

低圧直流システム普及のための システムインテグレータ/施工業者向け ガイドライン

2025 年（令和 7 年）9 月 4 日 発行



一般社団法人日本電機工業会
低圧直流活用分科会

目 次

ページ

1	序文	3
2	電源品質	4
2.1	直流バスの電圧変動	4
2.2	電圧リップル	5
2.3	電圧リップルの注意点	6
2.4	局所的な直流部のリップルに関する扱いについて	6
2.5	交流系統に及ぼす高調波について	7
3	構内の系統安定性（共振対策）	9
4	保護システムの設計	11
5	接地方式	12
5.1	接地極の腐食防止について	12
5.2	各接地系統と地絡遮断装置（漏電遮断器）の関係について	12
5.3	直流系統の接地の施設について	13
6	接続機器への突入電流	16
7	入力電圧規格	19
8	変換器の選定要件	20
8.1	必要となる負荷機器の情報	21
8.2	電源用変換器の選定条件	21
9	半導体式遮断器と機械式との使い分け	22
9.1	低圧直流遮断器について	22
9.2	低圧直流遮断器の適用箇所について	24
9.3	直流システムにおける短絡電流遮断について	26
10	配線方式(ユニポーラ方式又はバイポーラ方式)	28
11	直流漏電検出技術	30
11.1	直流漏電遮断装置	30
11.2	交流漏電検出と直流漏電検出との違い	31
11.3	直流漏電検出方法	31

低圧直流システム普及のための システムインテグレータ/施工業者向けガイドライン

1 序文

地球温暖化防止，温室効果ガス排出抑制等から太陽光，風力などの再生可能エネルギーや蓄電池による直流電源設備が増加している。また，直流の電力を直接消費する機器やインバータ等，直流を利用するための電力変換器を搭載した器具・負荷設備が増えてきたことから，近年，直流システムが注目されている。直流システムは，交流システムに比べ効率，信頼性，制御の容易性などの観点で期待されており，我が国のエネルギー基本計画で謳われている再生可能エネルギーの主力電源化に向け，普及が期待されている。

交流システムでは，これまでの技術蓄積により設備構築のルールや気を付けるべき点など，技術知見が広く認識されている。しかし，直流システムでは，実績が少なくルールが整備されていないことや交流との電気的特性の違いにより，交流配電と異なる考え方や着眼点が必要である。このため，システムインテグレータ（Sler）や施工業者が直流システムを構築する際に設計・施工が困難な状況にある。

一般社団法人 日本電機工業会 低圧直流活用分科会では，低圧直流システム普及を目的に直流特有の事象や気を付けるべき点にフォーカスし，技術課題を検討整理して本ガイドラインを制作した。

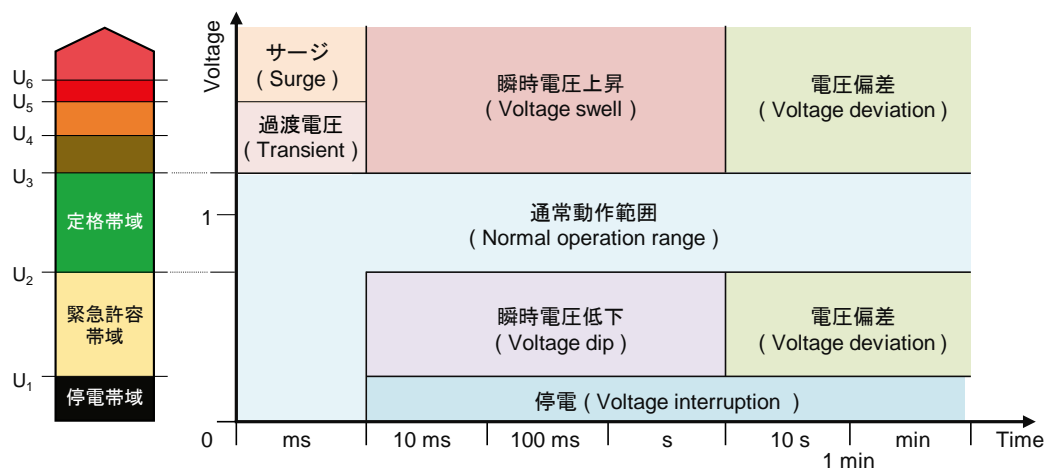
2 電源品質

1. 電圧リップル対策を行い，周辺機器の動作に影響を与えないよう直流バスの電圧を所定の範囲に維持する。

2.1 直流バスの電圧変動

直流システムにおいて，システム設計者は直流バスの電圧変動が周辺機器の動作に影響を与えないよう，所定の範囲に電圧を収める必要がある。例えば，IEC TR63282の箇条6では直流バスの過渡的な電圧変動について図2.1のように定義している。システム設計者は，図2.1に示す電圧閾値U1～U6を適切に定めてシステムを設計するとよい。

IEC TR 63282 Ed. 2.0:2024では，直流バスにおける電圧区分の定義が改訂され，定格電圧を基準とした運転範囲，並びに過渡的な電圧変動（電圧上昇，電圧低下，サージなど）に関する区分が体系的に整理された（表2.1参照）。



出典：IEC TR63282 ED2

図2.1ー直流バスの電圧変動区分

表2.1－IEC TR 63282 Ed.2の電圧範囲(例)

単位 V

定格電圧 U	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
350	250	320(電源) 310(負荷)	380	400	420	540
700	500	640(電源) 620(負荷)	760	800	840	1 080
1 400	1 000	1 280(電源) 1 240(負荷)	1 520	1 600	1 680	2 160

2.2 電圧リップル

図2.1の通常動作範囲と電圧偏差領域は、定常的な電圧変動が対象となる。定常的な電圧変動の代表として電圧リップルが挙げられる。

直流バスに接続される電源や負荷機器の多くは、機器の内外で要求される電圧へ電力を変換するため、パワー半導体を利用した高周波スイッチング回路を搭載している。このスイッチングに伴い生じる高周波の電流及び電圧の変動は、一般にインダクタンス L やキャパシタ C 等のフィルタ素子で吸収し、変換前後の電流及び電圧を平滑して直流バスに出力する。

図2.2に直流配電機器構成の模式図を示す。直流負荷でも電力回生を伴う機械などで入力段に設けたコンデンサ C_L により電流変動を吸収する構成の場合には、電圧リップルが生じる。

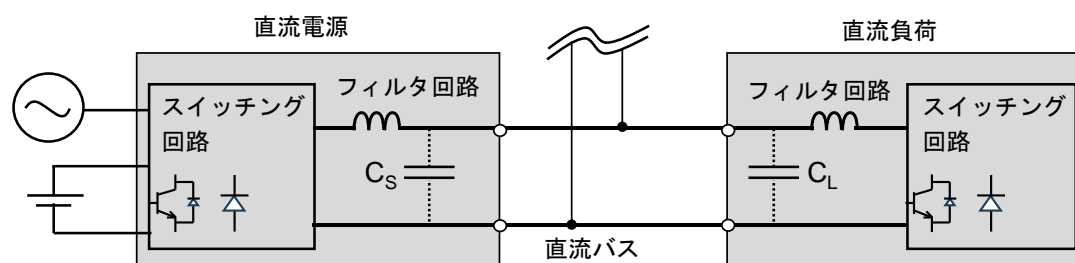


図2.2－直流給電機器の構成例

直流端での電圧変動及びその抑制方法は、従来AC/DC変換部を備えた直流電源で行われてきた。直流電源では、高容量のコンデンサ C_s を設けた出力段において、図2.3に示すように所望の平均電圧に重畳された高周波の電圧変動を一般に電圧リップルと呼称する。

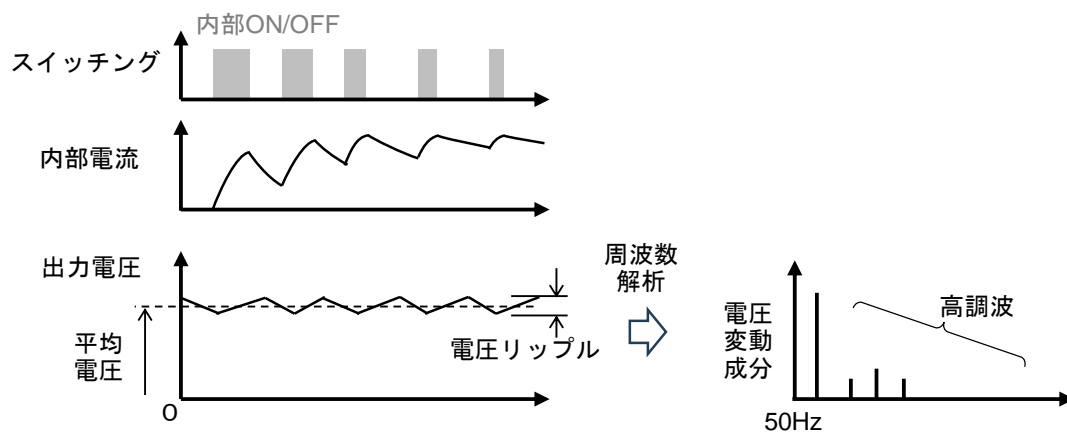


図2.3ー電圧リップル，高調波

2.3 電圧リップルの注意点

図2.4に示すように，各機器で生じた電圧リップルは，高周波の電圧源として作用し，直流バス上の機器に対するノイズ源となる。したがって，電圧リップルの程度によっては，個々のノイズ耐性に適合できる水準まで低減できるように，外付けのノイズフィルタを付加するなどの対策が必要となる。特に低次の高調波成分は各機器の直流電圧制御に干渉する可能性があり，注意する必要がある。

