

シャントレギュレータとは

トランジスタやFETを用いて電流を連続的に制御する方式をリニアレギュレータと呼びます。

リニアレギュレータには、次の二つの方式に分けられます。(図1)

- ・シリーズレギュレータ：負荷に対し制御素子が直列に入る方式、直列制御型とも呼ばれます。
- ・シャントレギュレータ：負荷に対し制御素子が並列に入る方式、並列制御型とも呼ばれます。

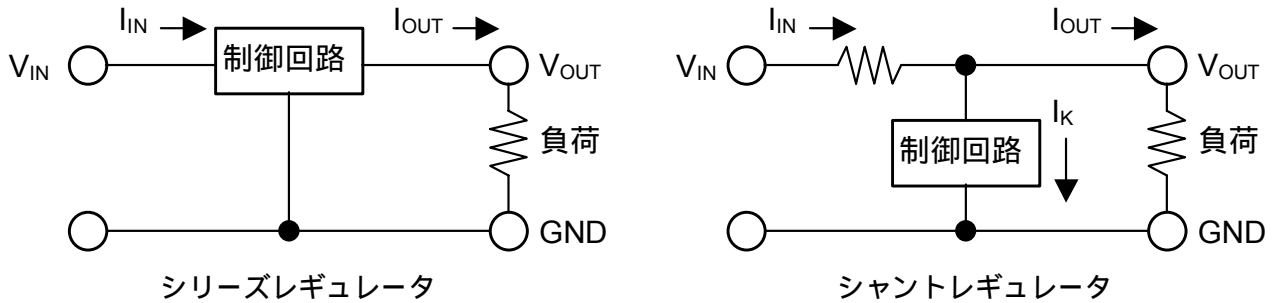


図1 リニアレギュレータの制御方式

シャントレギュレータは、出力電流 I_{OUT} を流していない時、カソード電流 I_K を引き込み、出力電流 I_{OUT} を流している時は、カソード電流を引き込みません。

この動作により入力電流 I_{IN} は一定に保たれ、抵抗 R_S に発生する電位差を一定とします。

その為、出力電圧は定電圧化される仕組みになっています。(図2)

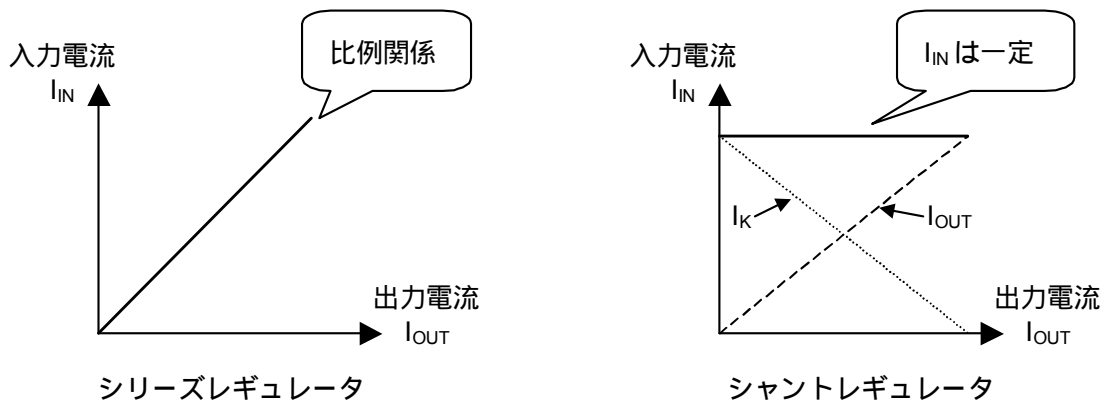


図2 出力電流と入力電流の関係

シャントレギュレータは、シリーズレギュレータと異なり、設定された電流を流し続けます。その為、無効電力が大きくなりやすく、大電流のアプリケーションには向いていません。

小電流しか必要としない基準電圧生成や、後に示すフォトカプラ駆動、定電流源用途として使われるのが一般的です。

Shunt Regulator Application Manual

図3にシャントレギュレータの定電圧回路を示します。

一般的に専用IC（以下シャントレギュレータIC）を使う方法とツェナーダイオードと使う方法があります。構成がよく似ておりますが、シャントレギュレータICは、温度補償された基準電圧回路を内蔵した制御ICであり、ツェナーダイオードに比べて、高精度、温度特性が優れている特徴を持ちます。

