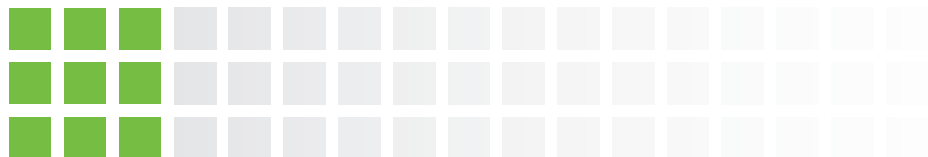


POWR-SPEED[®] ヒューズ



アプリケーションガイド



Expertise Applied | Answers Delivered



目次

1.0 はじめに	3
2.0 パワー半導体デバイス	4
2.1 パワー半導体デバイスの分類	4
3.0 過電流保護の基本	6
3.1 過電流の状態	6
3.2 過電流のタイプ	6
3.3 パワー半導体デバイスの保護	6
3.4 高速ヒューズとは?	7
3.5 高速ヒューズの構造	8
3.6 高速ヒューズのスタイル	8
3.7 ヒューズの動作	10
3.8 高速ヒューズの性能特性	11
3.8.1 時間電流曲線	11
3.8.2 通過ピーク曲線	14
3.8.3 総遮断 I ² t 補正曲線	17
3.8.4 ピークアーク電圧曲線	19
3.8.5 温度定格下げ曲線	20
3.8.6 ワット損失補正曲線	21
4.0 選定ガイドライン	22
4.1 定格電圧	22
4.1.1 動作周波数の影響 (E _f)	22
4.1.2 時定数の影響 (E _{fc})	23
4.1.3 回生負荷の影響 (E _{reg})	23
4.1.4 ヒューズ規格準拠の影響	23
4.2 定格電流	24
4.2.1 高速ヒューズ定格電流の選定	24
4.3 遮断定格	36
4.4 総遮断 I ² t 値 (エネルギー耐量)	36
4.5 ピークアーク電圧	36
5.0 使用する際の注意事項	37
5.1 電力変換デバイスの保護	37
5.1.1 整流回路の保護について	37
5.1.2 インバータ回路の保護について	38
5.1.3 DC バスの保護について	39
5.2 UL モーター分岐回路の保護	39
5.3 IGBT ベースのデバイスの保護	40
5.4 並列接続の高速ヒューズ	40
5.4.1 論理的性能の予測	41
5.4.2 適切な選定のための注意事項の確認	42
5.4.3 適切な実装、配置、付属品の選択	43
5.5 直列接続の高速ヒューズ	43
6.0 実装ガイドライン	44
7.0 POWR-SPEED の範囲と選択ガイド	46
8.0 付属品	47
8.1 マイクロスイッチ	47
8.2 スタッドブロック	48
9.0 用語と定義	49

1.0 はじめに

パワーエレクトロニクスは、再生可能エネルギー発電、輸送、公益施設、産業施設、パワーエレクトロニクス制御など、様々なアプリケーションで活躍しています。

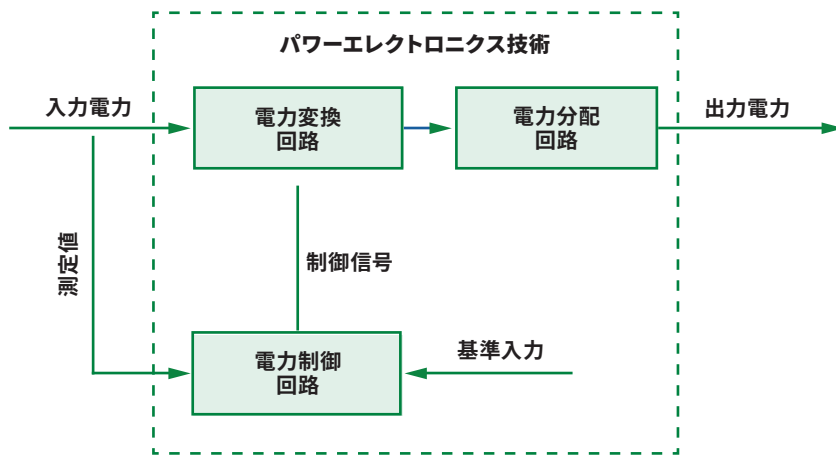


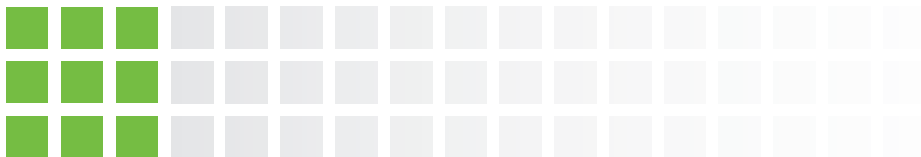
図 1. パワーエレクトロニクスシステムブロック図

図 1 は、受電した入力電力の形式を電力変換回路で別の形式に変換する、一般的なパワーエレクトロニクスシステムのブロック図です (AC-DC-AC)。この変換では、入力電力が電力制御回路から受信した制御信号に従いフィルター処理され、電力分配回路より出力として供給されます。この代表的な変換方法は、ほとんどのパワーエレクトロニクスの分野で使用されています。

パワー半導体デバイスは、電力の制御と変換用スイッチとして用いられるハイパワーエレクトロニクスデバイスです。近年のパワーエレクトロニクス分野におけるパワー半導体デバイスの利用は、可能な限り100%に近い電力効率を達成するという究極の目標と言った、より高い電力効率をもとめた要求に牽引されています。電力効率に加えて、デバイスをできるだけ小型化しようというニーズもあり、これは、古い電気-機械式部品をパワー半導体に置き換えてきたことの一つの原動力になっています。

パワー半導体デバイスを使用する代表的な機器には、インバータ、整流器、電気自動車のバッテリーマネジメントシステム、機関車のトラクションドライブ、産業用モーター駆動デバイス、ファクトリーオートメーションシステム、エアコン、コンピュータ、テレコム機器、バッテリー充電器などの他にも多くあります。

これら非常にデリケートなパワー半導体デバイスを過電流故障から守るには、超高速で動作し、回路に印加されるエネルギーを低く抑える保護デバイスが必要です。現在、世界でこのようにデリケートな機器を守ってくれる唯一のデバイスが、高速ヒューズです。



2.0 パワー半導体デバイス

パワー半導体デバイスの重要な機能は、最小限の電力損失で誘導性回路を開閉する (オン/オフを切り替える) 機能です。

パワー半導体デバイスは、1960年代から1970年代にかけて多くの研究者により目覚ましい成果が上げられ、その結果、今日でも使用されている多くの一般的なパワー半導体が導入されました。パワー半導体デバイスが発展した主な要因は、少ない使用材料、低コスト、効率の良さです。

パワー半導体部品と駆動回路を組み合わせたのがパワー半導体デバイスです。部品は、シリコン、ゲルマニウム、ガリウムヒ素などで作られており、主に開閉アプリケーションに使用されています。駆動回路は、パワー半導体コンポーネントに制御信号を送信し、その開閉を可能にする低電圧電子回路です。

一般的な以下のパワー半導体部品は幅広いアプリケーションで利用されています。

- 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT)
- 金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (MOSFET)
- シリコン制御整流器 (SCR)、別名サイリスタ
- バイポーラジャンクショントランジスタ (BJT)
- ゲートターンオフ (GTO) サイリスタ
- 集積化ゲート転流型サイリスタ (IGCT)
- 接合型ゲート電界効果トランジスタ (JFET)
- ダイオード

パワー半導体デバイスは、今日の電気システムで使用されている最も複雑なデバイスの1つであり、その性質上、過熱や過負荷、電圧スパイク、サージ、ピーク電流などに対して非常にデリケートです。

2.1 パワー半導体デバイスの分類

パワー半導体デバイスは、デバイスごとの端子数に基づいて分類されます。最もよく利用されているのが、2端子デバイスと3端子デバイスです。

2端子デバイスは、接続されている外部電源回路によって状態が変化するデバイスです。PIN ダイオードとショットキーダイオードは、最も普及している2端子デバイスです。

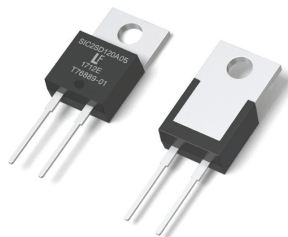


図 2.2 端子パワー半導体デバイス

3端子デバイスは、外部電源回路だけでなく、駆動端子(この端子を、一般にゲートあるいはベースと呼びます)の信号によっても状態が変化するデバイスです。3端子デバイスの例として、パワー MOSFET、JFET、IGBT、BJT、SCRが挙げられます。

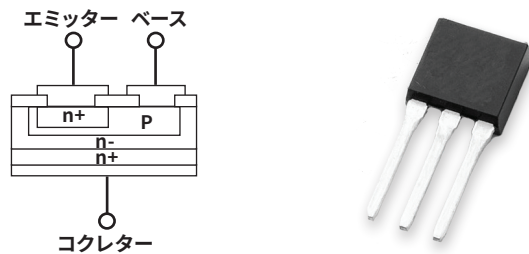


図 3.3 端子パワー半導体デバイス

これらのパワー半導体デバイスに絶縁回路を追加し、単一ユニットとしてパッケージングしたものをパワー半導体モジュールまたは電源モジュールと呼びます。図 4 は、典型的なパワー半導体モジュールのブロック図です。

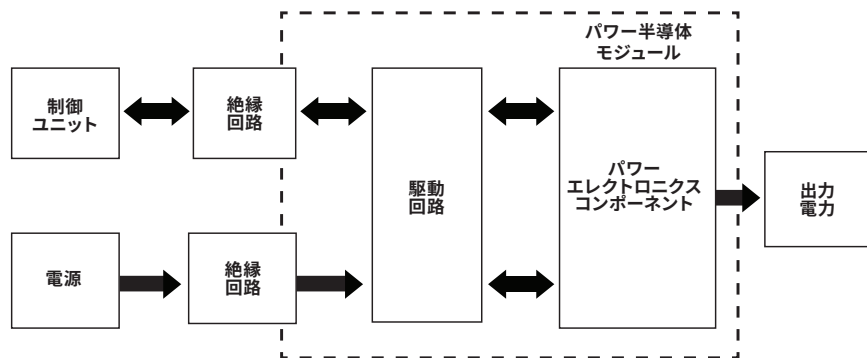


図 4. パワー半導体モジュールブロック図

パワー半導体デバイスは、電流量に基づいてパッケージ化されています。通常、パワー半導体デバイスは、次の3種類のパッケージング構成があります。

- ディスクリットパッケージング: 最大数百アンペア
- モジュールパッケージング: 100 A から 4,000 A
- ディスクパッケージング: 1,000 A から 6,000 A



図 5. パワー半導体デバイスパッケージング

3.0 過電流保護の基本

保護要件の理解とアプリケーションに応じた正しいヒューズの選択は、経験のあるパワーエレクトロニクスの設計エンジニアでさえも非常に困難で時間がかかる作業です。過電流保護の特性を開発する上で重要なのは、システムニーズと過電流保護デバイスの基本を理解することです。本項では、過電流保護の基本、構造、そして高速ヒューズの動作特性について解説します。

3.1 過電流の状態

過電流とは、ある条件下で、機器、導体、あるいはデバイスに流すことのできる定格以上の電流値を指します。すぐに取り外さないと、たとえ軽微な過電流であっても、システムコンポーネントが過熱し、絶縁体、導体、デバイスに損傷を与えることがあります。大きい過電流の発生時には導体が溶断され、絶縁体が蒸発します。

さらに大きい大電流では、バスバーを曲げたり、ねじることのできる磁力が生み出されます。こうした大電流は、端子からケーブルを引き千切ったり、絶縁体やスペーサーにひびを入れたりします。制御できない過電流は、火事、爆発、有毒ガス発生の原因となるおそれがあります。これは、電気システムや機器が損傷するだけでなく、近くの人員を巻き込む死傷事故の原因になるおそれがあります。

3.2 過電流のタイプ

過電流故障状態には2つのタイプがあります。

- 過負荷故障状態
- 短絡故障状態

過負荷故障状態: 正常な電流経路に限定された過電流を指します。回路内でその状態が放置されると、機器やその他接続されている配線が損傷するおそれがあります。

過電流保護デバイスは、過熱発生前に、継続して過負荷が発生している回路と機器を切り離さなくてはなりません。軽微な絶縁体の過熱であっても、関連するコンポーネントや機器の耐用期間が大きく縮められるおそれもあります。

通常、デバイスやアプリケーションの定格電流の600%未満の過電流を過負荷故障電流といいます。代表的な過負荷状態の代表的な発生は、機械的な障害や機器の過積載によりシステム上で一時的なサージ電流が繰り返されることにあります。

短絡故障状態: 正常な電流経路の外側を流れる過電流は、短絡故障状態です。短絡故障は一般に、絶縁部の破損や不良接続で生じます。

短絡故障が発生すると、電流は正常な負荷をバイパスし、より短い経路を流れます。これが短絡の由来です。短絡故障は通常、直結故障、アーク故障、地絡故障という3つのカテゴリーに分かれます。短絡のそれぞれのタイプは、用語と定義の項で解説します。

通常、デバイスやアプリケーションの定格電流の600%を超える過電流を、短絡故障電流といいます。短絡状態は、事故、ヒューマンエラー、工具の落下、誤用、または絶縁破壊により発生します。

3.3. パワー半導体デバイスの保護

パワー半導体は、小さいパッケージサイズで、大電力処理と高速開閉能力を合わせ持ちます。これらのデバイスは、正常な動作でも相当な熱を発生するにも関わらず低耐熱性です。さらに、サイズが小さくなると、過電流と過電圧に対するデバイスの耐性能力にも影響が出ます。これには、熱を消散させ冷却させるための、ヒートシンクや強制空冷/液冷などの追加措置が必要となります。

パワー半導体デバイス (図6) の性能は、電氣的ストレス、機械ストレス、熱ストレス、環境的ストレスなど、動作中に処理するさまざまなストレスに大きく影響を受けます。これらのストレスレベルがその耐性限度を超えると、デバイスは故障するおそれがあります。



図 6. パワー半導体デバイス

さまざまなアプリケーション条件で発生する熱ストレスは、半導体故障の主要因であり、大きな損害を招く可能性の高い容器の破裂、火災、爆発などの致命的な状態を引き起こすおそれがあります。

高速ヒューズは、これらデリケートなパワー半導体デバイスを適切なレベルを保護できます。

3.4 高速ヒューズとは?

高速ヒューズは、半導体電気回路を保護する熱制御、電流制御デバイスです。高速ヒューズは、特別に設計されたエレメント形材と筐体構造を持ち、低エネルギー通過 (I^2t)、低ピーク電流 (I_{PEAK})、低アーク電圧、高い熱放散など、半導体デバイスの保護に必要なすべての短絡特性を備えています。

このタイプのヒューズは、筐体に収容された 1 つ以上の導電性エレメントから構成されています。電気回路にヒューズを簡単に挿入、取り外しできるように、筐体には接点 (ブレード/エンドベルまたは端子) があります。通常の産業用ヒューズと違って、高速ヒューズには意図的な時間遅延機能はありません。

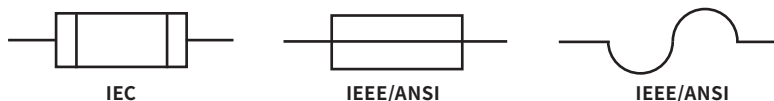


図 7. 各種国際規格全体の電気回路上のヒューズの表記法

別名、整流器ヒューズ、超々速断ヒューズ、超高速ヒューズ、超速断ヒューズ、または半導体ヒューズと呼び、これら過電流保護デバイスをまとめて高速ヒューズと呼びます。

高速ヒューズは、フルレンジとパーシャルレンジの 2 つのカテゴリーに大きく分けることができます。IEC 60269 規格は、2 文字のアルファベット記号/コード形式 (gG、aR、gR、aM など) で表したアプリケーション別カテゴリーでヒューズの動作特性を分類しています。

フルレンジ高速ヒューズ: このカテゴリーのヒューズは、過負荷過電流状態と短絡過電流状態の両方の保護機能を備え、アプリケーションカテゴリーシンボルは gR です。先頭文字の「g」はフルレンジ保護を表し、2 番目の文字「R」は半導体デバイスアプリケーションを表します。

パーシャルレンジ高速ヒューズ: このカテゴリーのヒューズは、短絡過電流状態のみでの保護機能を備え、アプリケーションカテゴリーシンボルは aR です。この場合、先頭文字の「a」はパーシャルレンジ保護を表し、2 番目の文字「R」は半導体デバイスアプリケーションを表します。

3.5 高速ヒューズの構造

高速ヒューズの設計と構造だけでなく、そのサイズと端子も特有です。これは、現場で使用されている他の一般的な産業アプリケーション向け高速ヒューズとの誤用を防ぐためです。高速ヒューズには最高グレードの材料を使用しています。

エレメント:高速ヒューズには、電流感度の高い1つ以上のエレメントが入っています。各エレメントの1箇所以上が断面を狭められています。狭められた断面が各エレメントの抵抗として現れます。

通常、ヒューズの電流定格は、各エレメントの抵抗と各ヒューズに使われているエレメントの数によって決まります。高速ヒューズのエレメントは銀、銀メッキ銅、銅、あるいはその他適切な材料から作られています。

筐体材料:高速ヒューズで使われている最も一般的な材料は、強化ガラスメラミンと高純度セラミックです。ガラスメラミンは強く、壊れにくいのに対し、セラミックは高い熱放散性能と、耐熱性を備えています。

実装端子:代表的な高速ヒューズの端子は、銅合金材です。一部の低アンペア定格の端子は、適切なストレス軽減のために絞り加工を施した真鍮を使用しています。これらのヒューズの端子は、腐食防止と接続部の低抵抗実現のために、通常、メッキが施されています。

消弧剤:高速ヒューズには消弧剤が使用されていて、これは主に電流遮断時に起こるアーク発生をなくすのが目的です。また、高純度石英の結晶質シリカ消弧剤を使用しており、ヒューズに電流制限能力を与えます。さらに消弧剤は、ヒューズ内の熱バランスを整えるのを助けるとともに、エレメントの安定性も高めます。この安定性により、エレメントの断面を狭めることができ、短絡性能が向上します。

