

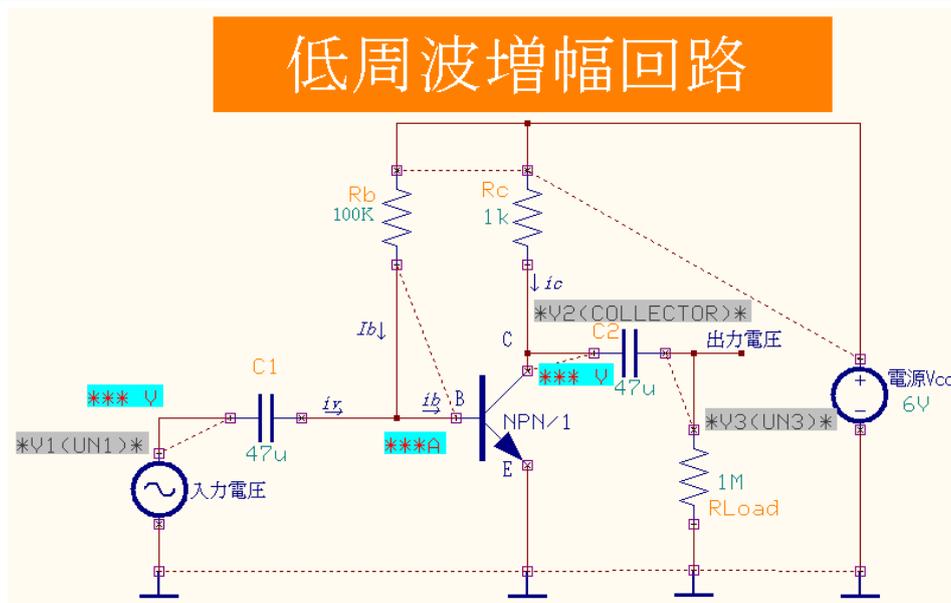
シミュレーション

低周波増幅回路、波形のひずみ

回路増幅度

トランジスタを交流的に動作させる場合、正と負の信号を増幅するために、入力信号がない時にでもベースに電流を流しておく必要があります。この電流をバイアス電流と呼びます。ここでは入力信号を歪みなしに増幅させるためにバイアス電流の調整について調べます。

回路図



表にリストされている部品を使って回路図を作成しましょう。

使用パーツリスト

| デバイス | 名称 | デフォルトホットキー※ |
|------------|-----------------|-------------|
| NPN トランジスタ | 2SC1815, 2N1613 | N |
| 電源 | VDC | E |
| 入力電圧 | VGEN | V |
| 抵抗 | RC05 | R |
| コンデンサ | CK21 | C |

※初期設定されているキーとなり、キー入力によって部品が呼びだされます。

MixedMode Simulator

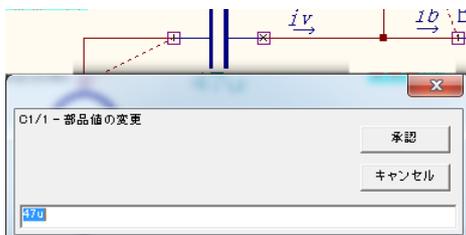
スキーマティックエディタのメニュー設定から MixedMode シミュレータを選択します。
 プリプロセス (Priprocess) ダイアログが表示されます。解析可能かどうかソフトが判断します。
 解析が行えるようすべてのデバイスはシミュレーションモデルを持たなければなりません。
 この回路の場合は5つのシミュレーションモデルが使用されています。



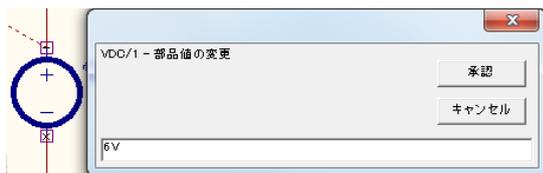
回路図のパラメータを入力します。
 ファンクションツールから部品プロパティ、オプションツールから部品値追加変更を選択し、部品をクリックし、値を入力します。



Rb=100K、Rc=1K



C1=47uF、C2=47uF,



電源 Vcc=6V

接頭辞について

部品値を入力する時に使用する接頭辞は、以下の様に入力します。

K(キロ) M(メガ) m(ミリ) u(マイクロ) n(ナノ)



