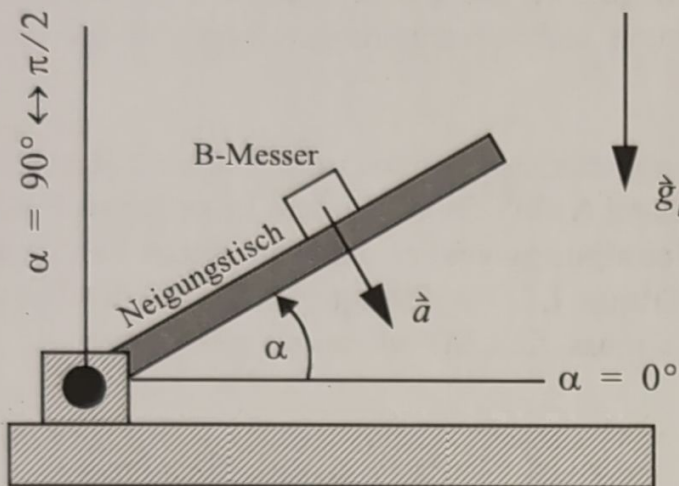


5. Kapitel: Versuchsteil

Stellen Sie den Neigungswinkel $\alpha \in [0 \dots \pi/2]$ als Funktion der vom Sensor gemessenen Beschleunigung $a = |\vec{a}|$ und der lokalen Erdbeschleunigung $g_l = |\vec{g}_l|$ dar.



Lösung:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{|\vec{a}|}{|\vec{g}_l|}\right)$$

Bild 5.2 Modell des Neigungstisches

Entnehmen Sie aus dem Datenblatt des Beschleunigungssensors (s. Anhang A ab Seite 37) die minimalen, maximalen und die typischen Werte für die Offsetspannung, das Messrauschen und die Empfindlichkeit bei 25°C.

	minimal	typisch	maximal	physik. Einheit
Offsetspannung u_{off}	2,25/2,2	2,5	2,75/2,88	V
Empfindlichkeit S	1,110/1,114	1,2	1,260/1,290	V/g
Messrauschen η_{RMS}	—	5,6	9,6	mVrms

Tabelle 5.1 Sensorkenndaten

Bestimmen Sie die lineare Messgleichung des Beschleunigungssensors **analytisch** als Funktion von a , und den Sensorkenndaten u_{off} und S . Die Dimension der Ausgangsspannung sei Volt. Die Beschleunigung a soll in der Einheit m/s^2 in die Messgleichung eingesetzt werden können. Verwenden Sie dazu den Zusammenhang $1g = 9.80665 m/s^2$.

Messgleichung:

$$\begin{aligned} \tilde{u}(S, a, u_{off}) &= u_{off} + \frac{S}{9,80665} a \\ &= u_{off} + \frac{S \frac{m}{s^2}}{g} a \end{aligned}$$

! Prüfen Sie Ihr Ergebnis auf Plausibilität, indem Sie die Einheiten vergleichen (Erhalten Sie Volt?!).

Die mittlere Erdbeschleunigung beträgt $9.80665 m/s^2$. Führen Sie eine "worst-case"-Betrachtung für eine Umgebungstemperatur von 25°C durch. Welcher maximale Spannungswert kann am Sensorausgang erreicht werden? Welcher minimale Spannungswert kann erreicht werden, wenn keine Beschleunigung einwirkt (z. B. im Weltall)?

Antwort:

$$\tilde{u}_{max} = S_{max} \cdot 1 \frac{m}{s^2} + u_{off} = 4,02$$

$$\tilde{u}_{min} = 2,25V$$

Bei der Modellierung des Neigungstisches haben Sie den Neigungswinkel α als Funktion der Beschleunigung a ermittelt. Substituieren Sie a durch ihre Messgleichung, so dass Sie den **Neigungswinkel als Funktion der Spannung $\tilde{u}$** erhalten. Lösen Sie zuerst die Messgleichung nach a auf.

Hinweis: Unterscheiden Sie sorgfältig zwischen der konstanten Bezugsgröße "1g" und der lokalen Erdbeschleunigung g_l , die von der Erdgeometrie und der Position abhängt (s. Gl. (5.1)).

