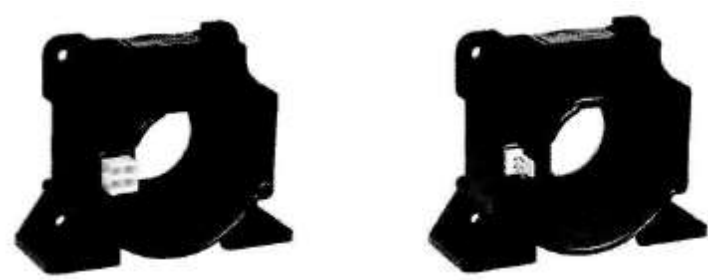


S28S シリーズ

アプリケーションマニュアル



S28S500D24Z

S28S500D24ZM

■概要

S28S シリーズは、クローズドループ型、貫通型の電流センサである。
定格電流は 500A 最大電流±800A である。
入出力の形式はコネクタで、Table1 のバリエーションを持つ。

Table 1 入出力コネクタ バリエーション

電流センサの型番	S28S500D24Z	S28S500D24ZM
入出力コネクタの型番 [旧型番]	39-28-8040 [5566-04A-210]	38-00-6293 [6410-03C(102)]
コネクタメーカ	Molex	Molex

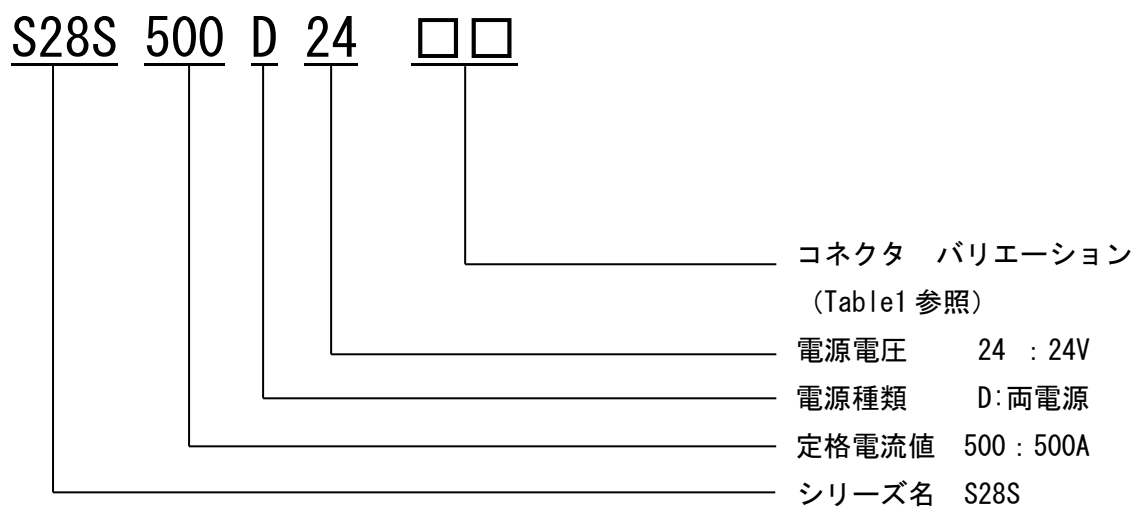
■特徴

- ・被測定電流の通電形式は、貫通型である。
- ・回路構成は、クローズドループ構成である。
- ・入出力はコネクタ形式で、パネル取り付け構造である。
- ・電源電圧は、±15V ～ ±24V の範囲で使用できる。
- ・出力は電流形式であり、被測定電流の 1/5000 を出力する。
- ・出力電流の精度は、±0.5%と高精度である。
- ・出力直線性は、±0.1%と優れた直線性を有する。
- ・高速応答：ステップ応答 ($\frac{di}{dt}$ 応答速度) は、1 μ sec 以下である。
- ・絶縁耐圧：AC4000V 1 分間
- ・適用安全規格に適合する。

