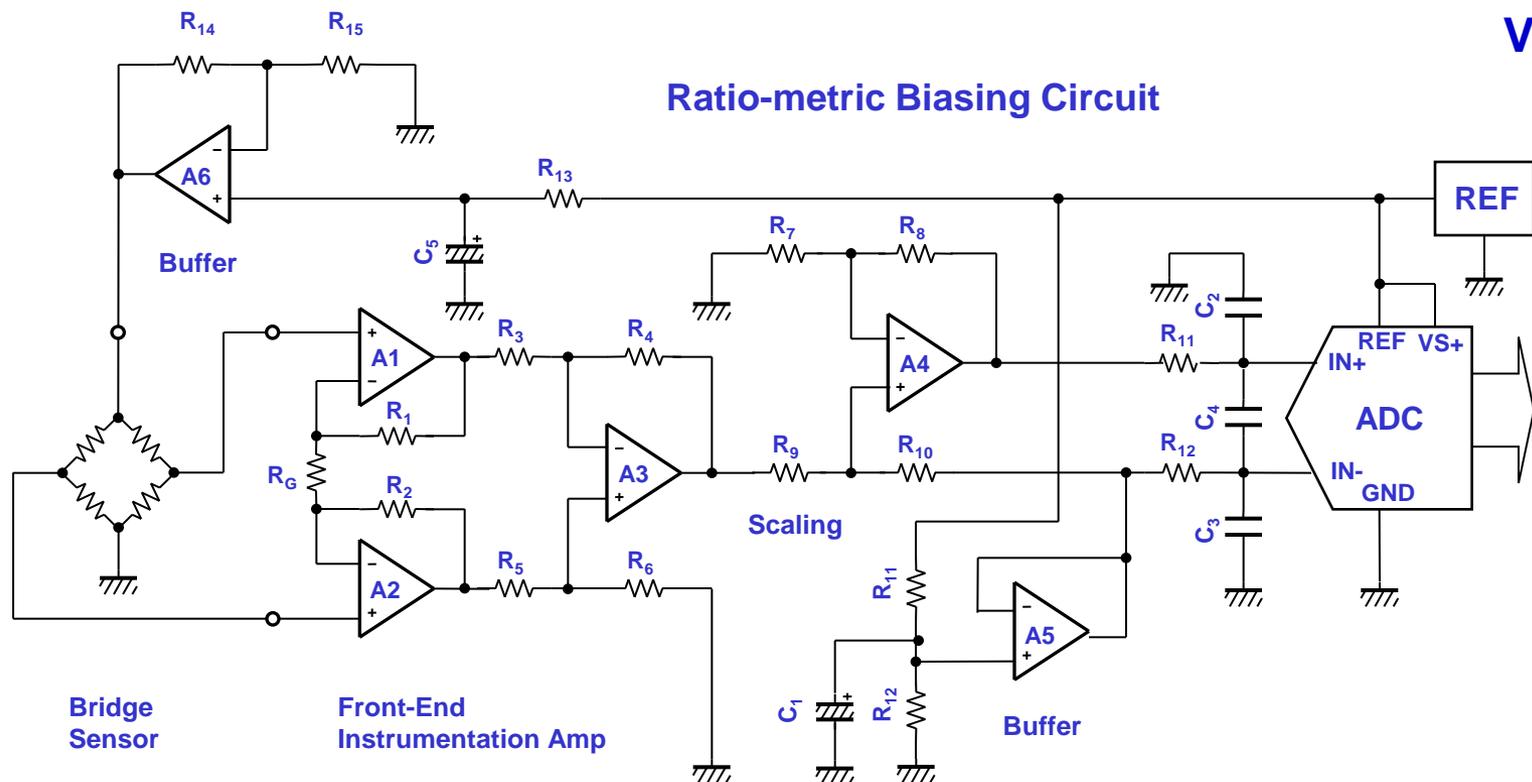


# Let's learn Signal Chain

## セッション 6 : オペアンプ性能のシミュレーション(後半)

Ver.-2.2



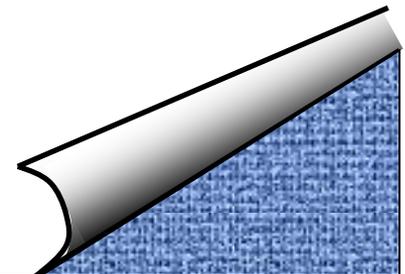
# セッション・インデックス(後半)

## ✦ S6.1 ゲイン段(続き): AC性能のシミュレーション

- (1) ミドル・ブルック法による位相余裕の解析
- (2) 位相余裕とステップ応答の比較
- (3) 位相余裕とゲイン・ピーク
- (4) 位相余裕の改善例

## ✦ S6.2 出力段: ステップ応答のシミュレーション

- (1) 反転アンプのステップ応答
- (2) 絶対値回路におけるブレイクの影響
- (3) 非反転アンプのステップ応答
- (4) スルーレートとセトリング時間の比較
- (5) 有限スルーレートによる波形歪



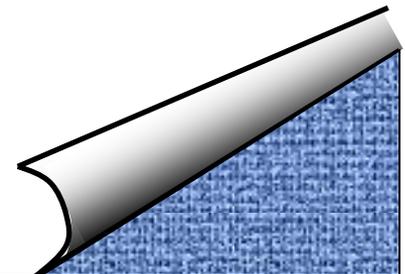
# セッション・インデックス(後半)

## ✚ S6.1 ゲイン段(続き): AC性能のシミュレーション

- (1) ミドル・ブルック法による位相余裕の解析
- (2) 位相余裕とステップ応答の比較
- (3) 位相余裕とゲイン・ピーク
- (4) 位相余裕の改善例

## ✚ S6.2 出力段: ステップ応答のシミュレーション

- (1) 反転アンプのステップ応答
- (2) 絶対値回路におけるブレークの影響
- (3) 非反転アンプのステップ応答
- (4) スルーレートとセトリング時間の比較
- (5) 有限スルーレートによる波形歪



# ミドル・ブルック法による位相余裕の解析: OPA627の特性

“Gain\_Phase\_OPA627.TSC”を開きAC解析を行う。

The image displays a circuit simulation environment with two OPA627 op-amp models and their associated AC analysis settings.

**Top Model (OPA627E):** This model is configured with a feedback resistor  $R_{f1} = 2k\Omega$  and an input resistor  $R_{i1} = 500\Omega$ . It is powered by  $\pm 15V$  supplies. The output is connected to a load resistor  $R_{L1} = 1k\Omega$ . Currents  $I_y$  and  $I_x$  are measured at the output node. The model is labeled "OPA627E".

**Bottom Model (U2 OPA627E):** This model is configured with a feedback resistor  $R_{f2} = 2k\Omega$  and is powered by  $\pm 15V$  supplies. The output is connected to a load resistor  $R_{L2} = 1k\Omega$ . Currents  $V_y$  and  $V_x$  are measured at the output node. The model is labeled "U2 OPA627E".

**AC Analysis Settings (AC伝達特性):**

- 開始周波数 (Start Frequency): 1 [Hz]
- 終了周波数 (End Frequency): 100M [Hz]
- 点の数 (Number of Points): 1000
- 掃引タイプ (Sweep Type): 対数 (Logarithmic)
- ダイアグラム (Diagrams):
  - 振幅 (Amplitude)
  - ナイキスト (Nyquist)
  - 位相 (Phase)
  - 群遅延 (Group Delay)
  - 振幅 & 位相 (Amplitude & Phase)

**Simulation Menu (解析(W) T&M ツール(Y) TI Utilities):**

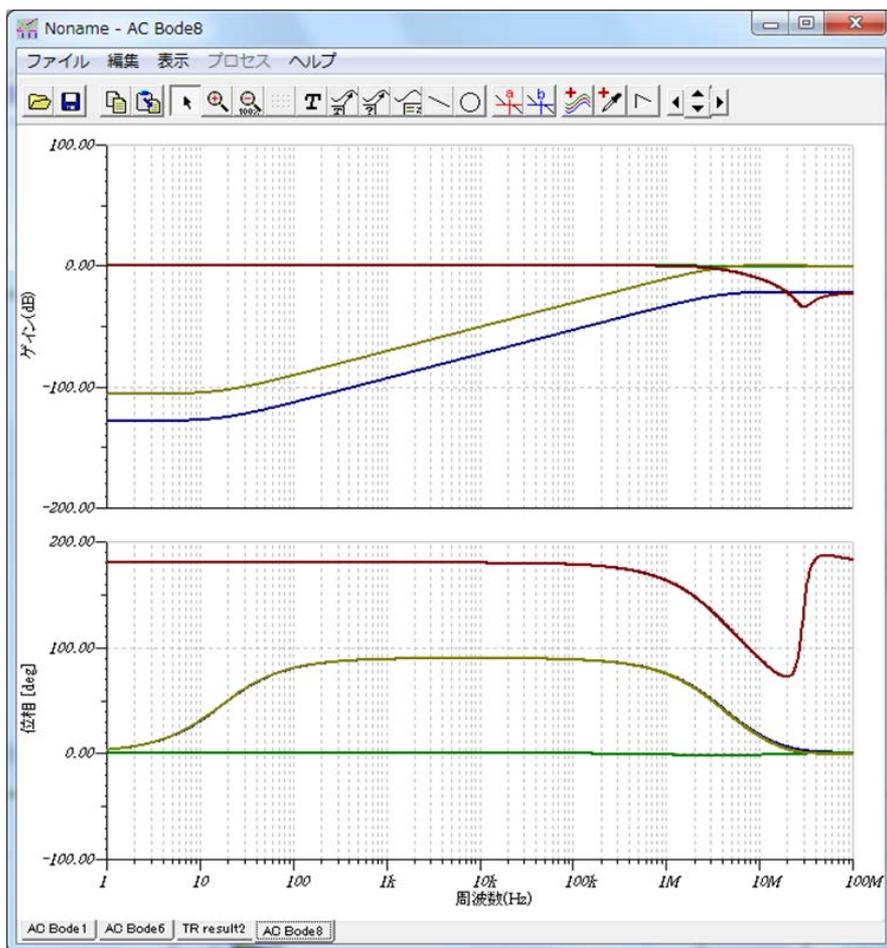
- ERC...
- モード...
- コントロール・オブジェクトを選択
- 解析パラメータをセット...
- DC解析
- AC解析
- 過渡解析...
- ステディ・ステート解析
- フーリエ解析

**Simulation Results (節点電圧を計算 AC結果の表 AC伝達特性...):**

- 節点電圧を計算
- AC結果の表
- AC伝達特性...

# ミドル・ブルック法による位相余裕の解析: 曲線の追加手順その1

グラフが出現したら、計算値の曲線を追加するため式をコピーする。



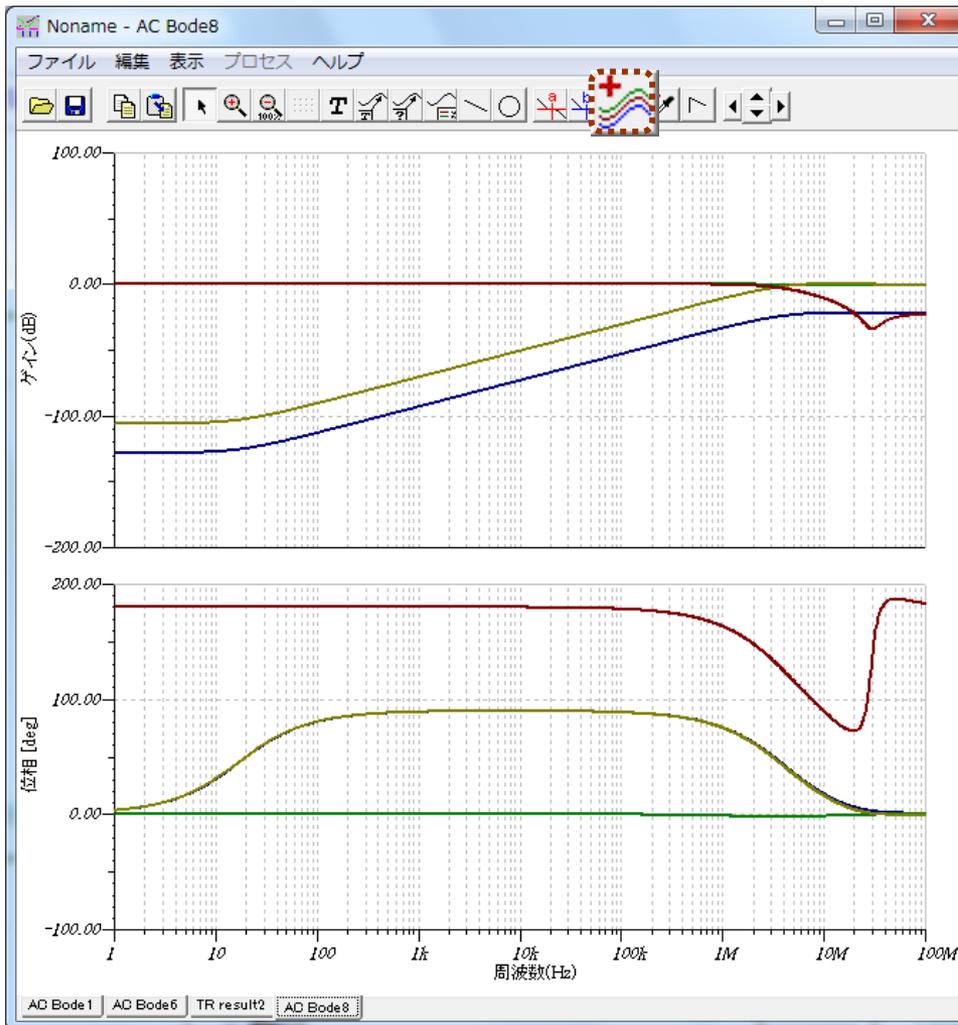
$$\frac{-I_x(s) \cdot V_x(s) + I_y(s) \cdot V_y(s)}{(2 \cdot I_x(s) \cdot V_x(s) + I_x(s) \cdot V_y(s) + I_y(s) \cdot V_x(s))}$$

回路図上部の式をWクリック

<記事>この窓を“ダイアグラムWindow”と呼ぶ。

# ミドル・ブルック法による位相余裕の解析: 曲線の追加手順その2

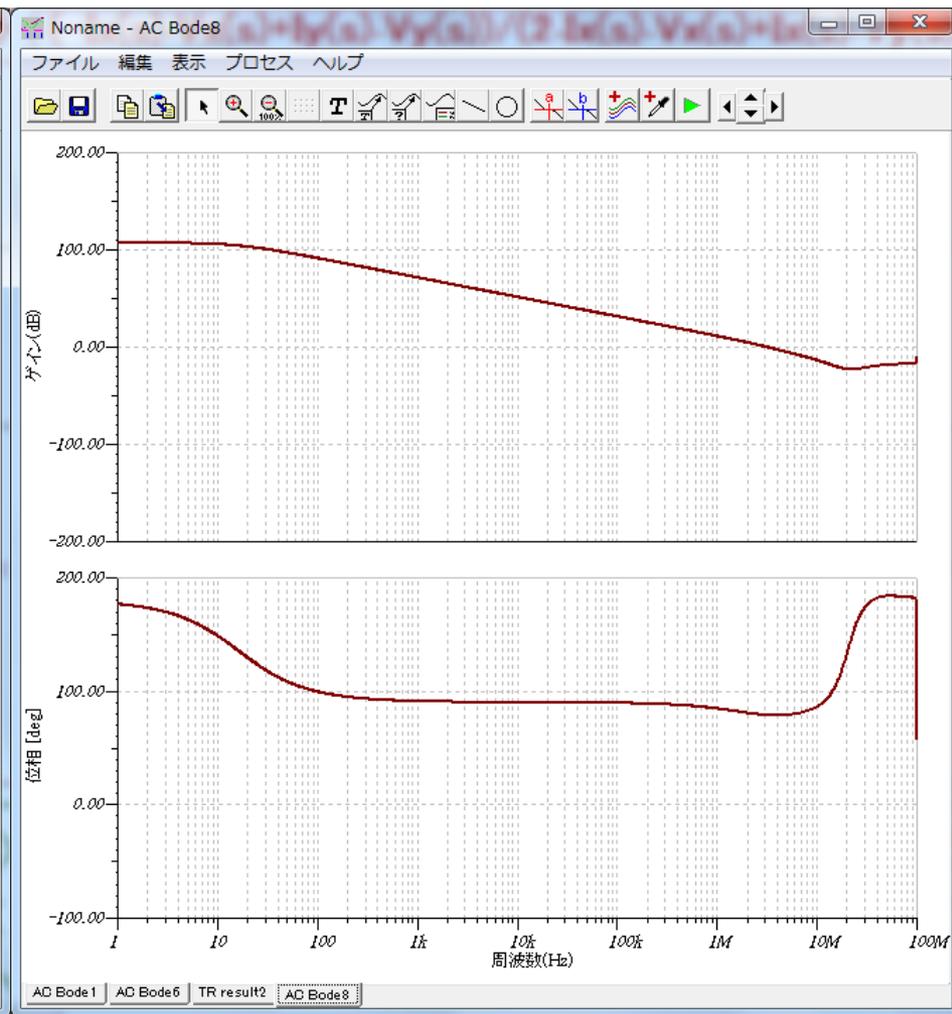
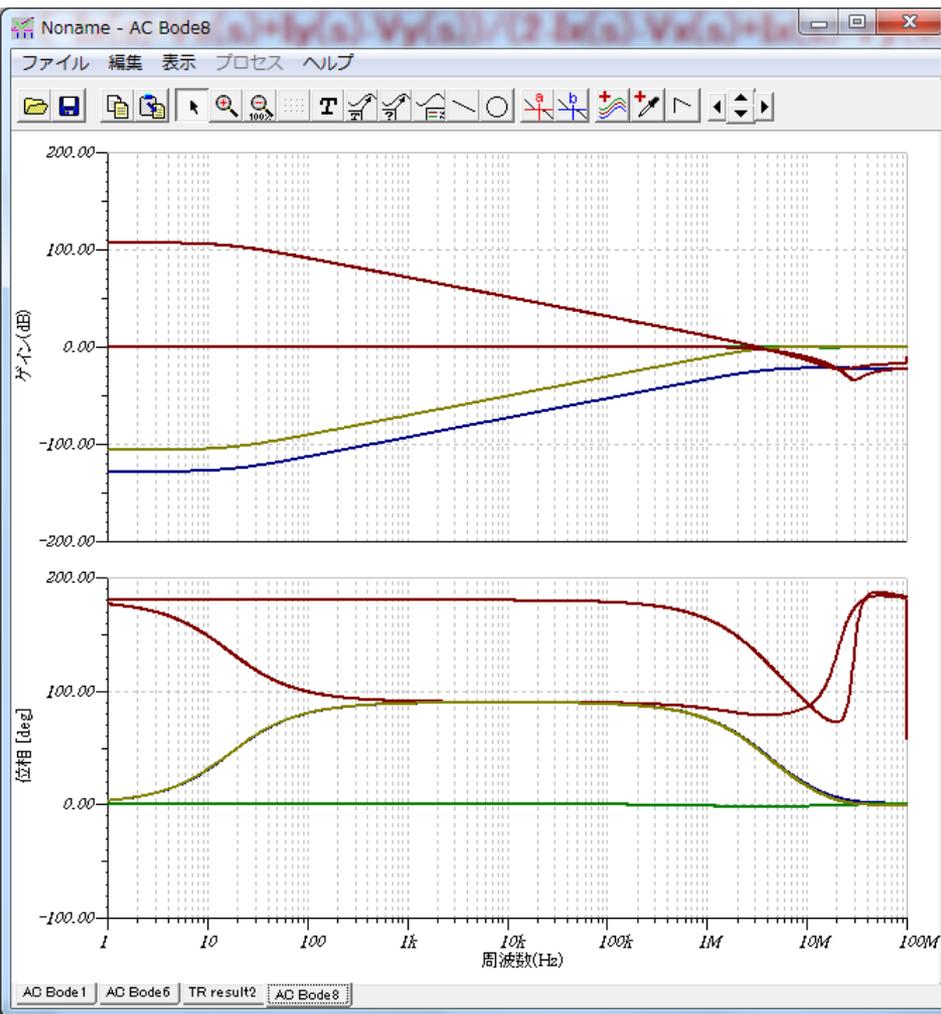
曲線の追加ボタンを押して, 出現したダイアログ・ボックスへ式を張り付ける。



\frac{-I\_x(s) \cdot V\_x(s) + I\_y(s) \cdot V\_y(s)}{(2 \cdot I\_x(s) \cdot V\_x(s) + I\_x(s) \cdot V\_y(s) + I\_y(s) \cdot V\_x(s))}. Below the text box is a '詳細な編集' (Detailed Edit) section with a text area containing a template: '[This is a template] [Don't modify the functionname] Function F(s) Begin {Your expressions here} [The result value] F := 1;'. To the right of this section is a '新しい関数名:' (New Function Name) field containing 'MyFunction5', and buttons for '作成' (Create) and 'プレビュー' (Preview). At the bottom of the dialog, it shows 'Gain\_Phase\_OPA627.TSC &gt;&gt; AC伝達解析'."/&gt;

