

DCF77-Funkuhrenempfänger

Wolfgang Heenes, Christian Schäck
26. September 2010



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis | 2 |
| 1 Allgemeine Hinweise | 3 |
| 1.1 Einleitung | 3 |
| 1.2 Organisation/Ablauf/Termine | 3 |
| 1.3 Bonus-Regelung | 3 |
| 2 DCF77-Funkuhr – Einführung | 4 |
| 2.1 Einführung | 4 |
| 2.2 Realisierung und Verbreitung der gesetzlichen Zeit für Deutschland | 4 |
| 2.3 Sendebezeichnung und Standort | 4 |
| 3 Funktionsweise | 5 |
| 3.1 Demoduliertes Signal | 6 |
| 3.2 Darstellung „Null“ | 6 |
| 3.3 Darstellung „Eins“ | 7 |
| 4 Entwurf und Implementierung einer Dekodierungseinheit | 8 |
| 4.1 1. Aufgabe - Identifizierung von Systemkomponenten | 8 |
| 4.2 2. Aufgabe - Entwurf, Implementierung | 8 |
| 5 Nachweis der Funktionalität durch Simulation | 9 |
| 5.1 3. Aufgabe - Testbench | 9 |
| 5.2 4. Aufgabe - Simulation | 9 |
| 5.3 5. Aufgabe - Fehlerdiskussion | 9 |
| 6 Dokumentation und Diskussion | 10 |
| 7 Freiwillige Zusatzaufgabe - Realisierung auf dem FPGA | 11 |
| Literaturverzeichnis | 12 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|---|---|
| 3.1 | Schema der Kodierung [PHB04, S. 352] | 5 |
| 3.2 | Beispiel für demoduliertes Signal | 6 |
| 3.3 | Beispiel für eine „Null“ | 6 |
| 3.4 | Beispiel für eine „Eins“ | 7 |
| 4.1 | Blockschaltbild der Dekodierungseinheit | 8 |

1 Allgemeine Hinweise

1.1 Einleitung

Im Rahmen der Veranstaltung *Einführung in Computer Microsystems* soll als Projekt der Digitalteil einer DCF77-Funkuhr entwickelt werden. Dieses Projekt soll neben der Vertiefung von fachlichen Kompetenzen (z. B. Verilog HDL) auch die Problemlösungskompetenz und Schreibkompetenz erweitern. Da das Projekt in Gruppen durchgeführt wird, wird außerdem die Teamarbeit geübt. Jede Gruppe dokumentiert ihr Vorgehen in einer schriftlichen Ausarbeitung (vgl. Kapitel 6). Diese Ausarbeitung wird abgegeben und bewertet. Neben der Funktionalität (wird bei der Rückgabe der Arbeiten getestet) wird auch die Qualität des Codes und die Form der schriftlichen Ausarbeitung bewertet.

1.2 Organisation/Ablauf/Termine

Das Projekt wird in Gruppen bearbeitet. Die Gruppengröße kann dabei zwischen zwei und drei Studierenden betragen. Größere Gruppen sind nicht möglich.

- Die Ausgabe des Aufgabenblatts erfolgt am **26. April 2010**.
- Die Abgabe der Dokumentation ist bis spätestens **16. Juli 2010, 12:00 Uhr** möglich.
- Die Abgabe der Dokumentation erfolgt in Papierform. Die Dokumentation ist zusammengeheftet abzugeben (Ringbindung, Lochung).
- Weitere Informationen sind in Kapitel 6 zu finden und unbedingt zu beachten.

Die Ergebnisse des Projekts werden vorraussichtlich am **30. Juli 2010** bekannt gegeben. Die korrigierten und kommentierten Ausarbeitungen können ab dem 2. August 2010 wieder abgeholt werden (Raum: A225, Wolfgang Heenes). Bei der Abholung der Ausarbeitung sind die Quellcodes (mit Projektdateien) mitzubringen und auf eigenem Laptop oder den Laborrechnern die Funktionsweise nachzuweisen. Außerdem werden Verständnisfragen gestellt.

1.3 Bonus-Regelung

Für den Bonus, einzubringen in die Prüfungsklausur am 26. August 2010 (bzw. der Prüfungsklausur im Frühjahr 2011), wird folgende Regelung angewandt.

- In der Klausur können 120 Punkte erreicht werden. In diesem Projekt können bis zu 30 Punkte erreicht werden.
- Sie können davon ausgehen, dass Sie auf jeden Fall mit 4,0 oder besser bestanden haben, wenn Sie insgesamt 60 Punkte erreichen.
- Auch ohne die Bearbeitung des Projekts ist es möglich, in der Prüfungsklausur die Note 1.0 zu erzielen.

