

33. 地震計用トランジスター前置増幅器

地震研究所 松本英照

(昭和34年4月28日発表—昭和34年6月30日受理)

§ 1.

自然地震および爆破地震の高感度観測を臨時あるいは経常的に任意の地点でおこなう目的で筆者はこれまでに数種の電子管式地震計を試作し実用に供してきた。

しかし、真空管回路は消費電力がおおいのでその電源として蓄電池を長期観測に使用することは施設・要員の整備された保守の完全な固定観測所以外ではのぞめない。

一方、商用交流電源から電力を供給すれば電源の安定化と雑音制御の制約から増幅器の感度は $0.1 \text{ mm}/\mu\text{V}$ 以下に制限をうけ、われわれの要求する $1 \text{ mm}/\mu\text{V}$ 以上の感度を安定で無雑音な状態では保持することができない。

そこで、われわれは地震計の感度をあげる手段として換振器の感度をあげることに努力してきた。あたらしく地震研究所技術部において設計製作された可動線輪型動電換振器*は出力約 6 V/kine で従来の爆破グループ型大型換振器よりさらに出力はおおきく初期の小型換振器の感度にくらべ 10 倍以上の感度になったが、このばあい換振器は形状・重量ともに増大し、設置・運搬の簡易さをうしなう傾向を招来し、その意味で、このような可搬型換振器の感度をあげることは限界に達したとおもわれる。

ところで、形状・重量が増大したことは観測の性質によつては非常に都合のわるいことであるので、感度をあげるのにほかによい方法があれば採用したいとおもい、その方法を検討してみた。

ひとつの方法は変成器を使用して換振器の出力を昇圧する方法であるが、最近の発達した電子工業においても、われわれの対象とする周波数帯で周波数特性や能率のよい変成器の製作は困難だし、自己 inductance も充分おおきくすることができないので、換振器の制動に作用をおよぼし、特定の換振器とくみあわせて使用する場合をのぞいては実用にならないし、利得もあげられない。

もうひとつの方法は transistor を使用して前置増幅器をつくり換振器の出力を増幅して主増幅器に供給する方法である。

変成器は受動回路であるから、電力消費はなく雑音発生や安定度の心配なしに昇圧できることが特長であるが、前置増幅器は能動回路で電力を消費するから、電源をふくめての

* 地震研究所技術部製動電線輪型動電換振器上下動 3 c/s II 型, 形状 $159 \text{ mm} \times 190 \text{ mm} \times 164 \text{ mm}$ (高×縦×横), 重量 8.55 kg , Coil 2800 Turns $1.6 \text{ K}\Omega$, 磁石 MK-5 (三菱) 内磁型 7400 gauss , 出力約 6 V/kine .

安定度や雑音発生の level が主増幅器のそれらよりもわるくないことが必要条件となる。

元来 transistor は温度特性がわるく雑音の発生もはげしいものであったが、ここ数年で transistor 工業はめざましい発達をとげ、雑音発生もすくなく利得のおおきな製品が量産されるようになったので、これを使用し利得の一部を温度補償や安定度の増加にふりむけるような回路を採用し、電流を制限して雑音の発生を最小限にとどめるように回路を設計試作したところ予期以上に良好な結果をえたので報告する。

§ 2.

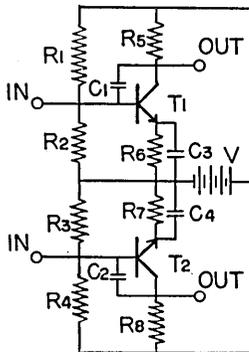


Fig. 1. Circuit of the pre-amplifier.

R1, R4, 200 K Ω .
 R2, R3, 100 K Ω .
 R5, R6, R7, R8, 50 K Ω .
 T1, T2, 2T65 (SONY).
 C1, C2, 0.1 μ F.
 C3, C4, 200 μ F.
 V, UM-3A \times 4 (6V).

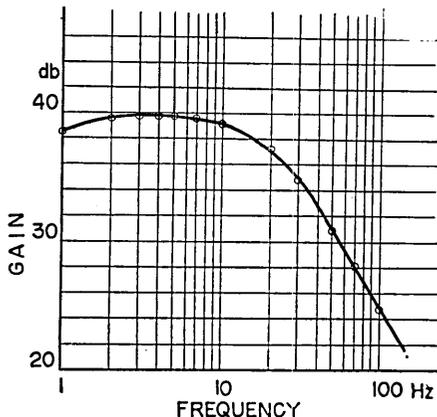


Fig. 2. Gain-frequency characteristic of the pre-amplifier at 20°C.

