

High Power Operation of S-band Klystron

H.Matsumoto and JLC R&D Group

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, JAPAN

ABSTRACT

A -3 dB directional coupler has been used to combine the output power of two SLAC 5045 klystrons, which are operated at 60MW, successfully. Operation was absolutely stable and no mutual interference between the two klystrons was observed. RF pulse width used in this experiment was 1 usec at a 25 Hz rep. rate. The rf phase deviation and the amplitude variation in the combined output was held to less than 2 degrees and 1% during any pulse. If necessary, even further improved rf characteristics could be achieved by the careful adjustment of the PFN.

1.はじめに

数100GeV級のe+e-リニアコライダーでは、ビームダイナミクスの必要性から20nsecのマルチバンチビームを加速し、S-バンドに於ては加速管は50MV/mの電界強度を発生させることが必要であり、その為には100 MW級のRF源を用意することが重要課題とされている。現在稼働中の大型リニアックのRF源の現状は、RF出力は30MW~67MW、パルス幅は3μsec~5μsecでありフラットトップパルスの必要としないSLAC-SLCではSLED (SLAC Energy Doubler) で出力300MW、パルス幅0.8μsecが最大である。加速管の電界強度については、10MV/m~20MV/mである。加速管単体の電界強度の限界調査は、通常のディスクロード構造については、SLAC (文献1-3)、KEK (文献7)で行なわれておりVARIAN (文献4-6)では単空洞で同様の試験を行なっている。表1にこれらの試験結果を示す。KEK-JLCでは実際のビーム加

	Eacc (MV/m)	Ep (MV/m)
SLAC	148.0	288.0
VARIAN	66.3	240.0
KEK	104.5	219.5

表1.加速電場勾配の限界調査結果

速での振舞いを調査するため、0.6m長の定勾配型加速管で100MV/mのビーム加速を今年9月に行なう予定で準備が進められている。RF源は200MWが必要であり、2本のクライストロン出力を1個の-3dB方向性結合器で合成を行うことにした。この方式の特長はRFパワーの平坦度が期待できるのでマルチバンチを加速する要求を満たす1つの明快な考え方である。しかしながら100MW級の大電力パルスクライストロ

ンの合成を行なった報告例はなく、合成後のRF位相特性、RFパワーの平坦度、クライストロンの相互干渉等の問題を明らかにしなければならない。RFパワー合成にはSLAC製5045型クライストロンを2本使用した。本稿では120MW(60MW+60MW)までのRF出力合成の結果について報告する。

2.RF合成装置

2.1原理

RF合成の方法は非常に単純であり、1個の-3dB方向性結合器の両端に2本のクライストロンを接続し、同一RF出力で、一方のクライストロンに対してRF位相を90度ずらして入力し、2倍のパワーを得るもので

$$\begin{array}{c} \sqrt{2}Ae^{j\omega t} \text{ --- } | \text{ --- } Ae^{j\omega t} + Be^{j(\omega t + \pi)} \\ | \\ \sqrt{2}Be^{j(\omega t + \pi/2)} \text{ --- } | \text{ --- } Ae^{j(\omega t + \pi/2)} + Be^{j(\omega t + \pi/2)} \end{array}$$

ある。従って、方向性結合器のRF特性が重要になるが現在のものは方向性は35dB以上、パワー分割比は3dB±0.2dBが容易に得られている。

2.2装置構成

全体の構成を図1に示す。クライストロンはSLAC LINEAR COLLIDER (SLC)用に製作したもので、RF出力50MW、平均電力45kWを目標に開発され型番も5045となっているが、実用機はカソード電圧350kV、パルス幅5.0μsec、RF出力67MWを達成した世界最大級のクライストロンである。KEKでのRF合成試験ではカソード電圧380kV、ビーム電流450Aの連続運転時に於てもクライストロンチューブ内の真空低下、

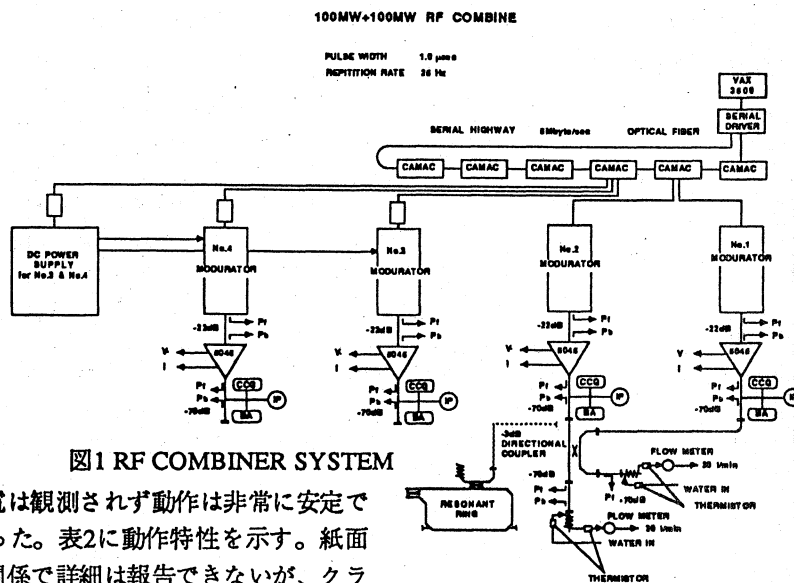


図1 RF COMBINER SYSTEM

放電は観測されず動作は非常に安定であった。表2に動作特性を示す。紙面の関係で詳細は報告できないが、クライストロン本体を始め、RF窓、高圧パルストランス、それらの構成部品の配置、モジュレータとパルストランス

