

Versuch: EKG-Verstärker

Inhalt

3. Das Tiefpassfilter	2
Vorbereitungsaufgaben	2
3.b) Grund für Nichteinsatz eines Tschebyscheff-Filters	2
3.c) Ermittlung der Koeffizienten für Bessel-Filter 4. Ordnung ($f_g=13\text{Hz}$)	2
3.d) Dimensionierung des Tiefpasses	2
3.e) Zeichnen der Schaltung	3
3.f) Simulation der Schaltung (AC-Analyse)	3
3.g) Simulation der Schaltung (Transienten-Analyse)	3
Messaufgaben.....	4
3.A) Darstellung der Sprungantwort des Tiefpasses.....	4
3.B) Amplitudenabschwächung bei $0,1f_g$	4
3.C) Amplitudenabschwächung bei $0,8f_g$; $1f_g$; $1,2f_g$; $2f_g$; $5f_g$	5
4.1 Bandpass.....	6
Vorbereitungsaufgaben	6
41.a) Berechnung der Induktivität/Widerstand für $C=100\text{nF}$, $f_r=50\text{Hz}$, $Q=5$	6
41.b) Berechnung der Antoniou-Ersatzschaltung.....	6
41.d) Auswirkung der Änderung der Kapazität um den Faktor 10	6
41.f) Simulation der Schaltung (AC-Analyse).....	7
41.g) Simulation der Schaltung (Transienten-Analyse)	8
Messaufgaben.....	9
41.A) Abgleich des Bandpasses auf Resonanz.....	9
41.B) Feststellung der -3dB -Frequenzen	9
41.C) Sprungantwort des Bandpasses	9
4.2 Bandsperre	10
Vorbereitungsaufgaben	10
42.a) Berechnung der Induktivität/Widerstand für $C=100\text{nF}$, $f_r=50\text{Hz}$, $Q=1$	10
42.b) Zeichnen der Schaltung	10
42.c) Simulation der Schaltung (AC-Analyse)	11
42.d) Simulation der Schaltung (Transienten-Analyse)	11
Messaufgaben.....	12
42.A) Abgleich der Bandsperre	12
42.B) Feststellung der -3dB -Frequenzen	12
42.C) Sprungantwort der Bandsperre	12
5. Der Komplette EKG-Verstärker	13
Vorbereitungsaufgaben	13
5.a) Schaltungsvorschlag für den Spannungsfolger am Eingang	13
5.b) Schaltungsvorschlag für Vorverstärker ($A=10$).....	13
5.c) Schaltungsvorschlag für den Hochpass ($f_g=0,1\text{Hz}$)	13
5.d) Schaltungsvorschlag für Nachverstärker ($A=5$)	13
5.e) Zeichnen des Gesamtschaltbildes	14
Messaufgaben:	15
5.A) Oszillographieren aller Ausgänge von Block A-F	15
5.B) Aufnahme eines EKG an einer Versuchsperson.....	16

3. Das Tiefpassfilter

Vorbereitungsaufgaben

3.b) Grund für Nichteinsatz eines Tschebyscheff-Filters

Ein Tschebyscheff-Filter ist wegen seiner großen Überschwinger nicht geeignet. Seine hohe Flankensteilheit ist für unsere Anwendung weniger von Bedeutung.

3.c) Ermittlung der Koeffizienten für Bessel-Filter 4. Ordnung (fg=13Hz)

$$a_1 = 1,3397; b_1 = 0,4889$$

$$a_2 = 0,7743; b_2 = 0,3890$$

$$\alpha_i = \frac{a_i}{2\pi fg}; \beta_i = \frac{b_i}{(2\pi fg)^2}$$

⇒

$$\alpha_1 = 16,4ms; \beta_1 = 73,28\mu s$$

$$\alpha_2 = 9,48ms; \beta_2 = 58,3\mu s$$

3.d) Dimensionierung des Tiefpasses

1.TP: Wahl der Kondensatoren:
 $C_1 = 680nF; C_2 = 470nF$

Berechnung der Widerstände:

$$R_{1/2} = \frac{\alpha_i C_1 \pm \sqrt{(\alpha_i C_1)^2 - 4C_1 C_2 \beta_i}}{2C_1 C_2}$$

$$\Rightarrow R_1 = 8,77k\Omega; R_2 = 26,1k\Omega$$

$$R_{1_{gew}} = 8,2k\Omega + 560\Omega$$

$$R_{2_{gew}} = 27k\Omega \parallel 820k\Omega$$

2.TP: Wahl der Kondensatoren:
 $C_1 = 680nF; C_2 = 220nF$

Berechnung der Widerstände:

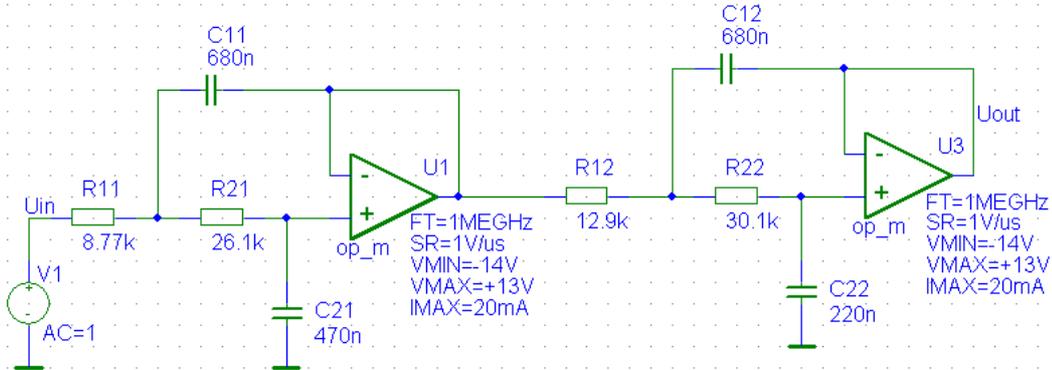
$$R_{1/2} = \frac{\alpha_i C_1 \pm \sqrt{(\alpha_i C_1)^2 - 4C_1 C_2 \beta_i}}{2C_1 C_2}$$

