

ZUSAMMENFASSUNG

im Masterstudium Biomedical Engineering

Lehrveranstaltung 354.042 Biomedical Instrumentation

Altfragen Ausarbeitung

Ausgeführt von: Daniela L.

Matrikelnummer: -

BegutachterIn: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.tech. Eugenijus Kaniusas

Wien, 14. Dezember 2022



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

1. What is the let-go current, how is it defined? Draw a simple diagram to underline your definition.

Die Let Go-Schwelle ist der Strompegel, bei dem wir die Kontrolle über unsere Muskeln verlieren und der Strom die Muskeln zur Kontraktion veranlasst, bis der Strom abgeschaltet wird.

Er ist definiert als externer Strom, der Nerven und Muskeln zu steuern beginnt.

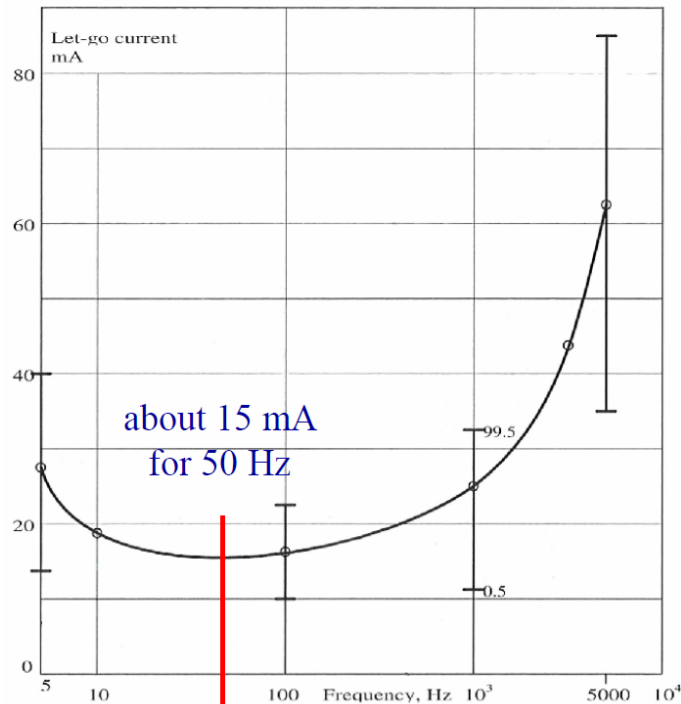


Abbildung 1: Let-go Schwelle liegt bei 15 mA und 50 Hz. Ab diesen Punkt steuert der externe Strom die Nerven und Muskeln.

2. Why direct current (DC) (*Gleichstrom*) should be avoided (*vermieden*) during electrical stimulation and how this is guaranteed in the construction of an electrical stimulator?)

Gleichstrom und niedrige Frequenzen verursachen eine Ionenverschiebung im biologischen Gewebe. Die Erregbarkeit der Zellen wird an der Anode erhöht, während sie an der Kathode verringert wird. Aufgrund Elektrochemischer-Reaktionen wird an der Kathode HCl (Salzsäure) gebildet und an der Anode NaOH (Ätznatron). Die reaktive Säure und Base können Gewebe reizen und schädigen.

Der elektrische Stimulator kann mit Hilfe einer Transformatorisolation oder einer kapazitiven Kopplung gebaut werden, diese lassen keinen Gleichstrom durch.

3. Describe the possibilities for isolation of the patient from an applied biomedical device for safety reasons, add drawings.

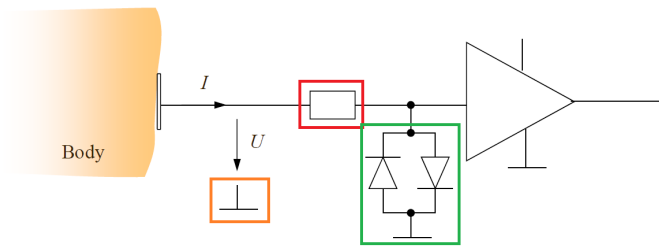


Abbildung 2: Rot: Widerstand zum begrenzen des Stromes. Grün: Dioden zum begrenzen der Spannung. Orange: Gehäuse Erdung damit, bei einer Fehlerhaften Isolierung, der Strom sofort geerdet wird.

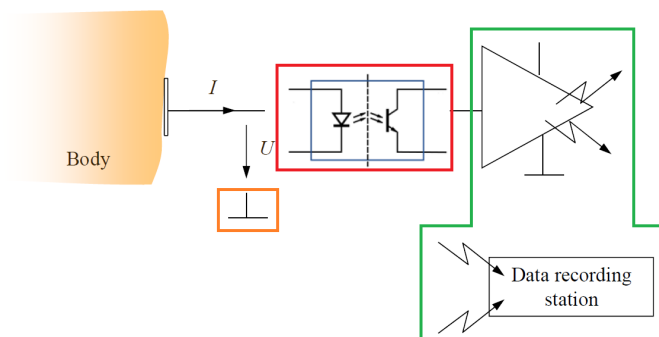


Abbildung 3: Rot: Optischer Isolator (Optokoppler) für Übertragungen im Nahbereich. Grün: Wireless Isolator (WLAN) für Übertragungen im Fernbereich. Orange: Gehäuse Erdung damit, bei einer Fehlerhaften Isolierung, der Strom sofort geerdet wird.

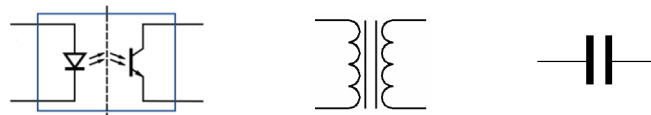


Abbildung 4: Alternative Methoden der kontaktlosen Signalübertragung. Von Links nach Rechts: Photo-optische Isolierung (Optokoppler), Transformator-Isolation (Spulen), kapazitive Kopplung (Kondensator).

4. Passive Shielding, how is it done, disadvantages? Describe active shielding.

Die Abschirmung der Elektrodenleitungen erfolgt mit z.B. Aluminium Folien welche jede Leitung separat umgeben. Dadurch werden Gleichtakt als auch Gegentaktstörungen bereits verringert.

Passive shielding: Bei einer passiven Abschirmung ist besagte Abschirmung des Kabels direkt mit der Masse des Verstärkers verdrahtet. Nachteil dieser Methode ist

das die Einschwingzeit der Spannung U_M begrenzt ist. Da die Abschirmung auch als paralleler Shunt-Widerstand (R_C) und Shunt-Kondensator (C_C) wirkt, wird die gemessene Spannung (U_M) durch den Effekt dieses Spannungsteilers reduziert.

Aktive shielding: Jede Abschirmung des Kabels wird mit dem Ausgang eines Pufferverstärkers verdrahtet, der mit einer einzelnen Elektrodenleitung verbunden ist. Dadurch wird der Shunt-Widerstand von R_C erhöht und die Shunt-Kapazität C_C reduziert. Dies trägt zur Verkürzung der Einschwingzeit für U_M bei.

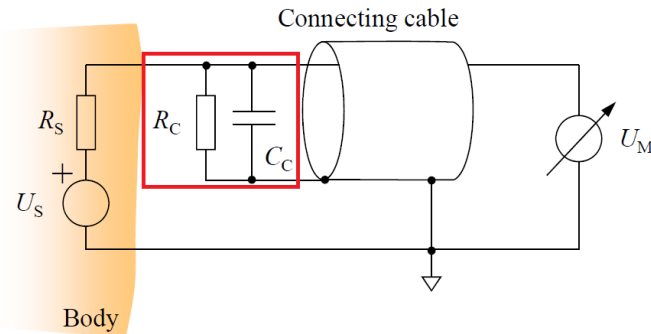


Abbildung 5: Passive shielding; Rot: Verhalten der Kabelabschirmung als Shunt-Widerstand (R_C) und Shunt-Kondensator (C_C).

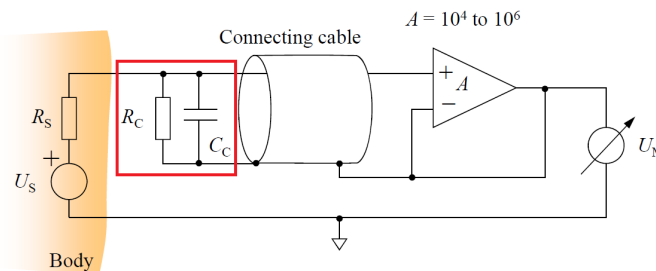


Abbildung 6: Aktive shielding; Rot: Verhalten der Kabelabschirmung als Shunt-Widerstand (R_C) und Shunt-Kondensator (C_C).

5. What is phase sensitive demodulation and how does it work? Add Drawings.

(Anm.: Demodulation ist der Prozess der Wiederherstellung des ursprünglichen Signals.)

Ein phase sensitive demodulation ist eine Einheiten in einer Schaltung zur Kapazitätsmessung von Wechselströmen. Es liefert Informationen über die Amplitude als auch den Phasenwinkel des Wechselstromsignals.

Dem Lock-in Amplifier wird zusätzlich zum Eingangssignal ein periodisches Referenzsignal übergeben. Der Verstärker reagiert nur auf jenen Teil des Eingangssignals der sich

mit dem Referenzsignal deckt. So werden die Komponente des Eingangssignals, bei einer bestimmten Frequenz und Phase, herauszufiltern. Sämtliche vorhandenen Rauschsignale werden gefiltert.

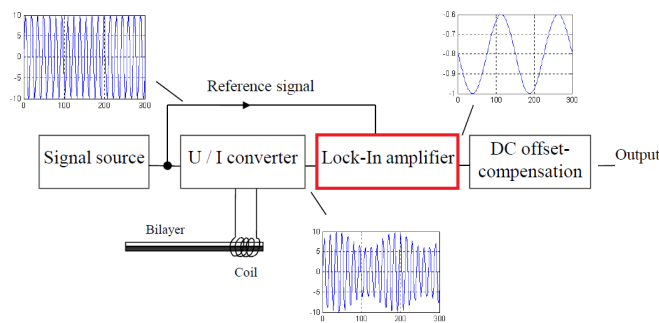


Abbildung 7: Schematische Zeichnung einer Signalumwandlung mit Umsetzung der Phase sensitive demodulation (Lock-in) Technik. Der Rote Rahmen soll visuell verdeutlichen das die Bauteile in den Bildern darunter, hier platziert werden können, da sie der eigentliche Lock-in Verstärker sind.

