**Vorlesung 6**

**Thema 1: Setup und Hold**

Folien 2 - 14

\*\*\*

**Hold-Zeit**

Stellen wir uns vor, wir haben zwei Flipflops und die kombinatorische Logik dazwischen. Auf steigende Taktflanke Ck(i) ändert sich der Ausgang des Flip-Flops 1 (Folie 4). Genau genommen, das zweite Latch im Flipflop FF1 wird transparent und leitet den Wert vom seinem Eingang bis zum Ausgang Q1 durch. Gleichzeitig kommt auch das erste Latch im Flipflop 2 in Speicherzustand. Der Eingang D2 wird vom Latch getrennt. Wichtig ist das folgende: Die Änderung am D2 (verursacht durch die Änderung an Q1 wegen der Taktflanke Ck(i)) darf nicht passieren bevor das Latch 1 in Flipflop 2 in Speichermodus kommt.

Wir definieren als Hold Time die Zeit die Eingang D2 nach der aktiven Taktflanke noch unverändert bleiben muss (also im D2(i) Zustand) so dass D2(i) im Flipflop gespeichert wird.

Folien 4 – 8 zeigen die zeitliche Reihenfolge von Vorgängen nach der aktiven Taktflanke.

Folie 4: Taktflanke

Folie 5: Nach der hold-Zeit werden die Schaltern geöffnet

Folie 6: Q1 ändert sich

Folie 7: D2 ändert sich

Die D2 – Änderung passiert nach der hold-Zeit, das ist in Ordnung.

Es wird ein Slack (etwa wie Zeitlücke) wie folgend definiert:

Slack = Ck1 + Delay – (Ck2 + Thold)

Ck1/2 ist der Moment der steigenden Taktflanke am Takteingang FF1/FF2.

Beachten wir, dass verschiedene Flip-Flops in verschiedenen Momenten das Taktsignal empfangen können.

Delay ist die Gesamtverzögerung des Signals von der steigenden Taktflanke am FF1 bis zum Dateneingang des FF2.

Thold ist die hold-Zeit.

Wenn Slack > 0, ist „alles in Ordnung“. Also Slack zeigt uns ob alles in Ordnung ist.

Wenn sich D2 zu schnell ändert, also wenn sich D2 ändert bevor Latch 1/FF2 in Speichermodus kommt wird der falsche Zustand D2(i+1) im Flipflop 2 gespeichert. Wir reden von einer Hold Time Verletzung.

Hold Time Verletzung passiert wenn sich Niveau am Eingang D2 zu schnell ändert. Die Ursache könnte ein schlechtes Design des Flipflops sein oder, dass der Takt Ck2 später ankommt als Ck1. Das letzte könnte bei einem nichtoptimalen Taktbaum passieren. Verzögerung in der kombinatorischen Logik zwischen den Flipflops hilft.

Folien 9 – 13 zeigen der Fall einer hold-Time Verletzung. Die Ursache ist hier ein zu spät eintreffendes Ck2-Signal, da wir einen Takt-Buffer zwischen zwei Flip-Flops haben.

Folie 10: Taktflanke am FF1

Folie 11: Nach einer Delay-Zeit kommt die Änderung an D2, Ck hat sich am FF2-Takteingang noch nicht geändert. FF2/Latch1 ist noch transparent und nimmt das neue D2 Wert auf.

Folie 12: Erst jetzt kommt die Taktflanke an FF2-Takteingang

Folie 13: Das neue D2 (i+1) Wert wird am Q2 sichtbar –> Hold-Verletzung

Folien 17 - 33

**Setup-Zeit**

Die Änderung am D2, verursacht durch die Änderung an Q1 bei der Taktflanke Ck(i), soll geschehen bevor die nächste Taktflanke Ck(i+1) das Flipflop 2 erreicht und das Latch 1/FF2 den transparenten Modus verlässt.

Wir definieren den Setup-Moment als den letzten Zeitpunkt, wo sich D noch ändern muss, so dass die Änderung sicher gespeichert wird. (Oft können die D-Änderungen noch kurze Zeit nach der Taktflanke gespeichert werden, in dem Fall ist die setup-Zeit negativ.)

Wenn sich D2 nach der Setupzeitpunkt ändert, wird noch der alte Zustand (D2(t)) auf die Taktflanke Ck(i+1) gespeichert, was falsch ist. Wir reden von einer Setup Time Verletzung.

Setup-Zeit-Verletzung passiert wenn sich Niveau am Eingang D2 zu langsam ändert. Das passiert am meistens wenn die Taktfrequenz zu hoch ist oder die kombinatorische Logik zu langsam.

Folien 18 – 24 zeigen die zeitliche Reihenfolge von Vorgängen nach der aktiven Taktflanke im Fall ohne setup-Zeitverletzung.

Folie 18: Taktflanke i am FF1 (Ck1 (i))

Folien 19 - 22: Nach einer Verzögerung ändert sich D2 = D2(i+1). Die Verzögerung setzt sich aus der Verzögerung im FF1 und der Verzögerung in der kombinatorischen Logik (der Kreis im Bild) zusammen.

Folie 23: Taktflanke i+1 am FF2 (Ck2 (i+1)). Der neue Zustand D2(i+1) wird gespeichert.

Auch hier wird ein Slack (Zeitlücke) definiert:

Slack = Ck2 - Tsetup - (Ck1-Tck) - Delay

Ck2 ist der Moment der steigenden Taktflanke (i+1) am Takteingang FF2.

Ck1-Tck ist der Moment der steigenden Taktflanke (i) am Takteingang FF1. Tck ist die Taktperiode.

Delay ist die Gesamtverzögerung des Signals von der steigenden Taktflanke am FF1 bis zum Dateneingang des FF2.

Tsetup ist die setup-Zeit.

Wenn Slack > 0, ist „alles in Ordnung“.

Folien 27 – 33 zeigen der Fall einer setup-Time Verletzung

Folie 27: Taktflanke i

Folien 28-30: Das Signal ist noch von FF1 nach D2 „unterwegs“

Folie 31: Taktflanke i+1

Folie 32: Setup-Zeitpunkt (definiert als Ck2(i+1)+Tsetup), D2 hat sich noch nicht geändert

Folie 33: Erst jetzt haben wir die D2(i+1) Änderung -> Setup-Verletzung

Folie 34

\*\*\*

Beachten wir das folgende – Setup-Zeit Verletzungen kann man durch langsamere Taktfrequenz verhindern. Hold-Zeit Verletzungen kann man, wenn sie vorhanden sind, nicht mehr entfernen.

Wenn eine Schaltung Hold-Zeit Probleme hat, kann man sie in der Regel nicht verwenden.

*Hold-Zeit Probleme verhindert man im Design durch eine scheinbare Taktverlangsamung am Empfänger Flipflop. Diese nennt man Clock Uncertainty. Auf diese Weise wird Synthese Tool gezwungen D2 in Bezug auf Ck-Eingang am FF2 zu verlangsamen. Das erreicht das Tool z.B. durch Einfügen von Invertern im Datenpfad.*