

TR

ホームのトランジスタを 安心してお使いいただくために..。

トランジスタを動作させると電氣的、熱的な負荷がかかります。
負荷がトランジスタにとって大きすぎると寿命が短くなったり、最悪の場合、
破壊することもあります。そこで、そのような事が起こらない様に実使用状態を
チェックし、使用上問題がないか確認する必要があります。

この資料では上記のための具体的な判定方法を解説しました。
安全に使用して戴くため、是非参考にしてください。

① トランジスタの選定

ROHM TR / ホームページ
[http://www.rohm.co.jp/products/
discrete/transistor/](http://www.rohm.co.jp/products/discrete/transistor/)



(web、ショートフォームより仕様を満たすトランジスタを選定)

② トランジスタの スペック・サンプルを入手

ROHM TR / ホームページ
[http://www.rohm.co.jp/products/
discrete/transistor/](http://www.rohm.co.jp/products/discrete/transistor/)

サンプル ダイレクト販売
<https://direct.rohm.co.jp/jp/index.asp>



(サンプルの一部はwebから入手可能です
今後、ショートフォーム記載全品番登録予定)

③ 実際の回路 (評価回路) に トランジスタを実装

ご確認ください

- ☆ 選定したトランジスタが実際の回路で安全に動作するか？
- ☆ 動作はしたが、長期的 (信頼性的) に安定して動作するか？
などなど、電氣的マージンも考える必要があります。

