

IBIS-Modelle in SPICE-Umgebungen

– Simulation von Transienten für digitale Schaltungen –

Wolfram Sorge

11. März 2014



hzdr



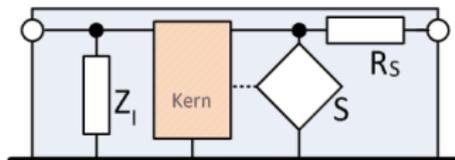
- 1 Einführung
- 2 Programmieren in SPICE
- 3 Schaltvorgänge
- 4 Simulation transienter Signale
- 5 Vergleich von SPICE- und IBIS-Modellen
- 6 Zusammenfassung

Einführung

IBIS und SPICE



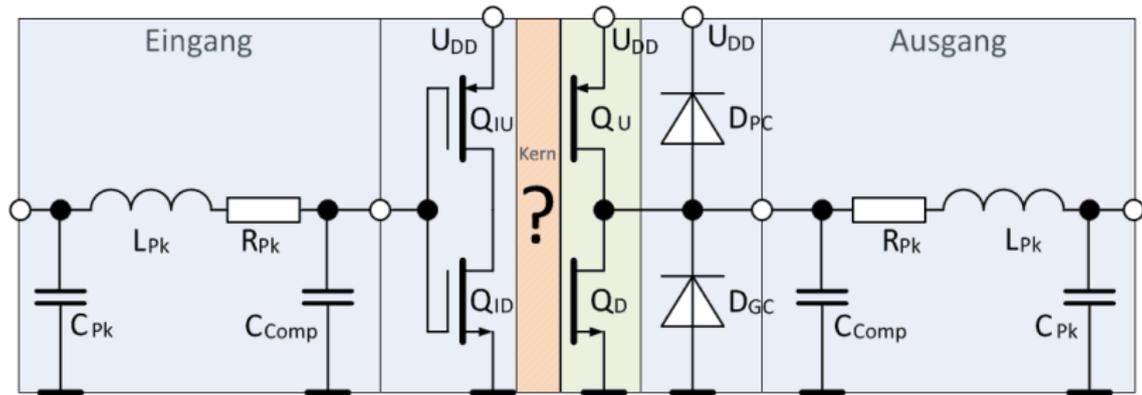
- IBIS:**
- Simulation von Schnittstellen
 - Viele digitale Schaltkreise sind nur in IBIS modelliert.
 - Zumeist professionelle Simulatoren



- SPICE:**
- Simulation des gesamten Schaltkreis' üblich
 - Freie Simulatoren verbreitet, z. B. LTspice

Einführung

Schaltkreismodell aus IBIS-Daten



- Eingang:**
- Bildet die Last für vorgeschaltete Stufen
 - Sagt nichts aus zum Schaltverhalten!

Kern: Schaltlogik in (elektrischen) Einzelheiten unbekannt

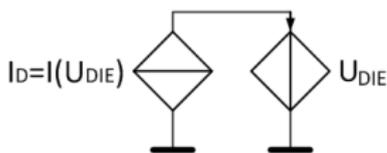
Treiber: Bildet treibende Transistoren statisch und dynamisch nach

