

EMIを低減するためのスペクトラム拡散

岡野 力

FAE

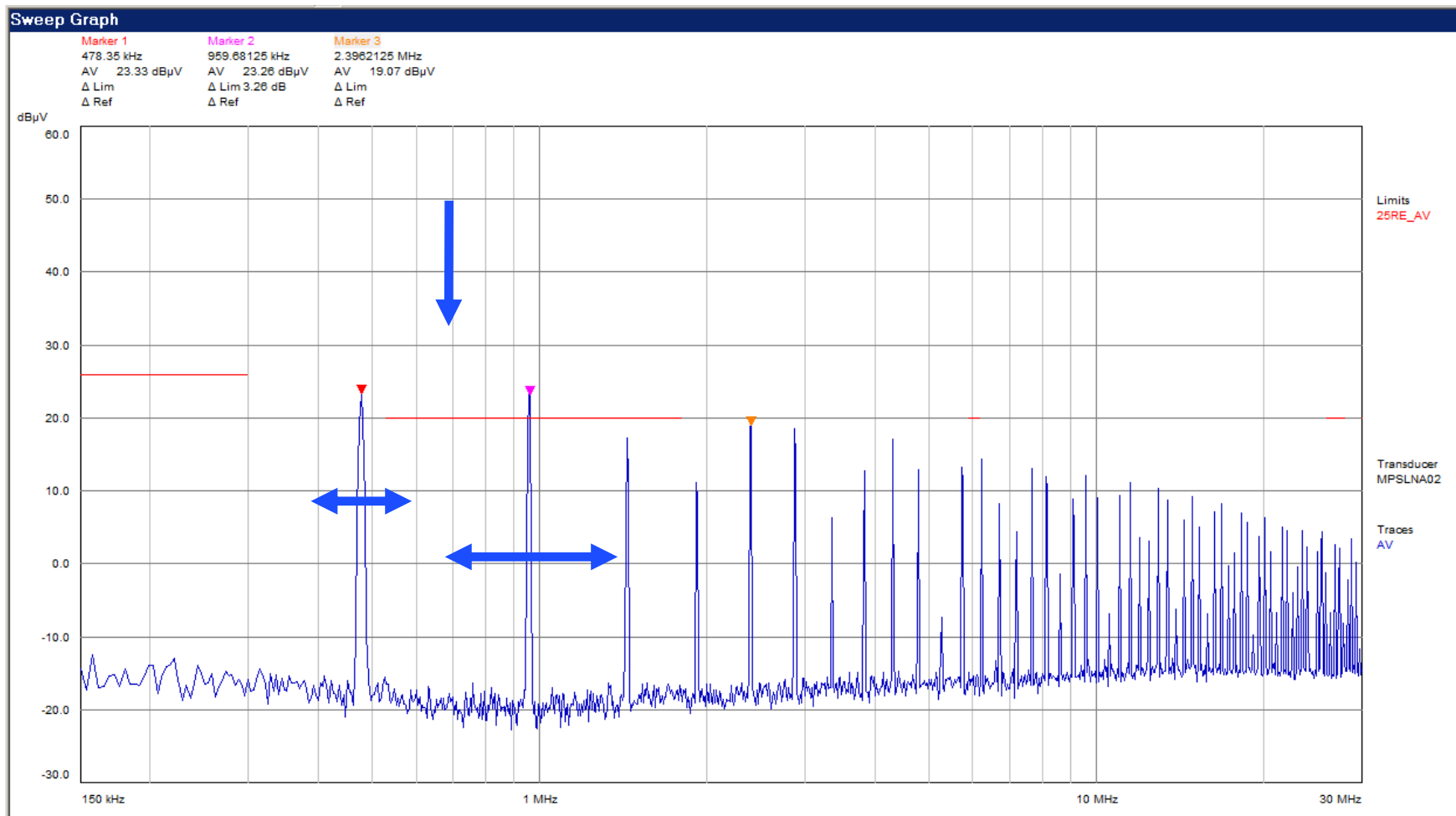
MPSジャパン

MPS

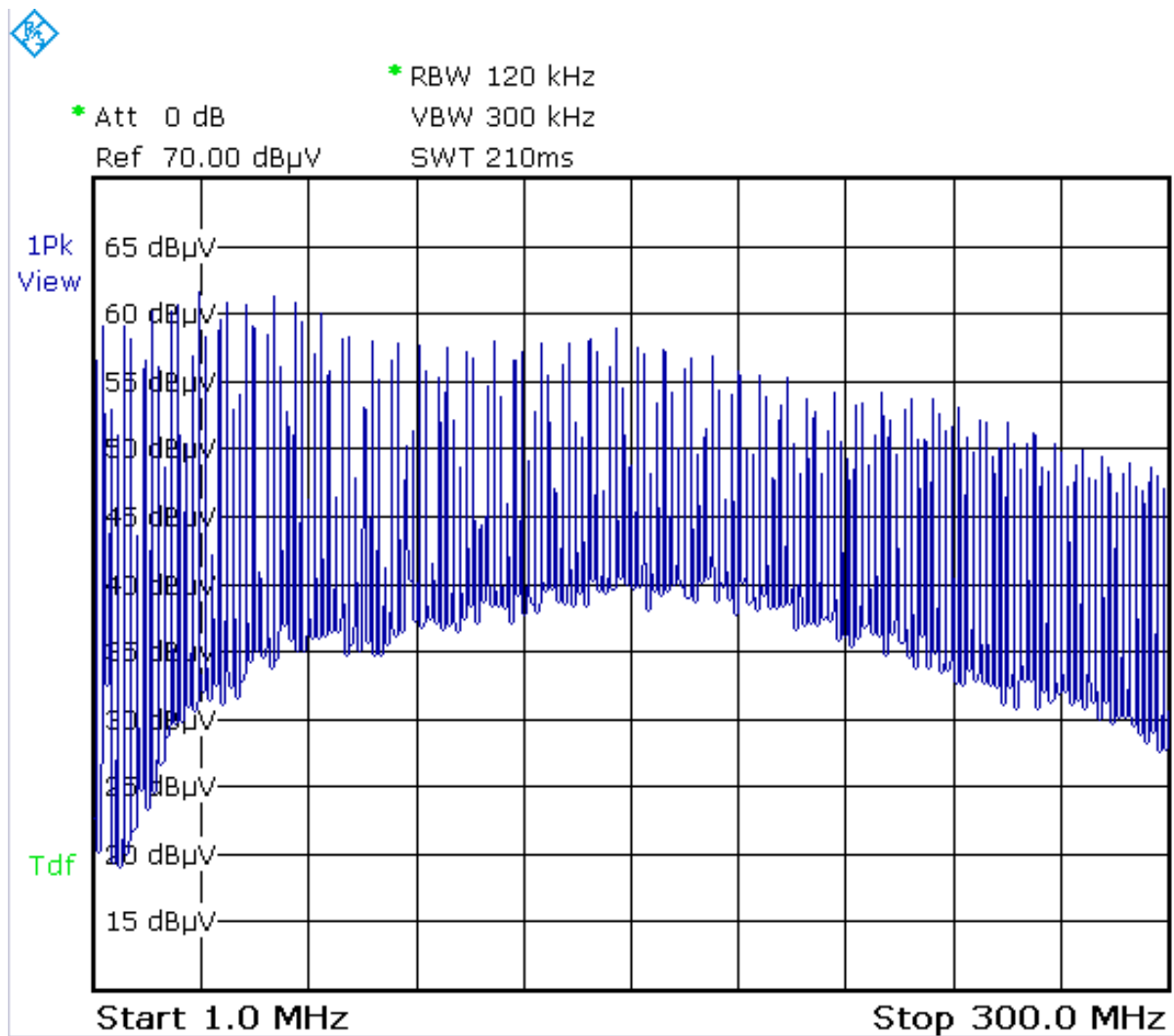
トピック

- 背景
- 入力電圧の影響
- F_{sw} の影響
- EMI測定のレシーバについて (RBW)
- スペクトラム拡散の最適な周波数
- スペクトラム拡散の最適な波形
- MPS製品での実例
- スペクトラム拡散の注意事項
- 補足1. 入力電圧
- 補足2. オシレータ
- 結論