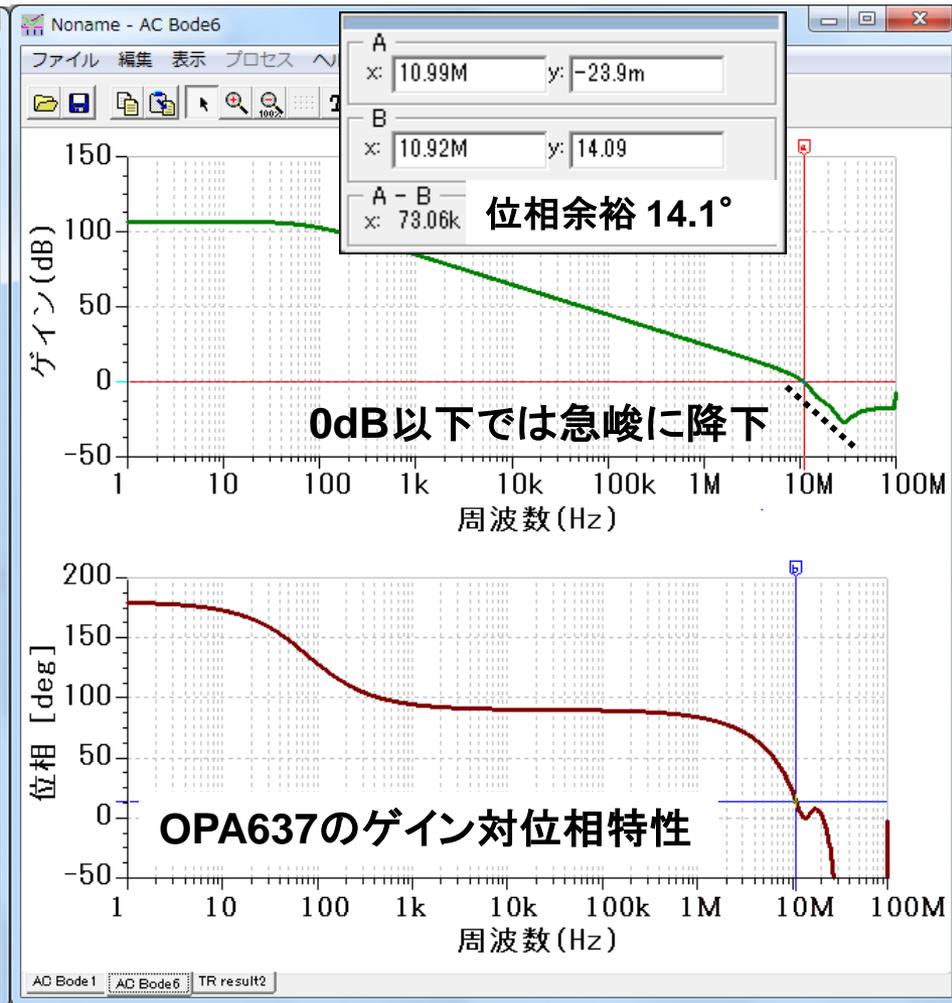
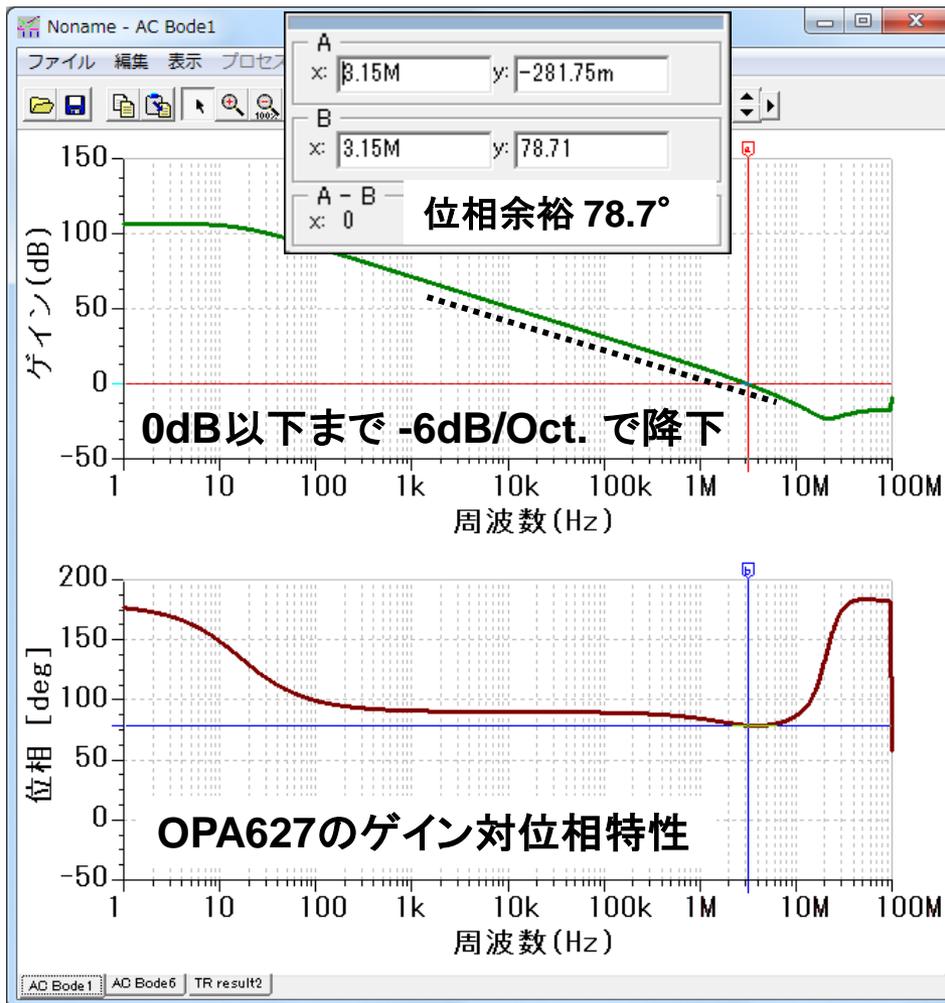
# ミドル・ブルック法による位相余裕の解析: 曲線の追加手順その3

不要な曲線を消去しボード線図に仕上げる。



# ミドル・ブルック法による位相余裕の解析: OPA627と637の比較

“Gain\_Phase\_OPA637.TSC”も同様に行い、ボード線図の比較をする。



# 位相余裕とステップ応答の比較: 信号源設定

“Step\_OPA627\_637.TSC”を開き, 信号源の波形を設定.

The image shows a circuit diagram and two software dialog boxes. The circuit includes a signal source (VS 0), resistors R1 (500) and R2 (2k), and an operational amplifier (-VS). The first dialog box, 'VG1 - 電圧ジェネレータ', shows the signal type set to '任意波形' (Arbitrary Waveform). The second dialog box, '信号エディタ' (Signal Editor), shows a trapezoidal waveform with timing parameters.

① 信号源を選択して右クリック

② プロパティを選択

③ 出現したダイアログから任意波形を選択

④ ボタンを押す

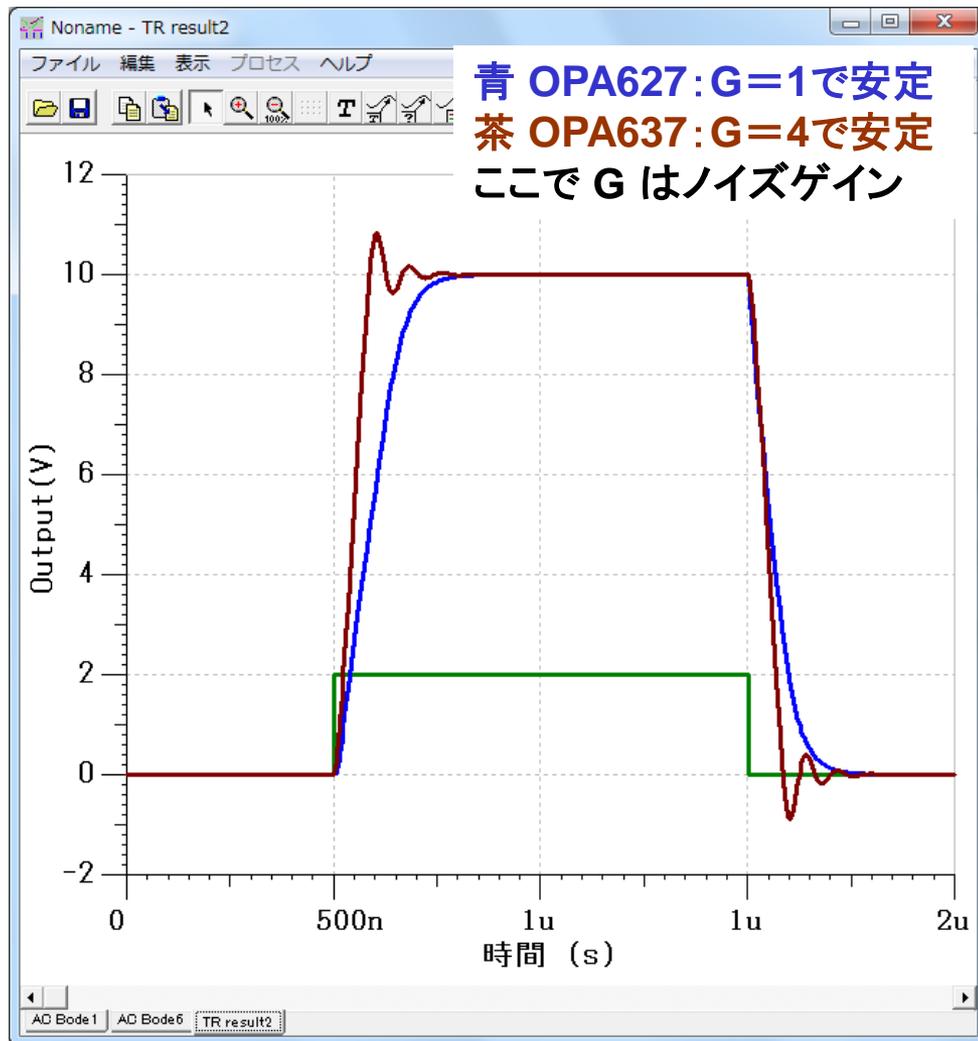
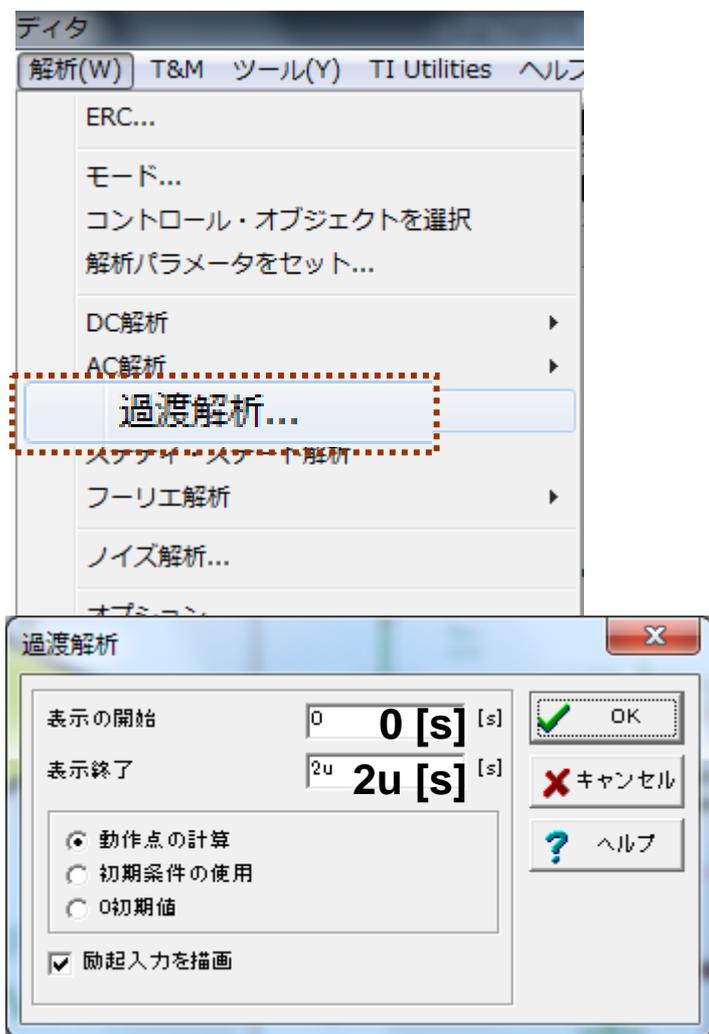
⑤ 出現した信号エディタから台形波を選択

⑥ タイミングを設定して“OK”ボタン

振幅 #1 [V] (A1)	2
振幅 #2 [V] (A2)	0
時間インターバル#1 [s] (T1)	1n
時間インターバル#2 [s] (T2)	1u
時間インターバル#3 [s] (T3)	500p
時間インターバル#4 [s] (T4)	500p
時間インターバル#5 [s] (T5)	1u
時間インターバル#6 [s] (T6)	1n
時間シフト[s] (TS)	500n

# 位相余裕とステップ応答の比較: 表示時間幅の設定

過渡解析メニューを選択し表示時間幅を設定.

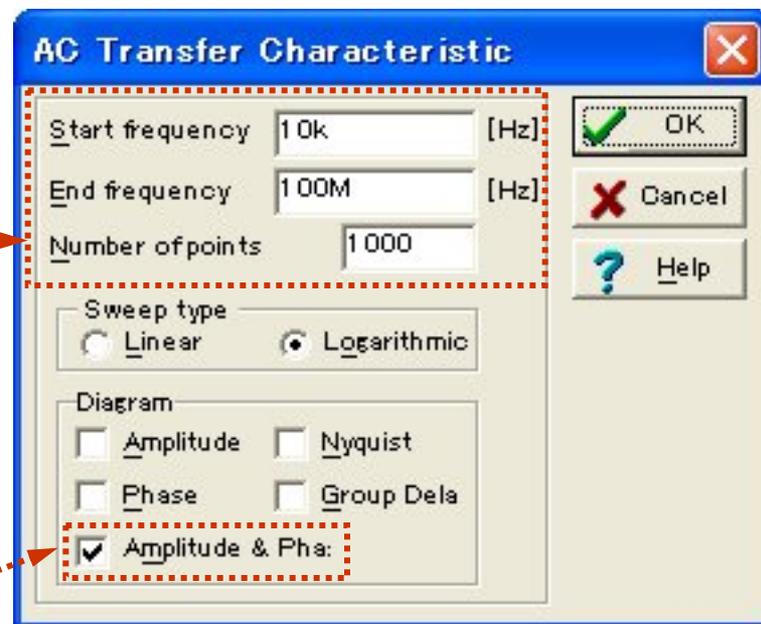


# 位相余裕とゲイン・ピーク: 表示帯域幅の設定

“Step\_OPA627\_637.TSC”にて両者のAC伝達特性を調べる。



① “Analysis”メニューから  
“AC Analysis”を選択



② グラフ Window の表示範囲を設定

- スタート: 100 mHz
- ストップ: 10 MHz
- ポイント数: 100 (データの数)

③ 表示内容として“Amplitude & Pha”を選択

# 位相余裕とゲイン・ピーク: 同一ゲイン( $G=+5$ )での解析結果

## ゲイン・ピークの有無を確認

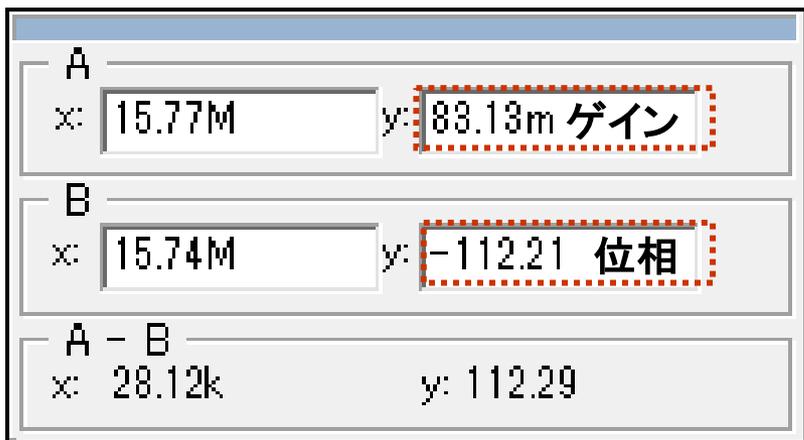
両者のゲイン対周波数

OPA627(オーバー・シュートなし)

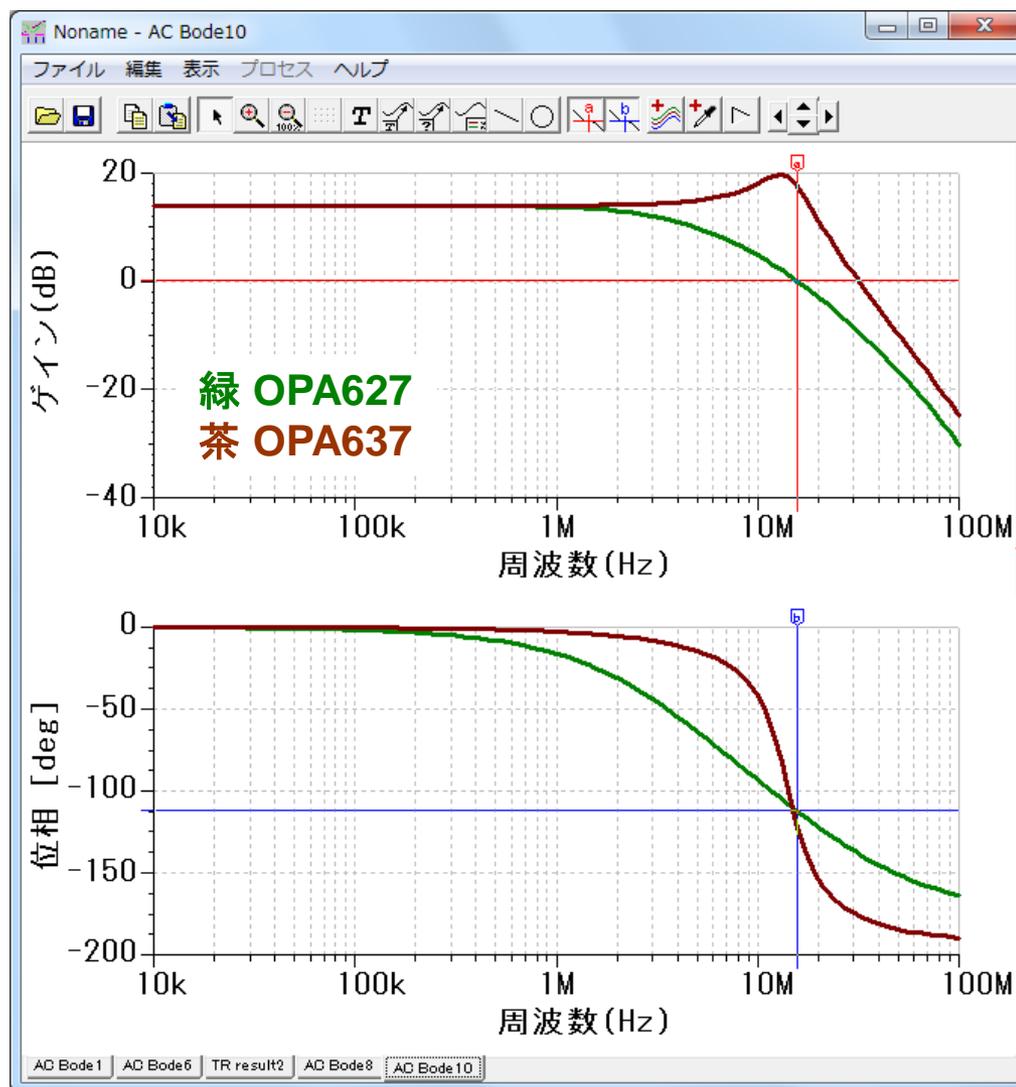
- 滑らかに低下
- 位相シフトは直線的

OPA637(オーバー・シュートあり)

- ゲイン・ピークあり
- 位相シフトは肩の所で急峻



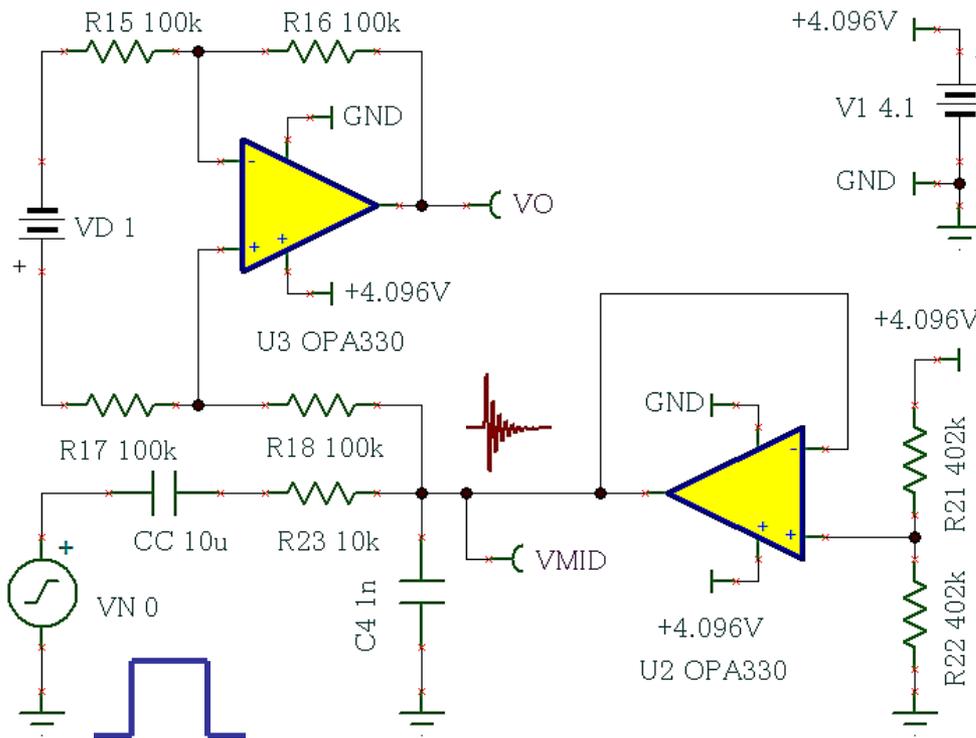
OPA627の位相余裕 67.8°



# 位相余裕の改善例: 中点バッファに見られる容量性負荷

“Mid\_Buffer\_No\_Comp\_Tran”を開き,  $V_{MID}$ の過渡応答を見る.

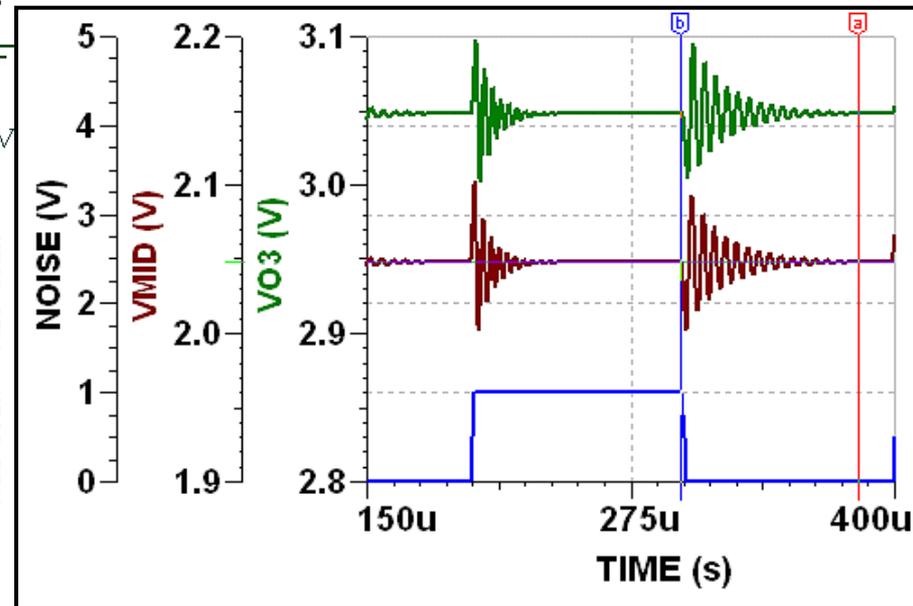
$V_{MID}$ が安定するまでの時間が長い.  
容量性負荷による位相余裕の減退?