ノイズの規制及び評価方法については，システム及び機器の多領域においてさまざまな議論が行われており，目的に応じて確認するとよい。

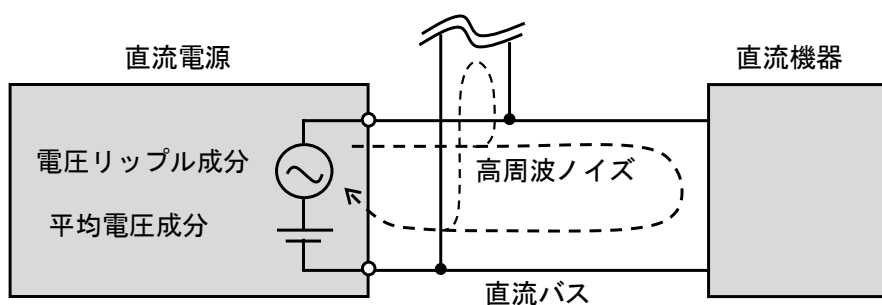


図2.4ー直流給電バスに対する電圧リップルの作用

2.4 局所的な直流部のリップルに関する扱いについて

図2.5に直流部のリップル波形の例を示す。

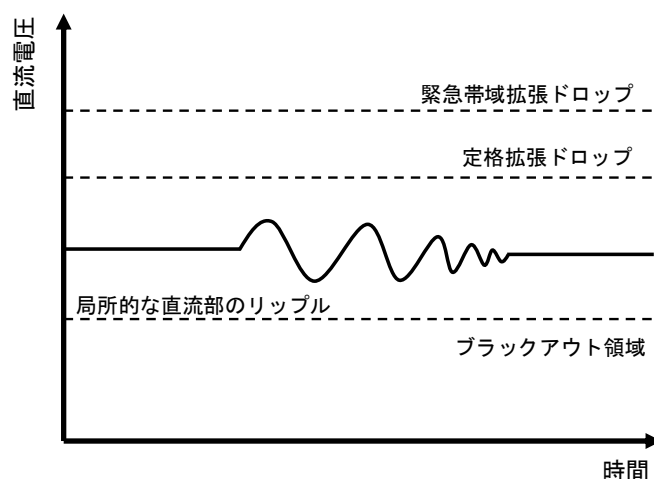


図2.5—直流部のリップル波形の例

図2.6に示すように、蓄電池に直接接続するDC/DCコンバータは、蓄電池の内部インピーダンス特性にリップル成分が作用する可能性がある。このため、蓄電池側の端子については接続する蓄電池に相応しい組合せを確認するとよい。また、このように限定的な直流部の電源品質は、汎用的な直流部と区別して議論して構わない。

リップル成分や電圧変動に関する評価項目については、IEC 62933-2-1の関連規格との整合性を考慮した設計・試験が求められており、適用すべき規格の整理と選定が重要となる。

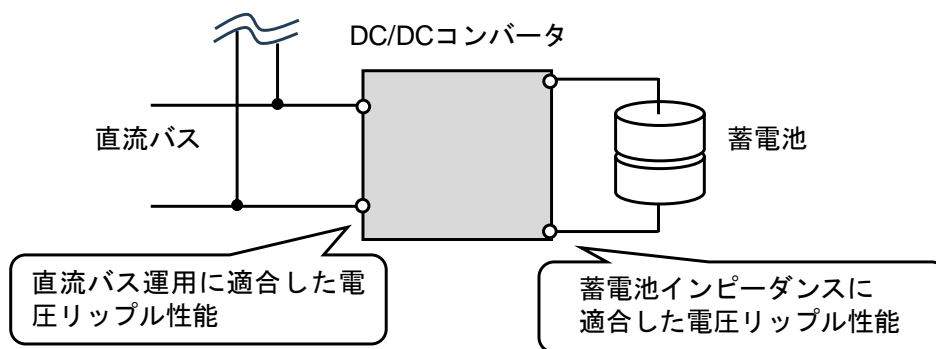


図2.6—蓄電池充放電コンバータのリップル

2.5 交流系統に及ぼす高調波について

交流系統と直流バスとの間で電力を入力又は出力する電力変換器で発生する高調波を含め、交流系統側に及ぼす電圧・電流の高周波成分が「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」及び「高調波抑制対策技術指針（JEAG 9702）」に従わなければならない。

電力変換器は、スイッチング動作に起因する高周波成分（リップル、EMI、ノイズ）を発生させる。これらの高周波成分は、基本周波数に重畳するかたちで交流系統にも伝搬し、他機器の誤

動作，通信障害，さらには系統全体の電力品質の低下を引き起こす可能性がある。

交流側に現れる電圧・電流の変動は，電磁両立性（EMC）の観点から重要であり，適切なフィルタ回路の設計，筐体シールドによる対策，ならびにインターフェース設計の最適化などを通じて，高周波成分の抑制が求められる。

参考文献

- 2-1) Open DC alliance: “DC-INDUSTRIE2 System concept”
- 2-2) IEC: “TR63282, LVDC systems – Assessment of standard voltages and power quality requirements”
- 2-3) American Bureau of Shipping (ABS): “Requirements for direct current (DC) power distribution systems for marine and offshore applications”
- 2-4) VDE SPEC 90037 V1.0 Table 7.1: Voltage bands and limit values (based on [11.]
- 2-5) IEC 61851-23:2023, Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station Annex CC(Ripple in DC output current), Clause 6.6 (Output characteristics)
- 2-6) IEC 62933-2-1:2023, Electrical energy storage (EES) systems - Part 2-1: Unit parameters and testing methods - General specification Clause 4: Parameters of energy storage unit (ESU), Clause 6: Test Methods, Annex A (Informative) : Typical characteristics and test values
- 2-7) IEC TR 63282:2024, LVDC systems – Assessment of standard voltages and power quality requirements (2nd Edition) 6.5 Ripple and high frequency interference

3 構内の系統安定性（共振対策）

1. 共振の発生を抑制し、直流バスの電圧変動を基準の範囲内に維持する。

直流システムでは、直流バスから負荷に応じた電力供給を行うために、図3.1に示すように負荷の直近にDC/DCコンバータやAC/DCコンバータ等の電力変換器を設置する。

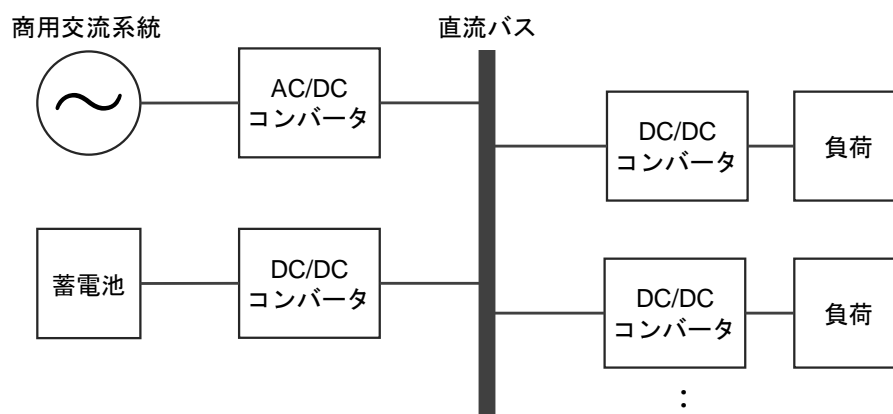


図3.1ー直流システム

このような直流システムでは、電力変換器における高周波スイッチングや、直流バスに接続されている交流系統の高調波により共振点が励起され、意図せず系統の安定性に影響を及ぼす可能性がある。

共振点はケーブルや直流バスに接続される様々な機器によるインピーダンスの相互影響により変化し、例えば図3.2の簡易等価回路に示すように各コンバータが保有するフィルタや線路のL成分、C成分による共振で直流バス電圧が大きく変動し、系統が不安定化する場合がある。

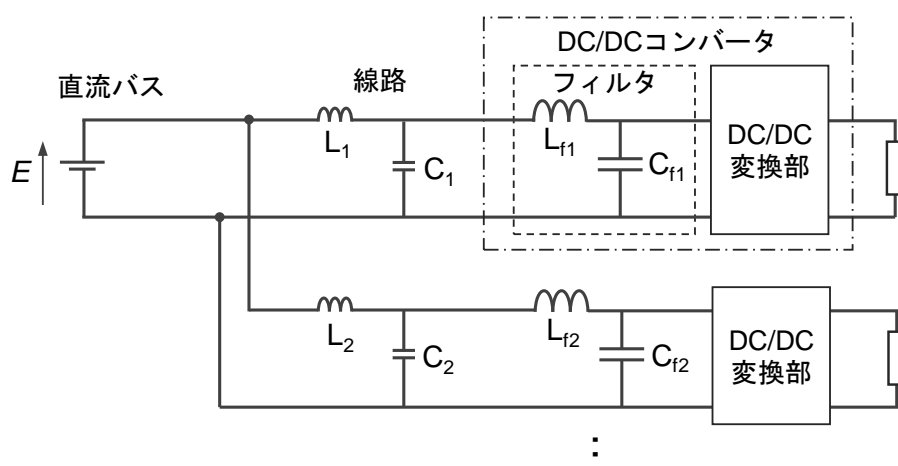


図3.2ー直流バス簡易等価回路

直流システムでは、これら共振に対する対策を講じシステムを安定運用する必要がある。共振を抑制し、直流バスの電圧変動を基準³⁻¹⁾の範囲内に維持するため、システムの設計段階や立上げや運用にあたり、次のようなことを盛り込むことが望ましい。

- a) あらかじめ機器や線路の定数を把握し、計算やシミュレーションで共振有無を確認し、共振が発生しないシステムを構築する。
- b) システム構築後、共振が認められた場合には、下記対策を講じてシステムの安定性を確保する。
 - 1) 直流バス上に受動素子 (R, C) を追加し共振を解消する。
 - 2) 発振抑制装置を追加する。
 - 3) 直流バスに接続されているAC/DC, DC/DC変換器の制御を変更する。
- c) 運用中は定期的なメンテナンスと監視を行い、意図しない共振の発生を抑制する。

参考文献

3-1) IEC 63282 ED2

4 保護システムの設計

1. 保護装置により、事故や過剰な電力負荷など危険な状態が発生した際に電流を遮断し、火災や人的被害を防止する。
2. 直流システムの保護協調では、極力健全な部分に事故が波及しないように、保護装置（例えば、直流回路遮断・ヒューズ・コンバータ制御・ソリッドステートスイッチなど）を選定し、動作特性、動作電流、動作時間の設計を行う。

直流システムでは事故による短絡電流や過剰な電力負荷の接続などによる過負荷電流が発生した場合、火災や人的被害を防止するために、保護装置により事故点への電力供給を遮断しなければならない。加えて給電継続性の観点より、故障に最も近い保護装置が最初に動作することが推奨される。この選択的な動作により、故障した部分のみをシステムから適切に切り離すことによって、健全な部分は継続して運用することが望ましい。なお、故障点直近での切離しが困難な場合は、直流バスを2系統とするなどシステムの冗長化で対応してもよい。

