

Total Harmonic Distortion Measurement System of Electronic Devices up to 100MHZ with Remarkable Sensitivity

Takanori Komuro, Shingo Sobukawa
Haruo Kobayashi, Hiroshi Sakayori

発表の概要

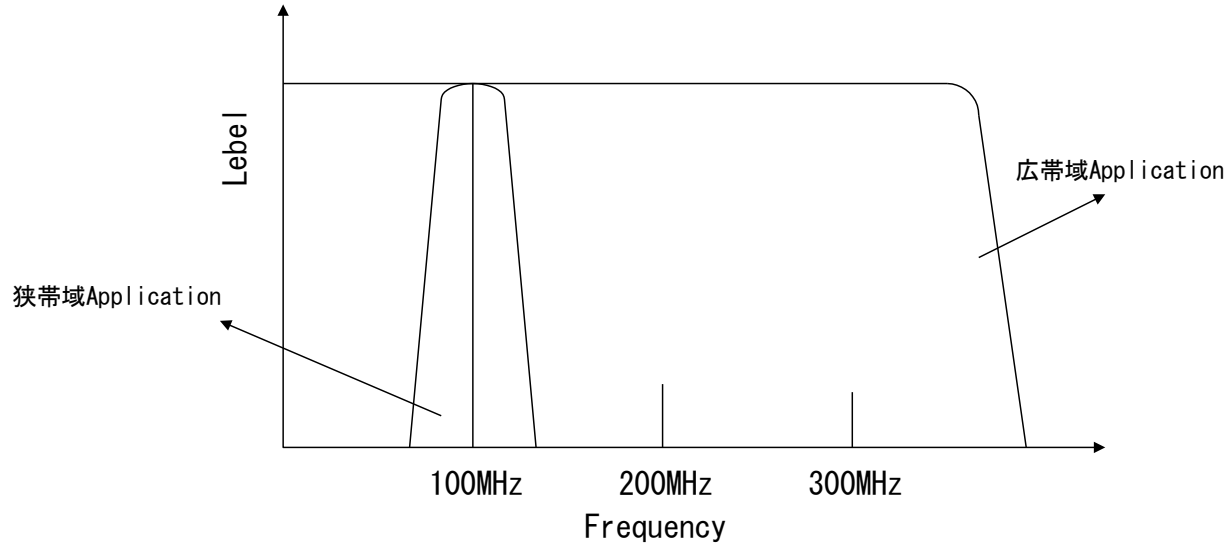
- 研究の背景と高調波歪の測定方法
- 製作したFilter
- Filterの特性の検証
- 高調波歪率計測の応用
- まとめ

発表の概要

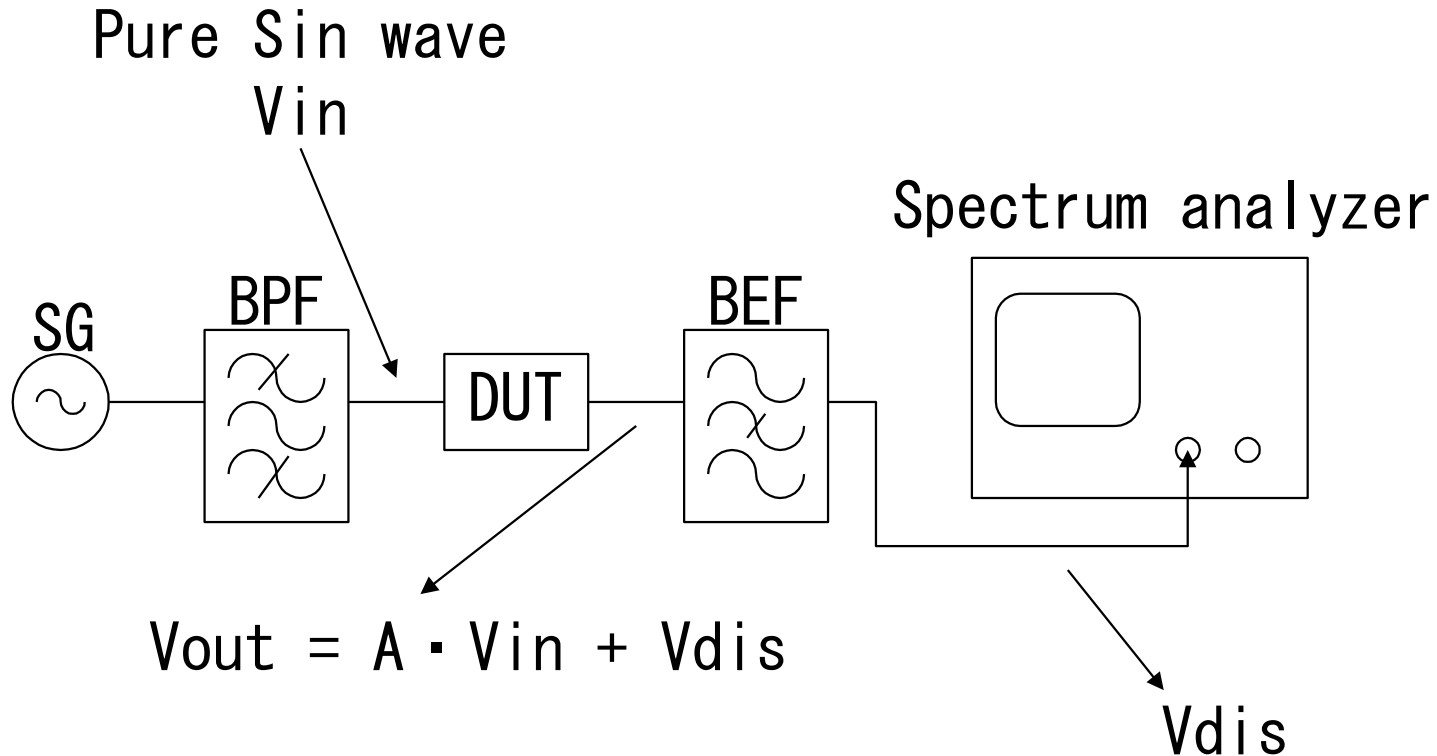
- ・研究の背景と高調波歪の測定方法
 - 製作したFilter
 - Filterの特性の検証
 - 高調波歪率計測の応用
 - まとめ