Viel Spaß und viel Erfolg.

2 DCF77-Funkuhr – Einführung

2.1 Einführung

Die DCF77-Funkuhr dient seit mehr als dreißig Jahren der Zeit- und Normalfrequenzverteilung. „Zeitmessung ist heute aus dem privaten Alltag ebenso wenig weg zu denken, wie aus vielen Bereichen von Wissenschaft und Technik. Der Begriff wird die Messung der Dauer von Zeitintervallen (Stichwort: Stoppuhr), für die Registrierung der Häufigkeit von Ereignissen während eines Zeitintervalls (Stichwort: Frequenz) und für die Datierung von Ereignissen in einer Zeitskala (Stichwort: Uhrzeit) verwendet.“ [PHB04, S. 345]

2.2 Realisierung und Verbreitung der gesetzlichen Zeit für Deutschland

„Das Zeitgesetz von 1978 beauftrag die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB), die für das öffentliche Leben in Deutschland maßgebende Uhrzeit darzustellen und zu verbreiten. Als gesetzliche Zeit wurden die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) oder, im Falle ihrer Einführung, die Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) festgelegt, wie sie von der PTB realisiert werden.“ [PHB04, S. 347]

2.3 Sendebezeichnung und Standort

Am 01.09.1970 nahm der Zeitzeichensender DCF77 den 24-h Dauerbetrieb mit einer Sendeleistung von 50 kW auf. Das Rufzeichen DCF77 setzt sich wie folgt zusammen. Nach den Regeln *International Telecommunication Union* (ITU) müssen alle Sender, deren Reichweite über die jeweiligen Landesgrenzen hinausgehen, mit einem Rufzeichen gekennzeichnet werden. Die der Bundesrepublik zugewiesene Rufzeichenreihe beginnt mit DAA und endet mit DRZ. DFC77 setzt sich wie folgt zusammen: D steht für Deutschland, der Buchstabe C wurde zur Kennzeichnungen von Langwellensendern gewählt. Das F ergibt sich aus der Nähe zu Frankfurt. Die 77 ergibt sich aus der gewählten Trägerfrequenz von 77 kHz.

Standort des Senders DCF77 ist die Sendefunktstelle Mainflingen etwa 25 km südöstlich von Frankfurt am Main.

Weitere Informationen sind in [PHB04] zu finden.

3 Funktionsweise

Die Amplitude der Trägerschwingung wird mit Sekundenmarken moduliert: Zu Beginn jeder Sekunde, mit Ausnahme der letzten Sekunde jeder Minute als Kennung für den folgenden Minutenbeginn, wird die Amplitude für die Dauer von 0,1 s oder 0,2 s mit der Trägerschwingung auf etwa 25% abgesenkt.

Die unterschiedliche Dauer der Sekundenmarken dient zur binären Kodierung von Uhrzeit und Datum. Sekundenmarken mit einer Dauer von 0,1 s entsprechen der binären Null und solche mit einer Dauer von 0,2 s der binären Eins. Einmal während jeder Minute werden die Nummern von Minute, Stunde, Tag, Wochentag, Monat und Jahr BCD-kodiert¹ übertragen. Vom Kalenderjahr werden nur die Einer- und Zehnerstellen übertragen, das Jahr 2004 also als 04. Der ausgesendete Code enthält jeweils die Informationen für die folgende Minute.

Abbildung 3.1 zeigt das Schema der Kodierung.

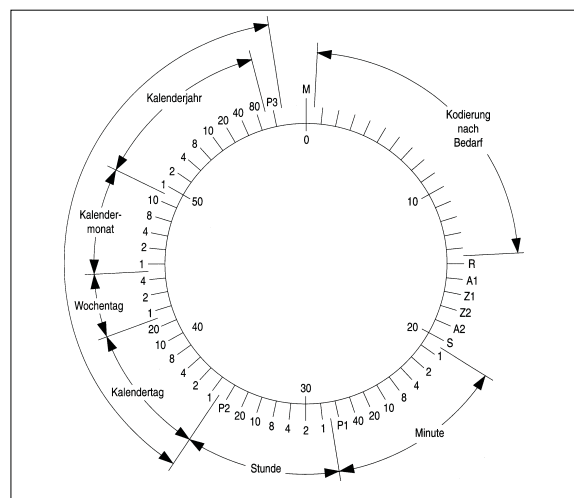


Abbildung 3.1: Schema der Kodierung [PHB04, S. 352]

Wie die Abbildung 3.1 zeigt, gibt es einige ausgezeichnete Bits.