**Lösung:**

$$a(\tilde{u}) = \frac{\tilde{u} - u_{off}}{S} \cdot \frac{g}{1 \frac{m}{s^2}}$$

$$\alpha(\tilde{u}) = \arccos \left(\frac{\tilde{u} - u_{off}}{S \cdot g_l} \cdot \frac{g}{1 \frac{m}{s^2}} \right)$$

Die Messgleichung für $\alpha(\tilde{u})$ ist bedingt durch die trigonometrische Funktion hochgradig nicht-linear. Bestimmen Sie die Empfindlichkeit $S_\alpha = \frac{d\alpha}{d\tilde{u}}$:

Lösung:**Hinweis:**

$$\frac{d}{dx}(\arccos(x)) = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$$

$$S_\alpha = \frac{d\alpha}{d\tilde{u}} = -\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\tilde{u} - u_{off}}{S \cdot g_l} \cdot \frac{g}{1 \frac{m}{s^2}} \right)^2}} \cdot \frac{g}{S \cdot g_l} \cdot \frac{1}{1 \frac{m}{s^2}}$$

Bedingt durch die Geometrie der Erde, der Erdrotation und der damit verbundenen Zentrifugalkraft ist die lokale Erdgravitation g_l eine Funktion des Erdradius R , der Höhe h über dem Meeresspiegel und der geographischen Breite φ . Ein gute Näherungsformel für g_l ist durch Gl. (5.1) gegeben:

Überprüfen Sie Ihre Kenngrößen mit den Datenblattwerten auf Plausibilität.

Antwort:

Mittelwert aller N Mittelwerte:

$$u_1 = \underline{3,87227} \text{ V}$$

$$u_{\text{off}} = \underline{2,5971} \text{ V}$$

$$\alpha_1 = \underline{0}^\circ$$

$$N_1 = \underline{122}$$

$$\eta_{\text{RMS1}} \approx \underline{4,5} \text{ mV}$$

$$u_2 = \underline{2,5971} \text{ V}$$

$$\alpha_2 = \underline{90}^\circ$$

$$N_2 = \underline{120}$$

$$\eta_{\text{RMS2}} \approx \underline{4,9} \text{ mV}$$

$$S = \underline{1,27517} \text{ V/g}$$

5.5 Aufgabe 5: VI zur Neigungsmessung

Erstellen Sie nun das VI zur Messung des Neigungswinkels. Kopieren Sie dazu aus dem Ordner Vorlagen das VI **Neigungsmesser_Vorlage.vi** auf den Desktop und benennen Sie es um in **Neigungsmesser.vi**. Ergänzen Sie die fehlenden Komponenten des **Block Diagram**.

