

Diese Prüfung/Klausur besteht aus einem Fragenteil und einem Rechenteil. Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
 - Schreib- und Zeichengerät
 - Taschenrechner

Note : _____

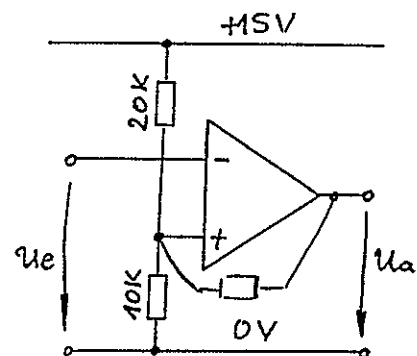
Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

K U R Z F R A G E N :

1. Die Abbildung zeigt einen Komparator. Bei welcher Spannung u_e ändert der Verstärker seine Ausgangsspannung u_a ? (2P)

5V

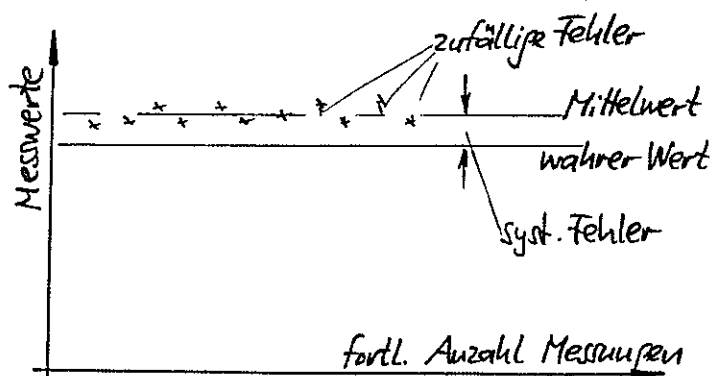
Ergänzen Sie, wie eine Schalthysterese realisiert werden kann! (2P)



2. Mit welchem absoluten Fehler muss man bei einem Druckmanometer (Messbereich 0-50 bar) mit der Fehlerklasse 1.6 (maximal) rechnen? (2P)

0,8 bar

3. Erläutern Sie z.B. anhand einer Skizze den Unterschied zwischen dem zufälligen Fehler und dem systematischen Fehler! (4P)



4. Wie wird der Bereich unterhalb dem Anzeigebereich bezeichnet? (1P)

Unterdrückungsbereich

5. Nennen Sie je ein Beispiel für ein aktives und passives Messverfahren! (2P)

aktiv: Thermoelement } zur Temperaturmessung
 passiv: Pt100

6. Bestimmen Sie von den 3 Messwerten $x_1=69$, $x_2=70$, $x_3=71$ die Standardabweichung (Lösungsweg muss ersichtlich sein!!)
(3 P)

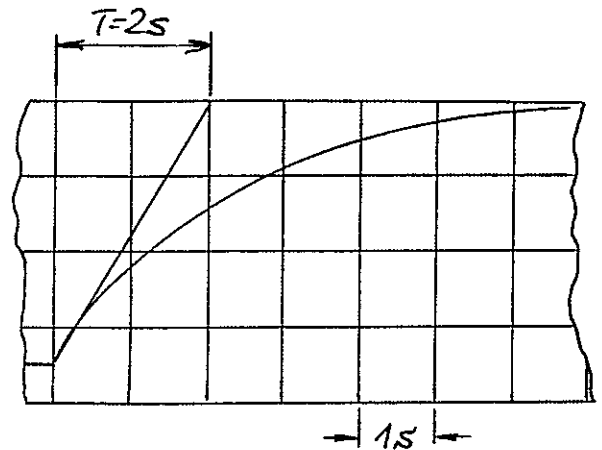
$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{3-1} [1^2 + 0^2 + 1^2]} = \sqrt{\frac{2}{2}} = 1 \quad (\text{wobei } \bar{x} = 70)$$