$$\Rightarrow R_1 = 12,9k\Omega; R_2 = 30,1k\Omega$$

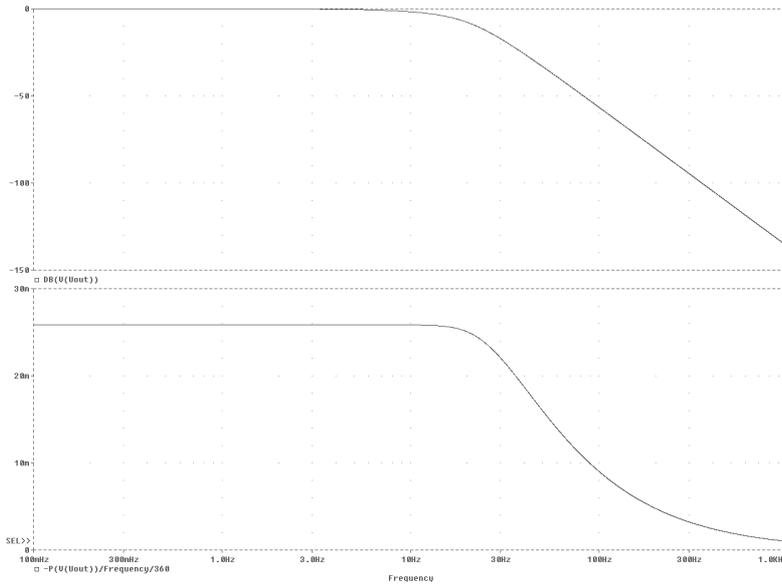
$$R_{1_{gew}} = 12k\Omega + 820\Omega$$

$$R_{2_{gew}} = 30k\Omega + 100\Omega$$

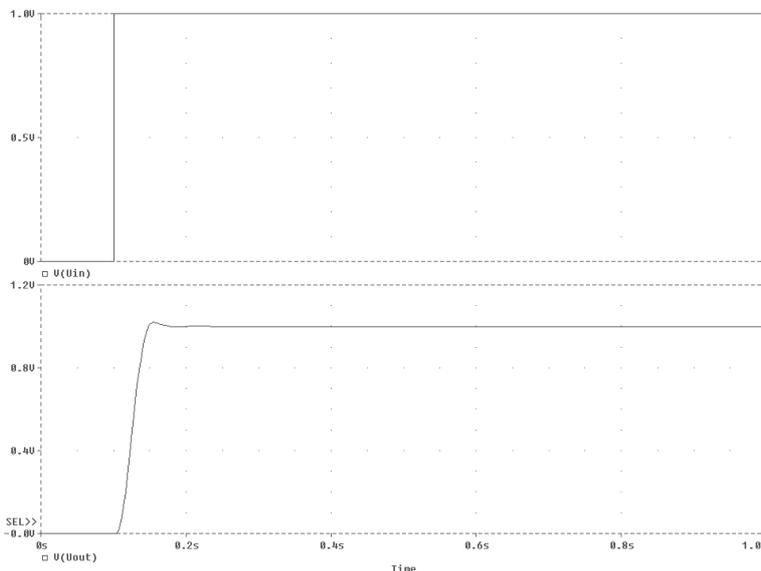
3.e) Zeichnen der Schaltung



3.f) Simulation der Schaltung (AC-Analyse)

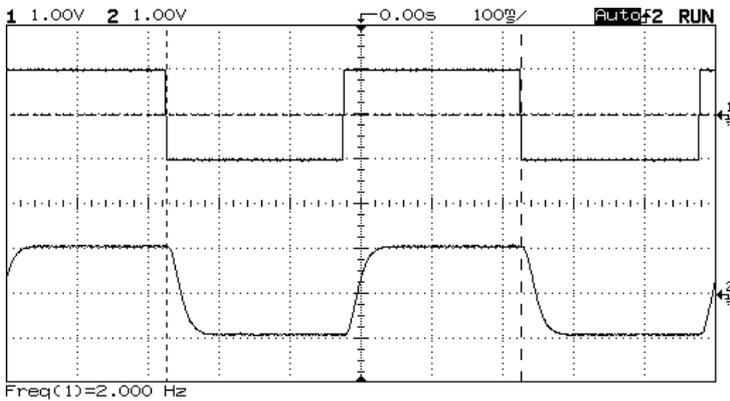


3.g) Simulation der Schaltung (Transienten-Analyse)

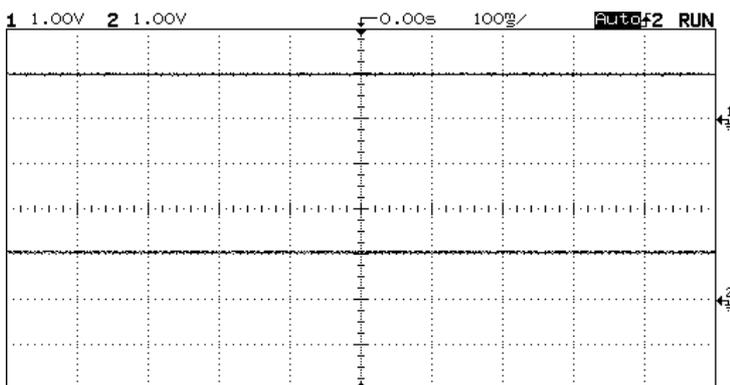


Messaufgaben

3.A) Darstellung der Sprungantwort des Tiefpasses

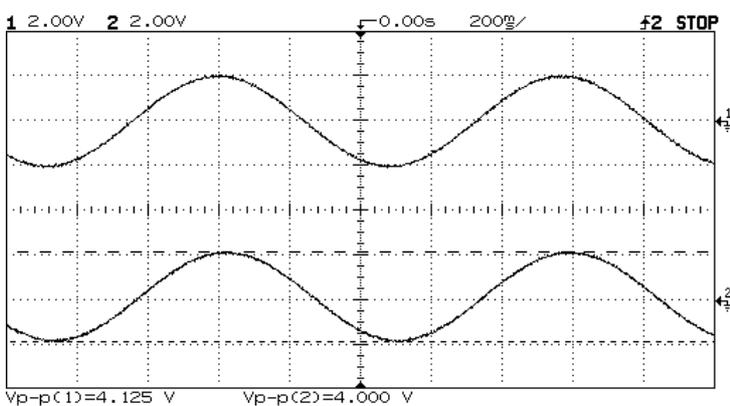


Sprungantwort des Tiefpasses.
 Es sind keine Überschwinger zu erkennen.



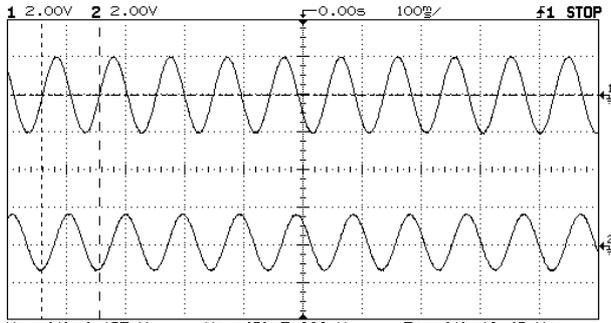
DC-Verhalten des Tiefpasses.
 Die Gleichspannung wird ordnungsgemäß
 übertragen.

