



Triple Resonant EOM の 開発

東大天文 和泉究



開発の概要

- 1つの EOM で一度に3つの異なる周波数の位相変調を加える回路を開発
- aLIGOに使えるかの性能評価試験
- カルテク40mにインストール予定
- EOM に対して LC 共振回路とトランスを組み合わせ、欲しい周波数にピークをもたせる
- プロトタイプが完成、商用の共振型 EOM に匹敵する性能を達成

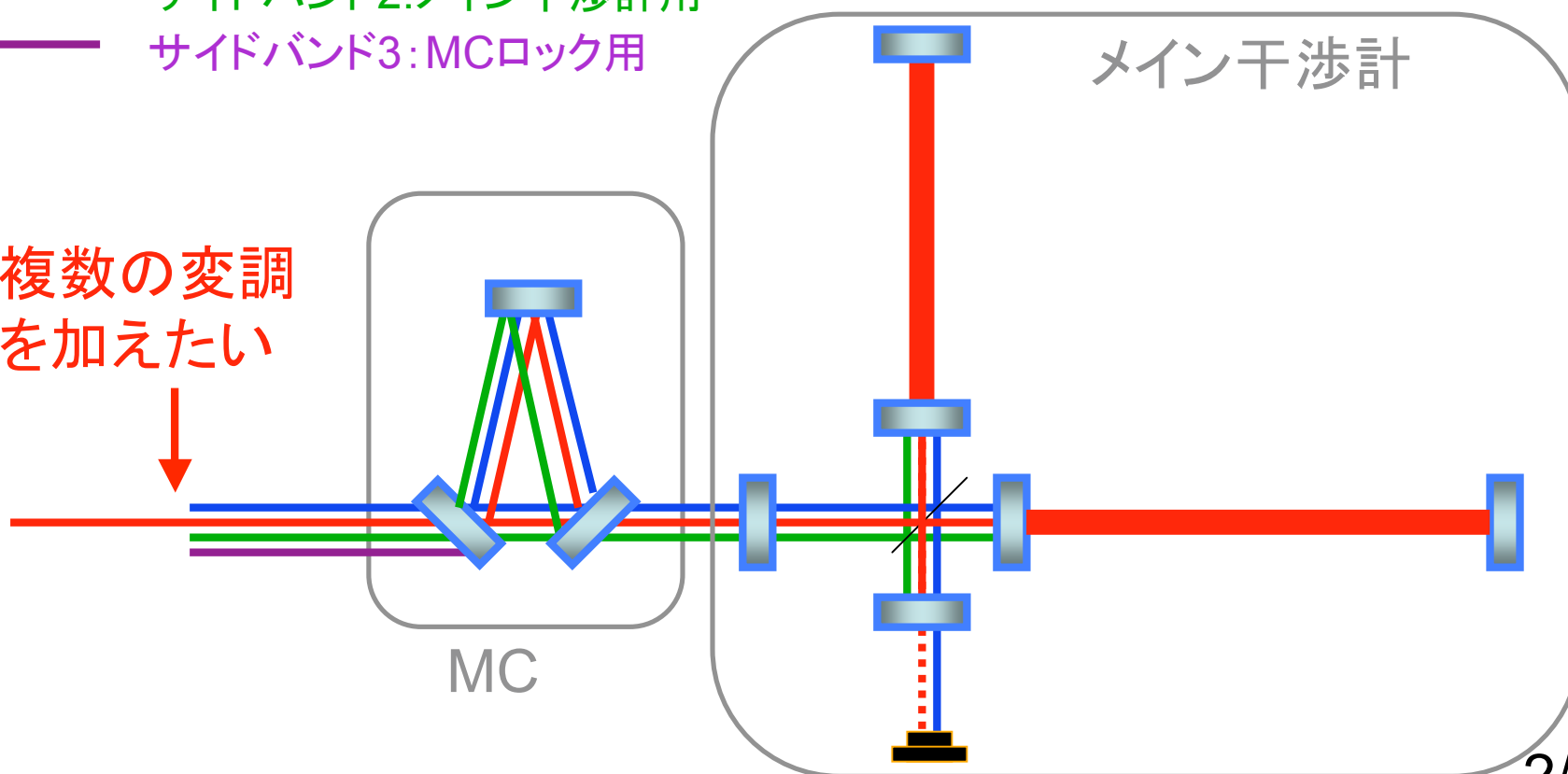
複数周波数の変調

RSE 干渉計制御の信号取得のため & MCをロックするため

シリーズに EOM を挿入すればよい (マッハツェンダーがいらない)