トで計算機制御され、電源同期のトリガーパルス、モジュレータのパラメータ設定、RF出力の増減、運転状況の表示、及びデータ取得が容易に可能である。又、計算機と装置の接続作業は容易に行なわれ、運転可能になるまで1週間程であった。120MWのRF合成に到達するには長時間の導波管のプログラミングが必要であるが、計算機制御による完全自動化が行なわれており、無人運転が容易に実現されている。更に計算機制御の信頼性は非常に高い。オペレータは取得したデータの解析に専念できるのは効率がよく大変有り難い。

レータは取得したデータの解析に専念できるのは効率がよく大変有り難い。

LONG PULSE SHORT PULSE

	LONG PULSE	SHORT PULSE
BEAM VOLTAGE (kV)	350	415
BEAM CURRENT (A)	408	500
MICRO PEREANCE	1.97	1.87
OUTPUT POWER (MW)	65.4	98
DRIVE POWER (W)	305	500
PULSE WIDTH (usec)	5.0	1.0
REPETITION RATE (Hz)	180	30
EFFICIENCY (%)	45.8	47.5
GAIN (dB)	53.3	52.5
HEATER POWER (W)	334	305.2
FOCUS CURRENT (A)	15	17
TUBE PRESSURE (μ A)	<0.1	<0.1

表2 5045動作特性

間の高圧ケーブル及びソケット、クライストロン吊り下げ方法、及び導波管との接続の容易さなど多くの点で感心させられた。クライストロンは夫々の専用モジュレータでドライブする。モジュレータの基本設計は放射光入射器に使用しているものを参考にした。クライストロンに印加するカソード電圧及びカソード電流は高圧パルストランスを収納するタンク内にある校正されたCAPACITIVE DIVIDER、CURRENT MONITORで観測する。クライストロンRF出力は直後にある-70dBのDUAL BETH-HOLE COUPLERで進行波と反射波を観測する。合成出力は、-3dB方向性結合器の直後の-70dBのDUAL BETH-HOLE COUPLERで観測し、合成パワーの絶対値はSLAC製水負荷で熱量測定を行なった。導波管内の真空度はCCGとBAゲージで計測し、真空のインターロックはCCGを使用した。装置は1台のVAX 3500と2台のCAMACクレー

3.結果及び考察

表3にデータ取得時の運転パラメータを示す。写真1のa、b)は120MWRF合成時のクライストロンの電圧、電流、及びRF出力信号波形を示す。c)は-3dB方向性結合器を通過したRF合成出力波形とアイソレーションポートに漏れたRF信号波形を示す。

	#1	#2
BEAM VOLTAGE (kV)	373	372.6
BEAM CURRENT (A)	443.3	448
OUTPUT POWER (MW)	60	60
DRIVE POWER (W)	202	386
PULSE WIDTH (usec)	1.0	1.0
REPETITION RATE (Hz)	25	25

