

A/D用ピークホールド・レベルメーターの基礎検討

2007.5.1 k e p h i s @ n i f t y . c o m

自作用A/Dコンバータ、およびオープンリール録音機用に、50kHzの正弦波を正確にピークホールドできるレベルメーターの設計・製作を行うに当たり、検討したことを記す。

簡単な目標・仕様

- ・ 入力：±2.5V 差動で 0dB 表示
- ・ 3dB ステップ、20 ドット
- ・ ±2.5V 振幅の 50kHz の正弦波を正確にピークホールドする

【1.基礎検討】

金田式の例

図1が金田氏のオープン録音アンプ用のピークホールド回路。

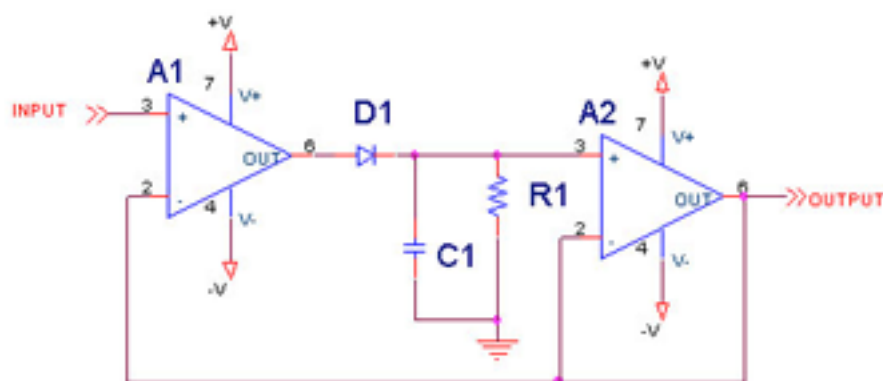


図 1

LM3915の定数、7ピン〜GND間の抵抗3kΩと470Ωから、 $V_{ref}=1.483V$ 、LEDの電流4.84mAと出る（「オーディオDCアンプ製作のすべて」下巻 p255 図14）。

これにより、1.483Vの入力で最大0dBを表示することになる。つまりピークホールド回路の最大出力電圧は1.483Vとなる。

ピークホールド回路でひとつ問題になるのは、ホールドコンデンサ（この回路では0.1μF）に充電するための電流制限によるスルーレートの抑制がかかる点にある。ホールドコンデンサを目的の電圧まで、目的の周波数で十分早く充電しなければならない。

LM318のアンプ自体のスルーレートはTypで70V/μsである。またLM318の出力電流制限値は、データシートのグラフから、温度にもよるが20mA前後であることがわかる。この20mAで0.1μFを充電する。スルーレートSR1を求めると、

$$SR1 = I/C = 20[mA]/0.1[\mu F] = 200[kV/s] = 0.2[V/\mu s]$$

つまり、LM318の高スルーレートは今ひとつ活かされていないことになる。

また、 $f=50\text{kHz}$ 、 1.483Vpp の信号のスルーレート SRf50 を求めると、

$$\text{SRf50} \doteq 2\pi fV = 2\pi \times 50[\text{kHz}] \times 1.483[\text{V}] = 0.466[\text{V}/\mu\text{s}]$$

$f=20[\text{kHz}]$ のスルーレート SRf20 は同様に

$$\text{SRf20} \doteq 2\pi fV = 2\pi \times 20[\text{kHz}] \times 1.483[\text{V}] = 0.186[\text{V}/\mu\text{s}]$$

図1の金田氏の回路では入力に約 16kHz のフィルタが入っていて、そこから、 SRf20 の値を考えるとスルーレートは十分間に合っているが、今回のスペック、 50kHz という条件では、 SRf50 の値から、スルーレート不足のため、この回路では十分にピークホールドが出来ないことがわかる。

これを解決する対策は

A. ホールドコンデンサの値を小さくする

B. アンプの最大出力電流を増加する

C. V_{ref} を下げ、入力信号最大振幅を小さくする

今回の回路の目標スペックで、 3dB ステップ 20 ドット、つまり 60dB ものダイナミックレンジを必要とするので、 V_{ref} を下げるのは、 S/N の観点からあまり好ましくない。今回は C の対策は考えない。

また、金田氏の回路は、オープンデッキの録音の信号であり、かなり大きな電圧 ($\pm 18\text{V}$ 以上) の信号をアッテネートして入力しており、 S/N 的には有利である。今回のスペック、 $\pm 2.5\text{V}$ という信号は小さい。信号はアッテネートするわけには行かず、むしろアンプが必要である。

また、 50kHz のピークホールドは、実はスルーレートの問題だけではなく、スループットや充電するオペアンプのオーバーシュートなども問題で、かなりの速度が必要となり、上記 A,B の対策とともにオペアンプの高速化も考える。

