

目次

1	目的	2
2	レベルシフタ	2
2.1	原理	2
2.2	測定手順	2
2.3	結果と考察	3
3	リミッタ	4
3.1	オペアンプを用いないリミッタの入出力特性	4
3.2	オペアンプを用いないリミッタの入出力波形観測	5
3.3	オペアンプを用いたリミッタの入出力特性	6
3.4	オペアンプを用いたリミッタの入出力波形観測	8
4	ヒステリシスコンパレータ回路	13
4.1	ヒステリシスコンパレータの入出力特性	13
4.2	ヒステリシスコンパレータの入出力波形観測	13
5	絶対値回路	20
5.1	絶対値回路の入出力特性	20
5.2	絶対値回路の入出力波形測定	20
6	レポート課題	24
7	参考文献	24

1 目的

アナログ回路に我々が期待する機能とは、様々な演算機能を持っており、それらを回路に委託すれば答えが帰ってくることである。

その一例として、現在までに私たちは線形信号処理のアナログ回路について学んできた。これにより和、差、乗算、周波数フィルタリング、微分積分などを回路上で表現することが可能となった。

しかし、その他の非線形の演算を行う場合これらの知識では足りない。それを補うのが今回の実験の目的であり、リミッタ回路による出力のデジタル表現、ヒステリシスコンパレータによる可逆性の入出力循環変化、絶対値回路による閾値付近の性質変化による線形の折れ曲がり、などによって主に入出力特性が折れ線で表現される非線形信号処理について理解する。

2 レベルシフタ

2.1 原理

今回使用するレベルシフタの回路を図 1 に示す。

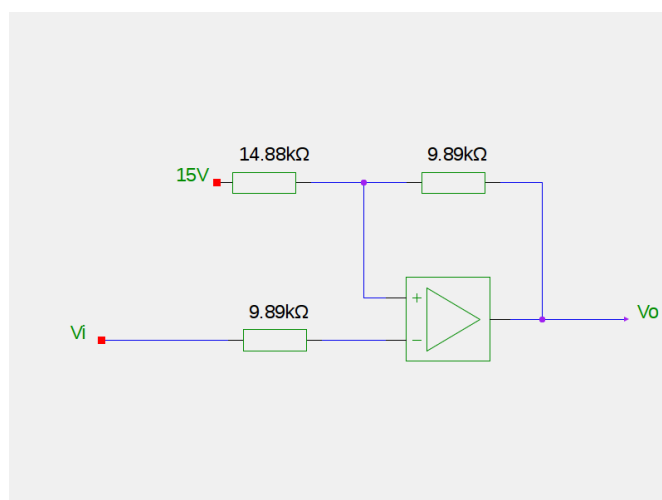


図 1 レベルシフタの設計回路

2.2 測定手順

ここでは、以降の実験で正電源から正負の入力を得る入力変換装置として用いるレベルシフタ回路を設計し、その挙動を検証。

1. 図 1 の回路を設計。
2. 回路中の V_i に 0 ~ 12V の電圧を加え、その出力 V_o の挙動を計測。

2.3 結果と考察

レベルシフタの動作結果を図 2 に示した。この図を見ると、0 ~ 12V の正の入力に対して、-10 ~ 10V の一定の幅を持った正負の出力範囲が得られていることが分かる。したがってこれはレベルシフタとしての動作を反映していることを示し、さらに入力電圧に対して線形関数的に出力電圧が得られるため、以降実験の入力としてこの出力電圧を扱うに当たって、レベルシフタは非常に実験者からみても安定的で有効な回路である、ということが分かった。

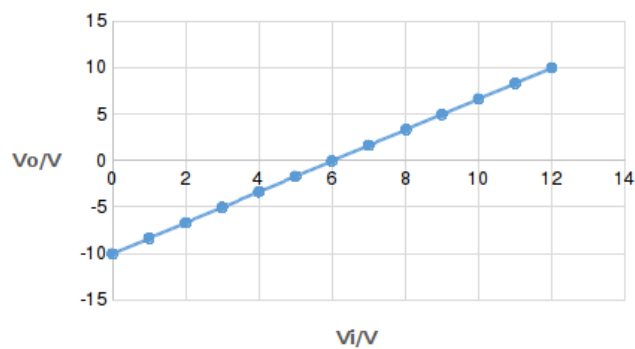


図 2 レベルシフタの測定測定

3 リミッタ

3.1 オペアンプを用いないリミッタの入出力特性

3.1.1 原理

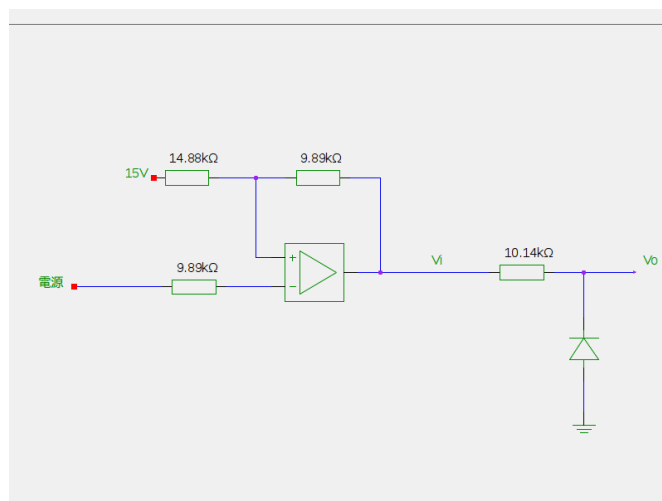


図 3 オペアンプを用いないリミッタの測定回路

3.1.2 測定手順

直流電源について、リミッタ回路を用いて整流作用の動作を確認。

1. 図 3 を設計。
2. レベルシフタによる変換後の入力 V_i を $(-4V \sim +4V)$ の範囲で変動させながら、出力 V_o を測定。

3.1.3 結果と考察

図 4 にオペアンプを用いないリミッタの入出力特性を示す。この図を見ると、入力電圧が正の時は傾きが 1 の線形特性、入力電圧が負の時は 0 に近い一定の負の出力が得られることが分かる。リミッタ回路の特性上、入力が負の場合には回路上のダイオードに正のバイアスが、入力が正の場合にはダイオードに負のバイアスがかかる。つまりリミッタ回路の入出力特性は以下のようにまとめることができる。