表3 5045運転状況

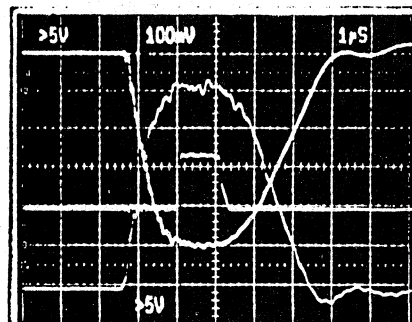


写真.1-a
UP:373kV
MID:60MW
LOW:422A

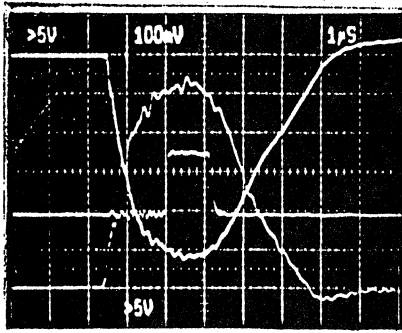


写真.1-b
UP:373kV
MID:60MW
LOW:448A

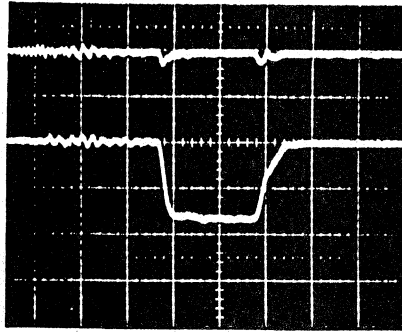


写真.1-c
UP:LOSS
POWER
LOW:120MW

写真1-c)の上段の波形はアイソレーションポートに漏れ出たRFであるがパルスの最初と最後にわずかに観測される。これは2台のクライストロンのカソード電圧波形がわずかに違うためである。写真2は合成波の位相波形を示す。図3は写真2の位相データを示す。図3-a)は夫々のクライストロンのRF出力パルス内の位相特性と合成波の位相特性を示す。3-b)はRFパルスの先頭から0.5 μ secと1 μ sec間の拡大である。又、図3の位相データから、夫々のクライストロンRF出力位相と合成波の位相は良く一致していることがわかる。図3-b)からRFパルス内の400nsecは2度以内の位相のバラツキであり、20nsecのマルチバンチビームを十分余裕をもって加速することがわかる。RF位相のバラツキはモジュレータのPFNを注意深く調整することで更に向上させることが可能である。これらの結果から200MWのRF源として大電力パルスクライストロン合成は十分に実用可能と判断できる。

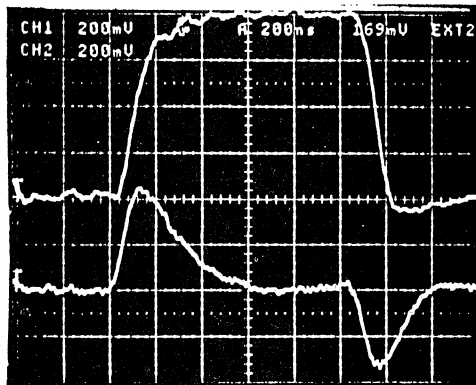


写真.2 UP: rcos ϕ LOW: rsin ϕ

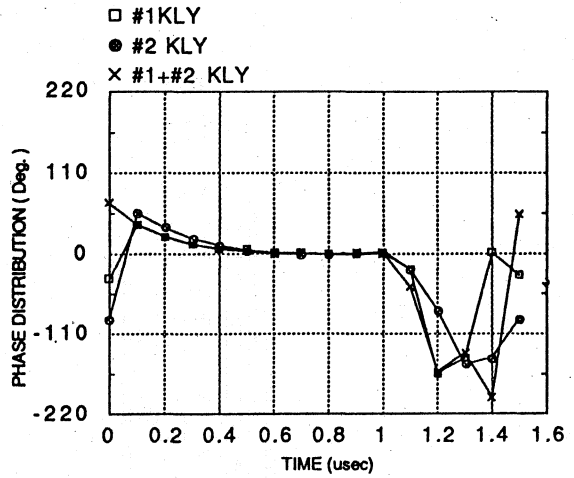


図3-a RFパルスの位相特性

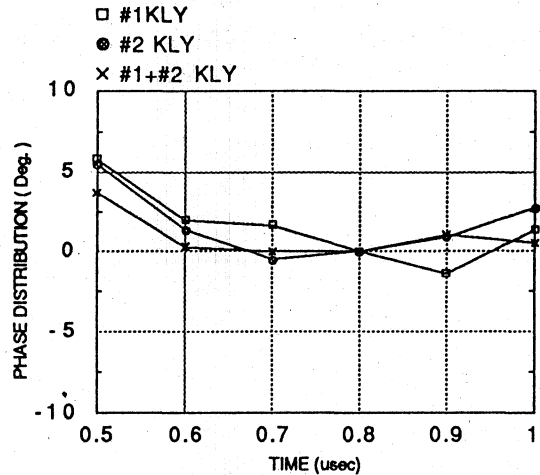


図3-b RFパルス位相特性の拡大

- 1.J.W.wang,G.A.Loew,"MEASUREMENT OF ULTIMATE ACCELERATING GRADIENT IN THE DISK LOADED STRUCTURE", SLAC AP26, 1985
2. J.W.Wang,G.A.Loew,"MEASUREMENT OF ULTIMATE ACCELERATING GRADIENT IN THE DISK-LOADED STRUCTURE",SLAC-PUB-3597,1985
- 3.J.W.Wang,V.Nuguyen-Tuong and G.A.Loew, "BREAK-DOWN STUDIES IN A SLAC DISK LOADED STRUCTURE",SLAC-PUB-3490,1986
- 4.Eiji Tanabe,"VOLTAGE BREAKDOWN IN S-BAND LINEAR ACCELERATOR CAVITIES", IEEE Trans.NS-30, No.4,(1983)3551
- 5.Eiji Tanabe,"BREAKDOWN IN HIGH-GRADIENT ACCELERATOR CAVITIES",Proceedings on 8th Linear Accelerator Meeting Held at Institute for Nuclear Study University of Tokyo,July 1983
- 6.A.H.McEuen,P.Lui,E.Tanabe,"HIGH-POWER OPERATION OF ACCELERATOR STRUCTURE AT LIQUID NITROGEN TEMPERATURE",IEEE Trans.NS-32,No.5(1985)2972
- 7.H.Matsumotom et al.,"RF BREAKDOWN STUDIES ON AN S-BAND DISK LOADED STRUCTURE",Proc. of the IEEE Particle Accelerator Conference(WashingtonDC) 1654,1987