

f1, f1' 切り替え法検討報告

麻生 洋一

佐藤法はBroadband用の制御法であった。
ではDetuneするにはどうすれば良いのか？

Detuneとは、SRCの長さをCarrierの共振からちょっとずらしてやること

SRC片道位相変化

$$\text{carrier: } \phi_{s0} = \frac{\Omega l_s}{c} \quad \text{f1: } \phi_{s1} = \frac{(\Omega + \omega_1) l_s}{c}$$

SRCはf1が共振するように制御されるので、 $\phi_{s1} = n\pi$ となる。

$$\Delta \phi_s \equiv \phi_{s1} - \phi_{s0} = \frac{(\omega_1) l_s}{c} \quad \text{が}\pi\text{の整数倍であれば、carrierもSRCに共振}$$

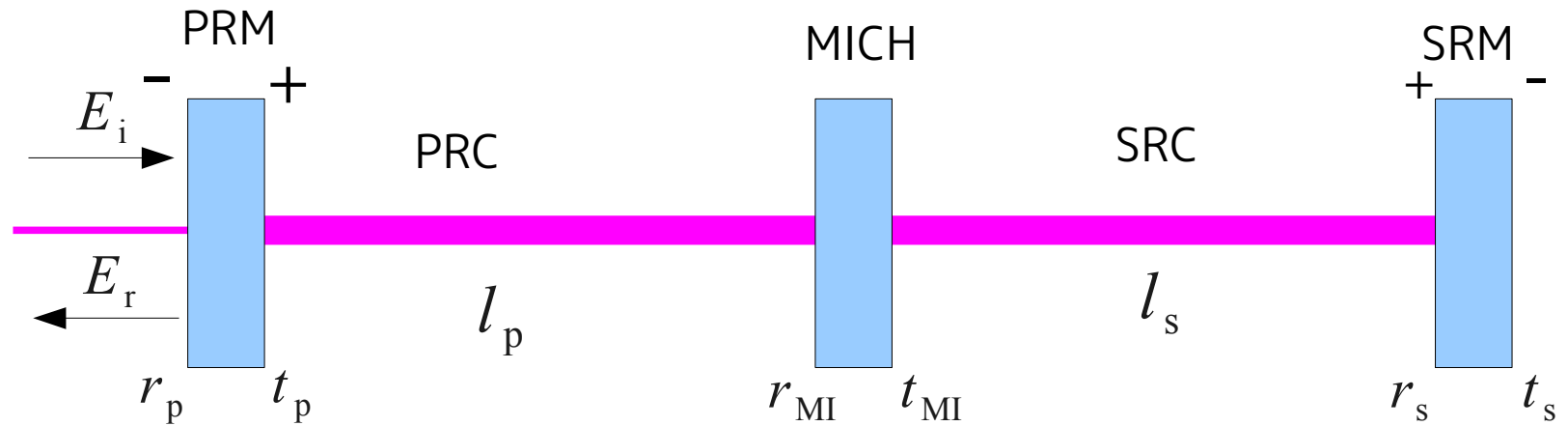
逆に、 $\Delta \phi_s$ が π からずれるように、 ω_1 や l_s を選んでやれば、detuneできる。

新制御法では、Broadband用のf1と、detune用のf1'を切り替えて使う

f1'の周波数では、SRCのFinesseがあまり高くないようにして、
SRCエラー信号にオフセットを加えることで、可変detuneを実現したい

ミラーを変えずにどうやってSRCのFinesseを変えるか？

DRMI干渉計は、MICHを鏡と見做せば三枚鏡Cavity



SRCのFinesseは、 r_s と、SRMから見たPRCの反射率で決まっている。
 r_s は製造時に決まっているので、変えられない。

PRCの反射率は、PRCの共振条件及び、 r_p と r_{MI} の値で決まる。

一般にCavityの反射率が下がるのは、共振しているとき。

さらに、 r_p と r_{MI} の値が近いと、Critical couplingに近づき、PRCの反射率が大きく下がる。すなわち、SRCのFinesseが下がる。

r_{MI} は、 l と f_1' の周波数で変えられる。

$$r_{MI} = r_{itm} \cos\left(\frac{l - \omega_1'}{c}\right)$$

うまく $r_{MI} \sim r_p$ となるような f_1' を選ぶ。

可変帯域制御法の設計手順

1. f_2 の周波数を選ぶ(30MHz-60MHz)

2. l_- を f_2 がMICH完全反射という条件から選ぶ

$$\frac{2\pi l_- f_2}{c} = m_m \pi \longrightarrow l_- = \frac{m_m c}{2 f_2}$$

(m_m が奇数の時MI反射率は-1, 偶数の時+1)