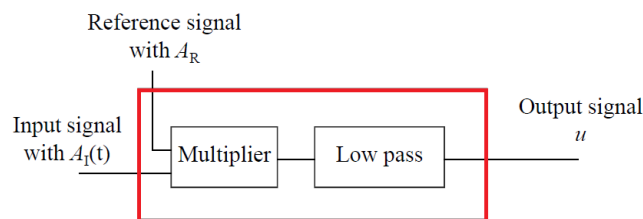


Abbildung 8: Möglichkeit 1 eines Lock-in Verstärkers: Simple Lock-In technique.

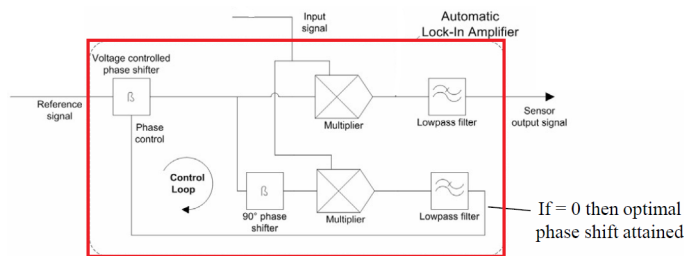


Abbildung 9: Möglichkeit 2 eines Lock-in Verstärkers: Advanced Lock-In technique.

6. Describe the perfectly polarizable and non-polarizable electrodes.

Perfectly polarizable electrodes: Dies sind Elektroden, die keine Ladung über den Übergangsbereich transportieren, wenn sich ein Strom eingestellt hat. Der Stromfluss im Übergangsbereich ist ein Verschiebungsstrom und die Elektroden verhalten sich kapazitiv. (Ähnliches Verhalten wie ein Kondensator. Wird zur Stimulation verwendet.)

Non-polarizable electrodes: Dies sind Elektroden, die den Ladungstransport ungehindert im Übergangsbereich zwischen Elektrode und Elektrolyt passieren lassen, ohne dass Energie benötigt wird. Die Potentialdifferenz ist 0 Volt. (Ähnliches Verhalten wie ein Widerstand. Wird zur Messung verwendet.)

7. How is the noise coupled into a biomedical device? How to avoid/prevent it? Add a drawing and possible (simple) countermeasures?

Vom elektrischen Standpunkt aus betrachtet, können Rauschen (*noise*) sich über zwei Wege in Medizinische Geräte einkoppeln:

- Capacitive coupling
- Inductive coupling

Folgende Gegenmaßnahmen können getroffen werden:

- Verdrillen der Messkabel
- Aktive/Passive Abschirmung der Messkabel
- kurze Messleitungen verwenden
- Aktiver/Passive Erdung des Patienten
- etc.

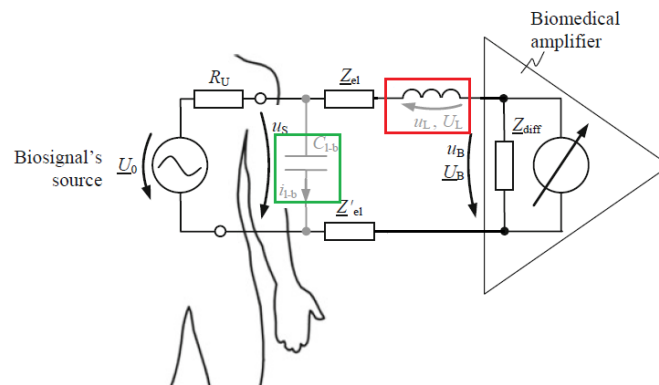


Abbildung 10: Elektrisches Ersatzschaltbild für die Kopplung von (erwünschten) Biosignalen (U_0) und (unerwünschten) Netzstörungen (i_{1-b} , u_L) unter Verwendung von zwei Elektroden, die sich auf einem menschlichen Körper befinden.

Grün: Die kapazitive Störung (i_{1-b}) (oder das Rauschen) wird in den menschlichen Körper und über die ungeschirmte Elektrodenleitung eingekoppelt.

Rot: Durch die induktive Einkopplung der z.B. Netzstörung ergibt sich eine endliche Störspannung (u_L) entlang der Leitungen mit der Amplitude U_L .

8. Different noise types, spectral characteristics?

Spektrale Leistungsdichte \rightarrow Bestimmung der Steigung $\rightarrow \frac{1}{f^\beta}$

Weißes Rauschen: $\beta = 0$ Tritt in jedem Leitermaterial auf. Ist die thermische Eigenbewegung der Elektronen inklusive der statischen Wechselwirkungen mit den Atomrümpfen des Gitters. Ist unabhängig vom verwendeten Material.

Pinkes Rauschen: $\beta = 1$ Ist weißes Rauschen dessen Amplitude mit steigender Frequenz abnimmt.

Braunes Rauschen: $\beta = 2$ Ist weißes Rauschen, das von höheren Frequenzen befreit ist; es besteht aus niedrigeren Frequenzen als sogar pinkes Rauschen.

Schwarzes Rauschen: $\beta > 2$

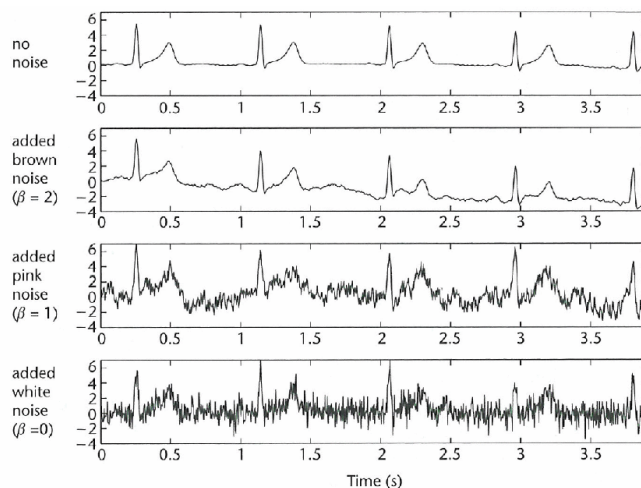


Abbildung 11: Darstellung der Auswirkung verschieden starker Rauschens auf ein EKG-Signal.

9. Should the Body Output Impedance be low or high? And what about the sensor input impedance? Explain why. Ratio body (b) impedance/sensors (s) impedance?

Strom nimmt immer den Weg des geringsten Widerstandes. Um Stromunfälle zu vermeiden empfiehlt es sich einen hohen Körper-Ausgangswiderstand zu haben. Dies hat aber einen negativen Effekt auf Messungen.

Wir wissen eigentlich nicht wie groß der Körper-Ausgangswiderstand einer Person ist, da diese sehr personen spezifisch ist, aber wir können davon ausgehen dass sie nicht Null ist ($Z_{B,Out} \neq 0$). Um zu vermeiden dass die Körper-Ausgangswiderstand einen Einfluss auf unser Messsignal hat setzen wir den Signal-Widerstand sehr hoch ($Z_{S,In} \uparrow\uparrow$). Somit ist dieser dann unabhängig von $Z_{B,Out}$.

$$U_M = I \cdot Z_{S,In} \qquad U_M = U_{B,Out} \cdot \frac{Z_{S,In}}{Z_{S,In} + Z_{B,Out}}$$

$$I \cdot Z_{S,In} = U_{B,Out} \cdot \frac{Z_{S,In}}{Z_{S,In} + Z_{B,Out}}$$

$$I = \frac{\left(\frac{U_{B,Out} \cdot Z_{S,In}}{Z_{S,In} + Z_{B,Out}} \right)}{Z_{S,In}}$$

$$I = \frac{U_{B,Out}}{Z_{S,In} + Z_{B,Out}} \qquad Z_{B,Out} \ll Z_{S,In}$$

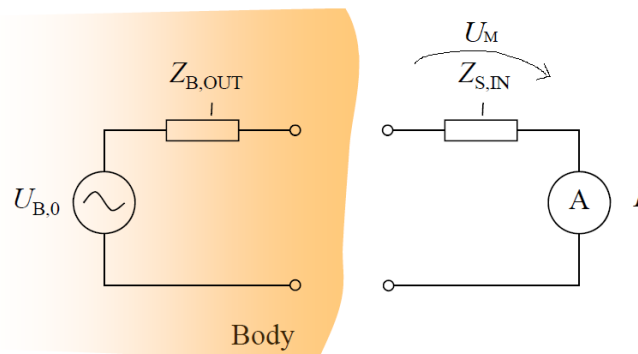


Abbildung 12: Input/Output of the sensor.

10. How is specification/sensitivity defined? Also known as: What is a receiver operating characteristic (ROC)? Add drawing.

Specificity: Ist der Anteil der Patienten, die nicht erkrankt sind und die korrekt als gesund/negativ durch die Überwachung eingestuft wurden. → Richtig negativ: Der Patient ist gesund, und der Test hat dies richtig angezeigt.

Sensitivity: Ist der Anteil derjenigen Patienten mit der Krankheit und die korrekt als krank/positiv durch die Überwachung eingestuft wurden. → Richtig positiv: Der Patient ist krank, und der Test hat dies richtig angezeigt.

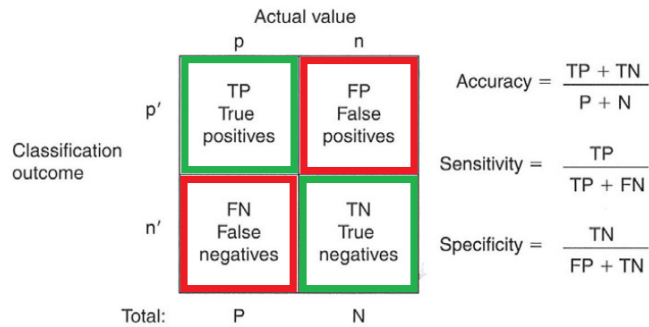


Abbildung 13: Wahrheitsmatrix.