最初に前置増幅器の必要条件としてかんがえられることは、つぎのとおりである。

1. 入力換算の発生雑音 level がひくい.
2. 小型軽量しかも安定で取扱い簡単である.
3. 製品の特性が均一で調整が簡単である.
4. 主増幅器あるいはその電源から作用をうけず、また作用をあたえない.
5. 換振器に作用をあたえず、また作用をうけない. そのため装置の入力 impedance が充分にたかい.
6. 利得周波数特性が 1~30 c/s の範囲で平坦である.
7. 消費電力がすくなく乾電池で長期使用ができる.

今回試作した装置は入力 impedance が充分たかくとれず、しかも周波数特性をもつため、換振器によつては制動作用が影響をうける欠点があり 5) の条件において不満足であるが、その他の条件はすべてみたすことができた。

第 1 図にこの transistor 前置増幅器の配線図をしめす。

この回路はごく平凡な emitter 接地の回路に、高域遮断の負帰還をかけたものである。雑音発生をおさえるために諸抵抗値をたかくとり、偏倚電流は非常にひくくとつている。

第 2 図、第 3 図に利得周波数特性と入力

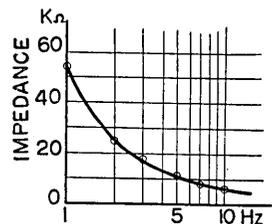


Fig. 3. Input impedance-frequency characteristic of the pre-amplifier at 20°C.

impedance 周波数特性をしめす。入力 impedance の周波数特性は emitter に挿入してある $200 \mu\text{F}$ の側路 condenser によるもので、利得の周波数特性はこの condenser と $0.1 \mu\text{F}$ の負帰還 condenser の双方の作用で高域、低域の利得低下をしめす。

勿論これらの周波数特性は観測のためには平坦であることがのぞましいが、利得をたかくとり、しかも温度特性や安定度のよいことの利益がこの欠点による損失よりもおおいのでこの回路を採用した。

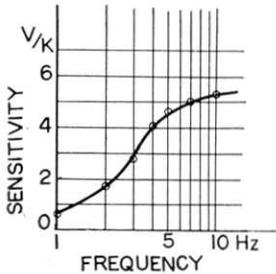


Fig. 4. Velocity sensitivity-frequency characteristic of the transducer when the output is terminated with 60 kilo-ohms.

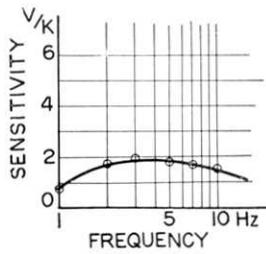


Fig. 5. Velocity sensitivity-frequency characteristic of the transducer when the output is terminated with the pre-amplifier.

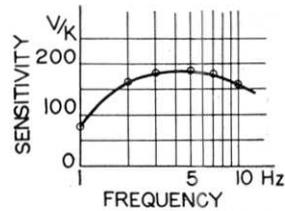


Fig. 6. Velocity sensitivity-frequency of the pre-amplifier output when the input is supplied with the transducer used.

第4図、第5図に負荷抵抗 $60 \text{ K}\Omega$ を結合したとき、またはこの増幅器を結合したときの、すでにのべた本所技術部製作の新型換振器の出力周波数特性、第6図にそのときの増幅器出力周波数特性をしめす。目的によつては速度感度特性の平坦部が換振器単独の場合よりもひろいから便利でもある。しかし、これは特性を実験からもとめる場合はよいが、計算で算出することは複雑になる。

この回路はいわゆる安定指数を、良好なあたにとるよう設計してあるから、製法上均一性ののぞめない transistor を使用しても、一応均一の特性的装置をうることができるし、温度による動作点の移動もすくないので温度特性も比較的よい。

試作した装置と前記換振器の外観写真を第7図にしめす。この試作に際しては形態を特に小型化することに努力しなかつたので、散漫で、ややおおきな容積のものになつてはいるが、空間をもつと上手に利用すればこの $1/3$ 程度にはおさまるはずであるから、取扱いは便利であり、換振器の一部と

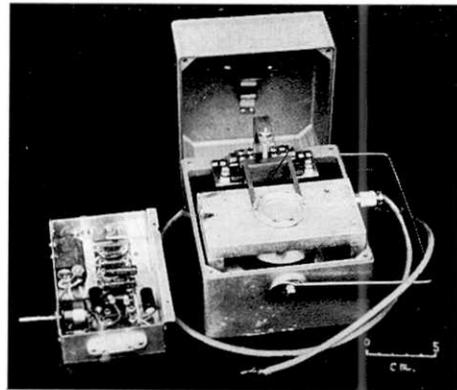


Fig. 7. Appearance of the amplifier and the transducer used.

してあつかつてもよいとおもわれる。

§ 3.

