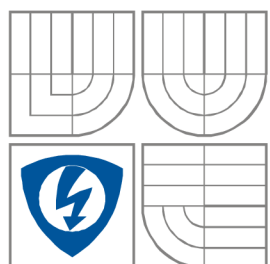


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

HISTORICKÉ HODINY S DIGITRONY ŘÍZENÉ SIGNÁLEM DCF77

RETRO-STYLE DIGITRON CLOCK CONTROLLED BY THE DCF77 SIGNAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jakub Rollinek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jakub Rollinek

ID: 74911

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Historické hodiny s digitrony řízené signálem DCF 77

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se specifikací radiového signálu pro šíření informace o přesném času DCF 77 a prostudujte možnosti realizace přijímače. Navrhněte obvod pro příjem, dekódování a interpretaci časových údajů. Pokuste se minimalizovat rozměry samotného přijímače a dekóderu. Pro zobrazení času budou sloužit digitrony, které vhodným přepínáním zobrazí požadované informace. Navržený systém realizujte a ověřte jeho vlastnosti (citlivost, spotřeba). Při realizaci dbejte na kvalitní design zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PTB. DCF77: Specifications [online]. 2005, last updated 2007-05-10 [cit. 2011-01-24]. EN. Dostupný z WWW: <http://www.ptb.de/en/org/4/44/442/dcf77_1_e.htm>

[2] HETZEL, P. (1988-03-16), Time dissemination via the LF transmitter DCF77 using a pseudo-random phase-shift keying of the carrier, 2nd European Frequency and time Forum Neuchâtel, s. 351–364

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce obsahuje teoretický rozbor vlastností a příjmu signálu DCF77. Dále je proveden návrh obvodů přijímače, zobrazovací a ovládací jednotky. Zařízení je schopno zobrazovat přesný čas a datum a to i při výpadku signálu DCF77. Zobrazovací část je realizována digitrony, celé zařízení je navrženo po designové stránce v retro stylu.

Práce dále obsahuje popis realizace navrženého řešení a ověření jeho vlastností.

Abstract

This bachelor's thesis contains a theoretical analysis of the DCF77 signal reception, design of receiver circuit, display and control unit. The device is able to display exact time and date even in a case of DCF77 signal loss. The device is designed in retro-style.

The device is realized and properties of the device are measured.

Klíčová slova

DCF77, přesný čas, synchronizace času, demodulace AM, digitrony

Keywords

DCF77, exact time, time synchronization, AM demodulation, nixies

ROLLINEK, J. *Historické hodiny s digitrony řízené signálem DCF77*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 50 s.
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Historické hodiny s digitrony řízené signálem DCF77* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Kubíčkoví, Ph.D., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	6
2	Signál DCF77	7
2.1	Geografické umístění vysílače	7
2.2	Vysílací zařízení	7
2.3	Generování signálu DCF77	7
2.4	Typ modulace signálu DCF77	8
2.4.1	Amplitudová modulace	8
2.4.2	Klíčování fáze pseudonáhodnou posloupností	8
2.5	Kódování časové informace	11
2.5.3	Podrobnější popis přenášených informací	11
2.5.4	Indikace vysílače DCF77	12
2.5.5	Dosah signálu DCF77	13
2.5.6	Dostupnost signálu DCF77	14
2.5.7	Autorizace vysílače	15
2.5.8	Použití DCF77, jeho výhody a nevýhody	15
2.6	Znamé způsoby příjmu signálu DCF77	16
2.6.9	Příjem amplitudově modulovaného signálu	16
3	Návrh a realizace systému	17
3.1	Obecný popis zvoleného řešení	17
3.2	Návrh hardwaru	19
3.2.1	Napájení	19
•	Stabilizovaný zdroj 5 V	19
•	Stabilizovaný zdroj 3,3 V	20
•	DC/DC měnič 9 – 12 V na 170 V	21
3.2.2	Rádiová přijímací část	23
3.2.3	Obvod reálného času	25
3.2.4	Zobrazovací část	26
3.2.5	Řídicí mikrokontrolér	28
3.3	Realizace hardwaru	29
3.3.6	Návrh desky plošných spojů (DPS)	29
3.3.7	Postup při osazování DPS	29
3.3.8	Design hodin a výroba	29
3.4	Návrh a implementace softwaru	31
3.4.9	Modul pro obsluhu tlačítek – buttons.c	32
3.4.10	Modul pro hlavní funkce hodin – nixie_mux.c	32
3.4.11	Modul pro dekódování informací ze signálu DCF 77 – dcf_77.c	33
3.5	Popis ovládání systému	33
4	Ověření funkcí realizovaného systému	35
4.1	Spotřeba	35
4.2	Citlivost a přesnost zařízení	35
4.2.1	Laboratorní měření	35
4.2.2	Provozní měření	37
5	Závěr	39
6	Seznam použitých zdrojů	40
7	Seznam použitých zkratk	42
8	Seznam obrázků, tabulek a příloh	43

1 Úvod

Tato bakalářská práce zpracovává možnosti příjmu časového dlouhovlnného signálu DCF77 a jeho zpracování pomocí mikrokontroléru. Cílem projektu je navrhnout a realizovat zařízení pro příjem, zpracování a zobrazení časové informace.

V úvodní části bakalářské práce je popsán signál DCF77, zejména způsob jeho generování, šíření, metody jeho modulace a kódování, dosah a dostupnost signálu. Jsou zde popsány jeho výhody a nevýhody. Dále je uveden přehled a rozbor známých metod pro příjem signálu DCF77.

V další části se práce zabývá realizací hodin s čtyřmi digitronovými zobrazovači, které jsou synchronizovány na přesný čas právě pomocí signálu DCF77. Při příjmu časové informace lze dosáhnout přesnosti asi 0,1 ms, v realizované aplikaci je očekávaná přesnost kolem 100 ms, což je dostatečná hodnota pro běžné uživatelské aplikace.

Je zde podrobně rozebrána realizace obvodů pro napájení prvků obvodu, zejména DC/DC měniče potřebného pro generování napětí 170 V pro napájení digitronů. Dále jsou detailně popsány další důležité subsystemy hodin, jako je radiová přijímací část, zobrazovací část a mikrokontrolér. Realizované zařízení je napájeno napětím 9-12 V z externího zdroje tohoto napětí.

Kapitola 3.4 je pak věnována softwaru, který byl vytvořen a implementován do řídicího mikrokontroléru.

V závěrečné kapitole je provedeno ověření vlastností navrženého systému.

2 Signál DCF77

DCF77 je rádiová stanice vysílající dlouhovlnný signál, určený primárně k synchronizaci hodin vybavených vhodným přijímačem tohoto signálu. Dále je možno využít signál tohoto vysílače jako normál frekvence.

Historie vysílače sahá do roku 1956, kdy na frekvenci 77,5 kHz probíhalo experimentální vysílání, regulérní časový signál je vysílán od roku 1959 [1].

2.1 Geografické umístění vysílače

Vysílač DCF77 je umístěn na vysílací stanici Mainflingen, asi 25 km jihovýchodně od Frankfurtu nad Mohanem ve Spolkové republice Německo.

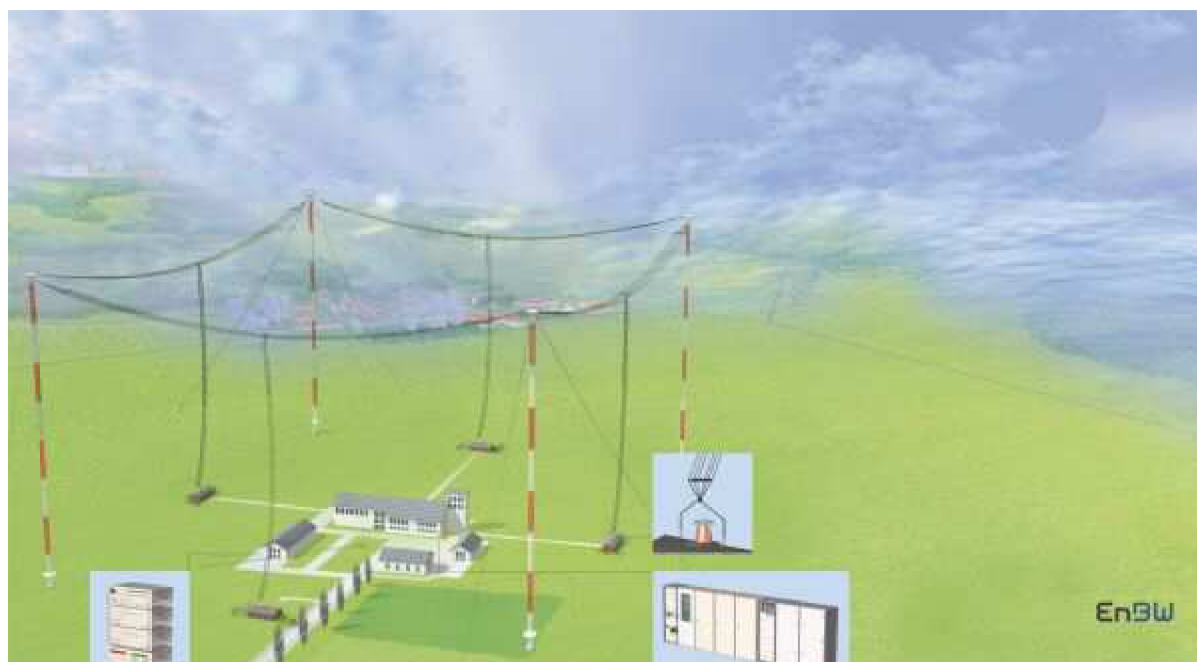
Zemnicí soustava vysílače a vysoká hladina spodní vody, způsobená blízkostí řeky Main, způsobuje vysokou zemní vodivost a tím příznivé podmínky pro šíření vysílaných rádiových vln.

Řídící časový signál vzniká přímo v místě vysílací stanice [1].

2.2 Vysílací zařízení

Od roku 1998 se používá tranzistorový vysílač o výkonu 50 kW. Původní elektronkový vysílač, také v s výkonem 50 kW, je nyní používán jako záložní.

K vysílání se využívá 150 m vysoká vertikální všesměrová anténa s kapacitním nástavcem. Pro záložní vysílání se využívá 200 m vysoká anténa. Odhadovaný vyzářený výkon obou antén (EIRP) je 30–35 kW.



Obrázek 1: Celkový pohled na vysílač DCF77 (převzato z [1])

2.3 Generování signálu DCF77

Troje atomové hodiny, umístěné přímo ve vysílací stanici, generují přesnou frekvenci, od které je odvozen přesný nosný kmitočet (77,5 kHz), a dále časová informace. Zařízení obsahuje další kontrolní prvky, které kontrolují, příp. odstraňují chyby generovaného signálu.

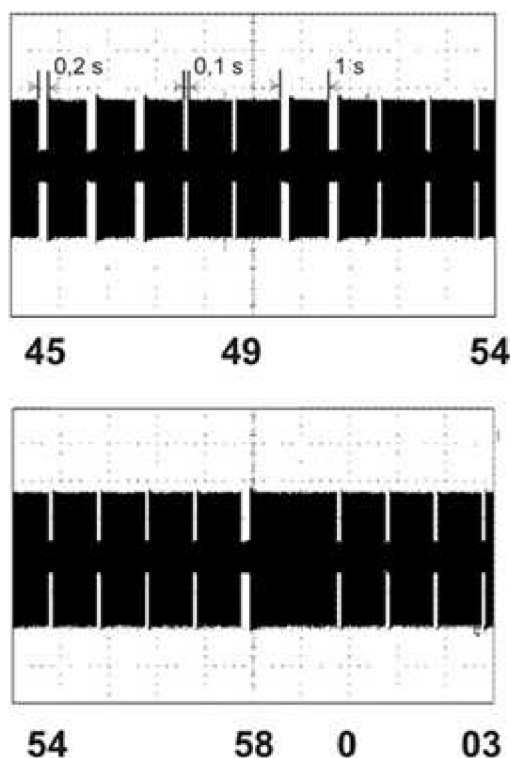
Zařízení je připojeno na záložní zdroj elektrické energie, což umožňuje vysílání i při výpadku dodávek elektrického proudu.

Nosná frekvence 77,5 kHz je odvozena z atomových hodin německého fyzikálně-technického ústavu (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, dále jen PTB). Relativní odchylka této frekvence v místě vysílání je méně než $2 \cdot 10^{-12}$ za den a průměrná relativní odchylka za 100 dnů je $2 \cdot 10^{-13}$ [1].

2.4 Typ modulace signálu DCF77

2.4.1 Amplitudová modulace

Nosná signálu DCF77 je modulována amplitudově sekundovými znaky. Na začátku každé sekundy amplituda nosné poklesne po dobu 100 ms nebo 200 ms na cca 25% svého maxima, kromě poslední sekundy každé minuty. Tím je indikován začátek nové minuty. Po zbývajícím čase je amplituda nosné maximální, takže je možné signál DCF77 využít jako normál kmitočtu. Rozdílná délka trvání sekundové značky umožňuje jednoduché binární kódování informací o čase a datu [1]. Příklad reálného signálu DCF77 je na obrázku 2.

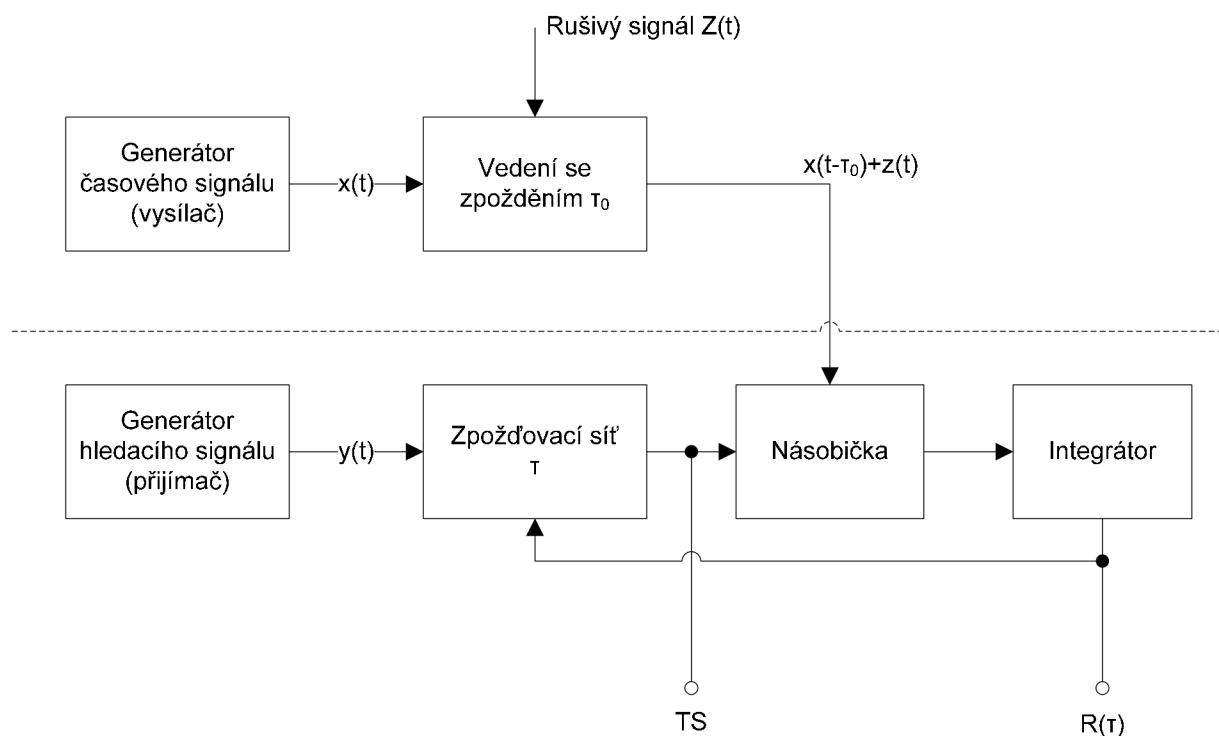


Obrázek 2: Příklad reálného signálu DCF77 (převzato z [1])

2.4.2 Klíčování fáze pseudonáhodnou posloupností

Jako doplněk k amplitudové modulaci sekundovými značkami je nosná DCF77 fázově modulována pseudonáhodnou posloupností PRPSK (Pseudo-random phase-shift keying). PRPSK je provedena pomocí pseudonáhodné binární sekvence délky $2^9 - 1$ bitů. Jelikož vysílaná část posloupnosti obsahuje stejný počet jedničkových i nulových bitů, není ovlivněna střední hodnota fáze nosné. Na straně přijímače může být pseudonáhodná posloupnost rozeznána pomocí křížové korelace. Tato technika lépe využívá dostupného frekvenčního spektra a jejím výsledkem je přesnější příjem časové informace.

Všechny metody příjmu a průměrovací techniky pro amplitudově modulované signály mají, mimo jiné, tu nevýhodu, že každé fázově synchronní rušení způsobuje rušivou modulaci, která se superponuje na užitečný signál a nemůže z něj být odstraněna. Křížová korelace tyto nedostatky částečně odstraňuje. Tato technika je nejlépe využita právě s použitím pseudonáhodné posloupnosti. V porovnání s původními sekundovými značkami je trvání korelace pseudonáhodné posloupnosti kratší, což znamená lepší rozlišení v čase. Z tohoto důvodu korelační metoda, adaptovaná pro signál DCF77, optimálně využívá dostupné frekvenční spektrum.