Audio帯域以外での歪率測定

- ヘテロダイン技術によるRF回路の場合
→ 搬送波の2倍以上の周波数に出る高調波歪は関心の外
- ADC/DACを中心とした高速回路の場合
→ 高調波歪の測定は適切な評価手法



高調波歪の測定原理



$$(\text{歪率}) = V_{dis} / A \cdot V_{in} \doteq V_{dis} / V_{out}$$

これをAudioでは%表示、その他はdBcで表記するのが一般的

歪率測定の実際

Audio帯域 (~100kHz)

- Active Filterにより、 -120dBc まで測定可能
- 市販測定器が存在する。

100MHz以上の帯域

- Spectrum AnalyzerのDynamic Range (90dB) で一応OK

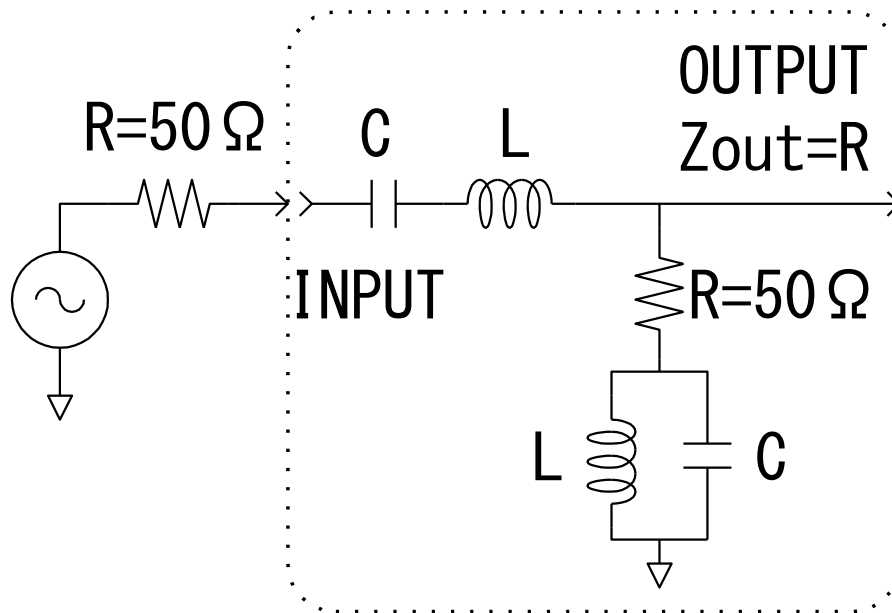
100kHz ~ 100MHzの帯域

- 90dB以上のDynamic Rangeを持つADC/DACが開発されている。
- Active Filterに変わる手法が必要
定インピーダンス・フィルタの多重接続

