

Beam Locked L.O. for IP-BPM

Y.Honda

2006/10/16

概要

The RF-to-IF converter module of IP-BPM needs an external local oscillator (L.O.) to switch the mixer inside. The needed L.O. frequencies are 5712MHz for Y-converter and 6426MHz for X-converter. We have developed a system to generate the L.O. starting from 714MHz reference signal of DR-RF. Since the detection system turns to be a beam synchronized one with beam-locked L.O., it becomes possible to determine the absolute phase without the phase information of the reference cavity.

1 はじめに

1.1 目的

従来の KEK 方式の検出方式 (図 1) では、ビームと位相関係の無い発振器の信号と掛け合わせる事によって RF から IF へダウンコンバージョンをしている。BPM 空洞と Ref 空洞を共通の発振器を用いて処理するので相対的な位相関係は保存したまま IF に変換され、その後これら 2 つの IF 信号の位相検出を行い正しい位相で信号を読み出すことができる。

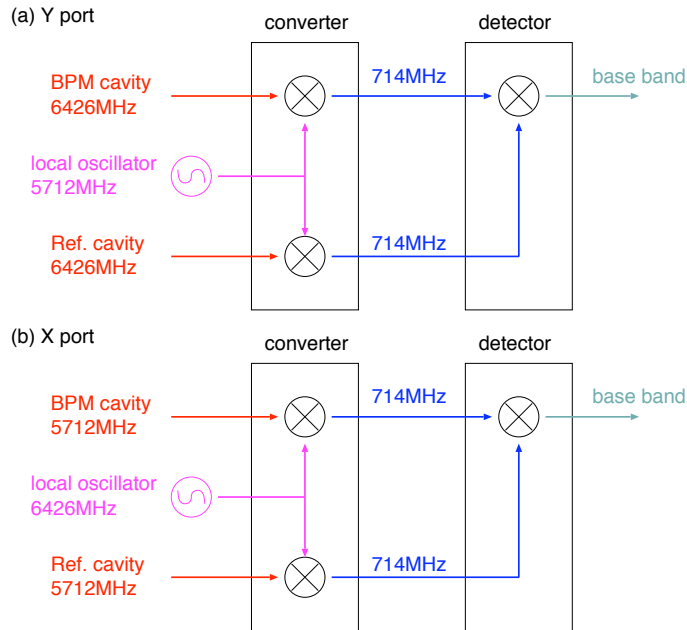


図 1: 従来のスキーム

これに対し、ダウンコンバージョンに用いる発振器がビームに位相同期されていれば、ビームのタイミングに対して絶対的な位相が保存するので Ref 空洞を用いなくとも正しい位相で検出すること

ができる。加速器からのビームはリングの加速空洞の位相に同期してやってくるので、加速空洞の基準信号 (714MHz) を元にして動作する発振器を用いればこれが可能である。(ただし、ビームが長手方向に振動していたりすると位相がずれることになる)

IP-BPM では BPM の周波数として、6426MHz(Y port) 及び 5712MHz(X port) を使い、IF 周波数として 714MHz を経由するように設計している為、必要とされる発振器の周波数は 5712MHz(for Y converter) 及び 6426MHz(for X converter) である。これらは丁度、714MHz の 8 倍及び 9 倍に対応するので比較的簡単に作り出すことができる。ダウンコンバージョンして得られた 714MHz の BPM 信号を再び基準信号から分配してきた 714MHz を用いて位相検出すれば正しく読み出すことができる。このスキームを図 2 に示す。

Q-BPM の回路に於いては、SLAC/Cornel グループが 6446MHz のビーム同期発振器を作ろうとして手間取っているが、我々の場合は 714MHz の整数倍でシステムを設計しているので同様のことが簡単に実現できる。