Obrázek 3: Zjednodušené schéma křížového korelátoru (převzato z [2])

Matematicky lze křížovou korelaci vyjádřit pomocí rovnice

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{+T}^{-T} [x(t - \tau_0) + z(t)] \cdot y(t - \tau) dt, \quad (2.1)$$

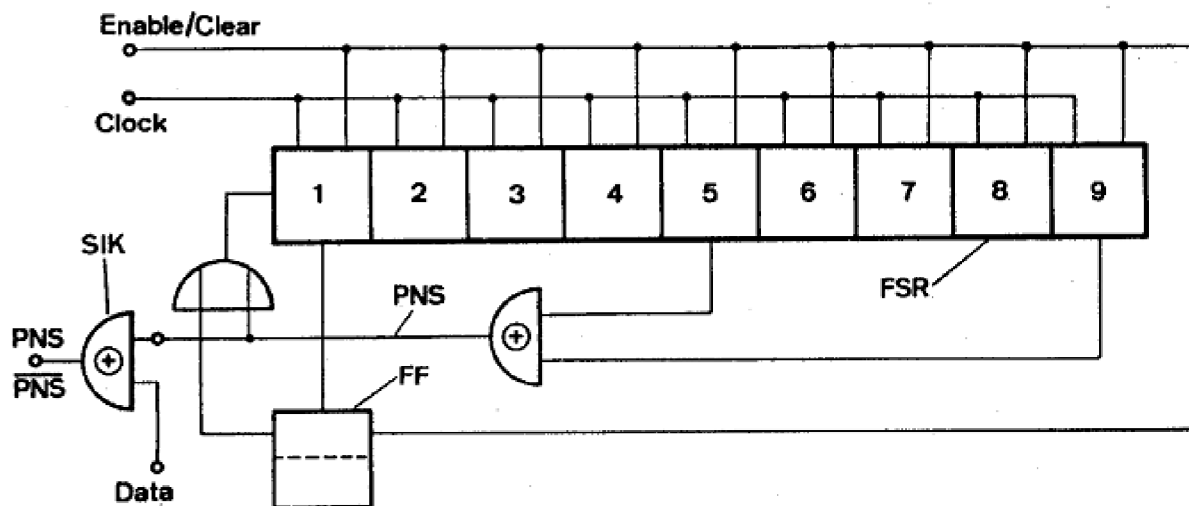
kde $R(\tau)$ představuje výslednou korelační funkci, $x(t)$ vysílaný signál, $z(t)$ rušivý signál, τ_0 zpoždění signálu, způsobené jeho přenosem, $y(t)$ signál generovaný v přijímači.

Rovnice 2.1 popisuje princip křížového korelátoru: na začátku je užitečný signál $x(t)$ doplněn o rušivý signál $z(t)$. Dále se signál zpozdí o čas τ_0 a poté je přiveden v přijímači na první vstup násobičky. Na druhý vstup násobičky je po průchodu zpoždovací linkou přiveden „hledací“ signál, který je generován v přijímači a má stejné vlastnosti, jako signál $x(t)$.

Pokud je časový posuv τ stejný, jako posuv τ_0 , $R(\tau)$ dosáhne maxima a poté signál $y(t)$ reprezentuje časovou informaci, která je vysílána vysílačem a je výrazně potlačeno rušení.

Aby bylo možné signál DCF77 používat jako normál frekvence, používá se pro fázovou modulaci pouze malý fázový posuv $\Delta\varphi=13^\circ$. Pro periodu $12,9\mu\text{s}$ to odpovídá změně fázového času o $\pm 0,4\mu\text{s}$.

Pro generování pseudonáhodné posloupnosti se používá devítistavový posuvný registr se zpětnou vazbou. Jeho schéma je na obr. 4.



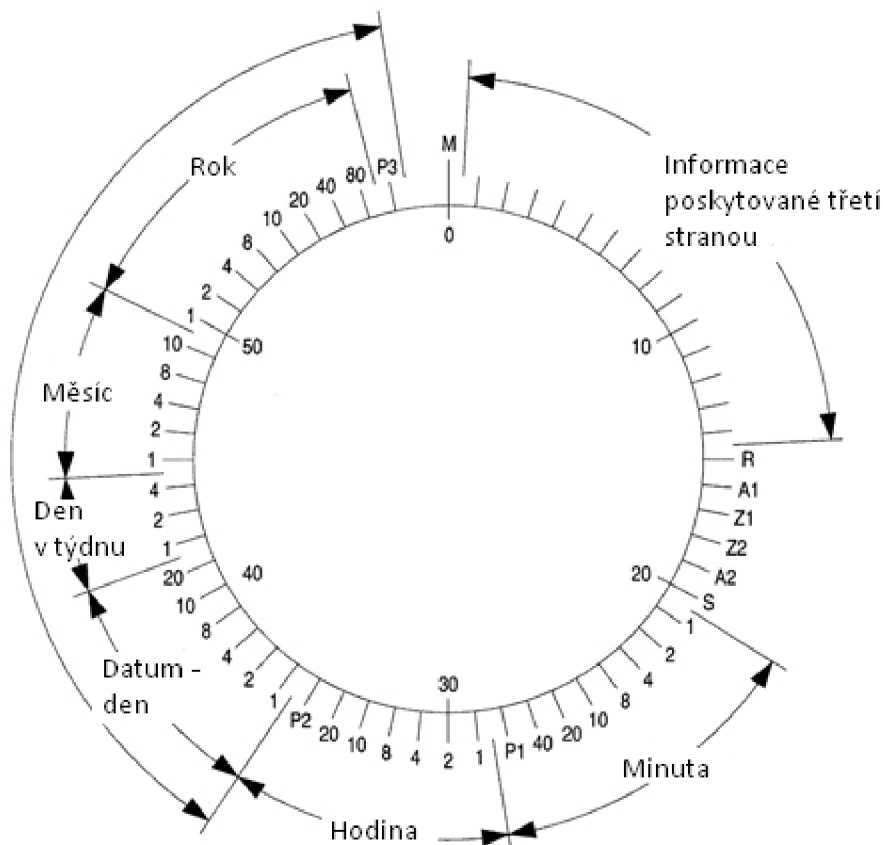
Obrázek 4: Posuvný registr pro generování pseudonáhodné posloupnosti (převzato z [2])

Registr je taktován frekvencí $f_T = 645,83\bar{3}\text{ Hz}$. Tato frekvence je na horní hranici, kde je vysílací anténa schopna vysílat změny fáze. Jedná se o subharmonickou nosné frekvence a lze ji jednoduše odvodit frekvenčním dělením (77500:120). Jeden cyklus pseudonáhodné posloupnosti trvá přibližně 793 ms.

Z důvodu co nejmenšího ovlivnění původního signálu DCF77 se pseudonáhodné klíčování fáze neprovádí souvisle, ale začíná 0,2 ms po začátku každé vteřiny a končí 7 ms před začátkem následující vteřiny. Tím je zaručeno, že sestupná hrana, definovaná jako začátek vteřiny, zůstane nerušená. Protože v každém cyklu posloupnosti nastane logická 1 a logická 0 ve stejném počtu případů, zůstane střední hodnota fáze nezměněná [2].

2.5 Kódování časové informace

Různé délky sekundových značek v signálu DCF77 slouží k binárnímu kódování časové informace: sekundová značka s trváním 0,1 s odpovídá logické nule a sekundová značka s trváním 0,2 s odpovídá logické jedničce. Jednou za minutu je přenesen rámeček, obsahující informace o čísle minuty, hodině, dni, pořadí dne v týdnu, měsíci a roku (pouze jednotky a desítky letopočtu, např. pro rok 2008 se přenáší pouze 08). Informace je kódována kódem BCD (Binary Code Decimal). Každý minutový rámeček obsahuje informace pro následující minutu [1]. Celé kódovací schéma je na obrázku 5.



Obrázek 5: Kódování časové informace (převzato z [1])

2.5.3 Podrobnější popis přenášených informací

Prvních 14 bitů datového rámečku bylo do roku 2003 využíváno pro přenos servisních informací. Tyto informace byly vysílány pouze zřídka, proto se od roku 2003 používá pouze značka 15. sekundy, pro signalizaci nestandardního vysílání. Bity 1 až 14 jsou nyní poskytovány třetí straně. Primárně se tato část datového rámečku využívá pro účely veřejného varování, například před přírodními katastrofami. Dále jsou přenášena data o počasí. Za obsah těchto dat nenese PTB žádnou zodpovědnost. Hodiny vyrobené před rokem 2003 mohou dále přijímat signál DCF77, ale nejsou schopny tyto dodatečné informace využít.

Bity indikace časové zóny Z1 a Z2 (sekundové značky 17 a 18). Pro čas CET (Central European Time) je bit Z1 v nule a bit Z2 v jedničce. Pro čas CEST (Central European Summer Time) je tato indikace inverzní.

Oznamovací bit A1 indikuje nadcházející změnu času na letní (CEST) nebo standardní středoevropský (CET) čas. Před přechodem z CET na CEST nebo opačně, je jednu hodinu bit

A1 ve stavu log. 1, konkrétně od 01:00:16 h CET (02:00:16 h CEST) do 01:59:16 h CET (02:59:16 h CEST).

Oznamovací bit A2 upozorňuje na nadcházející zavedení přestupné sekundy. A2 je vysílán jednu hodinu před jejím zavedením.

Číslo dne v týdnu je kódováno podle normy ISO 8601 (resp. DIN EN 28601), pondělí je prvním dnem týdne. Tři bity, P1, P2 a P3 doplňují uvedená datová slova (7 bitů pro minutu, 6 bitů pro hodinu a 22 bitů pro datum) na sudý počet jedniček [1].

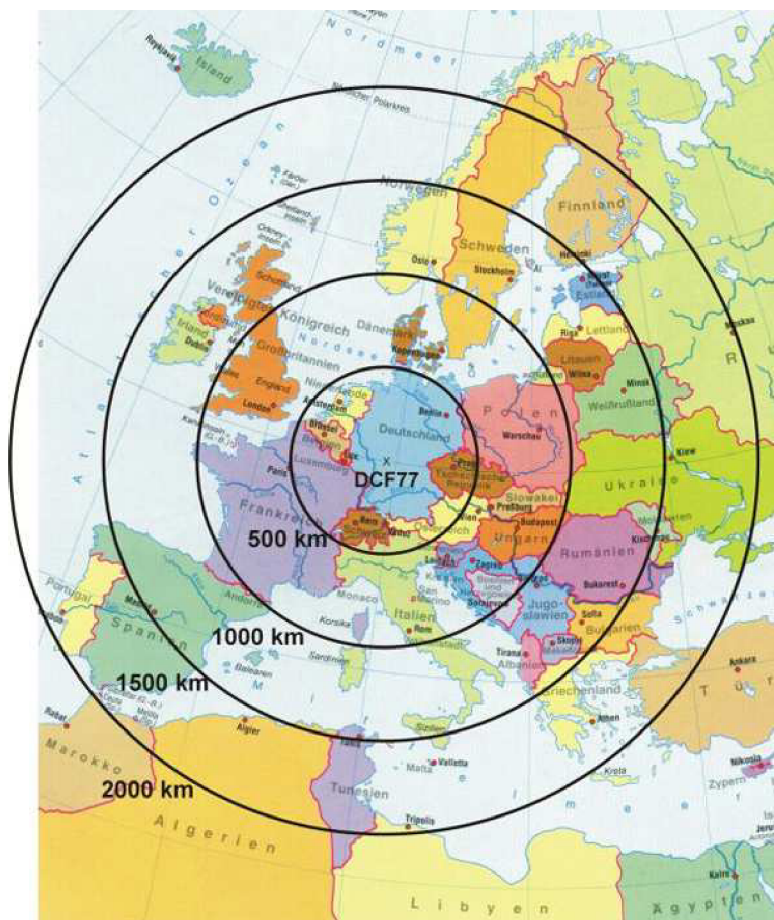
2.5.4 Indikace vysílače DCF77

V souladu s předpisy Mezinárodní telekomunikační unie (ITU), zejména článek 19 Předpisu pro rádiové vysílání [3], je nutná identifikace vysílacích stanic, jejichž rozsah překračuje státní hranice. Tyto vysílače musí být identifikovány volací značkou v souladu se sérií volacích značek přidělených každé zemi a musí být zapsána v mezinárodním seznamu frekvencí. Série volacích značek přidělených Spolkové republice Německo začíná na DAA a končí na DRZ. Pro vysílač DCF77 jsou volací značky určeny následovně: D jako označení Německa, C je určeno pro identifikaci dlouhovlnných vysílačů, F je zvoleno pro vysílače vysílací stanice Mainflingen (vzhledem k její blízkosti k Frankfurtu nad Mohanem). Vzhledem k tomu, že tato stanice vysílá na více dlouhovlnných kmitočtech, bylo ke značce přidáno číslo 77, protože nosná signálu DCF77 je na kmitočtu 77,5 kHz.

V současné době je volací značka DCF77 vysílána v Morseově abecedě třikrát za hodinu, pokaždé dvakrát za sebou, v 19., 39. a 59. minutě, během sekund 20–32. Každé písmeno (resp. číslo) je vysíláno mezi dvěma sekundovými značkami, obdélníkovou modulací nosné o frekvenci 250 Hz, pokles amplitudy nosné je ze 100 % na asi 85 %.

Volací značka je vysílána bez přerušení vysílání časových značek, ale toto vysílání zhoršuje odstup signál-šum (SNR) odpovídajících sekundových značek [1].

2.5.5 Dosah signálu DCF77



Obrázek 6: Dosah signálu DCF77 (převzato z [1])

Signál DCF77 se od vysílače šíří dvěma způsoby. Prvním je šíření povrchovou (přízemní) vlnou, druhým je šíření ionosférickou vlnou, jak je pro nízké kmitočty typické [4].

Rozhraní mezi vodivým prostředím (povrch Země) a nevodivým (vzduch) je schopné vést elektromagnetické vlny podobně jako třeba vodivý drát. Tento mechanismus nazýváme povrchovou vlnou (přízemní vlnou). Povrchová vlna sleduje zemský povrch. Vybudí se, když vertikální antény jsou bezprostředně při zemi a je typická pro spojení na nízkých kmitočtech do několika MHz.

Mechanismus ionosférické vlny využívá působení ionosférických vrstev na dráhy vln. Ty se v ionosféře zakřívují a za vhodných podmínek se obrací zpět k Zemi. Tak lze zabezpečit rádiové spojení na vzdálenost až 4000 km jediným „odrazem“ od ionosféry. Několika odrazy střídavě od země a od ionosféry lze pak dosáhnout prakticky kteréhokoli místa na Zemi. Pro ionosférickou vlnu je typická kmitočtová oblast do 30 MHz. [4]

Dosah vysílače při šíření ionosférickou vlnou je asi 1900 km ve dne a 2100 km v noci. Příjímače ve větší vzdálenosti mohou signál DCF77 zachytit, ale pouze po vícenásobných odrazech vysílané vlny, např. dva odrazy od ionosféry a jeden od zemského povrchu. Intenzita pole ale potom výrazně klesá. Na obr. 6 je znázorněna ilustrační mapa šíření signálu, středem kruhových oblastí je vysílač DCF77 v Mainflingenu. Ve větší vzdálenosti, než 2000 km je příjem signálu možný, ale spíše v ojedinělých případech.

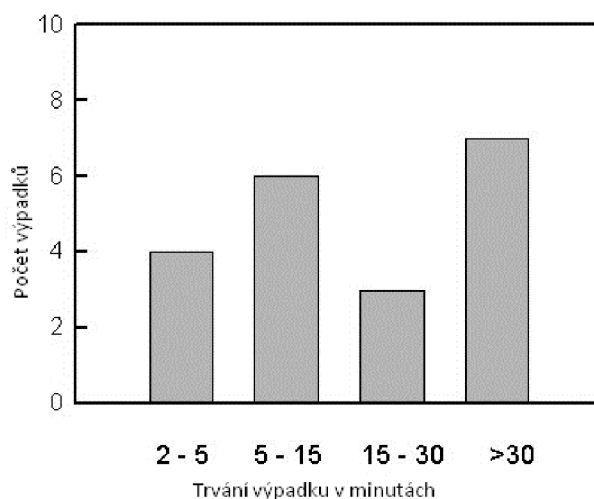
Stabilní povrchová vlna má poměrně velký dosah. Do vzdálenosti několika stovek kilometrů je intenzita povrchové vlny mnohem větší, než intenzita ionosférické vlny. Ve vzdálenosti do 500 km lze očekávat intenzitu pole kolem 1 mV/m.

Ve vzdálenostech přibližně 600 km a 1100 km mohou mít povrchová a prostorová vlna téměř stejnou intenzitu. Pokud budou tyto vlny v protifázi, nastane v tomto místě velký pokles intenzity pole. Naopak pokud vlny budou ve fázi, zaznamenáme v takovém místě výrazně větší intenzitu pole. K tomuto jevu ale nedochází skokově, ale postupně, během zhruba 15 minut, což je dostatečná doba k tomu, aby přijímač byl schopen vyhodnotit celou informaci o čase.

Ve vzdálenosti větší, než 1100 km od vysílače se intenzita povrchové vlny snižuje a převládá ionosférická vlna. Ve vzdálenostech od 1100 km do 2000 km je typická hodnota intenzity pole asi $100 \mu\text{V/m}$ [1].

2.5.6 Dostupnost signálu DCF77

DCF77 vysílá nepřetržitě, smluvní spolehlivost signálu během jednoho roku je 99,7 %. Pro případy výpadků hlavního vysílače je k dispozici vysílač náhradní, stejně tak anténa. Odpojení hlavního vysílače na delší dobu nebylo od roku 1977 nutné. Krátká přerušení v řádu minut lze očekávat při změně vysílače či antény. Při atmosférických výbojích, např. při bouřkách lze očekávat výpadky v řádu sekund.



Obrázek 7: Výpadky vysílače DCF77 v roce 2007 a 2008 (převzato z [1])

Nejčastější příčinou dlouhodobých výpadků je rozladění rezonančního obvodu antény kvůli vychýlení antény v bouřkách, mrznoucímu dešti a sněhu. Pokud je rozladění příliš velké, je vysílání zastaveno [1].