【2.シミュレーションによる検討】

シミュレーションで、金田氏の回路を参考に作った図 2 の回路でのピークホールドの様子をチェックした。

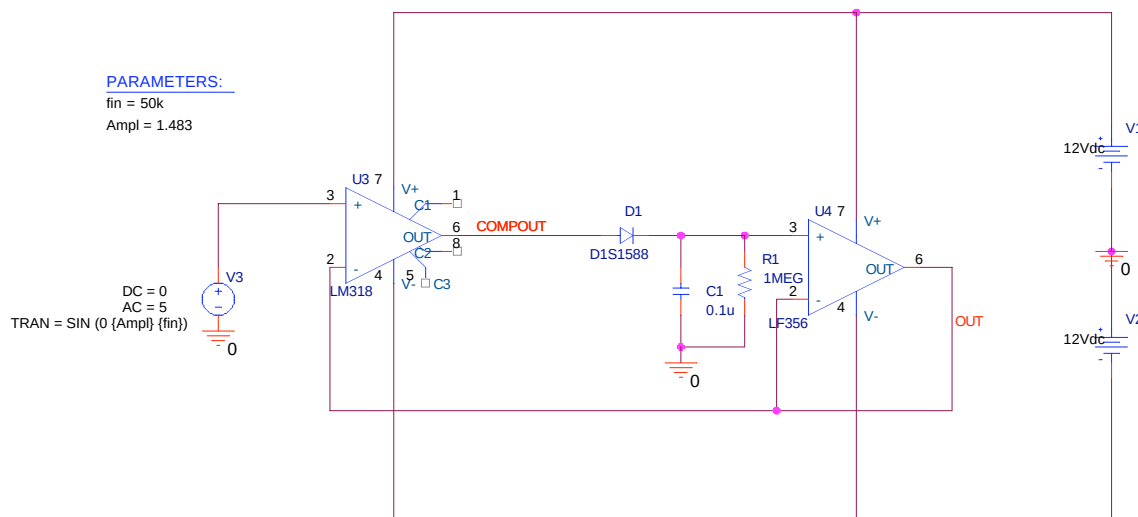


図 2

すると、うまくピークホールドできていない。結果は図 3。

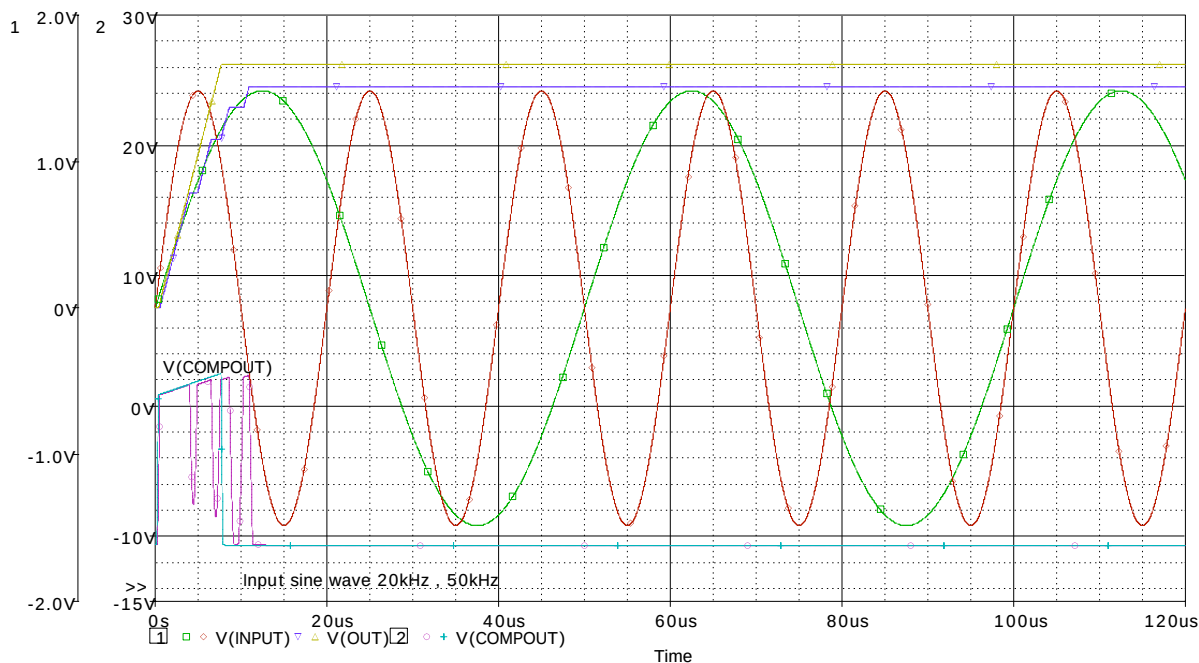


図 3

この図で、50kHz の正弦波の場合はぜんぜん追いついていないことがわかる。

青の $V(OUT)$ は 20kHz の正弦波のピークホールド波形であるが、若干入力信号 $V(INPUT)$ より大きな値になっている。原因は、 $V(COMPOUT)$ の波形を見るとわかるが、バタバタと A 1 がコンパレータ動作をしており、その影響である。バタバタの原因はフィードバックループのスループットによる遅延、A 1 に高速信号が入ることによる初期の遅延、TIM 歪によるアンプ内部飽和、飽和からの

復帰時間、復帰する際のオーバーシュート等が大きな理由である。まとめて、帰還ループの遅延とオーバーシュートが原因である。

実は金田氏の回路はこういう問題をはらんでいた。

これはこの手の回路の一般的現象である。きちんと見ないと見落とすが、オーディオ用途では、あまり問題になるレベルではないので、このままでも十分に実用になると考える。

したがって、金田氏の回路が役に立たないというわけではない。正確さに欠いているが、オーディオ用途では十分に実用になる。

しかし、今回は金田氏の回路に手を加え、このオーバーシュートや遅延時間を減らし、出来るだけ 50kHz の信号をしっかりとらえられる回路を目標とする。

2.1 対策 1 ダイオードクリップ

V(COMPOUT)のバタバタの波形は、マイナス電圧まで振り切っている。この振幅を小さくしてみよう。オーバーシュートの振幅を少なくして誤差を低減する点と、アンプの飽和からの復帰時間を短く出来て、結果応答を早くする点が期待できる。