入力電圧のパラメータを設定します。
ファンクションツール、部品プロパティ、オプションツールからシミュレーションパラメータ変更を選択します。



部品をクリックします。
パラメータを設定します。
Mode(波形の形状):SINE
Ao(振幅) : 5mV
f (周波数) : 1kHz

バイアス計算

これからトランジスタのコレクタ電流とコレクタバイアス電圧をシミュレーションで確認する前に推計しましょう。前回の Lesson で学んだ通りバイアス電流(I_B)は、

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b} \sim \frac{V_{cc} - 0.7V}{R_b} = \frac{6 - 0.7}{100K} = 0.053mA$$

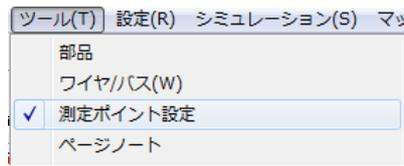
コレクタ電流(I_c)は、 $I_c = I_b \times h_{fe} \approx 0.053 \times 100 = 5.3mA$

※ h_{fe} : 電流増減幅(一般的な値 100 として計算)

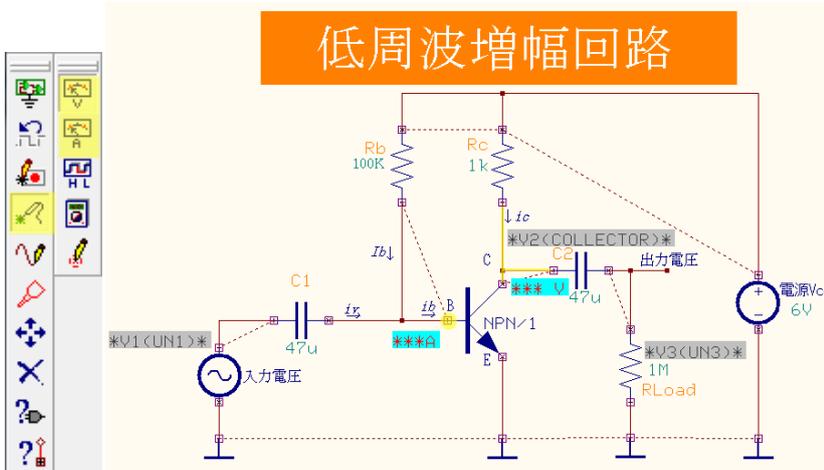
コレクタバイアス電圧(V_c)は、 $V_c = V_{cc} - I_c \times R_c \approx 6 - 5.3 \times 1 = 0.7V$

