

RF System of AURORA-2

H. Miyade, H. Murata, H. Tsutsui, T. Hori

Laboratory for Quantum Equipment Technology, Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

2-1-1, Yato-cho, Tanashi-city, Tokyo 188, Japan

Abstract : Sumitomo heavy industries, Ltd. is developing a compact SR ring, AURORA-2, which is a race-track type with two normal-conducting bending magnets. It accelerates a current of 500mA to an energy of 700MeV, where the beam loading is 12.2kW and the wall loss of RF cavity is 12.5kW. Therefore AURORA-2 needs a maximum RF power of 25kW and a 40 kW RF system was prepared and used in the beam test.

AURORA-2 の RF システム

1.はじめに

現在、住友重機械工業(株)で開発中のシンクロトロン AURORA-2(以下 A-2)は、2.7T を発生する常伝導偏向電磁石を 2 台持つ小型放射光リングである [1]。マイクロトロン [2] から 150MeV で入射された電子を、700MeV まで加速・蓄積する。A-2 には研究用の A-2D と産業用の A-2S の 2 タイプがあり、それぞれの蓄積電流は 300mA と 500mA である。ビームが 1 周する時の放射損失は 24.4keV であり、ビーム負荷は 500mA 時に 12.2kW となる。キャビティでの壁損失は 80%Q で約 12.5kW であるから、合わせて 25kW が必要になる。A-2 では余裕を見て 40kW の RF システムを製作した。このシステムはキャビティ、RF アンプ、伝送系、制御系等から成っている。

本報告ではこれら A-2 の RF システムについて述べる。

2.RF システムの概要

Fig.1 に本 RF システムの概略図、Table.1 に主な仕様を示す。加速周波数は 191.244MHz で、ハーモニック数は A-2D で 14、A-2S で 7 である。ローレベルユニットからの信号を 4kW 出力のドライバアンプ(DA)で増幅し、真空管を用いたパワーアンプ(PA)をドライブする。そこで発生した最大 40kW の RF パワーをキャビティに入力して電子を加速する。DA-PA、PA-キャビティ間にはそれぞれ DA、PA の保護のためにサー

キュレーターを入れてある。

3.キャビティ

キャビティはリエントラント型であり、直径 800mm、長さ 250mm、ギャップ長 48mm である。Fig.2 にキャビティ断面図、Fig.3 にキャビティ外観を示す。RF カプラーと手動及び自動チューナー、ピックアップ、真空ポート、そして将来のための HOM カプラー用ポートを 2 つ持つ。

RF カプラーはループ型であり、回転させて結合度を調整する。セラミックウィンドウはディスク型であり、内導体をアンダーカットして伝送系のマッチングをとっている。形状は MAFIA で計算して決定した。

手動及び自動チューナーは直径 120mm の銅ブロックで、50mm のストロークを持つ。両方合わせて約 700kHz の周波数可変幅を持つ。

Fig.4 に高調波の測定を行った際の周波数スペクトルを示す。測定された高調波のうち、1GHz までの範囲で基本波に対して 5 倍波に近い 968.8MHz が測定された。現在までのビーム試験では、高調波は問題になっていないように思われる。しかし、これから更に電流が増え、問題が生じてくるようであれば、HOM カプラーを装着する予定である。

真空排気系には 300l/s のイオンポンプと 1000l/s の NEG ポンプを持つ。現時点でビーム負荷無しで 4×10^{-9} Torr、ビーム負荷 200mA 時

で約 8×10^{-8} Torr である。まだ真空は十分枯れているとは言えず、今後ベーキング或は真空系増強によって真空度を改善していく予定である。

4. RF アンプ

RF アンプは、出力 4kW の DA と、出力 40kW の PA から成る。

DA はトランジスターアンプであり、1 ユニット 8 個の FET で 1.2kW の出力を有し、4 ユニットの出力を合成している。パルス/CW 両モードでの運転が可能となっている。

PA は SIEMENS 社製真空管 RS2058CJ を用いた格子接地型アンプであり、B 級で動作する。入出力回路長はそれぞれ 3/4 波長である。電力の入出力はループ結合で行っている。