- キャリア
- サイドバンド1:メイン干渉計用
- サイドバンド2:メイン干渉計用
- サイドバンド3:MCロック用

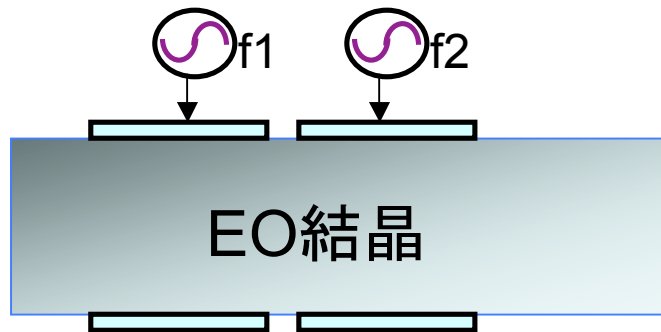
複数の変調
を加えたい



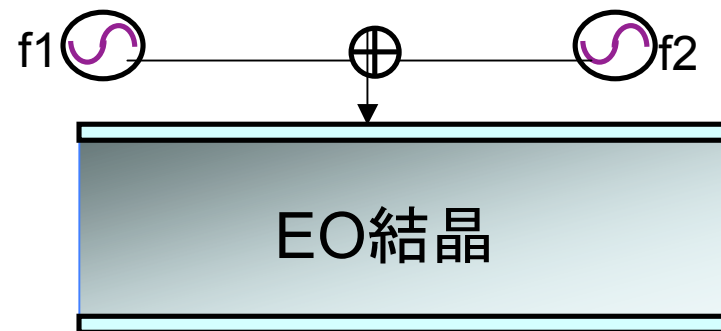
シリーズEOM

EOMを1台にすることでインサクションロスを減らせないか
ハイパワーレーザーへの対応

2つの方法が考えられる



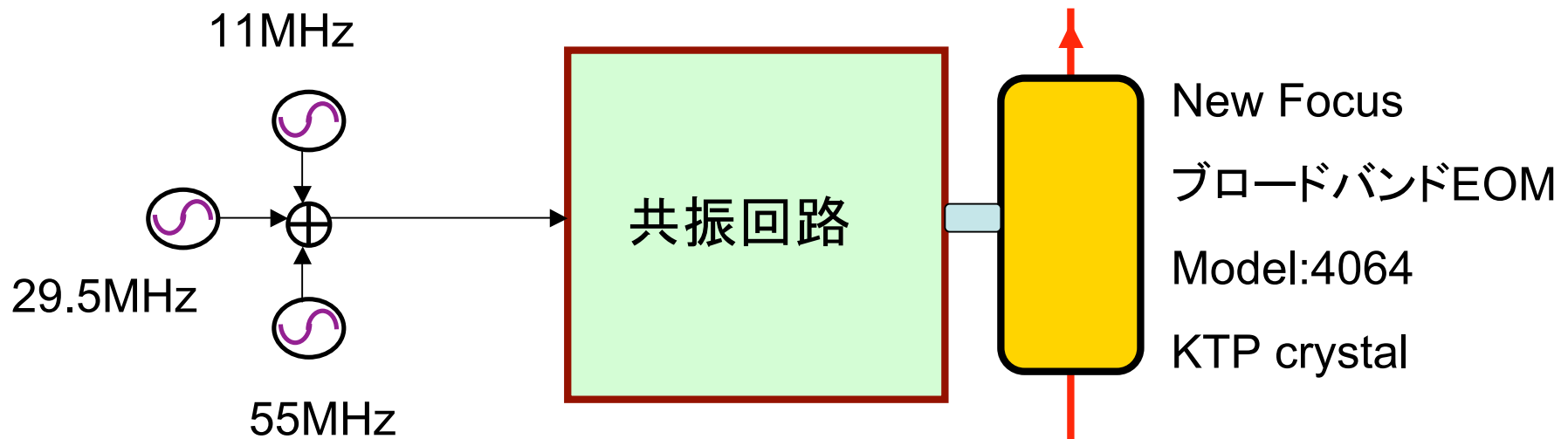
N個のインプット & 極板
フロリダ大学で開発済み



1個のインプット & 1つの極板
カルテク40mで開発中

Triple Resonant EOM

- ★ EOM = ポツケルス効果を用いた変調器
- ★ EO結晶にかかる電圧に比例して変調指数が増加
- ★ EOMの直前に共振回路をつけて3つの周波数でEO結晶にかかる電圧を最大化



トランスの働き

EO 結晶に印加される電圧を増加させたい

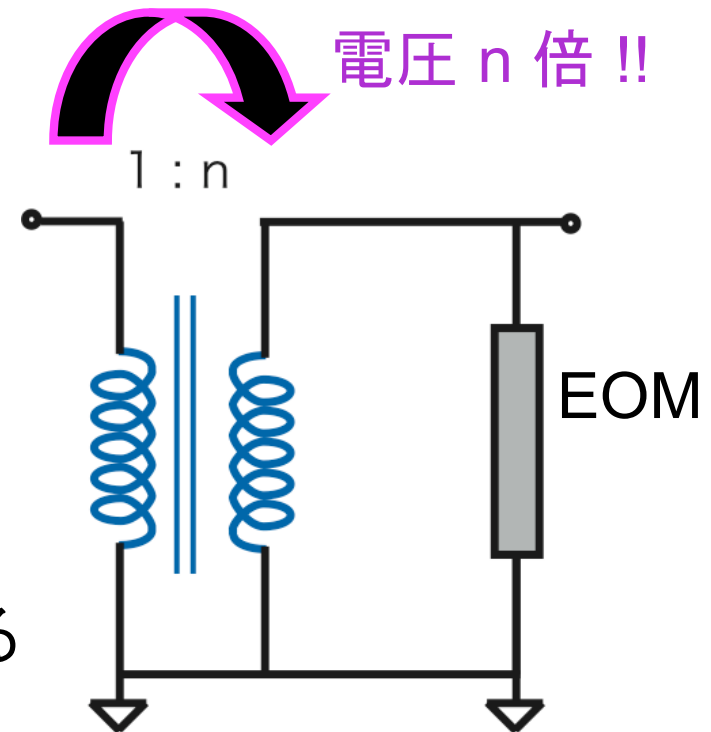
トランスを使う

★ 巻き数比 n だけ電圧を昇圧できる

ところが 入力側から回路を見ると



★ インピーダンスが n^2 だけ小さく見える



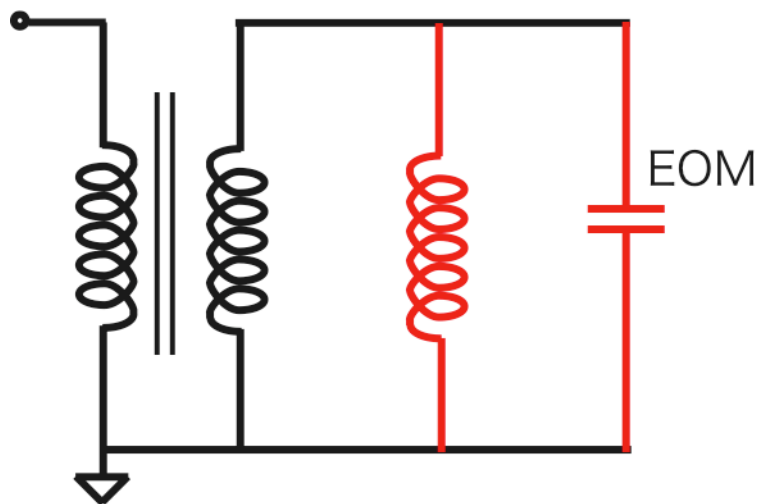
トランスの後ろ側で十分にインピーダンスが大きくないと
そもそもインプット側に電圧がかからない

