

Verstärker

E 23

1 Aufgabenstellung

Es sollen die Eigenschaften eines Verstärkers zur Ableitung von Biopotentialen bestimmt werden. Folgende Aufgaben sind dabei zu lösen:

1.1 Messung des Frequenzverhaltens eines Verstärkers mit unterschiedlichen Zeitkonstanten von Hoch- und Tiefpass.

1.2 Bestimmung der Grenzfrequenzen.

1.3 Beschreibung der Signalform eines EKG-Signals bei unterschiedlichen Frequenzverhalten des Verstärkers. Abschätzung der erforderlichen Bandbreite für einen EKG-Verstärker.

2 Grundlagen

Die Übertragung von Signalen (z.B. optische, akustische, elektrische Signale) spielt sowohl in der Technik als auch in Biologie und Medizin eine große Rolle. In der Regel bilden mehrere Übertragungsglieder eine sogenannte Übertragungskette (medizinisches Bsp.: die Hörkette, technisches Bsp.: Mikrofon-Verstärker-Lautsprecher). Damit am Ende ein unverfälschtes Signal ankommt, muss jedes Glied der Übertragungskette gewisse Anforderungen bezüglich Grenzfrequenzen, Verstärkung usw. erfüllen. Diese Begriffe sind deshalb sowohl in Elektronik und Messtechnik als auch in Neurophysiologie und Audiologie gleichermaßen von Bedeutung. So gibt z.B. die Messung der Übertragungseigenschaften der Hörkette (Audiogramm) Hinweise auf die Ursachen einer Schwerhörigkeit.

2.1 Siehe Grundlagen zu Versuch E22 zu folgenden Themen:

- Wechselstrom und Wechselspannung
- Kapazität im Wechselstromkreis

- das RC-Glied als frequenzabhängiger Spannungsteiler
- das Frequenzverhalten von Hochpass und Tiefpass

2.2 Kombiniert man einen Hoch- und einen Tiefpass miteinander, so erhält man einen einfachen Bandpass mit einer Mittenfrequenz f_M . Die untere Grenzfrequenz f_u wird dann durch den Hochpass und die obere Grenzfrequenz f_o durch den Tiefpass bestimmt. Somit bieten RC-Glieder eine einfache Möglichkeit der Signalfilterung, mit der unerwünschte Signalanteile abgeschwächt werden können. Abb.1 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf der Amplitude der Ausgangsspannung im Verhältnis zur Amplitude der Eingangsspannung.

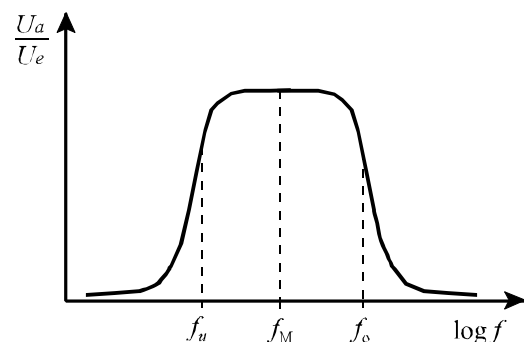


Abb.1: Frequenzverhalten eines Bandpasses

Die Verstärkung V ist das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung:

$$V = \frac{U_a}{U_e} \quad (1)$$

Ein elektronische Verstärker besitzt (wie jedes denkbare Übertragungsglied) eine endliche Bandbreite, d. h., die Verstärkung ist nur in einem gewissen Frequenzbereich näherungsweise konstant. Außerhalb dieses Frequenzbereiches fällt die Verstärkung ab. Die Übertragungsbandbreite

$$\Delta f = f_o - f_u \quad (2)$$

wird durch die obere und die untere Grenzfrequenz bestimmt, sie hängt vom Aufbau des Verstärkers ab. Das Frequenzverhalten des Verstärkers kann durch ein einfaches Ersatzschaltbild (Abb.2) charakterisiert werden. Dabei sagt dieses nichts über den konkreten elektronischen Aufbau des Verstärkers aus, sondern beschreibt nur dessen Übertragungseigenschaften.