■用途

- ・ 太陽光発電等の電力監視装置
- ・ 発電機の電流計測

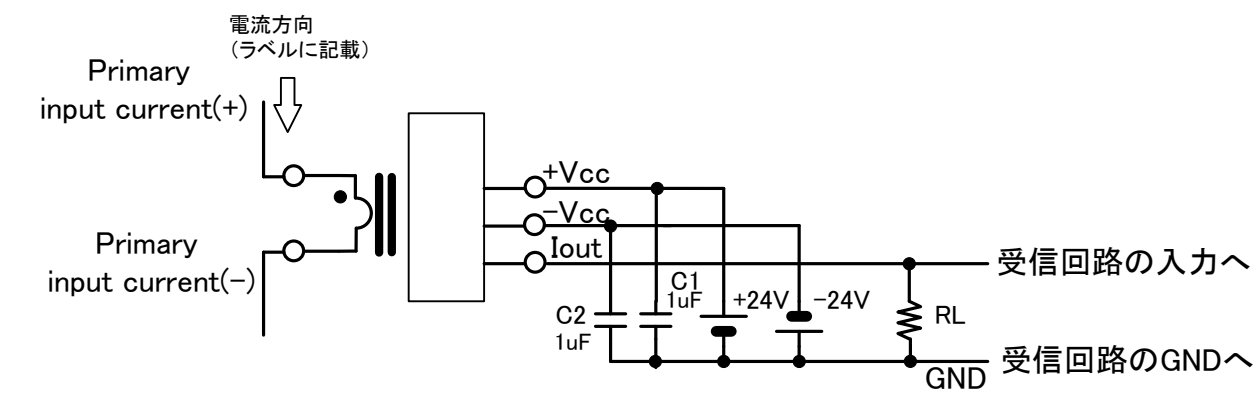
■形式



■標準的接続図

S28S500D24Z

S28S500D24ZM



端子番号

名称	S28S500D24Z	S28S500D24ZM
+Vcc	4	1
-Vcc	2	3
Iout	3	2

Fig1 S28S500D24Z S28S500D24ZM 標準的接続図

■入出力端子の説明 S28S500D24Z S28S500D24ZM

Table2 入出力端子の説明

端子番号	端子名称	説明	備考
Fig1 による。	NC		
	+Vcc	正電源端子。+15V～+24V を印加する。	
	-Vcc	負電源端子。-15V～-24V を印加する。	
	Iout	出力端子。本端子から GND に対して、被計測電流の 1/5000 の電流を出力する。 本端子と GND 間に測定抵抗を挿入し被測定電流の電圧変換値を計測できる。	*
	Primary current (+)	1 次電流（測定電流）のプラス側 ラベルに記載した矢印（⇒）の方向に 1 次電流を通電すると出力端子（Iout）から GND 方向の極性で出力電流が出力する。	貫通穴
	Primary current (-)	1 次電流（測定電流）のマイナス側	貫通穴

* 出力電流 I_{out} の標準値は、 $I_{out} = \frac{1}{5000} \times I + I_{of}$ となる。

I : 被測定電流 I_{of} : オフセット電流(= 0A_{typ})

■基本特性の説明

S28S シリーズ電流センサは、500A クラスの電流を計測して被測定電流の 1/5000 の電流を出力端子から出力する。内部構造は、貫通穴を有するコア（磁性体）及び電子回路からなる。電子回路は、クローズドループを構成する負帰還用巻線や増幅器およびクローズドループを安定に動作するための位相補償回路などから構成する。電源電圧はプラス電源とマイナス電源の 2 電源が必要である。電源電圧は $\pm 15V \sim \pm 24V$ までの範囲で使用が可能である。

被測定電流は、センサの貫通穴にバスバー又はケーブルを貫通させて通電する。被測定電流により発生する磁束は内蔵するコア（磁性体）に収束し、その発生磁束が極めて小さくなるようにすなわち 0 テスラに近づくように内蔵の増幅器が負帰還用巻線にキャンセル電流を通電する。すなわち、被測定電流により発生する磁束をキャンセルするように負帰還用巻線に電流を通電する。コア（磁性体）の磁束は（電流） $\times$ （巻数）に比例する。負帰還巻線の巻数は、5000 ターンであるので、被測定電流を貫通穴に 1 回（1 ターン）通した場合には、負帰還巻線には被測定電流の 1/5000 の電流を通電すればコア（磁性体）の磁束は打ち消されて 0 に近づく。負帰還巻線に通電した磁束キャンセル電流は、出力端子から出力する。従って、常に被測定電流の 1/5000 の出力電流を出力することとなる。出力電流は、出力端子と GND 間に接続した測定抵抗で電圧に変換して測定することができる。極性は、本体に記載した矢印の方向に被測定電流を通電したとき、出力端子から電流が流出する方向に出力する。すなわち、矢印方向に被測定電流を通電したとき、測定抵抗はプラス極性の電圧を出力する。このように、クローズドループ構成の電流センサの感度（出力電流/被測定電流）は、 $1/（負帰還巻線の巻数）$ となりホール素子の感度変動や AMP の利得変動の影響受けにくく、コイルの巻数で決定する。そのため、クローズドループ型の S28S シリーズ電流センサは、出力精度 $\pm 0.5\%$ 以内、出力直線性 $\pm 0.1\%$ 以内の高精度を実現することができる。

出力端子から出力する電流は電流源として作用するので、センサの出力端子から測定抵抗までの配線抵抗の影響を受けにくく、測定抵抗の精度の影響に注意を払えば正確な電流測定が可能である。

本電流センサは、被測定電流の急峻な変化に対しては、カレントトランスに類似した動作をする。被測定電流がステップ的に変化した場合には、高速応答が可能である。被測定電流が 100A/usec の立ち上がりをしたとき、1usec 以内に目標値の 90%の値にまで達する。

構造はパネル取り付けの構造であり、電源端子および出力端子はコネクタ構造である。コネクタには 2 種のバリエーションを準備している。

■ブロック図 (±15V~±24V 両電源タイプ)

