

学生実験機器保護のためのバッファアンプ開発と製作

和田 紀子, 高橋 光生

Development and production of Buffer-Amplifiers for student experiment

Noriko WADA, Mitsuo TAKAHASHI

Abstract

Buffer-Amplifiers were developed by Laboratory Education Support Center team, that prevent an undesirable repercussion from other measurement equipment or experimental circuit. The numbers of laboratory equipment kits equipped with a Buffer-Amplifier that were less amount. This device has protective feature and small-signal amplification function. It can expand measurable lower limit.

Keywords : Buffer Amplifiers, Signal Source, Laboratory Equipment

1. はじめに

実験実習支援センターでは、西 8 号館にアナログ回路実験のための ICT 活用実験設備を有しており、複数の学科によって利用されている。アナログ回路実験では、テキストに記された回路図をもとに学生が試行錯誤して回路を自ら組むことを推奨しており、ある程度の自由度と間違っただけの接続に対する耐久性が求められる。利用者が使用方法を熟知して使用するのが本来想定される使用方法ではあるが、限られた時間内で機器を操作しなくてはならない実験の場での環境を実験室提供側は考える必要があった。技師らによる開発機器として今回、ファンクションジェネレータ（以下、FG）の破損を防ぎ微小信号も観測可能とするための装置であるバッファアンプを改良開発し、製造したことについて、報告したい。

開発利用実績としては、2009 年に高橋らにより 45 台のバッファアンプが製造され、現在まで使用されている。今回の再開発では、予備機の補充と性能向上、省エネ化を目的とした。

2. 電子回路実験設備の中の位置づけ

2.1 バッファアンプの必要性

一般的に、FG は交流信号源として実験で使用される。接続先は回路理論の理想状態に近い、学生が製作した実

験回路である。実験回路は回路理論に基づいて構成され、しばしば間違っただけの状態でも電源に接続される。よくある間違いが、直流電圧源と同時使用した場合に、直流電流が

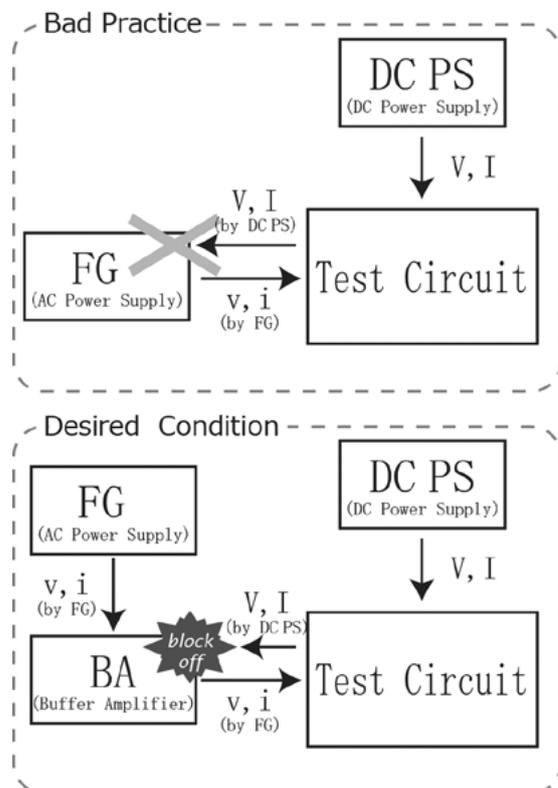


図 1. 測定機器の構成

目的とする回路だけでなくFG接続部から逆流入してしまうか、または、オペアンプ回路の電源電圧として用いる $\pm 15\text{V}$ の電圧を間違ったオペアンプ端子に接続し、結果としてFGに過負荷が加わってしまうパターンである。

いくつかの計測機器や電源は、ヒューズなどの制限機構を備えているが、すべての機器がそうなっているわけではない。また、回路理論ではあまりふれることがないが、意図しない動作を防ぐためのバイパスコンデンサ等の技術的処置が本来は測定回路に必要である。

しかし、限られた実験時間では実験の主眼とする回路理論とは別に背景知識と処置を徹底させることは難しく、間違った回路を接続してしまっても機器を破損させないような保護機能が必要となる。

その他、複数CHを同時に測定するためにオシロスコープを主な交流電圧測定装置として用いていることから、低レベル電圧の測定精度向上のため信号増幅機能があれば好ましい。