インピーダンスを大きくする

トランスを挿入するとインピーダンスが下がって見える

➡ 欲しい周波数で大きなインピーダンスを持たせておく

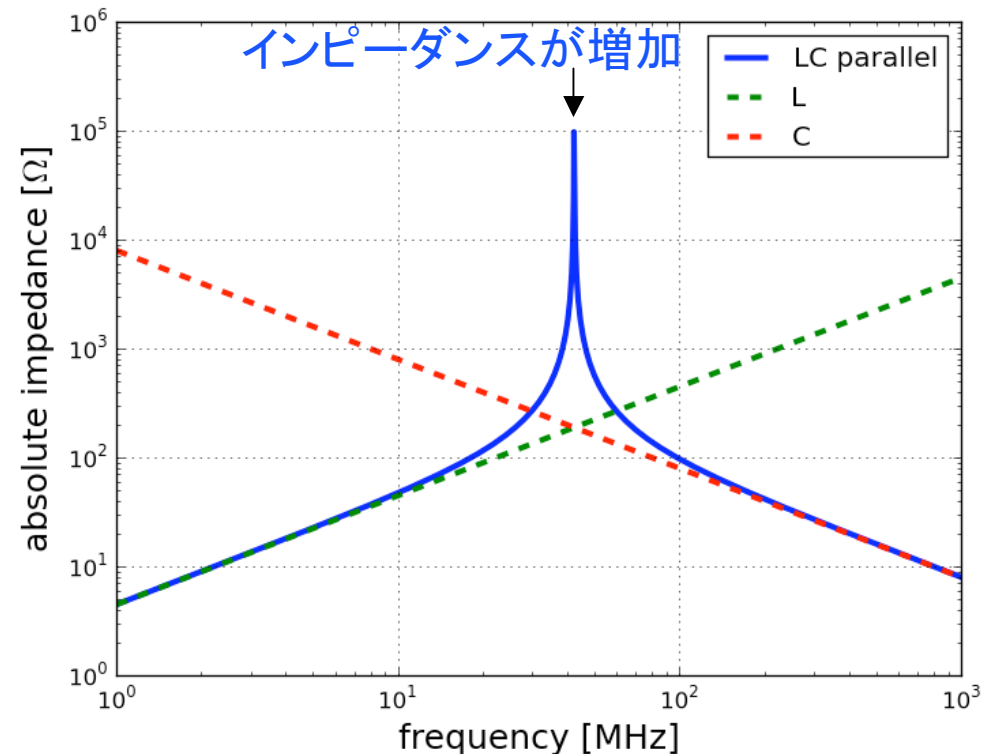
LC並列回路を使う



(EOMは単なるCとしてとり扱える)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

LCの積が一定なら同じ周波数



共振時インピーダンスの大きさ

インピーダンスマッチ状態 $Z_L/n_{\max}^2 = 50\Omega$

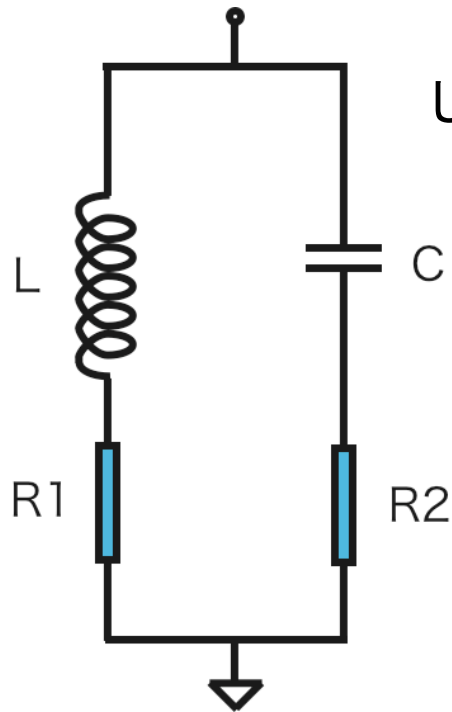
このとき最大ゲイン $G_{\max} = n_{\max} = \sqrt{\frac{Z_L}{50\Omega}}$