ROC wird zur Analyse und Optimierung des Systems (Messverfahrens) verwendet. Eine diagonale Kennlinie würde auf ein zufälliges Verhalten hinweisen ($A = 0,5$). Je weiter die Kurve von der Diagonale entfernt ist (große Fläche einschließt), desto besser. Die Fläche (A) unter der Kurve ist somit ein Maß für die Leistung des Klassifikators. Ein $A = 1$ bedeutet perfekte Erkennung.

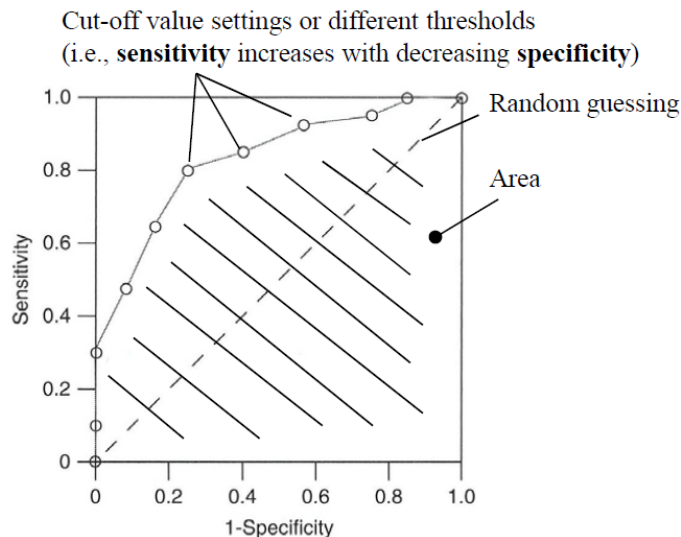


Abbildung 14: Receiver operating characteristics (ROC) Mit steigender Sensitivität nimmt die Spezifität ab und umgekehrt.

11. Draw a block diagram OR an electrical circuit of an ECG amplifier with right leg drive. What is the third electrode used for?

Die Dritte Elektrode ist jene für die Rechte Bein-Ableitung = Gleichtaktgegenkopplung. In dem Patienten koppelt sich das Gleichtaktbrummen der Netzfrequenz (50 Hz) ein und wird in die Erde geleitet. Diese Störung wird im rechten Bein aufgezeichnet, invertiert (-1) und dann zur Elektroden U1- und U2-Differenz addiert (d.h. subtrahiert). Das Variante des EKG erhöht das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis (common-mode rejection ratio CMRR) des gesamten EKG-Verstärkers.

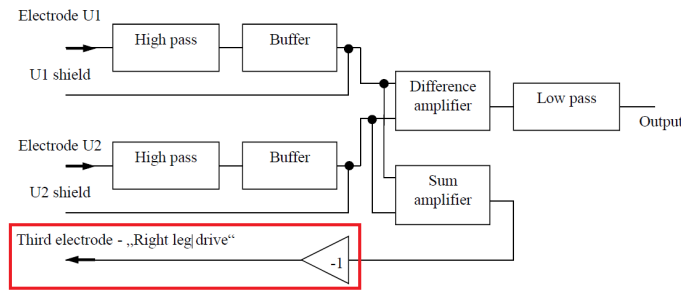


Abbildung 15: Blockschaltbild des EKG-Verstärker mit rechtem Bein Ableitung. Rot: Gleich-
aktgegenkopplung.

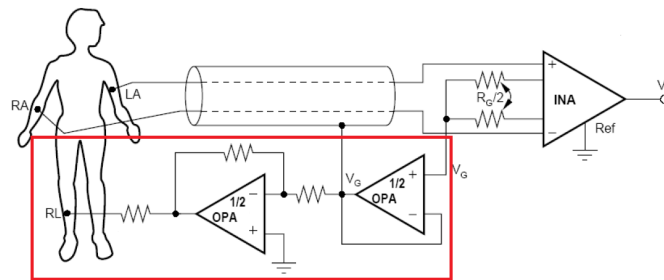


Abbildung 16: Schaltbild des EKG-Verstärker mit rechtem Bein Ableitung. Rot: Gleichtaktge-
genkopplung.

12. Draw the correlations between the pulse wave signal (optical plethysmography sensor) at the finger and the ECG. Mark cardiac period & respiratory period.

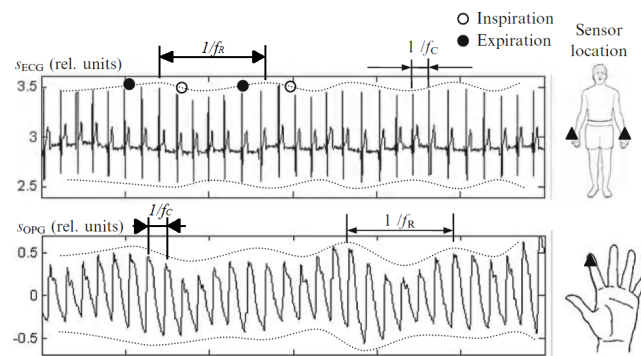


Abbildung 17: Oben: EKG-Signal mit Herzperiode (f_C) und Atemperiode (f_R). Unten: OPG-
Signal mit Herzperiode (f_C) und Atemperiode (f_R).

13. How can the neural conduction velocity be measured? Add drawings.

motorischer Nerv: Ein motorischer Nerv wird an zwei räumlich getrennten Punkten stimuliert. Dies Erzeugung eine elektrische Antwort im Muskel (= Spannung), welche mittels EMG gemessen werden kann. Der bekannte Abstand und die Zeitdifferenz

zwischen den Eingangssignalen liefern die Information über die Geschwindigkeit der Nervenfasern.

sensorischen Nerven: Ein sensorischer Nerv wird an einem Punkt stimuliert. Das Signal erzeugt ein Aktionspotential, welches sich entlang des Nerven ausbreitet. Das Signal wird dabei an zwei Messpunkten abgegriffen. Die Höhe der Amplituden lässt Rückschlüsse auf die Signalübertragung zu.

(Anm.: Da die messbaren Spannungsänderungen eines Nerven an der Hautoberfläche sehr klein und damit fehleranfällig sind, behilft man sich bei motorischen Nerven damit, zwar den Nerven zu reizen, aber die Antwort des Muskels abzuleiten. Da Muskeln mit vielen Muskelfasern eine sehr viel höhere messbare Spannung liefern.)

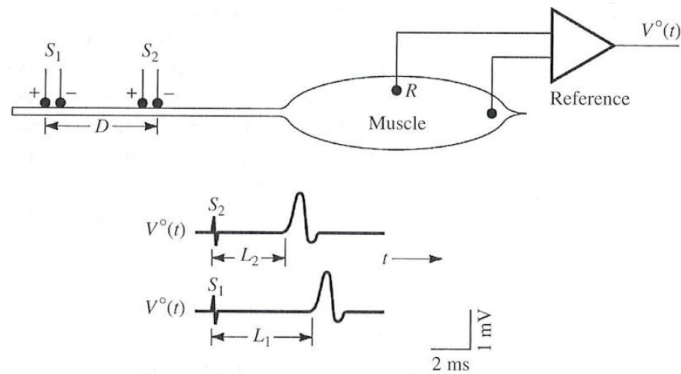


Abbildung 18: Stimulation eines motorischen Nerven an zwei axialen Punkten.

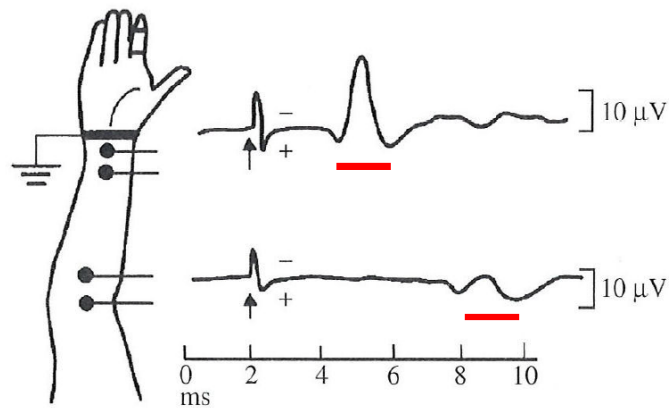


Abbildung 19: Stimulation eines sensorischen Nerven an einem Punkt und abgreifen des Signals.

14. What wave forms are being used in neuromuscular stimulation, which parameters can be set and what influence do they have on the stimulation?

Es können folgende Wellenformen genutzt werden:

- Rechteckiger Stromreiz
- Sägezahn-Stromreiz
- Sinusförmiger Stromreiz

Eingestellt werden kann:

- Dauer des Signals (t) → Langsame Anstiegszeiten können es dem Gewebe ermöglichen, sich an einen Reiz anzupassen. Wenn die Depolarisation recht langsam erfolgt (großes t), haben einige Na-Kanäle Zeit, sich zu inaktivieren.
- Frequenz des Signals (f) → Höhere Frequenzen führen zu einer stärkeren Ermüdung der Muskeln, da die Zeit zwischen den Impulsen kürzer ist. Bei Frequenzen über 500 Hz beginnt sich die depolarisierende Halbperiode mit der absoluten Refraktärperiode zu überlappen, was die Erzeugung neuer Aktionspotenziale behindert.
- maximal Strom (I_{max}) → Jeder Einsatz von Elektrizität zur Erzeugung einer Veränderung im Körpergewebe steht in direktem Zusammenhang mit den Eigenschaften der Zellmembran. Elektrizität kann den Ionenfluss und damit Aktionspotenziale stimulieren, die zur Aktivierung von Nervenbahnen, Muskelgewebe und chemischen Veränderungen führen.

15. What is stimulated first during functional electric stimulation with increasing stimulation voltage: synapse or muscle?

Zuerst wird der Nerv aktiviert, dann folgt der Muskel. Daraus lässt sich schließen, dass in Fällen, in denen der Muskel bereits denerviert (= Ausfall von Nervenzellen) ist, ein viel stärkerer Stromimpuls erforderlich ist, um alle Muskelzellen zu aktivieren, da der Verstärkungseffekt der motorischen Nerven fehlt.