発表の概要

- 研究の背景と高調波歪の測定方法
- 製作したFilter
- Filterの特性の検証
- 高調波歪率計測の応用
- まとめ

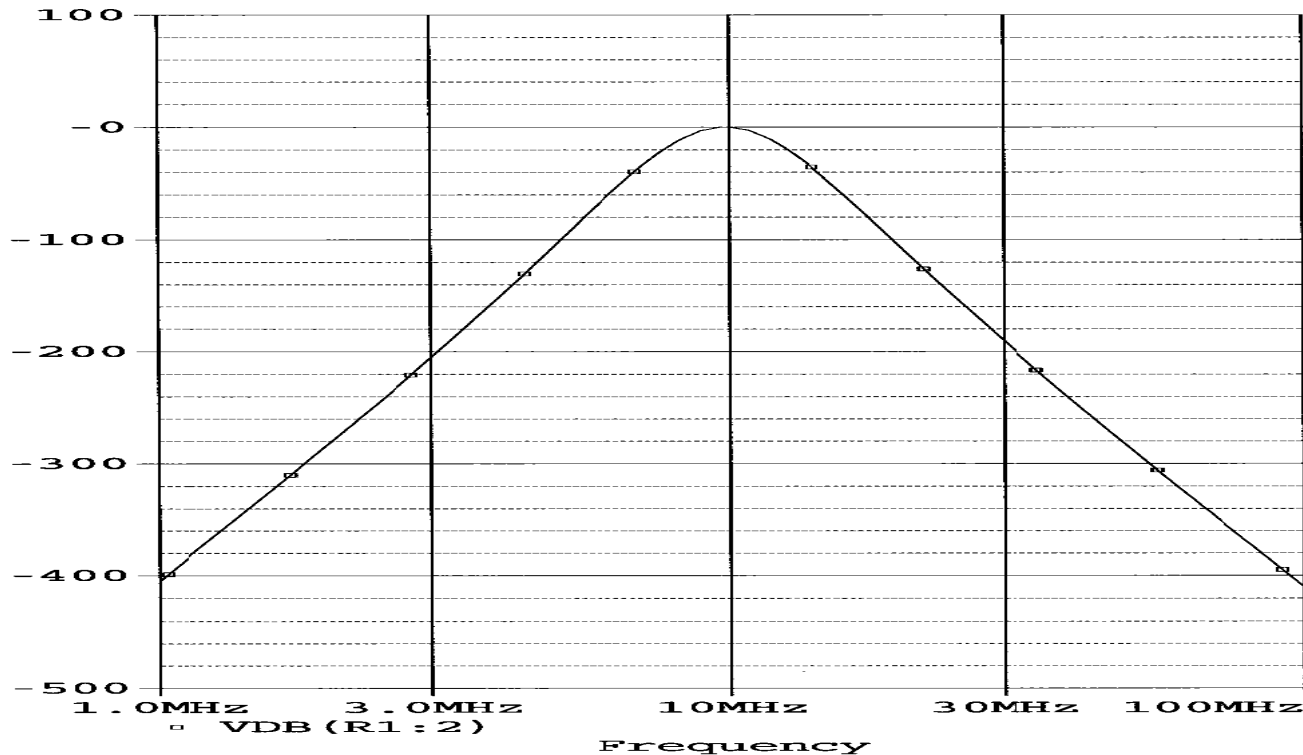
定出カインピーダンス型 Band-pass filter



$$\begin{aligned} L &= CR^2 \\ f_0 &= 1/2\pi\sqrt{LC} \\ Q &= 1 \end{aligned}$$

- 出カインピーダンスが一定で縦列接続(21段)が可能
→ f_0 に対して $2f_0$ 、 $3f_0$ を十分に減衰させることが可能
- Q が低く、素子のバラツキの影響を受けにくい

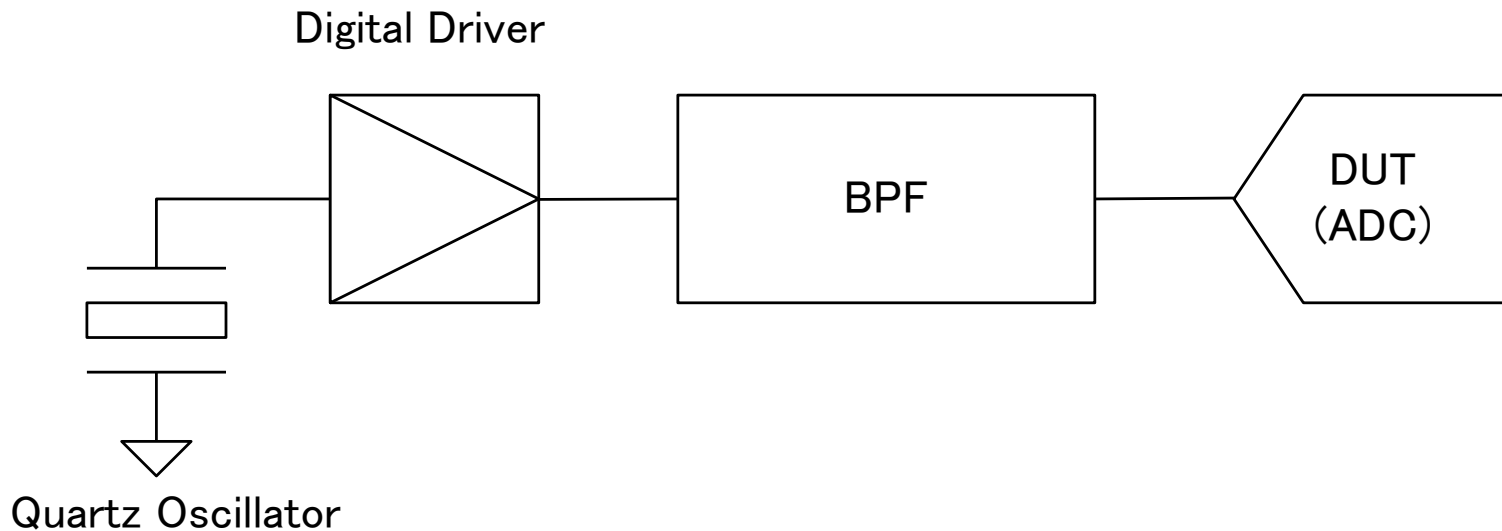
21段BPFの特性 (Simulation値)



- -130dB以上の減衰を実測するのは困難

21 段BPFの意義

- Jitterを低減するために、信号源として矩形波を用いるためには、3次高調波を十分に減衰させる必要がある。



使用部品の選定

Lが問題！！

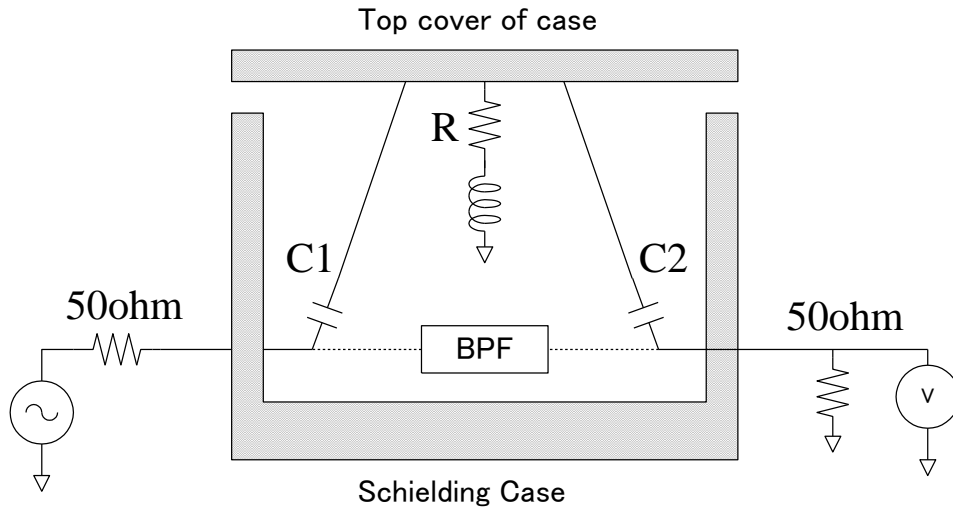
- 低い周波数ほど大きなLが必要
- 電流が増えるにつれて、コアが歪む！！
- 比透磁率の高いコアほど歪みやすい
 - 比透磁率の低いコアは外形が大きくなる
- 複数使用により、1個あたりの電流を減らす
- ひずみをSpecしているCoreはない