インピーダンスが大きいほどゲインが大きい

しかし抵抗(ロス)の影響でインピーダンスの大きさは限定される

共振時インピーダンス

$$Z_{\text{res}} \approx \frac{L}{CR} \quad (R=R_1+R_2)$$

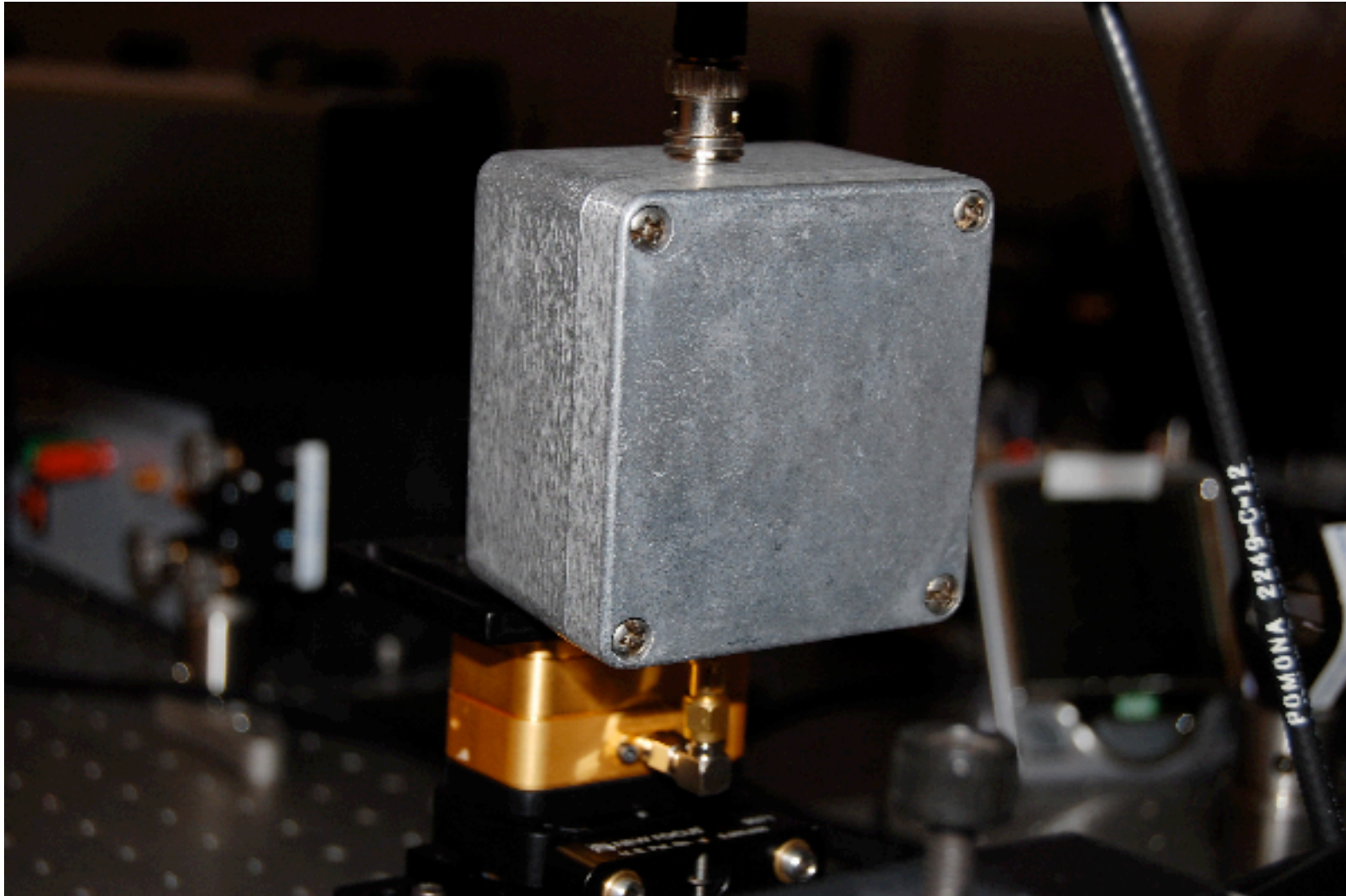


LC = 一定(周波数固定)では **C小, L大** のとき
ロスも小さく、最良であることが測定から判明

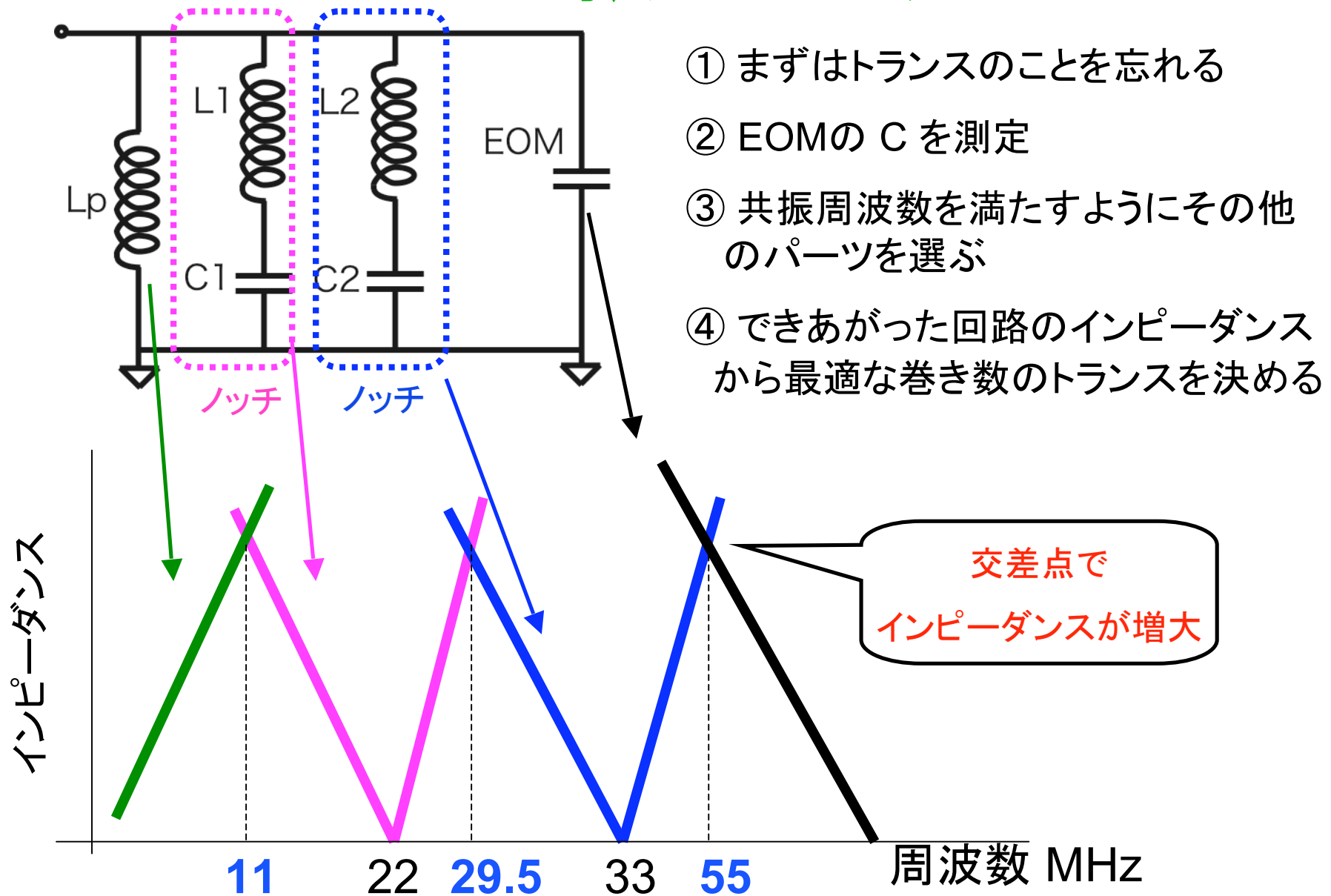
一旦まとめ

- 1入力の3周波数EOMを開発
- トランスは昇圧できるが、インピーダンス低下を招く
- 大きなゲイン = 大きな巻き数 = 大きなインピーダンス
- 小さいC, 大きいL を選ぶとインピーダンスが最大化

