

**2. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
25. bis 26. Feb. 1999 in
Darmstadt**



**„Modellierung nichtlinearer Systeme unter
Berücksichtigung inhärenter Simulatoreigenschaften“**

S. Klupsch, S. Huss

Integrierte Schaltungen und Systeme, Fachbereich Informatik, TU Darmstadt, Darmstadt,
Deutschland

E-Mail:klupsch@vlsi.informatik.tu-darmstadt.de, huss@vlsi.informatik.tu-darmstadt.de

ISBN: 318318317x
Pages: 34-35

Modellierung nichtlinearer Systeme unter Berücksichtigung inhärenter Simulatoreigenschaften

Steffen Klupsch, Sorin A. Huss

klupsch|huss@vlsi.informatik.tu-darmstadt.de
Integrierte Schaltungen und Systeme, Fachbereich Informatik
Technische Universität Darmstadt
Alexanderstr. 10, 64283 Darmstadt

Zusammenfassung

Um die Wechselwirkungen zwischen Sensoren, Aktoren und den elektronischen Bestandteilen moderner Meßapparaturen zu bewerten, wird vermehrt neben der Prototypenverifikation eine Gesamtsystemsimulation eingesetzt. Da viele Simulatoren domänenspezifisch sind, entstehen bei der Simulation der 'Multi-Nature' Systeme zusätzliche Arbeitsschritte, die zu einer Erweiterung der Simulatorfähigkeiten oder einer Transformation der Modellkomponenten in eine simulierbare Beschreibung führen.

1 Einleitung

In diesem Beitrag wird, anhand der Modellierung eines elektronischen Druckmeßgerätes mit realen Sensoren, die Transformation von Modellen zwischen Spice-, HDL-A und VHDL Simulatoren gezeigt. Das Meßgerät besteht aus den in Abb. 1 dargestellten Komponenten.

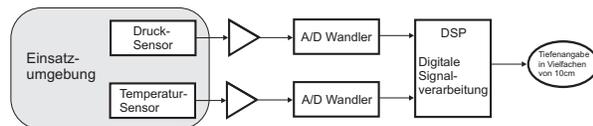


Abb. 1: Strukturansicht des Druckmeßgerätes

Zur Druckerfassung werden piezoresistive Sensoren genutzt, die eine von Druck und Temperatur abhängige Spannung liefern. Der Temperatursensor dient zur Korrektur des Drucksensors. Als A/D Wandler kommen handelsübliche Sigma-Delta A/D Wandler zum Einsatz, die über eine serielle Datenleitung mit einem DSP verbunden sind, der aus den Meßdaten die Druckinformation berechnet.

2 Die Beschreibung als Spice-Netzliste

Zur Beschreibung von analogen Schaltungen sind Spice-Netzlisten üblich. Spice ermöglicht die Beschreibung von elektronischen Schaltungen mit Hilfe von nichtlinearen, zeitinvarianten Bauelementen. Diese Beschreibungen sind der Ausgangspunkt für die Systemsimulation. Das von Motorola bereitgestellte Simulationsmodell des Drucksensors [2] ist eine Näherung zweiter Ordnung des tatsächlichen Sensorverhaltens. Der Temperatursensor wird über ein Modell erster Ordnung beschrieben, die Meßverstärker und die A/D Wandler werden durch Makrozellen aus der Simulatorbibliothek beschrieben.

Um das System zu testen, wird auch die Einsatzumgebung in Spice modelliert. Die Sensoren werden durch Druck und Temperatur angeregt, diese Größen müssen transformiert werden, da in Spice nur Spannungen und Ströme als Zustandsgrößen bekannt sind. Da sowohl Druck, wie auch Temperatur, Potentialgrößen sind, sind sie als Spannungsquellen zu modellieren.

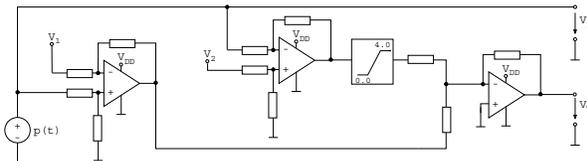


Abb. 2: Ersatzschaltbild der Sensorumgebung

Das in Abb. 2 dargestellte Schaltbild zeigt das Ersatzschaltbild für die durch Gleichung (1) gegebene Abhängigkeit zwischen Druck und Temperatur.

$$V_T(p) = \begin{cases} V_1 - c_1 * p & \forall p < p_0 \\ V_1 - c_2 * p & \forall p \in [p_0; p_1] \\ V_1 - c_1 * p - c_3 & \forall p > p_1 \end{cases} \quad (1)$$

3 Die Beschreibung in HDL-A

Der Umstieg auf eine Hardware Beschreibungssprache wie HDL-A ermöglicht die algebraische Notation von funktionalen Zusammenhängen. Diese Modelle sind leichter zu lesen (siehe Abb. 3).