定出カインピーダンス型 Band-pass filter 実装方法

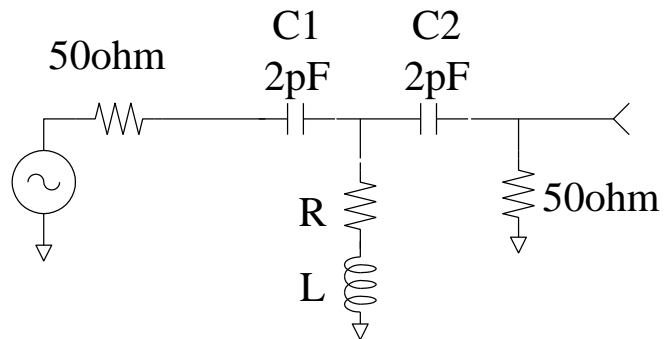


- 簡単なケースでは、-120dBcでの再現性が不足
- アルミ削出しケースにスタッドで固定

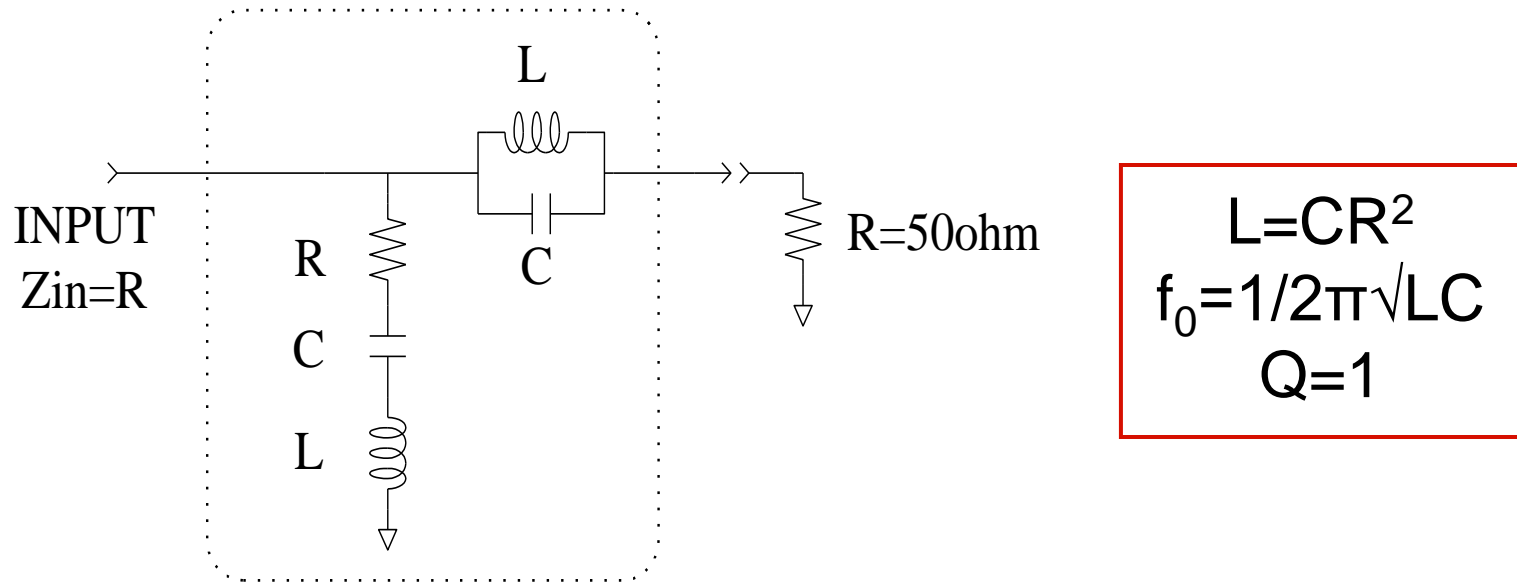
ケースの蓋の影響



- ケースと蓋の間に抵抗分があると、-130dの減衰は得られない。

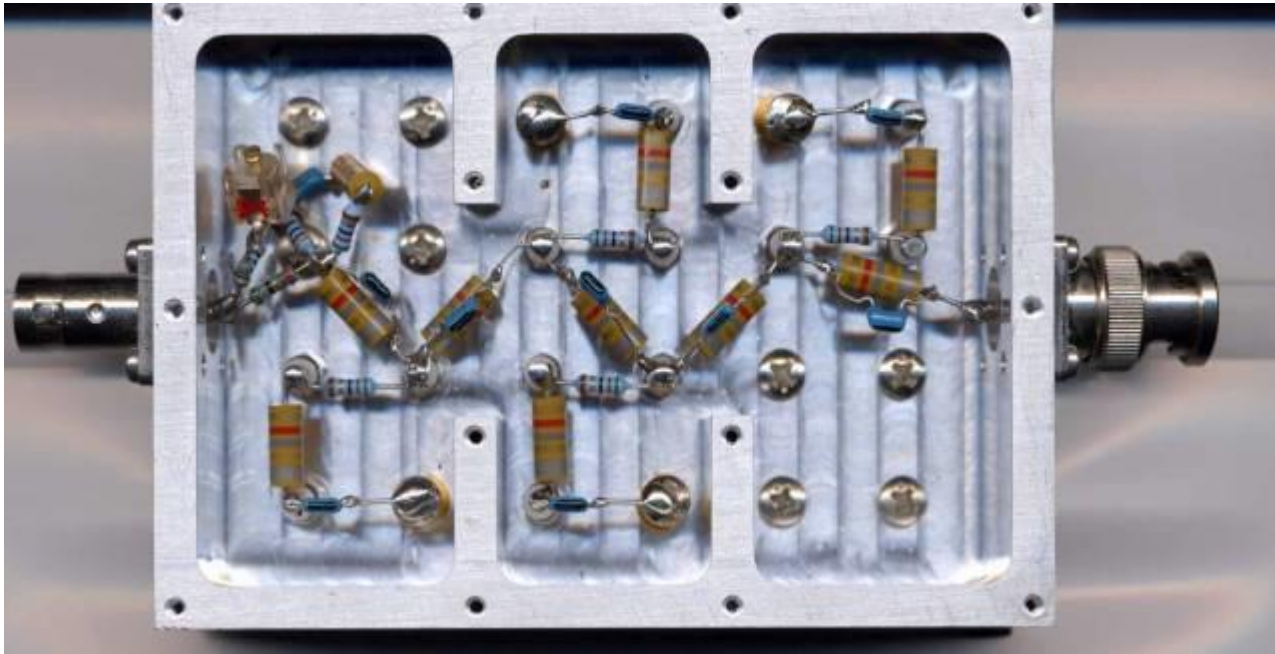


定入カインピーダンス型 Band-elimination filter



- 基本波のみを減衰させて、スペアナが扱える程度にまで高調波とのレベル差を小さくする。

定入カインピーダンス型 Band-elimination Filter



- BPFと同様に構成可能（5段構成）
- f_0 に対して $2f_0$ 、 $3f_0$ も多少減衰するが、その補正は容易

発表の概要

- 研究の背景と高調波歪の測定方法
- 製作したFilter
- **Filterの特性の検証**
- 高調波歪率計測の応用
- まとめ

測定系の残留歪特性

Frequency Response				Over All	
Frequency	BPF Loss	BEF Nitch	2nd Distortion	3rd Distortion	Signal Voltage
