

ホワイトニングフィルタの測定に関して

鳥谷仁人

H26.7.31

1 目的

前回の測定ではホワイトニングフィルタの through 時の伝達関数をスペクトルアナライザー (SR785) を用いて測定し、ホワイトニングフィルタの動作を確認した。今回の測定では、Binary Output に制御信号を送信した後、ホワイトニングフィルタを測定しフィルタ回路に置いて不具合がないかを確認する。また、それに伴うフィルタ回路のノイズスペクトルを測定しノイズの影響がないかを調べる。KAGRA のノイズスペクトルから得られたホワイトニングフィルタの伝達関数を用いて、実際に ADC に入る電圧信号を生成し自身の研究に利用することが目的である。

2 測定に関する物理背景

干渉計信号は、干渉計の制御 (lock) された後の Error 信号がホワイトニングフィルタ回路を介して ADC(Analog to Digital Converter) に入りデジタル化された数値として取得される。ここで、干渉計ノイズ N は以下の図のように Open loop transfer function $G = SPAF$ を用いて、Error 信号 $V_{out} = \frac{SP}{1+G} \times N$ に変換される。次に、Error 信号はホワイトニングされ ADC で取得されるのだが、ホワイトニングとは信号の周波数特性をフラットにすることを指す。ホワイトニングを行わない場合、ADC のダイナミックレンジが有限な為に、ADC 量子化後のスペクトルは量子化前のスペクトルを再現することが出来なくなる可能性がある為に、適切なホワイトニングを行う必要がある。

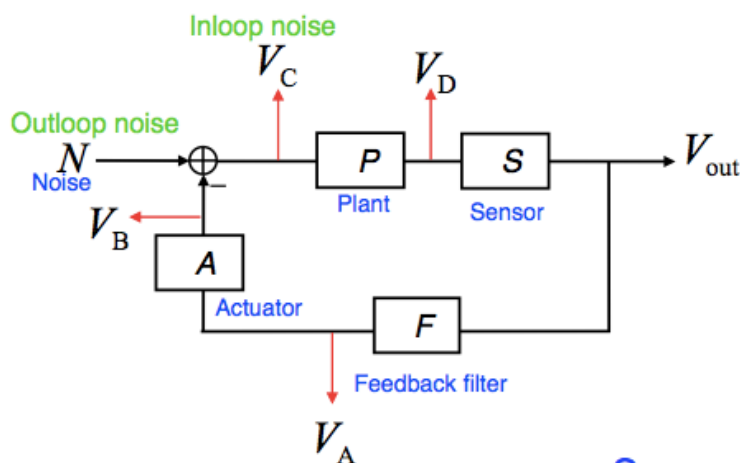


図 1: 干渉計の制御ループ (宮川さんのスライドから)

3 ホワイトニングフィルタの伝達関数の測定実験

3.1 実験装置

テスター、オシロスコープ (Digital Phosphor Oscilloscope DPO3054)、発信器 (20MHz Function/Arbitrary Wave form Generator Agilent)、スペアナ (STANFORD RESEARCH SYSTEMS Model SR785)、アンプ (STANFORD RESEARCH SYSTEMS Model SR560)、ホワイトニングフィルタ回路