そこで！

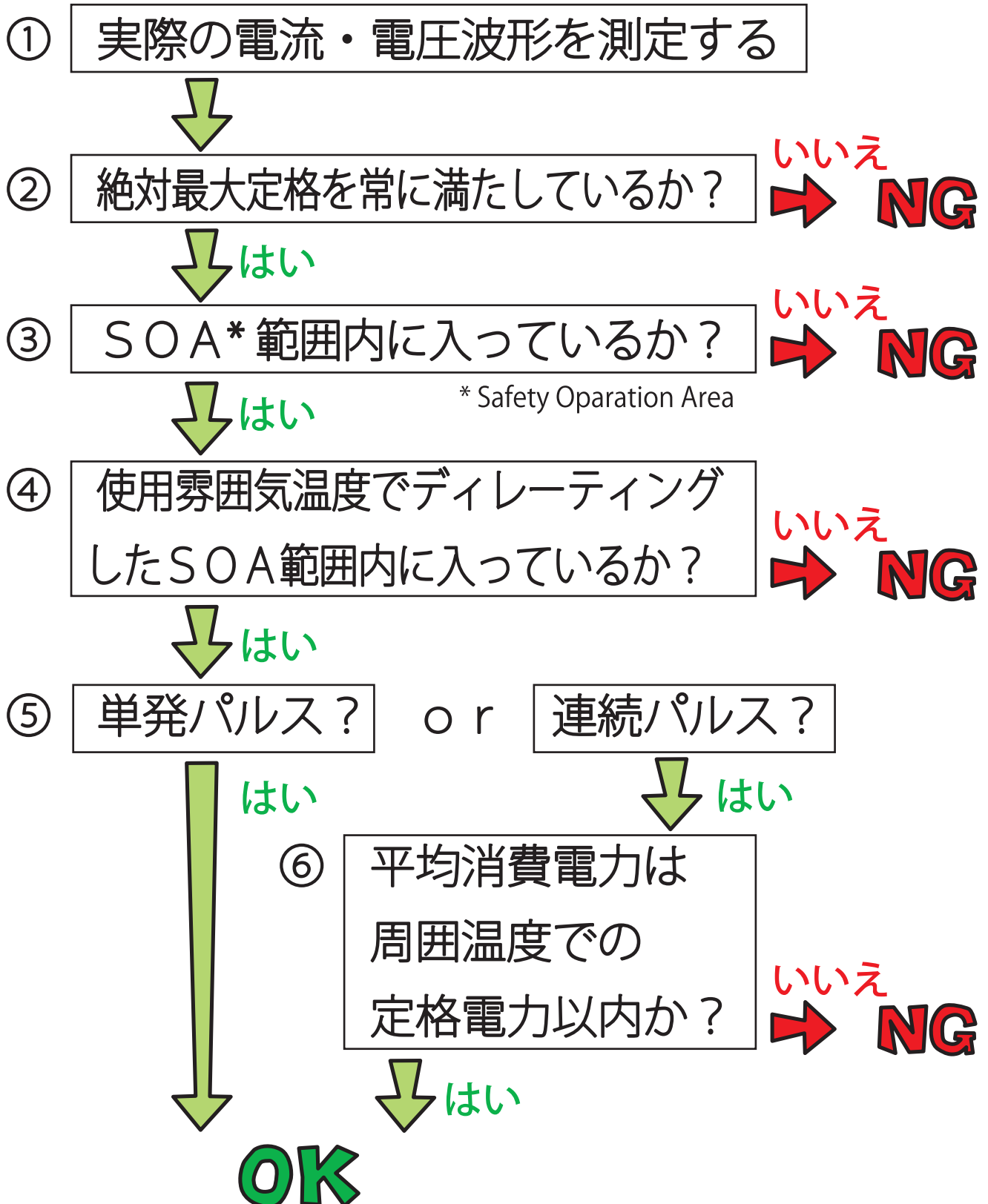
トランジスタの使用検討 (可否) を確認してみよう！

TR

使用可否判定方法

使用可否の判定は下記のような流れで行います。

次頁より、それぞれの手順について詳しく説明します。



① 実際の電流・電圧波形を測定する

電流・電圧の確認

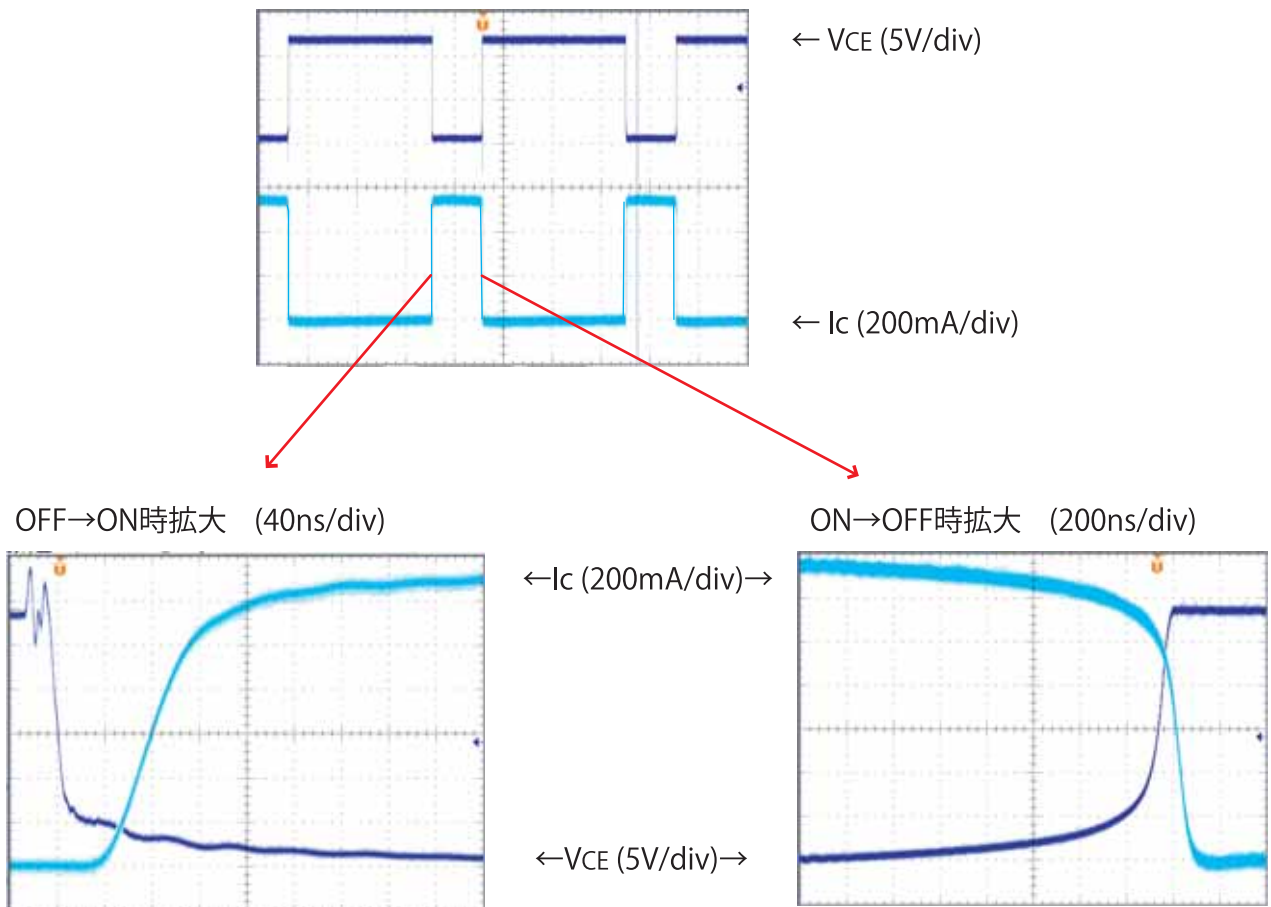
まず、トランジスタにかかっている電圧、電流をオシロスコープで確認します。

仕様書に記載してある定格を全て満たすことが必要ですが、特に確認すべき項目は以下のとおりです。

特に確認すべき項目

トランジスタの種類	電 圧	電 流
バイポーラトランジスタ	コレクタ-エミッタ間電圧：VCE	コレクタ電流：Ic
デジトラ	出力電圧：Vo (GND-OUT間電圧)	出力電流：Io
MOSFET	ドレイン-ソース間電圧：VDS	ドレイン電流：ID

例 2SD2673をスイッチングさせたときの波形 (100 μ s/div)



