

Versuch 340

Elektrische Messtechnik / EEG

1. Grundlagen

1.1 Allgemeines

Zum Praktikumsversuch „Elektrische Meßtechnik“ existiert eine erweiterte Praktikumsbeschreibung, die Ihnen mit Beginn des Versuchs ausgehändigt wird. Diese ermöglicht Ihnen die Bedienung der Gerätetechnik.

1.2 Zielstellung

Der Praktikumsversuch „Elektrische Meßtechnik“ dient zur Vertiefung der in der Vorlesung gegebenen Grundlagen zur Verstärkertechnik, Übertragungseigenschaften von Verstärkern und zum Kennenlernen der Wirkung der Übertragungseigenschaften (Hoch und Tiefpaßwirkung) auf charakteristische Signale. Durch praktische Meßaufgaben wird die Übertragungsbandbreite des Verstärkers bestimmt und anhand definierter Signale (Sinus und Rechtecksignale) getestet.

1.3 Medizinische Gerätetechnik

Der Praktikumsversuch wird mit einem Elektroenzephalographen durchgeführt. In der klinischen Anwendung werden damit auf der Kopfhaut gemessene elektrische Potentialschwankungen (Spannung im Mikro (10^{-6}) - Voltbereich) verstärkt und mittels Papierschreiber aufgezeichnet. Diese Registrierung wird Elektroenzephalogramm (EEG) genannt. Das EEG ist eine wesentliche Diagnosemethode in der experimentellen und klinischen Neuroelektrophysiologie, mit der Sie noch mehrmals in Ihrer vorklinischen und klinischen Ausbildung zu tun haben werden. Wie in anderen medizinisch genutzten Geräten ist auch hier das allgemeine Meßkettenprinzip verwirklicht. Der Elektroenzephalograph BST 1 besteht aus 3 wesentlichen Einheiten:

A) Anschlussfeld, B) Verstärkerteil und C) Registrierteil.

Anwendung

Klinische Hauptanwendungen:

- Diagnostik und Therapieverlaufskontrolle aller Funktionsstörungen des Großhirns, besonders krankhafter Erregungssteigerungen (Gruppe der Anfallsleiden = Epilepsien), bewusstseinsstörungen, Hirnfunktionsstörungen durch Stoffwechsel - und Herzkreislaufstörungen.
- Teildiagnostik bei raumfordernden Prozessen in der Schädelhöhle (z.B. Tumore).

Experimentelle Hauptanwendungen:

Erfassung von elektrischen Aktivitätsänderungen in Zusammenhang mit psychischen Prozessen, Definition des Vigilanzzustandes, Schlafanalysen u.a.

1.4 Erläuterungen zu medizinischen Komponenten

1.4.1 Anschlußfeld

Das Anschlußfeld stellt die Koppelstelle zwischen Patient und Gerät dar. Abbildung 1 zeigt dies anhand einer Prinzipskizze. Metallelektroden werden auf der Kopfhaut angebracht (z.B. durch Kleben) und über ein Kabel mit einer Buchse auf dem Anschlußfeld verbunden. Diese Buchsen können mit einem Verstärkereingang verbunden werden. Für die Elektrodenpositionen existiert ein international anerkannter Standard, das sogenannte 10-20 System (tentwenty-System; 10-20 mm Elektrodenabstände).