直流システムの保護装置・保護システムを検討するにあたり、故障時の短絡電流を考慮する必要がある。短絡電流の供給源の例を下記に示す。

- a) 発電機（例えば整流器モジュールを通して）
- b) コンバータ（例えばインバータモジュール内の内部キャパシタから）
- c) 交流負荷モータ（例えばインバータモジュールから）
- d) 直流負荷（例えばコンバータモジュールを通して）
- e) 下流の交流サブ配電盤
- f) エネルギー貯蔵システム（バッテリー、スーパーキャパシタ、フライホイールなど）
- g) バスタイリレーによる遮断前の正常側の直流バスセグメント

一般に、直流システムの短絡では、交流システムと比較して高速に電流が上昇し、ピーク値が高くなるため、通常の配線用遮断器やヒューズでの保護協調が困難となる。したがって、直流システムでは、システム全体の評価を行い、高速な半導体式遮断器を設置するなど適切な保護協調が必要となる。このため、故障時の短絡電流の計算（必要に応じて定常状態と過渡状態）を行うことにより、直流バスに接続された機器や保護装置の定格・設置箇所を適切に選択し、規格（例としてIEC 61660, IEEE 946）やその他のモデリングとシミュレーションなどを活用して、文書化することが望ましい。

また、故障の種類・スイッチング動作、そして、これらの直流システム内の位置によって、過電圧や過渡電圧の発生可能性がある。したがって、システム全体を評価して、これらのリスクから保護するために、過電圧・過渡電圧の検討を推奨する。過渡過電圧に対する保護の特定要求事項については、IEC 60364-4-44を参照されたい。

直流システム機器の損傷と停電を最小限とするため、故障箇所により適切な保護協調が検討されている例もある。詳細は米国船級協会ABS規格”Requirements for Direct Current Power Distribution Systems for Marine and Offshore Applications”を参照されたい。

5 接地方式

1. 直流回路の接地では、電食に対して防食措置を施す。
2. 各接地方式の特徴を理解して施設する。

5.1 接地極の腐食防止について

接地極は腐食しないことが求められる。しかし、地絡事故が起きていない場合でも微小な漏れ電流が流れる場合があり、特に直流回路では電流の向きが固定されるため、交流に比べて電食が生じやすい。このため接地電極に対しては、電気防食を施すことが必要となる。電食の防止については、内線規程⁵⁻¹⁾及び電技解釈⁵⁻²⁾でも規定されている。

5.2 各接地系統と地絡遮断装置（漏電遮断器）の関係について

5.2.1 TN系統

TN系統では、地絡電流は大地を通らず露出導電性部分（機器の金属筐体）から保護導体を通じて電源へ流れるため、接地抵抗の影響を受けない。このため地絡電流値は、短絡電流と同等の値となる。TN系統に施設する地絡遮断装置は、この地絡電流を適切に検出し遮断できる装置を選定する必要がある。

5.2.2 TT系統

TT系統では、地絡電流は大地を通じて電源へ流れるため、接地抵抗値の影響を受ける。このため接地抵抗値は、電源の電圧値及び保護する目的に応じて適切な値で管理する必要がある。また、TT系統に施設する地絡遮断装置は、感電保護、火災保護と保護する目的に応じて適切な検知電流の装置を選定することが必要となる。電技解釈第18条では、地絡を生じた場合に0.5秒以内に当該電路を自動的に遮断する装置を施設するときは、接地抵抗は500 Ω以下としてもよい。

5.2.3 IT系統

IT系統は、露出導電性部分を接地しているが、電力系統は非接地であるため最初の故障による地絡電流はほとんど流れない。しかし、故障の発生を感知できないため、安全性を考慮し絶縁監視装置、漏電警報器などを施設して回路内の地絡故障を検知可能とし、適切に故障箇所を取り除くシステムを構成することができる。この場合、電力系統の接地は絶縁監視装置などが検知できる電流を流せるだけの高抵抗の接地工事が施されている。また、IT系統は最初の故障では回路を遮断しないが、電力系統に地絡遮断装置が動作する電流を流すことができる程度の接地抵抗で接地を行った上で、地絡遮断装置により地絡故障が起きた回路を遮断できるようにしている場合もある。

5.2.4 直流系統の地絡遮断装置について

直流回路用の地絡遮断装置（漏電遮断器）として、一つの筐体に収められた製品は、日本では限られたメーカーでしか製造されていない。このため、定格違いなどの理由によりこれを使用しな

い場合は、直流漏電を検知できる変流器及び開閉器との組み合わせなどにより地絡遮断装置を構成することが可能である。

5.3 直流系統の接地の施設について

JIS C 60364-1では直流系統は交流系統と絶縁されていることが前提となっており、交流系統側の接地については整理されていない。IEC TR 63282はユニポーラとバイポーラシステムを区別して整理されている。ユニポーラシステムはL+, L-, PEを備え、1つの電圧のみを使用することができる。バイポーラシステムはL+, L-, M, PEを備え、2つの電圧を使用することができるが、以下に示す理由から分かるように複雑なシステムになる。

- a) 複数の接地を持つTN-Cシステムとして設計すると、腐食の影響を受けやすくなる。
- b) TN-Sシステムとして設計すると、電流を流すために配線(ケーブル)の増強が必要になるケースがある。
- c) 電圧バランスの調整が複雑化する。

5.3.1 交流系統接地を活用した直流系統

交流系統の変圧器スターポイント接地を活用し、直流系統のL+又はL-からPEへの接地接続はしない。スターポイントの接地は相互に接続してユニットとして接地することで、各接地点で電位差が生じないようにし、電気腐食を防止している。交流系統によって接地点が決まるこの構成では、地絡時の保護として両極に高速保護装置が必要になる。

- a) メリット
 - 1) AC/DC受電部に絶縁変圧器不要（コスト、損失低減、及び接地面積削減）。
 - 2) 直流系統以外の交流デバイスに対して、同じ変圧器から電力供給可能。
- b) デメリット
 - 1) 両極に高速保護装置が必要。
 - 2) 漏れ電流を制限するために、AC/DCが整流して生成する電圧より高い電圧に制御することができない。
 - 3) 交流系統を介した循環電流を防ぐ必要があり、複数電源の並列接続が困難（絶縁変圧器が必要になる）。
 - 4) PEに流れないリーク電流が発生する可能性がある。
 - 5) 交流系統から切り離される（自立運転）と接地構成が変わる。

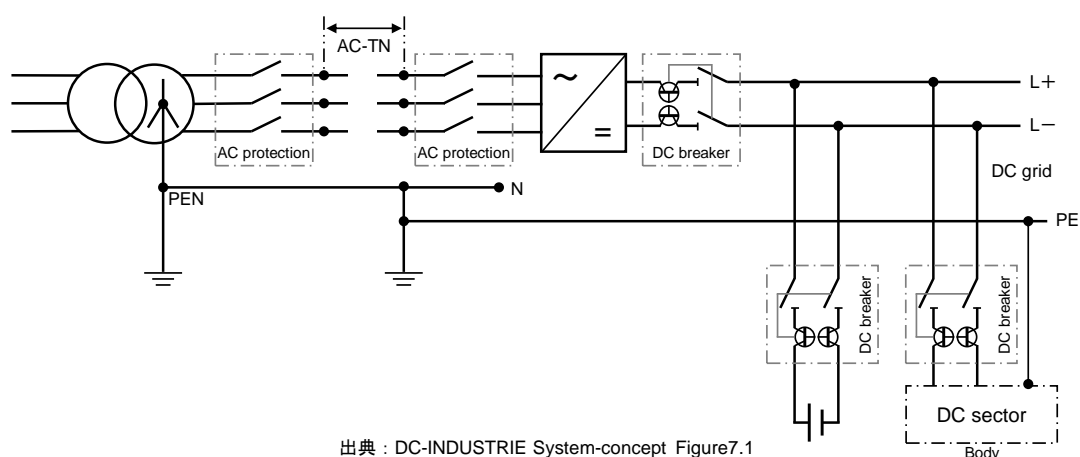


図5.1－交流系統接地を活用した直流系統

5.3.2 直流IT系統

直流IT系統では、直流系統は交流系統と絶縁されるため、複数電源の並列接続が容易になる。また、高速保護装置は単極のみで良くなる。直流IT系統は地絡すると、過負荷になる危険性があるため、10秒以内に地絡点を切り離す必要がある。

a) メリット

- 1) 高速保護装置が必要になるのは単極のみ。
- 2) AC/DC電源の並列運転可能。
- 3) 地絡時の故障電流が小さい（リスク低減）。
- 4) 漏れ電流が小さく、接地電極の電気腐食リスク低減。

b) デメリット

- 1) PEに対するモニタリングが必要，地絡点の検出が難しい。
- 2) AC/DC電源用変圧器の2次側に交流機器をつなぐことができない。

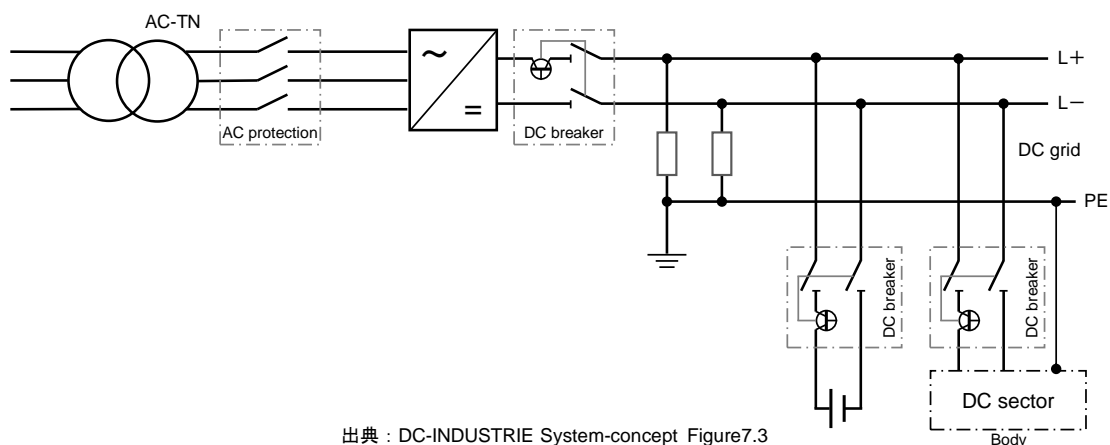
c) DC ITにおける対地電圧の対称化

- 1) 受動素子を用いた対称化

中性点に対して電源電圧1 Vあたり100 Ωの抵抗を推奨（地絡電流の最大を10 mAに制限）。

- 2) 能動的な対称化

多数の機器を接続する大規模システムでは、非対称な負荷が繋がり、受動素子を用いた対称化では困難な場合がある。その場合、L+とPE間及びL-とPE間の抵抗値を連続的に調整する。