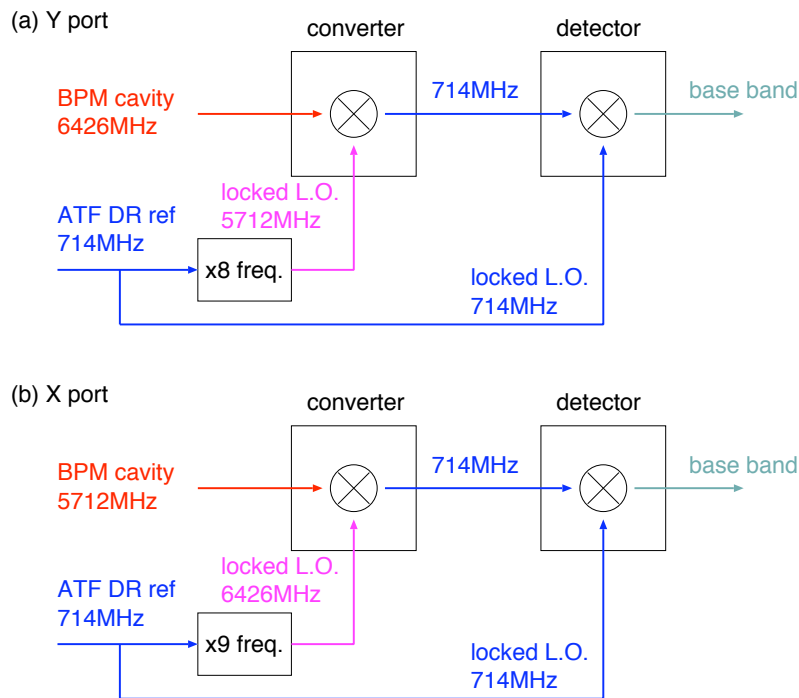


図 2: ビームに同期して周波数変換する方式

1.2 本当の動機

もともとは従来の方式で外部の発振器で発生した 5712MHz 及び 6426MHz を用いる予定だったが、現在リングの上にある 2 台の発振器を SLAC グループと奪い合いして使うのは不便なので、リングの加速空洞のシステムから分配して来た 714MHz を拾って来てそれを整数倍して使えないかというのがはじまり。どのみち Ref 空洞も同じようにダウンコンバージョンするので、何も考えず従来方式と思って処理してもかまわない。

2 装置

2.1 converter について

2.2 converter の仕様

図3に示すように今回IP-BPM用に製作した converter の仕様では、モジュールの外部から L.O.(local oscillator) を与えることになっている。Y converter の場合は 5712MHz, 0dBm typ. を、X converter の場合は 6426MHz, 0dBm typ. を入力する。入力された L.O. はモジュール内部で増幅された後に分配され、各 ch のダウンコンバージョン用のミキサーを動作させる。分配された内の一つはモニター用としてモジュールの前面から出力される (使用しない場合はこのポートは終端しておく)。

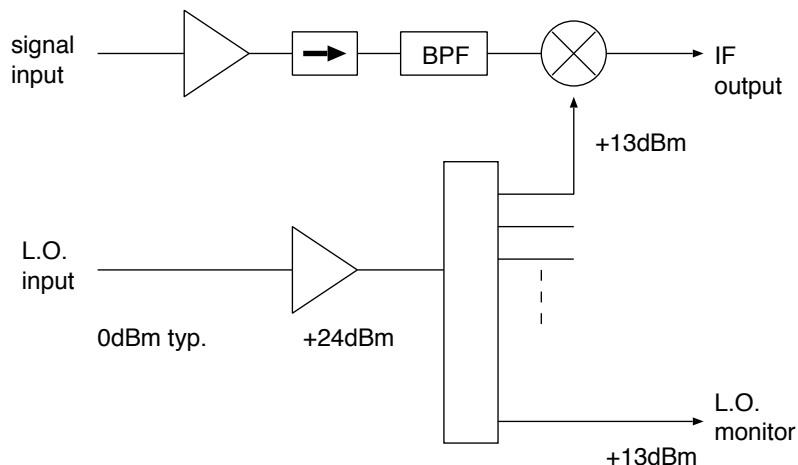


図 3: converter の構成

2.2.1 L.O. パワー依存性

仕様では L.O. 入力を 0dBm typ. とするよう指定されているが、ミキサーを動作させる信号と同等なものがモニター出力から出て来るのでこれを見て +13dBm 付近になるように入力パワーを調整することになっている。L.O. のパワーにどれだけ余裕があるかチェックする為に L.O. パワーによって信号のゲインがどのように変化するか調べた。図4が X converter、図5が Y converter の結果である。どちらも L.O. モニターのパワーが +7dBm 以上であれば大体ゲインは一定であると確認された。(推奨値は +6dB の余裕を見ていることが分かる)