Asymmetryを10m以内に収めるには、 $m_m = 4$ 程度までが限界

3. f_2 がPRCに共振するという条件から l_p を決める

$$\frac{2\pi 2l_p f_2}{c} = m_p \pi \longrightarrow l_p = \frac{m_p c}{4 f_2}$$

ただし、 m_m が奇数の時、 m_p は偶数

m_m が偶数の時、 m_p は奇数

l_p は長すぎず、短すぎずが肝要。

長すぎるとスペースを取りすぎる。

しかし、Radiation Shield(25m)用の長さ、 l_- 用、さらに、RCのFolding用の長さも必要。

だいたい45m-60m程度。

3. f_1 の周波数をMI完全透過条件から決める

$$\frac{2\pi l_- f_1}{c} = (n_m + \frac{1}{2})\pi \longrightarrow f_1 = \frac{2n_m + 1}{2m_m} f_2$$

$$\text{但し、} f_1 < f_2 \longrightarrow n_m < \frac{2m_m - 1}{2}$$

4. f_1 がPRC-SRCに共振するように l_s を決める

PRC-SRCの往復位相変化は

$$\phi_{ps} = \pi + \frac{2\pi 2(l_p + l_s)(f_1 + f_c)}{c} = \pi + \frac{2\pi 2l_p f_c}{c} + \frac{2\pi 2l_s f_c}{c} + \frac{2\pi 2(l_p + l_s) f_1}{c}$$

MI2回透過

CarrierはPRC単体反共振

π

$2\phi_s$

$$\begin{aligned} \phi_{ps} &= 2\pi n_s \\ \phi_s &= 0 \end{aligned} \longrightarrow l_s = \frac{n_s c}{2f_1} - l_p$$

5. f_1' がPRCに共振するように周波数を定める

$$\frac{2\pi l_p f_1'}{c} = n_p' \pi \longrightarrow f_1' = \frac{n_p'}{m_p} f_2$$

$$r'_{m1} = \cos\left(\frac{2\pi l_p f_1'}{c}\right)$$

$$r'_{m1} > 0 \quad n_p' : \text{奇数}$$

$$r'_{m1} < 0 \quad n_p' : \text{偶数}$$

6. f_1' のdetuningを求める

f_1' はPRCに単体共振しているのに、SRCには単体反共振

$$\frac{2\pi l_s f_1'}{c} + \phi_s' = \frac{\pi}{4} \{1 + \text{sgn}(r'_{m1})\} \longrightarrow \phi_s' = \frac{\pi}{4} \{1 + \text{sgn}(r'_{m1})\} - \frac{2\pi l_s f_1'}{c}$$

$\phi_s' = \frac{\Omega l_s}{c}$ SRC内carrierの片道位相変化 NS-NS最適化などに必要な ϕ_s' は、0.3+/-0.1 rad ぐらい

7. MCのFSRを求める

f_1, f_1', f_2 は全てMC FSRの整数倍でなければならない

$$f_{MC} = \frac{f_2}{k} \longrightarrow f_1 = \frac{2n_m + 1}{2m_m} f_2 = k \frac{2n_m + 1}{2m_m} f_{MC} \quad f_1' = \frac{n_p'}{m_p} f_2 = k \frac{n_p'}{m_p} f_{MC}$$

$\frac{2n_m + 1}{2m_m}$ の既約表現を $\frac{\beta}{\alpha}$ $\frac{n_p'}{m_p}$ の既約表現を $\frac{\zeta}{\gamma}$ とすると、 $k = \text{LCM}(\alpha, \beta)$