Ausgang: Einflüsse der Anschlüsse

Programmieren in SPICE

Übertragen des IBIS-Modells

[Pulldown]							
voltage	I (typ)	I (min)	I (max)				
-5.500E+00	-3.747E+00	-3.779E+00	-3.921E+00	*	.SUBCKT	Pulldown	DR SC
-5.250E+00	-3.499E+00	-3.521E+00	-3.670E+00	+	GPulldown	DR SC	TABLE=(
-5.000E+00	-3.248E+00	-3.263E+00	-3.418E+00	+	-5.500E+00	-3.747E+00,	
-4.750E+00	-2.996E+00	-3.006E+00	-3.167E+00	+	-5.250E+00	-3.499E+00,	
-4.500E+00	-2.740E+00	-2.749E+00	-2.913E+00	+	-5.000E+00	-3.248E+00,	
-4.250E+00	-2.485E+00	-2.491E+00	-2.658E+00	+	-4.750E+00	-2.996E+00,	
-4.000E+00	-2.234E+00	-2.099E+00	-2.402E+00	+	-4.500E+00	-2.740E+00,	
-3.750E+00	-1.984E+00	-1.852E+00	-2.149E+00	+	-4.250E+00	-2.485E+00,	
-3.500E+00	-1.735E+00	-1.607E+00	-1.897E+00	+	-4.000E+00	-2.234E+00,	
-3.250E+00	-1.488E+00	-1.363E+00	-1.645E+00	+	-3.750E+00	-1.984E+00,	
-3.000E+00	-1.243E+00	-1.122E+00	-1.395E+00	+	-3.500E+00	-1.735E+00,	
-2.750E+00	-1.001E+00	-886.387E-03	-1.147E+00	+	-3.250E+00	-1.488E+00,	
-2.500E+00	-765.725E-03	-662.732E-03	-903.596E-03	+	-3.000E+00	-1.243E+00,	
-2.250E+00	-550.375E-03	-488.675E-03	-668.228E-03	+	-2.750E+00	-1.001E+00,	
				+	-2.500E+00	-765.725E-03,	
				+	-2.250E+00	-550.375E-03,	



- Tabellen $I(U)$ und $U(t)$ von IBIS nach SPICE kopieren:

$I(U)$: Gesteuerte Stromquelle modelliert Element statisch

$U(t)$: PWL-Quelle modelliert Schaltverhalten

Schaltvorgänge

Ausgangsstromgleichung des Treibers

Knotengleichung [GLS99]:

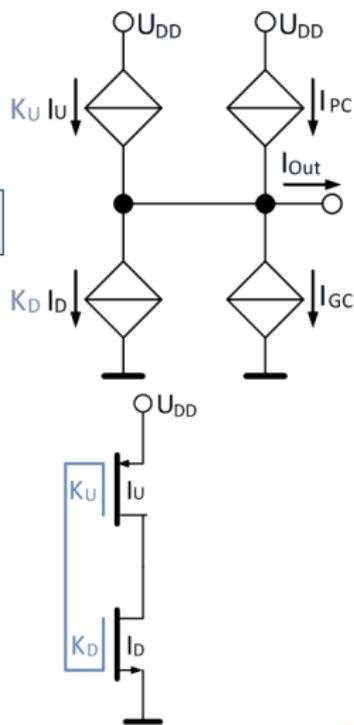
$$I_{out} = K_U(t)I_U - K_D(t)I_D + I_{PC} - I_{GC}$$

Dynamisches Verhalten:

Die Koeffizienten $K(t)$ modellieren das Gate der Transistoren.

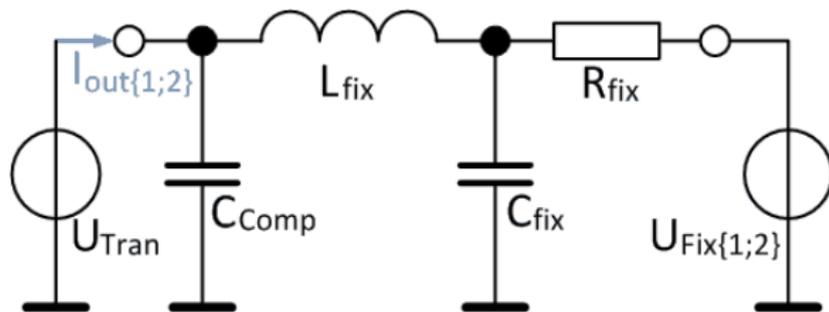
Aufgabe:

Berechnen von $K(t)$



Schaltvorgänge

Berechnung der Schaltkoeffizienten



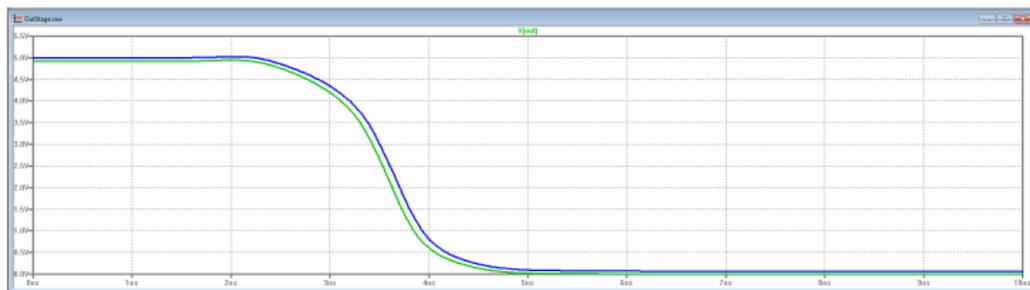
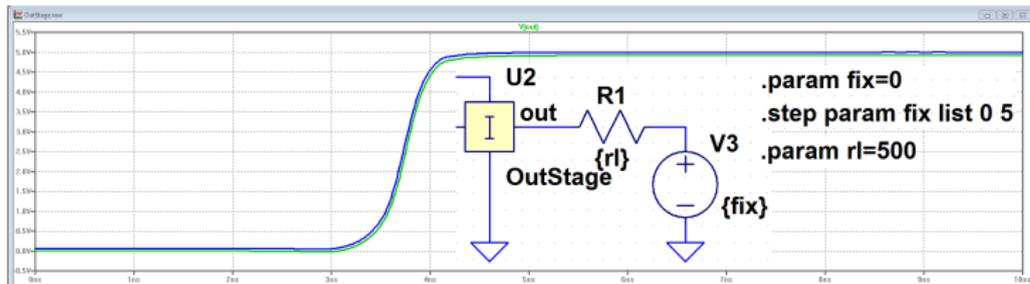
Gleichungssystem der dynamischen Koeffizienten:

$$K_U(t) = \frac{(I_{PC2} - I_{GC2} - I_{out2}(t))I_{D1} - (I_{PC1} - I_{GC1} - I_{out1}(t))I_{D2}}{I_{D2}I_{U1} - I_{D1}I_{U2}}$$

$$K_D(t) = \frac{(I_{PC2} - I_{GC2} - I_{out2}(t))I_{U1} - (I_{PC1} - I_{GC1} - I_{out1}(t))I_{U2}}{I_{D2}I_{U1} - I_{D1}I_{U2}}$$

Schaltvorgänge

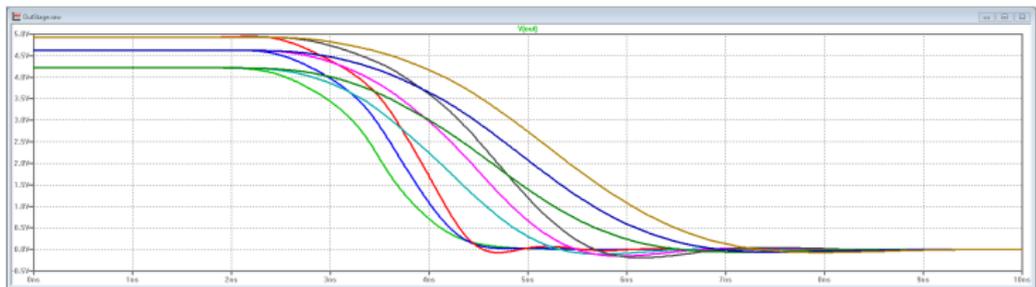
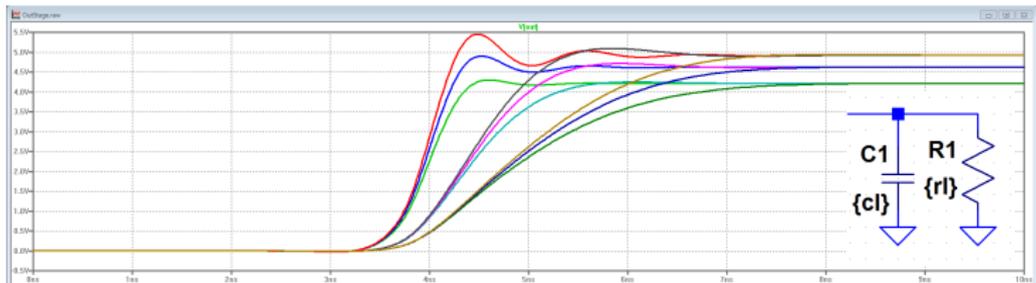
Prüfen des Verhaltens



- „Fix“-Last → Ausgangssignal $\hat{=}$ IBIS-Sprungdefinition
- Enthält Einflüsse des Gehäuses