※ R_c : 1K Ω の時

次にシミュレーションにて確認します。



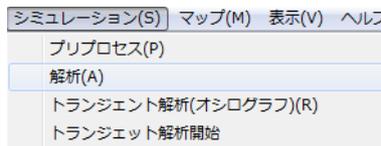
テストポイントを配置します。
メニューツールから測定ポイント設定を選択します。



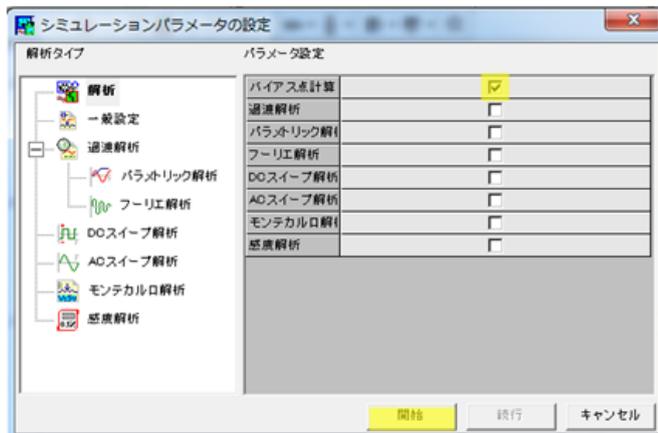
ファンクションツールからテストポイント、オプションツールから

電圧テストポイント をコレクタのネット上に置きます。

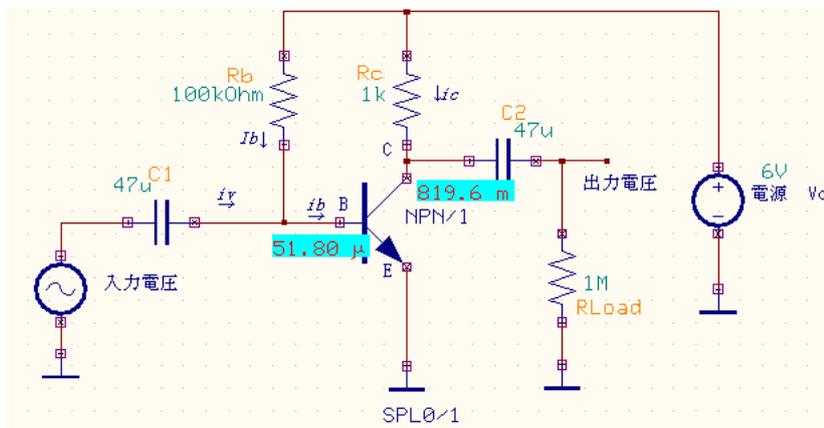
電流テストポイント をベースノード上に置きます。



メニューシミュレーションから解析を選択します。



解析から、バイアス点計算にチェックを入れ、開始をクリックします。



値が表示されます。

ベース電流もコレクタ電圧も推計結果に近い値となりました。

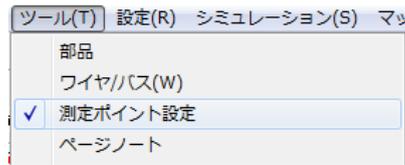
バイアス電流(I_B)= $51.8 \mu A$ 、
コレクタバイアス電圧(V_C)= $820mV$

しかし、コレクタバイアス電圧(V_C)の理想的なバイアス電圧は

$$V_{CC} \times \frac{1}{2}$$

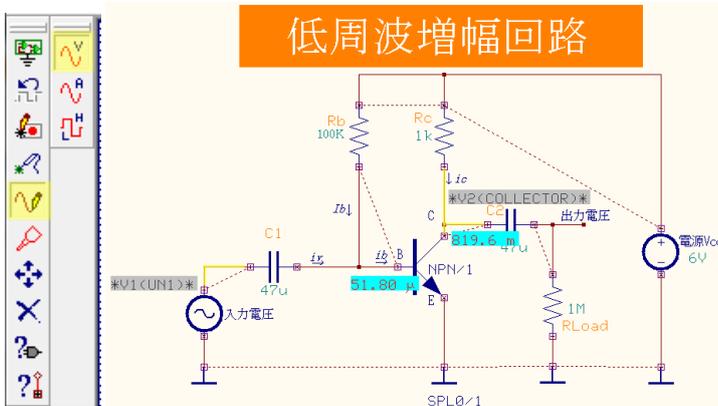
この場合は正、負信号は歪みなしで、均等に増幅されます。

次に入力信号の歪みを過度解析から確認します。



波形マーカを配置します。

メニューツールから測定ポイント設定を選択します。



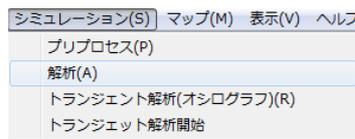
ファンクションツールから波形マーカ設定、オプションツールから電圧波形マーカを選択します。