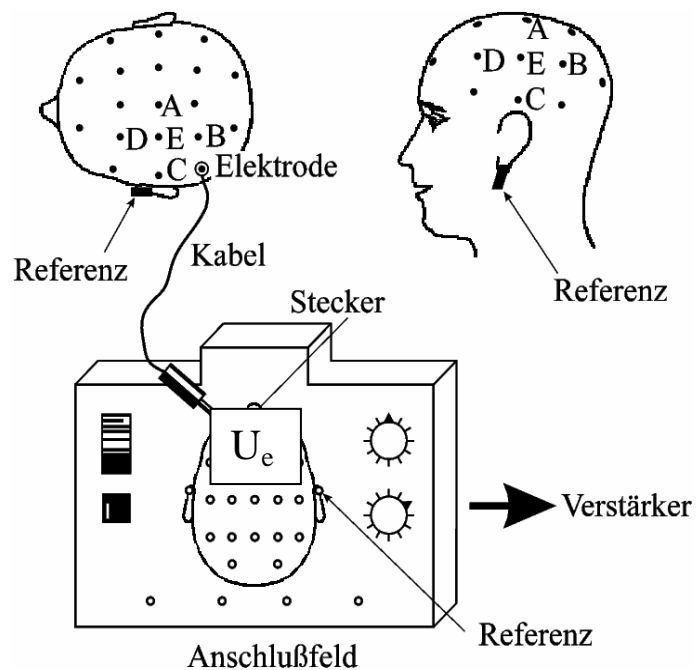
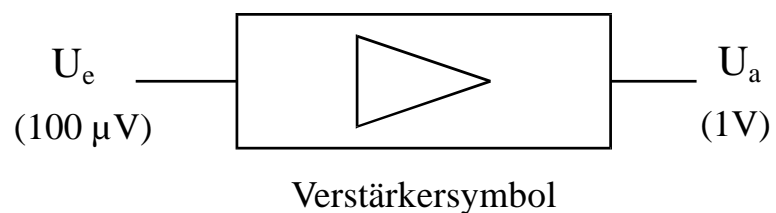


Bild 1

1.4.2 EEG-Verstärker

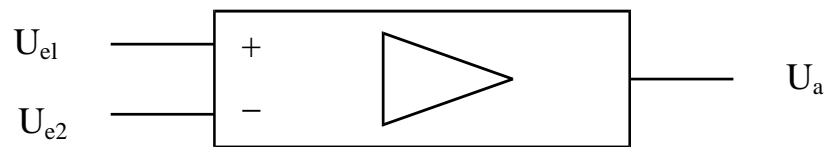
Bild 2 zeigt die Baueinheit, in der sich die Verstärker befinden. Die in einem Wertebereich von 5-100 (selten größer) μV gemessenen Potentialschwankungen müssen für die Papierregistrierung verstärkt werden. Um 100 μV auf eine Spannung von 1V zu verstärken, muß eine Verstärkung von 10000 realisiert werden.

Rechenbeispiel:



$$v = \frac{U_a}{U_e} = \frac{1V}{100 \cdot 10^{-6}} = 10\,000$$

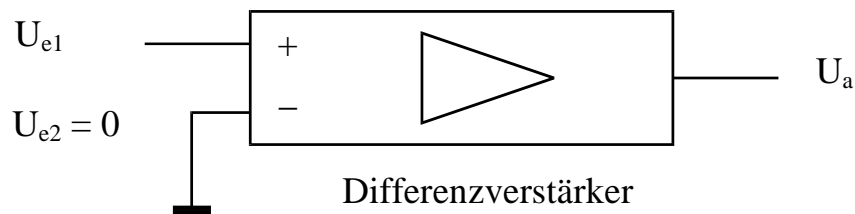
Der Verstärkungsfaktor v ist ein wesentlicher Parameter des Verstärkers. Nach $U_a = v \cdot U_e$ würde bei bekannter Eingangsspannung die Ausgangsspannung angebar sein. Der obigen Darstellung des Verstärkers liegt eine starke Vereinfachung zugrunde, die nachfolgend erklärt werden soll. Die Verstärker des Elektroenzephalographen sind als Differenzverstärker aufgebaut.



Differenzverstärker

$$U_a = v \cdot (U_{e1} - U_{e2})$$

Die Vereinfachung der ersten Darstellung besteht darin, daß U_{e2} als 0-Wert (0-Potential = ideale Referenz) angenommen wird.



Differenzverstärker

$$U_a = v \cdot (U_{e1} - 0) = v \cdot U_{e1}$$

Beide Betriebsarten der EEG - Verstärker sind möglich. Werden zwei Elektroden an die Eingänge geschaltet, so wird die Potentialdifferenz verstärkt.