(Anm.: Konzept der Funktionelle elektrische Stimulation (FES): Über implantierte oder oberflächliche Elektroden wird elektrischer Strom an erregbares Gewebe angelegt. Dadurch sollen die intakten Motoneuronen aktiviert werden. Ein motorisches Neuron ist dann an mehrere Muskelzellen gebunden und aktiviert diese.)

16. How can blood pressure be measured?

- Invasive Messmethode = Kontinuierliche Messung
Ein flüssigkeitsgefüllter Katheter, zur Übertragung des momentanen Blutdrucks, wird über eine Vene in das Herzen eingeführt. Das Signal wird auf einen Druckwandler übertragen.
- Nicht-invasive Messmethode = Nicht-Kontinuierliche Messung ausgenommen Tonometrie!

Korotkoff-Geräusche: Eine Manschette wird am Oberarm angebracht und so lange aufgeblasen bis die Arteria brachialis abgedrückt ist (= Systolischer

Blutdruck). Durch das Ablassen des Druckes in der Manschette entsteht eine turbulente Strömung in der Arterie die Korotkoff Geräusche erzeugt. Das verschwinden dieser Geräusch markiert die Diastolischen Blutdruck.

Differenzielle Messung: Ähnliches Funktionsprinzip wie bei Korotkoff nur wird das "Geräusch"(= Impuls) mittels eines Sensors in der Manschette abgegriffen.

Oszillometrische Methode: Eine Manschette wird am Oberarm angebracht und so lange aufgeblasen bis die Arteria brachialis abgedrückt ist. Danach wird langsam der Druck der Manschette reduziert. Wenn der intra-arterielle Druck jenen der Manschette übersteigt beginnt die Wände aufgrund des turbulenten Blutflusses zu vibrieren. Der Beginn der Vibration stellt den Systolischen Wert dar. Der rasche Abfall der Schwingungsamplitude gibt den Diastolischen Wert wieder.

Tonometrie: Ein Drucksensor befindet sich über der Arteria radialis. Dieser Sensor registriert die Blutdruckwellenform der Puls-welle.

17. Describe the difference between hearing aid and cochlear implant. Add block diagrams.

Hörgerät: Ein Hörgerät ist ein Hilfsmittel, welches dem Ausgleich eines Funktionsdefizits des Hörorgans dient. Dabei werden jene Geräusche verstärkt/abgeschwächt welche nicht mehr "normal" wahrgenommen werden können. Geräusch → Geräusch

Cochlea Implantat: Das Cochlea-Implantat ist eine Hörprothese für Gehörlose, deren Hörnerv noch funktionsfähig ist. Über ein Mikrofone werden die Geräusche detektiert. Diese werden verarbeitet und über die in der Schnecke befindlichen Elektroden übertragen. Geräusch → Elektrostimulation

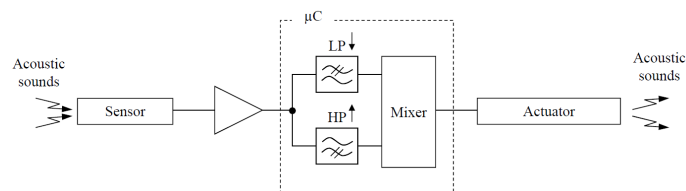


Abbildung 20: Blockschaltbild des Hörgerätes.

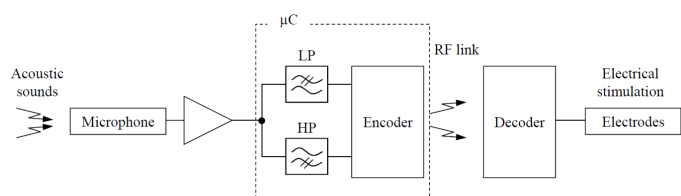


Abbildung 21: Blockschaltbild des Cochlea-Implantates.

18. Optical plethysmography: principle, drawing of pulsatile absorption, mark systolic/diastolic parts.

Die Pulsoximetrie basiert auf dem Konzept der Absorption von zwei bestimmten Wellenlängen. Bei roten Wellenlängen von etwa 660 nm ist der Lichtabsorptionskoeffizient von Oxyhämoglobin (HbO_2) deutlich geringer als der Lichtabsorptionskoeffizient von Desoxyhämoglobin (Hb), während bei nahen Infrarot-Wellenlängen von etwa 890 nm das Gegenteil der Fall ist.

Die Bestimmung der arteriellen Sauerstoffsättigung des Hämoglobins wird vom Pulsometer aus den relativen Lichtmengen, die vom Photodetektor übermittelt werden, errechnet.

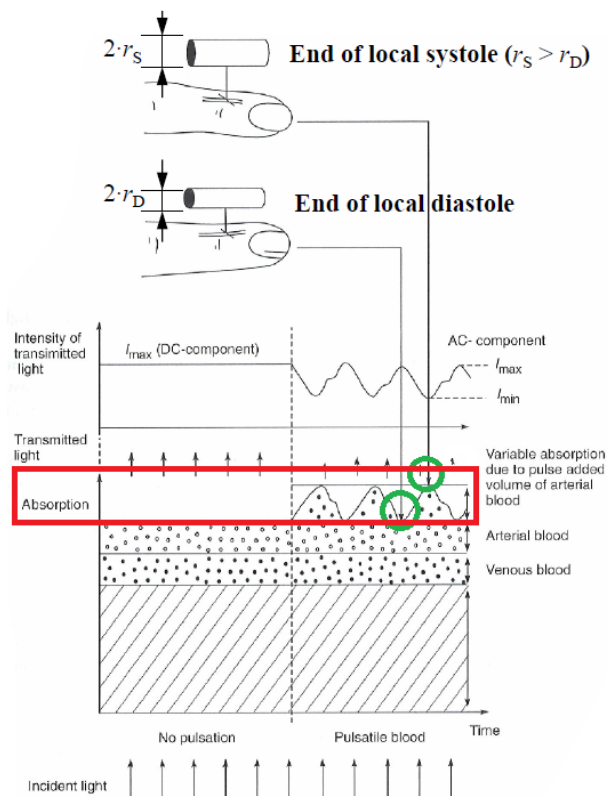


Abbildung 22: Plethysmographisches Messprinzip. Rot: Absorptionsbereich. Grün: Markierungspunkte für die Systole und Diastole.

19. Describe the principles of diathermy in therapeutic devices and the types of the diathermy approaches.

Die physikalische Diathermie ist eine Art der Wärmetherapie, die auf zwei Mechanismen beruht.

Dipolarisierung: Ein angelegtes E-Feld bewirkt das sich die Wassermoleküle (Dipole) synchron zum E-Feld ausrichten. Diese Bewegung erzeugt Reibungswärme.

Concutive current: Ein angelegtes E-Feld bewirkt das sich die Ionen entsprechend zum E-Feld bewegen. Der Daraus resultierende Strom (= Ionenfluss) führt zu Reibungswärme.

Folgende Therapie Anwendungsmethoden stehen zur Verfügung, wobei diese nicht nur für die Erwärmung von Geweben genutzt werden können sondern auch zum Schneiden oder Blutstillung von Wunden in der Chirurgie anwenden finden.

Short wave diathermy: Wärme wird durch Vibration von Ionen (aufgrund des oszillierenden elektrischen Feldes), Dipolrotation im Gewebe, molekulare Verzerrung und Leitfähigkeitsströme erzeugt. Der Patient ist dabei teil vom Stromkreis. Es gibt zwei Untergruppen.

- Condenser method; Für die Erwärmung von tieferem Gewebe gedacht, daher relativ niedrige Frequenz (ein paar MHz). Es besteht kein direkter Kontakt mit der Haut des Patienten. Hier erfahren Fettschichten höhere innere elektrische Felder und werden daher stärker erwärmt als benachbarte Muskelschichten.
- Induction method; Diese Methode sorgt nur für eine oberflächliche Erwärmung. Wirbelströme, die durch zeitlich veränderliche Magnetfelder induziert werden, erzeugen einer relativ hohe Frequenz. Es besteht direkter Kontakt mit der Haut. Muskeln werden stärker erwärmt als Fett aufgrund des Induktionsgesetzes.

Micro wave diathermy: Erzeugung von Wärme aufgrund von Vibration von Wassermolekülen und Dipolrotation. Gewebe mit geringem Wassergehalt (Fett) werden tiefer durchdrungen aber haben eine geringe Absorption. Für Gewebe mit hohem Wassergehalt (Muskeln) trifft der umgekehrte Fall zu. Mit steigender Frequenz verringert sich die Eindringtiefe und damit die Erwärmungstiefe.

Ultrasonic diathermy: Lokale Maxima und Minima des Drucks und der Beschleunigung führen zu mechanischer Mikromassage und Wärmewirkung, um Gewebespannung. Dadurch wird die lokale Durchblutung und der Abbau von Narbengewebe erhöht. Die Wärmeentwicklung findet hauptsächlich im Kochen statt. Es gibt zwei Modi:

- Kontinuierlicher Modus
- Gepulster Modus

20. Show ways of doing deep tissue heating and superficial heating on patients. How do you heat fat tissue (graphic)?

Deep tissue heating erfolgt mittels der Short wave diathermy Methode Condenser method. (Anm.: Genaue Erklärung siehe Frage oben.)

Superficial heating erfolgt mittels der Short wave diathermy Methode Induction method. (Anm.: Genaue Erklärung siehe Frage oben.)

Allgemein : $\vec{D} = E \cdot \epsilon$

$$\vec{D}_F = \vec{D}_M$$

$$E_F \cdot \epsilon_F = E_M \cdot \epsilon_M$$

If $\epsilon_F < \epsilon_M$ then $E_F > E_M$

\vec{D}_F	elektrische Flussdichte Fett	[As/m ²]
\vec{D}_M	elektrische Flussdichte Muskel	[As/m ²]
E_F	Elektrische Feldstärke Fett	[V/m]
ϵ_F	dielektrische Leitfähigkeit Fett	[As/Vm]
E_M	Elektrische Feldstärke Muskel	[V/m]
ϵ_M	dielektrische Leitfähigkeit Muskel	[As/Vm]

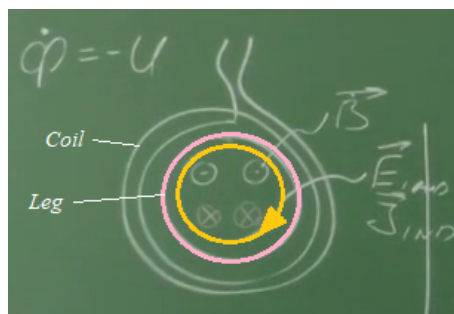


Abbildung 23: Schematische Darstellung der erwärmen von Fettgewebe im Bein mittels Condensere Methode.

