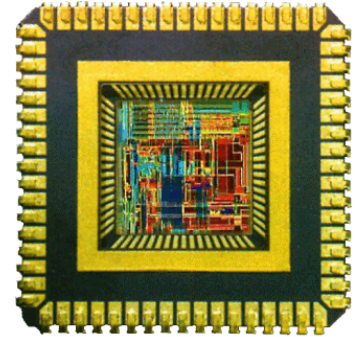




Universität Ulm

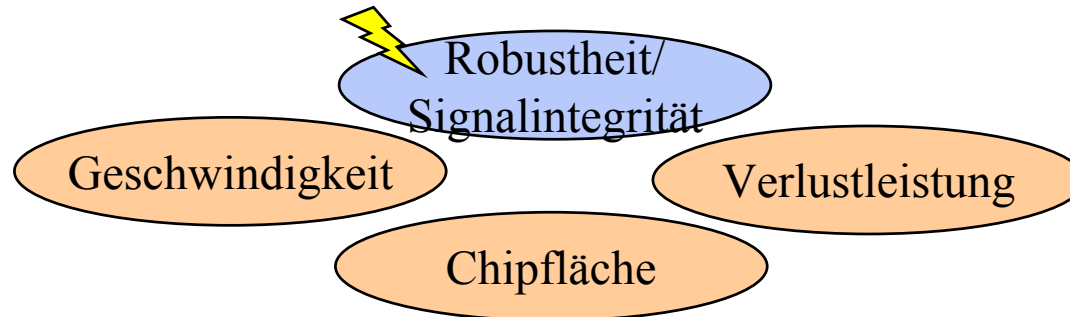
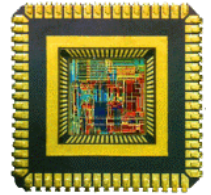
Abt. Allgemeine Elektrotechnik
und Mikroelektronik



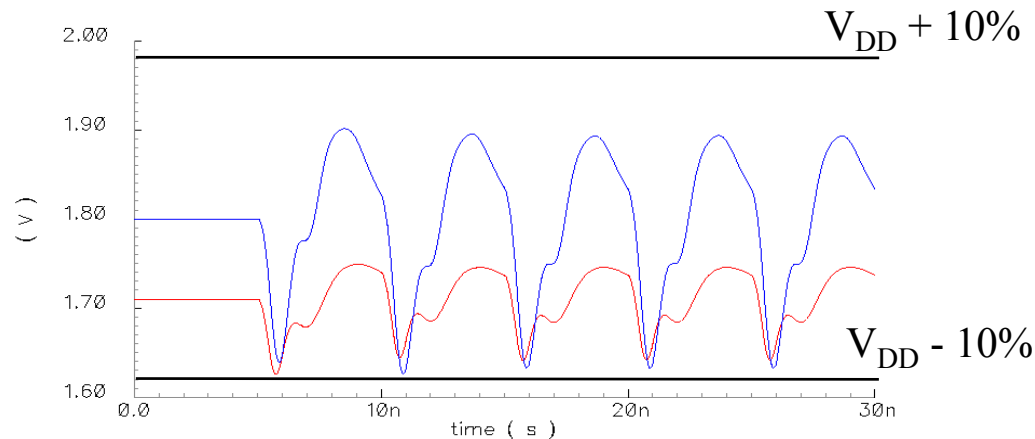
Schwankungen und Stabilisierung der chipinternen Versorgungsspannung in CMOS ICs