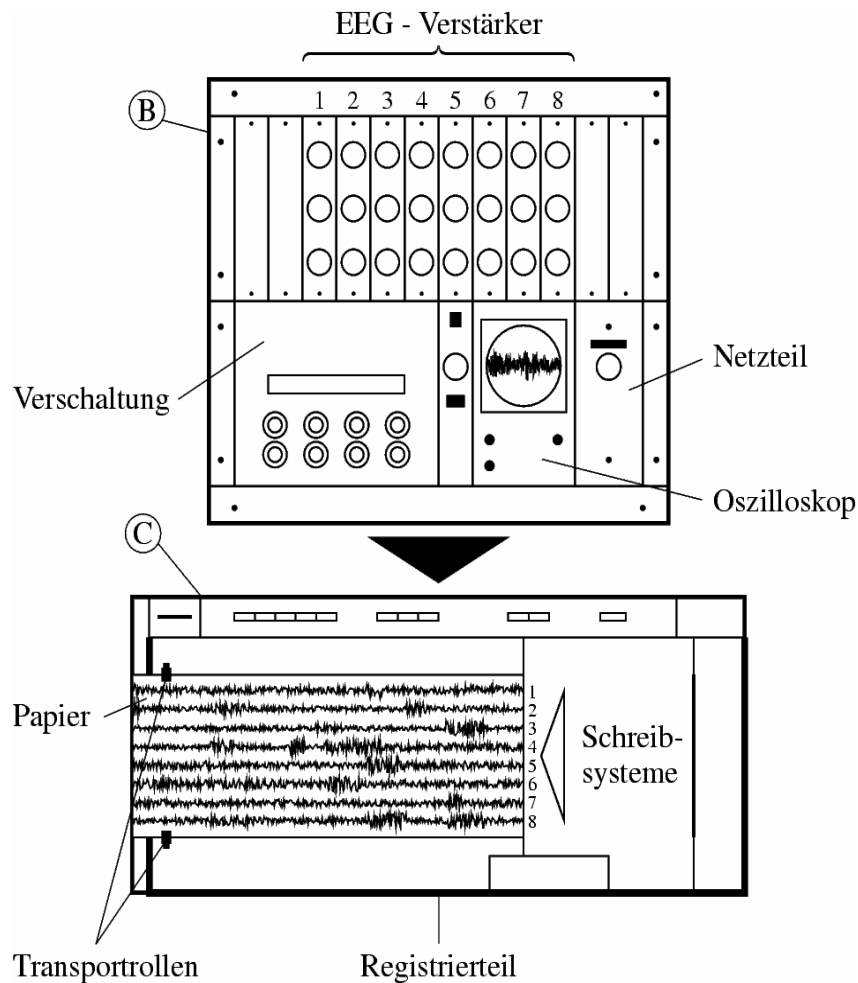


Bild: 2

Diese Messung nennt man in der EEG-Technik bipolare Ableitung. Die Registrierung gegen eine Referenz bedeutet bei 0-Potential an der Referenzstelle die Messung des Potentials an einer Elektrode (monopolare Ableitung). Neben der Verstärkung sind die Übertragungseigenschaften zur Kennzeichnung eines Verstärkers wesentlich.

Was ist darunter zu verstehen ?

Wird am Verstärkereingang ein Sinussignal $u_e(t) = \hat{u}_e \sin 2\pi f t$ mit der Amplitude $\hat{u}_e = 100 \mu\text{V}$ angelegt, so ist bei einer Verstärkung von 10 000 eine Amplitude $\hat{u}_a = 1 \text{ V}$ zu erwarten. Dies ist aber nur für einen bestimmten Frequenzbereich richtig, d.h. auch meßtechnisch so zu ermitteln. Dieser Frequenzbereich, in dem die eingestellte Verstärkung auch ohne Verfälschung wirksam wird, wird Übertragungsbandbreite (Übertragungsbereich) genannt. Außerhalb der Übertragungsbandbreite ist die Verstärkung geringer, wobei mit größer werdendem Abstand die Verstärkung abnimmt. Das heißt, Signale mit geringerer und / oder höherer Frequenz werden gegenüber Signalen mit Frequenzen innerhalb des Übertragungsbereiches gedämpft.