7. Bei der Untersuchung des dynamischen Verhaltens eines Temperaturfühlers ergibt sich unter anderem die nebenstehende Gleichung. Wie erhält man daraus die Zeitkonstante? (3 P)

$$A \cdot \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_\infty) = m \cdot c \cdot \frac{d\vartheta}{dt} \quad \left| \frac{1}{A\alpha} \right.$$

$$\tau = \frac{m \cdot c}{A \cdot \alpha} = \frac{1}{T}$$

8. Bei einem Temperaturfühler wird bei einer sprunghaftigen Temperaturänderung der abgebildete Temperaturverlauf aufgezeichnet. Bestimmen Sie die Zeitkonstante! (3 P)



9. Welches Signal wird zur Kalibrierung von DMS-Aufnehmern häufig verwendet? (2 P)

$$1 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$$

10. Ein Trägerfrequenzmessverstärker besitzt einen Tiefpass mit einer Eckfrequenz von 1000 Hz. Mit welcher Frequenz muss dann mindestens abgetastet werden, damit sich kein Aliasing-Effekt einstellt?
(2 P)

$$2000 \text{ Hz}$$

11. Welcher Filter wird durch die angegebene Gleichung beschrieben?
(2 P)

$$|G| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R C)^2}}$$

Tiefpass (1. Ordnung)

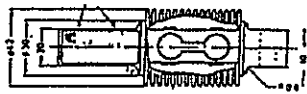
- Bei welcher Frequenz beträgt das Amplitudenverhältnis -3 dB?
(2 P)

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

- Um wie viel Prozent ist das Ausgangssignal dann kleiner als das Eingangssignal?
(2 P)

$$\approx 30\% \quad (\text{Faktor} = 1/\sqrt{2})$$

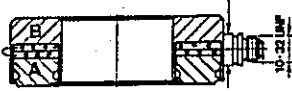
12. Welche physikalischen Größen werden mit den abgebildeten Messaufnehmern gemessen? Wie wird der jeweilige Aufnehmer benannt/Prinzip/... ? (16 P)



Kraft, DMS-Prinzip, Vollbrücke



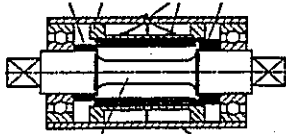
Wegmessung, induktiv, LVDT



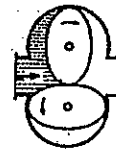
Kraft, Quarzunterlegscheiben, piezoelektrisch



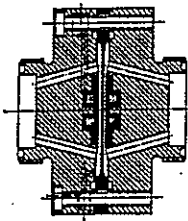
Beschleunigung, induktiv



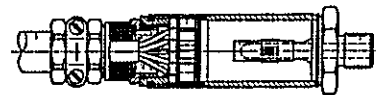
Drehmoment, induktiv (Verdrehwinkel)



Durchfluss, Venturizähler, volumetrisch



Druckdifferenz, induktiv



Druckaufnehmer, DMS

13. Ein Thermoelement mit der Empfindlichkeit von $37,3 \mu\text{V}/\text{K}$ befindet sich auf einer Temperatur von 100°C . Die Thermospannung wird mit einem Voltmeter gemessen (Raumtemperatur 20°C). Wie groß ist die gemessene Thermospannung?
(3P)

$$37,3 (100 - 20) \mu\text{V} = 2,984 \text{ mV}$$

14. Nennen Sie eines der häufig eingesetzten Thermopaare! (1P)

K-Typ (NiCr-Ni)

15. Wie wird der Leitungswiderstand bei der Temperaturmessung mit einem Pt100 berücksichtigt/eliminiert?

(2P)

Drei- / Vierleiterschaltung

16. Wie groß ist die Auflösung von einem 16 bit A/D-Wandler (Signalbereich $\pm 10 \text{ V}$)?

(2P)

$$20\text{V} / 2^{16} = 0,305 \text{ mV}$$

Welche Auflösung (Anzahl bit) wird häufig in der Praxis verwendet?