安定までの時間  
84.2 $\mu$ s

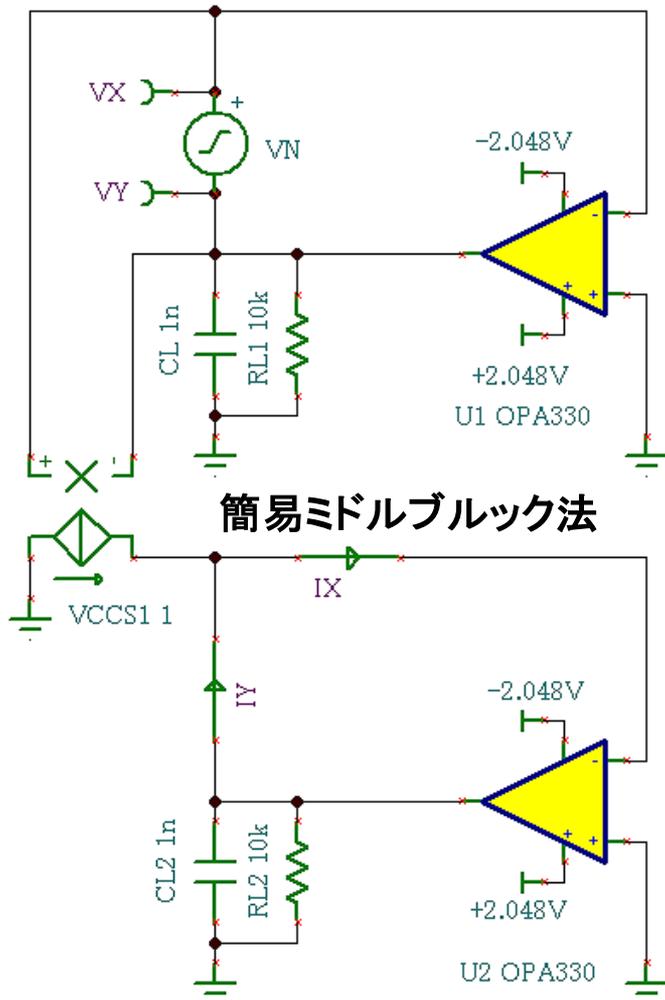
A	x: 382.817869u	y: 2.047849
B	x: 298.62543u	y: 2.04802
A - B	x: 84.19244u	y: -170.480u

過渡解析による各部の波形

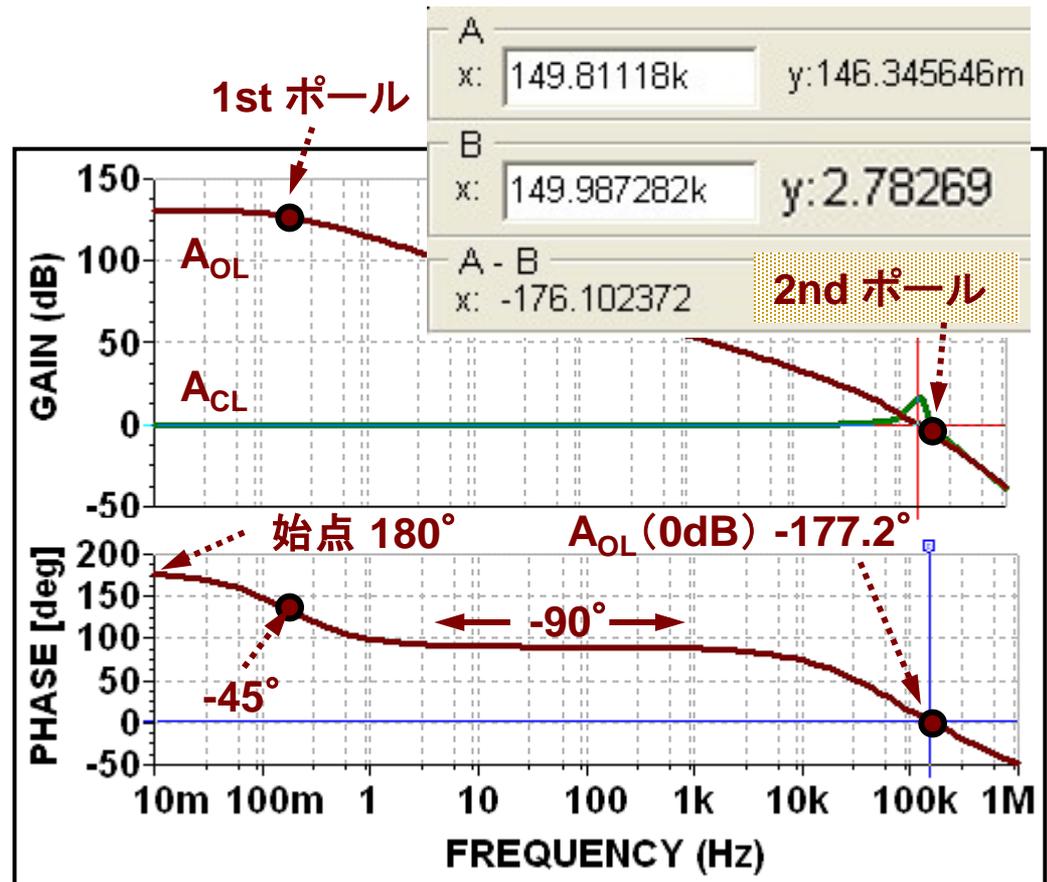


# 位相余裕の改善例：容量性負荷の影響を調べる

“Mid\_Buffer\_No\_Comp”を開き位相余裕を調査。

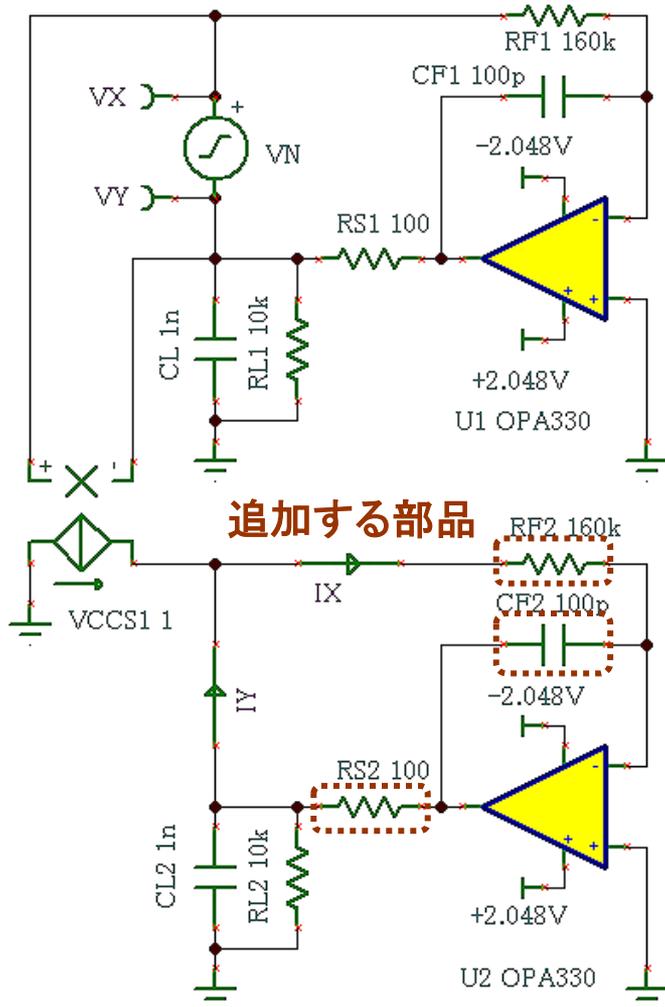


位相余裕が $3^\circ$ 弱で、インターセプト点にゲイン・ピーク。放置すると、量産時にオペアンプの発振トラブルが発生。



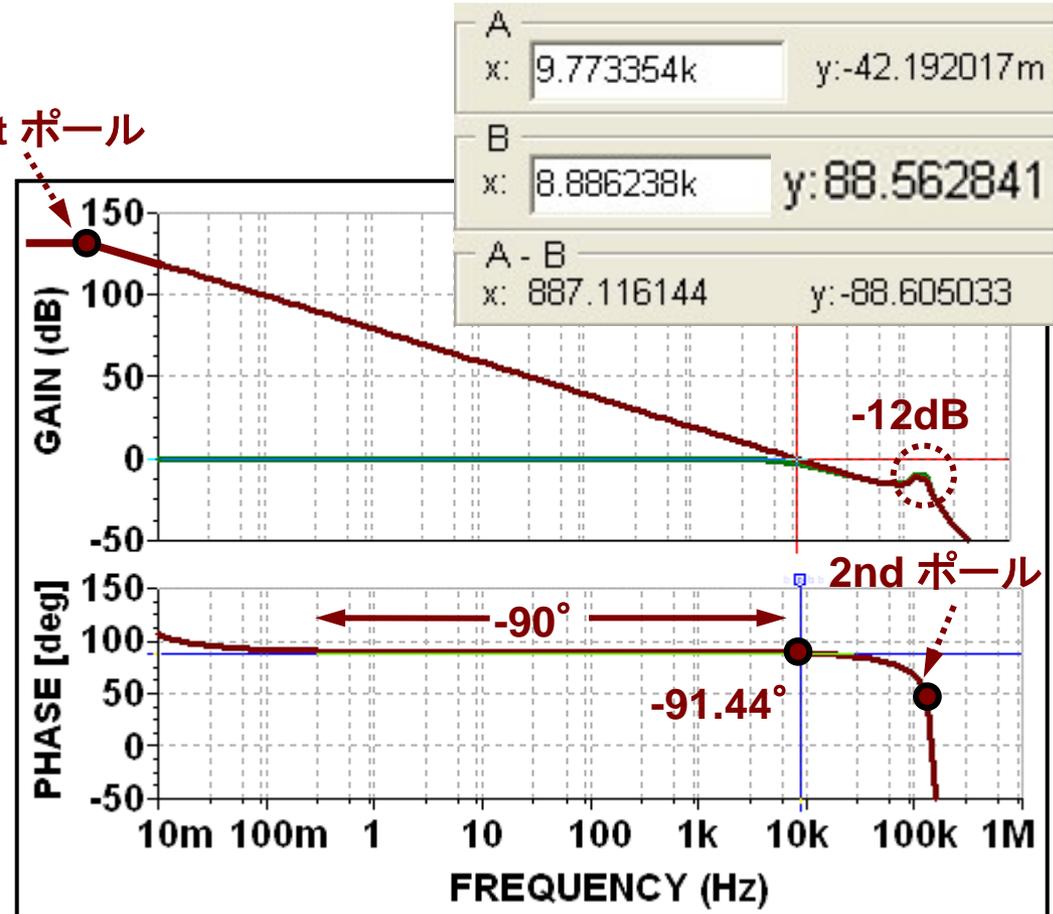
# 位相余裕の改善例: 分離抵抗 $R_S$ と補正用 $R_F + C_F$ で対応

“Mid\_Buffer\_Comp”を開き、位相余裕の改善度合いを調査。



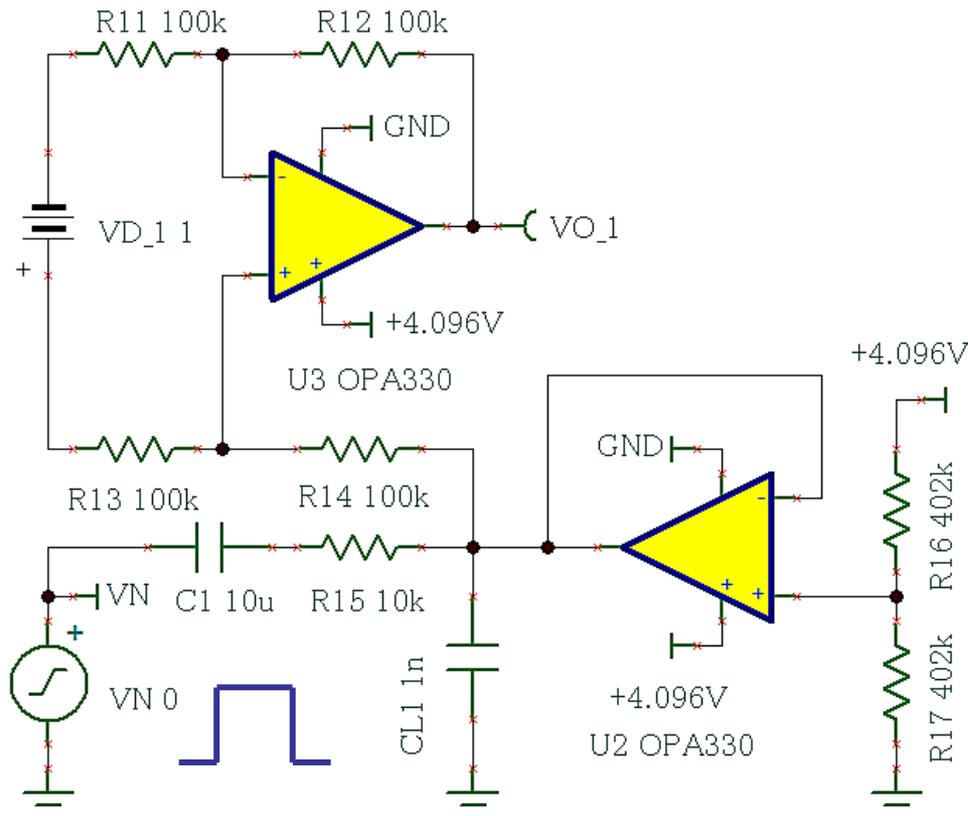
1stポールを低域にシフトさせ、位相余裕を88.6°に改善。

1stポール

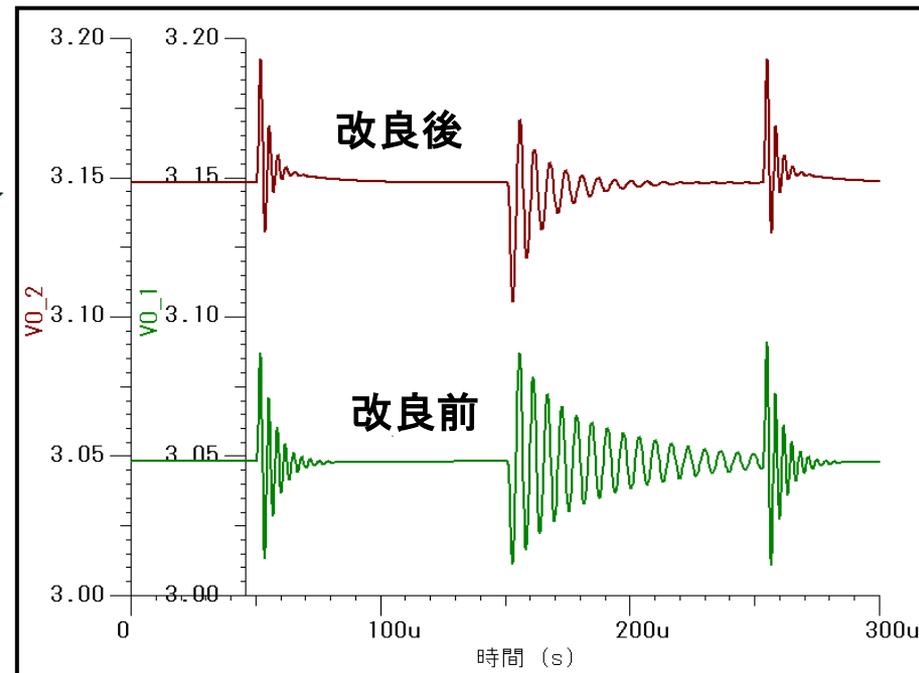


# 位相余裕の改善例: 改善結果の確認

“Mid\_Buffer\_Tran\_Check”を開き、改善具合を確認.



位相余裕が増大し、安定までの時間が短縮.



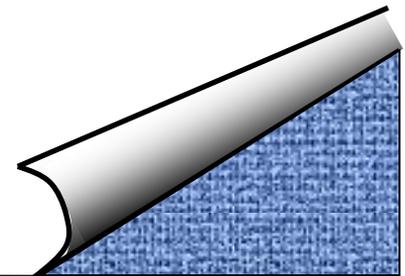
# セッション・インデックス(後半)

## ✚ S6.1 ゲイン段(続き): AC性能のシミュレーション

- (1) ミドル・ブルック法による位相余裕の解析
- (2) 位相余裕とステップ応答の比較
- (3) 位相余裕とゲイン・ピーク
- (4) 位相余裕の改善例

## ✚ S6.2 出力段: ステップ応答のシミュレーション

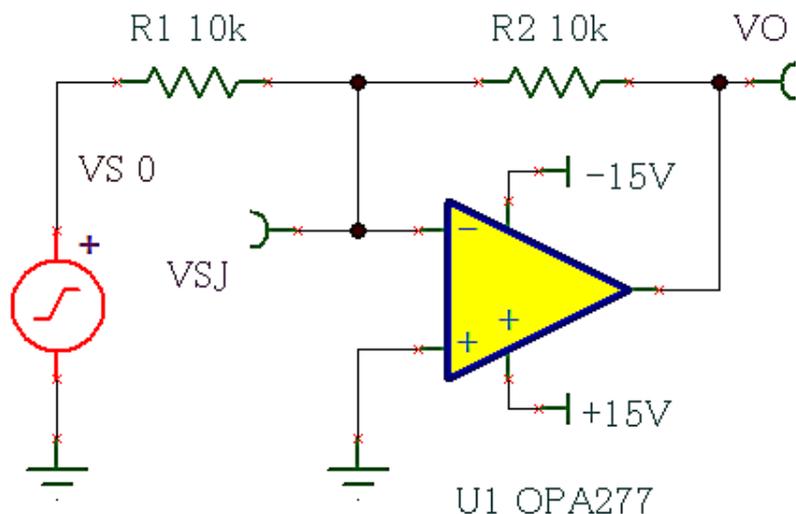
- (1) 反転アンプのステップ応答
- (2) 絶対値回路におけるブレークの影響
- (3) 非反転アンプのステップ応答
- (4) スルーレートとセトリング時間の比較
- (5) 有限スルーレートによる波形歪



# 反転アンプのステップ応答: 信号設定(1)

“Inv\_Amp\_Step.TSC”を開き、ステップ入力に対する $V_{Sj}$ を解析。

③ シグナル“単位ステップ”を選択し、右側の“...”ボタンを押す



① 信号源をWクリック

左に回転

右に回転

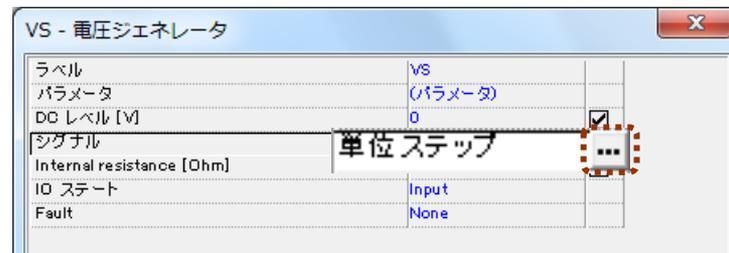
鏡像

プロパティ...

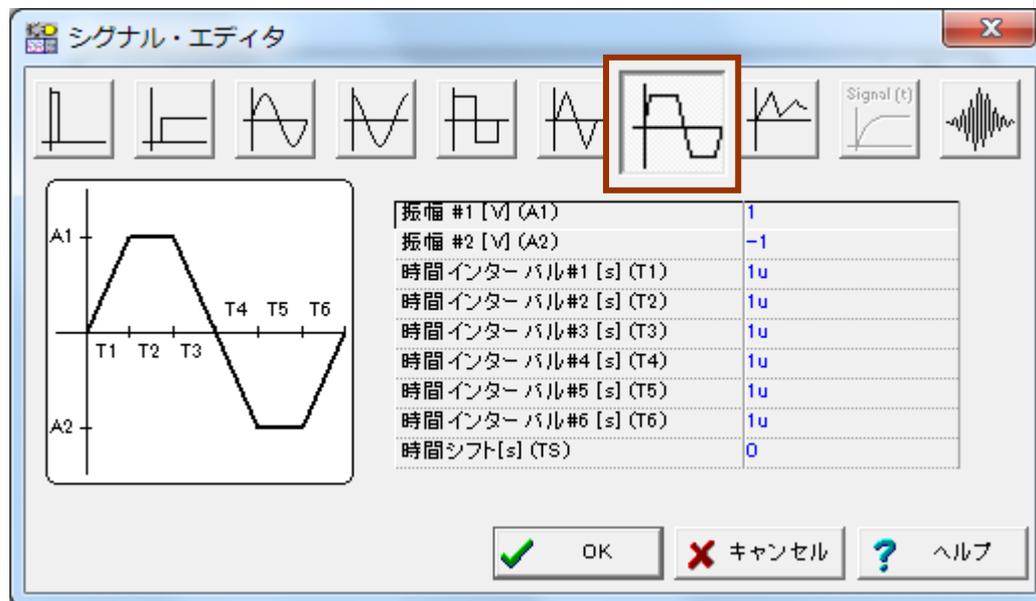
記号を編集...

マクロに入る

② プロパティを選択



④ 任意波形からパルス“一般”を選択

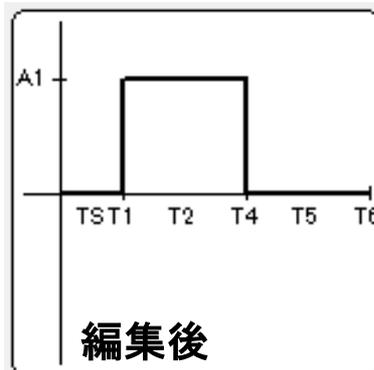
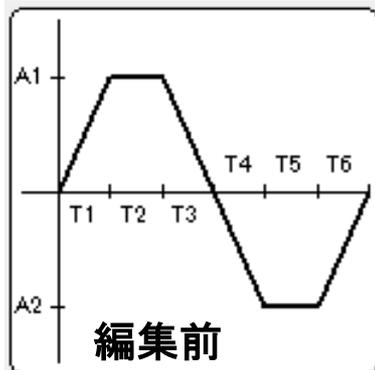


# 反転アンプのステップ応答: 信号設定(2)

設定により, 任意波形のパルス“一般”を両極性から単極性へ編集.

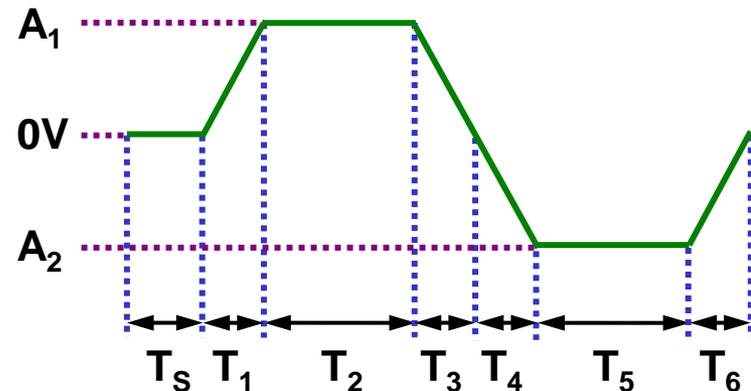
## ⑤ パルス波形の編集

振幅 #1 [V] (A1)	10
振幅 #2 [V] (A2)	0
時間インターバル#1 [s] (T1)	1n
時間インターバル#2 [s] (T2)	100u
時間インターバル#3 [s] (T3)	500p
時間インターバル#4 [s] (T4)	500p
時間インターバル#5 [s] (T5)	100u
時間インターバル#6 [s] (T6)	1n
時間シフト[s] (TS)	50u



記号の意味と, 単極性パルスへの設定値.

- $A_1$  信号源  $V_S$  のHigh側レベル: 10V
- $A_2$  信号源  $V_S$  のLow側レベル: 0V
- $T_1, T_6$  立上り時間 : 1ns
- \*  $T_6$ は単極性なら0でも良い.
- $T_3 + T_4$  立下り時間 : 1ns (0.5ns + 0.5ns)
- パルス幅  $T_2, T_5$ : 100 $\mu$ s
- スタートの遅延: “時間シフト”  $T_S = 50\mu$ s



# 反転アンプのステップ応答: 過渡解析の実行

過渡解析により波形で見る.

