

1. はじめに

ラジオの感度（ノイズ・ファクタ F 又は雑音指数 NF）がある程度ちゃんと測定出来たら面白そうだと考えました。いまさらNF測定してどうするのよ！ という疑問がありますが

- (a) 測定器を作る楽しみがあります。ノイズ・ダイオードに興味があります。
- (b) 複数の受信機を持っている場合に、それらの感度比較ができます。
- (c) 受信機の状態を把握できます。どうもあるバンドの聞こえ方がおかしいとかの場合の調査。
→ 例えば最近は入力にプリセクタを持った受信機が多いので、切り替えのリレー、SW等の接触不良、経時変化による調整ずれ等が発生した場合、気が付かないうちに感度が悪くなっている事があります。そんなことの調査に使用できます。

そんな測定器を作りました。

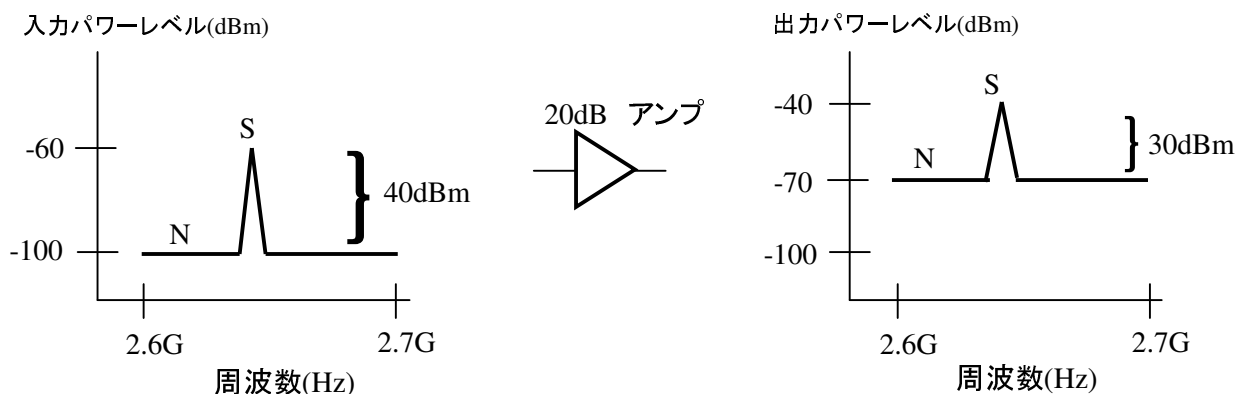
2. ノイズ・ファクタ

ノイズ・ファクタを F として、系の入力電力の信号対雑音比(S_i/N_i)と出力電力の同比(S_o/N_o)の劣化度を表します。また F の dB 表示を雑音指数 NF として $NF (dB) = 10 * \log F$ とします。
(以下 $\log$ は常用対数) F と NF は表記の違いだけです。

$$F = (S_i/N_i) / (S_o/N_o)$$

$\uparrow$ $\uparrow$
 出力の信号対雑音比
 入力信号対雑音比

例を図で示すと次のようです。（参考文献1. P7）



信号は $-60\text{dB} \rightarrow -40\text{dB}$ で 20dB増幅された。

雑音は $-100\text{dBm} \rightarrow -80\text{dBm}$ のはずが、出力では内部で雑音が加わって $-100\text{dBm} \rightarrow -70\text{dBm}$ と測定された。

S/Nが10dB劣化したので $NF = 10\text{dB}$ 又は $F = 10$ となります。

このような F 又は NF を、3. 項のような方法で測定します。

感度表示からNFを求める場合は次の式になります。（参考文献2. P242）

$$NF(dB) = [10 \log (E^2 / Z) - S/N(dB)] - [10 \log (k \cdot T_o \cdot B)]$$

E^2 : E の2乗

X^y では X の y 乗

E : 入力電圧

$x (\mu V) @ S/N y (dB)$

Z : 入力負荷インピーダンス

k : ボルツマン定数

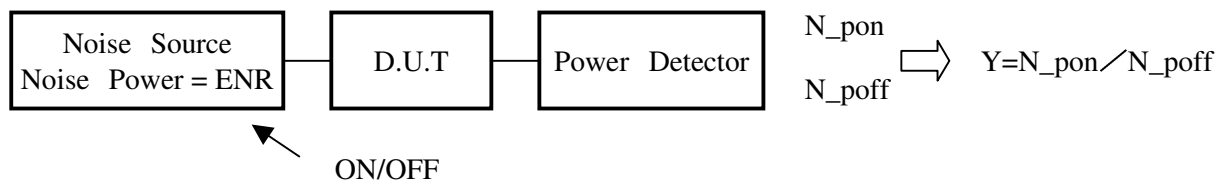
1.3807×10^{-23}

B : 帯域幅

3. ノイズ・ファクタ F の測定方法

よく使用される方法は2つあります。

3.1 Y-ファクタ法

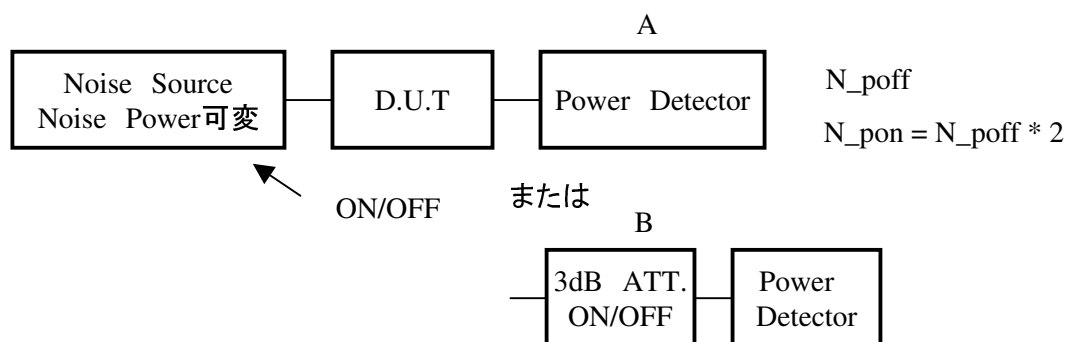


- (a) ノイズ・ソース(N.S.)をoffにして N_{poff} の電力を測定。
- (b) N.S.をonにして N_{pon} の電力を測定。
- (c) $Y = N_{pon} / N_{poff}$ という Y を定義して、 $F = ENR / (Y - 1)$ によって F を求める
- (d) 数値はすべて真数です。（dBではない）

メーカーのNF測定器に使用されている方法です。

- (a) ノイズ・ソース(N.S.)の出力電力(ENR)が固定で良いので、広帯域のN.S.が使用できることが最大の特徴です。数十GHzまでのN.S.があります。ENRは校正されている必要があります。
- (b) Power Detectorのリニアリティが測定精度に影響します。
- (c) ENRの誤差が測定値に影響するので校正が必要ですが、アマチュアではなかなか困難なので、メーカーに依頼することになります。

3. 2 2倍パワー法



- (a) N.S.をoffにしてN_{poff}を測定。
- (b) N.S.をonにしてN_{pon}の電力がN_{poff}の2倍になるようにN.S.のNoise Powerを増減します。Noise Powerを可変しなければならないので、そのようなN.S.を必要とします。
- (c) その時のN.S.のNoise PowerからFを求めます。
- (d) b)でBのようにPower Detectorの前にon/offできる3dBアッテネータを接続し、“電力2倍”の代わりに“3dBのアッテネータをonにしてN_{poff}と同じ電力”としても良い。その場合はPower Detectorのリニアリティが精度に影響しなくなります。

アマチュアで昔から良く使用される方法です。

- (a) 専用の特殊なノイズ・ダイオード(真空管)が必要です。測定精度はほぼノイズ・ダイオードとマウント構造によって決まります。
- (b) 我々が入手可能でVHF以下で使えるノイズ・ダイオードは、その構造上一般に使用最大周波数300MHz～500MHz程度です。これで測定範囲が決まりますので、その周波数範囲の狭さがY-ファクタ法に及ばない点です。いろいろな特殊用途のノイズ・ダイオードはありますが、数種を除いて我々アマチュアには縁遠いようです。
- (c) デテクタBの方法ではPower Detectorの誤差は測定に影響しません。3dBアッテネータは測定精度に影響しますが、容易に校正できます。
- (d) 2倍パワー法では $N_{pon} / N_{poff} = 2$ になるようにノイズ・ダイオードの出力を調整したので

$$Y = N_{pon} / N_{poff} = 2 / 1 = 2$$
Y-ファクタ法においてFを求める式は $F = ENR / (Y - 1)$ なので $F = ENR / (2 - 1) = ENR$ という事でENRが分かればその値がFとなります。
そして、ENRはノイズ・ダイオードのプレート電流によって既知なので、Fが求められます。
- (e) ノイズ・ダイオードの校正はアマチュア的には簡単には行えないので、ノイズ・ダイオードを信用するしかありません。

2つの方法を取り上げましたが、実際はもっと多くの方法があります。ENRの分かった半導体のノイズ・ソースが入手でき、VHF以上の周波数で本格的に測定したい場合はY-ファクタ法でしょう。

自作も可能です。

ただ、アマチュアで“自作、安価、HF程度の周波数、製作が楽しそう、そこそこの精度”という条件を考えると2倍パワー法もよさそうだとわれ、今回はこの方法で作る事にしました。