この装置の使用電力は $6\text{ V } 200\ \mu\text{A}$ 。この消費状況では単 3 乾電池 4 本を 6 V で使用して電池寿命は 6 ヶ月以上になる。発生雑音は入力換算値で $0.1\ \mu\text{V}$ 以下の低雑音で、非常にすぐれた性能といえる。同程度の低雑音を真空管増幅器でうることはほとんど不可能である。かかる意味を総合して、今日試作した前置増幅器は現在まで実施することができなかつた程度の高感度で、極微小地震動の観測を、装置の雑音にわずらわされることなく安定な状態でおこなうことを可能ならしめたことで意義をもっている。

このほか、この装置を使用してえられる利点は入力 impedance をなるべくたかくし、換振器に直流をながしたり、あるいは換振器を結合することによつて、回路の動作点がかわらないように対称型に回路が構成されているので、同相の雑音入力が消去されていることである。

このことは換振器と主増幅器との距離がはなれていたりするときにおきる、交流静電誘導による観測妨害をすくなくするのに有効で、このため換振器の設置ならびにそのための野外配線作業は非常にらくになった。

また、この装置は利得が充分たかくとつているので、換振器を小型化したり、主増幅器の利得をさげ安定度を増加させたり、電源を簡略化したりすることに利得をふりむけることができるから、地震計としての安定度やとりあつかいの点、あるいは装置の簡易化にやくだち、安定した電子地震計による経常的観測をおこなうことができ、また臨時的にその利得をおおきくあげて超微小地震動の観測をこころみることができるなど地震観測法の向上に資するところがおおきいものと確信する。

第 8 図に感度 2 mm/mV の主増幅器にこの装置を結合し、筑波地方の微小地震を観測した例を H.E.S. 短周期 ($T_0 = 1\text{ s}$, $T_g = 0.1\text{ s}$) によつてえられた記録とならべしめす。

おわりにこの装置を試作するにあたり、研究室主任宮村助教授の御指導御援助ならびに技術部後藤健一技官の御助力をえたことを感謝する。

33. *Transistor Pre-amplifier for a Seismograph.*

By Hideteru MATUMOTO,
Earthquake Research Institute.

In order to construct a high sensitive electronic seismograph, the author designed a transistor pre-amplifier.

At present, we have only low sensitive seismographs, source power for which is supplied exclusively by commercial A.C. mains, owing to the restriction of practical operating conditions in observations.

There are two kinds of troubles in the multi-stage high gain E.L.F. amplifier which is supplied with eliminated D.C. source. One of the troubles comes from high

level noise which is generated in a head vacuum tube or included primarily in the source, and the quality of amplifier is limited by it. The other trouble is poor stability of the eliminated D. C. source itself, and the quality of amplifier is also limited by the disturbances coming from motorboating or other fluctuation in the source.

Of course, these defects can be removed by making use of D.C. source from a secondary battery, using it in a condition of lower voltage than usual, but this will be only possible in well-equipped stations.

In higher frequencies we can easily get a higher gain amplifier with high stability, putting a transformer between transducer and amplifier in order to step up voltage or current and to take matching between transducer and amplifier. But we can not design such a transformer that can serve satisfactorily in our frequency band, 1~30 Hz.

Thus the author decided to adopt transistor pre-amplifier which can serve in satisfactory condition without any restrict of main amplifier or its eliminated D. C. source, and shows excellent characteristics in noise, frequency, gain and temperature effect, with a low consumption of small dry cell D.C. source. Total consumption of source is 6 V, 200 μ A, and in this condition life of dry cell (4 units of UM-3A 1.5 V) is about 6 months.

Circuit noise of the pre-amplifier is less than 10 μ V, which is equivalent to the input voltage less than 0.1 μ V, and consequently, the limit of amplifier sensitivity due to the generated noise is 10 mm/ μ V, which cannot be obtained easily by vacuum tube amplifier.

In general, the characteristics of transistor are deviated by temperature fluctuation but the author succeeded to stabilize temperature characteristic in gain by a choice of circuit construction. Deviation of gain is restricted within ± 2 db in 0~40°C temperature range.

The circuit of the pre-amplifier is shown in Fig. 1.

In order to decrease noise generation and to increase input impedance, all resistances were chosen as large as possible, and the current flowing in each part of the circuit is limited in the smallest condition for the transistor 2T-65 (Sony).

Fig. 2 and Fig. 3 show the characteristics of gain-frequency and input impedance-frequency. They are not sufficient for our purpose, but we can only get satisfactory stability, high gain and low noise in sacrificing their characteristics. Fig. 4, 5 and 6 are frequency characteristics of the transducer and amplifier outputs. Fig. 5 shows an effect of the input impedance, but in case of using other low sensitive transducer, this effect does not appear so clearly.