Hz	dB (@1f)	dB (@1f)	dBc	dBc	V _{p-p} RL=50ohm
1M	-6.5	-110	-143	-135	5
2M	-5.0	-119	-142	-146	5
5M	-5.6	-110	-146	-146	5
10M	-6.0	-106	-144	-142	5
20M	-6.0	-104	-136	-150	5
50M	-6.3	-110	-149	-153	3.1
100M	-5.6	-106	-143	-129	3.3

特性の検証

- BPFの出力を直接BEFに接続して確認した
- BPFの歪がBEFで打ち消されるとは考え難い
- -110dBcが限界であったProto Typeが正常に評価されている

発表の概要

- 研究の背景と高調波歪の測定方法
- 製作したFilter
- Filterの特性の検証
- **高調波歪率計測の応用**
- まとめ

何の歪が測れるのか？

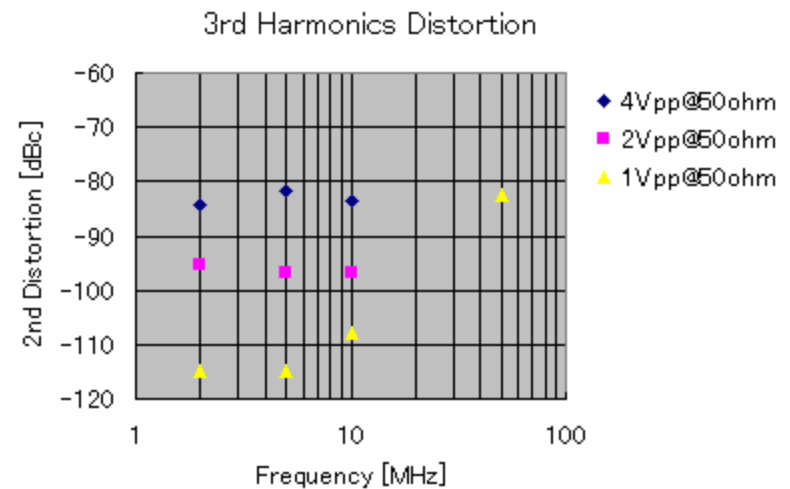
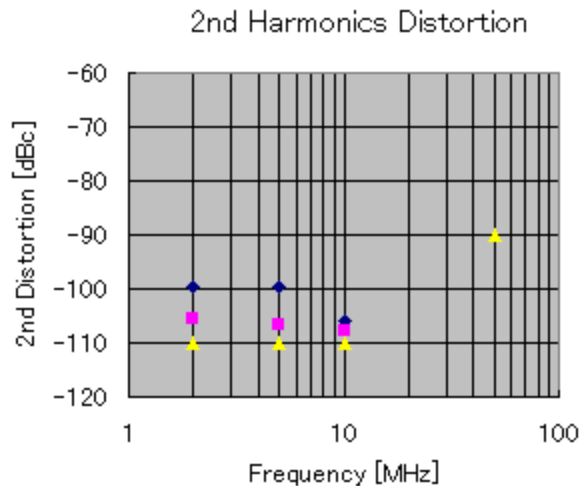
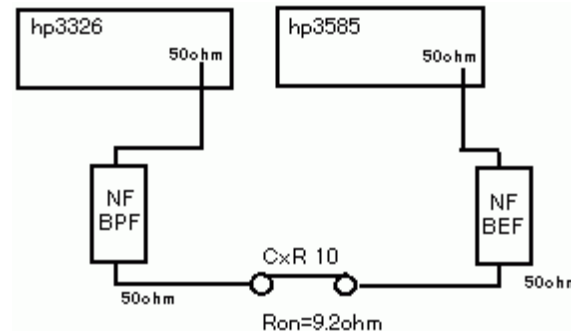
- Amp, Filter
- 受動素子 : C, L, Relay
- 信号源 : SG, DAC
- Receiver : Spectrum Analyzer, ADC

