



2.4 GHz 帯 ISM バンドの電波を検知できる！

マイクロ波磁界検出器の製作と実験

藤原 武

Takeshi Fujiwara

マイクロ波を扱っていると、正確な測定はともかく、波が存在しているかどうかを知りたいことがよくあります。相対的な強度もわかればもっとよいでしょう。

手持ちの部品で 2.4 GHz 帯 ISM バンドの磁界を検出するツール(写真1)を作ってみました。さらにアンテナを小さくすれば 5～10 GHz もカバーできます。

この写真には SMA コネクタが写っていますが、アンテナを作るときにオス側の手持ちがないことに気づき、同軸線を直接はんだ付けしたために、今はこのコネクタは使っていません。将来別のアンテナが使えるように残しています。

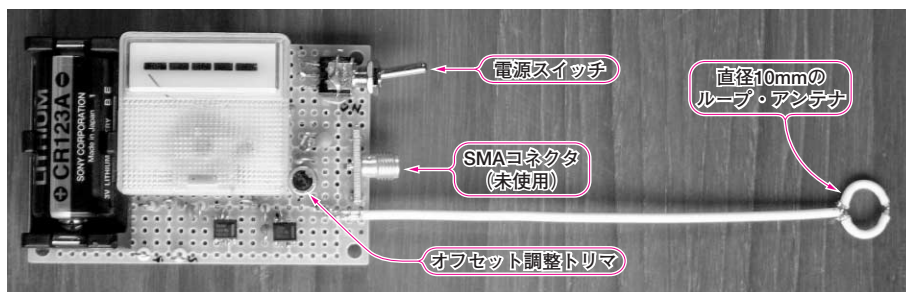
回路と部品

図1がその回路です。

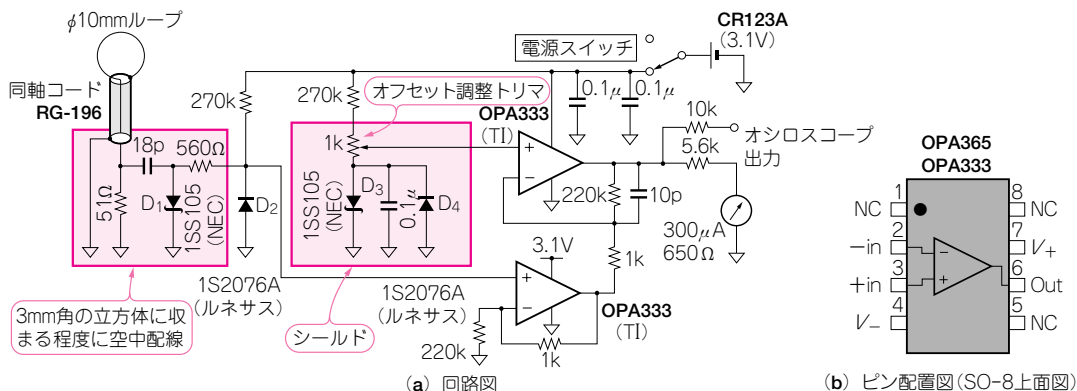
● 検波回路

● 検波用ダイオード

10 GHz を越えるショットキー・バリア・ダイオードは手持ちがなかったので、あちこち相談して、親切な方からガリウム・ヒ素(GaAs)の 1SS105 を譲っていただきました。シリコン・ショットキー・ダイオードの方が、順方向電圧降下が少なくて使いやすいかもしれません。



〈写真1〉製作したマイクロ波磁界検出器



〈図1〉製作したマイクロ波磁界検出器の全回路

比較的大きい信号でしたら、電流計の端子にシリコン・ショットキー・ダイオードをつなぐだけでもよいのですが、今回はかなり小さい信号を扱う必要があったのでアンプも付けることにしました。

GaAs ショットキー・バリア・ダイオードは、順方向の電圧降下が大きいため、小信号を扱うときはDC バイアスを加えます。バッファ・アンプの高いインピーダンスで受けられるので、 $10\ \mu\text{A}$ にしました。ショットキーは部品間のばらつきが大きいため実測しました。5個を測ったところ、 $10\ \mu\text{A}$ 、 21°C で $489\sim 535\ \text{mV}$ とさまざまです。温度勾配は $-1.6\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ ほどです。