3.6 高速ヒューズのスタイル

高速ヒューズのスタイルは、寸法、実装、ルーツに応じて様々に分類できます。最も代表的なスタイルは次のとおりです。

- 北米スタイルの伝統的な円形筐体
- 角形
- 円筒形または口金形
- 英国規格 (BS88) 直結

北米スタイル従来型円形筐体:これらの丸型筐体の直結スタイル高速ヒューズ (図8と9) は、北米ではパワー半導体デバイス向けの保護として最も一般的です。これらのヒューズは、上質なガラスメラミン筐体、銅端子、高純度石英シリカ消弧剤、99.9%純銀のエレメントの動作機構で構成されています。

ガラスメラミン筐体は、ヒューズが発散した熱を吸収します。銀メッキ銅端子は、ヒューズホルダーやバスバーに対し、優れた電氣的接点を提供します。高純度石英シリカは、ヒューズ動作時に発生するアークを抑えます。銀製エレメントは、断面積を小さくしても定格電流を継続的に流せるようにした独自設計です。過電流故障の発生時は、エレメントの狭められた断面部分が先に溶けることで、過電流故障が解消され、下流デバイスへのエネルギー通過を制限します。



図8. 高速ヒューズの断面模型



図9. 北米スタイル円形筐体スタイルヒューズ

角形筐体:これらの高速ヒューズ (図 10a と 10b) は、最高グレードのセラミック筐体、銀メッキ銅合金端子、高純度石英シリカ消弧剤、純銀エレメント 99.9% の動作機構で構成されています。これらのヒューズは、今日のパワー半導体デバイスで求められる幅広い範囲の電氣的要件に合わせてさまざまなサイズが用意されています。



図 10a. PSR シリーズ

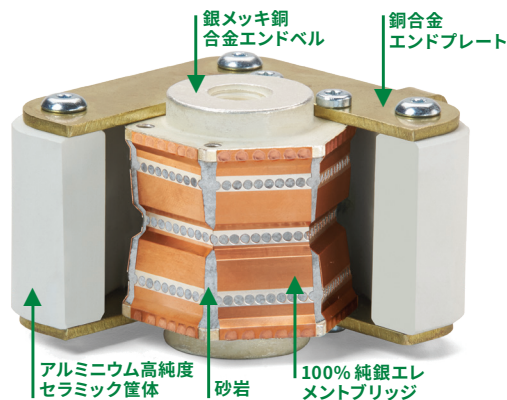


図 10b. 角形筐体スタイルヒューズ

セラミック筐体は、メラミン材に比べてアーク発生に対する高い耐性能力を備えています。これらのヒューズのコアは、特別設計の銀または銅銀のエレメントが複数の平行列になっており、定格電流を流し、過電流状態では溶ける設計になっています。これらのヒューズの消弧剤は、高純度石英シリカですが、充填剤の密度が低い他のヒューズと違って、この充填剤はストーンサンドと呼ばれる固化した状態です。このストーンサンド設計により、優れたアーク消去機能、低エネルギー通過、DC性能の向上が実現します。

円筒形またはフェルール筐体:円筒形またはフェルールスタイル高速ヒューズ (図 11a と 11b) は、コンパクトでプリント回路基板に直接実装できるため、広く利用されています。これらのヒューズの代表的なアプリケーションは、電源回路と制御回路です。これらのヒューズは筐体がメラミンまたはセラミックで、エンドキャップは伝導性を高めるため、通常は銅メッキ材で作られています。内部のエレメントは純銀で、高純度石英シリカ消弧剤で満たされています。



図 11a. L25S シリーズ

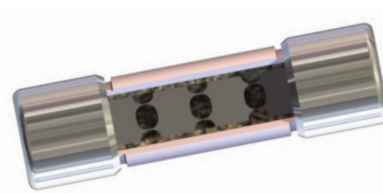


図 11b. 円筒形または口金形のヒューズ

円筒形または口金形の高速ヒューズは、以下のような標準ケースサイズがございます。

- 10.3 mm x 38.1 mm
- 14.3 mm x 50.8 mm
- 20.6 mm x 50.8 mm
- 20.6 mm x 127.0 mm

3.7 ヒューズの動作

ヒューズの働きは、簡単に言うと、ヒューズ内の可溶体が単純に溶けることで、その接続先の下流デバイスを保護することです。したがって、ヒューズを回路内の犠牲デバイスと呼ぶことがあります。

可溶体は、開回路にならずに指定量の電流を継続的に流せるように特別に設計されています。これをヒューズの定格電流と呼びます。これらのエレメントブリッジあるいはエレメントが絞られた箇所を電流が流れるとき、熱が発生します。熱伝導が均衡する（発熱と放熱が等しくなる）まで、ヒューズエレメントには所定の電流が流れます。

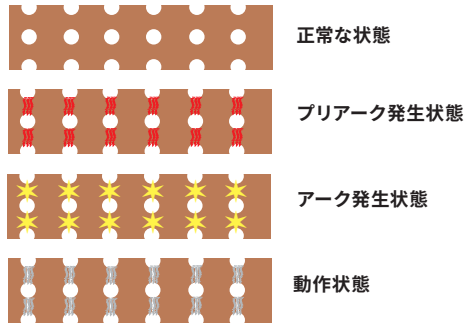


図 12.動作時のヒューズエレメントの変化

過負荷や短絡発生などの過電流状態によって熱伝導に不均衡が生じると、発生する熱が放散される熱を越えます。そのため、可溶体の絞られた箇所やウィークポイントの温度が上昇します。

この温度の上昇で可溶体が溶断温度（銅: 1,984 °F / 1,085 °C、銀: 1,763 °F / 962 °C）に達すると、エレメントブリッジが溶けて破断し始め、ヒューズを通じて回路に流れる電流が遮断されます。

短絡状態の場合、可溶体は数ミリ秒で溶けて分離し始めます。その間、ヒューズ内にアークが発生しますが、これは石英シリカ製消弧砂で急冷、または消去されます。以下のグラフは、この動作時のヒューズの電流と電圧のパフォーマンスを示したものです。

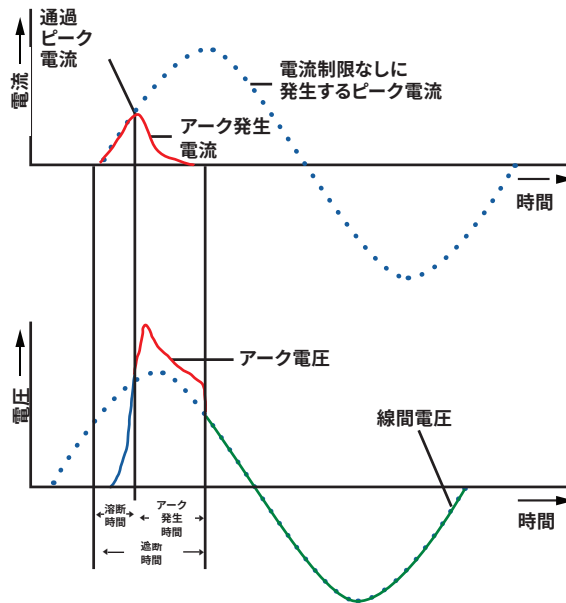


図 13.動作時のヒューズの電流と電圧の性能



故障電流遮断の間にヒューズによって生じる熱エネルギーは、通常、ジュールで表され、一般には、これをアンペア二乗秒 (A^2s または I^2t) といいます。動作時間 (t) (単位:秒) と電流 (I) (単位:アンペア) の二乗に比例します。生じた熱エネルギーは、溶融エネルギー I^2t 、アーク放電エネルギー I^2t 、遮断エネルギー I^2t で表します。

溶断エネルギー I^2t :これは過電流発生後、ヒューズエレメントが溶断するまでにヒューズを通過する熱エネルギーです。この値は、電流実効値の二乗掛ける溶断時間 (秒) になります。

アーク放電エネルギー I^2t :これはアーク発生中にヒューズを通過する熱エネルギーです。この値は、実効アーク電流値の二乗に、アーク発生時間 (秒) を掛けた値です。

遮断エネルギー I^2t :別名、総遮断エネルギー I^2t と呼ばれる、このエネルギー I^2t は、過電流の開始から電流が完全に遮断されるまで過電流デバイスを流れます。トータル遮断エネルギー I^2t は、溶融 I^2t にアーク放電エネルギー I^2t を加算した合計値です。

3.8 高速ヒューズの性能特性

高速ヒューズの性能は、電気的性能の比較、またグラフに示された複数の特性曲線の形状を見て判断します。代表的な高速ヒューズ特性曲線は次のとおりです。

- 時間-電流曲線
- ワット損失性能曲線
- 温度ディレーティング曲線
- 貫通ピーク電流曲線
- アーク電圧曲線
- I^2t 曲線

3.8.1 時間電流曲線 (TCC)

高速ヒューズのTCCは、固有対称 (故障) 電流におけるヒューズの仮想プリアーク発生 (溶断) 時間を示したグラフまたは性能プロット図です。高速ヒューズのTCCは、標準テスト条件に基づいて、20°C から 25°C の周囲温度範囲で作られます。

TCCは、ヒューズの時間と電流が反比例関係にある特性を表し、固有対称 (故障) 電流の増加に応じて、ヒューズのプリアーク発生 (または溶断) 時間がどのように減少するかを示します。TCCは、固有対称 (故障) 電流におけるヒューズの溶断時間を求めて、アプリケーションに合ったヒューズ定格への変更をするときに使用します。

TCCのX軸は、対称な故障電流の実効値 (A) を表します。Y軸は、ヒューズの仮想プリアーク発生 (溶断) 時間 ($T_{pre-arc}$) を表します。これは、過電流状態発生から、ヒューズ内の瞬時アーク発生までの時間です。

ヒューズの溶断時間を求めるには、X軸 (基準点 A) 上で、対称 (故障) 電流を特定するところから始めます (図 14参照)。点 B でヒューズ TC 曲線と交差するまで、点 A から線を上に伸ばします。次に、左に移動して、Y軸上で対応する値 (点 C) を特定します。この値がヒューズのプリアーク発生 (溶断) 時間を表しています。



図 14 に示すアプリケーション例では、対称 (故障) 電流は 1800 A です。これは、X 軸の点 A になります。点 A から上に伸びて、点 B で TCC と交差するまで線をたどります。次に、Y 軸 (点 C) に向かって左に移動すると、選択したヒューズのプリアーク発生 (溶断) 時間 = 0.002 秒であることがわかります。

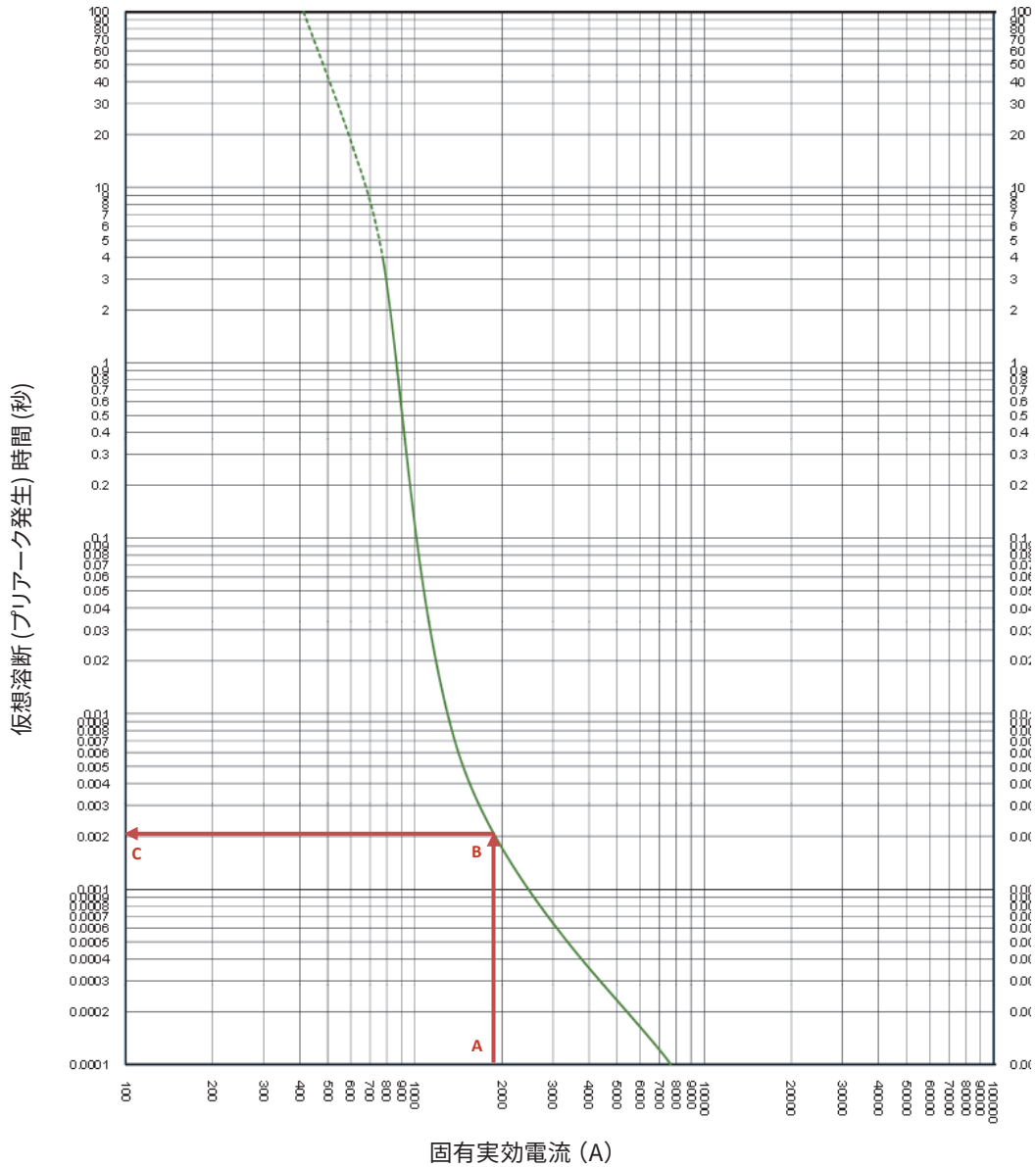


図 14. 時間電流特性曲線 - プリアーク発生 (溶断) 時間の判定

危険動作領域: 高速ヒューズが保護できる短絡電流を、TCC 上の実線で表します。ヒューズ保護限度外の電流範囲 (通常、低負荷故障電流) は、TCC 上の点線で表します。実線と点線の交点は、そのヒューズの最小遮断電流を表します。

低負荷電流時に高速ヒューズを用いることもできますが、熱によるリスクが高くなるので、この点線領域での使用は推奨されません。

図 15 は、実線領域と点線領域があるパーシャルレンジ高速ヒューズ TCC の一般的な例です。図の上部の色の付いた部分は、このヒューズの危険動作領域を表しています。

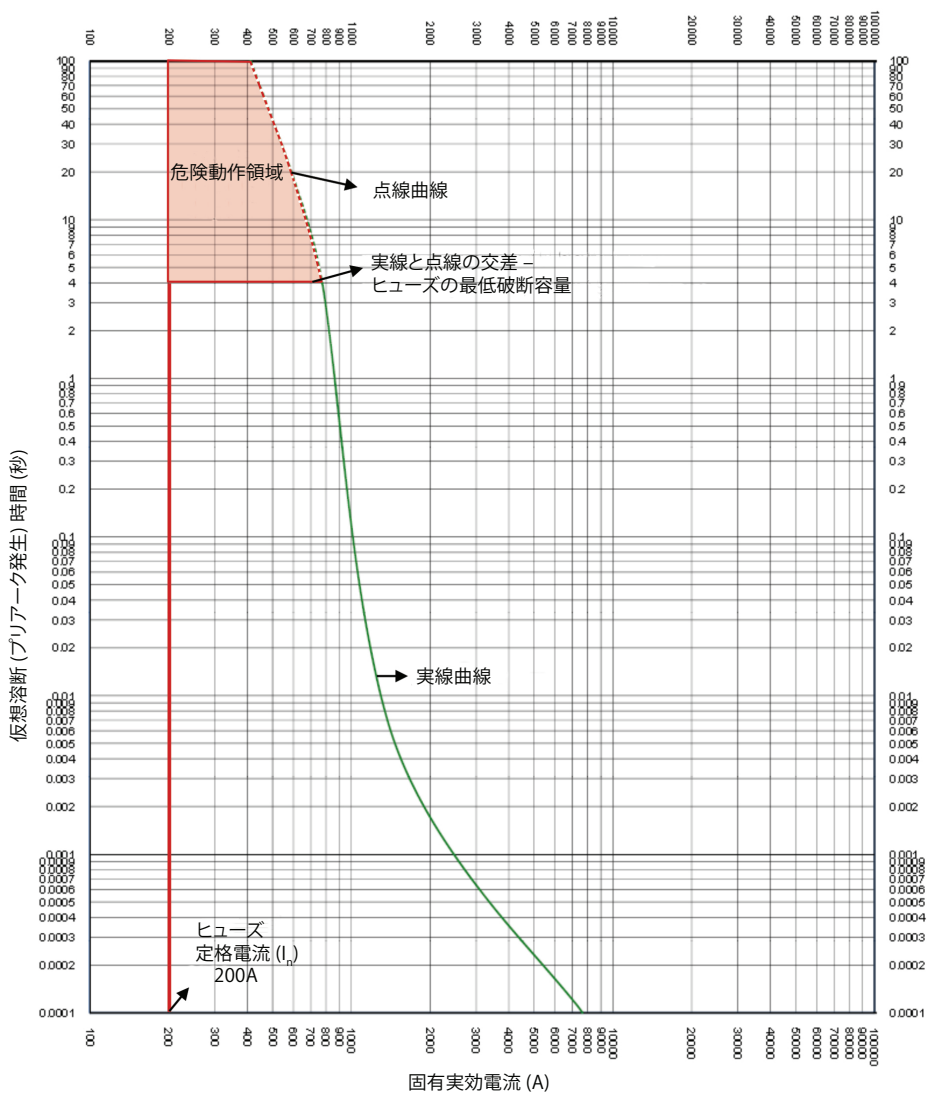


図 15. 時間電流特性曲線 - 安全動作領域と危険動作領域の判定

負荷電流が変化するアプリケーションで高速ヒューズを選択するとき、アプリケーションの負荷電流が、選択したヒューズの危険動作領域に入らないように注意する必要があります。

