

Werk

Jahr: 1970

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:36

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0036

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0036

LOG Id: LOG_0167

LOG Titel: Ein einfacher elektronischer Entzerrer für Seismometer

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Ein einfacher elektronischer Entzerrer für Seismometer¹⁾

A Simple Inverse Filtering Circuit for Seismometers¹⁾

Von E. WIELANDT, Karlsruhe²⁾

Eingegangen am 12. Februar 1970

Zusammenfassung: Mit elektronischen Schaltkreisen läßt sich der Frequenzgang eines Seismometers in gewissen Grenzen korrigieren. Die Schaltung eines mit Halbleitern bestückten Entzerrers wird angegeben, der für wartungsfreien Dauerbetrieb geeignet ist. Die Grenzen der Entzerrung werden aufgezeigt.

Summary: The response of a seismometer may be corrected by electronic inverse filters. A filter circuit using semiconductors is described which will operate over indefinite time without service. The limits of inverse filtering are pointed out.

Der Gedanke, den Frequenzgang von Seismometern durch eine elektronische Schaltung zu korrigieren, ist nicht neu (z. B. WEBER 1961). Wenn trotzdem gelegentlich die Entzerrung als ungelöstes Problem betrachtet wird, so sind daran technische Schwierigkeiten schuld, die mit der Verwendung von Elektronenröhren verbunden waren. Heute erlaubt die moderne Halbleitertechnik die Realisierung leistungsfähiger und problemloser Entzerrer. Die vorliegende Arbeit beschreibt Aufbau und Abgleich eines Entzerrers, der die Eigenperiode eines 2-sec-Seismometers scheinbar auf 30 sec verlängert.

1. Wirkungsweise des Entzerrers

Das Ausgangssignal eines elektrodynamischen Seismometers verschwindet bei tiefen Frequenzen mit dem Quadrat der Frequenz, bezogen auf gleichbleibende Schwinggeschwindigkeit. Dieser Abfall bleibt grundsätzlich auch bei noch so hoher Nachverstärkung bestehen. Deshalb läßt sich der Frequenzgang des Seismometers niemals bis zur Frequenz Null herab entzerren; es kann sich nur darum handeln, die untere Grenzfrequenz herabzudrücken. Hierfür gibt es, sowohl schaltungstechnisch wie von der resultierenden Übertragungsfunktion her, mehrere Möglichkeiten [O'BRIEN 1965; HOSKEN 1965; RUSSEL, MELDRUM und JENSEN 1968; PLEŠINGER 1968]. Die einfachste Methode ist es, den Frequenzgang eines tiefer abgestimmten Seismometers nachzubilden; die Gesamtcharakteristik ist dann auch ohne Formelrechnung überschaubar.

¹⁾ Veröffentlichung Nr. 59 aus dem Geophysikalischen Institut der Universität Karlsruhe.

²⁾ E. WIELANDT, Geophysikalisches Institut der Universität Karlsruhe, 75 Karlsruhe, Hertzstraße 16.

Der Vorgang der Entzerrung läßt sich am leichtesten mit Hilfe der komplexen Wechselstromrechnung darstellen. $\omega = 2\pi f$ bedeute stets die Kreisfrequenz, auch wenn nur von Frequenz die Rede ist. Sei ω_0 die Eigenfrequenz des vorhandenen Seismometers und λ der eingestellte Dämpfungsfaktor ($\lambda = 1$ bedeute kritische Dämpfung). C sei die elektrodynamische Spulenkonstante. Das Seismometer hat dann als Geschwindigkeitsmesser die Charakteristik

$$S(\omega) = \frac{C\omega^2}{-\omega^2 + 2i\omega\omega_0\lambda + \omega_0^2} \tag{1}$$

Durch Nachschalten des Entzerrers soll ein System mit niedrigerer Eigenfrequenz ω'_0 und vielleicht auch anderer Dämpfung λ' entstehen:

$$S'(\omega) = \frac{C\omega^2}{-\omega^2 + 2i\omega\omega'_0\lambda' + \omega'^2_0} \tag{2}$$

Dazu muß der Entzerrer die Übertragungsfunktion

$$V(\omega) = \frac{S'(\omega)}{S(\omega)} = \frac{-\omega^2 + 2i\omega\omega_0\lambda + \omega^2_0}{-\omega^2 + 2i\omega\omega'_0\lambda' + \omega'^2_0} \tag{3}$$

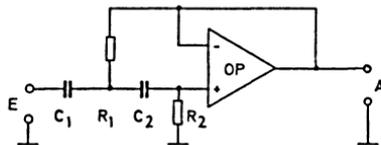


Abb. 1: Seismometer - Ersatzschaltung. — Seismometer simulating circuit.

