

Ver. 1/3

超伝導検出器多重読み出し用 フロントエンド回路の開発

総合研究大学院大学
高エネルギー加速器科学研究科
素粒子原子核専攻

学籍番号: 20111451
石塚 光

平成 27 年 1 月 9 日

2.2 周波数多重読み出し

次世代の CMB 偏光観測にとって、検出器の多素子化は重要な課題である。前章で述べたように、GroundBIRD は ⁷⁸³500 個の MKID を搭載する。~~読み出し系の一部は、室温系に設置する~~^と~~ため、冷却系への読み出し線からの熱流入の抑制が肝要となる。~~^{とつない}この鍵を握るのが信号の多重化である。

信号の多重化には、周波数分割多重と時間分割多重、空間分割多重、符号分割多重など、様々な技術が存在する。MKID は共振器の長さを ^{いよって}変えることで、^{共振}共振周波数を調整することができる。図 2.2 に示すように、共振器の長さの異なる MKID をフィードライン上に並べることで、~~周波数空間に信号を多重化することが可能となる。~~^{れば、}したがって、MKID の読み出しには周波数分割多重が ^{できる}用いられる。^{読み出しは数値化された検出器である、つまり、}

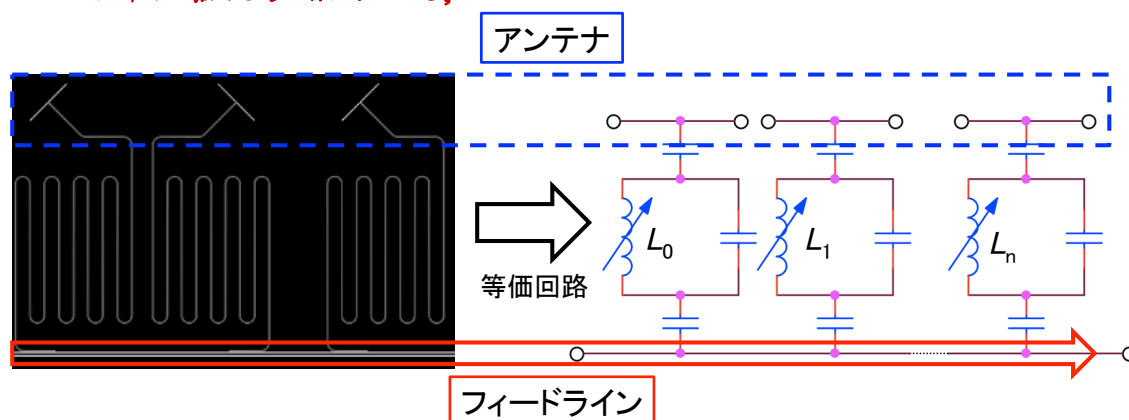


図 2.2:

2.3 読み出し系

読み出し系は MKID の共振ピークの振幅と位相の変化を測定する。MKID の読み出し方法には、DDC (Direct Down-Conversion) 方式と FFT (Fast Fourier Transform) 方式の二種類が存在し、本論文では共振周波数をより高い精度で設定できる DDC 方式による読み出しについて述べる。

2.3.1 読み出し系の構成と大まかな流れ

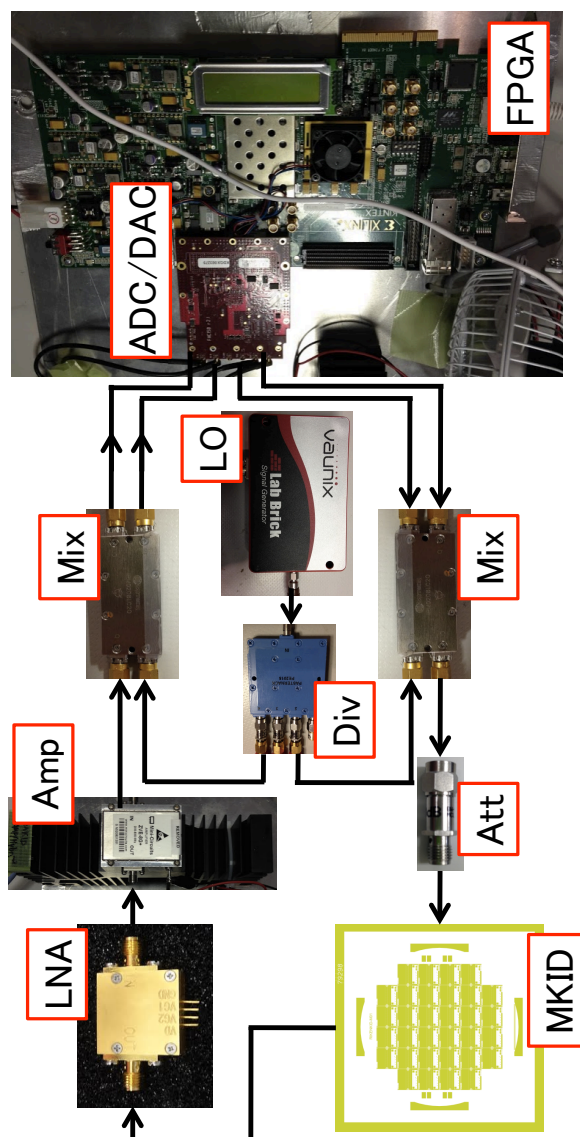
読み出し系の構成を図 2.3 に示す。読み出し系は大きく 4 つの要素に分けられる。