Jürgen Rauscher

Motivation



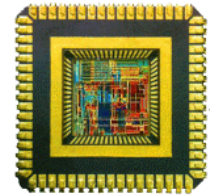
❑ Sicherheitsmargen



❑ $P_{\text{dyn.}} \propto V_{\text{DD}}^2$

❑ Nennspannung lässt sich weiter absenken

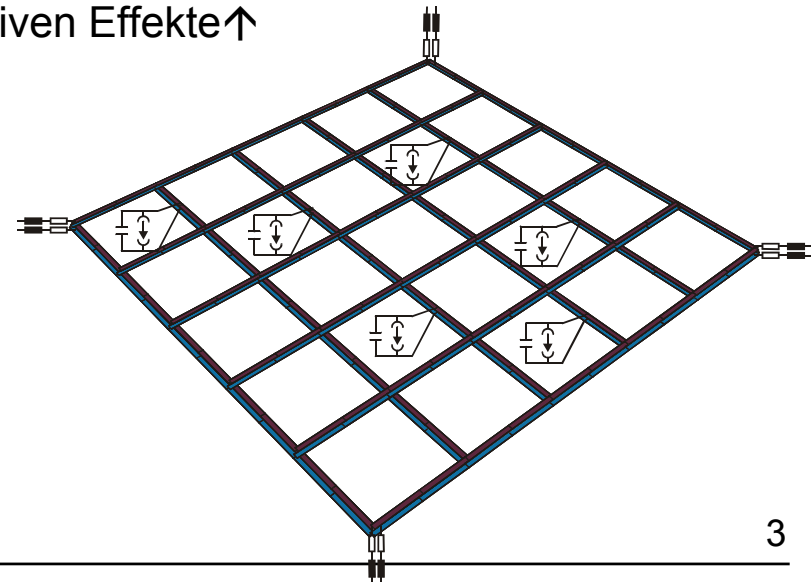
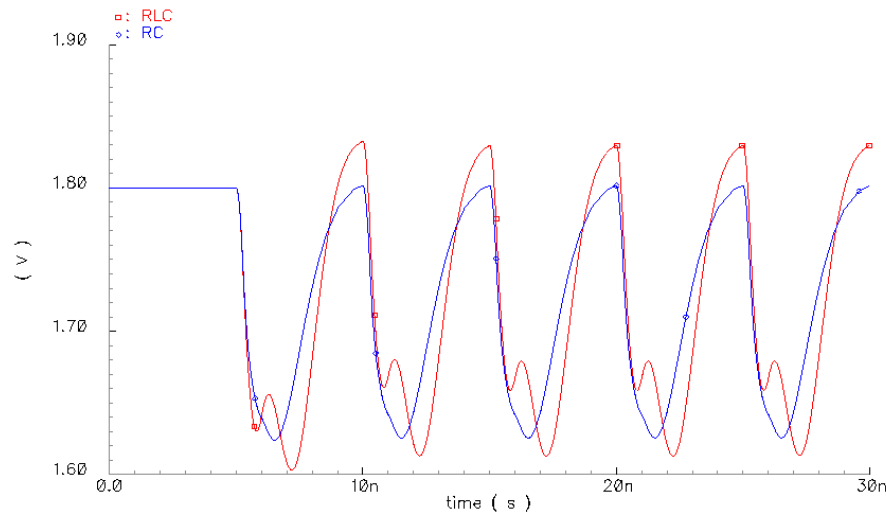
Warum gewinnen die chipinternen Versorgungsspannungsschwankungen zunehmend an Bedeutung?



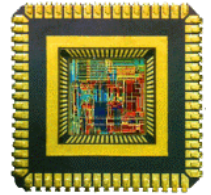
- $P \uparrow$, $V_{DD} \downarrow$, Taktfrequenz \uparrow
- Dynamischer und statischer $I_{DD} \uparrow$

- IR-Abfall: $\Delta V = I \times R$
- $L \, di/dt$: $\Delta V = L \, di/dt$
- Resonanz/Electromigration

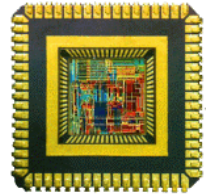
- Cu-Leiterbahnen, Dielektrika mit niederer Dielektrizitätskonstante
⇒ Relativer Anteil der induktiven Effekte \uparrow