- 入力電圧 $V_i < 0V$ の時、出力電圧 V_o は $0V$
- 入力電圧 $V_i > 0V$ の時、出力電圧 $V_o = V_i$

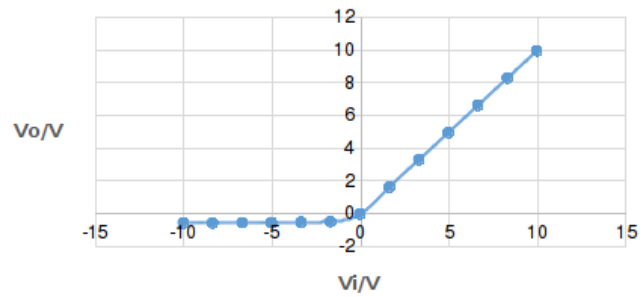


図4 オペアンプを用いないリミッタの入出力特性

これでリミッタ回路の入出力特性を確認することができたわけだが、ダイオードをスイッチとして使用した例である。この図からは入力電圧が微小な負の値をもつ所から出力電圧が立ち上がり始めていることも確認できるため、ダイオードの立ち上がり電圧もデータに現れていることもわかる。

3.2 オペアンプを用いないリミッタの入出力波形観測

3.2.1 原理

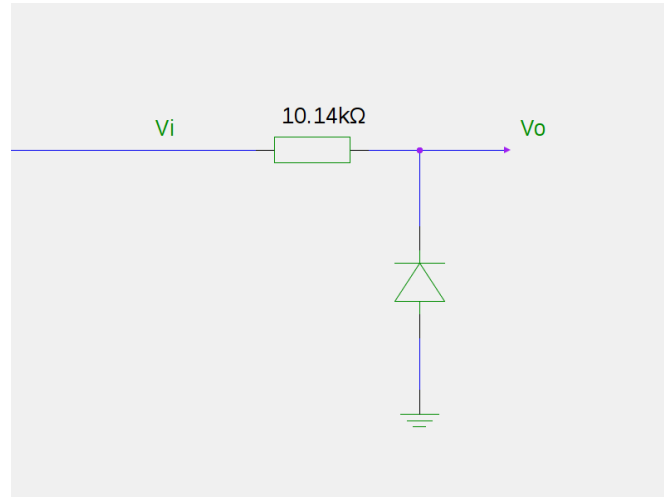


図5 オペアンプを用いないリミッタの波形観測回路

3.2.2 測定手順

交流電源について、リミッタ回路の整流作用を検証。

1. 図5の回路を設計。
2. 交流電源を波形 (ex. 正弦波、三角波)、振幅、周波数などによって変動させ、それぞれの入

力に対してその出力波形を観測。

3.2.3 結果と考察

オペアンプを用いないリミッタの入出力波形を、正弦波、入力周波数、電圧によって測定した 3 つのサンプルデータをそれぞれ図 6、図 7、図 8 に示す。

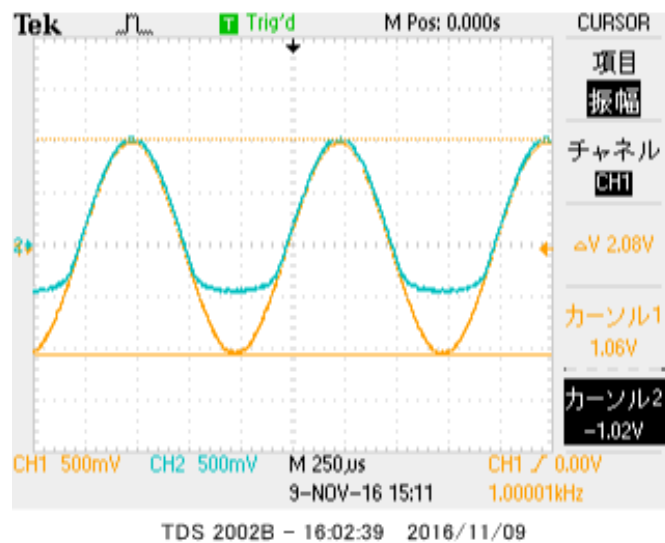


図 6 オペアンプを用いないリミッタの入出力波形 (正弦波, 入力周波数 1kHz, 電圧 2Vpp)

入力周波数が 1kHz の 2 つのデータを見てみると、入力が正の領域で入出力が 1 対 1 の関係になっている。負の方向に少し出力が浸透しているものダイオードの立ち上がり電圧による影響であろう。一方、入力周波数が 100kHz のデータは振幅だけなら大きな変化はないものの、時間的な遅延が生じていることが確認できる。これはダイオードの含有する静電容量によるものだと考えられ、周波数が大きくなるとさらに大きな影響を及ぼすものだと予測できる。

したがってここから、リミッタ回路は直流利用では問題なく利用できるが、交流として利用する際には、使用する周波数帯には気をつけなければならないということが分かった。

3.3 オペアンプを用いたリミッタの入出力特性

3.3.1 原理

3.3.2 測定手順

オペアンプを用いたリミッタ回路について、直流電源に対する挙動を測定。

1. 図 9 の回路を設計。
2. V_i を -4V から +4V まで変動させ、その出力を測定。

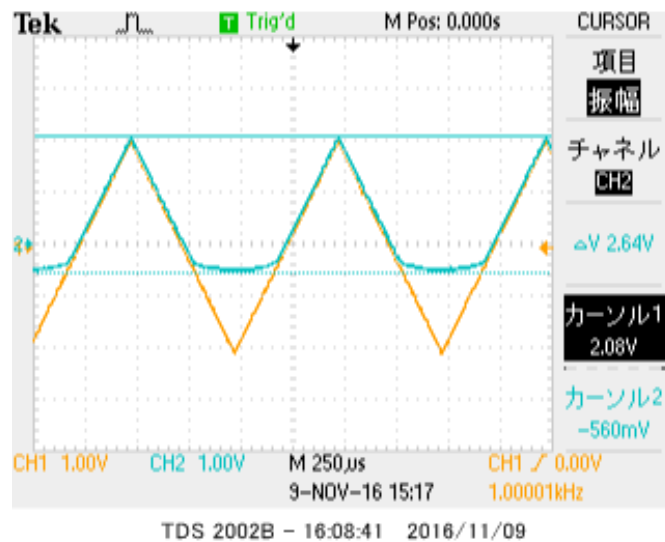


図 7 オペアンプを用いないリミッタの入出力波形 (三角波, 入力周波数 1kHz, 電圧 4V_{pp})

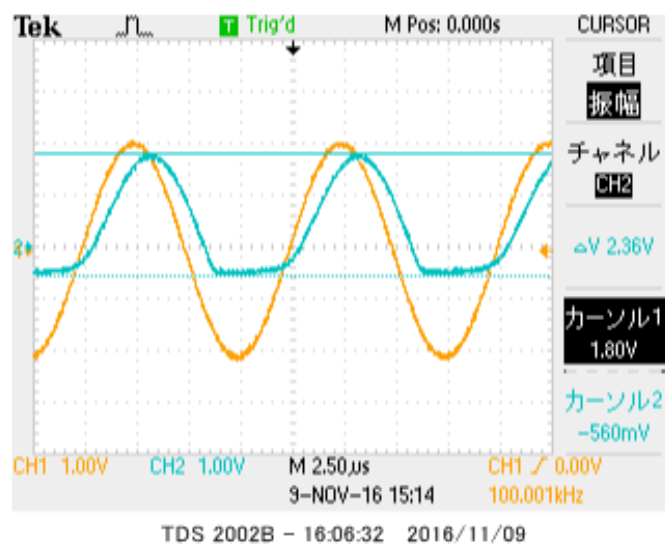


図 8 オペアンプを用いないリミッタの入出力波形 (正弦波, 入力周波数 100kHz, 電圧 4V_{pp})