Durch die im Vergleich zu Spice mächtigere Simulatorsprache ist es möglich abstrakte Modelle der Komponenten zu erstellen. Das erleichtert eine Verfeinerung der Modelle durch Partitionierung des Gesamtsystems und eine Zusammenfassung von Baugruppen.

```

entity MY_TSENS is
  pin (T_In, Uout : Electrical);
end MY_TSENS;

architecture behaviourDescription of MY_TSENS is
  variable R1 : analog;
begin
  -- behaviourDescription
  -- for T_in in [-10;50] degree celcius
  relation
    procedural for dc, ac, transient =>
      R1 := 1000.0 * (1.0 + 3.85e-3 * T_In.V);
      Uout.V := 5.0 * R1 / (R1 + 1000.0);
    end relation;
end behaviourDescription;

```

Abb. 3: Beschreibung des Temperatursensors

Diese Transformation in ein hierarchisches Modell ist speziell bei umfangreichen Systemen sinnvoll. Um die funktionalen Beschreibungen zu vereinfachen, wird in der Regel ein Modell für einen eingeschränkten Arbeitsbereich erstellt. Die Dokumentation der erwarteten Einsatzumgebung ist ein wichtiger Bestandteil der Modellbildung, er hilft unerwartete Fehlerquellen zu vermeiden.

4 Die ereignisdiskrete Simulation

Um die Funktionalität des DSP zu testen, müssen die Ergebnisse der A/D Wandlung bei der ereignisdiskreten Simulation zur Verfügung gestellt werden. Als Beschreibungssprache für ereignisdiskrete Systeme wird der aktuelle VHDL Standard (IEEE Norm 1076, Stand 1993) verwendet. Die Eingangsdaten für die digitalen Komponenten können durch Aufzeichnen der Ergebnisse in der HDL-A Simulation erzeugt werden oder durch Modellierung der an den digitalen Eingängen beobachtbaren Ereignisse. Die Weiterverarbeitung der Daten aus der HDL-A Simulation erfordert eine genaue Kenntnis der Zeitpunkte, an denen der DSP Daten aus den A/D Wandlern liest und einen Abgleich der Simulatorschritte.

Bei der Modellierung der analogen Komponenten für einen ereignisbasierten Simulator ist zwischen Systemen in eingeschwungenem Zustand und transienten dynamischen Systemen zu unterscheiden.

Für den ersten Fall kann die Modellierung über algebraische Gleichungen erfolgen, im anderen Fall müssen Differential-Gleichungen berücksichtigt werden, für die im VHDL-Simulator keine Lösungsalgorithmen vorliegen.

Um zu überprüfen, ob eine Modellierung mit algebraischen Gleichungen möglich ist, muß die Anregung der Sensoren bekannt sein. Da in der Gesamtsystemsimulation auch die Einsatzumgebung als simulierbare Beschreibung vorliegt, ist die Überprüfung der Druck- und Temperaturverläufe hier möglich. Der durch Vernachlässigung der Einschwingvorgänge entstehende Fehler f kann durch Gleichung 2 abgeschätzt werden. Die Antwortzeit t_r liegt bei piezoresistiven Drucksensoren bei ungefähr 1 ms.

$$f(p) = \frac{\dot{p} \cdot t_r}{p} \quad (2)$$

Ist der Fehler hinreichend klein und somit vernachlässigbar, können die Ergebnisse der DC Analyse des Spice Modells direkt für die Modellierung in VHDL genutzt werden, wodurch sowohl ein Domänen-, als auch der Sprachwechsel unterstützt wird.

5 Zusammenfassung

Am Beispiel eines Druckmeßgerätes wurde die Transformation von Modellen zwischen Spice, HDL-A und VHDL gezeigt. Jeder Wechsel der Modellierungssprache bedingt eine Änderung der Simulationsergebnisse. Der Übergang von Spice Notation auf HDL-A Notation ermöglicht die Zusammenfassung von Teilsystemen durch algebraische Gleichungen für wohldefinierte Einsatzbedingungen. Der Übergang zu einem ereignisdiskreten Simulator ermöglicht die Bereitstellung von Daten zur digitalen Weiterverarbeitung, erfordert jedoch die Erweiterung der Modelle um ein geeignetes Integrationssystem oder aber eine Vernachlässigung der Einschwingvorgänge der analogen Komponenten.

Literatur

- [1] A. Mantooth, M. Fiegenbaum
Modeling with an Analog Hardware Description Language
Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995
- [2] Motorola Inc.
Motorola Pressure Sensor Macromodel Library
Sep. 1996, <http://mot2.mot-sps.com/models/bin/sensor2.html>
- [3] EECS Department of the University of California at Berkeley.
The Spice Home Page
<http://infopad.eecs.berkeley.edu/icdesign/SPICE/>
- [4] IEEE Design Automation Standards Committee
VHDL International Home Page
<http://www.vhdl.org/>
- [5] Mentor Graphics, 8005 SW Boeckman Road, Wilsonville, Oregon USA 97070
Mentor Graphics: AccuSim II
<http://www.mentorg.com/accusimii/index.html>