

TEST OPERATION OF 1 GeV PROTON LINAC MODULATOR

T. Takenaka, H. Hanaki, T. Kubo, M. Ono, E. Takasaki, S. Anami,
M. Kawamura, C. Kubota, K. Kudo and M. Kihara

ABSTRACT

The modulator is called a line-type modulator. The peak power of this modulator is 15MW at the repetition of 50 pps. In this report, the present test operation of pulse width 400 μ s are described.

1 GeV陽子線形加速器用モジュレーターの試運転について

1. はじめに

1 GeV PROTON LINACのクライストロンに用いる大電力パルス変調器はパルス成形回路網(PFN)方式をとっており、最終的にはピーク電力15MW、出力パルス幅600 μ s、繰り返し50Hzの性能を目指すことを目標としている。当初のパルス幅200 μ sの試運転は終了し、現在、パルス幅400 μ sで試運転を行なっている。既にサイラトロンを動作させての試運転は180時間を超えている。

試運転は、制御系のノイズ対策を行い、メーターの調整、サイラトロンの変更(KU-275C \rightarrow F259)、それにともない冷却方式は油冷により続けられている。変調器は10Hz \sim 50Hzの間で繰り返しを選び、HV_{DC}は整流器のタップ切り換えにより5 \sim 10kVと10 \sim 20kVで昇圧が出来る。試運転で、繰り返し及び出力電圧を変え、サイラトロンのテスト、DeQingの効果(出力の安定度)、PFNの調整(パルス平坦度)、出力性能についての試験をした。HV_{DC}18kV、繰り返し20Hz、パルス幅400 μ s、クライストロン入力パワー203W、出力パワー3.9MW時のモジュレーターパラメーターと代表的波形は表1、写真1に示す。

2. DeQingの効果

PFNの充電電圧の安定化の為に、DeQing回路が設けられている。充電トランスの2次側はSCRと抵抗、コンデンサーがある。PFN充電電圧を定電圧と比較し、この電圧を超えた時点で、SCR点弧のトリガーを出す。そして充電トランスの2次側を導通にし、ホールドオフダイオードに逆電圧をかけカットオフにしてPFN充電電圧を一定にする。

パルス幅200 μ s、HV_{DC}18kV、繰り返し50HzでDeQing ONの時のE_{PFN}及びHV_{DC}の動作状況を図2-1、表2-1に示し、パルス幅400 μ s、HV_{DC}18kV、繰り返し20Hzのときの動作状況は図2-2、表2-2に示す。

表2-1のパルス幅200 μ sでDeQing ON時のHV_{DC}の長期変動は1.2%であるがそれに対するE_{PFN}の変動は0.15%と非常に変動が小さく抑えられている。そしてDeQingをOFFにすると、HV_{DC}の変動そのものがE_{PFN}に全て出てくる。

表2-2のパルス幅400 μ sでDeQing ON時のHV_{DC}の変動は0.6%、E_{PFN}

の変動は0.08%である。この時のDeQingのメーターは、15AでDeQing量は5.9%である。

パルス幅200 μ s、400 μ sの条件はHV_{DC}18kV（パルストランス2次側電圧120kV）、繰り返し20Hzであるが、パルス幅に関係なく長期変動は0.5%以下に抑えられている。出力性能の仕様でパルス電圧安定度は0.5%以下となっているので、前述の0.15%と比較しても充分満足出来るものと思われる。DeQingのHV_{DC}に対する電圧変化を、16kV、17kV、18kVと替えて行なっているので図2と表2を参考にしてください。

HV_{DC}15kVでDeQing電流を0~30A（メータ）と変えたときのDeQing電流とDeQing量の関係は図2-3と表2-3に示す。DeQing回路に使用している抵抗は28kW、3 Ω なのでDeQ電流30A（DeQ量16%）を流しても充分使用に耐える。また、DeQ量の仕様は3 \pm 2%なのでDeQ電流は15A程度で使用すれば良い。

3. PFNの調整およびパルス平坦度

Pulse Forming Networkはパルスの平坦度を作るうえに於て、L、Cに偏差が無いものを製造しなければならぬ。その偏差は容量Cの偏差のほうがパルスの平坦度に大きく影響を与えるが調整が困難なので、インダクタンスLを調整出来るようにしてある。1)

インダクタンスLは160 μ H/Cellで、ヨークの鉄芯に0~45mmの可変ギャップを持たせ調整出来るようにしている。

写真3でフラットトップの調整はHV_{DC}を12kVにしておきPFNのインダクタンスLのギャップを可変し、出力パルスの真ん中に凹みがあるのでこれを平にする。このギャップの調整は1 μ H~10 μ H小さく（ギャップを1/2~5mm増加）可変することにより出来た。ギャップに対するインダクタンスの変化量は日立のデーターを参考にした。

また出力パルスの真ん中に当たるPFNインダクタンスLのギャップ（フラットトップ調整済み）を24.6mm（~155 μ H）から14.9mm（176 μ H）そして3.9mm（235 μ H）と大きく変化させ凹み量を、HV_{DC}12kV~18kVの各電圧ごとに測定した。この測定結果は図3に示す。図3からインダクタンスのパラツキはあまりみられなかった。