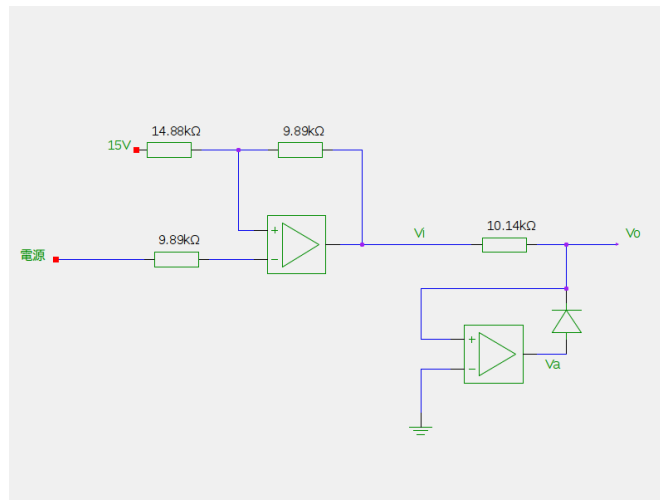


図 9 オペアンプを用いたリミッタの測定回路

3.3.3 結果と考察

次の図 10、図 11 にそれぞれ入力電圧に対するリミッタの出力、そしてオペアンプの出力電圧特性を示した。

まず図 10 をみても。このデータは定性的には先述のオペアンプを用いない場合の入出力特性と同様に見える。しかし今回の場合はマイナス側への出力電圧の浸透がなく、さらに立ち上がり部分の 0 に近づいている。

さらに図 11 を見ると、入力の 0V を境に離散的にオペアンプの出力は 0V から -14V まで変わっている。このオペアンプの性質によって、オペアンプありのオペアンプなしとの違いは、

- リミット電圧のスイッチとしての on,off への切り替え性能の向上
- スイッチ off 時の電圧漏れだしの防止

などが主にあげられる。

3.4 オペアンプを用いたリミッタの入出力波形観測

3.4.1 原理

3.4.2 測定手順

オペアンプを用いたリミッタ回路について、交流電源に対する出力波形を観測。

1. 図 12 の回路を設計。
2. 交流電源を波形 (ex. 正弦波、三角波)、振幅、周波数などによって変動させ、それぞれの入力に対してその出力波形を観測。

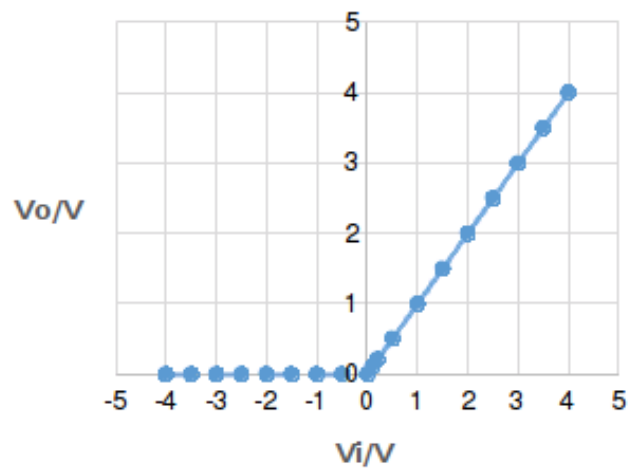


図 10 オペアンプを用いたリミッタの入出力特性

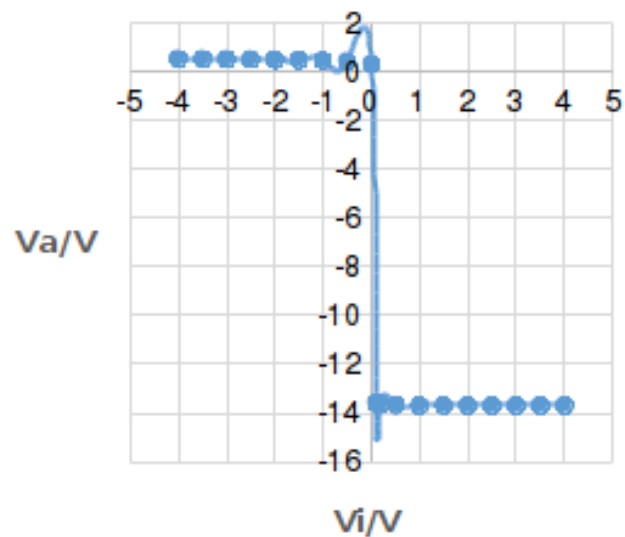


図 11 リミッタの入力電圧とオペアンプの出力電圧の特性

3.4.3 結果と考察

図 13,14 に正弦波で周波数 1kHz の入力に対するデータを、図 15,16 に三角波で周波数 1kHz の入力に対するデータを、そして最後の図 17 に正弦波で周波数 1kHz の入力に対するデータを示す。