2.3 ビーム同期 L.O. の構成

図6の構成によって DR-RF ハットから引っ張って来た 714MHz から 0dBm typ. の 5712MHz と 6426MHz を生成する。いきなり 8 倍周波数を作るのは大変なので、一旦 4 倍周波数である 2856MHz を経由した。手持ちのアンプが不足している等の理由もあって、Y converter の L.O. モニター出力をアンプとして使用している。

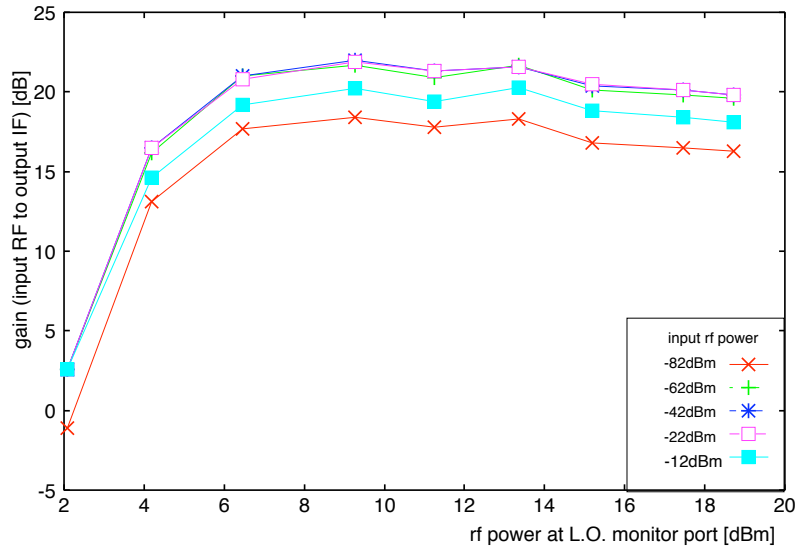


図 4: ゲインの L.O. power 依存 (X converter)

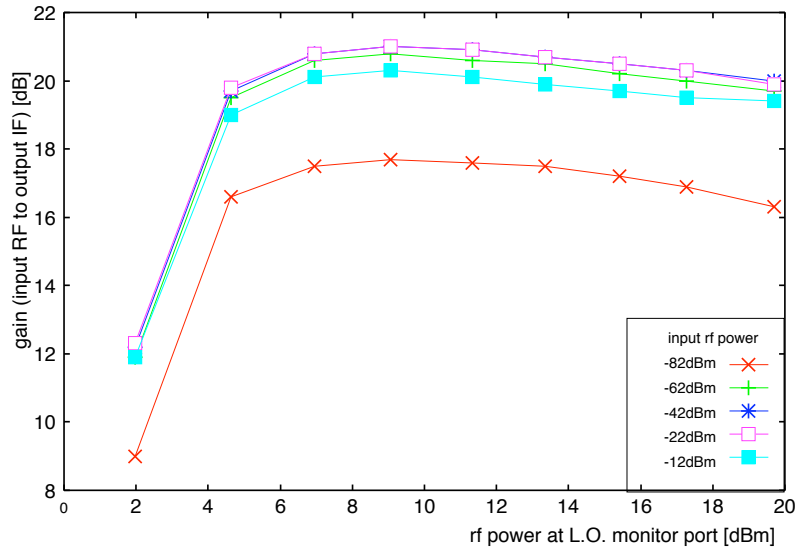


図 5: ゲインの L.O. power 依存 (Y converter)