Die Frequenzgrenzen des Übertragungsbereiches werden durch die Parameter untere und obere Grenzfrequenz (f_u , f_o) gekennzeichnet. Die untere Grenzfrequenz (f_u) gibt somit an, daß alle Signale mit tieferen Frequenzen geringer verstärkt also gedämpft werden. Dementsprechend gibt die obere Grenzfrequenz (f_o) an, daß alle Signale mit höheren Frequenzen einer Dämpfung unterliegen.

Beim verwendeten Verstärker sind Verstärkungsfaktor, untere Grenzfrequenz und obere Grenzfrequenz einstellbar.

Mit Hilfe der Einstellung der unteren und oberen Grenzfrequenz können störende Signalanteile, die nicht direkt dem EEG zuzuordnen sind, unterdrückt werden. Dies sind z.B. Schwitzartefakte, die relativ niedrige Frequenzen aufweisen und sich dem EEG überlagern. Durch Wahl einer höheren unteren Grenzfrequenz kann ihre Wirksamkeit bei der Registrierung vermindert werden und somit die Befundung des EEG-Signals gewährleistet werden. Durch Muskelanspannungen (z.B. Gesichtsmuskeln oder Nackenmuskeln) können höherfrequente Störsignale (elektrische Muskelaktivität) in der Registrierung auftreten, die dem EEG überlagert sind. Durch geeignete Wahl einer oberen Grenzfrequenz können diese aus der Registrierung eliminiert werden. Sie werden gegenüber dem EEG-Signal gedämpft.

1.4.3 Darstellung der Übertragungseigenschaften

Es gibt unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten, von denen das sogenannte Bodediagramm alle Sachverhalte einfach, übersichtlich und exakt zu kennzeichnen vermag. Die Amplitudenkennlinie des Bodediagramms charakterisiert das Übertragungsverhalten von Verstärkern (siehe Bild 3). Auf der Ordinate wird die Verstärkung nach der Umrechnung

$$v = 20 \lg \frac{U_a}{U_e} \text{ [dB]}$$

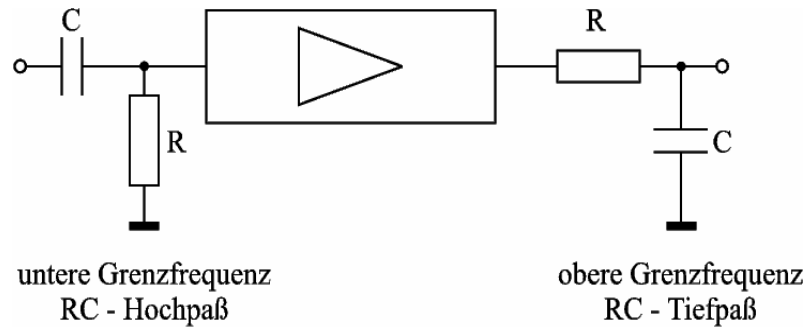
in dB (Dezibel) abgetragen und auf der Abszisse der Logarithmus (lg-Zehnerlogarithmus) der Frequenz. Eine Verstärkung von 10 000 wurde damit einen Wert von 80 dB ergeben.

Rechenbeispiel:

$$v = 20 \lg \frac{1 \text{ V}}{100 \cdot 10^{-6} \text{ V}} = 20 \lg 10^4 = 80 \text{ dB}$$

Der Vorteil dieser Darstellung ist, daß die Dämpfungscharakteristik immer eine Gerade ergibt. Die Stärke der Dämpfung wird durch den Anstieg (Flankensteilheit) der Geraden wiedergegeben (Bild 3). Die Geraden resultieren aus den mathematischen Gesetzmäßigkeiten von RC-Gliedern (Verschaltung von Widerstand R und Kondensator C), die zur Erzeugung der Grenzfrequenz verwendet werden. Es kann folgendes Modell der Erzeugung von unterer und oberer Grenzfrequenz angenommen werden.