出典：DC-INDUSTRIE System-concept Figure7.3

図5.2－直流IT系統

参考文献

- 5-1) 内線規程1350-7：1.埋設又は打込み接地極としては，銅板，銅棒，鉄管，鉄棒，銅覆鋼板，炭素被覆鋼棒などを用い，これをなるべく水気のあるところで，かつ，ガス，酸などのため腐食するおそれがない場所を選び，地中に埋設又は打ち込むこと。
- 5-2) 電技解釈第6章 電気鉄道第209条（電食の防止）：直流帰線は，レール近接部分を除き，大地から絶縁すること。
- 4 直流帰線のレール近接部分が金属製地中管路と1km以内に接近する場合は，次項の規定による場合を除き，次の各号により金属製地中管路に対する電食作用による障害を防止する対策を施すこと。ただし，地中管路の管理者の承諾を得た場合は，この限りでない。

6 接続機器への突入電流

1. 直流電源回路や直流給電回路の設計に際しては、開閉器投入時などに発生する過大な突入電流を抑制し、回路上のヒューズ溶断や開閉器の故障防止に配慮する。

交流システムに比べ直流システムの回路は、電圧安定化の目的でコンデンサが多く電源接続部に搭載され、さらに複数の機器が並列接続されるため、インピーダンスは低くなり、電流サージは高まる傾向がある。このため、図6.1に示すように開閉器を用いて負荷へ電源電圧を供給する場合、接続する負荷の性質によっては投入直後に過渡的なサージ電流（突入電流）が流れることがあり、より一層の注意が必要になる。また、二次電池を接続する直流給電回路の場合には、充電と放電の両方向について突入電流が生じる点についても注意が必要となる。

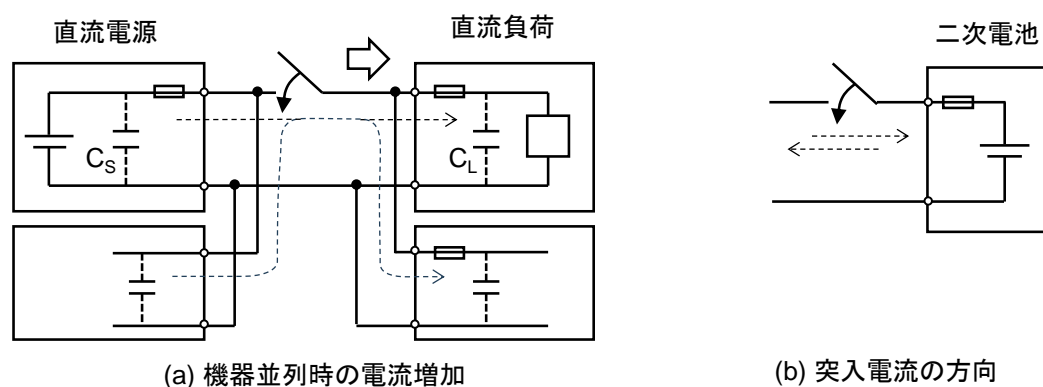


図6.1－突入電流に注意を要する直流給電の例

突入電流を防止するには、開閉器の1次側と2次側の回路の電圧差を減らした後に開閉器を投入する手順が効果的であり、例えば図6.2に示す回路方式を用いる。

図6.2 (a)は、抵抗と補助接点で構成する初充電回路を開閉器に対し並列接続する方式である。主スイッチ SW_m を投入する前に補助接点 SW_p をオンにして、抵抗 R_p を介して予め2次側電圧 V_2 を1次側電圧 V_1 と同等レベルまで充電する。

図6.2 (b)は、開閉器の1次2次をDC/DCコンバータを介して並列接続し、DC/DCコンバータの電圧変換により2次側電圧 V_2 を充電する方式を示す。2次側電圧 V_2 の充電をより柔軟に設計できる。

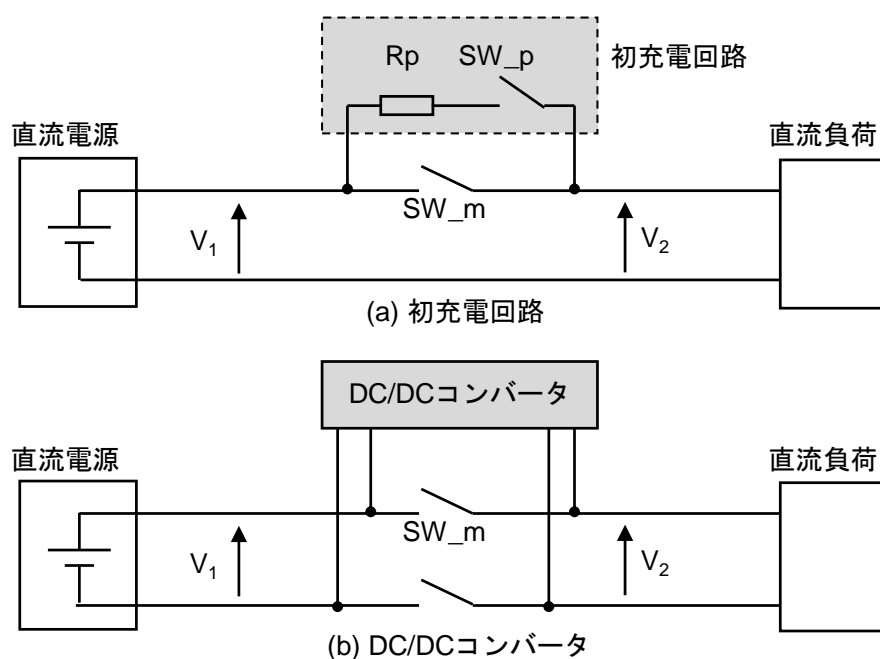


図6.2－突入予防施策の例

また，図6.3(a)に示す例のように負荷入力抵抗成分の特性がそれぞれ R_{L1} ， R_{L2} と異なる複数の負荷を共通の初充電回路で充電する場合，意図せぬ V_2 の上昇不足及びそれに起因するサージ発生のリスクが高まる。図6.3 (b)又は図6.3 (c)に示すように，個別に主スイッチ及び初充電回路を設け， V_{2A} 及び V_{2B} のようにそれぞれ端子電圧を分けて突入電流予防することができる。

ただし，図6.3 (c)のように複数の初充電回路を直列接続し樹形に分枝させる場合には，電源側の主スイッチ投入完了前に負荷側の初充電動作が開始されると電源側の初充電電流が過剰となる可能性もあるため，このような構成にあつては，必ず電源側の主スイッチ投入が完了した後に負荷側の初充電動作を開始するよう順序の管理が必要となる。

なお，直流システム設計者は，本項で説明する突入電流の抑制を検討する際に，直流遮断器や突入電流防止施策を設計するうえで必要な情報（以下を含む）を把握し，検討する必要がある。同時に直流システムに適用される機器の提供者は，直流システム設計者に対し，検討に必要な情報の開示が必要となる。

- 直流端子に直列接続されたヒューズの定格
- 初充電回路で充電される直流コンデンサと直流端子との間の回路略図
- 直流電圧上昇時の挙動，及び入力電流変化など

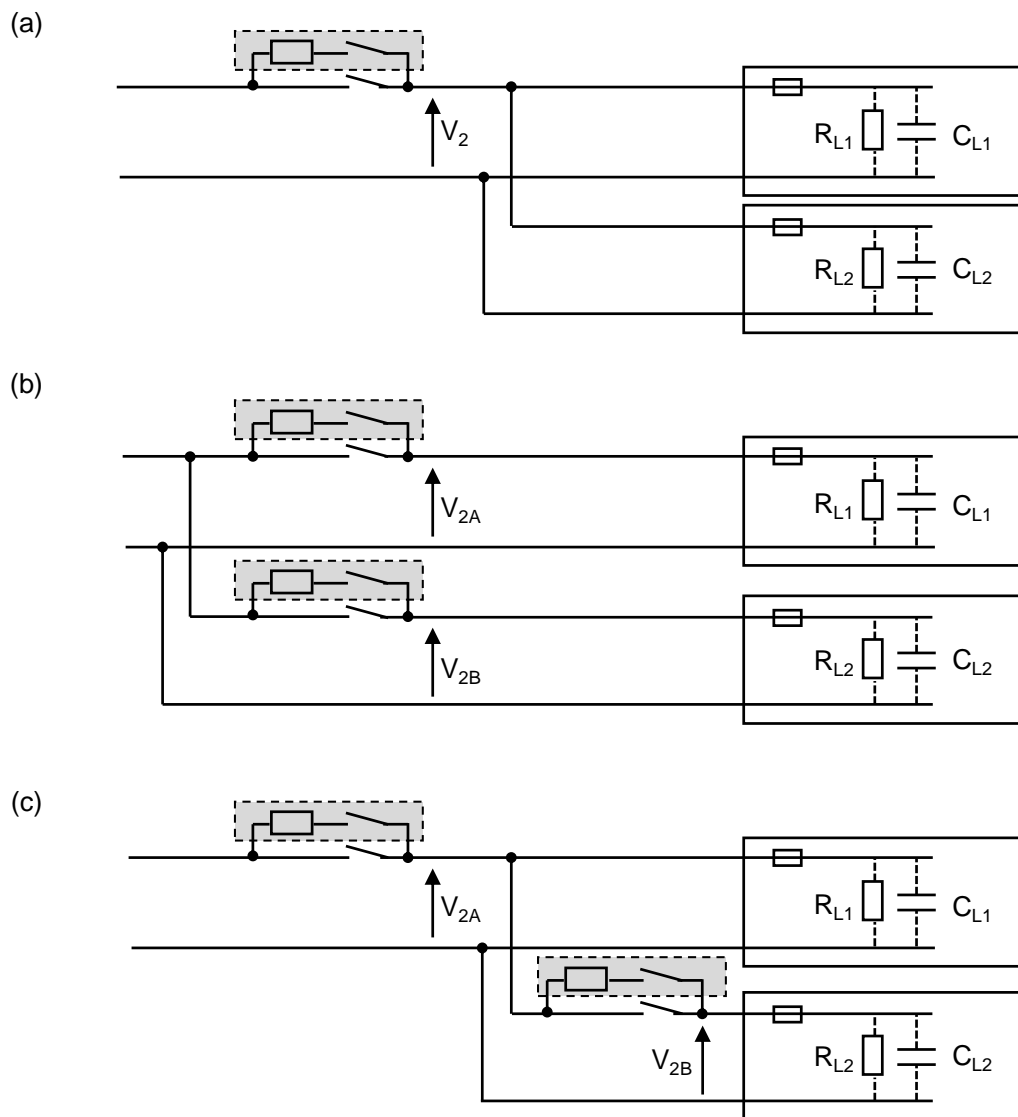


図6.3—異なる特性負荷に対する初充電回路構成例

7 入力電圧規格

1. 装置の動作電圧範囲を超えないように、直流バス電圧の変動を基準内に維持する。

直流システムの直流バス電圧は、接続されている各装置の動作電圧範囲内に維持することが求められる。もし、装置の動作電圧を超えた場合は、装置が故障してしまう可能性があり大変危険である。また、装置の動作電圧を下回った場合は、装置が停止する可能性がある。