シャントレギュレータICとツェナーダイオードを用いた場合の比較を表1に示します。

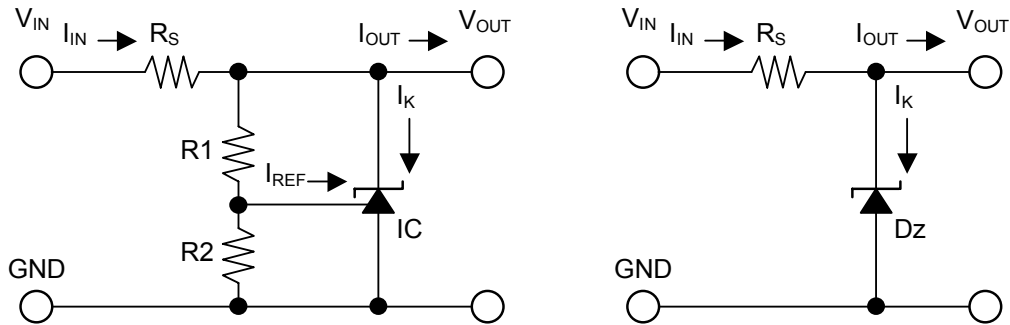


図3 シャントレギュレータの定電圧回路

表1 シャントレギュレータICとツェナーダイオードの特徴比較

	シャントレギュレータIC	ツェナーダイオード
基準電圧精度	$\pm 0.7\% \sim \pm 2\%$	$\pm \text{数}\% \sim \pm 10\%$
設定出力電圧	外付け抵抗によって調整可能 $V_{ref} \sim \text{ICの耐圧}$	200V程度まで有り
温度変化率	優れている	劣っている
最小カソード電流	小さい(製品によって異なる) NJM2820の場合、80uA typ.	大きい(数mA) 電流抑えると電圧精度が悪くなる
ターンオン特性	優れている	劣っている
位相補償	回路構成によっては必要	不要

ブロック図を図4に示します。高精度基準電圧と非反転入力端子電圧がアンプで比較され、出力トランジスタをコントロールする仕組みです。非反転入力端子の電位は、基準電圧と同電位になるように制御がかかります。抵抗分割により電位を与えることで、 $V_{ref} \sim \text{IC}$ 耐圧の範囲で、任意に出力電圧を設定することができます。

シャントレギュレータの多くが、スイッチングレギュレータのフォトカプラ駆動に用いられています。

2次側で検出した出力電圧を1次側へフィードバックする場合、安全を確保するためにフォトカプラで電気的な絶縁を要求します。フォトカプラの駆動には、シャントレギュレータを用いて電源の高精度化に貢献しています。

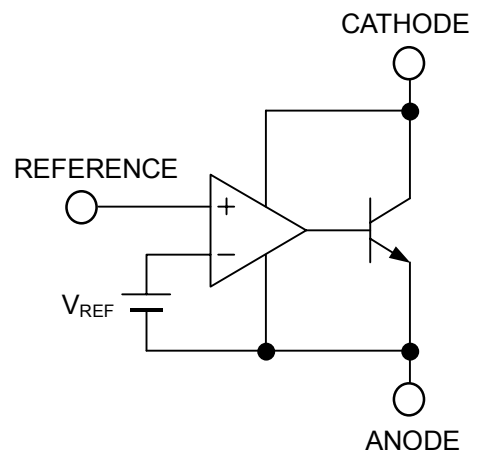


図4 シャントレギュレータICのブロック図

近年、ADコンバータ、DAコンバータ、DSPの基準電圧源としての使われ方も増えてきました。

セットの低電圧化、高精度制御にともない、高精度基準電圧が必要になるためです。

シャントレギュレータICの低消費化も可能になったことで、必要とするアプリケーションが増えていくでしょう。

Shunt Regulator Application Manual

カタログの見方

代表的なシャントレギュレータ IC である NJM431 を例に解説します。

NJM431 の絶対最大定格について

あらゆる条件のもとで、瞬時たりとも越えてはならない限界値です。この値を越えた場合、特性が劣化し、素子が破壊することがあります。これら全ての項目を十分に満たした設計が必要です。