21. Volume, pressure and associated risks of ventilation.

Symbol	Full name	Typical setting adults neonates (<i>Neugeborene</i>)
f	Respiratory Rate	10 - 15 bpm 30 - 40 bpm
T _i	Inspiratory time	-
V _T	Tidal Volume	6 - 8 ml/kg 5 - 7 ml/kg
P _{insp}	Inspiratory pressure	12 - 15 hPa 20 - 25 hPa
PEEP	Positive End-Expiratory pressure	hPa
q	Flow	30 - 40 l/min
-	Slope	hPa/s
FiO ₂	Oxygen Concentration	21 - 100%
C	Complan	-

Abbildung 24: Beatmungsparameter.

Bei der Beatmung können die folgenden Lungenschäden auftreten:

Barotrauma: Zu hoher Beatmungsdruck → Pneumothorax.

Volutrauma: Zu hohes Luftvolumen → Hyperextension der Lunge und somit Entwicklung eines Ödems.

Low-Tidal-Volumen-Verletzung: Die Alveolen kollabieren, weil nicht genügend Druck vorhanden ist, um sie offen zu halten (PEEP verwenden!).

Biotrauma: Weniger Tensid aufgrund der Ventilation. Tenside werden jedoch in den winzigen Alveolen benötigt, um die Oberflächenspannung zu verringern ansonsten droht ein Kollaps der Alveolen.

22. What is a lithotripter?

Als Lithotripsie bezeichnet man die Zertrümmerung von Harnsteinen, durch Stress/Scherkräfte und Kavitation. Diese Schockwellen werden durch

- Hochspannungsfunken und Plasmaexplosion
- elektromagnetische Spule
- kugelförmig angeordnete Piezoelemente

erzeugt.

23. Describe synchronous/asynchronous single chamber/dual chamber pacemakers?

Synchroner Herzschrittmacher: Verstärkung der spontanen Herzaktivität je nach Bedarf.

Asynchroner Herzschrittmacher: Es wird gleichmäßig ein Impuls abgegeben. Die individuelle Herzaktivität wird ignoriert.

Einkammer-Schrittmacher: Es befindet sich 1 Elektrode im Herzen. Entweder im Vorhof oder den Ventrikel.

Zweikammer-Schrittmacher: Es befindet sich 2 Elektrode im Herzen. Im Vorhof und im Ventrikel.

24. Which connections does an ideal operational amplifier have? Add a schematic drawing of the operational amplifier and a simple circuit of your choice. Input-output characteristics?

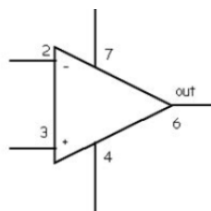


Abbildung 25: Schaltbild eines OPVs.

2 nicht-invertierender Eingang

3 invertierender Eingang

4 negative Versorgungsspannung

7 positive Versorgungsspannung

6 Ausgang

Ein OPA kann sowohl Gleich- als auch Wechselspannungen erhöhen, indem er als Differenzverstärker arbeitet.

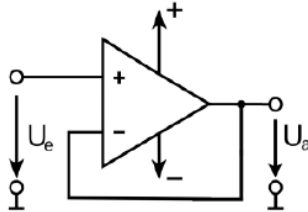


Abbildung 26: Spannungsfolger (Impedanzwandler) Beschreibung der Funktion: Das Ausgangssignal ist das gleiche wie das Eingangssignal. Verstärkungsfaktor von eins (1).

25. How to filter a a) 100 Hz and b) 50 Hz signal?

a) Wir wollen 100 Hz haben, somit filtern wir niedrige Frequenzen raus. Wir brauchen somit eine Hochpass (= Hochpassfilter).

b) Wir wollen 50 Hz haben, somit filtern wir hohe Frequenzen raus. Wir brauchen somit eine Tiefpass (= Tiefpassfilter).

$$RC - \text{Hochpass/Tiefpass} : f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$
$$RL - \text{Hochpass/Tiefpass} : f_0 = \frac{R}{2\pi L}$$

f_0	Grenzfrequenz	[Hz]
R	Widerstand	[Ω]
C	Kapazität	[F]
L	Induktivität	[H]

26. How are low pass filter and high pass filter defined? Please consider the corresponding transfer functions and realizations (simple circuits → drawings).

Tiefpassfilter: Er lässt Spannungen/Amplituden mit tiefen Frequenzen durch. Hohe Frequenzen werden gesperrt.

Hochpassfilter: Er lässt Spannungen/Amplituden mit hohen Frequenzen durch. Niedrige Frequenzen werden gesperrt.

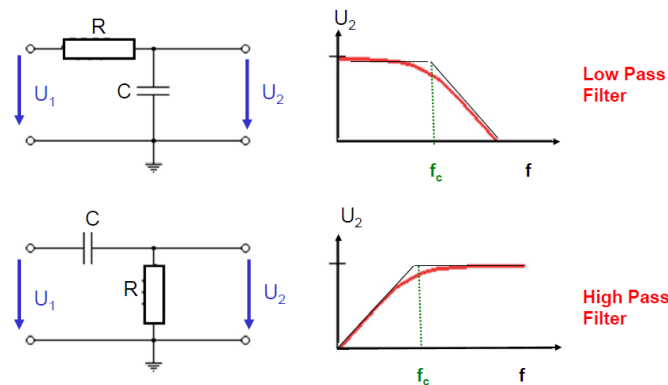


Abbildung 27: Links ist immer die Schaltung zu sehen und Rechts die Übertragungsfunktion. Oben: Tiefpassfilter; Unten: Hochpassfilter. $f_c = f_0$

27. What is a passive and active electrode device? Give some examples.

Passive Bauteile: Sie tragen nicht zur Leistungssteigerung (Verstärkung) einer Schaltung oder eines Systems bei. Sie haben keine Steuerungsfunktion. Beispiele:

- Widerstand
- Diode
- Kondensator

Aktive Bauteile: Sie tragen zu einer Leistungssteigerung in einem Schaltkreis oder System bei. Aktive Bauelemente sind in der Lage, Spannungen oder Ströme zu steuern und können einen Schaltvorgang in der Schaltung bewirken. Beispiele:

- Transistor
- Operationsverstärker
- Integrierte Schaltungen

28. Voltage divider circuit.

Ein Spannungsteiler besteht im Regelfall aus zwei Widerständen, an denen sich die Gesamtspannung U_{ges} in zwei Teilspannungen aufteilt. Die Grundform ist der unbelastete Spannungsteiler, der eine Parallelschaltung aus zwei Widerständen entspricht.

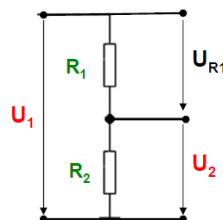


Abbildung 28: Schaltaufbau eines Spannungsteilers. $U_{\text{ges}} = U_1$

29. Draw the brick layer model of a cells and intercellular space and point out R_S and C_S and their sizes in regard to each other.

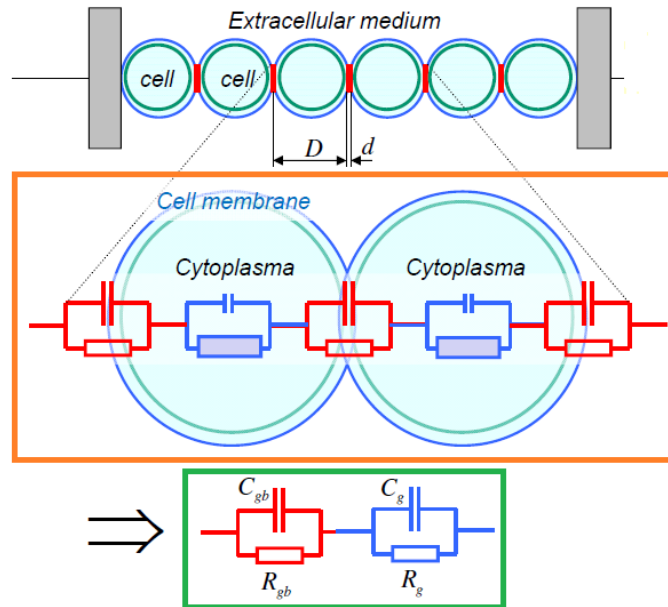


Abbildung 29: Orange: Brick layer Model der Zelle. Grün: R_S und C_S .

$$C_S = \frac{1}{\frac{1}{C_{gb}} + \frac{1}{C_g}}$$

$$R_S = R_{gb} + R_g$$

$$\omega = \frac{1}{R_S \cdot C_S}$$

$$C_{gb} \gg C_g \quad \text{and} \quad R_{gb} \cong R_g$$

C_S	Kapazität gesamt	[F]
C_{gb}	Kapazität Zellmembran	[F]
C_g	Kapazität Zytoplasma	[F]
R_S	Widerstand gesamt	[Ω]
R_{gb}	Widerstand Zellmembran	[Ω]
R_g	Widerstand Zytoplasma	[Ω]
ω	Kreisfrequenz	[Hz]

30. Add a schematic drawing of a non-inverting electrometer amplifier for gain equal to 1. What is the advantage of this circuit.

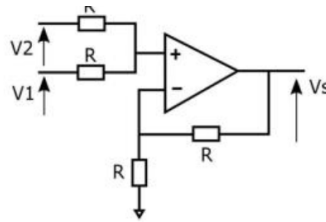


Abbildung 30: Nicht-invertierender Summierverstärker.

Die Ausgangsspannung ist die Summe der Eingangsspannung multipliziert mit plus eins (+1). Somit ist das Eingangssignal zum Ausgangssignal Phasengleich.

31. Metal-electrolyte surface (equivalent circuit). Discuss the influence of the interface boundary of metal/electrolyte in case of physiological measurements.