2.5.7 Autorizace vysílače

Právní základ ve Spolkové republice Německo pro přijímače standardu frekvence a hodiny řízené rádiovým signálem poskytuje „Zákon o rádiových zařízeních a telekomunikačních koncových zařízeních“ (Gesetz über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen – FTEG). Tento zákon je implementace direktivy EU 1999/5/EC. Tato direktiva určuje práva a povinnosti pro výrobce a distributory. Základní požadavky jsou uvedeny v Sekci 3 FTEG:

- ochrana zdraví a bezpečnost pro uživatele a ostatní osoby
- požadavky na ochranu týkající se elektromagnetické kompatibility

Rádiová zařízení třídy 1 (kam patří i přijímače DCF77) mohou být distribuována bez omezení. Není nutné informovat regulační orgány zemí, pokud jsou tyto země členy EU (resp. Evropského hospodářského prostoru) [1].

2.5.8 Použití DCF77, jeho výhody a nevýhody

Signál DCF77 je používán hlavně v Evropě jako jednoduše dostupný zdroj standardní frekvence a časové informace. Mohou jej využívat například generátory frekvence ke svojí kalibraci. Dále např. časové systémy na nádražích, hodiny ve světelných semaforech, mohou jej využívat energetické společnosti ke změně tarifu v závislosti na čase a další. Nejvíce je ale signál DCF77 využíván soukromými osobami k synchronizaci hodin. Běžně vyráběné rádiové hodiny dosahují přesnosti v řádu sekund až stovek milisekund.

Hlavní výhoda šíření časové informace pomocí DCF77 spočívá ve vlastnostech dlouhých vln, kterými se šíří, zejména jejich schopnosti průniku budovami a jinými překážkami. K příjmu tedy není třeba externí anténa, tu lze integrovat přímo do hodin. Naproti tomu při příjmu časové informace pomocí satelitního systému GPS je třeba přímý výhled na oblohu, pokud možno bez překážek. Výhoda příjmu časové informace ze systému GPS je její větší přesnost, řádově desítky nanosekund. Zařízení pro příjem časové informace může obsahovat systém jak pro příjem času z DCF77, tak ze systému GPS. Tím se sníží nejistota přijímané časové informace. Systémy DCF77 a GPS se tak doplňují.

Nevýhodou je poměrně vysoká citlivost signálu DCF77 na rušivé vlivy, jako např. kovové stavební prvky budov (nosníky, armatury apod.), atmosférické poruchy a bouřky, spínané zdroje elektrospotřebičů.

2.6 Známé způsoby příjmu signálu DCF77

2.6.9 Příjem amplitudově modulovaného signálu

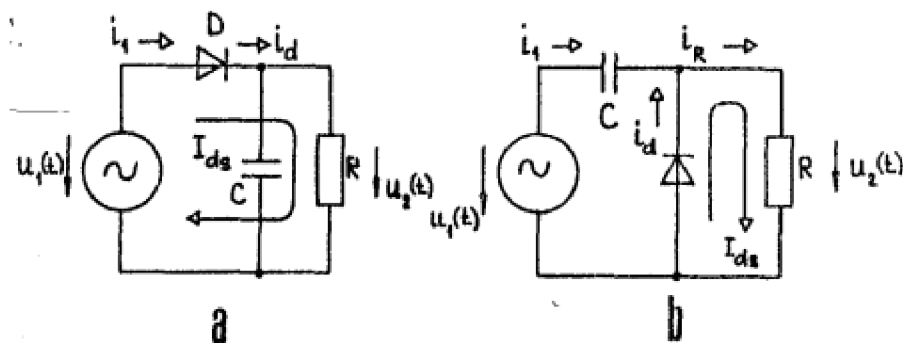
Jedná se o nejrozšířenější způsob příjmu signálu DCF77. Hlavním důvodem je relativně jednoduchá konstrukce přijímače a dostatečná přesnost pro běžné uživatelské aplikace. Použitá modulace je detailně popsána v kapitole 2.4.1.

U většiny vyráběných přijímačů DCF77 se používá feritová anténa. Zisk takové antény je závislý na rozměrech, permeabilitě materiálu a na rozložení vinutí na feritovém jádře. Feritová anténa je montována s vodorovnou osou. Největší zisk má anténa ve směru kolmém na osu cívky antény (viz Obrázek 16). Feritová anténa přijímá pouze magnetickou složku elektromagnetické vlny (tzn. vektor \mathbf{H}). Dobrých vlastností feritové antény se dosahuje vyladěním cívky do rezonance. [4]

Další možností je použití rámové antény. Ta je konstruována jako plochá cívka s několika závitů, většinou většího průměru. Taková anténa má větší zisk, než feritová, nevýhodou jsou její větší rozměry.

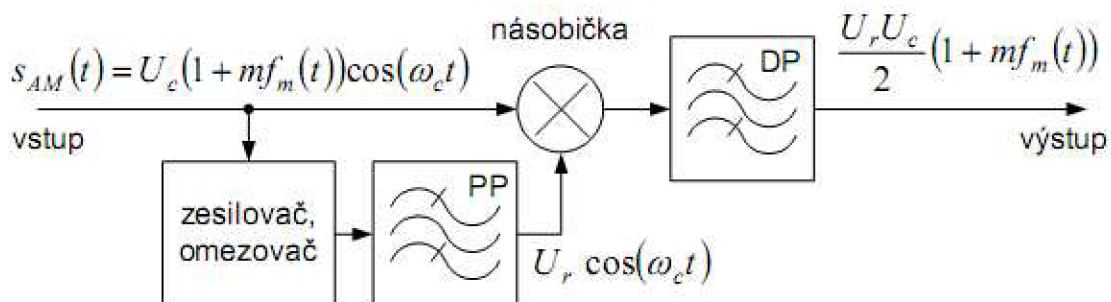
Vysílané časové značky mají poměrně strmé hrany, sekundové značky lze detekovat s přesností lepší než 0,1 ms. Šířka pásma filtru přijímače v takovém případě musí být alespoň 5 kHz. [9] S větší šířkou pásma filtru ovšem narůstá šumový výkon a výkon rušivých signálů. Je tedy třeba zvolit kompromis, mezi přesností časové informace a odstupem signál-šum. Ve většině běžných aplikací postačuje přesnost časové informace asi 100 ms. Pro takovou přesnost postačuje šířka pásma filtru 12 až 15 Hz. Díky tomu má vysílač mnohem větší dosah, než výkonově srovnatelný rozhlasový vysílač.

Běžným způsobem demodulace AM signálu je použití jednoduchého diodového detektoru (např. viz Obrázek 8) [10].



Obrázek 8: Diodové demodulátory: a) sériový, b) paralelní (převzato z [10])

Dalším způsobem detekce AM signálu je synchronní demodulátor. Synchronní demodulace se realizuje vynásobením vstupního signálu referenční nedomulovanou nosnou vlnou, která musí mít stejnou fázi i kmitočet. Blokové schéma synchronního detektoru viz Obrázek 9.



Obrázek 9: Blokové schéma synchronního detektoru AM (převzato z [10])

Výhodou použití synchronního detektoru je lepší citlivost detektoru a lepší odstup signál-šum přijímaného signálu [10]. Nevýhodou je složitější obvodové řešení, což při volbě integrovaného detektoru nehraje tak velkou roli.

3 Návrh a realizace systému

3.1 Obecný popis zvoleného řešení

Systém hodin tvoří tyto základní části:

- modul pro příjem a demulaci signálu DCF77
- obvod reálného času
- zobrazovací jednotka s digitrony
- mikrokontrolér ATmega8

Základní funkcí systému je zobrazení času uživateli pomocí čtyř digitronů. Rovněž je možné jednoduchou změnou režimu zobrazit informaci o aktuálním dni, měsíci a roku (maximální možná hodnota roku je 2099).

Jednotka pracuje v režimu časového multiplexu, který je řízen mikrokontrolérem.

Hodiny automaticky synchronizují každý den ve 4:00. Po dobu synchronizace je měnič odpojen od napájecího napětí a digitronová zobrazovací jednotka je neaktivní. Po dokončení synchronizace je přesný čas uložen do obvodu reálného času. V případě neúspěšné synchronizace je tento stav uživateli indikován pomocí blikající dvojtečky, oddělující hodiny a minuty.

Čas hodin je možné nastavit také manuálně, pomocí tří ovládacích tlačítek, připojených k jednotlivým vstupním pinům mikrokontroléru.

V realizaci hodin jsou použity digitrony. Jedná se v principu o doutnavku, což je nízkotlaká, plynem plněná výbojka se studenou katodou, pracující v oblasti samostatného doutnavého výboje.

Fyzikální podstatou doutnavky je přenos elektrického náboje plynem. Plyn se vlivem přiloženého napětí ionizuje a umožňuje vedení elektrického proudu.

Doutnavka potřebuje ke svému rozsvícení tzv. zápalné napětí. Po zapálení výboje se proud doutnavkou zvětší a je nutné jej omezit, např. sériovým odporem. Při překročení jmenovitého proudu doutnavkou může dojít k jejímu rychlejšímu opotřebení, příp. k destrukci elektrod nebo celé baňky [11].

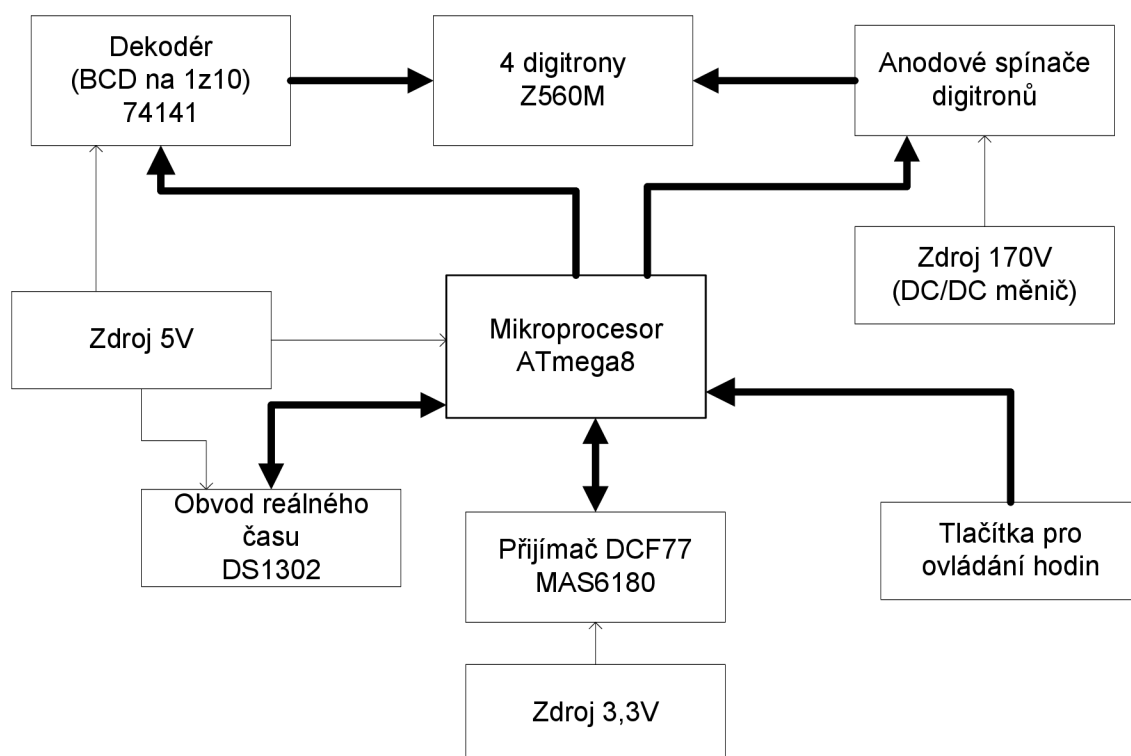
U digitronů je ve společné baňce umístěna anoda, většinou v podobě jemné sítě, a sada katod ve tvaru jednotlivých číslic či symbolů. Přivedením provozního napětí mezi příslušnou katodu a anodu dojde k rozsvícení doutnavého výboje kolem příslušné katody.

Jedna z variant digitronů je na obr. 10.



Obrázek 10 - Jedna z variant digitronů (převzato z [12])

3.2 Návrh hardwaru



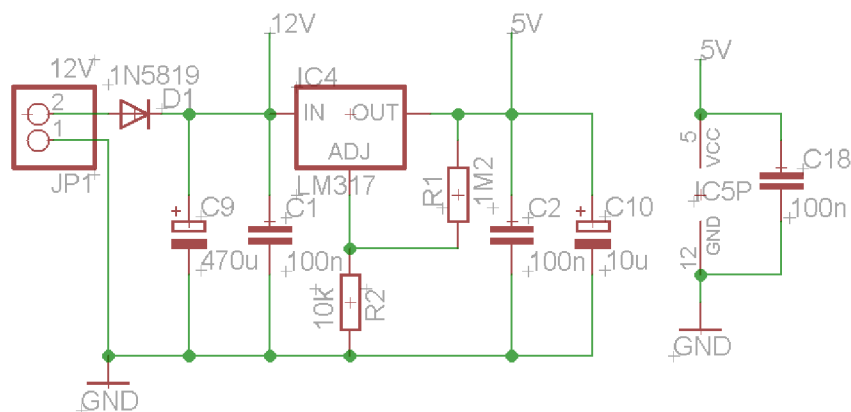
Obrázek 11 - Blokové schéma hardwaru

3.2.1 Napájení

Pro napájení zařízení je vyžadován zdroj stejnosměrného napětí 9–12 V, dimenzovaný na proudový odběr minimálně 200 mA. Odhadovaný maximální příkon zařízení je 3 W, běžný provozní cca 1,5 W.

- **Stabilizovaný zdroj 5 V**

Předpokládaný maximální proudový odběr na 5V větvi je asi 40 mA. Tímto zdrojem jsou napájeny obvody uvedené v Tabulce 1. Pro stabilizaci je použit napěťový stabilizátor LM317L. Maximální proudový odběr pro tento stabilizátor je dle katalogu 100 mA, což je pro danou aplikaci dostatečná rezerva. Zapojení je dle katalogu, na vstupu a výstupu jsou použity SMD kondenzátory 100 nF a na výstupu filtrační elektrolytický kondenzátor o hodnotě 10 μ F. Pro nastavení výstupního napětí je použit dělič napětí. Schéma zapojení viz Obrázek 12. [17]



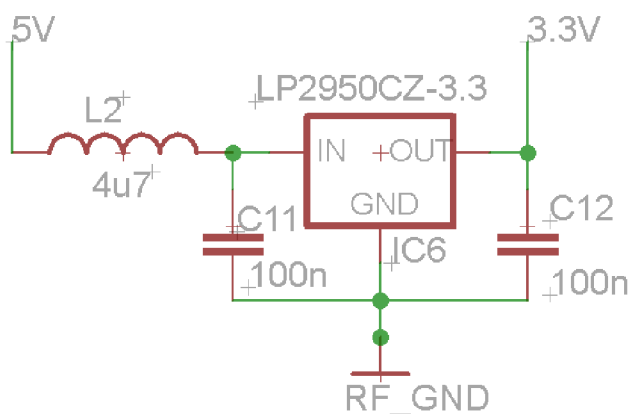
Obrázek 12 - Schéma zapojení zdroje 5V

Obvod	Proudový odběr [mA]
ATmega8	10
MAS6180	1
DS1302	2
74141	25
Celkem	38

Tabulka 1 - Obvody vyžadující napájecí napětí 5 V

- **Stabilizovaný zdroj 3,3 V**

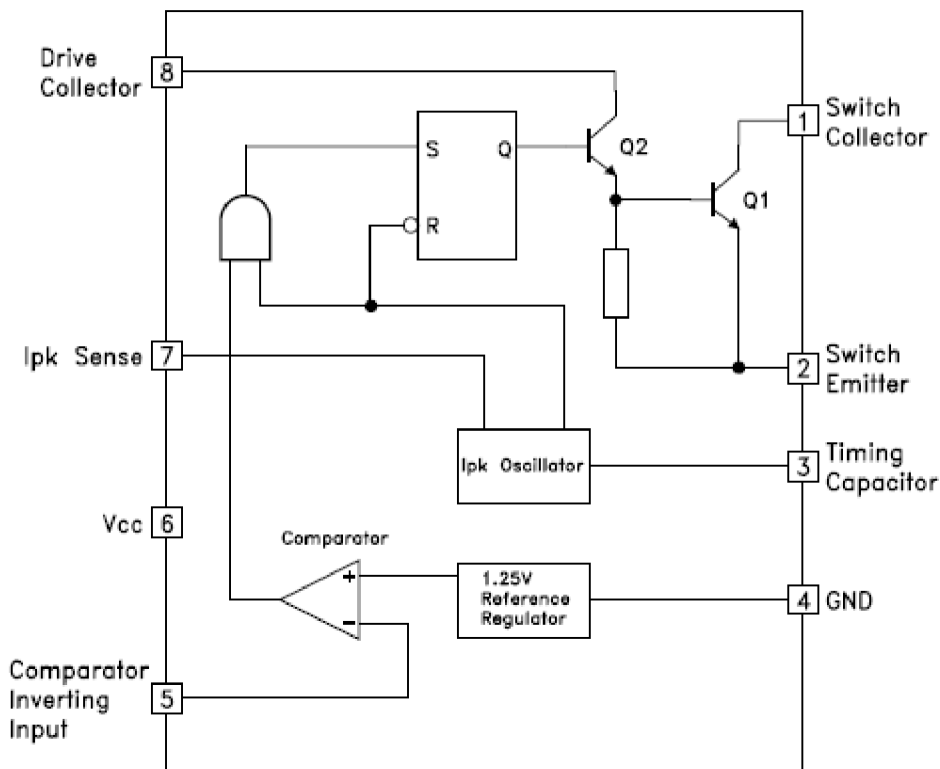
Protože maximální povolené napájecí napětí pro integrovaný obvod přijímače signálu DCF77 je 3,6V, je pro jeho napájení použit stabilizátor LP2950 s fixním výstupním napětím 3,3V. Dle doporučení výrobce jsou paralelně ke vstupu a výstupu zařazeny kondenzátory 100nF pro lepší stabilitu obvodu. Proudový odběr obvodu MAS6180 nepřesahuje 1 mA, proto je použitý stabilizátor dostatečný. Výrobce udává maximální proudový odběr 100 mA [18]. Schéma zdroje viz Obrázek 13. Feritová perla L2 je použita pro potlačení vysokofrekvenčního rušení, na které je napájený rádiový obvod citlivý.