ここでも上述の入出力特性に関する特性と同様に、周波数が 1kHz で低い状態ではその挙動はオペアンプなしと変わらない。

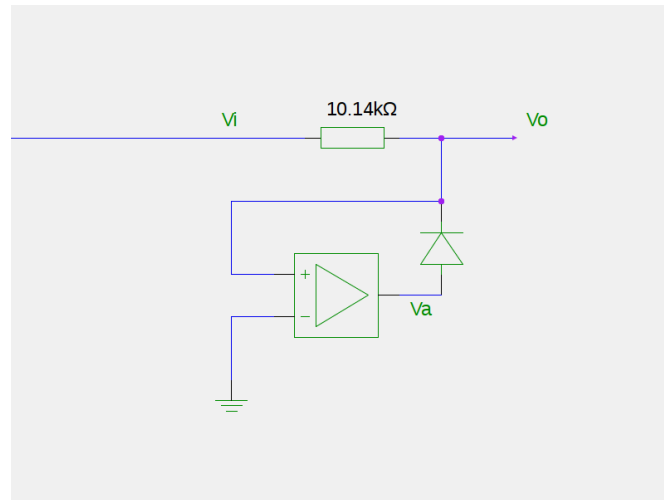


図 12 オペアンプを用いたリミッタの波形観測回路

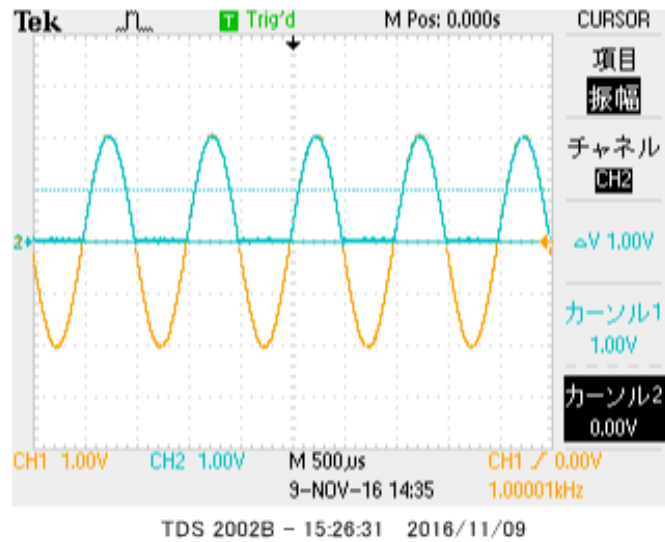


図 13 オペアンプを用いたリミッタの入出力波形 (正弦波, 入力周波数 1kHz, 電圧 2Vpp)

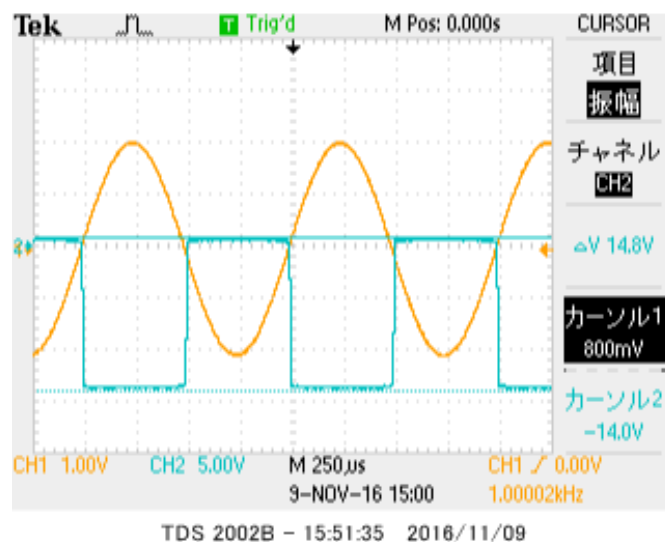


図 14 リミッタの入力電圧とオペアンプの出力電圧 (正弦波, 入力周波数 1kHz, 電圧 2V_{pp})

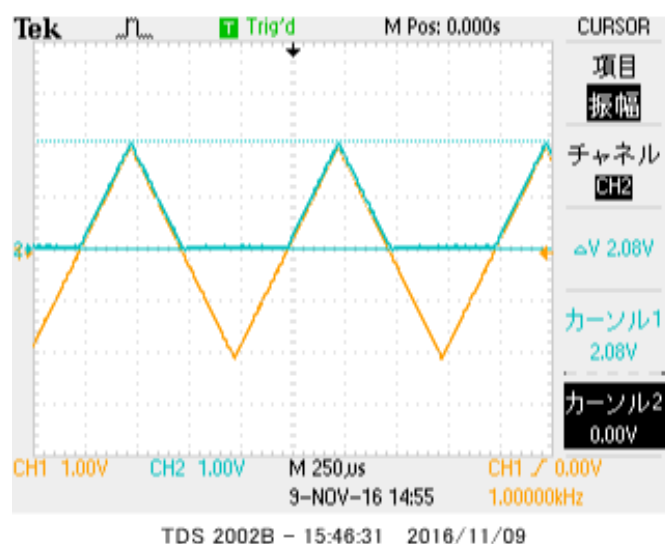


図 15 オペアンプを用いたリミッタの入出力波形 (三角波, 入力周波数 1kHz, 電圧 4V_{pp})

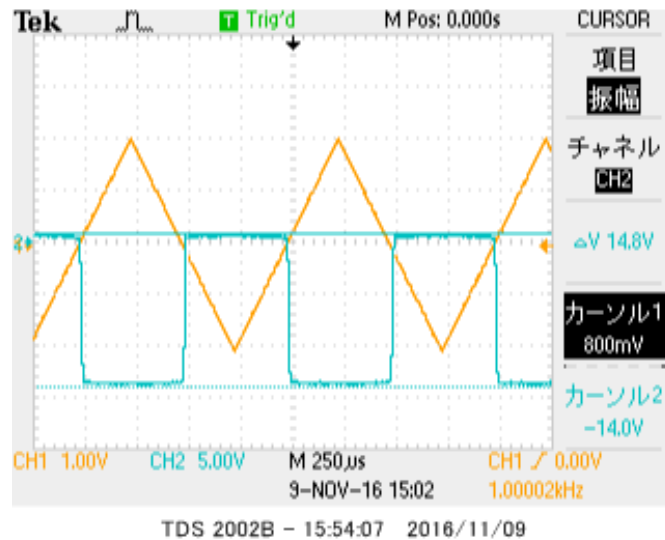


図 16 リミッタの入力電圧とオペアンプの出力電圧 (三角波, 入力周波数 1kHz, 電圧 4Vpp)

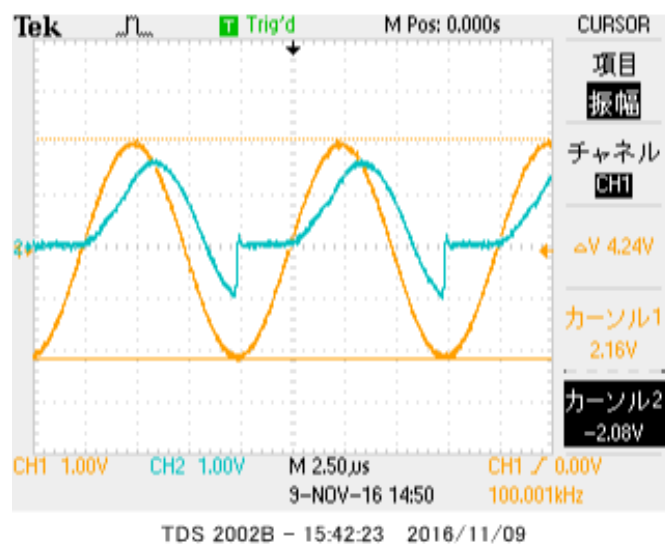


図 17 オペアンプを用いたリミッタの入出力波形 (正弦波, 入力周波数 100kHz, 電圧 4Vpp)