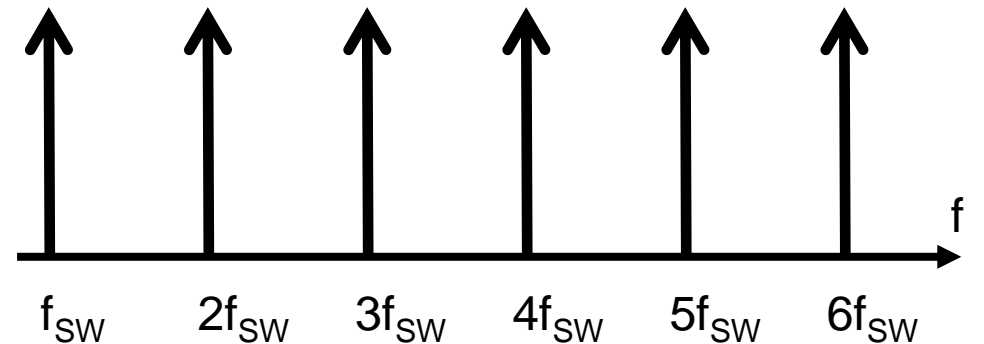
しばしば結果がほんのわずか上限を上回ってしまいます。改善するには？



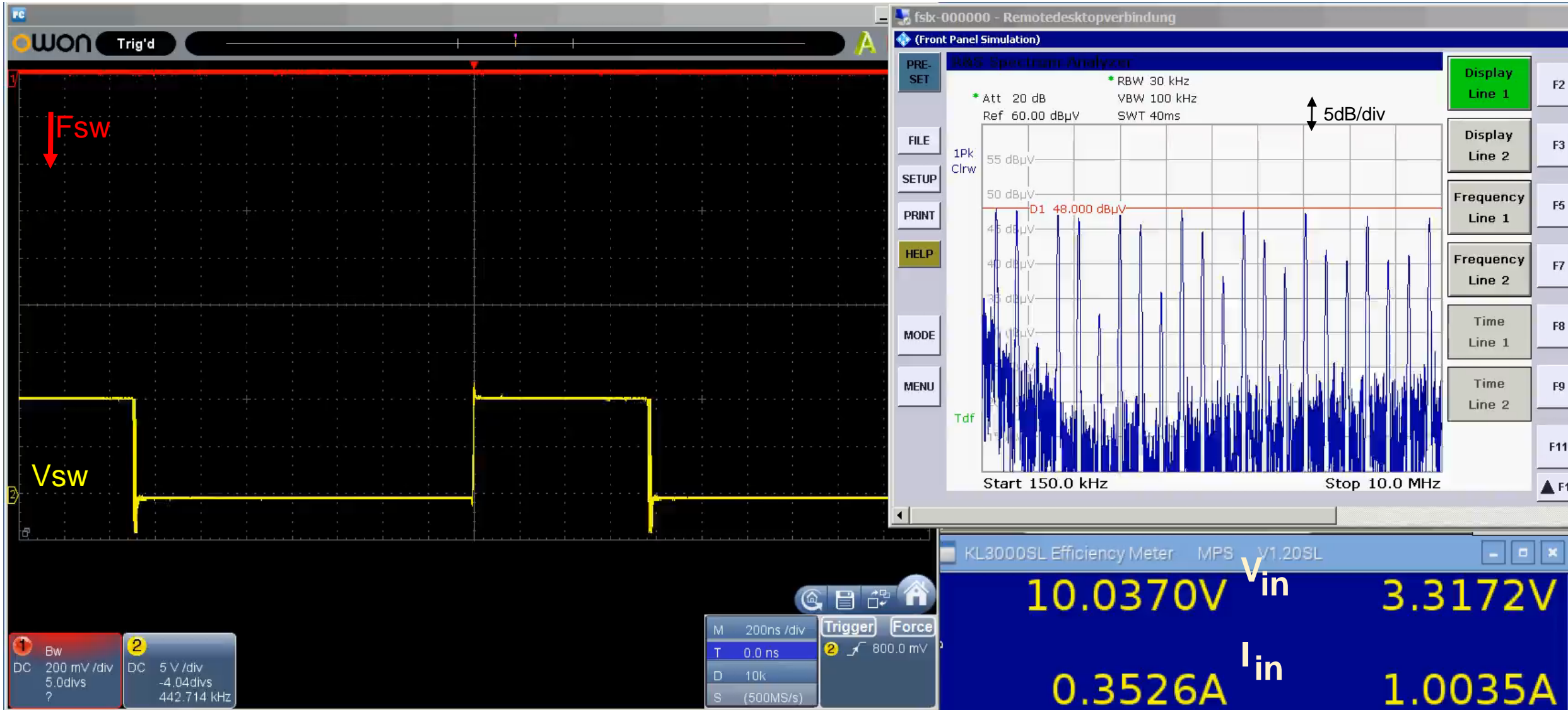
PSU固定周波数スペクトラム



典型的なPSUスイッチ励起源は、周波数ドメイン上に、スイッチング周波数分の間隔が開いたフラットで周期的な突起のフェンスを生成します。

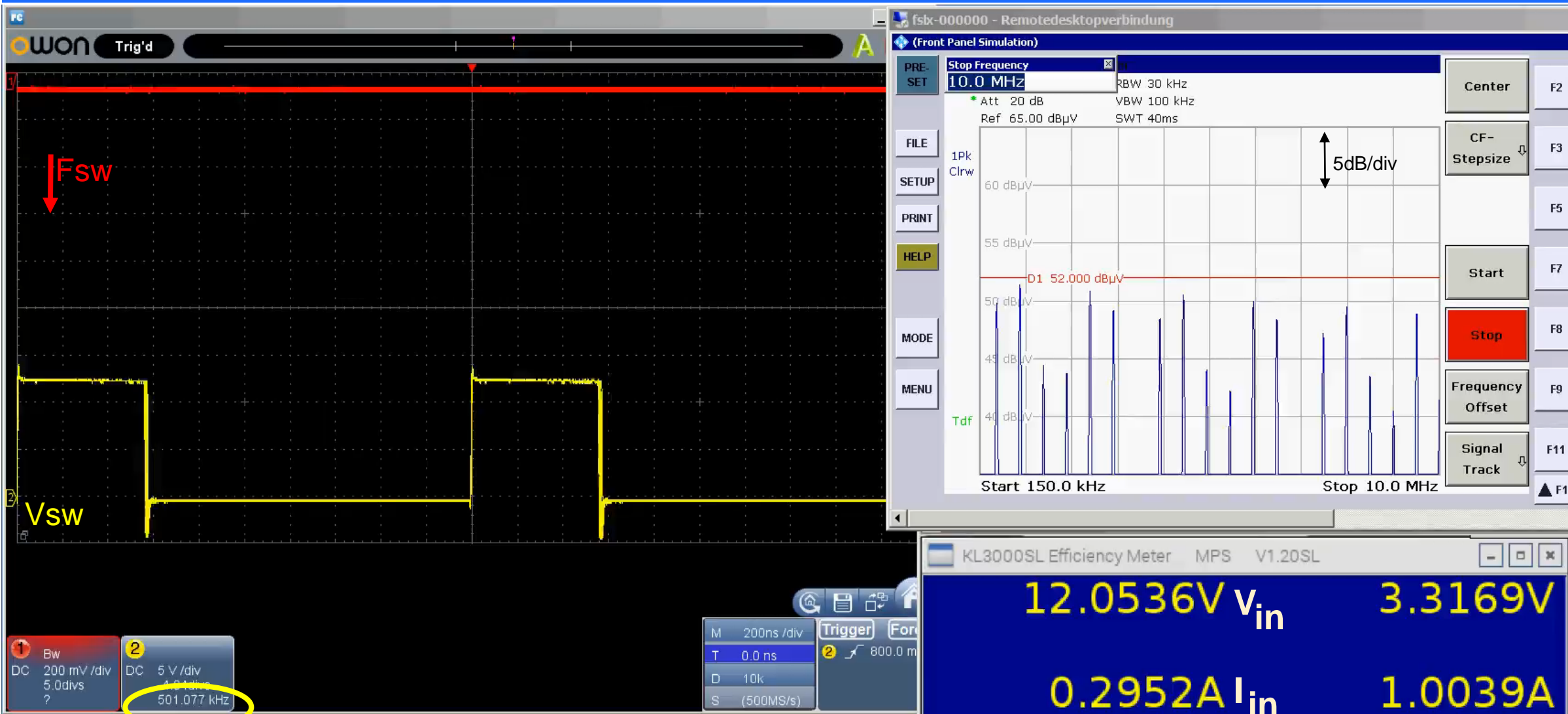


入力電圧の影響 ~ 入力電圧に比例して高調波のピークが大となる



Fswの影響

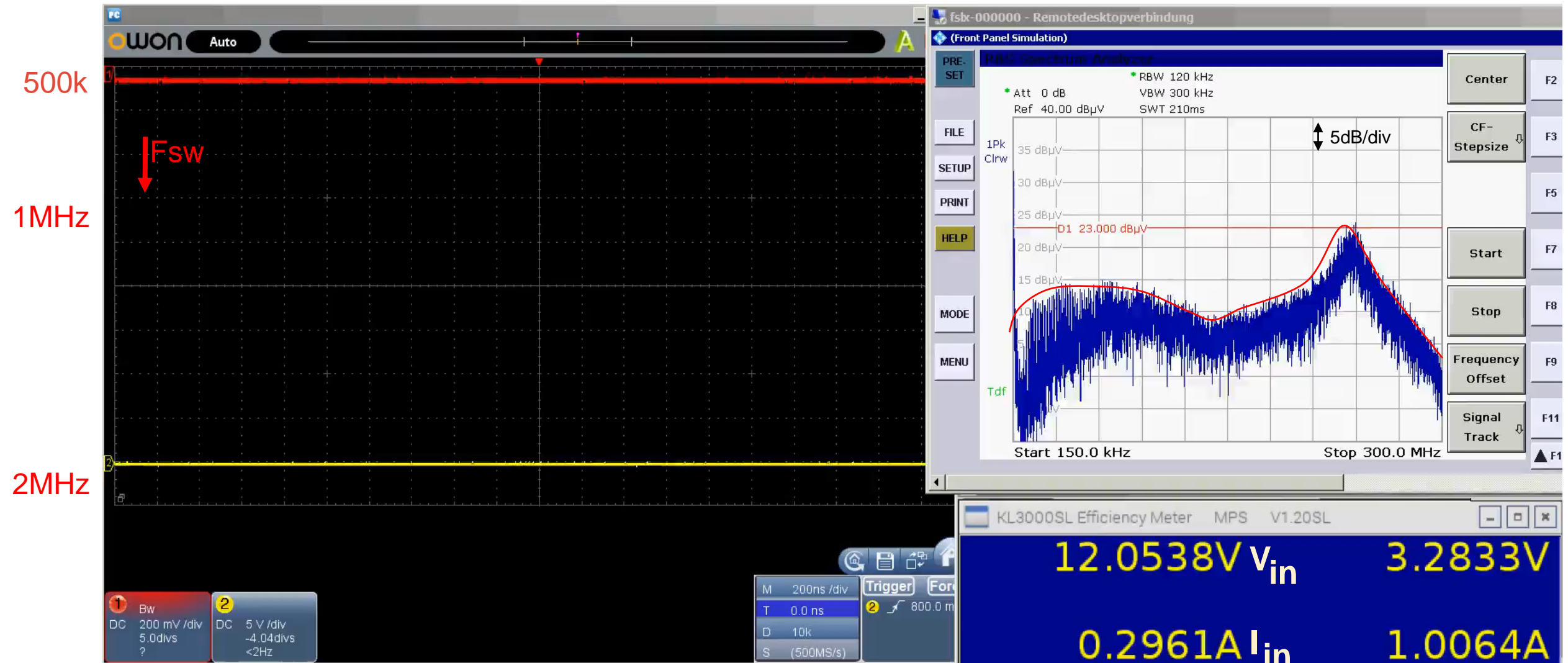