ERC...  
モード...  
コントロール・オブジェクトを選択  
解析パラメータをセット...

DC解析  
AC解析

⑥ “解析”メニューの“過渡解析”を選択

過渡解析...

ステディ・ステート解析

フーリエ解析

ノイズ解析...

オプション...

過渡解析

⑦ 表示時間幅の設定

表示の開始

0

[s]



OK

表示終了

200u

[s]



キャンセル

動作点の計算

初期条件の使用

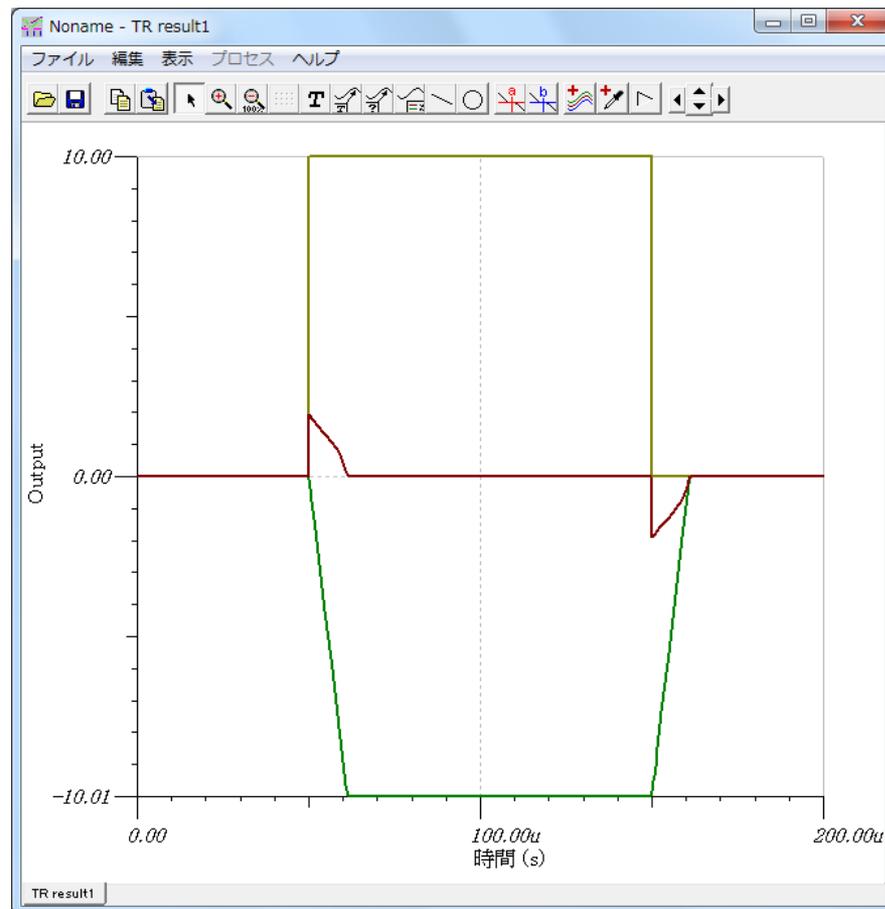
0初期値



ヘルプ

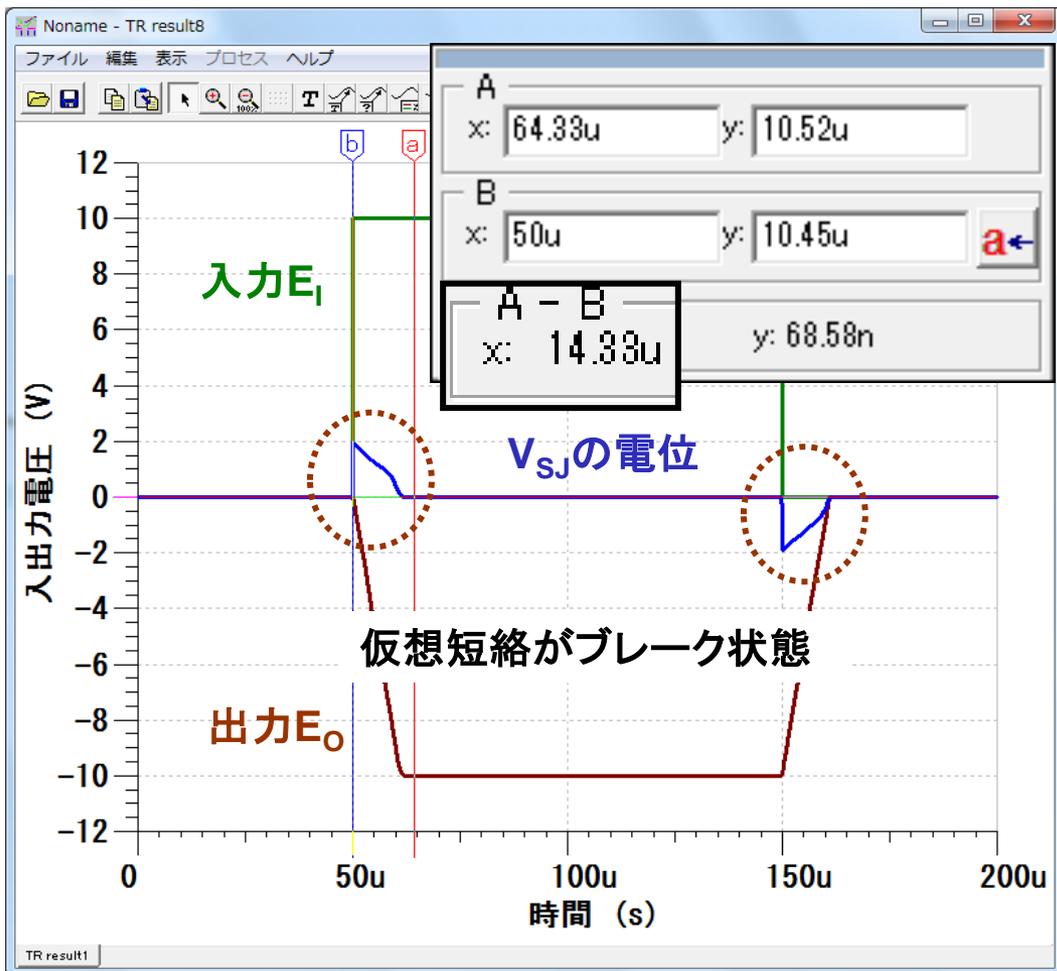
励起入力を描画

⑧ 過渡応答波形のダイアグラムWindowが開く

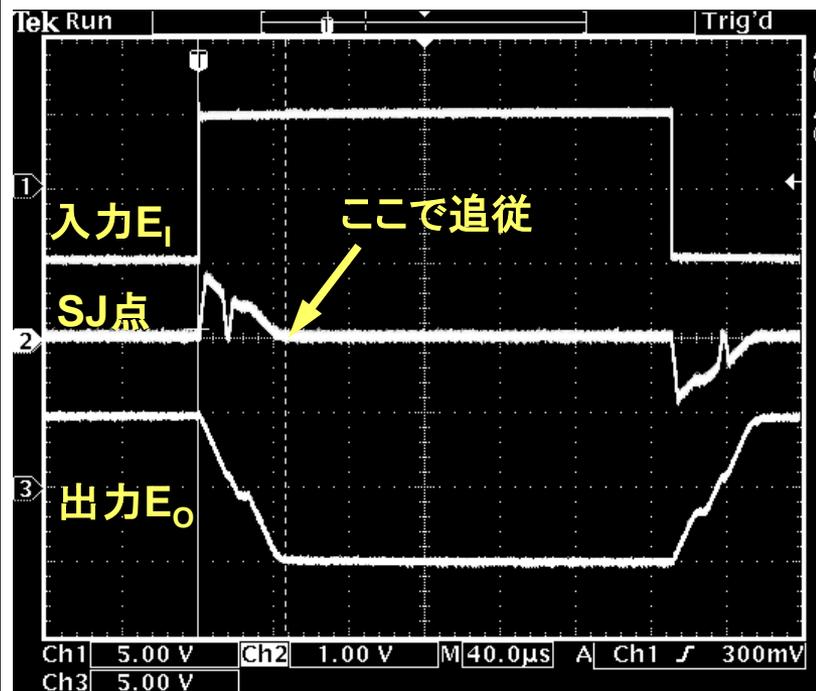


# 反転アンプのステップ応答: 解析結果の考察

$V_{SJ}$ の仮想短絡(バーチャル・ショート)が一瞬ブレイクし, 時間と共に回復.



## 実際の波形



バーチャル・ショートのブレイク時間(14.33 $\mu$ s)は, オペアンプの“正常動作”を期待できない.

# プレゼン用にグラフを修正: 線の色と太さを調整

グラフの色と太さを変えて見やすくする方法.

線幅4で 緑・青・栗色に変更したグラフ

① 目的の線を選択

② プロパティを選択

③ 色と太さを指定

VS [3]

曲線  
色: 緑  
幅: 4  
シフト:

OK  
キャンセル  
ヘルプ

数: 7  
サイズ: 7

Output

10.00

0.00

0.00

100.00u

200.00u

時間 (s)

入力

VSJ

出力

# プレゼン用にグラフを修正: グラフの目盛を調整

## グラフの目盛を整える方法.

### ④ Y軸の目盛とタイトルの変更結果

① Y軸を選択

③ 目盛・タイトルの変更

軸スケールを設定

ラベル  
テキスト: 入出力電圧 (#V)

フォント Name: MS 明朝 サイズ: 12 Style: Norm

数  
フォーマット: D十進法: 1000

フォント Name: MS 明朝 サイズ: 12 スタイル: Ita

ファクタ外による分割1 精度: 0

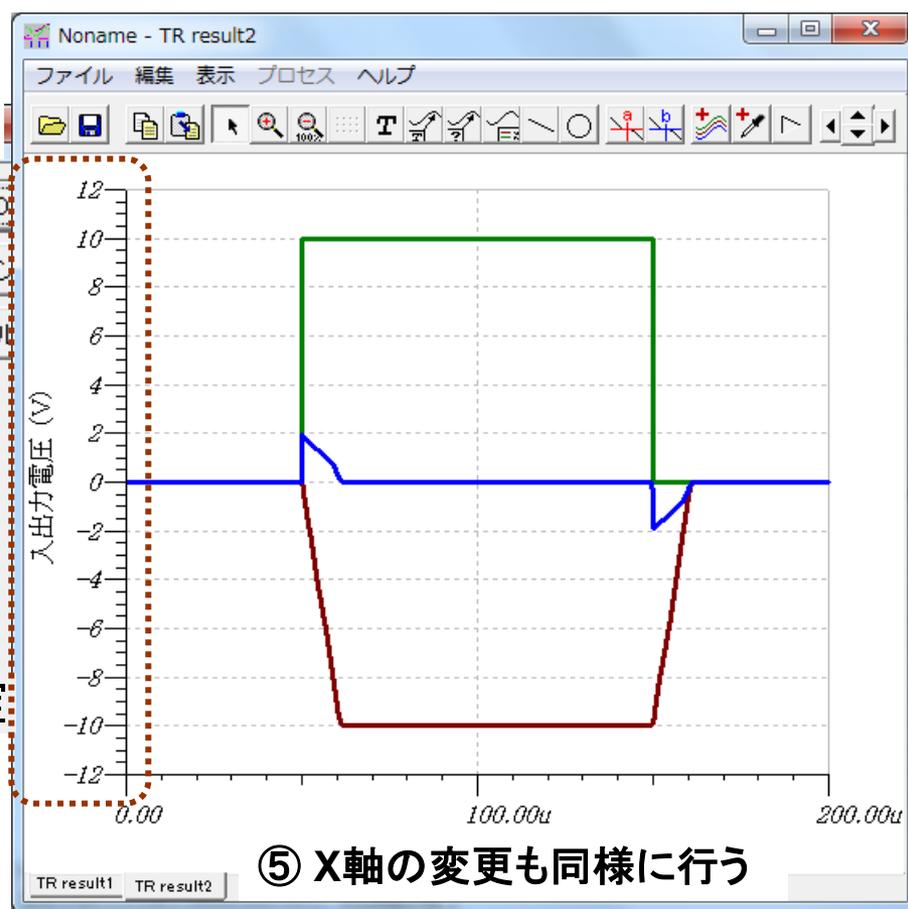
スケール  
線形 下限: -12  
ティック: 13 上限: 12

スケールの文字サイズを固定

軸スケールをきりの良い数に設定

④ チェックを外す

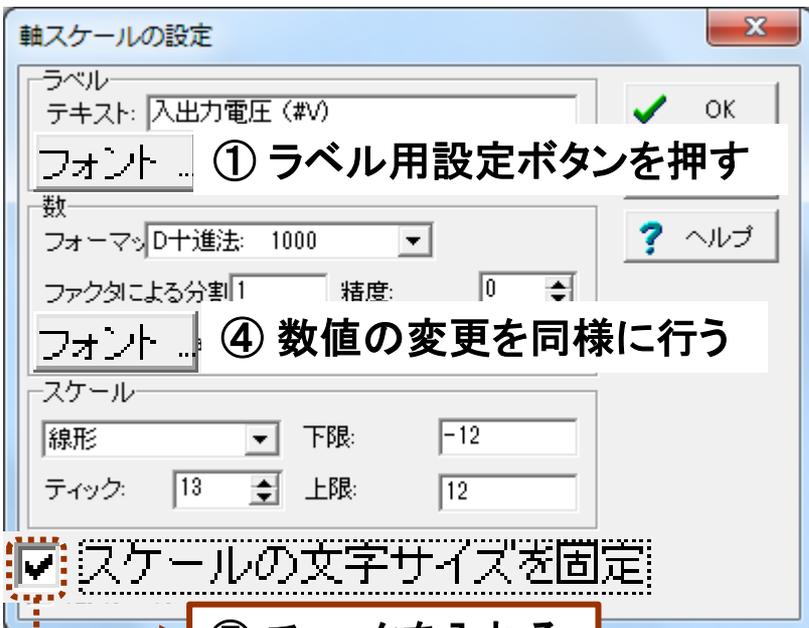
② プロパティを選択



<記事> MS明朝の標準フォントは、プレゼン資料として使うにはフォントの線が弱い。

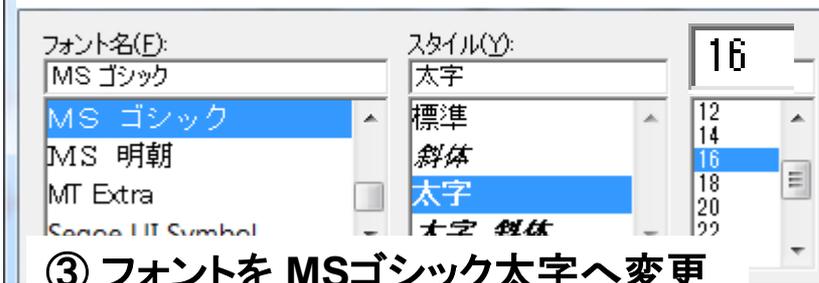
# プレゼン用にグラフを修正: グラフのラベル・数値を調整

ラベルと数値のフォントおよび大きさ(ポイント数)の設定方法.



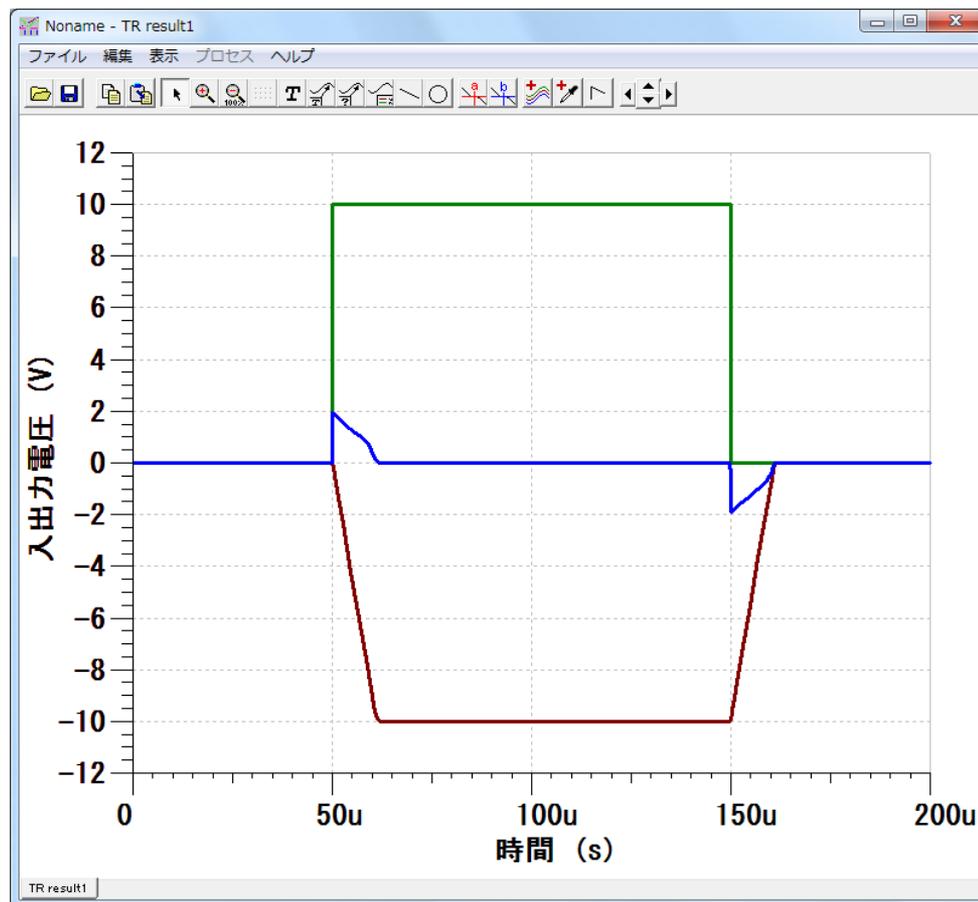
⑤ チェックを入れる

② グラフのWindow サイズによりP数を設定



③ フォントを MSゴシック太字へ変更

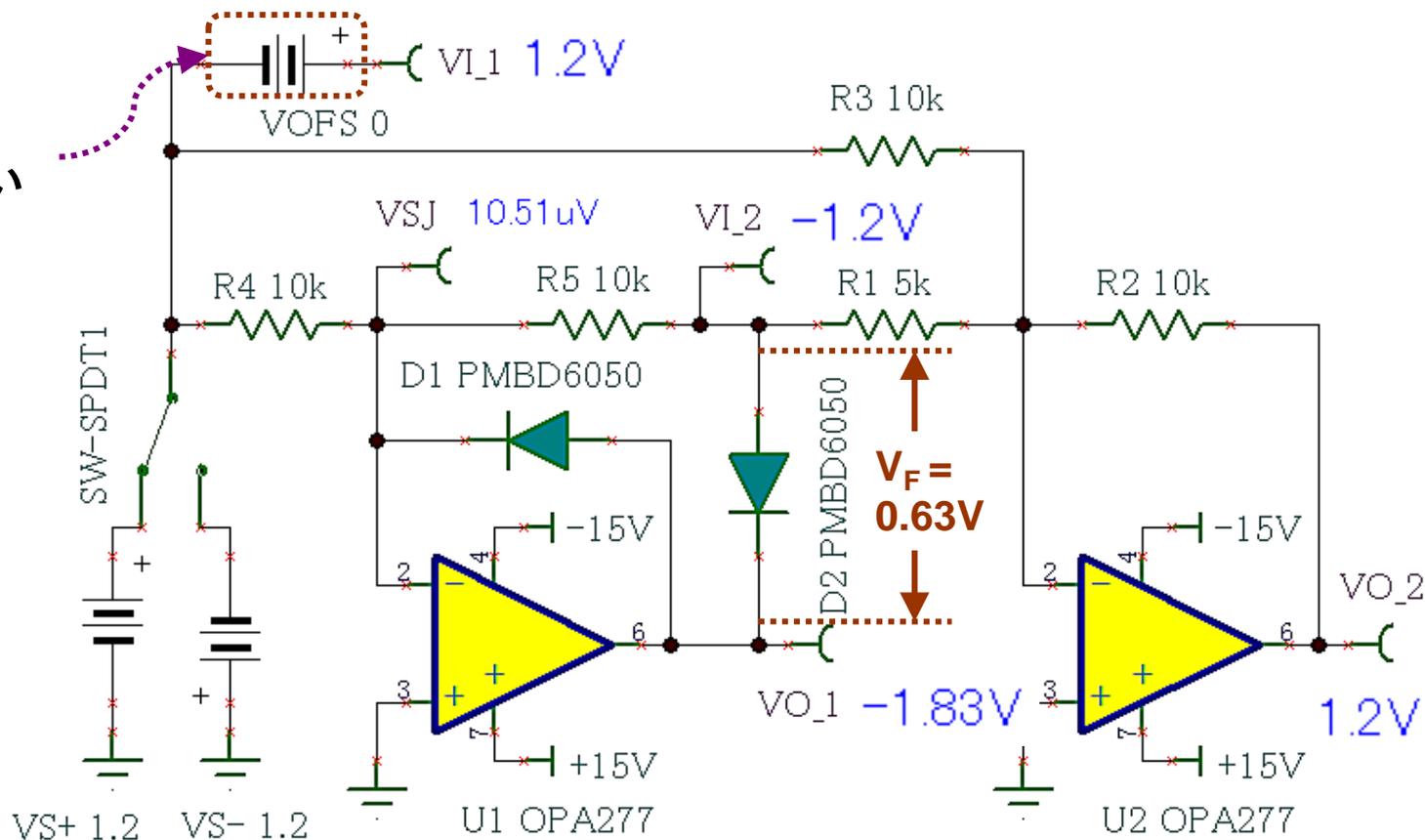
⑥ フォントとPt数の変更結果



# 絶対値回路におけるブレークの影響：絶対値回路の動作原理

“Absolute\_OPA277\_DC”を開きDC解析の“節点電圧を計算”を実行。

必要に応じて電圧計にオフセット( $V_{OFS}$ )を与え、グラフを重ねないようにする。



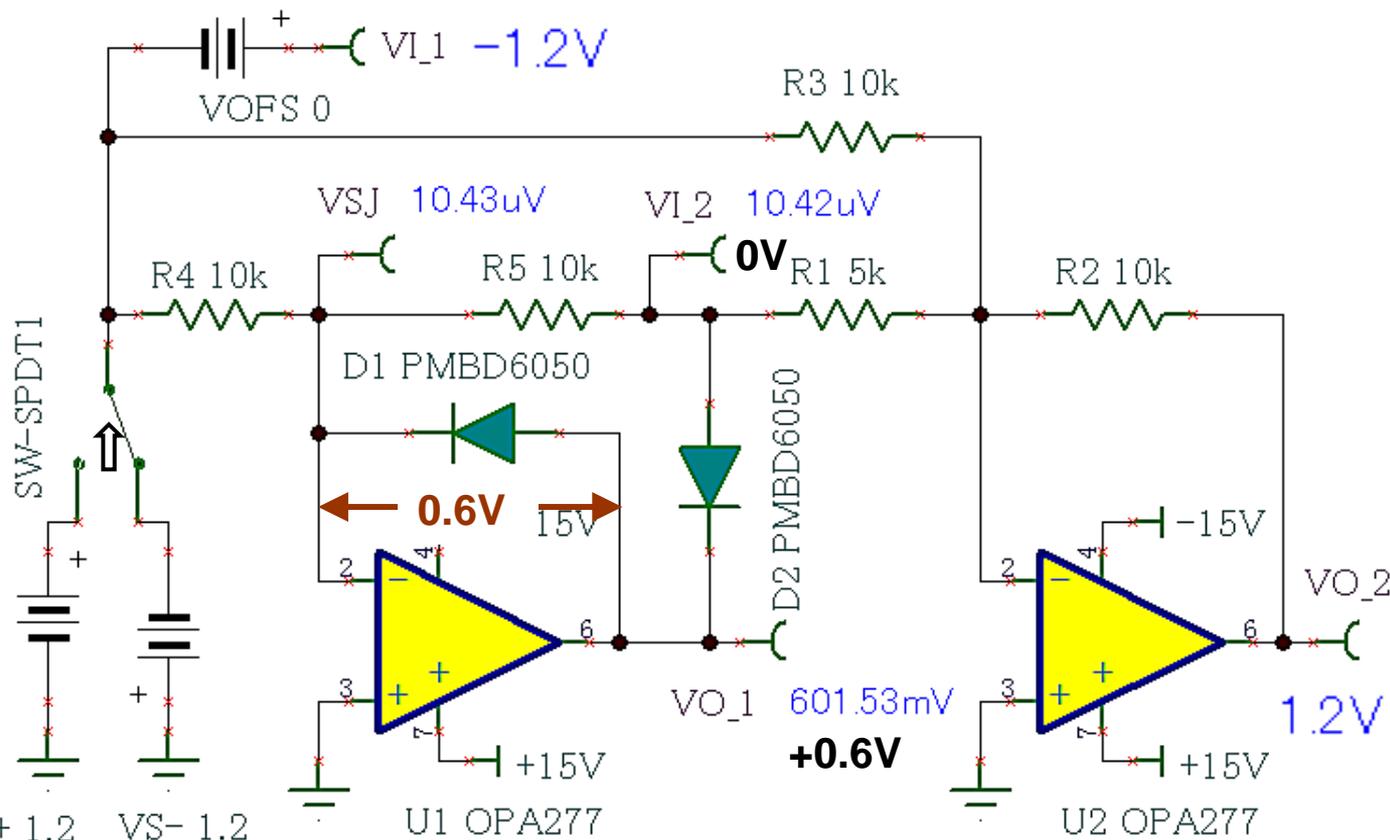
$V_{O1}$ がD2の $V_F$ (順方向電圧) = -0.63Vだけ低くなり、結果 $V_{I2}$ からD2の $V_F$ は除去されている。