4 ヒステリシスコンパレータ回路

4.1 ヒステリシスコンパレータの入出力特性

4.1.1 原理

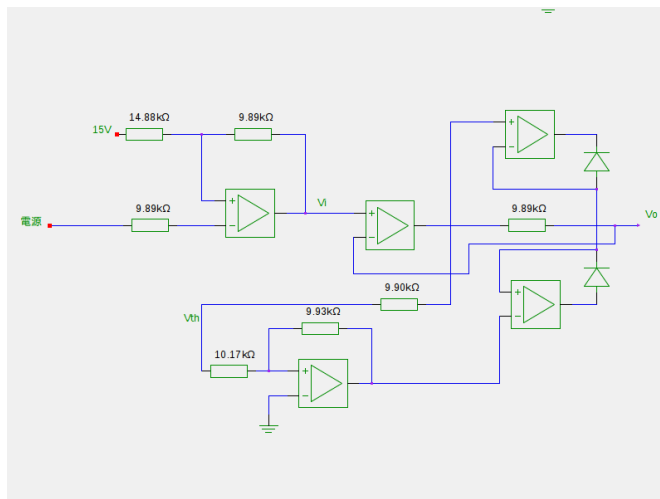


図 18 ヒステリシスコンパレータの測定回路

4.1.2 測定手順

PS 出力電圧 V_{th} 、コンパレータ入力電圧 V_i に対する、ヒステリシスコンパレータの特性を測定。

1. 図 18 の回路を設計。
2. PS 出力電圧 V_{th} 、コンパレータ入力電圧 V_i を変動させ、コンパレータ出力 V_o を測定。

4.1.3 結果と考察

PS 出力電圧 V_{th} を 2V, 1V として測定したヒステリシスのデータをそれぞれ図 19, 図 20 に示す。

4.2 ヒステリシスコンパレータの入出力波形観測

4.2.1 原理

4.2.2 測定手順

図 21 の回路を設計。その後、以下の基本波形・模擬ノイズ波形観測について測定。
基本波形について。

1. 図 21 の P_0 を P_2 に接続。
2. PS 出力電圧 V_{th} 、波形 (ex. 正弦波、三角波)、周波数、振幅による波形の変動を観測。

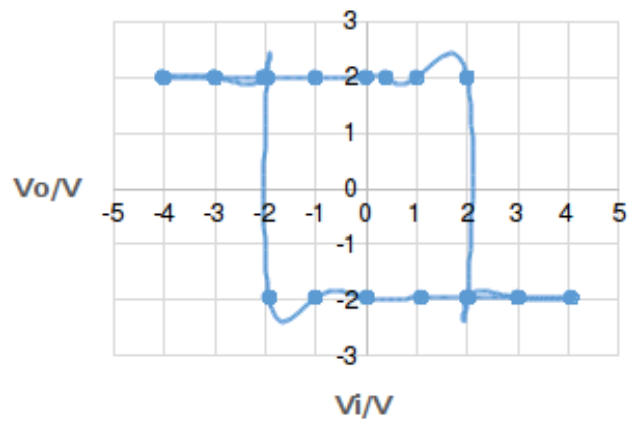


図 19 PS 出力電圧 $V_{th}=2V$ の時のヒステリシスコンパレータの入出力特性

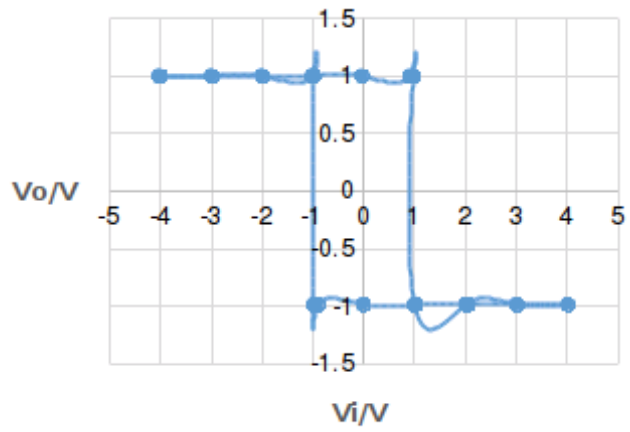


図 20 PS 出力電圧 $V_{th}=1V$ の時のヒステリシスコンパレータの入出力特性

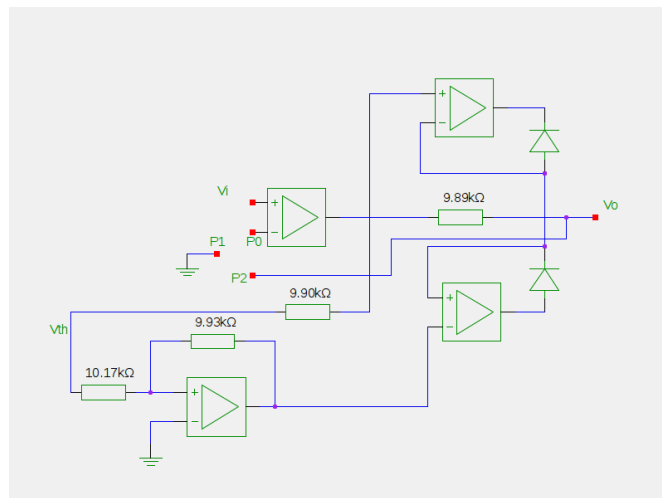


図 21 ヒステリシスコンパレータの波形観測回路

模擬ノイズ波形観測について。

1. 図 21 の P_0 を P_2 に接続。
2. 波形を模擬ノイズ重畳波形に設定。正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $1V_{pp}$ (ノイズ)、正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $4V_{pp}$ (ノイズ) について測定。
3. 図 21 の P_0 を P_1 に接続を変更。これによりヒステリシスから通常のコンパレータ回路となる。
4. 通常コンパレータについて、2 の操作を同様に行う。

4.2.3 結果と考察

図 22～24 には基本波形観測の波形データを、図 25～29 にはノイズ波形観測の波形データをそれぞれ示す。

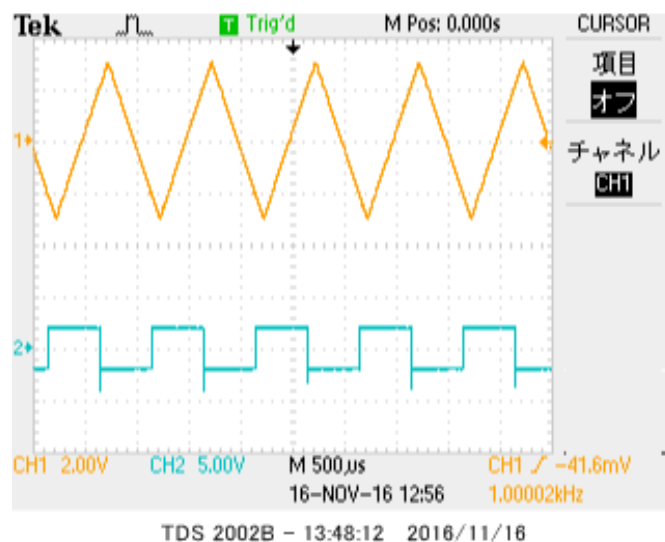


図 22 ヒステリシスコンパレータの波形観測 (三角波、PS=2V、振幅 $V_{pp}=6V$ 、周波数 1kHz)