2.2 開発装置の利用想定

そこで我々は、BNCケーブルでFGと簡単に接続できる保護装置として、バッファアンプを開発した。この装置はバッファ（緩衝）用入出力端子とアンプ（増幅）用入出力端子を備えており、各々独立に機能を使用できる。学生実験では主にバッファ機能を主として利用されてきた。

バッファアンプのバッファは、理論を考えるための学生実験回路図には記載されなくても問題がないようになっている。使用方法は、FG出力端子をバッファ入力端子に接続し、バッファ出力端子を信号出力端子として回路に接続する。バッファはFGからの出力にほとんど影響を与えないが、回路上で逆方向電流の流入を防ぎ、FGに過負荷がかかることを阻止する。そのため、バッファアンプからの出力は、電流保護機能をもったFGからの出力とみなして使用することができる。

一方アンプ機能については、信号を増幅してオシロスコープで観測するのに適したノイズを受けにくい信号レベルへ増幅することができる。使用する場合は、オシロスコープのプロブをアンプ入力端子に接続し、アンプ出力端子とオシロスコープ本体をBNCケーブルで接続する。アンプ機能は、実験回路の特性測定時に信号が減衰する回路構成の低減周波数帯で、電圧レベルを測定する用途での利用を見込んでいる。

3. 製作したバッファアンプの仕様

製作したバッファアンプに対する、設計仕様と性能評価結果を表1から表3に記す。単位に添えられた“pp”はpeak to peak（上下頂点間振幅），“pk”はpeak（0V～頂点間振幅）を意味する。



図2. バッファアンプ外見

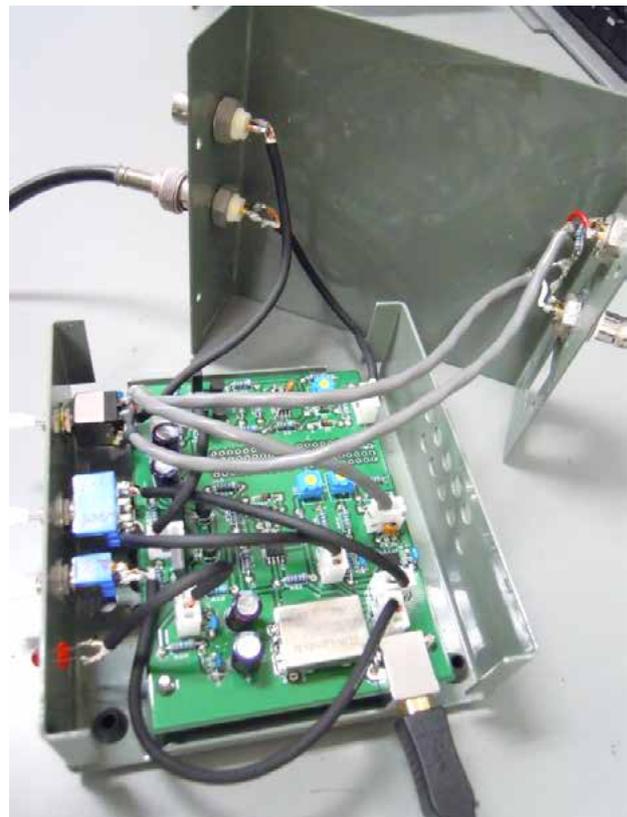


図3. バッファアンプ内部

3.1 バッファ部とアンプ部の仕様

表1. バッファ部仕様

入力電圧	DC~20 Vpp
出力電圧	DC~20 Vpp (負荷150 Ω以上)
無歪最大出力	20 Vpp
入力端子最大印加電圧	$\pm 10\text{ V}$
出力端子最大印加電圧	$\pm 60\text{ V}$
出力オフセット電圧	$\pm 90\text{ mV}$
出力倍率	-0.01 dB~+1.0倍 (DC~100 kHz)
位相回転	最大-1 deg (DC~100 kHz)
入力抵抗	約1 M Ω
出力インピーダンス	約10 Ω
電流出力制限	0.16 App (10 Vpk入力時)

消費電力	無信号時 0.015 W 10 Vpk 入力時 0.036 W (無負荷)、0.72 W (100 Ω 負荷)、1.92 W (出力短絡)
電源	5 V USB

