

# 時間・周波数フラットなパルス生成

梅原 大祐

初出: 平成 18 年 11 月 17 日

修正: 平成 18 年 12 月 7 日

## 1 はじめに

屋内電力線の伝達関数の時間変動を調べるために、時間領域・周波数領域共にフラットなパルスを生成する必要が生じた。周波数領域でフラットであるのは調べたい周波数帯における各周波数の SN 比を一定に保ちたいからであり、時間領域でフラットであるのは信号発生器及びデジタルオシロスコープの量子化雑音を低減するためである。

## 2 時間・周波数フラットなパルスの最適化

MATLAB Optimization Toolbox の `fminimax` と `lsqnonlin` により、パルスの最適化を行った。所望のパルスの周波数スペクトル  $P(f)$  の形状は次の通りである。  $F_f = 2\text{MHz}$  ,  $F_e = 30\text{MHz}$  である。

$$|P(f)| = \begin{cases} 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi}{F_f} \cdot f\right), & \text{if } 0 \leq f \leq F_f, \\ 1, & \text{if } F_f \leq f \leq F_e, \\ 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{\pi}{F_f} \cdot (f - F_e)\right), & \text{if } F_e \leq f \leq F_f + F_e. \end{cases} \quad (1)$$

上記以外の周波数においては、 $|P(f)| = 0$  である。なお、平均電力が 1W になるように正規化を行う。このとき、 $|P(f)| \neq 0$  である周波数における位相  $\arg(P(f))$  が最適化パラメータである。サンプリング周波数は 75MHz とする。

パルス  $p(t)$  の電力をできるだけ平坦になるように最適化を行う。最適化の目的関数は、電力の最大値  $P_m$  と標準偏差  $P_d$  のそれぞれ用意した。

$$P_m = \max\{p(t)^2 | 0 \leq t \leq T\}, \quad (2)$$

$$P_d = \frac{1}{\sqrt{T}} \sqrt{\int_0^T (p(t)^2 - 1)^2 dt}. \quad (3)$$

$T$  はパルス間隔で、使用する FFT のサイズにより定まる。最適化には MATLAB Optimization Toolbox を使用した。電力の最大値を最小にするには `fminimax` を、電力の偏差を最小にするには `lsqnonlin` を用いた。`fminimax` で最適化されたパルスを図 1 から図 6 に、`lsqnonlin` で最適化されたパルスを図 7 から図 12 に示す。さらに、`fminimax` で最適化されたパルスの電力の最大値と標準偏差を表 1 に、`lsqnonlin` で最適化されたパルスの電力の最大値と標準偏差を表 2 に示す。

表 1: fminimax によるパルスの評価

パルス間隔 [ $\mu\text{sec}$ ]	電力最大 [W]	電力偏差 [W]
1.28	1.51	0.587
2.56	1.51	0.575
5.12	1.48	0.538
10.24	1.50	0.560
20.48	1.58	0.614
40.96	1.64	0.643

表 2: lsqnonlin によるパルスの評価

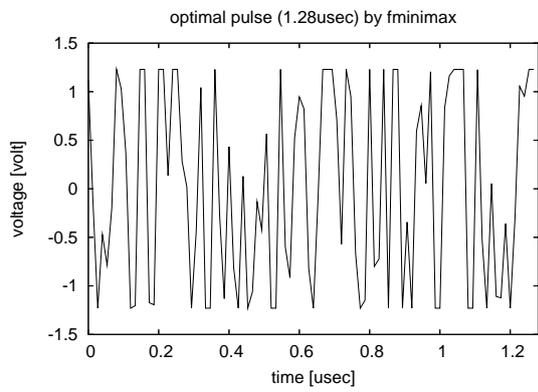
パルス間隔 [ $\mu\text{sec}$ ]	電力最大 [W]	電力偏差 [W]
1.28	1.99	0.446
2.56	2.03	0.422
5.12	2.15	0.420
10.24	1.92	0.401
20.48	2.09	0.404
40.96	2.06	0.411