マーカを次の通りに配置します：

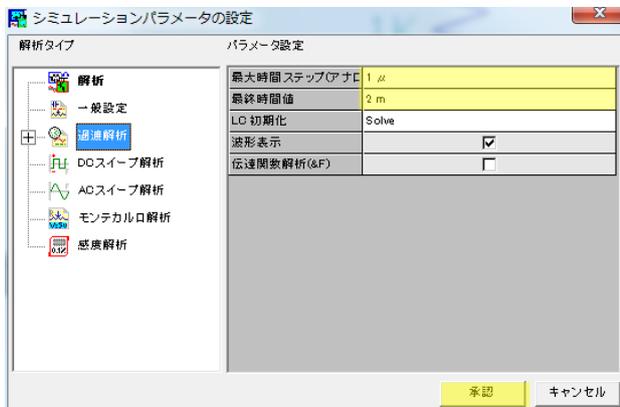
電圧波形マーカ : V1 を入力信号のネット上に配置します。

電圧波形マーカ : V2 をコレクタのネット上に配置します。

シミュレーション



メニューシミュレーションから解析を選択します。



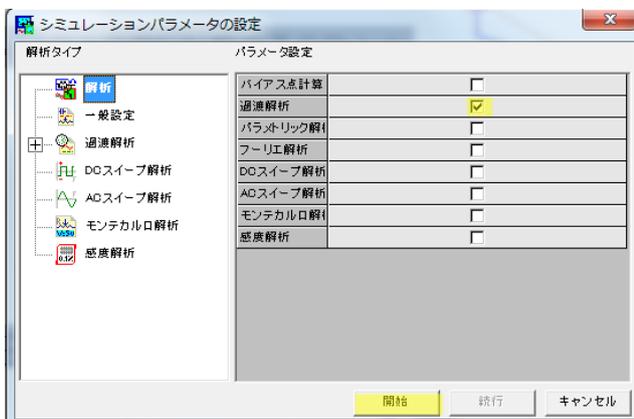
過渡解析を選択します。

パラメータを設定します。

最大ステップ：1 μ

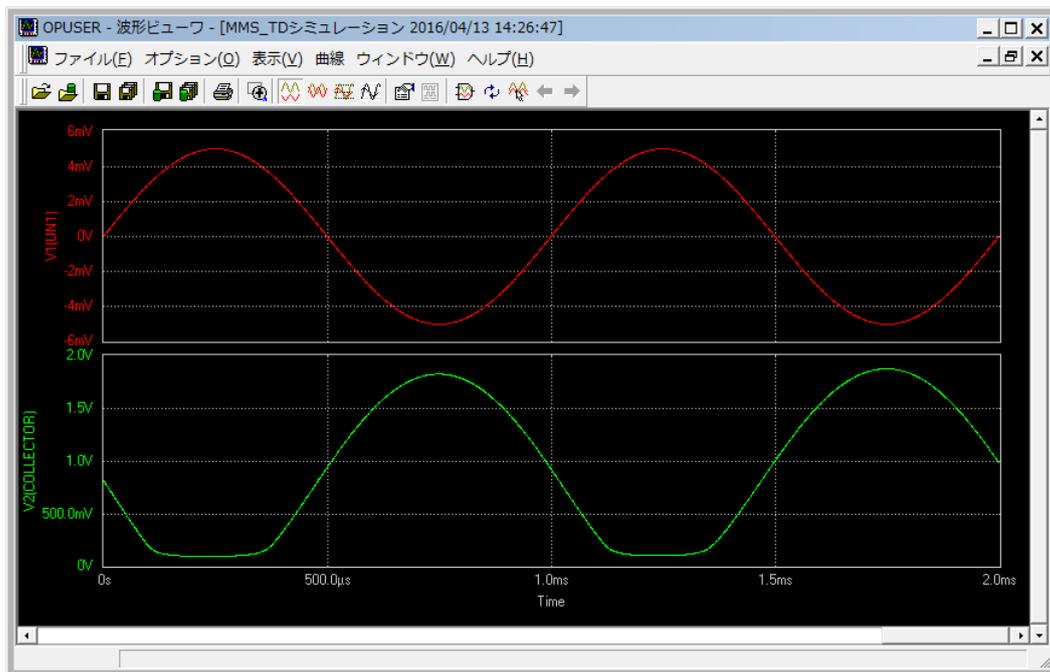
最終時間：2ms

承認をクリックします。



解析から過渡解析のチェックを入れ、開始をクリックします。

解析結果



上の波形より、正の波に歪みがあることが分かります。

歪みになる原因として次の通りに説明ができます。

入力電圧が正の半波の時に、バイアス電流(I_b)に入力電流(i_v)が加わるので、ベース電流(i_b)が増えます。よってベース電流(i_b)が増えることにより、コレクタ電流($I_c = I_b \times h_{fe}$)も増えることとなります。但し限界があります。コレクタ電圧($V_c = V_{cc} - I_c \times R_c$)がグランドより下にさがることができない為、0 近くになるとベースの電流が増えてもコレクタ電圧が下がらなくなります。このことが上の波形より確認ができます。