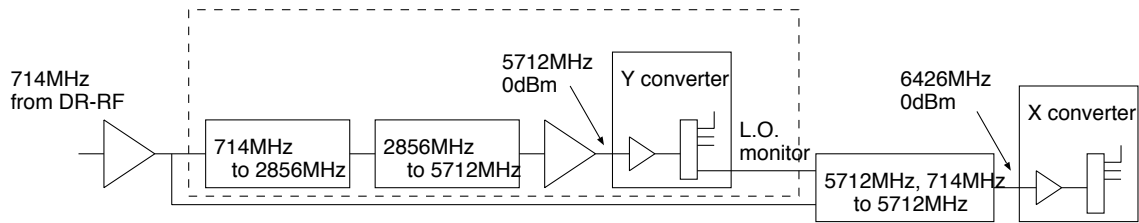


図 6: 714MHz から 5712MHz と 6426MHz を生成するシステム

2.3.1 714MHz から 2856MHz への変換

もともと 6 倍周波数を作る 476MHz to 2856MHz モジュールなるものがあったので、単にそれを流用した。これは初段に非線形のアンプがあり、これを通すと整数倍周波数の成分が発生する。次の段の BPF によって 2856MHz のピークのみを選択し出力される。714MHz を入れても 4 倍周波数のピークが 2856MHz に一致するので、うまい具合に 2856MHz が出て来る。図 8 にこのモジュールの入力対出力の測定結果をまとめる。

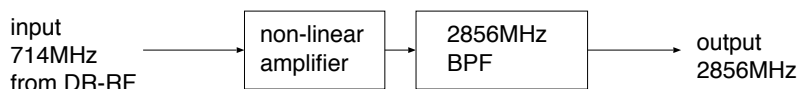


図 7: 714MHz to 2856MHz のスキーム

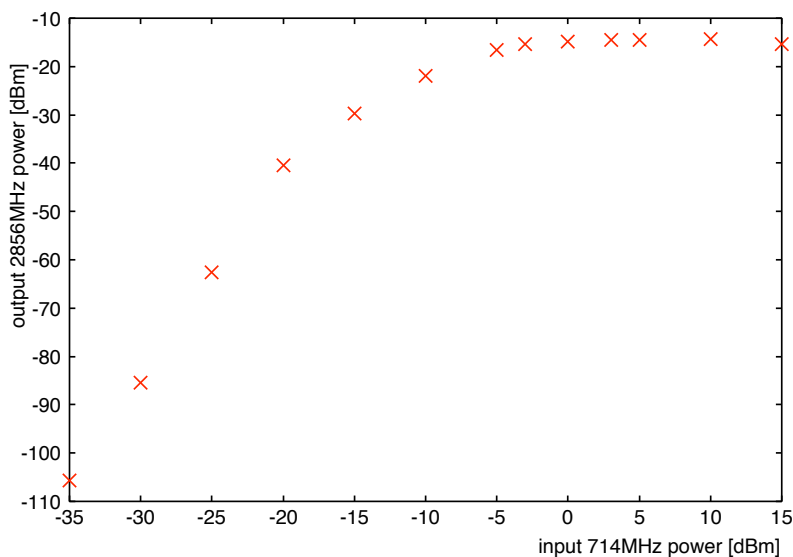


図 8: 714MHz to 2856MHz 変換のゲイン

2.3.2 2856MHz から 5712MHz への変換

図 9 の回路を構成した。2858MHz を 2 つに分けたのちに掛けあわせて高調波を発生させ、そのうち 5712MHz のピークだけを BPF で選択して出力する。図 10 にこのモジュールの入力対出力の測定結果をまとめる。

2.3.3 714MHz から 5712MHz 変換までの組み合わせテスト

図 6 内の破線で囲った部分を組み合わせでの入力対出力の測定の結果を図 11 にまとめる。0dBm 以上の 714MHz を入力すると丁度良いパワーの 5712MHz L.O. が得られる。

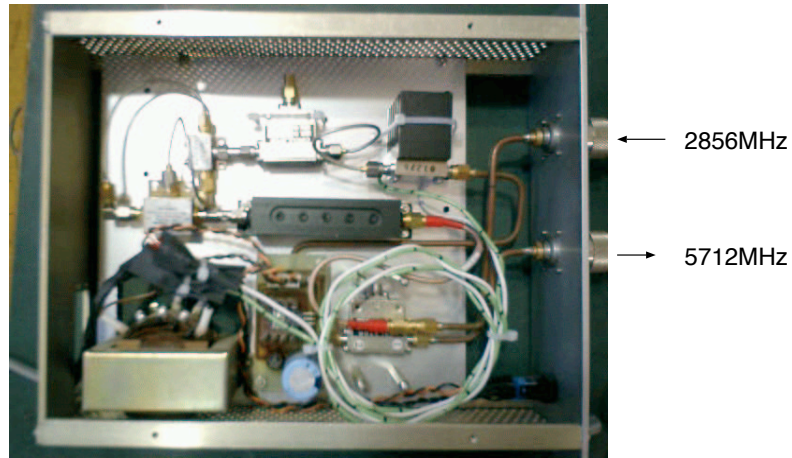
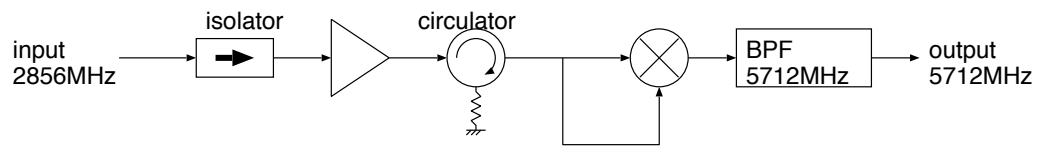