あとでスイッチング時の電力損失を計算するため、OFF→ON時とON→OFF時は拡大波形を確認します。

② 絶対最大定格を常に満たしているか？

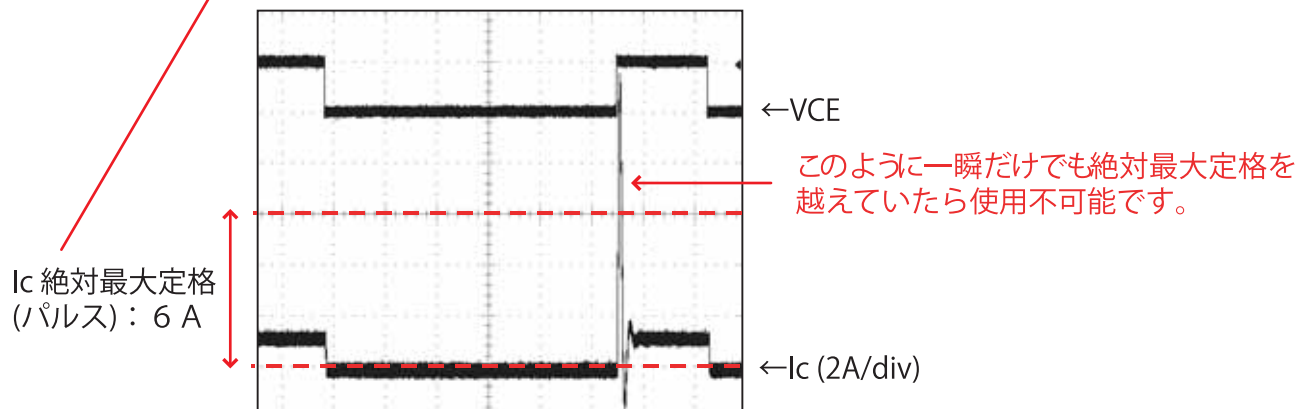
絶対最大定格の確認

①で確認した電流・電圧が、仕様書に記載してある絶対最大定格を越えていないか確認します。
 ①の例では確認していない項目もありますが、それらも全て絶対最大定格以下である必要があります。
 突入電流や電圧サージによって一瞬でも絶対最大定格を越えていたら使用不可能です。
 絶対最大定格を越えると破壊や劣化の可能性があります。

例 2SD2673の仕様書 (絶対最大定格の記載)

4. 絶対最大定格 [Ta=25°C]				
コレクタ - ベース間電圧	VCBO	...	30V ← VCBOが30Vを越えてないか？	
コレクタ - エミッタ間電圧	VCEO	...	30V ← (①の波形から) VCEが30Vを越えてないか？	
エミッタ - ベース間電圧	VEBO	...	6V ← VEBOが6Vを越えてないか？	
コレクタ電流	直流	IC	...	3A
	パルス	ICP	...	6A PW=1ms 単パルス ← (①の波形から) Icがパルス(1ms以下)で6Aを越えてないか？
コレクタ損失	PC	...	0.5W	各端子を推奨ソッドに実装した場合
				1W
ジャンクション温度	Tj	...	150°C	} 印加電力・ジャンクション温度の計算方法は⑥で解説しております。
保存温度	Tstg	...	-55~150°C	

例 一瞬だけ絶対最大定格を越えている例 (使用不可能)



③ SOA範囲内に入っているか？

安全動作領域 (SOA *1) の確認

安全動作領域 (SOA) はトランジスタが安全に動作できる領域を表します。

ただし、SOAは1パルスのみについてのデータであり、繰り返しパルスが入る場合は全てのパルスがSOA内に入っていることに加え、④で計算する平均印加電力が定格電力以下であることが必要です。

*1 SOA・・・安全動作領域 (Safety Operating Area) の略。

A SO (Area of Safe Operating) という場合もあります。

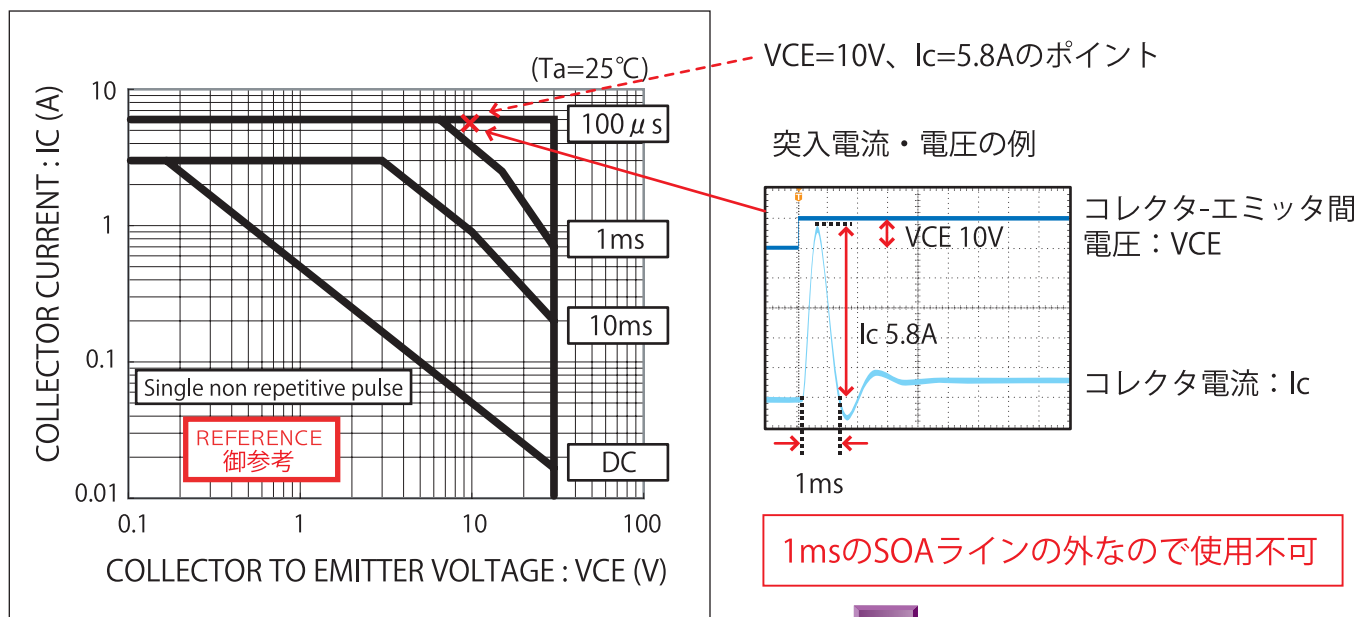
SOA 確認方法

①で確認した波形が、安全動作領域 (SOA) の範囲に入っているか確認します。

突入電流や電圧サージによって一瞬だけでも絶対最大定格を越えていたら使用不可能です。

また、②で確認した絶対最大定格の範囲内に入っているでもSOAの範囲を越えていることがあるのでご注意ください。(下の例、参照)