~ Fsw大で高調波の数は減少し、ピークは大となる



スイッチング周波数

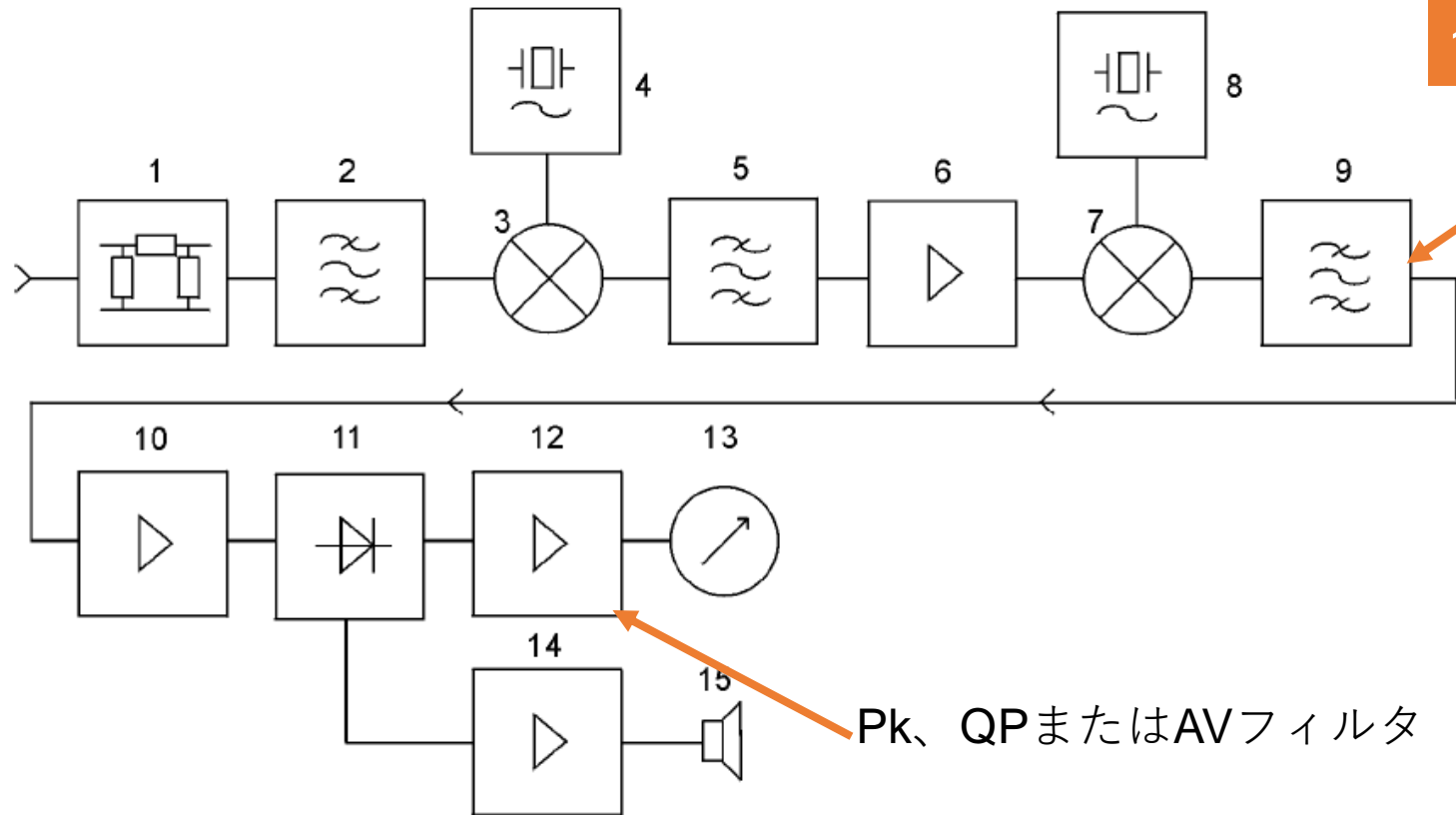
Fswの影響

~ Fsw大で高調波の数は減少し、ピークは大となり、ベースは下がる

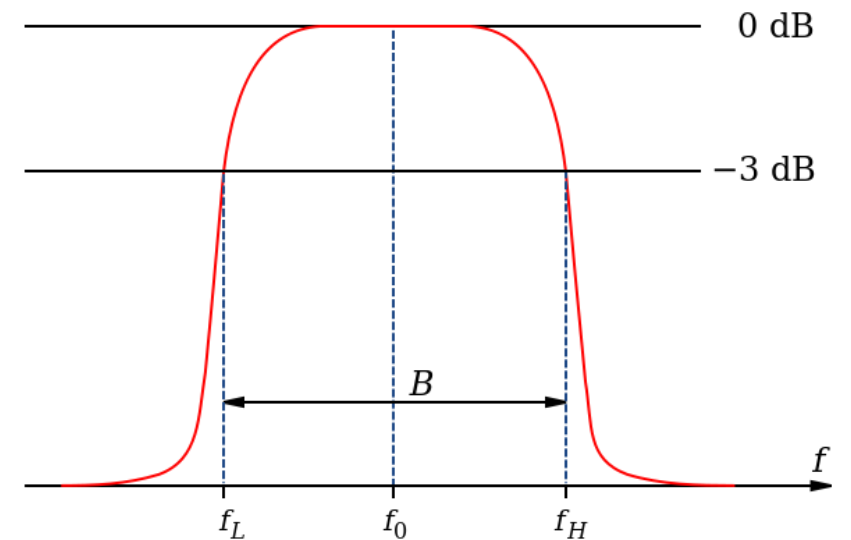


CISPR 16-1-1に準拠したEMIレシーバ

Block Diagram of an EMI Receiver



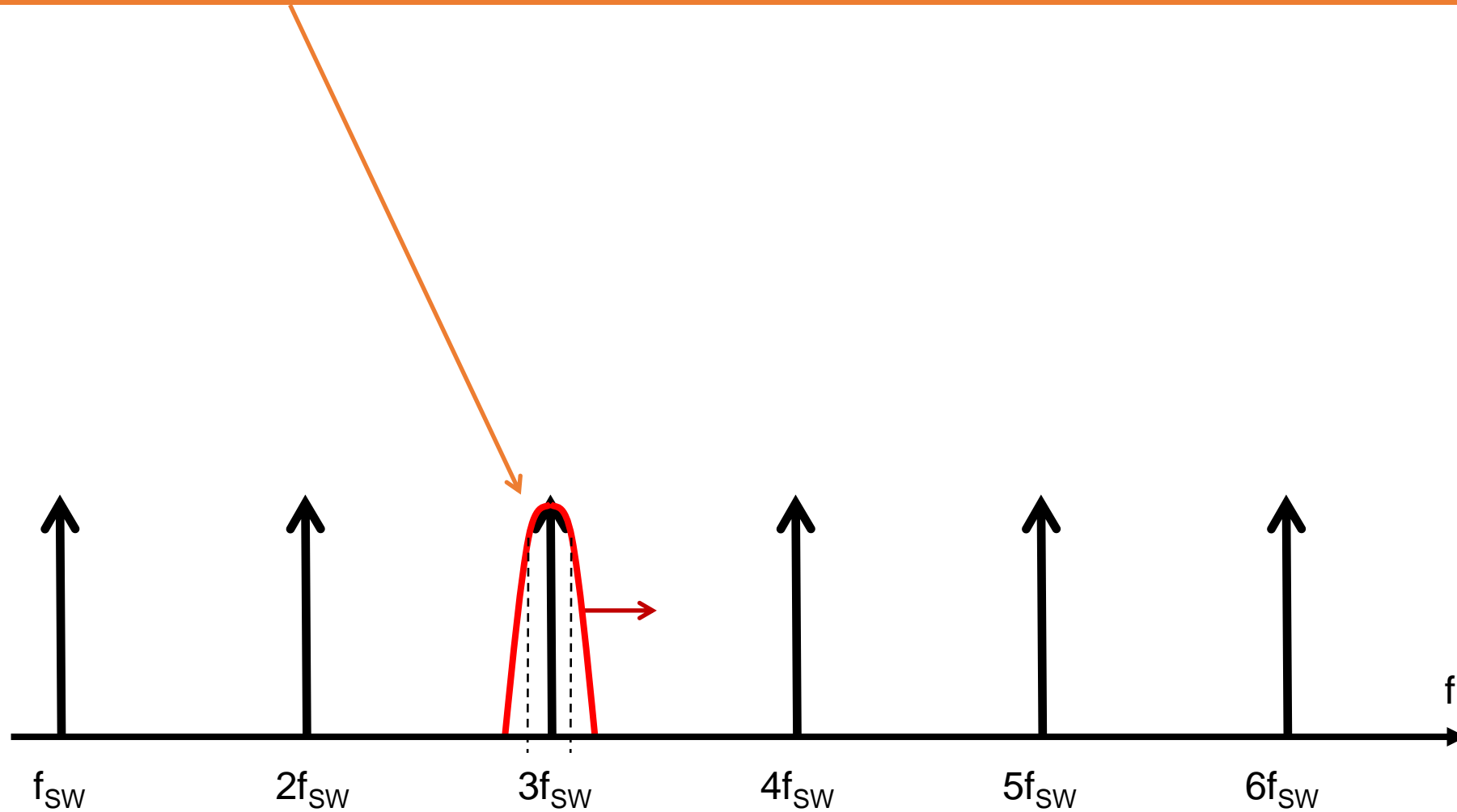
スペクトラムアナライザと同様の機能
RBW – 分解能帯域幅フィルタ
9 KHz < 30MHz
120 KHz > 30MHz