S28S500D24Z

S28S500D24ZM

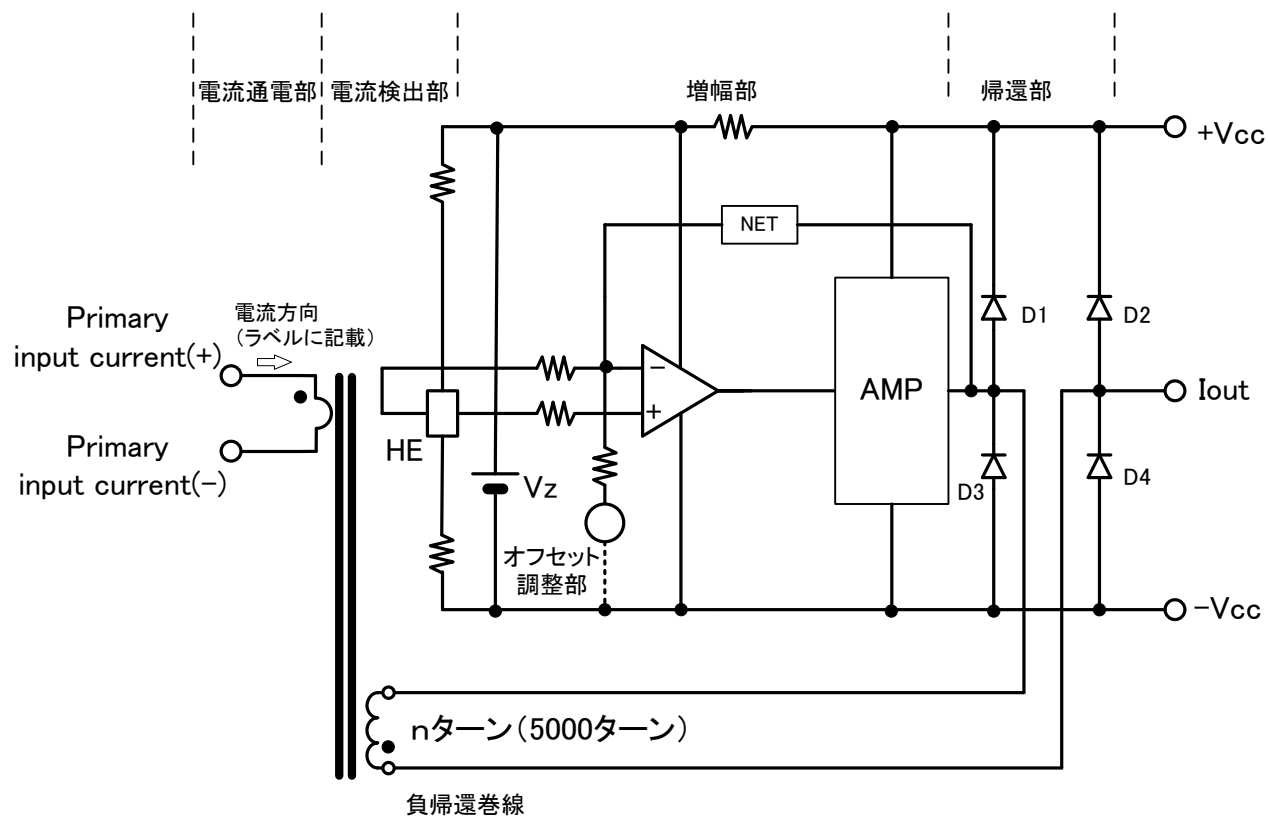


Fig2 S28S シリーズ 内部ブロック図

■ ブロック図の説明

電流通電部

電流通電部は、本体に準備した貫通穴にバスバーまたは、電線を貫通させて使用する。貫通穴に通したバスバーまたは電線には被測定電流を通電する。被測定電流によって発生する磁束は、高透磁率のコアに集中する。コアに磁気検出素子としてホール素子が挿入してあり、コアの磁束を検出して電圧変換する。バスバー又は電線は、自身の抵抗成分により発熱する（銅損失）。周囲温度が最大値の場合においてもセンサの温度が規格値を超えないように通電電流の大きさにあったバスバー、電線を選定し、放熱に考慮する。

センサの温度は、貫通させたバスバーや電線による銅損失以外に、センサに内蔵したコアの鉄損失（コアの損失）で発熱する。それぞれの損失は被測定電流の大きさや周波数、電流波形などの条件により異なる。電流値の実効値が大きいほど、また被測定電流の周波数が高いほど損失が多くなる。被測定電流に含まれる周波数成分が基本波以外の高周波成分を含む場合は、鉄損失がさらに増大するので、実際の電流での確認が必要である。

電流検出部

被測定電流 (Primary input current) は、貫通用の穴に通電する。これにより発生する磁束を、コアで集束して磁気検出素子（ホール素子 HE）に印加する。

一方、負帰還用巻線には、被測定電流のほぼ $1/5000$ の電流が流れて、被測定電流により発生する磁束と逆方向に磁束を発生する。負帰還巻線の巻数は 5000 ターンであるから、コアの磁束は、相殺されてほぼ 0 となる。この負帰還用巻線に流れる電流は、出力電流の値と同じ電流値である。

従って、出力電流は、被測定電流のほぼ $1/5000$ の値になる。
磁気検出素子（ホール素子）は、被測定電流と負帰還用巻線とで発生する正味の微小磁束を検出して電圧に変換する。変換した電圧は、増幅部に送る。

増幅部 帰還部

増幅回路は、磁気検出素子（ホール素子）の出力電圧を増幅して電流変換する。増幅回路からの電流は帰還回路へ送出する。帰還回路は帰還用巻線に電流を通電する。その結果、磁気検出素子⇒増幅回路⇒帰還回路⇒負帰還巻線⇒コア磁束⇒（磁気検出素子）というクローズドループを構成する。Fig3 参照