Möglichkeiten zur Stabilisierung der chipinternen Versorgungsspannung

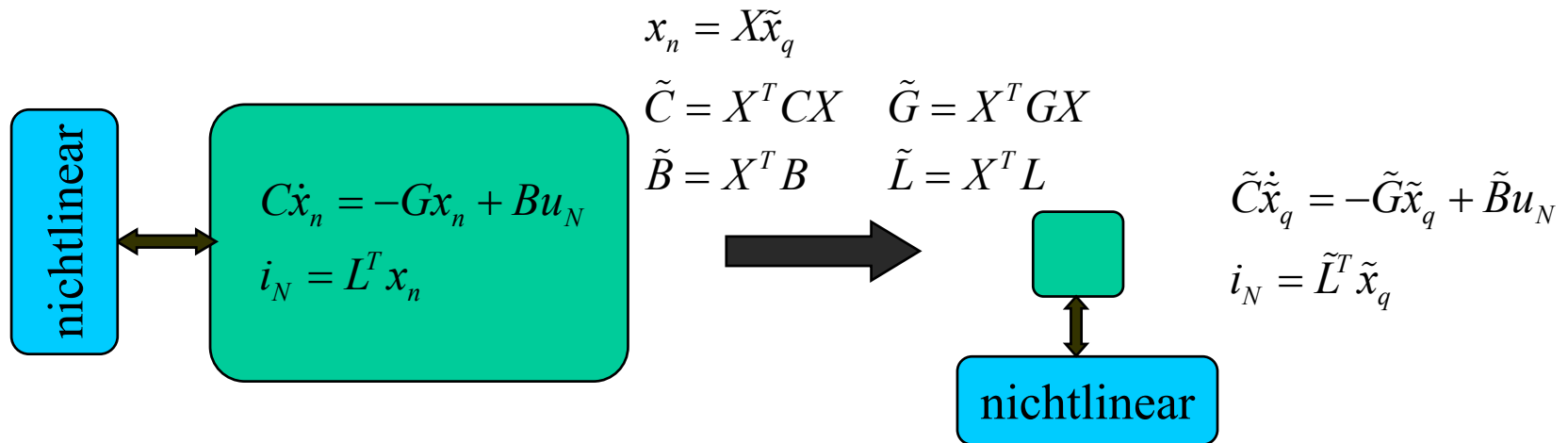


- Hinzufügen von Stützkapazitäten
- Anzahl der Versorgungspins \uparrow
- Verbesserte Gehäusetypen
- „Power Grid“ - dichtgeführte Vdd- und Gnd-Leitungen / „Power Plane“
- Differentielle Signalübertragung
- Chipinterne Regelung der Versorgungsspannung => R. Altherr

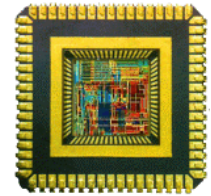


□ Zur Optimierung und Verifikation des Versorgungsnetzes sind Simulationen notwendig!

- Extraktion der parasitären Elemente (RLC)
 - Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) Model (Ruehli)
 - Fenstertechniken zur Reduktion der Induktivitäten
- Netzwerkanalyse / „Model Order Reduction“ (z.B. PRIMA)