Pk、QPまたはAVフィルタ

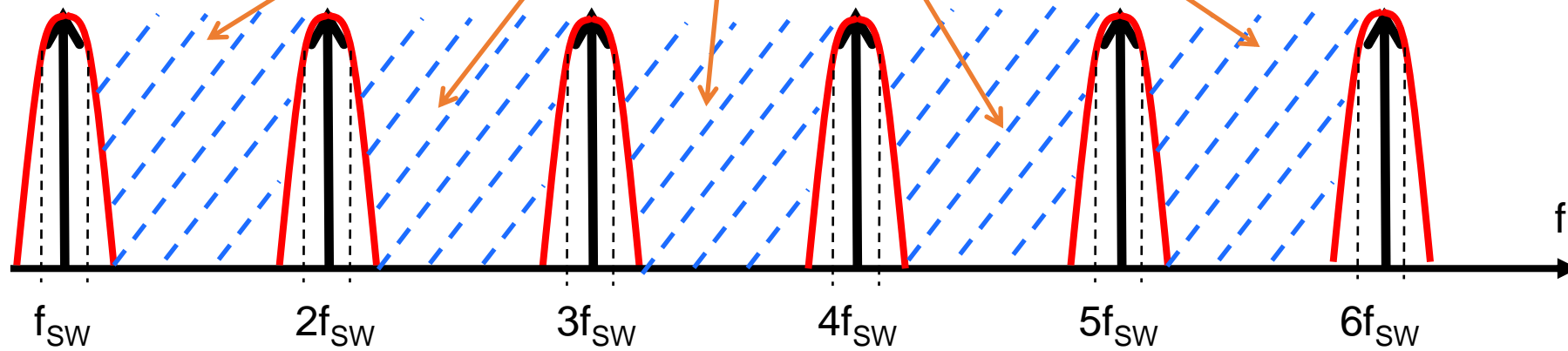
EMIレシーバのスペクトルビュー

各周波数($n * f_{sw}$)で帯域幅を一定速度でモニタして、畳込み積分を演算する。



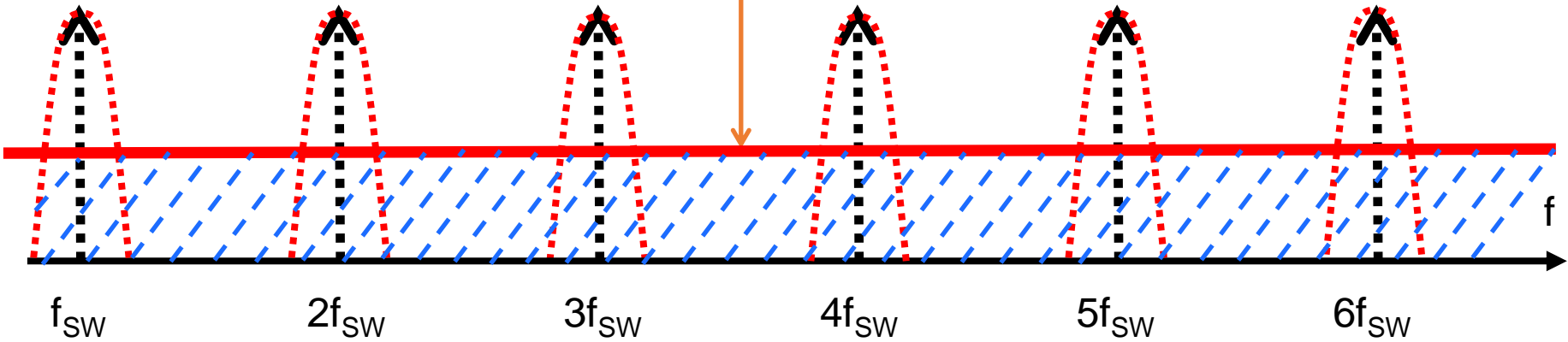
EMIレシーバのスペクトルビュー

帯域幅外にエネルギーを分散させる



EMIレシーバのスペクトルビュー

理想はホワイトノイズのような分布

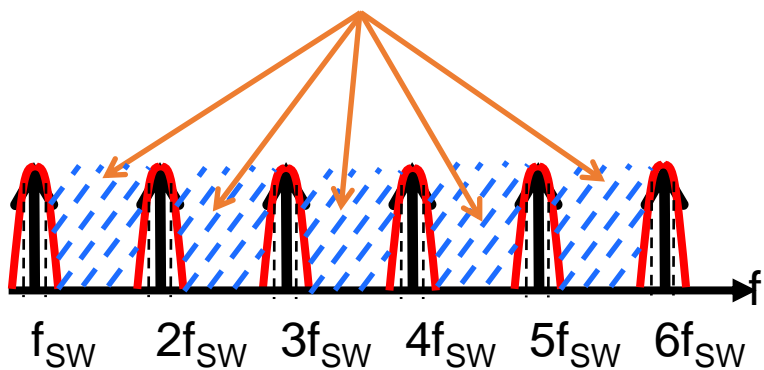


EMIレシーバのスペクトルビューによる減衰

$$\text{減衰} = 10 * \log_{10} \left(\frac{RBW}{f_{sw}} \right)$$

$$\Rightarrow \text{減衰絶対値} = 10 * \log_{10} \left(\frac{f_{sw}}{RBW} \right)$$

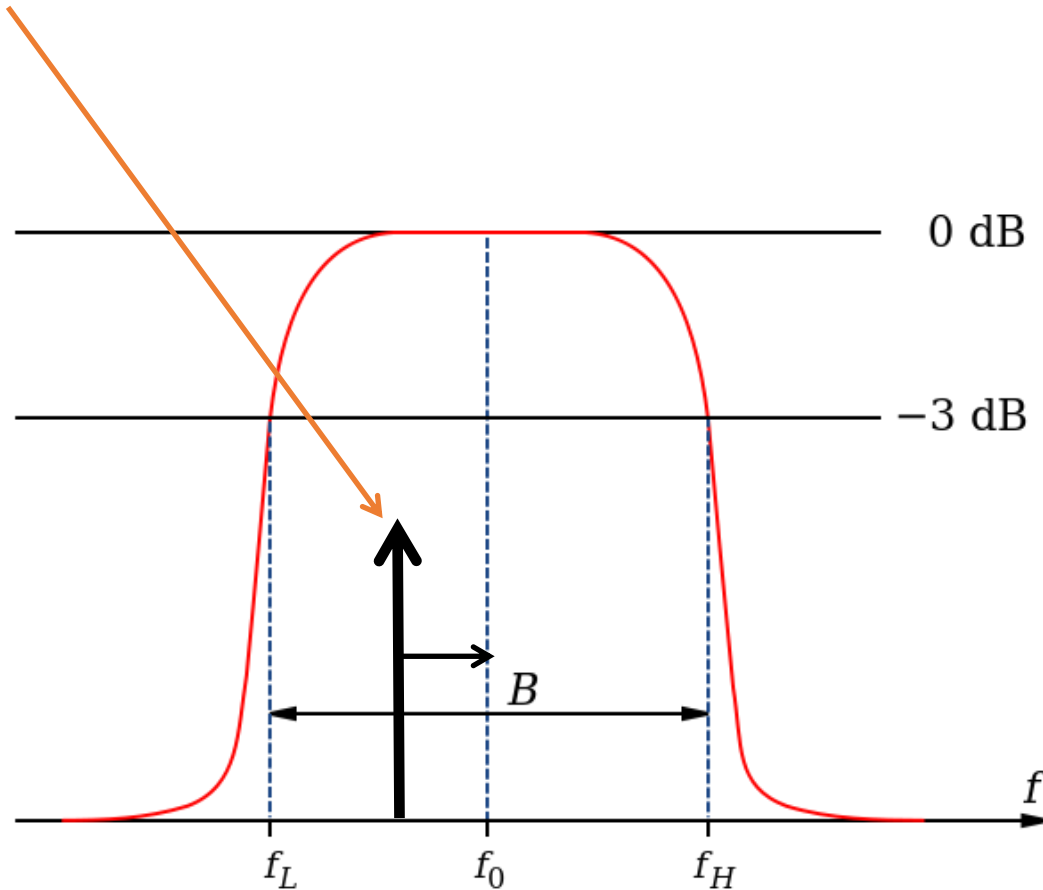
F_{sw}が大なほど、減衰の効果が
大
RBWが小なほど、減衰の効果が大



最大達成可能なスペクトラム拡散減衰			
	0.15MHz-30MHz	30MHz-1GHz	>1GHz
RBW [kHz]	9	120	1000
f _{sw} [kHz]	[dB]	[dB]	[dB]
100	-10.5	0.0	0.0
200	-13.5	-2.2	0.0
400	-16.5	-5.2	0.0
1000	-20.5	-9.2	0.0
2000	-23.5	-12.2	-3.0
3000	-25.2	-14.0	-4.8
5000	-27.4	-16.2	-7.0
10000	-30.5	-19.2	-10.0
100000	-40.5	-29.2	-20.0

EMIレシーバの時間領域における見解

インパルス応答 = 「帯域幅 (=1/RBW)」 よりも長い時間でノイズEgが留まると、EMIレシーバによる減衰 (フィルタ効果) は期待できない



$$\frac{1}{9kHz} = 111\mu s$$

$$\frac{1}{120kHz} = 8.33\mu s$$

スペクトラム拡散における周波数変調の見解

信号は周期的である必要があります (定数を無限大にすることはできません)。

さらなる出力リップルを発生させないための定数エネルギー => FM = 周波数変調

変調周波数 (FM)

