

Control System for an RF Amplifier of the 1 GeV Proton Linac

H. Hanaki, I. Abe, Z. Igarashi, T. Takashima and S. Anami
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

The 1296 MHz high power rf amplifier consists of a low power rf unit, a pulse modulator, a klystron and a control unit. The low power rf unit amplifies a reference microwave up to 600W and automatically stabilizes amplitude and phase of an rf wave in an accelerating cavity. The control unit works basically as a remote controller of the rf amplifier and is also planned to have functions of trouble diagnosis and operation support.

1 GeV陽子線型加速器のRF増幅器制御システム

1. 概説

大型ハドロン計画用1 GeV陽子リニアック 1296MHz大電力RF増幅器は、低電力RF部、パルス変調器、クライストロン、および制御部より構成されている。

低電力RF部は、入力される基準RFを最大600Wまで増幅するクライストロンドライブ用増幅器、加速空洞の位相を制御するための位相制御部、空洞のRFレベルを制御するためのレベル制御部、各部へのタイミングパルスの分配およびRFのON/OFFを行なうシーケンス制御部、RF検波および反射などのRFレベル検出を行なうモニター部から成る。

パルス変調器はクライストロンに印加する大電力パルスを発生するが、それ自身単体で動作できる程度の制御機能やインターロックシーケンスも有している。

制御部は、低電力RF部およびパルス変調器それぞれとI/Oインターフェイスを持ち、主に遠隔操作を司るI/O制御系と、機器の故障やパラメータ変更の履歴を自動的に記録したり、故障診断を実行したりする高機能制御系より成る。

2. 低電力RF部

1) クライストロンドライブ用増幅器

この増幅器はRF源の初段に相当し、高い信頼性と安定性が要求されると共に保守点検等が極力少なくなることが望ましいため、全固体方式とする。基本特性は表1の通りである。

2) 位相制御部

マスタオシレータからの基準RF信号は1296MHzに通倍され各クライストロンの低電力部に分配される。このRF信号は、まず電圧制御型移相器(VCPS)で空洞の加速位相が最適になる

表1 クライストロンドライブ増幅器の基本特性

周波数	1296MHz ± 5MHz
出力電力	0~600mW (連続可変)
入力電力	1mW
パルス幅	650 μ sec (最大)
くり返し	50Hz (最大)

ように調整され、空胴の位相を一定とするフィードバックループ(PLL)の基準となる。PLLは位相検波器(PD)、フィードバックコントローラ(FBC)、移相器(VCPs)から構成される。

3) レベル制御部

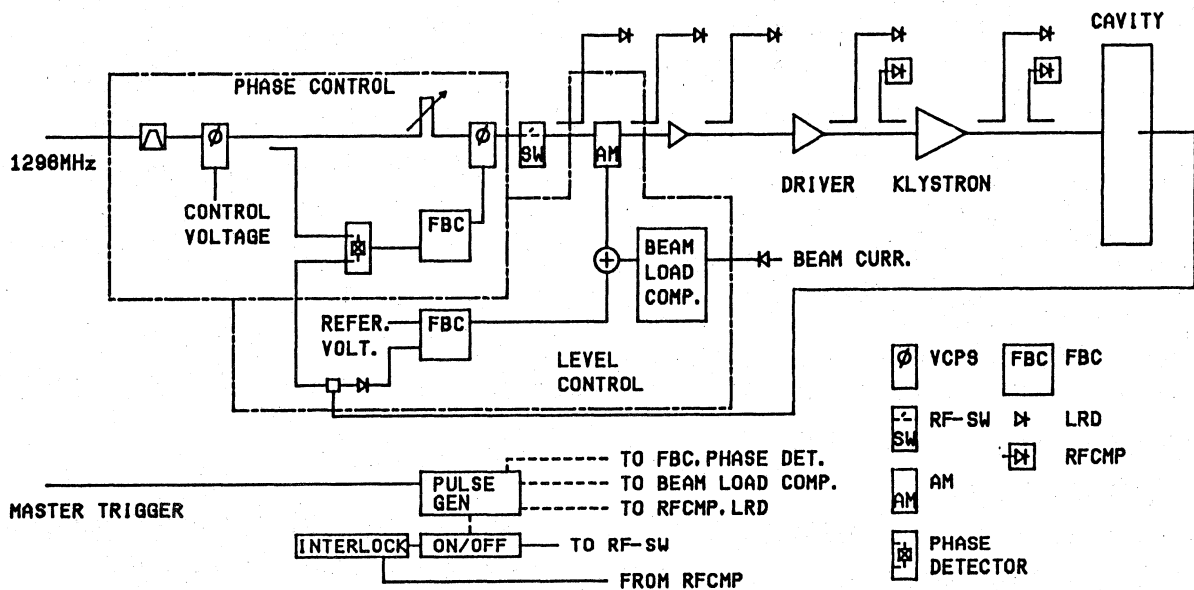
レベル制御部には空胴の加速電圧を一定とするフィードバックループ(ALC)およびALCで制御できないビーム負荷による速い変動を補償するフィードホワード(BLC)がある。ALCは直線検波器、フィードバックコントローラ(FBC)、振幅変調器(AM)から構成される。BLCは補償パターンを入れておくメモリ、D/Aコンバータ、ビーム電流により補償量を制御する関数部から構成される。

