

プラズマ計測用絶縁型増幅器の試作

鈴木則夫*, 真瀬 寛**

(昭和56年9月8日受理)

Design of an Isolation Amplifier using for Plasma Diagnostics

NORIO SUZUKI and HIROSHI MASE

Abstract – An isolation amplifier using for probe measurements in a time varying plasma is designed and constructed. The isolator is required the operation in quick frequency response and small nonlinearity error. In order to satisfy the requirements, the optically coupled isolator with high speed and linearity advantage is used. Gain nonlinearity error is suppressed by means of inverse feedback in which a pair of opto isolators with same characteristics is applied. The specifications are as follows, frequency band: dc~0.25 MHz, gain: unity, nonlinearity: less than a percent of peak to peak output voltage span.

1. はじめに

プラズマの諸特性を診断する方法の一つとして、静電プローブ法がある。静電プローブ測定を行う場合に問題となってくるのは、プローブに高い電圧を加えている場合が多いので、その電流を測定する際に、プローブを接地電位から浮かせておくことが必要になってくる。このような場合に使用する測定器としては、差動増幅器や、入力と出力が絶縁されているアイソレーションアンプがある。差動増幅器では、広帯域で応答も速いという長所がある反面、同相成分除去比に限界があり、またダイナミックレンジも広くとれないという欠点がある。一方、アイソレーションアンプには、トランス結合型と、フォトカプラを用いた光結合型がある。トランス結合型のアイソレーションアンプは、直線性、低雑音性に優れ、アイソレーション耐圧も高い反面、周波数帯域が狭く、チョッパ回路等を用いないと直流も伝達できない欠点がある。また、光結合型のアイソレーションアンプには、アナログ方式とデジタル方式があるが、デジタル方式では、D/A変換、A/D変換など回路が複雑になり、伝達帯域も狭くなるが、アナログ方式では、フォトカプラとし

て応答速度の速いものを用いれば、広帯域のアイソレーションアンプが製作できるし、特性の等しい2個のフォトカプラを用い、一方を負帰還に使えば、ダイナミックレンジを広くとれる。²⁾そこで、今回は、速いパルス信号の測定で使用するアイソレーションアンプについて報告する。

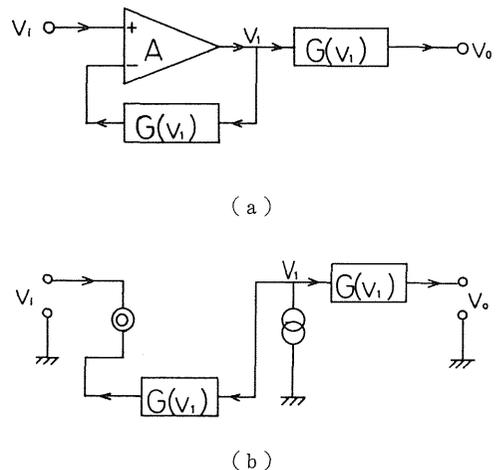


Fig. 1 Circuit for suppression of nonlinearity error and its equivalent circuit.

* 茨城大学大学院工学研究科電子工学専攻（日立市中成沢町）

** 茨城大学工学部電子工学科（日立市中成沢町）

2. 動作原理

光結合型のアイソレーションアンプで問題となってくるのは、フォトカブラ自身のもつ非直線性のために出力波形が歪んでしまうことである。この欠点を解決する方法として、同じ特性をもつフォトカブラを2個使用し、その一つを負帰還に利用すれば、線形化を行うことが考えられる。

Fig. 1(a) において、フォトカブラの入力電圧を v_1 とし、出力電圧は、 $G(v_1)$ で表されると、 $G(v_1)$ は、フォトカブラの非線形を表わす関数となる。演算増幅器の利得は、無限大、出力インピーダンス0、入力インピーダンス無限大とし、オプティコプラーを用いて等価回路は、Fig. 1(b) で表されるから、

$$v_i - G(v_1) = 0 \tag{1}$$

$$G(v_1) = v_o \tag{2}$$

$$\therefore v_i = v_o \tag{3}$$

となり、同じ非線形関数 $G(v_1)$ をもつフォトカブラを2個用いれば電圧利得1の線形アイソレーションアンプが実現できる。実際には、2つのフォトカブラが全く同じ特性を示さないでその場合、非線形誤差が問題となってくるがここでは省略する。