反復周波数 FM = 1/period

変調波形繰り返し地点

変調深度 $(\Delta f) = f_{MAX} - f_{MIN}$ 変調信号のスペクトルまたはストローク

変調指数 $h = \frac{\Delta f}{FM}$

高調波次数とともにリニアに上昇

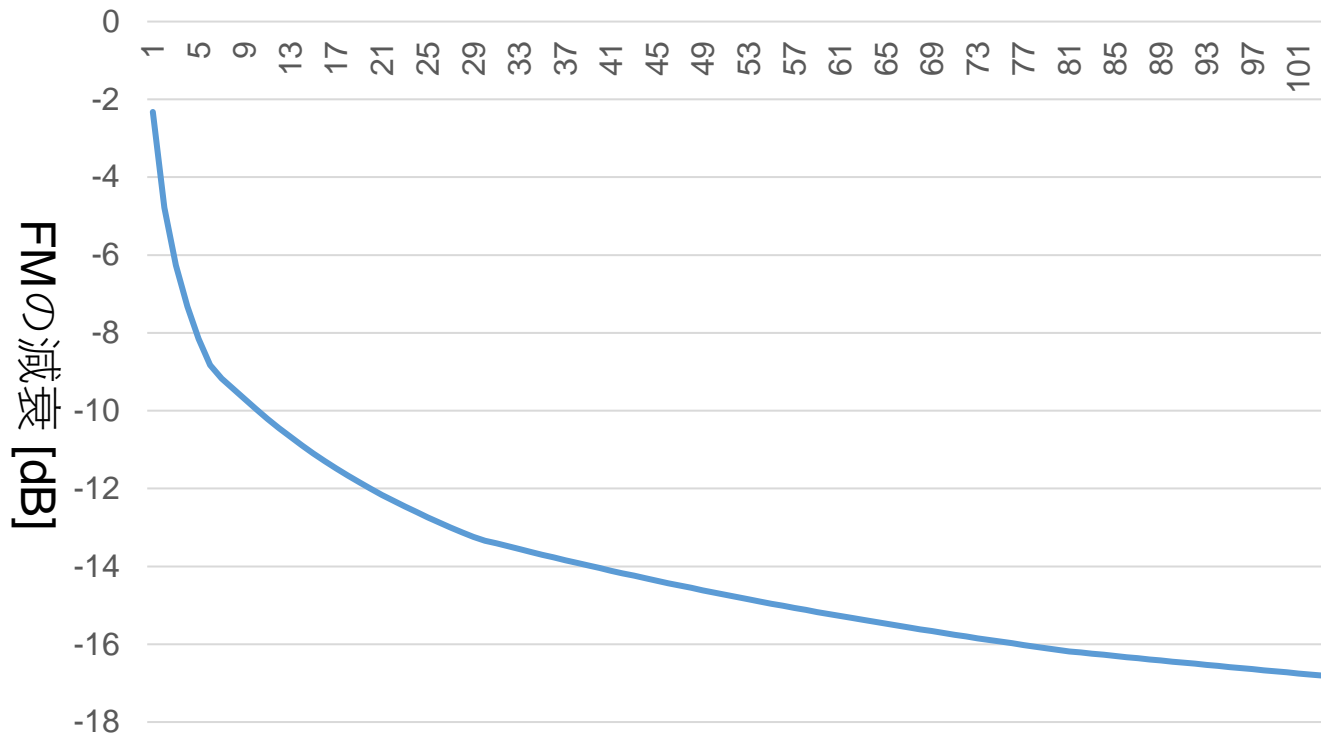
スペクトラム拡散における周波数変調の見解

変調指数に比例して減衰量が大となる

FMが小で、 Δf が大なほど、減衰量が大となる

ただし、FMが小さ過ぎて、インパルス応答よりも変調周期が大となると、フィルタ効果を期待できなくなる

$$\text{変調指数 } h = \frac{\Delta f}{f_m} = \Delta f \times \text{Period}$$

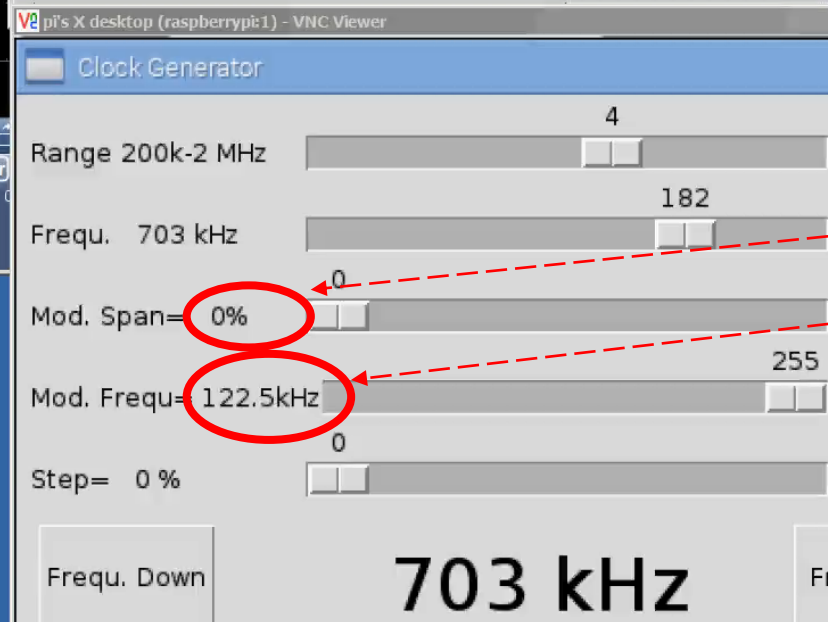
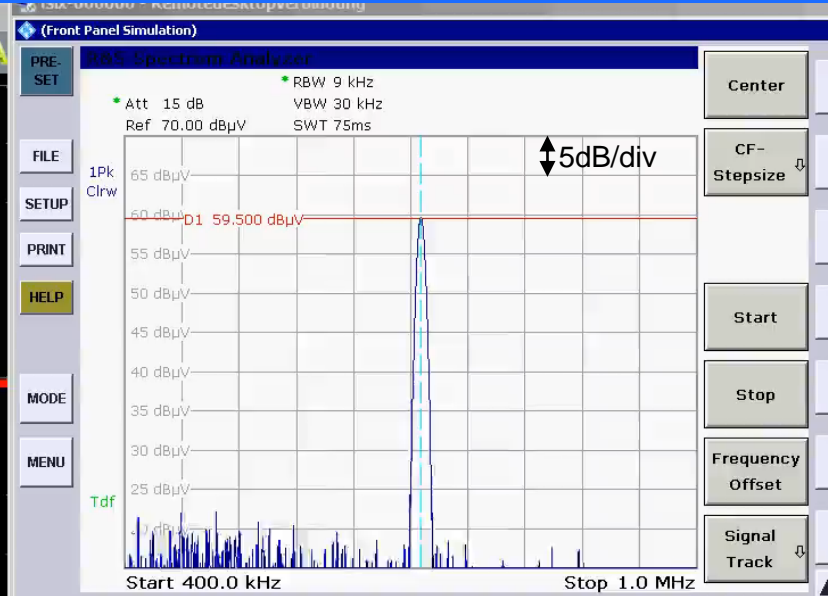
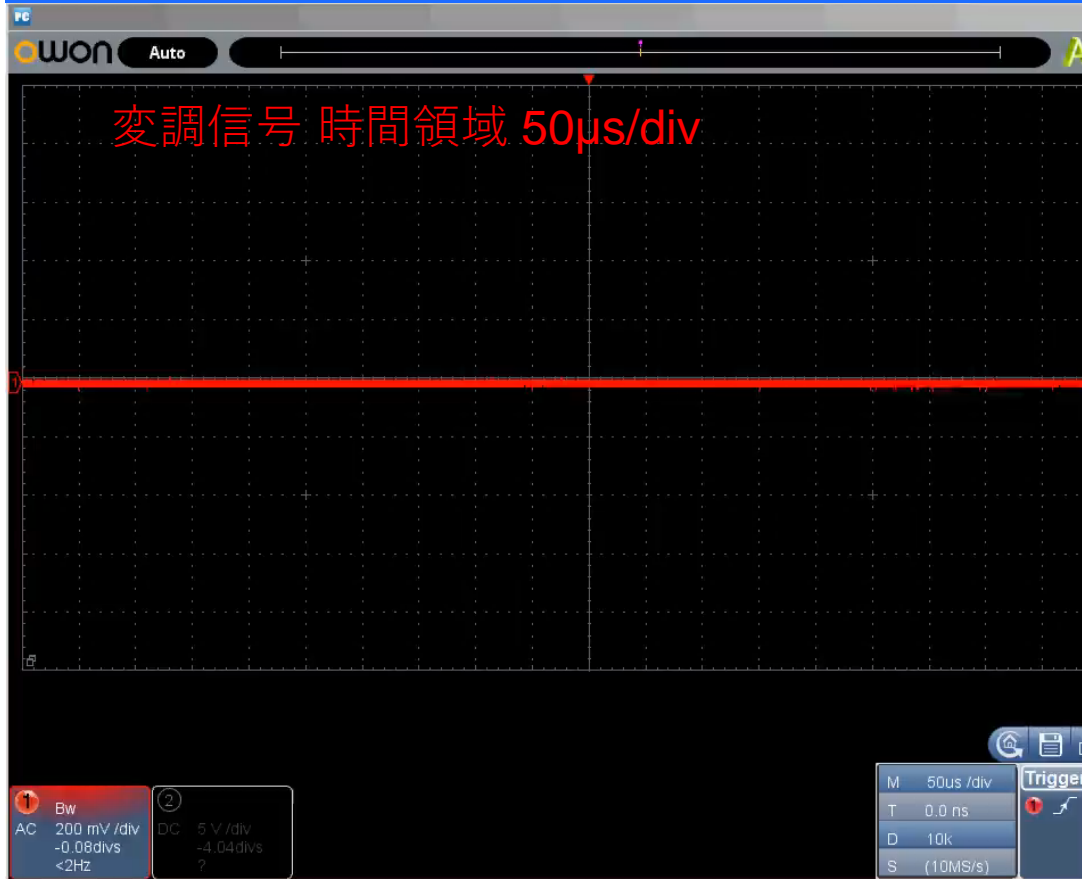


$$\text{変調周波数 (FM)} = 1/\text{period}$$

$$\text{変調深度 } (\Delta f) = f_{\text{MAX}} - f_{\text{MIN}}$$

$$\text{変調指数 } h = \frac{\Delta f}{\text{FM}}$$

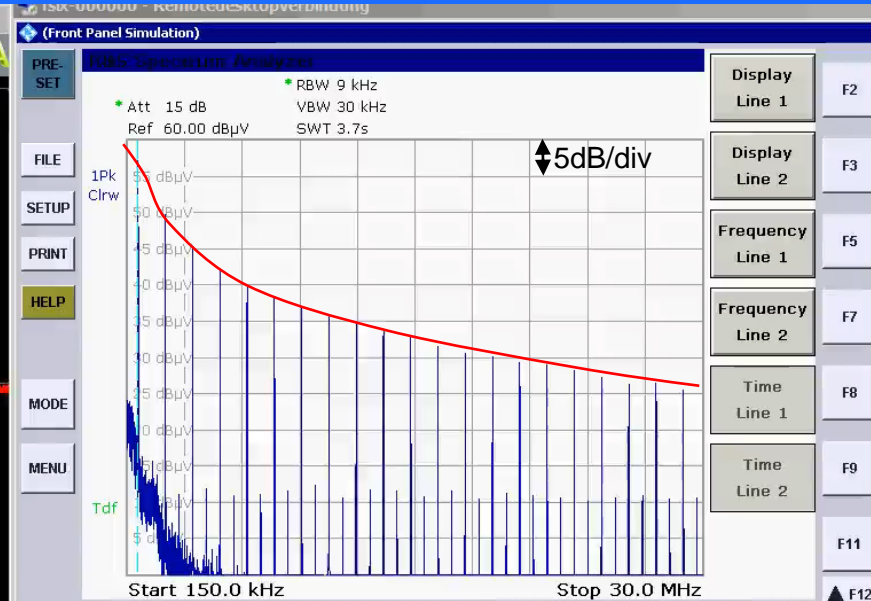
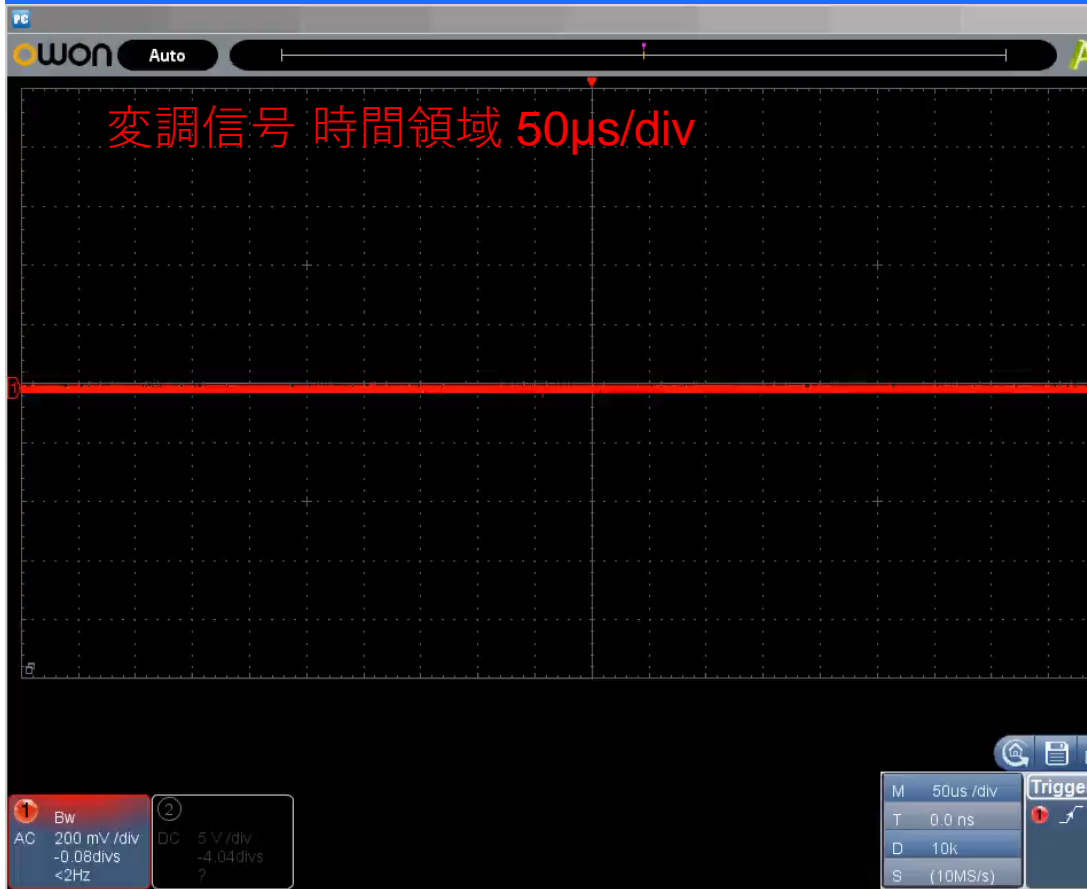
変調周波数の影響 ~ 低周波領域 (1MHz未満)