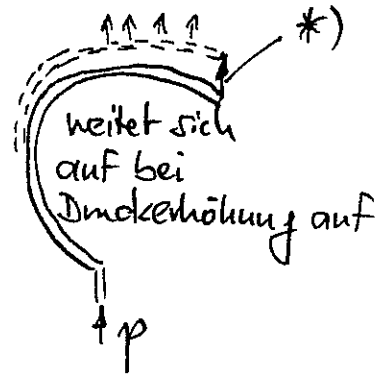
(2P)

12 bit

17. Wozu wird ein Bourdon-Rohr verwendet?
Erläutern Sie in Kürze die Funktion
(Skizze)! (4 P)

Druckmessung

*) Weg wird über Zahnsegmente vergrößert
und als Winkelausschlag angezeigt



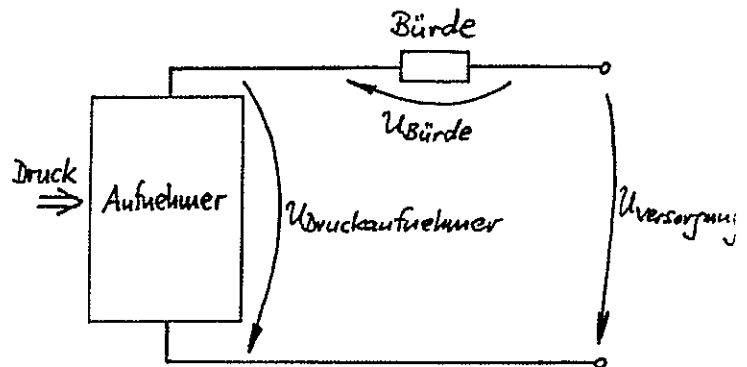
18. Wie lautet die Komplementärbezeichnung zu einem NPN-Transistor?
(1 P)

PNP

RECHENTEIL

Aufgabe 1 (11 P)

Bei einem Druckaufnehmer in 2-Leitertechnik (0-10 bar) steht zur Auswertung ein Strom von 4-20 mA zur Verfügung. Zur weiteren Signalverarbeitung wird eine Bürde von 150 Ω verwendet. Zum Zeitpunkt der Messung beträgt der Druck 4 bar.



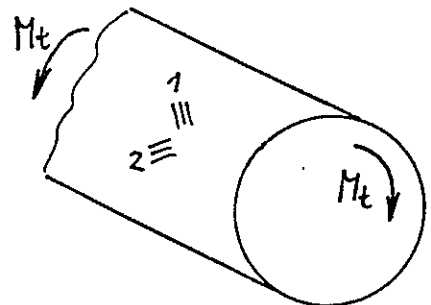
- Wie groß ist der zu messende Spannungsabfall an der Bürde ($U_{Bürde}$) und der Spannungsabfall am Druckaufnehmer ($U_{Druckaufnehmer}$), falls die Versorgungsspannung 15 V beträgt?
- Wie groß muss die Versorgungsspannung mindestens sein, damit bei Ausschöpfung des gesamten Messbereiches am Druckaufnehmer stets eine Mindestspannung von $U_{Druckaufnehmer} = 12$ V anliegt (Bürde = 150 Ω)?

Aufgabe 2 (10 P)

Zur Messung eines Drehmomentes wird die abgebildete DMS-Anordnung (Halbbrücke) verwendet. Wie groß ist das Drehmoment, welches eine Brückenverstimmung von 1 mV/V erzeugt?

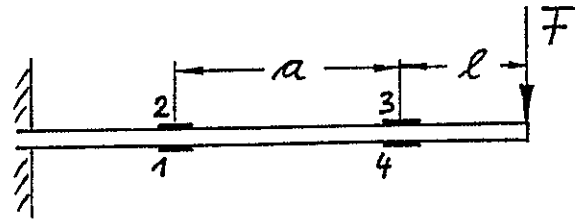
Sei: $K = 2,04$; $G = 80000$ N/mm²; $d = 20$ mm

Hilfestellung: $\epsilon_{DMS} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$; $W_P = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$



Aufgabe 3 (11 P)

Die Abbildung zeigt einen Aufnehmer zur Kraftmessung. Die DMS sind alle in Längsrichtung des Biegebalkens appliziert. Es handelt sich um einen Rechteckquerschnitt mit der Breite b und der Höhe h .



