

## 4 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse zusammengefasst. Die Messung der Treppenfunktion im  $\mu\text{A}$  Bereich (Bild 3-20) hat gezeigt, dass die negative Versorgungsspannung durch den LM7705 die Linearität erheblich erhöht, vor allem für den OPV1. Auch das Offset wurde erheblich verbessert. Beim OPV1 von 700 nA auf -50 nA. Auch das Offset des OPV2 hat sich von 16,5  $\mu\text{A}$  auf 2,5  $\mu\text{A}$  verbessert. Die negative Spannungsversorgung hat einen positiven Effekt auf die Schaltung. Die Treppenfunktion im Vergleich zu der Linearitätsmessung (Bild 3-21) wirft Fragen auf. In dem Messbereich, in dem der OPV1 in der Treppenfunktionmessung sehr gute Werte erzielt hat, schneidet dieser in der Linearitätsmessung schlecht ab. Wenn bei 1  $\mu\text{A}$  der Linearitätsmessung der relativen Fehler für den OPV1 berechnet wird, beträgt dieser -3,5%. Da für die Linearitätsmessung der Versuchsaufbau geändert wurde und anstatt dem myDAQ das Keithley zum Generieren des Signals verwendet wurde, sowie ein  $1 \text{ M}\Omega$  Widerstand vorgeschaltet wurde, könnte die Änderung des Aufbaus oder ein Fehler darin für die Unterschiede verantwortlich sein. Der relative Fehler von -22% in der Linearität muss durch das Offset verursacht worden sein, da es sich durch Anlegen der negativen Versorgungsspannung bessert. Dieser beträgt rechnerisch laut Bild 3-25 bei 1  $\mu\text{A}$  fast 210%. Der hohe Wert des berechneten Offsetfehlers hat sich nicht bestätigt. Dieser ging auch von dem Worst-Case also einer Offsetspannung von 25  $\mu\text{A}$  aus. Bei Annahme des typischen Wertes der Offsetspannung von 5  $\mu\text{A}$  beträgt der zugehörige Fehler -42%. Dabei bezieht die Berechnung des Offsetfehlers die negativen Spannungsquelle nicht mit ein. Das SNR bei 10  $\mu\text{A}$  von 35,9 dB gibt Aufschlüsse darauf, dass die Messung unter 10  $\mu\text{A}$  stark von der Offsetspannung beeinflusst wird, da die Signalqualität bei niedrigen Strömen sinkt. Die Messung müsste wiederholt werden, um einen Aufbaufehler auszuschließen. Der OPV2 verhält sich über den ganzen Messbereich von 1-24 mA ziemlich linear mit einem geringen Fehler von -0.25%. Da der Fehler konstant bleibt, deutet das auf einen Fehler, der durch die Offsetspannung des OPV2 verursacht wird, hin. Dies kann auch durch weitere Messungen validiert werden und kann softwaretechnisch entfernt werden. Die Messung des Impulsverhalten ist durch die zu geringe Abtastrate nicht aussagekräftig. Die extreme Dämpfung der Verstärkung und der Slew Rate welche die Simulation in Bild 3-6 gezeigt hat, wurde in der realen Anwendung nicht bestätigt. Die langsame Abfallzeit ist in der Messung teilweise zu erkennen. Die Messung am Mikrocontroller zeigt, wie nah die Lösung an das kommerzielle Strommessgerät heranreicht. Eine Abweichung von 10  $\mu\text{A}$  beim OPV1 und 30  $\mu\text{A}$  beim OPV2 sind keine kleinen Ströme, aber durch eine Amplitudenverschiebung des Ausgangssignals der Operationsverstärker zu verbessern.

Die Schaltung benötigt, um im  $\mu\text{A}$  Bereich besser messen zu können eine Kompensierung der Offsetspannung oder einen Verstärker mit geringerer Offsetspannung. Da das

Signalrauschen zusätzlich sehr hoch ist wäre ein Tiefpassfilter an dem Eingang eine sinnvolle Erweiterung. Weiterhin wären auch Kondensatoren zum Glätten der Versorgungsspannung sinnvoll, damit das Rauschen weiter unterdrücken wird.

Die LabVIEW Programme können auch verbessert werden. Die Signalgenerierungsprogramme sollten auch nach dem Erzeuger/Verbraucher-Prinzip aufgebaut werden, um das ausgegebenen Signals kontinuierlich aufnehmen zu können. Eine weitere nützliche Erweiterung wäre die zeitliche Synchronisation mit dem Messprogramm, um die Auswertung einfacher zu gestalten. Dadurch könnte auch eine direkte Auswertung der Signale in LabVIEW realisiert werden. Grundlegend haben, die Generierungsprogramme zuverlässig funktioniert. Auch das Messprogramm hat bei jeder Messung zuverlässig funktioniert und das erwartete Verhalten gezeigt.

Zum Abschluss wird der Inhalt der Arbeit kurz zusammengefasst. Es wurde gezeigt, wie eine Messung von kleinen Strömen über einen Widerstand realisiert werden kann. Es wurde zur Verstärkung der am Widerstand abfallenden Spannung ein nicht-invertierender Verstärker rechnerisch ausgelegt. Die Schaltung wurde mit LTspice simuliert, um das Verhalten abschätzen zu können. Für die Schaltung wurde danach ein Platinenlayout in KiCAD erstellt und per Fräsen gefertigt. Mit der Messplatine wurden Messungen zur Bestimmung der Linearität und des Ein-/Ausgangsverhaltens durchgeführt. Weiterhin wurde die Messschaltung an einem Mikrocontroller getestet und eine Fehlerabschätzung durchgeführt. Für die Messungen wurde ein LabVIEW-Programm zur Messdatenaufnahme und Weiterverarbeitung programmiert, sowie zwei Programme zur Testsignalgenerierung.