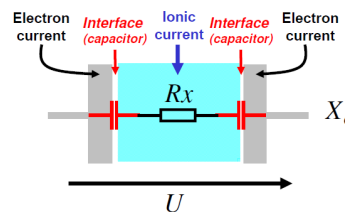


Abbildung 31: Ersatzschaltbild der Metall-Elektrolyt-Oberfläche.

An der Grenzfläche zwischen Elektrolyt und Elektrode wechselt der Ladungsträger von Elektronen zu Ionen. Dieser Ladungstransfer wird durch die Doppelschicht gehemmt, die als hohe Transferimpedanz wirkt. Die Elektrolyt-Elektroden-Grenzfläche (ionische Doppelschicht) wirkt als Kondensator. Dieser Kondensator ist in Reihe mit dem Elektrolytwiderstand R_x geschaltet.

Die Impedanz gibt Aufschluss über die Art des betrachteten Gewebes⁷, die Größe der Zelle, Defekte in der Membran, Zellnekrosen ...

32. What problems are there when measuring tissue impedance with a metallic electrode? How can such influence be avoided? Application field of impedance measurement in medicine and biology (blood, tissue, etc. ...)

Je nach Art der Stimulation kann es unterschiedlich lange dauern bis dieser eintritt bzw. wie stark dieser Prozess ausfällt.

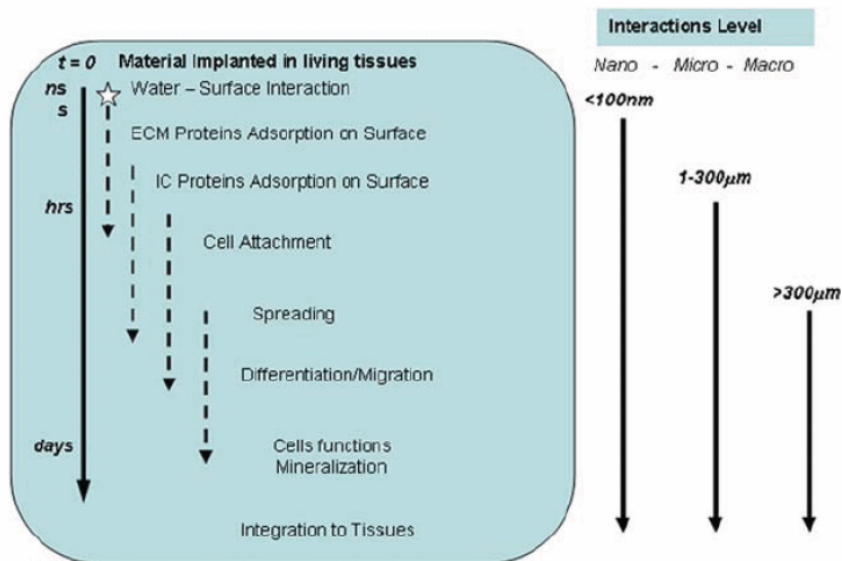


Abbildung 32: Wechselwirkungen zwischen Biomaterial und Gewebe oder Wechselwirkung zwischen implantierter Elektrode und Gewebe.

Um diesen Effekt vorzubeugen empfiehlt es sich die richtigen Materialien zu verwenden z.B. Au, Pt, AgCl.

Impedanz Messungen werden verwendet um die Hautimpedanz oder die Funktionalität von Nervenzellen zu messen.

33. What are AC-Signals / DC-Signals?

DC: =Gleichstrom. Ist ein Strom der ständig mit der gleichen Stärke in die gleiche Richtung fließt. Der Fluss ist unabhängig von der Zeit.

AC: = Wechselstrom. Ist ein Strom der ständig seine Größe und Richtung ändern. Der Fluss ist abhängig von der Zeit.

34. What is a conduction band / a band gap?

Der Energiebereich in einem Festkörper, in dem keine Elektronenzustände existieren können, wird als Bandlücke oder Energielücke bezeichnet. Die Bandlücke ist ein wichtiger Faktor, wenn man die Leitfähigkeit eines Materials bestimmen will. Basierend auf der Größe der Bandlücke können Materialien in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Isolatoren
- Halbleiter
- Metalle

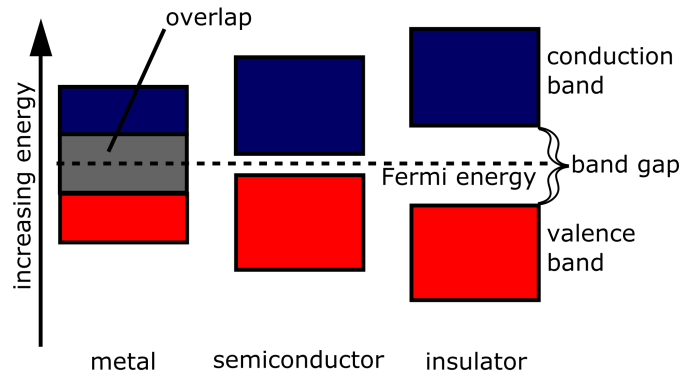


Abbildung 33: Unterteilung von Materialien.

35. What is p-doping / n-doping in a semiconductor?

p-doping: Wenn in reines Silizium Aluminium eingebaut wird, fehlt pro Aluminiumatom (Akzeptor) ein Elektron. Es entstehen Defektelektronen, die auch Löcher genannt werden. Da es sich bei den Löchern um einen Elektronenmangel bzw. positive Ladung handelt, spricht man von einem p-Leiter. Schließt man eine Stromquelle an den p-Leiter an, so fließen Elektronen vom Minus-Pol in den p-Leiter und rekombinieren mit den Löchern. Der Plus-Pol entzieht nun dem p-Leiter wieder die Elektronen. Es fließt ein Löcherstrom von Plus nach Minus.

n-doping: Wenn z.B. eines Silizium Phosphor eingebaut wird steht pro Phosphoratom (Donator) ein freies Elektron zur Verfügung. Da es sich bei dem Freien Elektron um negativ geladene Ladungsträger handelt spricht man von n-Leiter. Schließt man daran nun eine Stromquelle an so entzieht der Plus-Pol dem n-Leiter die Elektronen. Es entsteht ein Elektronenstrom von Minus nach Plus.

36. What is a resistor? How does he influence the signal?

Ein Widerstand ist ein zweipoliges passives elektrisches Bauelement. Mit einem Widerstand kann man Strom und Spannung in einer Schaltung begrenzen und bestimmte Spannungs- und Stromwerte an bestimmten Punkten in einer Schaltung einstellen.

37. What is a capacitor?

Kondensatoren sind Bauelemente, die elektrische Ladungen bzw. elektrische Energie speichern können (= Kapazität). Die einfachste Form eines Kondensators besteht aus zwei gegenüberliegenden Metallplatten. Dazwischen befindet sich ein Dielektrikum, welches keine elektrische Verbindung zwischen den Metallplatten zulässt (= Isolator).

38. What is an inductor?

Eine Spule ist ein elektronischen Bauelement. Eine typische Spule ist ein fester Körper, der mit einem Draht umwickelt ist. Die Induktivität ist die Fähigkeit einer Spule in den eigenen Windungen durch ein Magnetfeld eine Spannung zu erzeugen.

39. What is "microelectronics"? How are microelectronic chips fabricated?

Die Mikroelektronik ist ein Teilgebiet der Elektronik, genauer der Halbleiterelektronik, und der Mikrotechnik. Die Mikroelektronik beschäftigt sich mit dem Entwurf, der Entwicklung und der Herstellung von miniaturisierten, elektronischen Schaltungen.

a)

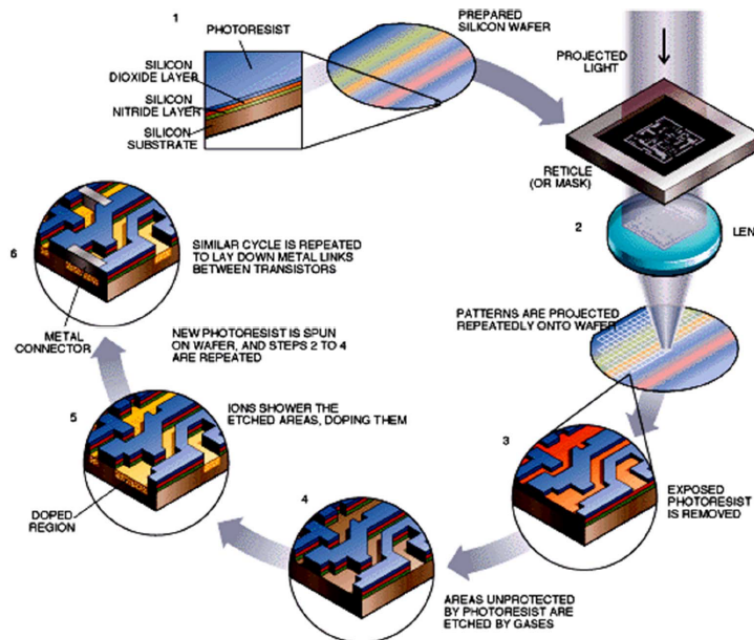


Abbildung 34: Mikroelektronik Herstellungsschritte.

40. What is an insulating transformer?

Trenntrafos dienen zum galvanischen Trennen der Wechselspannung vom Stromnetz. Sie sollen zwei Stromkreise aus Sicherheitsgründen voneinander trennen. Sie dienen zur Datenübertragung. Durch die Verwendung eines Trenntransformators wird die Verkabelung eliminiert, und die Gefahr eines Stromschlags ist vollständig auf das Gerät beschränkt.



Abbildung 35: Schaltzeichen eines Trenntransformators.

41. What is a diode? (physical setup)

Die Halbleiterdiode bzw. Diode ist das Grundbauelement in der Halbleitertechnik. In der Halbleiterdiode wird der pn-Übergang abgebildet und dessen Funktionsweise als Bauelement genutzt. Die Halbleiterdiode besteht also aus einer p- und einer n-leitenden Schicht. Die Schichten sind in einem Gehäuse miteinander verbunden und mit Anschlüssen versehen. Wegen dem pn-Übergang ist eine Halbleiterdiode gepolt. Ihre Haupteigenschaft ist, den Strom nur in eine Richtung durchzulassen.