Durch Veränderung der C- bzw. R-Werte können die Grenzfrequenzen verändert werden.



Durch Hintereinanderschaltung von RC-Gliedern kann der Dämpfungseffekt und somit die Flankensteilheit der Übertragungskennlinie vergrößert werden. Das gezeigte Modell entspricht der schaltungstechnischen (elektronischen) Realisierung. Änderungen der Werte der Widerstände (R) und der Kondensatoren (C) werden dabei durch Umschalten vorgenommen.

1.5 Registriereinrichtung

Die Registriereinrichtung ist in das Gerätekonzept integriert, das Prinzip ist in Bild 2 dargestellt. Es handelt sich dabei um eine 8-Kanal-Papierregistrierung. Die gemessenen EEG-Daten werden somit einer späteren visuellen Auswertung durch den Arzt zugänglich gemacht und können zeitlich uneingeschränkt archiviert werden.

2. Praktikumsaufgaben

2.1 Allgemeines

Bei der Lösung der Praktikumsaufgaben steht das praktische Kennenlernen von wesentlichen Elementen der elektrischen Meßtechnik anhand medizinischer Gerätetechnik im Vordergrund.

Als Signalquellen werden unterschiedliche Signalgeneratoren benutzt, die charakteristische Signalarten erzeugen.

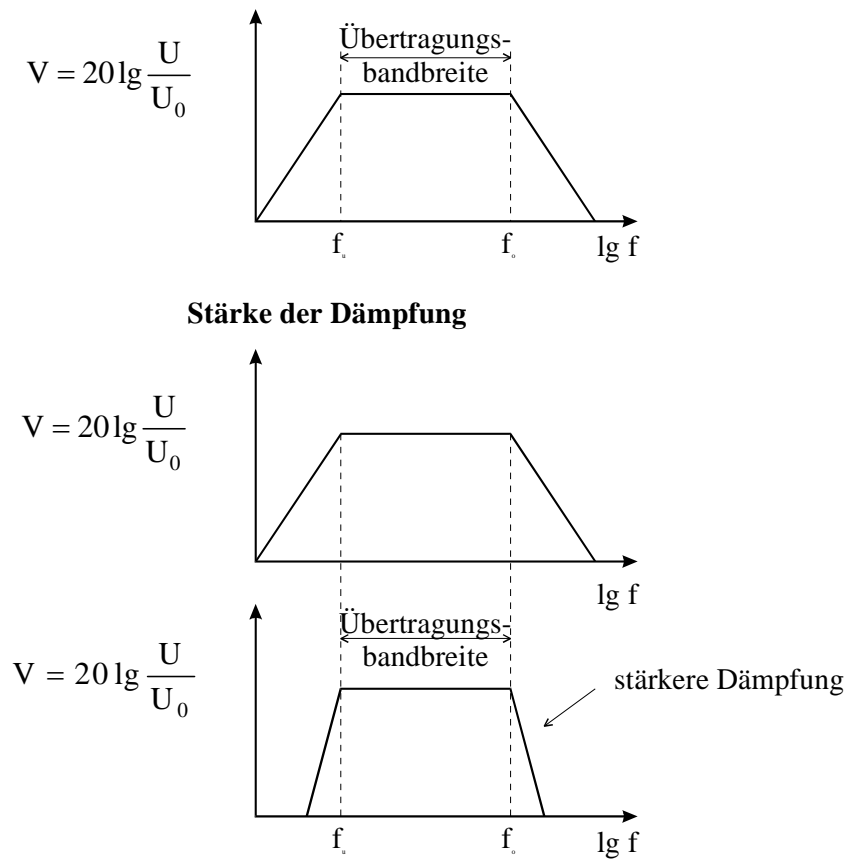


Bild: 3 Darstellung der Übertragungseigenschaften (Bode-Diagramm)

