



## Schnelle Analoge Schaltungen

### Hintergrund und Motivation

Unser tägliches Leben wird zunehmend von Anwendungen geprägt, die auf dem schnellen Senden, Empfangen und Verarbeiten von Daten und Signalen beruhen. Hierzu gehören insbesondere die gebündelten Daten typischer Massenwendungen der Kommunikationstechnik wie z.B. Internet, Multimedia (fibre-to-the-home) und Telefonie. Auch die hierzu notwendige Messtechnik, sowie allgemeine Anwendungen wie z.B. Chip-Testsysteme, HF-Messgeräte, Car-Radar, A/D&D/A Wandler u.v.m gehören dazu.

Allen Anwendungen gemeinsam ist die Forderung, Daten oder Signale mit möglichst hoher Geschwindigkeit über meist möglichst große Strecken übertragen zu können. Wie schnell und wie weit dies möglich ist, kann durchaus unterschiedlich aussehen.

Während z.B für eine 100 km lange ETDM-Glasfaserübertragungsstrecke in den Anfangstagen eine Rate von 2,5 Gbit/s ein beachtenswertes Ergebnis war, lassen sich heute in Versuchssystemen bereits 100 Gbit/s über 480 km übertragen<sup>1</sup>.

Ähnlich hohe Anforderungen, aber im Vergleich dazu nur Entfernungen im Meter-Bereich, bestehen z.B. bei Halbleiter-Testern in der Chip-Produktion oder bei Messgeräten mit schnellen Abtastköpfen vor. Hier liegt die zeitliche Genauigkeit mit der ein bestimmtes Signal gesendet oder empfangen wird im Femto-Sekundenbereich - Licht legt in diesen Zeitspannen weit weniger als 1 mm zurück.

Elektronische Schaltungen, die solch schnelle Signale senden, empfangen und verarbeiten, werden - selbst wenn es sich um digitale Signale handelt - zur Klasse der Hochfrequenz (HF)-Analogschaltungen gezählt. Diese Schaltungen sind nach bestimmten Konzepten und Funktionsweisen aufgebaut, durch die erst die hohen Geschwindigkeiten möglich werden.

Oft gerät die Entwicklung dieser Schaltungen durch zusätzliche Anforderungen wie z.B. Eingangsempfindlichkeit, Stromverbrauch oder Ausgangsspannung an die Grenze der Machbarkeit.

Das Ausloten dieser Grenzen und das Schaffen neuer Freiheitsgrade um diese Grenzen zu überwinden, ist die Aufgabe des Schaltungsentwicklers. Mit einer Ausbildung auf dem Gebiet der analogen HF-Schaltungen gehört er seit Jahren zu den begehrten Absolventen für Firmen der Halbleiter-, Test-, Mess- und Kommunikationstechnik Branche. Zusätzliche Unterstützung erfährt dieser Bereich durch die zunehmende Miniaturisierung („Nano-Elektronik“) die höhere Geschwindigkeiten und Möglichkeiten eröffnet.

### Elektronik-III, Kommunikationselektronik

Gegenstand der Vorlesung sind schnelle integrierte Schaltungen zum Senden, Empfangen und Verarbeiten von Daten und Signalen bis über 100 GHz.

In einer Einführung werden grundlegende Konzepte der Schaltungstechnik schneller Schaltungen, deren Aufbautechnik (Gehäuse, Leitungen, ...) sowie notwendige Grundlagen der Hochfrequenztechnik erläutert. Darauf aufbauend werden grundlegende Schaltungen in Aufbau und Funktionsweise vorgestellt. Hierzu gehören u.a. Modulator- und Lasertreiber, Selektor, Frequenzteiler, MS-D-FF, Multiplexer, Demultiplexer, Vor- und Hauptverstärker, Phasendetektor, VCO, PLL, Mischer, Multiplizierer sowie einfache Schaltungen zur Signalformung. Der Einsatz der behandelten Schaltungen in einem modernen Glasfasersystem sowie in anderen Anwendungen wie z.B. in der Messtechnik wird gezeigt.

Die Vorlesung kommt mit einem Minimum an Theorie aus. Im Vordergrund steht das Verständnis der Funktionsweise und der Eigenschaften der betrachteten Schaltungen.

Zur Förderung des Verständnisses werden in den parallel verlaufenden Übungen die behandelten Schaltungen mit Hilfe des Schaltungssimulationsprogramms PSPICE simuliert.

### Elektronik-IV, Analog-Schaltungsentwicklung

Die Entwicklung einer integrierten Schaltung orientiert sich an der vorgegebenen Spezifikation und der zur Verfügung stehenden Halbleitertechnologie. Es ist die Kunst des Schaltungsentwicklers, unter den gegebenen Randbedingungen eine Schaltung mit den bestmöglichen Ergebnissen entstehen zu lassen.

Ziel der Vorlesung ist es, die dafür notwendigen Begriffe und Methoden zu vermitteln. Die Vorlesung stützt sich dabei auf Beispiele der Schaltungen aus der Elektronik-III Vorlesung. Die Kenntnis der dort behandelten Schaltungen ist daher vorteilhaft, aber nicht notwendig.

Als Grundlage jeder Entwicklung werden zunächst die gängigsten Optimierungskriterien wie z.B. die aus Datenblättern bekannten Begriffe Verlustleistung, Empfindlichkeit, Verstärkung, Ausgangsleistung, Linearität, Grenzfrequenz, Anpassung, PSRR, CMRR u.v.m. erläutert. Anhand von Beispielen wird demonstriert, wie diese Kriterien in Simulation und Messung ermittelt und durch die Wahl von geeigneten Schaltungskonzepten verbessert werden können.

Oft bestehen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Kriterien derart, dass die Verbesserung eines Kriteriums zur Verschlechterung eines Anderen führt. Hierzu zeigt die Vorlesung Wege die richtige Balance (tradeoff) zu finden und ggf. sogar einzelne Kriterien voneinander zu entkoppeln.

Die begleitenden Übungen dienen der praktischen Anwendung des Gelernten mit Hilfe des Schaltungssimulators PSPICE. Anhand von aktuellen Beispielen werden die erlernten Techniken zur Simulation und Optimierung von Schaltungen eingesetzt.

<sup>1</sup> Dieser Weltrekord wird derzeit vom Lehrstuhl EUS zusammen mit Partnern aus der Industrie gehalten.