### 3 信号発生器のサンプリング周波数に合わせたチューニング

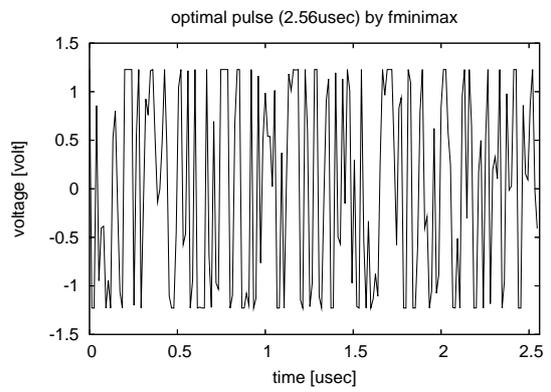
パルス生成に利用する任意波形/ファンクション・ゼネレータ Tectronix AFG3101 型は，サンプリング周波数 250MHz で任意波形を生成する．そこで，パルスのサンプリング周波数 75MHz から 250MHz に変更する必要がある．サンプリング周波数の変更には，MATLAB Filter Design Toolbox の resample を利用する．resample の動作は次の通りである．

1. 75MHz から 750MHz にアップサンプリングする．
2. イメージングをローパスフィルタで除去する．
3. 750MHz から 250MHz にダウンサンプリングする．

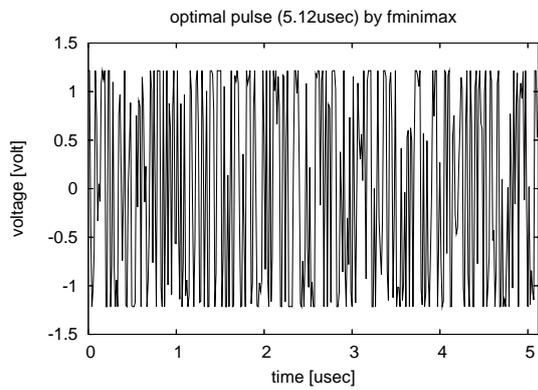
上記の手順 2 で用いるローパスフィルタは，MATLAB Filter Design Toolbox の fdatool で行った．サンプリング周波数を 750MHz，6dB カットオフ周波数を 33MHz，ロールオフファクタを 3/33，フィルタ次数を 1000 とし， $\beta = 0.5$  のカイザー窓を用いた．以上の過程を経た 40.96 $\mu\text{sec}$  のパルス (10240 ポイント) が図 13, 14 である．図 13 が fminimax 最適化パルス，図 14 が lsqnonlin 最適化パルスである．いずれも，図 6, 12 と比較して，電力変動が大きくなっている．fminimax 最適化パルスの電力の最大値が 5.42，標準偏差が 0.886 であり，lsqnonlin 最適化パルスの電力の最大値が 4.41，標準偏差が 0.771 である．表 1, 2 と比較して，lsqnonlin 最適化パルスの方がサンプリング周波数の変更に伴う劣化の度合いが少ないことが分かる．ただし，周波数領域では，fminimax 最適化パルスの方がイメージングを除去できていることが図 15, 16 から分かる．



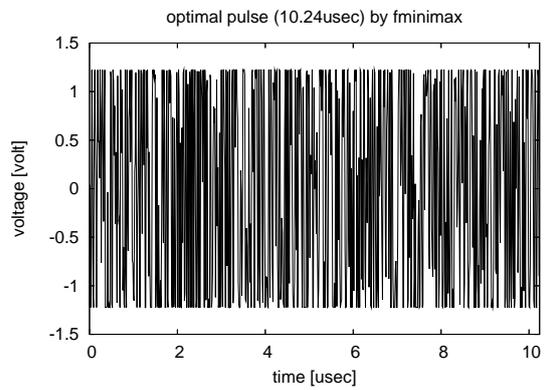
☒ 1: 1.28 $\mu$ sec by fminimax.



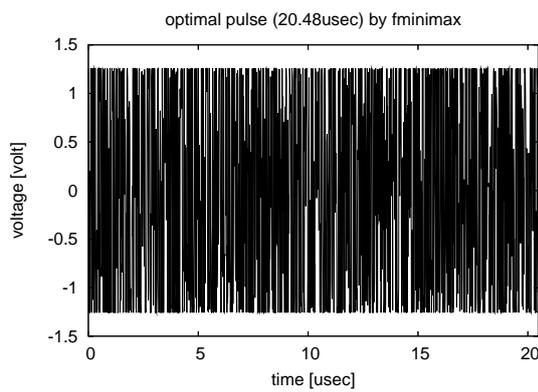
☒ 2: 2.56 $\mu$ sec by fminimax.