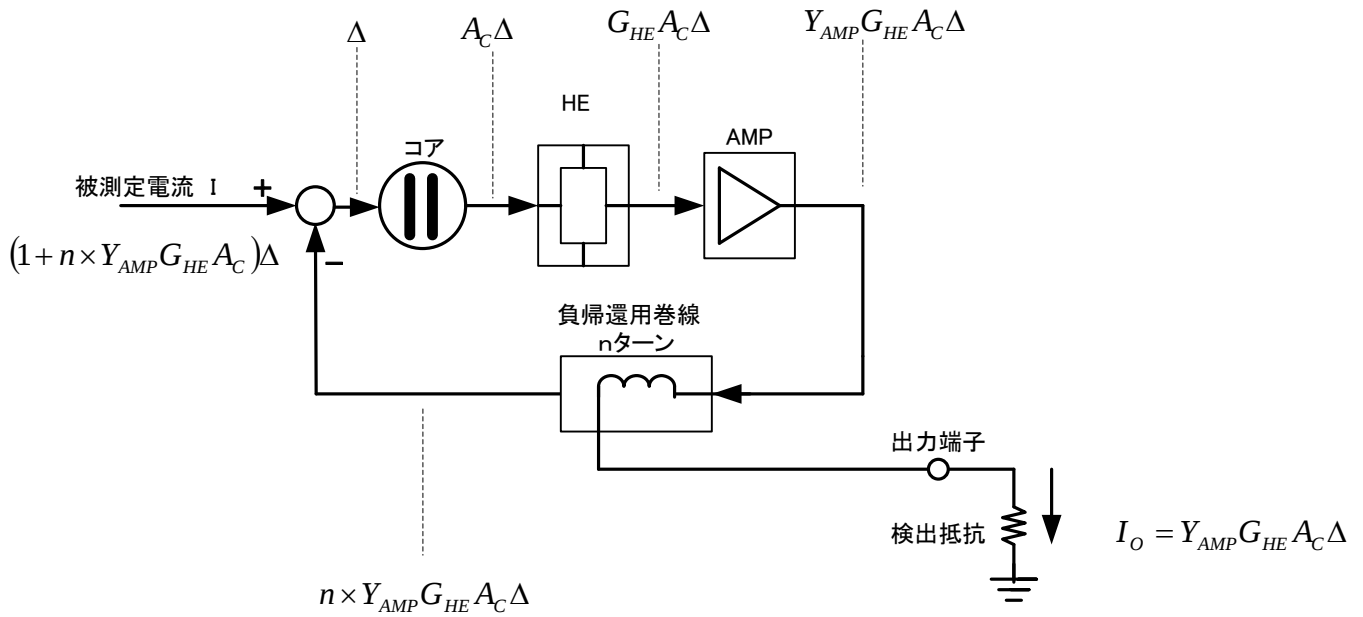


Fig3 クローズドループ ブロック図

負帰還用巻線に流れる電流 I_o と被測定電流 I は、負帰還用巻線に流れる電流（アンペアターン）により相殺され、等価的にコアを励磁する正味の微小電流 Δ となる。

この微小電流は高透磁率のコアによって $A_C \Delta$ なる微小磁束を発生する。微小磁束 $A_C \Delta$ をホール素子 HE により検出し電圧 $G_{HE} A_C \Delta$ に電圧変換する。さらに、この電圧を AMP で増幅して電流 $Y_{AMP} G_{HE} A_C \Delta$ に電流変換する。電流 $Y_{AMP} G_{HE} A_C \Delta$ は、出力電流として出力端子より出力する。一方、同一の電流は負帰還用巻線流れ被測定電流を相殺する電流として作用する。負帰還用巻線は、巻数 n ターンであるからアンペアターンは、 $n \times$ （負帰還用巻線に流れる電流）になる。従って、相殺された結果、コアを励磁する正味の微小電流 Δ は式 1 と書ける。

$$\Delta = I - n \times Y_{AMP} G_{HE} A_C \Delta \quad \text{式 1}$$

一方、出力電流は式 2 である。

$$I_O = Y_{AMP} G_{HE} A_C \Delta \quad \text{式 2}$$

従って、式 1 と式 2 から、出力電流と被測定電流の関係式 式 3 を得る。

$$\begin{aligned}\frac{I_o}{I} &= \frac{Y_{AMP} G_{HE} A_C \Delta}{\Delta + n \times Y_{AMP} G_{HE} A_C \Delta} \\ &= \frac{1}{n + \frac{1}{\mu}}\end{aligned}\quad \text{式 3}$$

ここで、 $\mu \equiv Y_{AMP} G_{HE} A_C$

クローズドループ電流センサの μ は、非常に大きな値をとるから、出力電流精度 $\pm 0.5\%$ 以内の高精度を維持して、式 4 が成立する。

$$\frac{I_o}{I} = \frac{1}{n} \quad \text{式 4}$$

$n=5000$ であるので、出力電流は、被測定電流の $1/5000$ の電流となる。

カレントトランス

被測定電流が急変した場合は、レンツの法則により負帰還用巻線に被測定電流によるコアの磁束変化を相殺するような電流が流れる。この電流値は、被測定電流の変化の $1/5000$ の値となるから、被測定電流の $1/5000$ の電流が出力する。Fig4 の $\Rightarrow$ のように被測定電流が増大すると、負帰還用巻線の電流は一方向に増大して、出力端子より出力し、測定抵抗 R_L から GND に流れてマイナス端子より負帰還用巻線に戻る。

出力電流は、GND を経由して電源端子から負帰還用巻線に戻るので、この経路を短く配線する必要がある。このように出力電流の過渡電流が流れる場合は、C1、C2 は $10\mu\text{F}$ 以上を推奨する。