-120dBcは、1ppmに相当する。

歪の発生要因 ？

- Diode的な動作：接点のMIM構造, 空乏層容量
- Trの非線形性： $V_{be}|I_c$, $I_c|h_{fe}$, $C_{ob}|V_{bc}$ etc.
- 熱の影響
- Hysteresis
- INL of ADC, DAC
- And so on

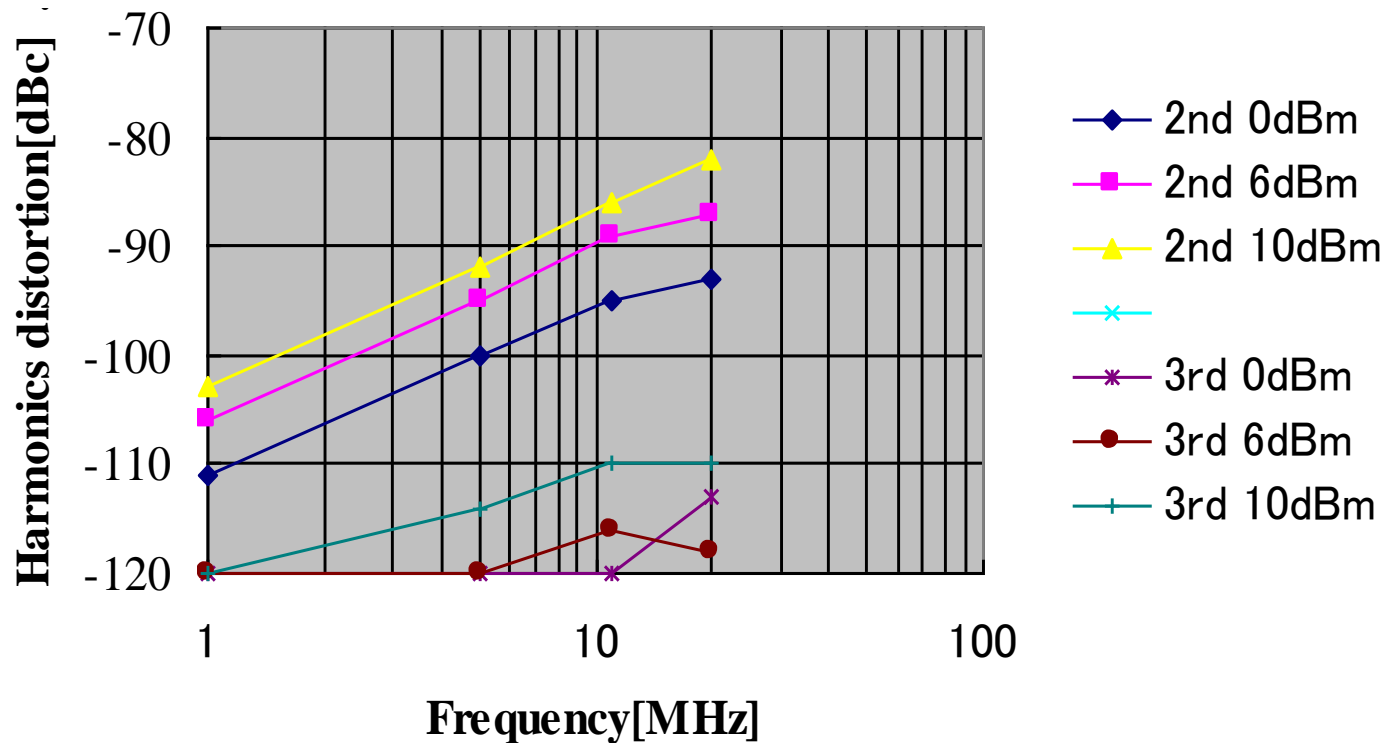
歪率の測定例 (Photo MOS Relay)



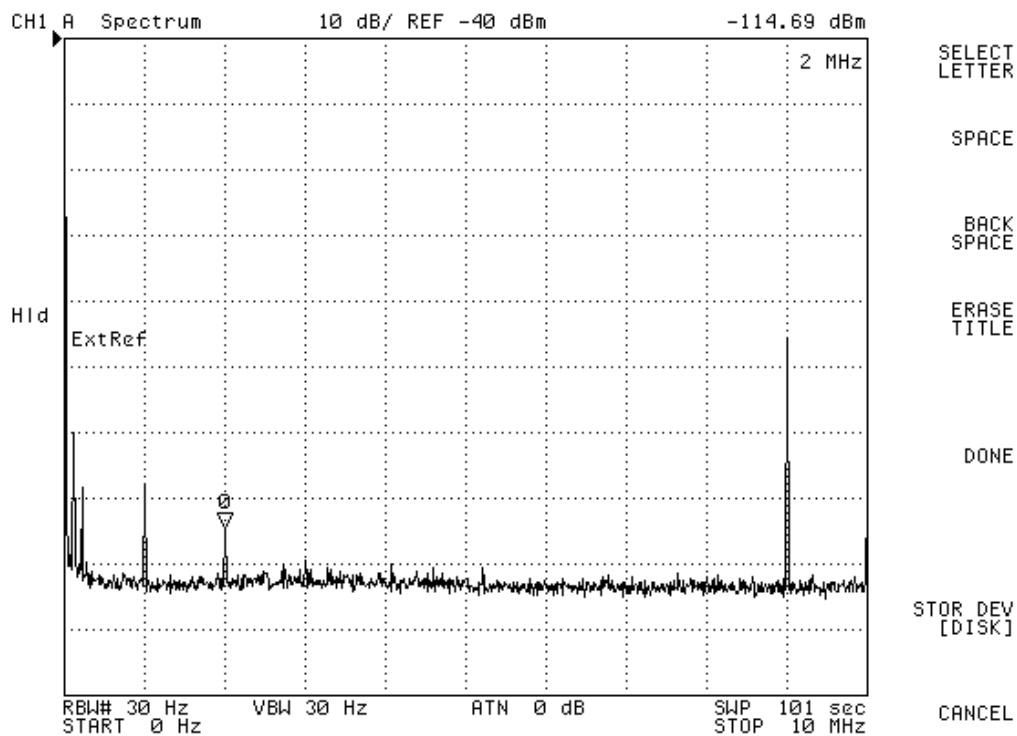
Off時の歪も重要である。

歪率の測定例 (MEMS Relay)