図 4 がその回路。

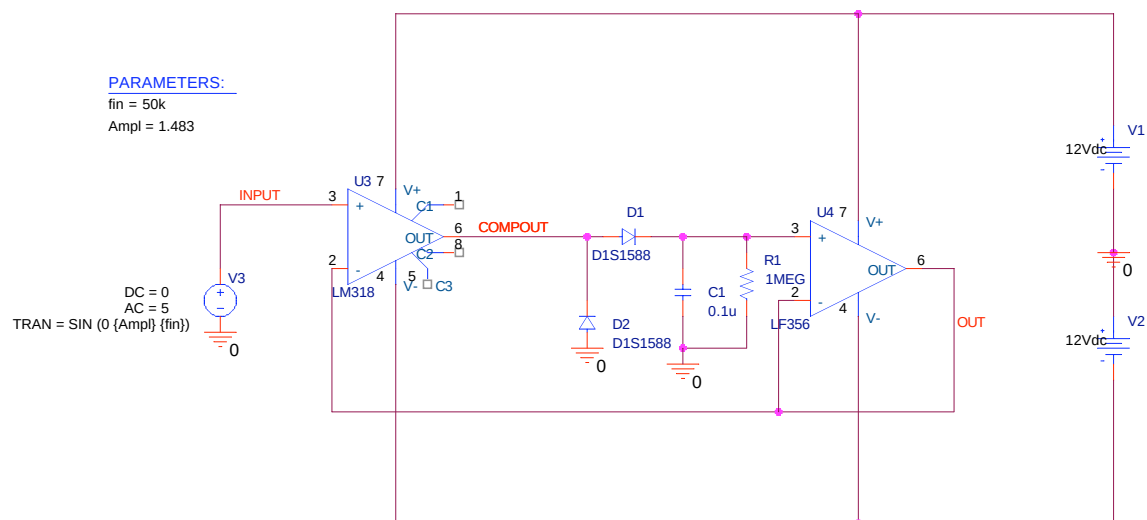


図 4 マイナス波形をクリップさせる D2 を挿入

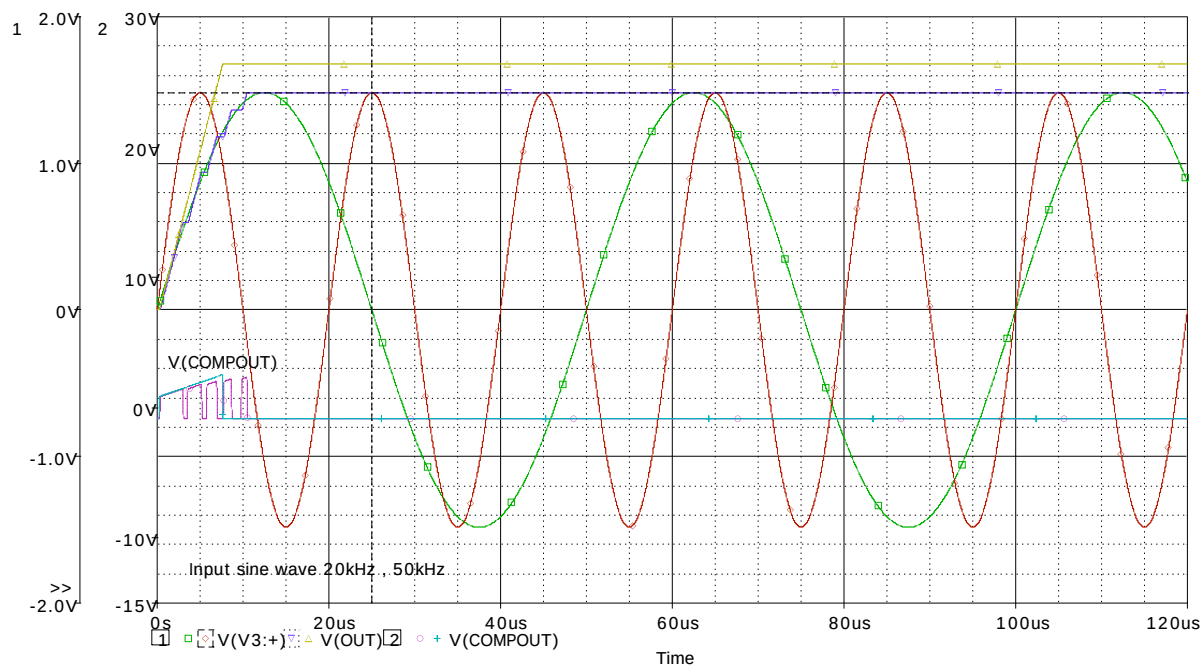


図 5

結果、20kHz のホールド値はほぼ振幅どおり、ホールドされている。ダイオード一本、これで精度が向上した。

バタバタはまだ残っている。(50kHz のデータは参考だが、オーバーシュートでかなり大きな値を示しているのは以前と変わりが無い。もっとも、このスペックをあげる必要はない。)

