

[12P-31]

HIGH VOLTAGE TRANSISTOR SWITCH FOR KLYSTRON MODULATING ANODE MODULATOR

T. Nakamura, M. Yura, M. Ono^{*)}, M. Kawamura^{*)} and S. Anami^{*)}

Pulse Electronic Engineering Co.,Ltd.

274, Futatuzuka, Noda-Shi, Chiba-ken, 278-0016 JAPAN

^{*)}KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-Shi, Ibaraki-ken, 305-0801 JAPAN

Abstract

We developed a high voltage solid state switch that consists of FET transistors. The switch is designed to meet the requirements for generating the modulating anode pulse for the JHF 3-MW klystron. The maximum ratings of this switch are 120kV (DC), 3A(peak), 700 μ s (pulse width) and 50pps, respectively. The test at the actual klystron operation showed the quite stable performances.

クライストロン アノード変調器用高圧半導体スイッチ

1. はじめに

長パルス大電力クライストロンの M・アノード変調器は従来、スイッチとして電子管(四極管)が使用されているが電子管自体の需要減少に伴い、より高耐圧、高速性の新たな電子管の開発は期待できない傾向にある。又、電子管は寿命が短く、損失が大きくドライブ回路が複雑でスペースファクタの良くないものであった。この度、これらの欠点を解決するため使用電圧 120kV、電流 3A、パルス幅 700 μ s、繰返し 50pps の FET 素子を使用した高圧半導体スイッチを開発し、実際にクライストロン稼動に用い良好な結果を得たので報告する。

2. アノード変調回路

クライストロンの M・アノード変調回路は図 1. であり、直流高圧電源と抵抗及びスイッチから成り、そのスイッチが高速動作することによりクライストロンがアノード変調されるもので、そのスイッチは高耐圧、高速性が要求される。

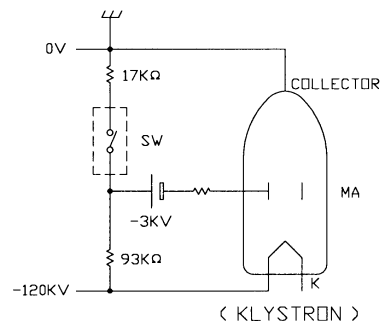


図 1. クライストロンアノード変調回路

3. 電子管と高圧半導体スイッチの比較

従来使用されてきたスイッチング用電子管 TH5188(トムソン社製)と今回開発した高圧半導体スイッチとを使用条件の 120kV, 3A, 700 μ s, 50pps で電力損失を比較して見ると、電子管(TH5188)ではプレート損失、ヒータ損失、グリッド損失等、総合で 467W である。

一方、高圧半導体スイッチでは FET の ON 抵抗損失並びにスイッチ駆動回路損失を含めて 95W となった。このため熱損失が 1/5 に低減され省エネルギー化はもとより、他の回路部品におよぼす熱の影響が軽減され小型となる。

又、電子管の寿命は数千時間と言われ約1年から2年程度で交換が必要である。今後の寿命評価を待たなければならないが、FET自身は半永久的であり、電子管に比べ飛躍的な寿命が期待できる。

又、電子管を駆動するには、電子管のカソード電位にヒータやグリッド回路を構成しなければならなかったため大きなスペースを必要としたが、高圧半導体スイッチでは、スイッチ部のみが完全に高電位に置くことができ、グラウンドレベルでドライブができるため、パルス回路全体が非常に簡素化できる。

4. 高圧半導体スイッチ性能及び構造

今回開発した高圧半導体スイッチの性能は表1.の通りでスイッチの両端子はそれぞれグラウンドレベル(供給電源電位)に対しDC150KVの絶縁耐力がある。

使用条件	絶縁油(トランス油)
耐電圧	DC 150KV
最大動作電圧	DC 120KV
ピーク電流	3 A
パルス幅	700 μ s
繰返し	50 pps
供給電源	AC.100V, 0.5A
信号入力	TTL 又は光信号

表 1. 高圧半導体スイッチの性能

図2. は高圧半導体スイッチのブロック図を示す。同図ではトリガー入力信号は光信号を使用し、ドライブユニットより高圧半導体スイッチユニットへ高周波パルストランス駆動用信号を高絶縁ケーブルにて供給している。

図3. は高圧半導体スイッチの構造図で、半導体スイッチ部が直径 320, 高さ 370 mm で、重量は約 12 Kg である。また、ドライバーユニット部は 350(W) × 210(H) × 200(D), 重量 4 Kg である。半導体スイッチ部は 5 個のスイッチユニットからなり、そのスイッチユニットは FET 素子を 30 個直列接続している。

ユニットは円形の基板とし、ユニット間にはコロナリングで電位固定している。このため、電位分担がよく、各 FET 素子に加わる電圧も外部環境に

影響なく均等化されて、高電圧に適した半導体スイッチとなっている。又、FETのゲート回路は整流方式としているため、短パルス動作から長パルス動作まで幅の広いスイッチ動作が可能である。

5. 耐電圧試験

高圧半導体スイッチの両端間に DC150KV, 10 分間印可し異常がないことを確認した。その時のリーク電流は 40 μ A で、半導体スイッチに内蔵の分担抵抗値 3.75 G に流れる電流と一致した。

