

Signal-Flow Based Circuit Simulation

Stefan Klus

Durch die Simulation integrierter Schaltkreise lassen sich schon vor der Fertigung detaillierte Aussagen über die Funktionalität und das Leistungsverhalten treffen. Insbesondere die präzise aber rechenintensive Simulation auf Schaltkreisebene spielt dabei eine zentrale Rolle. Aufgrund der stetig steigenden Komplexität integrierter Schaltkreise und der damit verbundenen zunehmenden Simulationsdauer besteht weiterhin ein Bedarf an effizienten numerischen Verfahren zur Lösung der resultierenden hochdimensionalen differential-algebraischen Gleichungssysteme.

Die Standardvorgehensweise, diese Systeme zu lösen, kann in zwei wesentliche Schritte unterteilt werden: die Berechnung konsistenter Anfangsbedingungen und die anschließende numerische Integration mithilfe impliziter Einschritt- oder Mehrschrittverfahren. In der vorliegenden Arbeit werden unterschiedliche Modelle zur Beschreibung des Signalflusses integrierter Schaltkreise vorgestellt. Darauf aufbauend werden graphbasierte Verfahren entwickelt, die Simulation unter Ausnutzung der zugrundeliegenden Netzwerkstruktur zu beschleunigen.

Die Bestimmung konsistenter Anfangswerte erfordert die Lösung eines nichtlinearen Gleichungssystems. Dazu wird in der Regel das Newton-Raphson-Verfahren verwendet. Um die Konvergenz dieses Verfahrens zu beschleunigen und somit die Simulationsdauer zu reduzieren, wird ein Algorithmus präsentiert, der es ermöglicht, einen geeigneten Startwert für die Iteration zu berechnen. Zu diesem Zweck wird ein eventgesteuertes Verfahren zur Simulation auf Schalterebene mit einem Modell des logischen Signalflusses kombiniert, das auf der Zerlegung des Schaltkreises in kanalverbundene und stark zusammenhängende Komponenten basiert.

Eine weitere Möglichkeit, die Simulationsdauer zu reduzieren, besteht darin, die während der Transientenanalyse temporär inaktiven Bereiche auszunutzen. Dazu wird ein Abhängigkeitsgraph generiert, der Aussagen über den Verlauf von Signaländerungen und eine Partitionierung in aktive und inaktive Teilbereiche ermöglicht. Es werden dann signalflussbasierte Runge-Kutta-Verfahren definiert, die inaktive Teilsysteme automatisch erkennen und die Neuberechnung dieser Bereiche vermeiden. Somit lässt sich die Anzahl der benötigten Funktionsauswertungen signifikant verringern.