

Versuch: **Simulation eines Operationsverstärkers**

1. Einleitung

Da in vielen Fällen die zu messenden Spannungen und Ströme sehr klein sind, werden diese Messgrößen durch Verstärker in größere Signale umgeformt. An solche Verstärker werden im Allgemeinen folgende Forderungen gestellt:

- geringe Rückwirkung auf die Messgröße (großer Eingangswiderstand)
- definiertes Übertragungsverhalten
- gutes dynamisches Verhalten.

In diesem Versuch sollen mit Hilfe des Simulationsprogramms „PSPICE“ das Verhalten eines Operationsverstärkers in verschiedenen Schaltungsvarianten simuliert und charakteristische statische und dynamische Kenngrößen bestimmt werden.

2. Wichtige technische Daten des Operationsverstärkers $\mu\text{A} 741$

Um bestimmte Fehlerquellen und Realeffekte besonders deutlich zu machen, wurde als Beispiel ein Operationsverstärker vom Typ $\mu\text{A} 741$ gewählt, der sich nicht durch besonders anspruchsvolle technische Daten auszeichnet. Tab. 1 listet die wichtigsten technischen Daten dieses Verstärkertyps auf.

Tabelle 1 Wichtige technische Daten des Operationsverstärkers $\mu\text{A} 741$

Parameter	min	typ	max	Einheit
Offsetspannung		1	6	mV
Offsetstrom		20	200	μA
Gleichtakteingangswiderstand r_e		1		M Ω
Ausgangswiderstand r_a		75		Ω
Leerlaufspannungsverstärkung A_0	86	106		dB
Gleichtaktunterdrückung CMRR		90		dB
Slew-Rate		0,5		V/ μs
Transitfrequenz f_T		1		Mhz


3. Vorbereitung der Simulationen

Schalten Sie den PC ein und starten Sie das Schaltplanentwurfsprogramm „Capture Student“. Das Simulationsprogramm „Pspice“ wird aus dieser Entwicklungsumgebung heraus aufgerufen. Alle Schaltpläne sowie die erstellten Diagramme können Sie zur Dokumentation und Auswertung ausdrucken.

4. Durchführung der Simulationen

4.1 Übertragungskennlinie des unbeschalteten Operationsverstärkers

Öffnen Sie im Ordner „D:\pspice\kennlinie_unbeschaltet“ die Datei „opamp_741.opj“. Um den Schaltplan anzuzeigen, gehen Sie in dem angezeigten Verzeichnisbaum zu „opamp_741.dsn\SCHEMATIC1\PAGE1“.

- Setzen Sie zunächst den Gleichspannungswert der Spannungsquelle „Uoff“ auf 0 V. (Doppelklick auf die Quelle oder den Zahlenwert öffnet ein Fenster, in dem diese Änderung vorgenommen werden kann).
- Starten Sie die Simulation durch Klick auf den  - Button.


Die Eingangsspannung U_e wird bei der Simulation im Bereich von $-0.1 \text{ mV} < U_e < 0.1 \text{ mV}$ in Schritten von $1 \mu\text{V}$ geändert (Vergleiche Daten unter „Simulation Profiles“).

Dargestellt wird die Ausgangsspannung (Pin 6) als Funktion der Eingangsspannung (Übertragungskennlinie).

- Ermitteln Sie aus der Kennlinie die Offsetspannung des Verstärkers (Wert der Eingangsspannung, für den die Ausgangsspannung Null ist).
- Setzen Sie den Gleichspannungswert der Spannungsquelle „Uoff“ auf den negativen Wert dieser Offsetspannung und wiederholen Sie die Simulation.
- Ermitteln Sie die Steigung der Kennlinie und vergleichen Sie den Wert mit der Angabe in Tabelle 1.
- Setzen Sie jetzt den Wert des Widerstands R_2 auf $1 \text{ k}\Omega$. Welchen Einfluss hat das auf die Kennlinie ?
- Setzen Sie den Wert des Widerstands R_3 ebenfalls auf $1 \text{ k}\Omega$. Was beobachten Sie bei der Kennlinie ?

4.2 Übertragungskennlinie eines invertierenden Verstärkers

Öffnen Sie im Ordner „D:\pspice\kennlinie_invertierer“ die Datei „opamp_inv.opj“.
Um den Schaltplan anzuzeigen, gehen Sie in dem angezeigten Verzeichnisbaum zu „opamp_inv.dsn\SCHEMATIC1\PAGE1“.