30MHz未満までの9kHzのRBW領域では、約9kHzの変調数は数が最善の結果となります。

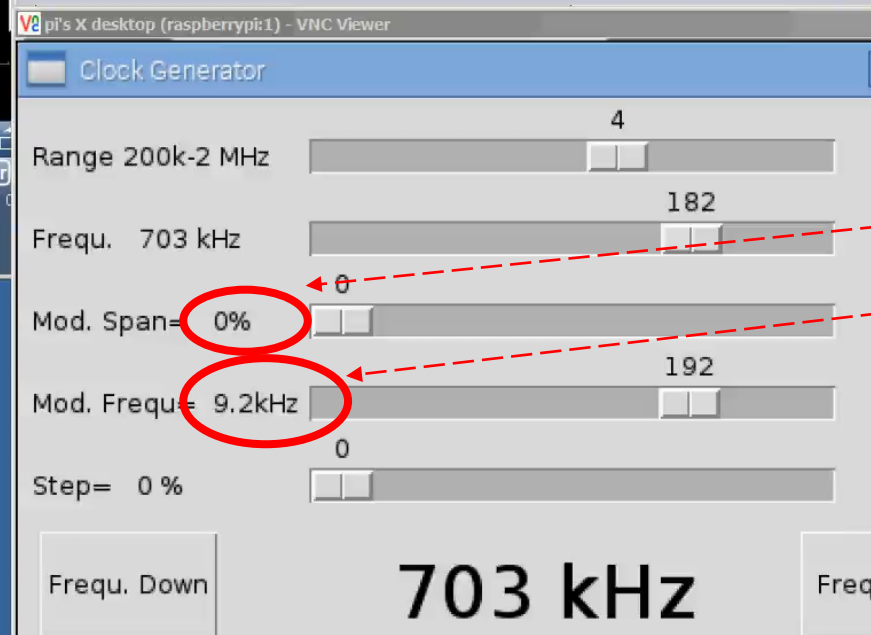
$$h = \frac{\Delta f}{f_m}$$

変調周波数の影響 ~ 中間周波領域(30MHz未満)



高い変調スパンは良い減衰の結果をもたらしますが、レギュレーションループが必要です。

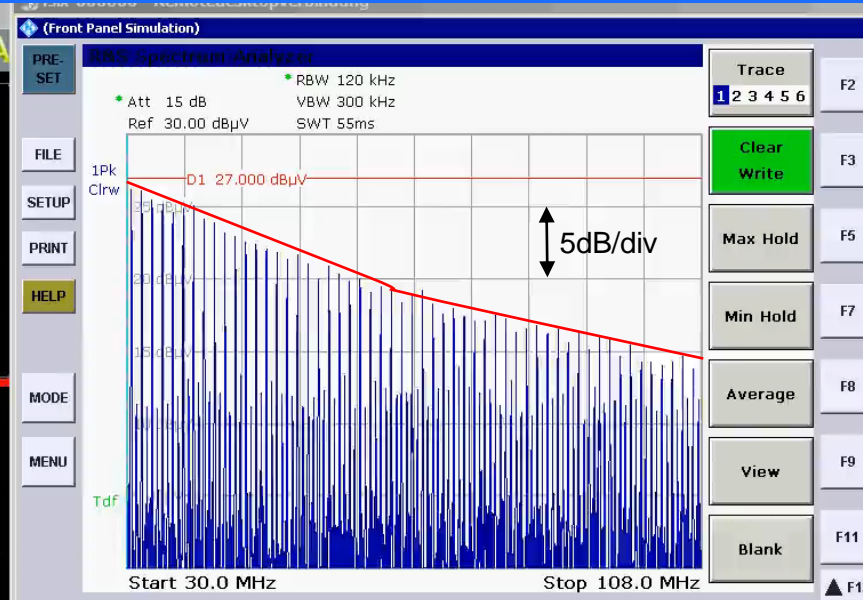
変調指数は変調スパン Δf とともに上昇します。



$$h = \frac{\Delta f}{f_m}$$

変調周波数の影響 ~ 高周波領域(30MHz~)

変調信号 時間領域 50 μ s/div



120kHzのRBW周波数範囲には、120kHz以上の高い変調周波数が望まれます。

Range 200k-2 MHz

Frequ. 703 kHz

Mod. Span= 0%

Mod. Frequ= 122.5kHz

Step= 0%

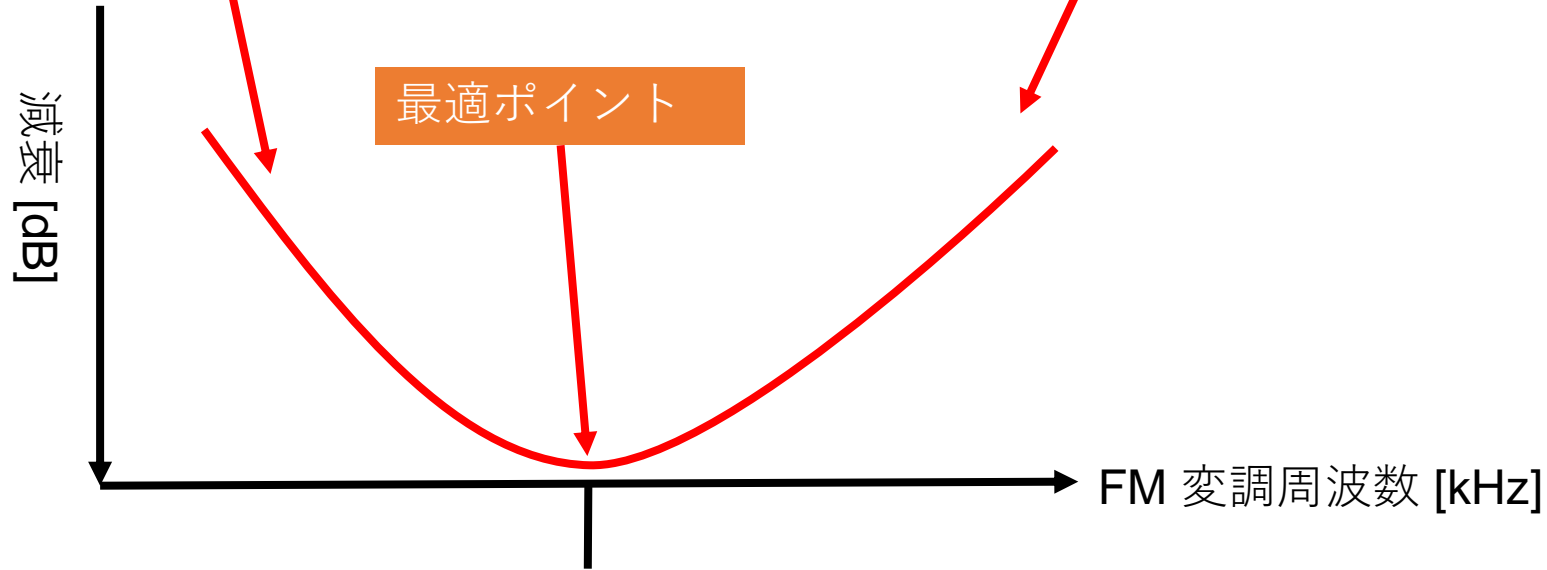
703 kHz

$$h = \frac{\Delta f}{f_m}$$

スペクトラム拡散における周波数変調の見解

RBWのインパルス応答にとって低すぎる変調周波数 (FM) スパイクはRBWの中で長すぎる状態を維持

低すぎる変調指数 ($h = \Delta f / FM$)
多すぎる個別エネルギーをもつ少なすぎるスパイク



30MHz未満に対して9kHzまたは
30MHz以上に対して120kHz範囲

スペクトラム拡散における周波数変調の見解 ~ まとめ

与えられたRBWに対して、変調周波数は高すぎても低すぎても良くありません。

代表的な変調スパンとしては、RBW付近の変調周波数が一番機能するようです。

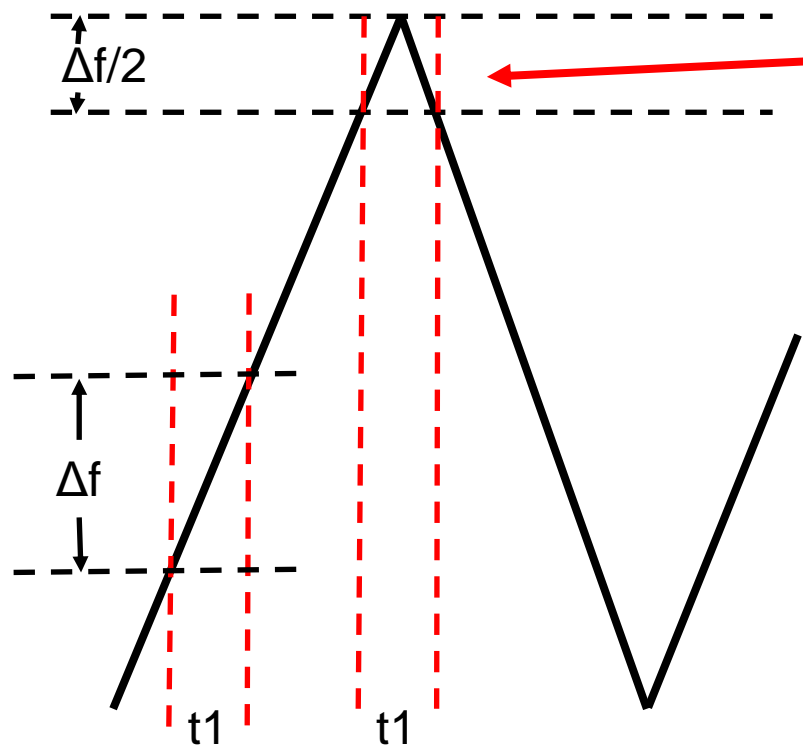
これは30MHz未満において通常9kHzで、30MHz以上の領域の場合120kHzです。