例 2SD2673 SAFETY OPERATING AREA



この波形の場合、電流は厳密には方形波ではありませんが余裕を考えて IC=5.8A、VCE=10V、PW=1ms の方形波として考えます。
この条件は、絶対最大定格以下ですが、安全動作領域を越えているため、使用不可です。

④ 使用雰囲気温度*1でディレーティングしたSOA範囲内に入っているか？

*1 使用雰囲気温度、またはトランジスタの発熱で温度上昇している場合はそのときの素子温度で考えます。

安全動作領域（SOA）の確認 Part. 2

通常の安全動作領域（SOA）は常温（25℃）でのデータなので、周囲温度が25℃以上のとき、またはトランジスタ自体の発熱で素子温度が上昇しているときはSOAデータの温度ディレーティングが必要です。

→SOAの温度ディレーティング方法

バイポーラ・デジトラ編 [④付属1](#)

MOSFET編 [④付属2](#) 参照

*ディレーティングする温度は、基本的には素子の温度です。

起動時など、トランジスタの発熱の影響がない場合

→ 素子温度 = 周囲温度と考え、周囲温度でディレーティングします。

トランジスタの発熱によって素子温度が上昇している場合

→ 発熱によるトランジスタの温度上昇を計算し、その温度でディレーティングします。

素子温度の詳しい計算方法は別紙『[素子温度の計算方法](#)』をご参照下さい。

④付属 1 SOA(安全動作領域)の温度ディレーティング方法

<バイポーラ・デジトラ編>

1.SOA(安全動作領域)

SOA(安全動作領域)は、周囲温度が25℃以上の場合、またはトランジスタ自体の発熱で素子温度が上昇している場合は温度ディレーティングする必要があります。

ディレーティングする温度は、前者の場合は周囲温度、後者の場合は素子温度です。

具体的には、SOAラインを低電流方向に平行移動します。

ディレーティング率は、図1で示すようにその領域によって異なります。

1-1. 熱制限領域

この領域では、SOAラインは45°の傾きを持っています(電力一定のライン)。

この領域では、ディレーティング率は0.8%/℃です。

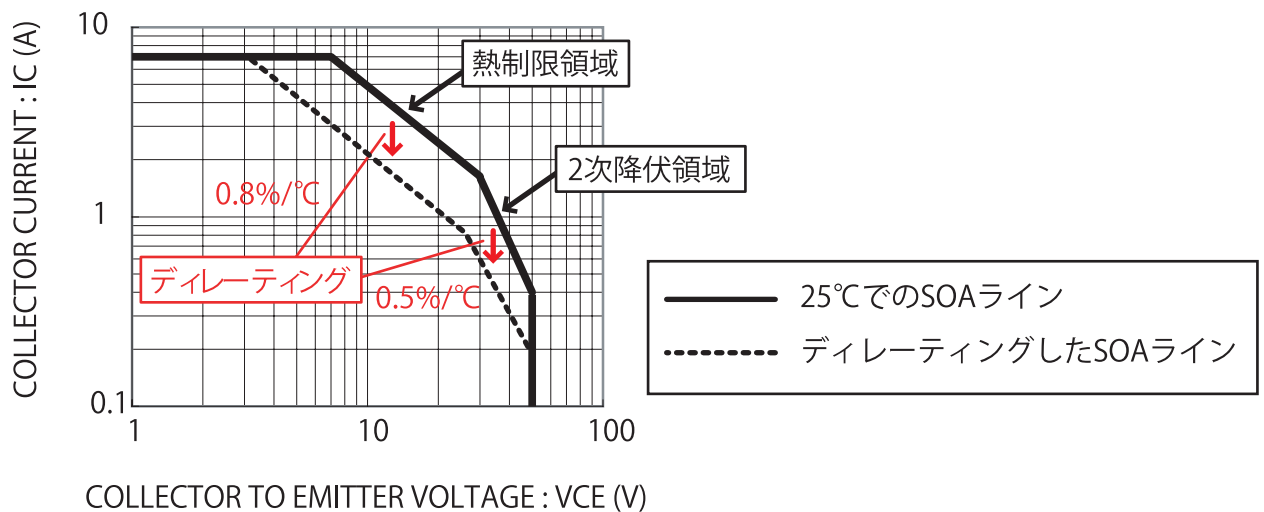
1-2. 次降伏領域

バイポーラトランジスタでは熱暴走を原因とする2次降伏領域が存在します。

2次降伏領域においてはSOAラインは45°以上の傾きをもっています。

この領域では、ディレーティング率は0.5%/℃です。

図1 SOAの温度ディレーティング



<バイポーラ・デジトラ編 つづき>

2. 例 $T_a = 100^\circ\text{C}$

2-1. 熱制限領域でのディレーティング

例えば、周囲温度 100°C の場合、以下ようになります。

$$\begin{aligned} \text{ディレーティング} &= \Delta t \times (\text{ディレーティング率}) \\ &= (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \times 0.8\% / ^\circ\text{C} \\ &= 60\% \end{aligned}$$