図 9: 2856MHz to 5712MHz 変換のスキーム

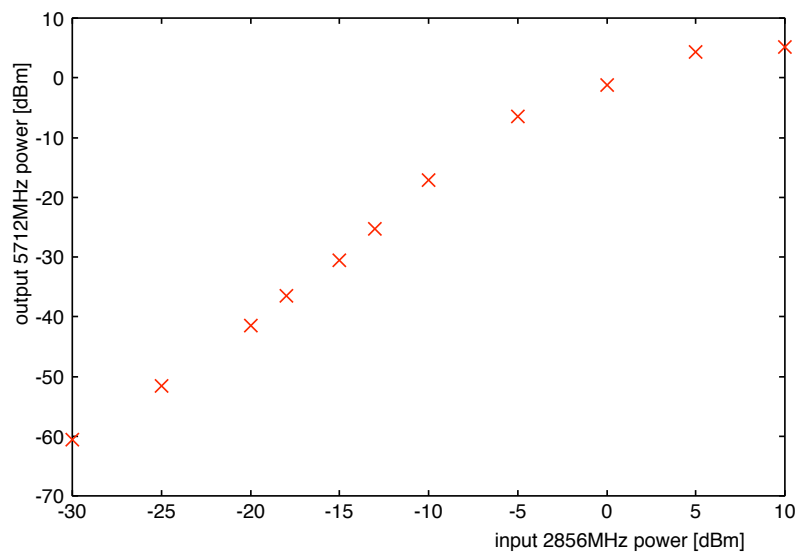


図 10: 2856MHz to 5712MHz 変換のゲイン

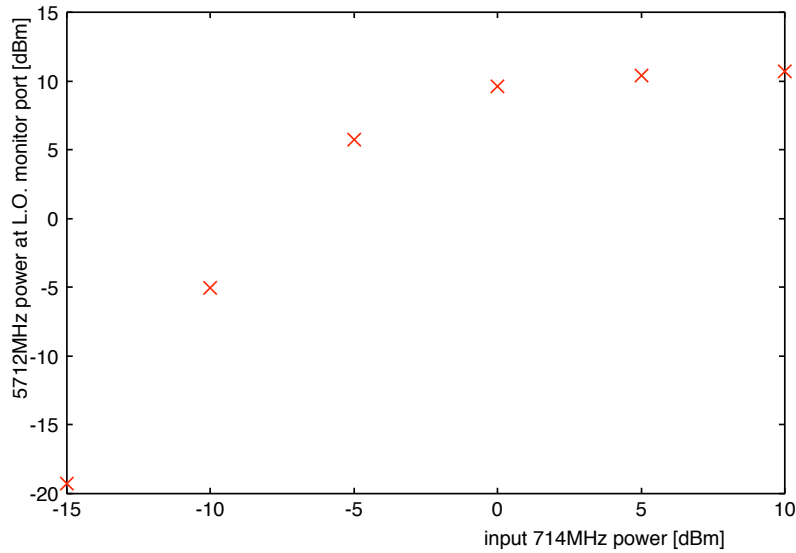


図 11: L.O. モニターポート (5712MHz) へのゲイン

2.3.4 5712MHz,714MHzから 6426MHz への変換

図 12 の回路を構成した。これも同様に 5712MHz と 714MHz を掛け合わせて生じる和と差の周波数の内から 6426MHz のピークのみを BPF で選択し出力する。図 13 にこのモジュールの入力対出力の測定結果をまとめる。