# 絶対値回路におけるブレークの影響：絶対値回路の動作原理

スイッチを切り替えて、負電圧入力における“節点電圧の計算”を実行する。

マウスをスイッチ中央に近づけ、カーソル形状が↑になったら左クリックでスイッチを切り替える。

または、スイッチ切り替用の“Hotkey”設定で、キーボードでも可能。



ラベル	SW-SPDT1	
パラメータ	(パラメータ)	
Hotkey	A	↓
DC state	OFF	
Roff [Ohm]	1G	<input type="checkbox"/>
Ron [Ohm]	0	<input type="checkbox"/>
Fault	None	

VO\_1の出力“+0.6V”に対してD2は逆方向(非導通)なのでVI\_2は0Vになる。

# 絶対値回路におけるブレークの影響：絶対値回路の動作原理

抵抗値を代数“R”の比で表したときの伝達式とグラフ。

$$V_{O2} = -\left(\frac{R}{0.5R}V_{I2} + \frac{R}{R}V_{I1}\right)$$

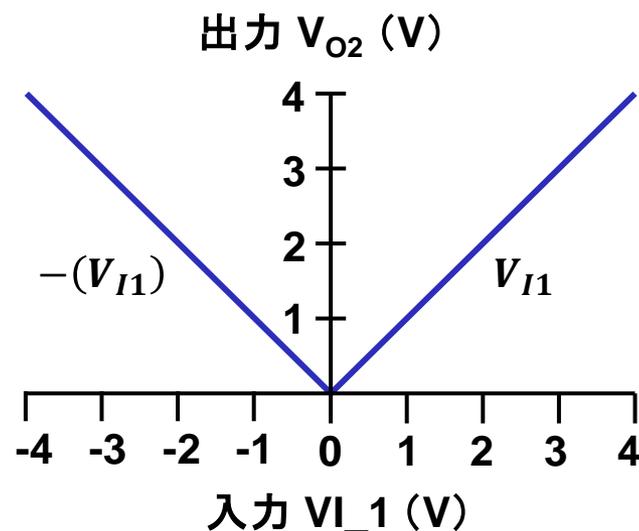
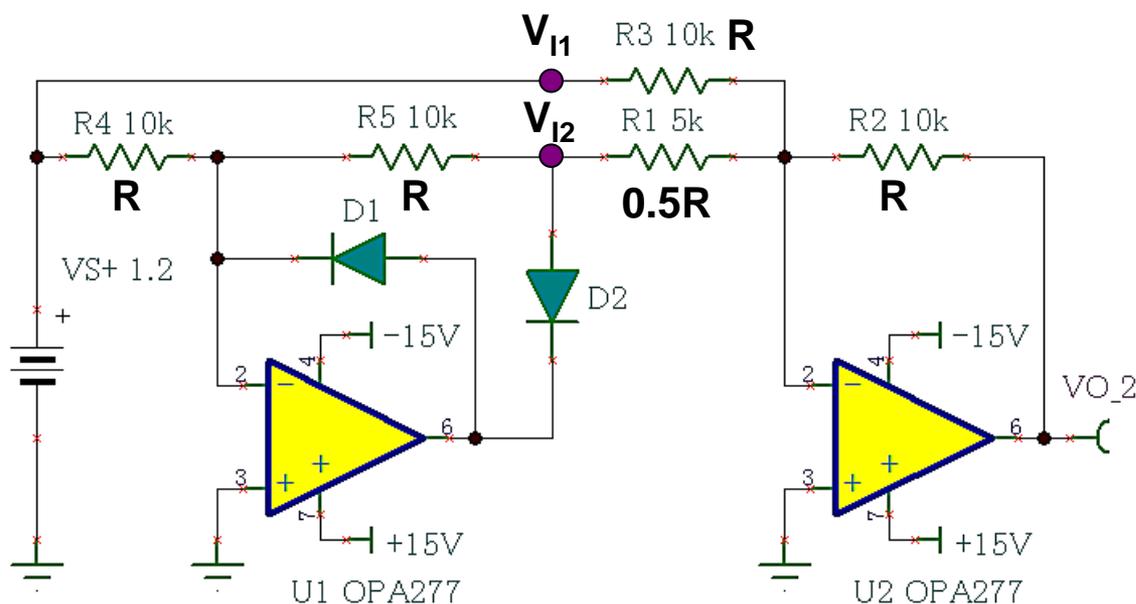
$$= -(2V_{I2} + V_{I1})$$

$$V_{I1} < 0 \rightarrow V_{I2} = 0$$

$$V_{O2} = -(V_{I1})$$

$$V_{I1} > 0 \rightarrow V_{I2} = -V_{I1}$$

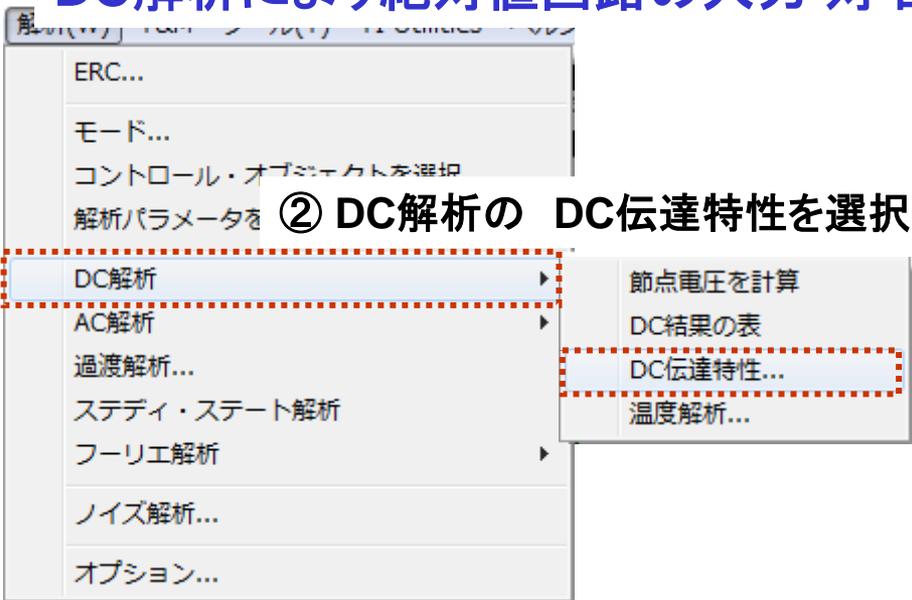
$$V_{O2} = -(-V_{I1}) = V_{I1}$$



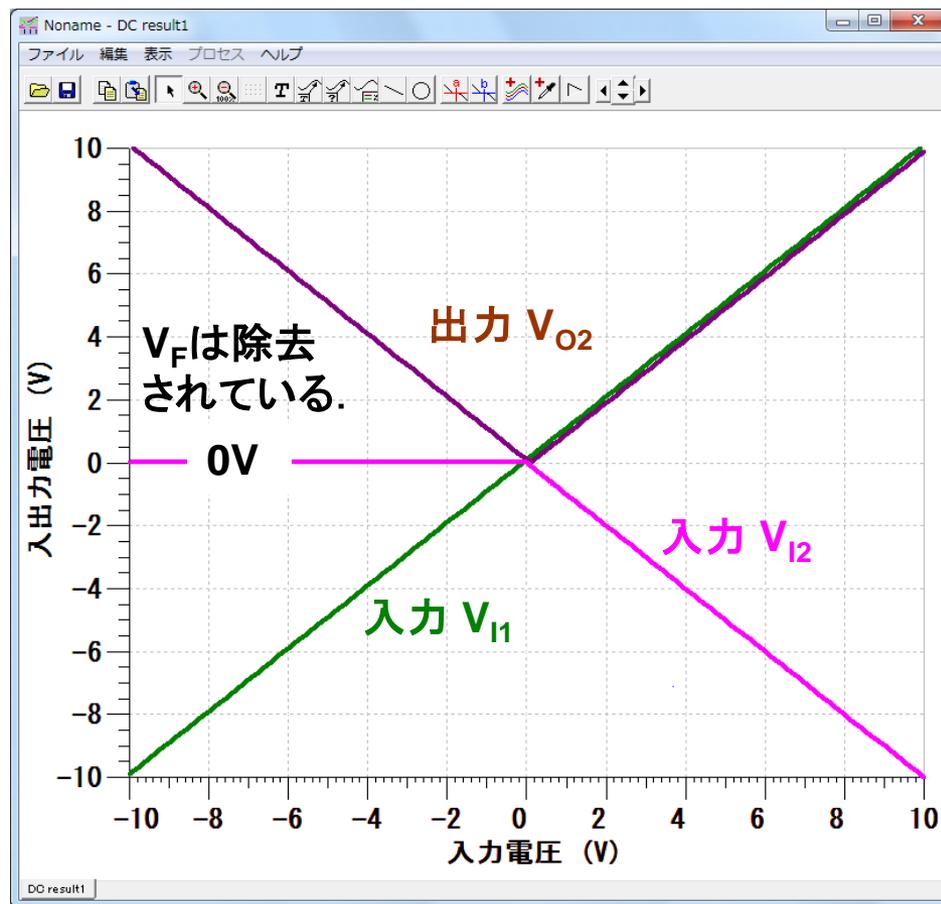
絶対値回路の入力 対 出力

# 絶対値回路におけるブレークの影響：絶対値回路のDC伝達特性

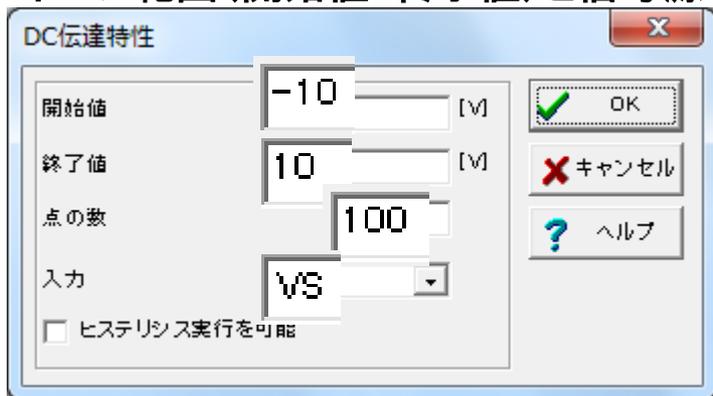
DC解析により絶対値回路の入力 対 出力の関係を見る。 ①  $V_{OFS}$  を100mVに設定



④ DC伝達特性のグラフが出現

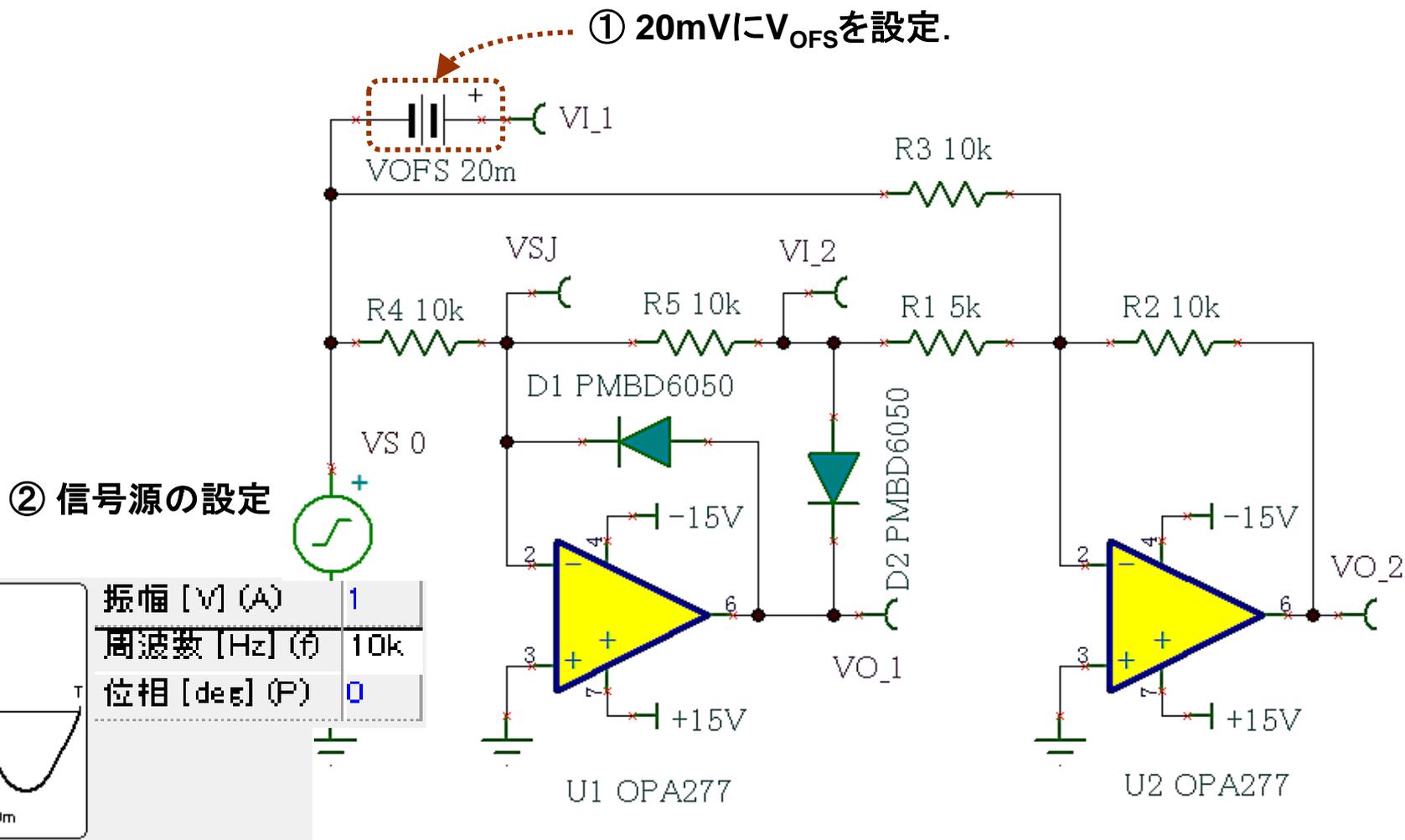


③ スイープ範囲(開始値・終了値)と信号源の設定



# 絶対値回路におけるブレークの影響：過渡解析による波形観測

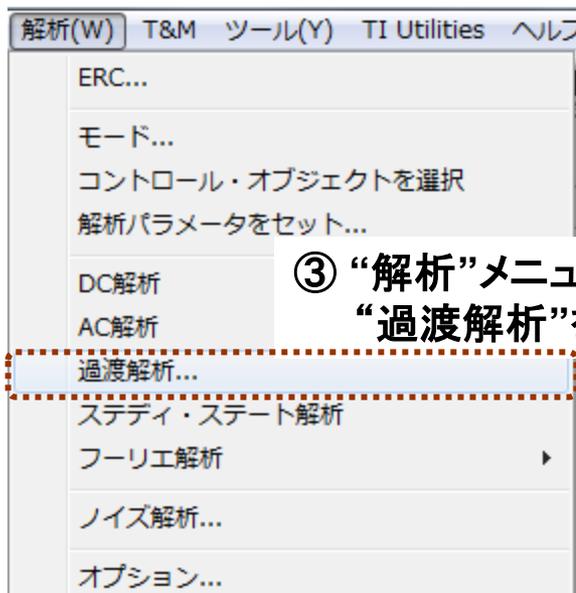
信号源をサイン波10kHzに、モニタ用電圧計(VI\_1)のVOSを20mVに設定.