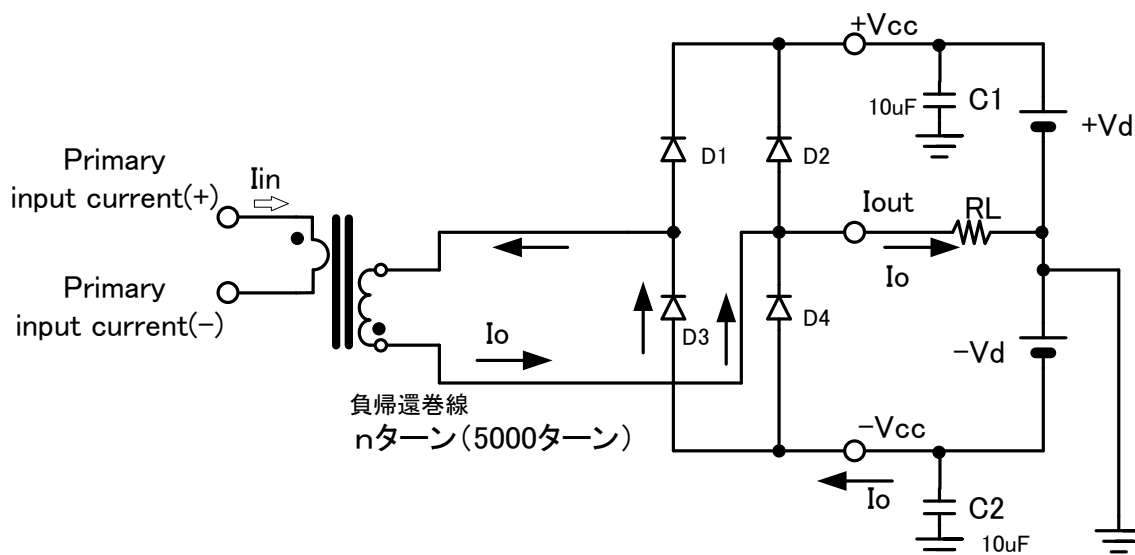


Fig4 カレントトランス動作の等価回路

オフセット調整部

オフセット電流とは、出力電流の基準となる電流であり被測定電流が0Aのときの出力電流である。S28Sシリーズの場合は、オフセット電流は0Aである。

オフセット電流が標準値0Aから偏差を持つ要因として、磁気検出素子であるところのホール素子HEが、ホール素子のオフセット電圧を持つことが主要要因である。ホール素子のオフセット電圧とは、ホール素子に印加した磁束が0でも微小な電圧がホール素子から出力される。その微小電圧により発生する微小な出力電流がオフセット電流の偏差となる。オフセット電流の偏差は、ホール素子以外に増幅部のオフセットも起因するが、これらを総合的にキャンセルして所定の偏差内に収まるように、オフセット調整部を製品出荷段階で調整している。

■アプリケーション

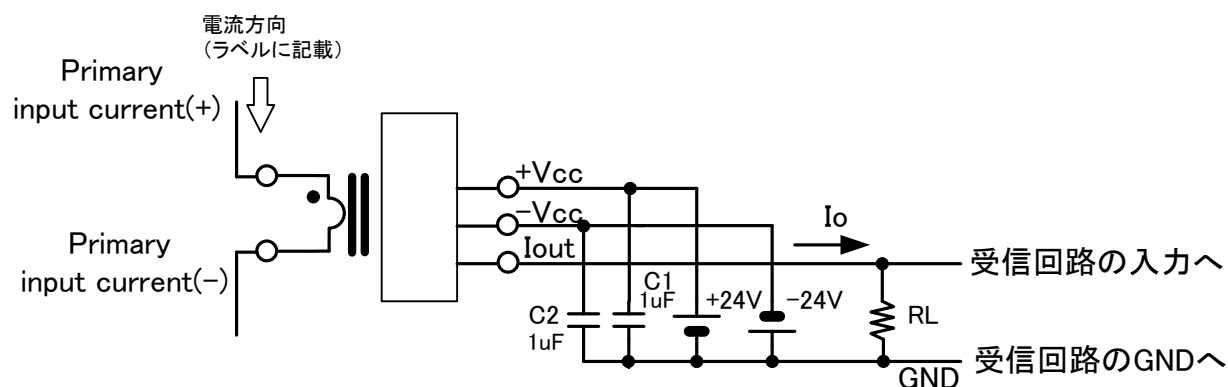


Fig5 アプリケーション

[注意]

以下に示すアプリケーションの内容は、S28S シリーズ電流センサの保証規格ではない。すなわち、当社は以下に示すアプリケーションの精度や部品定数に伴う性能を保証しない。従って、実際の製品設計における回路や部品定数の選定については、安全性や特性の安定性をよく考慮いただき十分な評価が必要である。

基本動作

この電流センサは、被測定電流を 1/5000 の出力電流に変換する。Fig5 の出力電流 I_o は、出力端子 (Iout) と GND 間に接続した測定抵抗 RL に流れる。測定抵抗 RL の端子間電圧を測定して出力電流 I_o を算出し、被測定電流 I_{in} を測定する。

$$I_{in} = 5000 \times I_o = 5000 \times \frac{V_{RL}}{RL} \quad \text{ここで、} V_{RL} \text{ は、測定抵抗 } RL \text{ の端子間電圧} \quad \text{式 5}$$

