第7回
絶縁体
スイッチに要求される要件
投入スイッチと開放スイッチ

高気圧スパークギャップスイッチ
トリガトロン，レールギャップスイッチ，サイラトロン，
磁気アシスト，

3.3 絶縁体の種類と特性

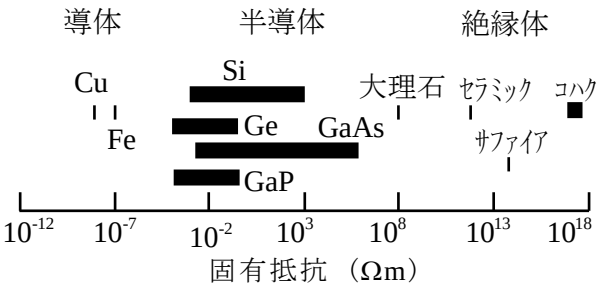
種類

気体	真空，乾燥空気，窒素ガス，SF_6
液体	絶縁油，水，フロリナート
固体	半導体，セラミックス，高分子（ポリエチレン，エポキシ），複合体

要求される性能

絶縁特性	電圧波形，印加時間，寿命
機械的特性	機械的強度，電磁力
熱的特性	耐熱性，熱応力，不燃性
化学的特性	耐蝕性，耐候性，毒性
その他	経済性，加工性，取扱い易さ

物質の固有抵抗



絶縁体の特性

物質	内部抵抗 Ωm	表面抵抗 Ω	破壊強度 MV/m
石英ｶﾞﾗｽ	$>10^{16}$	3×10^{12}	20～40
ﾊﾟｲﾚｯｸｽ	10^{12}		5～25
ｼﾘｺﾝｺﾞﾑ	10^{12}～10^{15}		
絶縁油	10^{11}～10^{15}		10
アルミナ	10^{9}～10^{12}		
大理石	10^{7}～10^{9}		
アクリル	$>10^{13}$	$>10^{14}$	40
エポキシ	10^{12}～10^{13}	3×10^{12}--10^{14}	16～22
テフロン	10^{15}～10^{19}	3×10^{12}--10^{17}	20

3.4 スイッチ

スイッチに要求される条件

- 非導通時の抵抗大，耐電圧大
- 使用電圧で確実に導通
- 導通時のインダクタンスと抵抗が小
- 通過電流（電荷）量が大
- 高繰り返し動作可能
- 動作ばらつき（ジッタ）小
- 長寿命，高安定
- 保守容易，軽量コンパクト，低価格

投入スイッチの必要条件

- 電流増加率大（d*I*/dt)
- 導通時間短

開放スイッチの必要条件

- スイッチ抵抗増加率大（d*R*/dt)
- 開放時間短

投入スイッチの種類と特徴

	電圧・電流	di/dt	繰り返し	オン	媒質	寿命他
スパークギャップ	100kV,100kA	大 A/s	1 Hz	10ns	ガス	安価，保守
真空スパーク	100kV,10kA					
サイラトロン	100kV,10kA	10^{11} A/s	1 kHz	100ns	水素	$10^{4\text{-}8}$
イグナイトロン	100kV,10kA				水銀	
磁気スイッチ		大 A/s	kHz	10 ns	強磁性体	長寿命
接合型半導体	kV，kA	10^{9} A/s	10 kHz	100 ns	Si	長寿命
光トリガ半導体	kV，kA		-	ns	GaAs, Si	短寿命

開放スイッチの種類と特徴

	電圧・電流	dV/dt	繰り返し	オフ	媒質	寿命他
爆薬	100kV,10kA					
ヒューズ	10kV,10kA				金属	安価
金属プラズマアーク	10kV,10kA		高		金属蒸気	安価
プラズマエロージョン	100kV,10kA		低			
真空遮断器	100kV,10kA					
半導体：サイリスタ，GTO	kV，kA		高	100 ns	Si	長寿命
SOS ダイオード	kV，kA		高	ns	Si	長寿命

3.5 高気圧スパークギャップスイッチ

- 所定のギャップ間隔で絶縁確保
- ギャップ間には通常気体
  空気，圧縮空気，窒素，SF6 など
- 電圧，光などで動作開始：トリガ
- アークプラズマを発生させて導通

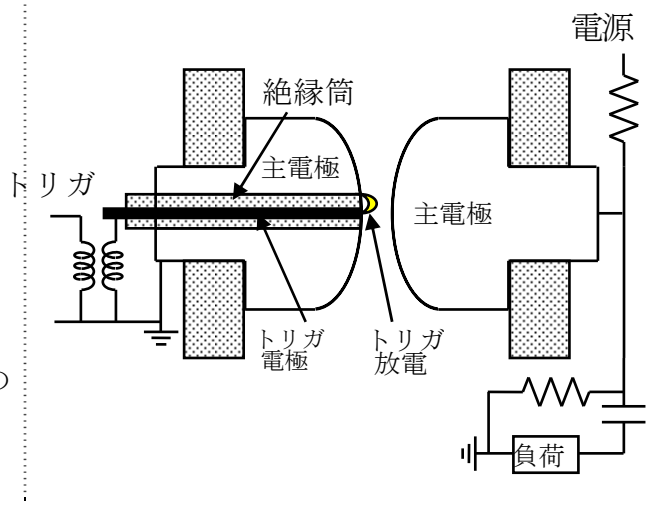
トリガトロン：数 kV のトリガパルスで高範囲の電圧制御可能，トリガ電極の寿命短電界歪み：スイッチング速度大，トリガ電極寿命長，トリガに高電圧必要