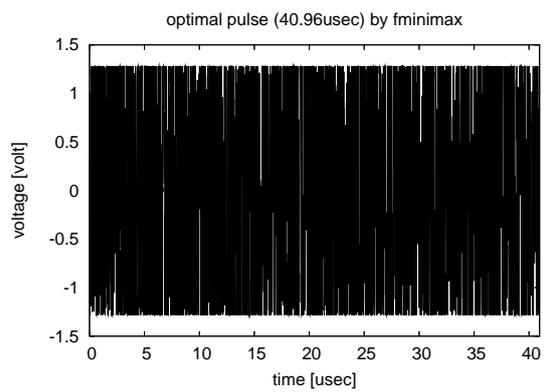
☒ 3: 5.12 $\mu$ sec by fminimax.



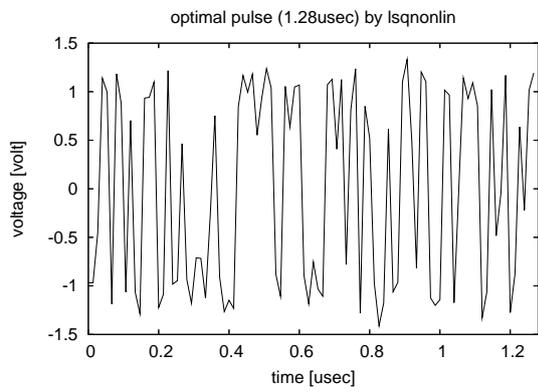
☒ 4: 10.24 $\mu$ sec by fminimax.



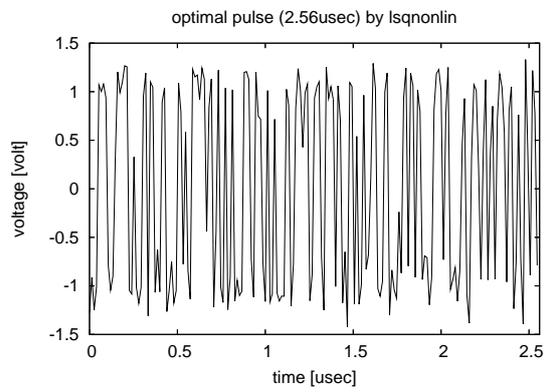
☒ 5: 20.48 $\mu$ sec by fminimax.



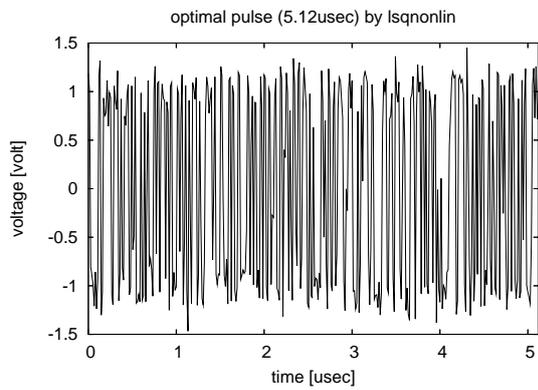
☒ 6: 40.96 $\mu$ sec by fminimax.



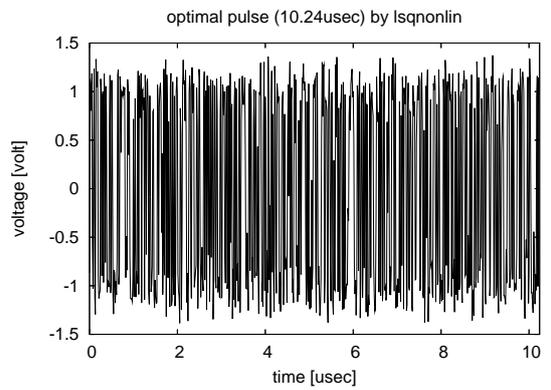
☒ 7: 1.28 $\mu$ sec by lsqnonlin.



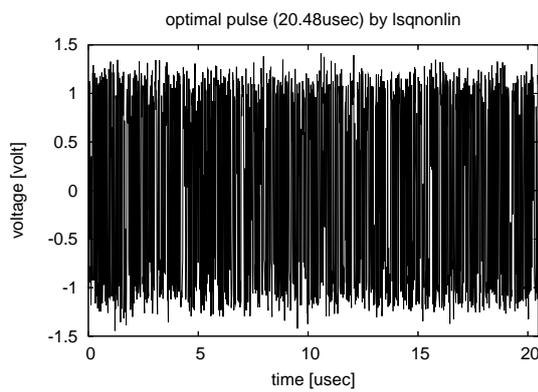
☒ 8: 2.56 $\mu$ sec by lsqnonlin.