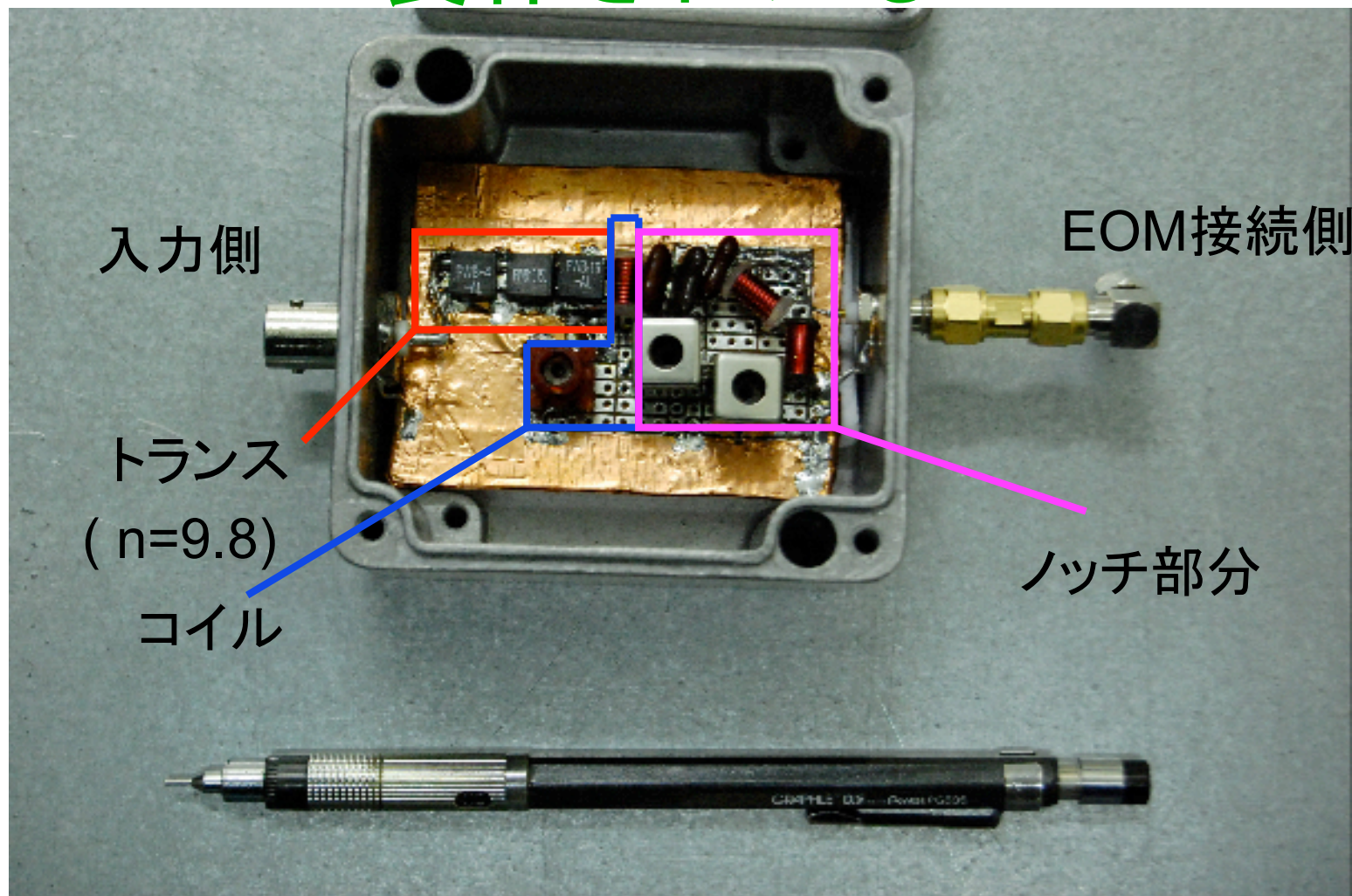
いよいよトリプルの話



3つの共振のつくりかた



製作されたもの



出力まわりの配線を変えると寄生容量が変化してしまう...