In our observations we put transducers a good distance off from the main-amplifiers to keep out of the artificial ground motions or to set up a small tripartite station, and consequently, we had to stretch several hundred meters of wire between the transducer and the main-amplifier, which circumstance, hereto-fore, often gave us much trouble by disturbances of A.C. influence induced from the wire and transducer itself. But now the disturbances of A.C. influence was decreased by push-pull phase composition in the circuit and suppression by the high level output resulting from amplification of weak signals by the pre-amplifier, and thus we have not to care about in the operation of wire stretch.

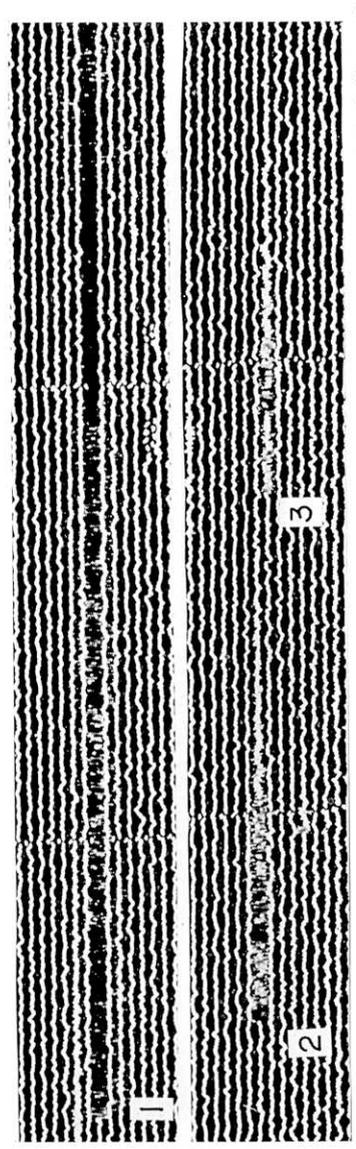
Moreover, the delicacy in practical operation of a high gain amplifier owing to the complex adjustment required was removed by using this pre-amplifier to make up deficit gain for higher sensitivity which had to be lowered to increase stability of main-amplifier and its power source.

Fig. 7 shows the appearance of the pre-amplifier and the transducer, the character-

istics of which are shown on the preceding page.

Reproductions in Fig. 8 indicate the seismograms obtained by the two kinds of seismographs. One is recorded by H.E.S. short period, and the other is obtained by an electronic seismograph which consists of the transducer, the pre-amplifier and a main-amplifier with lowered sensitivity of 2 mm/mV.

Thus we conclude that, by introducing the pre-amplifier, the stability and sensitivity for minor shock observations would become higher than those which have been so far attained by ordinary electronic seismographs.



H.E.S. SHORT PERIOD
 (2cm on original film)

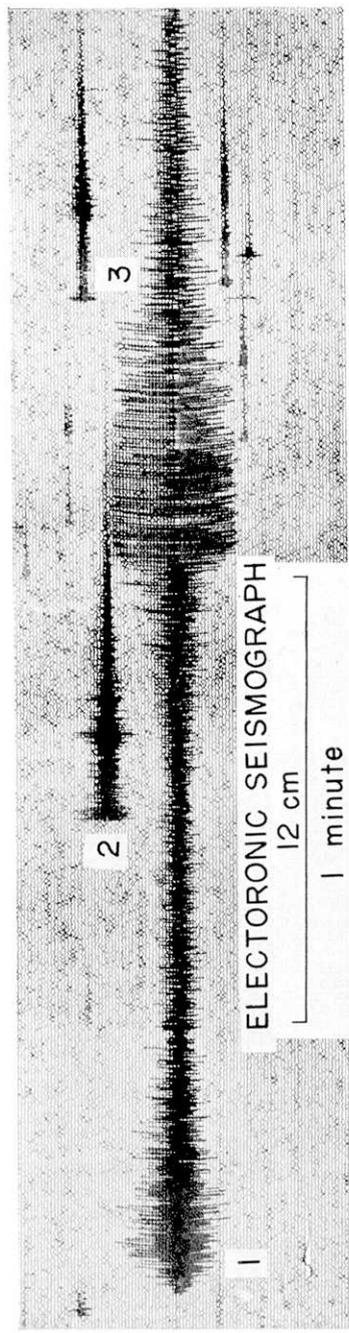


Fig. 8. Example of seismograms recorded at T sukuba by H.E.S. short period ($T_0 = 1$ s, $T_g = 0.1$ s, $V_{max} = 21,250$ on original film) and by the electronic seismograph with transistor pre-amplifier.