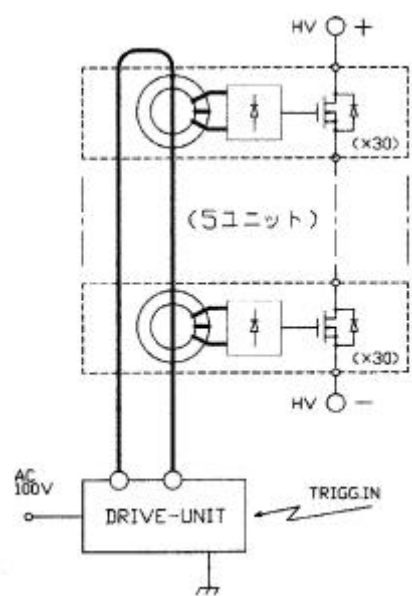


図 2 . 高圧半導体スイッチブロック図

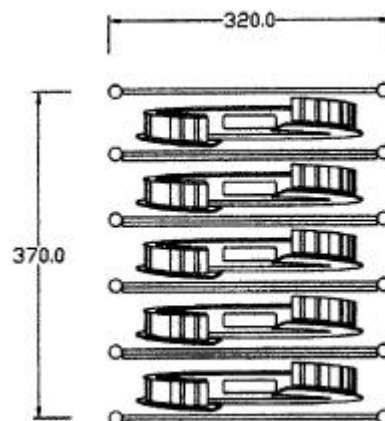


図 3 . 高圧半導体スイッチ構造図

6. 単発パルス動作試験

図 4. は単発パルス動作試験を行った回路図を示す。ここでは $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサーに 120KV まで充電し 40K の抵抗を介して高圧半導体スイッチオンで $600\mu\text{s}$ 間放電させた。その時の電圧、電流波形が図 5. である。なお電圧波形観測用高圧プローブはパルス電子技術 株 製 EP-150KP で分圧比は $1/10,000$ である。又、電流波形観測用 C.T はピアソン社製 . MODEL-110 で感度は 0.1V/A である。

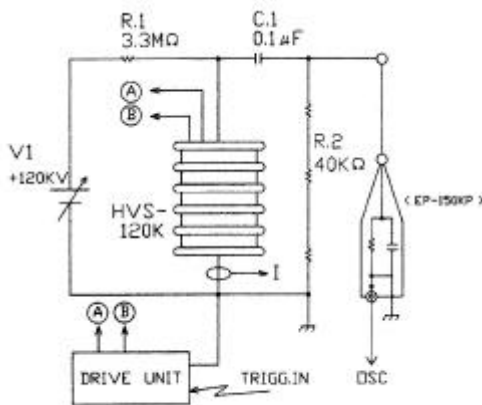
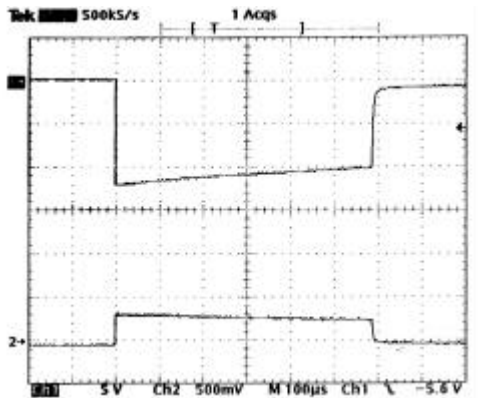


図 4. 単発パルス動作試験回路図



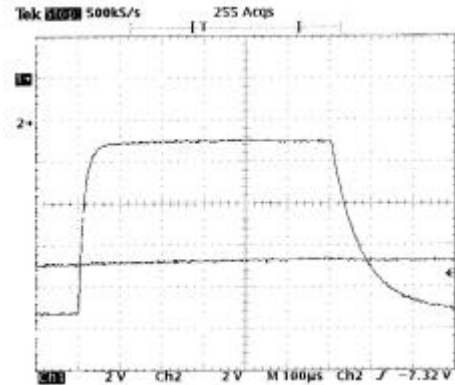
(上) 電圧波形 50kv/div , (下) 電流波形 5A/div
時間軸 $100\mu\text{S/div}$

図 5. 単発パルス動作試験データ

7. クライストロン実動試験

開発した高圧半導体スイッチをクライストロン試験用としているモジュレータに取り付けて、直流電圧 95KV 、パルス幅 $700\mu\text{s}$ 、繰返し 50pps で 48 時間以

上の連続試験を行った。図 6. はその時のアノード変調電圧波形である。この波形の立上り立ち下がり時間は外部回路の定数によって決まっており、高圧半導体スイッチ自身は十分に速く動作している。



(上) カソード電圧波形 20kv/div

(下) アノード電圧波形 20kv/div

時間軸 $100\mu\text{S/div}$

図 6. アノード変調電圧波形

8. むすび

今回、クライストロンアノード変調器用として FET 素子を用いた高圧半導体スイッチを開発し 120KV 、 3A 、 $700\mu\text{s}$ 、 50pps の動作が確認された。当スイッチは高電圧、低損失、長寿命、小型化が達成でき、アノード変調器以外の高圧パルス発生回路においても応用の可能性を示すことができた。なお、FET 素子の定格電流は 20A (ピーク) であるため、その評価は今後のテーマである。