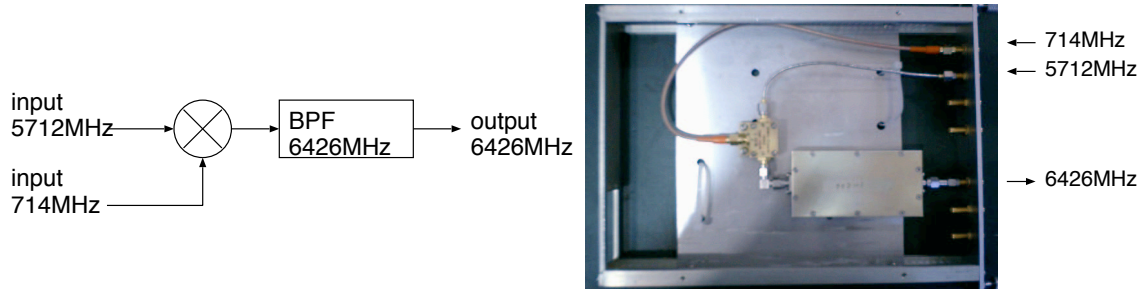


図 12: 5712MHz,714MHz to 6426MHz 変換のスキーム

3 動作確認

発振器で作った 714MHz を元にして生成した L.O. で converter を動作させ、発振器からの RF をダウンコンバージョンしてみて動作を確認した。図 14 にセットアップを示す。とりあえず調べたのは converter の出力に余計なピークがないか、ピークは十分細かいかである。最終的には帯域は 10MHz 程度で検出する予定なので、714MHz 付近 10MHz を観測した。50MHz スパンのデータにも 10kHz スパンのデータにも目立ったピークは見られない。図 15,16 がその結果である。入力した信号強度は -70dBm であることからノイズフロアを入力換算にすると -125dBm (RBW=20kHz) に相当する。つまり -168dBm/Hz 程度なので、温度限界の -174dBm とくらべて計算すると NF=6dB になる。スペアナのノイズや入力信号の校正等をキチンとやっていないので概算であるが、特に悪くはないと思われる。今回は発振器からの 714MHz から始めてテストしたが、今後実際に DR-RF からの 714MHz