3. 回路構成

フォトカブラとしては、高速性、直線性を考慮して6N135³⁾を用いる。6N135の内部回路を、Fig. 2(a)に示す。6N135の入出力間耐圧は、3000V_{dc}、バンド幅は2MHzであるため、高速のアイソレーションアンプの製作に適している。6N135の直流特性をFig. 2(b)に、入力特性をFig. 2(c)に、周波数特性をFig. 2(d)に示す。

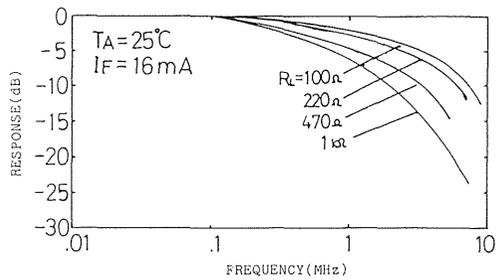
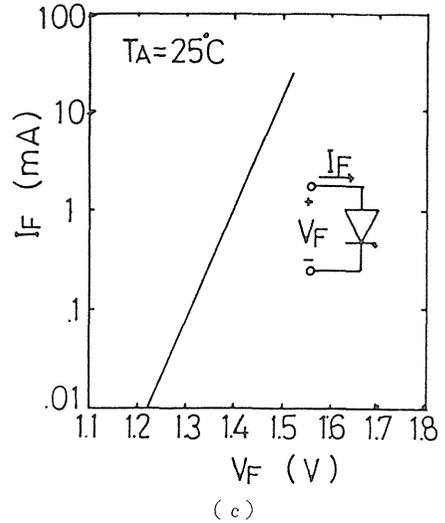
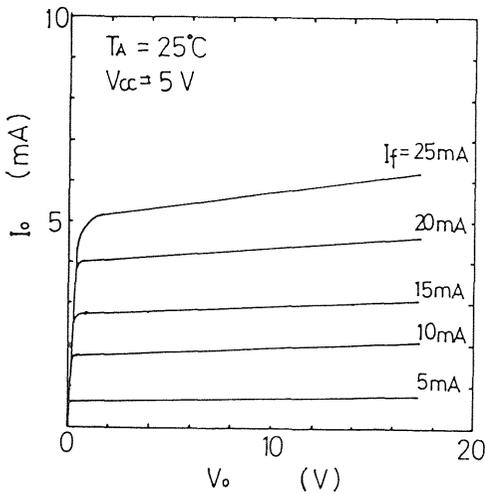
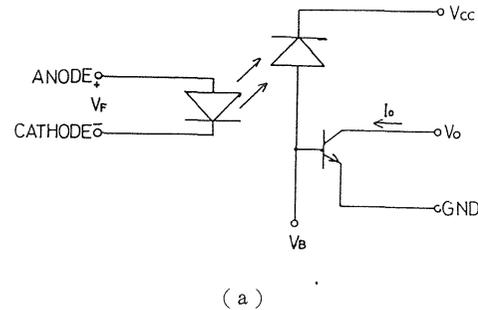


Fig. 2 Characteristics of opto isolator, HP 6N135.