したがって、この領域のSOAラインは電流が小さくなる方向に60%平行移動します。

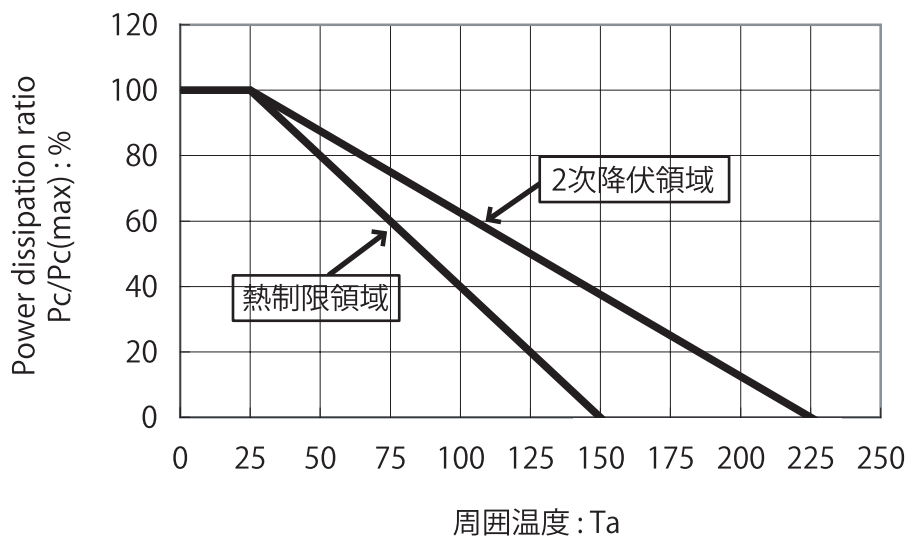
2-2. 2次降伏領域でのディレーティング

同様に、2次降伏領域でのディレーティングは以下ようになります。

$$\begin{aligned} \text{ディレーティング} &= \Delta t \times (\text{ディレーティング率}) \\ &= (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \times 0.5\% / ^\circ\text{C} \\ &= 37.5\% \end{aligned}$$

したがって、この領域のSOAラインは電流が小さくなる方向に37.5%平行移動します。

図2 SOAの温度ディレーティング



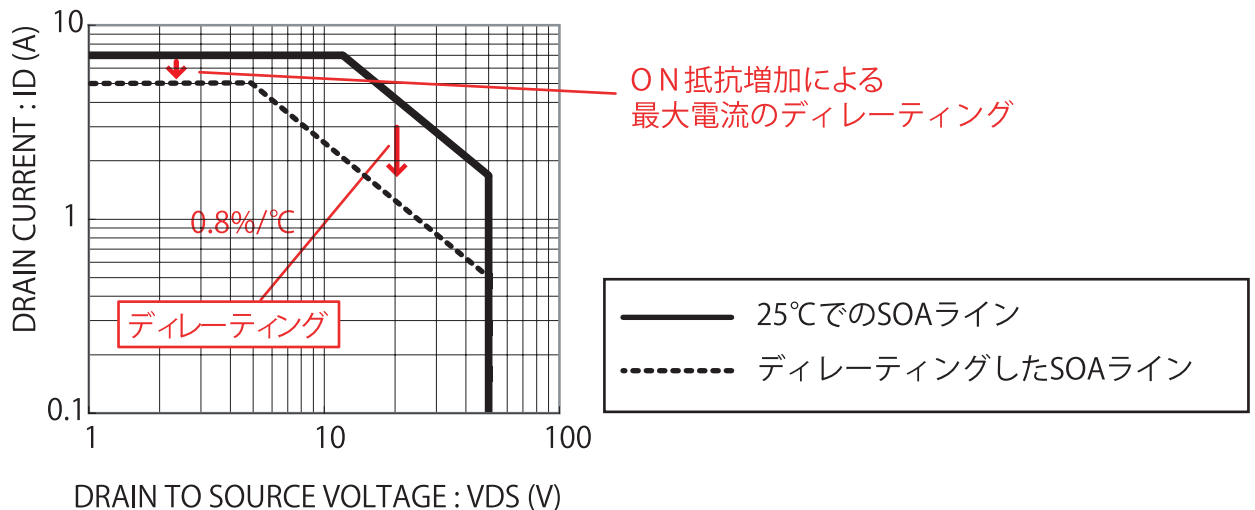
④付属 2 SOA(安全動作領域)の温度ディレーティング方法

<MOSFET編>

1.SOA(安全動作領域)

MOSFETのSOAにはバイポーラトランジスタのように2次降伏領域がなく、熱制限領域(電力一定ライン)のみとなっています。バイポーラトランジスタと同様に、この領域ではディレーティング率は0.8%/℃です。また、MOSFETの場合は温度が上がるとON抵抗が増加する分、最大電流のディレーティングも必要となります。

図1 MOSFETの温度ディレーティング



ON抵抗増加による最大電流ディレーティングについて

消費電力Pは

$$P = IV = I \cdot IR = I^2 R$$

で表せます。(R: ON抵抗)

周囲温度が上がっても最大消費電力は一定ですが、ON抵抗は増加します。

したがって、周囲温度の上昇によりON抵抗がR1からR2になったとすると25℃における最大電流Iは温度上昇によりI'にディレーティングされるとすると

$$I^2 R1 = I'^2 R2$$

$$I' = \sqrt{\frac{R1}{R2}} I$$

となります。

<MOSFET編つづき>

2. 例 $T_a = 75^\circ\text{C}$

2-1. SOAラインのディレーティング

例えば、周囲温度 75°C の場合は、

$$\begin{aligned} \text{ディレーティング} &= \Delta t \times (\text{ディレーティング率}) \\ &= (75^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \times 0.8\% / ^\circ\text{C} \\ &= 40\% \end{aligned}$$

したがって、この領域のSOAラインは電流が小さくなる方向に40%平行移動します。

2-2. 最大電流のディレーティング

例えば、RSS100N03の場合、

最大電流は $I_D = 10\text{A}$ 、 $I_{DP} = 40\text{A}$ でON抵抗は

25°C ($V_{GS} = 10\text{V}$ 、 $I_D = 3\text{A}$)で $10\text{m}\Omega$

75°C ($V_{GS} = 10\text{V}$ 、 $I_D = 3\text{A}$)で $16\text{m}\Omega$ (それぞれtyp値)なので、