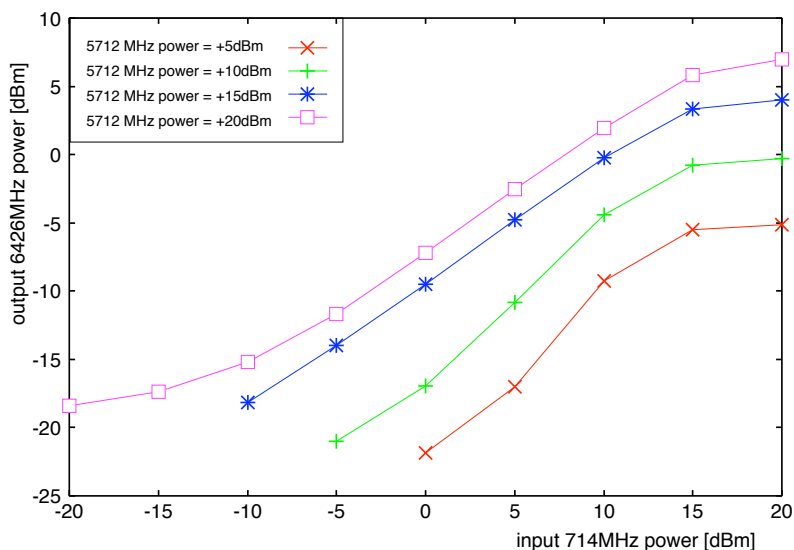


図 13: 714MHz, 5712MHz to 6426MHz のゲイン

から始めてチェックしてみる必要はある。

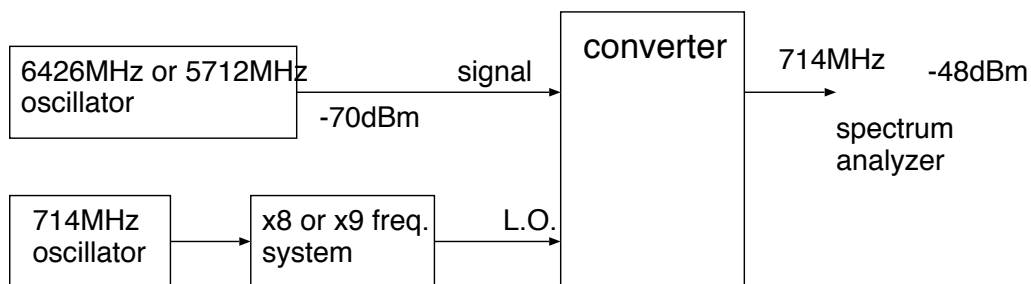


図 14: 発振器の信号を用いた動作テストのセットアップ

4 まとめ

ダンピングリング RF からの 714MHz 信号を整数倍して converter に必要な L.O. である 5712MHz と 6426MHz を発生する回路が構成できた。とりあえずは新しく発振器を用意しなくてもビーム実験が出来る状態になった。また、ビーム同期した信号処理が出来るはずなので、原理的には Ref 空洞を用いなくても良くなる。

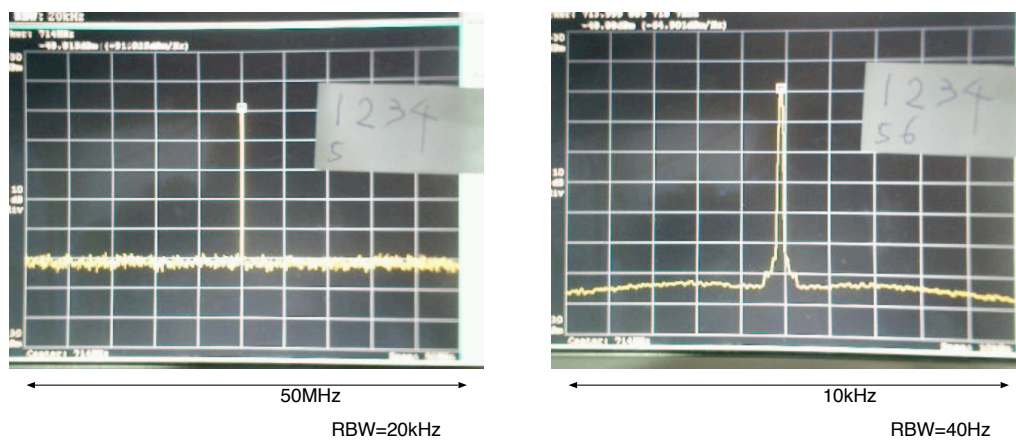


図 15: Y converter の出力信号

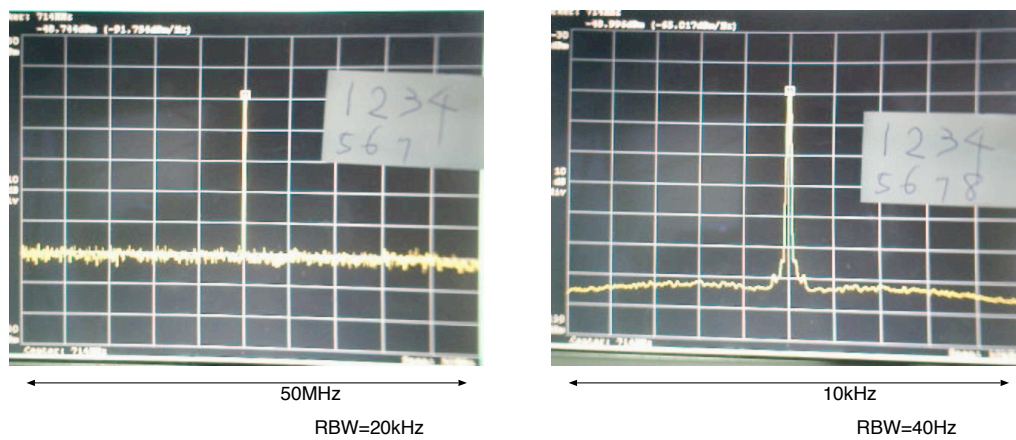


図 16: X converter の出力信号