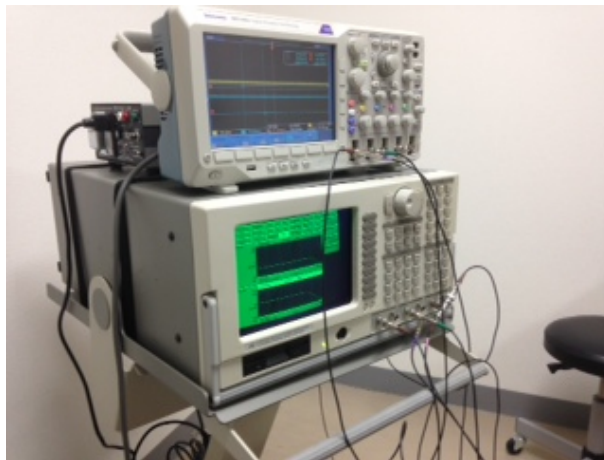


図 2: 上:オシロスコープ、下:SR785



図 3: ホワイトニングフィルタ回路

3.2 実験手順

3.2.1 ホワイトニングフィルタ伝達関数の測定

1. テスターを用いて、各装置に不具合がないか、実験機器の接地状況を確認する。
2. 実験装置を以下の図のように配線する (ここで、オシロスコープとホワイトニングフィルタの間は $50\ \Omega$ で接地されているため、ホワイトニングフィルタの DAC が差動で出ているため、ネガティブの信号を設置してしまうと入力電圧 15V に対して危険な為間に SR560 を入れる)。
ホワイトニングフィルタ回路は作動で入力し作動で出力するので正負のケーブルを用いる (作動にすることで、ノイズの影響をなくすることができる)。
3. 各装置の coupling を DC に設定し、アンプ (SR560) のフィルタ設定は DC に設定する。
4. スペアナ (SR785) の設定モードを swept-sine に設定し、表示を frequency-response に設定する。
5. スペアナ (SR785) をスタートさせ、入力信号のスペクトルとホワイトニングフィルタ回路を通った後のスペクトルの比から、ゲイン及び位相変化を測定することで、through 時 (Binary Output Module に制御信号を入れない) の伝達関数 (0.1 ~ 100[kHz]) を測定する。
6. また、Binary Output Module に回路内のビット操作を行う制御信号を送電し、ゲイン=1 とした上で、zero-pole フィルタを 0 ~ 3 次に変えてホワイトニングフィルタの伝達関数 (0.1 ~ 100[kHz]) を測定する。

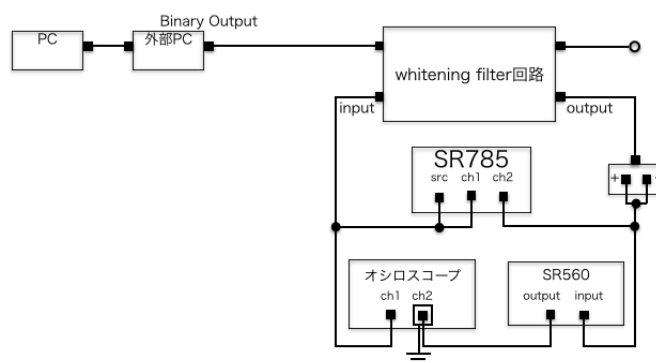


図 4: 測定における配線図

3.2.2 ホワイトニングフィルタ回路内のノイズ測定

1. ホワイトニングフィルタ回路の Input をターミネート (回路への入力信号をゼロ) させる。
2. また、他の要因からなるノイズの影響をなくす為に、SR785 にはホワイトニングフィルタ回路の Output からくる信号のみを接続し、そのスペクトル (0.5 ~ 100[kHz]) をゲインや zero-pole フィルタの次数を変えてノイズレベルやノイズの変化を測定する。

4 結果と考察

今回の測定では、ホワイトニングフィルタ回路の伝達関数を through、ゲイン=1 の時に 1 次、2 次、3 次 zero-pole のホワイトニングフィルタを測定した。また、フィルタ回路のノイズは through、ゲイン=21[dB]、45[dB] 時、ゲイン=1 で 1 次、2 次、3 次 zero-pole 時のものを測定した。

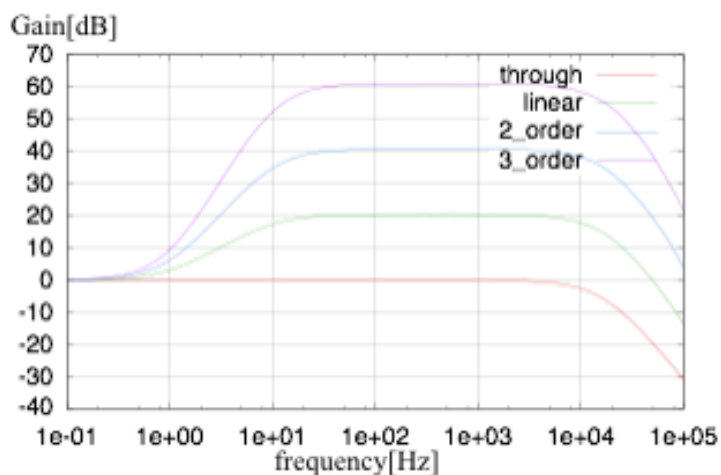


図 5: 測定したホワイトニングフィルタの伝達関数 (ゲイン)

through 時のゲインと位相は次の通りである。

- $f=100[\text{Hz}]$, ゲイン=-67[mdB], 位相=-0.7[deg]
- $f=200[\text{Hz}]$, ゲイン=-68[mdB], 位相=-1.4[deg]
- $f=1\text{k}[\text{Hz}]$, ゲイン=-3.0[dB], 位相=-65[deg]
- $f=10\text{k}[\text{Hz}]$, ゲイン=-30[dB], 位相=-164[deg]