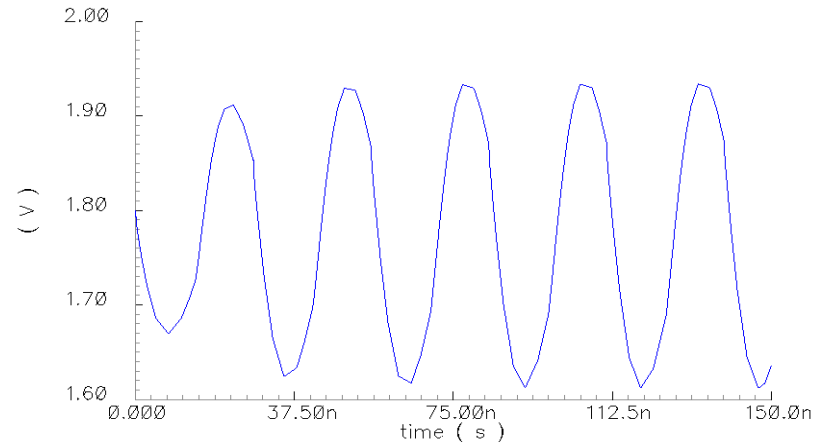


Resonanz und Dämpfung

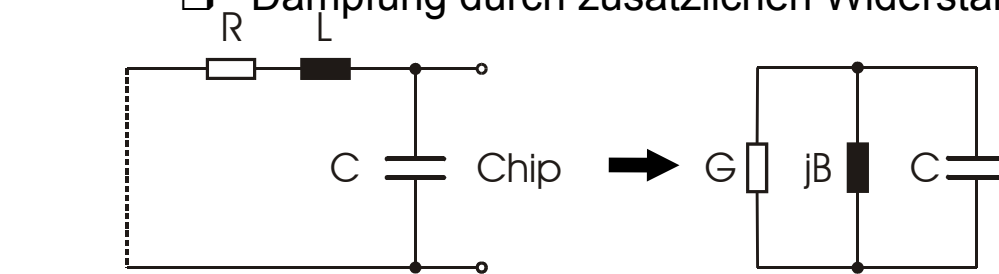


□ Resonanz

- IR-Abfall <-> Dämpfung



□ Dämpfung durch zusätzlichen Widerstand

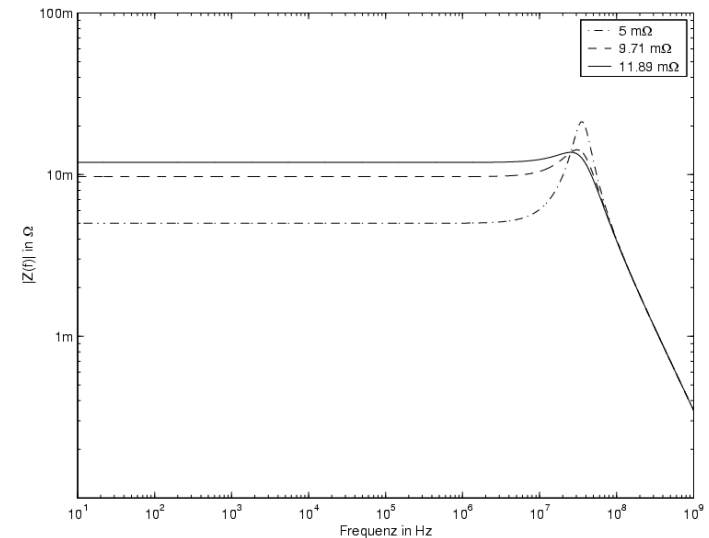


$$\omega_R = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

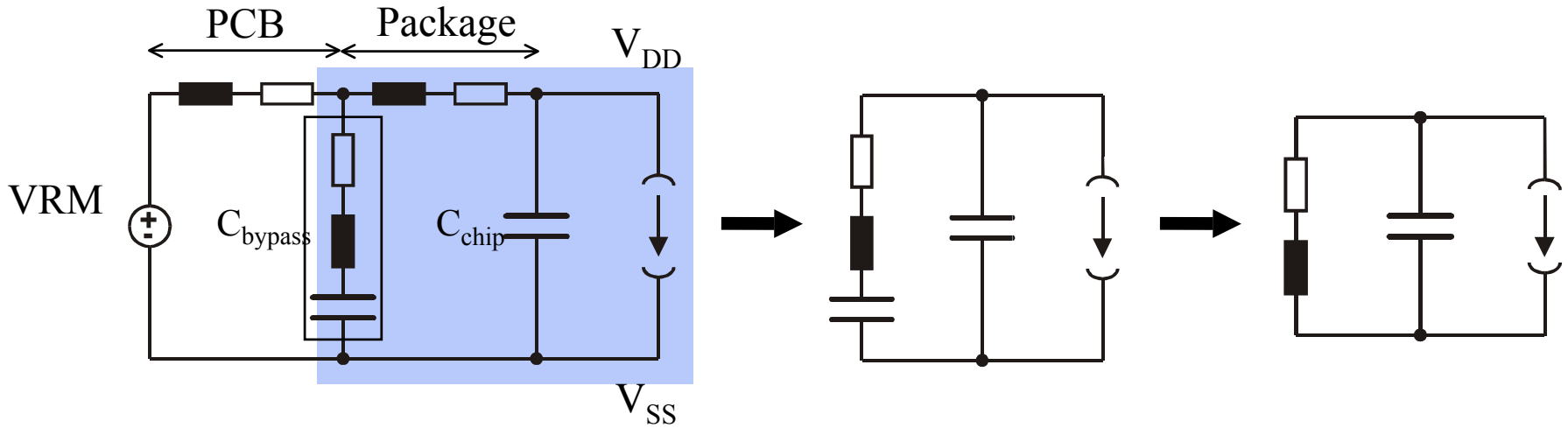
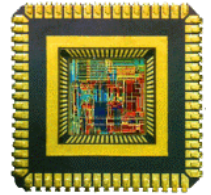
$$G = \frac{R}{R^2 + (\omega_R L)^2}$$