Schaltvorgänge

Verschiedene Lasten



- Modell bereit für verschiedene Lastimpedanzen,
- besonders: abgeschlossene Leitungen

Simulation transienter Signale

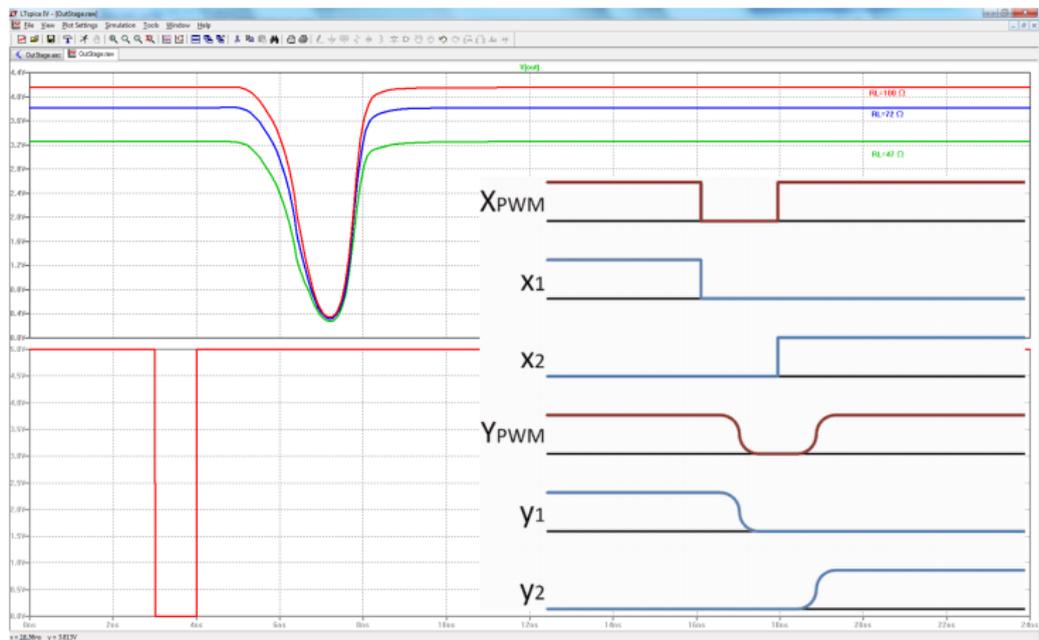
Beispiel: Austastimpuls



- Näherung: Ausgangssignal = \sum Sprungantworten & Gleichanteile
- Exakt ist diese Methode nur im **linearen** System!