IC が定格値を越えた状態に瞬時たりともおかれた場合は、たとえ定格内に復帰させても、正常な動作、特性を保証することはできません。

(Ta= 25°C)

項目	記号	定格	単位
カソード電圧	V_{KA}	37	V
連続カソード電流範囲	I_{KA}	-100 ~ 150	mA
基準入力電流範囲	I_{REF}	-0.05 ~ 10	mA
消費電力	P_D	(L タイプ) 500 (D タイプ) 700 (U タイプ) 350 (M タイプ) 300	mW
動作温度範囲	T_{OPR}	-40 ~ +85	°C
保存温度範囲	T_{STG}	-40 ~ +125	°C

NJM431 の推奨動作条件について

IC のもつ動作、特性が十分に期待できる動作条件の範囲です。

(Ta=25°C)

項目	記号	最小	標準	最大	単位
カソード電圧	V_{KA}	V_{REF}	-	36	V
カソード電流	I_K	1	-	100	mA

NJM431 の電気的特性について

記載された条件における IC の電気的諸特性を示します。

最大値 / 最小値の記入してある項目は、原則として全数試験を実施しています。標準値のみの項目は設計値または分布中心値を示し、試験を実施しません。

電気的特性には、特性表の一番上に必ず測定条件や雰囲気温度等の諸条件が示してあります。特性表の条件で明記されていない限りは、その条件で試験します。

(Ta=25°C)

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位	
基準電圧	V_{REF}	$V_{KA}=V_{REF}$, $I_K=10mA$	2440	2495	2550	mV	
全動作温度範囲内 基準電圧変動	V_{REF} (dev)	$V_{KA}=V_{REF}$, $I_K=10mA$ $T_a=-20°C \sim +85°C$	-	8	17	mV	
基準電圧変動 対 カソード電圧変動	$\Delta V_{REF}/$ ΔV_{KA}	$I_K=10mA$	$\Delta V_{KA}=10V-V_{REF}$	-	-1.4	-2.7	mV/V
			$\Delta V_{KA}=36V-10V$	-	-1	-2	mV/V
基準入力電流	I_{REF}	$I_K=10mA$, $R1=10k\Omega$, $R2=$	-	2	4	μA	
全動作温度範囲内 基準入力電流変動	I_{REF} (dev)	$I_K=10mA$, $R1=10k\Omega$, $R2=$ $T_a=-20°C \sim +85°C$	-	0.4	1.2	μA	
最小入力電流	I_{MIN}	$V_{KA}=V_{REF}$	-	0.4	1.0	mA	
オフ状態カソード電流	I_{OFF}	$V_{KA}=36V$, $V_{REF}=0V$	-	0.1	1.0	μA	
ダイナミック インピーダンス	$ Z_{KA} $	$V_{KA}=V_{REF}$, $I_K=1mA \sim 100mA$ f 1kHz	-	0.2	0.5	Ω	

Shunt Regulator Application Manual

電気的特性の各項目について説明します。

基準電圧 V_{REF}

REFERENCE 端子における IC の基準電圧を表します。

REFERENCE 端子電圧が IC の基準電圧を超えた時、カソード電流を流す制御を行います。

図 5 に基準電圧対カソード電流特性例を示します。

全動作温度範囲内 基準電圧変動 $V_{REF}(dev)$

基準電圧の温度変動を示します。ツェナーダイオードと異なり、温度補償された基準電圧回路を用いているため、温度特性が優れています。図 6 に基準電圧温度特性例を示します。