● 温度補償

検波電圧を取り出すには、このバイアス値と温度特性の両方を減算してやる必要があります。この回路では同じ型名のダイオードからペアを探し出して補償してあります。このダイオードは高価なので、温度補償に使うのはもったいない気がします。コストを節約するのであれば、シリコン・ショットキーで同じような温度対電圧勾配のものがありますから、それを使って、バイアスを適当に追加する方法もあります。

● 大入力やESDに注意

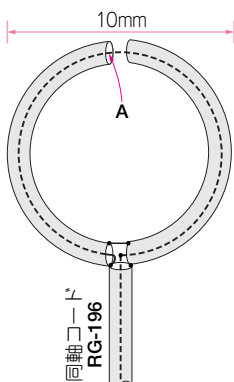
このダイオードは、大きな入力やESD(静電気放電)にとっても弱いので気を付けてください。これを作っているときに、グラウンドをオシロスコープにつないだまま作業して、ピンセットの先がアノードに触れただけでだめになってしまいました。なので D_2 と D_4 を追加して逆電圧を逃がしています。

■ アンテナ

センシング用のアンテナです。今回は電磁界空間を乱したくなかったのでできるだけ小さいループで、少しでも磁束を分けてもらうことにしました。写真2に同軸線を加工して作った10 mmの直径のループ・アンテナをお見せします。図2のように製作します。



〈写真2〉 製作したループ・アンテナ



〈図2〉 1～3 GHz帯センシング用ループ・アンテナの寸法と接続図

これは5 GHz付近に共振があるので、2.5 GHzなら十分に磁界だけに反応します。おおざっぱには波長の1/10以下の直径とすればよいでしょう。図のA点は外皮側も同電位ですから外皮と芯線を接続しても動作します。加工した同軸線はRG-196で、PTFE絶縁で外径が2 mmのものです。

磁界ではなく電界に反応させるには、波長の1/4以下の微小ダイポールとすればよいでしょう。また空間を乱しても良ければ、ちゃんと同調した半波長のダイポールや、広帯域のバイコンカルカディスコーン・アンテナがお勧めです。用途に合わせてアンテナを選んでください。

■ メータ・アンプ

10 mVの入力でメータをフルスケールに振らせるため47 dBの増幅をします。

560 Ω 以降は低周波ですが、エンベロープの形も見たいときがありますから、帯域は50 kHzほど確保しました。ですから上側のOPアンプのGBW(ゲイン・バンド積帯域)は20 MHzほど必要です。そのほかにこのOPアンプに要求されることは、低い入力と低い電源電圧で動くつまり入出力ともレール・ツー・レールであること、ある程度の出力電流が取れることです。たまたまOPA365を持っていたのでそれを使用しました。

下側のOPアンプは、高いインピーダンスを低くしてOPA365の反転入力に1 k Ω をドライブできるようにすることと、正負のゲイン差を補正するために入れてあるものです。ゲインはあまり要りませんので、GBWは300 kHzもあれば十分です。レール・ツー・レールの条件は要ります。これも手持ちのOPA333を使用しました。

両方とも2.5 Vで動作をするものを選択し、またオフセット・ドリフトの小さいものにします。

OPA2365を使えば二つ入っていますから1チップですむでしょう。

実装上の注意

本当に高周波回路といえるのは、検波ダイオード D_1 の近くにある560 Ω の入力端子までです。

51 Ω と18 pFは小型のチップ部品を利用し、同軸の出口から560 Ω の入り口までの寸法は、ダイオードを含めて3 mm角の立方体に収まる程度の空中配線をしてください。私のものは2 mm角の立方体程度で収まっています。51 Ω はセラミック上の抵抗体を同軸芯線側にして実効距離を短くします。

温度補償側のダイオードは、周りの電界を検出してしまいますからシールドが必要です。

そのほかに気を付ける点は、220 k Ω と1 k Ω は抵抗