3.8.2 通過ピーク曲線

通過ピーク電流曲線は、遮断時間の間にヒューズを流れる最大瞬時電流を表します。これはヒューズの限流機能を表します。Littelfuse 高速ヒューズの通過ピーク曲線については、個々のヒューズシリーズのデータシートを参照してください。これらの曲線は、特定のヒューズで特定の機器を適切に保護できるかどうかを判断するときに便利です。

限流ヒューズは、深刻な短絡の場合に、故障発生後の最初の半サイクル内で短絡電流を遮断します。限流ヒューズは、発生する故障電流の最大電流をヒューズがない場合に発生する可能性のある値より低くします。図 16 に、その限流を示します。

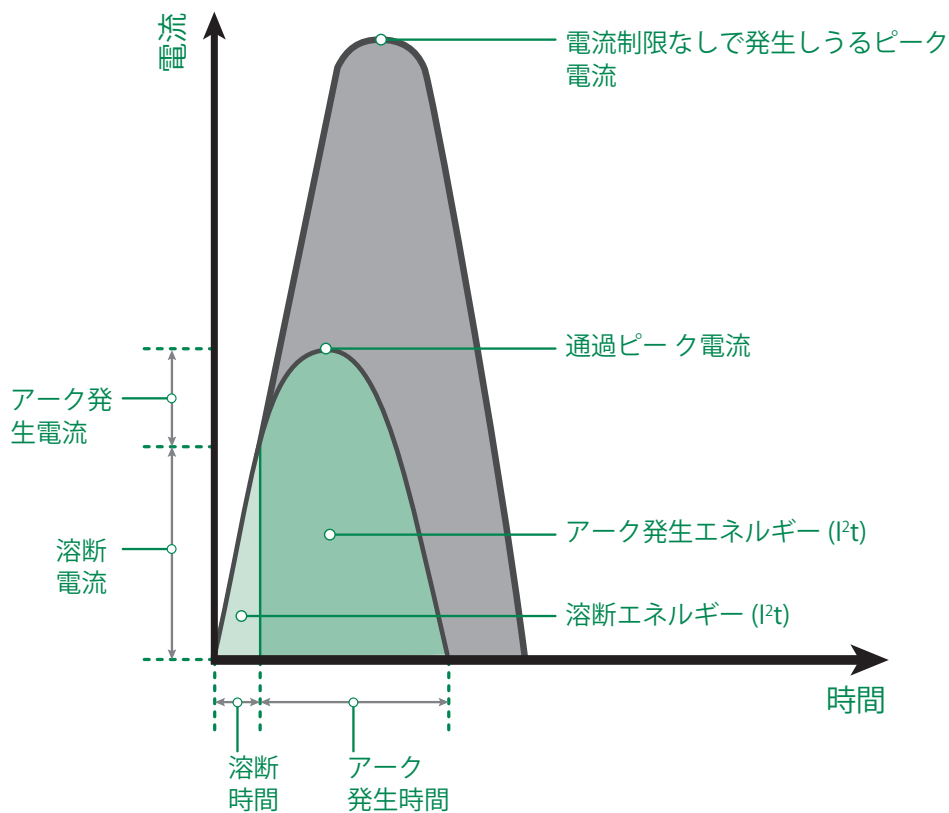


図 16. ヒューズの電流制限の影響

限流ヒューズの効果を、**図 17** の通過ピーク曲線で示しています。曲線の下部に示されている値は、有効な (固有もしくは潜在的な) 対称故障電流の二乗平均平方根です。曲線の左側にある値は、発生しうる瞬時ピーク電流と各種ヒューズ定格の通過ピーク電流を示しています。

通常の短絡力率が 15 % の回路では、発生しうる電流のピーク瞬時値は、二乗平均平方根対称値の約 2.3 倍です。これは、傾斜が 2.3:1 の曲線上の A-B 線で示されています。

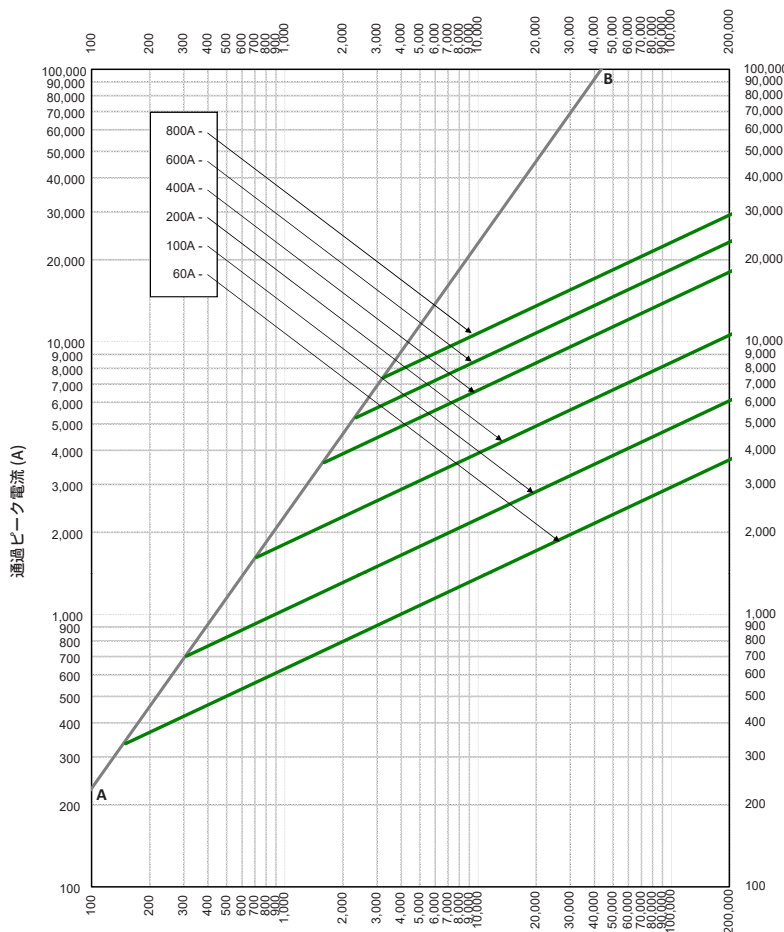


図 17.通過ピーク曲線

A-B 線から分岐する斜めの曲線は、特定のヒューズシリーズにおける各種ヒューズのアンペア定格の限流効果を表しています。

限流範囲内で電流を遮断する際、限流ヒューズは、故障した回路の電流を減らします。これを同等のインピーダンスの固体導体にデバイスを置き換えると、同じ回路で得られる値よりはるかに少ない限流効果しか得られません。

これは重要なことで、電流で乗じる磁力はピーク電流の2次元関数なのです。つまり、同等のインダクタンスと比べて限流ヒューズに発生しうる通過ピーク電流が10分の1の場合、磁力は1/100になります。

通過ピーク電流チャートの使用 (「Up-Over-and-Down」): **図 18** を参照してください。与えられた発生しうる電流 100,000 A 実効値に対し、600 A、500 V の L50QS シリーズヒューズで、22,000 A 短絡定格の機器を保護することができますか考えてみましょう。

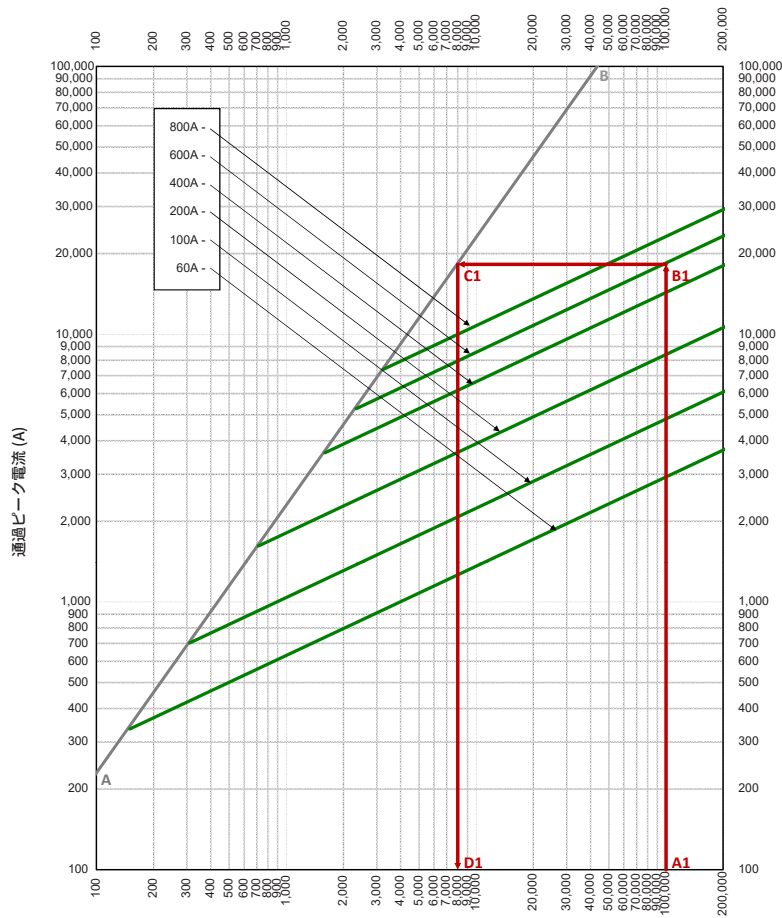


図 18. L50QS シリーズ通過ピーク曲線

まず、100,000 A の発生しうる故障電流を曲線の下部 (点 A1) から探し、この値から 600 A ヒューズ曲線と交差する位置 (点 B1) まで上に線を伸ばします。次に、点から左に、A-B 線と交差する位置 (点 C1) まで線を伸ばします。最後に曲線の下部 (点 D1) の値、約 8,000 A (通過電流) を読み取ります。

解析により、選択したヒューズは、発生しうる電流 100,000 A を明らかに 8,000 A まで減少させます。したがって、このヒューズは、このアプリケーションで接続された 22,000 A 短絡定格の機器を安全に保護できることがわかりました。

3.8.3 総遮断 I²t 補正曲線

アンペア二乗秒 (I²t) は、電流により発生する熱エネルギーを表します。限流範囲内でヒューズによって電流が遮断されたときの状態を、溶断、アーク発生、または総遮断 I²t という言葉で表します。選択されたヒューズの総遮断 I²t は、半導体デバイス端子またはケースの溶融/耐性 I²t 未満とします。

図 19 は、代表的な高速ヒューズの溶断 I²t と総遮断 I²t を表したものです。図は、I²t 値をグラフ形式で表した古いやり方であり、曲線の X 軸は、固有短絡故障電流の実効値 (単位:キロアンペア) を表し、Y 軸は、I²t 値 (アンペア二乗秒、A²s) を表します。この曲線には、さまざまな固有故障電流における溶断と遮断 I²t の値がプロットされています。

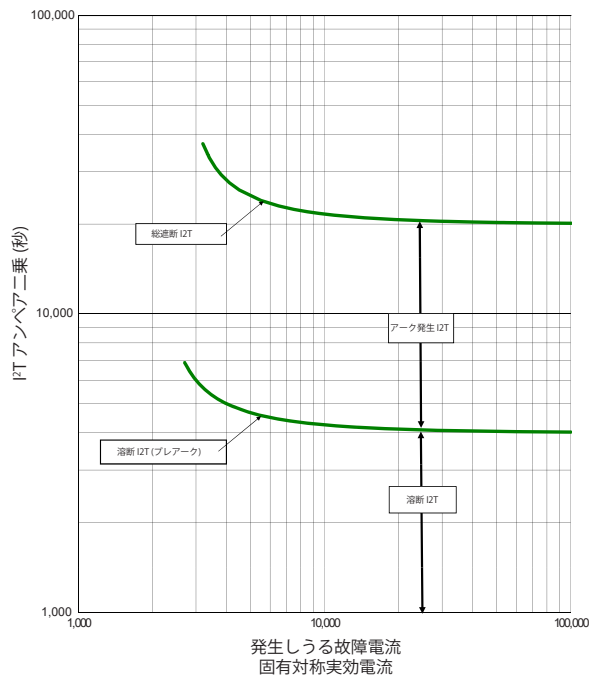


図 19. I²t 特性曲線

溶断 I²t 曲線と総遮断 I²t 曲線は、短絡故障電流が低レベルの場合、値が大きくなりますが、これはヒューズエレメントが溶けるまでの時間が長くなるためです。これに対し短絡レベルが高いと、故障電流 I²t 曲線は一定になります。

これらの曲線は、ここには記載されていませんが、定格電圧でテストするときに溶断と総遮断 I²t を表形式にするのが一般的な産業プラクティスになっているためです。定格電圧より低い他の電圧の I²t 値は、I²t 補正曲線で求めます。

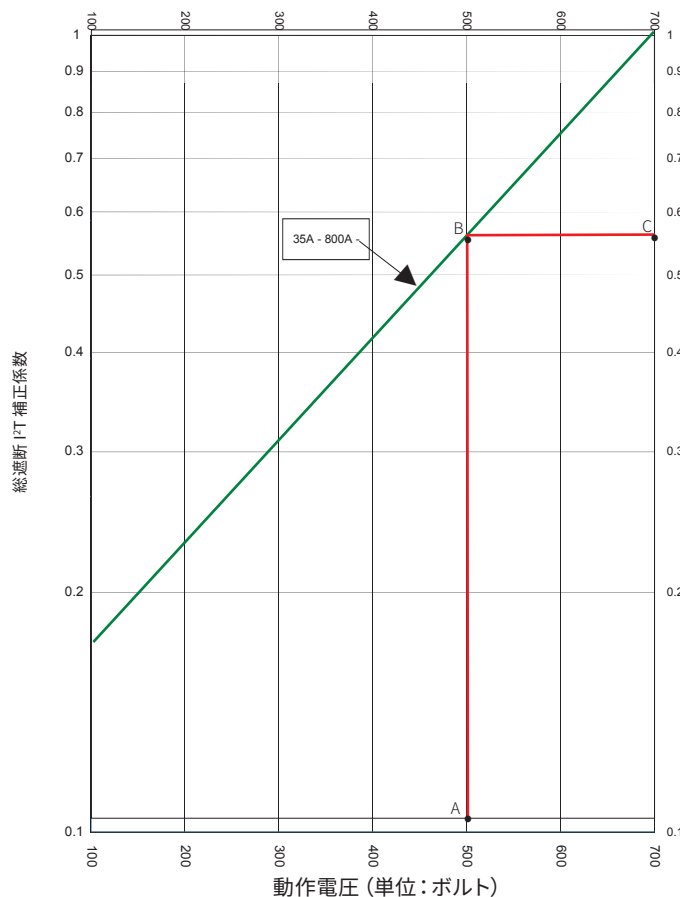


図 20.総遮断 I²t 補正曲線

図 20 は、Littelfuse L70S シリーズ高速ヒューズの総遮断 I²t 補正曲線です。X 軸は、アプリケーションの動作電圧 (単位:ボルト) を表します。また Y 軸は、総遮断 I²t 補正係数を表します。これは、低格よりも低い電圧で測定した総遮断 I²t 値と、定格電圧で測定した総遮断 I²t 値間の比率です。

例:

動作電圧が AC 500 V のときの L70S125 ヒューズの総遮断 I²t 値を求めてみましょう。

個々のヒューズデータシートに記載されている定格電圧 (AC 700 V) における総遮断 I²t 値は、14,700 A²s です。

定格電圧より低い AC 500 V 時の補正係数を求めるには、まず総遮断 I²t 補正曲線の X 軸で 500V (点 A) を探します。そして、補正曲線の点 B に届くまで伸ばします。Y 軸の点 C で対応する補正係数の値は 0.55 となります。

次に、定格電圧 (この例では 14,700 A²s) の総遮断 I²t 値に補正係数 0.55 を掛けて、総遮断 I²t 値を求めます。つまり、この例では、定格電圧よりも低い電圧 AC 500 V の L70S125 ヒューズの総遮断 I²t 値は、8,085 A²s (14,700 A²s x 0.55 = 8,085 A²s) となります。

この I²t 補正曲線は、定格電圧より低い環境または可変電圧環境で使用するヒューズのアプリケーションに応じた選択をするのに大変役立ちます。ヒューズの選択プロセスで、適切なヒューズ保護を実現するには、選択したヒューズの I²t 値が、半導体デバイスコンポーネントの耐性定格より小さい値になるように注意する必要があります。

3.8.4 ピークアーク電圧曲線

アーク (アーク発生) 電圧は、アーク発生時に過電流保護デバイス全体で生じる過渡電圧です。通常、アーク電圧は最大瞬間電圧 (V_{PEAK} または E_{PEAK}) で表します。

過電流故障状態の間、可溶性のブリッジが軟化して溶け始めると、ヒューズ内部でアークが発生します。消弧砂 (シリカ) で冷却されるまで、ヒューズ内部で発生したアークによって電子流や故障電流が発生します。最大アーク電圧に影響する他の要因として、電圧定格と力率があります。

このアーク発生過程の間に、アーク抵抗によりシステム電圧よりも高い最大瞬間アーク電圧がヒューズ端子間で発生します。高速ヒューズの内部で発生するアーク電圧は、瞬時逆電圧としてヒューズに直列接続されているパワー半導体デバイス全体に印加されます。

高速ヒューズの最大アーク電圧曲線は、定格電圧より下で変動する動作電圧でヒューズ内に発生するさまざまなレベルのアーク電圧を表します。これらの曲線は、力率 15% でテストした結果によるものです。

図 21 は、AC 700 V 高速ヒューズの端子間に発生する最大アーク電圧のレベルを表しています。例えば、最大アーク電圧曲線を利用して、400 A ヒューズの最大アーク電圧を 500 V の条件で求める要件を考えてみましょう。まず、曲線の下部にある X 軸で動作電圧 500 V (点 A) を探します。次に、この値を 225~800 A の曲線の点 B (400 A 定格の最大アーク電圧曲線) に届くまで上にたどっていきます。そして、点から左に Y 軸の点 C の最大アーク電圧まで移動します。対応する値 950 V は、動作電圧 500 V のときの 400 A 定格ヒューズの最大アーク電圧です。