表3-1で示すギャップ14.9mm（176 μ H）にした時の、平坦度は0.7%前後である。そしてギャップによるインダクタンスの変化量が-10 μ H位の時は0.5%である。

4. 出力性能についての検討

出力性能のパルス立ち上がりは~40 μ s、パルス平坦度0.5%、パルス電圧安定度0.1%である。まだパルス立ち上がりとパルス平坦度については調整が充分可能である。

1)田中，馬場ほか：INS-TH-48（1965）

写真1 代表的波形 HV_{DC} 18kV REP20Hz
Pulse Width 400μs

| 表1 モジュレーター | | メーター | 日付 | 890718 | 記録者 | 川村 |
|----------------------------------|------|--------------------------------|---------|------------------|-----|----|
| TIME | | THY-I | DeQ(Es) | 32.8 | | |
| REPET(Hz) | 20 | I _{kI} (A) | 2.5 | CROWB(μs) | 500 | |
| HV(Kv) | 18 | RSVR(V) | 3.95 | THY OIL TEMP | | |
| HV _{cur} (A) | 5 | (A) | 12.5 | LV Hour | 495 | |
| DeQ _{cur} (A) | 18 | HTR(V) | 6.7 | THY Hour | 465 | |
| ClI _{pcur} | -- | (A) | 55 | HV Hour | 174 | |
| EPFN(Kv) | 32 | KEEP AL(V) | -- | | | |
| I _{clI_p} (A) | -- | (mA) | -- | | | |
| EPULSE(KV) | 18.2 | THY-II | | | | |
| IPULSE(A) | 580 | I _{kII} (A) | | | | |
| 高圧 | | RSVR(V) | | | | |
| AC _{volt} (Kv) | 6.7 | (A) | | | | |
| AC _{cur} (A) | 9.4 | HTR(V) | | | | |
| 制御 | | (A) | | | | |
| AC _{volt} (V) | 198 | KEEP AL(V) | | | | |
| AC _{cur} (A) | 20 | (mA) | | | | |
| KLY HTR | | CROWB | | | | |
| AC(V) | 190 | I _{k_o} (A) | 0.5 | パルストランス | | |
| AC(A) | 2.93 | RSVR(V) | 3.6 | 1次 CT×10 A | | |
| DC(A) | 0.2 | (A) | 0.6 | 2次 HV×5000 120KV | | |
| ION PUMP | | HTR(V) | 6 | CT×40 84A | | |
| (Kv) | 6 | (A) | 2.7 | KLY rf 3.9MW | | |
| (μA) | -- | KEEP AL (A) | 0.5 | WATER LOAD | | |
| F. COIL(V) | 105 | (V) | 100 | POWER METER | | |
| (A) | 50 | (mA) | 240 | INPUT RF 203W | | |