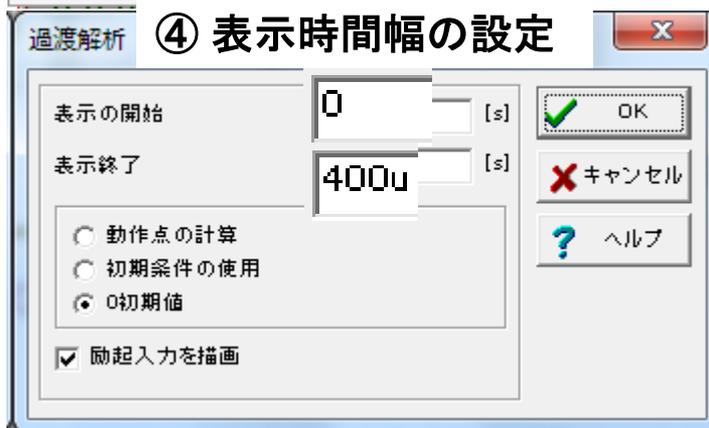
# 絶対値回路におけるブレークの影響：過渡解析の結果

## 過渡解析の実施と結果.

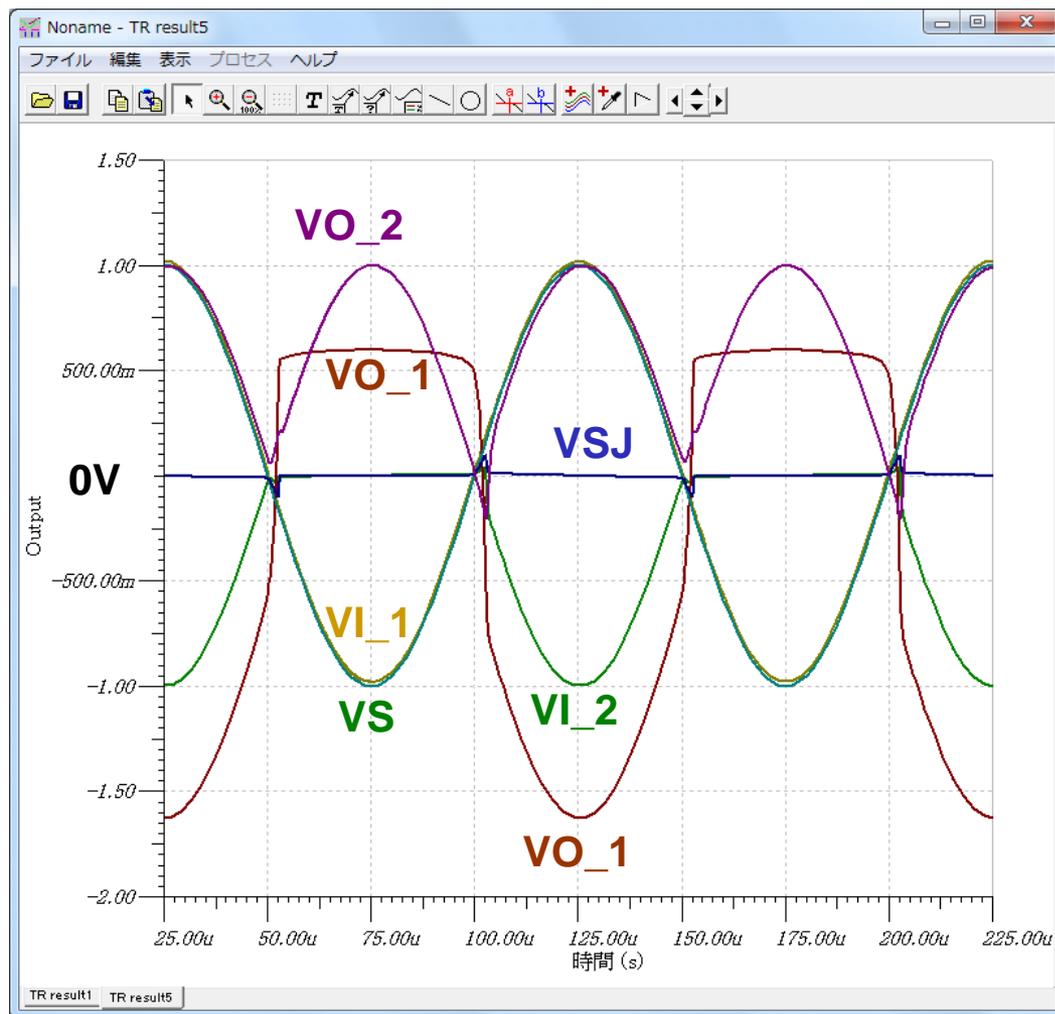
### ⑤ サイン波(10kHz)の過渡解析結果が出現



③ “解析”メニューの  
“過渡解析”を選択



④ 表示時間幅の設定

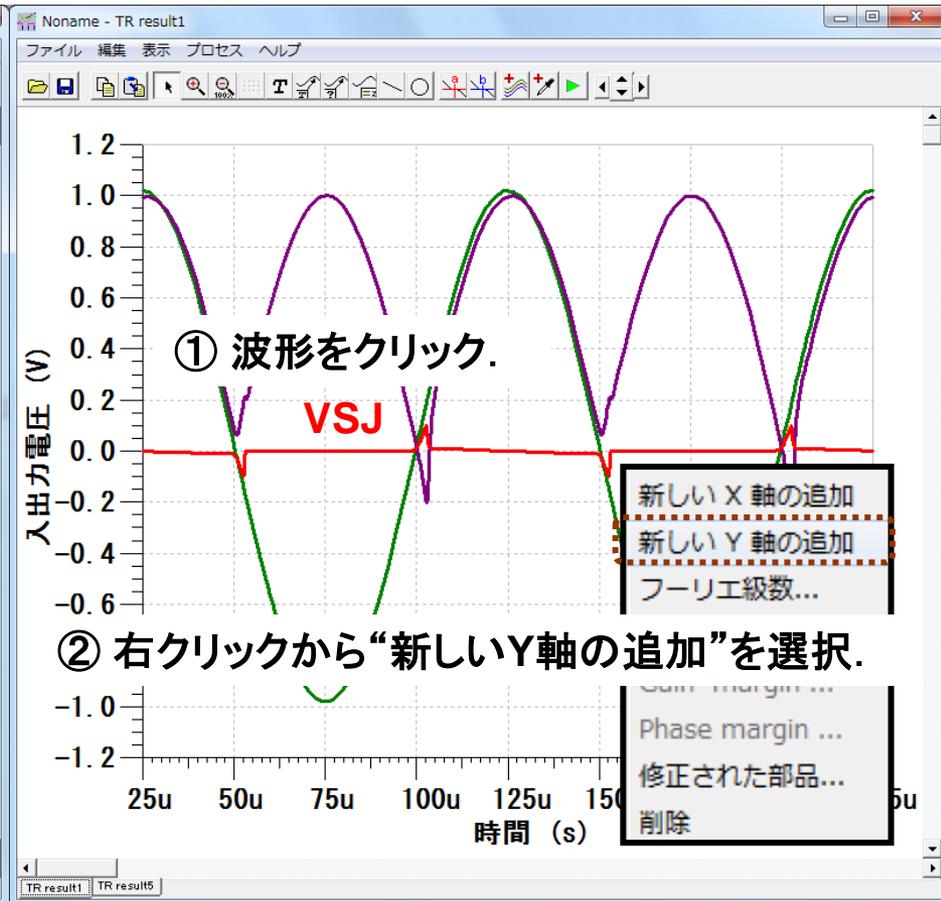
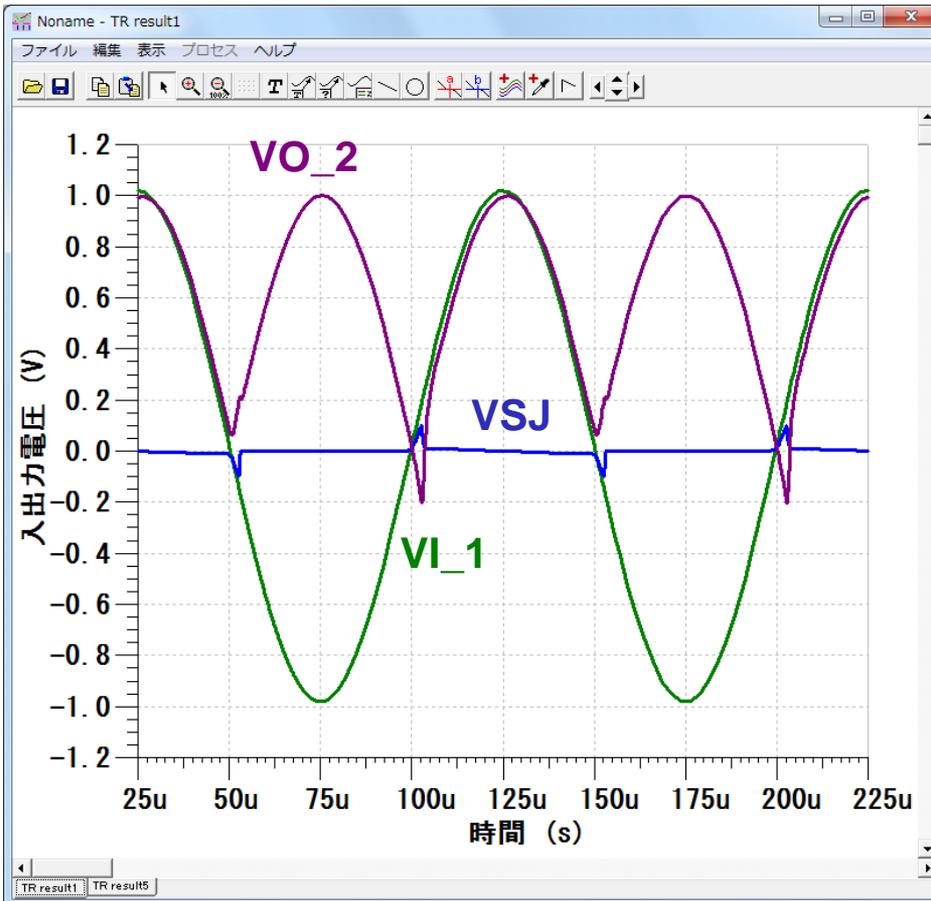


# 絶対値回路におけるブレークの影響：波形を詳細に解析する手順

不要な波形の除去と $V_{SJ}$ に対するX軸の追加.

VS, VI\_2, VO\_1を除去した波形

VSJに対するX軸の追加操作



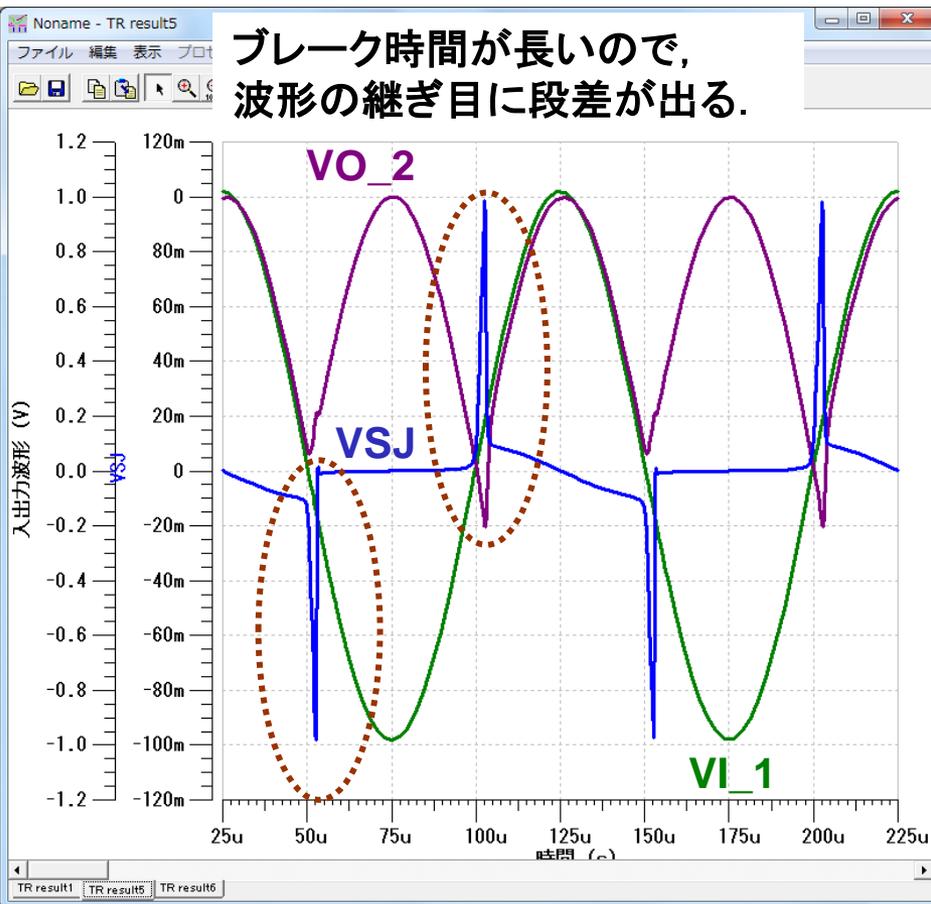
# 絶対値回路におけるブレークの影響：波形の詳細解析

オペアンプのスルーレート(SR)で決まるブレーク時間と影響度合い。

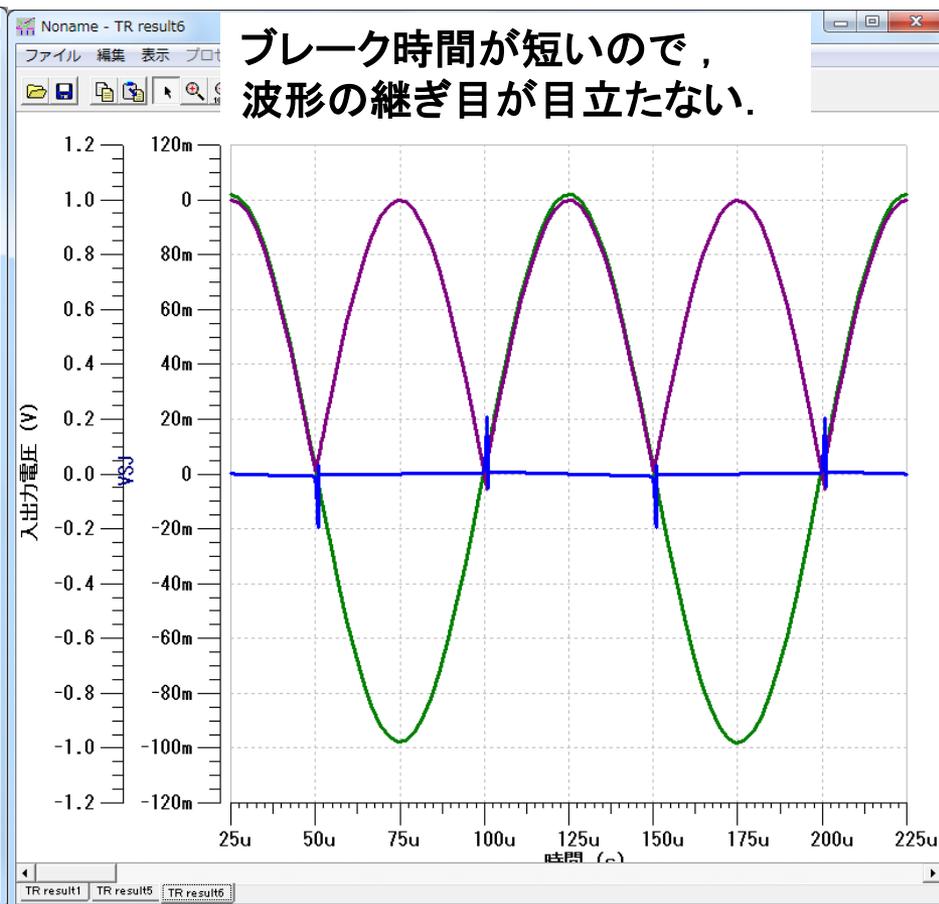
OPA277 (SR=0.8V/μs) の過渡解析結果

OPA627 (SR=55V/μs) の過渡解析結果

ブレーク時間が長いので、  
波形の継ぎ目に段差が出る。



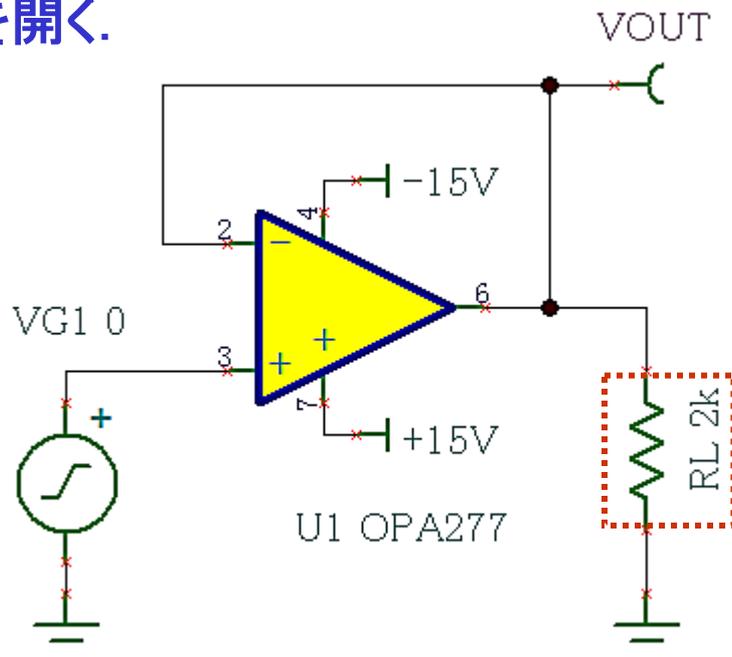
ブレーク時間が短いので、  
波形の継ぎ目が目立たない。



# 非反転アンプのステップ応答: 評価回路

“Non\_Inv\_Amp\_Step.TSCを開く.

規定通りの負荷を付ける.



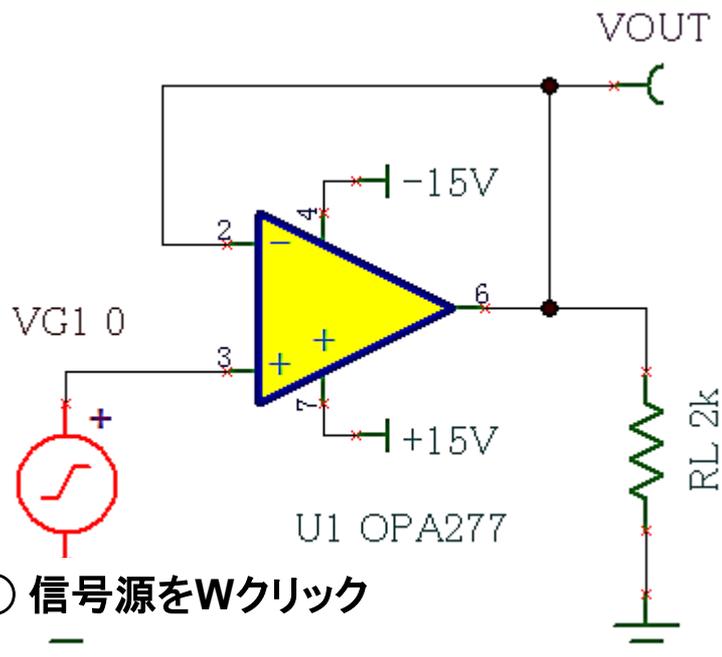
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.

**Boldface** limits apply over the specified temperature range,  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .

FREQUENCY RESPONSE				
Gain-Bandwidth Product	GBW		1	MHz
Slew Rate	SR		0.8	V/ $\mu\text{s}$
Settling Time, 0.1%		$V_S = \pm 15\text{V}$ , $G = 1$ , 10V Step	14	$\mu\text{s}$
0.01%		$V_S = \pm 15\text{V}$ , $G = 1$ , 10V Step	16	$\mu\text{s}$
Overload Recovery Time		$V_{IN} \cdot G = V_S$	3	$\mu\text{s}$
Total Harmonic Distortion + Noise	THD+N	1kHz, $G = 1$ , $V_O = 3.5\text{Vrms}$	0.002	%

# 非反転アンプのステップ応答: 信号設定

パルス波形の振幅とタイミング設定.



① 信号源をWクリック

- 左に回転
- 右に回
- 鏡像
- プロパティ...
- 記号を編集...
- マクロに入る

② プロパティを選択

⑤ タイミ

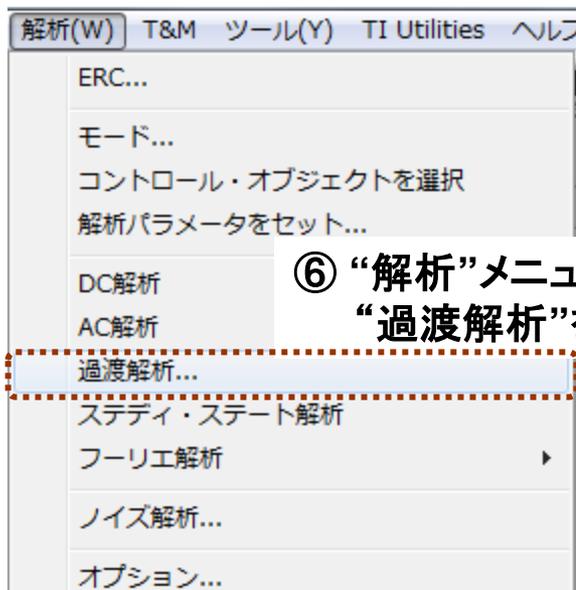
③ 任意波形を選択し“...”ボタンを押す



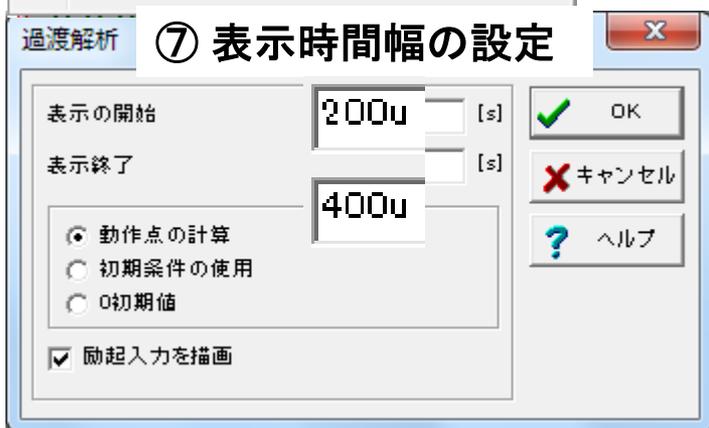
振幅 #1 [V] (A1)	5
振幅 #2 [V] (A2)	-5
時間 インターバル #1 [s] (T1)	1n
時間 インターバル #2 [s] (T2)	100u
時間 インターバル #3 [s] (T3)	1n
時間 インターバル #4 [s] (T4)	1n
時間 インターバル #5 [s] (T5)	100u
時間 インターバル #6 [s] (T6)	1n
時間シフト [s] (TS)	50u

# 非反転アンプのステップ応答: 過渡解析の結果

## 過渡解析の実施.

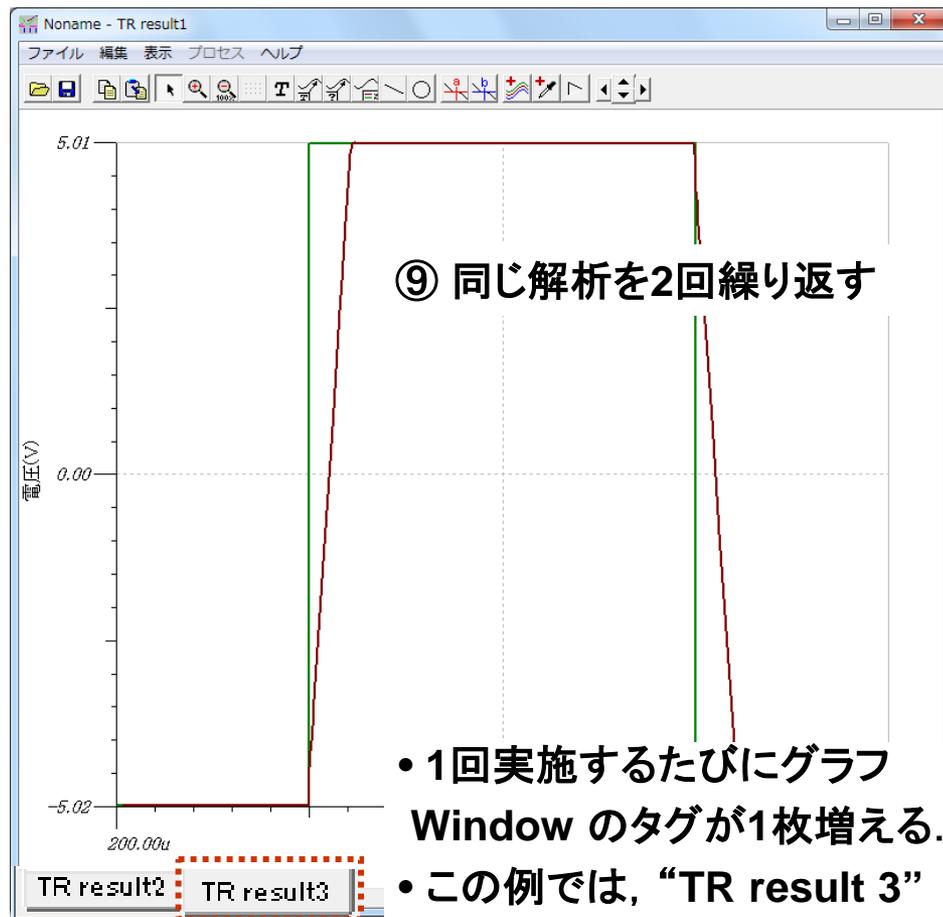


⑥ “解析”メニューの  
“過渡解析”を選択



⑦ 表示時間幅の設定

⑧ ステップ応答のグラフが出現



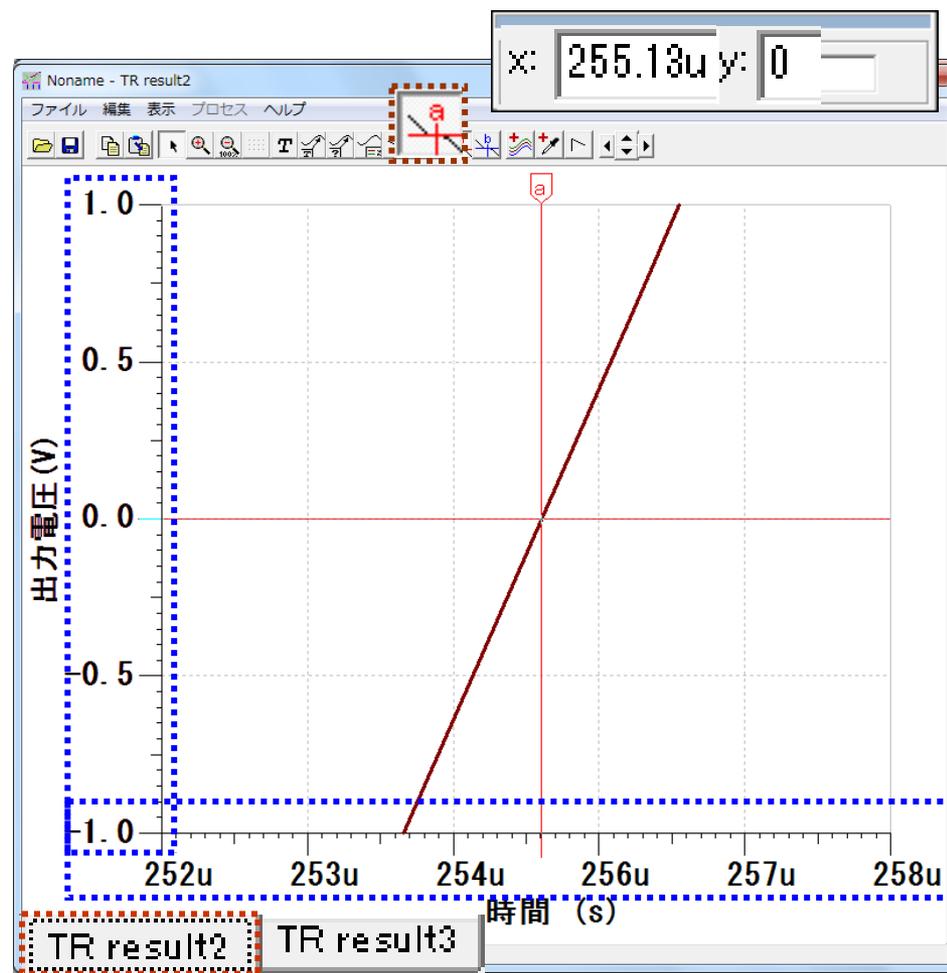
⑨ 同じ解析を2回繰り返す

- 1回実施するたびにグラフ Window のタブが1枚増える.
- この例では, “TR result 3” がこの波形.