測定抵抗 RL を流れる出力電流 I_o はプラス電源から AMP 回路を通じて、測定抵抗 RL を通電し GND を経由して電源にも戻る。

従って、 $\pm 24V$ 電源は、センサの消費電流にプラスして出力電流 I_o を供給できるだけの能力が必要である。

被測定電流 I_{in} は、式 5 により測定抵抗 RL の端子間電圧 V_{RL} から算出できる。

測定抵抗 RL

測定抵抗 RL の値は、電源電圧と被測定電流の最大値 I_{MAX} とから、式 6 の制限を受ける。

Fig6 に示す様にセンサ内部の Q1 Q2 及びエミッタに接続した抵抗 R1 R2 及びプリアンプの動作上の制約から、出力端子の電圧はプラスマイナス各電源電圧から一定電圧だけ差電圧 v_{RE} を設ける必要がある。そのため出力端子 I_{out} の許容電圧範囲は、プラス側は $Vd - v_{RE}$ マイナス側は $-(Vd - v_{RE})$ の範囲内となる。そのような理由から出力電流の最大値 I_{MAX} と測定抵抗 RL は式 6 の関係となる制約を受ける。

$$\left| \frac{I_{MAX}}{5000} (R_S + RL) + v_{RE} \right| \leq Vd \quad \text{式 6}$$

ここで、 R_S は負帰還用巻線の直流抵抗 (Ω)

v_{RE} は電源電圧から必要な差電圧 (V)

Vd はプラス電源電圧及びマイナス電源電圧の絶対値 (V)

RL は、測定抵抗 (Ω)

v_{RE} は、約 2.0V~2.5V を見込む必要がある。

R_S は、銅線の直流抵抗であるので温度特性を持つ。巻線温度 t のときの $R_S|_{T=t}$ の標準値は式 7 となる。

$$R_S|_{T=t^{\circ}\text{C}} \approx 58.7 \{1 + 0.0043(t - 25)\} \quad (\text{標準値}) \quad \text{式 7}$$

式 7 から、巻線温度 $T_c=70^{\circ}\text{C} \Rightarrow R_S|_{T=70^{\circ}\text{C}} \approx 58.7 \times \{1 + 0.0043(70 - 25)\} \approx 70\Omega$

を得る。

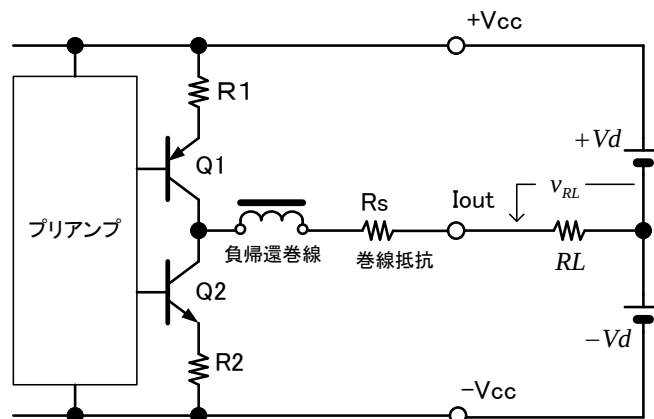


Fig6 出力回路の等価回路

巻線温度 70℃以下の場合を図示すると Fig 7 に示す。(Fig8 は欠番)

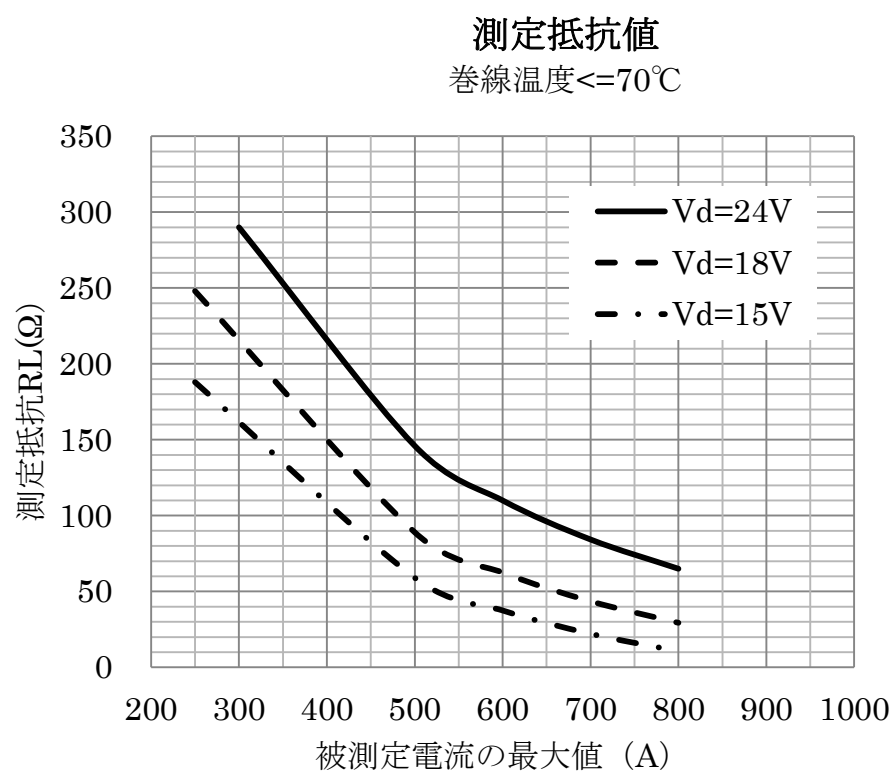


Fig7 測定抵抗の値 (巻線温度=70℃以下の場合)