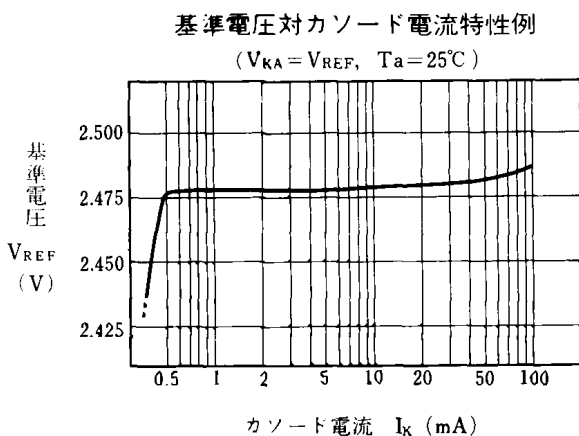


図 5 基準電圧対カソード電流特性例

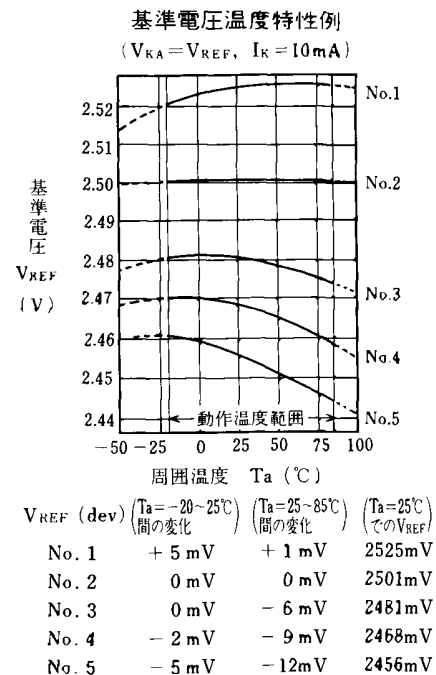


図 6 基準電圧温度特性例

基準電圧変動対カソード電圧変動 $\Delta V_{REF}/\Delta V_{KA}$

カソード電圧を変化させた場合の基準電圧変動を示します。図 7 に基準電圧対カソード電圧特性例を示します。

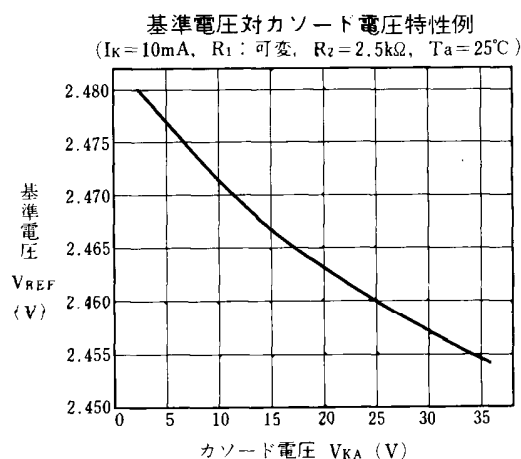


図 7 基準電圧対カソード電圧特性例

Shunt Regulator Application Manual

基準入力電流 I_{REF}

REFERENCE 端子における、内部トランジスタ駆動に必要なバイアス電流です。基準入力電流が確保できないと、内部トランジスタを動作できないため、制御ができなくなります。

また出力電圧を設定する抵抗が大きい場合、基準入力電流による誤差が発生するため注意が必要です。

全動作温度範囲内 基準入力電流変動 $I_{REF(dev)}$

基準入力電流の温度変動を表します。

図8に基準入力電流温度特性例を示します。

最小入力電流 I_{MIN}

ICの消費電流を表します。最小入力電流を満足できない場合、基準電圧回路が正常動作しないため、基準電圧が低下します。また安定動作領域を確保する意味で、推奨条件を設けられる場合もあります。

オフ状態カソード電流 I_{OFF}

ICの出力段をOFFにした時にカソード・アノード間に流れるリーク電流を示します。アプリケーションで外付けトランジスタを接続した場合、このリーク電流によって、外付けトランジスタが誤動作しないように設計してください。

ダイナミックインピーダンス $|Z_{KA}|$

交流成分が入った場合のインピーダンスを表します。一般的に周波数が高くなる程、インピーダンスが上昇します。図9にダイナミックインピーダンス対カソード電流周波数特性を示します。

安定動作境界条件について

シャントレギュレータの特性例には、安定動作境界条件(図10)があります。これは出力容量によって、ある条件下で発振することを示したグラフです。安定曲線の外側で使うようにしてください。