レーザトリガ：高電圧制御が可能，スイッチング速度大，ジッタ少，設備費大

レール型：低インダクタンス，自爆型と外部トリガ型，超高速立ち上がりパルス電圧必要

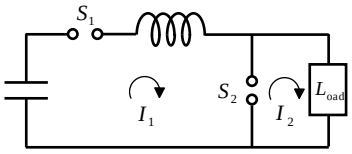
トリガトロンギャップスイッチ

- 電極中央部に小スパーク発生（トリガ電極）
- 対向主電極間にアーク放電発生
- 主電極間に電圧が必要
  →クローバスイッチ
- トリガ電圧は数 kV 以上
- 100 kV，100kA 程度が目安
- 電極の溶融から通過電荷量に制限：
- 繰り返し動作はアーク消滅時間とガス密度の回復時間に依存
- トリガ電極，主電極の定期的保守が必要

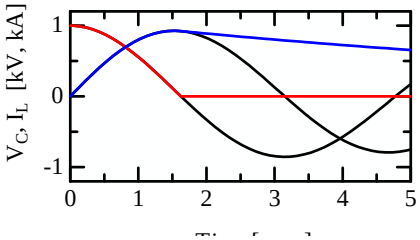


クローバ回路とクローバスイッチ

- 電流減衰を低減し反転を防止する
- 主電極間電圧がほぼゼロの状態で動作
- 強力なトリガが必要



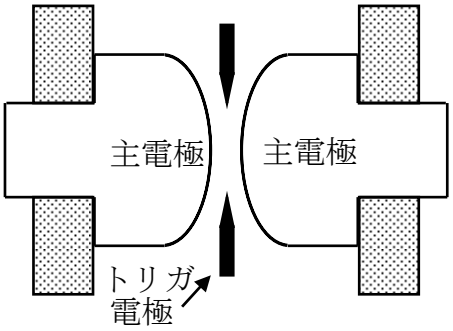
回路は振動条件にあるとして，



キャパシタを充電し S_1 を投入。コンデンサ電圧が 0V になったときに S_2 を投入。負荷が抵抗だとして I_2 を，S_2 を投入しない場合と比較

電界歪み型ギャップスイッチ

- 主電極間の中間にトリガ電極配置
- トリガ電極に電圧を加えて主電極間の電界を歪ませる，トリガ高電圧必要
- 主電極間にアーク放電が発生して導通
- トリガ電極の損耗が無く，高電圧向き
- 100 kV，100kA 程度が目安



レーザトリガギャップスイッチ

- 主電極を MW 以上のレーザ光照射
- 電極表面にプラズマを発生させる
- 数 100kV 以上のスイッチに使用
- 極めて低ジッタのため同期が容易
- TEA-CO2 エキシマ等のパルスレーザが必要
- 紫外域のエキシマレーザが最適，

スイッチング時間 10ns，ジッタ 0.5ns

レールギャップスイッチ

- 対向主電極間に高速高電圧印加
- 上昇率 dV/dt は 5kV/μsec 以上必要
- 一様な放電発生，低インダクタンス化可能

3.6 低気圧ギャップスイッチ

サイラトロンの特長

- kHz 動作可能なガス入り放電管
- 水素，重水素，記号 ・ でガス入り表示
- 熱電子陰極型グロー放電スイッチ
- 電流上昇率は 10^{11}A/sec 程度
- ターンオン時間は数 100nsec 程
- セラミック，ガラスチューブ，空冷，水冷，油冷
- グリッドには常時負電圧印加，導通防止
- グリッドにパルス正電圧を加えて導通

サイラトロンの構造

- ガラス，セラミックス容器内にガス封入
- ヒータ：カソードを加熱して熱電子放出
- リザーバ：充填気体（水素，重水素）吸着合金の加熱により容器内の圧力調節
- グリッド：電子制御，通常は負電圧，動作時に正のパルス電圧

電流反転によりアノード損傷が起こり寿命短縮

サイラトロンの電力損失低減：磁気アシスト回路

開放スイッチ

ヒューズ

- ヒューズに通電，ジュール加熱
- 固体→液体→気体に変化し抵抗増加
- 開放時の絶縁耐力が重要

真空遮断器：外部回路により電流のゼロ点を強制的に作って電流遮断

爆薬スイッチ

プラズマ不安定スイッチ

プラズマエロージョンスイッチ