測定抵抗 RL の最低値

出力電流は、負帰還用巻線、AMP の最終段トランジスタ Q1、Q2 等の各部品を通過する。このときセンサの内部には式 8 に示す出力電流に伴う電力損失 P_{INT} が発生する。

$$P_{INT} = I_O \{Vd - RL \times I_O\} \quad \text{ここで、} I_O : \text{出力電流} \quad \text{式 8}$$

$$\approx Vd \times I_O - RL \times I_O^2$$

出力電流に伴う内部損失 P_{INT} は、出力電流が一定の場合、電源電圧が大きいほどまた測定抵抗が小さいほど大きくなる。そのため、電源電圧 24V の場合には測定抵抗の最低値を 5Ω 以上に制限を設けている。

なお、内部損失による制約から連続動作が可能な被測定電流の大きさは定格電流値の 500A までである。

測定抵抗 RL の選定例

条件 電源電圧 Vd プラス側 $24V \pm 10\%$ マイナス側 $-24V \pm 10\%$

被計測電流の最大値 I_{MAX} 750A

巻線温度の最大値 70°C

選定結果 下記の①及び②より、測定抵抗 $RL = 58\Omega$ とする。

① 測定抵抗の最大値

測定抵抗は抵抗値が大きい方ほど検出電圧が高くなるためノイズに強くなることから、できるだけ高めの抵抗値を選定する。

□まず、Fig8 の電源電圧 24V の実線カーブから測定抵抗の抵抗値は 74Ω となる。

□次に、電源電圧 10%の低下分を考慮する。

$$\text{式 6 から、} RL = Vd \times \frac{5000}{I_{MAX}} - v_{RE} \times \frac{5000}{I_{MAX}} - R_S \quad \text{となるから、電源電圧 10\%低下に伴う測定抵抗の許容最}$$

$$\text{大抵抗値に与える影響は、} 24 \times 0.1 \times \frac{5000}{750} = 16\Omega \quad \text{となり、} 74\Omega \text{ から } 16\Omega \text{ を差し引かなければならない。}$$

従って、測定抵抗の値は、 $74\Omega - 16\Omega = 58\Omega$ となる。

② 測定抵抗の最低値

測定抵抗は抵抗値が低いほどセンサの内部損失を増大する。それに伴う測定抵抗の制約条件は、周囲温度 70°C 電源電圧 $\pm 24V$ の場合に 5Ω 以上となっているので、 $RL = 58\Omega$ は測定抵抗の最低値の条件を満たす。

(注意) 連続測定条件

連続して通電できる被測定電流は、500A 以下である。

従って、750A の通電時間には制約があり、実機にて評価が必要となる。

オフセット電流

オフセット電流 I_{of} とは、測定電流=0A のときの出力電流である。オフセット電流の標準値は 0mA であるが $\pm 0.4\text{mA}$ の偏差を持つ。定格電流を測定している場合は $\pm 0.4\%$ 以内の誤差要因となる。定格電流の 2 倍の電流を測定する場合のオフセット電流の影響は、 $1/2$ に減少し、 $\pm 0.2\%$ 以内に誤差を圧縮できる。一方、定格電流の $1/2$ の電流を測定すると出力電流 50mA であるから、オフセット電流 $\pm 0.4\text{mA}$ の誤差は、 $\pm 0.8\%$ 以内という数値に増大する。

誤差をできるだけ少なくするためには、測定電流に適合した定格電流のセンサを選定する必要がある。

必要以上に定格電流の高いセンサを選定すると、オフセット電流による測定誤差が増大する。

出力直線性

出力直線性とは、センサの入出力特性を近似する直線とセンサ出力との差異で、その差異のフルスケールに対する比率 (%) を出力直線性 ε_L と定義する。Fig9 における測定点 J の出力直線性の算出式は式 9 である。

$$\varepsilon_L|_J = \frac{\Delta_J}{I_O} \times 100 \quad (\%) \quad \text{式 9}$$

I_O : 定格出力電流 (A)

Δ_J : 測定電流 I_J におけるセンサ出力電流の近似直線との差電流 (A)

I_f : 定格電流 (A)

I_J : 測定点 J の測定電流 (A)

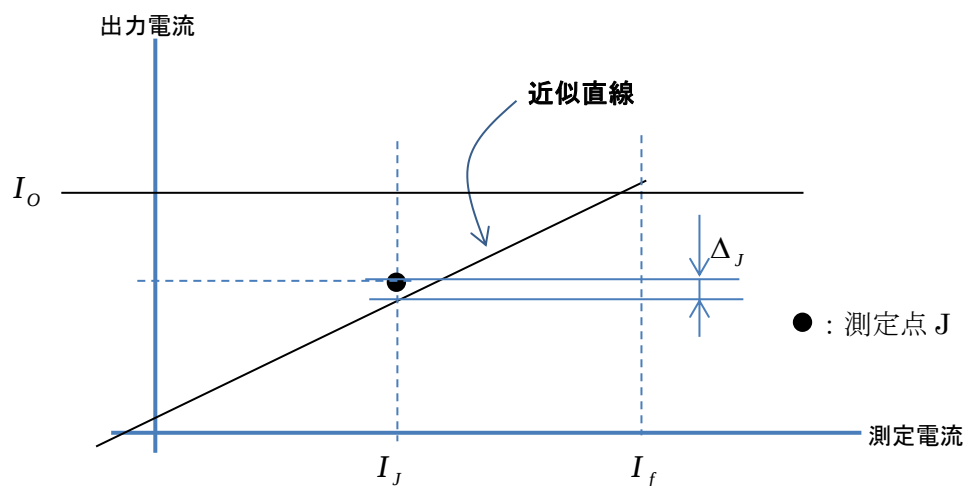


Fig9 出力直線性

ヒステリシス誤差

ヒステリシス誤差は、コアのヒステリシス特性により発生する。被測定電流が 0A の状態から 1500A まで増大した後再び 0A の状態に戻った時、出力電流は元の値に対して最大±0.2mA の差異が発生する。この差異をヒステリシス誤差と言う。