3.B) Amplitudenabschwächung bei 0,1fg

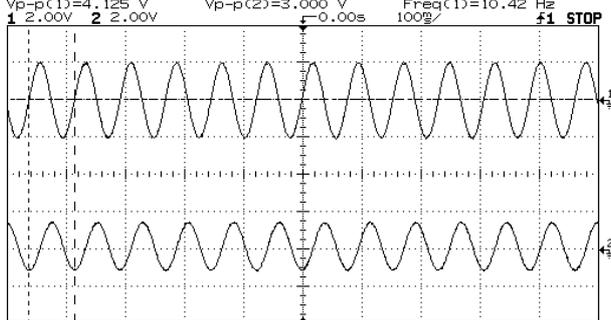


Bei 0,1fg ist die Amplitudenabschwächung
 praktisch vernachlässigbar.

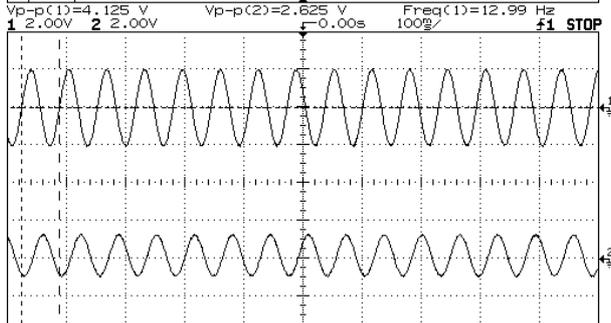
3.C) Amplitudenabschwächung bei 0,8fg; 1fg; 1,2fg; 2fg; 5fg



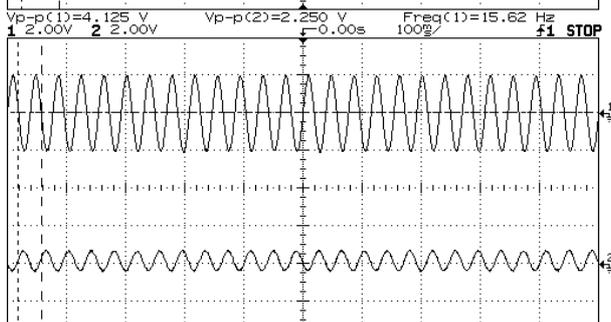
0,8fg=10,4Hz



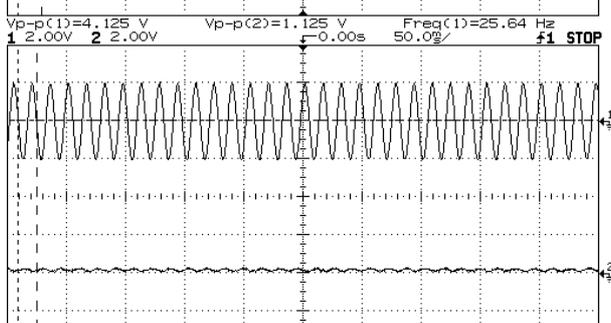
1fg=13Hz



1,2fg=15,6Hz



2fg=26Hz



5fg=65Hz

4.1 Bandpass

Vorbereitungsaufgaben

41.a) Berechnung der Induktivität/Widerstand für $C=100nF$, $f_r=50Hz$, $Q=5$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_R$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_R^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 50^2 Hz^2 \cdot 100nF} = 101,3H$$

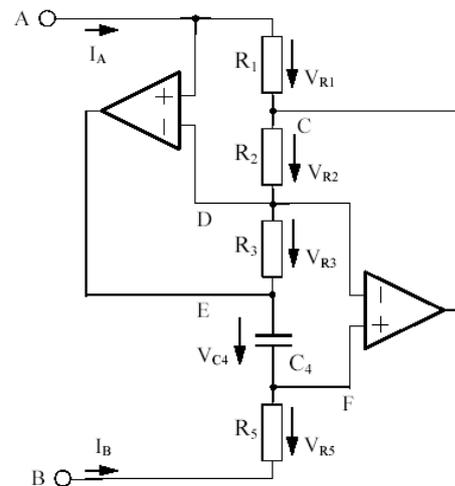
$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \Rightarrow R = Q\sqrt{\frac{L}{C}} = 5\sqrt{\frac{101,3H}{100nF}} = 160k\Omega$$

41.b) Berechnung der Antoniou-Ersatzschaltung

$$L = \frac{C4 \cdot R1 \cdot R3 \cdot R5}{R2}; R1 = R2 = R3 = R5 = R$$

$$\Rightarrow L = C4 \cdot R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{L}{C4}} = \sqrt{\frac{101,3H}{100nF}} = 31,82k\Omega$$



41.d) Auswirkung der Änderung der Kapazität um den Faktor 10

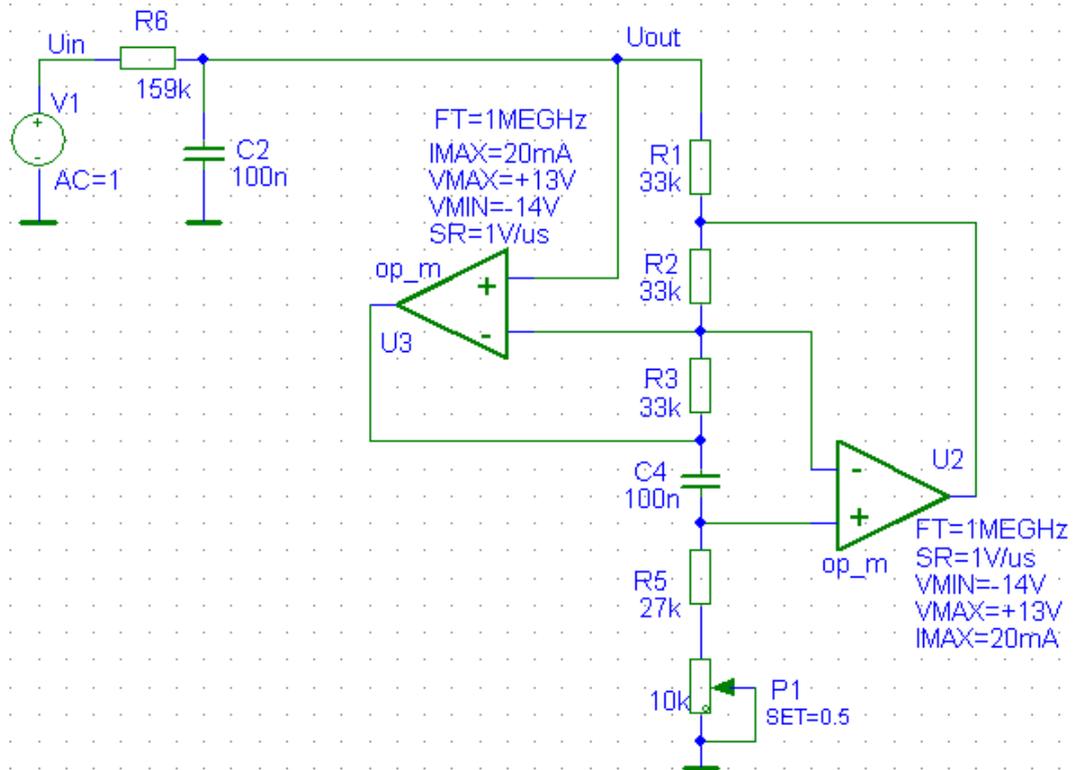
$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C4 \cdot C \cdot R^2}}$$