抵抗(R_b)の調整

正と負の波を均等に増幅する様に回路の調整を行います。

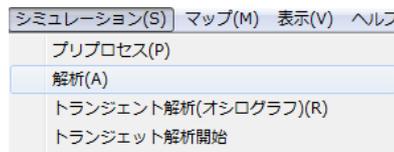
前に述べた様にコレクタの理想的なバイアス電圧は $V_{cc} \times \frac{1}{2}$ です。

コレクタバイアス電圧($V_c = V_{cc} - I_c \times R_c$)を今の 0.8V から $6 \times \frac{1}{2} = 3V$ までに上げるにはコレクタの電流値を下げなければなりません。

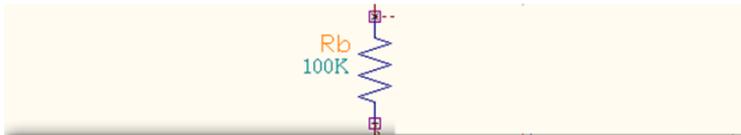
コレクタの電流下げる ⇨ ベースの電流を下げる ⇨ ベース抵抗(R_b)を上げます。

次にバイアス解析を使って抵抗(R_b)によってコレクタのバイアス電圧がどのように変化する確認します。

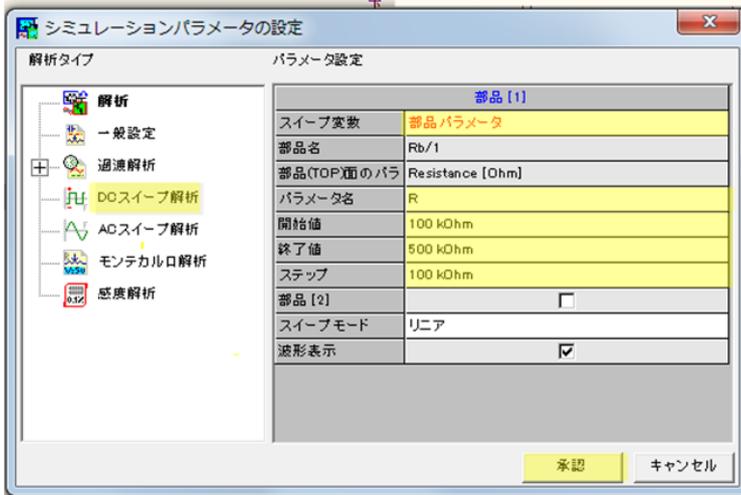
シミュレーション



メニューシミュレーションから解析を選択します。



DC スweep解析を選択します。
 Sweep変数：部品パラメータ、抵抗 (Rb)をクリックします。



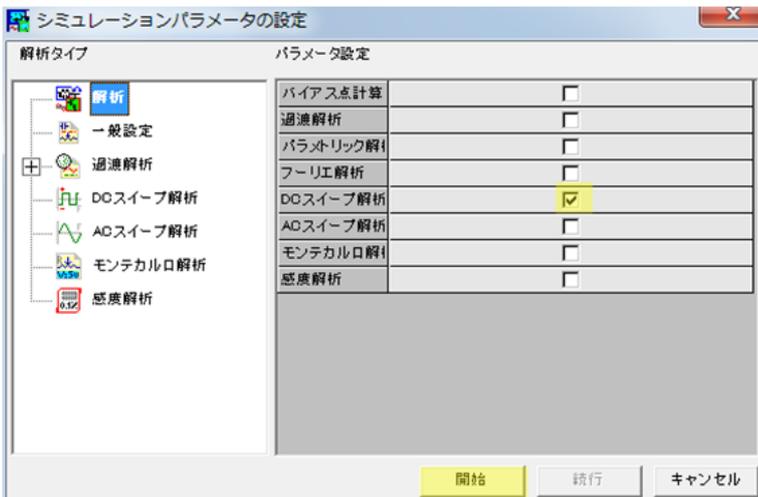
パラメータ名：R
 (抵抗にはパラメータが1つしかない為Rとなります。パラメータが複数ある場合は、Sweepするパラメータをここで選択します。)