PA の当初設計は冷却能力不足で、出力回路が高温になり、一部 80°C を越える所があった。従って今後冷却を強化する予定である。

RF アンプの通常の運転は CW で行われるが、パルス動作も可能であり、キャビティの初期エージング時にはパルス運転でを使用した。

5. 伝送系

使用同軸管は DA-PA 間が WX-77D と 39D で、PA-キャビティ間は WX-120D である。途中にはそれぞれサーキュレーターを入れ、PA 及び DA を反射波から保護している。PA 用サーキュレーター (L) は定格の通過電力 75kW であり、A-2S での運転時の全反射に対して十分な性能を持つ。永久磁石の他に磁場補正用の電磁石が有り、フェライト及びフェライト冷却水温を見てコイル電流を制御している。またアークセンサーを有し、アーク放電による破損からサーキュレーターを保護するようになっている。ダミーロードは 50kW 定格である。DA 用サーキュレーター (S) の定格通過電力は 10kW である。フェライトの透磁率は永久磁石のみで制御している。ダミーロードは 5kW 定格である。どちらのサーキュレーターも SF₆ は使用していない。

伝送系には適宜方向性結合器を入れ、その信号は高周波電力のモニター及び RF 系の制御に使用されている。

6. 制御系

RF 系の制御は 1 台のローレベルユニットで行っている。この中に加速周波数の発振器、加速電圧制御回路、自動同調回路、モータードライバ等を納める。加速周波数の変更は、外部発振器を接続することにより可能である。

加速電圧制御は、キャビティからのピックアップ信号或は PA の進行波信号をモニターして行っており、電圧安定度は 0.1% 以下である。

自動同調は、方向性結合器からの進行波、反射波信号を演算処理して空洞の同調状態を調べ、必要な補正量を求めている。自動チューナーはステッピングモーターで駆動され、コントローラーからモータードライバに回転方向、パルス数が送られる。

上位計算機との通信は、RF 電源は筐体内に当社が加速器制御用に開発したワンボードコンピュータ UDC を備え光で行い、ローレベルユニットは GP-IB で行っている。UDC では DA とバイアス電源の ON/OFF、電流値及びステータスのモニターを行っている。GP-IB では RF パワー出力や自動チューナーの駆動量の設定、自動チューナーやレベル制御の ON/OFF、パルス/CW の切替え、ステータスのモニター等を行っている。

7. 今後の予定

97/7 迄 A-2D のビーム試験を行ってきたが、これまで本 RF 系は問題なく動作してきた。97/8 には超伝導ウィグラーを追加、97/12 からは A-2S のビームテストが始り、今後 RF アンプにはよりハイパワーが要求されてくる。それに合わせて PA 出力回路の冷却を増強する予定である。また、RF の制御を見直し、ローレベル回路を改造していく予定である。

A-2S は産業用として開発されているため、信頼性が非常に重要になってくる。そのためにも今後は更に RF 系の信頼性の向上を図っていく予定である。

参考文献

1. T. Hori et. al., Proc. 4th International Conf. on Synchrotron Radiation Sources and Asian

Forum on Synchrotron Radiation, Korea,
pp.148-158 (1995)

- T. Hori et. al., SHI Technical Review, Vol.39,
No.116, pp.46-62 (1991)

| キャビティ | |
|--------------|----------------------|
| 加速周波数 | 191.244MHz |
| 直径 | 800mm |
| 長さ | 250mm |
| ギャップ長 | 48mm |
| 加速電圧 | 220kV |
| ハーモニック数 | 14 (A-2D) / 7 (A-2S) |
| シャントインピーダンス | 1.95Mohm |
| Q値(100%) | 29000 |
| 壁損失(80%Q値) | 12.5kW |
| ビーム負荷(500mA) | 12.2kW |
| RF アンプ | |
| 真空管 | SIEMENS RS2058CJ |
| PA 出力電力 | 40kW |
| DA 出力電力 | 4kW |
| プレート電圧 | 8kV |
| スクリーン電圧 | 900V |
| コントロール電圧 | -230V |