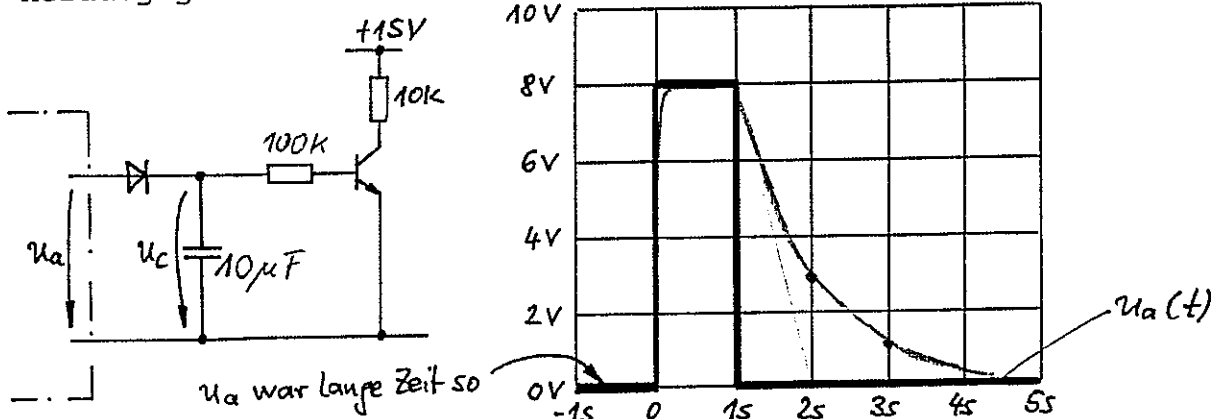
- Bestimmen Sie zunächst die Dehnungen ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 und ϵ_4 und danach einen formelmäßigen Zusammenhang zwischen der Brückenverstimmung u_D/u_B und der Kraft F !
- Wie ändert sich die Brückenverstimmung, falls sich der Abstand a um 1 % verändert? (Methode scharfes Hinsehen, Begründung!)
- Wie ändert sich die Brückenverstimmung, falls sich der Abstand l um 1 % verändert? (Methode scharfes Hinsehen, Begründung!)

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} \right)$$

$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Aufgabe 4 (11 P)

Am Ausgang eines Messverstärkers wird das abgebildete Ausgangssignal u_a herausgegeben.



- Skizzieren/Ergänzen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung u_c am Kondensator!
- Wie groß ist der Stromverstärkungsfaktor des Transistors zur Zeit $t = 2s$?

Bem.: Zur Vereinfachung können alle Durchlassspannungen vernachlässigt werden.

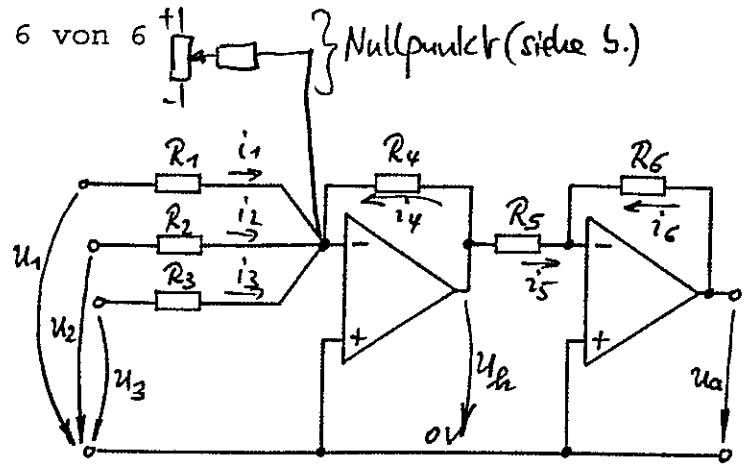
Hilfestellung: $T = R \cdot C$; $\beta = \frac{i_c}{i_B}$; $\frac{\text{momentane Differenz}}{\text{Anfangsdifferenz}} = e^{-\frac{t}{T}}$