Simulation transienter Signale

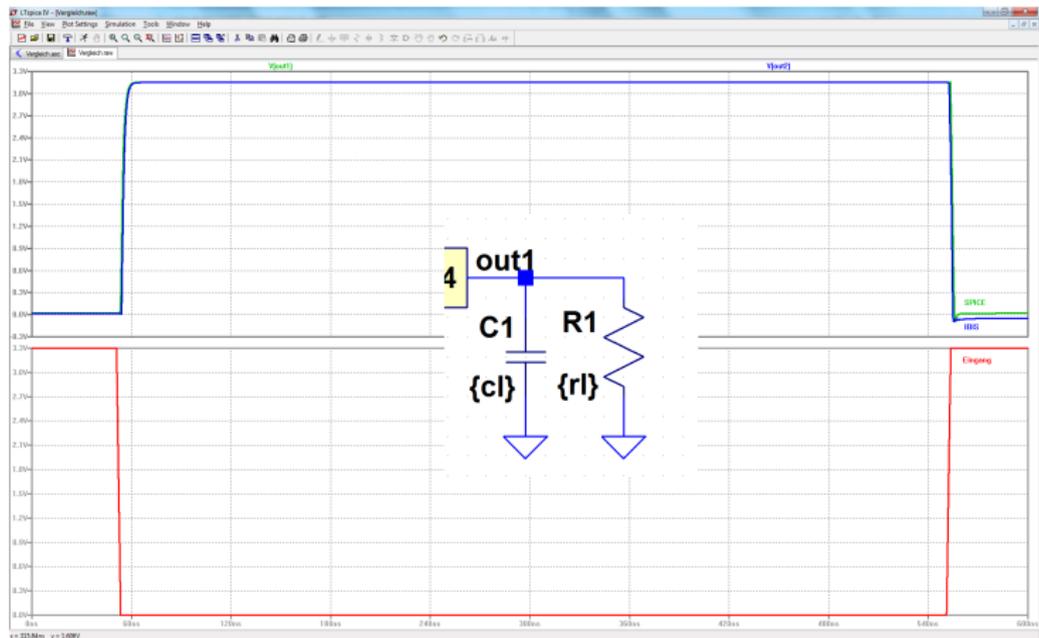
Beispiel: Kurzer Impuls



- Dauer des Schaltvorgangs zu ersehen
- Werte im Übergang nicht exakt!

Vergleich von SPICE- und IBIS-Modellen

Beispiel: Schaltkreis 74LVT00 (NXP)

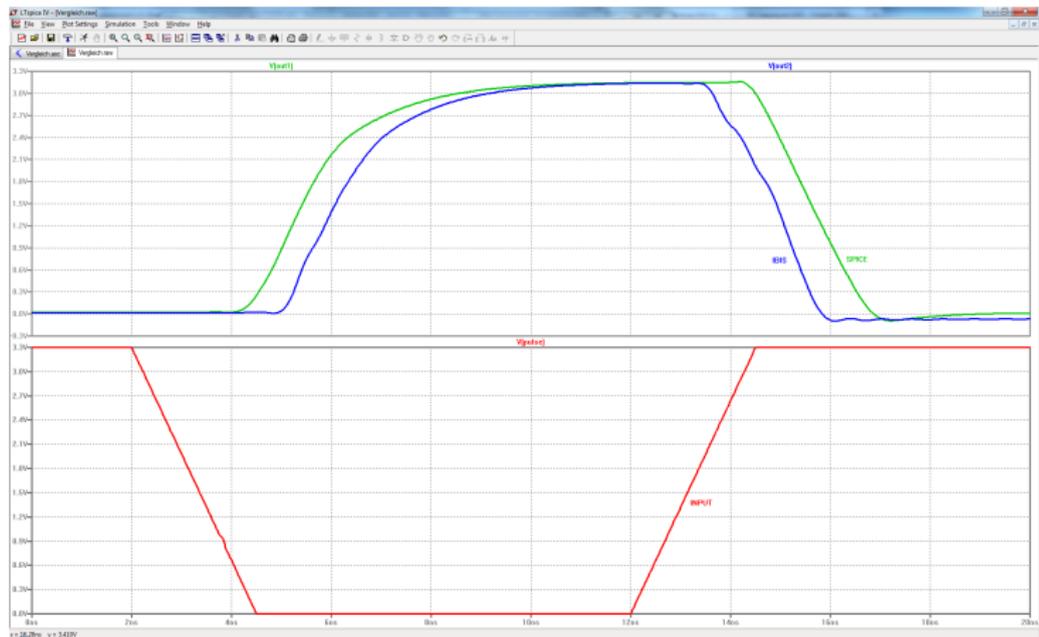


Impulsdefinition laut Datenblatt:

$$R_L = 500 \Omega, C_L = 50 \text{ pF}, t_{off} = 500 \text{ ns}, t_r = t_f = 2,5 \text{ ns}$$

Vergleich von SPICE- und IBIS-Modellen

Beispiel: Schaltkreis 74LVT00 (NXP)



Ansicht mit feinerer Auflösung: Zeitabweichung < 1 ns.

Aufwand: Bei fertigem SPICE-Musterquelltext mäßig

Nachteil: Übertragungszeiten werden nicht exakt simuliert.

Anwendung: Simulation von

- Schaltkreiskopplungen
- Leitungstreibern



Ying Wang, Han Ngee Tan,
The development of analog SPICE behavioral model based on IBIS model,
Proceedings of the Ninth Great Lakes Symposium on VLSI, 1999



Ulf Hilger, Stephan Frei,
Modellierung von LIN-Transceivern für EMV-Simulationen im Kraftfahrzeug,
EMV - Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische
Verträglichkeit, Düsseldorf 2008

Vielen Dank.