ただし、この回路には欠点がある。追加したダイオードにオペアンプの最大電流が流れてしまい、電源ラインを乱す、消費電流が増える、など考えられる。

2.2 対策 2 A 2 を高速のものにする

ダイオードを取り除き、A 2 を高速のものにする。

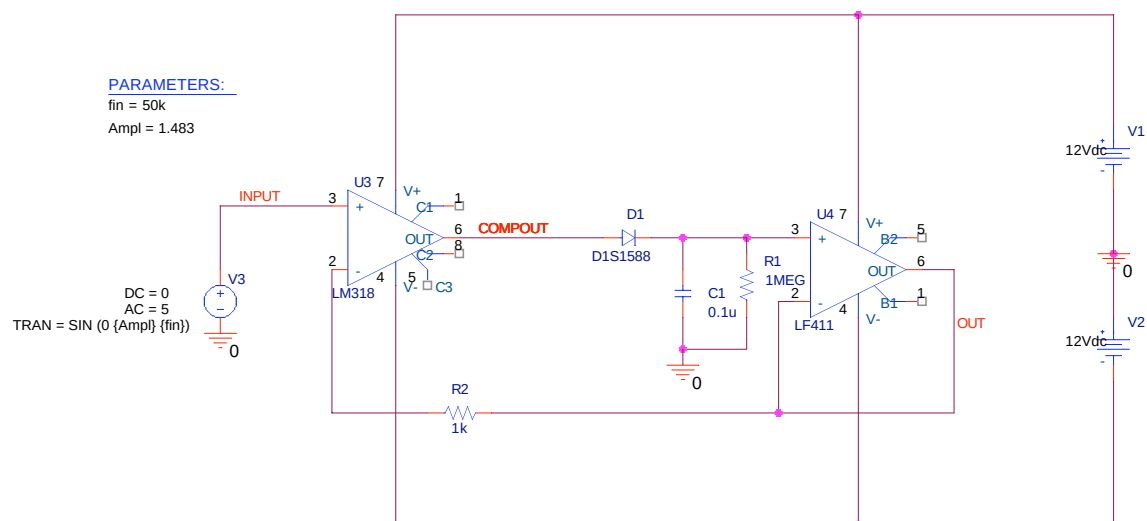


図 6 A 2 を L F 3 5 6 から L F 4 1 1 に変更した。

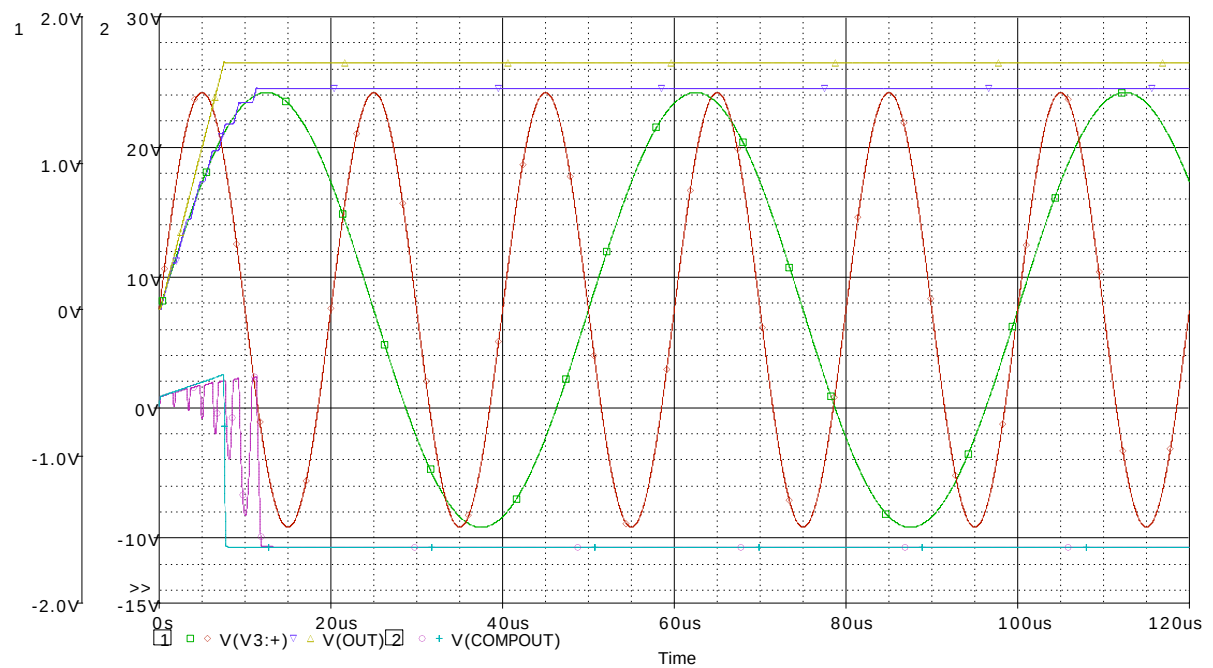


図 7

あまり値には変化がないが、バタバタの振幅が減っている。
全体のスループットが早くなったためである。

2. 3 対策 3 : A 2 を高速にして、A 1 の高域に局部帰還をかける

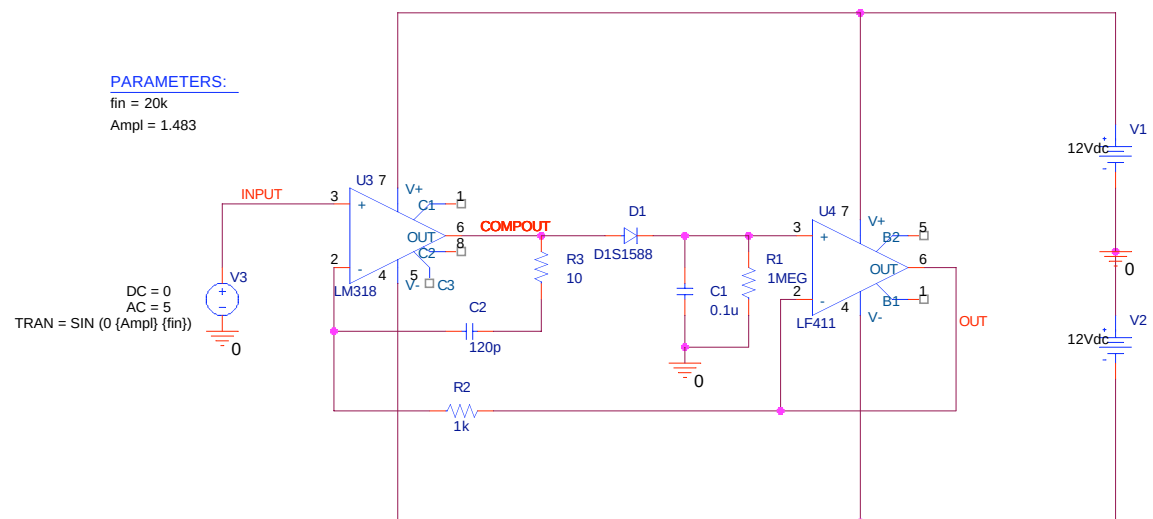


図 8

A 1 に $120\text{p}+10\Omega$ の高域帰還をかけた。

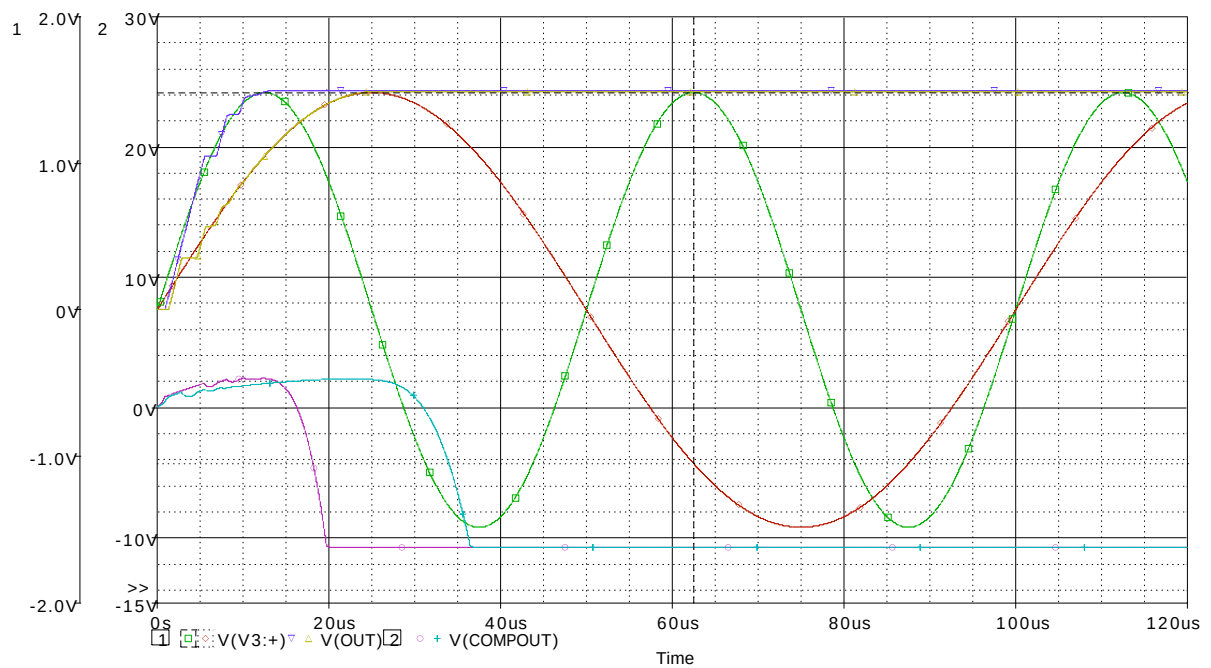


図 9 20kHz と 10kHz

結果、ほぼ、きちんとピークをホールドしている。階段状波形も小さくなっている。