各装置の動作電圧を超える場合の具体的なケースとして、負荷装置であるサーボドライブモータなどが、回生エネルギーを発生し、直流バス電圧が上昇するケースがある。この直流バス電圧の上昇により、供給源であるDC/DCコンバータや他の負荷装置の動作範囲以上に電圧が上昇し装置を破壊するおそれがある。対策としては、コンデンサユニットや蓄電ユニット（双方向DC/DC＋電池）等のエネルギー吸収機器を設置し、直流バス電圧範囲を超えないように電圧上昇を抑制することが考えられる。

各装置の動作電圧を下回る場合の具体的なケースとして、負荷装置であるサーボドライブモータが、数秒間定格電力の数倍の電力でモータを駆動させることにより、直流バス電圧が低下するケースがある。この動作をさせた時、DC/DCコンバータの電力供給が追い付かず電圧低下し各装置が停止する。対策方法は、コンデンサユニットを追加する等がある。この対策により、電圧の低下レベルが抑制される。

上記2点をふまえ、直流システム設計時に、モータの回生エネルギーなども考慮した電力のやり取りを想定し、直流バス電圧の変動を基準内設計する必要がある。

8 変換器の選定要件

1. 回生電力の有効活用および直流系統電圧の適正維持のために負荷機器の特性を考慮し、電源用変換器(交流系統と接続される AC/DC 変換器や蓄電用変換器など)を選定する

図8.1に直流システムの例を示す。直流システムの利点として、回生電力の有効活用ならびに交流システムと独立した直流バス電圧の安定化（無停電化）があげられる。これらの恩恵をうけるためには、負荷機器の特性を十分に考慮した上で、電源用変換器を選定する必要がある。

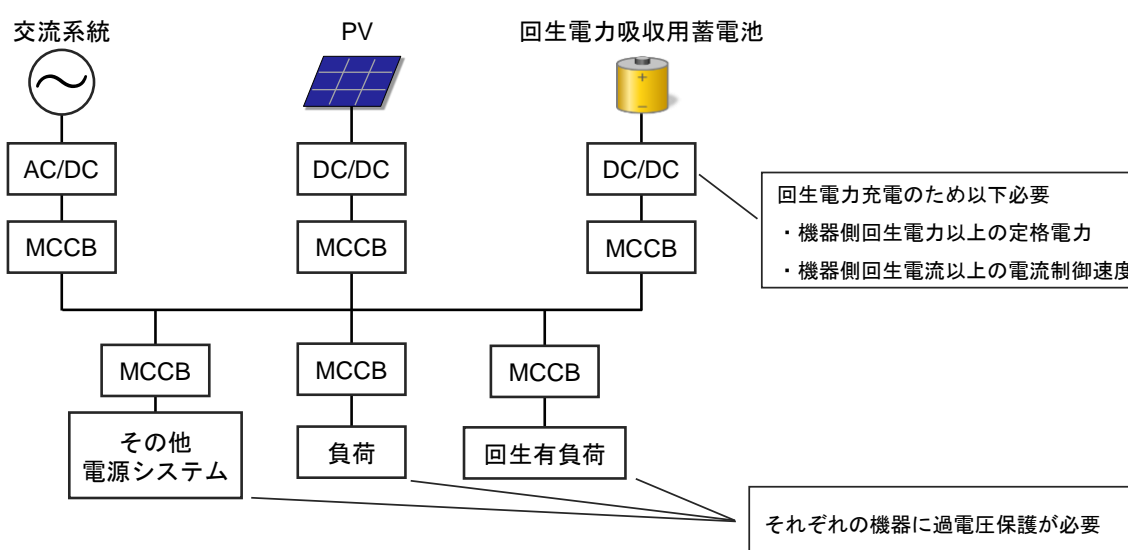


図8.1ー直流システム

負荷機器の回生動作により「直流系統への流入電力」が「直流系統からの流出電力」を上回る場合、直流バス電圧は上昇する。直流バス電圧が負荷機器で設定された閾値電圧以上になった際、回生動作の制限やブレーキ抵抗の投入により、回生電力を有効活用できなくなるおそれがある。また、過電圧保護が機能し、負荷機器が動作を停止するおそれもある。

一方、負荷機器の力行動作により、「直流系統からの流出電力」が「直流系統への流入電力」を上回る場合、直流バス電圧は低下する。直流バス電圧が負荷機器で設定された閾値電圧以下になった際は、負荷機器が動作を停止するおそれがある。

これら回生電力の有効活用及び直流系統電圧の適正維持のために、以下を考慮して電源用変換器を選定する必要がある。

8.1 必要となる負荷機器の情報

- a) 負荷機器の電力特性及び応答特性
- b) 負荷機器の不足・過電圧保護等に係る運転制限・停止条件

8.2 電源用変換器の選定条件

- a) 電源用変換器の定格容量が上記電力特性を踏まえた定格容量以上であること。
- b) 電源用変換器の電力制御応答特性が負荷機器の応答特性以上であること。
- c) 電源用変換器が負荷機器の運転制限・停止条件に係らない範囲で動作可能であること。

なお、負荷機器の力行動作については、他の機器から直流系統に流入する電力を減ずることができる。また、負荷機器の回生動作については、直流システムから他の機器に流出する電力を減ずることができる。

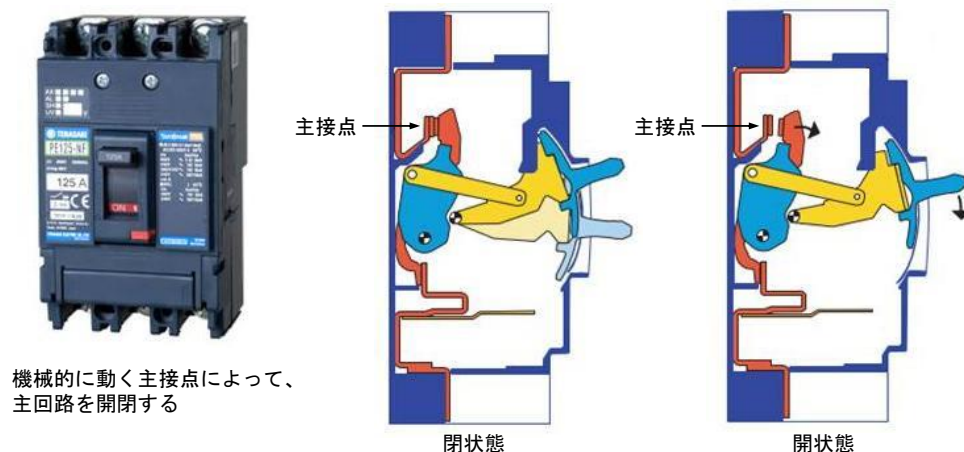
9 半導体式遮断器と機械式との使い分け

1. 機械式遮断器に比べ、遮断時間が短く、大電流になる前に高速遮断が可能な半導体式遮断器が開発されつつある。将来的には、半導体式遮断器を用いることで、選択遮断による保護協調が可能となる。短絡電流が大きな電源設備や蓄電装置を使う際において有効な保護手段となる。

9.1 低圧直流遮断器について

9.1.1 機械式遮断器

図9.1に機械式遮断器の例を示す。機械式遮断器は、物理的に主回路を切り離し、アークを消弧することで遮断を実現する。交流システムにおいて広く使われており比較的安価だが、直流システムでは、電流のゼロ点がないためアークを消弧しづらく、大きな事故電流を遮断することが難しいため、半導体式遮断器への代替などを行う必要がある。



出典：寺崎電気産業株式会社カタログ

図9.1－機械式遮断器の説明

9.1.2 半導体式遮断器

図9.2に半導体式遮断器の例を示す。半導体式遮断器は、半導体パワーデバイスを採用した遮断器で、パワーデバイスをオフすることで主回路電流を遮断する方式である。機械式遮断器に比べると高価になるが、機械式遮断器のような物理的な開閉を伴わないため高速遮断が可能である。大きな事故電流が想定される回路には、事故電流が大きくなる前に高速遮断できるため、回路への影響を最小限に抑えることが可能で適用しやすい。




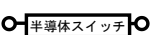
出典:住友電気工業株式会社 SEIテクニカルレビュー

図9.2－半導体式遮断器の例

9.1.3 機械式遮断器と半導体式遮断器の比較について

機械式遮断器と半導体式遮断器の比較を表9.1に示す。

表9.1－機械式遮断器と半導体式遮断器の比較

項目	機械式	半導体式
回路構成	 機械スイッチ	 半導体スイッチ
遮断時間	数ミリ秒 ～ 100ミリ秒程度	数マイクロ秒 ～ 数十マイクロ秒 (大電流になる前に高速遮断が可能)
コスト	◎	△
適用先例	電鉄，一般産業，電力	一般産業

半導体式遮断器は、マイクロ秒オーダーで高速に事故電流を遮断し、図9.3に示す通り電流の立ち上がりを抑えることができるため、過大な事故電流が流れることがない。したがって、機器選定時の遮断容量の条件を大幅に緩和できる。また、過大な事故電流が流れないことから短絡時の電圧降下の抑制効果も期待でき、短絡事故の波及範囲の極小化にも寄与できる。