OP ist ein Operationsverstärker, also ein Gleichspannungs-Differenzverstärker sehr hoher Verstärkung. Für Versuche eignet sich der integrierte Typ $\mu A 741$. Die Übertragungsfunktion der Schaltung ist

$$\frac{U_A}{U_E} = \omega^2 \left/ \left(\omega^2 - i\omega \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 R_2} - \frac{1}{C_1 R_1 C_2 R_2} \right) \right.$$

Durch Koeffizientenvergleich mit (1) lassen sich die Bauteile berechnen.

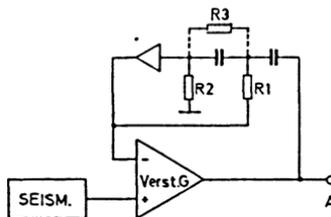


Abb. 2: Prinzipschaltbild des Entzerrers. — Block diagram of the inverse filtering circuit.

aufweisen. Nach HOSKEN [1965] erreicht man dies wie folgt: Zunächst wird eine elektrische Ersatzschaltung des Seismometers hergestellt, also ein elektrisches Netzwerk, dessen Übertragungsfunktion durch Formel (1) gegeben ist. Wegen der niedrigen Frequenz kommt nur eine aktive Schaltung in Frage (Abb. 1). Diese wird im Gegenkopplungsweig eines Operationsverstärkers angebracht (Abb. 2). Im Idealfall unendlich hoher Verstärkung wäre die Gesamtschaltung ein inverses Filter zum Seismometer. Bei endlicher Verstärkung G erscheint die Eigenfrequenz um den Faktor $\sqrt{G+1}$ herabgesetzt. Gleichzeitig verringert sich scheinbar die Dämpfung. Man fügt deshalb in die Ersatzschaltung den „Dämpfungswiderstand“ R_3 ein (Abb. 2). Die Teile können so bemessen werden, daß der Entzerrer in einem sehr weiten Frequenzbereich nach Betrag und Phase den durch (3) geforderten Frequenzgang annimmt. Damit ist die Aufgabe grundsätzlich gelöst.

2. Elektronisches Rauschen

Bei der Konstruktion eines Entzerrers müssen zwei Störgrößen sorgfältig beachtet werden: elektronisches Rauschen und Temperaturdrift. Nach (3) hat der Entzerrer bei sehr tiefen Frequenzen die Verstärkung ω_0^2/ω'^2 , hier z. B. 225fach. Um diesen Faktor wird nicht nur das Nutzsignal, sondern auch Rauschen und Drift des vorgeschalteten Geophonverstärkers angehoben. Dies setzt der Verkleinerung von ω_0' eine Grenze: sie liegt dort, wo das bei tiefen Frequenzen rasch schwächer werdende Nutzsignal unter das Verstärkerrauschen absinkt. Voraussetzung für eine wirksame Entzerrung ist daher ein bei tiefen Frequenzen besonders rauscharmer Vorverstärker. Über das tieffrequente Rauschen machen die Hersteller meist keine Angaben. Erreichbar sind mit handelsüblichen Transistoren Eingangsräuschsignale um $0,1 \mu V_{\text{eff}}$ im Periodenbereich 10...1000 sec. Für ein gegebenes Seismometer läßt sich das Rauschsignal in eine äquivalente Bodenbewegung umrechnen, die dann die sinnvolle Vergrößerung begrenzt. Kritisch ist immer die tiefste noch zu übertragende Frequenz. Als Beispiel sei für zwei gebräuchliche Seismometertypen die Grenzvergrößerung genannt:

1000fache Vergrößerung bei 30 sec mit einem 2-sec-Seismometer (Geotech S 13, 1,5-k Ω -Spule); äquivalente Bodenunruhe etwa $\pm 0,5 \mu$;

3000fache Vergrößerung bei 100 sec mit einem 30-sec-Seismometer (Sprengnether 201, 100-k Ω -Spule); äquivalente Bodenunruhe etwa $\pm 0,15 \mu$.

