第8回
磁気スイッチ
半導体スイッチ

3.7 磁気スイッチ

- 強磁性体コアの過飽和リアクトル
- リボン状磁性体を絶縁して使用
- リセット回路使用
- 高繰り返し動作可能（冷却必要）
- 半導体スイッチとの組み合わせで利用

層間電圧の考え方

磁気スイッチのスイチング特性
電圧降下：直線的，オン電圧：小
電流立ち上がり大，スイッチング損失小
ギャップ，サイラトロン-スイッチの特性
電圧降下：指数的，オン電圧：数 10～100V

3.8 半導体スイッチ

＊ターンオン時の物理現象とデバイスのターンオン時間

時間	10^{-10}	10^{-09}	10^{-08}	10^{-07}	10^{-06}	10^{-05}	10^{-04}
現象	アバランシ 光パルス キャリア発生	空乏層内 キャリア移動 空乏層 チャネル開放		MOSゲート 容量充電	サイリスタ 1次元オン	サイリスタ 2次元オン	
種類	光制御半導体スイッチ			RSD，FID SIThy	GTO		

光制御バルク半導体スイッチ

- シリコンやガリムウひ素などの半導体
- パルスレーザ照射で電子・正孔対生成
- 半導体物質のバンドギャップよりも高い光子エネルギーが必要

レーザ照射前の抵抗値

$$R = \frac{d}{\sigma W t}$$

照射深さ t0 は、バンドギャップ相当相当の光で約 1mm

電子、正孔密度は

$$\frac{dn}{dt} = \frac{P(1-S)}{\varepsilon d W t_0} - \frac{n}{\tau}$$

P：レーザパワー，S：レーザ光の反射係数，ε：光子エネルギー，τ：電子正孔の再結合時間

$\tau > T$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{P(1-S)}{\varepsilon d W t_0} - \frac{n}{\tau}$$

$\sigma_{on} = n\mu e$　　μ：電子とイオンの移動度の和

$$R_{on} = \frac{d}{\sigma_{on} W t_0} = \frac{\varepsilon d^2}{e\mu P T(1-S)}$$

オン抵抗値：長さの 2 乗に比例

制御可能な電流値：シリコンで 60kA/cm^2

表面の絶縁耐圧：シリコンで 50kV/cm

RSD (Reversely Switched Dynistor)
RSD はトランジスタ部とサイリスタ部が交互に集積された構造をもつ2端子素子。ターンオン時アノードカソード間に瞬時に逆方向電圧を加えトランジスタ部のベースエミッタ接合をアバランシ動作させ，この電流で n ベースにキャリア注入。

FID (Fast Ionization Dynistor)
FID は p+np+n+のサイリスタ構造を持つ2端子素子。アノードカソード間に dV/dt>10^{13}V/s 以上の正方向電圧を加えアバランシ動作させてオンさせる。

IEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)
IGBT に比較してゲート幅 Lg が広くコレクタ側から注入されたホールが n ベース内のエミッタ側に滞留し，これを中和する電子の注入が強化される。この結果 n ベース内キャリア密度が増加して飽和電圧を低下させる。4000V 級の IGBT と比較して，高速・低飽和電圧となる。素子で 2700V，4500A ピーク，パルス幅 0.8μs，di/dt=17kA/μs のスイッチング可能。

サイラトロンの置き換え例
IEGT では，10 直列でクライストロンモジュレータ用スイッチ（定格 25kV-1250A）実現，立ち上がり 750ns，
SI サイリスタ(Static Induction Thyristor, SIThy) を 15 直列接続。45kV，6kA，di/dt=10kA/μs，パルス幅 6μs，ピーク電力 136MW

ダイレクトスイッチ方式
オンオフ機能を持つ半導体スイッチでパルス波形を作る方式で，利点は
(1)PFL,PFN が不要。(2)PFN 等を使用しないので，出力電圧は 1/2 にならず，スイッチ耐圧は 1/2 で済む。(3)パルス幅を容易に変更できる。(4)不可短絡時のオフ動作が瞬時に行える。

MOSFET,IGBT などが使われ，3.5kV，500A の IGBT モジュールを 40 直列で，140kV，500A，70MW の電源例がある。

SOS-diode (Semiconductor Opening Switch)
半導体（pn 接合）の開放スイッチ。LC 回路内に置き，順方向にパルス通電してキャリアを蓄積し，電圧反転過程でほぼ電流ピーク時に遮断するように使用する。

誘導性蓄積エネルギー回路に使用すると，75 直列で，150kV，1kA，数 nsec などの短パルス高電圧出力が得られる。

スイッチでの電力消費
消費電力は，スイッチ両端の電圧とスイッチを流れる電流の積で求まる。スイッチ電圧の低下率が遅いと電力損失も増す。

磁気圧縮回路と磁気アシスト回路
サイラトロンや半導体スイッチに過飽和リアクトルを直列に入れることで，スイッチの電流立ち上がり時刻を遅らせ，スイッチ ON 時の電力損失を削減できる。またスイッチの長寿命化にも寄与する。