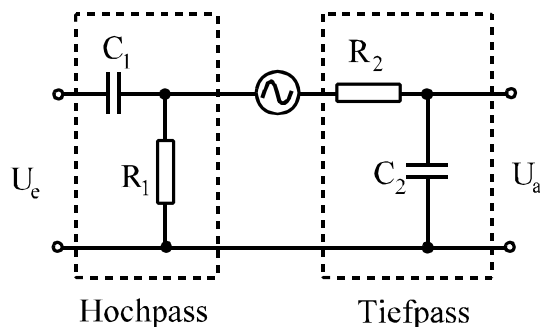


Abb.2: Ersatzschaltbild eines Verstärkers

Die beiden RC-Glieder bilden einen Bandpass. Somit bestimmen sich die Frequenzgrenzen der Übertragungsbandbreite aus den Zeitkonstanten der beiden RC-Glieder. Für diese gilt nach Gl. (15) in Versuch E22:

$$\tau = R \cdot C. \quad (3)$$

Die Grenzfrequenz ist per Definition die Frequenz f , für die $\omega \cdot \tau = 2\pi f \cdot \tau = 1$ ist. Nach Abb.2 ist die untere Grenzfrequenz

$$f_u = \frac{1}{2\pi \tau_1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (4)$$

und die obere Grenzfrequenz

$$f_o = \frac{1}{2\pi \tau_2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}. \quad (5)$$

Aus Gl. (23) in Versuch E22 ist ersichtlich, dass bei diesen Frequenzen die Verstärkung um den Faktor $1/\sqrt{2}$ (gegenüber der normalen Verstärkung) kleiner ist. Dies entspricht einem Abfall um 3 dB (siehe Kasten), denn $20 \cdot \lg(1/\sqrt{2}) \approx -3 \text{ dB}$.

Die Einheit dB (Dezibel)

Die Dezibel-Skala, auch Pegelmaß genannt, ist das logarithmierte Verhältnis einer Größe A bzw. P zu ihrer Bezugsgröße A_0 bzw. P_0 . Der Pegel z ist definiert durch

$$z = 20 \cdot \lg \frac{A}{A_0} = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$

und wird in der Einheit dB angegeben. A hat die Bedeutung einer Amplitude (z.B. Spannung, Strom, Schalldruck), P ist die Leistung (z.B. elektrische Leistung, Schallleistung).

Das Frequenzverhaltens des Verstärkers beeinträchtigt unter Umständen die Übertragung von Signalen.

Das Fouriertheorem besagt, dass jedes beliebige, nichtharmonische (d.h. nicht-sinusförmige) periodische Signal als eine Summe harmonischer (d.h. sinusförmiger) Teilschwingungen aufgefasst werden kann, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz des periodischen Signals sind.

Damit das Signal durch den Verstärker nicht verfälscht wird, muss die Verstärkung für alle im Signal enthaltenen Frequenzanteile gleich groß sein. Die untere Grenzfrequenz des Verstärkers f_u muss kleiner sein als die Grundfrequenz des Signals, die obere Grenzfrequenz muss größer sein als die größte im Signal enthaltene Frequenz.

3 Versuchsaufbau

3.0 Geräte

- Verstärker
- Stromversorgungsgerät HM7042
- Funktionsgenerator HM8130
- Oszilloskop (siehe Anhang)
- Verbindungsleitungen

3.1 Der Verstärker ist komplett aufgebaut in einem Gehäuse untergebracht. Ein Stromversorgungsgerät liefert die notwendige Versorgungsspannung. Achten Sie beim Anschluss auf richtige Polung!

Am Verstärker befinden sich zwei Kipp-schalter, mit denen jeweils die Zeitkonstanten von Hoch- bzw. Tiefpass umgeschaltet werden können. Es gilt $\tau_{H1} > \tau_{H2}$ und $\tau_{T1} < \tau_{T2}$. Das heißt, in der Schalterstellung τ_{H1} und τ_{T1} ist die Bandbreite maximal, mit τ_{H2} wird die Verstärkung tiefer Frequenzen und mit τ_{T2} die Verstärkung hoher Frequenzen eingeschränkt. Die praktische Ausführung der Schaltung wird in Abb.3 gezeigt.

Für die Bestimmung des Frequenzverhaltens liefert der Funktionsgenerator G eine sinusförmige Wechselspannung U_e , die am Eingang des Verstärkers anliegt. Die Ausgangsspannung U_a wird mit einem hochohmigen Spannungsmessgerät (Oszilloskop) gemessen. Die am Generator angezeigte Spannung ist die Spitze-Spitze-Spannung $U_{SS} = 2\hat{U}$! (Siehe Bedienungsanleitung)

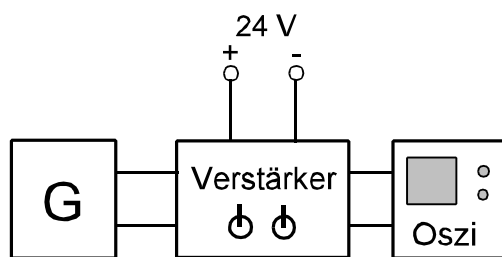


Abb.3: Aufbau der Messschaltung zur Bestimmung des Frequenzverhaltens.