冷却回路：MKID と LNA (Low Noise Amplifier) を含めたクライオスタット内にある読み出し部分。

MHz/GHz コンバーター：MKID に入力するフィード信号（読み出し用変調信号）を高周波（4–8 GHz）に変換（アップ・コンバート）、また、MKID を通った後に出力されるフィード信号を低周波（< 100 MHz）に変換（ダウン・コンバート）する部分。

アナログ基板：デジタル変調信号をアナログ信号に変換して送信し、入力したアナログ信号を受信してデジタル信号に変換する部分。

- 上下逆
- どの部分がどこかも図解



この部分は別図で大きい
ものがあつたほうが良い。

図 2.4: 既存の MKID の読み出し系

2.3.2 読み出し原理

2.4 既存の読み出し系

2.4.1 解決すべき課題

FMC150 は ADC や DAC の性能は読み出し系として満足する。しかし、読み出し系には不必要な機能が実装されているために、その性能を十分に活かしていない。また、性能以外にもユーザーの利便性を阻害する仕様が解決すべき課題として存在する。

LPF による帯域の制限

多重読み出しするためには、なるべく広い帯域を確保する必要がある。FMC150 は図 2.5 のようなローパス・フィルター（LPF）が実装されているため、~~82 MHz 以上の帯域を使用することができない。~~²⁾ ~~出力性能が急激に低下する。~~

読み出しの多重度は帯域の広さに比例する。MKID の利点を最大化するためには、もっとも重要な点のひとつである。

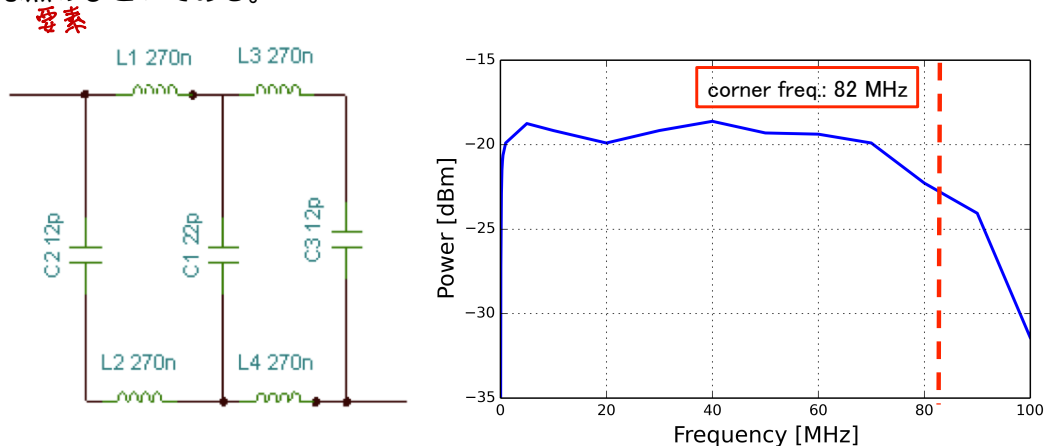


図 2.5: 第 5 次チェビシェフフィルター。コーナー周波数は 82 MHz に設計され、~~それより高い~~³⁾ 周波数は -124.9 dB/decade で減衰する。

消費電力の過大

消費電力の問題は、主に IC の発熱の問題として表れる。IC は動作温度以上になると、予期せぬ誤動作をする。また、電源を供給しているデジタル基板が電力供給過多で強制シャットダウンすることが確認されている。²⁾ ~~つまり、安定動作が保障されないという決定的な欠点がある。~~

また、図 2.6 のような、冷却ファンによる排熱処理を怠ると基板上の IC が熱破損する¹⁾。

~~CMB 観測は室温の低い場所でやるため、排熱に対する安全マージンはもっと大きくないとダメなものにならない。~~

¹⁾ 実際に、冷却ファンなしで 1 時間程度運転し破損した。



図 2.6: FMC150 のエアフローを向上させるために取り付けした USB 扇風機。IC の排熱処理は必須である。

元来、通修機を対象として開発されているため、

ユーザビリティの毀損

FMC150 はクロックを分周して使うことを前提に設計されている。そのため、水晶発振器の周波数は 245.76 MHz のものが搭載されている。しかし、~~現在の用途は~~^{MKID の読み出しに利用して}クロックを様々な周波数に分周して使うことは~~ない~~。クロックの周波数は ADC と DAC のサンプリング・レートを決めるため、できるだけ高い周波数のものが好ましいが、周波数分解能の値も重要である。実際に MKID の測定を行う際は、まず帯域全体をスイープして、どの周波数にそれぞれの MKID の共振ピークがあるか測定する。次に、それぞれの~~MKID~~^{共振}について~~を定点観測を行う~~^{共振状態を定常観測する。}。このとき、ユーザーはある MKID の共振周ピーク付近に周波数を設定する必要がある。その際、指定する周波数は分解能の倍数に設定しなければならない。たとえば、FMC150 で読み出し系を構成した場合、12.288 kHz の倍数にする必要がある。これは、ユーザーにとって非常に使いづらく誤った測定を誘発する。

また、読み出し系は冷却回路や MHz/GHz コンバーターで数 GHz の信号を扱うため、同軸ケーブルのコネクターは SMA (Sub-Miniature version A) コネクターを用いている。一方で、FMC150 は MMCX (Micro-Miniature CoaXial) を採用している。コネクターの規格が不揃いだとユーザーの生産性を下げる。また、ユーザー側に規格変換のための余計なコネクター等の接続部品が増えることは、潜在的なバグを発生させる。