

異常放電保護回路用永久磁石式限流器

一ノ倉 理、関本 英雄*
(東北大学、*エイチ・エス・エレクトリック)

Permanent magnet type current limiter for arcing protection circuit

O. Ichinokura, H. Sekimoto*
(Tohoku Univ., *H. S. Electric Co., Ltd.)

はじめに

筆者らは、HiPIMS法(高出力インパルスマグネトロンスパッタリング法)に適したパルス電源の開発を進めているが、課題としてスパッタ装置内で生じる異常放電(アーキング)対策が挙げられる。異常放電が生じると、ターゲット表面の熔融・飛散による成膜品質の低下や、過電流による装置の焼損を招くため、確実な対策が望まれる。ここでは永久磁石と非線形磁心で構成される限流器の適用について検討を行った。

基本構成並びに試作器の特性

Fig. 1にシステムの基本構成を示す。正常運転時には双方向スイッチをオン状態とし、異常放電が生じて負荷電流が許容値を超えたらオフにしてシステムを保護する。ここで、過電流を検出してから双方向スイッチが切れるまで応答遅れが生じる。HiPIMSでは μsec オーダーで1000~1500Vのパルス電圧を印加するので、応答遅れによる電流上昇は無視できない。限流器は応答遅れによる電流上昇を抑制するために挿入するものである。Fig. 2(a)に限流器の構成を示す。巻線と永久磁石はそれぞれの起磁力が逆方向になるように配置する。同図(b)は試作器の鉄心である。鉄心材質は10EX900、永久磁石はネオジウム焼結を使用した。巻線側の鉄心断面積を永久磁石側の鉄心断面積の数分の一になるように設計すれば(試作器では1/6)、永久磁石の磁束によって巻線側鉄心が磁氣的に飽和する。巻線電流起磁力が永久磁石起磁力以下の場合は飽和領域で動作するため、限流器は低インピーダンスになる。異常放電が生じて巻線電流起磁力が永久磁石起磁力を超えると、動作点は鉄心の不飽和領域に移り、限流器のインピーダンスが増加して電流が抑制される。Fig. 3(a)に、磁気回路法に基づいて計算した限流器の応答特性を示す。ここで負荷は抵抗とし、パルス電圧ではなくDC電圧をステップ状に印加した。比較のために限流器の代わりに線形インダクタを使用したときの計算波形も示した。これを見ると、限流器によって120Aから220Aの範囲で電流増加が抑制されていることがわかる。Fig. 3(b)は観測波形であり、シミュレーションと同様の傾向が認められる。限流期間 $22\mu\text{s}$ は上記の応答遅れをカバーするために十分な時間であり、限流器を併用することで確実な異常放電保護が実現できることが了解される。

あとがき これまでの永久磁石式限流器は大型化する傾向があったが¹⁾、本稿のような高周波応用では小型化が可能であり、構成単純でメンテナンスフリーな過電流保護素子として実用化が期待される。

文献1)例えば“実用設計を想定した磁気式限流器磁心寸法の数値解析とその試作”，中道，四辻，山田，岩原，J. Magn. Soc. Jpn., 30, 282-285(2006)

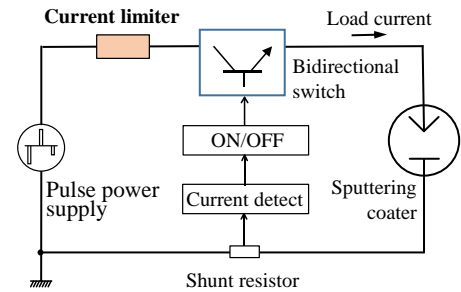


Fig. 1 Basic configuration of the pulse sputtering system.

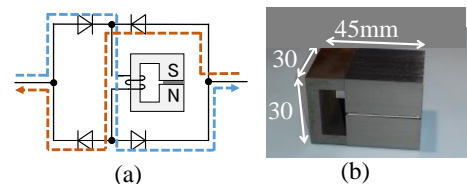
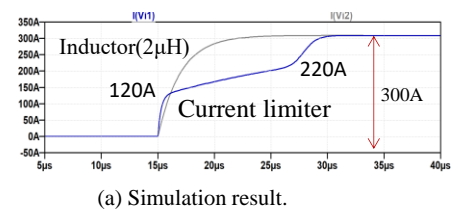
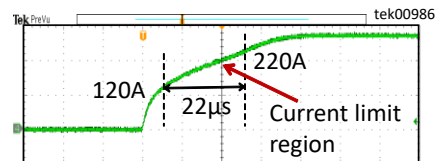


Fig. 2 Structure of the current limiter. (a) Circuit configuration. (b) General view of the magnetic core.



(a) Simulation result.



(b) Measured result.

Fig. 3 Step response of the trial current limiter