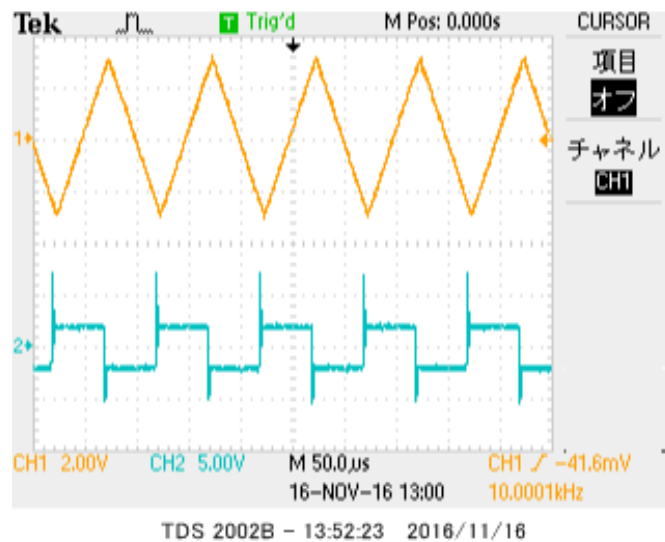


図 23 ヒステリシスコンパレータの波形観測 (三角波、PS=2V、振幅 $V_{pp}=6V$ 、周波数 10kHz)

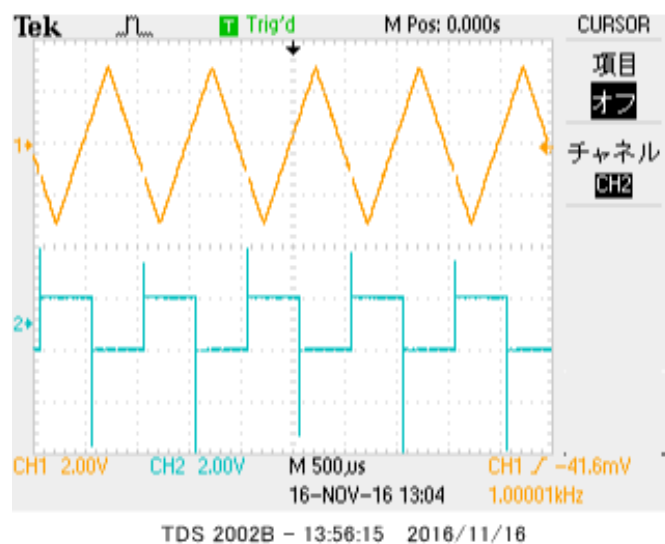


図 24 ヒステリシスコンパレータの波形観測 (三角波、PS=1V、振幅 $V_{pp}=6V$ 、周波数 1kHz)

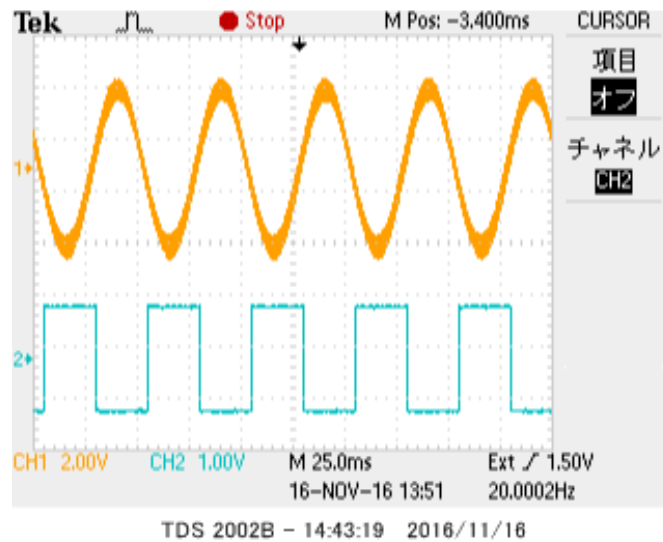


図 25 ヒステリシスコンパレータの入力・ノイズ波形 (正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $1V_{pp}$ (ノイズ))(縮小スケール)

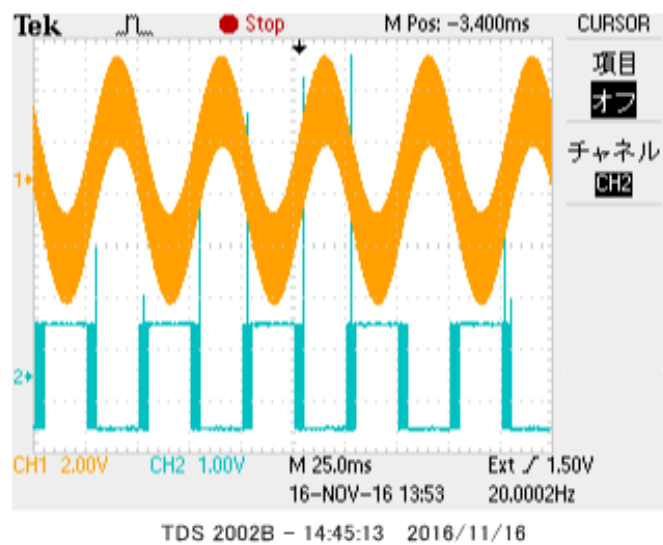


図 26 ヒステリシスコンパレータの入力・ノイズ波形 (正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $4V_{pp}$ (ノイズ))(縮小スケール)

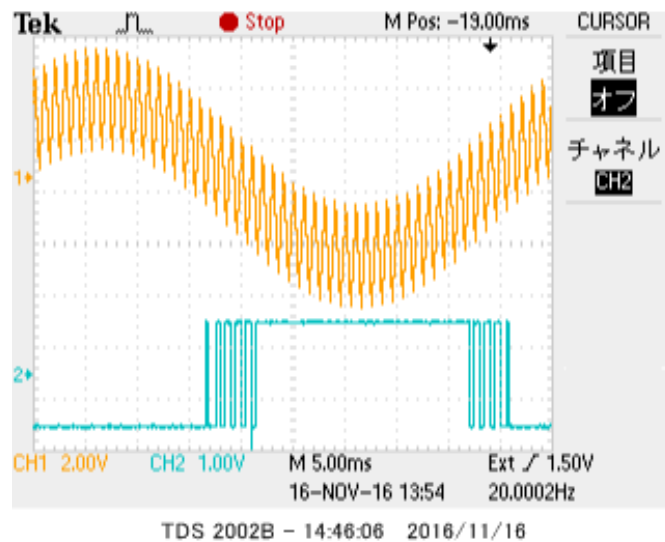


図 27 ヒステリシスコンパレータの入力・ノイズ波形 (正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $4V_{pp}$ (ノイズ))(拡大スケール)

