

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Messung der Phasenverschiebungen zweier hochfrequenter Signale mit dem Ziel, eine Auflösung von  $0,001^\circ$  bei einer Frequenz von 2 MHz zu erreichen. Dazu werden zwei unterschiedliche Verfahren herangezogen. In beiden Verfahren werden die Signale per Addition bzw. Multiplikation („Mischung“) mit einem frequenznahen Signal unter Erhaltung der Phasenverschiebung auf Signale niedriger Frequenz zurückgeführt und mit Techniken der Digitalisierung ausgewertet. Es wurden Schaltkreise zur Schwingungserzeugung der Signale, additiver bzw. multiplikativer Mischung und zur Auswertung der Phasenverschiebung angefertigt. In der theoretischen Aufarbeitung konnte man feststellen, dass die gegebenen Kriterien mit dem additiven Verfahren nicht erreicht werden können, weshalb der Fokus hauptsächlich auf der Entwicklung und Verbesserung des multiplikativen Verfahrens lag.

Leider sind die Ergebnisse bei beiden Verfahren eher unbefriedigend. Zwar wurde die Anforderung an eine Auflösung von  $0,001^\circ$  erreicht, es war jedoch nicht möglich, die Phasenverschiebung mit hoher Präzision bzw. Genauigkeit abzubilden.

Die Ergebnisse des additiven Verfahrens waren verrauscht und hatten eine hohe absolute Messabweichung ( $-55,23^\circ$ ). Mögliche Gründe dafür sind die Signalgüte und Filterung. Die Oszilloskopmessungen zeigten, dass bereits die Eingangssignale starke Rauschanteile beinhalteten. Aufgrund einer fehlenden Filterung führte das vermutlich zu fehlerhaften Messergebnissen.

Die Ergebnisse des multiplikativen Verfahrens waren tendenziell besser. Die Daten des Systems waren bis auf vernachlässigbare Sprünge stabil und weisen eine geringe Streuung (und damit Unsicherheit) auf. Jedoch gab es auch hier wieder hohe absolute Messabweichungen ( $-22,02^\circ$ ), welche allerdings niedriger als beim additiven Verfahren waren. Eine mögliche Ursache dafür liegt im Mischprozess selbst, konnte aber nicht genauer bestimmt werden.

Der wahrscheinliche Hauptgrund der Abweichungen ist, dass die aktuelle Umsetzung der Digitalisierung in den jeweiligen Verfahren suboptimal ist. In beiden Verfahren wird der Spannungswert des „Nulldurchgangs“ bzw. Schwellenwertes der Sinussignale per Hand und Augenmaß am Oszilloskop eingestellt. Eine Änderung des Gleichanteils der Signale wird nicht registriert und kann daher zu abweichenden Messergebnissen führen.

Es ist anzumerken, dass die herangezogenen Referenzwerte durch eine Oszilloskopmessung mit anschließender Berechnung der Phasenverschiebung entstanden sind, wobei für eine bessere Vergleichbarkeit eine gewisse Ungenauigkeit in Kauf genommen wurde.

Trotz allem besteht hohes Potenzial für beide Verfahren. Nach Optimierung der Digitalisierung und Verbesserung der Stabilität der Schwingungserzeugung können mit hoher Wahrscheinlichkeit bessere Genauigkeiten erreicht werden. Man könnte bei der Digitalisierung für den Spannungswert des Nulldurchgangs der Sinussignale einen Schaltkreis aufbauen, welcher konstant ein Signal des Spannungsmittelwertes der jeweiligen Schwingungen ausgibt.

Es bietet sich auch an, eine Verbesserung der digitalen Schaltung vorzunehmen, welche die gewünschten Kriterien erfüllen kann. Das Problem bei der aktuellen Konfiguration ist das einmalige Abtasten pro verstrichener Periodendauer. Das erlaubt zwar eine geringe Abtastfrequenz, ist aber langsamer je höher die Genauigkeit sein soll. Man könnte aber innerhalb dieser Periodendauer mit einem  $n$ -Vielfachen der leicht erhöhten Abtastfrequenz abtasten und erhält damit parallel  $n$  Schwebungen. Diese könnte man in einem Shift-Register speichern und von dort aus auswerten.