表2. 10倍アンプ部仕様

入力電圧	DC~2 Vpp
出力電圧	DC~20 Vpp (負荷 150 Ω 以上)
無歪最大出力	20 Vpp
入力端子最大印加電圧	± 1 V
出力端子最大印加電圧	± 60 V
出力オフセット電圧	± 40 mV
出力倍率	20 ± 0.3 dB=10倍 ± 1 % (DC~1 MHz, 0.5 Vpk 入力、 140 Ω 負荷)
位相回転	0.0 deg (DC~70 kHz)、 -5.4 deg (100 kHz)
入力抵抗	約 1 MΩ
出力インピーダンス	約 10 Ω
電流出力制限	0.14 App (50 mVpk 入力時)
消費電力	無信号時 0.36 W 0.5 Vpk 入力時 0.36 W (無負荷)、 0.36 W (1 MΩ 負荷)、 2.16 W (出力短絡)
電源	5 V USB

表3. 100倍アンプ部仕様

入力電圧	DC~200 mVpp
出力電圧	DC~20 Vpp (負荷 150 Ω 以上)
無歪最大出力	20 Vpp
入力端子最大印加電圧	± 0.1 V
出力端子最大印加電圧	± 60 V
出力オフセット電圧	± 40 mV
出力倍率	40 ± 0.09 dB=100倍 ± 1 % (DC~1 MHz, 50 mVpk 入力、 140 Ω 負荷)
位相回転	0.0 deg (DC~20 kHz)、 -3.0 deg (50 kHz) -4.9 deg (100 kHz)
入力抵抗	約 1 MΩ
出力インピーダンス	約 10 Ω
電流出力制限	0.14 App (50 mVpk 入力時)
消費電力	無信号時 0.36 W 0.5 Vpk 入力時 0.36 W (無負荷)、 0.36 W (1 MΩ 負荷)、 2.16 W (出力短絡)
電源	5 V USB

3.2 バッファアンプの性能評価

バッファ部はFGからの出力を損失なく再現し、本設備の対象とするAF (Audio Frequency, 低周波) 帯の周波数では利得も位相回転も実験対象回路の測定結果には

ほとんど影響を与えないことが確認された。また、アンプ部においてもバッファ部より若干低い周波数帯まで所望の信号増幅機能を有し、利得・位相とも測定結果にほとんど影響を与えないことが確認された。

バッファ部、アンプ部いずれにおいても、オシロスコープのトリガ設定をHF (High Frequency, 短波) 除去などAF帯に適した設定とし、さらに平均化処理を活かすなど設定を適切に行った場合、バッファ部で約40 mVppから、アンプ部10倍で約5 mV、100倍で約3 mVからの電圧レベルが観測可能である。

位相測定についてはバッファとアンプの2つの回路を用いて入力信号1 mVにおける位相差まで観測可能である。

さらに、アンプ部をAC設定、オシロスコープをDCモードで利用することで、直流成分が重畳した信号を電圧レベル・位相ともに100 Hz以下の低域まで測定することができる。

バッファ部の保護機能は元より必要であったが、この度オシロスコープの約2 mV/DIVの感度による測定下限を拡張するためのアンプ部の機能が実用的なレベルを達成したことの意義が大きい。