開始値：100K

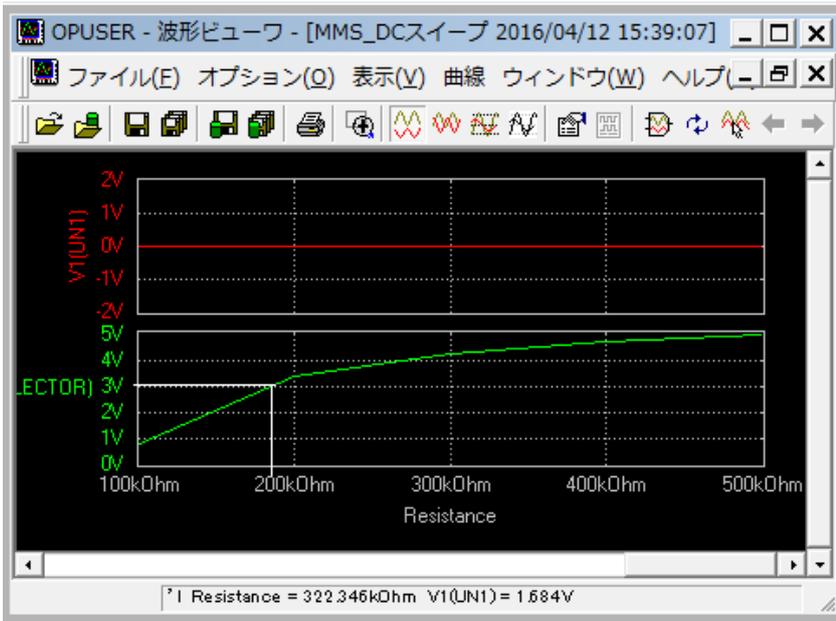
終了値：500K

ステップ：100K

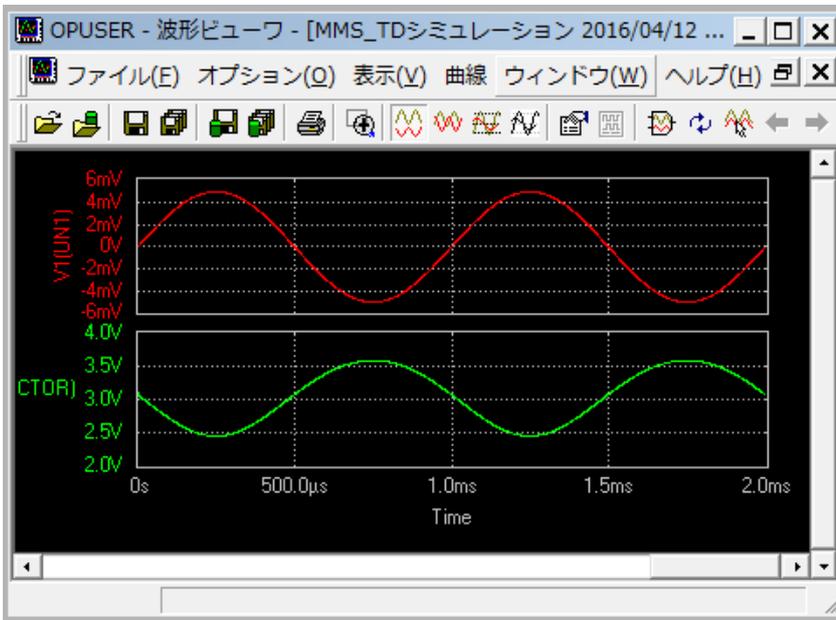
承認をクリックします。



解析から、DC Sweepにチェックを入れ、開始をクリックします。



抵抗(R_b)は 180K の辺りでコレクタのバイアス電圧は 3V になることが波形より分かります。



抵抗(R_b)を 100K から 180K に変更し再びに過度解析を行います。

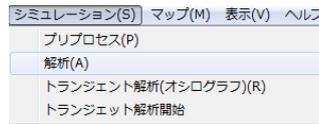
正波のひずみが少なくなったことが波形より確認できます。

回路の増幅度

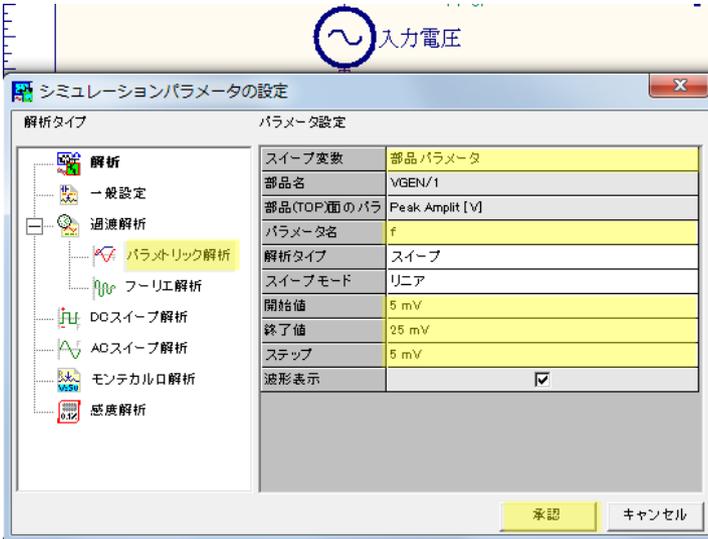
回路の増幅度は $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ から、 $\frac{3.5V}{0.035V} = 100$ になります。