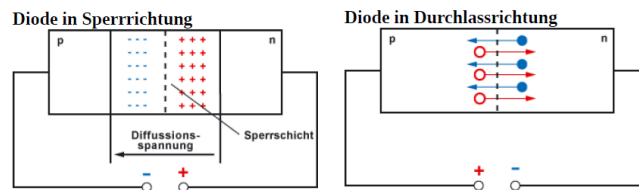


Abbildung 36: Physikalisches Verhalten der Diode.

Wird die Diode in Sperrrichtung betrieben, so liegt die p-Schicht am Minus-Pol und die n-Schicht am Plus-Pol. Die Löcher der p-Schicht werden vom Minus-Pol angezogen, die Elektronen der n-Schicht werden vom Plus-Pol angezogen. Dadurch vergrößert sich die Sperrschicht, die auch Grenzschicht genannt wird.

Wird die Diode in Durchlassrichtung betrieben, so liegt die p-Schicht am Plus-Pol und die n-Schicht am Minus-Pol. Die Löcher der p-Schicht werden vom Plus-Pol abgestoßen und die Elektronen der n-Schicht werden vom Minus-Pol abgestoßen. Die Grenzschicht wird nun mit freien Ladungsträgern überschwemmt. Über den pn-Übergang hinweg fließt ein Strom durch die Diode.

42. Optical diodes: Photovoltaic cell & light emitted diodes.

Photovoltaic cell: Die Erzeugung des elektrischen Stroms erfolgt in der Verarmungszone des pn-Übergangs. Die Verarmungszone ist der Bereich um den pn-Übergang, in dem die Elektronen aus dem n-Typ-Silizium in die Löcher des p-Typ-Materials diffundiert sind. Wenn ein Lichtphoton von einem dieser Atome im n-Typ-Silizium absorbiert wird, löst es ein Elektron ab, wodurch ein freies Elektron und ein Loch entstehen. Das freie Elektron und das Loch haben genügend Energie, um aus der Verarmungszone herauszuspringen.

light emitted diodes (LED): Leuchtdioden wandeln elektrische Energie in Licht um. Sie funktionieren wie Halbleiterdioden, die in Durchlassrichtung Licht erzeugen. Eine Leuchtdiode besteht aus einem n-leitenden Grundhalbleiter. Darauf ist eine sehr dünne p-leitende Halbleiterschicht mit großer Löcherdichte aufgebracht. Wie bei der normalen Diode wird die Grenzschicht mit freien Ladungsträgern überschwemmt. Die Elektronen rekombinieren mit den Löchern. Dabei geben die Elektronen ihre Energie in Form eines Lichtblitzes frei.

43. Operation principles of a diode? (forward/reverse biased)

(Anm.: Siehe Frage oben "Was ist eine Diode".)

Die Diodenkennlinie zeigt das Widerstandsverhalten der Diode bei unterschiedlichen Strömen und Spannungen an. Da die Diode je nach Polung ein unterschiedliches Verhalten aufweist, besteht das Kennlinienfeld aus einem Durchlassbereich (Diode in Durchlassrichtung) und einen Sperrbereich (Diode in Sperrichtung).

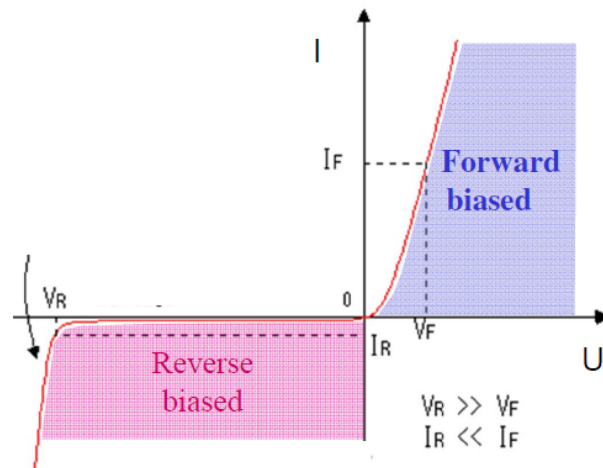


Abbildung 37: Kennlinie einer Diode.

44. What is a bridge rectifier using diodes?

Sie besteht aus jeweils zwei parallel geschalteten Diodenpaaren. Der Wechselspannungseingang befindet sich zwischen den Diodenpaaren. Durch die Anordnung der Halbleiterdioden in der Schaltung fließt der Wechselstrom in zwei verschiedenen Wegen durch die Schaltung. Der Verbraucher wird dabei immer nur in einer Richtung vom Strom durchflossen. Diese Schaltung kann für die Umwandlung von Wechselstrom (AC) in Gleichstrom (DC) verwendet werden.

45. What is a transistor?

Ein Transistor besteht aus einem massiven Stück eines Halbleitermaterials mit mindestens drei Anschlüssen zum Anschluss an einen externen Stromkreis. Eine Spannung oder ein Strom, der an ein Paar der Transistoranschlüsse angelegt wird, verändert den Strom, der durch ein anderes Paar von Anschlüssen fließt. Da die gesteuerte (Ausgangs-)Leistung viel größer sein kann als die steuernde (Eingangs-)Leistung, sorgt der Transistor für die Verstärkung eines Signals.

Beispiel für Transistoren:

- Bipolartransistor
- MOSFET
- Differential-Verstärker

46. Operational principles of PBT/MOSFET?

PBT (Bipolartransistor): Durch das Anlegen einer Spannung von ist die untere Diode in Durchlassrichtung geschaltet. Die Elektronen gelangen in die p-Schicht und werden von dem Plus-Pol der Spannung angezogen. Da die p-Schicht sehr klein ist, wird nur ein geringer Teil der Elektronen angezogen. Der größte Teil der Elektronen bewegt sich weiter in die obere Grenzschicht. Dadurch wird diese leitend und der Plus-Pol der Spannung zieht die Elektronen an. Es fließt ein Kollektorstrom.

MOSFET (MOS-Feldeffekttransistor): Diese Beschreibung des MOS-FET bezieht sich auf den Anreicherungstyp. Der MOS-FET befindet sich immer im Sperr-Zustand, wenn keine positive Spannung zwischen Gate- und Source-Anschluss anliegt. Wird zwischen Gate und Source eine positive Spannung angelegt, dann entsteht im Substrat ein elektrisches Feld. Die Elektronen werden vom Gate-Anschluss aus dem p-leitende Substrat (viele Löcher, sehr wenige Elektronen) angezogen. Sie wandern bis unter die Isolierschicht. Die Löcher wandern in entgegengesetzte Richtung. Zwischen Source- und Drain-Anschluss befindet sich nun ein n-leitender Kanal.

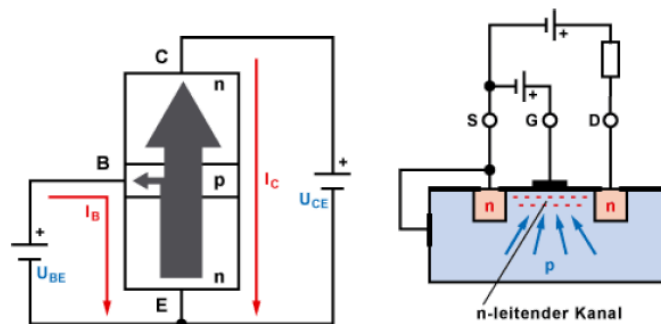


Abbildung 38: Links: BPT Rechts: MOSFET.

47. The 3 main differences between BPT and MOSFETS?

- BPT hat eine zusätzliche p-n Verbindung / MOSFET nur 1 p-n Verbindung
- BPT ist Stromgesteuert / MOSFET Spannungsgesteuert
- BPT Schaltgeschwindigkeit ist langsam / MOSFET ist schnell

48. Use a field effective devices as sensor (nerve, DNA)?

Es gibt chemFETs, ionenempfindliche FETs, neuronFETs und viele mehr. DNA wird von chemFETs erfasst, bei denen Proteine oder Oligonukleotide an den Gate-Bereich gebunden sind. Eine Änderung der Konformation führt zu einer Stromdifferenz. Dieser kann dann mit dem FET weiter gemessen werden.

49. What is a differential amplifier? What does he do with the two input signals?

Differenzverstärker = Subtrahierer. Hierbei wird der Operationsverstärker an beiden Eingängen mit Signalen beschaltet. Wenn alle Widerstände gleich groß sind, dann bildet

die Schaltung am Ausgang die Differenz zwischen den beiden Eingangssignalen. Das heißt, der Differenzverstärker subtrahiert die beiden Signale voneinander.

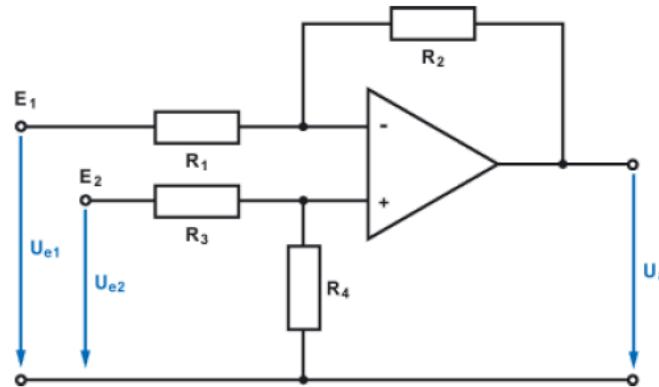


Abbildung 39: Schaltbild eines Differenzverstärker = Subtrahierer.

50. What is an A/D converter and how does it operate?

Ein A/D-Wandler ist ein Gerät, das aus umweltbedingten (physischen) Phänomenen gewonnene, analoge Signale (normalerweise Spannung) in ein digitales Format umwandelt. Die Umwandlung umfasst eine Reihe von Schritten, darunter Sampling, Quantifizierung und Coding.