図4から図6にバッファアンプの周波数特性を示す。測定の際には対応周波数帯域に注意する必要がある。

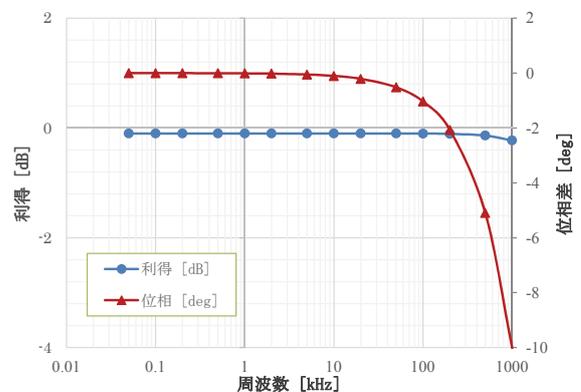


図4. バッファ部の周波数特性

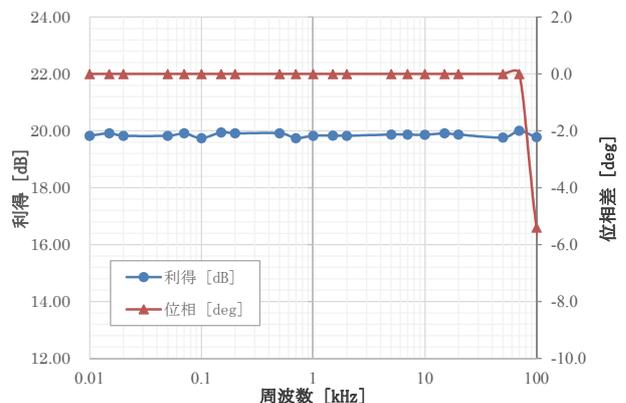


図5. 10倍アンプ部の周波数特性

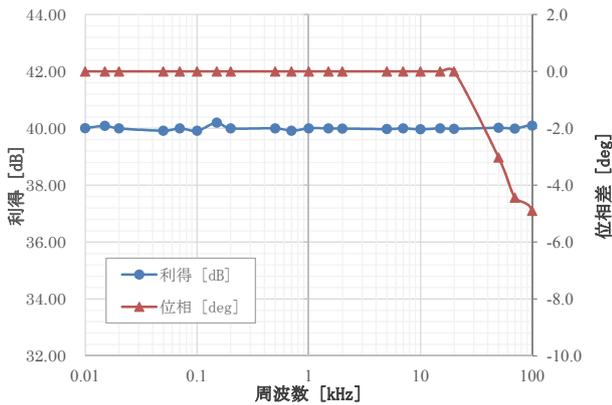


図6. 100倍アンプ部の周波数特性

4. 回路構成

バッファ部、アンプ部それぞれの回路構成について説明する。図7, 8に設計シミュレーション回路、図9に部品配置イメージを掲載する。回路基板は80×110mmと他の実験装置と比べコンパクトな設計になっている。

バッファ回路は全段直接結合とし、初段回路はFastFETオペアンプによる非反転増幅回路、出力はトランジスタによる電流制限機能付きコンプリメンタリ回路となっている。

アンプ回路は回路構成やオペアンプパッケージをバッファ部と独立させ、電源ライン以外は別構成とした。このようにすることで、バッファ部とアンプ部の電気的干渉は最小限に抑えられている。こちらも全段直接結合と