パラメトリック解析

次に入力信号が大きくなると波形がどのように変化するか確認していきます。



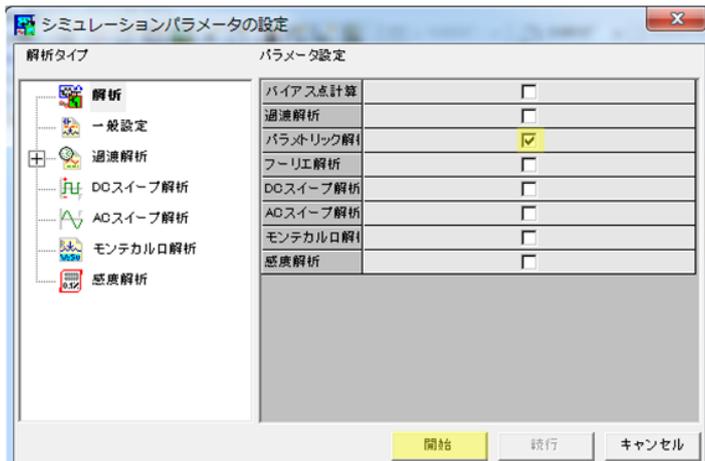
メニューシミュレーションから解析を選択します。



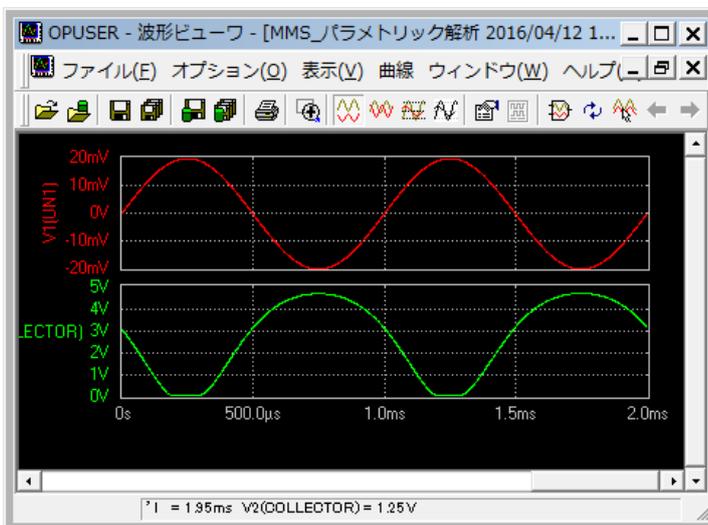
過渡解析からパラメトリック解析を選択します。

スイープ変数：部品パラメータ
入力電圧(VGEN)をクリック

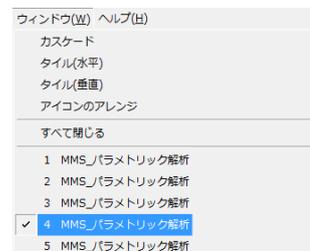
パラメータ名：f
開始値：5mV
終了値：25mV
ステップ：5mV



解析からパラメトリック解析にチェックを入れ、開始をクリックします。



ウィンドウから解析結果が確認できます。



入力信号が20mV ぐらいになると出力波形がひずみます。