$$f_R' = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C4}{10} \cdot \frac{C}{10} R^2}} = \frac{10}{2\pi\sqrt{C4 \cdot C \cdot R^2}}$$

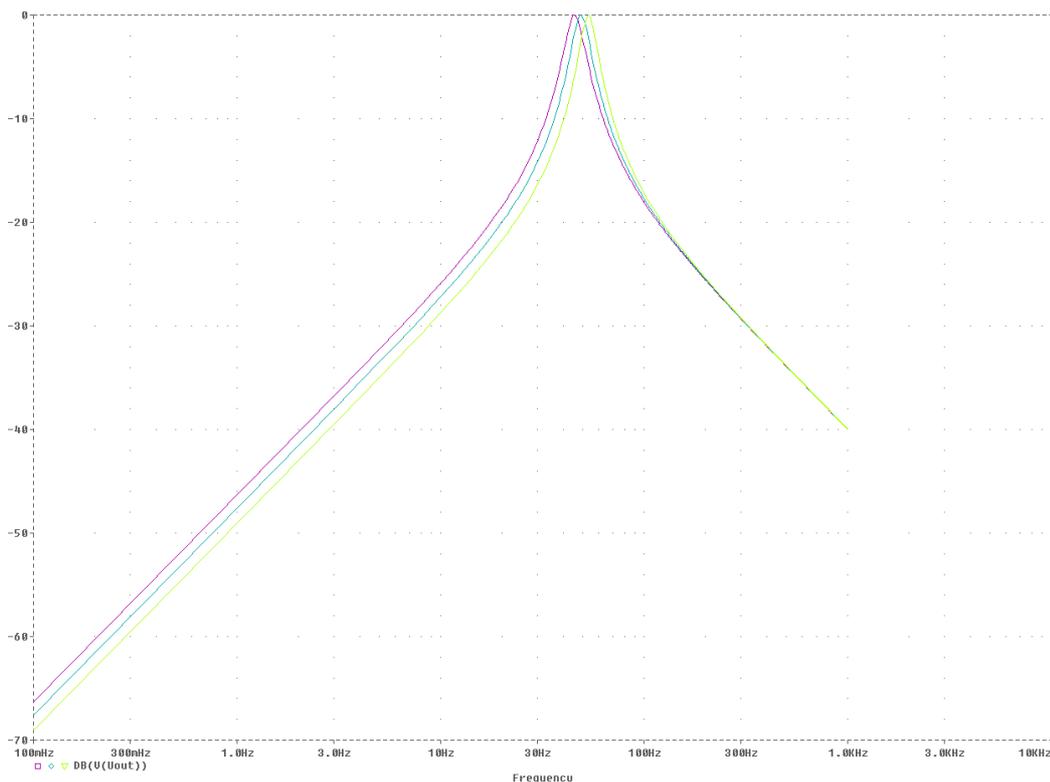
$$f_R' = 10f_R$$

=> Die Resonanzfrequenz verzehnfacht sich auch

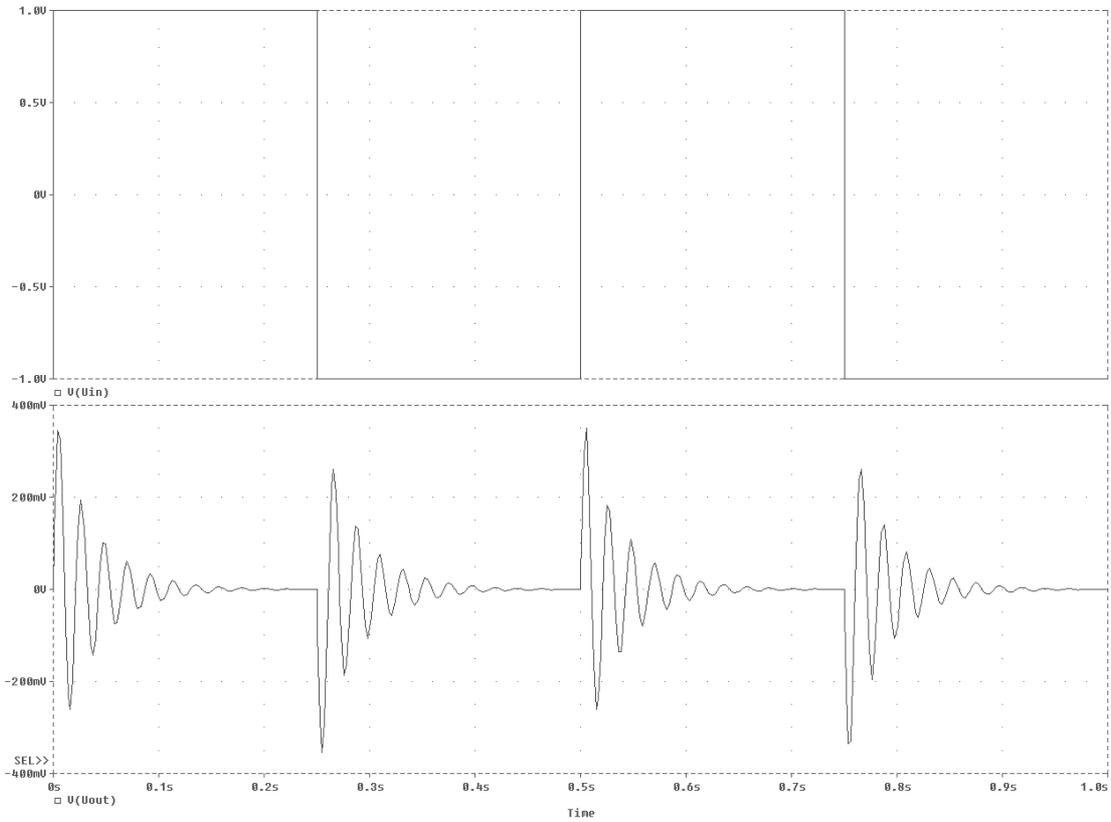
41.e) Zeichnen der Schaltung



41.f) Simulation der Schaltung (AC-Analyse)