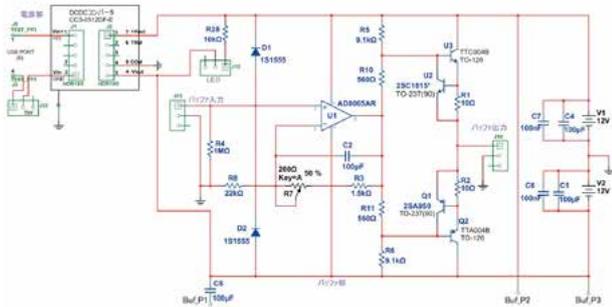


図7. バッファ部の回路構成

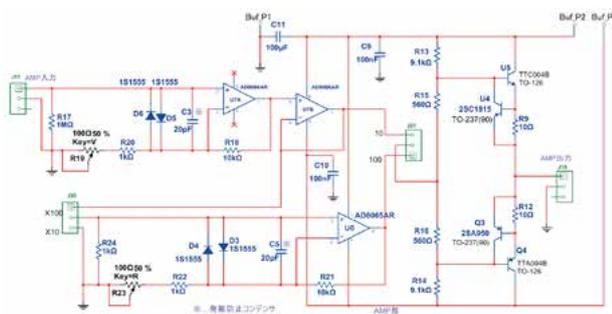


図8. アンプ部の回路構成

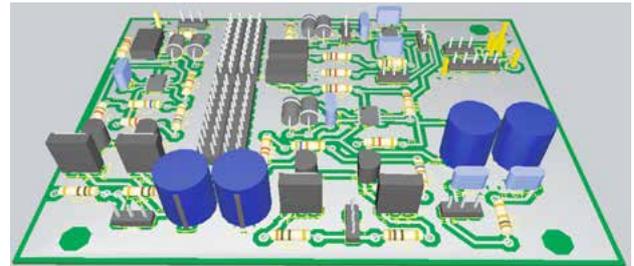


図9. 基板上への部品配置イメージ

し、増幅率は出力からの帰還抵抗をスイッチによって切り替えている。そして、バッファ部と同様の出力回路構成となっており、電流制限機能を有する。

5. 前回作成装置との比較

今回改良したバッファアンプを以前のものと比較する。FG保護のためという目的では、以前の設計でもよいように思えたが、以下の点を考慮し仕様や設計を変更した。

(1) バッファアンプ本体のオン/オフスイッチ

旧モデルはUSBに接続されている間ずっと給電される機構であった。バッファアンプ自体の電源は、コンセントに接続されたUSBハブから給電されるため、実験室のブレーカーがオンになっていればバッファアンプは常に起動している。実験設備の構成上あまりUSB端子を外されることはなく実験室のブレーカーを切って本機器の電源をオフとしていたが、いつも全ての実験台を使うとは限らないので、省エネのために電源スイッチをつけることとした。

(2) FG出力に対しバッファ部の出力が+1倍

旧モデルでは、反転増幅回路をベースとしていたため出力が-1倍であった。オフセット電圧のない交流信号をバッファアンプから出力した場合は、反転が気にならないが、DCオフセット電圧設定や矩形波に対するhigh-low値を利用していると正の信号が負として出力され、使用者側にとって違和感があった。

(3) アンプ部AC/DC切り替えスイッチ

アンプの入出力端子部分をスイッチでAC/DCに切り替えられるようにした。旧モデルではACのみ対応していたため、オシロスコープと併用してDCの重畳した信号を観測することができなかった。

(4) B型USB端子

市販のUSB接続機器はA-B型が現在主流である。ケーブルの共用のため、バッファアンプ側をB型端子とした。

(5) オペアンプの変更

いわゆる缶タイプのオペアンプは現在では入手困難となっているため、今回FastFETオペアンプを採用した。これによりプローブを経た観測結果において、

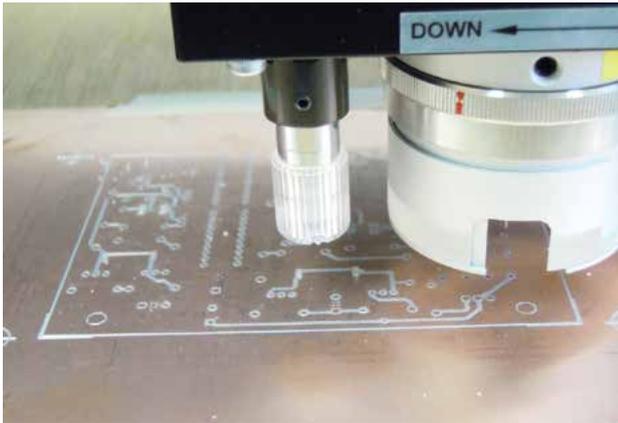


図10. 実験実習支援センターで開発のために新規導入した基板加工機による試作

入力信号よりも出力信号の方がノイズを抑えられている。FastFET オペアンプのオーバーシュートに注意し、適切に発振止めコンデンサを配置することにより、バッファ部では矩形波の出力も問題なく対応している。

6. おわりに

前回作成した2009年製装置は、毎年1, 2台がFGの保護役を全うし、身代わりとなって故障していた。旧仕様のバッファアンプを導入し数年経過した実績より、実験装置システムに組み込まなかった年と比較すると、FG本体の故障発生件数は0であり、バッファアンプをシステムに組み込むことによる保護効果は明らかである。

バッファアンプ一台あたりの製作費用は、FG1台の購入費用に対し約1/10以下に抑えられているため、製作台数に対する労力は若干負荷が高いが、コストメリットを期待することができる。また、予備機も少なくなり、今後アナログ回路実験室の拡張に伴い、必要な台数も増えるため、再開発されたバッファアンプの活躍が期待される。

謝辞

新設計バッファアンプ製作にあたり、藁科崇テクニカルスタッフ、落合隆夫学術技師には技術的なアドバイスをいただいた。また、量産において住谷修テクニカルスタッフにご協力いただいた。製造計画策定と実施には、桑田正行元実験実習支援センター副センター長と高田亨主任学術技師より奨励とご指南をいただき、試作のための基板加工機導入など適切なタイミングで装置開発の道筋を立てられたことに感謝したい。

本装置の再開発は、先端工学基礎課程による援助のもと行われたものである。