75°C における最大電流は

$$\begin{aligned} I_D' &= \sqrt{\frac{10\text{m}\Omega}{16\text{m}\Omega}} \cdot 10\text{A} = 7.9\text{A} \\ I_{DP}' &= \sqrt{\frac{10\text{m}\Omega}{16\text{m}\Omega}} \cdot 40\text{A} = 31.6\text{A} \end{aligned}$$

となります。

⑤ 単発パルス？ 連続パルス？

電力・発熱確認

単発パルス

電源投入時や立ち下げ時の突入電流のように、一度だけパルスが入る場合（繰り返しパルスでないとき）を単発パルスといい、この場合、

SOA範囲に入っていることを確認した段階で

使用可能

です。

→ 使用してください

連続パルス

一度だけパルスが入る単発パルスとは異なり、パルスが繰り返し入る場合を連続パルスといい、この場合、

周囲温度における定格電力以下か

確認する必要

があります。

→ [⑥に続く](#)

⑥ 平均消費電力は周囲温度における定格電力以下か？

定格電力以下の確認

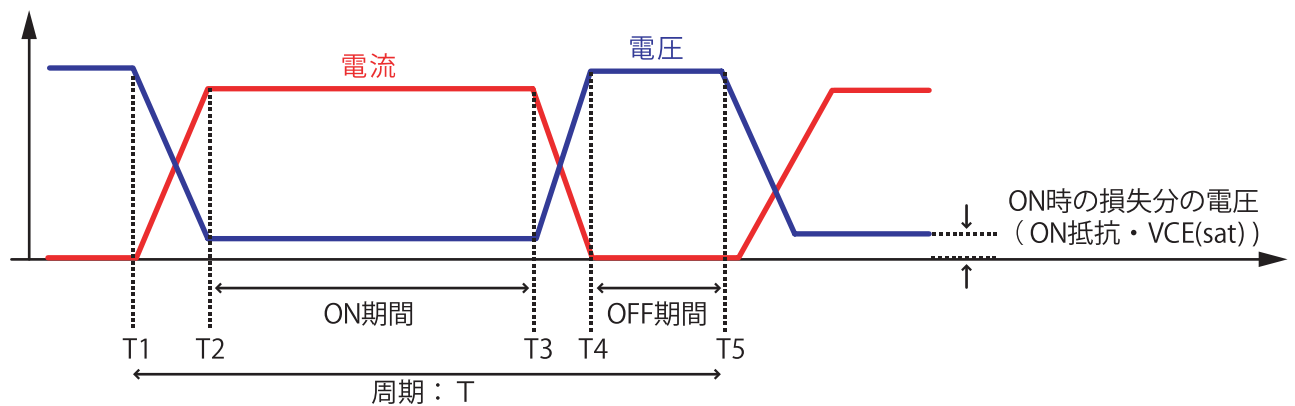
周囲温度における定格電力以下 = 素子温度が絶対最大定格の150℃以下 となります。
 素子温度が150℃になるような電力を定格電力として定めています。
 詳しくは『 [素子温度の計算方法](#) 』をご参照下さい。

電力計算方法

基本的に、平均電力は電流と電圧の積を時間で積分した値を時間で除したものです。

$$P = \frac{\int_0^t I(t)V(t)dt}{T} \quad (\text{W})$$

以下のようなスイッチング動作の例を考えます。



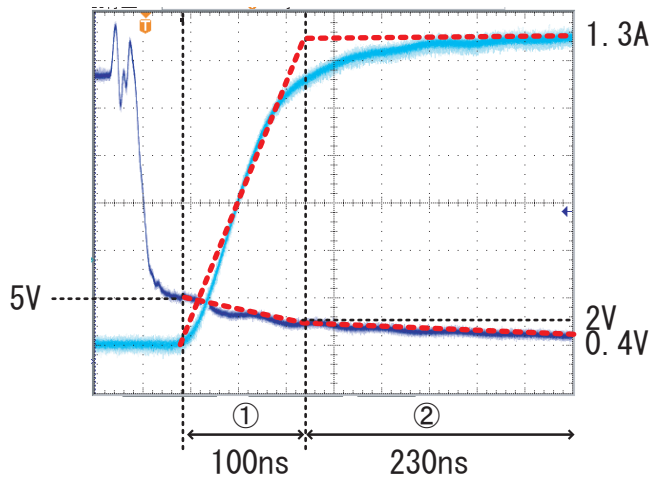
この場合、1周期を4つ程度の区間に分けて計算します。

$$P = \frac{\int_{t1}^{t2} IVdt + \int_{t2}^{t3} IVdt + \int_{t3}^{t4} IVdt + \int_{t4}^{t5} IVdt}{T} \quad (\text{W})$$

実際の積分計算は、別紙記載の[積分公式](#)を用いて行います。

先ほど①で確認した波形の例の計算を実際に行ってみます。

(1) OFF→ON時



まず、ON時の波形を図の
 ----- 線のように近似します。

積分公式から、

①の区間

$$\int IVdt = (1/6) \times 100\text{ns} \times (2 \cdot 0\text{A} \cdot 5\text{V} + 0\text{A} \cdot 2\text{V} + 1.3\text{A} \cdot 5\text{V} + 2 \cdot 1.3\text{A} \cdot 2\text{V})$$

$$= 1.95 \times 10^{-7}(\text{J})$$

②の区間

$$\int IVdt = (1/6) \times 230\text{ns} \times (2 \cdot 1.3\text{A} \cdot 2\text{V} + 1.3\text{A} \cdot 0.4\text{V} + 1.3\text{A} \cdot 2\text{V} + 2 \cdot 1.3\text{A} \cdot 0.4\text{V})$$