- M: Minutenmarke
- R: Rufbit, signalisiert Unregelmäßigkeiten der Steuereinrichtung
- A1: Ankündigungsbit eines bevorstehenden Wechsels von MEZ auf MESZ oder umgekehrt.
- Z1 (Z2): Zonenzeitbits
- A2: Ankündigung einer Schaltsekunde
- S: Startbit der kodierten Zeitinformation (0,2 s)
- P1, P2, P3: Prüfbits
- Bits 1-14: - sind nicht immer Null

Die Prüfbits P1, P2 und P3 ergänzen jeweils die vorhergehenden Informationswörter (7 Bits für die Minute, 6 Bits für die Stunde und 22 Bits für das Datum einschließlich der Nummer des Wochentages) auf eine gerade Zahl von Einsen.

¹ Binary Coded Decimal

3.1 Demoduliertes Signal

Das vom Funkempfänger zur Verfügung gestellte demodulierte Signal ist in Abbildung 3.2 zu sehen.

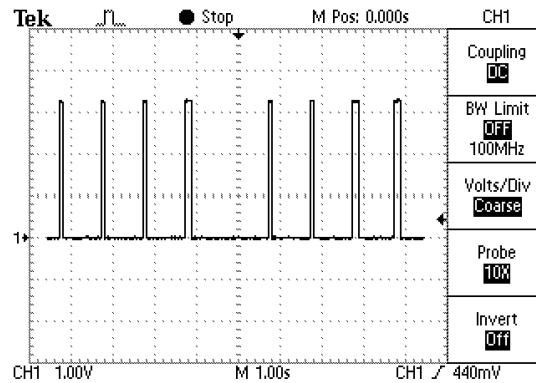


Abbildung 3.2: Beispiel für demoduliertes Signal

Dieses Signal zeigt auch die fehlende Tastung und zeigt damit die Minutenmarke (vgl. Abbildung 3.1) an.

3.2 Darstellung „Null“

Wie schon erwähnt, haben die Sekundenmarken unterschiedliche Länge. Eine „Null“ hat eine Länge von 0,1 s. In der Abbildung 3.3 wird im linken Teil die Übetragung einer Sekundenmarke gezeigt (zwischen den vertikalen Mess-Cursoren), die einer Null entspricht.²

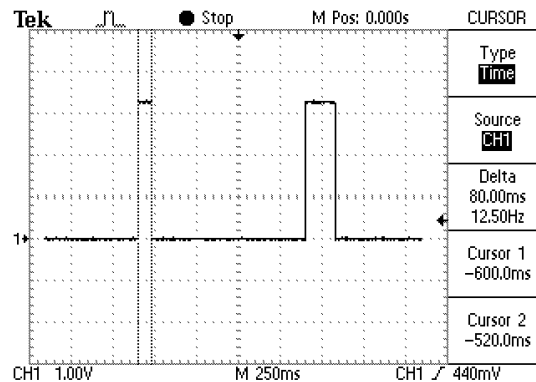


Abbildung 3.3: Beispiel für eine „Null“

² Die Messung zeigt, dass das Signal ca. 80 ms lang ist.

3.3 Darstellung „Eins“

Die Abbildung 3.4 zeigt im rechten Teil der Abbildung eine Sekundenmarke, die einer Eins entspricht.³

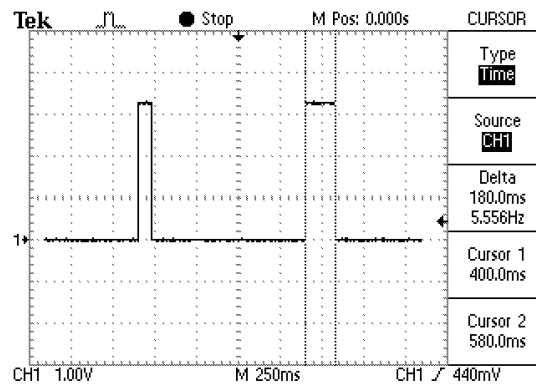


Abbildung 3.4: Beispiel für eine „Eins“

³ Die Messung zeigt, dass das Signal ca. 180 ms lang ist.