Obrázek 13 - Schéma zdroje 3,3V

- **DC/DC měnič 9 – 12 V na 170 V**

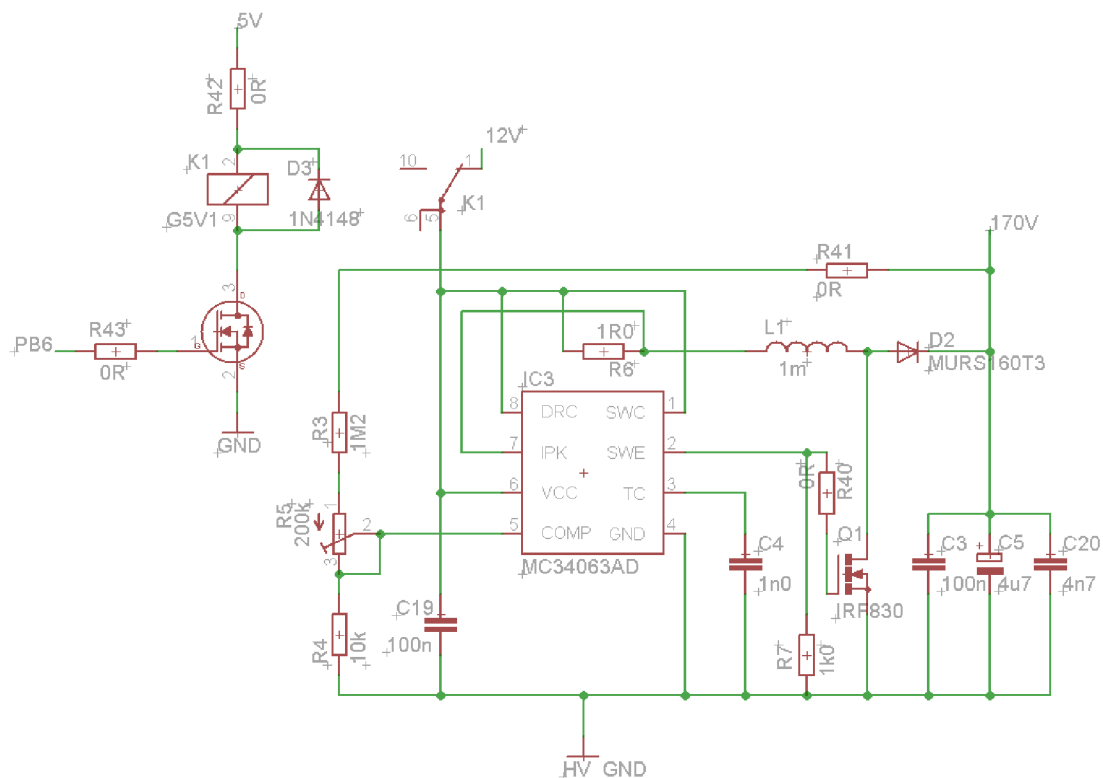
Digitrony vyžadují napájecí napětí 170 V. Proudový odběr jednoho digitronu je 10 mA v pulzním režimu. Napájecí zdroj je dimenzován na tyto hodnoty. Pro řízení měniče byl zvolen obvod MC34063. Blokové schéma obvodu viz Obrázek 14.



Obrázek 14 - Blokové schéma obvodu MC34063 (převzato z [12])

Obvod MC34063 byl vybrán pro svou dostupnost, cenu a jednoduchost. Splňuje všechny požadavky na danou část obvodu. Obsahuje napěťovou referenci, vstup pro snímání výstupního napětí a proudu, vstup pro nastavení spínací frekvence pomocí kondenzátoru a spínací tranzistor pro napětí do 40 V [20]. Protože požadované výstupní napětí měniče je 170 V, musel být spínací tranzistor posílen vhodným externím spínacím tranzistorem, zde byl použit tranzistor IRF830 typu MOSFET. Dle katalogu je maximální napětí mezi elektrodami drain a source (VDSS) maximálně 500 V, tranzistorem může protékat proud maximálně 4,5 A [16]. Schéma celého měniče viz Obrázek 15.

Dále bylo do obvodu umístěno relé G5V1 [25], které umožňuje odpojení měniče po dobu synchronizace hodin s rádiovým signálem DCF77. Zapojeny jsou rozpínací kontakty relé, protože měnič je většinu času aktivní, vypíná se pouze na dobu synchronizace, která trvá maximálně 10 minut. Aby nedošlo k proudovému přetížení pinu mikrokontroléru, je cívka relé spínána přes tranzistor NDS331N typu MOSFET. Tento tranzistor má definované maximální napětí mezi elektrodami drain – source maximálně 20 V, snese proudové zatížení až 1,3 A. Cívka relé má definován nominální proud 30 mA, tento tranzistor tedy s rezervou dostává [24].



Obrázek 15 - Schéma zdroje 170 V

- Výpočet hodnot součástek použitých pro konstrukci měniče

Určíme poměr doby sepnutí a rozepnutí spínacího tranzistoru během jedné periody:

$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN(min)}}{V_{IN(min)} - V_{SAT}} \quad [-],$$

kde t_{ON} je doba, po kterou je výstupní tranzistor sepnut
 t_{OFF} je doba, po kterou je výstupní tranzistor rozepnut
 V_{OUT} je výstupní napětí měniče
 V_F je přechodový odpor výstupní usměrňovací diody (zde lze zanedbat)
 $V_{IN(min)}$ je minimální vstupní napájecí napětí
 V_{SAT} je saturační napětí spínacího tranzistoru (zde lze zanedbat)

Po dosazení:
$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{V_{OUT} - V_{IN(min)}}{V_{IN(min)}} = \frac{170 - 9}{9} = \underline{\underline{17,9}}$$

Dále je třeba vypočítat kapacitu kondenzátoru určujícího frekvenci spínání. Platí tyto vztahy:

$$C_T = 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot t_{ON} \quad [F],$$

$$t_{ON} + t_{OFF} = \frac{1}{f_{min}} \quad [s],$$

kde C_t je kapacita kondenzátoru určujícího frekvenci spínání
 f_{max} je minimální frekvence spínání

Frekvenci spínání volíme 30 kHz. Po úpravě a dosazení:

$$t_{ON} = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT} \cdot f_{min}} = \frac{170 - 9}{170 \cdot 30 \cdot 10^3} = \underline{\underline{31,5 \mu s}}$$

$$C_T = 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT} \cdot f_{MIN}} = 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{170 - 9}{170 \cdot 30 \cdot 10^3} F = \underline{\underline{1,42 nF}}$$

Spínací frekvence může být vyšší, než vypočítaná, pro obvodovou realizaci byla zvolena hodnota kapacity kondenzátoru $C_4 = 1 nF$.

Špičkový odebíraný proud (I_{PK}) určíme podle vzorce:

$$I_{PK} = 2I_{out(max)} \cdot \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) = 2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot (17,9 + 1) = \underline{\underline{378 mA}},$$

kde $I_{out(max)}$ je maximální výstupní proud měniče

Hodnotu odporu R_6 pro snímání výstupního proudu určíme podle vzorce:

$$R_{SC} = \frac{0,3}{I_{PK}} = \frac{0,3}{378 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{0,793 \Omega}} \cong 1 \Omega$$

Hodnotu kapacity kondenzátoru výstupního filtru určíme podle vztahu:

$$C_0 \cong \frac{I_{OUT} \cdot t_{ON}}{U_{zv}} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 31,5 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{3,15 \mu F}}$$

Byla zvolena hodnota kapacity z řady E12, $4,7 \mu F$. Dále byl přidán keramický kondenzátor C_3 pro filtraci rychlých a krátkých napěťových špiček a fóliový kondenzátor C_20 .

Pro minimální hodnotu indukčnosti spínací cívky platí:

$$L_{MIN} = \frac{V_{IN(min)}}{I_{PK}} \cdot t_{ON(MAX)} = \frac{9}{378 \cdot 10^{-3}} \cdot 31,5 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{750 \mu H}}$$

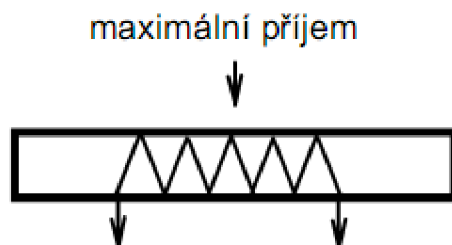
Pro realizaci byla zvolena hodnota indukčnosti $L_1 = 1 mH$.

3.2.2 Rádiová přijímací část

Pro příjem a demodulaci rádiového signálu DCF77 byl zvolen integrovaný obvod MAS6180 od firmy Micro Analog Systems. Obvod se vyznačuje poměrně jednoduchým zapojením, dobrou citlivostí a nízkou spotřebou. Vysoké selektivity dosahuje pomocí

krystalového filtru [19]. Přesný čas je potom uložen do obvodu reálného času DS1302 od firmy Dallas (viz kap. 3.2.3).

Pro realizované hodiny byla vybrána feritová anténa pro její jednoduchou konstrukci, malé rozměry a pro danou aplikaci dostatečný zisk.



Obrázek 16: Feritová anténa (převzato z [4])

Protože feritové tyčky nejsou běžně dostupné, byla použita feritová tyčka ze středovlnného rádiového přijímače. Tyčka je dlouhá 10 cm, podélně drážkovaná. Bližší parametry feritové tyčky bohužel nejsou známy.

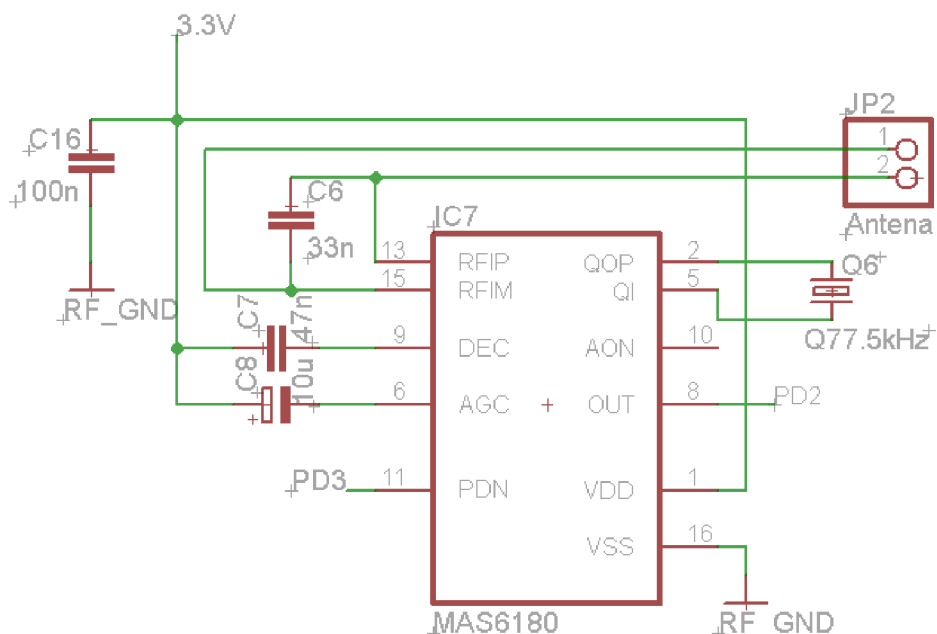
Celý anténní obvod je potom tvořen cívku navinutou na feritovou tyčku a kondenzátorem, který je k vinutí cívky připojen paralelně. Potřebné hodnoty byly určeny experimentálně. Nejdříve bylo na feritovou tyčku navinuto asi 150 závitů vysokofrekvenčního lanka o průřezu $0,5 \text{ mm}^2$. Poté bylo měřením na Q-metru zjištěno, že hodnota činitele jakosti $Q = 132$. Podle údajů výrobce obvodu MAS6180 by se hodnota činitele jakosti měla pohybovat kolem hodnoty 100. Hodnota kapacity paralelního kondenzátoru při rezonanční frekvenci 77,5 kHz byla při měření asi 30 nF. Pro realizaci byla vybrána hodnota kapacity kondenzátoru z řady E12 o hodnotě 33 nF (ve schématu C6). Anténa je potom připojena přímo k odpovídajícím pinům obvodu MAS6180 (viz Obrázek 17).

Výstupem obvodu MAS6180 je signál o dvou úrovních – logická 0 (potenciál napájecí země) a logická 1 (potenciál napájecího napětí obvodu). Pokud je přijímaný signál DCF77 nemodulovaný, výstupem obvodu je log. 0. Pokud je amplituda nosné snížena (modulace časovými značkami), je výstupem obvodu log. 1. Tím je umožněno jednoduché zpracování přijímané informace na straně mikrokontroléru [19].

Výrobce udává přesnost doby trvání časových značek pro signál DCF77 dle následující tabulky (pro podrobnější informace k časovým značkám viz kap. 2.5).

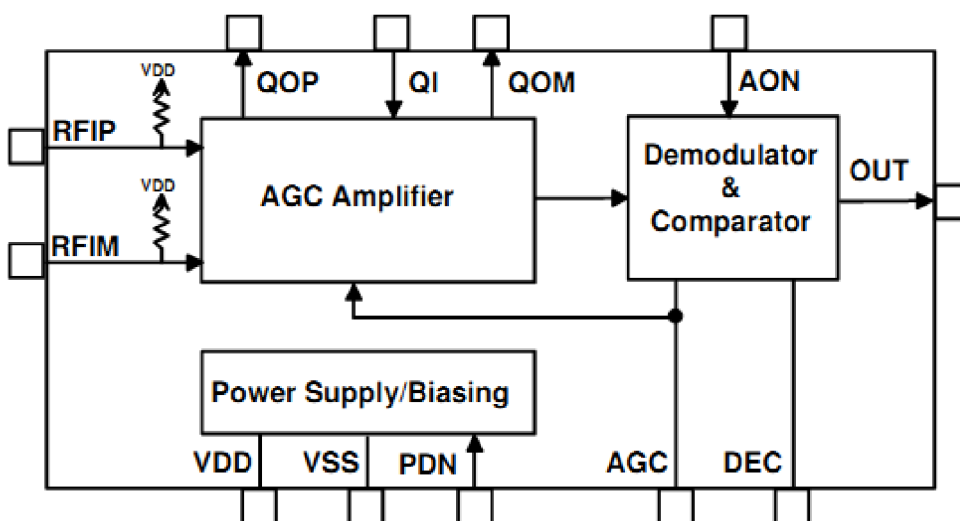
Symbol	Min	Max	Jednotka
T_{100}	40	130	ms
T_{200}	140	250	ms

Tabulka 2 - Délka trvání časových značek (převzato z [19])



Obrázek 17 - Schéma přijímače DCF77

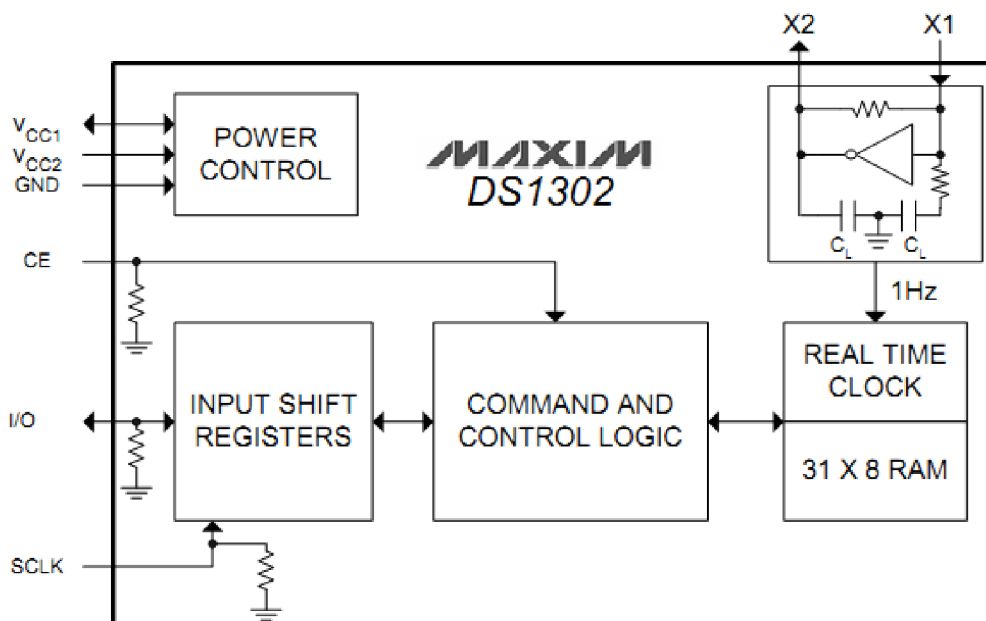
Obvod MAS6180 je popsán na obr. 18. Další použité součástky a jejich vlastnosti byly vybrány dle doporučení výrobce [19].