4) RFモニタ部

RF検波器(LRD)は直線検波器とし、モニタ用にサンプルホールド回路(またはピークホールド回路)を持つ。RFレベル検出器(RFCMP)は直線検波器と電圧コンパレータ、ピークホールド回路を持つ。

5) シーケンス部

シーケンス部には、パルス発生部とON/OFF制御部がある。パルス発生部は、各クライストロンの低電力部に分配された基準タイミングパルスをもとに、レベル制御部、モニタ部のアナログスイッチ、サンプルホールド等で必要とするパルスが発生して、分配する。また遅延時間とパルス幅はここで設定する。ON/OFF制御部は手動および制御計算機によるRFスイッチのON/OFFを行なう。またインタロック動作によるRFスイッチのOFFを行なう。



LOW POWER RF UNIT

3. 制御部

旧来の加速器用RF源の制御では故障などの際、速やかに故障箇所を発見したり、あるいは自動運転を実行させるという観点に基づいた設計はなされていなかった。しかし、例えば大電力パルス変調器は、構成部品の疲労が大きく、壊れやすいこと、そしてそれが加速器運転中断の大きな原因となりうることを考えると、こうした点を重視した制御の有り方を考えねばならない。

また、機器構成の面では雑音に対し、予め十分な対策を講じておくことがシステム全体の信頼性を大きく高めることになる。具体的には光ファイバを多用して制御部と制御対象を絶縁したり、雑音のアンテナになりやすいモニタ信号線や制御線をむやみに筐体外部に引き出さないなどの配慮が必要である。

1) I/O制御系

この制御系は、低電力RF部およびパルス変調器と接続され、インターロックの情報収集、変動のゆっくりしたアナログ信号の収集、各種パラメータ設定用基準信号の出力およびON/OFF制御用等の接点信号の出力を司る。

低電力RF部筐体およびパルス変調器筐体がそれぞれデジタルI/OやDAコンバータ、ADコンバータを搭載した子局を持ち、CPUの載った親局はこれら2組の筐体から電氣的に絶縁された制御中枢筐体内に設置される。親局と子局との間は光通信で結び、雑音の影響を極力避けている。さらに親局は、遠隔操作など、外部からの命令を受信したり、収集したデータを送信したりする通信機能や割込入力を受け付けるユニットも備えている。

表2はこの制御系が取り扱う主な入出力信号を示しているが、これらは入力パルス毎、すなわち20ms以内にすべて処理するのが望ましく、この点を十分考慮し、ADコンバータおよび子局親局間通信の速度を決定する必要がある。

表2 低電力RF部およびパルス変調器制御に関わる信号等

インターロック信号入力	約70点
アナログDC信号入力	32点
アナログパルス信号	12点以上
デジタル信号出力	~10点
参照用DC信号出力	5点以上

2) 高機能制御系

この制御系は、機器が正常でも運転のパラメータが絶えず変更されたり、あるいは異常が生じた時や不調な状態での運転に活躍する。具体的には次のような機能が計画されている。

a) 運転履歴自動記録

運転のパラメータが変更されたり、インターロックやモニタしている信号に変更があった場合、それらが自動的にこの制御系の持つファイルに記録されていく。

b) 最新データ一時保存

電圧信号やパルス波形などのデータが、常に大容量のFIFOレジスタに保存されているので、異常が発生した直前の様子を知ることができる。

c) 故障診断支援

故障が生じた場合、この制御系自身が、上記a)、b)のデータや過去の経験等を基に故障箇所やその原因等を探るもので、運転者の判断や作業を支援することを目的とする。

d) 運転支援

機器が不調であるにもかかわらず運転を余儀なくされた時や、機器立ち上げ時のならし運転など、操作に経験を要したり、いくつかの信号をモニタしながらその値に応じて運転パラメータを細かく調整しなければならない場合、運転者の操作の一部または全部を代行する。

上記の機能を実現するには高速なコンピュータおよび優秀なソフトウェアが必要となるが、近年のマイクロコンピュータのめざましい高性能化、低価格化や、エキスパート・システムの著しい進歩により、決して難しいことではなくなったと考えられる。