4 Entwurf und Implementierung einer Dekodierungseinheit

Nach der allgemeinen Beschreibung der Funktionsweise der Signalübertragung soll nun die digitale Verarbeitung der Signale vorgenommen werden. Der Funkuhrempfänger bekommt als Eingangssignal das in Kapitel 3 beschriebene Signal. Das Blockschaltbild der zu entwerfenden Dekodierungseinheit ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

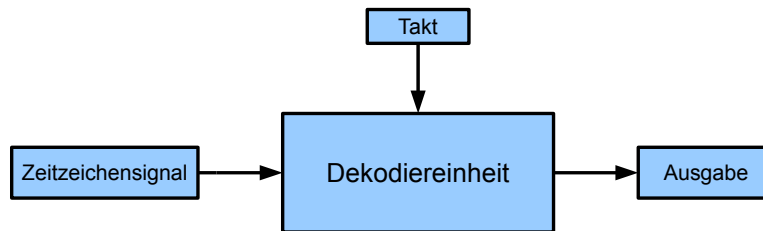


Abbildung 4.1: Blockschaltbild der Dekodierungseinheit

Die Dekodiereinheit nimmt die Auswertung des Zeitzeichensignals vor (MEZ bzw. MESZ bleiben unbeachtet). Das Zeitzeichen (Stunde, Minute, Sekunde) soll, wie auch der Kalendertag, Wochentag, Kalendermonat und Kalenderjahr in einem (oder mehreren) Ausgaberegistern zur Verfügung gestellt werden. Dort kann dann eine weitere Verarbeitung erfolgen (vgl. freiwillige Zusatzaufgabe Kapitel 7). Die Anzeigeeinheit für das Zeitzeichen zeigt auch Sekunden an. Der Sekundentakt wird in der Dekodiereinheit erzeugt.

Als Entwurfsverfahren bietet sich das Top-Down-Verfahren an.

4.1 1. Aufgabe - Identifizierung von Systemkomponenten

Überlegen Sie sich, wie die Dekodierungseinheit in sinnvolle Systemkomponenten aufgeteilt werden kann. In der Dokumentation (vgl. Kapitel 6) wird eine Begründung für Ihre Aufteilung erwartet. Zeichnen und benennen Sie Ihre Systemkomponenten und die eingeführten Verbindungen.

4.2 2. Aufgabe - Entwurf, Implementierung

Nach der Identifizierung der Systemkomponenten sollen die Systemkomponenten in Verilog HDL beschrieben werden. Die zu schreibenden Verilog HDL Module bekommen die Namen, die auch die Systemkomponenten haben.

5 Nachweis der Funktionalität durch Simulation

5.1 3. Aufgabe - Testbench

Zu Testzwecken ist es notwendig, geeignete Stimuli (Testbenches) zu schreiben. Dies betrifft den Takt und das Zeitzeichensignal. Während der Zeitmaßstab des Zeitzeichensignals vorgegeben ist, ist für den Takt ein geeignetes Taktsignal auszuwählen. Außerdem ist daran zu denken, dass die Dekodierungseinheit das Ausgaberegister für eine Sekundenanzeige im Sekunden-Takt aktualisiert.

Schreiben Sie ein Stimuli, welches die Eingabesignale für die Dekodierungseinheit erzeugt (Zeitzeichensignal, Takt). Die Testbench gibt außerdem die Inhalte der Ausgaberegister aus.

5.2 4. Aufgabe - Simulation

Simulieren Sie Dekodierungseinheit. Es soll in der Simulation erkennbar sein, wie Ihr Design die Synchronisation vornimmt. Zum Testen soll außerdem ein Zeitzeichensignal verwendet werden, was zu einem beliebigen Zeitpunkt (außer dem Minutenmarker) anfängt. Damit soll festgestellt werden, ob die Synchronisation immer gelingt. Ob Sie Textfiles ausgeben oder Wave-Form-Diagramme ist Ihnen überlassen.

Sie können beim Entwurf Ihrer Dekodierungseinheit davon ausgehen, dass stets alle Sekundenmarken vorliegen.

5.3 5. Aufgabe - Fehlerdiskussion

Überlegen Sie, wie schnell bei Ihrem Design eine Anzeige der Uhrzeit möglich ist. Welche Fehlerfälle können allgemein auftreten und welche Auswirkungen hat das für Ihre Dekodierungseinheit bzw. die Zeit, bis gültige Werte in den Ausgaberegistern stehen.