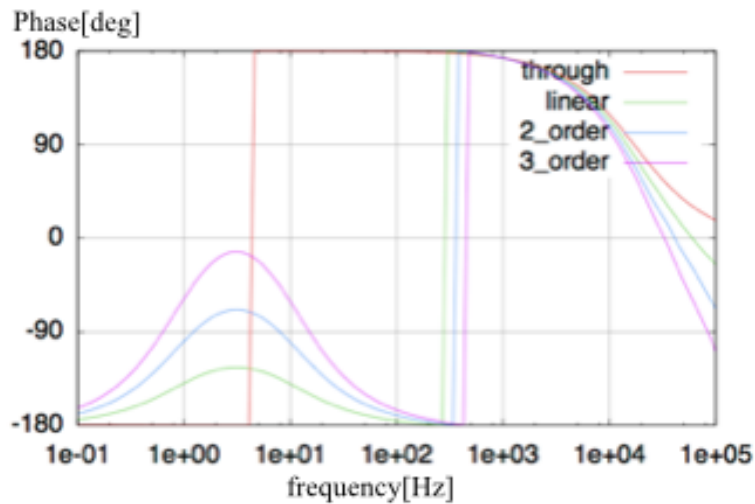


図 6: 測定したホワイトニングフィルタの伝達関数 (位相)

各伝達関数の観測帯域 (0 ~ 10[kHz]) においてゲインと位相変化に問題がないことを確認した (今回の測定では伝達関数の精度までは確認していない)。また、周波数 10[kHz] ~ でゲインが小さくなり、位相が遅れているが、これは、OP アンプの性能上ゲインが出ない為だと思われる (サンプリングレートから来る観測帯域の制限が 7.5kHz 程度までなので問題ない)。もしくは、コンデンサの発振を防ぐ為に、10[kHz] でローパスフィルタを書けている為だと思われる (要確認)。

また、ホワイトニングフィルタ回路内のノイズ測定の結果では、ゲイン = 21[dB] の時に 10[kHz] のあたりにピークが見られるが、これは OP アンプの発振だと思われる。ADC 量子化雑音レベルは $10^{-6} [V/\sqrt{Hz}]$ 程度であり、今回測定したホワイトニングフィルタ回路内の through 時におけるノイズレベルは $10^{-7} \sim 10^{-6} [V/\sqrt{Hz}]$ であるために、フィルタ回路のノイズの影響はそれほどないと考えられる。

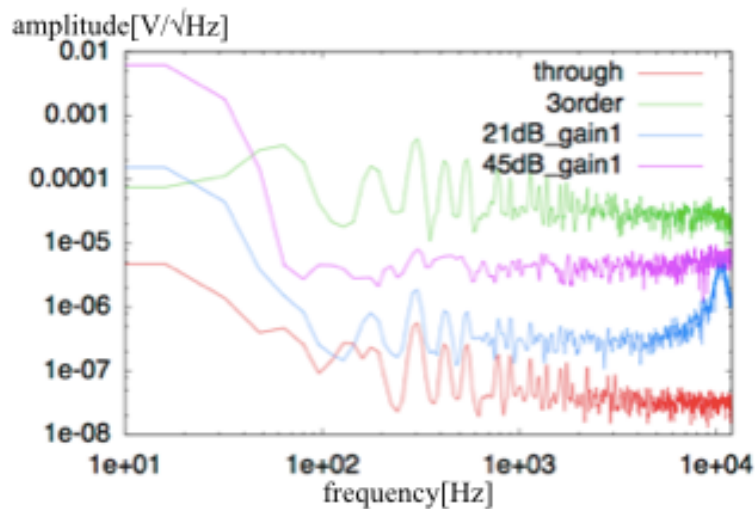


図 7: 測定したホワイトニングフィルタのノイズ

5 課題

ホワイトニングフィルタの測定自動化に向けて

1. ネットワーク上でスペアナ (SR785) を使用できるようになる
2. 今回の測定 (1 チャンネル) に関して自動化する
3. 1 基盤 (4 チャンネル) に関して自動化をする
4. 全チャンネルに関してビット制御、伝達関数測定とノイズ測定を行う

6 memo

SR785 のフロッピーディスク保存

まず、フロッピーに保存する前に Disk->DiskUpkeeping->formatfloppy で、フロッピーのフォーマットを変える。

保存は Disk->DisplaytoDisk で保存できる

また、Web 上に SR785 の Windows 版 Viewer が落ちているので、その Viewer を使うことでデータの閲覧と Ascii 書き出しが可能になる。

今回のデータは Freq,Real,Imag,phase を Ascii 書き出ししている。

先週まで神岡にてホワイトニングフィルタの伝達関数と回路内のノイズを測定

ホワイトニングフィルタはゲイン 0 45dB(3dB おき)、zero-pole filter 3 次と

可変になっているので、伝達関数はゲイン=1 のとき、zero-pole が 0,1,2,3 次における伝達関数 (ゲインと位相変化)

ノイズは zero-pole=0 次 のとき、0,21,45dB の周波数スペクトル

ゲイン=0dB とき、zero-pole が 0,1,2,3 次における周波数スペクトルを測定した

todo

干渉計制御 (オープンループ伝達関数など) のレクチャーも受けてきたので、上のとふまえて感度曲線のスペクトルからオープンループ伝達関数を用いて Error 信号の生成、Error 信号からホワイトニングフィルタを用いて ADC に入るノイズスペクトルを求める