また、オペアンプは、CA 3130を用いている。CA 3130を使用したのは、C-MOS-ICであるため、入力インピーダンスが $1.5 \times 10^6 \text{ M}\Omega$ と大きく、スルーレートが $30 \text{ V}/\mu\text{s}$ あり、高速化に適しているからである。

全回路図をFig. 3 に示す。この回路は、アイソレーションアンプ本体とDC-DC コンバータからなる。設

計目標としては、電圧利得1 (0dB), 入力インピーダンス $1 \text{ M}\Omega$, 周波数特性DC~1MHz (-3dB), 入出力間絶縁耐圧3kVとしている。DC-DC コンバータの発振周波数は、約70KHz, 出力電圧 $\pm 7.5 \text{ V}$ とし、トランスは、H₅A フェライトコアを使用し、テフロンテープで絶縁を保っている。

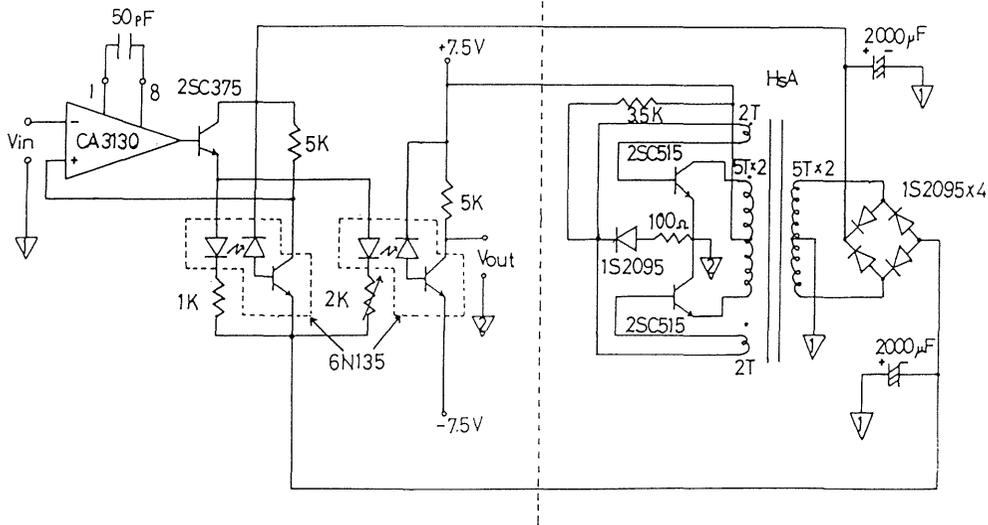


Fig. 3 Isolation amplifier with isolated power source.

4. 動作特性

アイソレーションアンプの直流伝達特性をFig. 4 に、電圧利得一周波数特性をFig. 5 に、ドリフト特性をFig. 6 に示す。 $f = 1 \text{ KHz}$, $f = 10 \text{ KHz}$, $f = 100 \text{ KHz}$, $f = 500 \text{ KHz}$ の正弦波入力を加えた場合の入出力波形を、それぞれFig. 7(a), Fig. 7(b), Fig. 7(c), Fig. 7(d)に示す。 $f = 500 \text{ KHz}$ における位相のずれをFig. 8 に示す。

5. 動作特性の評価

Fig. 4 の直流特性からわかるように、 $\pm 6 \text{ V}$ において入出力が直線になっていることがわかる。Fig. 5 の電圧利得一周波数特性より、このアンプの周波数帯域は、DC~ 230 KHz (-3dB)であることがわかる。周波

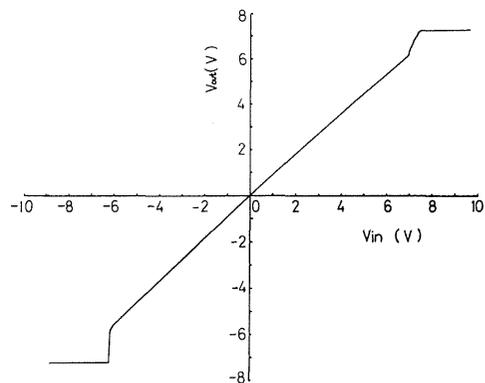


Fig. 4 Input to output voltage characteristics for DC signal.

数帯域が1MHzより低くなる理由としては、Fig. 2 (d)でフォトカプラの周波数特性が、 $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ の場

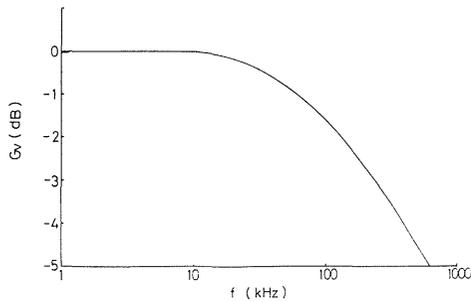


Fig. 5 Frequency response.