シャントレギュレータ単体での位相補償が困難な場合、CATHODE 端子 - REFERENCE 端子間にコンデンサや抵抗をつけることで調整することも可能です。

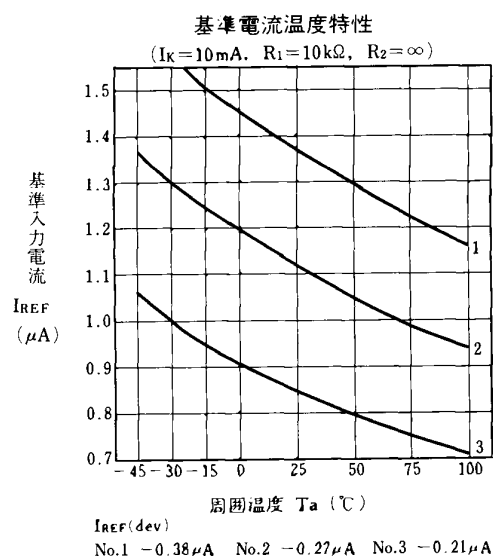


図8 基準入力電流温度特性例

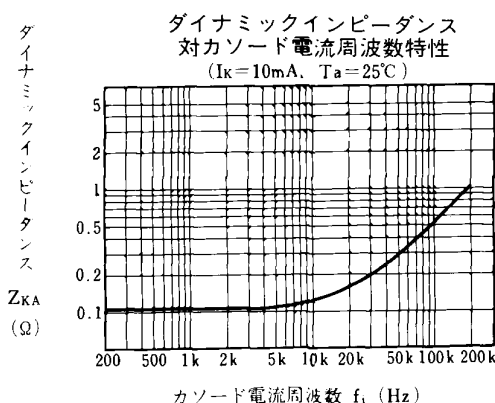
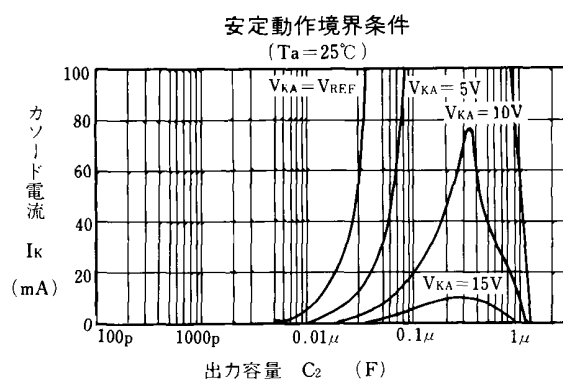


図9 ダイナミックインピーダンス対カソード電流周波数特性



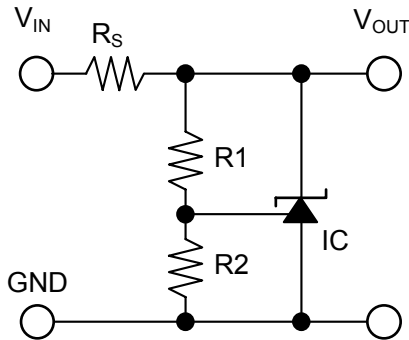
(注) 安定曲線の内側で動作させると、発振する場合があります。使用に際しては、デバイスのバラツキを考慮して十分なマージンを取り御使用下さい。

図10 安定動作境界条件

Shunt Regulator Application Manual

各回路の動作原理

シャントレギュレータ回路 (基準電圧源)



$$V_{OUT} = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R_1$$

抵抗 R_S は、IC の最小カソード電流以上流せるように設定してください。

設計例 (条件: IC=NJM431L(PKG:TO-92), $V_{IN}=8V$, $V_{OUT}=5V$, $I_{OUT}=20mA$)

出力電圧の設定

出力電圧 V_{OUT} は、抵抗 R_1 と R_2 で決定します。
 $R_1=R_2=10k$ とした場合、次の様に求められます。

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R_1 \\ &= \left(\frac{10k\Omega}{10k\Omega} + 1 \right) \times 2.495V + 2\mu A \times 10k\Omega \\ &= 5.01V \end{aligned}$$

抵抗 R_1 が大きくなると基準入力電流 I_{REF} による出力電圧誤差が大きくなります。なるべく抵抗 R_1 を小さくし、基準入力電流による影響を低減させます。