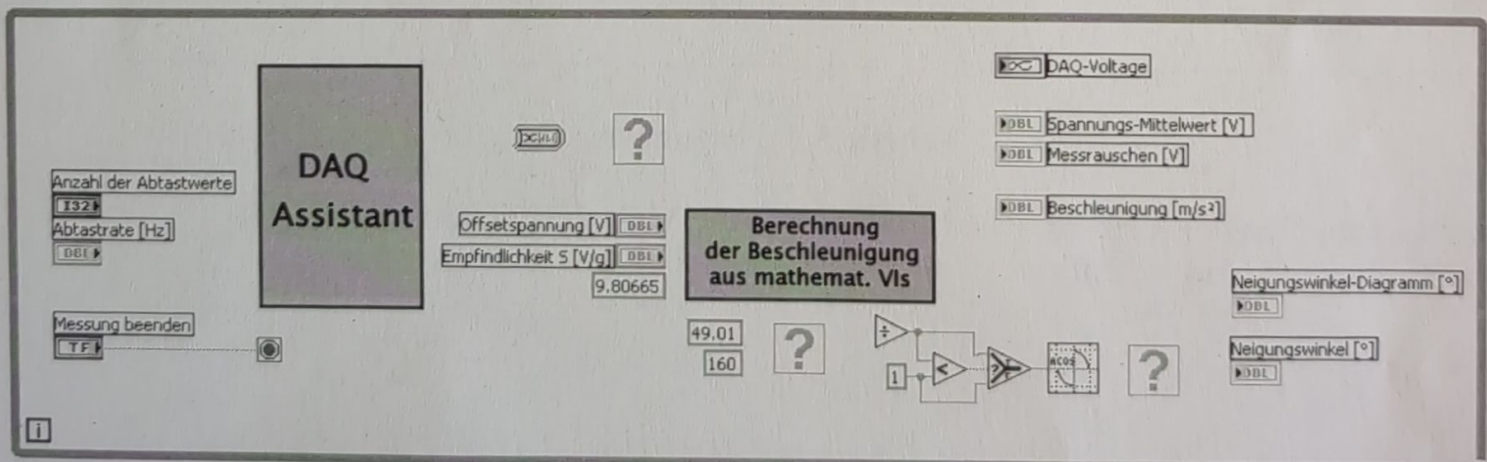


Bild 5.7 Vorlage Block Diagram des VI Neigungsmesser.vi

Hinweise:



5. Kapitel: Versuchsteil

- Platzieren Sie den DAQ-Assistent wie in Abschnitt 4.3 ab Seite 15 beschrieben. Verwenden Sie denselben **Min-Max Signalbereich** wie in Aufgabe 4.
- Verbinden Sie **Messung beenden** auch mit dem **stop (T)** Eingang des DAQ-Assistent.
- Verwenden Sie - wo möglich - bereits erstellte VIs aus den vorherigen Aufgaben.
- Die Beschleunigung $a(\tilde{u})$ haben Sie in Aufgabe 1 bereits berechnet. Realisieren Sie die **Beschleunigungsberechnung** mit mathematischen VIs (Addition, Subtraktion, etc.).
- Verwenden Sie im Front Panel die Abtastrate von **120 Hz** und mitteln Sie über **30 Werte**.

Was macht die Fallunterscheidung vor der Arkuscosinusfunktion? Weshalb wird Sie benötigt?

Antwort: weil der Arccos nicht für >1 definiert ist

Geben Sie die sensorspezifischen Kenngrößen aus Aufgabe 4 im Front Panel des VI ein und testen Sie das VI. Stellen Sie dazu den Neigungstisch auf die in der folgenden Tabelle angegebenen Winkel. Trotz Mittelwertbildung rauscht ihr Messergebnis. Geben Sie daher den jeweils größten und den kleinsten Winkel an, den Sie für die eingestellte Neigung messen.

Neigungswinkel lt. Skala	kleinster gemessener Winkel [°]	größter gemessener Winkel [°]	Spannung- Mittelwert [V]
90°	90	90,2	2,596
75°	74,3	74,5	2,939
45°	44,7	44,9	3,5
20°	19,9	20,3	3,795
5°	4,2	6,7	3,86
0°	0	2,7	3,87

Tabelle 5.3 Neigungsmessung

In welchem Neigungsbereich verschlechtert sich die Messgenauigkeit spürbar ?
Haben Sie eine Idee weshalb ?

Antwort:

*Accos sehr steil
Fehler S größer*

5.6 Aufgabe 6: VI zur Untersuchung der Fehlerfortpflanzung

In Aufgabe 1 haben Sie die Empfindlichkeit $S_\alpha = \frac{d\alpha}{d\tilde{u}}$ berechnet. Erstellen Sie nun ein VI zur Berechnung des Winkelfehlers $\Delta\alpha$ als Funktion des Messfehlers $\Delta\tilde{u}$. Kopieren Sie das VI Fehlerfortpflanzung_Vorlage.vi aus dem Ordner Vorlagen auf ihren Desktop und benennen Sie es in Fehlerfortpflanzung.vi um. Ergänzen Sie im MathScript die Berechnung der Fehlerfortpflanzung und fügen Sie die beiden fehlenden VIs im Block Diagramm (s. Bild 5.8) ein.

Hinweise:

- Die Wurzelfunktion in Math-Script lautet sqrt(x). Beispiel: $\sqrt{5} = \text{sqrt}(5)$.
- Jede MathScript Zeile muss mit einem Semikolon ; abgeschlossen sein.
- Verwenden Sie eine sinnvolle Klammerung () für die Berechnung.

