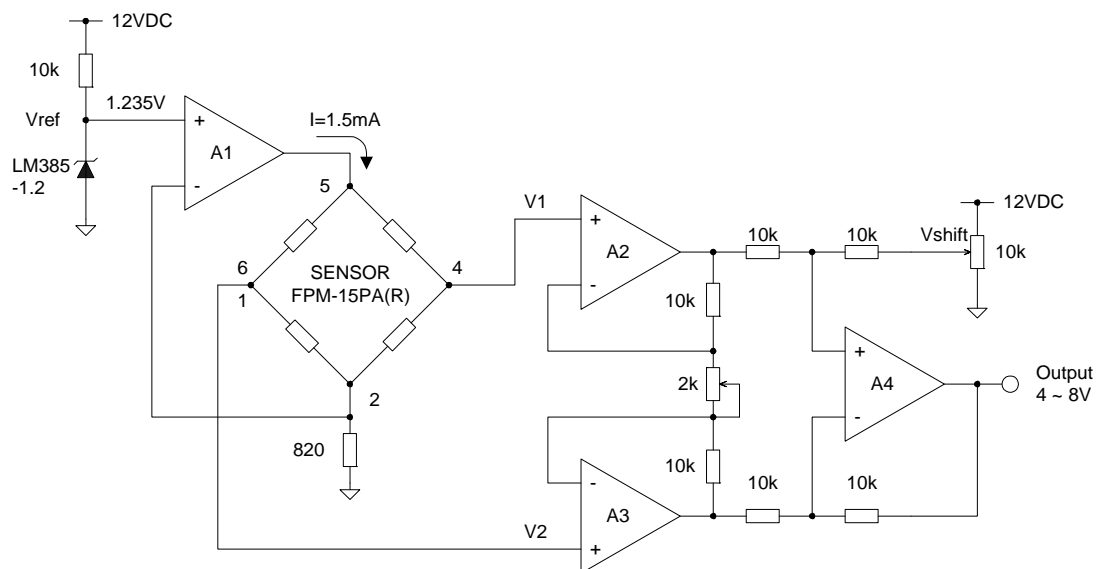
[ 電流出力例 ]



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

－ 使用例 2 －

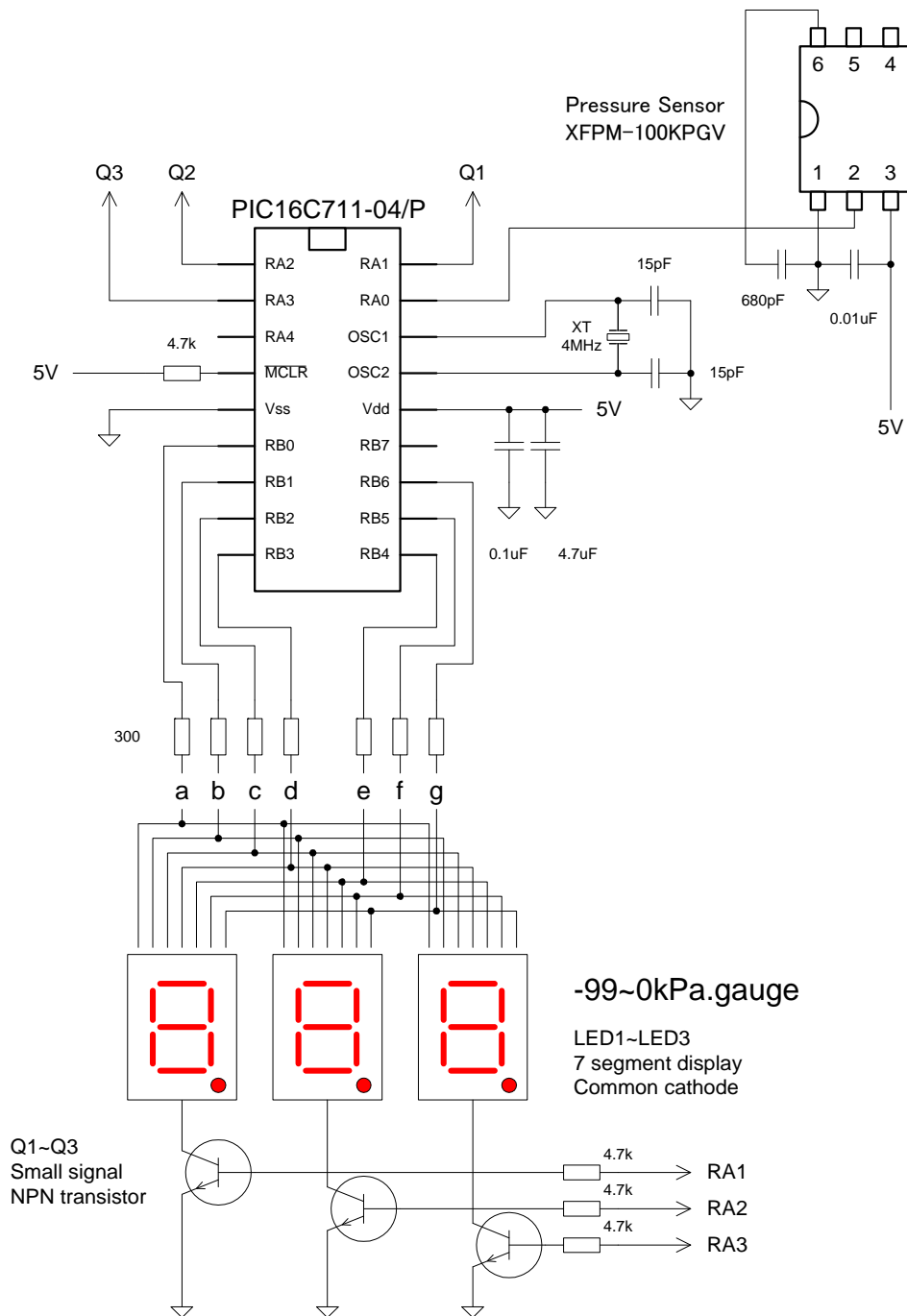
[ 気圧計(アナログ出力) ]



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

－ 使用例 3 －

[ 真空計 ]



株式会社フジクラ センサ部  
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1  
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418  
 E-mail : [sensor@fujikura.co.jp](mailto:sensor@fujikura.co.jp)

－ 使用例 4 －

[ 気圧計(デジタル表示) ]

