

Dr.-Ing. Harry Weber

**„Entwurf und Analyse nichtlinearer Schaltungen und Systeme mit
der selbstkonsistenten Carleman-Linearisierung“**

Kurzfassung

Harry Weber stellt in dieser Arbeit mit Hilfe der Carleman-Linearisierung ein Verfahren vor, das es ermöglicht, einen für den Entwurfsprozess analoger Schaltungen optimierten Startwert zu bestimmen. Die Carleman-Linearisierung wurde in den 1930er Jahren von dem schwedischen Mathematiker Torsten Carleman erstmal erwähnt und ermöglicht die Zuordnung einer polynomiellen Differentialgleichung zu einem äquivalenten unendlich dimensionalen System von linearen Differentialgleichungen. Um das Verfahren für die Analyse von analogen Schaltungen anwenden zu können, wird in dieser Arbeit zunächst die Methode von Kerner verwendet. Diese erlaubt es, eine Vielzahl von nichtlinearen Differentialgleichungen in eine äquivalente polynomielle Differentialgleichung zu überführen.

Ausgehend von der polynomiellen Differentialgleichung wird die Carleman-Linearisierung genutzt, um ein unendlich dimensionales System von linearen Differentialgleichungen zu erhalten. Allerdings kann keine explizite Lösung für das unendlich dimensionale lineare System angegeben werden. Für eine Näherungslösung erfolgt eine Approximation mit einem endlich dimensionalen linearen System. Dazu wird in dieser Arbeit jedoch nicht die übliche Methode des Abschneidens, sondern eine selbstkonsistente Technik entwickelt. Mit Hilfe dieser Erweiterung kann eine analytische Näherungslösung auf einem vorgegebenen Intervall der betrachteten Netzwerkgleichungen bestimmt werden. Hierdurch wird erstmals eine Untersuchung analoger Schaltungen wie beispielsweise Frequenzmischer und Oszillatoren unter Anwendung der Carleman-Linearisierung ermöglicht.

Im letzten Abschnitt dieser Arbeit wird weiterhin die Realisierung der selbstkonsistenten Carleman-Linearisierung mit den aus der Quantenmechanik bekannten Bose-Operatoren beschrieben. Das ermöglicht eine effiziente und schnelle Berechnung des approximativen endlich dimensionalen Systems von linearen Differentialgleichungen.

Laudatio

In seiner, aus meiner Sicht herausragenden Dissertation, hat er eine neuartige Methode für die Analyse nichtlinearer Schaltungen erarbeitet, die auch beim Entwurf solcher Schaltungen eingesetzt werden können. Das in der Mathematik seit langer Zeit bekannte und von dem schwedischen Mathematiker Torsten Carleman im Jahre 1932 entwickelte Linearisierungsverfahren, das in der Literatur Carleman-Linearisierung genannt wird, wurde gelegentlich in der regelungstechnischen Literatur erwähnt, führte aber zu Näherungslösungen, die bestenfalls nur in sehr kurzen Zeitintervallen gültig sind. Bisher war es nicht möglich, den Gültigkeitsbereich der Lösungen substantiell auszudehnen. Außerdem ist das Verfahren auf die Klasse der Differentialgleichungen mit polynomialen Nichtlinearitäten beschränkt, so dass bei vielen Bauelemente-Modelle mit transzendenten Nichtlinearitäten

systematische Fehler auftreten. Herr Weber hat die Schwierigkeiten bei der Anwendung der Linearisierungsmethode genau analysiert und höchst innovative Lösungsansätze entwickelt, mit denen diese Schwierigkeiten fast vollständig beseitigt werden konnten.

Anhand von Beispielen aus den für die Elektronik sehr wichtigen Schaltungsclassen wie Oszillatoren und Frequenzmischer konnte Herr Weber zeigen, dass sich mit Hilfe seiner Methode ganz neue Wege bei der Modellierung und der zugehörigen Analyse sowie dem Entwurf nichtlinearer Schaltungen ganz neue Wege eröffnet worden sind. Insbesondere hat Harry Weber gezeigt, dass die auftretenden Schwierigkeiten nur dann gelöst werden können, wenn man das komplizierte Zusammenspiel schaltungstechnischer Aspekte und mathematische Grundprobleme in enger Wechselwirkung behandelt. Das verlangt breit angelegte Fähigkeiten auf dem Gebiet der elektronischen Schaltungstechnik als auch der Mathematik und insbesondere bei nichtlinearen Differentialgleichungen. In den beiliegenden Gutachten von Professor Willi-Hans Steeb, ein international anerkannter mathematischer Physiker, der auf dem Gebiet der Carleman-Linearisierung arbeitet und mir werden die Einzelheiten seiner Arbeiten detailliert diskutiert. Seine beeindruckenden Ergebnisse hat er zuletzt in einer Arbeit in den IEEE Trans. Circuits and Systems, Mai 2018, in ausführlicher Form publiziert. Herr Weber hat das Thema in wenig mehr als drei Jahren bearbeitet und promovierte noch vor dem 29. Geburtstag mit dem Prädikat „mit Auszeichnung“.

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Mathis