A 1 に位相補正をかけ、オーバーシュートを減らす。あまり減らしすぎると、今度はスルーレート不足で入力波形の立ち上がりに追従できないので注意する。

つまり、A 1 の速度は、速すぎず遅すぎず、ということが必要である。このときはアンプ動作に近い。(後述する、A 1 の速度を超高速にする対策もある。このときはほぼコンパレータ動作をしている。)

2.4 以上をすべて行くと・・・

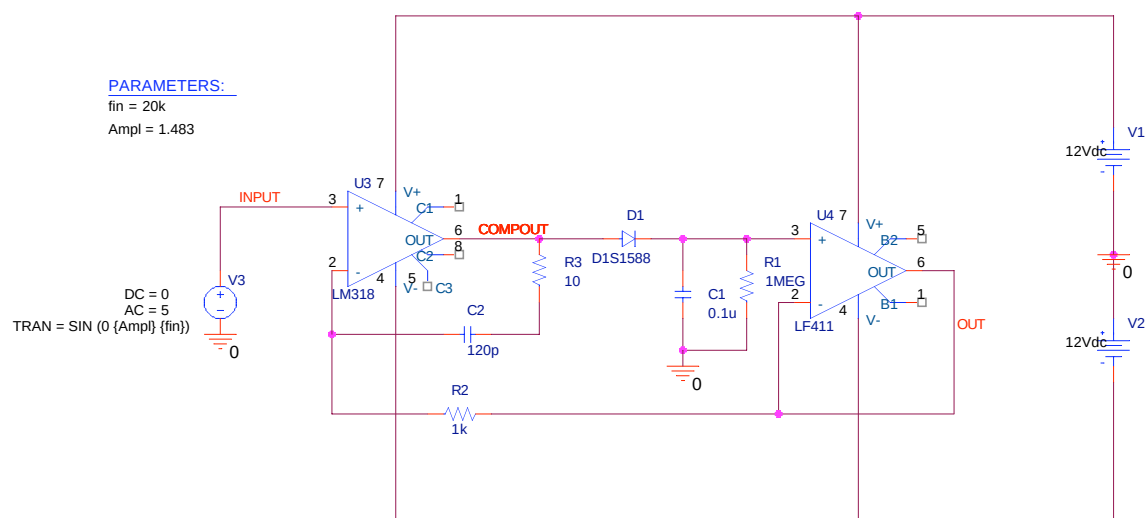


図 10

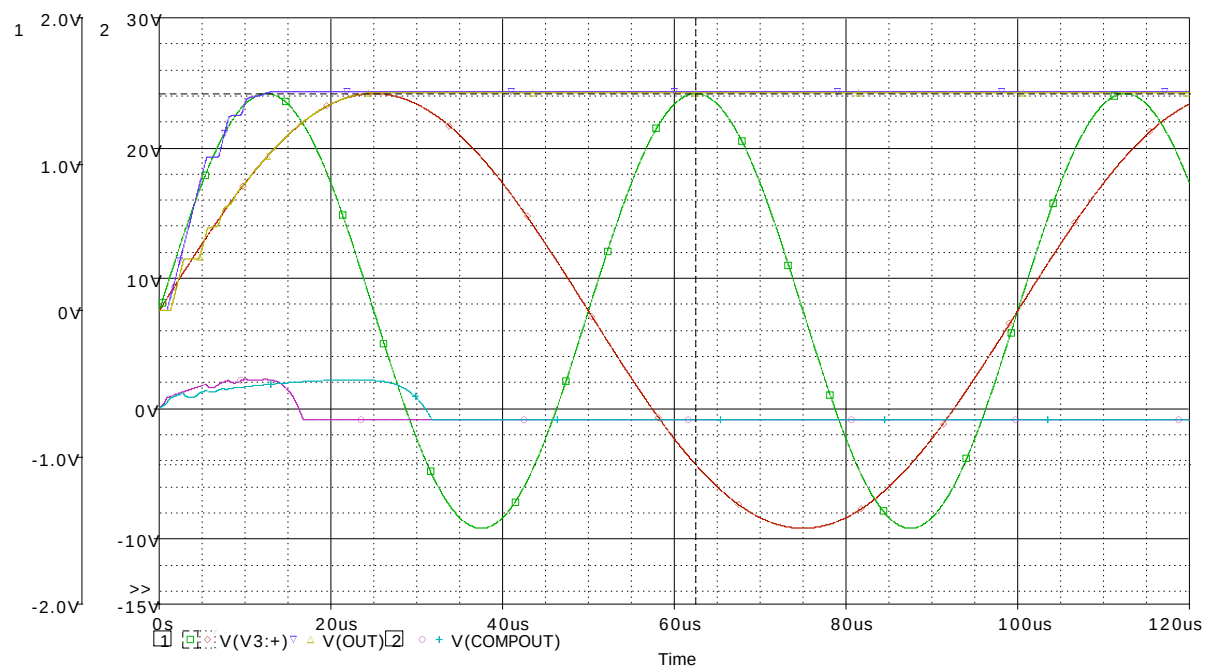


図 11 20kHz と 10kHz の追従

V(COMPOUT)のバタバタがほとんど消え、値は十分にピークをホールドしている。これではほぼ完璧なピークホールドとなった。

20kHz で、シミュレーション上では、この回路で対応出来る。

【3. 50kHz への対応回路のシミュレーション】

金田氏の図 1 の回路では、基準電圧が焼く 1.5V に設定されているが、これは、オープンリールデッキの録音アンプに使用するため、かなり大きな信号が入り、それをアッテネートしてレベルをレベルメーターに合わせているので低い基準電圧に設定できる。