Bei dieser Vergrößerung entsteht in der Registrierung durch das elektronische Rauschen eine Unruhe von $\pm 0,5$ mm, die erfahrungsgemäß noch nicht stört, da sehr tiefe Frequenzen vorherrschen und der Spitzenwert selten angenommen wird.

Eine wesentliche Steigerung der Empfindlichkeit (um den Faktor 10...30) ist mit photoelektrischen Verstärkern möglich [PLEŠINGER 1968]. Bei Perioden oberhalb etwa 10 sec bringt auch der Einsatz von Wegaufnehmern Empfindlichkeitsvorteile. Für Breitbandssysteme ist allerdings wegproportionale Registrierung im allgemeinen nicht vorteilhaft, da bei höheren Frequenzen die Amplituden zu klein werden.

3. Temperaturstabilität

Im Gegensatz zum Rauschen läßt sich der Einfluß der Temperaturdrift verhältnismäßig leicht ausschalten. Die in der Eingangsstufe der meisten Geophonverstärker verwendeten Doppeltransistoren bringen eine Temperaturdrift von $2...5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ am Eingang. Ein einfacher Thermostat, in dem man am besten den ganzen Verstärker unterbringt, setzt die gesamte Drift bereits auf $\pm 1 \mu\text{V}$ herab. Die alterungsbedingte Restdrift macht allerdings trotzdem noch gelegentliches Nachstellen erforderlich. Beim hier beschriebenen Entzerrer wurde das Problem noch einfacher gelöst: Eine zusätzliche Gegenkopplung über einen Tiefpaß sehr niedriger Grenzfrequenz (etwa $0,0005 \text{ Hz}$) läßt die Verstärkung des Entzerrers bei Frequenzen unterhalb $0,005 \text{ Hz}$ wieder abfallen bis auf den Wert 1 bei Gleichspannung. Damit entfallen alle durch die Verstärkerdrift entstehenden Schwierigkeiten. Dafür muß man auch bei höheren Frequenzen eine unbedeutende Abweichung des Frequenzgangs von Formel (3) in Kauf nehmen. Der so ergänzte Entzerrer arbeitet ohne Nachstellen über unbegrenzte Zeit. Er kann sogar an den Ausgang einer Telemetriestrecke angeschlossen werden, so daß für das entzerrte Signal kein zusätzlicher Übertragungskanal erforderlich wird. Bei Magnetbandaufzeichnung empfiehlt es sich allerdings, das Signal vor der Aufnahme zu entzerren.

4. Elektrische Daten des Entzerrers nach Bild 3

Stromversorgung	$\pm 12 \text{ V}/8 \text{ mA}$
Mechanische Eigenperiode des Seismometers	2 sec
Scheinbare Eigenperiode nach Entzerrung	30 sec
Verstärkung bei Gleichspannung	1
im Bereich $0,005 \text{ Hz}...0,03 \text{ Hz}$ max	225
bei hohen Frequenzen ($> 1 \text{ Hz}$)	1
Amplitudenfehler $0,01 \text{ Hz}...100 \text{ Hz}$	$< 1\%$
Phasenfehler $0,03 \text{ Hz}...100 \text{ Hz}$	$< 0,6^\circ$
Aussteuerbarkeit am Ausgang	$\pm 10 \text{ V}$
Eigenrauschen am Ausgang $0-1000 \text{ Hz}$	$\pm 2,5 \text{ mV}$
Dynamikumfang	72 dB

5. Abgleich

(Bezeichnung der Abgleich- und Meßpunkte nach Abb. 3)

Zum Abgleich des Entzerrers benötigt man elektrische Ersatzschaltungen für das vorhandene und das gewünschte Seismometer, etwa nach Abb. 1. Außerdem wird ein Sinusgenerator ($1 V_{\text{eff}}$ bei $0,01...100 \text{ Hz}$) und ein Speicheroszillograf oder XY-Schreiber mit Differenzeingang 10 mV/cm gebraucht. Die Geräte werden nach Abb. 4 zusammengeschaltet. Bei dieser Anordnung wird nicht das entzerrte Signal selbst,