Table. 1 RF系の主な仕様

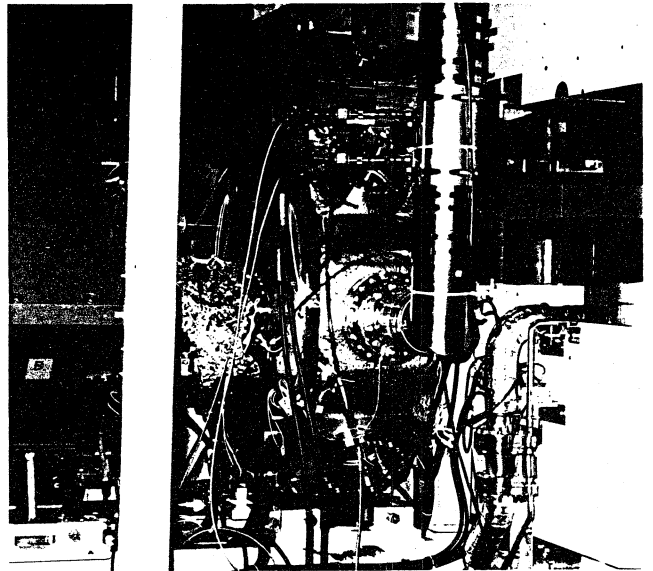


Fig. 2 キャビティ

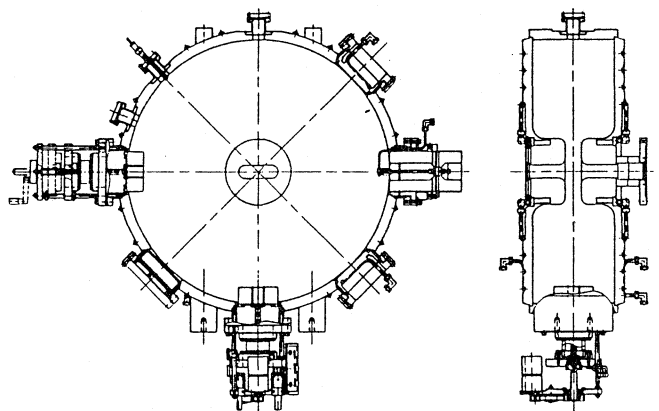


Fig. 3 キャビティ断面図

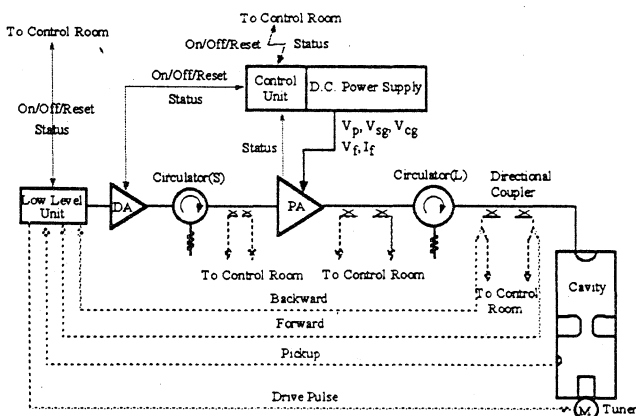


Fig. 1 AURORA-2のRFシステム

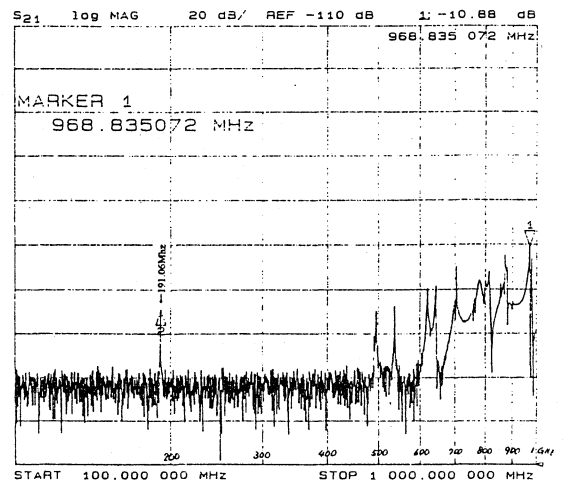


Fig. 4 キャビティの高調波スペクトル