ところが、A/D コンバータは、入力の振幅が $\pm 2.5\text{V}$ （差動）という小さいもの。しかも今回は 20 ドット表示と、金田氏の回路の倍の範囲を表示する必要がある。信号をアッテネートする場合、基準電圧を入力信号の -30dB にしなければならず、-60dB 信号付近ではかなりのノイズが気になるところとなる。むしろ増幅が必要である。

S/N を良くするには、少なくとも入力信号相当分の基準電圧に上げる必要がある。

そうなると、たとえば基準電圧を 1V 上げて 2.5V とすると、ホールドコンデンサ $0.1\mu\text{F}$ の充電がさらに厳しくなる。これで帯域 50kHz を出す検討をすると、

$$SR_{f50_2.5V} \doteq 2\pi 50[\text{kHz}] \times 2.5[\text{V}] = 0.785[\text{V}/\mu\text{S}]$$

$$SR = I/C$$

より、最大充電電流 I_{ch} は

$$I_{ch} = 0.785[\text{V}/\mu\text{S}] \times 0.1[\mu\text{F}] = 78.5[\text{mA}]$$

と、とても大きな充電電流が必要となる。これだけの電流を取り出すことが出来るのは、通常のオペアンプではない。オペアンプの出力にエミッタフォロワなどを追加する対策が必要となる。また、ダイオードの尖頭電流にも注意する必要がある。

しかも、高速のピークホールドになると、A 1 のスループットが問題になる。わずかに遅延するので、充電開始スタートが遅くなる。その分、この電流値の数倍の電流供給能力がないと追いつかない場合がある。充電開始点のみ、加速充電する方法なども考えられるが、いずれにせよ、瞬間的に 100mA ~ 200mA の電流をホールドコンデンサ C に供給しなければならない。

3.1 ホールドコンデンサ $0.1\mu\text{F}$ での回路検討

A 1 はコンパレータ動作をしているので、LM319 という高速コンパレータを用い、次段にトランジスタの定電流源を組んでホールドコンデンサ C を充電する方法を考えた。

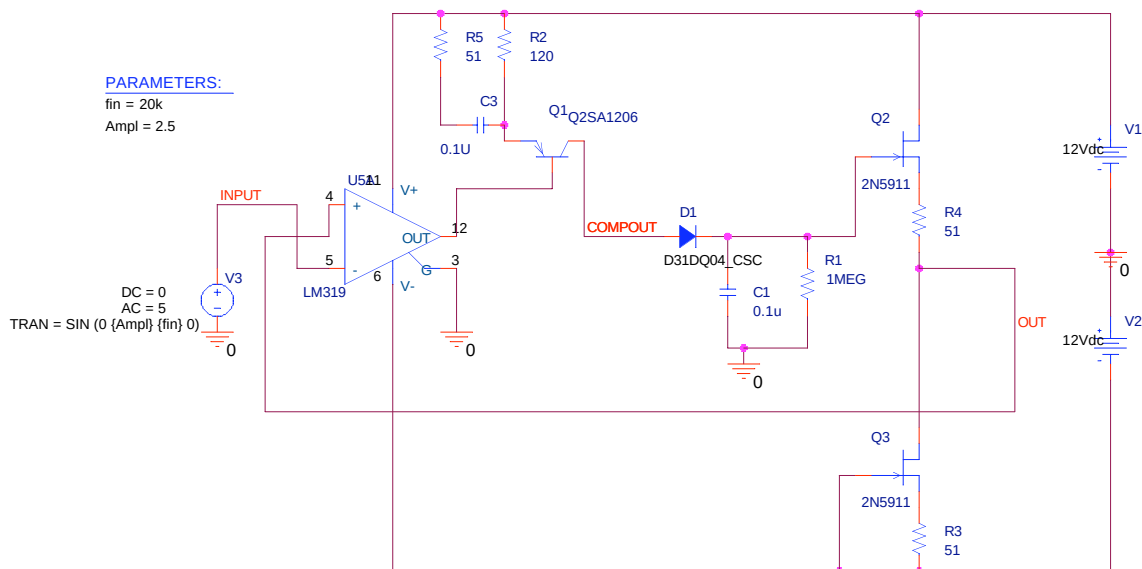


図 12

とにかく全体のスループットを早くしないといけないので、出力はFETのソースフォロワで受けた。この部分はオペアンプのようなハイゲインアンプに帰還をかけたものより、出力インピーダンスはそれほど低くなくてもよく、ループットを早くしたいのでこの回路とした。