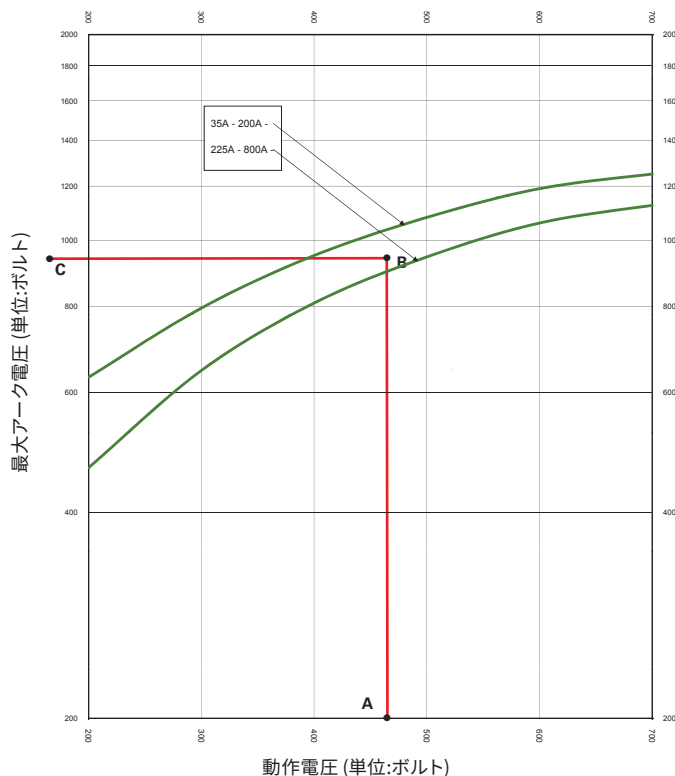


図 21. Littelfuse 高速ヒューズの最大アーク電圧曲線

ヒューズ 選択プロセスでは、半導体デバイスの破損を防ぐため、この最大アーク電圧 (逆電圧) がパワー半導体デバイスのピーク逆電圧 (PIV) よりも小さい値になるように注意する必要があります。

Littelfuse の最大アーク電圧曲線については、各高速ヒューズシリーズのデータシートを参照してください。

3.8.5 温度定格下げ曲線

ヒューズの電流容量は、使用するアプリケーションの動作周囲温度条件によって異なります。周囲温度が上昇すると電流容量は減少し、周囲温度が低下すると電流容量は増加します。ヒューズの動作温度範囲における電流容量の変化の判定には温度ディレーティング曲線が使用できます。

温度ディレーティング曲線は、ヒューズタイプによって異なり、通常はヒューズから数インチの距離で取り囲む周辺温度で決まります。ヒューズを密閉ヒューズホルダーに実装すると、環境はヒューズホルダーの直近の周辺温度になります。温度ディレーティング曲線は、ヒューズを安全に動作できる最も広い範囲の周囲温度 (X 軸) (動作温度の範囲) と、ヒューズの定格電流に適用する、アプリケーションの動作温度に対応するディレーティング係数が表示されます。

温度ディレーティング曲線を使用するには、まずアプリケーションの周囲温度を測定し、X 軸でその温度 (例として、**図 22** に示す基準点 A1) を見つけます。次に、温度ディレーティング曲線と交差するまでこの基準点から上に線を伸ばします。そして、左右いずれかに移動し、Y 軸上で対応する割合を探し出します。これで、このアプリケーションに選択したヒューズの定格電流に適用される、必要なディレーティング係数 (アップレーティングまたはダウンレーティング) が得られます。

ここで示した例で、このアプリケーションの周囲温度条件は、X 軸上の基準点 A1 に示されるように 70 °C です。ディレーティング曲線と交差するまで線を上に伸ばします。この例の場合、定格下げ曲線は Y 軸の 0% 部分より下であり、このアプリケーションではダウンレーティングが生じます。線を曲線右側の Y 軸まで伸ばし、20% がこのアプリケーションに選択したヒューズに必要なダウンレーティングの係数 (%) であることを確認します。言い換えると、このアプリケーションに選択したヒューズの定格電流を 20 % 減らす必要があり、計算された電流値がそのヒューズの新しい電流定格になります。

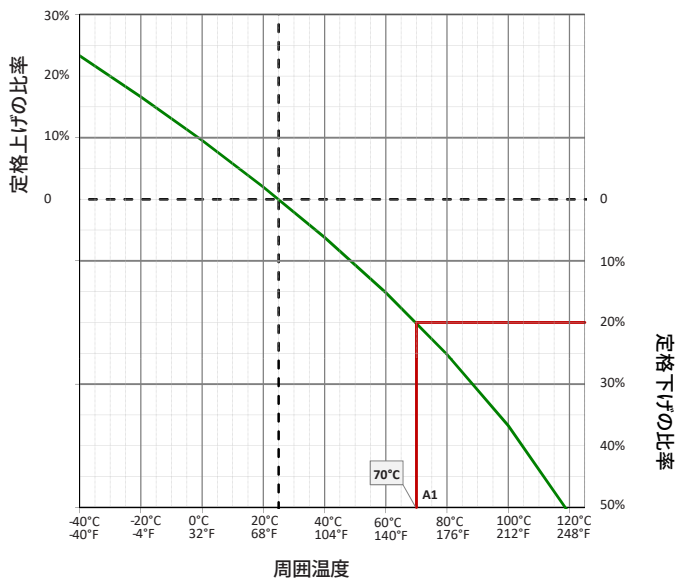


図 22. 温度定格下げ曲線

このアプリケーション例を完成させるため、このアプリケーションの 30 A ヒューズについて考えてみます。70 °C 周囲温度を基準にすると定格下げ係数は -20 % ですが、これをこのヒューズに適用します。ヒューズの新しい電流定格は、 $24 A \ll 30 A \times (100\% - 20\%) = 24 A \gg$ です。

Littelfuse 高速ヒューズにおいて、通常の保管温度は、相対湿度 75 % のとき -20 °C から 60 °C の範囲です。動作温度範囲は、-55 °C から +120 °C になります。

3.8.6 ワット損失補正曲線

通常動作の間にヒューズで消費されたエネルギーの量を、エネルギー損失またはワット損失と呼びます。国際規格では、ワット損失の値は、ヒューズ製造元が設定して、ヒューズの定格電流の 100 % でテストすることが求められています。

実際のアプリケーションにおいて、高速ヒューズは通常、その定格電流の 100 % まで負荷が掛けられることは少なく、定格電流の 60 % から 80 % 付近で負荷が掛けられています。Littelfuse では、定格電流の 100 % と 80 % の両方でテストして、導かれた高速ヒューズのワット損失の値を公表しています。このデータは、定格電流の 30 % から 100 % のヒューズシリーズのワット損失性能を表すワット損失補正係数曲線に基づいた数値を、データシート上で各ヒューズの電気的特性表の形式で公表しています。

図 23 は、高速ヒューズシリーズの一般的なワット損失補正曲線です。曲線の X 軸は定格電流の比率を表します。また Y 軸は、使用するヒューズの 100 % ワット損失の値に乘算される補正係数を表します。

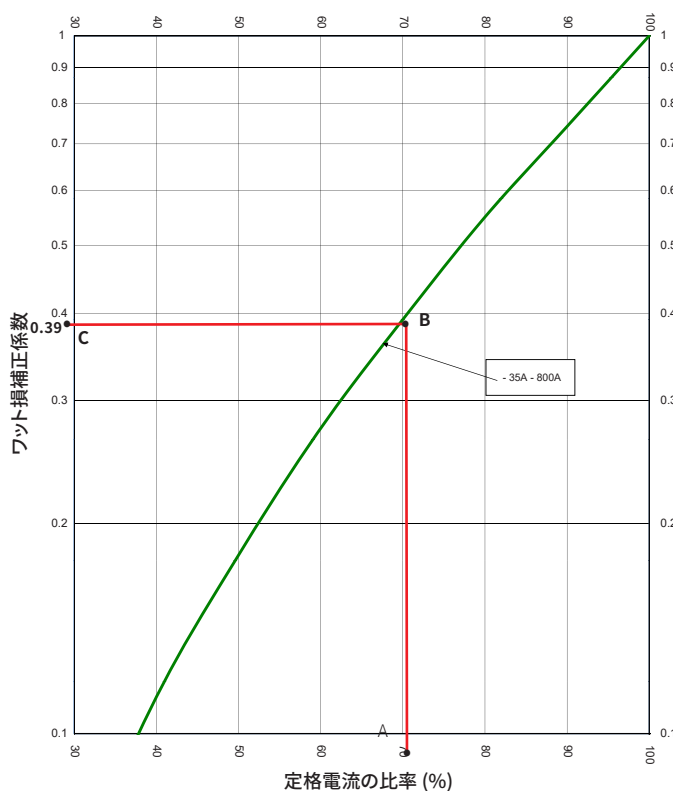


図 23. ワット損失補正曲線

例:

定格電流の 70 % の負荷をかけたときのヒューズのワット損失値を、図 23 に示すワット損失補正曲線で求めます。ヒューズのデータシート上の定格電流ワット損失は 24 ワットです。

図 23 から、必要な比率 70 % の値を X 軸 (点 A) で定め、ワット損失曲線 (点 B) まで線を上に伸ばします。

次に、左に移動して、選択したヒューズの 100 % ワット損失の値に乘算するワット損失補正係数を表す値を Y 軸 (点 C) 上で求めます。

曲線から得られた 70 % 定格電流時のワット損失補正係数は 0.39 です。この係数をヒューズの 100 % ワット損失の値に掛けると、 $24 \text{ W} \times 0.39 = 9.36 \text{ W}$ となります。

この 9.36 ワットは、その定格電流の 70 % の負荷をかけたときの、数学的に導かれたそのヒューズのワット損失の概算値です。



4.0 選定ガイドライン

高速ヒューズを適切に選択するには、定格電圧、定格電流、遮断定格、溶断定格、総遮断 I_{2t} 定格などの製品仕様書を十分に理解し、それらを各種アプリケーション条件に合わせて適切に考慮する必要があります。この項では、これらヒューズの仕様に影響を与えるアプリケーション条件に基づいて、高速ヒューズの仕様を選定するときの一般的なガイドラインについて解説します。

4.1 定格電圧

ヒューズの定格電圧は、動作可能な最大交流または直流電圧です。ヒューズの定格は、交流のみ、直流のみ、もしくは交流と直流の両方である場合があります。ヒューズの電圧定格は、実装されるヒューズに印加される電圧以上である必要があります。

ヒューズラベルの交流電圧定格は、ヒューズを安全に使用できる開回路の最大実効電圧値です。ただし重要なのは、直流回路で使用するヒューズは、直流アプリケーション専用で定格が設けられたヒューズであるということです。ヒューズラベルの直流電圧定格は、ヒューズを安全に使用できる最大直流電圧です。

一定の条件や制限の下で、交流定格のヒューズを直流回路で使用する場合があります。このような場合、安全にご使用頂けるヒューズの直流電圧定格については、Littelfuse ジャパン 営業本部にお問い合わせください。高速ヒューズの定格電圧の選定に最も影響を与える一般的なアプリケーション条件は、動作周波数、回生負荷、採用している認証機関の規格です。

4.1.1 動作周波数の影響 (E_f)

ヒューズの交流電圧定格は、UL 規格と IEC 規格に従って、45 Hz から 62 Hz の周波数でテストし、導き出されています。通常、印加周波数 (最大 1 kHz) は、ヒューズの性能に影響を与えません。ただし、周波数が低くなると (45 Hz 未満)、回路が直流回路のような働きをし、故障電流が解消されるまでヒューズ的能力に大きな影響を与える可能性があります。そのようなアプリケーションでは、交流定格電圧が印加交流電圧より高いヒューズの使用を推奨します。

低周波数アプリケーションでのヒューズの最低交流定格電圧を求めるには、適切な周波数補正係数 (E_f) (以下の図 24 を参照) を印加交流電圧に考慮し、適切なヒューズ電圧定格を求める必要があります。

ヒューズの最低交流定格電圧は、以下の図から求められます。

$$E_n \geq \frac{E}{E_f}$$

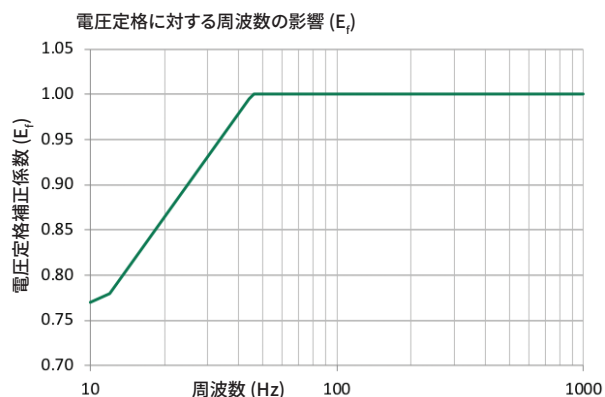


図 24. 周波数補正曲線

例:

印加電圧 (E) = AC 480 V

印加周波数 = 30 Hz

周波数補正係数 (E_f) = 0.9

ヒューズの最低交流定格電圧 $E_n \geq \frac{E}{E_f} \geq \frac{AC 480 V}{0.9} \geq AC 533 V$

以上から、AC 550 Vまたは AC 600 V 定格ヒューズの使用が推奨されます。

4.1.2 時定数の影響 (E_{fc})

直流過電流を安全に遮断する直流定格高速ヒューズの能力は、回路の直流時定数 (またはL/R 比) に影響を受けます。直流回路では、抵抗に対するインダクタンス (L/R) の比率で、故障電流の上昇率 (di/dt) が決まります。直流回路の時定数は、通常ミリ秒 (ms) で表され、これは直流回路が63%の最終値に達するまでにかかる時間です。

回路の時定数が長くなればなるほど、故障電流をヒューズで安全に遮断するのが難しくなります。Littelfuse 高速ヒューズは、UL 規格と IEC 規格に従って、10ms 以上の時定数 (L/R) の回路でテストされています。時定数が 10ms を超える回路を使用する場合、高速ヒューズの定格電圧を補正する必要があります。そのような場合は、Littelfuse ジャパン営業本部にお問い合わせください。

4.1.3 回生負荷の影響 (E_{reg})

回生パワーコンバータアプリケーションでヒューズを使用すると、制動時にモーターと接続負荷の両方またはいずれかからの機械的エネルギーが交流電源に回生し、転流不具合が発生する恐れがあります。これは、この回路での最悪な不具合です。この不具合は、印加した交流電圧電源が、コンバータ出力の直流電圧に重畳し、システム電圧の急激な上昇を招きます。そして安全に故障が解消するまでヒューズの能力に支障が生じます。

回生負荷アプリケーションにおいて高速ヒューズが安全に転流不具合を防ぐための最低定格電圧 (E_n) は、安全係数 (E_{reg}) 1.8 を印加電圧 (E) に掛けて求めます。

$$E_n = E \times E_{reg} \text{ または } E_n = E \times 1.8$$

非回生負荷の場合、安全係数 $E_{reg} = 1.0$

4.1.4 ヒューズ規格準拠の影響

Littelfuse が提供する高速ヒューズは、ヒューズスタイルによって、UL、IEC のいずれか、または多くの場合、両方の規格に準拠しています。北米スタイル円形筐体スタイルのヒューズは、UL 248-13 規格に準拠しており、定格電圧試験は、ヒューズの 100 % 交流定格電圧で行われます。

それに対し、角形の筐体スタイルヒューズは、IEC 60269-4 規格と UL 248-13 規格の両方でテストしています。IEC 規格では、あらゆる過負荷状態を考慮して、ヒューズの交流定格電圧の110 % で定格電圧試験を行います。

IEC アプリケーションで北米スタイル円形筐体スタイルヒューズの定格電圧を決定するには、印加電圧に安全係数 0.9 を掛け、補正する必要があります。

高速ヒューズ最低定格電圧: $E_n = \frac{E}{0.9}$

結論として、ヒューズの定格電圧は、以下の式で求められます。

$$E_n = \frac{E \times E_{reg}}{E_f}$$

IEC アプリケーションで使用する北米スタイルヒューズの場合、ヒューズの交流定格電圧は次の式で求められます。

$$E_n = \frac{E \times E_{reg}}{0.9 \times E_f}$$

定義:

E = 印加電圧

E_{reg} = 回生負荷安全係数

E_f = 周波数補正係数

4.2 定格電流

高速ヒューズの定格電流は、適合規格 (UL と IEC) で定義された特定の条件下で、ヒューズに連続して流せる様に設計された交流電流の実効値 (交流と直流の定格では直流の定常電流) と定義します。

ヒューズラベルに印刷された定格電流は、適合規格条件で実施した試験に基づいたものです。

- **交流回路条件:** 周囲温度 20 °C ± 5 °C のときの 45 Hz から 62 Hz の周波数範囲。
- **直流回路条件:** 周囲温度 20 °C ± 5 °C のとき 10ms 以下の時定数 (L/R)。

通常、ヒューズは常に適合規格条件に適合されるわけではありません。そのため、ヒューズの定格電流の選定 (選択) は、さまざまな適用要素と条件によって異なります。

4.2.1 高速ヒューズ定格電流の選定

以下のステップで、各種アプリケーションに対する高速ヒューズの選定方法を説明します。

ステップ 1: ヒューズの正常全負荷電流を求める

電力変換回路内のヒューズの位置 (交流側と直流側のいずれか) によって、ヒューズに流れる負荷電流は変化します。ほとんどの場合、この通常負荷電流は、アプリケーションの設計エンジニアから得ることが出来ます。

正常な全負荷電流が得づらいアプリケーションでは、電流の実効値 (交流側ヒューズング) または定常電流 (直流側ヒューズング) を計算することで値を求めることができます。