Tragen Sie die sensorspezifischen Kenngrößen aus Aufgabe 4 im Front Panel des VI ein.

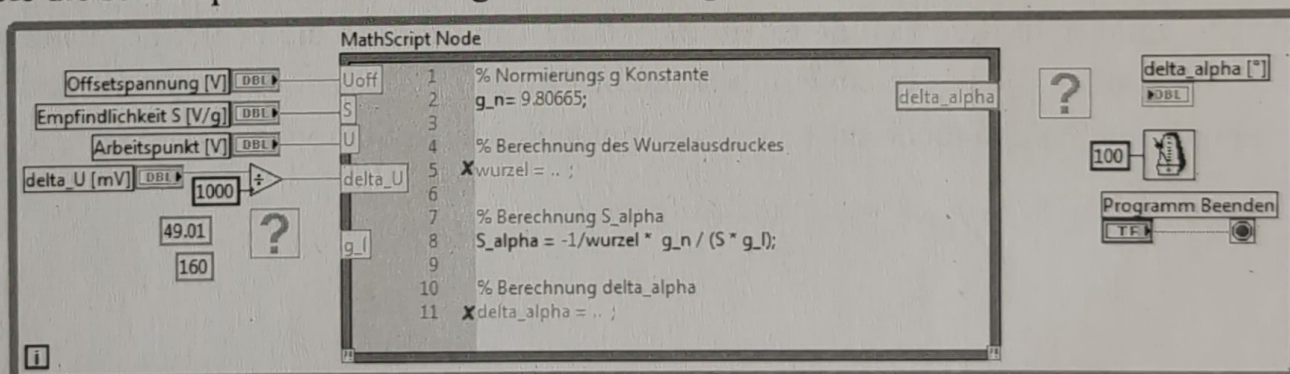


Bild 5.8 Block Diagram des VI Fehlerfortpflanzung.vi

Verwenden Sie die Spannungs-Mittelwerte aus Tabelle 5.3 als Arbeitspunkte und untersuchen Sie die Fehlerfortpflanzung für diese Arbeitspunkte.

Wie groß sind die Winkelfehler, die von einem Messfehler im Bereich $\pm 15\text{mV}$ verursacht werden?

Neigungswinkel lt. Skala	Arbeitspunkt [V]	Betrag des max. Winkelfehlers [°]
90°	2,596	0,67

Tabelle 5.4 Neigungsmessung

5. Kapitel: Versuchsteil

Neigungswinkel lt. Skala	Arbeitspunkt [V]	Betrag des max. Winkelfehlers [°]
75°	2,937	0,79
45°	3,5	1,25
20°	3,795	2,73
5°	3,86	6,77
0° (s. Hinweis)	3,87	14,88

Tabelle 5.4 Neigungsmessung



Hinweis:

Durch Temperatur und Messrauschen bedingt kann es vorkommen, dass Ihre messtechnisch bestimmten Sensorkennwerte S und u_{off} aus Aufgabe 4 bei Aufgabe 5 bereits etwas weggedriftet sind. Daher kann es vorkommen, dass der gemessene Arbeitspunkt bei 0° Neigung nicht exakt zu den Kennwerten passt. Dies hat zu Folge, dass der Radikant der Wurzel negativ wird, der Wurzeausdruck selbst dann imaginär. Dies ist der Fall, wenn

$$\frac{(u - u_{off})}{S \cdot g_l} > 0.102 \text{ ist.}$$

Gl. (5.2)

LabVIEW zeigt in diesem Fall **delta_alpha = 0** an. Um dennoch die Fehlerfortpflanzung darzustellen, verwenden Sie in diesem Fall bitte **nicht** Ihre gemessene Arbeitspunkt-Spannung u , sondern berechnen Sie den theoretischen Arbeitspunkt aus Ihren Sensorkennwerten S , u_{off} und der Messgleichung $\tilde{u}(S, a, u_{off}) = \dots$ aus Aufgabe 1.

Erklären Sie nun, weshalb die Messgenauigkeit nicht über den gesamten Messbereich konstant ist.

Antwort:

arccos nur in einem kleinen Bereich linear