Obrázek 18 - Blokové schéma obvodu MAS6180

3.2.3 Obvod reálného času

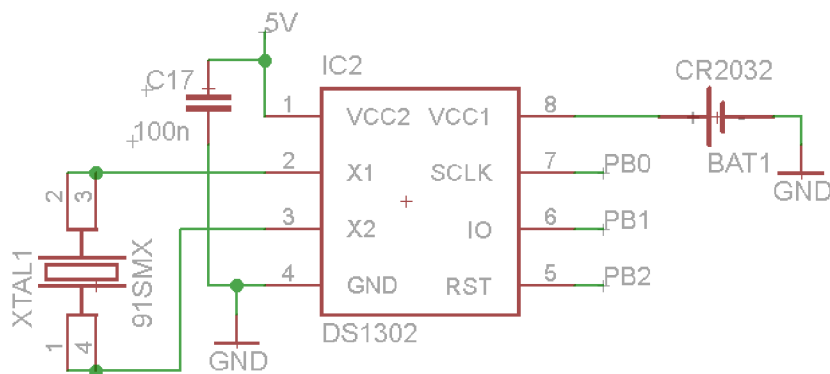
Obvod komunikuje pomocí jednoduché třívodičové sériové sběrnice. Blokové schéma obvodu viz Obrázek 19. Obvod byl do aplikace umístěn jednak proto, že umožňuje jednoduché připojení záložního zdroje, dále proto, že obsahuje kromě registrů pro zálohování hodin i funkcionalitu pro uložení celého data včetně roku. Pokud by byl signál DCF77 dlouhodobě nedostupný, je možný chod hodin bez vlivu na funkčnost, s poměrně dobrou přesností. Ta je potom závislá na vlastnostech použitého externího krystalu.



Obrázek 19 - Blokové schéma obvodu DS1302

Zapojení obvodu je převzato z katalogu výrobce. Pro správnou funkci obvodu je třeba pouze externí krystal s rezonanční frekvencí 32768 Hz. V aplikaci je použito zálohování obvodu reálného času pomocí lithiové baterie o napětí 3 V. Při výpadku hlavního napájení je obvod automaticky uveden do režimu s nízkou spotřebou, kdy je při napětí 3 V odběr obvodu 200 nA [15].

K pinům mikrokontroléru je obvod připojen přímo pomocí tří vodičů.



Obrázek 20 - Schéma zapojení obvodu DS1302

3.2.4 Zobrazovací část

Zobrazovací jednotka je tvořena čtyřmi digitrony typu Z5600M. Ty jsou napájeny výše popsaným zdrojem o napětí 170 V. Pro úsporu součástek pracuje jednotka v režimu časového multiplexu, vždy je tedy aktivní pouze jeden digitron. Zároveň dochází k rychlému přepínání aktivních digitronů. Díky nedokonalosti lidského oka člověk přepínání nevnímá. Jeden zobrazovací cyklus proběhne za přibližně 10 ms, obnovovací frekvence zobrazovací jednotky je tedy asi 100 Hz. O zobrazení správného čísla se stará logický převodník z BCD kódu na kód 1 z 10 (typ 74141) [14]. Funkcionalita pro přepínání digitronů a BCD vstup pro obvod 74141 je implementována v softwaru mikrokontroléru.

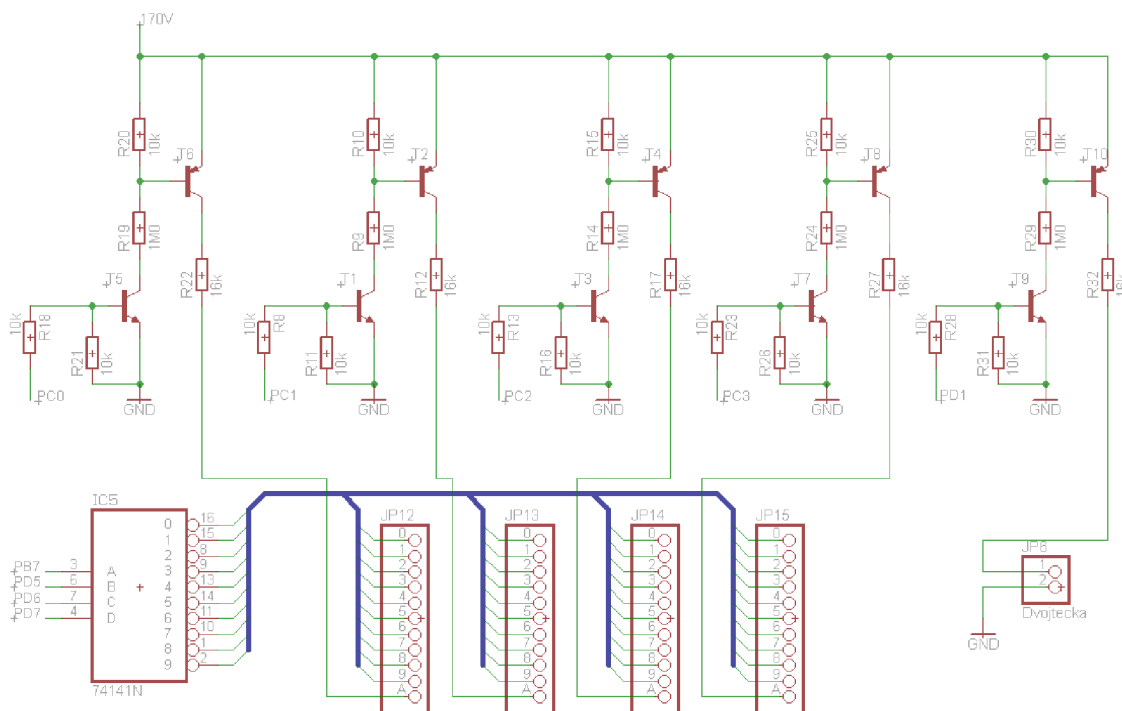
Vlastnosti použitých digitronů shrnuje Tabulka 3.

Displej	
Symboly	0 – 9
Osa zobrazení	Axiální
Výška symbolu	15,5 mm
Maximální pozorovací vzdálenost	cca 10 m
Typické hodnoty	
Zápalné napětí	145 V
Udržovací napětí	135 V
Zhášecí napětí	120 V
Nominální hodnoty	
Napájecí napětí	170 V
Proud v kontinuálním režimu	1 – 2,5 mA
Proud v pulzním režimu	max. 10 mA
Provozní teplota	
	-10 až +50 °C

Tabulka 3 - Katalogové vlastnosti digtronů (převzato z [23])

Protože digitrony pracují s napětím 170 V, nelze je spínat přímo pomocí mikrokontroléru. Digitrony mají společnou anodu, každé jednotlivé číslo je potom vyvedeno jako katoda [23]. Pro spínání anod digitronů byl navržen spínací obvod. Pro jeho zapojení viz Obrázek 21. Jsou zde použity vysokonapěťové tranzistory NPN (SMBTA42) a PNP (SMBTA92). Oba dva typy mají povoleno maximální napětí mezi kolektorem a emitorem 300 V a maximální proud 100 mA, pro danou aplikaci tedy plně dostačují [22].

Pro spínání katod je použit specializovaný logický převodník 74141. Tento obvod funguje jako dekodér z BCD kódu na 1 z 10. K výstupům tohoto převodníku jsou přímo připojeny jednotlivé katody digitronů [14].



Obrázek 21 - Schéma zapojení anodových spínačů digitronů

3.2.5 Řídící mikrokontrolér

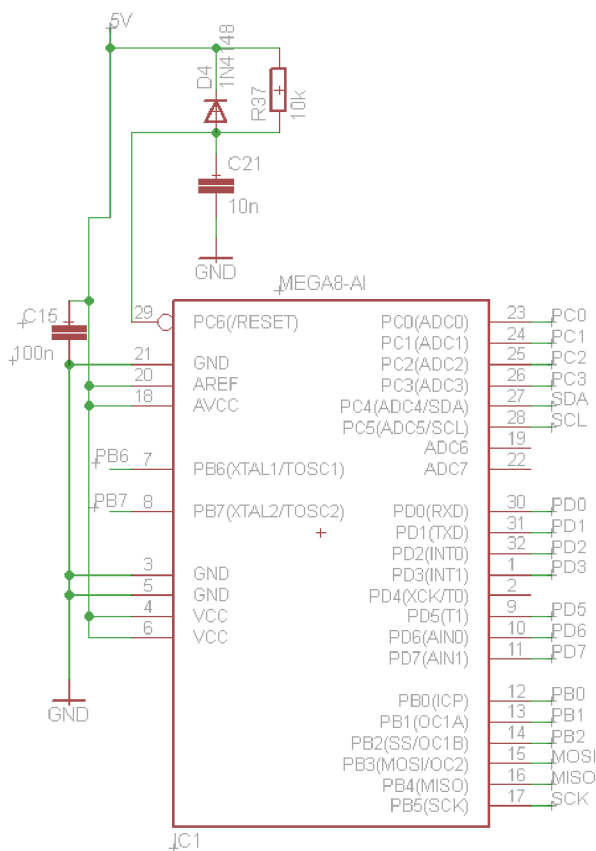
Pro řízení hodin je použit mikrokontrolér Atmega8 od firmy Atmel. Tento mikrokontrolér je postavený na architektuře AVR a řadí se do rodiny RISC procesorů. Mikrokontrolér má Harvardskou architekturu, tzn. oblast programové a datové paměti je oddělená. Je vybaven 8kB programovatelnou pamětí pro program, 512B pamětí EEPROM a 1kB pamětí SRAM. Dále z použitých periférií mikrokontrolér obsahuje dva 8-bitové časovače/čítače, jeden 16-bitový, interní kalibrovaný RC oscilátor a rozhraní pro sériové programování ISP [13].

Pro programování procesoru bylo využito rozhraní ISP a jednoduchý programátor do LPT portu počítače PC.

Mikrokontrolér ovládá tyto funkční celky:

- multiplex digitronů (spínání anod a výstup v BCD kódu pro obvod 74141)
- obsluha tlačítek uživatelského rozhraní
- čtení přesného času z obvodu reálného času
- dekódování časové informace z modulu přijímače DCF77

K resetovacímu pinu mikrokontroléru je připojen obvod, který zajistí, že po připojení napájení dojde ke startu programu mikrokontroléru až po odeznění přechodových dějů (viz Obrázek 22).

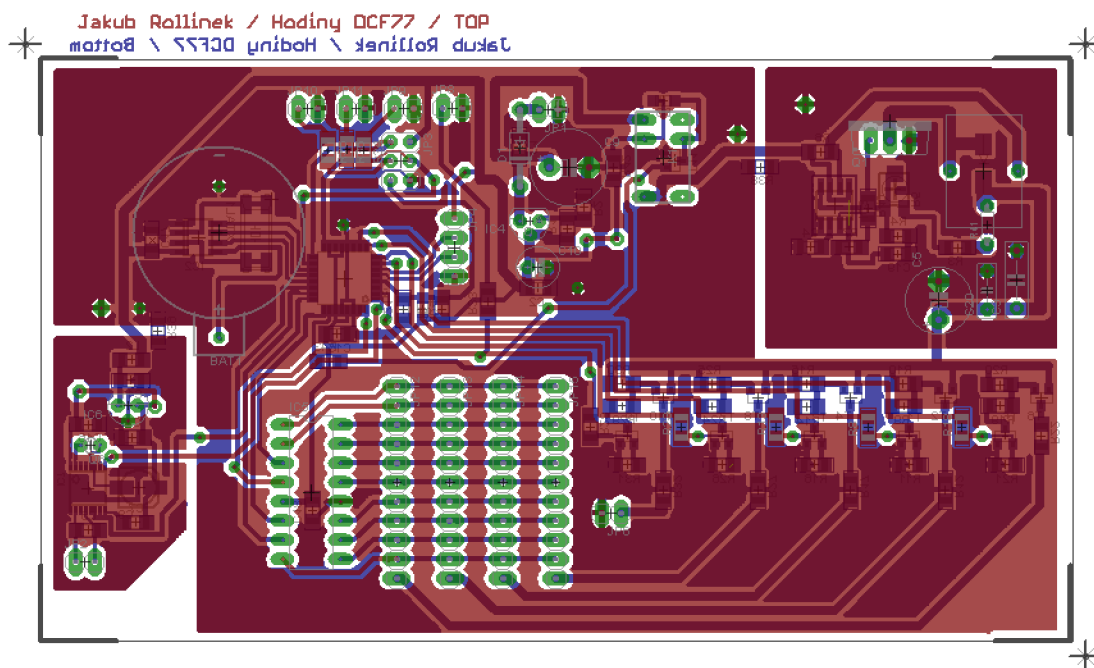


Obrázek 22 - Schéma zapojení mikrokontroléru

3.3 Realizace hardwaru

3.3.6 Návrh desky plošných spojů (DPS)

Návrh DPS byl proveden v programu Eagle. Obvod byl navržen pro dvoustrannou DPS, pro prokovy byly při výrobě předvrtány otvory a při osazování propojeny drátovými propojkami. Výsledný návrh je uveden na Obrázku 23. Osazovací plány, seznam součástek a další podrobnosti jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 23 - Finální podoba DPS

3.3.7 Postup při osazování DPS

1. Optická kontrola vodivých cest a jejich oprava
2. Osazení předvrtaných děr pro prokovy drátovými propojkami
3. Osazení napájecích částí a jejich kontrola
4. Zapojení mikrokontroléru a kontrola jeho funkce formou jednoduchého programu
5. Osazení rádiové přijímací části
6. Osazení ostatních částí a kontrola funkce

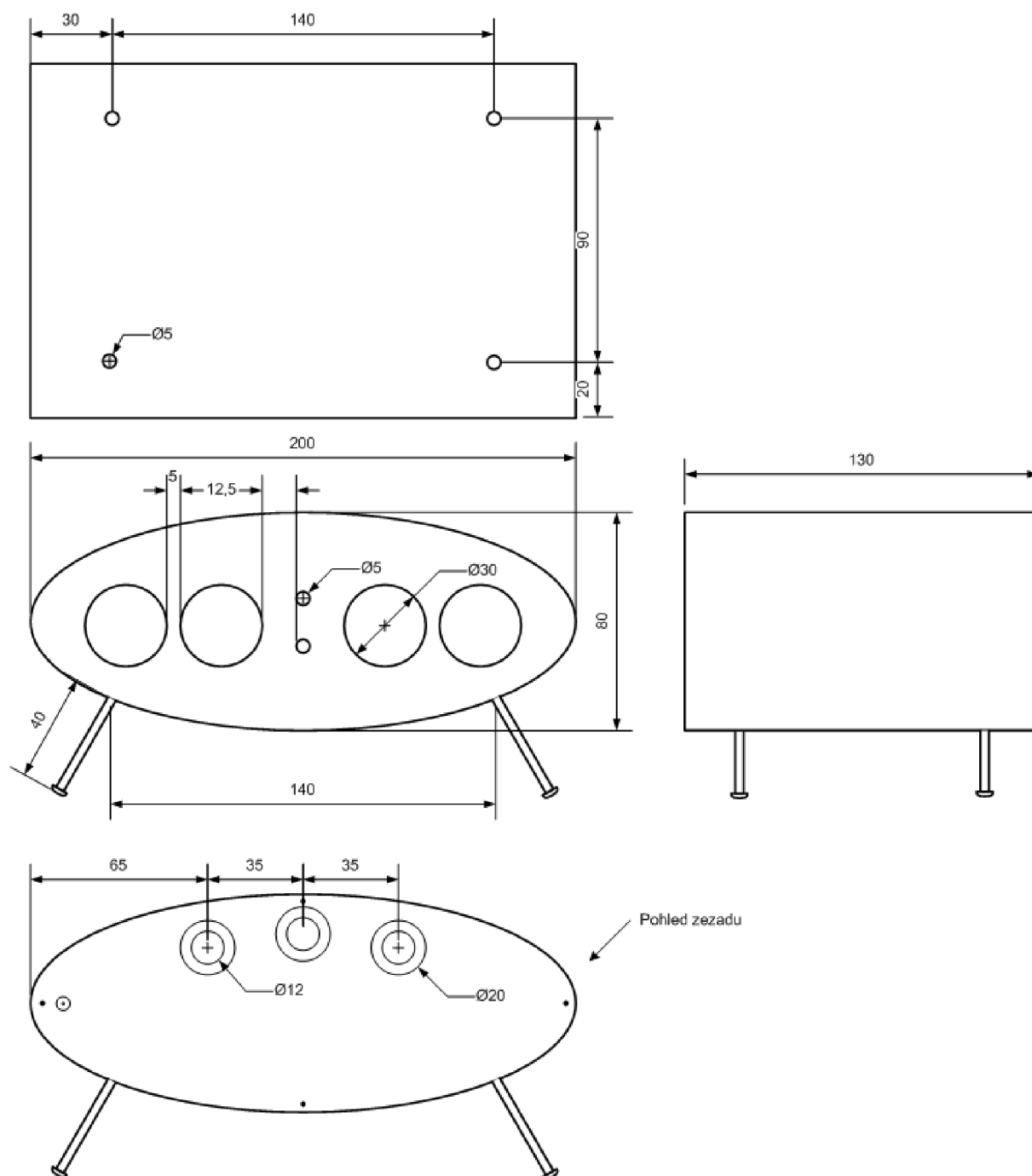
Protože z pokusných konstrukcí zdroje a jejich měření bylo patrné, že zdroj je příčinou napěťových špiček a z toho vyplývajícího rušení přijímače DCF77, byla tato část obvodu zakryta stíněním z pocínovaného plechu.

3.3.8 Design hodin a výroba

Při návrhu zařízení bylo počítáno s jeho běžným užíváním v domácnosti, bylo tedy třeba zvolit celkovou formu výrobku tak, aby dobře působil po designové stránce. Z finančních a technických důvodů bylo třeba navrhnout vhodný tvar a materiál výrobku tak, aby bylo možno jej realizovat v domácích podmínkách. Hlavním materiálem pro výrobu těla hodin bylo dřevo, které bylo po opracování potaženo mahagonovou dýhou. Pro navržený

vzhled těla hodin viz Obrázek 24. Výkres je proveden metodou promítání E. Výsledný tvar těla hodin se mírně liší, výsledný vzhled hodin to ale nijak nenarušilo.