動作中に被測定電流が増減したとき、このヒステリシス誤差が発生する。誤差の量は被測定電流の変化量に関係する。増減の幅が大きいほどヒステリシス誤差は大きくなる。

総合検出精度 $\Delta_{TOTAL} \Big|_{t1 \leftrightarrow t2}^{I_{in}}$

センサの総合検出精度は、被測定電流 I_{in} 、周囲温度が $t1^{\circ}\text{C}$ から $t2^{\circ}\text{C}$ の場合、周囲温度 25°C を基準として式 10 の誤差となる。

$$\Delta_{TOTAL} \Big|_{t1 \leftrightarrow t2}^{I_{in}} = X_G + \{TcI_O \times \Delta T\} + \left(\frac{\Delta I_{of} + TcI_{of} \Big|_{t1 \leftrightarrow t2} + I_{OH}}{I_{OUT}} \right) \times 100 \quad \text{式 10}$$

ただし、 $\Delta T = t1 - 25$ 又は $\Delta T = t2 - 25$

$\Delta_{T O} \Big|_{t1 \leftrightarrow t2}^{I_{in}}$: 被測定電流 I_{in} における周囲温度範囲 $t1^{\circ}\text{C}$ から $t2^{\circ}\text{C}$ での周囲温度 25°C を基準とした総合検出精度 (%)

I_{OUT} : 被測定電流 I_{in} に対応する出力電流 (A)

ΔI_o : 25°C におけるオフセット電流の偏差 (A) Table3 N02

I_{OH} : ヒステリシス誤差 (A) Table3 N04

TcI : 出力電流温度係数 (%/ $^{\circ}\text{C}$) Table3 N05

$TcI_{of} \Big|_{t1 \leftrightarrow t2}$: 温度範囲 $t1^{\circ}\text{C}$ から $t2^{\circ}\text{C}$ におけるオフセット電流偏差の最大変動量 (A)

Table3 S28S シリーズ 出力電流精度の偏差項目

Ta=25°C

NO	項目	記号	規格値 (max)	記事
1	出力電流精度	X_G	±0.5%以内	
2	オフセット電流の偏差	ΔI_{of}	±0.0004A 以内	
3	出力直線性	ε_L	±0.1%以内	
4	ヒステリシス誤差	I_{OH}	±0.0002A 以内	
5	出力電流温度係数	TcI_o	±0.01%/°C	オフセット電流の変動分を除く
6	オフセット電流温度係数	$TcI_{of} _{-40\leftrightarrow+70}$	±0.4mAmax	-40°C~+70°C

① 定格電流を測定している場合の総合検出精度

Table3 の各項目及び式 10 から定格電流 I_f を計測する場合の総合検出精度は、

定格出力電流を I_o として Table4 となる。

Table4 定格電流測定時の総合検出精度

周囲温度	精度 Δ_{TOTAL}	記事
25°C	±1.1%	*
-10°C~+70°C	±2.0%	**

$$* \Delta_{TOTAL}|_{25}^{I_f} = X_G + \left(\frac{\Delta I_{of} + I_{OH}}{I_o} \right) \times 100 \quad (\%)$$

$$** \Delta_{TOTAL}|_{-10\leftrightarrow+70}^{I_f} = X_G + (TcI_o \times 45) + \left(\frac{\Delta I_{of} + TcI_{of}|_{-10\leftrightarrow+70} + I_{OH}}{I_o} \right) \times 100 \quad (\%)$$

この場合、 $\Delta T = 45$ とした。

② $\frac{1}{2}$ 定格電流 $\frac{I_f}{2}$ を測定している場合の総合検出精度

Table3 の各項目及び式 10 から被測定電流 $\frac{I_f}{2}$ を計測する場合の総合検出精度は、Table5 となる。

ここで、 I_o は、定格出力電流 (A) である。

Table5 $\frac{1}{2}$ 定格電流測定時の総合検出精度

周囲温度	精度 Δ_{TOTAL}	記事
25°C	$\pm 1.8\%$	*
-10°C~+70°C	$\pm 3.1\%$	**

$$* \quad \Delta_{TOTAL} \left| \frac{I_f}{2} \right|_{25} = X_G + \varepsilon_L + \left(\frac{\Delta I_{of} + I_{OH}}{0.5 \times I_o} \right) \times 100 \quad (\%)$$

$$** \quad \Delta_{TOTAL} \left| \frac{I_f}{2} \right|_{-10 \sim +70} = X_G + \varepsilon_L + (TcI_o \times 45) + \left(\frac{\Delta I_{of} + TcI_{of}|_{-10 \sim +70} + I_{OH}}{0.5 \times I_o} \right) \times 100 \quad (\%)$$

この場合、 $\Delta T = 45$ とした。

電源

プラスマイナス電源は、センサの消費電流以外に出力電流を供給する。従って、それらを含んだ電流を供給できるだけの十分な電流供給能力が必要である。

また、カレントトランスとして動作する場合は、センサに内蔵した負帰還用巻線から出力電流が供給されて、プラスマイナスの各電源に出力電流が通過するので、電源の出力コンデンサは 10uF 以上が必要である。必要によりセンサの +Vcc 端子、-Vcc 端子と GND 間に 10uF 程度のセラミックコンデンサを挿入する。

以上