1980年以前あたりでは良く使われた方法です。USのham radio誌などに製作記事が載っていました。

4. ノイズ・ソースについて

Fを測ろうとすると普通はノイズ・ソース(N.S.)が必要になりますが、

- 1) Y-ファクタ法では、広帯域のノイズを発生しENR が15dB、あるいは6dB 前後で主に半導体のN.S.が多く用いられます。Agilent の346シリーズ、Noisecom 社の製品などが有名です。精度が高く校正表に小数点2桁(dB)までの記述があります。

時々オークションなどで出品されますが校正されているかどうかは問題です。

- 2) 2倍パワー法では、発生ノイズのパワーを変えなければならないので 1)のN.S.は使用できません。そのためにはプレート電流によって発生ノイズレベルが決まるノイズ・ダイオード(真空管です)を使用します。専用の2極管で、シルバニアの5722 が有名です。

4. 1 5722について

今回は2)の方法で実現しますので、まずはこの真空管(5722)が入手できないと始まりません。特殊な真空管なので入手が少し困難です。

最近はわかりませんが、以前秋葉原で真空管屋を覗いたことがありましたがどこにもありませんでした。ヤフオクで一度出品されたことがありましたが買いそびれました。

今回ebay(USA)を見ていたら出品がありました。これがどの程度の出品頻度なのかわかりませんが、(3/24/2019)時点で2点あってカナダとドイツのお店で、即決の出品でした。

(a) カナダ 5722 1個 \$21.95 + 手数料 \$11

(b) ドイツ 5722 1個 €19.9 + 手数料 不明

私の様な全くのシロウトでは他の入手方法は不明です。あくまでもオークションなので常に出品があるとは限らないので、そのうちに作ってみるかと思う方はアミを張っておかれると良いでしょう。

ただ、a)はオークション締め切りまでに売れましたが、b)はさらに1ヶ月以上経過しても出品されていません。手数料が不明なので誰も手を出さないのでしょうか、あるいは在庫があっても順次出品なのでしょう。

ノイズ・ダイオードは寿命があります。5722のスペックシートに記載がありますが、 $ENR = 15.3\text{dB}$ すなわち $V_f 4.9\text{V}$ 、 $I_p 34\text{mA}$ の時の寿命のグラフを読むと連続で約250時間 だそうです。

本機の最大出力 $ENR = 13\text{dB}$ では $V_f 4.55\text{V}$ 、 $I_p 20\text{mA}$ となって寿命時間はグラフ最大目盛り(500時間)を大幅に越え、また間欠に使用する場合はさらに長くなるので気にしないで良いようです。

ただ、ジャンクの球はどのような使い方をされたかわからないのと、設計に際しては電流が過度に流れない様に考慮する必要があります。

さらに最大規格あたりで使用して、電気を入れっぱなしで放置しないようにしましょう。

4. 2 本機に使用したノイズ・ダイオードについて

5722は有名でいろいろと資料もあるので使用したかったのですが、調べているうちに2D2Sというロシア製のノイズ・ダイオードを見つけました。5722と同様に使用できそうなので、ebayにあるかなと探したらありました。そして懇意にいただいているOMIにお願いして買っていただきました。5722に比べてとても安価に入手できました。ウクライナから郵送されてきました。

このノイズ・ダイオードは最近アメリカで用例がありました。(参考文献 5)

4.3 いろいろなノイズ・ダイオード

5722はあまりにも有名ですが、そのほかにもあるようです。HF～UHF範囲で使用可能なものについて調べてみました。

我々があまり使用しないような用途(もっと高い周波数等)に限定すれば、結構多種にわたります。私の頭ではノイズ・ダイオードといえば5722でしたが、井の中の蛙でした。

ただ、ロシア製は規格表の記載内容が少ないので不安ですが、同様な使い方であろうと考えました。いや、他に使い方が考えられません。またプレート・フィラメント間の容量が小さいのも魅力です。表の品種もebay などでも時々出品されるようです。

規格名	メーカー	VF (V)	IF (A)	Vpmax (V)	Pimax (mA)	Vpop (V)	C (pF)	備考
5722	Sylvania	5.5	1.6	200	35	150	1.5	注1
2D2S	Svetlana	1.4	1.6	200	40	125	0.57	今回使用
2D3B	Russia	2.2	0.11		5			詳細不明
A2087	Marconi	4.3	0.6	200	20	100	2.7	fmax 220MHz
K81A	Philips	1.85	2.5	150	20	100	2.2	fmax 300MHz

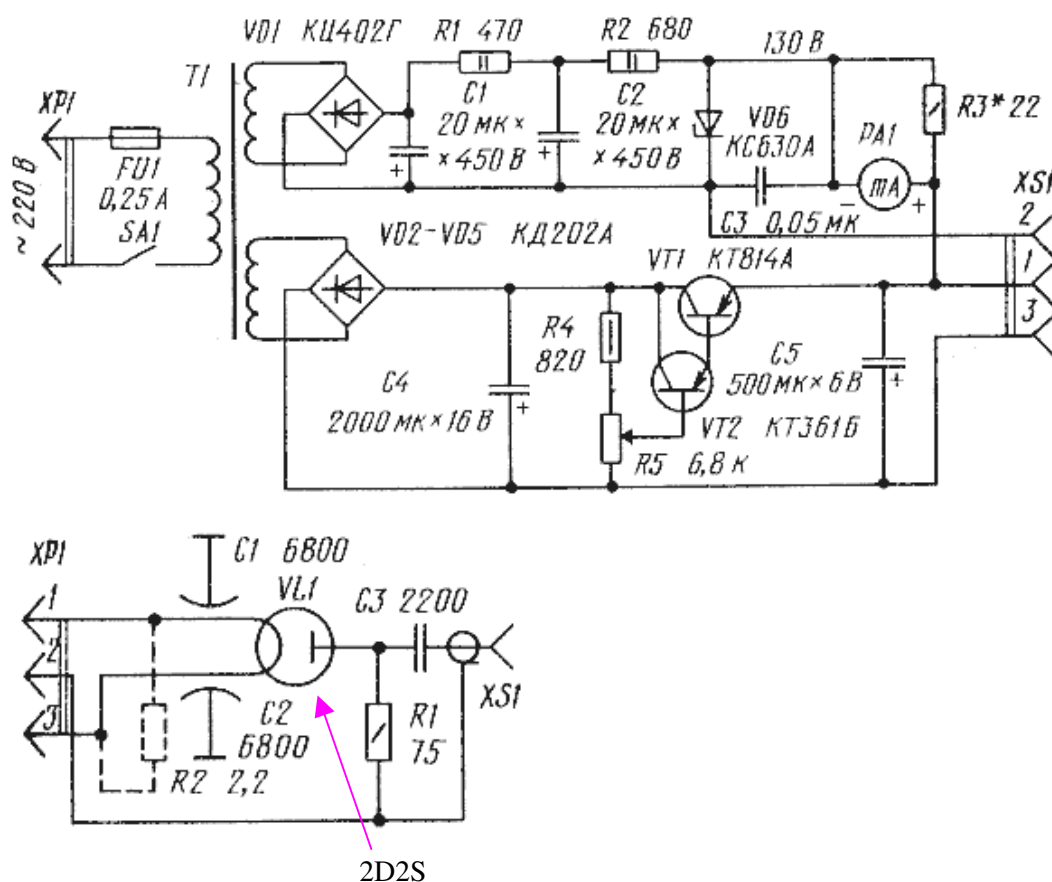
V_{pmax} : 最大プレート電圧

Vpop : 動作プレート電圧

Pimax : 最大プレート電流

注1)最大動作時は50%Dutycycleに於いて、最大on時間は5min

2D2Sの使用例（ロシアの回路）

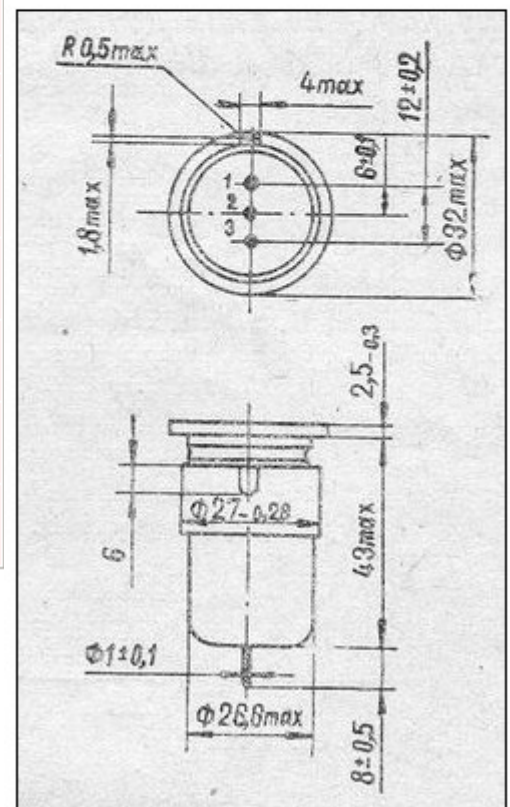
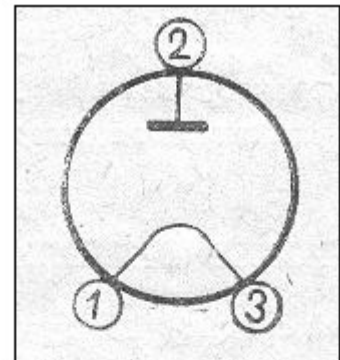


