IQ モジュレータによる位相検出器の校正測定 CALIBRATION OF PHASE DETECTOR USING IQ MODULATOR.

宮尾智章^{#, A)}, 三浦昭彦 ^{B)}, 川根祐輔 ^{B)}, 大内伸夫 ^{B)}
Tomoaki Miyao ^{#, A)}, Akihiko Miura^{B)}, Yusuke Kawane^{B)}, Nobuo Ouchi^{B)}

A) KEK, J-PARC

B) JAEA

Abstract

The beam energy of the J-PARC Linac is calculated by TOF (Time-of-Flight) method with the flight distance and beam phases at the two of measurement points. Because the accuracy of the beam energy measurement is directly depending on the errors in the phase measurement system, all 111 beam phase monitors are calibrated annually. Here, we adopted a calibration method using the IQ modulator as a method for carrying out more simply and accurately, calibration of the phase detection circuit is provided to the phase detection system. In the calibration, we have used the trombone circuit for the adjustment of the reference frequency, but it is thought that the procedure using an IQ modulator is more simple and accurate, and it reduces the time for the calibration. We describe the procedure of the phase detection system and the method of energy calculation. In addition, the general descriptions of the IQ modulation specification and its performances are introduced.

1. はじめに

J-PARC リニアックのビームエネルギーは計測したビーム位相とその飛行距離を用いた TOF(Time-of-Flight)法を用いて計算している。我々はビームエネルギーを計算するために、位相モニタ(FCT: Fast Current Transformer)を 111 台使用しているが、毎年位相検出系統の校正をエネルギー測定の精度を上げるために行っている。Figurel に FCT の位相検出の系統図を示す。FCT 位相系統の校正は、FCT 本体、バンドパスフィルタと位相検出器を含めたケーブル位相、位相調整器本体、位相検出器本体に対してそれぞれ行われる。本稿では新たに、校正用の位相調整器を使用しない IQ モジュレータを用いて、位相検出器の試験的な校正を行った。

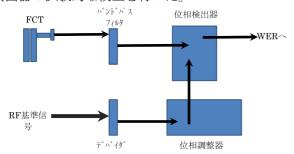


Figure 1: Diagram of FCT signal processing.

位相検出器

位相検出器は RF の基準信号と FCT からの出力信号を入力し、2 つの信号の位相差に応じて出力される信号を測定する電子回路である。 Figure 2 に位相検出器のブロックダイアグラムを示す。 FCT からの出力信号と RF 基準信号を 324MHz の加速周波数か

ら位相情報を維持しながら、線形な位相検出が可能な 100MHz 前後の中間周波数に変換している。変換されたそれぞれの信号は増幅された後、位相比較をすることで、2 つの信号の位相差に応じて変調された方形波が得られ、積分回路を通すことで、直流電圧信号に変換される仕組みになっている。位相検出の精度を上げるために、位相検出範囲を 0° から720° とし、両端を除く 360° の範囲で位相検出を行っている。また、最適位相値を検出するために、180° の位相反転構造も含まれている。

位相検出器は各々個性を持っており、位相検出器の換算係数(単位は V/deg)、位相検出器のオフセット電圧、位相反転時の位相を考慮に入れている。

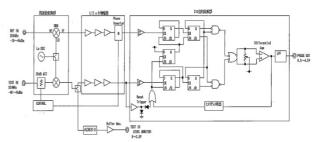


Figure 2: The block diagram of phase detector.

2. IQ モジュレータ

2.1 IQ モジュレータの構成

位相検出器の校正を正確かつ簡便にするために、IQ モジュレータの採用を検討している。IQ は信号の同相位相 I (In-phase)と直交位相 Q(Quadurature)に分けられ、主にデジタル変調では一般的に用いられている。本機器の仕様は J-PARC リニアックの加速周波数 324MHz の IQ 変調器(キャンドックス製CDX-JPC002)を用いている。Figure3 に IQ 変調器の

[#] tomoaki.miyao@j-parc.jp

系統図を示す。外部から 324MHz の基準信号と± 1.0V のベースバンド信号を入力して直行変調をかけることで、324MHzの RF 信号を出力している。

I-signal

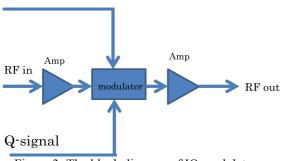


Figure 3: The block diagram of IQ modulator.