3.2 Für die Untersuchung des Einflusses des Frequenzverhaltens des Verstärkers auf die Signalform eines nichtharmonischen Signals liefert der Funktionsgenerator ein programmiertes EKG-Signal (Arbitrary Funktion). Um eine bessere Darstellung der Signale auf dem Oszilloskop zu ermöglichen, ist dabei die Grundfrequenz des EKG-Signals (die Pulsfrequenz) gegenüber einem normalen EKG um den Faktor 100 und die Amplitude um den Faktor 10 vergrößert. Entsprechend wurden auch die Grenzfrequenzen des Verstärkers verändert. Die prinzipiellen physikalischen Zusammenhänge bleiben dabei erhalten.

4 Versuchsdurchführung

4.1 Die Schaltung wird nach Abb.3 aufgebaut. Die Schalter sind in Stellung " τ_{H1} " bzw. " τ_{T1} " zu bringen. Am Funktionsgenerator ist eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Amplitude von $U_{SS} = 20$ mV eingestellt. Für jede Frequenz (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 Hz und 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 kHz) wird die Spitze-Spitze-Spannung am Ausgang des Verstärkers mit dem Oszilloskop gemessen. Dazu ist der Eingang CH1 zu verwenden und ein geeigneter Bereich für die Vertikalablenkung einzustellen. Bei niedrigen Frequenzen lassen sich die Werte leichter ablesen, wenn das Oszilloskop im Digitalmodus betrieben wird. Für korrekte Messungen bei $f \leq 10$ Hz muss die Eingangskopplung auf DC stehen. (Warum?)

Die Messung ist jeweils mit den Schalterstellungen " τ_{H2} " und " τ_{T1} " sowie " τ_{H1} " und " τ_{T2} " zu wiederholen.

4.2 Am Generator wird die Funktion 'Arbitrary' und eine Frequenz von 100 Hz eingestellt; die Amplitude bleibt bei $U_{SS} = 20$ mV. Für alle gemessenen Verstärkerkennlinien (drei Einstellungen) wird der zeitliche Verlauf des Ausgangssignals vom Schirm des Oszilloskops abgezeichnet.

5 Auswertung

5.1 Die Verstärkung wird nach Gleichung (1) berechnet und in Abhängigkeit von der Frequenz graphisch dargestellt. Dabei wird die Abszisse (die Frequenzachse) zweckmäßigerweise logarithmisch eingeteilt („halblogarithmische Darstellung“).

Aus den Diagrammen werden die unteren und oberen Grenzfrequenzen des Verstärkers für die verschiedenen Zeitkonstanten von Hoch- und Tiefpass bestimmt. Sie ergeben sich als Schnittpunkte der frequenzabhängigen Verstärkungskurve mit einer waagerechten Geraden, die 3 dB unterhalb der maximalen Verstärkung liegt.

5.3 Beschreiben Sie, welche typischen Signalanteile bei den verschiedenen Zeitkonstanten von Hoch- und Tiefpass im EKG erkennbar sind. Vergleichen Sie die erhaltenen Signale mit der korrekten Signalform eines typischen EKGs wie in Abb.4 dargestellt. Schätzen Sie ab, welche untere und obere Grenzfrequenz für einen EKG-Verstärker gefordert werden muss. (Beachten Sie die Vergrößerung der Frequenzen um den Faktor 100 in diesem Versuch!)

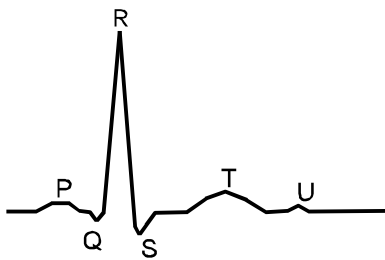


Abb.4: Typische Signalform eines EKG (mit P-Welle, R-Zacke, T-Welle und U-Welle).

6 Literaturangaben

Beier/Pliquett: Physik für das Studium der Medizin, Biowissenschaften, Veterinärmedizin. 4.Auflage, J. A. Barth, Leipzig 1987

Haas, U.: Physik für Pharmazeuten und Mediziner. WVG, Stuttgart, 2012

7 Kontrollfragen

7.1 Erläutern Sie die Begriffe Hochpass, Tiefpass, Grenzfrequenz, Bandbreite und Verstärkung.

7.2 Um welchen Faktor wird eine Spannung verstärkt, wenn die Verstärkung mit 40 dB angegeben ist?

7.3 Warum wird ein Rechteckimpuls durch einen Verstärker verzerrt übertragen?