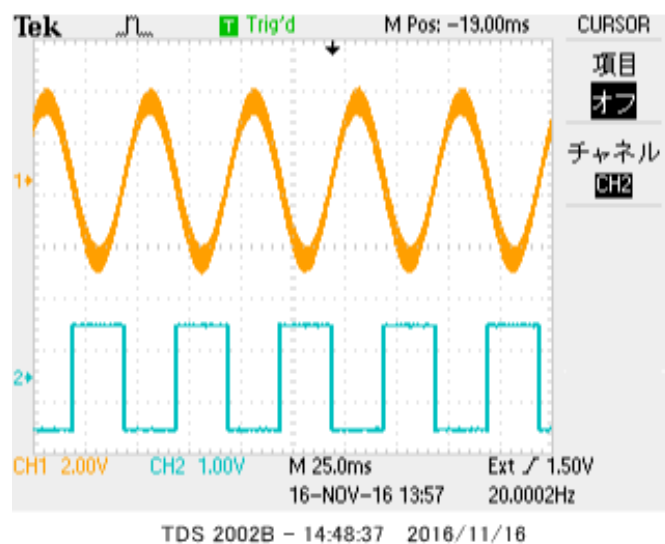


図 28 通常コンパレータの入力・ノイズ波形 (正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $1V_{pp}$ (ノイズ))(縮小スケール)

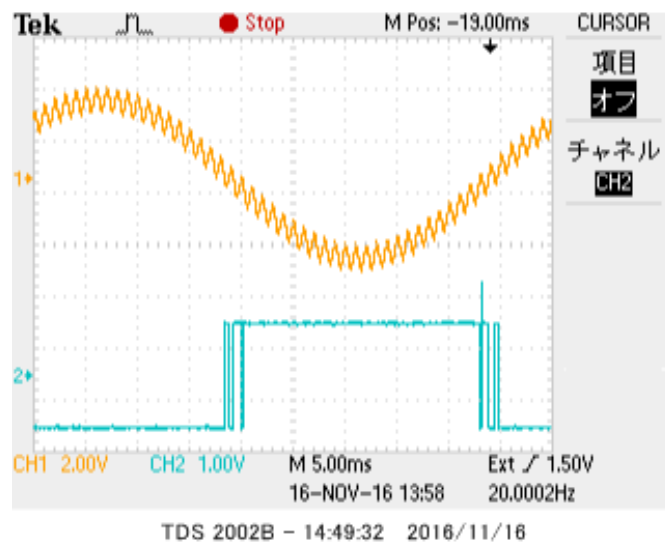


図 29 通常コンパレータの入力・ノイズ波形 (正弦波 $6V_{pp}$ (入力)+ 三角波 $1V_{pp}$ (ノイズ))(拡大スケール)