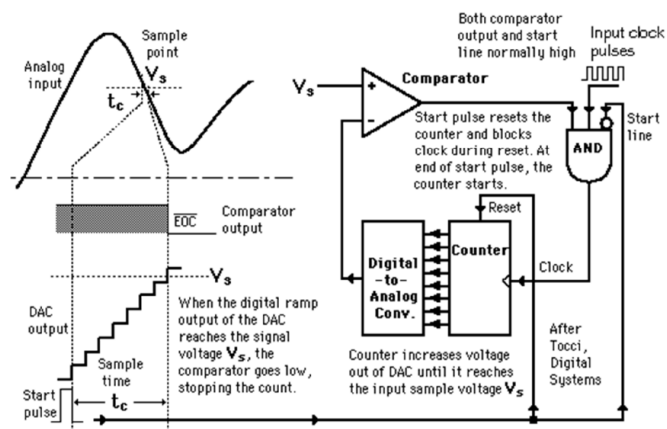


Abbildung 40: Ein digitaler Rampen-A/D-Wandler.

- Anlegen der analogen Spannung an die + Klemme eines Komparators
- Auslösen eines Binärzähler, der einen DAC ansteuert. (Ausgang des DAC = Klemme)
- der Ausgang des DAC steigt mit dem Zähler
- wenn die DAC-Spannung den Analogeingang überschreitet, wird der Komparator ausgelöst!

51. How information is stored (DRAM, Flash Memory)?

DRAM (Dynamic RAM): Eine DRAM-Speicherzelle besteht aus einem Transistor und einem Kondensator (1T1C), der das eigentliche Speicherelement ist. In einer DRAM-Speicherzelle wird ein Bit durch die Ladung des Kondensators gespeichert. Das Lesen und Schreiben erfolgt über den Transistor, der als Schalter arbeitet und die Ladung des Kondensators isoliert oder auf die Bitleitung freigibt.

Flash Memory: Der Flash-Speicher hat sich aus dem EEPROM (Electrical Erasable and Programmable Read Only Memory) entwickelt. Die Speicherzelle eines Flash-Speichers ist dem Feldeffekttransistor (FET) sehr ähnlich. Im Gate ist jedoch eine Ladungsfalle enthalten, die Floating Gate genannt wird. Es handelt sich um eine elektrisch isolierte Halbleiterschicht. Das Floating Gate speichert die Ladung wie ein Kondensator. Es ist gegen die Anschlüsse Drain (D), Source (S) und Control Gate mit einer Oxidschicht isoliert. Die Oxidschicht verhindert das Abfließen der Ladung vom Control Gate. Im spannungslosen Zustand bleibt die Ladung über ein paar Jahre erhalten.

52. What is CMRR?

CMRR = Common Mode Rejection Ratio/CMRR = Gleichtaktunterdrückung
Das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis eines Differenzverstärkers ist die Fähigkeit eines Verstärkers, die Differenz zwischen zwei Eingängen zu erhalten und dabei das Signal zu unterdrücken.

53. Time dependence of susceptibility (*Empfindlichkeit*) of the atrium and the ventricle for external currents. (Draw graphs) Detection of electrode faults.

Das Herz ist im Repolarisationsintervall (T-Welle) am anfälligsten. Wenn ein Externer Strom in während dieser Welle induziert wird kann das zu Herzkammerflimmern führen.

P-Welle = Depolarisation des Vorhofs

PR-Segment = Ventrikel entspannen sich und füllen sich

QRS-Komplex = ventrikuläre Depolarisation und Vorhof Repolarisation

ST-Segment = Kontraktion und Entleerung der Ventrikel

T-Welle = Ventrikuläre Repolarisation

TP-Intervall = Die Ventrikel entspannen sich und füllen sich

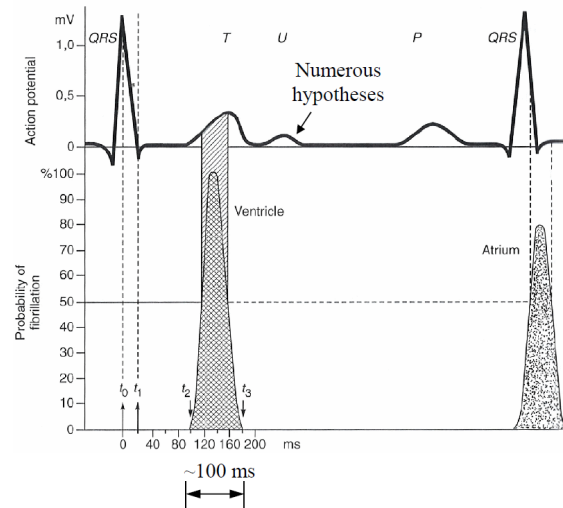


Abbildung 41: Zeitabhängigkeit der Empfindlichkeit gegenüber externem Strom.

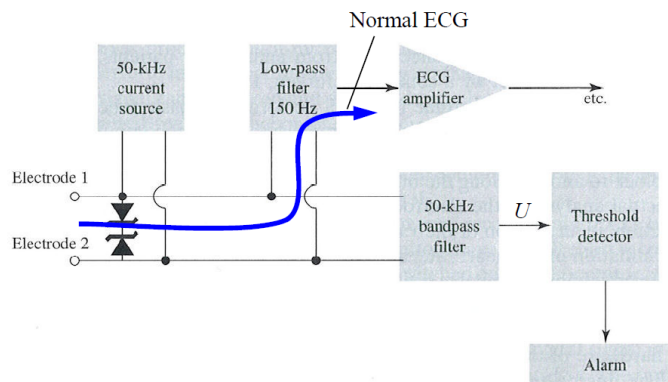


Abbildung 42: Erkennung von Elektrodenfehlern.

Mögliche Fehler können Anhand eines bestimmten Verhalten erkannt werden:

- Versagen der Ableitungsdrähte \rightarrow Elektrodenabfall führt zu einer erhöhten Elektrodenimpedanz
- Stromquelle mit einer hohen Frequenz von 50 kHz verwenden \rightarrow Vermeidung von Erregung; der resultierende Spannungsabfall U ist gering, solange die Elektrodenkontakte intakt sind
- EKG-Signal durch Tiefpassfilterung abgetrennt \rightarrow 50kHz können nicht eindringen
- Hochspannungsschutzschaltung durch Zenerdioden \rightarrow Defibrillationsschutz

54. Why do we need three electrodes instead of two for ECG realisation?

Drei Ableitungen (I-III) werden aufgezeichnet → Die Einthoven-Ableitung wird verwendet, um Potenzialänderungen in der Frontalebene darzustellen. Die dritte Elektrode dient dazu, externe Geräusche aus dem EKG-Signal herauszufiltern, z. B. das 50-Hz-Rauschen der Stromleitungen.

55. Write about inverse recruitment order.

Die natürliche Rekrutierungsreihenfolge - zur Steigerung der Muskelkraft - beginnt mit den Neuronen des kleinen Typs und endet mit den Neuronen der großen motorischen Einheiten. Im Gegensatz dazu beginnt die so genannte umgekehrte Aufzeichnungsreihenfolge bei der funktionellen elektrischen Stimulation (FES) mit den großen motorischen Einheiten, die in den großen Neuronen platziert werden, und endet mit den kleinen motorischen Einheiten in den kleinen Neuronen.

In der umgekehrten Rekrutierungsreihenfolge werden die leichter ermüdbaren und großen Muskeln bei Aufgaben mit geringer Kraft beansprucht, während die ermüdungsresistenten kleinen Muskeln nur bei stärkeren Reizen rekrutiert werden.

56. Control principle of electromyoprostheses and targeted muscle innervation.

In der Regel direkte Steuerung mit Elektromyographie (EMG)-Sensoren. Zwei Methoden zum Schalten sind möglich.

Co-Kontraktion: Eine Ko-Kontraktion tritt auf, wenn zwei Signale gleichzeitig ertönen/abklingen und einen definierten Schwellenwert überschreiten/ einen definierten Schwellenwert überschreiten/unterschreiten.

4-Kanal-Steuerung: Die 4-Kanal-Steuerung bedeutet, dass mehrere verschiedene Aktionen erzeugt werden, indem die Intensität der Muskelaktivität variiert.

57. What are the three main types of prostheses you can use for an amputation at the trans-radial level (hand amputation)

- Passive Arm Prothese
 - Passive Arbeitsprothese
- Aktive Arm Prothese
 - Körper betriebene Prothese
 - Extern angetriebene Prothese

58. Technical realization of spirometry

Druckabfall Δp über den Widerstand

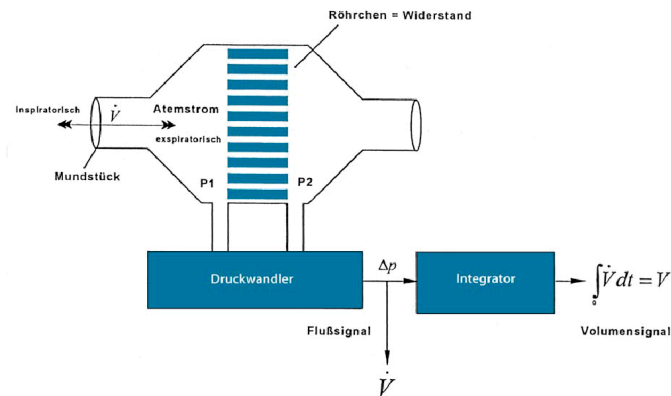


Abb. 10.4. Pneumotachograph nach Fleisch (schematisch)

Abbildung 43: Technischer Aufbau eines Spirometers.

59. You are given two empty charts with two axes one of which you have draw the heart sounds in the other one the optical plethysmogram (so that there match up properly). Also include changes in these diagrams that are caused by beating and use reasonable time scales.

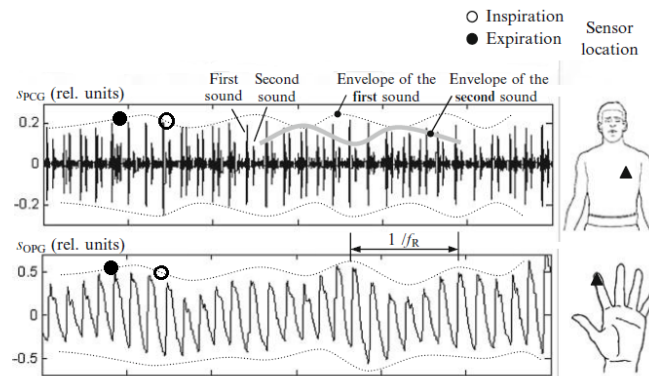


Abbildung 44: Einfluss der Atmung auf (Oben) Phonokardiogram und (Unten) Optischeplethysmogram.