Aufgabe 5 (10 P)

Zur Erfassung des Füllstandes eines Behälters werden durch 3 Kraftaufnehmer (Dreipunktauflage) die einzelnen Lagerkräfte gemessen. Mit der folgenden Schaltung werden die einzelnen kraftproportionalen Signale addiert, so dass der Gesamtfüllstand angezeigt werden kann. Dazu ist folgende Gleichung zu realisieren:

$$U_a = U_1 + U_2 + U_3$$

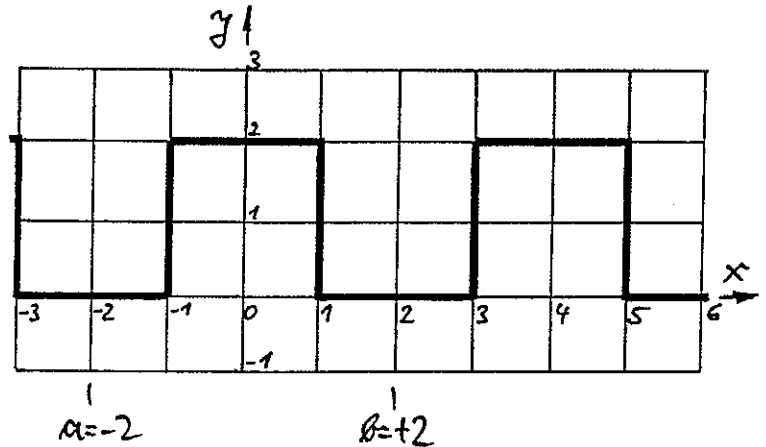
- Bestimmen Sie die Widerstände R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 und R_6 !
- Ergänzen Sie die Realisierung einer Nullpunktverschiebung!



Aufgabe 6 (10 P)

Von dem abgebildeten Signal soll der Konstantanteil $a_0/2$, a_1 und b_1 bestimmt werden. (Bem.: Exakte Lösung !)

$$\int \cos(ax) dx = \frac{1}{a} \sin(ax) + C$$



Hilfestellung:

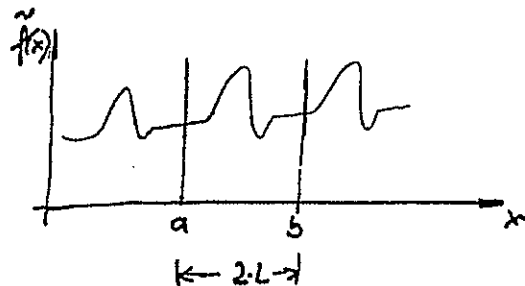
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann läßt sich $\tilde{f}(x)$ durch eine Reihenentwicklung approximieren:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos\left(i \frac{\pi}{L} x\right) + \sum_{i=1}^n b_i \sin\left(i \frac{\pi}{L} x\right)$$

wobei

$$a_i = \frac{1}{L} \int_a^b \tilde{f}(x) \cos\left(i \frac{\pi}{L} x\right) dx$$

$$b_i = \frac{1}{L} \int_a^b \tilde{f}(x) \sin\left(i \frac{\pi}{L} x\right) dx$$



$$\text{zu 1, a)} i = (4 + 16 \frac{4}{10}) \text{ mA} = 10,4 \text{ mA}$$

$$\underline{U_{\text{Bürde}}} = 10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \text{ V} = \underline{1,56 \text{ V}}$$

$$\underline{U_{\text{Wandaufnehmer}}} = 15 \text{ V} - 1,56 \text{ V} = \underline{13,44 \text{ V}}$$

$$\text{b)} U_{\text{Bürde}} = 150 \Omega \cdot 20 \text{ mA} = 3 \text{ V}$$

$$\underline{U_{\text{Versorgung}}} = 3 \text{ V} + 12 \text{ V} = \underline{15 \text{ V}} \text{ (reicht gerade aus)}$$