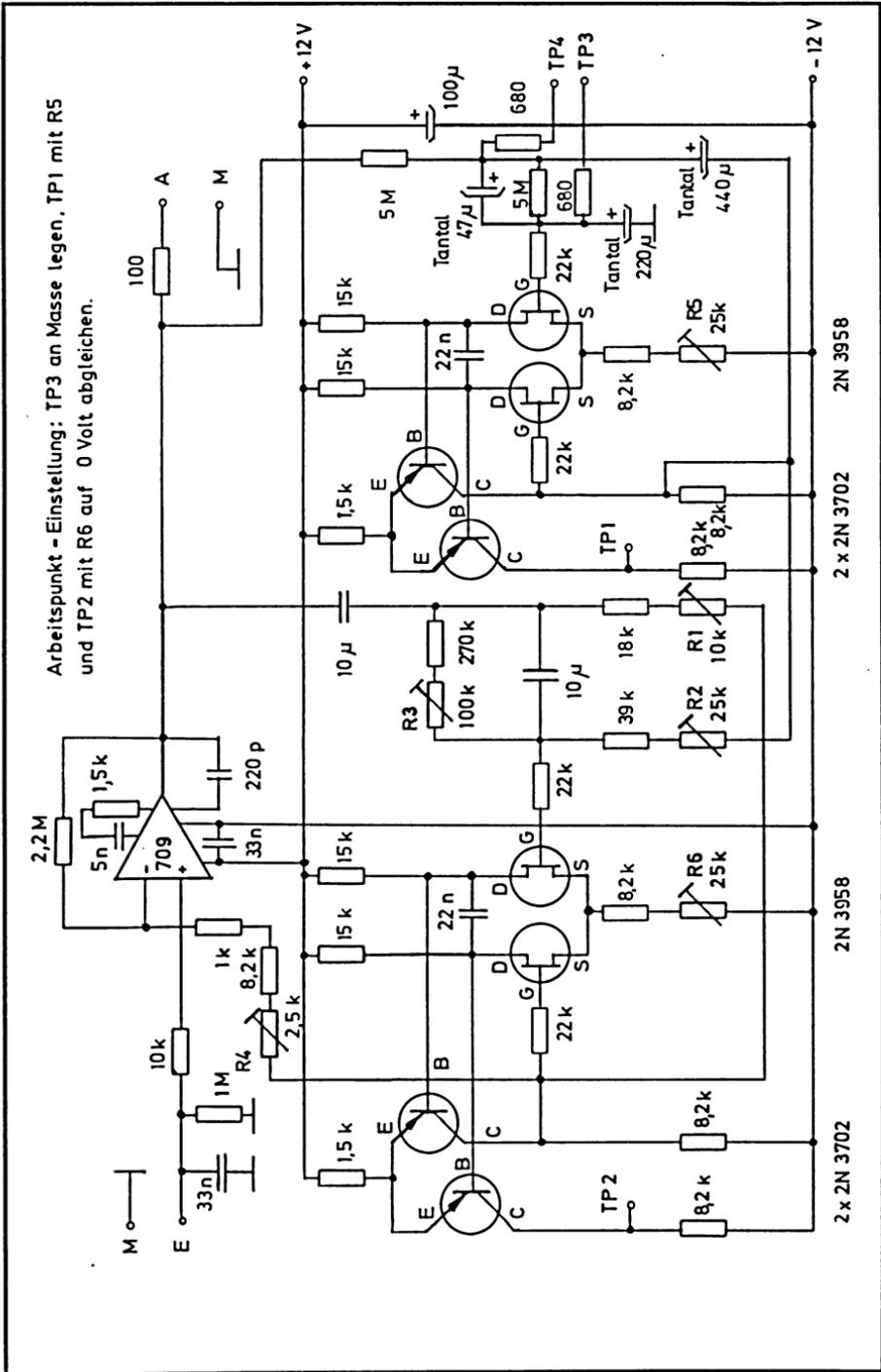


Abb. 3: Vollständiger Schaltplan des Entzerrers. — Detailed diagram of the inverse filtering circuit.