2.2 以前の位相検出器の構成

以前は、位相検出器の構成は外付けの位相調整器 と、位相検出器を用いて信号の位相差を作ることに よって、校正を行った。位相調整器にはトロンボー ン回路を採用し、同軸管の線路長を変えることで位 相の調整を行うことができる。ここでは、RF 基準 信号をファンクションジェネレータで出力し、位相 調整器を介して異なる位相の RF を作成し、位相検 出器のテスト入力(Test in)と参照入力(Ref in)間に位 相差を作り、検出器からの出力を測定した(Figure 4)。 位相検出器の出力は 0.01V/deg で設計されており、0 ~5.0V 仕様のデジタイザに入力することを初期設計 としていたため、出力は 2.5V±1.8V となるように している。Figure 5 に信号の位相差と出力電圧の関 係を示す。位相検出器は位相のレンジを 0°~360° これを Normal と定義する。Normal に対して、180° 位相をシフトしたレンジ、これを Inverse と定義す る。このとき、位相検出器の換算係数(単位は V/deg)、 位相検出器のオフセット電圧は測定可能だが、位相 反転時の位相が測定できていないため、今までは位 相検出器の試験成績書を使用していたが、今回は IQ モジュレータでの校正が必要と判断した。

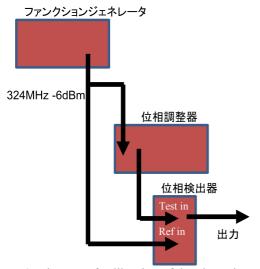


Figure 4: Diagram of calibration of the phase detector.

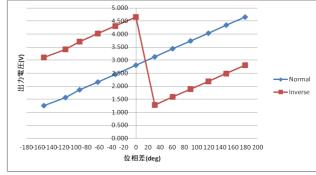


Figure 5: Diagram of calibration of the phase detector.

2.3 IQ モジュレータの仕様

Figure 6 に示すような IQ モジュレータの仕様は 324MHz の RF 入力信号に対して①: IQ モジュレータによる振幅位相制御、②: RF スイッチによるパルス変調を行う装置である。装置の性能仕様は以下のとおりである。

・周波数:324MHz・入力電力:0dBm

・入力 VSWR: 1.2 以下

・最大出力電力:振幅 0dB 設定時で+5dBm 以上

・振幅設定範囲:-40dB 以下~0dB

・位相設定範囲:0°~720°

• 振幅精度

振幅設定 0~-3dB で位相誤差±0.044dB 以下 振幅設定-3~-10dB で位相誤差±0.088dB 以下

• 位相特度

振幅設定 $0\sim$ -3dB で位相誤差±0.5° 以下振幅設定- $3\sim$ -10dB で位相誤差±1.0° 以下

・制御入力

ローカル、リモートで 振幅制御入力 0~10V ⇒-51.2~0dB 位相制御入力 0~10V ⇒0~720°

・手動設定ダイヤル

振幅設定:アナログ10回転型 位相設定:アナログ10回転型



Figure 6: Front view of the IQ modulator.

PASJ2014-SAP083

2.4 IQ モジュレータを使用した校正

Figure7 に IQ モジュレータを用いた位相検出器の校正図を示す。ネットワークアナライザからの RF 信号を IQ モジュレータで自動制御を行うことで異なる位相の RF 信号を作成し、位相検出器の校正を行うことができる。Figure8 は IQ モジュレータを使用したときの校正結果を示す。位相調整器を使用したときと同じ結果が示され、効率的かつ、正確に校正を行うことができた。今後は Visual Basic を用いた制御プログラムを作成して、自動的に位相検出器の校正測定を行いたい。

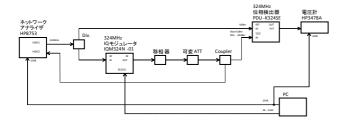


Figure 7: Calibration of Phase Detector using IQ modulator.

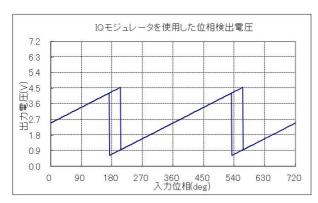


Figure8: Diagram of calibration of the phase detector using IQ modulator.

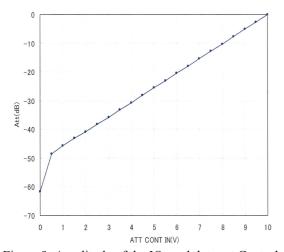


Figure 9: Amplitude of the IQ modulator at Control.

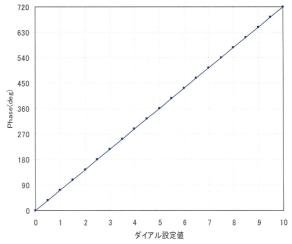


Figure 10: Phase of the IQ modulator at Control.

Figure9,10 は IQ モジュレータのダイヤルを回した時の振幅と位相の測定レンジを表している。振幅は51.2dB~0dB、位相は 0°~720°まで測定できる。プログラム制御、ローカルで実施しても特に問題は見られなかった。これにより、位相調整器のダイヤルで位相差の信号を使用しての測定と比較して、より簡単に測定できるものと考えている。

3. 今後の予定

位相検出器の校正を行うため、IQ モジュレータを 製作し、位相検出器の測定を行った。実際の FCT の 測定系について効率的かつ正確な校正を行うよう使 用していきたい。

4. まとめ

FCT の定期的な校正をより効率的かつ正確にするため、IQ モジュレータを製作した。これにより、位相検出器のパラメータを正確かつ、簡便に測定を行い、ビームエネルギーの計算の精度を上げていきたい。

参考文献

[1] T. Miyao, et al., "BEAM MONITORING SYSTEM FOR RFQ TEST STAND OF J-PARC LINAC", Proc. of PASJ2013.