$$\text{zu 2)} \frac{U_D}{U_B} = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{2} K \epsilon_{\text{Drs}} = \frac{1}{2} K \frac{\tau}{2 \cdot G} = \frac{K}{4G} \frac{M_t}{W_p}$$

$$\Rightarrow M_t = \frac{U_D}{U_B} \frac{4 \cdot G}{K} W_p = 10^{-3} \frac{4 \cdot 80000 \text{ N/mm}^2}{2,04} \frac{\pi \cdot 20^3 \text{ mm}^3}{16}$$

$$\underline{\underline{= 246,4 \text{ Nm}}}$$

$$\text{zu 3, a)} \underline{\underline{\epsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} = \frac{F(a+l)}{E W_b}}}; \underline{\underline{\epsilon_1 = -\epsilon_2 = -\frac{F(a+l)}{E W_b}}}$$

$$\underline{\underline{\epsilon_3 = \frac{F \cdot l}{E W_b}}}; \underline{\underline{\epsilon_4 = -\epsilon_3 = -\frac{F \cdot l}{E W_b}}}$$

$$\frac{U_D}{U_B} = \frac{K}{4} (\epsilon_2 + \epsilon_4 - \epsilon_1 - \epsilon_3)$$

$$= \frac{K}{4} \left(\frac{F(a+l)}{E W_b} - \frac{F l}{E W_b} - \left(-\frac{F(a+l)}{E W_b} \right) - \frac{F l}{E W_b} \right)$$

$$\underline{\underline{= \frac{K \cdot a \cdot F}{2 E W_b} = \frac{3 \cdot K \cdot a \cdot F}{E B b^2}}}$$

b) 1%, da a linear in Rechnung eingeht

c) unabhängig von l, da nicht in Gleichung enthalten

Lösungen Prüfung/Klausur Messtechnik 14.7.2000 Blatt 2

zu 4.) $T = R \cdot C = 100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 1 \text{ s}$

$$\frac{u_{\text{momentan}}}{u_{\text{Anfang}}} = \frac{x}{8V} = e^{-\frac{t}{T}} = e^{-1} \Rightarrow x = 2,94 \text{ V} = u_C / t = 2 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} i_B &= \frac{2,94 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = 0,0294 \text{ mA} \\ i_C &= \frac{15 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 1,5 \text{ mA} \end{aligned} \quad \left\{ \beta = \frac{i_C}{i_B} = \frac{1,5}{0,0294} = \underline{\underline{51,02}} \right.$$

zu 5.) $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$

$$\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} + \frac{u_4}{R_4} = 0 \Rightarrow u_4 = -R_4 \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} \right) \quad (1)$$

$$i_5 + i_6 = 0$$

$$\frac{u_4}{R_5} + \frac{u_a}{R_6} = 0 \Rightarrow u_a = -\frac{R_6}{R_5} \cdot u_4 \quad (2)$$

① in ②: $u_a = \frac{R_6}{R_5} \left(\frac{R_4}{R_1} u_1 + \frac{R_4}{R_2} u_2 + \frac{R_4}{R_3} u_3 \right)$

Koeffizientenvergleich mit geg. Gleichung $\rightarrow$ alle R_i gleich (z.B. $10 \text{ k}\Omega$)

zu 6) $\tilde{F}(x)$ gerade $\rightarrow \underline{\underline{b_1 = 0}}$

$$\frac{a_0}{2} = 1 \quad (\text{Methode schartes Hinschauen})$$

$$\alpha = -2 \quad \left\{ \begin{array}{l} 2L = 4 \Rightarrow L = 2 \\ b = \pm 2 \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} 2 \cos\left(1 \frac{\pi}{2} x\right) dx = \int_{-1}^{+1} \cos\left(\frac{\pi}{2} x\right) dx \\ &= \frac{2}{\pi} \left[\sin\left(\frac{\pi}{2} x\right) \right]_{-1}^{+1} = \frac{2}{\pi} \left[\underbrace{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}_{1} - \underbrace{\sin\left(-\frac{\pi}{2}\right)}_{-1} \right] \\ &= \underline{\underline{\frac{4}{\pi}}} \end{aligned}$$