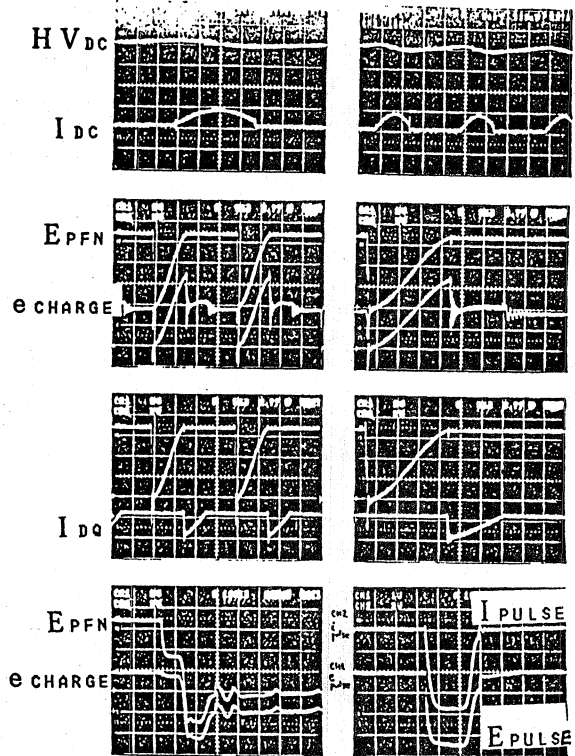


図2-1 DeQ ONによるEPFNの変動
HV_{DC} 18kV 50Hz 200μs

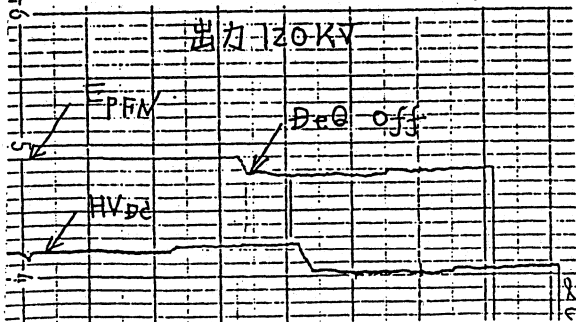


図2-2 DeQ ONによるEPFNの変動
HV_{DC} 18kV 20Hz 400μs

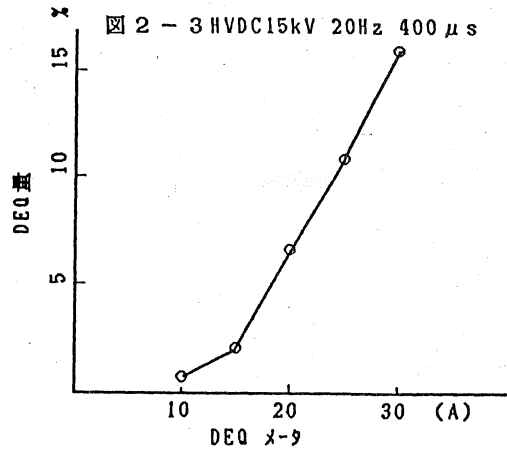
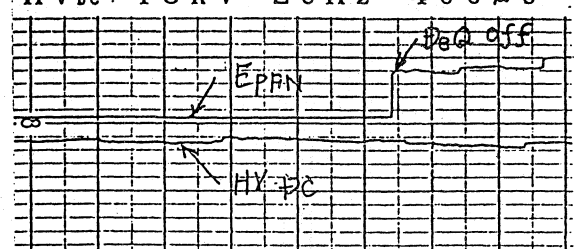


表2-2 HV_{DC}に対するDeQing ONによるE_{PFN}の変動(400μs)

| HV _{DC} (kV) | PT2次側 (kV) | (A) | E _{PFN} (kV) | E _{PFN} 変動 | E _{DC} 変動 |
|-----------------------|------------|-----|-----------------------|---------------------|--------------------|
| 16 | 111 | 70 | 29.5 | 0.1% | 0.9% |
| 17 | 115 | 80 | 30.4 | 0.05 | 0.6 |
| 18 | 119 | 84 | 32.0 | 0.08 | 0.6 |
| DEQ OFF 18 | 123 | 88 | 34.0 | 0.5 | 0.5 |

表2-3 DeQingのSet Pointを可変した時のDeQ電流とDeQ量

| HV _{DC} (kV) | E _{PFN} (kV) | DeQメータ (A) | DeQ量 (%) |
|-----------------------|-----------------------|------------|----------|
| 15 | 28 | OFF | |
| 15 | 28 | 10 | 1.4 |
| 15 | 27 | 15 | 4 |
| 15 | 26.4 | 20 | 7 |
| 15 | 25 | 25 | 12 |
| 15 | 24 | 30 | 16 |

DeQingの量: $(E_{PFN} - \Delta E_{PFN}) / E_{PFN}$ 但しE_{PFN}はDeQ OFF時の値
 ΔE_{PFN} はDeQ ON時の値

表3-1 ギャップのHV_{DC}に対する凹み量 (インダクタンスN0 27)

ギャップ14.9mm DeQ OFF 20Hz

| HV _{DC} (kV) | 凹み量 (kV) | パルス電圧 (kV) | % |
|-----------------------|----------|------------|-----|
| 10 | 0.5 | 81 | 0.6 |
| 12 | 0.7 | 91 | 0.8 |
| 14 | 0.7 | 102 | 0.7 |
| 16 | 0.8 | 112 | 0.7 |
| 18 | 0.8 | 125 | 0.6 |

ギャップ3.9mm DeQ OFF 20Hz

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 10 | 2.0 | 81 | 2.5 |
| 12 | 2.3 | 92 | 2.5 |
| 14 | 2.7 | 105 | 2.6 |
| 16 | 2.8 | 115 | 2.4 |
| 18 | 2.9 | 125 | 2.3 |

ギャップ調整値より4mm(150μH)大きくしDeQ OFF 20Hz

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 18 | 0.7 | 125 | 0.5 |
|----|-----|-----|-----|

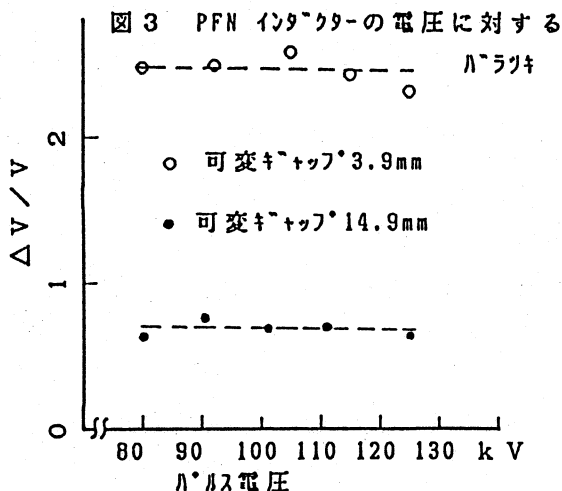


写真3 フラットトップ調整

HV_{DC} 12kV 20Hz 400μs
 上調整前 下調整後