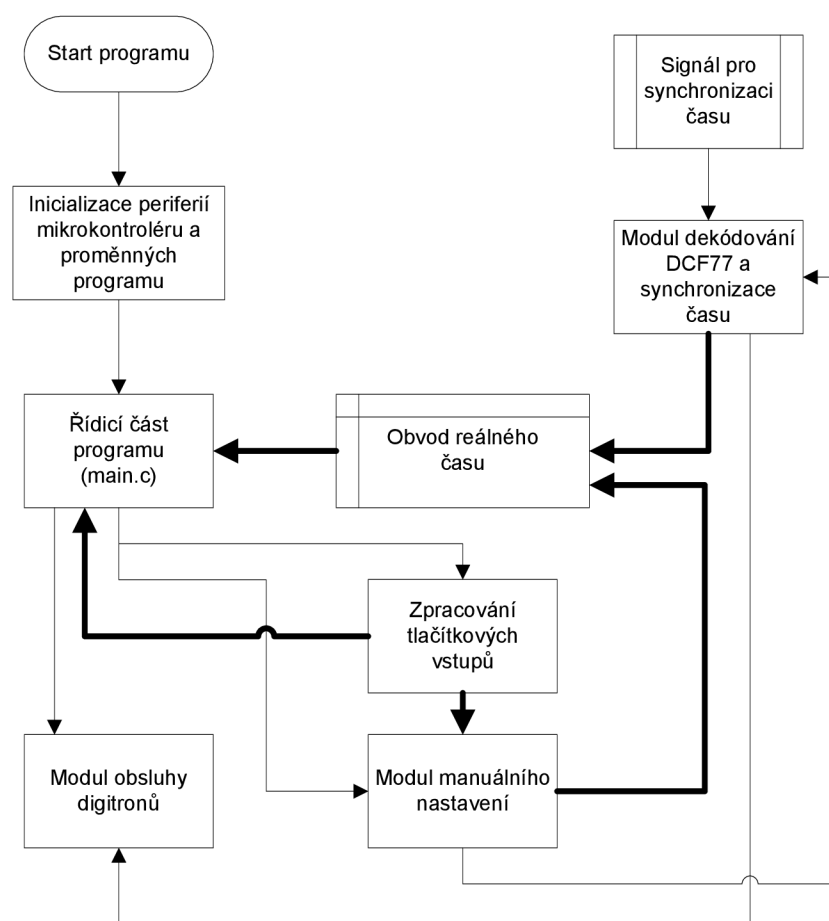
Pro výsledný vzhled zařízení viz Příloha F:



Obrázek 24 - Návrh designu hodin

3.4 Návrh a implementace softwaru

Program pro mikrokontrolér byl napsán v jazyce C. Pro překlad do strojového kódu je použit překladač *GCC*. Pro psaní kódu bylo použito vývojové prostředí *Eclipse* s doplňky *CDT* pro programování v jazyce C a doplněk *Eclipse AVR* pro práci s mikrokontroléry Atmel AVR.



Obrázek 25 - Obecný vývojový diagram funkce programu

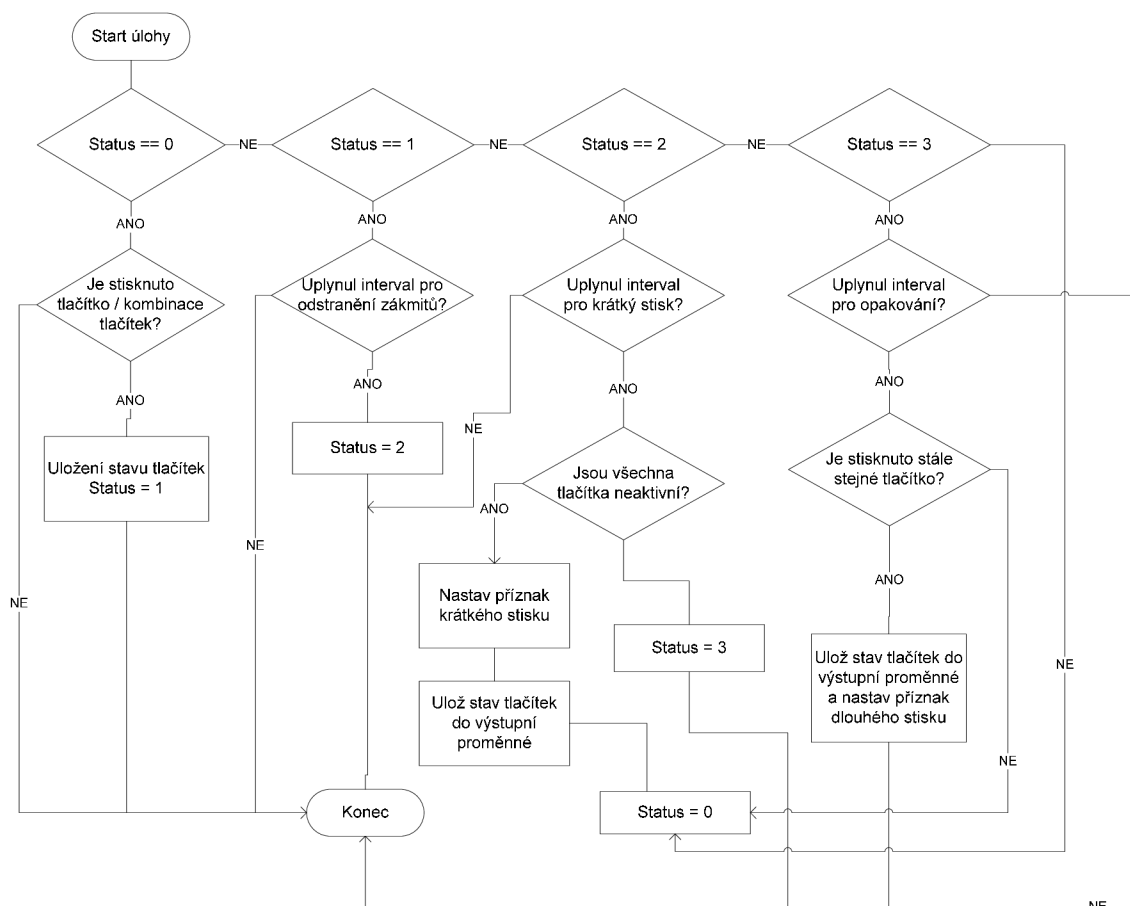
Vývojový diagram (viz Obrázek 25) naznačuje základní funkci obslužného programu. Šipky kreslené tenkou čarou znázorňují řídicí signál, silné potom směr toku dat. Po inicializaci je provedena kontrola obvodu reálného času. Pokud byla před zapnutím vyjmuta zálohovací baterie, oscilátor obvodu je zastaven a tento stav je indikován jedním z registrů obvodu. Proveďte se pokus o synchronizaci času. Po úspěšné synchronizaci, nebo po uplynutí deseti minut, přejde systém do režimu zobrazení času. V nekonečné programové smyčce jsou volány obslužné funkce (úlohy) jednotlivých softwarových modulů programu. Tyto moduly jsou popsány níže.

Úlohy s vysokou prioritou jsou obsluhovány pomocí přerušení při přetečení časovačů 0 a 2. Konkrétně se jedná o obsluhu zobrazovací části, tzn. řízení časového multiplexu digitronů a zobrazení správného čísla (časovač 0). Dále potom časování pro modul čtení stavu ovládacích tlačítek (časovač 1).

Při tvorbě obslužného programu bylo využito odděleného překladu souborů. Hlavní výhodou tohoto postupu je modulárnost programu a znovupoužitelnost jednotlivých modulů

v jiných aplikacích. Funkce, proměnné a makra přístupné i pro jiné moduly jsou vždy umístěny v hlavičkovém souboru modulu. Pro správnou funkci je vždy na začátku běhu programu nutné volat odpovídající inicializační funkci daného modulu (její název je vždy ve tvaru ..._init()).

3.4.9 Modul pro obsluhu tlačítek – buttons.c



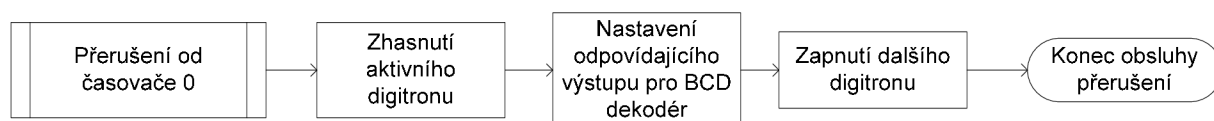
Obrázek 26 - Blokové schéma obsluhy tlačítek

Pro funkčnost tohoto modulu je třeba v hlavní smyčce programu volat funkci `btn_task()`. Popis této funkce viz Obrázek 26. Pro přístup ke stisknuté kombinaci tlačítek potom stačí volat funkci `btn_get_keyboard()`, která vrací proměnnou typu `byte`, kde první bit indikuje stisk prvního tlačítka, druhý druhého tlačítka atd. Nejvyšším bitem je indikován dlouhý stisk tlačítka. Po zavolání funkce je uložená hodnota tlačítka automaticky vymazána a znovu naplněna je po dalším platném cyklu obsluhy tlačítek.

3.4.10 Modul pro hlavní funkce hodin – nixie_mux.c

Tento modul má na starosti následující úlohy:

- Ovládání časového multiplexu digitronů

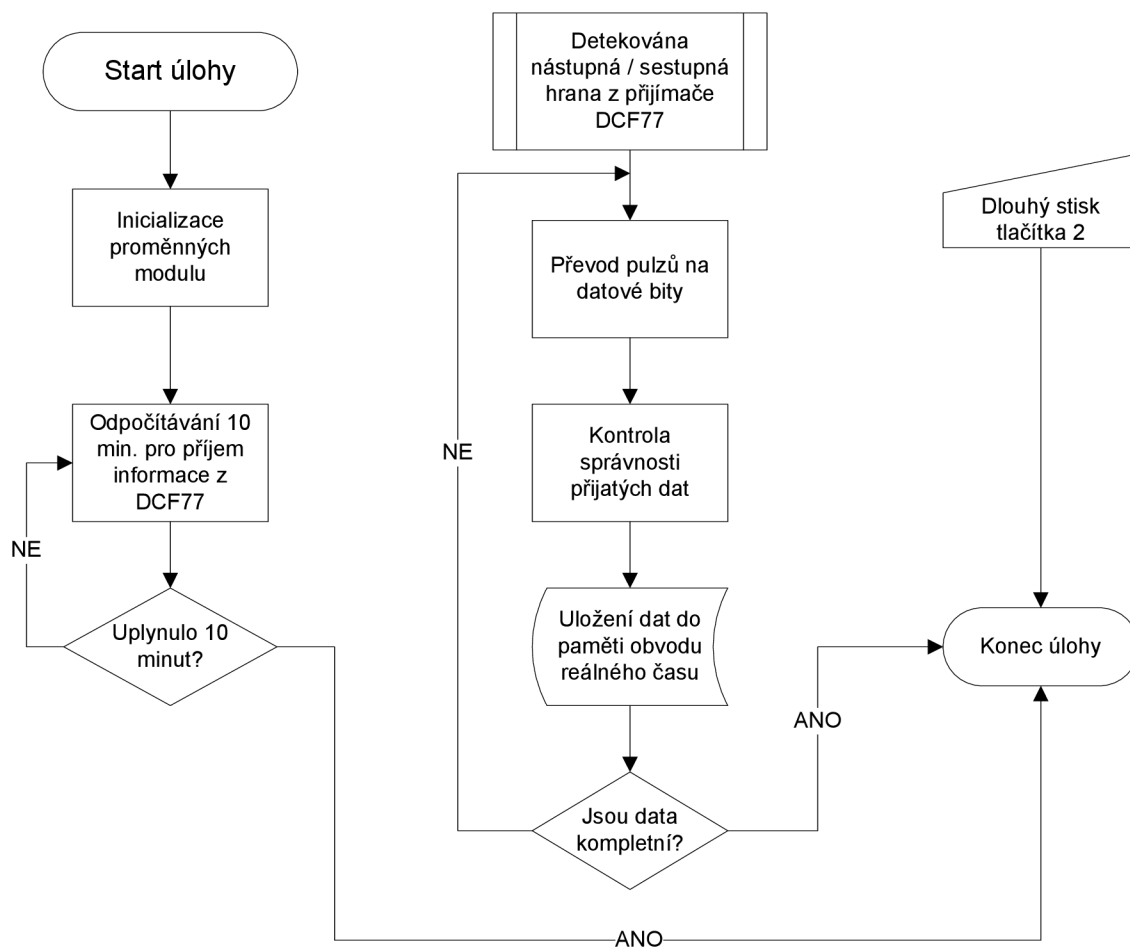


Obrázek 27 - Vývojový diagram mutlplexu digitronů

- Reakce na tlačítkové vstupy (nízkoúrovňovou obsluhu tlačítek provádí modul buttons.c popsany výše) a změny zobrazení v závislosti na režimu zařízení (např. zobrazení data, indikace režimu nastavování apod.). Pro podrobnější popis viz kap. 3.5.
- Čtení přesného času z obvodu reálného času (funkce pro obsluhu tohoto obvodu poskytuje modul ds1302.c)

3.4.11 Modul pro dekódování informací ze signálu DCF 77 – dcf_77.c

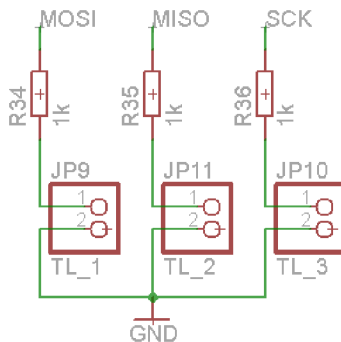
Vstupem pro tento modul je binární signál z přijímače DCF77. Tento modul měří šířky jednotlivých pulzů a dále je zpracovává. Při spuštění tohoto modulu je odpojen zdroj 170 V kvůli rušení přijímače, po dokončení synchronizace je zdroj opět připojen k napájení a hodiny přejdou do režimu zobrazování času.



Obrázek 28 - Funkce modulu dcf_77.c

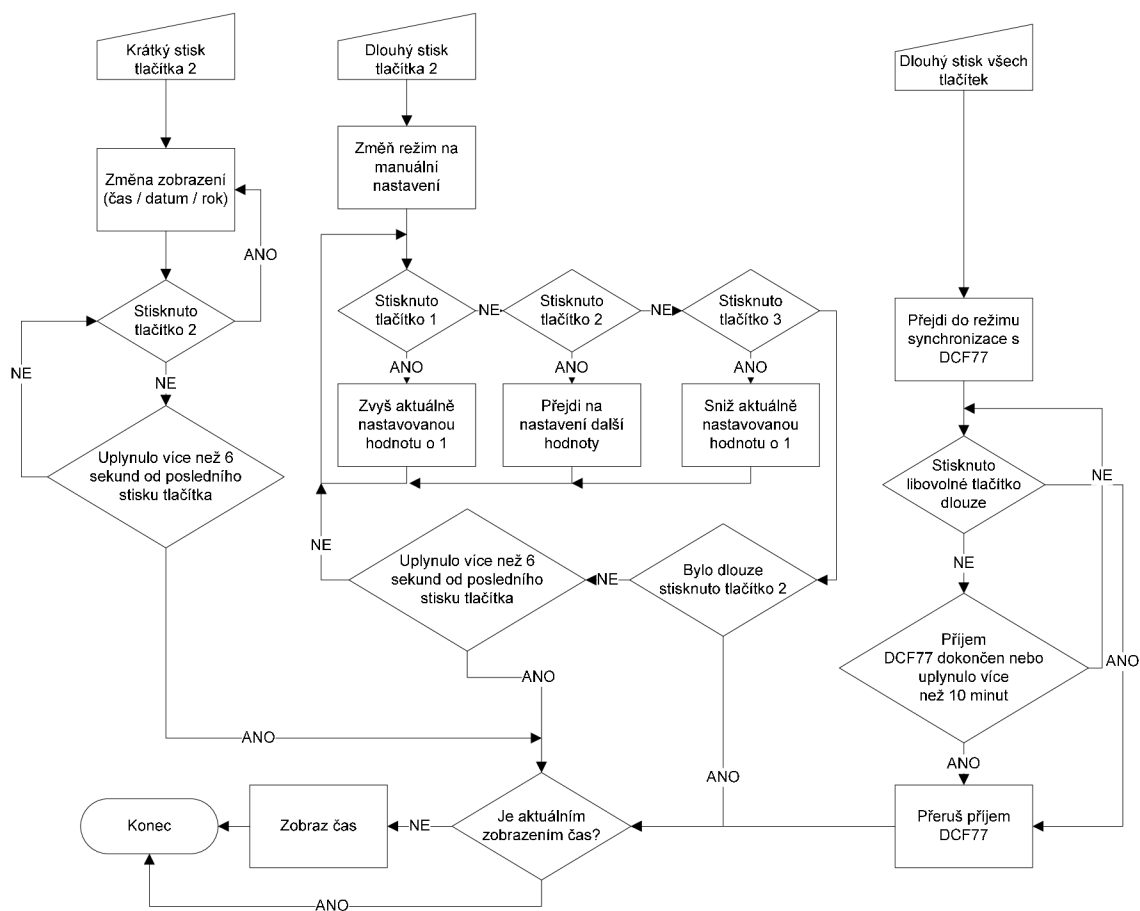
3.5 Popis ovládání systému

Ovládání hodin je realizováno třemi tlačítky. Ta jsou přímo připojená ke vstupním pinům procesoru, které mají aktivní vnitřní pull-up rezistory. Pro ochranu vstupních pinů procesoru, v případě jejich chybného nastavení, jsou v sérii s tlačítky zařazeny odpory (viz Obrázek 29).