まあ、一般的な動作のさせ方ですね。

5. 2D2Sの規格

これ以外には見つかりませんでした。特性のグラフ等不明です。
受信感度測定用などとして書いてあるので信用して使います。

2D2S	
Name	2D2S
Type	noise diode
Application	noise oscillation for receiver sensitivity measuring
Cathode type	thorium-oxide, direct heating
Envelope	glass
Mass, g	30
Filament voltage, V	1,4
Filament current, A	0,3-1,6
Anode voltage, V	125
Steepness, mA/V	0,06
Max. reverse anode voltage, kV	0,2



<http://www.russiantubes.com/prop.php?t=12&p=31>

私が購入したものはスペトラーナ社のマークが印刷されていました。こんなのです。
真空管に印刷されているので色は付いていません。
他に製造している会社があるのかどうかは分かりません。



6. 回路

今までの内容をもとに実際のブロック図を示します。

1)フィラメント電源。

0A～最大約1.4Aまでの定電流源で、ノイズ・ダイオードのフィラメントを加熱します。

電流値によってノイズ・ダイオードのプレート電流が変化し、それに伴ってノイズの量が変わります。

2)プレート電源。

−125V の簡易定電圧源でノイズ・ダイオードのプレート電圧を与えます。出力電流は最大20mA程度。プレート電流が測定できます。

3)パワーデテクタ。

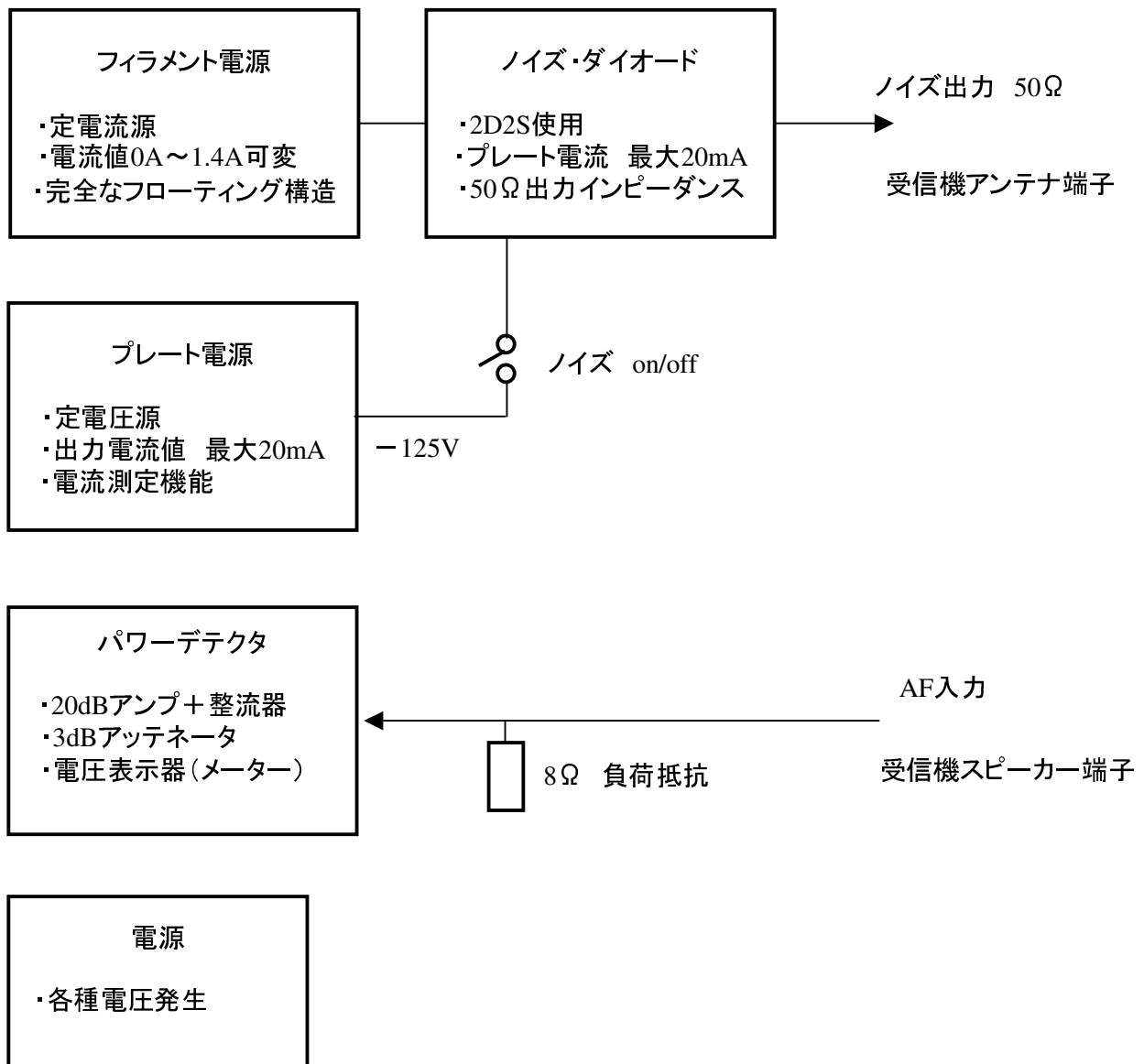
AF電圧をメーターで表示します。ノイズアンプ + 3dB のアッテネータ + 整流回路 + メーター。

4)電源。

各部に電圧を供給。フローティングの回路があるので、必要に応じてトランスの巻線を分けます。

5)ノイズ・ダイオード

プリント生基板に取り付けます。様子を別項に記します。



少し詳細な説明です。

1)フィラメント電源は一般的な電流源回路です。

- (a) 電流源にした理由は、フィラメントは冷えている時は抵抗が低いので、定電圧源では設定電圧によっては電源on時に大きな電流が流れて、寿命を短くしてしまう可能性があるためです。
定電流源ならいかなる時も設定電流が流れます。
- (b) フィラメント電流設定用VR(以下FVR)を最大にした時に1.4Aを越えない事(最大ENR=13dB 一般にこれ位でok)、電源on/offした時にスパイク等が発生しないことを確認しておきます。
- (c) フィラメント電流が0.9A以下ではプレート電流が流れないので、FVRの最小時に0.9A、最大時に1.4Aになるよう、FVRの周辺の抵抗値を決めました。 寿命の観点からノイズoffの時はフィラメント電流も0Aになるようにしたほうが良いのですが、offからプレート電流が安定するまでの時間が長めになりますのでやめました。
- (d) FVRは多回転型を使用した方が楽です。 プレート電流の変化はかなり微妙です。
- (e) ノイズ・ダイオードのプレート側を接地して使うので、フィラメント電源全体がフローティング構造でマイナスの高い電圧電圧が印加されます。 本機では約-125Vがかかるので絶縁や調整時に感電しない様に注意しないといけません。 回路構成によってはコネクタを接続しないと不要な電圧がかかって半導体を壊したりすることも考えられます。 扱いにも注意が必要です。

2)プレート電源は、シンプルな定電圧回路を組みました。

- (a) -125Vを目標にしましたが、もともと電圧に対してはクリチカルではない様で、電流測定抵抗でも2Vほど電圧降下が発生します。 電圧調整VRは付けませんでした。

3)パワーデテクタは、ここではAF信号を受けるのでAFデテクタです。

- (a) 受信機のスピーカー端子からAF信号を取り出し、トランスで絶縁してアッテネータを通し、ダイオードで整流してDC電圧(AFLレベル)を取り出します。
- (b) アッテネータと書きましたが、正確に3dBのゲインの変化が可能ないようにすればよいので、全体的なレベルを考えて、電圧ゲインが20dB/17dBを切り替えられるアンプにしました。
- (c) ゲインの切り替えは整流器の前に置いて、整流器に入力される電圧が一定になるようにします。従って整流器は20dB/17dBで同じ雑音レベルを整流すればよいので、誤差が小さくなります。
- (d) opAmpですが、信号系にLM358の様な汎用のAmpを使うのは余り良くありません。
出力波形に段ができます。 本機の使用法では現実的には結果が変わるようなことは無いと思いますが、オシロスコープで見て段があるのは気持ちの良い物ではありません。
本機では手持ちがあったのでC-MOSのopAmpを使いましたが、LM358よりもう少し高級の単電源のopAmpを使えば良いと思います。 取り替えたら段はできませんでした。

4)電源は各ブロックに電力を供給しますが、フローティングの部分がありますのでトランスの巻線を分離する必要があります。 回路図を見た方が分かりやすいです。

5)その他

- (a) AFLレベルメーターはアナログメーターを、プレート電流は2V_FSのデジタルパネルメーターを使用。 AFLレベルは3dB on/offを切り替えてその2つの状態の出力が同じか否かが分かれば良いので、ラジケータ等でも良いのですが手持ちのメーターを使用しました。 本機に使用したデジタルパネルメータは測定端子GNDと電源のGNDが共通なので不要なループができないよう接続に注意が必要です。

出来上がったものは後出の写真と回路図をご参照ください。

7. ノイズ・ソースの構造

ノイズ・ソースの出来次第でどれだけ高い周波数まで使えるかの性能が決まります。できる限り浮遊インダクタンスや浮遊キャパシタンスを少なくすることを考えました。

参考文献3. P105 は究極に近い構造なので、私も似たようにします。

ただ、私の場合はノイズ・ダイオードの種類が違うのでそれなりに考えてみました。自分で良いと思った方法ですが最良かどうかは分かりません。

一つ注意することは、真空管の取り付けに方向が有ることがあります。5722などは規格表に方向の記述があります。

(5722では規格表が2種類あって違う向きが指定してあります。途中で内容が修正されたが、以前の規格表がまだ出ている様です。下の注で確認してください。)