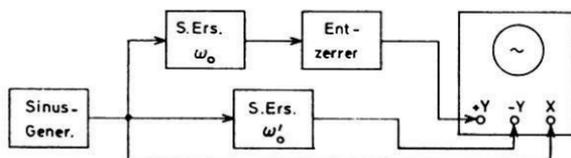


Abb. 4: Abgleich und Prüfung. — Adjusting and testing.

sondern seine Abweichung vom „Sollwert“, nämlich dem Ausgangssignal des langperiodischen Seismometers, angezeigt. Aus der auf dem Bildschirm erscheinenden Ellipse lassen sich in bekannter Weise Amplitude und Phase des Fehlersignals, bezogen auf das Eingangssignal, ablesen. Die Regler R 1...R 4 müssen so eingestellt werden, daß der Fehler über den ganzen Frequenzbereich möglichst klein wird. Es hat sich bewährt, R 1 und R 2 bei der mechanischen, R 3 und R 4 bei der scheinbaren Eigenfrequenz abzugleichen. Der Abgleich muß mehrfach wiederholt werden, da sich die Regler gegenseitig beeinflussen.

Nach dem Einschalten und nach Störungen braucht der Entzerrer längere Zeit, um einzuschwingen. Es sollte daher eine Schnellstart-Taste vorgesehen werden, die TP 3 und TP 4 mit dem Ausgang verbindet; dadurch wird der Einschwingvorgang auf Sekunden verkürzt.

6. Ergebnisse

Der Entzerrer erwies sich als besonders geeignet, um ohne zusätzliche Seismometer neben der kurzperiodischen Routineregistrierung auch eine langperiodische zu gewinnen. S-Einsätze und Oberflächenwellen, die in der kurzperiodischen Registrierung nur schwer oder gar nicht erkennbar sind, fallen auf der entzerrten Spur sofort ins

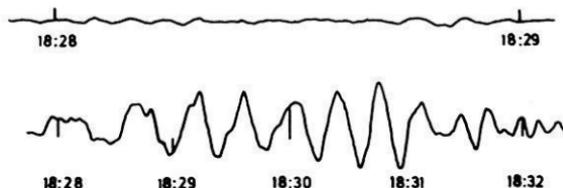


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Seismogramm des Nordatlantik-Bebens vom 24. Sept. 1969, 18:03 GMT;

obere Spur: 2-sec-Seismometer, Originalvergrößerung 40000 bei 1 Hz;

untere Spur: dasselbe Signal nach Entzerrung, Originalvergrößerung 20000 bei 1 Hz.

Seismogram section;

upper trace: 2 sec seismometer, orig. magnif. 40000 at 1 cps;

lower trace: the same signal after inverse filtering, orig. magnif. 20000 at 1 cps.

Auge. Ein Beispiel gibt Abb. 5. Der Entzerrer arbeitet seit fast zwei Jahren störungsfrei. Allgemein ist elektronische Entzerrung immer dann vorteilhaft, wenn es nicht auf extreme Vergrößerung, sondern auf Stabilität und Betriebssicherheit ankommt. Es ist dann möglich, ohne Verlust an Information die mechanische Eigenperiode des Seismometers so zu wählen, daß keine Stabilitätsprobleme mehr auftreten. Die elektrischen Daten des Entzerrers sind auch bei einfachstem Aufbau wesentlich stabiler als die mechanischen des Seismometers.

Literatur

- HOSKEN, J. W. J.: Simulators of Galvanometers and Geophones. *Geophys. Prospecting* 13, 362—386, 1965
- O'BRIEN, P. N. S.: Geophone Distortion of Seismic Pulses and its compensation. *Geophys. Prospecting* 13, 283—305, 1965
- PLEŠINGER, A.: Entwurf von photoelektrischen Rückkopplungsverstärkern mit vorgeschriebenen Übertragungseigenschaften. *Studia geoph. et geod.* 12, 50—55, 1968
- RUSSELL, R. D., R. D. MELDRUM, and O. G. JENSEN: The Maxwell Bridge as a Circuit Element in Electromagnetic Feedback Seismographs. *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 5, 1621—1630, 1968
- WEBER, M.: Ein exakter Seismograph. *Geofisica pura e applicata* 48, 35—39, 1961.

