

## Elektronische Schaltungen zur Ansteuerung von Hochspannungsaktoren

### Kurzfassung

Der Einsatz schneller Piezoaktoren ist in vielen Anwendungsgebieten, in denen translatorische Bewegungen mit hoher Dynamik erforderlich sind, bereits etabliert. Der Bereich mit dem größten Produktionsvolumen sind Injektoren für Common-Rail-Diesel-Einspritzsysteme. Die hier verwendeten Hochleistungsaktoren mit der angekoppelten Mechanik erreichen Anstiegszeiten unter  $200 \mu\text{s}$ . Die Auslenkung der verwendeten Piezokeramik ist proportional zur angelegten Feldstärke. Aufwändige Methoden werden eingesetzt, um die nötigen Feldstärken von ca.  $2 \text{ kV/mm}$  mit Spannungen unter  $200 \text{ V}$  zu erreichen. 360 Schichten aus piezokeramischem Material werden gestapelt und durch dünne metallische Elektroden separiert. Höhere Ansteuerspannungen ermöglichen höhere Schichtdicken und damit eine Reduktion der Schichtanzahl bei gleicher maximaler Auslenkung. Zugleich wird auslenkungsinaktives Elektrodenmaterial gespart. Für einen Kfz-Piezoaktor mit nur einer Schicht und gleicher Auslenkung würde eine Spannung von ca.  $60 \text{ kV}$  benötigt. Dieser Spannungsbereich erfordert aufwändige Isolationsmaterialien und Verfahren. Für den Einsatz im Kraftfahrzeug scheiden diese Verfahren aus Kostengründen aus. Ein guter wirtschaftlich-technischer Kompromiss ist die Verwendung von Spannungen bis  $10 \text{ kV}$ . Feldstärkeüberhöhungen und Koronaentladungen sind durch isolierenden Lack beherrschbar.

Ein weiteres Anwendungsgebiet in diesem Spannungsbereich sind elektrorheologische Aktoren. Deren Prinzip basiert auf Flüssigkeiten, die ihre Viskosität mit dem Anlegen eines elektrischen Feldes vergrößern. Haptische Rückmeldungen in Steuerungssystemen aber auch verschleißarme Stoßdämpfer, Bremsen und Kupplungen lassen sich damit realisieren.

Transistoren in diesem Spannungsbereich sind derzeit nicht erhältlich. Ausgangsspannungen über der Durchbruchspannung von Einzeltransistoren werden durch eine Kaskade von Transistoren erreicht. Die dabei verwendeten passiven Netzwerke zur Ansteuerung und Spannungsaufteilung erhöhen die statische Verlustleistung. Bisherige alternative sind Elektronen-Röhren mit potenzialgetrennter Ansteuerung der Gitter. Dabei wird jedoch ein erhöhter Aufwand für die potenzialgetrennte und leistungsintensive Versorgung der Heizung in Kauf genommen.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Schaltungen sind in der Lage, die auf die kapazitive Last aufgebrachte Ladung präzise zu steuern. Ein neuartiges Konzept für einen Linearverstärker mit quasikomplementärer Ausgangsstufe erlaubt Lastspannungen bis  $10 \text{ kV}$ . Das realisierte Ansteuerungsverfahren erhöht dabei nicht die statische Verlustleistung im Vergleich zu derzeitig eingesetzten Niederspannungsverstärkern ähnlicher Leistung und Signalqualität.

Zwei Regelschleifen erfassen die Spannungen über den Leistungstransistoren und steuern mit Hilfe einer Kaskode die Spannungsaufteilung zwischen vier IGBTs in einer Halbbrücke. Eine übergeordnete Regelschleife steuert an den Leistungstransistoren zwei lokale Stromregler und ermöglicht damit den Aufbau einer quasikomplementären Endstufe mit hochomigem Ausgang. Im Vergleich zu derzeitig eingesetzten getakten Verfahren mit Ausgangsfilter für die Ansteuerung von Piezoaktoren wird bei hoher Impedanz der Quelle ein Ladungsfluss zwischen den Elektroden unterdrückt und die mechanische Steifigkeit steigt um Faktor 1,5.

In der Ansteuerung der Leistungs-IGBTs ermöglicht eine linearisierte optische Signalübertragung den Einsatz von Kleinsignal-Bauelementen mit einer Spannungsfestigkeit bis  $30 \text{ V}$ . Das Fehlen von Leistungs- und Kleinsignaltransistoren mit ausreichender Durchbruchspannung wirkt sich daher nicht aus

Mit einem Ruhestrom von  $0,6 \text{ mA}$  wird eine Anstiegszeit von  $20 \mu\text{s}$  erreicht und die statische Verlustleistung bleibt unter  $7 \text{ W}$ .