1)本機の2D2S は取り付けに関する記述がありませんが、垂直に取り付ければ良いでしょう。

2)とてもマウントしづらい形なので支柱を付けました。銅線を半田付けした、ちゃちなものですが在りと無しとで大違いで、とてもしっかりします。写真をご参照ください。

3)ピン・ソケットはMT管のソケットのピンを外して使用しました。コンデンサはチップかボタン型が良いのですが150V 程度の耐電圧のものが無くて、ジャンク箱から貫通コンデンサを見つけて使いました。

4)フィラメントの系には-125V がかかるので、絶縁には注意しました。

フィラメントのチョークコイルはいろいろな記事から適当と思われる値にしました。これで良いかどうか分かりません。たとえ良くなかったとしても良くないことは実際には分からないでしょう。もっとも、2D2Sの使用回路ではチョークなども入っていないくて、単に6800pFが1個ずつ使っているだけです。(2D2Sの回路図 前出)

注) 多くの真空管には規格表に取り付け方法の指定があります。ほとんどの場合取り付け方法 (Mounting Position の記述)には Any となっていてどの方向に取り付けても構いません。

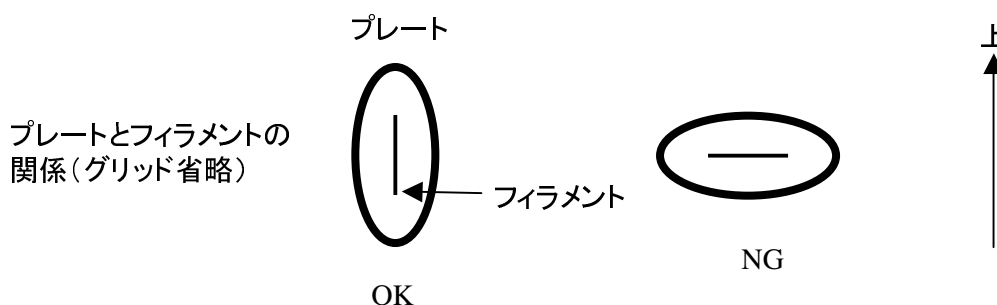
しかし、少し大型の直熱管(送信管や出力管等)では規格表に明確に方向の指定があります。基本的にはVertical (ベースが上になるか下になるか)です。

横に取り付ける場合は、ピンm とピンn が垂直面に含まれるような方向などの記述があります。その場合はプレートやグリッドとフィラメントの関係が図のようになるはずですが。これはフィラメントが面状に張ってあり、熱せられてたんだ時にグリッドに接触しない方向です。

(ただし、最近の一部の真空管にはグリッドとフィラメントの関係がこのようになっていない物があるとのことです。個別の規格表を参照し、実物と比べてください。)

811A、572B、813 等を横に取り付ける場合は、指定を守ると図の方向になります。

フィラメントが面状に張っていない直熱管、例えば 3-や4-シリーズ、xxxTH、xxxTL、4E27などはVertical のみの取り付けです。



7.1 真空管のピン周辺の様子

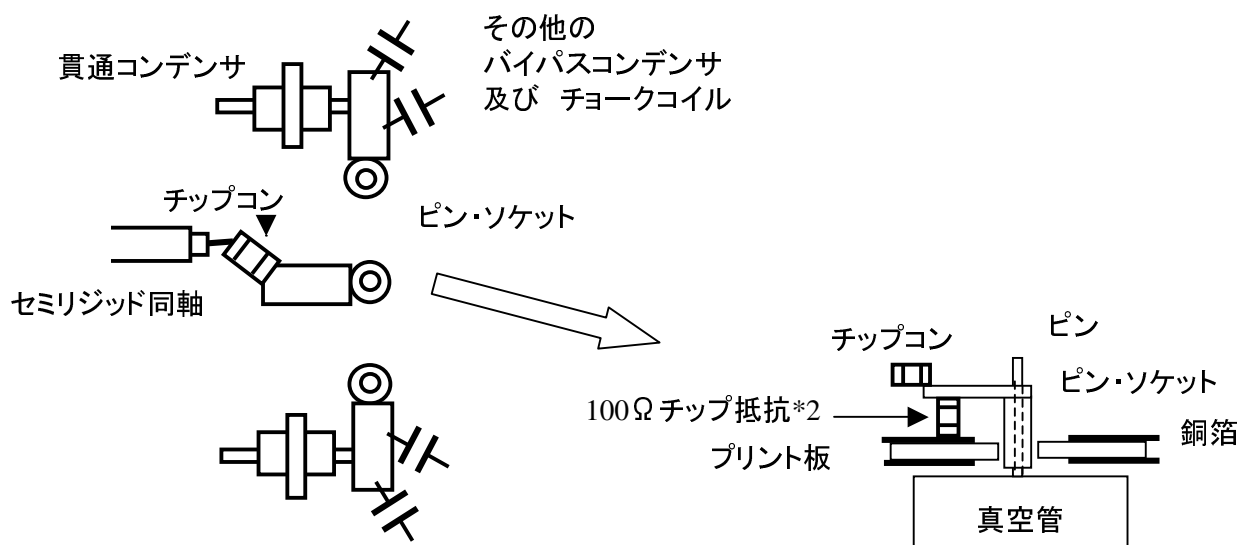
可能な限りパーツのリード線が短くなるように配線しました。

最良かどうかは分かりませんが短いと思います。

ピン・ソケットの支持がはんだ付けだけなのですが、思ったよりもしっかりしています。

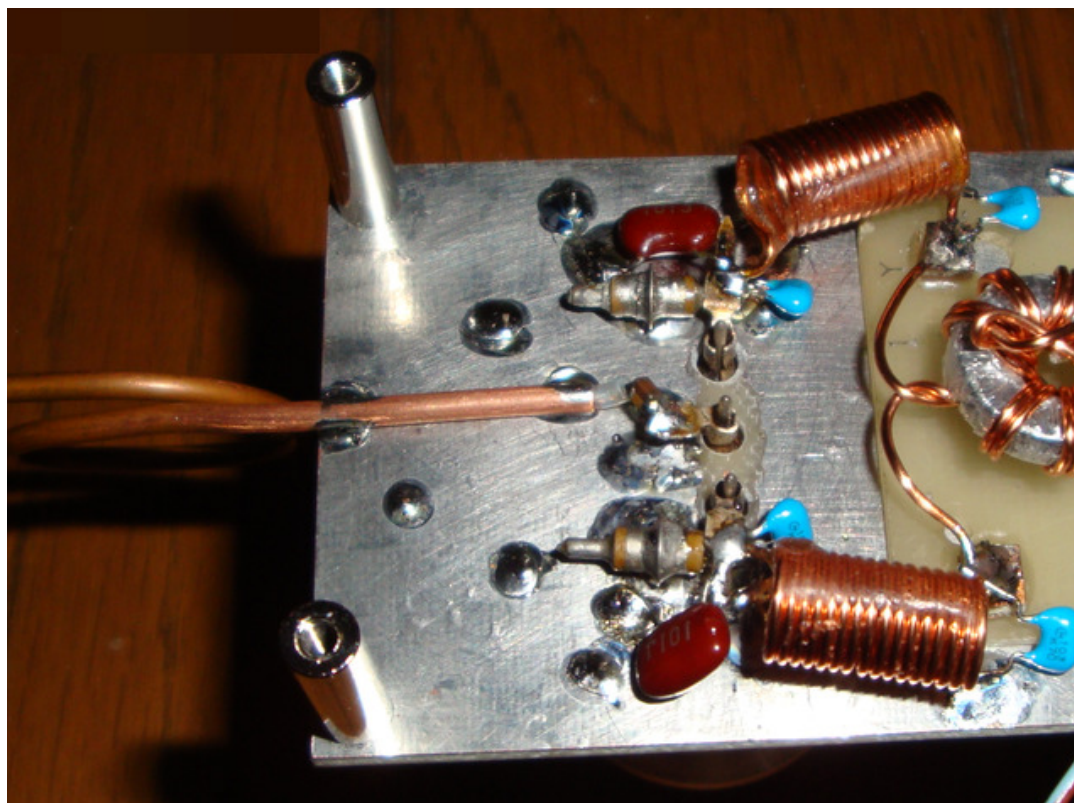
ピン・ソケットのバイパスは貫通コンデンサではなく、UHF 等のバイパスに使われるボタンコンデンサがよいのですが手持ちにありませんでした。