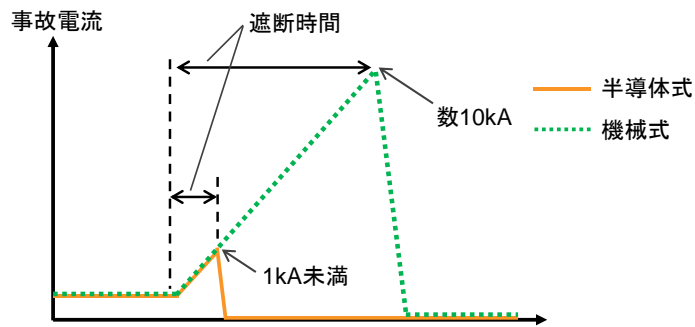


図9.3－半導体式遮断器の事故電流遮断のイメージ

9.2 低圧直流遮断器の適用箇所について

9.2.1 直流配電システムの構成例について

表9.2及び図9.4に直流システムの定格及び構成例を示す。直流システムは容量500 kW，定格電圧を380 Vで，再生可能エネルギー利用の観点で太陽光発電設備（以下，PV）を接続している。また，停電補償とPV出力変動吸収の目的で，約1時間程度のバックアップ可能な596 kWhのリチウムイオン蓄電池（以下，LiB）を直流連系する構成としている。

表9.2－直流システムの定格例

番号	設備名	容量／定格
1	直流電源システム（DC電源）	500kW－DC380V出力
2	リチウムイオン蓄電池容量	596kWh
3	直流バス電圧	DC380V
4	短絡抵抗	0.3mΩ

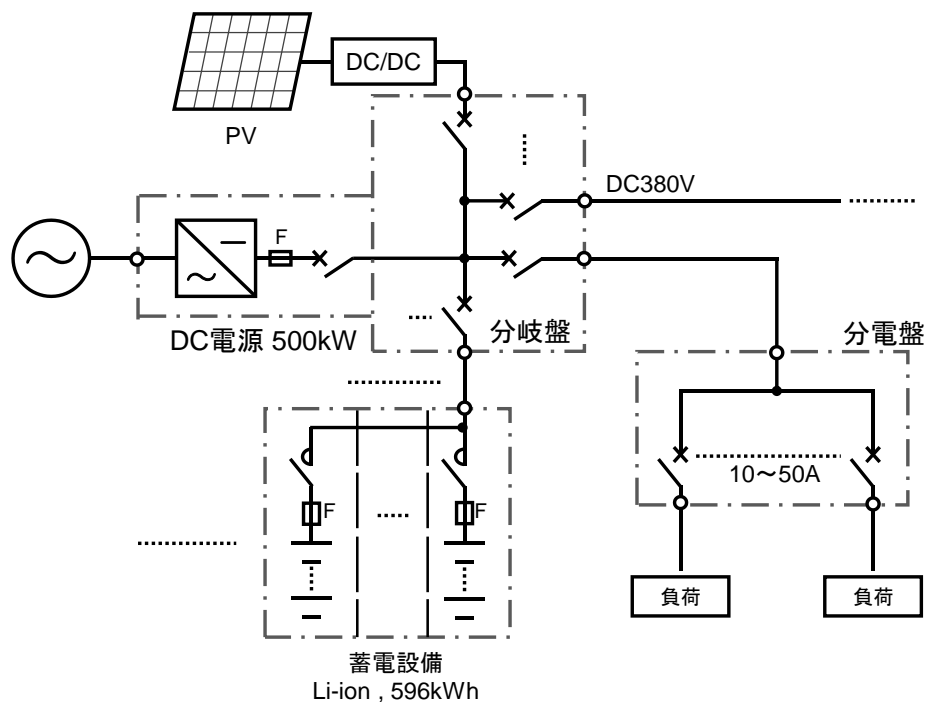


図9.4ー直流配電システムの構成例

9.2.2 半導体式遮断器の適用箇所例について

図9.5に半導体式遮断器の適用箇所例を示す。本構成例では、直流システムに内部抵抗の小さいリチウムイオン蓄電池が変換器や変圧器を介さずに直流母線に接続されている。このため、負荷側ではなく直流バス近傍で事故が発生するとケーブルのインピーダンスもほとんどなく、短絡電流が非常に大きくなる。また、直流バスの電圧低下や短絡電流による各機器やケーブルへの損傷を考慮すると高速に事故点を除去する必要がある。

したがって、短絡電流が大電流になる前に高速に電流を遮断できる半導体式遮断器を適用箇所として、①直流母線分岐部、②蓄電池主幹部などが挙げられる。直流バス分岐部は直流電源を供給している変換器の保護と協調を取ることで分岐部の選択遮断でき、また、蓄電池主幹部は蓄電池が複数配置される並列構成においては、蓄電池の並列ごとに保護が可能となる。

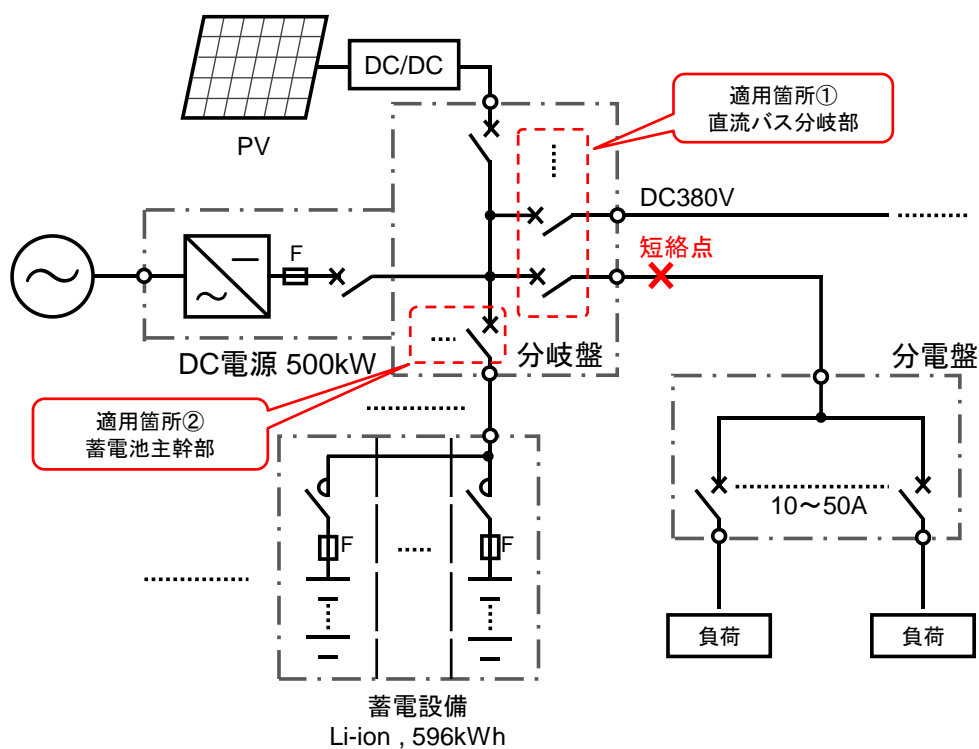


図9.5—半導体式遮断器の適用箇所例

9.3 直流システムにおける短絡電流遮断について

9.3.1 事故時の短絡電流について

図9.4の構成において、短絡事故時の電流波形シミュレーションを行った結果を図9.6に示す。短絡抵抗がほとんど無い直流バス付近での厳しい事故条件では事故電流は短絡発生から5 msで最大数百kAの大電流が流れる結果を示している。

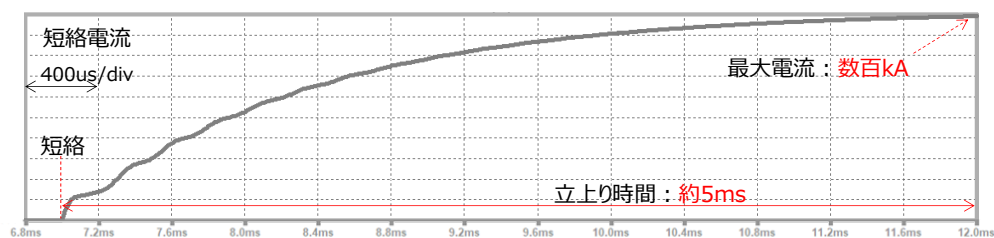


図9.6—短絡事故時の電流波形シミュレーション結果

9.3.2 機械式遮断器の定格について

表9.3に機械式遮断器の定格例を示す。交流回路用に比べると遮断容量が小さいこと、及び直流

配電においては前項に示す通り事故電流が大きくなるケースがあるため、遮断容量の条件を満たす遮断器の選定が限定される。

表9.3－機械式遮断器の定格例

種別	直流回路用		(参考) 交流回路用 汎用型	
	フレーム	遮断容量	フレーム	遮断容量
配電用遮断器	50A	7.5kA	50A	10kA
	250A	7.5kA	250A	35kA
	400A	15kA	400A	50kA
	800A	20kA	800A	50kA
気中遮断器	1250A ～4000A	40kA	1250A ～4000A	105kA ～165kA

定格電圧 : 配線用遮断器 DC690V
: 気中遮断器 DC1000V

9.3.3 半導体式遮断器の高速遮断について

図9.4の構成において、半導体式遮断器を用い短絡事故を遮断した際の電流波形シミュレーションを行った結果を図9.7に示す。半導体式遮断器は、マイクロ秒オーダーで高速に事故電流を遮断できることから、最大数百kAの事故電流に対して、1 kA以下の電流で遮断しており、直流主回路電圧についても数V程度の電圧低下に抑制していることがわかる。半導体式遮断器では、直流配電システムに過大な事故電流を防止し、事故時の直流電圧低下を抑制できることから以下の効果が期待できる。