# 非反転ステップ応答:スルーレートの読取り(1)

目盛をズームインして, 出力電圧(Y軸)が0Vと交差する時間(X軸)を求める.

- ① 1回目のタグを選択  
この例では“TR result 2”
- ② x軸(時間)を 250 $\mu$ s~260 $\mu$ s にズーム
- ③ y軸(VOUT)を -1V~+1V にズーム
- ④ カーソル“a”のボタンを押して, 出現したカーソル座標カラム“y”に0を記入し“Enter”キーを押す(以下同じ).
- ⑤ 同座標Windowに表示されたX軸の値 255.13 $\mu$ (中心時間)をメモする

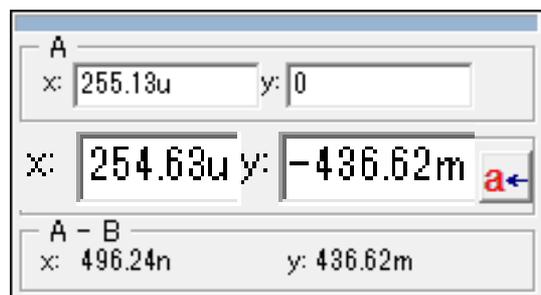


## 非反転ステップ応答:スルーレートの読取り(2)

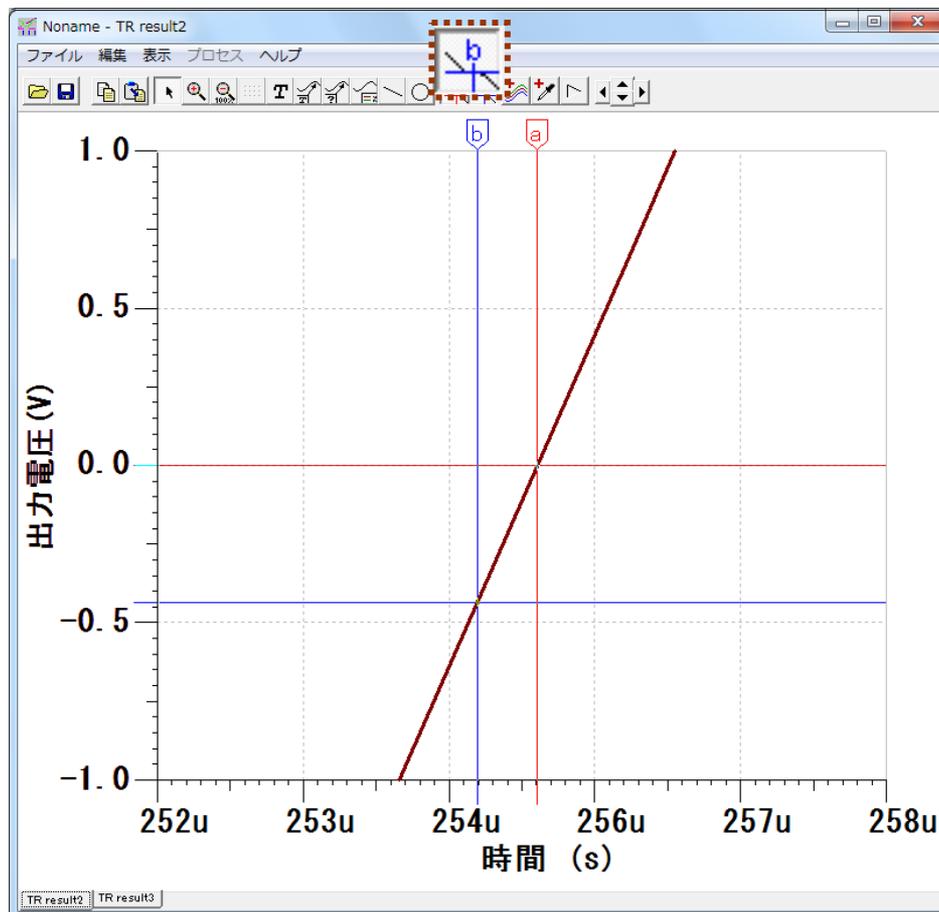
スルーレートを求めるための開始点へ、カーソル“b”を合わせる。

⑥ カーソル“b” のボタンを押す。

⑦ カーソル“b”の座標カラム“x”に  
中心時間より0.5 $\mu$ s 前の値を記入  
 $255.13\mu - 0.5\mu = 254.63\mu$



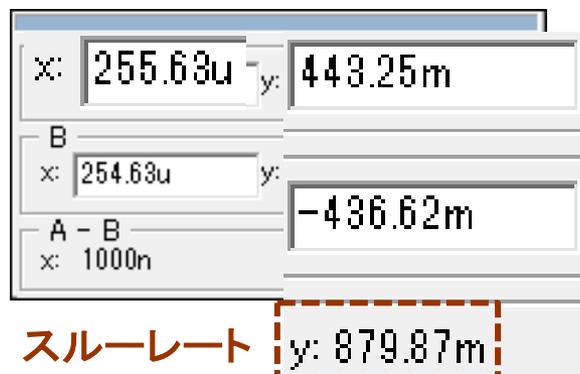
⑧ 座標カラムの“y”に表示される  
値は、出力電圧の開始値となる



## 非反転ステップ応答:スルーレートの読取り(3)

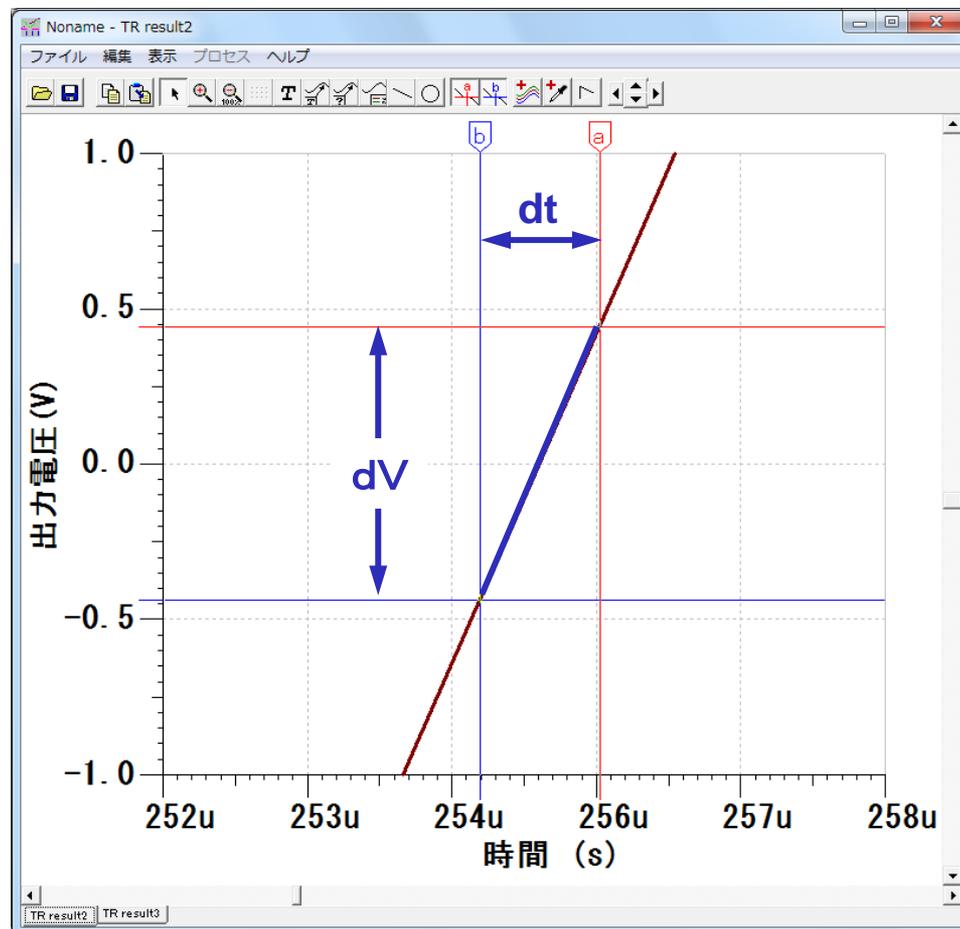
スルーレートを求めるための終止点へ、カーソル“a”を合わせる。

- ⑨ カーソル“a”の座標カラム“x”に  
中心時間より $0.5\mu\text{s}$  前の値を記入  
 $255.13\mu + 0.5\mu = 255.63\mu$



(スペック値  $800\text{mV}$ )

- ⑩ 座標カラムの“y”の差分(A-B)が,  
 $1\mu\text{s}$  (dt)あたりの出力電圧の変化分  
(dV)  $879.87\text{mV}$  となる。



# 非反転ステップ応答: 0.003%へのセtring時間を読取る(1)

目盛をズームインして、カーソル“b”を入力が5Vになる時間(X軸)に合わせる。

- ① 2回目のタグを選択  
この例では“TR result 3”

- ② x軸(時間)を  $250\mu\text{s}$ ~ $270\mu\text{s}$  にズーム

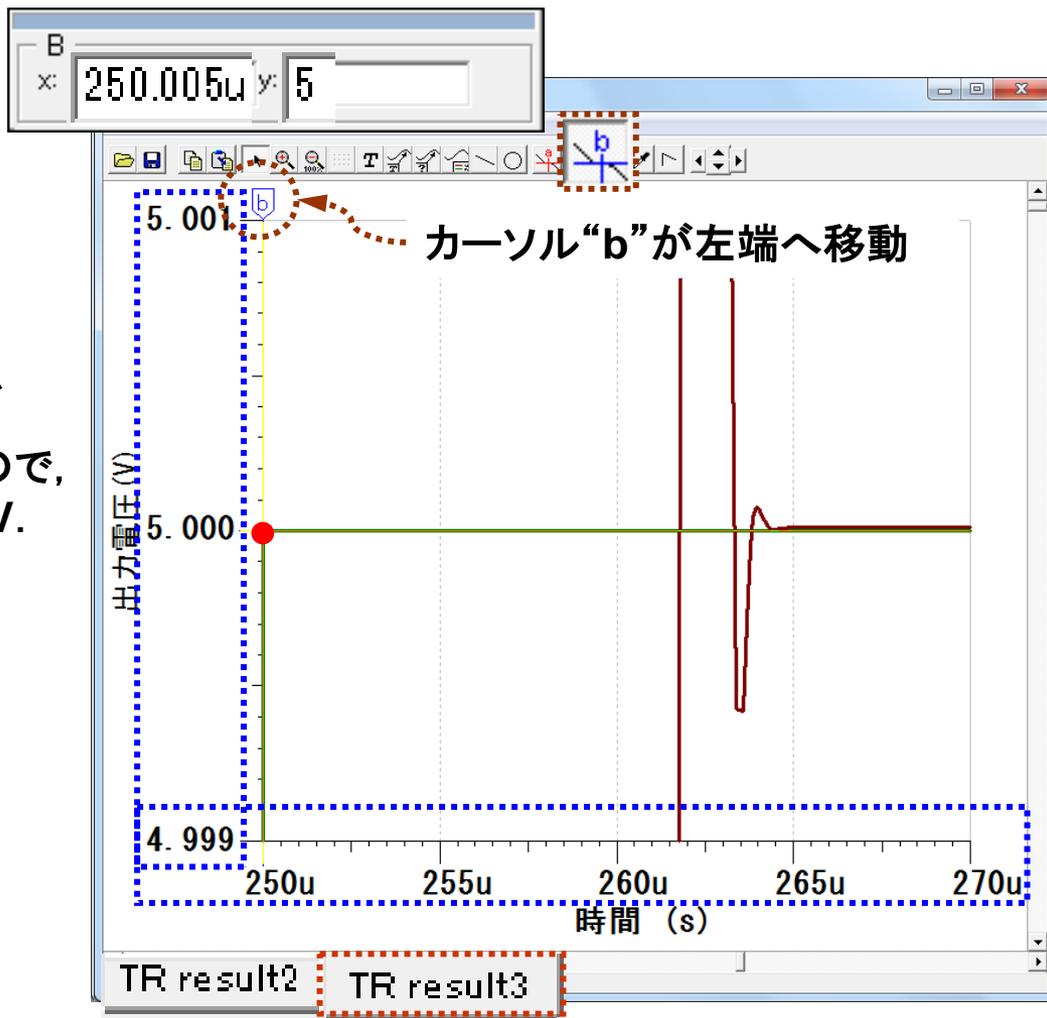
- ③ y軸(VOUT)を  $4.999\text{V}$ ~ $5.001$  にズーム

0.003%は10Vの振幅に対して $300\mu\text{V}$ なので、セtring値は  $5.0003\text{V}$  ないしは  $4.9997\text{V}$ 。

- ④ カーソル“b”のボタンを押して  
カーソルを入力パルスへ重ねる

- ⑤ カーソル座標カラム“y”に5を記入

- ⑥ 同座標Windowに表示されたX軸の  
値  $250.005\mu$  が時間の始点となる。



# 非反転ステップ応答: 0.003%へのセtring時間を読取る(2)

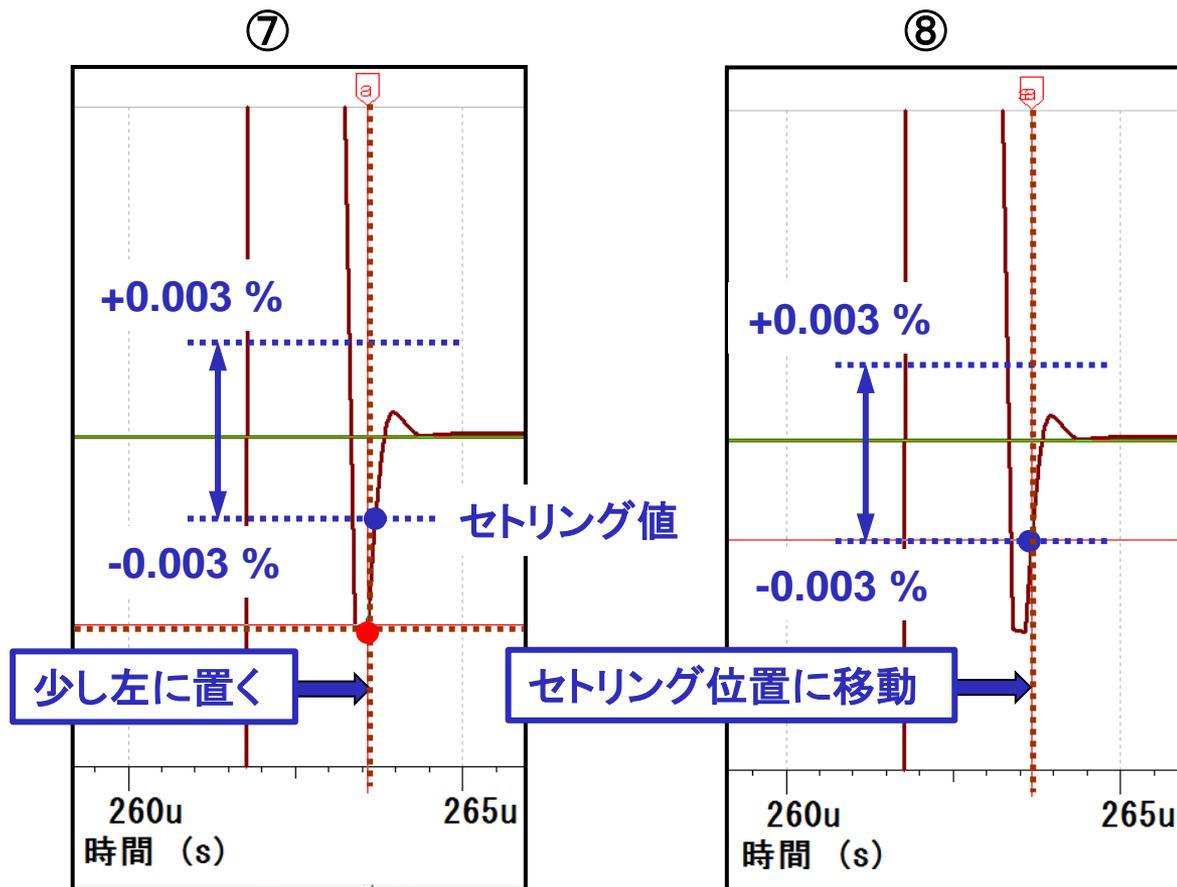
セtring値をあらかじめ把握し、カーソル“a”をセtring時間へ合わせる。

- ⑦ カーソル“a”のボタンを押して、  
カーソルを信号出力のセtring  
値に対し少し左側に重ねる



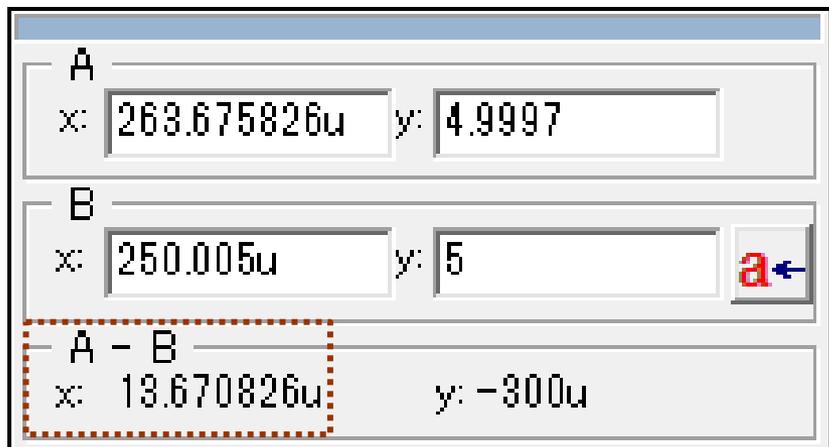
この例では、4.9997V に対して  
4.999527V と少し低めの位置

- ⑧ カーソル座標カラム“y”に  
4.9997 を記入するとセtring  
位置にカーソルが移動



# 非反転ステップ応答: 0.003%へのセトリング時間を読取る(3)

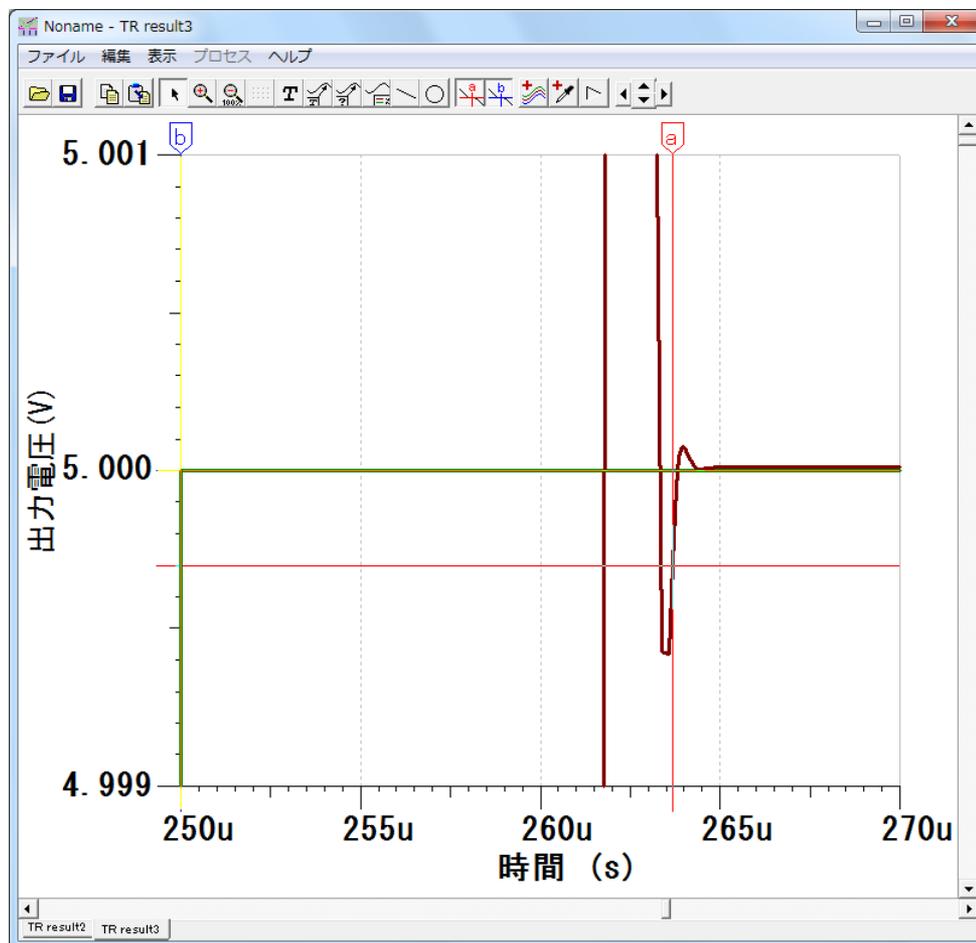
カーソル座標から“Y軸”の差分(A-B)を読み取る.



0,003%へのセトリング時間

(スペック値なし)

⑨ 座標カラムの“x”の差分(A-B)が,  
セトリング時間 13.67 $\mu$ s となる.