リターンロスなどを測定すれば状態がわかるのですが、現在測定器がありません。



裏面の写真

ピン・ソケットの周りの銅箔は適当に除去してあります。



7. 2 2D2Sの写真



全景

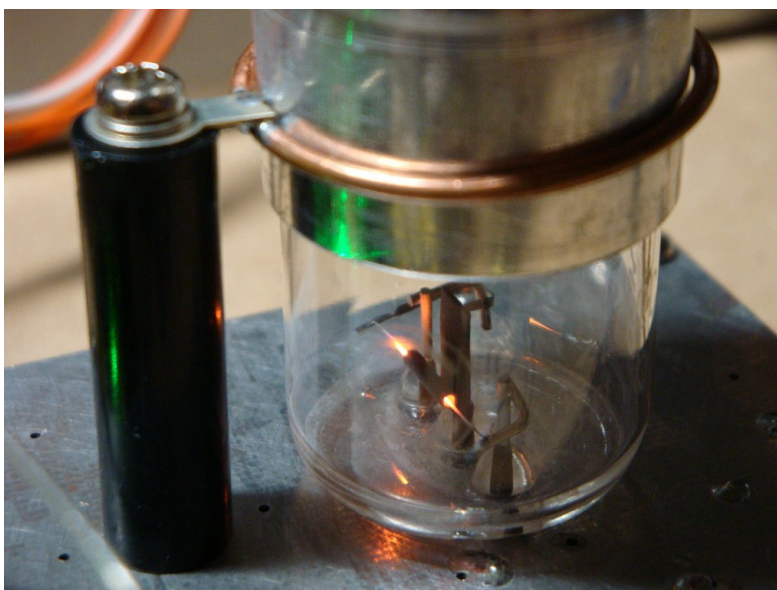
下にある長方形がプレート。
横に張ってある線がフィラメント。
上部にツマミ。
下にピンが3本出ています。



マウント

ピンが3本一列でホールドしにくい。
卵ラグに銅線の輪を半田付けし
それをスペーサにねじ止めして
ホールドしました。

基板は生基板にはんだメッキ。



フィラメント点灯

板にパイプを取り付けてプレートとし、
その中にフィラメントが通してあります。

長時間フィラメントが加熱されて蒸発し、
切れるとプレートと接触する事故が
あるらしいです。 接触したら信号ライン
に $-125V$ が印加されます。

測定中の受信機が壊れる可能性が
あります。 その時はどうすれば
よいかわかりません。 もっとも、この
真空管に限ったことではありません。

8. 確認と調整

電源をonできるようにまでなったら、最初に次の事項を確認しておきます。
設計通りの動作であるかの確認です。

8. 1 確認

- 1) フィラメント電流設定用VR (FVR)を回してプレート電流(パネルメータ)がスムーズに変化すること。
- 2) FVRを端から端まで回して、フィラメント電流が約0.9A～1.4Aまで変化すること。フィラメントに直列に1Ωが接続されています。その1Ωの両端の電圧を測ってみれば電流が測定できます。
- 3) プレート電流の経路に正常な電流計を接続して通電し、電流計とパネルメータの値が合っていること。
私の使用したパネルメータは、フルスケールで誤差スペックが±0.5%のはずが±0.8%程度までずれていました。それにメーターフルスケール調整用の半固定抵抗が極めてクリティカルでした。
息をつめての調整でした。経時変化がありそうで今後時々チェックしてやらないといけないかもしれません。
- 4) フィラメントとプレートの間に電圧計を接続して、プレート電流を0A～20mAまで変化させた時の電圧を測定し、125V～130Vであること。
- 5) AFデテクタの信号入力とゲインアンプの出力にそれぞれオシロスコープを接続します。入力にAF信号(sin波)を入力して、入力波形とゲインアンプの出力波形が相似であり、ひどい歪やクリップなどが無いこと。また、波形からゲインの値を求め設計値と合っていること。

8. 2 調整

調整としてはAFデテクタの3dBアッテネーションの調整です。

- 1) AFデテクタのアッテネータSWを0dBに設定します。
- 2) AF発振器(今回はパソコンとWGというソフトを使用)を用意し、そこからsin波をAFデテクタに入力し、メーターを7割程度振らせます。メーターの指示値を記録しておきます。
- 3) AFデテクタのアッテネータSWを3dBに設定します。そうしますとメーターの指示が下がります。
- 4) 発振器の出力を3dB上げます。メータの指示が0dBの時の近くになります。
- 5) AFデテクタ内のアンプのゲイン調整VRを回転し、正確に2)の指示値と同じになるようにします。
この回路ではVRを可変した時に3dBのアッテネーションのみが変化します。

9. 測定方法

- 1) N.S.の出力を、ロスが少ない短い同軸ケーブルで受信機のアンテナに接続します。
ここにロスがあるのとその分 F が悪く測定されます。
- 2) 受信機の低周波出力を、AFデテクタに接続します。 受信機のAGCをoffします。
- 3) 受信機をウォームアップした後、次のような操作を行い、ノイズ・ファクタを測定します。
 - (a) フィラメント電流を最小にしておきます。 受信機の受信周波数を測定する周波数に設定します。
 - (b) N.S.をoff の状態でアッテネータSWを0dBに切り替えて、受信機の音量を調整してAFデテクタのメータの針をフルスケールの7割程度まで振らせます。 振れは適当でよいが目盛線に合わせると(d)の操作が行いやすいです。
 - (c) アッテネータSWを3dBに切り替え、その後N.S.をon します。
 - (d) N.S.のフィラメント電流を調整して、AFデテクタのメータを (b)と同じ指示値になるようにします。
N.S.のフィラメント電流を変更した時は、プレート電流が安定するまで若干時間がかかります。
 - (e) N.S.のプレート電流をmA単位で読めば、その値がノイズ・ファクタ F になります。
 - (f) AFデテクタのメータの針は常に少し揺れています。 針の揺れの様子を見て揺れの真ん中あたりの指示値を採用します。
 - (g) 数回くりかえして、 F の値が大きく変わらなければ、ノイズ・ファクタ測定値として採用します。
まれに測定中にN.S.の発生ノイズ以外の信号を受信していることがあります。
このときはメータの針の振れが変化しますので分かります。
測定中は受信音が聞こえない場合がありますので、できれば受信音のモニタができる方が良いでしょう。
- 4) 受信機の入力部に使うような、S/Nが良くてゲインの少ないアンプを単体で測定する場合は、さらに単体S/Nが良く、ゲインの分かったアンプが別に必要です。 その時の測定方法は参考文献を参照してください。 ここでは省略します。

10. いくつかの測定例

まわりにある受信機について測定してみました。

- A: 1990年頃発売。PLLを使用した<30MHzのオールバンド・オールモード受信機。
 B: アマ無線用ハムバンドSSBトランシーバ。1980年頃発売。ファイナルのみ真空管。
 C: 自作の受信機 RF無し。2SK125*4のミクサ。1stIF45MHz upconv. ※

受信機	測定周波数 (MHz)	測定値	NF (dB)
A	3.5	11.2	10.5
	7	16.2	12.1
	14	19.9	13.0
B	3.5	8.08	9.1
	7	7	8.5
	29	19.9	13.0
C	7	5.64	7.5
	28	7.07	8.5

受信機 Cで 7MHz測定時に
アンテナ入力に1dBの
アッテネータを入れた時

→

アッテネータ (dB)	測定値	NF (dB)
0	5.23	7.19
1	6.74	8.29

※自作機は一件感度がよさそうに見えますが、実は入力のフィルタが一切付いていないのです。アンテナ端子と1stMixが直結です（RFナシ）。そうしますと1stIFのイメージとしてノイズが加算されている可能性があります。各アマバンド+ 40MHzのイメージ除のフィルタ追加で3～4dB位のロスが見込まれますので、それによって結果的にイメージのノイズが3dB減少して、フィルタのロスが加わって B 程度のNFになるかもしれません。

11. その他

NFと感度表示のイメージがつかめませんが、前出の式に従って試算してみました。

式(再掲)

$$NF(dB) = [10 \log (E^2 / Z) - S/N(dB)] - [10 \log (k \cdot T_o \cdot B)]$$

E^2 : E の2乗

X^y では X の y 乗

E : 入力電圧

$x (\mu V) @ S/N y (dB)$

Z : 入力負荷インピーダンス

k : ボルツマン定数

1.3807×10^{-23}

B : 帯域幅

式には少し不明瞭な点があって、厳密な計算が必要な時には注意します。

1) $S/N \rightarrow$ カタログなどに一般的に表示されているのは $(S+N)/N$ が多い。

$(S+N)/N = 10dB$ の時は $S/N = 9.5dB$ となる。今回9.5dBを使用。

2) $B \rightarrow$ 等価雑音帯域幅を使用。フィルタの-3dBダウンの帯域に、帯域形状によって変わるが 1.03~1.05 の係数を掛ける。ここでは試算なので2400Hzを使用。

例えば、感度 $0.3 \mu V$ の時 $B = 2400 \times 1.05 = 2520$ とした時 $NF = 13.0 dB$ です。

感度→NF

感度 (μV)	NF (dB)
1	23.7
0.7	20.6
0.5	17.7
0.4	15.7
0.3	13.2
0.2	9.70
0.1	3.68

NF→感度

NF (dB)	感度 (μV)
15	0.37
13	0.29
10	0.21
7	0.15
5	0.12
3	0.09
1	0.08

条件

$Z (\Omega)$	50
k	$1.38E-23$
$B (Hz)$	2400
$S/N (dB)$	9.5
$T_o (^{\circ} K)$	290

HFの受信機で $NF=7dB$ ではそこそこ感度が高い、 $NF=10dB$ ではちょっと感度が低いと評価されるようです。しかしその差は $0.15 \mu V$ と $0.22 \mu V$ です。聞こえ方が違うのでしょうか？

最大のNF測定範囲を13dBとしました。現実的にはそんなに感度が良い受信機ばかりではないので15dB以上あった方が良いですが、ノイズ・ダイオードの制限で13dBになります。

12. 考察、感想などいろいろ

1) 以前から測ってみたいと思っていたNFを測ることができました。

HF～50MHzあたりならば信用できるでしょう。 435MHzはちょっと分かりません。

本当に必要なのは144MHzあたりから上の周波数です。

2) ノイズ・ソースの良いものがあれば、Y-ファクタ法のNFメーターの方が広い周波数範囲のNFが測定出来て応用範囲が広いでしょう。 A/D内蔵の1chipCPUがあれば自作可能と思います。