Micro machined Relay



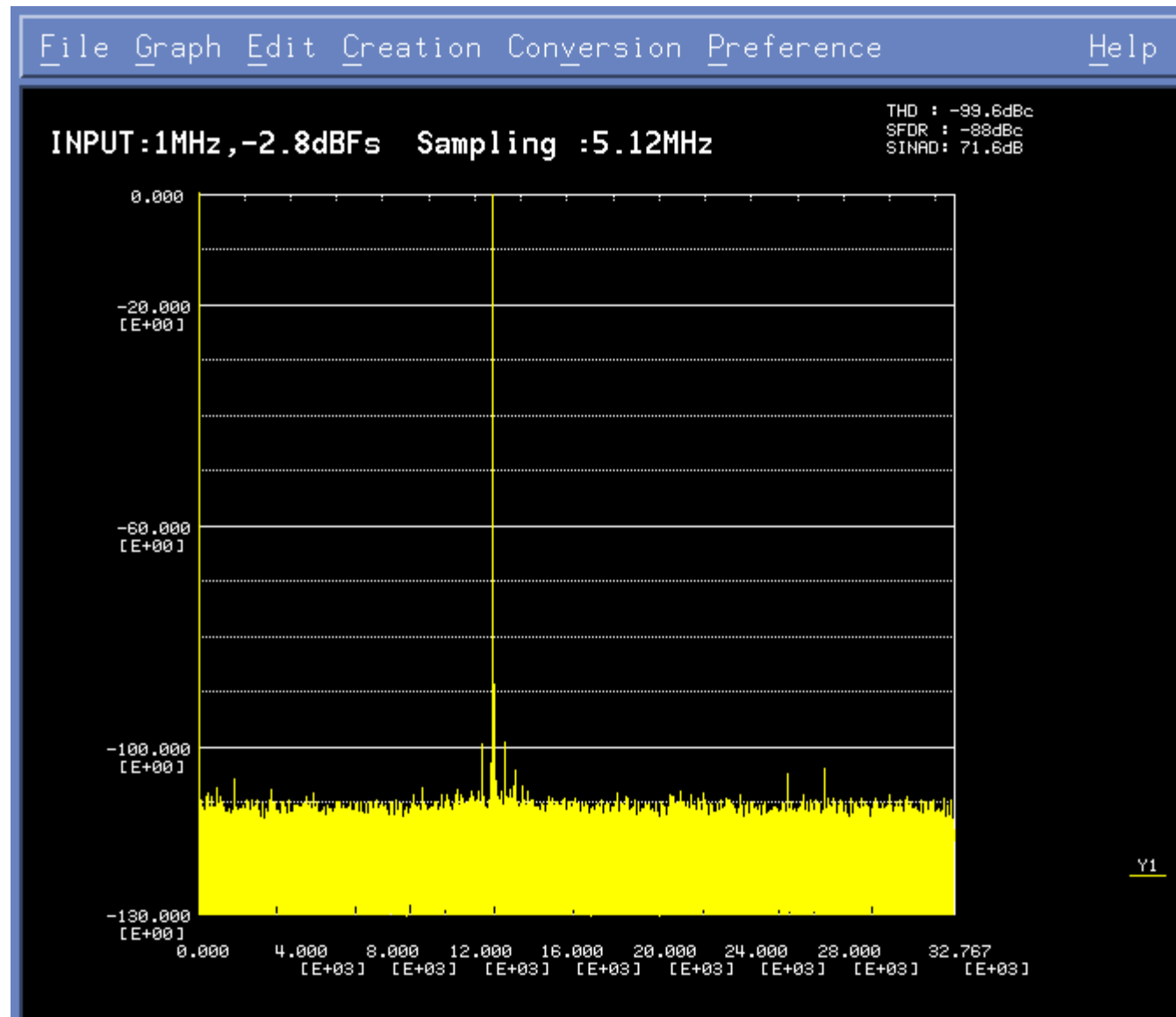
歪率の測定例 (T/H Amp)