入力電流の確認

入力電流 I_{IN} を求めます。
 IC の最小カソード電流 I_k が $1mA$ ですので、余裕をみて $5mA$ とします。
 $I_{IN} = I_{OUT} + I_k = 20mA + 5mA = 25mA$

なお入力電流が $100mA$ 以上となる場合は、NJM431 の最大カソード電流の推奨値を超えないように注意してください。
 後に示す、High Current 回路等を検討してください。

抵抗 R_S の設定

抵抗 R_S に発生する電圧 V_{RS} は、次の様に表せます。
 $V_{RS} = R_S \times I_{IN} \dots (1)$

入力、出力、抵抗 R_S に発生する電圧 V_{RS} は、次の様に表せます。
 $V_{IN} = V_{OUT} + V_{RS} \dots (2)$

(2) 式に (1) を代入すると、

$$\begin{aligned} V_{IN} &= V_{OUT} + R_S \times I_{IN} \\ R_S &= \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{I_{IN}} \end{aligned}$$

と展開できます。

この式に、各種条件を代入すると、

$$R_S = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{I_{IN}} = \frac{8V - 5V}{25mA} = 120\Omega$$

と求められます。

抵抗 R_S の消費電力

抵抗 R_S の消費電力 P_{RS} は、
 $P_{RS} = I_{IN}^2 \times R_S = 25mA^2 \times 120 = 75mW$
 と求められます。

NJM431 の消費電力

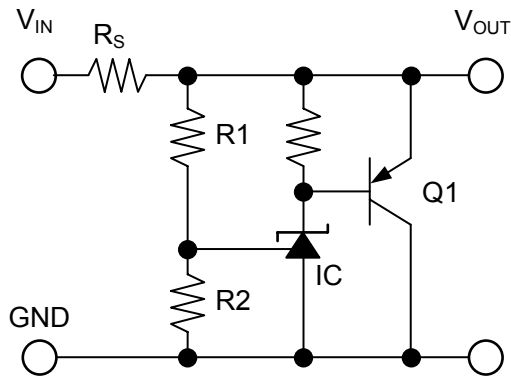
NJM431 の消費する電力 P_{LOSS} は、
 $P_{LOSS} = V_{OUT} \times I_{IN} = 5V \times 25mA = 125mW$
 と求められます。

NJM431L の消費電力 P_D は、絶対最大定格より $500mW (Ta=25)$ です。
 $P_{LOSS} < P_D$ ですので、 $Ta=25$ 時では問題ありません。

使用環境によって周囲温度が高くなる場合、消費電力対周囲温度特性例などのグラフを用いて、許容できるか確認してください。

Shunt Regulator Application Manual

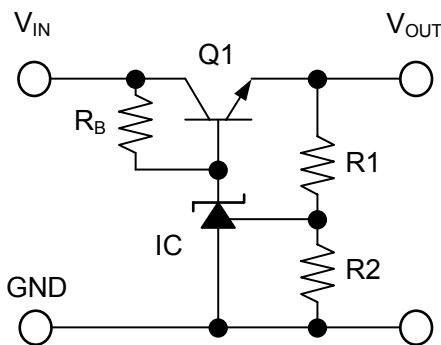
シャントレギュレータ回路 (High Current)



$$V_{OUT} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R1$$

Q1 の PNP トランジスタにより、電流ブーストをしています。
抵抗 R_S は、IC の最小カソード電流以上流せるように設定してください。

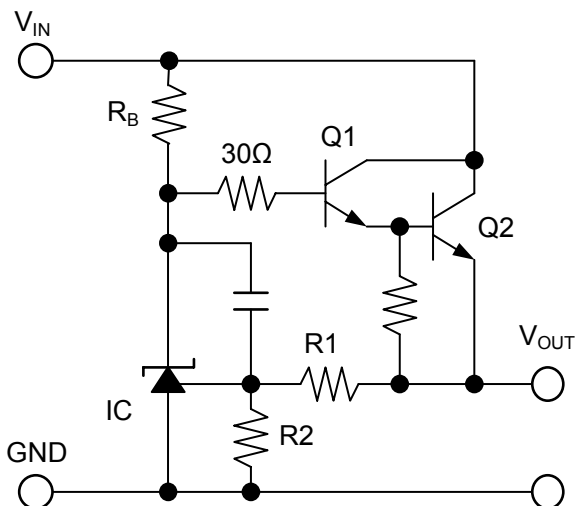
シリーズ回路



$$V_{OUT} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R1$$

Q1 の NPN トランジスタにより、シリーズレギュレータを構成にしています。
抵抗 R_B は、IC の最小カソード電流以上流せるように設定してください。

シリーズ回路 (High Current)