3) NFの表し方として次のような表示があります。

(a) $0.5 (\mu V)$ $[10 (dB) (S+N) / N]$, 帯域幅 $2.1 (kHz)$, 50Ω]

(b) $NF = 17 dB$

現在アマチュア無線の受信機では a) の表示が多い様で、イメージ的に $0.5 \mu V$ のキャリアが入ってくれば S/N 約10dB で聞こえるんだ という感じになります。

b) ではポンと数字があるだけで、そのままでは慣れないと、どう考えてよいか分かりません。

同じことを意味しているのとお互いに変換できますが、イメージは違います。

4) 3) のイメージを 11. 項で計算してみました、どうお感じになりましたか。

5) 現在のAFデテクタはちょっと周波数特性が低いほうでゲインが少なくなっています。これは入力のトランスの低域のゲインが少ないためです。問題は無いと思います。

6) 自作機測定の時に “スプリアスや漏れがいなくて、ノイズだけの周波数” を探すのが大変でした。この測定器内では 50Ω でターミネーションをしていますが、シールド不足による漏れとかスプリアスを受信して、ダイヤルを回すと何か聞こえます。そして信号などのないと思われる周波数で測定するわけですが、本当に信号が無いのか一抹の不安が残ります。こんなところがアマチュアです。受信機自作というのはなかなか難しいです。また最大感度の状態というのは大したものです。

7) できれば正式のNFメータ(HP8970B 等とか)と比較・校正してみたいと思いますが、持っている方もおりませんので本機を信じます。(もともとノイズ・ダイオードを信じての製作なので)

単に広帯域ノイズを発生させるだけでしたら、半導体に電流を流せば良く、製作例はネットにいくつもあります。しかしノイズの量の値付けを行おうとするとなかなか困難の様です。

その点本機に使用した真空管のノイズ・ダイオードはノイズの量が分かっているので安心できます。惜しむらくは使用周波数の上限が低いことです。(<500MHz) NFメーターが活躍するのはもっと高い周波数なので、ちょっと矛盾があります。

8) NFメーターは数値が分かることが重要で、NF最良点を求めるには本機のような操作が必要な機械はかえて面倒です。単にノイズ発生器としてだけ使用するのでしたら、半導体のノイズ・ジェネレータの方が簡単に製作できて扱いも簡単です。

9) 40年弱位前にオートマチックNFメーターを作った事があります。結構うまく動作したのですが当時はENRが分かるノイズ・ソースがなかったので結局使う事になりませんでした。ノイズ・ソースを断続するのでスピーカーから出てくる音が蒸気機関車の様に聞こえ汽車ぽっぽなんていっていました。自動計測なのでNFの最良点を求めるなどは簡単にできました。昔の思い出です。

10) ほとんどが家にある手持ちの部品でできましたが、高耐圧(<150V)の部品が無くて新たに買い求めることがありました。もう真空管の時代ではないですね。昔はいっぱいありましたが・・・

11) 内部にヒートシンクがたくさんありますが、手持ちのトランスを使ったためにたまたま電圧が高くて電圧を低下させるために不要の損失が発生しています。

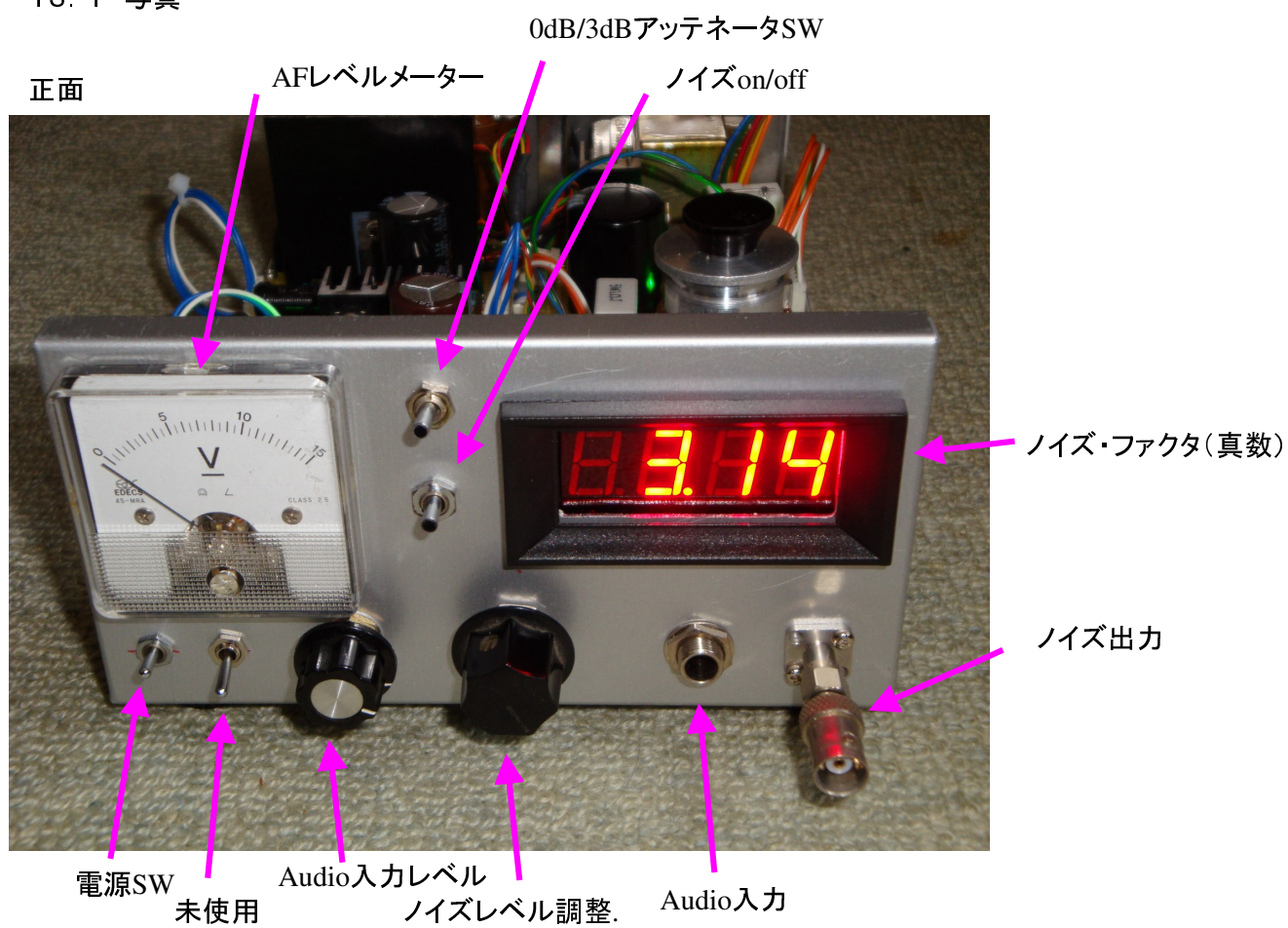
12) NFなどはそんなに頻繁に測定するパラメータではないので、一通り周りの受信機の値を測定するともう当面必要なくなってしまう。それは初めからわかっていたのですがノイズ・ダイオードというめったにお目にかかることのない真空管を使ってみたら楽しいだろうなという思い、また、製作過程でいろいろと勉強できましたし、作って良かったと思います。