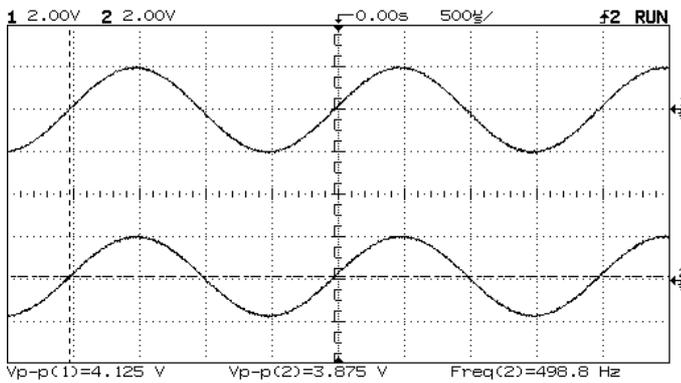


41.g) Simulation der Schaltung (Transienten-Analyse)



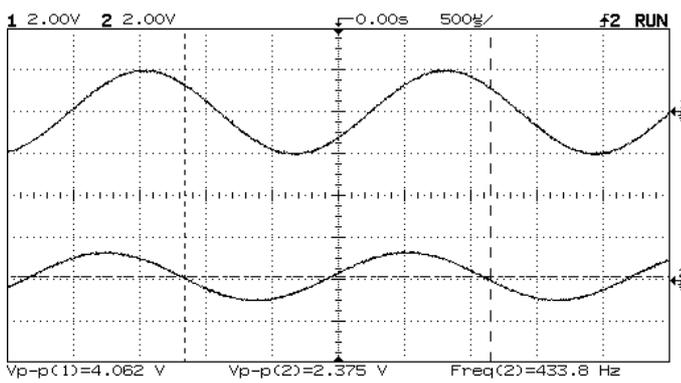
Messaufgaben

41.A) Abgleich des Bandpasses auf Resonanz

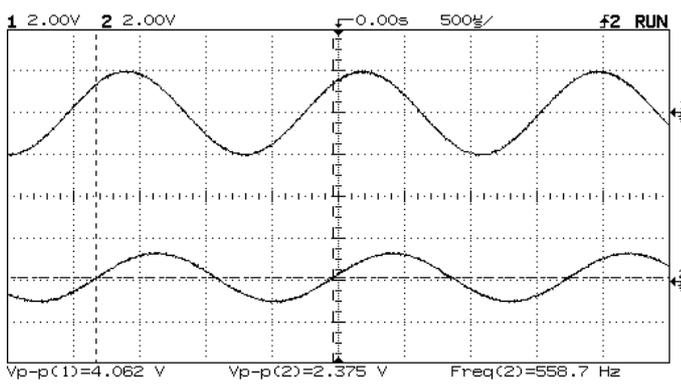


Abgleich auf maximale Amplitude

41.B) Feststellung der -3dB-Frequenzen

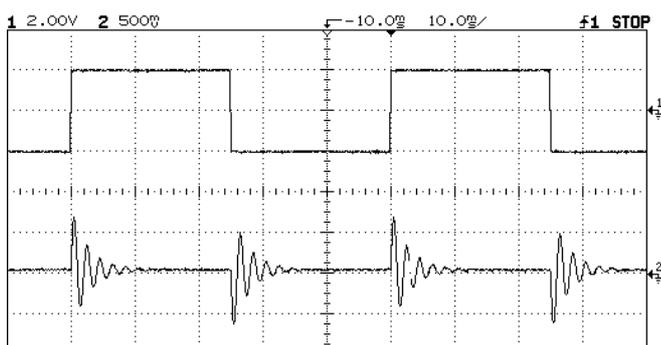


-3dB bei 434Hz



-3dB bei 559Hz

41.C) Sprungantwort des Bandpasses



Die Sprungantwort des Bandpasses

4.2 Bandsperr

Vorbereitungsaufgaben

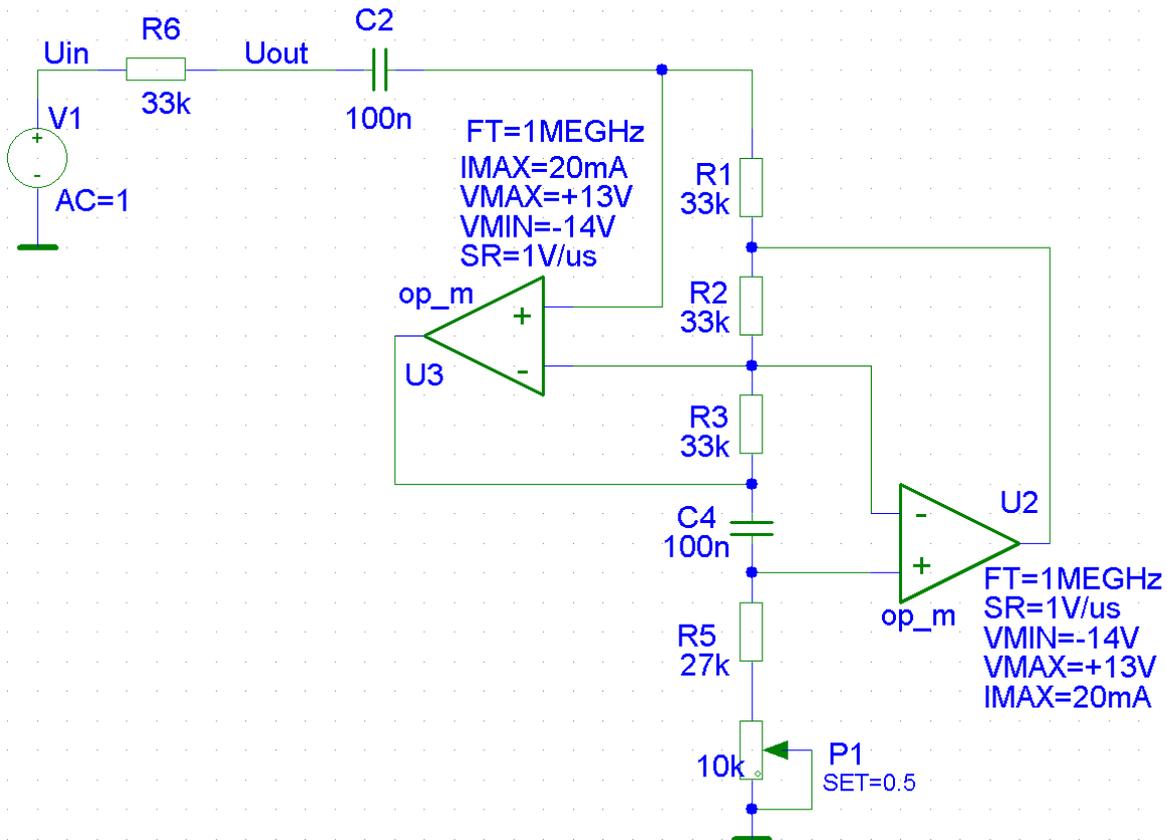
42.a) Berechnung der Induktivität/Widerstand für $C=100nF$, $f_r=50Hz$, $Q=1$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_r$$