- a) 機器選定時の遮断容量低減
- b) 短絡事故時の電圧降下の抑制
- c) 短絡事故の波及範囲の極小化

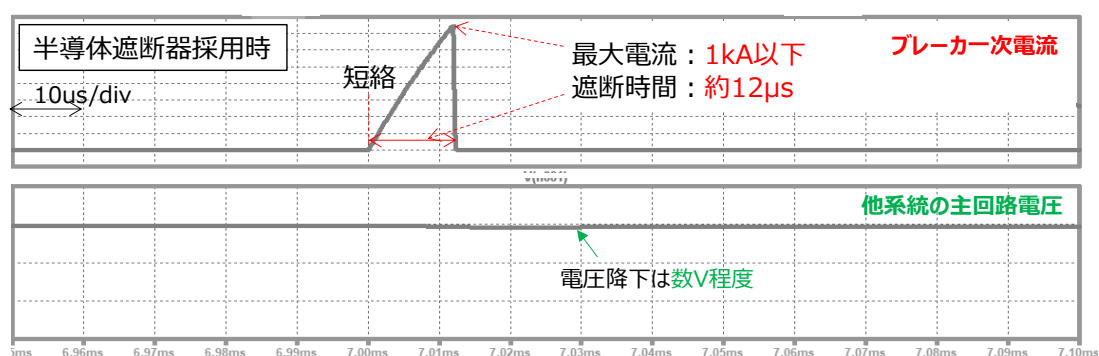


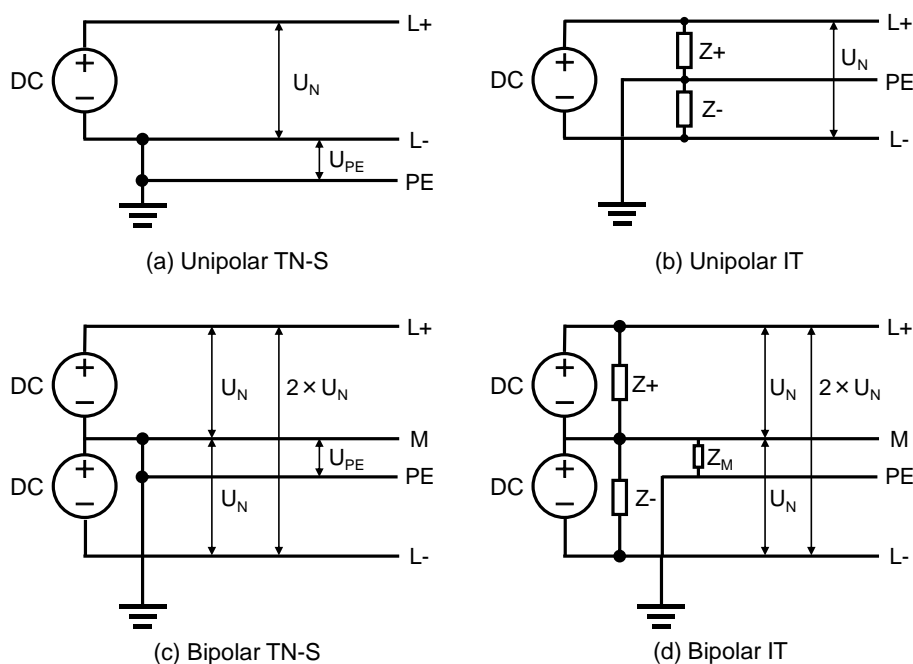
図9.7－半導体式遮断器による短絡事故遮断のイメージ

10 配線方式(ユニポーラ方式又はバイポーラ方式)

1. 設備容量や使用用途に応じてユニポーラ方式（2線式）か、バイポーラ方式（3線式）かを選択する。

直流システムには、2本の導線（正極と負極）を配電するユニポーラ方式と3本の導線（正極，負極，中性線）を配電するバイポーラ方式がある。システム設計にあたり，各方式の特徴を把握したうえで選択することにより，直流のメリットを十分に活用できる。各方式の回路例について図10.1に示す。また，各方式の特徴について表10.1に示す。

配線方式の選定基準としては，低圧直流システムの範囲内における高い電圧や，複数電圧が必要な場合，メンテナンス等で停電が発生する状況下でも電力供給を継続する必要がある場合はバイポーラ方式を選定する。コストやメンテナンス性を重視したい場合，小規模なシステムの場合はユニポーラ方式を選定する。



出典：IEC TR 63282

図10.1－ユニポーラ方式とバイポーラ方式

表10.1ーユニポーラ方式とバイポーラ方式の特徴

項目	ユニポーラ方式	バイポーラ方式
ケーブル数	2本(正極, 負極)	3本(正極, 中性線, 負極)
使用可能電圧	$+V_n$	$+V_n, -V_n, 2V_n$
最大故障電圧値	V_n	$2 V_n$
ケーブル使用率	$V_n \times I/2$ $V_n \times I/3$ (アース線含む)	$2V_n \times I/3$ $V_n \times I/2$ (アース線含む)
ケーブル耐圧 (IT方式)	高め 特に, 高い電圧を必要とする場合	低め
スイッチ・ブレーカ ーの極数	2極	3極
コスト	低い	高い
メンテナンス性	容易	複雑 特に, 片極供給しながらの場合
レジリエンス性	低い	高い
事故保護	容易	複雑 特に, 両極不平衡の場合
制御	容易	複雑 特に, 複数電圧源の場合

11 直流漏電検出技術

1. 漏電保護のため、各負荷機器はアース接地を行い、漏電保護装置には直流回路用の地絡（漏電）検出装置または絶縁監視装置と、遮断器機能を有する開閉器とを組み合わせた遮断装置を用いる。

11.1 直流漏電遮断装置

直流システムにおいて、負荷機器の劣化や水濡れ、ケーブルの損傷などにより、漏電が発生する可能性がある。漏電による感電保護のため、各負荷機器は規格に準じたアース接地を行う必要がある。また、装置単位など安全性を確保したい領域には、直流回路用の地絡（漏電）遮断装置を設置し、漏電した際に回路を遮断させる必要がある。遮断装置の設置イメージを図11.1に示す。

なお、2025年現在、国内では直流の漏電検出が可能な漏電遮断器（一つの筐体に収められたもの）が流通していないため、直流回路用の地絡（漏電）検出装置又は絶縁監視装置と直流回路用の遮断機能を有する開閉器とを組み合わせた遮断装置を活用している。

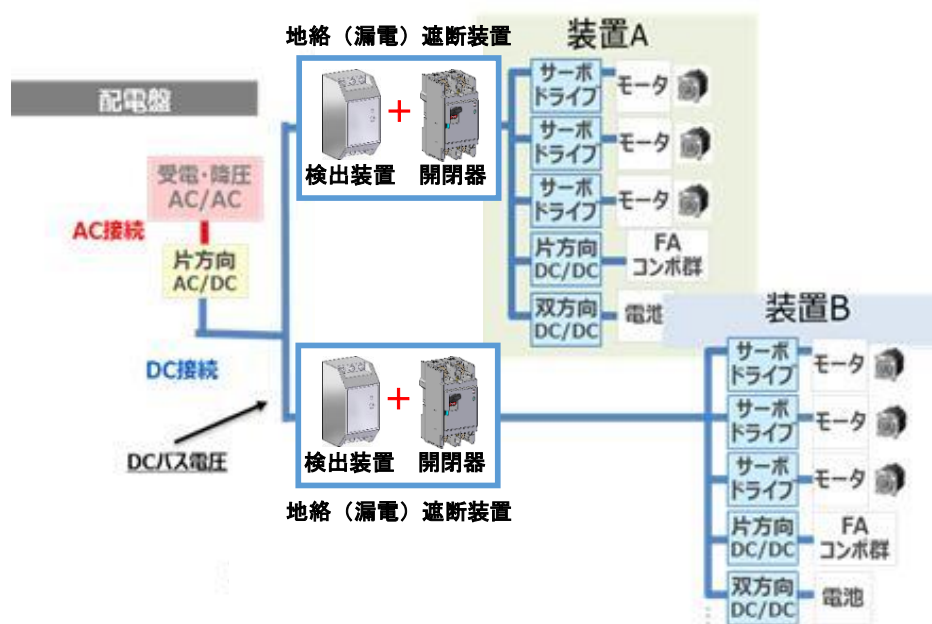


図11.1ー遮断装置の設置イメージ

漏電を検出した際には、検出範囲における各負荷機器のフレームグランド端子と遮断装置までの各端子間のインピーダンスを測定し（図11.2参照）、インピーダンスが著しく低い負荷機器や配線箇所を特定する。電源を復旧する前に、漏電箇所を特定した負荷機器や配線を交換するなどの対策を施し、正常な状態に戻しておく。

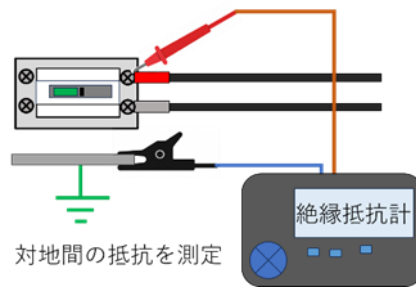


図11.2—インピーダンスの測定

11.2 交流漏電検出と直流漏電検出との違い

交流系統における漏電検出の原理を図11.3で説明する。図11.3 (a)に示すように交流系統で漏電電流 I_g が発生すると、零相変流器(ZCT)を貫通する電線に漏電電流分の電流差 $I_g = (I_1 - I_e)$ が生じる。電流差 I_g に応じてZCTに磁束 Φ が発生し、二次巻き線に電圧 V_g が誘導される。この電圧 V_g を利用して漏電を検出する。

交流の漏電電流は図11.3 (b)に示すように時間と共に変化しているため、磁束 Φ も時間と共に変化しており、ファラデーの法則から電圧 V_g は $|V_g| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$ で発生する。

しかし、直流の漏電電流は図11.3 (c)に示すように時間的変化を伴わないため、磁束 Φ が変化しない。そのため電圧 V_g は発生せず、交流と同じ方法(ZCT方式)では漏電を検出することができない。