13) 測定器は確度を論じなければいけませんが、私はそこまでの技術がありませんので割愛です。

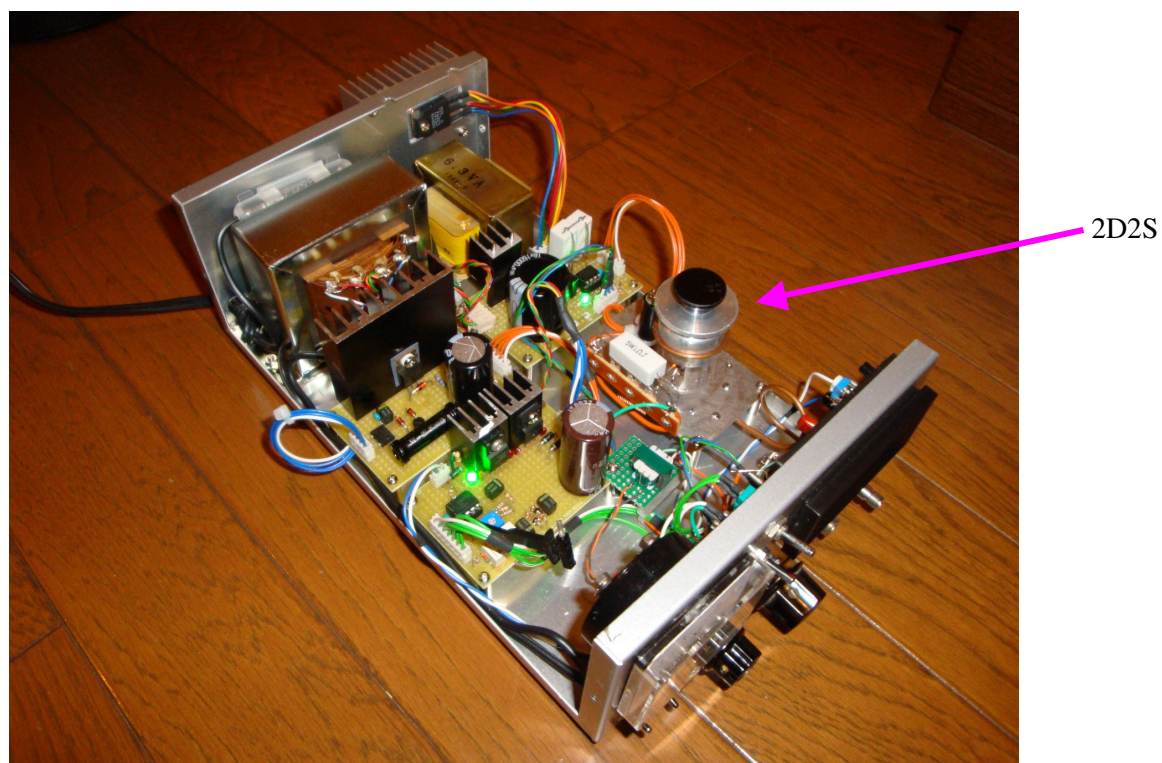
13. 写真と回路図

13.1 写真

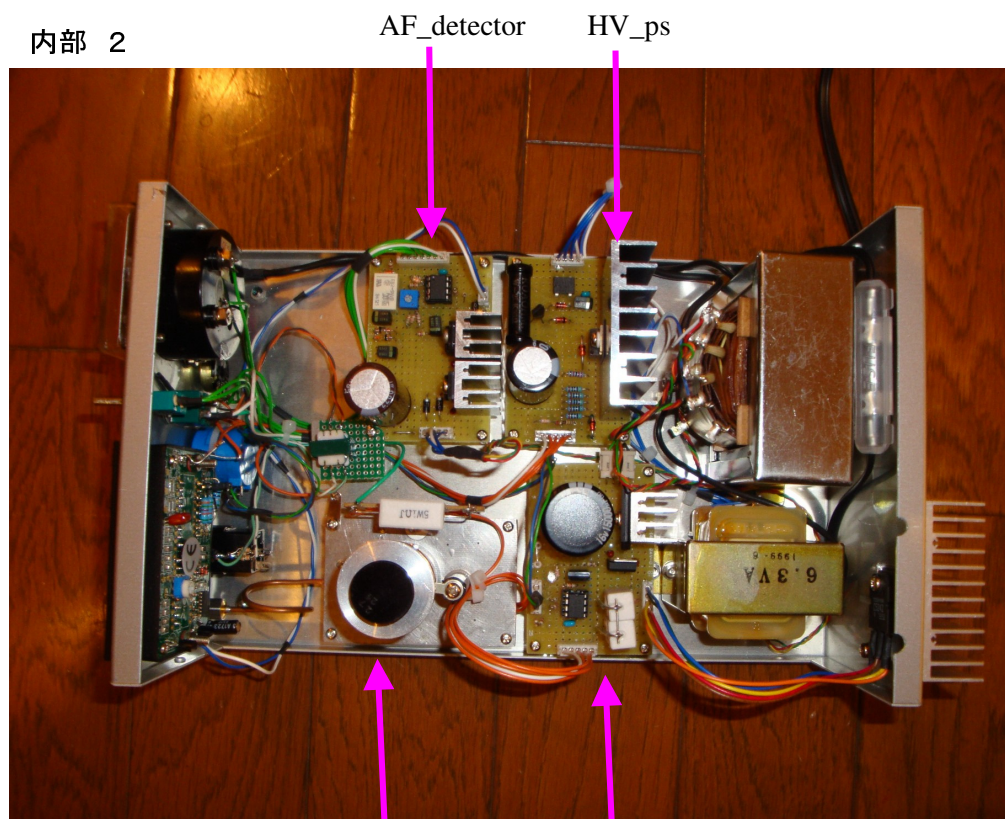
正面



内部 1



内部 2



ノイズ・ダイオード マウント

I_source

シャーシの大きさは160*250*85

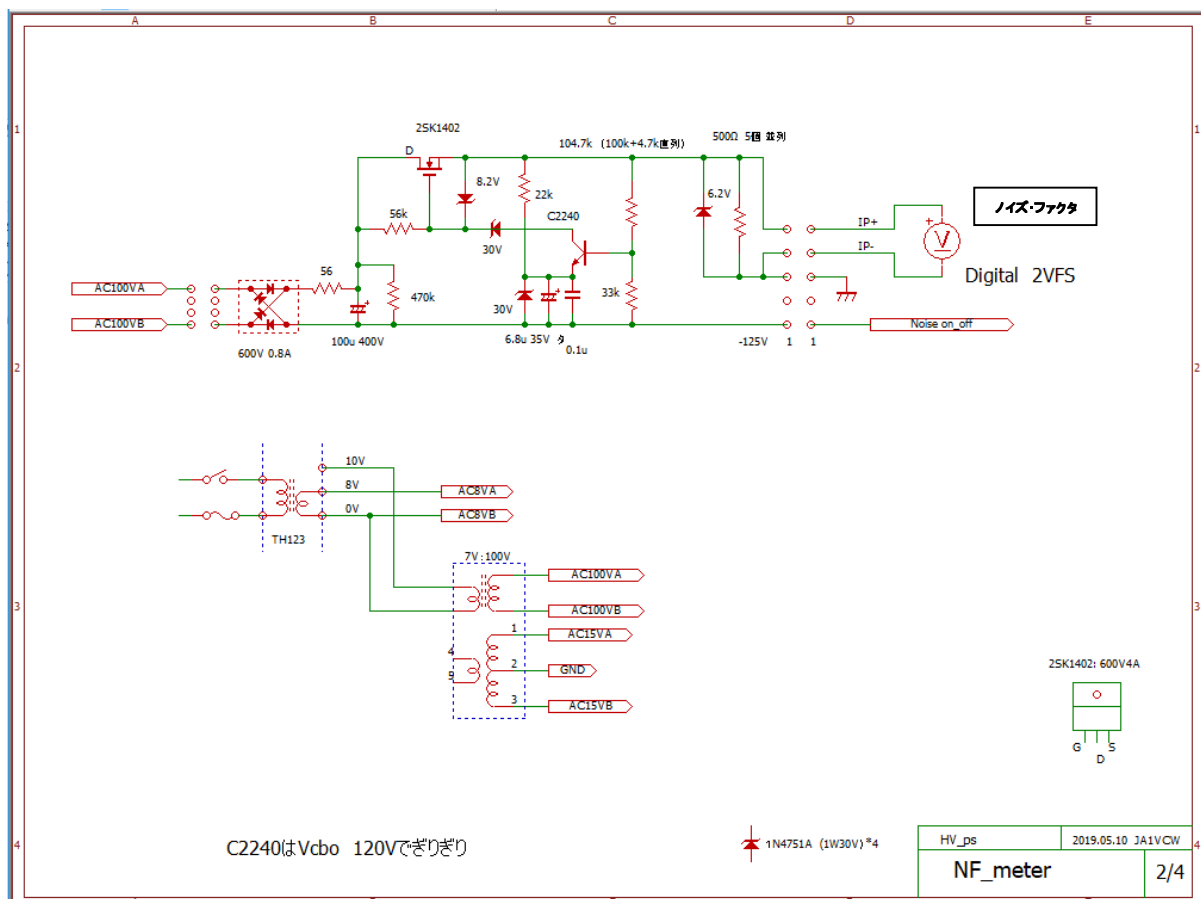
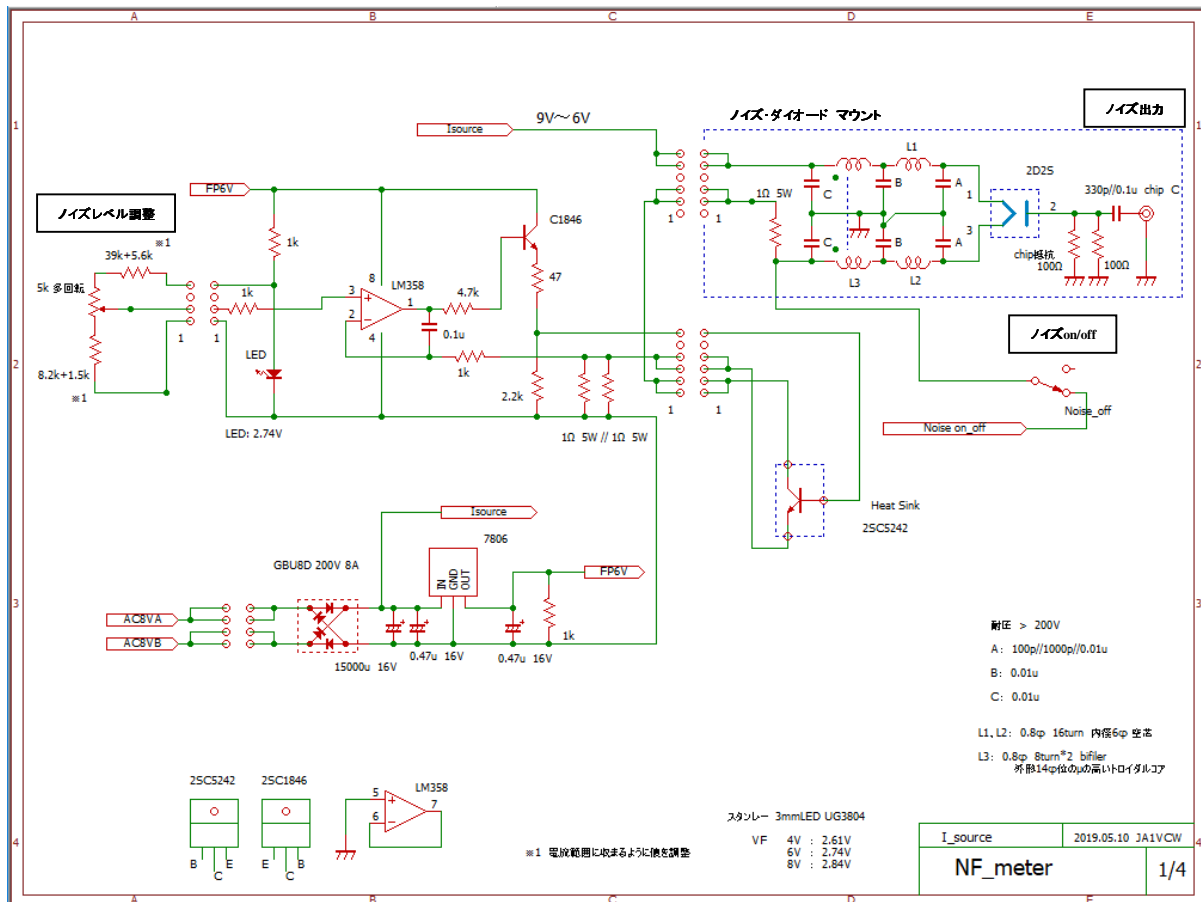
参考文献 (読んで理解したわけではないのですが・・・)