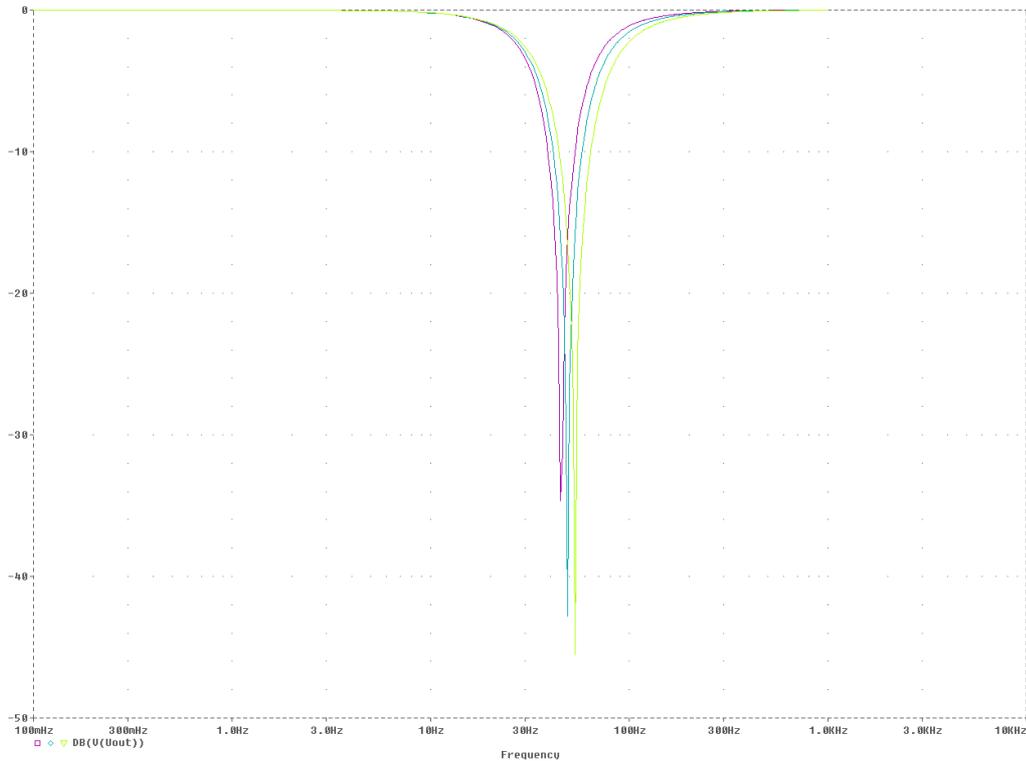
$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 50^2 Hz^2 \cdot 100nF} = 101,3H$$

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \Rightarrow R = Q\sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{101,3H}{100nF}} = 31,83k\Omega$$

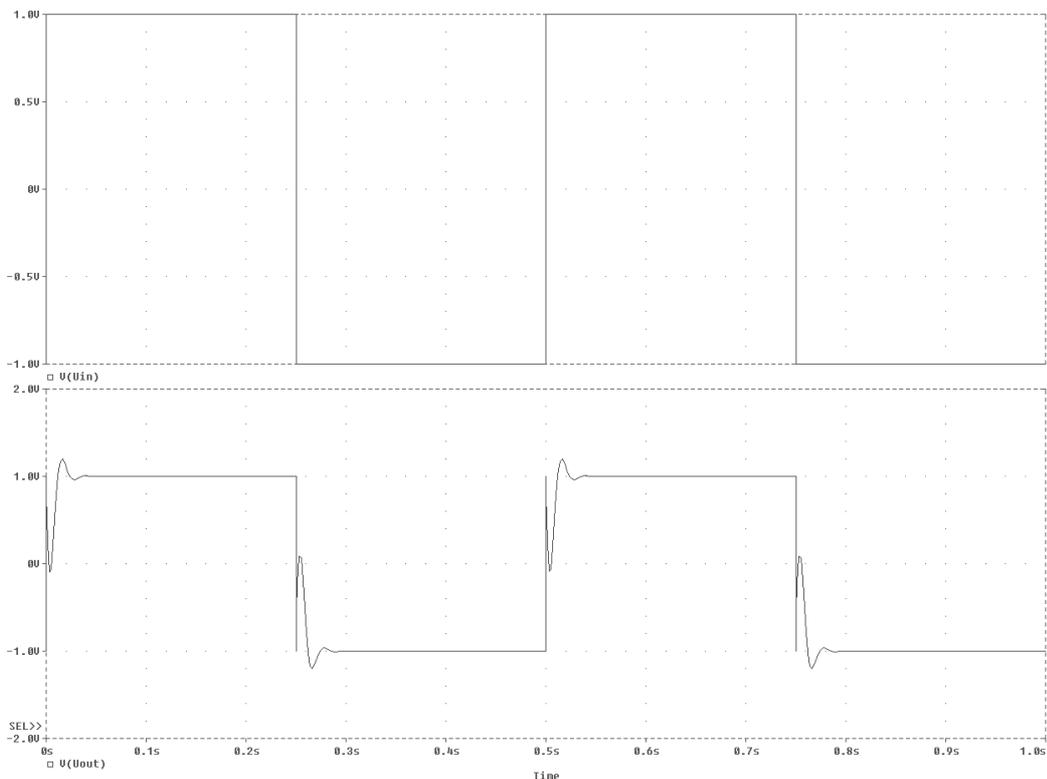
42.b) Zeichnen der Schaltung



42.c) Simulation der Schaltung (AC-Analyse)

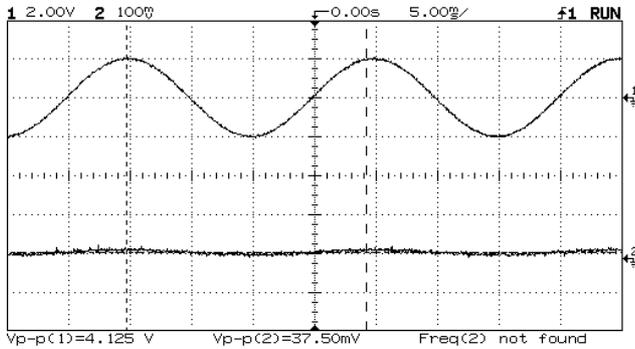


42.d) Simulation der Schaltung (Transienten-Analyse)