電力変換アプリケーションでは、整流器の出力電流が脈動するため、この交流電流の実効値と直流定常電流 (直流平均電流) を簡単に求めることは出来ません。

図 25 は、単相フィルター処理なしの全波整流回路で、交流電流の実効値と直流平均電流の関係を表したものです。

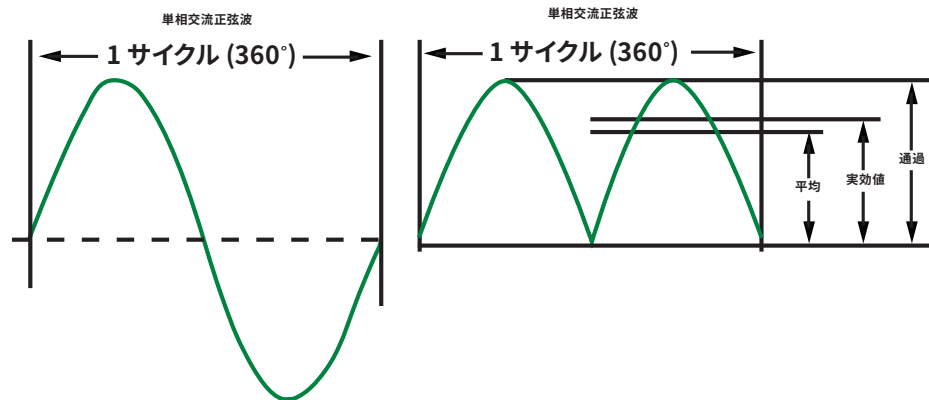


図 25. 単相フィルター処理なしの全波整流回路の交流実効電流と直流平均電流の関係。

定義、

I_{PEAK} = ピーク電流

I_{AVG} = 直流平均 (出力) 電流

I_{RMS} = 交流実効電流

$$I_{AVG} = 0.636 \times I_{PEAK}$$

または

$$I_{PEAK} = I_{AVG} / 0.636$$

$$I_{RMS} = 0.707 \times I_{PEAK}$$

上の式に I_{PEAK} を代入すると、

$$I_{RMS} = (0.707 / 0.636) \times I_{AVG}$$

交流側の正常全負荷電流 (I_{AL}): $I_{RMS} = 1.11 \times I_{AVG}$

または

直流側の正常全負荷電流 (I_{AL}): $I_{AVG} = 0.9 \times I_{RMS}$

ヒューズを流れる平均直流電流は交流実効値の90%です(図25を参照)。回路の交流側にあるヒューズでは、直流平均出力電流の1.11倍の電流の実効値が流れます。

回路で使用する複数の半導体(全波、並列、3位相、または類似の回路など)に合わせて複数のヒューズを使用するとき、各ヒューズを流れる電流は回路内のヒューズの位置によって異なります。

以下の整流回路オプション例では、考えられるヒューズの配置と、そこに流れる交流電流の実効値(100%直流定常負荷電流で計算)を示します。

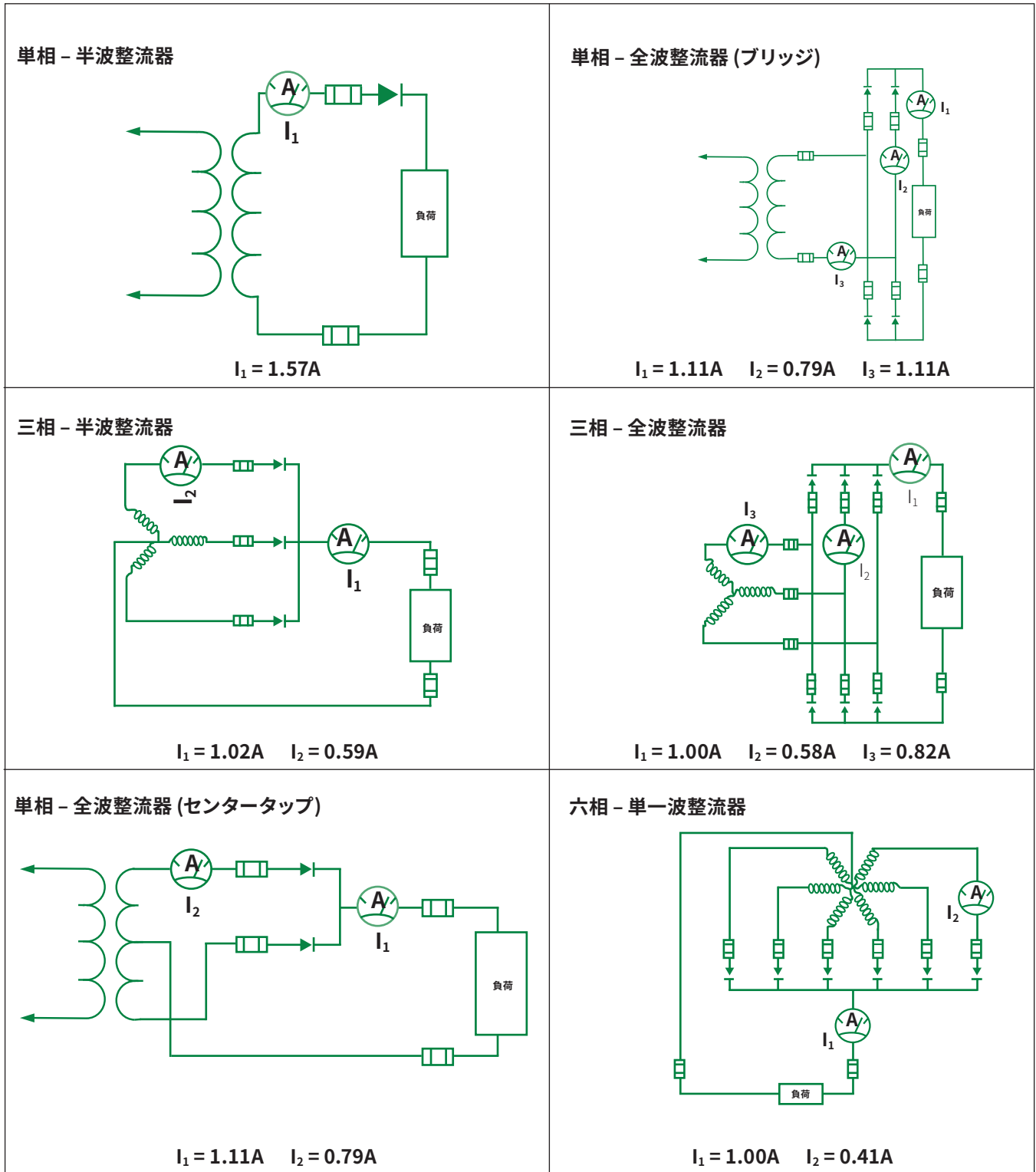


図 26. 典型的な整流回路と回路内の高速ヒューズの位置



ヒューズを流れる電流が一定で、1時間以上それが持続すると、前頁の図にあるように、通常負荷電流の計算値は、交流電流の実効値または直流定常電流値に近い値になります。

ただし、負荷電流が変わるアプリケーションにおいて、特に突入電流や循環電流(定期的に繰り返す同じ電流サイクル)にさらされる場合、ヒューズを流れる通常負荷電流は、デューティーサイクルとして知られる1サイクルの実効電流を計算することによって得られます。

図 27 は、一般的な可変負荷サイクルです。可変負荷サイクルの補正された通常負荷電流は以下の式で求められます。

$$I_{AL} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{T}}$$

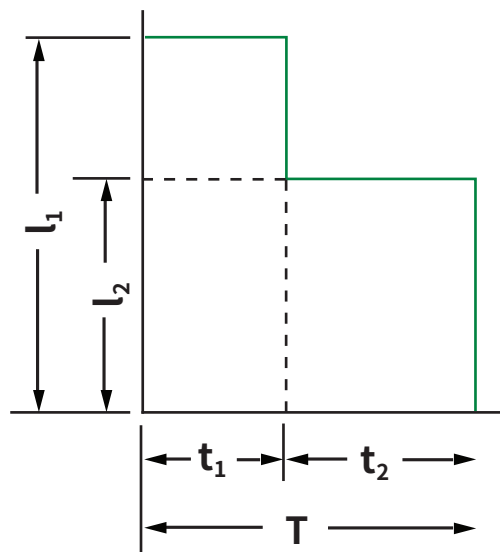


図 27. 可変負荷電流 (循環電流)

定義、

- $I_1, I_2 \dots I_n$:** 可変負荷電流の実効値 (アンペア)
- $t_1, t_2 \dots t_n$:** 対応する電流印加時間 (秒)
- T:** 1回の可変負荷電流サイクルの合計時間 (OFF 時間を含む)



例:

図 28 で示した循環電流の補正された通常負荷電流を求めます。

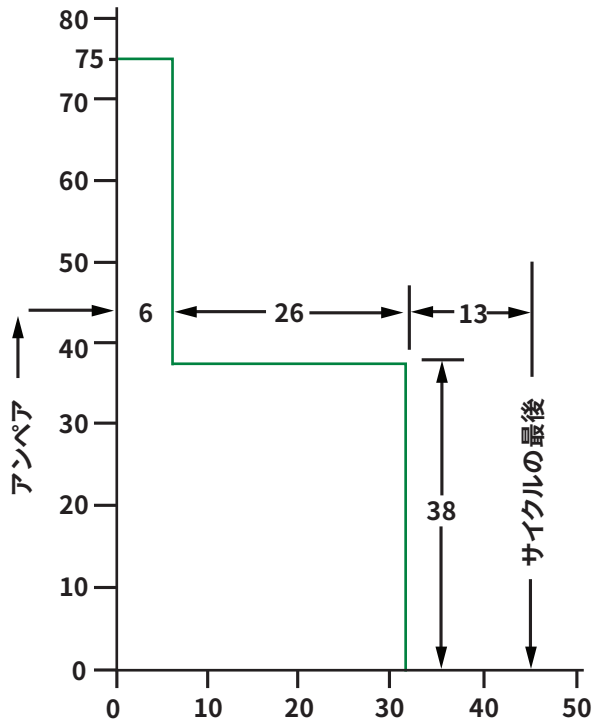


図 28. 循環電流

定義、

I_1 : 75A

t_1 : 6 秒

I_2 : 38A

t_2 : 26 秒

I_3 : 0A

t_3 : 13 秒

合計時間 (T): 45 秒

$$I_{AL} = \sqrt{\frac{(I_1^2 * t_1) + (I_2^2 * t_2) + (I_3^2 * t_3)}{T}}$$

$$I_{AL} = \sqrt{\frac{(75^2 * 6) + (38^2 * 26) + (0^2 * 13)}{45}}$$

$I_{AL} = 40A$

不規則な電流サイクルの場合、負荷電流の補正は、最大有効サージ電流が発生する期間を含む1時間で計算する必要があります。

サージ電流の大きさと時間によっては、補正計算された通常負荷電流 (I_{AL}) はシステムのサージを大幅に下回ることがあります。

パワー半導体のアプリケーションにおけるその他の共通な話題は、複数のパワー半導体デバイスの並列接続です (図 29 参照)。多並列接続と呼ばれるこの状況では、デバイスごとに電力変換回路の各アーム/レッグの個別の高速ヒューズで保護します。

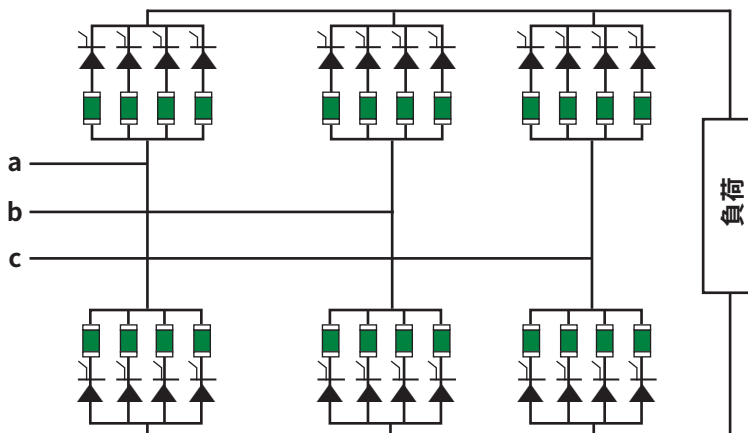


図 29. 整流回路の多並列接続

このような状況では、各アーム/レッグに流れる負荷電流は、すべての並列経路に流れます。ただし、並列負荷電流は最大で 20% の不均一が許容されるため、通常、各並列負荷電流は等しくありません。多並列回路は並列経路が1本少なくなった(内故障時のヒューズ動作のため)場合でも連続動作が可能です。したがって、このような多並列回路のヒューズを流れる負荷電流を求めるときは、これらの条件の両方を考慮する必要があります。

多並列接続回路で各ヒューズを流れる正常負荷電流 (I_{AL}) は、以下の式で求められます。

$$I_{AL} = \frac{I_{AL(LEG)}}{\left\{ \frac{N}{(1+S)} \right\} - 1}$$

定義、

$I_{AL(Leg)}$ = 各アーム/レッグの実効電流値の合計

N = 各アーム/レッグの並行経路の合計数

S = 負荷電流共有率 (0%~20%)

選択した高速ヒューズの定格電流は、定格補正係数 (以下のステップ 2 で計算) を、この項で得られた通常負荷電流 (I_{AL}) に適用することで求められます。



ステップ 2: 高速ヒューズの適切な電流定格の求め方

熱に弱いヒューズデバイスの動作 (溶断) は、さまざまなアプリケーションパラメーターに影響されます。これらのパラメーターは、ヒューズの電流容量 (定格電流) 全体に影響を及ぼします。以下に示したのは、適用パラメーターと高速ヒューズの選定の際に考慮すべき、それぞれの補正係数です。

高速ヒューズの定格電流は、以下の式で求められます。

$$I_N = \frac{I_{AL}}{F_{AT} * F_{FC} * F_{WR} * F_{HZ} * F_{SS} * F_{AL}}$$

定義、

I_{AL} = 補正された通常全負荷電流

I_N = 対象アプリケーションでの高速ヒューズの定格電流

F_{AT} = 周囲温度補正係数

F_{FC} = 強制冷却補正係数

F_{WR} = 配線接続補正係数

F_{SS} = 開閉補正係数

F_{AL} = 高度補正係数

2a: 周囲温度 ヒューズは動作中、その直近の周囲の気温 (周囲温度) に影響を受けます。通常、高速ヒューズは、規格試験条件の $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ で試験され、 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ の広い動作温度範囲で使用されます。ヒューズを、その規格試験範囲外の周囲温度で使用するときは、周囲温度の適切な補正係数を計算して、補正されたヒューズ定格を適切に選択する必要があります。周囲温度補正係数 (F_{AT}) は、以下の式で求められます

$$F_{AT} = \sqrt{\frac{125 - T_a}{125 - T_{std}}}$$

定義、

T_a = アプリケーションの周囲温度

T_{std} = 規格試験の周囲温度

例:

$55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 周囲温度条件で実装したヒューズの周囲温度補正係数を求めます。

以下の式で計算します。

$$F_{AT} = \sqrt{\frac{125 - T_a}{125 - T_{std}}} = \sqrt{\frac{125 - 55}{125 - 25}} = \sqrt{\frac{70}{100}} = \sqrt{0.7}$$

$F_{AT} = 0.84$

2b:強制冷却:パワー半導体デバイスはその開閉特性から、通常、正常な動作状態で大量の熱を発生します。その発生した熱により、安全に動作可能な温度の限度を超えると、デバイスは動作不能になります。

そのため、これらのアプリケーションでは、強制空冷と水冷の2つの放熱方法が広く用いられています。これらのデバイスを保護するために使用する高速ヒューズも先の放熱方法に左右され、電流量は直接影響を受ける(増加する)可能性があります。

図 30 に示す曲線は、高速ヒューズの定格電流を選定するのに用いる強制冷却(空冷)補正係数 (F_{FC}) です。

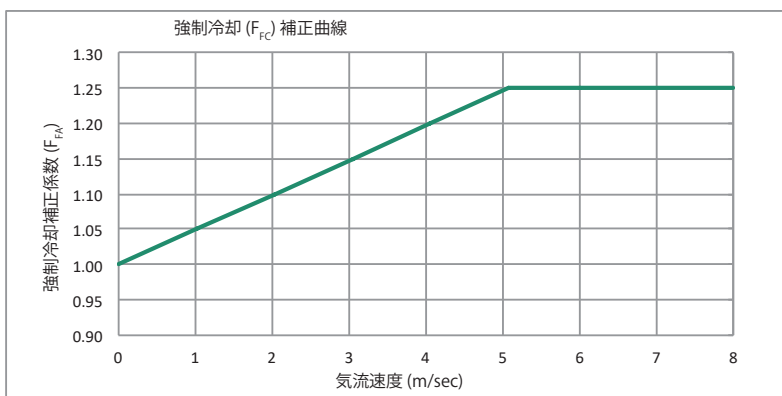


図 30.強制(空気)冷却補正係数 (F_{FC}) 曲線

例:

気流速度 4 m/sec のアプリケーションに実装したヒューズの強制冷却補正係数を求めます。

強制冷却補正曲線より:

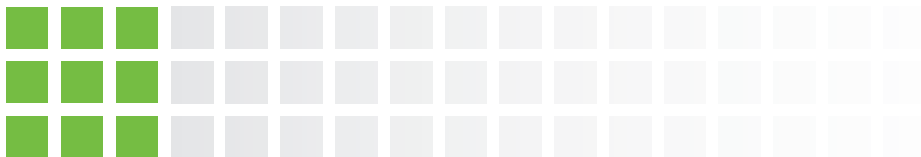
平均電流密度と基準値 (100 %)

気流速度 4m/sec のとき、 $F_{FC} = 1.20$

水冷バスバーシステム(強制空冷と併用の場合も)のアプリケーションでは、高速ヒューズの定格電流を選定する際、強制冷却補正係数 $F_{FC} = 1.25$ を考慮します。

2c:導体のサイズ(配線接続係数):高速ヒューズは、ケーブルやバスバーなどの銅導体端子を介してシステムに接続されています。端子の主な目的は電力を伝えることですが、ヒューズ端子が効率よく動作するように、ヒューズ端子から熱を取り除く放熱デバイスとしての働きもあります。

ヒューズと配線/バスバー間の仕様の補正では、
導体のサイズが非常に重要です。
導体サイズを無視すると、
ヒューズの不要動作が発生する可能性があります。



高速ヒューズの電流容量には、導体の断面積が大きな影響を与えます。高速ヒューズの定格電流は、国際規格で概説されている推奨導体サイズで試験をすることにより求められます。現場でこれらのヒューズを使用する際、導体サイズが推奨導体サイズより小さい場合、ヒューズの定格電流を適切に下げる必要があります。別の言い方をすれば、ヒューズの電流定格は、導体断面積で決まるということです。

IEC 60269-4 規格の第 8.3.1 項によると、使用する銅導体の電流密度の範囲は 1.0 A/mm² (最小) から 1.6 A/mm² (最大) であり、電流密度はヒューズの定格電流によって異なります。計算を容易にするために、1.3 A/mm² を導体サイズの基準値 (100%) とします。この基準値とアプリケーションの導体サイズから比率を算出し、その比率よりそのアプリケーションでの配線補正係数 (F_{WR}) を、**図 31** の曲線から求め、高速ヒューズの定格電流の選定を行います。