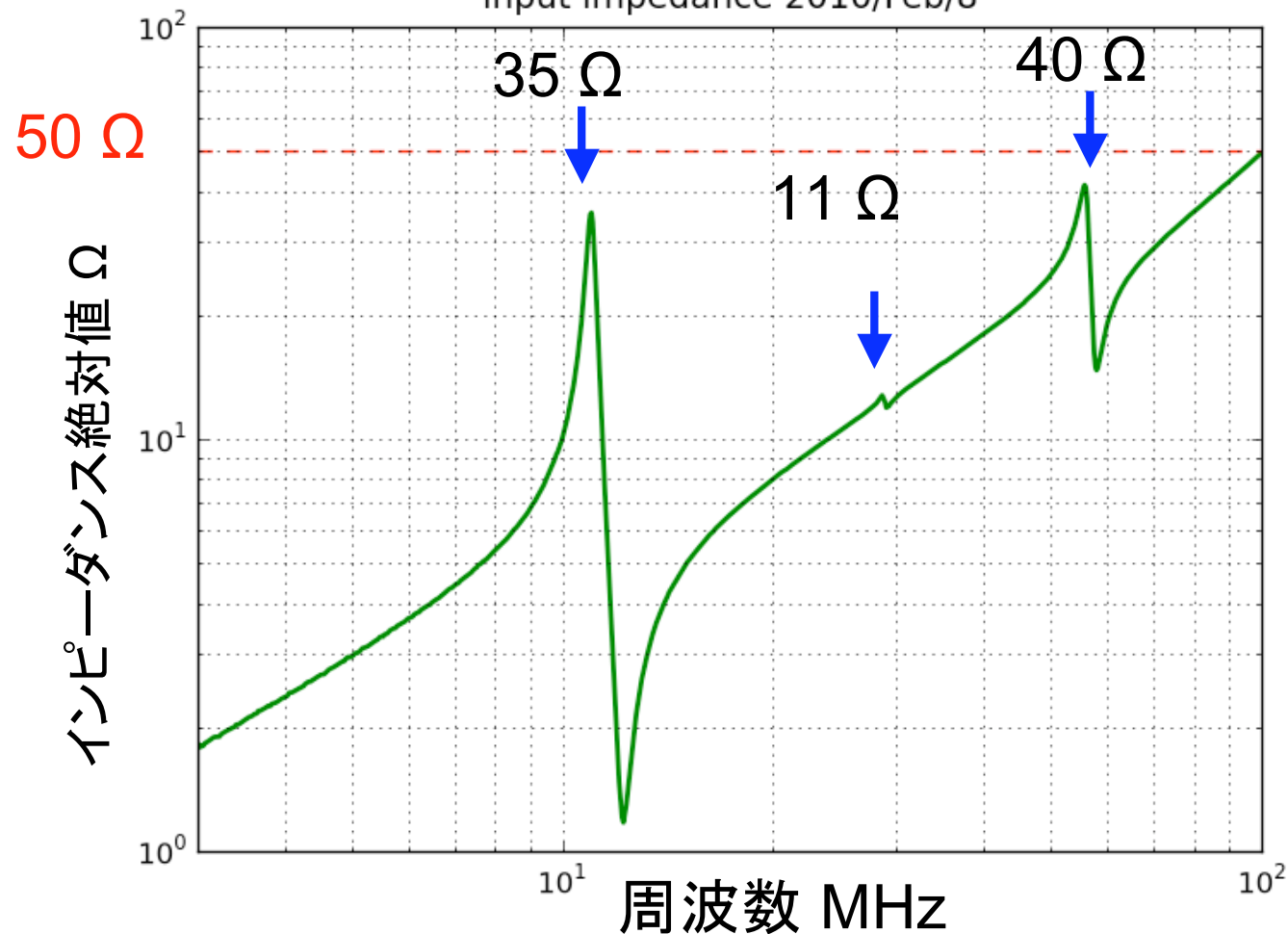
周波数チューニング用に可変インダクタをいれた

入力インピーダンスチェック

EOMを含めた回路の入ピーダンス測定は非常に難しい

入力インピーダンスから回路の状態を推し量る

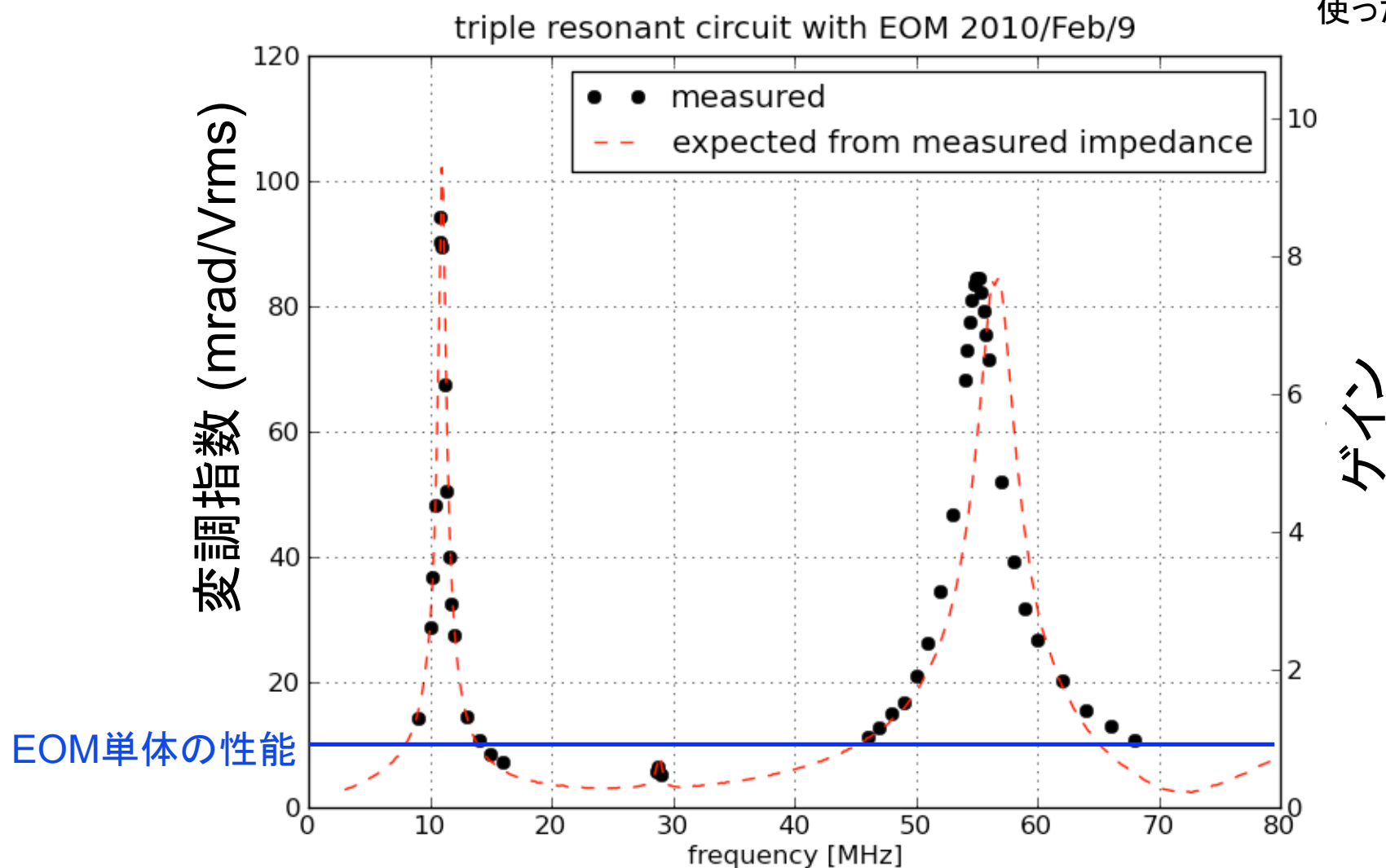
11MHzと55MHzは割と50Ωに近い => トランスを効率よく使えている



光学的な周波数応答テスト

11MHz & 55MHz で予想どおりの応答がえられた！

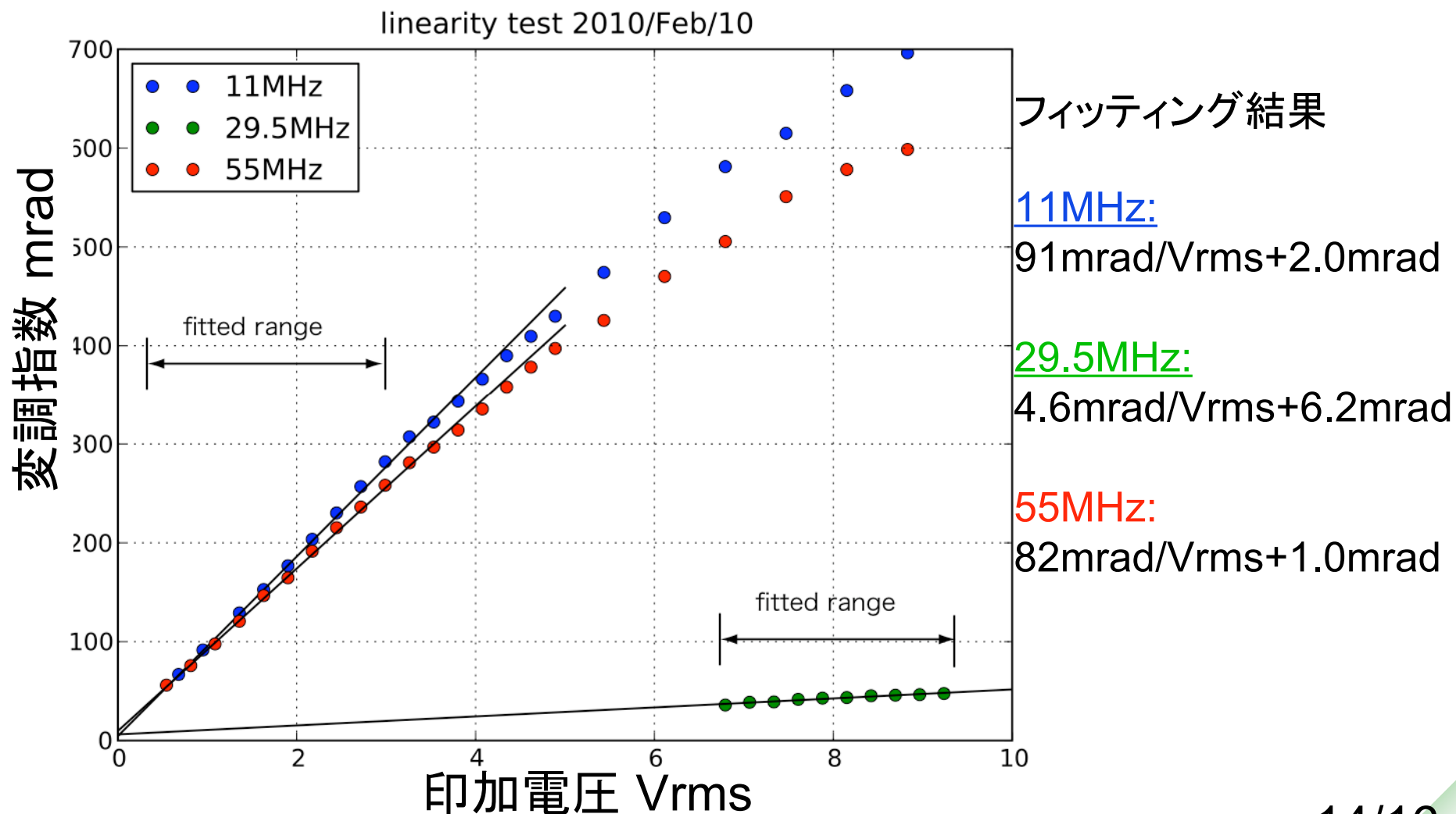
光スペアナを
使った測定



線形性テスト

当初心配されたトランスコアの飽和は見られなかった Good !

市販のシングルレゾナントEOM (KTP) と同等の変調効率 Good !





問題点と今後

★ 3つの共振全てでマッチングを取るのは難しい

➡ ミスマッチがどういう悪さをするかリサーチ

★ トランスを挿入するとロスが増える？

➡ メカニズムの解明 & よい製品のチョイス

★ 29.5MHz の性能が悪い。ロスのモデルが甘い？

➡ 現在コンデンサのロスの取扱いを再調査中

以上を踏まえて最終バージョンを作成 & インストール予定

まとめ

- 1つのEOMで3つの異なる周波数の位相サイドバンドを一度に加える回路を開発
- トランスを用いた昇圧、トランスによるインピーダンスの低下
- ゲインを大きくするにはインピーダンスを大きくする必要
- LC 共振回路でインピーダンスを大きくする
- プロトタイプで $80\text{-}90\text{mrad/V}_{\text{rms}}$ @11MHz, 55MHzを達成
- 最終バージョン製作にむけて現在リファイン中