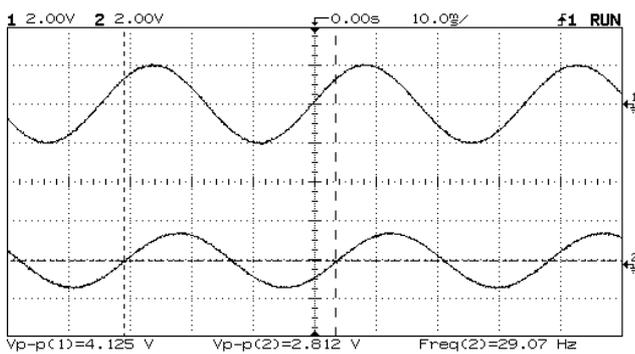
Messaufgaben

42.A) Abgleich der Bandsperre

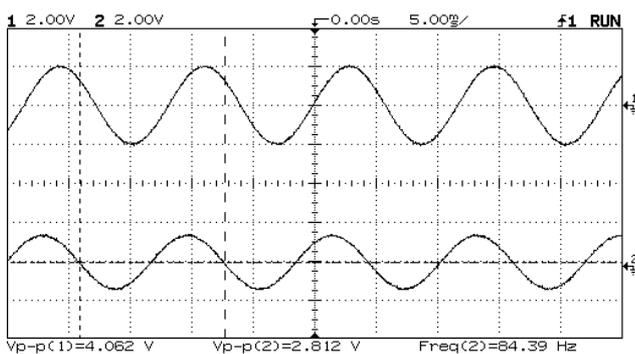


Abgleich auf minimale Amplitude

42.B) Feststellung der -3dB-Frequenzen

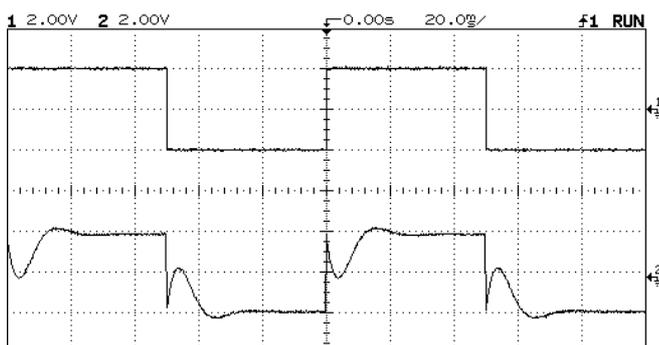


-3dB bei 29Hz



-3dB bei 84Hz

42.C) Sprungantwort der Bandsperre



Die Sprungantwort der Bandsperre

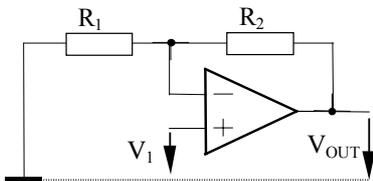
5. Der Komplette EKG-Verstärker

Vorbereitungsaufgaben

5.a) Schaltungsvorschlag für den Spannungsfolger am Eingang

Da nach dem Spannungsfolger der Vorverstärker folgt, biete es sich an, beide Teile zu vereinen. (siehe 5.b))

5.b) Schaltungsvorschlag für Vorverstärker (A=10)



nichtinvertierender Verstärker mit $R_1=1,8k$ und $R_2=15k$

5.c) Schaltungsvorschlag für den Hochpass (fg=0,1Hz)

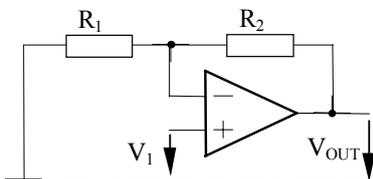
Hierfür wäre ein einfaches RC-Glied geeignet. Mit $f_g=0,1Hz$ und $C=2,2\mu F$ ergibt sich R zu:

$$R = \frac{1}{2\pi f_g C} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,1Hz \cdot 2,2\mu F} = 723k\Omega$$

$$R_{gew} = 680k\Omega$$

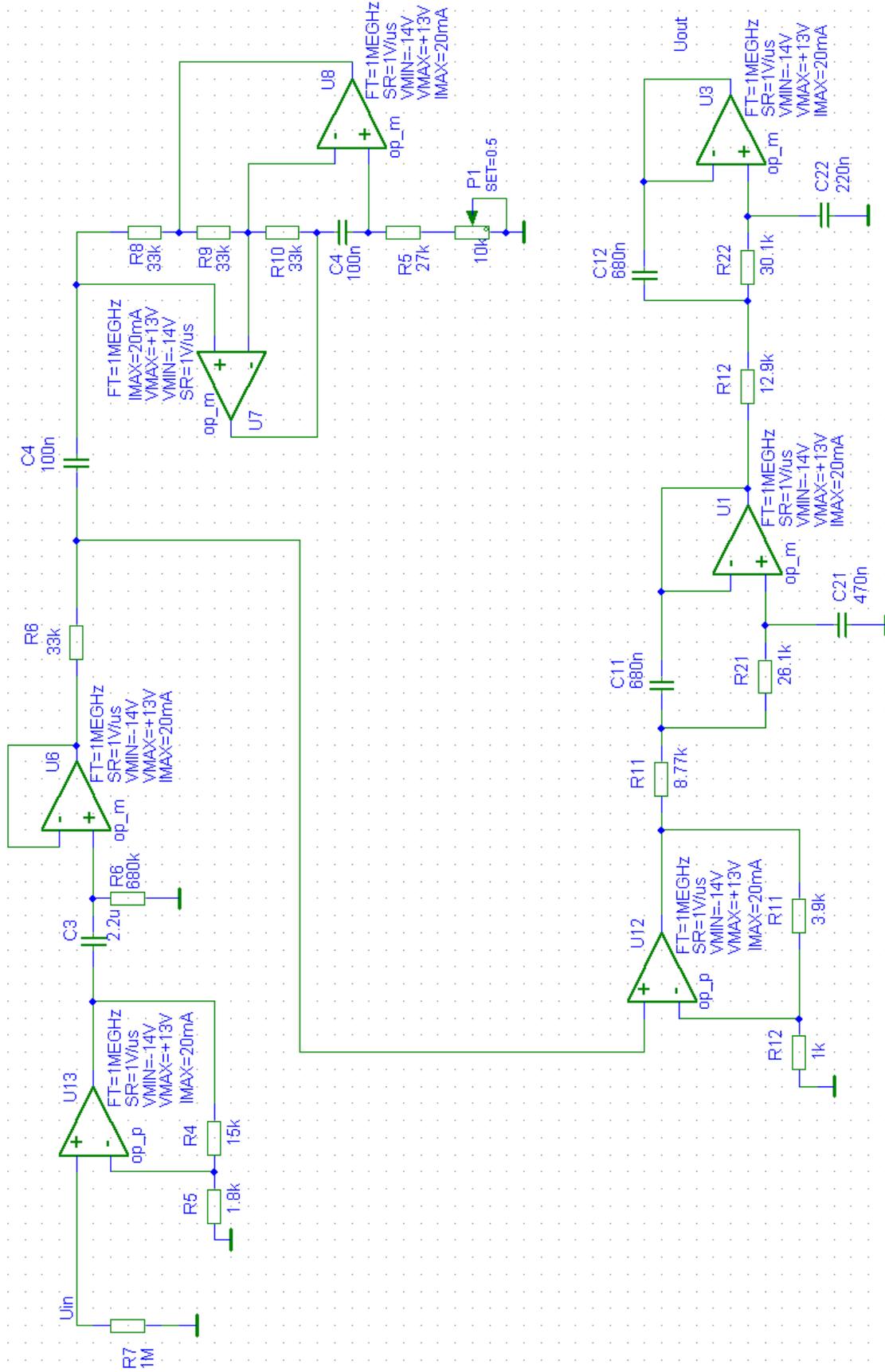
um den Hochpass nicht durch die nachfolgende Schaltung zu belasten, wird ein weiterer Spannungsfolger vorgesehen.