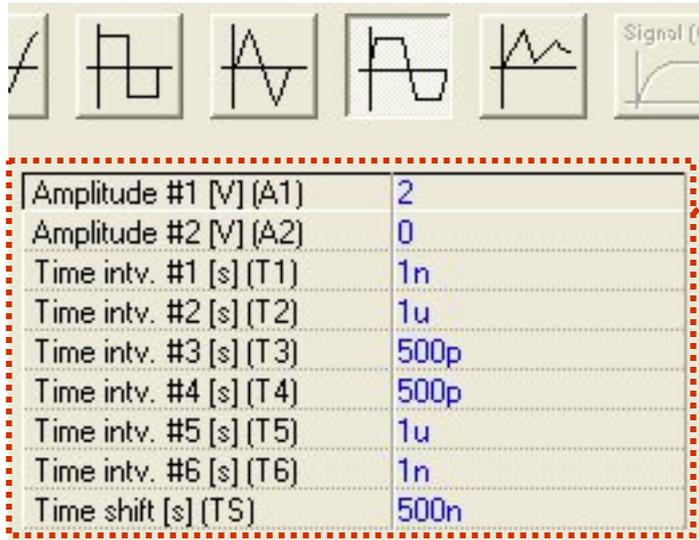


# スルーレートとセトリング時間の比較, 評価回路

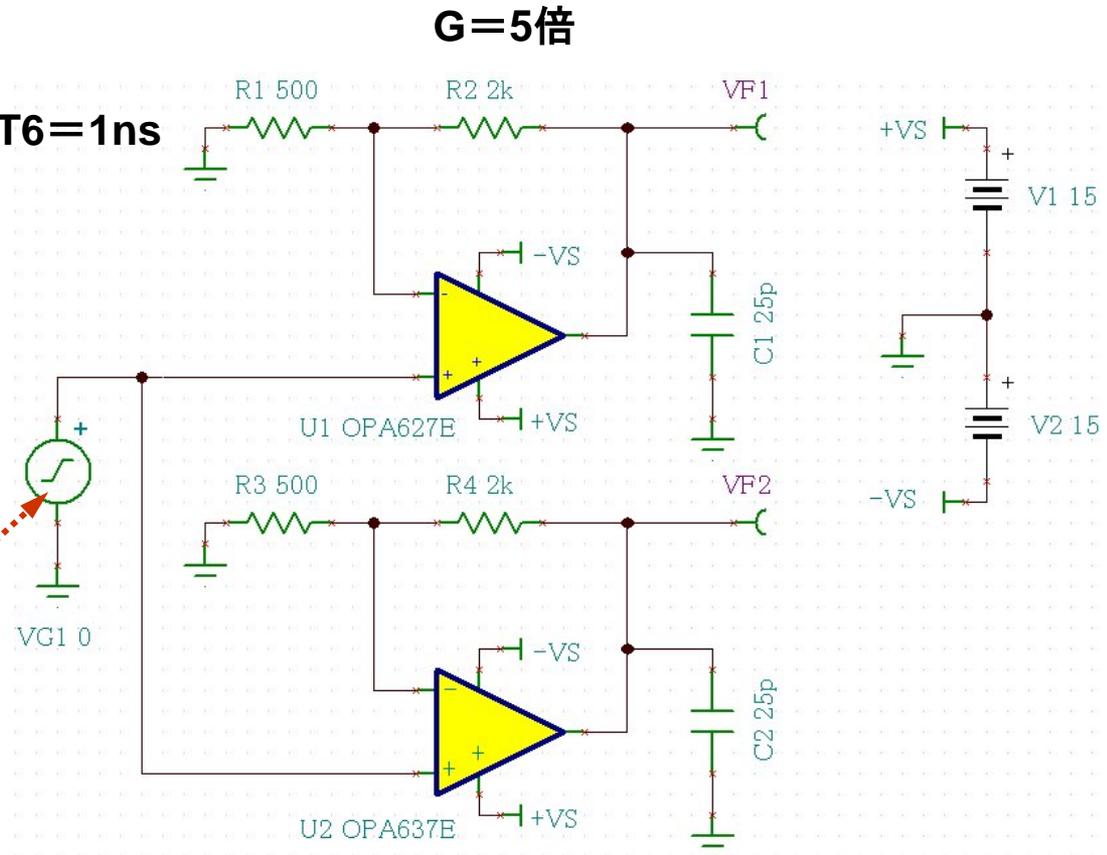
“Compe\_OPA627\_637.TSC”を開き, 両者の比較を行う.

## VG1の設定

- 振幅:  $A1=2V$ ,  $A2=0V$
- 立上り・立下り時間:  $T1, T3+T4, T6=1ns$
- パルス幅:  $T2 \cdot T5=1\mu s$
- スタートの遅延: “Time Shift”  
1回目 500ns, 2回目 0s



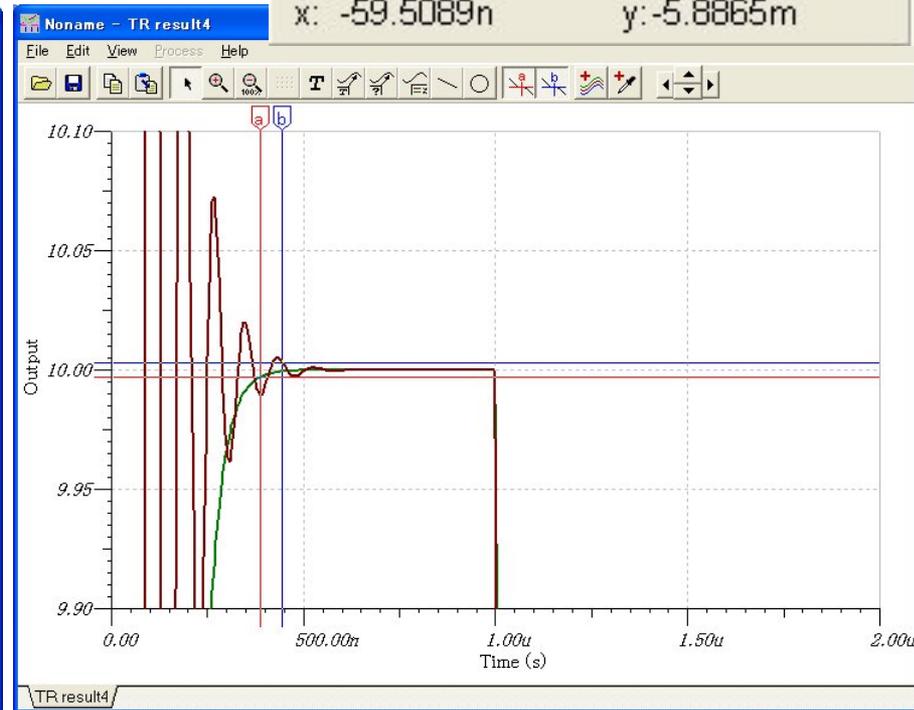
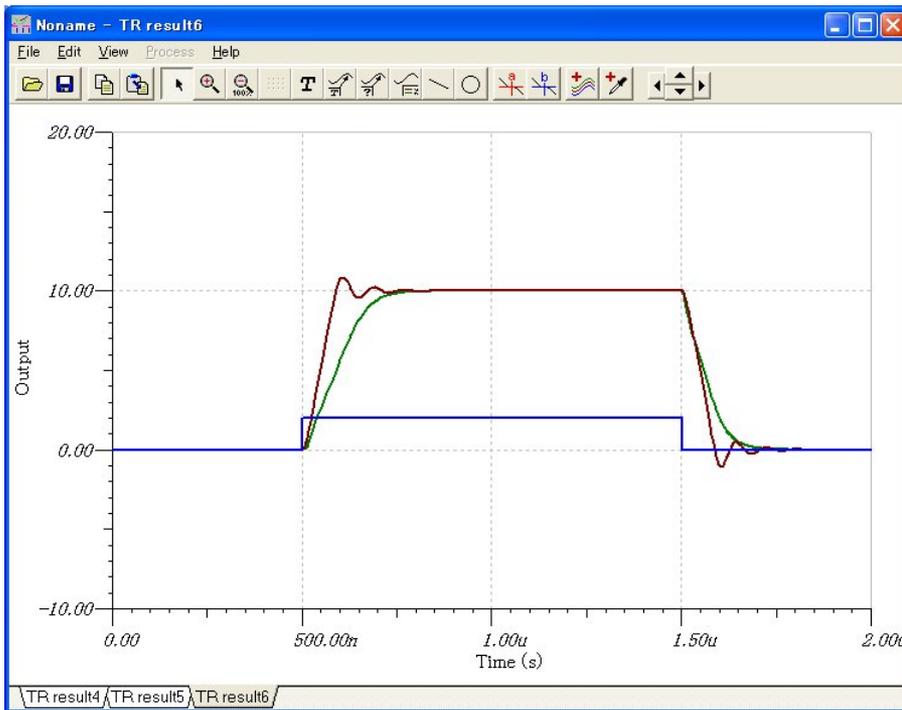
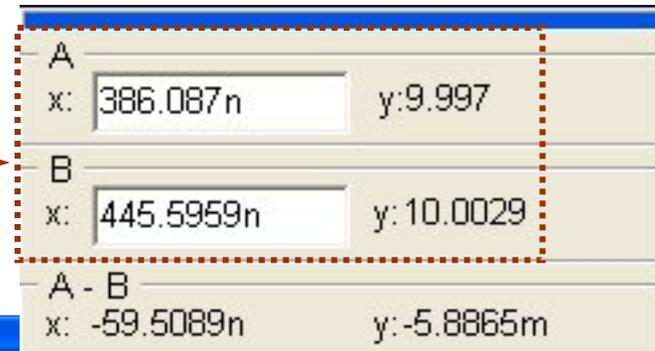
Amplitude #1 [V] (A1)	2
Amplitude #2 [V] (A2)	0
Time intv. #1 [s] (T1)	1n
Time intv. #2 [s] (T2)	1u
Time intv. #3 [s] (T3)	500p
Time intv. #4 [s] (T4)	500p
Time intv. #5 [s] (T5)	1u
Time intv. #6 [s] (T6)	1n
Time shift [s] (TS)	500n



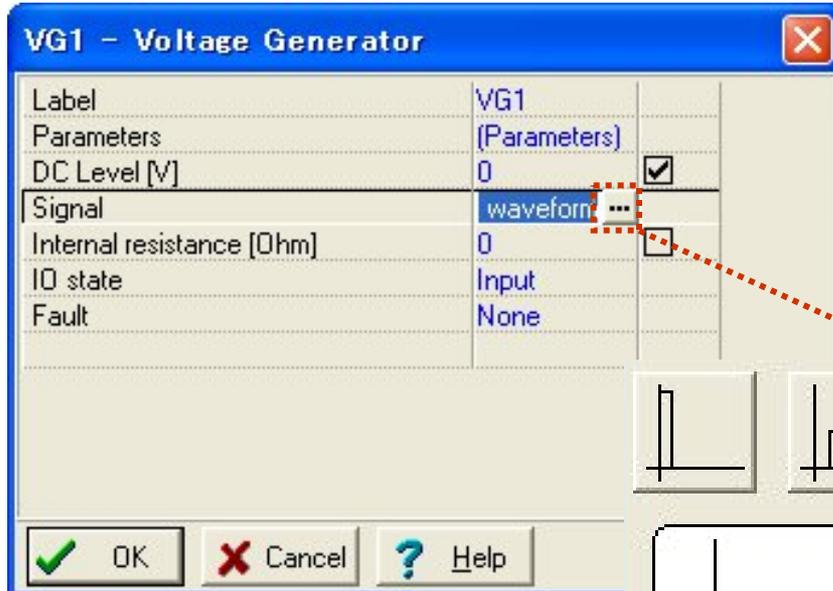
# スルーレートとセtring時間の比較, 解析結果

## セtring0.003%(10V±3mV)への時間比較

スルーレートはOPA637(G=5で安定)の方が高速。  
セtring時間は, 386.1ns対445.6nsとOPA627  
(G=1で安定)の方が短い。



# 有限スループレートによる波形歪: 事前設定



① “Non\_Inv\_Amp.TSC”を開く.

② 各設定を行う

- サイン波形ボタンを押す
- 振幅 “Amplitude”: 10V
- 周波数 “Frequency”: 1kHz位相
- “Phase”: 0°

Amplitude [V] (A)	10
Frequency [Hz] (f)	14k
Phase [deg] (P)	0

$T = 1/f = 33.333333\mu$

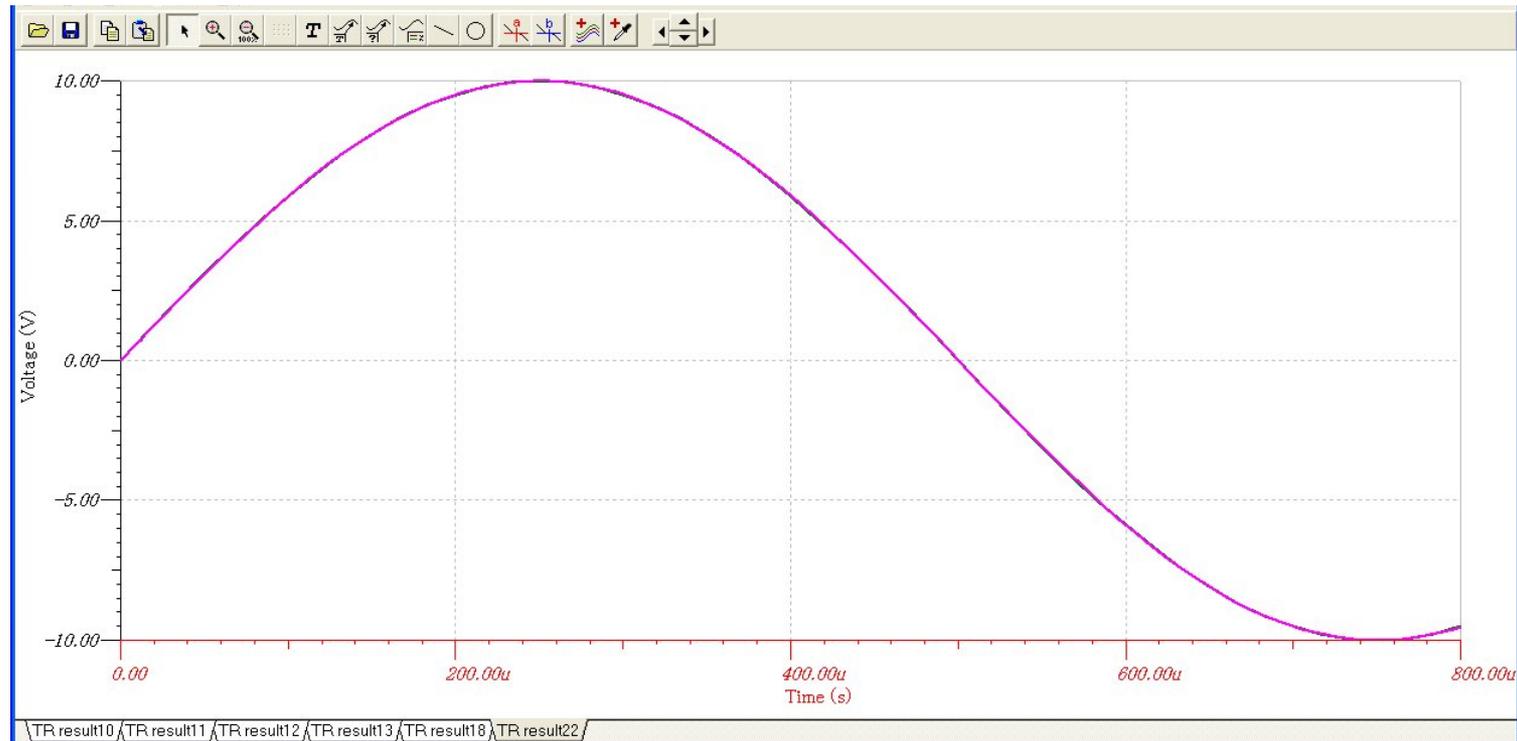
# 有限スルーレートによる波形歪: OPA277(1kHz)

## 低周波での位相遅れと波形歪

必要なスルーレート  $SR = \frac{10 \times 2\pi f_p \cdot V_p}{1 \times 10^6} = \frac{10 \times 2\pi \times 1\text{kHz} \times 10V_{PK}}{1,000,000} = 0.628V/\mu s$

OPA277のSR: 0.8V/μs

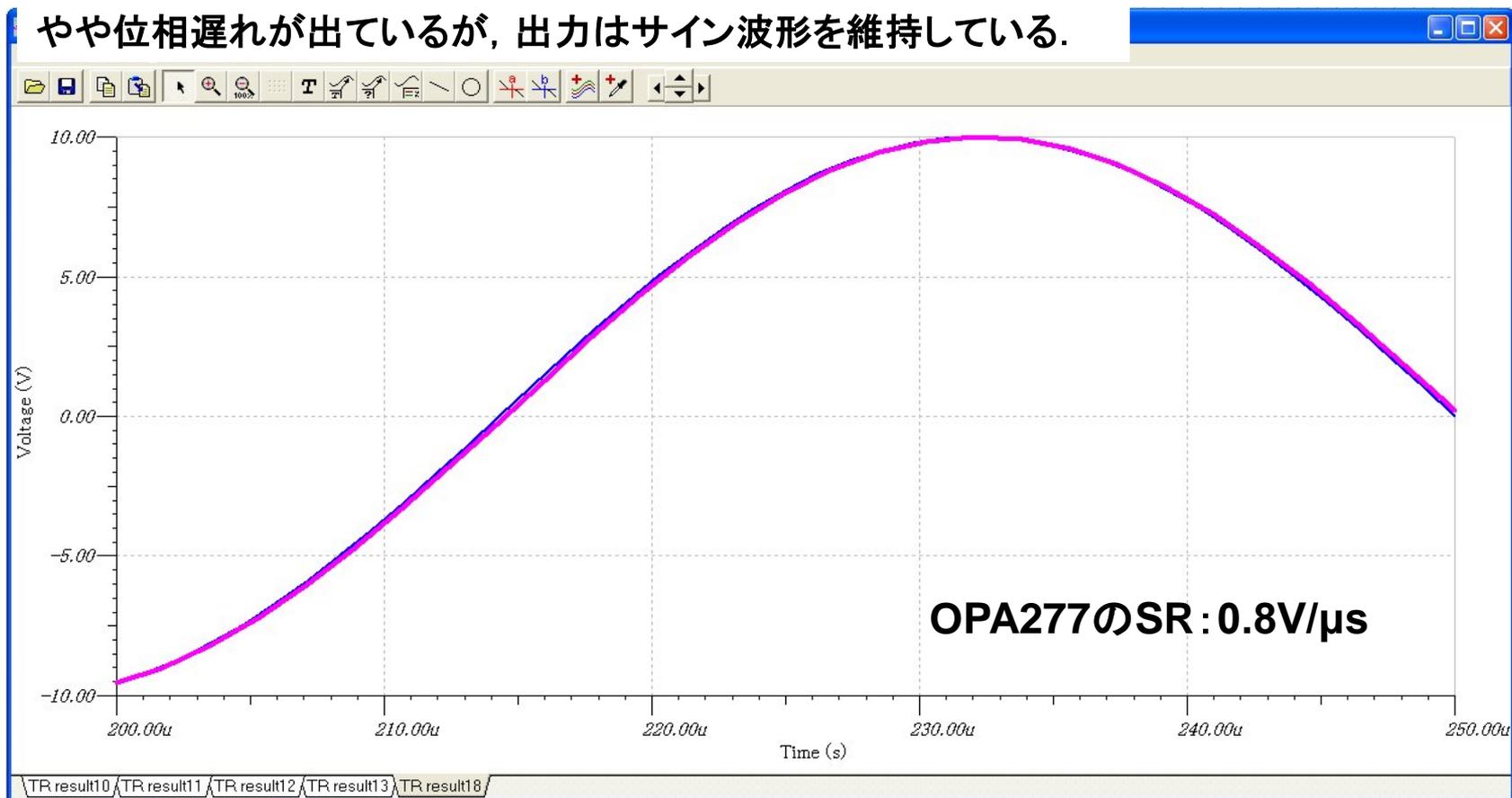
限界周波数の1/10以下の信号周波数なので、入／出力間の波形差が見えない。



# 有限スルーレートによる波形歪: OPA277 (14kHz)

限界周波数  $SR = \frac{2\pi f_p \cdot V_P}{1 \times 10^6} = \frac{2\pi \times 14\text{kHz} \times 10V_{PK}}{1,000,000} = 0.88V/\mu\text{s}$  での波形歪

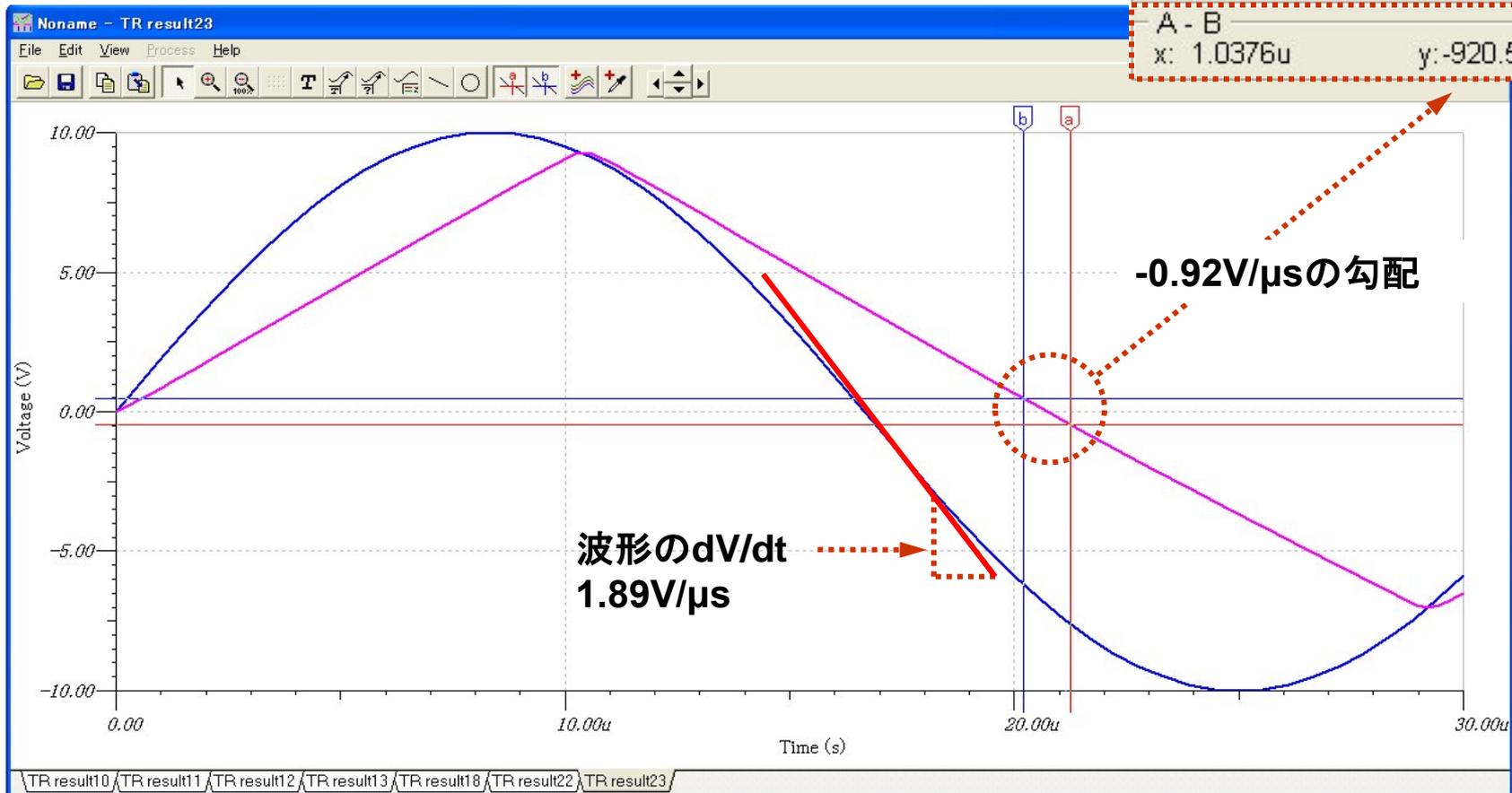
やや位相遅れが出ているが、出力はサイン波形を維持している。



# 有限スルーレートによる波形歪: OPA277 (30kHz)

## 限界周波数以上における波形歪

信号の角速度がスルーレートを上回るため三角波となる。



# セッション6 終わり

お疲れ様でした.