R5 と C3 で充電開始時の電流加速を行う。

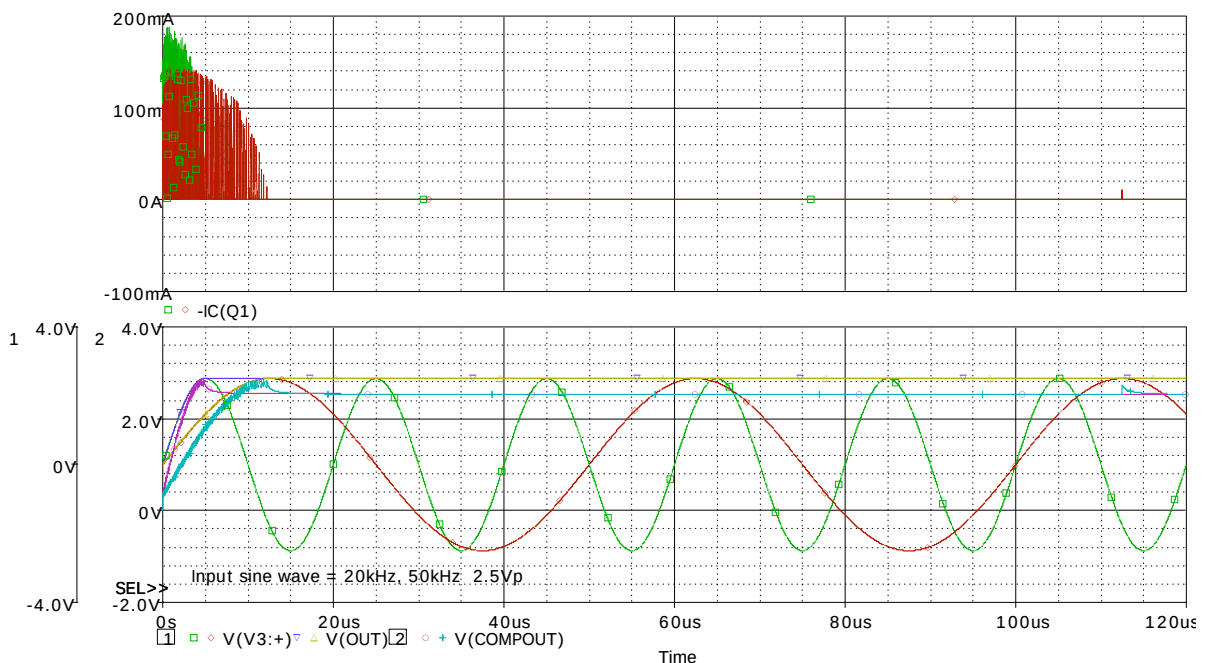


図 13

この出力図を見てもらいたい。V(COMPOUT)のバタバタはあるが、出力波形にぴたっと付いている。バタバタの振幅はダイオードのVfである。その代わりに、瞬間的な充電電流（上のQ1のコレクタ電流）が流れていることがわかる。この回路では、C3がないだけでかなり応答が落ちてしまう。

逆に **C3** を増やすと、瞬時の電流値は増えるが、**100kHz** 以上までピークホールド可能である。

実はこの対策は **2.3** の、バタバタの速度を適量まで落とすのとまったく逆で、ばたばたの速度を出るだけ早くして、波形に追従させるものである。高速コンパレータだからできる。

3.2 ホールドコンデンサCを $0.01\mu\text{F}$ にする

ホールドコンデンサが小さくなると、充電は容易である。放電抵抗の $1\text{M}\Omega$ は、時定数を合わせる必要があるので、**10 倍の $10\text{M}\Omega$** にしなければならない。この抵抗値であれば、抵抗のブランドを選ばないが、容易に入手可能である。

また、金田氏の経験上、 $0.1\mu\text{F}$ のホールドコンデンサが音質に影響を与える、という記述がある。これは気になるところであるので、 $0.01\mu\text{F}$ も、できるだけ良質のフィルムをつかいたい。

ただ、今までのシミュレーションを見ていただければわかるが、 $0.1\mu\text{F}$ のホールドコンデンサには瞬間的な大電流が流れている。この影響（電源や **GND** ライン）があったはずである。これを $0.01\mu\text{F}$ にすると、電流のピーク値は変わらないが、大電流が流れている時間（の総和）が **1/10** になり、電源電圧変動を押さえられる。