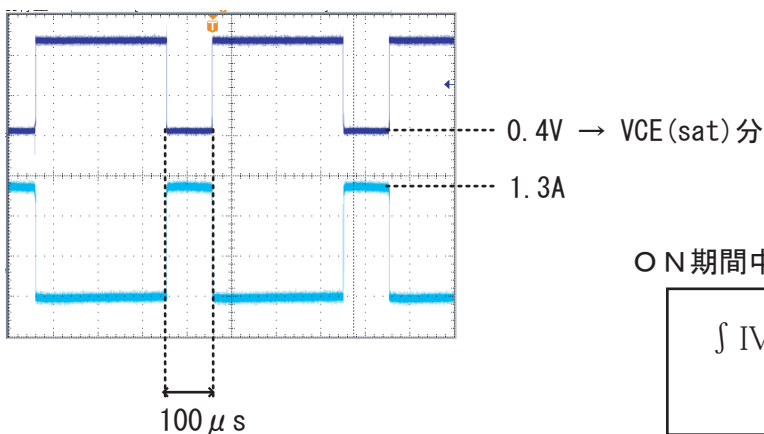
$$= 3.59 \times 10^{-7}(\text{J})$$

OFF→ON時

合計 : $5.54 \times 10^{-7}(\text{J})$

となります。

(2) ON期間中

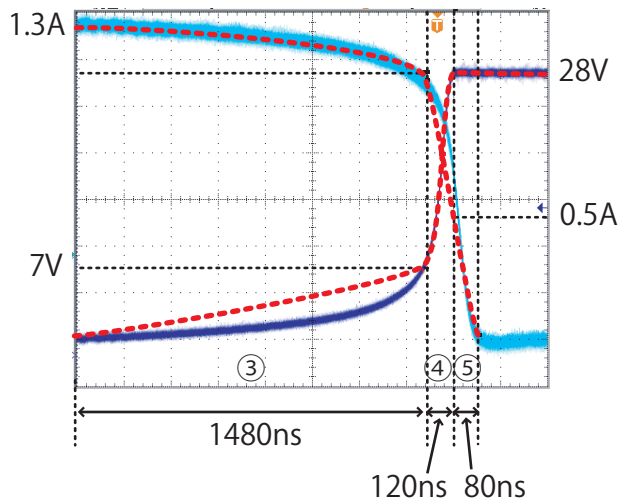


ON期間中

$$\int IVdt = 100\mu\text{s} \times 0.4\text{V} \times 1.3\text{A}$$

$$= 5.2 \times 10^{-5}(\text{J})$$

(3) ON→OFF時



③の区間

$$\int IVdt = (1/6) \times 1480\text{ns} \times (2 \cdot 1.3\text{A} \cdot 0\text{V} + 1.3\text{A} \cdot 7\text{V} + 1.15\text{A} \cdot 0\text{V} + 2 \cdot 1.15\text{A} \cdot 7\text{V})$$

$$= 6.22 \times 10^{-6}(\text{J})$$

④の区間

$$\int IVdt = (1/6) \times 120\text{ns} \times (2 \cdot 1.15\text{A} \cdot 7\text{V} + 1.15\text{A} \cdot 28\text{V} + 0.5\text{A} \cdot 7\text{V} + 2 \cdot 0.5\text{A} \cdot 28\text{V})$$

$$= 2.1 \times 10^{-6}(\text{J})$$

⑤の区間

$$\int IVdt = (1/6) \times 80\text{ns} \times (2 \cdot 0.5\text{A} \cdot 28\text{V} + 0.5\text{A} \cdot 28\text{V} + 0\text{A} \cdot 28\text{V} + 2 \cdot 0\text{A} \cdot 28\text{V})$$

$$= 9.3 \times 10^{-7}(\text{J})$$

ON→OFF時

$$\text{合計} : 9.25 \times 10^{-6}(\text{J})$$

となります。

(4) OFF時は電流がほぼゼロ（実際には数nA～数10nA程度のリーク電流が流れています）と考え、OFF期間中の消費電力はゼロと考えます。

以上の計算から各区間における積分値を合計して1周期の長さ400μsで除すると、平均消費電力は

$$P = \frac{\int_0^t I(t)V(t)dt}{T}$$

$$= \frac{5.54 \times 10^{-7}(\text{J}) + 5.2 \times 10^{-5}(\text{J}) + 9.25 \times 10^{-6}(\text{J})}{400 \mu\text{s}} = 0.155 (\text{W})$$

となります。

なお、ここではバイポーラトランジスタの2SD2673の例で
 コレクタ電流：ICとコレクタ-エミッタ間電圧：VCEの積分を行いました、
 デジトラでは出力電流：IOと出力電圧：VOで、
 MOSFETではドレイン電流：IDとドレイン-ソース間電圧：VDSで
 同様の積分計算を行えば、平均消費電力を計算することができます。

平均消費電力を求めたところで、仕様書のコレクタ損失(MOSFETの場合ドレイン損失)を確認します。

例 2SD2673の仕様書

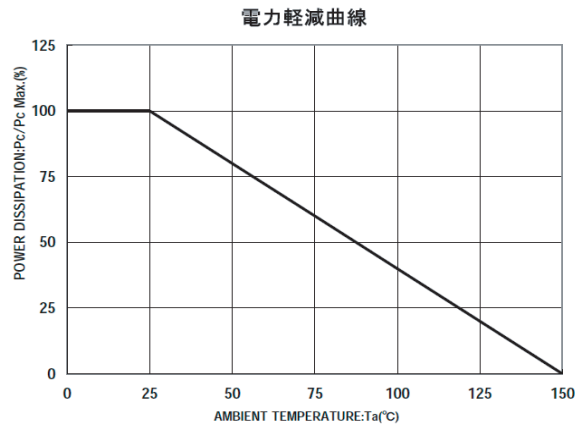
4. 絶対最大定格 [Ta=25°C]				
コレクタ - ベース間電圧	VCBO	...	30V	
コレクタ - エミッタ間電圧	VCEO	...	30V	
エミッタ - ベース間電圧	VEBO	...	6V	
コレクタ電流	直流	IC	...	3A
	パルス	ICP	...	6A PW=1ms 単パルス
コレクタ損失	PC	...	0.5W	各端子を推奨ランドに実装した場合
			1W	エポキシ基板 25mm×25mm× ^t 0.8mm 使用時
ジャンクション温度	Tj	...	150°C	
保存温度	Tstg	...	-55~150°C	