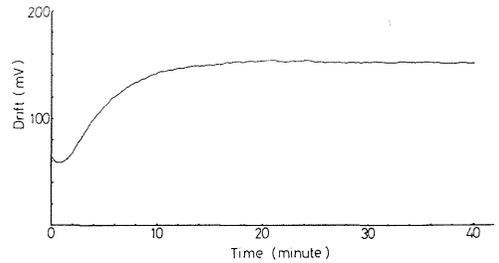


Fig. 6 Offset drift.

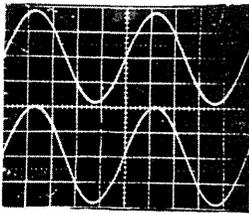
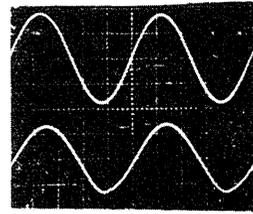
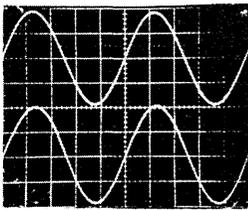
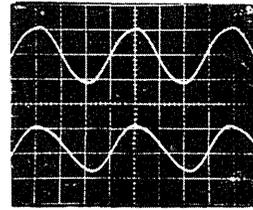
Fig. 7(a) $f = 1$ KHz
(2 V/div, 0.2 ms/div)Fig. 7(c) $f = 100$ KHz
(2 V/div, 2 μ s/div)Fig. 7(b) $f = 10$ KHz
(2 V/div, 20 μ s/div)Fig. 7(d) $f = 500$ KHz
(0.5 V/div, 0.5 μ s/div)

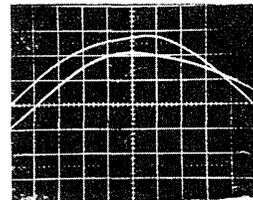
Fig. 7 Waveforms of input top and output bottom signals.

合約 600KHz (-3dB) であり, Fig. 3 の回路では, $R_L = 5$ k Ω であるから, 600KHz よりも低くなるためと思われる。

Fig. 6 のドリフト特性では, スイッチ投入後 10 分で 100mV ほど電圧が上昇しているが 20 分経過後は, オフセット電圧約 150mV に一定している。

Fig. 7(a) ~ (d) より, DC ~ 10KHz での入出力波形はほぼ同じであるが, 100KHz, 500KHz では, 位相がずれている。特に 500KHz における位相のずれは, Fig. 8 により, 約 10° であることがわかる。

また, 入力を開放した場合, 出力にリップルがあらわれ

Fig. 8 Phase difference between input and output signals at $f = 500$ KHz.
(0.2 V/div, 0.1 μ s/div)

ている。これは、DC-DC コンバータのトランスにシールドをほどこしていないために発振波形のリプルが完全に除去できないためであるように思われる。

6. 今後の改善

今回の製作で問題となった点は、設計通りの周波数帯域が得られなかったこと、出力に、電源からのリプルが残ったことである。周波数帯域については、応答速度の大きいオペアンプを使用すれば解決できるし、電源からのリプルについては、トランスにシールドをほどこせば改善出来る筈である。

今回製作したアイソレーションアンプの電圧利得は1であるが、実際に測定する電圧は、数mV程度であるの

で、このアイソレーションアンプの前に前置増幅器を付加し、実際のプラズマ計測に用いる計画をしている。

終りに、回路製作上有意義な御討論をいただいた本学電子工学科、田辺利夫、綿引猛両技官に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 奥野, 松浦: 名大プラズマ研技術報告, IPPJ-DT-59(1978)
- (2) 副井, 戒谷, 米田: 信学論, Vol, J62-C, No3(1979), P 228
- (3) HP Application note