5.d) Schaltungsvorschlag für Nachverstärker (A=5)



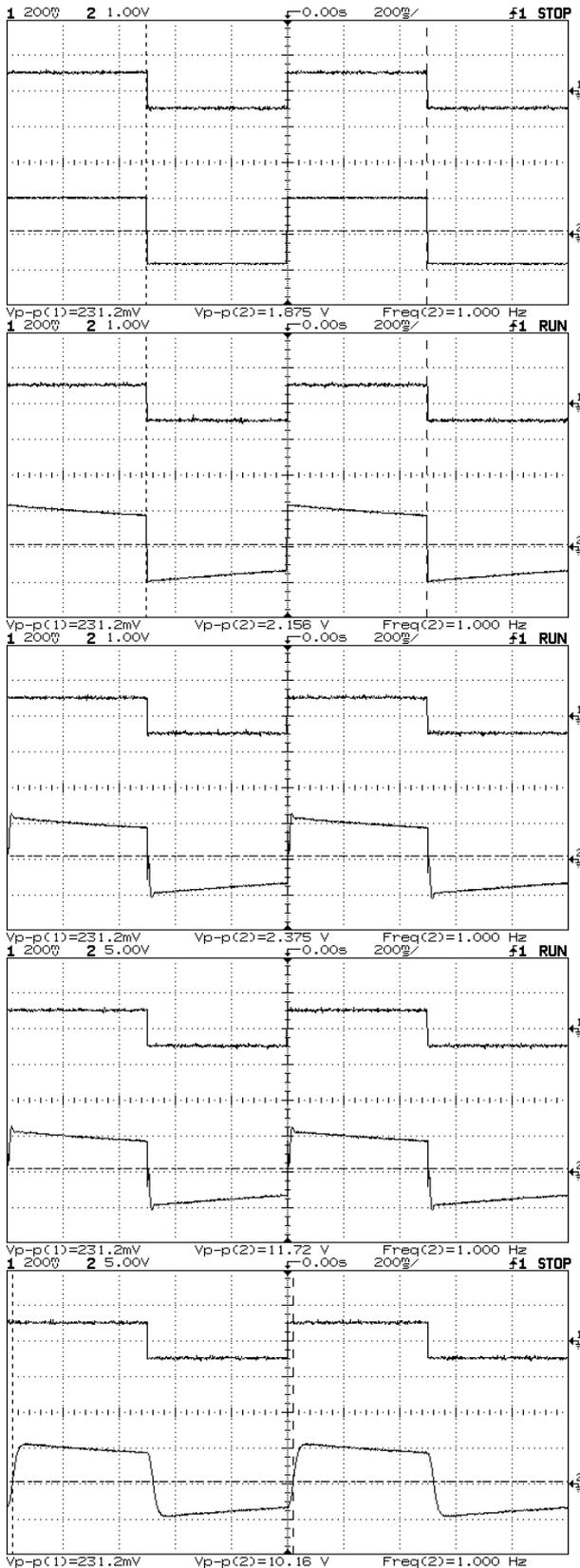
nichtinvertierender Verstärker mit $R_1=1k$ und $R_2=3,9k$

5.e) Zeichnen des Gesamtschaltbildes



Messaufgaben:

5.A) Oszillograpieren aller Ausgänge von Block A-F



Ausgang nach Block B (Block A und B sind im nichtinvertierenden Verstärker vereint)

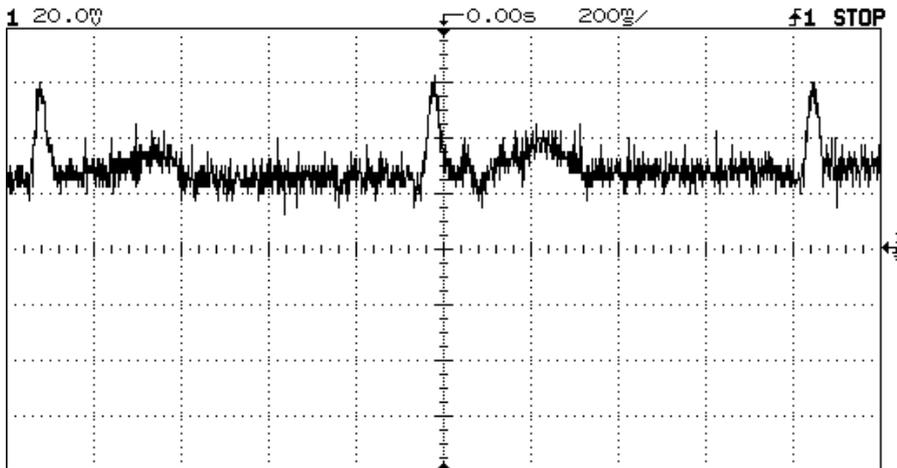
Ausgang nach Block C

Ausgang nach Block D

Ausgang nach Block E

Ausgang nach Block F

5.B) Aufnahme eines EKG an einer Versuchsperson



EKG von Hr. Götte