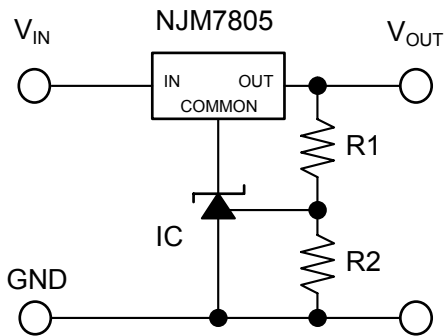


$$V_{OUT} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R1$$

Q1 と Q2 の NPN トランジスタにより、ダーリントンタイプのシリーズレギュレータを構成にしています。入出力間電位差が大きくなりますが、 h_{FE} を大きく取れるため、大電流アプリケーションに向いています。
抵抗 R_B は、IC の最小カソード電流以上流せるように設定してください。

Shunt Regulator Application Manual

三端子電源出力電圧調整用

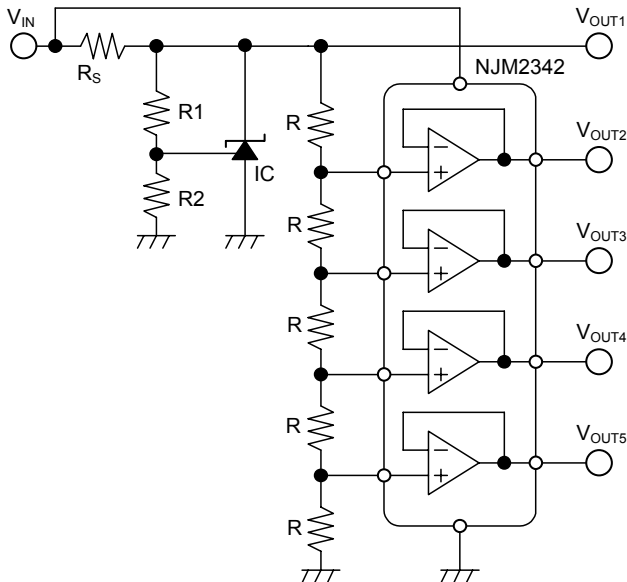


$$V_{OUT} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R1$$

$$\text{Min } V_{OUT} = V_{REF} + 5V$$

NJM7805 の GND 端子電位をシャントレギュレータで持ち上げて出力電圧を可変します。

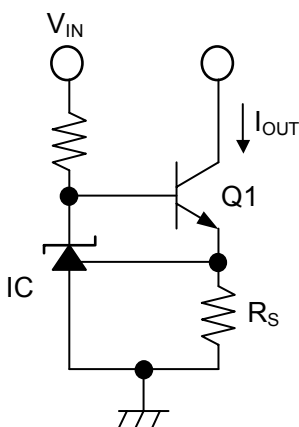
多出力基準電圧源 (シャントレギュレータ IC+NJM2342)



$$V_{OUT1} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R1$$

シャントレギュレータ IC で基準電圧 V_{OUT1} を作り、抵抗分割 R で複数の基準電圧を生成します。
NJM2342 (リファレンス回路用 4 回路入りバッファ IC) によって、各リファレンスの電流を流せるようにしています。