普通は、一番減衰 (報酬) が得られるので、9kHzのRBW範囲に最適化することになります。

スペクトラム拡散における変調波形の見解

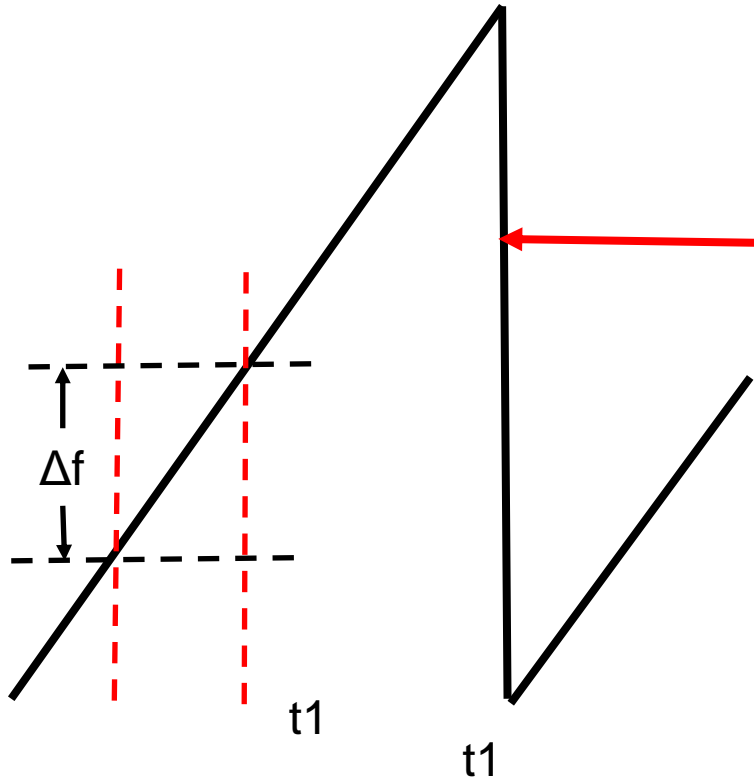
最適な波形は、Hz/sにおける一定の速度になります。
波形の形状には、それぞれメリットデメリットがあります。

スペクトラム拡散における変調波形の見解 ~ トライアングル



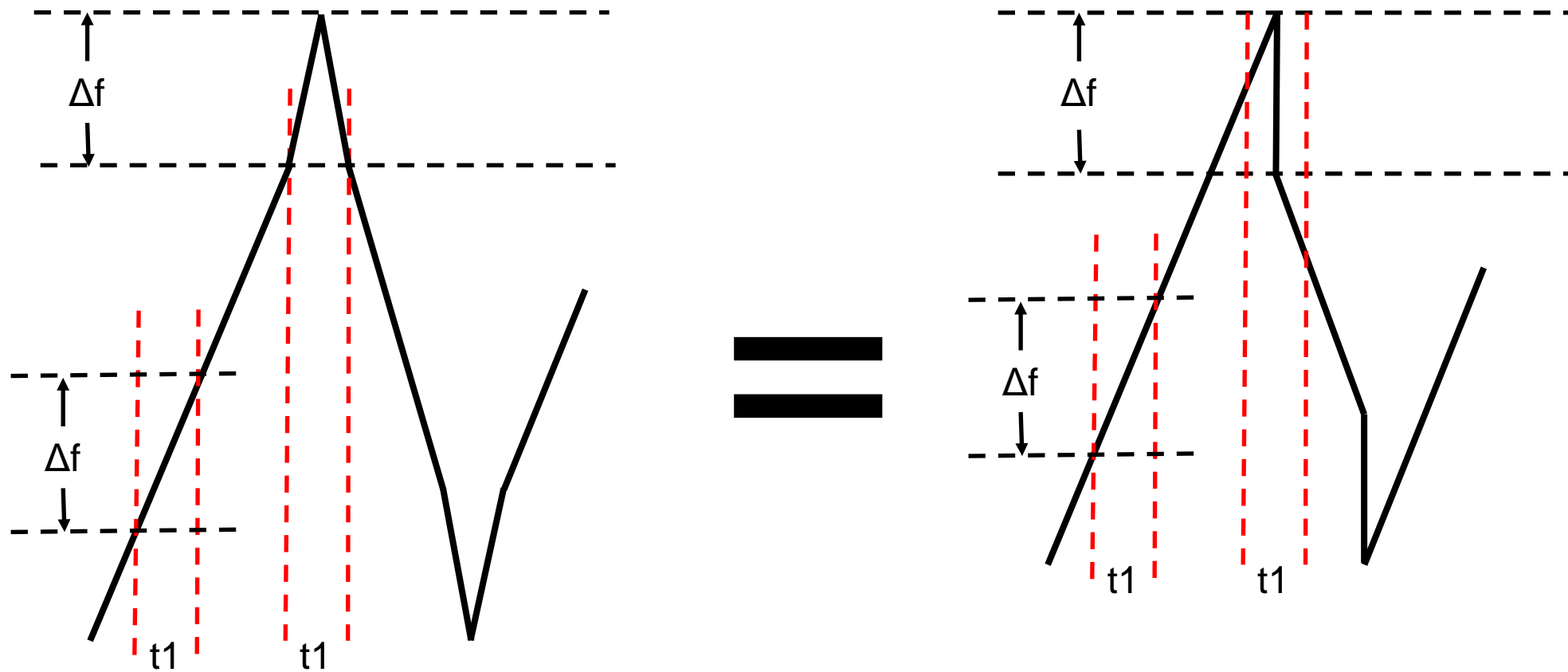
ここでの問題は、同時に(t1)が周波数変化の半分しか起こらないことです。

スペクトラム拡散における変調波形の見解 ~ のこぎり歯



ここでの df/dt は高いまたは無限で、これは良いことです。
しかしながら、突然の周波数の変化がしばしば固定周波数制御ループ設計にさらなる出力リップルを発生させます。

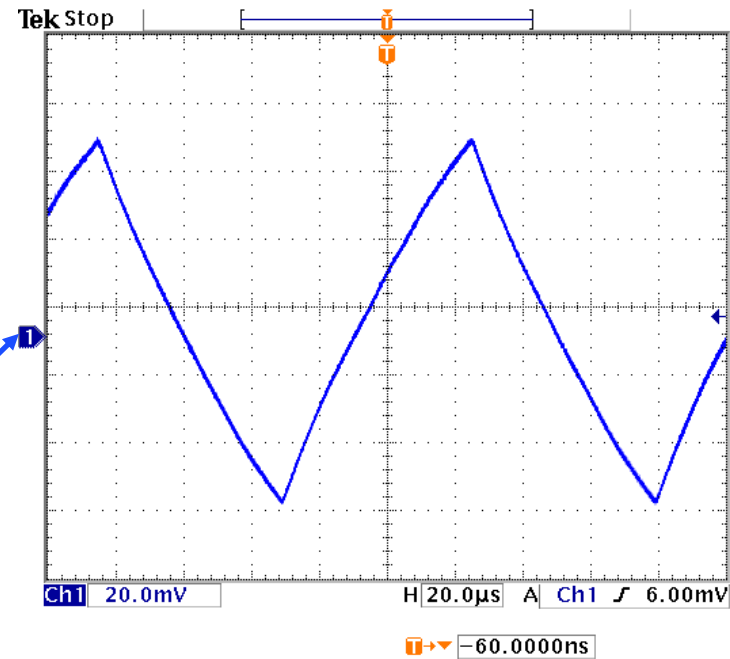
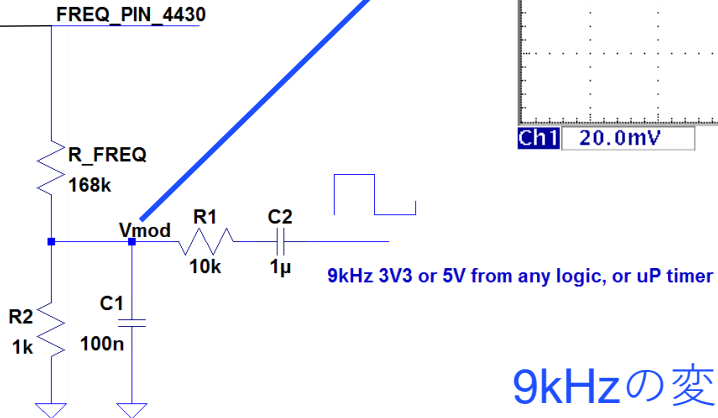
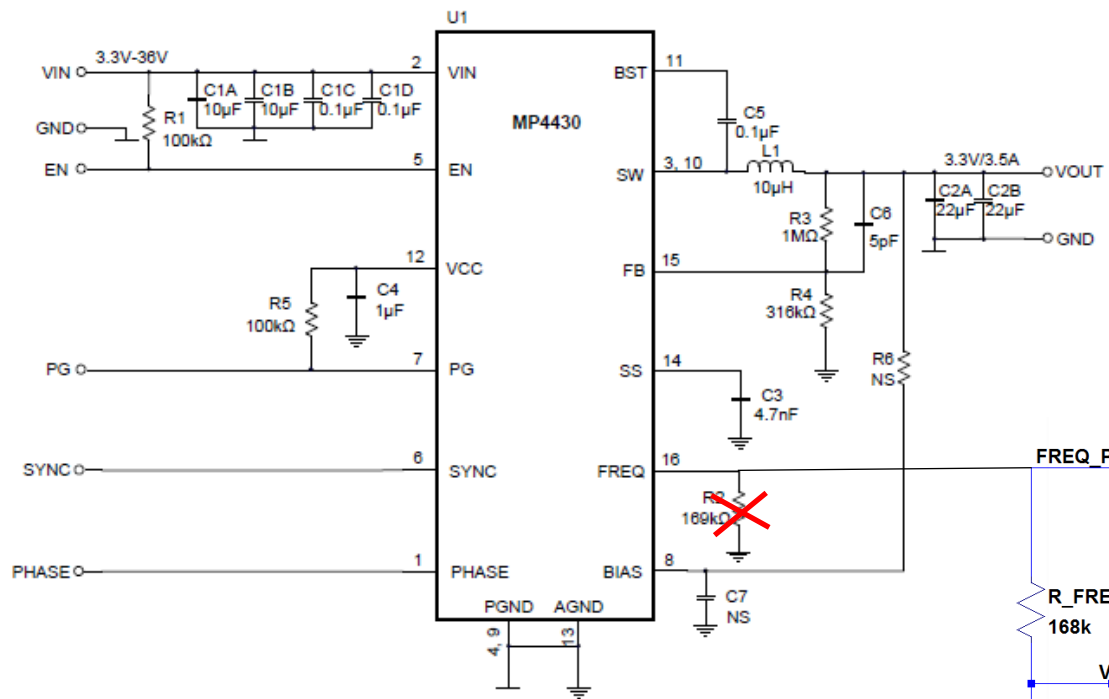
スペクトラム拡散における変調波形の見解 ～ 「ハーシー・キス」と段差つきトライアングル