Obrázek 29 - Schéma zapojení ovládacích tlačítek

Na následujícím vývojovém diagramu je naznačena logika ovládání hodin tlačítky (Obrázek 30).



Obrázek 30 - Vývojový diagram ovládání hodin

4 Ověření funkcí realizovaného systému

4.1 Spotřeba

Měření bylo provedeno pomocí digitálního multimetru UT33C. Pro jeho přesné parametry viz Tabulka 4.

Značka / typ	UNI-T / UT33C
Základní chyba při měření napětí	$\pm(0,5\% + 2)$
Základní chyba při měření proudu	$\pm(1\% + 2)$

Tabulka 4 - Parametry použitého měřicího přístroje

Napájecí napětí použitého zdroje stejnosměrného napětí bylo 12,8 V. Výsledky měření jsou uvedeny v následující Tabulce 5.

Stav zařízení	Proudový odběr [mA]	Příkon zařízení [W]
Běžný provoz (digitrony zapnuty)	137	1,8
Synchronizace se signálem DCF 77 (digitrony vypnuty)	80	1,0

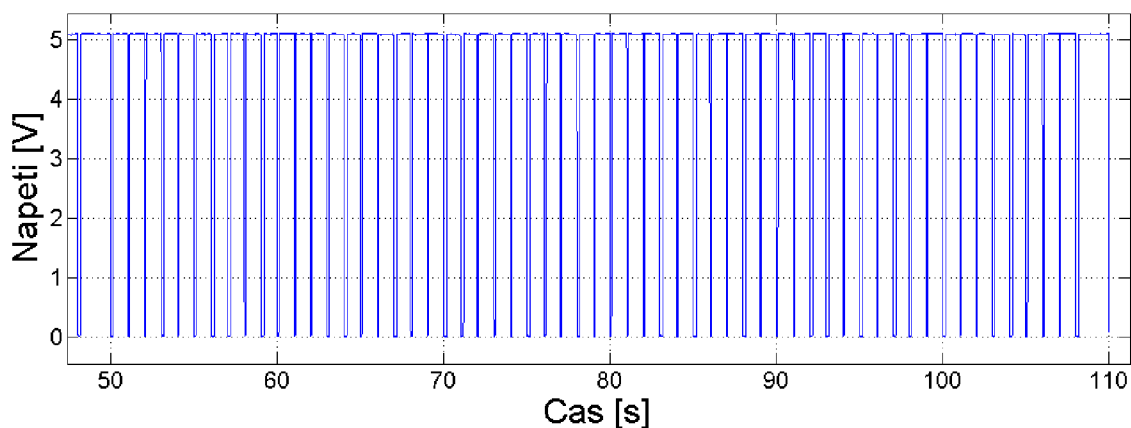
Tabulka 5 - Naměřené hodnoty příkonu

4.2 Citlivost a přesnost zařízení

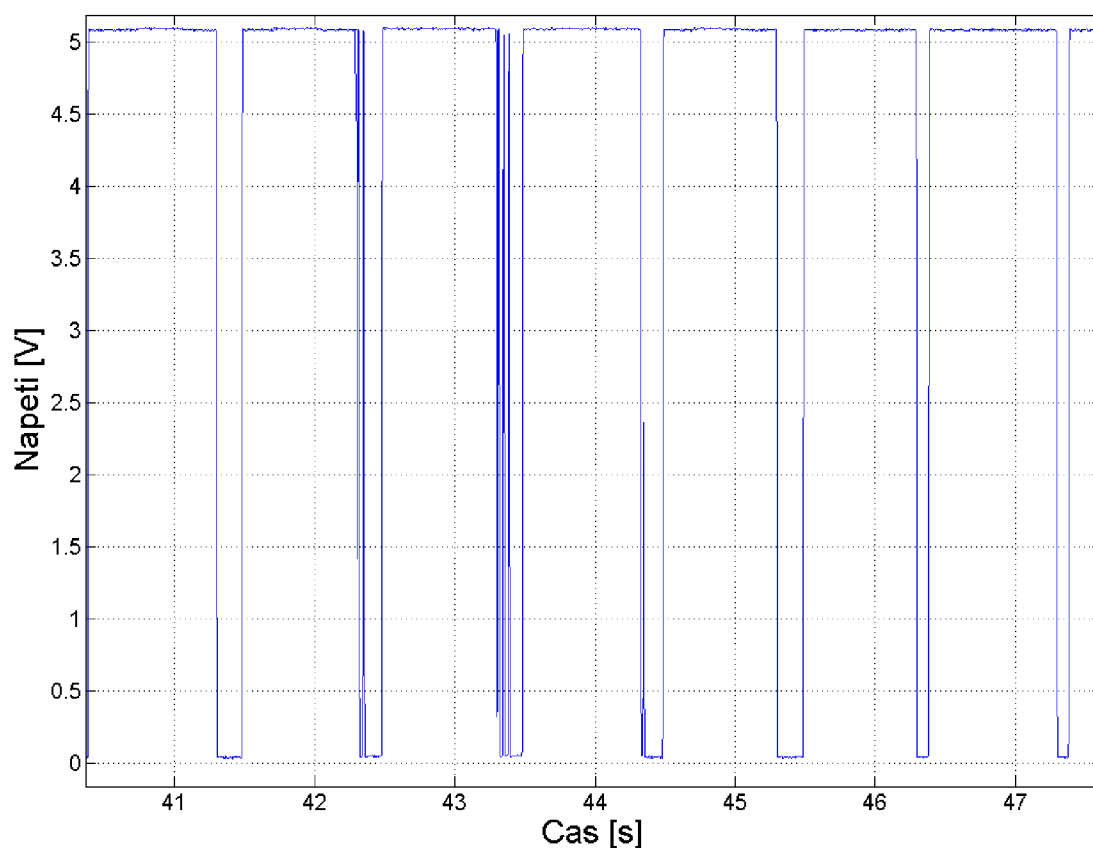
Přesnost zobrazovaného času je ovlivněna přesností krystalového oscilátoru obvodu reálného času. Pokud je zařízení každý den synchronizováno signálem DCF 77, je nepřesnost času pro běžného uživatele nepostřehnutelná. Pokud systém není synchronizován, hodiny vykazují nepřesnost v řádu jednotek sekund během jednoho týdne. Pokud by byly hodiny trvale provozovány bez synchronizace signálem DCF 77, bylo by možné případné odchylky kompenzovat pomocí softwaru. Tato kompenzace není v současné době implementována.

4.2.1 Laboratorní měření

Dále bylo provedeno měření signálu přijímače DCF77 pomocí osciloskopu *LeCroy wave surfer*. Byl měřen výstupní signál přijímače za dobrých podmínek (přijímač byl umístěn u okna) – viz Obrázek 31 a během rušení (v blízkosti přístroje se spínaným zdrojem) – viz Obrázek 32. Ve druhém případě se nepodařilo během desetiminutového limitu přijmout kompletní informaci o čase. Z takto poškozeného signálu by se ještě vhodnou úpravou softwaru mohlo podařit informaci o čase zjistit, zvětšovala by se tím ale pravděpodobnost chyby. Protože za normálních podmínek je úspěšnost příjmu dostatečná, nebyla tato úprava provedena.

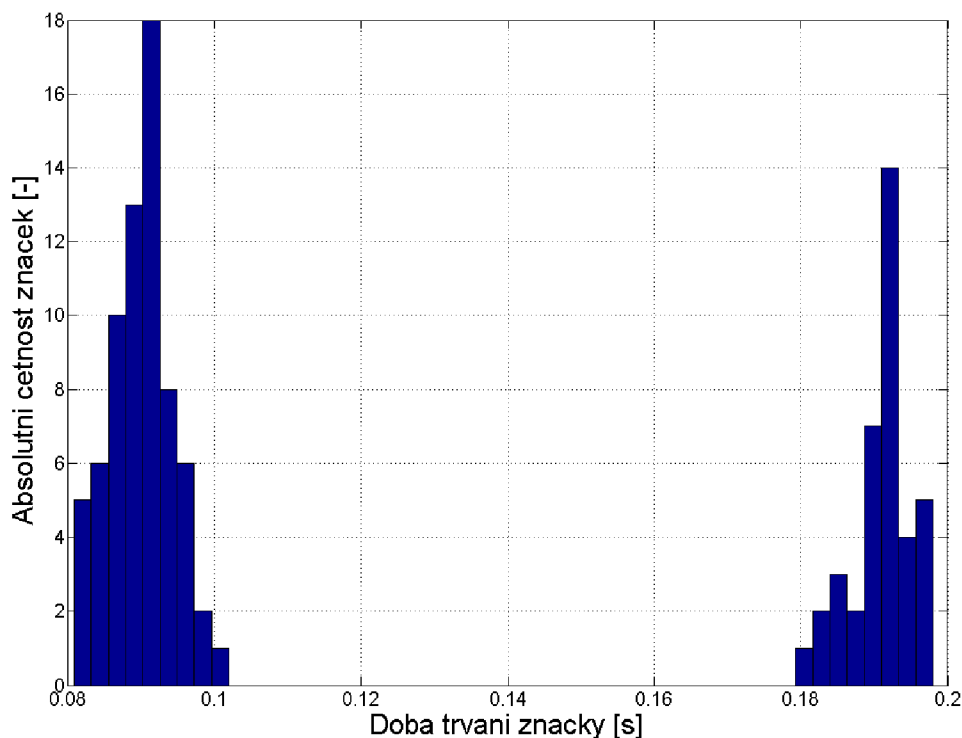


Obrázek 31 - Zaznamenaný průběh časových značek bez rušení



Obrázek 32 - Detail rušení časových značek

Použitý osciloskop umožňuje export naměřených dat do programu MATLAB, ve kterém byla provedena analýza délky trvání jednotlivých časových značek. Výsledný histogram je znázorněn na dalším obrázku. Z něj je patrné, že pro krátké časové značky je největší výskyt hodnot kolem 91 ms, pro dlouhé značky je to 192 ms. Tyto hodnoty s rezervou splňují specifikaci výrobce (viz Tabulka 2).



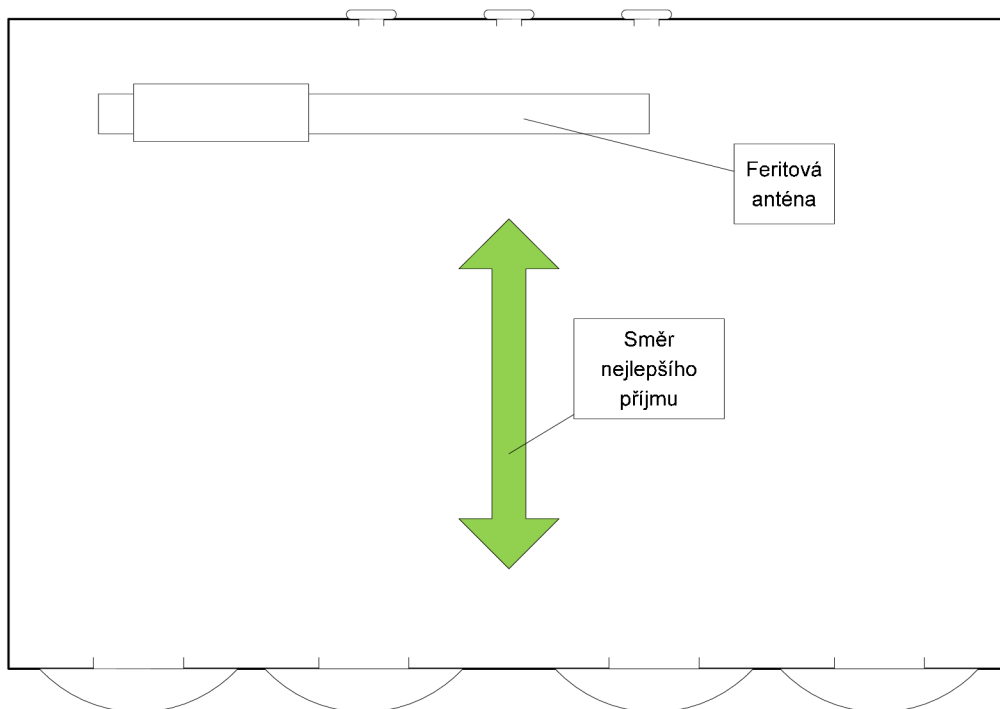
Obrázek 33 - Histogram pro dobu trvání časových značek během jedné minuty

4.2.2 Provozní měření

Zařízení bylo testováno ve finální podobě za různých podmínek. Přehled testovacích podmínek a výsledků je uveden v následující tabulce.

Podmínka	Doba příjmu časové informace
Anténa natočena kolmo na směr vysílače (maximální zisk – viz Obrázek 34)	
Jasné počasí, noc	< 2 minuty
Jasné počasí, den	< 5 minut
Bouřka	příjem neúspěšný
Blíže než 2 m k počítači typu PC	příjem neúspěšný
Anténa natočena osou na směr vysílače (minimální zisk)	příjem neúspěšný

Tabulka 6 - Provozní podmínky



Obrázek 34 - Nákres pro směr nejlepšího příjmu signálu DCF77

5 Závěr

V bakalářské práci jsem se v úvodní části zabýval popisem vlastností vysílače přesného času a normálové frekvence DCF77. Jsou zde popsány jak obecné údaje o vysílači, tak podrobnější informace o použitých modulacích a kódování časové informace. Jsou zmíněny některé známé aplikace a běžný způsob příjmu a demodulace.

Na základě teoretického rozboru jsem provedl návrh celého zařízení. V první fázi jsem navrhnul hardware zařízení na dvoustranné desce plošných spojů v programu Eagle. Tento návrh jsem realizoval a celé zařízení zprovoznil po elektrické stránce. Protože je zařízení používáno v domácnosti, rozhodl jsem se pro napájení zařízení bezpečným stejnosměrným napětím 12 V. Z toho vznikl požadavek na vhodný zdroj pro digitrony, které vyžadují napětí 170 V. Proto jsem použil spínaný zdroj. Hlavním problémem je rušení spínaného zdroje, které znemožňuje příjem signálu DCF77. Provedl jsem několik pokusů o odrušení – celý zdroj je stíněn pocínovaným plechem, na vstup i výstup spínaného zdroje jsem přidal keramické filtrační kondenzátory. Také jsem měnil pracovní frekvenci spínaného zdroje v rozmezí 30-100 kHz. Rušení se mi nepodařilo odstranit, proto jsem se rozhodl vyřešit tento problém automatickým odpojováním obvodu měniče po dobu synchronizace času se signálem DCF77. K té dochází každý den ve 4:00, kdy krátký výpadek zobrazení nevadí. Zbytek doby je přesný čas poskytován obvodem reálného času, který má dostatečnou přesnost (zjištěná odchylka obvodu je asi 1 sekunda za týden). V případě, že je synchronizace času každý den úspěšná, je odchylka hodin během jednoho dne menší než 1 sekunda.

Dále jsem provedl návrh designu hodin. Vlastní výroba těla byla provedena na zakázku. Po jeho realizaci jsem do něj umístil hotové zařízení.

Poslední fází realizace byl návrh softwaru a jeho implementace. Program jsem napsal v jazyce C. Skládá se z několika oddělených modulů. Úlohy s nižší prioritou jsou periodicky spouštěny v hlavní smyčce programu, prioritní úlohy jsou potom obsluhovány pomocí přerušení od časovačů. Implementoval jsem funkcionalitu pro řízení multiplexu digitronů, obsluhu tlačítek, systém manuálního nastavování hodin, čtení a zápis do obvodu reálného času a dekodování signálu DCF77.

V poslední části práce jsem provedl ověření celého systému. Provedl jsem měření vlastností přijímače pomocí osciloskopu za různých podmínek. Dále bylo zařízení testováno za běžného provozu. Pro správnou funkci příjmu signálu DCF77 je nutné, aby byly hodiny natočeny anténou kolmo na směr příjmu (viz Obrázek 34). Příjem je dle předpokladů nejvíce rušen spotřebiči se spínanými zdroji, jak např. PC, televize apod.

Celkově je zařízení funkční, spolehlivě informuje o přesném čase a v případě potřeby je možno zobrazit i datum a rok.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] PTB. *DCF77: Specifications* [online]. 2005, last updated 2007-05-10 [cit. 2009-12-20]. EN. Dostupný z WWW: <http://www.ptb.de/en/org/4/44/442/dcf77_1_e.htm>
- [2] Hetzel, P. (1988-03-16), *Time dissemination via the LF transmitter DCF77 using a pseudo-random phase-shift keying of the carrier*, 2nd European Frequency and time Forum Neuchâtel, s. 351–364
- [3] International Telecommunication Union, *Radio regulations*, 2008, ISBN 92-61-12451-8
- [4] Nováček, Z. *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*, VUT v Brně, FEKT, 2006, ISBN 80-214-3301-9
- [5] M. Brennan, *Kameny času*. Praha 1997, ISBN 80-7207-060-6
- [6] M. Hajn, *Základy jemné mechaniky a hodinářství*. Praha 1953
- [7] POUPA, Martin. *Vše o času* [online]. 2002 [cit. 2009-12-20]. Dostupný z WWW: <<http://home.zcu.cz/~poupa/cas.html>>
- [8] University of Delaware. *NTP: The Network Time Protocol* [online]. 2002, Page last updated: October 29, 2009 [cit. 2009-12-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.ntp.org/>>.
- [9] DOSTÁL, T. *Elektrické filtry: Skripta FEI VUT v Brně*. Brno: MJ Servis, 2001. 146 s.
- [10] PROKEŠ, Aleš. *Rádiové přijímače a vysílače : Přednášky*. Brno : VUT v Brně, 2005. 178 s. ISBN 80-214-2263-7.
- [11] STRNAD, J. *Doutnavky v technické praxi*. Praha : [s.n.], 1974. 108 s.
- [12] *Hacked Gadgets* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Puhlmann Nixie Clock. Dostupné z WWW: <<http://hackedgadgets.com/2007/07/12/puhlmann-nixie-clock/>>.
- [13] *ATmega8/L Datasheet* [online]. 2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131, USA : Atmel Corporation, 2003 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2486.pdf>>.
- [14] *74141 datasheet* [online], 1980 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/121942/ETC1/74141.html>>.
- [15] *DS1302 Trickle-Charge Timekeeping Chip* [online]. Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086, USA : Maxim Integrated Products, 2008 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1302.pdf>>.