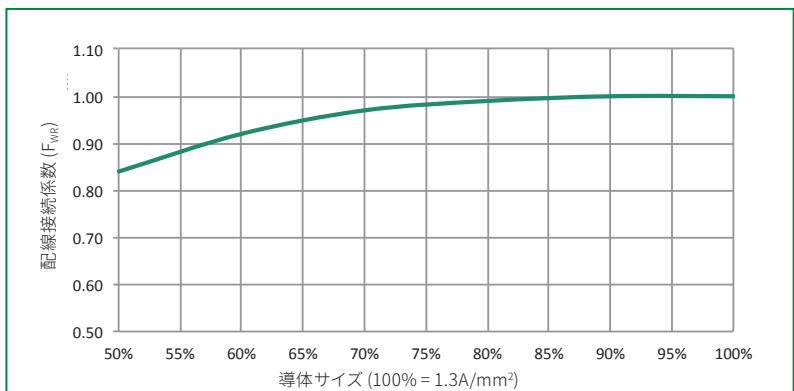


図 31. 配線接続係数 (F_{WR}) 曲線

例:

断面積が 185 mm² の銅導体を使用した 400 A 負荷電流のアプリケーションのときの配線接続係数を求めます。

負荷電流: 400 A

アプリケーションで使用する導体サイズ: 185 mm²

IEC 規格に沿った銅電流密度: 1.3 A/mm²

400 A の推奨導体サイズ (IEC 規格準拠):

$$\frac{400 \text{ A}}{1.3 \text{ A/mm}^2} = 308 \text{ mm}^2$$

上で求めた IEC 推奨導体サイズに基づいて、使用する適用導体サイズは、推奨サイズの約 **60%** になります。

配線接続係数曲線で求めた 60% 値を適用すると、対象アプリケーションの配線接続係数は、**F_{WR} = 0.92 になります。**

2d: 周波数: 高速ヒューズは、1 つ以上の可溶体がヒューズ筐体に並列構成で接続されています。これらのヒューズが高い周波数にさらされると、AC 電源の電磁作用により表皮効果、近接効果と呼ばれる現象が生じ、ヒューズを流れる電流が可溶体の外層に追いやられます。この現象で、可溶体間に不均衡電流が発生して熱が上昇し、これによりヒューズの電流容量が大幅に低下して、ヒューズが早期に動作してしまいます。

高周波数はヒューズの電流定格に影響を与えます。

周波数が 10 kHz を超えるアプリケーションは、非常に高い周波数であるとみなされ、高速ヒューズの選定に十分注意を払う必要があります。このようなアプリケーションについては、Littelfuse ジャパン営業本部にご相談ください。

図 32 の曲線は、高速ヒューズの定格電流選定で考慮すべき周波数補正係数 (F_{Hz}) を求める際に使用します。

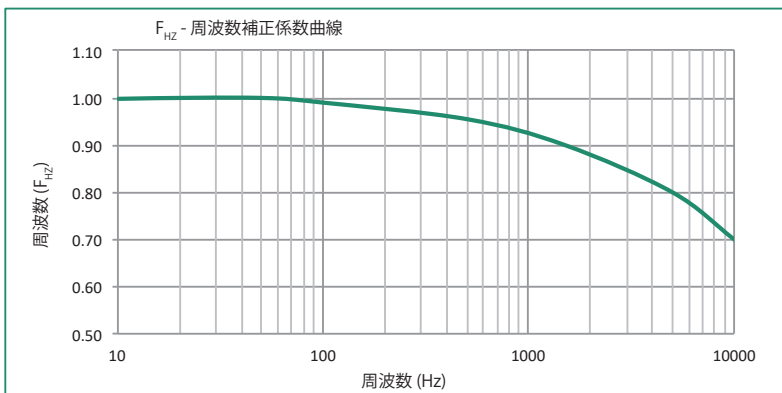


図 32. 周波数補正 (F_{Hz}) 曲線

例:

印加周波数が 500 Hz のアプリケーションの周波数補正係数を求めます。

印加周波数:500 HZ

図 32 の周波数補正曲線から、このアプリケーションに対する周波数補正係数は $F_{Hz} = 0.96$ です。

2e:開閉とサージ: あらゆる電気機器には、起動操作と停止操作はつきものです。起動 (ON) と停止 (OFF) 操作の頻度、およびそれに付随する開閉時の電流のサージで、高速ヒューズの寿命への影響が決まります。

ON-OFF の開閉操作は、ヒューズエレメントに加熱と冷却の影響を与えます。開閉の操作回数が多いほど、一定期間におけるヒューズの電流容量に対する影響が大きくなります。

以下の開閉補正係数表は、頻繁な開閉が伴うアプリケーションで考慮すべき推奨開閉定格補正係数 (F_{SS}) です。

表 1.開閉補正係数 (F_{SS}) 表

開閉補正係数 (F_{SS}) 表	
開閉の頻度	開閉補正係数 (F_{SS})
1年間の停止回数が 12 回未満	1.00
1か月間の停止回数が 2 回以上	0.95
1週間の停止回数が 3 回以上	0.90
1日の停止回数が 2 回以上	0.85
1日の停止回数が数回	0.80



2f:高度: 平均海水面 (MSL) 2,000 m を超えると、ヒューズエレメント内の対流と輻射により放熱率が低下します。

高速ヒューズ定格電流の計算時には、平均海水面 2,000 m 以上を超える場合、100 m ごとに 定格を0.5 % 緩和した値を部品の定格電流に適用する必要があります。

高度補正係数は、項 $F_{AL} = (1 - ((h - 2000) / 100) * 0.005)$ で求められます。ここで、「h」は適用高度です。

例

海拔 3500m で実装時に使用する高度補正係数を求めます。

適用高度 (h):3500 m

高度補正係数の式:

$$F_{AL} = (1 - ((h - 2000) / 100) * 0.005)$$

$$F_{AL} = (1 - ((3500 - 2000) / 100) * 0.005)$$

$$F_{AL} = (1 - (0.075))$$

$$F_{AL} = 0.925$$

高度補正係数 $F_{AL} = 0.925$

高速ヒューズの定格電流: 高速ヒューズの定格電流は、以下の式で求められます。

定義、

I_{AL} = 補正された通常全負荷電流

I_N = 対象アプリケーションでの高速ヒューズの定格電流

F_{AT} = 周囲温度補正係数

F_{FC} = 強制冷却補正係数

F_{WR} = 配線補正係数

F_{SS} = 開閉補正係数

F_{AL} = 高度補正係数

$$I_N = \frac{I_{AL}}{F_{AT} * F_{FC} * F_{WR} * F_{HZ} * F_{SS} * F_{AL}}$$

例:

以下のシステム詳細の整流器アプリケーションに合った、適切な Littelfuse POWER-SPEED 北米スタイル円形筐体ヒューズを求めます。

AC システム電圧 = 600 V

周波数 = 60 Hz

周囲温度 (T_a) = 65 °C

強制空冷 = 3 m/s

負荷電流 = 100 A

発生しうる短絡故障電流 = 35 kA

負荷状態 = 1日 15 回停止

過負荷状態 = 3 分ごとに 10 秒間 200 %

サイリスタ耐性定格 = 20,000 A²s

ヒューズの定格電圧 (E_N):

$$E_N = \frac{E}{0.9}$$

$$E_N = \frac{600}{0.9}$$

$$E_N = \text{AC } 667 \text{ V} \sim 700 \text{ V}$$

負荷電流:

$$I_{AL} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2}{T}}$$

$$= \sqrt{\frac{(100^2 * 180) + (200^2 * 10)}{190}}$$

$$I_{AL} = 107.6$$

周囲温度補正係数:

$$F_{AT} = \sqrt{\frac{125 - 65}{125 - 25}}$$

$$F_{AT} = 0.775$$

強制冷却補正係数

強制空冷: 3 m/s

強制冷却補正係数グラフから、

$$F_{FC} = 1.15$$

開閉補正係数

1日の停止回数: 15

開閉補正係数表から

$$F_{SS} = 0.8$$

ヒューズの定格電流 (I_N)

$$I_N = \frac{I_{AL}}{F_{AT} * F_{FC} * F_{SS}}$$

$$I_N = \frac{107.6}{0.775 * 1.15 * 0.8}$$

$$I_N = \frac{107.6}{0.713}$$

$$I_N = 150.9 \sim 150 \text{ A}$$

関係する全ての係数も含めて定格電流を計算すると、POWR-SPEED ヒューズ品番 L70QS150.V、定格 150 A、AC/DC 700、200 kA I.R. がこのアプリケーションに適切であると検討可能です。このヒューズの総遮断 I^2t の値は、AC 700 V時に 13,650 A²s で、サイリスタデバイスの耐性定格 20,000 A²s を下回り、このアプリケーションの電圧定格要件と電流定格要件を満たしているので推奨できます。

4.3 遮断定格

遮断定格は、目に見える変形が生じることなく、ヒューズで遮断できる最大故障電流の実効値として定義されます。高速ヒューズとその他の産業用ヒューズの遮断定格は、通常キロアンペア (kA) で表します。

選択したヒューズの遮断定格 > 発生しうる故障電流

選択したヒューズの遮断定格は、十分な保護機能を確認するため、対象アプリケーションの発生しうる故障電流を上回る必要があります。

4.4 総遮断 I²t 値 (エネルギー耐量)

総遮断 I²t 値は、定格電圧で試験したときの最大通過エネルギーです (データシートテーブルに掲載)。適用定格よりも低い電圧の総遮断 I²t 値は、総遮断 I²t 補正係数チャートで求めることができます (第 3.8.3 項参照)。

総遮断 I²t 値 < 半導体デバイスのヒュージング I²t 値

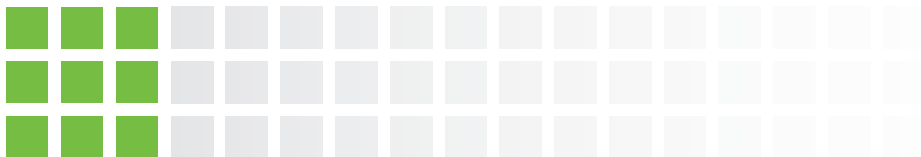
ヒューズの総遮断 I²t 値は、半導体デバイスの耐性定格、またはヒュージング I²t 値 (A²s で示す) より小さい必要があります。

4.5 ピークアーク電圧

動作中にヒューズエレメントに発生する電圧をアーク電圧と呼びます。アーク電圧はヒューズ定格電圧より高圧です (約 2 倍)。ヒューズの最大アーク電圧は、定格電圧による試験時に発生します。定格電圧より低い電圧定格のヒューズのアーク電圧を計算するには、データシートの最大アーク電圧補正係数チャートを使用します (第 3.8.4 項参照)。

ヒューズの最大アーク電圧 < 半導体の最大逆電圧 (PIV)

計算した最大アーク電圧は、使用する半導体デバイスの最大逆電圧 (PIV) よりも低いものとします。



5.0 使用する際の注意事項

5.1 電力変換デバイスの保護

一般的な環境における高速ヒューズの典型的なアプリケーションには、モーター制御システム (ドライブやソフトスターターなど)、電源、加熱アプリケーションで使われている電力変換デバイスの保護が含まれます。

図 33 は、典型的な三相パワーコンバータ回路です。この回路には、入力コンバータ (整流器)、フィルタとDC接続 (DC コモンバス)、出力インバータ (またはインバータ) の 3 つの基本構成要素があります。

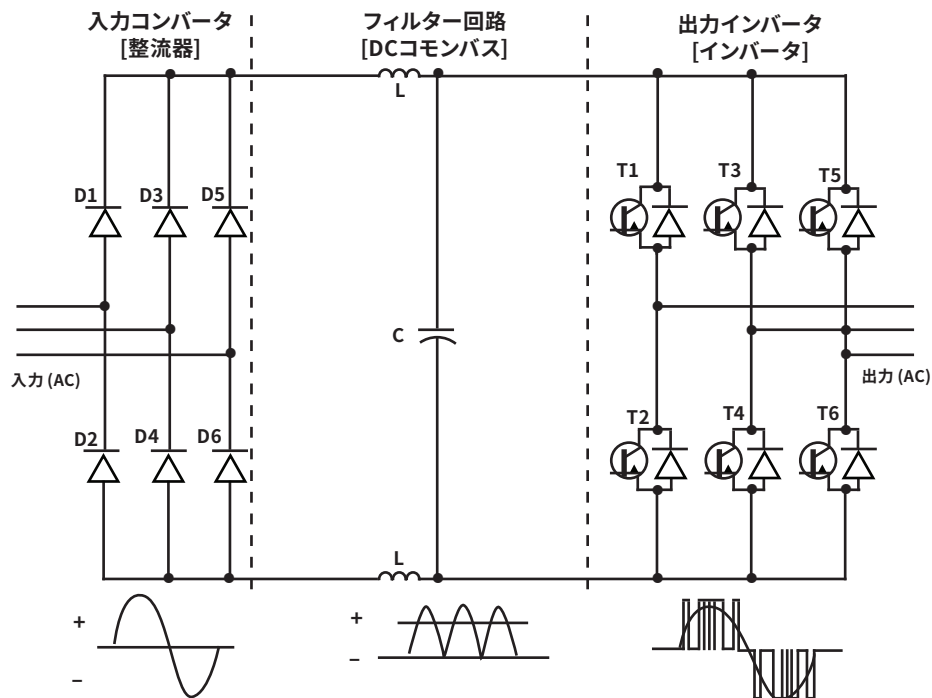


図 33. 一般的な三相パワーコンバータ回路

保護要件はそれぞれの位置で異なりますが、この回路でのヒューズの主な目的は、公称負荷電流と発生しうる過負荷電流が遮断されことなく継続的に流れるようにすることです。同時に、最小限のエネルギーで過負荷や短絡などの過電流故障から回路を保護することです。これは回路に接続されたパワー半導体デバイスを保護するためです。

5.1.1 整流回路の保護について

通常、整流回路の設計ではパワー半導体ダイオードを使用します。電流を一方向に流して、AC から DC に変換するのがこの回路の主たる目的です。整流回路は、小型電源から、大型の高電圧DC動力伝達システムまで、様々なアプリケーションで利用されています。

電力定格を考えると、整流回路における高速ヒューズの位置は、システムのサイズによって異なります。図 34 は、整流回路における高速ヒューズの典型的な位置を示しています。

電力定格が小さいデバイスの場合、高速ヒューズは通常、AC回路側の各位相だけに取り付けられています。



大規模な電力システムの場合、高速ヒューズは通常、AC回線側に配置されるとともに、整流回路の各アームにパワー半導体と直列に配置されます。

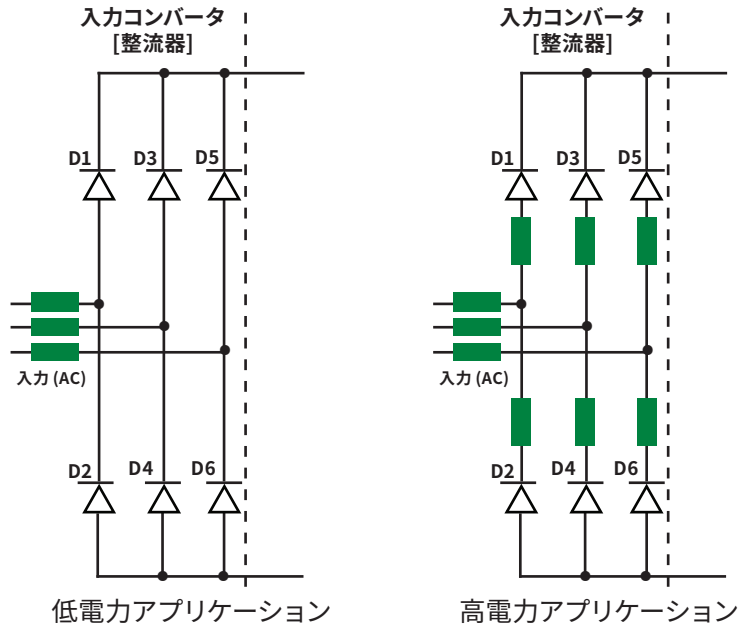


図 34. 整流器の高速ヒューズの位置

5.1.2 インバータ回路の保護について

パワートランジスタ (IGBT と MOSFET) は、通常、インバータ回路の設計で使用します。これらのトランジスタデバイスは、駆動回路のゲートパルスを利用してオン、オフに切り替え、DC電源から必要な AC 波形を生成します。インバータ回路は、電気モーターの可変速ドライブ、無停電電源デバイス (UPS)、バッテリーマネジメントシステム、フレキシブル交流送電システム (FACTS) など、その他様々なアプリケーションに使われています。

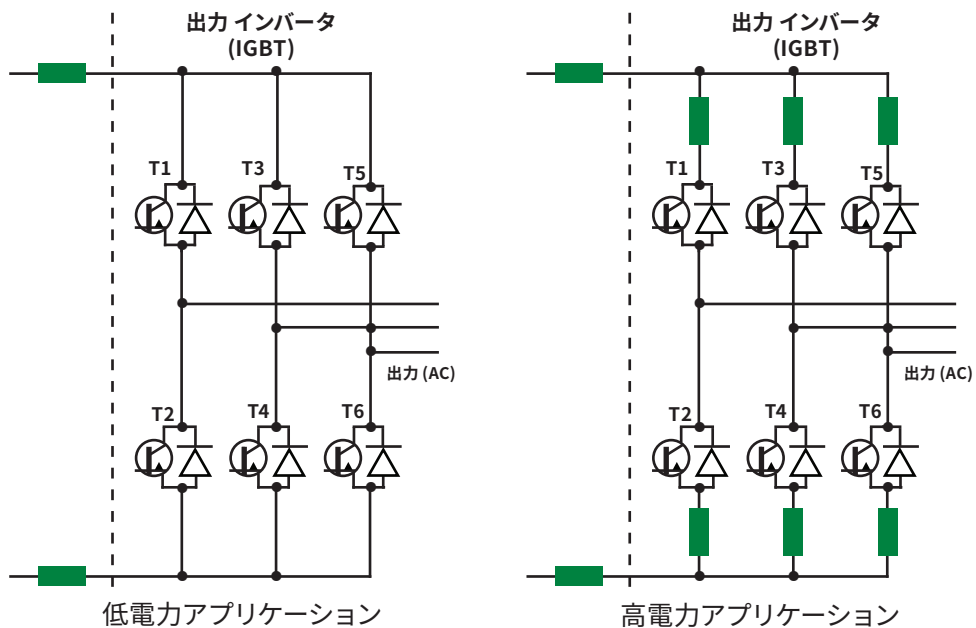


図 35. インバータの高速ヒューズの位置

高速ヒューズは、回線間の短絡の発生防止の目的でインバータ回路に使用されます。この故障が発生する原因はいくつかありますが、トランジスタのON-OFF動作不具合が主な原因です。インバータ回路の定格電力によって、回路で使用する高速ヒューズの位置と数が異なります。低電力アプリケーションの場合、高速ヒューズは通常、DCバス（正と負に1つずつ）にのみ配置されます。高出力インバータ回路の場合、ヒューズはDCバス側と各トランジスタに近いところ（直列）に使用されます。