一定の df/dt

内蔵FSSのない部品に対するスペクトラム拡散実装

抵抗プログラムFREQピンがある場合

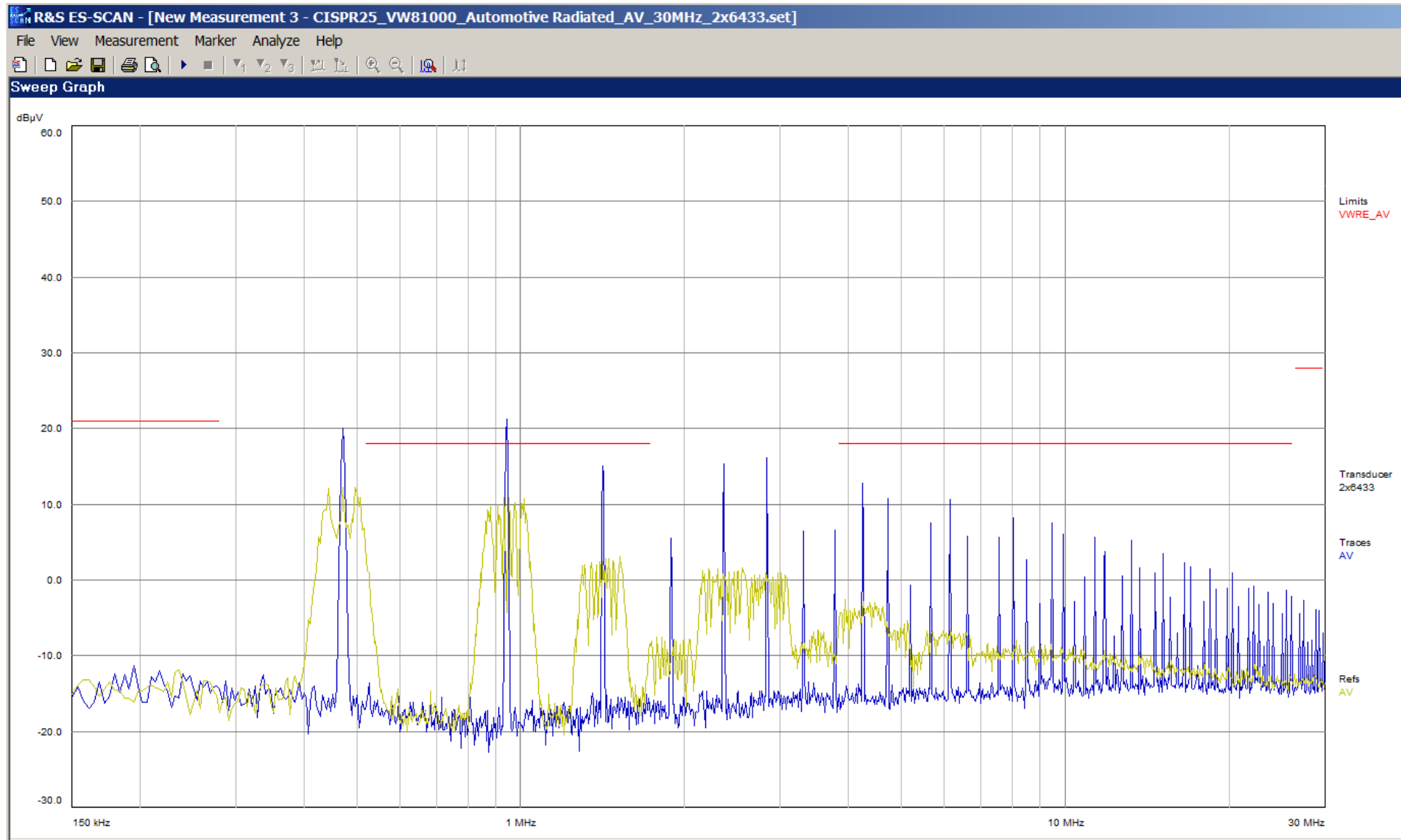


9kHzの変調周波数(FM)を設定

29 Nov 2017
13:28:31



MPQ4430のモノポール150kHz～30MHz放射結果



青 : スペクトラム拡散前

緑 : スペクトラム拡散後

MPQ8875のホワイトノイズシミュレーション ~ レジスタ設定によるスペクトラム拡散

The screenshot displays the MPQ8875 configuration software interface, divided into several sections:

- Advance Config:** Includes Converter On/Off (On), Input Mode (Normal), Light Load Mode (DCM), Output Setup (REF: 1.15V, VOUT Divider Ratio: 1/10), and I2C Address (0x09).
- Debug:** Includes Switching (SW1 and SW2 rising/falling slew rates set to 8 V/ns), Compensation (Rcomp: 914 kΩ, Ccomp: 45 kΩ, Rfb: 0 kΩ, Chfp: 1 kΩ, Ramp: 12.00 mV/us, Peak-to-Valley: 0.2 V, Gain: 13 AV, DC Bias: 200 mV), Current Limit (Reverse: -2.6, Valley: 8, Peak: 9), Power Good (PG) (High Limit: 110%, Low Limit: 90%, Hysteresis: 2.5%), and Frequency Spread Spectrum (FSS) (FSS Modulation Range: ±125, FSS Modulation Cycle: 9000).

The FSS section is highlighted with a red box. The spectrum plot on the right shows a noise floor with a red line indicating the noise level, which is higher at lower frequencies and decreases as frequency increases. The plot is titled "fsbx-000000 - Remotedesktopverbindung" and "(Front Panel Simulation)". The plot shows a peak current (1Pk Clrw) of 25 dBμV and a reference level (Ref) of 30.00 dBμV. The plot is set to a resolution bandwidth (RBW) of 9 kHz, video bandwidth (VBW) of 30 kHz, and a sweep time (SWT) of 3.7s. The plot starts at 400.0 kHz and stops at 30.0 MHz. The plot shows a peak current (1Pk Clrw) of 25 dBμV and a reference level (Ref) of 30.00 dBμV. The plot is set to a resolution bandwidth (RBW) of 9 kHz, video bandwidth (VBW) of 30 kHz, and a sweep time (SWT) of 3.7s. The plot starts at 400.0 kHz and stops at 30.0 MHz.

スペクトラム拡散の注意事項

良いエンジニアリング・プラクティスとしては、固定周波数を使ってスイッチモードPSUを最初に開発し、試験することです。設計評価の開始の段階からスペクトラム拡散を使用することは、過剰なジッタまたは安定性問題をあらわにしないことにつながるかもしれません。

一般的なスペクトラム拡散は、固定周波数設計に最小限のさらなる出力リップルをもたらします。ただし、COT、ヒステリシスおよび固定リップルのような非固定周波数ループトポロジーにおいては、出力でさらなるなにかが発生することはないかもしれません。

過渡応答は、過度の周波数スパンがない限り影響を受けません。

補足1. 入力電圧

EMIは通常、2倍ごとのスイッチ電圧ごとに6dB($=20 \cdot \log 2$)までのスイッチノードとともに上昇します。

したがって、5Vまたは3.3Vの入力電圧のスイッチャでは、2MHz以上でも影響は比較的小さいです。

12Vやそれ以上のより高いスイッチング電圧のスイッチャについては、EMIという観点ではスイッチング周波数を低くした方が良いです。

最適なスペクトラム拡散でも3dBほどの減衰見込みの為、これを踏まえると少なくとも3dBの悪化を考慮する必要があります。

補足2. オシレータ

固定周波数のオシレータには、通常、多少の周波数のブレがありますが、これにより80MHz以上においてスペクトラム拡散と同様の効果を期待できます。

またCOT制御は、限定的ですが周波数変調を行っている為、この効果が顕著となります。

これを考慮すると、高精度のオシレータは、どうしても必要でなければ、あまりお勧めしません。

- スペクトラム拡散はほんのわずかな追加費用で**EMI**を削減できる素晴らしいツールです
- 各**EMI**の**RBW**に最適な変調周波数は、**RBM**周波数近辺です
- **30MHz**未満の周波数帯では、スペクトラム拡散を**9kHz RBW**に最適化しましょう
- **120kHz**の**RBW**またはそれ以上 (**30MHz**より大きい領域) の効果は、**9kHz RBW**に限定的な最適化をもたらします
- 最初に固定周波数設定で**PSU**を試験しましょう
- 外部**FREQ**設定抵抗をともなう部品は、簡単にスペクトラム拡散を実装できます
- 過剰な周波数スパンは最初のいくつかの高調波に寄与するだけで、重複領域には影響をもたらしません