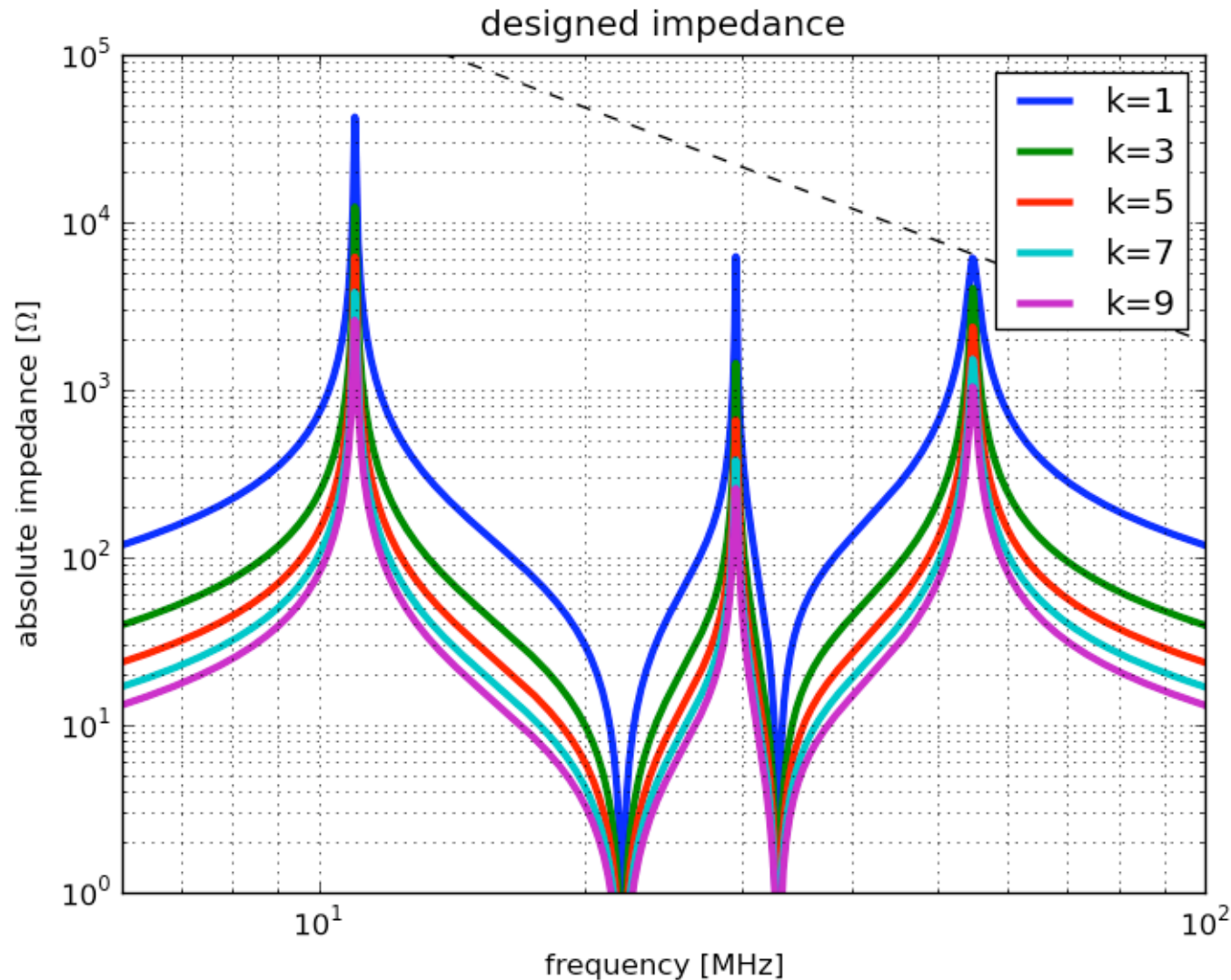


おわり

Appendix. コンポーネントの最適化

どうやって L と C を選ぶか？

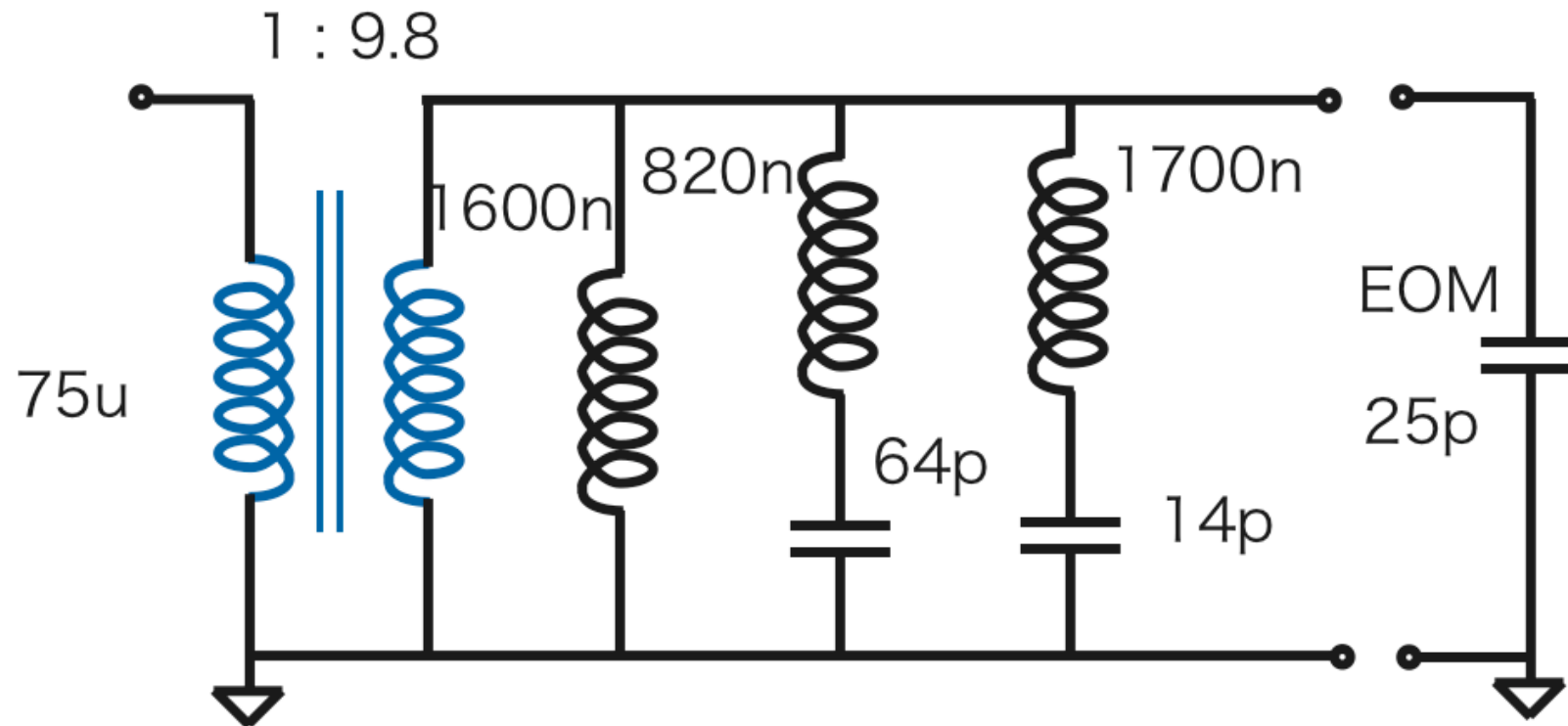
L と C のロスモデルを導入、インピーダンスができるだけ大きくなる解をサーチ



k:相似比

k=1 (EOMを
そのまま使う)
が最もよい

Appendix. 最終パラメタ



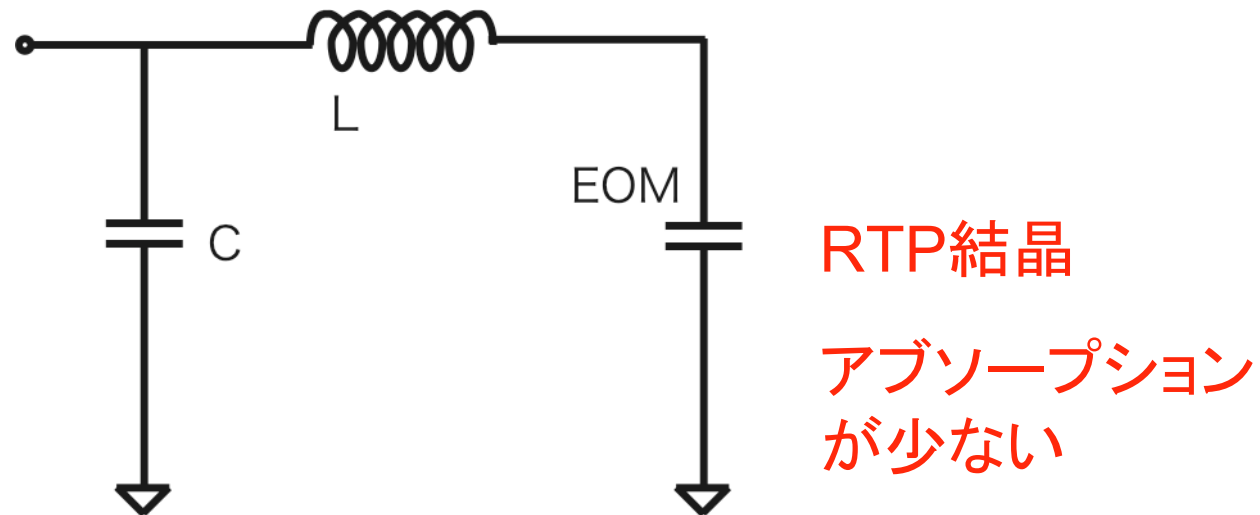
寄生容量 $\sim 15\text{pF}$

トランス漏れ磁場 $\sim 70\text{nH}$

EOMロス DC抵抗換算 $\sim 4\Omega$ @50MHz

Appendix. フロリダ形式

Pi - network style resonant enhancement



同様の回路を3つ用意。1つのケースに1結晶と3回路を詰め込む
どれだけアドバンテージがあるかは調査中