5.1.3 DCバスの保護について

アプリケーションによって、DC コモンバス (DC バス) の保護の要件が異なります。DC バスは通常、幾つかのモーターアプリケーションと接続する場合に (図 36) 用いられます。その場合、複数の変則可能な速度ドライブに DC コモンバスから電源を供給します。工場で複数のモーターを使用する場合、この構成が最も効率的です。この構成で考えられる一般的な不具合の発生は、回線間の DC 短絡故障です。この故障では、DC バスに接続されたドライブを保護するため、DC 回線の正と負の両方のバスに高速ヒューズによる保護が必要になります。

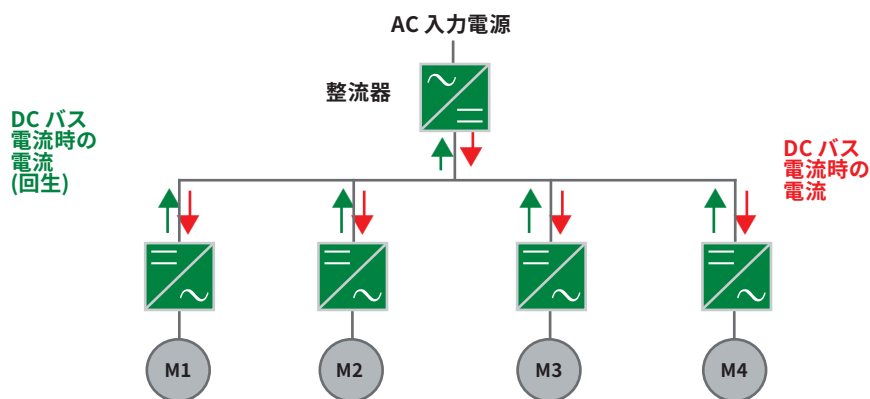


図 36: DC バスの構成

DC バスの保護は、絶縁故障の影響を受けやすく、回線間の DC 短絡故障が発生するおそれのある独立した DC ドライブ及びフィルター回路付近のコモン電力変換回路にも必要です。このアプリケーションには、正と負の両方のバスに高速ヒューズを使用することを推奨します。

一般的に、DC バスを保護するとき、アプリケーション仕様よりも時定数 (L/R 値) が高くなる様に設計された DC 電圧を持つ高速ヒューズを使用し試験することが、最も確実な保護素子を選択する正しい方法です。DC バスの保護に AC 高速ヒューズは推奨できません。

5.2 UL モーター分岐回路の保護

UL リスト (電流制限と例外措置) のヒューズのみが分岐回路保護に使用できるというのが、NEC と業界における一般的な見解です。ただし一定の条件下では、NEC は、モーター分岐回路を保護するために、高速ヒューズの使用を認めています。

NEC Article 430.52(C)(5) には、ドライブやソフトスターなどの半導体素子を使用するモーター制御システムで、モーター分岐回路を保護するための高速ヒューズの仕様概要がまとめられています。

NEC によれば、モーターデバイスが組み込み過負荷保護で保護されているときや、同じ回路に接続された独立したデバイスで過負荷保護が提供されているときは、高速ヒューズを分岐回路の保護に使用できます。典型的な例としては、可変周波数ドライブまたはその他電力変換デバイスを使用し、過負荷保護をドライブに組み込んだ大規模なモーター回路があります。規格の例外措置を検討している一部のユーザーに対して、誤用を避けるために NEC が課している条件は、高速ヒューズの交換の為に実装部の近くにマーキング (部品番号、種類など) することです。

多種多様な形状とサイズがある為、高速ヒューズはUL 248-13 規格で ULレコグナイズド認証となることはあっても、UL リステッド認証となることはありません。

5.3 IGBT ベースのデバイスの保護

良質な電力出力を得るためには、電力変換回路の低インダクタンス (インバータ) 側で IGBT などの高周波数デバイスが一般的に使用されます。そのような回路では開閉損失が発生しやすく、エンジニアにとって最小限の損失で設計するのが課題となります。コンデンサー、バスバー、ヒューズなど、これら回路で使用されるコンポーネントは、できるだけ低いインダクタンスで計算します。

通常、高速ヒューズで IGBT モジュールを短絡故障から保護することはできませんが、ダイオードやサイリスタでは可能です。今日のIGBTモジュールは、マイクロ(μ)秒で機能するように特別に設計された駆動回路によって、瞬時に短絡を検知し、オフにすることができるからです。

ただし、短絡故障状態の間に駆動回路で IGBT をオフにできない、あるいは IGBT に接続された内部導体 (細いアルミ線) が溶けた場合、電流と電圧が著しく上昇してしまいます。IGBT モジュール内で溶断とアークが発生し、シリコン材料が気化して、ケースの壊滅的な破裂を引き起こすことがあります。

高速ヒューズをIGBTデバイスと併用すれば、先の壊滅的な破裂を防ぐことができます。高速ヒューズは、数ミリ秒以内の短絡故障を検知し、動作します。動作中に完全な開回路状態が成立すると、高速ヒューズは IGBT モジュールに流れる電流を、ケースが破裂する事のない値まで限流します。

特別に設計された IGBT ヒューズの限流範囲は、高周波数アプリケーションの低インダクタンス用のものです。これらのデバイスは、各ヒューズエレメントに等しく電流が流れる様に特別な設計がされており、逆近接効果による影響とエレメント間の温度不均衡が最小限に抑制されます。ただし、このような特別に設計された IGBT ヒューズでも、IGBT モジュールを保護することはできません。なぜなら設計目的がケース破裂を防ぐことだからです。

アプリケーション要件に応じて標準的な高速ヒューズを適切に選定すると、IGBT ベースデバイスのアプリケーションでも適切な保護を実現できます。

5.4 並列接続の高速ヒューズ

大電流が流れるアプリケーションでは、大型の高速ヒューズが求められます。しかし、このような大型ヒューズの利用は限定的で、むしろ標準サイズの高速ヒューズを並列接続し大電流に対応する方法が一般的でした。

但し、ヒューズの並列接続には、それ自体にメリットとデメリットがあります¹。

ヒューズの並列接続のメリット:

- 要件を満たせる適切な単一の大型のヒューズがない場合に、大電流で定格電圧の低いアプリケーションの保護に対応できる
- パワーエレクトロニクスアプリケーションで最大限の熱放散と最小限のワット損失を実現できる
- 製造会社 (OEM)、代理店、エンドユーザーにとって都合のよい在庫管理が可能となる

ヒューズの並列接続のデメリット:

- 並列接続したヒューズの複合された性能の予測が必要
- 並列接続のための正しいヒューズの組み合わせが、負荷条件とアプリケーション条件によって異なる
- 誤用を防ぐために正しい並列接続技法の採用が必要

*参考文献:

¹ B. Gradwel, 「Arc flash mitigation through the use of an engineered parallel high speed semi-conductor fuse assembly (工学的並列高速半導体ヒューズアセンブリの使用によるアークフラッシュの軽減)」 IEEE/IAS 50th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conf., Fort Worth, TX, USA, May 20-23, 2014, doi:10.1109/ICPS.2014.6839162.



NEC Article 240.8 では、工場で組み立てられたユニットがリストにある場合のみ、ヒューズと遮断器の並列接続が可能になります。

適切にヒューズを並列接続する最初のステップは、正しいヒューズの組み合わせの選択から始まります。業界で採用されているベストプラクティスな並列接続と同じ仕様のヒューズの組み合わせを選択してみましょう (同じアンペア定格、電圧定格、サイズ、スタイルなど)。すなわち、同じ品番を使用するという事です。さらに、並列接続では、ほぼ似たような抵抗値のヒューズのみが選択されることになります。

注: ヒューズの性能は、システム条件によって異なります。必ずアプリケーションテストを実施してください。

設計について: ヒューズを並列接続するときに設計エンジニアが考慮すべき適用要件は以下の通りです。

1. 並列ヒューズの論理的 (電気的および熱的) 性能の予測
2. 並列ヒューズの適切な選定のためのアプリケーション条件の検証
3. 適用要件に合った適切な実装配置と付属品の選択

5.4.1 論理的性能の予測

公称電流定格 (I_{np}): 複数のヒューズを並列接続するとき、並列化されたヒューズの合計アンペア定格は、各ヒューズのアンペア定格の合計値より必ず低い値になります。電流容量の減少は、互いに近づけてヒューズを配置したために周囲の熱的条件が上昇するのが原因であり、並列化ヒューズでは電流分布は不均一になりがちです。

並列接続ヒューズの公称電流定格を推測するときは、定格下げ係数 (K_p) の適用を推奨します。

2~4 のヒューズを並列接続する場合: $K_p = 0.9$

4 つ以上のヒューズを並列接続する場合: $K_p = 0.8$

並列化ヒューズの公称電流定格 (I_{np}) は、以下の式で求められます。

$$I_{np} = (I_1 + I_2 + \dots + I_n) * K_p$$

例:

2 つの 100A ヒューズが並列接続している場合の予測公称電流定格を求めます。

$$I_1 = 100A$$

$$I_2 = 100A$$

$$K_p = 0.9 \text{ (2 つのヒューズ)}$$

$$I_{np} = (100+100) * 0.9 = 180A$$

公称電圧定格 (V_{np}): 並列接続ヒューズの公称 (または、複合) 電圧定格は、組み合わせ内の任意の 1 つのヒューズの電圧定格になります。

時間電流特性 (TCC): 並列接続のヒューズの場合、接続するヒューズ数とその他の各種アプリケーション条件によって異なるため、TCC 曲線を載せることは難しくなります。並列接続するときのヒューズの複合 TCC 曲線 (TCC_{np}) の予測には、以下の式の使用を推奨します。

$$TCC_{np} = TCC_1 * N * K_p$$

定義:

TCC_1 = 任意の組み合わせヒューズの TCC 曲線

N = 並列接続されたヒューズの数

K_p = 並列接続ヒューズの定格下げ係数

時間軸定数を一定に保ち、電流値の変化をプロットすることで、並列接続に使用する特定のヒューズに対してこの式を使用できます。

通過ピーク電流: 工場組み立てではない限り、通常、並列ヒューズの通過ピーク電流チャートはデータシート上にありません。並列接続のヒューズの通過値予測には、以下の式の使用を推奨します (I_{N-PEAK})。

$$I_{N-PEAK} = I_{p1} * N^{2/3}$$

定義:

I_{p1} = 個別ヒューズ通過ピーク電流

N = 並列接続されたヒューズの数

定格電圧によるテスト時と、回路遮断時の**アンペア二乗秒 (I^2t 値):** I^2t 値は、ヒューズのデータシート上に公開されています。複数のヒューズが並列接続されている場合、複合 I^2t_{np} 値は、以下の式で求められます。

$$I^2t_{np} = I^2t_1 * N^2$$

定義:

I^2t_1 = 個別ヒューズ I^2t 値

N = 並列接続されたヒューズの数

5.4.2 適切な選定のための注意事項の確認

アプリケーションの条件を理解することは、ヒューズを適切に選定する上で重要です。ヒューズの性能は、アプリケーションのシステムパラメーターに大きく影響されます。高速ヒューズを選定するときは、以下のアプリケーション条件を考慮する必要があります。

- 周囲温度
- 強制冷却
- 導体タイプとサイズ
- 負荷条件
- 発生しうる故障電流
- 半導体デバイスの耐性定格 (I^2t)
- ピーク逆電圧
- 周波数または時定数
- 振動と衝撃

5.4.3 適切な実装、配置、付属品の選択

高速ヒューズにはさまざまな形状、サイズ、終端があるため、ヒューズを並列接続するとき、適切なスタイルの選択が重要です。信頼できる性能を得るため、並列化の際は、同じ部品番号の使用を推奨します。

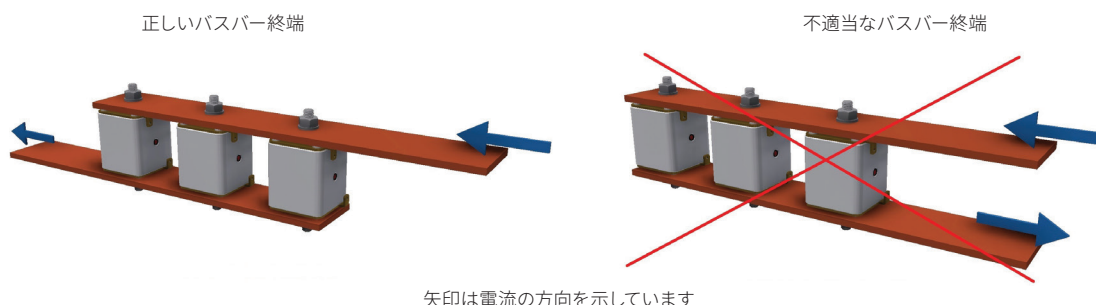


図 37. 複数の高速ヒューズの並列接続

高速ヒューズは、他のヒューズと比べて動作温度がはるかに高くなります。そのため、ヒューズを並列化するとき、ヒューズ間の距離が重要です。並列接続するヒューズ間では、10 mm から 25 mm の間隔を確保してください。さらに、高速ヒューズを並列使用するとき、内部ヒューズエレメントの機械的ストレスを軽減するために、バスバーの実装が広く推奨されます。

バスバーの取り付けと、電流の流れる方向は、高速ヒューズの並列化において重要です。図 37 は、バスバー接続で並列接続したヒューズの推奨配置です。

ヒューズは、入力電流と出力電流が逆方向にならないようにバスバーに接続してください。ヒューズを逆並列構 (バスバーは並列ですが、電流は逆方向に流れます) で接続している場合、追加するバスバー抵抗は、一番外側のヒューズに追加してください。相当な磁力が発生するため、バスバーも曲がる可能性があります。

適切なスタッドサイズと推奨締め付けトルクの使用により、適切な終端が実現され、不要動作を避けることができます。スタッドサイズとトルクの推奨値については、製品のデータシートを参照してください。

Littelfuse 高速角形筐体スタイルヒューズには、各ヒューズの状態を示す視覚的表示機能が付いています。並列ヒューズの状態を表すため、任意の 1 つ以上の並列ヒューズにアラーム信号を発する外部インジケータスイッチ (マイクロスイッチ) を使用できます。

5.5 直列接続の高速ヒューズ

2 つの高速ヒューズの直列接続は、通常推奨していません。ただし、高出力レベルを扱う設計のパワーコンバータ回路 (例えば、アーム/レッグごとに複数のパワー半導体デバイスを使用する整流回路) では、高速ヒューズを直列構できます。その場合、選択したヒューズの電圧定格は、システム電圧定格に一致する必要があります。さらに、不要動作を防ぐため、回線側ヒューズの総遮断 I^2t 値は、全ての個別アーム/レッグ ヒューズのプリアーク発生 I^2t の合計値よりも小さくなるようにしてください。

$$\text{総遮断 } I^2t \text{ 電源ヒューズ} < \text{レッグヒューズまたはアームヒューズの合計プリアーク発生 } I^2t$$

6.0 実装ガイドライン

高速ヒューズを正しく実装することは、パワー半導体デバイスの回路保護を設計するときの重要な条件です。実装不良と高速接続のメンテナンスによる熱不均衡が、現場で不要動作が発生する主な理由です。このガイドでは高速ヒューズ実装のベストプラクティスについて簡単に説明します。

導体: 高速ヒューズの接続には、通常、銅導体を推奨します。銅導体による接続は、ケーブルやバスバー構造で使用されています。コネクター間は (採用した地域の電気技術基準の要件を満たす) 適切な間隔を空けることも必要です。

終端/接続: ヒューズのデータシートに記載されているネジの種類とサイズを使用します。

PSR シリーズの角形筐体の埋め込み型実装ヒューズでは、直結終端ではなく、スタッドとナットのアセンブリを使用してください。これは、内部ヒューズエレメントの損傷を防ぐためです。

PSR シリーズの角形筐体ボルト締めヒューズでは、適切なサイズの直結終端を使用してください。

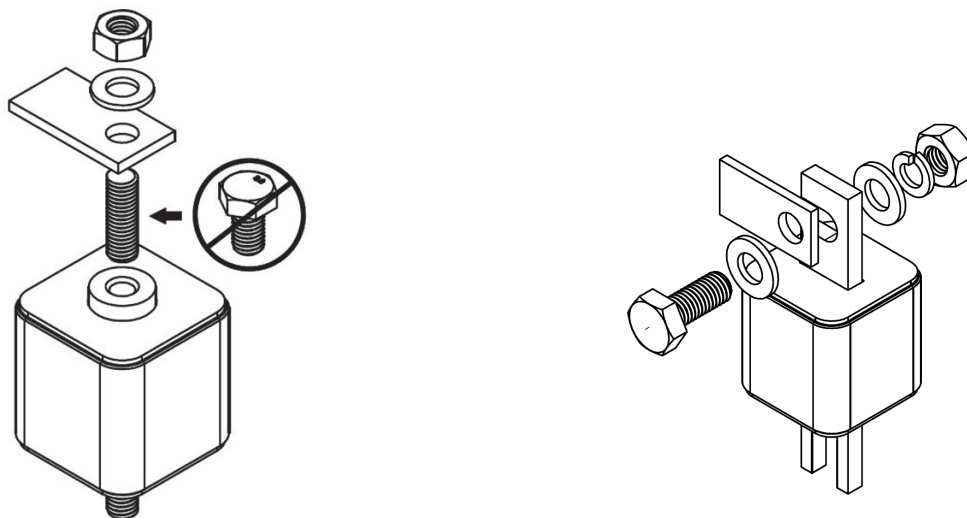


図 38. ヒューズ終端の推奨手順

締め付けトルク: ヒューズとヒューズホルダーのデータシートの一覧にある締め付けトルク値を使用してください。締め付けトルクと反作用力を適用する場合は、適切なヒューズ終端のために、**図 39** に示す手順を参考にしてください。