$$R = \omega_R L = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{Wellenwiderstand})$$

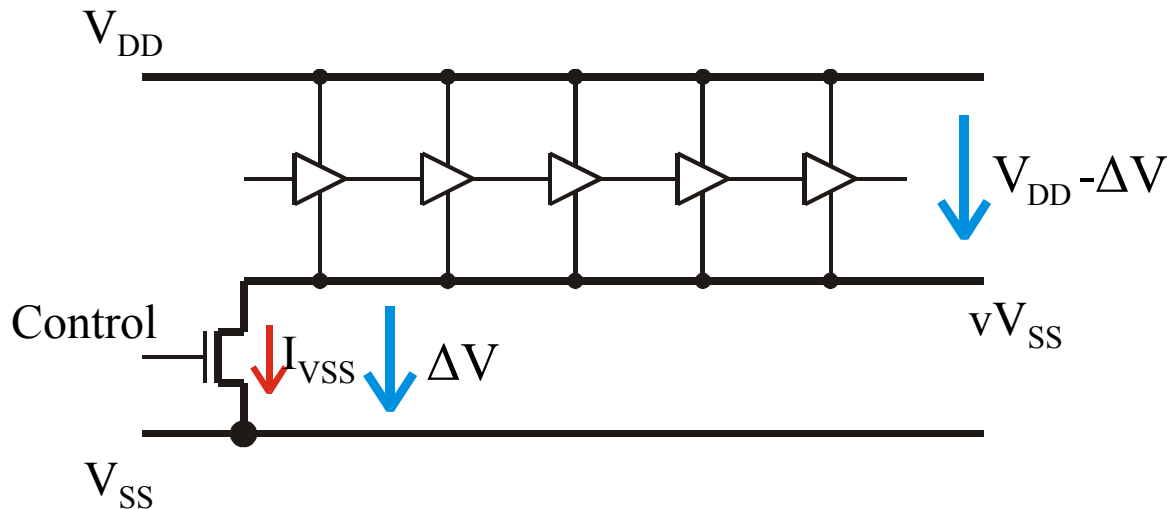
⇒ Die maximal auftretenden Spannungsschwankungen im eingeschwungenen Zustand werden minimiert

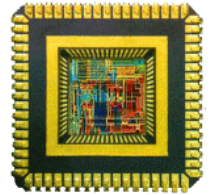


Resonanz und Dämpfung (2)



Power Rail Switching





- ❑ Vereinfachte Ersatzschaltungen
 - An- bzw. Abschalten von Modulen
 - Wechsel der Schaltaktivität
 - Dimensionierung von Stützkapazitäten und Leitungswiderständen

- ❑ Numerische Simulationsumgebung
 - Verifikation
 - Lokale Spannungsschwankungen

- ❑ Zur Optimierung und Verifikation des Versorgungsnetzes sind Simulationen notwendig!
 - Extraktion der parasitären Elemente (RLC)
 - Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) Model (Ruehli)
 - Fenstertechniken zur Reduktion der Induktivitäten
 - Netzwerkanalyse / „Model Order Reduction“ (z.B. PRIMA)