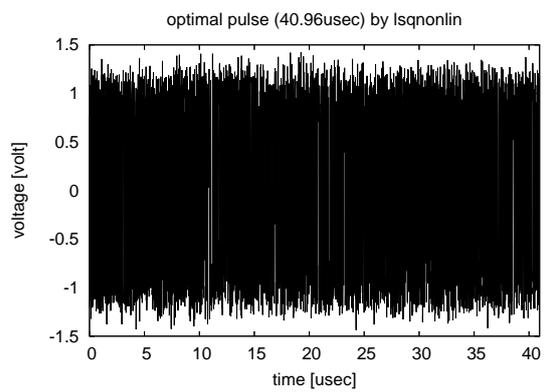
☒ 9: 5.12 $\mu$ sec by lsqnonlin.



☒ 10: 10.24 $\mu$ sec by lsqnonlin.



☒ 11: 20.48 $\mu$ sec by lsqnonlin.



☒ 12: 40.96 $\mu$ sec by lsqnonlin.

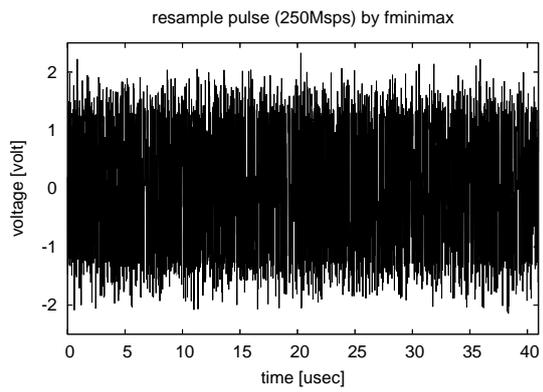


図 13: fminimax 最適化パルスの時間領域.

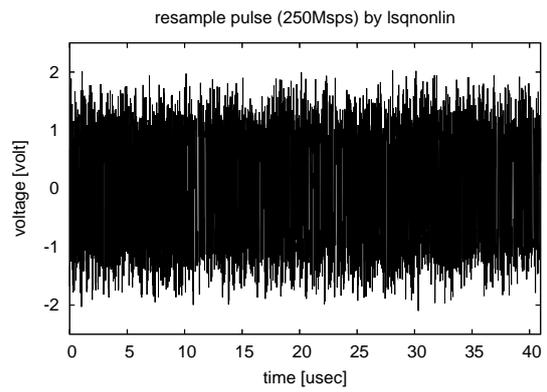


図 14: lsqnonlin 最適化パルスの時間領域.

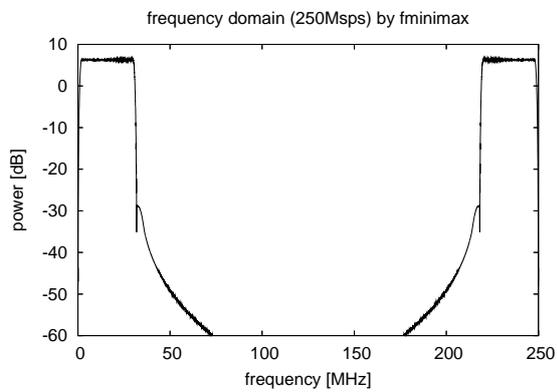


図 15: fminimax 最適化パルスの周波数領域.

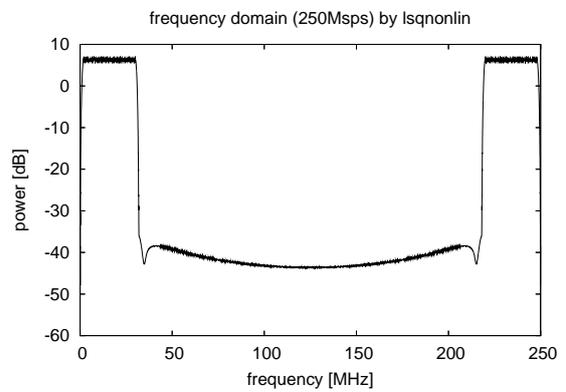


図 16: lsqnonlin 最適化パルスの周波数領域.