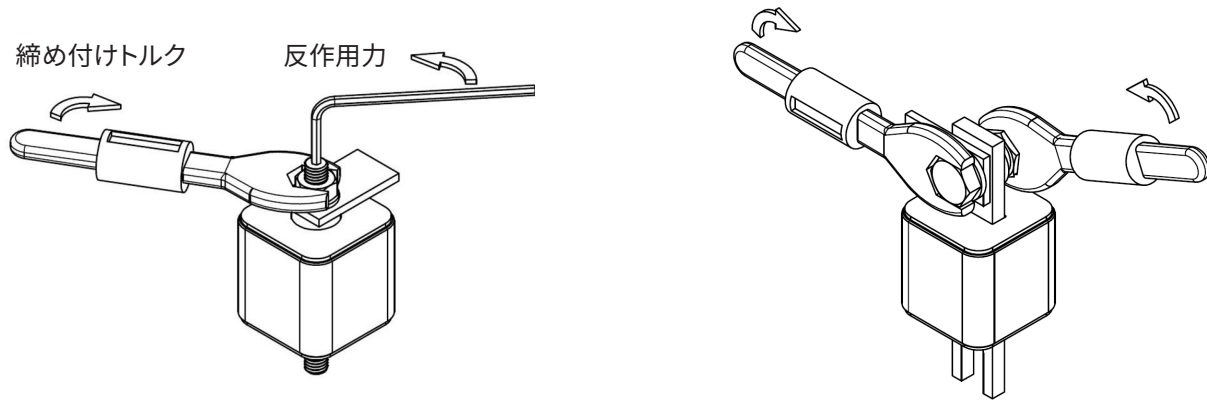


図 39. 接続を確立するための推奨手順

実装調整: バスバーとヒューズ端子間に空隙ができないよう、締め付けプロセスの際には十分に注意してください。空隙があると、調整ミスが生じ、熱ストレスやアーク発生を引き起こす可能性があります。

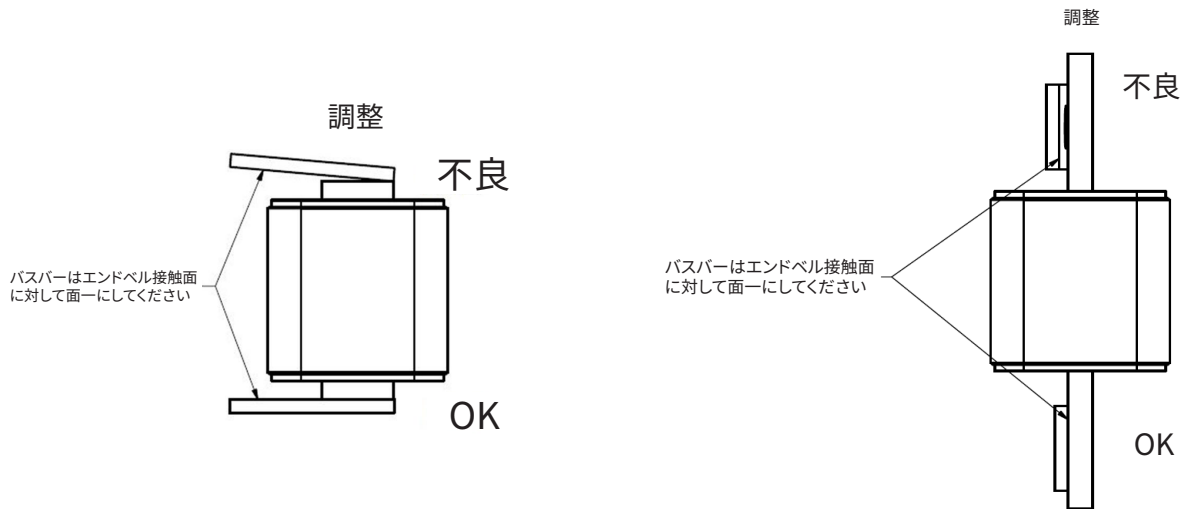


図 40. 推奨ヒューズ実装調整

7.0 POWR-SPEED の範囲と選択ガイド

シリーズ名	アンペア数	動作 AC 電圧	動作 DC 電圧	AC と DC の遮断範囲	認証機関	アプリケーション												
						パワーコンバータ	ハイパワーインバータ	高出力整流器	DCバス	電源	バッテリー管理システム	UPS	AC/DCドライバ	VFD	ヒーター			
 <p>PSR</p>	40~2,000 A	550~1,300 V AC	480~1,000 V DC	AC:100 kA~200 kA DC:150 kA		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
 <p>L70QS</p>	35~800 A	700 V AC	700 V DC	AC:200 kA DC:50 kA		•				•	•	•	•	•	•	•	•	•
 <p>L50QS</p>	35~800 A	500 V AC	500 V DC	AC:200 kA DC:50 kA		•				•	•	•	•	•	•	•	•	•
 <p>L70S</p>	10~800 A	700 V AC	650 V DC	AC:200 kA DC:20 kA		•					•							•
 <p>L50S</p>	10~800 A	500 V AC	450 V DC	AC:200 kA DC:20 kA		•					•							•
 <p>L60S & KLC</p>	1~800 A	600 V AC	該当なし	AC:200 kA		•					•							•
 <p>L25S</p>	1~800 A	250 V	200 V DC~250 V DC"	AC:200 kA DC:20 kA		•					•	•		•				•
 <p>L15S</p>	1~1,000 A	150 V	100 V DC~150 V DC	AC:100 kA DC:20 kA		•					•	•						•

8.0 付属品

8.1 マイクロスイッチ

Littelfuse MS シリーズマイクロスイッチには、PSR シリーズの角形筐体ヒューズ向けのリモート表示機能があります。これらのマイクロスイッチには、3つの端子デバイス (NO、NC、C) があり、接点端子は銀メッキ仕上げです。これらのスイッチの最低動作電圧と最小動作電流は、4V と 1mA です。電気接点に加えて、これらのマイクロスイッチには、ヒューズの状態を視覚的に示す赤色フラップが付いています。

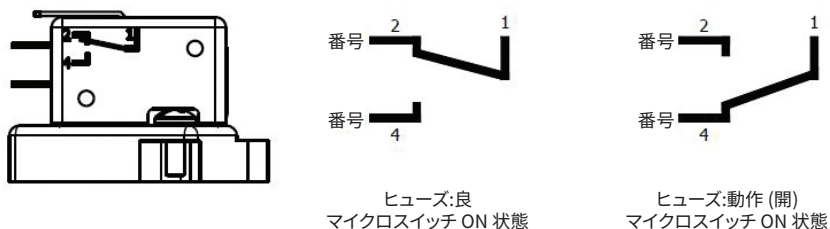


図 41. MS マイクロスイッチ回路、NC 接点なし

これらのマイクロスイッチは、標準ネジでヒューズ端子に直接接続できます。マイクロスイッチの端子 C 接点は、ヒューズが飛ぶとヒューズ筐体にあるバネ仕掛けの表示機構で起動します。この表示状態の変化は永続的であり、マイクロスイッチの赤色フラップを手動で操作しない限りリセットできません。



図 42. PSR シリーズヒューズの MS シリーズマイクロスイッチ

MS シリーズマイクロスイッチは、すべての PSR シリーズの角形筐体ケースサイズに使用できます。

- 部品番号 MS3H1000C のマイクロスイッチは、ケースサイズ 30、31、32、33 用です
- 部品番号 MS7H1500C のマイクロスイッチは、ケースサイズ 70、71、72、73 用です

これらのマイクロスイッチの動作温度範囲は、相対湿度 95% のとき -60°C ~ +125°C です。これらのマイクロスイッチの詳細については、製品データシートを参照してください。

8.2 スタッドブロック

スタッド実装は、北米スタイル円形筐体ヒューズ (Littelfuse L70QS、L50QS、L25S シリーズヒューズ) で広く使用されています。これらの要件では、Littelfuse LSCR シリーズスタッドブロックを使用する必要があります。スタッドブロックは、パネルボードまたは機器ベースプレートに直接実装し、ワイヤーはスタッドブロックの各エンドのネジで終端処理します。



図 43. LSCR シリーズスタッドブロック

Littelfuse LSCR シリーズブロックは、700 V と 1,000 V の両方の範囲で使用できます。LSCR シリーズデータシートにあるブロック選択ガイド表に従って、ヒューズシリーズとアンペア定格による適切な LSCR 部品番号の選択をする必要があります。高速ヒューズをこれらのスタッドブロックで実装するときは、データシートに記載されている推奨締め付けトルクを使用してください。

9.0 用語と定義

電流容量 – 使用条件の下で、温度定格を超えることなく導体を連続して流れることのできる電流 (単位:アンペア)。開閉器やその他のデバイスに使用することがありますが、正式ではありません。これらは、アンペア定格によってより適切に言及されます。

アンペア定格 – ヒューズまたはその他の機器に表示された電流定格 (単位:アンペア)。

アンペア二乗秒 (I^2t) – 電流により発生する熱エネルギーを表す値。電流制限範囲内でヒューズによって電流が遮断されたときの状態を、溶断、アーク発生、または総遮断 I^2t という言葉で表します。

アーク発生故障 – 故障箇所であークが発生する短絡。アークインピーダンス (抵抗) で短絡電流が減少する傾向があります。アーク故障が発生すると、故障したコンポーネントは溶接状態になって、直結故障になることもあります。アーク故障は相間と対地間のいずれでも発生します。

アーク発生 I^2t – アーク発生時にヒューズを流れる熱エネルギー。これは、アーク発生電流実効値の二乗にアーク発生時間を掛けた値です。

アーク発生時間 – ヒューズリンクの溶断から過電流が遮断されるまでの時間 (図 13 を参照)。

アーク電圧 – アーク電圧は、アーク発生時間時に過電流保護デバイスに発生する過渡電圧です。アーク電圧は、通常、ピーク瞬時電圧 (V_{PEAK} または E_{PEAK}) で表し、まれに電圧実効値で表します。

直結故障 – 故障箇所電気抵抗のない短絡。2つの導体、または導体とアースが機械的に接触して発生します。直結故障の特徴は、アーク発生がないことです。直結故障の例としては、2本の裸のバスバー間に大型レンチが横たわっている状態や、不正配線による交差位相状態があります。

故障解消エネルギー (I^2t) (総遮断 I^2t) – 過電流の開始から電流が完全に遮断されるまで過電流デバイスを流れる I^2t エネルギー。故障解消エネルギー I^2t は、溶断 I^2t とアーク発生 I^2t の合計値です。

解除時間 – 過電流状態の開始から、過電流が遮断されるポイントまでの時間。解除時間は、溶断時間とアーク発生時間を合計した値です。

継続的な電流 – 最大電流が3時間以上継続的に流れると予測される電気負荷。

電流制限 (ヒューズ) – その電流制限範囲内における電流を遮断するときに、同等のインピーダンスを持つ固体導体とデバイスを交換した場合と同じ回路で得られる電流よりも大幅に低い値まで、故障した回路の電流を減少させるヒューズ。

電流制限範囲 – 個々の過電流保護デバイスでは、電流制限の範囲は、デバイスが電流制限 (しきい値電流) になる二乗平均平方根対称電流の最低値から始まり、デバイスの最大遮断容量まで拡大します。

接地故障 – 位相導体と地面または機器フレーム間の意図的でない接触。電気分野では、「接地」と「アース」という用語は同義で、どちらも使用します。

誘導負荷 – 誘導負荷とは、一般には、電流波形が電圧波形に遅れるモーター負荷を指します。誘導負荷は、最初の通電時に、大量の電流 (突入電流) を発生させます。数サイクルまたは数秒後、電流は全負荷動作電流に落ち着きます。

遮断容量 (AIC) – 保護デバイスがテスト済みで、標準化テスト条件で安全に遮断できた発生しうる最大の対称な二乗平均平方根を持つ交流電流 (DC ヒューズの場合、最大直流電流)。デバイスは遮断容量に至るまで、発生しうる過電流をすべて遮断する必要があります。一般的には、遮断定格とも呼びます。

遮断定格 (IR, I.R., AIR, または A.I.R.) – デバイスが遮断する定格である、指定したテスト条件における最大二乗平均平方根対称電流。遮断容量と遮断定格の相違点は、定格を定めるために使用するテスト回路内にあります。

溶断 I^2t – 過電流が発生し、ヒューズリンクが溶けるまでにヒューズを通過する熱エネルギー。電流実効値二乗に溶断時間秒を掛けた値です。0.004秒未満の場合、溶断 I^2t は所定のヒューズの一定値に近づきます。



溶断時間 – 過電流状態の開始から瞬時アーク発生がヒューズ内部で開始するまでの時間。

過電流 – 指定条件下で機器、導体、またはデバイスを通れる、定格電流よりも大きな電流。

過負荷 – 正常な電流路に限定して生じた過電流 (例えば、非短絡) が何らかの理由で持続すると、機器と配線のいずれか、または両方が損傷を受けます。

通過ピーク電流 – 発生しうる電流がその電流制限範囲内の場合に、合計故障解消時間の間、過電流保護デバイスを通れる最大瞬時電流。

力率 – 電流実効値と電圧実効値の、皮相電力 (kVA) に対する AC 回路で放散された実際の電力 (単位: キロワット、kW) の比。2つの差は、回路のリアクタンスによるものであり、役に立たない電力を表します。

回復電圧 – ヒューズ端子の動作後、その全体で測定された電圧。

負荷抵抗 – 負荷抵抗、または負荷抵抗バンクは、非モーター負荷であり、電流波形がその電圧波形と同相です。通常、発熱体で使用します。

RMS (二乗平均平方根電流実効値) – 数学的に得られた特定の AC 波に対する電流の実効値。AC の実効値は、DC の値に等しく、同じ熱量または電力を生み出します。電流の実効値の数式は、二乗根で割った AC 波形のピーク瞬時値に相当します。

半導体ヒューズ – シリコン整流器、シリコン制御整流器、サイリスタ、トランジスタ、そして類似のコンポーネントなどのパワー半導体デバイスの保護用として特別設計されたヒューズ。

短絡 – 正常な本来の経路の外側を通れる電流。短絡の原因は、絶縁の機能停止または機器の接続不良です。短絡において、電流は正常な負荷を迂回します。電流は負荷インピーダンスではなく、システムインピーダンス (AC 抵抗) で求められます。

しきい値電流 – ヒューズが電流制限になる所定のヒューズサイズと種類の最低電流。最初の ¼ サイクル (90 電気角) 以内でデバイスが開き始め、½ サイクル (180 電気角) 以内に回路故障を完全に解消する、利用可能な二乗平均平方根対称電流の最小値です。しきい値電流の概算値は、ヒューズの通過ピーク電流チャートから求めることができます。

時定数 – DC 回路のインダクタンスは、電流上昇率を制限します。電流が定格電圧で最終値の 63% に達する時間を時定数と呼びます。L/R とも呼ばれ、L はヘンリーのインダクタンス、R はオームの抵抗です。

仮想プリアーク発生時間 – 仮想プリアーク発生は、非電流制限位相 (0.01 秒未満) で使用される用語を、電流制限位相 (0.01 秒未満) で使用される用語に関連付けるために近年導入された用語です。仮想プリアーク発生時間は、溶断エネルギー (単位: A²s) と固有電流実効値の二乗に対する数学的比率で表します。

電圧定格 – ヒューズが動作するよう設計された最大 AC 電圧実効値と最大 DC 電圧実効値の両方またはいずれか。例えば、定格 600 V 以下のヒューズは、この定格未満の全ての電圧で適用できます。

注: AC ヒューズを DC 回路に適用するためのルールはありません。DC 回路で使用するヒューズには、必ず DC 定格があります。

耐性定格 – 保護なしの電気コンポーネントが通常の動作に大きな損傷を与えることなく、指定された期間維持できる最大電流。

免責条項

このテクニカル アプリケーション ガイドは、回路設計における高速ヒューズ、パワー半導体デバイス、及びその一般的なアプリケーション例の詳細についてより理解を深めることを目的としています。対象となっている高速ヒューズは、電気回路で故意に脆弱に作られているリンクに対処するように設計された、電流に対してデリケートなデバイスです。その機能は、電流過負荷条件下で確実に動作することで、パワー半導体コンポーネントや回路全体を保護します。

本ガイドで取り上げられたアプリケーションガイドラインと製品データは、技術的な参照のみを目的としています。特定のアプリケーションでヒューズを正しく選択するためには、ヒューズパラメーターとアプリケーションの概念を十分に理解する必要があります。アプリケーションテストは必ず行ってください。また、回路/アプリケーションにおけるヒューズ性能は、アプリケーションテストで検証してください。

Littelfuse 製品は、該当する Littelfuse 製品文書に明記された以外の目的 (代表的なものとして、自動車、軍事機器、航空宇宙機器、医療機器、救命装置、生命維持装置、原子力施設、人体への外科的移植を目的とする機器への使用、その他、製品の不具合等により人身事故や財産損害が起こり得るような用途) に対応するように設計されたものではないため、Littelfuse 製品文書に明示的に記載された以外の目的で使用しないでください。Littelfuse による保証は、該当する Littelfuse 文書に明記されていない目的で使用された製品に関しては無効とみなされます。該当する Littelfuse 文書に記載されている、Littelfuse が明示的に意図したものと異なる用途での製品使用に起因する一切の申し立てや損害に関して、Littelfuse は責任を負いません。Littelfuse が別段の同意をしない限り、Littelfuse 製品の販売および使用には Littelfuse 販売約款が適用されます。

詳細については、[Littelfuse.com/Product-Disclaimer](https://www.littelfuse.com/Product-Disclaimer) をご確認ください。

本文書に記載の製品設計、プロセス、製造場所、文献情報は予告なく変更される場合があります。その他不明な点については、Littelfuse ジャパン合同会社 営業本部 (03-6435-0750) にお問い合わせください。



詳細については、
[LITTELFUSE.COM/POWR-SPEED](https://www.littelfuse.com/power-speed) をご
参照ください