

# Modulator for the RF source of the 1 GeV Proton Linac

E. TAKASAKI, S. ANAMI, M. ONO, K. KUDO, T. KUBO,  
T. TAKENAKA, H. BABA and H. HANAKI  
National Laboratory for High Energy Physics

## ABSTRACT

The modulator for the RF-source of the 1 GeV Proton Linac was designed and has been fabricated. The modulator is called a "line-type modulator". The peak power of this modulator is 15 MW at the repetition of 50 pps. In this report, the concepts of the design are described and main specifications of the modulator are given.

## 1 GeV 陽子リニアックRF源のためのモジュレータ

### 1) はじめに

一般に、モジュレータには、大きく分けて二通りあると思われる。一つは、"line-type" と呼ばれ、もう一方は、"hard-tube type" と言われている。どのTYPEのモジュレータを製作するか、決めなければならない。そのため、現在使用可能な部品があるか、回路の複雑さはどうか、効率の良さはどうか、パルス整形の容易さはどうか、製作費の安さはどうか、そして 実際製作に必要な技術能力が有るかどうか 等が考慮の対象となる。"line-type" のモジュレータは、効率が良いと思われる。しかし パルス波形の矩型の良さ、インピダンス整合性の良さは、"hard-tube type" の方が優れていると思われる。

今回製作のモジュレータは、上記のことを考慮し、かつ 我々の経験の豊富さから、"line-type" モジュレータとした。このタイプのモジュレータは、放射光入射器のクライストロン電源 PS-リニアック の大電力電源に使用され、現在 大きなトラブルもなく運転されている。

### 2) モジュレータの規格

1 GeV 陽子リニアックは、RFQ, DTL と CCL と呼ばれている加速器から構成されている。特に、CCLリニアックは 1296 MHz, 36個のクライストロン (RF-パワー 4.5 MW) が要求されている。今回製作のモジュレータは、このクライストロンの電源として使用するだけでなく、将来 6~7 MW級のクライストロンの電源としても使えるよう考慮されている。そのため 最大尖頭出力電力を15 MWとした。表Iと表IIに、モジュレータの規格 及び パルス特性の特性 を与える。図1に、簡単なモジュレータのブロック図を示す。この図にのっとり簡単に動作 並びに 製作時考慮された部分を紹介する。

#### 2-1) 整流部について

入力は、三相 AC 6.6 kVである。IVRの上下により出力電圧を調整する。整流部は、三相  $\Delta/\Delta-Y$  トランス結線の後、ダイオードで整流され、必要な電圧に対応して直列/並列の配線変えが出来る。この出力は、サージアブソーバ (CとR) を通り、インダクタとコンデンサ (LC) のフィルターを通し、充電トランスにつながれている。トリスタンのクライストロン電源は、クローバ回路が働いた時 トランスに非常に大きな電流が流れ コイルに大きな力が働

く、そのため トランスの線材 及び 巻方に 考慮された。このモジュレータも 負荷短絡が一日10回程度(入力遮断時間; ~100ms) 発生しても、全部品がそれに耐えられるようにした。また 繰り返し50ppsのとき、商用周波数と一致するため、どれかの相に負担がかかる恐れがある。これらの事を考えて製造するため、通常のトランスより安全率が高くなる。

## 2-2)充電過程について

充電過程ではどのようなことについて考慮されたかを述べる。まず サイラトロンによりPFNがスイッチオンされた後、PFN用コンデンサは、充電トランスの一次側を通り、整流器のDC電圧の二倍に近い電圧に充電される。この時、充電トランスのインダクタンス(2.0H)とPFNの全コンデンサ容量(0.2245 $\mu$ F $\times$ 50)とで共振(約30Hz)し、充電が行われる。充電電流は、DC電源の正側から、充電トランスの一次側、ホールドオフダイオード、デスパイカー、PFNのインダクタ、PFNのコンデンサ、パルストランスの一次側(今回バイパスダイオードを並列に取り付けるからダイオード側)を通り、DC電源のグラウンドへ流れる。この電流の流れの途中に(グラウンド側)過電流保護回路と電流メータ(リレー付き)が入り、この電源を二重に保護することとなる。充電電流の流れを見ると、ダイオード、PFN一对の共振回路(約26.5kHz)、全PFNの共振回路(パルス幅 約600 $\mu$ S)等があり、単純な三角関数とならない。又 実際の回路では、色々の所に浮遊容量があり、インダクタンスも存在する。特に経験により、充電トランスのホールドオフダイオード側の浮遊容量が、問題となる。ホールドオフダイオードがONになり 且つ サイラトロンが導通になった時、この浮遊容量が逆充電されると、充電トランスとダイオードの破損を導く可能性が大きい(注;PFNのインダクタは、鉄芯を含む為 浮遊容量は大きい)。そのために、L(空芯)-R からなるデスパイカー回路が入れている。LとRの値は経験上の適当な値にし、電圧、波形の測定後 検討する。

## 2-3)放電過程について

PFNは、DC電圧の二倍近くの電圧に充電された後、サイラトロンのトリガーにより 放電される。放電電流は、最初のPFNインダクタ、立ち上がり調整用インダクタ、電流分担用インダクタ、サイラトロン、パルストランス一次側 そして PFNコンデンサへと流れる。ところで PFNの内部では、個々のインダクタとコンデンサに半波の電流が流れると考えられる。

パルストランスの一次側のインピーダンスは、負荷(二次)側のクライストロンのインピーダンスを反映している。PFNの特性インピーダンスは、26.7 $\Omega$ であり、それと等しい。即ち パルストランスには、PFN充電電圧の1/2のパルス電圧(約20kV)が加わる。放電時間は、PFNのインダクタンス(0.16mH)、コンデンサ容量(0.2245 $\mu$ F)と個数で決まり、 $2 \times 50 \times \sqrt{L \times C} = 600 \mu S$  である。

上に述べた電流の流れる道にも、浮遊容量等があると考えなければならない。例えば サイラトロンのアノード側にかなりの浮遊容量があれば、サイラトロンの寿命を短くする(d i / d t のため)から、空芯のインダクタが必要となる。また 負荷側が短絡すれば、電流は二倍になり、もしその時 PFNインダクタが飽和し、インダクタンスがかなり小さくなれば、PFN一对のLとCに流れる半波電流がコンデンサを逆充電し、次のLから更に大きな電流が流れ込む。即ち

PFNインダクタの特性に気を付け、製造しなければならない。

## 2-4)その他

PFNインピーダンスと負荷とのミスマッチングによるサイラトロンの動作、パルスのリング