- Setzen Sie zunächst den Wert des Widerstands R_2 auf 10 k Ω .
- Starten Sie die Simulation durch Klick auf den  - Button.


Die Eingangsspannung U_e wird bei der Simulation im Bereich von $-0.1 \text{ V} < U_e < 0.1 \text{ V}$ in Schritten von 1 mV geändert (Vergleiche Daten unter „Simulation Profiles“).
Dargestellt wird die Ausgangsspannung (Pin 6) als Funktion der Eingangsspannung.

- Ermitteln Sie die Steigung der Kennlinie.
- Wiederholen Sie die Simulation für einen Wert von $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ und ermitteln Sie auch hier die Steigung der Kennlinie.

4.3 Frequenzgang des offenen und des rückgekoppelten Verstärkers

Öffnen Sie im Ordner „D:\pspice\frequenzgang_1“ die Datei „frequenz_1.opj“.
Um den Schaltplan anzuzeigen, gehen Sie in dem angezeigten Verzeichnisbaum zu „opamp_inv.dsn\SCHEMATIC1\PAGE1“.

Die Ausgangsspannung eines unbeschalteten Verstärkers und eines invertierenden Verstärkers ($V=10$) werden im Frequenzbereich $1 \text{ Hz} < f < 10 \text{ MHz}$ simuliert.

- Bitte überprüfen Sie, ob die beiden Offsetspannungsquellen „Uoff1“ und „Uoff2“ auf den unter 4.1 ermittelten Wert gesetzt sind.
- Starten Sie die Simulation durch Klick auf den  - Button.

Das Diagramm zeigt zunächst nur die beiden Ausgangsspannungen als Funktion der Frequenz. Um das Bode-Diagramm darzustellen, wählen Sie im Menüpunkt „Window“ den Punkt „Display Control“ aus, wählen Sie „bodediagramm(AC)“ und klicken Sie auf den Restore-Button.


- Ermitteln Sie für beide Schaltungsvarianten die Verstärkung bei $f = 1 \text{ Hz}$, sowie die 3 dB - Grenzfrequenz.
- Wie groß ist die Transitfrequenz f_T des Operationsverstärkers $\mu\text{A} 741$?

4.4 Frequenzgang des nichtinvertierenden Verstärkers in Abhängigkeit von der Betriebsverstärkung

Öffnen Sie im Ordner „D:\pspice\frequenzgang_2“ die Datei „frequenz_2.opj“.

Um den Schaltplan anzuzeigen, gehen Sie in dem angezeigten Verzeichnisbaum zu „opamp_inv.dsn\SCHEMATIC1\PAGE1“.

Bei dieser Simulation wird der Wert des Widerstands R_1 automatisch variiert, um vier verschiedene Werte für die Betriebsverstärkung V_0 einzustellen (siehe Angaben im Schaltplan).

- Starten Sie die Simulation durch Klick auf den  - Button.
- Klicken Sie in dem Fenster „Available Sections“ auf „OK“.



Das Diagramm zeigt zunächst nur die beiden Ausgangsspannungen als Funktion der Frequenz. Um das Bode-Diagramm darzustellen, wählen Sie im Menüpunkt „Window“ den Punkt „Display Control“ aus, wählen Sie „bodediagramm(AC)“ und klicken Sie auf den Restore-Button.

- Ermitteln Sie für alle vier Verstärkungen die 3 dB - Grenzfrequenz und bilden Sie das Produkt $V_0 \cdot f_g$

4.5 Simulation des Einflusses der Slew-Rate

Öffnen Sie im Ordner „D:\pspice\slewrates“ die Datei „slewrates_741.opj“.

Um den Schaltplan anzuzeigen, gehen Sie in dem angezeigten Verzeichnisbaum zu „opamp_inv.dsn\SCHEMATIC1\PAGE1“.

- Wählen Sie für die erste Simulation $R_1 = 9 \text{ k}\Omega$ und $V_2 = 0,1 \text{ V}$.
Die Verstärkung beträgt dann $V_0 = 10$.
- Starten Sie die Simulation durch Klick auf den  - Button.
- Die Graphik zeigt den zeitlichen Verlauf der Eingangs- und der Ausgangsspannung.
Auf welches Verhalten der Schaltung schließen Sie daraus ?
- Wählen Sie für die zweite Simulation $R_1 = 0,1 \text{ }\Omega$ und $V_2 = 10 \text{ V}$.
Die Verstärkung beträgt dann $V_0 \approx 1$.
- Starten Sie die Simulation durch Klick auf den  - Button
- Wie ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsspannung jetzt zu erklären ?