f_{MC} が小さいとMCが長くなる。1MHzで150m程度。

f_2 と整数パラメータ m_p, m_m, n_m, n_p' を決めると

————▶ $l_p, l_-, f_1, f_1', l_s, \phi_s', r'_{m1}, f_{MC}$ が決まる

f_2, m_p, m_m, n_m, n_p' をスキャンして、

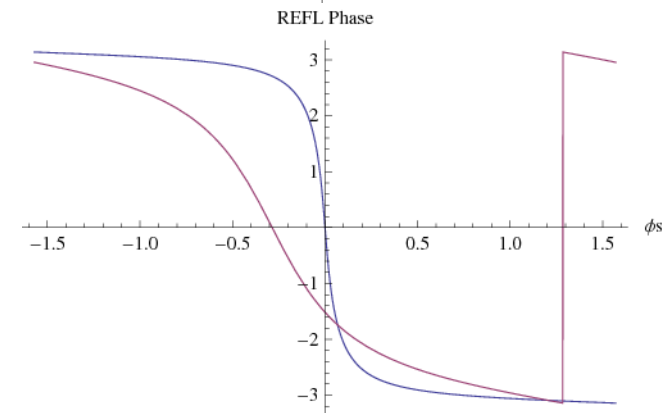
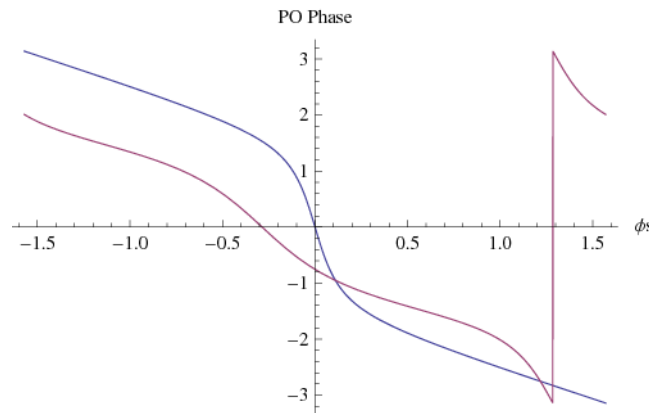
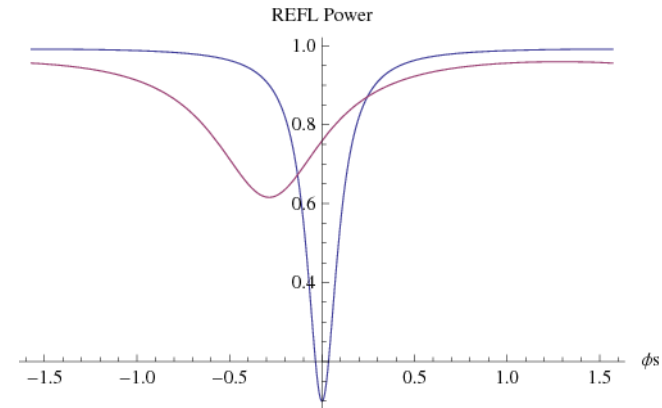
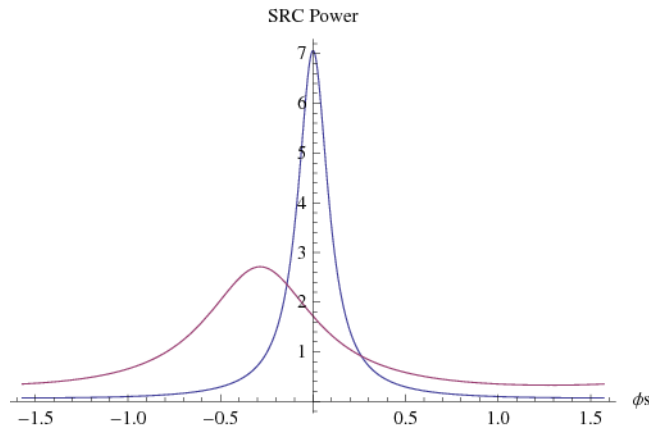
- (1) 長さパラメータが適当な範囲に入っている
- (2) 変調の和周波が70MHz以下で、 $f_1, f_1' \neq f_2/2$
- (3) f_{MC} が小さすぎない (1MHz以上)
- (4) ϕ_s' が0.3程度
- (5) f_1' のMI反射率がPRM反射率に近い(ただし、 $r_{m1}' < r_p$)

以上の条件を満たすパラメータセットを探す

見つかった解の例

$$f_2 = 45\text{MHz}, f_1 = 11.25\text{MHz}, f_1' = 16.36\text{MHz}, f_{\text{MC}} = 1.023\text{MHz}$$
$$l_p = 55\text{m}, l_- = 6.7\text{m}, l_s = 65\text{m}$$

青: f_1
赤: f_1'



f_1' の共振は ϕ_s' を中心として緩やか。

欠点: MCがちょっと長い (150m)

今後

得られたパラメータを使って、Sensing Matrixの計算を試みる
(信号分離比の良いMatrixが得られるか?)

特にdetuneの場合、 $f1'$ はsingle sidebandになるので佐藤法とは大きくSensing Matrixが変わってくるはず

$f1'$ では、可変レンジを広げるために信号の大きさを犠牲にしている。
ループ雑音が大丈夫かどうか要確認

$f1$ のPRC-SRCに対する反射率は約10%

このSidebandを使ってCARMの信号を取るので、Shot noiseが悪化しないか

SidebandのArm Cavityに対する共振条件を確認する

Carrier共振の近くにSideband共振がある場合、Lock acquisitionが困難になる

Central PartのLock Acquisition用にNon-resonant sidebandを追加したほうが良いかも