2.2 Aufgaben

2.2.1 Meßtechnische Ermittlung der Übertragungseigenschaften

untere Grenzfrequenz

An einem der 8 Verstärker wird eine untere Grenzfrequenz von 16 Hz eingestellt (Zeitkonstante = 0,01 s), die obere Grenzfrequenz mit 2000 Hz. Der Sinusgenerator ist auf 30 Hz einzustellen und die Amplitude am Verstärkerausgang zu bestimmen. Gemäß der Protokollvorlage ist danach die Frequenz in den vorgegebenen Stufen zu verändern und wiederum die Amplitude auszumessen. Mit der Errechnung der Übertragungskennlinie in diesen Frequenzpunkten und der Darstellung auf Logarithmenpapier erhalten Sie die Übertragungskennlinie im Bereich der unteren Grenzfrequenz. Erläutern und diskutieren Sie das Ergebnis.

Obere Grenzfrequenz

An einem der 8 Verstärker wird eine obere Grenzfrequenz von 30 Hz eingestellt, die untere Grenzfrequenz mit 0,22 Hz (Zeitkonstante = 0,7 s). Der Sinusgenerator ist auf

10 Hz einzustellen und die Amplitude am Verstärkerausgang zu bestimmen. Gemäß der Protokollvorlage ist danach die Frequenz in den vorgegebenen Stufen zu verändern und wiederum die Amplitude auszumessen. Mit der Errechnung der Übertragungskennlinie in diesen Frequenzpunkten und der Darstellung auf Logarithmenpapier erhalten Sie die Übertragungskennlinie im Bereich der oberen Grenzfrequenz. Erläutern und diskutieren Sie das Ergebnis.

Übertragungsbandbreite

An einem der 8 Verstärker wird eine obere Grenzfrequenz von 30 Hz eingestellt, die untere Grenzfrequenz mit 16 Hz (Zeitkonstante = 0,01 s). Der Sinusgenerator ist auf 20 Hz einzustellen und die Amplitude am Verstärkerausgang zu bestimmen. Gemäß der Protokollvorlage ist danach die Frequenz in den vorgegebenen Stufen zu verändern und wiederum die Amplitude auszumessen. Mit der Errechnung der Übertragungskennlinie in diesen Frequenzpunkten und der Darstellung auf Logarithmenpapier erhalten Sie die Übertragungskennlinie.

Erläutern und diskutieren Sie das Ergebnis.

2.2.2 Gleichtaktunterdrückung

Ein Verstärker wird als Differenzverstärker betrieben (siehe Pkt. 1.4.2) und an beide Eingänge das gleiche Sinus-Signal mit einer Frequenz von $f = 10$ Hz gegeben. Diskutieren Sie das Ergebnis.

2.2.3 Wirkung der Übertragungsbandbreite auf überlagerte Signale

Ein Rechtecksignal kann durch Überlagerung definierter Sinus-Signale erzeugt werden.

- a) Erläutern Sie, welche Signalanteile in einem Rechtecksignal der Grundschiwingung 8 Hz erwartet werden.
- b) Testen Sie die vorgegebenen Verstärkereinstellungen mit einem Rechtecksignal der Grundschiwingung 8 Hz
- c) Stellen Sie für jeden Verstärker eine andere Übertragungsbandbreite nach folgendem Muster ein:

1. 0,22 - 2000 Hz (maximale Übertragungsbandbreite)
2. 0,22 - 70 Hz
3. 0,22 - 30 Hz
4. 0,22 - 15 Hz (Tiefpaßverhalten)
5. 16 - 2000 Hz (Hochpaßverhalten)
6. 16 - 30 Hz (schmalbandige Übertragung)
7. + 8. Freie Auswahl

- d) Diskutieren Sie die Ergebnisse.