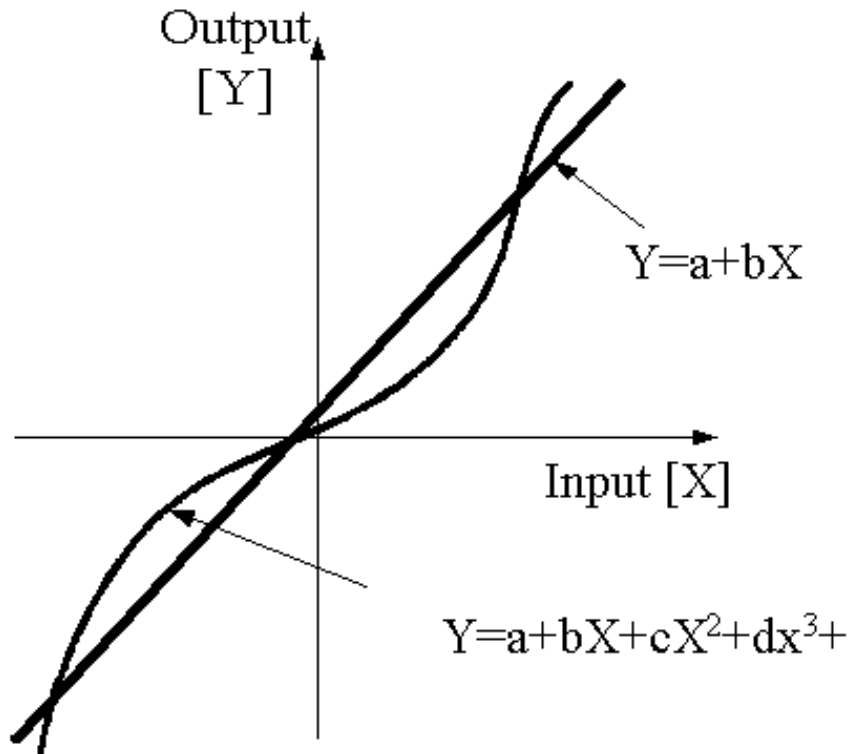
2nd harmonic distortion: -103dBc ($-114.69\text{dBm} - (+4\text{dBm}) + 14.6\text{dB}$)
出力レベル BEF挿入損失

3rd harmonic distortion: $< -120\text{dBc}$

歪率の測定例(ADC)

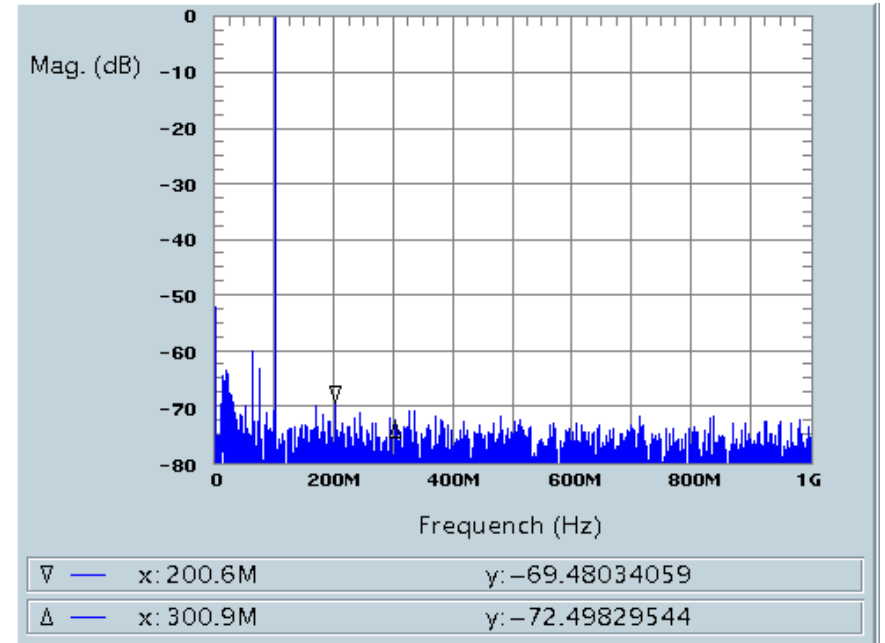
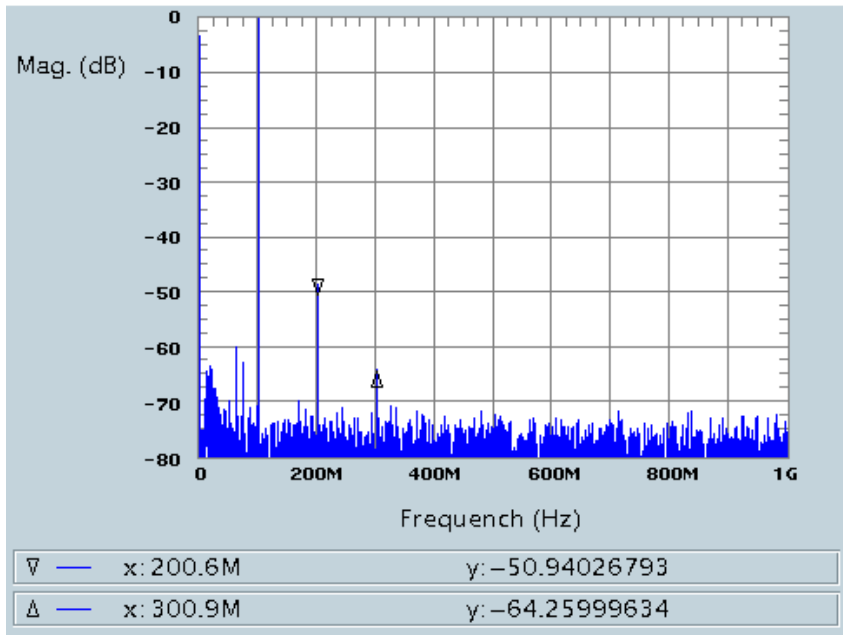


歪補正の原理



- 1) 高精度の直流信号を用いて系の入出力特性を測る
- 2) 逆特性を計算し、線型に補正するためのデータとする

Under Sampler + ADCの歪の補正



入力周波数: 100MHz

直流での補正值が100MHz入力に対しても有効

発表の概要

- 研究の背景と高調波歪の測定方法
- 製作したFilter
- Filterの特性の検証
- 高調波歪率計測の応用
- まとめ

まとめ

- 従来は困難であった、1~100MHzでの高調波歪測定用のToolを作成した。
- -120dBc以下の歪まで測定可能であり、強力なToolとなっている。
- Relayなどの受動素子の歪も観測可能であり、電子計測を通してミクロな物性を観察できる可能性もある。