6 Dokumentation und Diskussion

Die Dokumentation des Projekts soll folgende Struktur haben:

- Deckblatt
- Inhaltsverzeichnis
- Abbildungs-, Tabellen-, und Abkürzungsverzeichnis
- Textteil
 - Einleitung
 - Hauptteil
 - Zusammenfassung und Ausblick
- Anhänge
- Literaturverzeichnis/Quellenverzeichnis
- Ehrenwörtliche Erklärung

Das Deckblatt enthält folgende Angaben:

- Name der Hochschule
- Bezeichnung des Studiengangs
- Titel des Projekts
- Namen aller Autoren/Gruppenmitglieder
- Name des Prüfers (Wolfgang Heenes)
- Datum der Abgabe (vgl. Termine in diesem Dokument)

Die Einleitung beschreibt kurz die Aufgabe, die in diesem Projekt bearbeitet wird. Außerdem soll die Struktur der Arbeit beschrieben werden.

Der Hauptteil der Arbeit stellt die Lösung der fünf Aufgaben vor. Auf eine sinnvolle Strukturierung und aussagekräftige Dokumentation (z. B. Black-Boxes, Flußdiagramme etc.) ist zu achten.

Die Zusammenfassung (und Ausblick) faßt die Ergebnisse zusammen und beschreibt (ggf. aus Erkenntnissen der Fehlerdiskussion) welche Änderungen vorgenommen werden könnten.

Alle Quellcodes (anzugeben im Anhang) sind mit Zeilennummern zu versehen und zu **kommentieren**. Quellcodes können Ausschnittsweise auch im Textteil der Arbeit vorkommen. Abbildungen und Tabellen sind im Text zu referenzieren.

In dem Literaturverzeichnis/Quellenverzeichnis Ihrer Arbeit sind alle verwendeten Quellen aufgeführt. Auf diese Quellen wird aus dem Textteil verwiesen.

Informationen zur Anfertigung wissenschaftlicher und technischer Dokumente sind z. B. in [BSSK08] zu finden.

7 Freiwillige Zusatzaufgabe - Realisierung auf dem FPGA

Dieser Teil fließt nicht in die Bewertung ein.

- Synthetisieren Sie Ihre Dekodierungseinheit. Geben Sie als Family **Spartan3E**, als Device **XC3S500E**, als Package **FG320** und für Speed **-4** an [Xil06].
- Führen Sie nun eine Post-Route-Simulation durch.
- Ermitteln Sie den Ressourcenbedarf auf dem FPGA.

Zur Darstellung der Zeit sollen die in den Ausgaberegistern gespeicherten Werte auf dem LCD des Entwicklungsboards dargestellt werden. Schreiben Sie ein entsprechendes Verilog HDL Modul. Informationen zu dem LCD Modul (Timing etc.) sind der Board-Beschreibung zu entnehmen. Zur Anpassung der Taktfrequenz können Sie ggf. auch die PLL nehmen.

Der DCF77-Empfänger, der das demodulierte Zeitsignal liefert [Kun07], ist an J2/IO5 angeschlossen. Wie dem Datenblatt zu entnehmen, trägt der zugehörige PIN die Bezeichnung A6. Testen Sie Ihr Design auf dem Board.

Weitere Vorschläge:

- Der auf dem Board vorhandene Push-Button/Drehregel soll zur Einstellung einer Alarmzeit verwendet werden. Als Alarmzeichen können z. B. die Leuchtdioden verwendet werden.
- VGA-Ausgabe
- ...

Besonders gelungene Realisierungen werden im Rahmen der letzten Vorlesung vorgestellt und prämiert.

Literaturverzeichnis

- [BSSK08] Helmut Balzert, Christian Schäfer, Marion Schröder, and Uwe Kern. *Wissenschaftliches Arbeiten - Wissenschaft, Quellen, Artefakte, Organisation, Präsentation*. W3L-Verlag, 2008.
- [Kun07] Kundox extended Technology. Produktspezifikation DCF (77,5 KHz) Empfängermodul mit Antenne. <http://www.reichelt.de/?;ACTION=7;LA=28;OPEN=0;INDEX=0;FILENAME=X600%252FD77.pdf.pdf;SID=31ppzx06wQAR8AAA@N51gd85c20fddc6fe1692a6ad4bc61953167>, 2007.
- [PHB04] Dirk Piester, Peter Hetzel, and Andreas Bauch. Zeit- und Normalfrequenzverbreitung mit DCF77. <http://www.ptb.de/de/org/4/44/pdf/dcf77.pdf>, 2004.
- [Xil06] Xilinx, Inc. Spartan-3E Starter Kit Board User Guide. http://www.digilentinc.com/Data/Products/S3EBOARD/S3EStarter_ug230.pdf, March 2006.