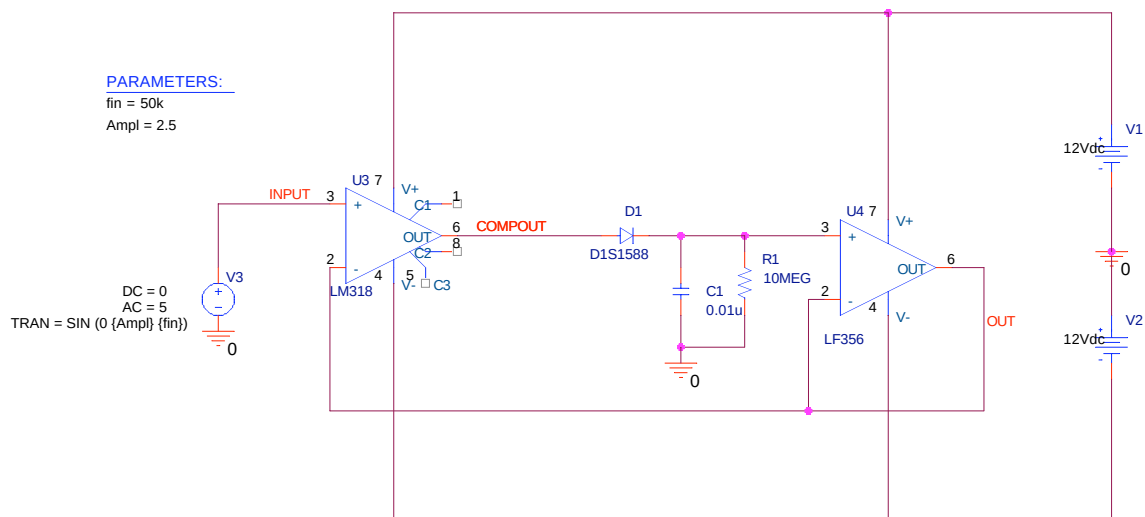


図 14

オリジナル回路のホールドコンデンサCを **1/10**、放電抵抗Rを **10 倍**に変更した

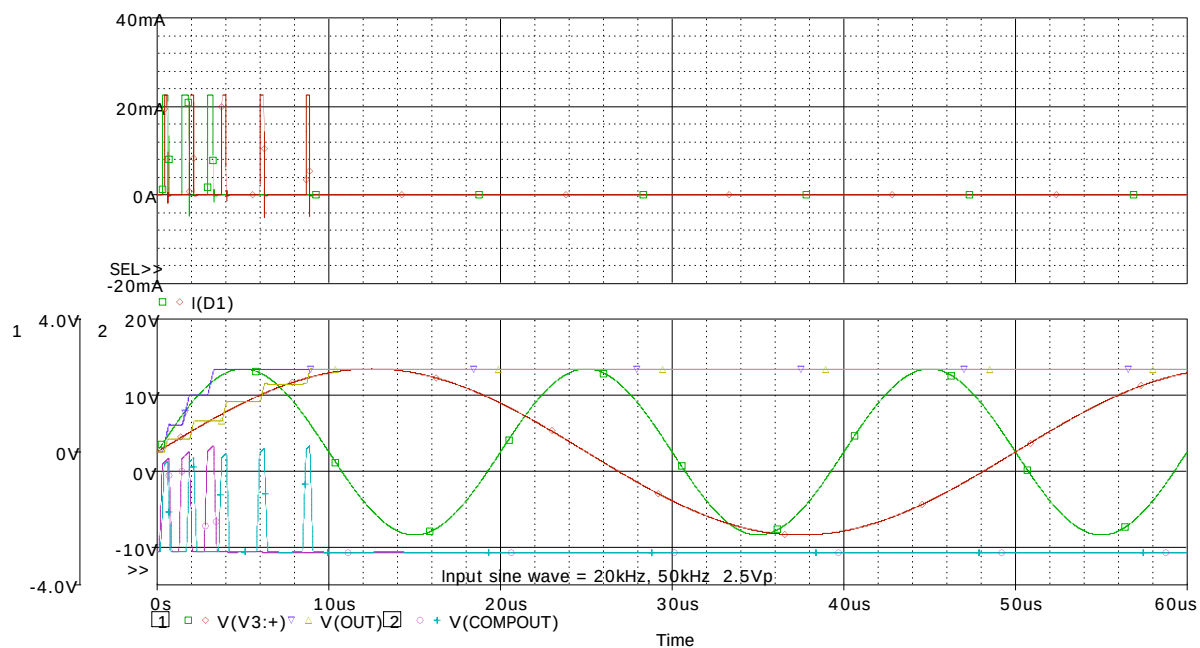


図 15

これだけできちんとホールド動作していることがわかるが、瞬間的に大電流が流れているが、その時間は短い。

当然、2.4 の対策を施すと、無理のない波形になる。

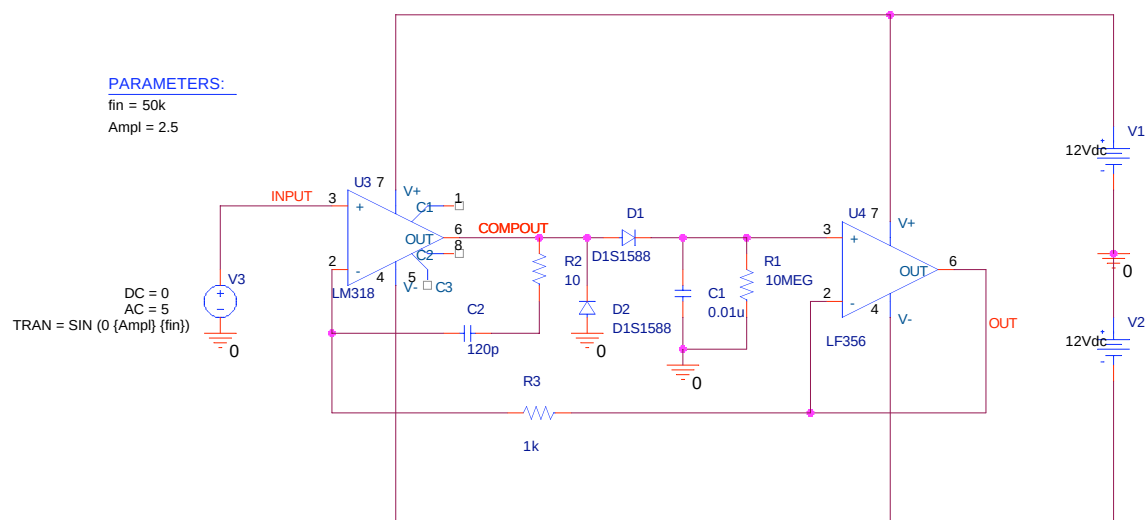


図 16 2.4 の対策を施した、 $0.01\mu F // 10M\Omega$

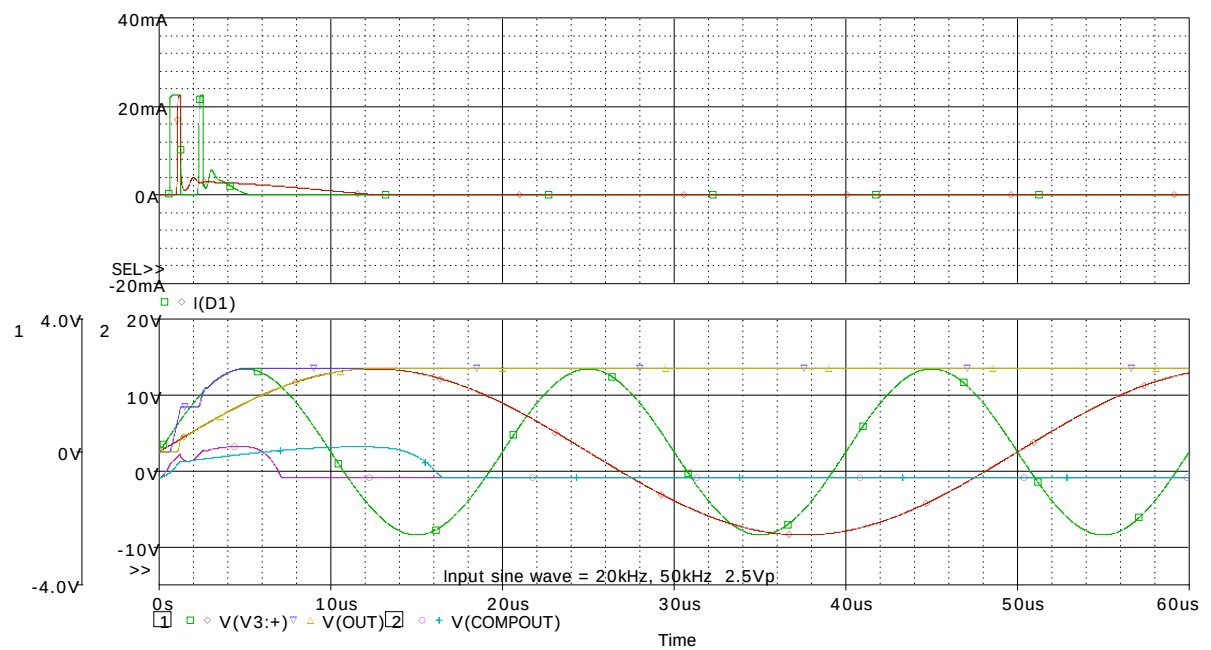


図 17

【4.まとめ】

シミュレーションで 50kHz の正弦波を正確にピークホールドするには、ホールドするのは $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサより、 $0.01\mu\text{F}$ くらいに小さい容量にすると、容易にピークホールドできることがわかった。

また、A1 だけでなく A2 も高速または遅延の少ないものを用いることで、精度が上がることがわかった。

A1 の位相補正やダイオードクリップ等でよりきちんと高速パルスをとらえられるようになることが解った。

これらを参考に、実際に実験・設計する。