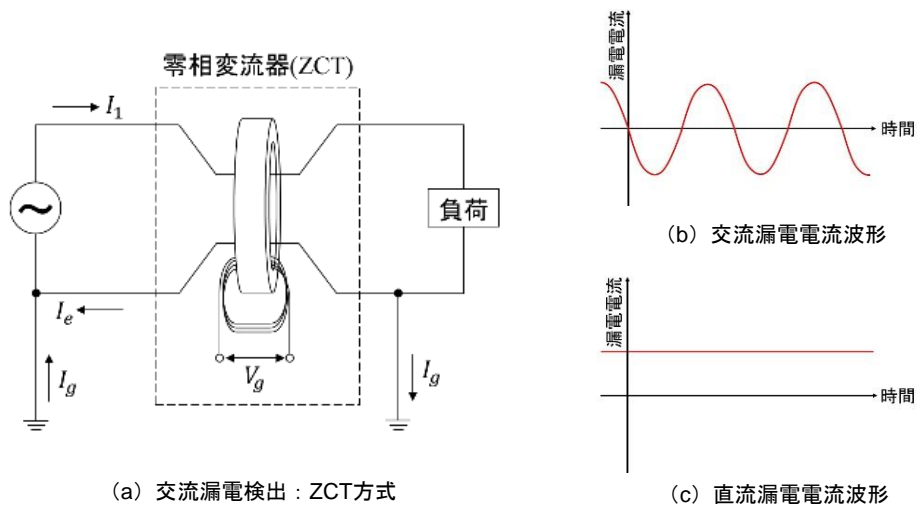


図11.3—ZCT方式交流漏電検出

すなわち、国内市場に流通している交流用の漏電遮断器では、直流回路の漏電保護が行えないことを十分に注意しておく必要がある。

11.3 直流漏電検出方法

非接地系統における直流の漏電検出方法として、国内で一般的に採用されている中間点高抵抗

接地方式の例を図11.4, 図11.5に示す。2個の抵抗器 R_1 , R_2 を用いて正極及び負極の中間点を形成し接地する。図11.4に示す電圧検出方式では、漏電電流 I_g によって抵抗の両端に生じる電圧 V_1 の変化を検出する。図11.5に示す電流検出方式では、漏電電流 I_g によって中間点接地線に流れる電流 I'_g を検出する。

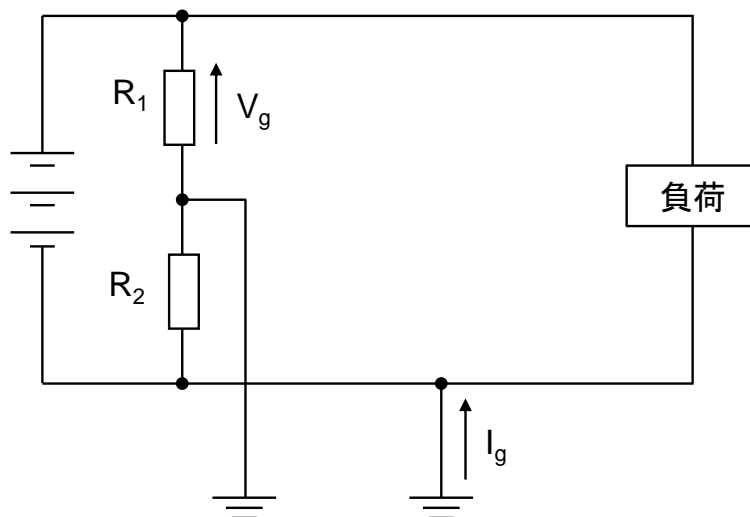


図11.4－中間点高抵抗接地：電圧検出方式

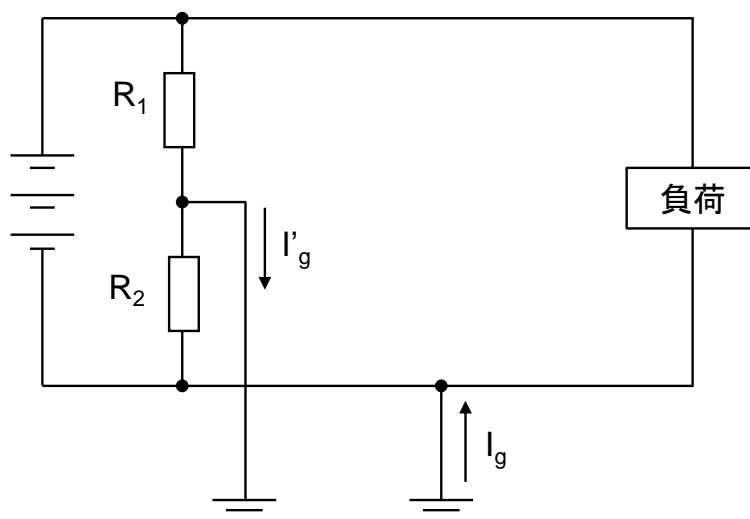


図11.5－中間点高抵抗接地：電流検出方式

なお、中間点高抵抗接地方式では、図11.6, 図11.7に示す箇所で漏電した際に漏電を検出することができないため、図11.8に示すように直流回路の対地間に交流を重ねさせ、漏電によって生じる交流電流 I_0 を検出する方法（交流重畳方式）もある。

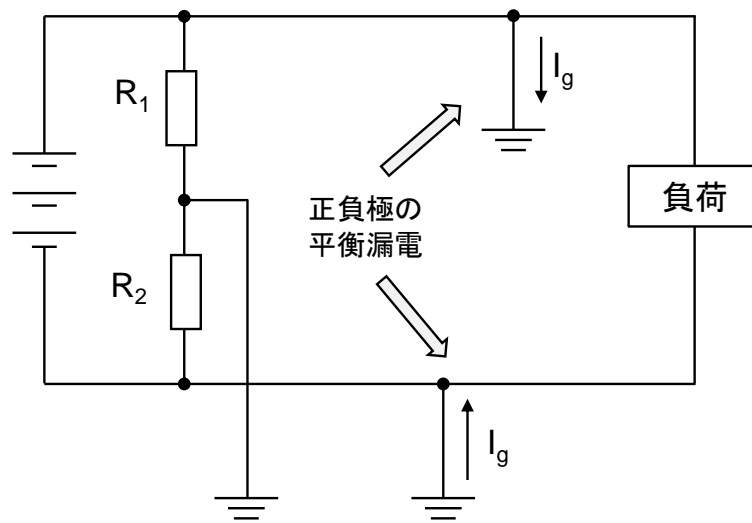


図11.6—正負極の平衡漏電発生時

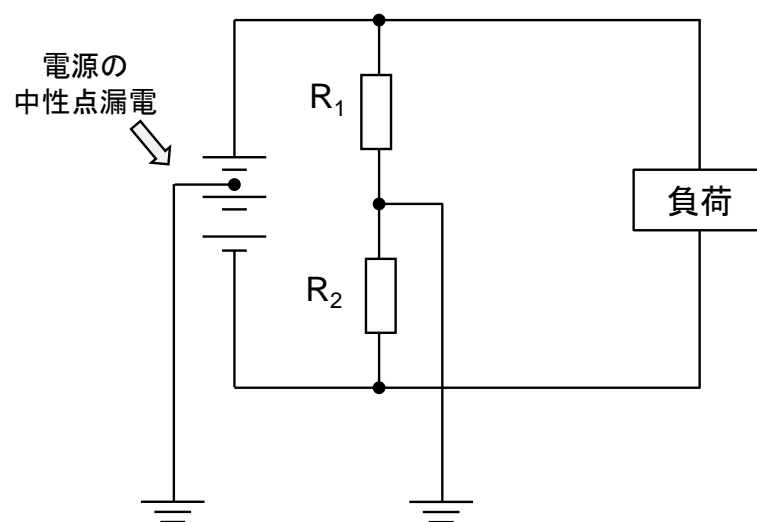


図11.7—電源の中性点漏電発生時

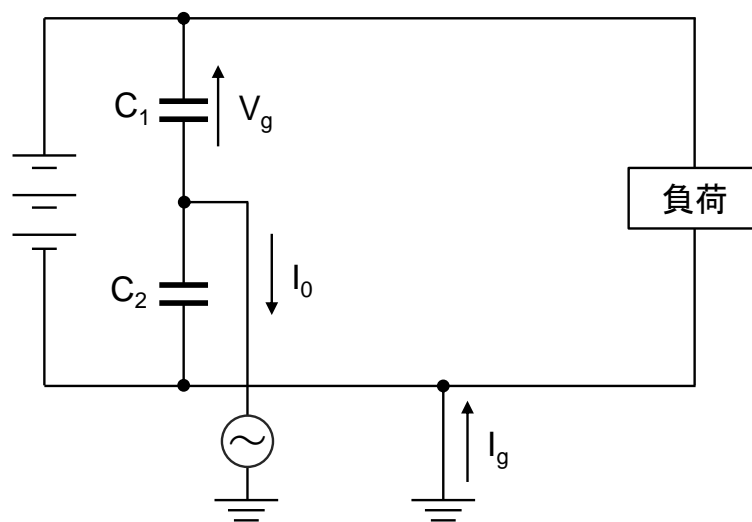


图11.8—交流重置方式

低圧直流活用分科会 委員構成表

	氏名	所属
(主査)	福野 研一	三菱電機株式会社
(幹事)	栗尾 信広	住友電気工業株式会社
	武田 賢治	株式会社日立産機システム
	関 孝二郎	富士電機株式会社
	中村 勉	株式会社安川電機
(委員)	蘆田 岳史	オムロン株式会社
	桐淵 岳	オムロン株式会社
	黒田 和宏	住友電気工業株式会社
	加茂 章太郎	住友電気工業株式会社
	西垣 安貴	株式会社ダイヘン
	岡本 和馬	株式会社ダイヘン
	甲斐 公一	株式会社TMEIC
	福岡 勝彦	株式会社TMEIC
	地道 拓志	株式会社TMEIC
	吉市 潤司	株式会社TMEIC
	中村 利孝	株式会社TMEIC
	井林 祐貴	寺崎電気産業株式会社
	北川 直	寺崎電気産業株式会社
	古家 成正	株式会社東光高岳
	竹井 義博	株式会社東芝
	才田 敏之	東芝エネルギーシステムズ株式会社
	時津 芳行	日新電機株式会社
	伊東 雄一	日東工業株式会社
	坪井 俊治	パナソニック株式会社
	中 康弘	富士電機機器制御株式会社
	西田 英幸	富士電機株式会社
	森下 文浩	富士電機株式会社
	栗栖 阜貴	三菱電機株式会社
	園江 洋	三菱電機株式会社
	和泉 晃浩	三菱電機株式会社
	阿部 浩二	株式会社明電舎
	田中 賢一郎	株式会社明電舎
	山中 太	株式会社安川電機
(事務局)	栗田 智久	一般社団法人日本電機工業会
	結城 靖幸	一般社団法人日本電機工業会
	阿部 倫也	一般社団法人日本電機工業会

低圧直流システム普及のための
システムインテグレータ/施工業者向け
ガイドライン

2025年(令和07年)9月4日 発行
(産7221, 技25-02)

発行所 一般社団法人 日本電機工業会
低圧直流活用分科会

東京都千代田区一番町17番地4
電話 (03) 3556-5884 (技術戦略推進部)

著作権法により、無断での複製、転載等は禁止されております。