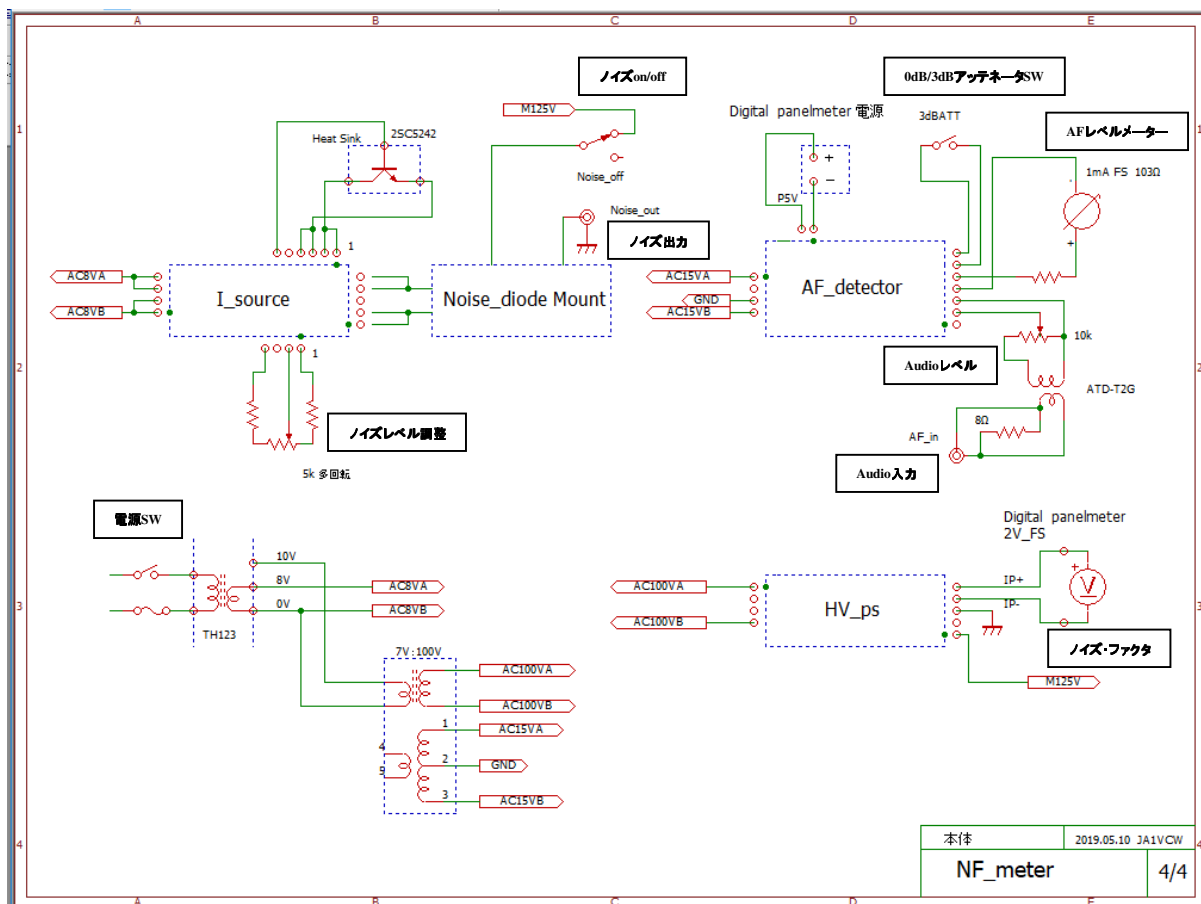
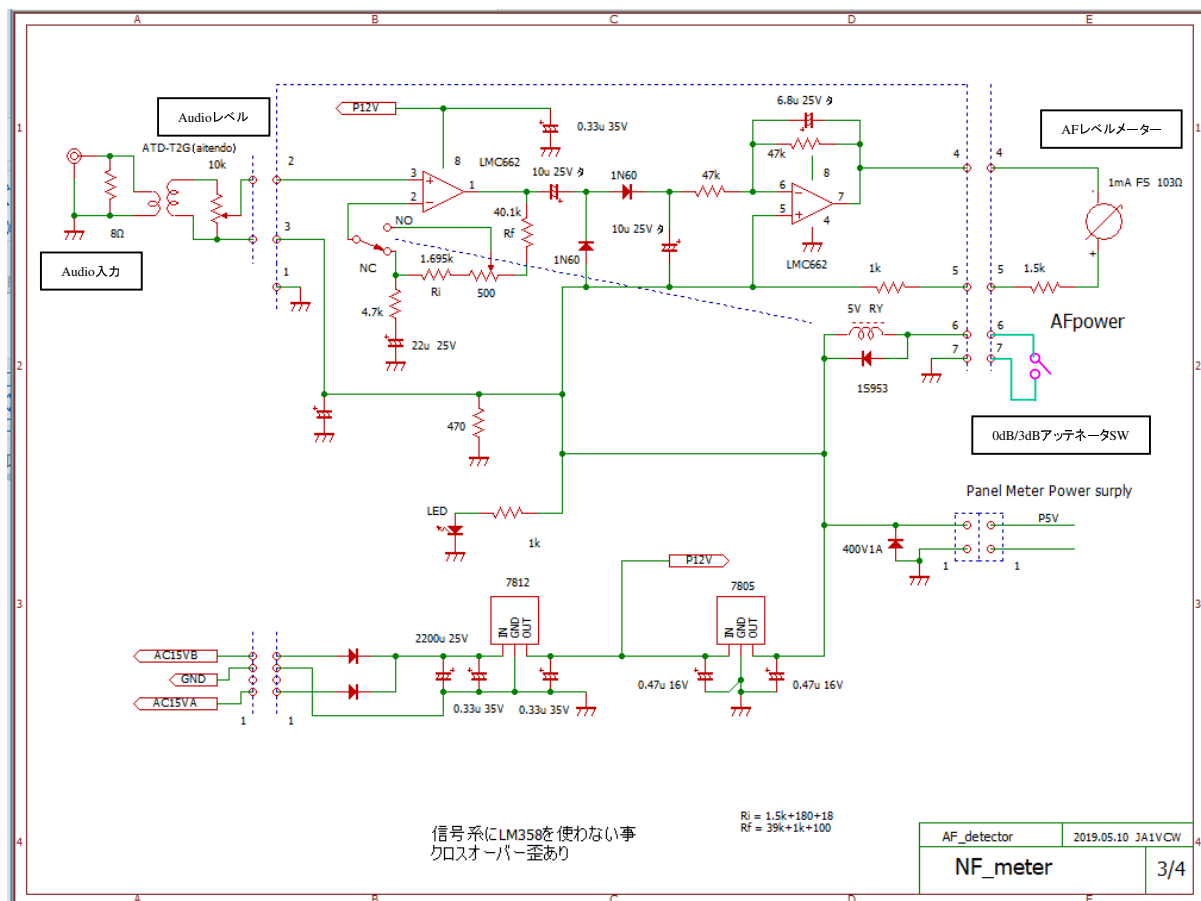
1. アジレントテクノロジー アプリケーション・ノート 57-1
2. アマチュアの V・UHF技術 CQ出版 第4章、第10章1
3. 真空管ノイズ・ジェネレータ(5722)とあそぼ!! JA1DI ハム・ジャーナル No.90 P102～
4. ローバンド受信機の製作と測定 JA1DWM CQ ham radio 2006. July ~ 2006. Oct・連載
5. ホームページ <https://electronicprojectsforfun.wordpress.com/> 内 MAKING NOISE の項
6. 低雑音電子回路の設計 齊藤正男 監訳 近代科学社

5. はHP内部の構造が複雑で検索がしにくいのですが、内容はFBです。2D2Sを使用した製作例が詳しく載っています。またインターネットで 2D2S noise diode で検索してみてください。

13.2 回路図

原稿当時の回路です。動作していますが、予告なく内容を変更する場合があります。





以上