

# Hochspannungsverstärker

## Bachelorarbeit 2014

Institut für Energiesysteme IES

**Diplomand:** Alexander Drexel

**Referent:** Kurt Schenk PhD, **Koreferent:** Dipl. El. Ing. ETH Laszlo Arato

**Industriepartner:** OMICRON electronics GmbH

In vielen messtechnischen Anwendungen wird eine präzise Referenzspannung benötigt, um Messgeräte zu kalibrieren und zu eichen. Zu diesen Messeinrichtungen zählen beispielsweise Elektrizitätszähler, Messwertumformer, Transientenrekorder und Netzqualität-Messgeräte. Für die Prüfung dieser Messeinrichtungen wird unter Anderem eine Spannungsquelle benötigt, welche gewisse Anforderungen an die Genauigkeit, Signalqualität und Bandbreite stellt.

Der Industriepartner OMICRON electronics setzt in einem bestehenden Prüfgerät bereits einen Präzisions-Spannungsverstärker ein, der für eine Ausgangsspannung von 300 V und eine Bandbreite von 0 Hz bis 3 kHz ausgelegt ist. Das Prinzip dieser Spannungsquelle ist ein linearer Klasse-AB-Verstärker, welcher sich durch sehr geringe Verzerrungen auszeichnet (THD < 0.05 %). Mit dem bestehenden Schaltungsdesign ist es jedoch schwierig, eine höhere Spannung zu erzeugen und die Bandbreite zu vergrößern. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, in Zusammenarbeit mit OMICRON electronics einen Spannungsverstärker zu entwickeln, der eine maximale Ausgangsspannung von 600 V und eine Bandbreite von 0 Hz bis 10 kHz erreicht. Eine weitere Anforderung ist, dass der THD der Ausgangsspannung kleiner als 0.05 % sein soll.

Insgesamt standen drei Lösungsvarianten zur Auswahl, von denen die favorisierte realisiert werden soll. Die wesentlichen Merkmale der gewählten Schaltung sind die Ansteuerung der Optokoppler, und die FET-Kaskodeschaltung in der Endstufe. Das Funktionsprinzip des Verstärkers ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Kaskodeschaltung reduziert den Millereffekt des Leistungs-FETs, was sich positiv auf die Bandbreite auswirkt. Die differenzielle Signalübertragung mit dem Optokoppler erhöht die Gleichtaktunterdrückung und verbessert die Stabilität. Die Endstufe des Verstärkers hat zunächst die Eigenschaften einer Stromquelle und wird erst durch eine geeignete Regelung zur Spannungsquelle.

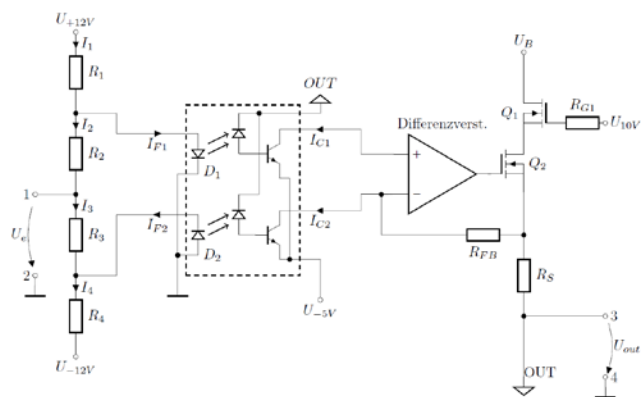


Abbildung 1: Funktionsprinzip

Die grosse Herausforderung dieser Arbeit bestand darin, den Regler so auszulegen, dass sich der Verstärker für alle passiven Lasten stabil verhält und trotzdem die geforderte Bandbreite erreicht. Die Ergebnisse zeigen, dass mit diesem Schaltungsdesign, im Leerlauf, eine Regelbandbreite von 192 kHz erreicht werden kann (siehe Abbildung 2). Der gewünschte Wert des THD von weniger als 0.05 % wird bei der Frequenz von 55 Hz, für Eingangsspannungen >1 V, erreicht. Die Messungen (siehe Abbildung 3) ergaben, dass der THD mit steigender Frequenz zunimmt.

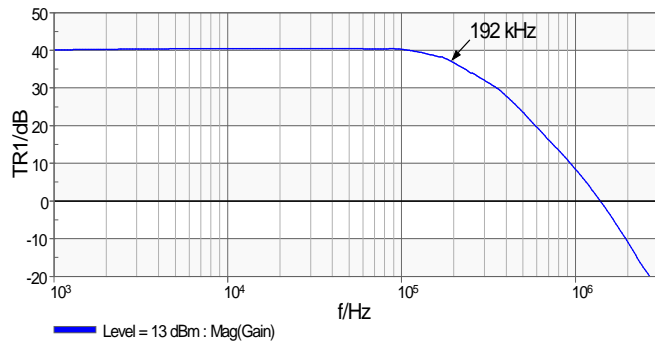


Abbildung 2: Amplitudengang ohne Last

In dieser Arbeit konnte das Funktionsmuster eines Spannungsverstärkers erfolgreich aufgebaut und getestet werden. Der Regler wurde so eingestellt, dass sich für kapazitive, ohmsche und induktive Lasten ein stabiles Verhalten des Regelkreises ergibt. Der Verstärker ist somit für die genannten messtechnischen Anwendungen geeignet.

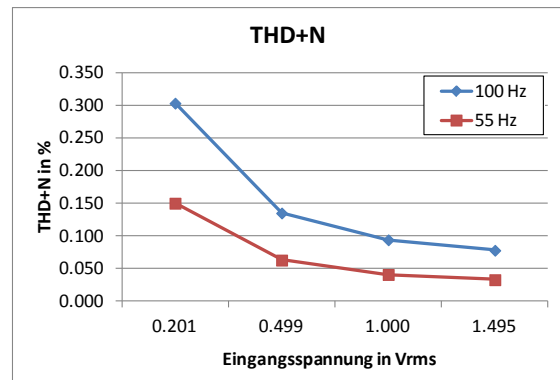


Abbildung 3: THD+N Messung

Aufbauend auf den Erkenntnissen, die in dieser Arbeit gewonnen werden konnten, ist es möglich die Schaltung zu optimieren und zur Serienreife zu führen. Eine Verbesserungsmöglichkeit ist die Erhöhung der Ausgangsleistung, welche durch eine Leistungsüberwachung und die Anpassung der Endstufenbetriebsspannung erreicht wird. Weiteres wäre es wünschenswert, den Regler an den gegebenen Lastfall anzupassen, da sich das Verhalten des Verstärkers je nach Lastimpedanz ändert. Mit analoger Schaltungstechnik ist dies jedoch mit grossem Aufwand verbunden. Hier wäre es von Vorteil eine digitale Regelung mit einem FPGA zu implementieren.