定電流回路

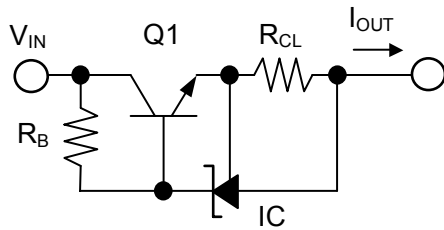


$$I_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R_S}$$

抵抗 R_S の両端に発生する電位が、シャントレギュレータ IC の基準電圧になるように制御がかかります。

Shunt Regulator Application Manual

高精度過電流保護回路

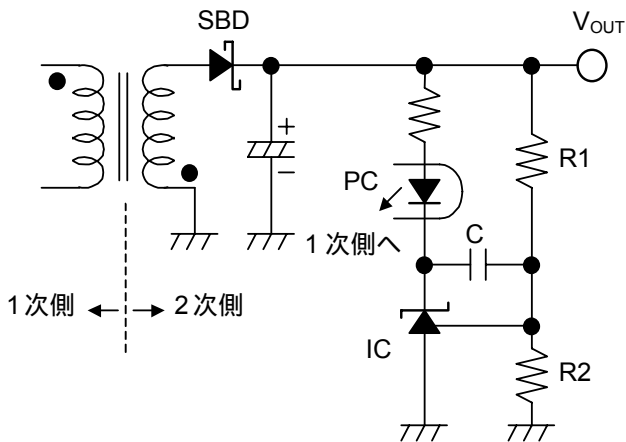


$$I_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R_{CL}} + I_{KA}$$

$$R_B = \frac{V_{IN}}{\left(\frac{I_{OUT}}{h_{FE}} + I_{KA} \right)}$$

抵抗 R_{CL} の両端に発生する電位が、シャントレギュレータ IC の基準電圧に以上になった場合、NPN トランジスタ Q1 を OFF するように制御がかかります。

フォトカプラ駆動



$$V_{OUT1} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \times V_{REF} + I_{REF} \times R1$$

フライバック回路の絶縁アプリケーションです。IC の基準電圧を超えた際に、フォトカプラ PC が ON して 1 次側へ信号をフィードバックします。C は、位相補償用のコンデンサです。アプリケーションによって調整します。

Shunt Regulator Application Manual

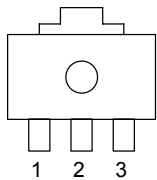
製品ラインアップ

	基準電圧 [V]	精度 [%]	カソード電圧 [V]	カソード電流 [mA] max.	最小カソード電流 [uA] typ.	パッケージ					
						TO-92	SOT-89	MTP5	DIP8	DMP8	EMP8
NJM431	2.495	±2	36	100	400						
NJM2380	2.465	±2	18	100	400						
NJM2380A	2.465	±1	18	100	400						
NJM2390	2.465	±2	18	100	400						
NJM2390A	2.465	±1	18	100	400						
NJM2373	1.25	±2	13	30	80						
NJM2373A	1.25	±1	13	30	80						
NJM2376	1.25	±1	13	30	80						
NJM2820	1.25	±0.7	13	30	80						
NJM2821	1.25	±0.7	13	30	80						
NJM2822	1.25	±0.7	13	30	80						

ピン配置

SOT-89 パッケージ

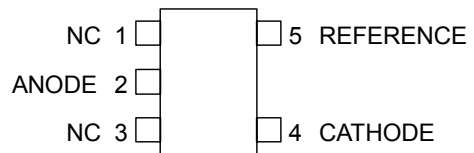
ピン配置



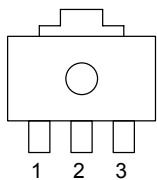
1. REFERENCE
2. ANODE
3. CATHODE

MTP5 パッケージ

ピン配置

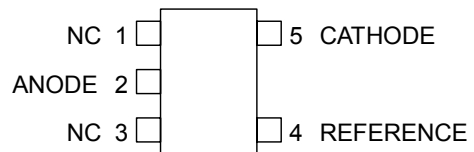


ピン配置

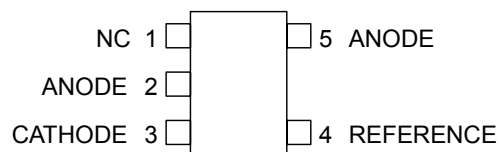


1. CATHODE
2. ANODE
3. REFERENCE

ピン配置



ピン配置



MEMO

<注意事項>

このデータブックの掲載内容の正確さには万全を期しておりますが、掲載内容について何らかの法的な保証を行うものではありません。とくに応用回路については、製品の代表的な応用例を説明するためのものです。また、工業所有権その他の権利の実施権の許諾を伴うものではなく、第三者の権利を侵害しないことを保証するものではありません。