コレクタ損失を確認

この場合、平均印加電力が0.155Wで許容コレクタ損失が0.5W（推奨ランド：ガラエポ基板実装時）なので周囲温度25°Cにおいては使用可能と判断します。

（正確には、許容コレクタ損失は実装基板やランド面積などによる放熱条件によって異なりますが推奨ランド実装時の値を目安としました）

周囲温度が25℃以上の場合は、電力軽減曲線を確認して温度ディレーティングを行います。
 例えば、周囲温度が50℃のときは25℃のときに比べて許容損失は80%となるので、
 許容損失は $0.5\text{W} \times 80\% = 0.4\text{W}$ となります。
 この場合、平均消費電力は0.155Wなので周囲温度50℃においては使用可能となります。

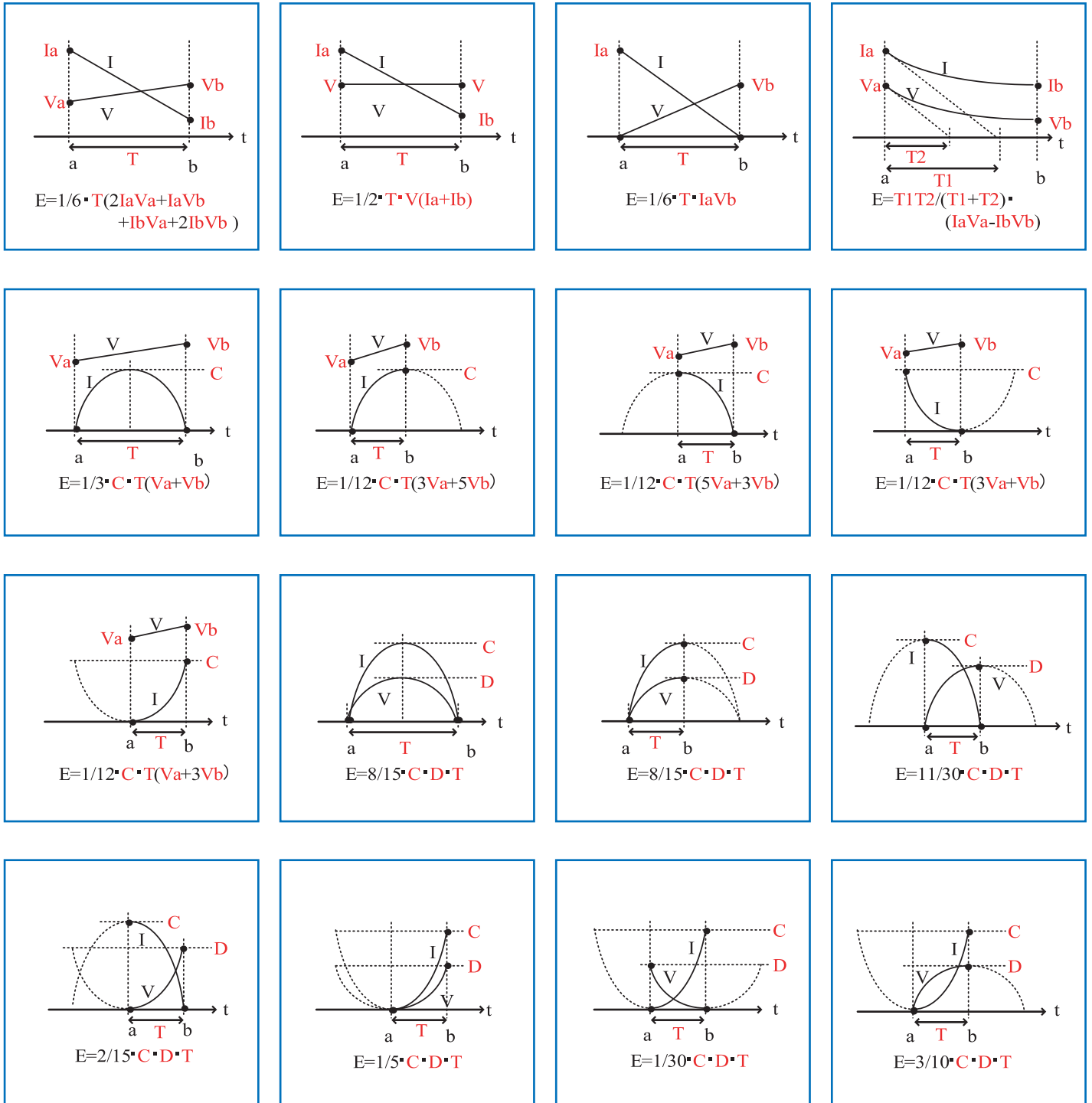


素子温度の詳しい計算方法は、別紙『[素子温度の計算方法](#)』をご参照ください。

電力算出用積分公式

$$E = \int_a^b IV dt \quad (\text{J})$$

電流Iと電圧Vによるa-b間の積算電力算出



* これらの公式は、VとIに関して対称なので、VとIを入れ替えても成り立ちます。