5 絶対値回路

5.1 絶対値回路の入出力特性

5.1.1 原理

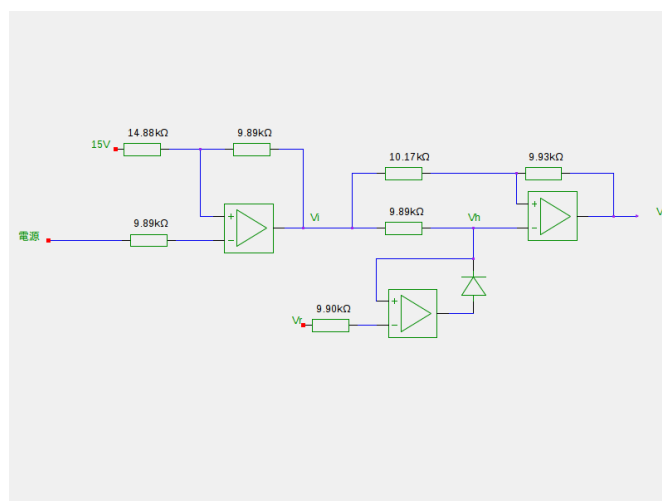


図 30 絶対値回路の測定回路

5.1.2 測定手順

絶対値回路について、直流電源に対して全波整流の挙動を測定。

1. 図 30 の回路を設計。
2. 基準電圧 V_r 、入力電圧 V_i を変動させ出力電圧 V_o の挙動を測定。

5.1.3 結果と考察

図 31、32 にはそれぞれ基準電圧が 0V と 1V のときの絶対値回路の直流電源に対する入出力特性データを示す。

5.2 絶対値回路の入出力波形測定

5.2.1 原理

5.2.2 測定手順

絶対値回路について、交流電源に対する全波整流作用を観測。

1. 図 33 の回路を設計。
2. 基準電圧 V_r 、入力周波数、振幅、波形 (ex. 正弦波、三角波) による出力の変動を測定。

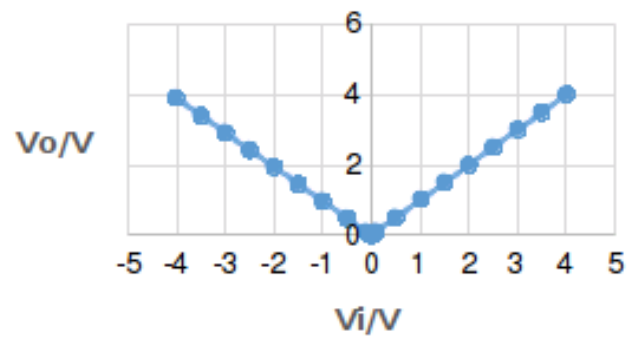


図 31 基準電圧 $V_r=0V$ の時の絶対値回路の入出力特性

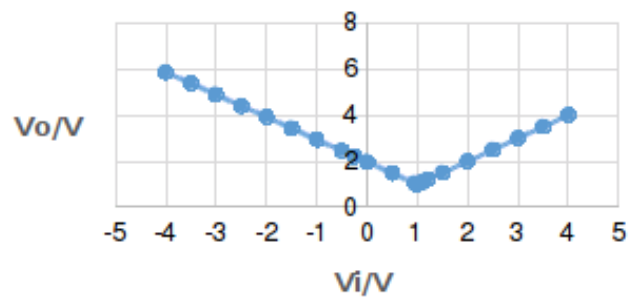


図 32 基準電圧 $V_r=1V$ の時の絶対値回路の入出力特性

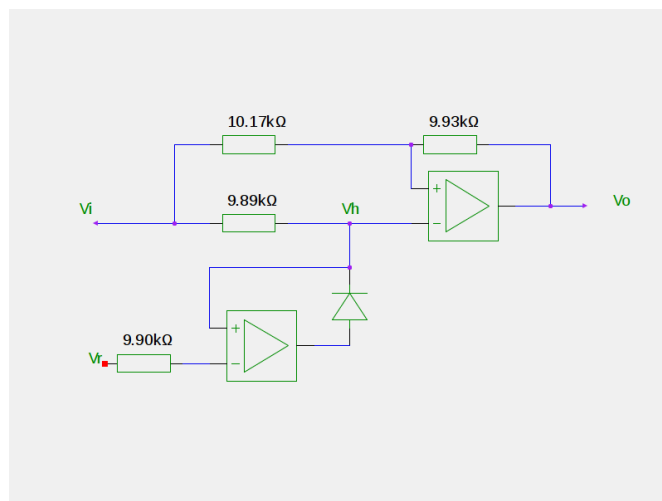


図 33 絶対値回路の波形観測回路

5.2.3 結果と考察

図 34～37 に基準電圧と振幅、波形によりそれぞれ場合分けして観測した波形データを示す。

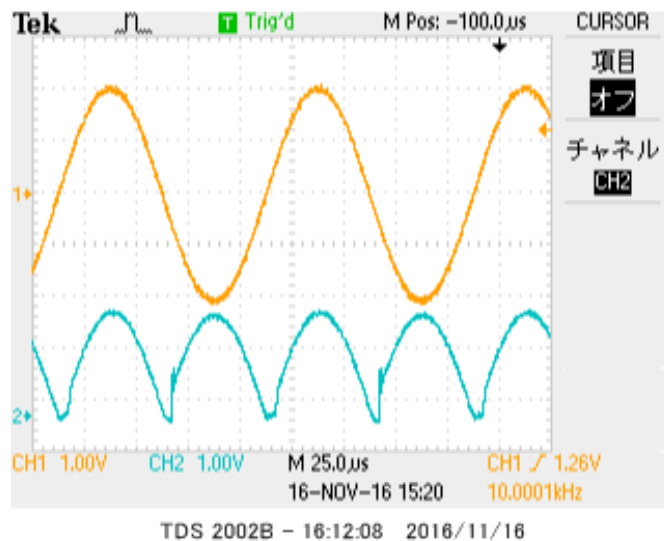


図 34 基準電圧なしの絶対値回路の波形 ($f=10\text{kHz}$, $V_{pp}=4\text{V}$, 正弦波)

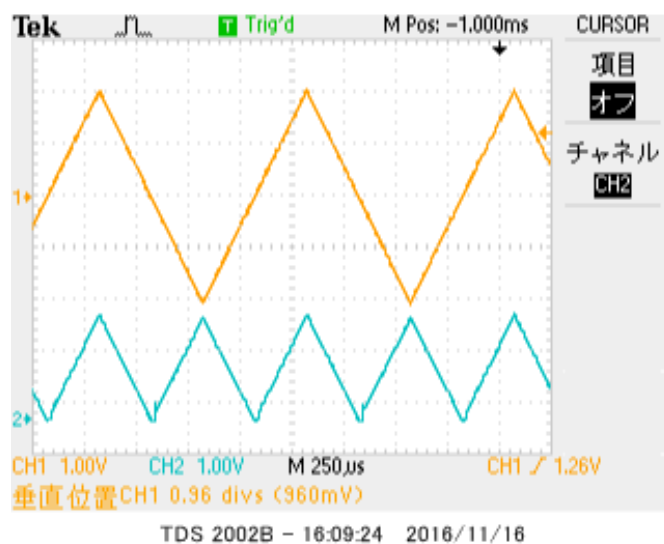


図 35 基準電圧なしの絶対値回路の波形 ($f=1\text{kHz}$, $V_{pp}=4\text{V}$, 三角波)

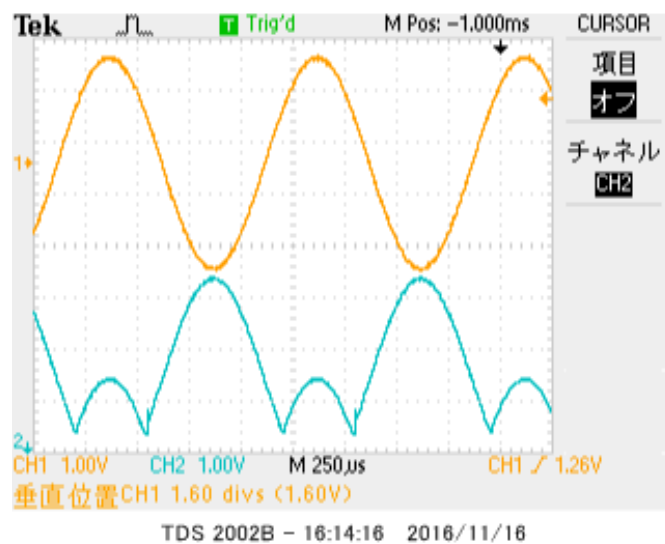


図 36 基準電圧 1V の絶対値回路の波形 ($f=1\text{kHz}$, $V_{pp}=2\text{V}$)

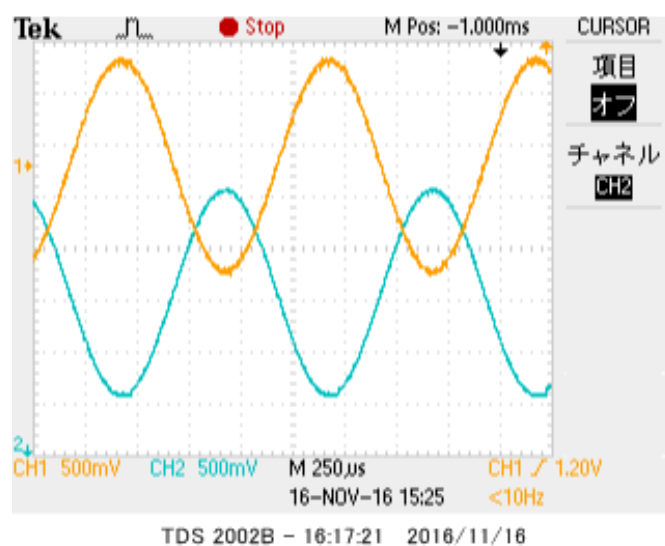


図 37 基準電圧 1V の絶対値回路の波形 ($f=1\text{kHz}$, $V_{pp}=4\text{V}$)

6 レポート課題

- a) 2.3 を参照。
- b)
- c)
- d)
- e)
- f)
- g)
- h)
- i)
- j)
- k)

7 参考文献