- [16] *IRF830* [online]. Italy : STMicroelectronics, 1998 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/6113.pdf>.
- [17] *LM317L : 3-Terminal Adjustable Regulator* [online]. USA : National Semiconductor Corporation, 2010 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/ds/LM/LM317L.pdf>>.
- [18] *LP2950/LP2951 : Series of Adjustable Micropower Voltage Regulators* [online]. USA : National Semiconductor Corporation, 2009 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/ds/LP/LP2950.pdf>>.
- [19] *MAS6180 : AM Receiver IC* [online]. Kamreerintie 2, P.O. Box 51 FIN-02771 Espoo, FINLAND : Micro Analog Systems Oy , 2009 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.mas-oy.com/uploads/Data%20sheets/da6180B.pdf>>.
- [20] *MC34063A, MC34063E : DC-DC CONVERTER CONTROL CIRCUITS* [online]. Italy : STMicroelectronics, 2001 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/5257.pdf>>.
- [21] *MURS120T3 Series : Surface Mount Ultrafast Power Rectifiers* [online]. Rev. 8. P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA : Literature Distribution Center for ON Semiconductor, 2006 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MURS120T3-D.PDF>.
- [22] *SMBTA42/MMBTA42 : NPN Silicon Transistor for High Voltages* [online]. [s.l.] : Infineon Technologies, 2003 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/infineon/1-smbta42.pdf>>.
- [23] *Z560M datasheet* [online]. [s.l.] : [s.n.], 1980 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.jogis-roehrenbude.de/Roehren-Geschichtliches/Nixie/Z560M.pdf>>.
- [24] *NDS331N : N-Channel Logic Level Enhancement Mode Field Effect Transistor* [online]. [s.l.] : Fairchild Semiconductor, 1996 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.fairchildsemi.com/ds/ND/NDS331N.pdf>>.
- [25] *G5V-1 : PCB Relay* [online]. [s.l.] : Omron, 2000 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.omron.com/ecb/products/pdf/en-g5v1.pdf>>.

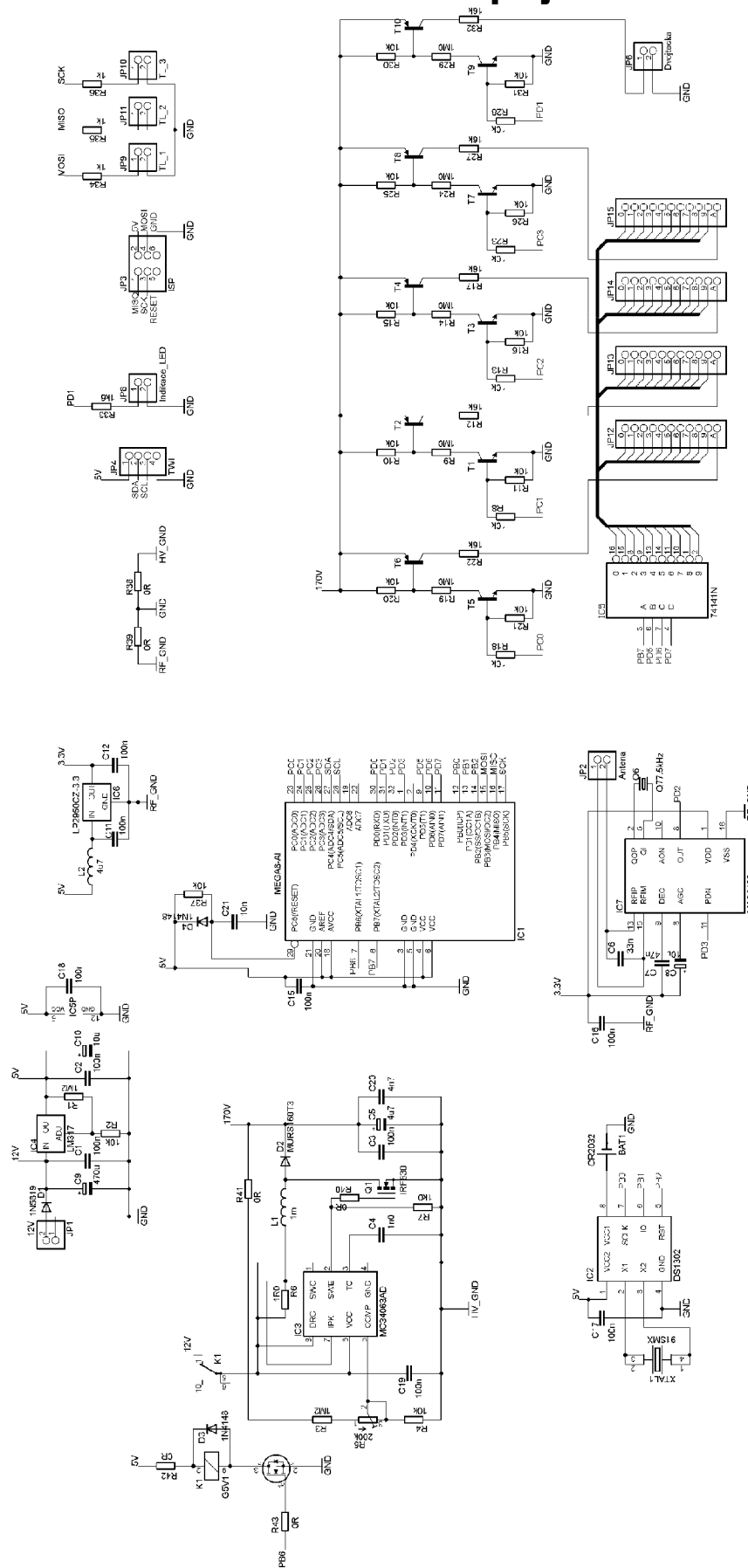
7 Seznam použitých zkratek

PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
UTC	Coordinated Universal Time
SEČ	Středoevropský čas
SELČ	Středoevropský letní čas
CET	Central European Time
CEST	Central European Summer Time
DUT	Rozdíl mezi UT1 a UTC (DUT = UT1-UTC)
UT1	Universal Time
CCITT	Kompresní metoda pro kompresi černobílých bitmap, používaná u faxových zařízení
EIRP	Equivalent isotropically radiated power
PRPSK	Pseudo-random phase-shift keying
BCD	Binary code decimal
SNR	Signal to noise ratio
GPS	Global Positioning System
PC	Personal computer
USB	Universal serial bus
I ² C	Počítačová sériová sběrnice, vyvinutá firmou Philips

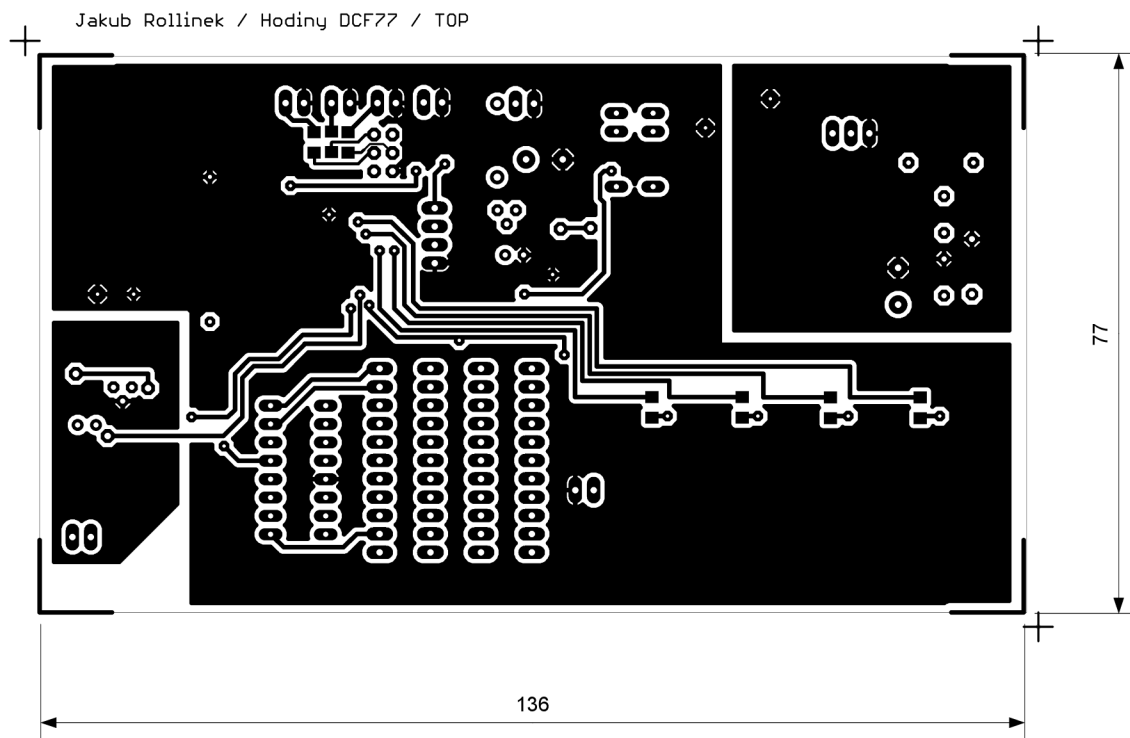
8 Seznam obrázků, tabulek a příloh

Obrázek 1: Celkový pohled na vysílač DCF77 (převzato z [1])	7
Obrázek 2: Příklad reálného signálu DCF77 (převzato z [1]).....	8
Obrázek 3: Zjednodušené schéma křížového korelátoru (převzato z [2])	9
Obrázek 4: Posuvný registr pro generování pseudonáhodné posloupnosti (převzato z [2])	10
Obrázek 5: Kódování časové informace (převzato z [1])	11
Obrázek 6: Dosah signálu DCF77 (převzato z [1]).....	13
Obrázek 7: Výpadky vysílače DCF77 v roce 2007 a 2008 (převzato z [1])	14
Obrázek 8: Diodové demodulátory: a) sériový, b) paralelní (převzato z [10])	16
Obrázek 9: Blokové schéma synchronního detektoru AM (převzato z [10])	17
Obrázek 10 - Jedna z variant digitronů (převzato z [12])	18
Obrázek 11 - Blokové schéma hardwaru	19
Obrázek 12 - Schéma zapojení zdroje 5V	20
Obrázek 13 - Schéma zdroje 3,3V	20
Obrázek 14 - Blokové schéma obvodu MC34063 (převzato z [12])	21
Obrázek 15 - Schéma zdroje 170 V	22
Obrázek 16: Feritová anténa (převzato z [4]).....	24
Obrázek 17 - Schéma přijímače DCF77	25
Obrázek 18 - Blokové schéma obvodu MAS6180.....	25
Obrázek 19 - Blokové schéma obvodu DS1302	26
Obrázek 20 - Schéma zapojení obvodu DS1302.....	26
Obrázek 21 - Schéma zapojení anodových spínačů digitronů	27
Obrázek 22 - Schéma zapojení mikrokontroléru.....	28
Obrázek 23 - Finální podoba DPS.....	29
Obrázek 24 - Návrh designu hodin	30
Obrázek 25 - Obecný vývojový diagram funkce programu	31
Obrázek 26 - Blokové schéma obsluhy tlačítek	32
Obrázek 27 - Vývojový diagram mutliplexu digitronů	32
Obrázek 28 - Funkce modulu dcf_77.c	33
Obrázek 29 - Schéma zapojení ovládacích tlačítek.....	34
Obrázek 30 - Vývojový diagram ovládní hodin	34
Obrázek 31 - Zaznamenaný průběh časových značek bez rušení	36
Obrázek 32 - Detail rušení časových značek	36
Obrázek 33 - Histogram pro dobu trvání časových značek během jedné minuty	37
Obrázek 34 - Náskres pro směr nejlepšího příjmu signálu DCF77	38
Tabulka 1 - Obvody vyžadující napájecí napětí 5 V	20
Tabulka 2 - Délka trvání časových značek (převzato z [19]).....	24
Tabulka 3 - Katalogové vlastnosti digtronů (převzato z [23])	27
Tabulka 4 - Parametry použitého měřicího přístroje.....	35
Tabulka 5 - Naměřené hodnoty příkonu	35
Tabulka 6 - Provozní podmínky	37
Příloha A: Schéma zapojení zařízení	44
Příloha B: Obrazce plošných spojů zařízení.....	45
Příloha C: Osazovací plán	46
Příloha D: Seznam součástek.....	47
Příloha E: Desky plošných spojů po osazení.....	49
Příloha F: Celkový vzhled zařízení	50

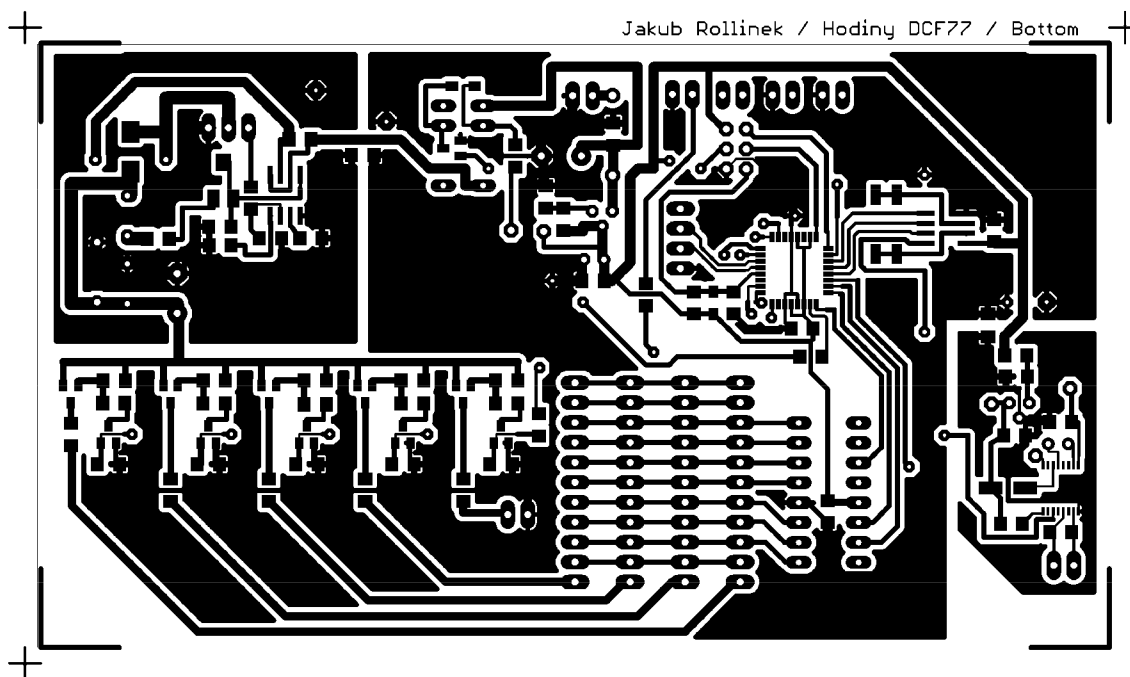
Příloha A: Schéma zapojení zařízení



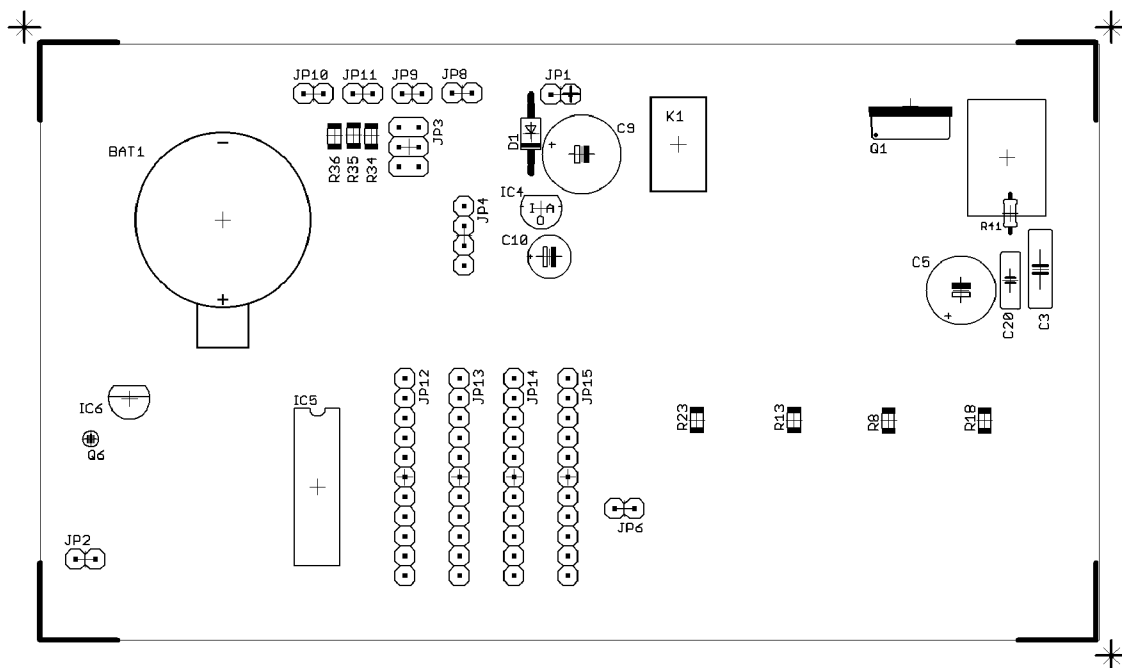
Příloha B: Obrazce plošných spojů zařízení



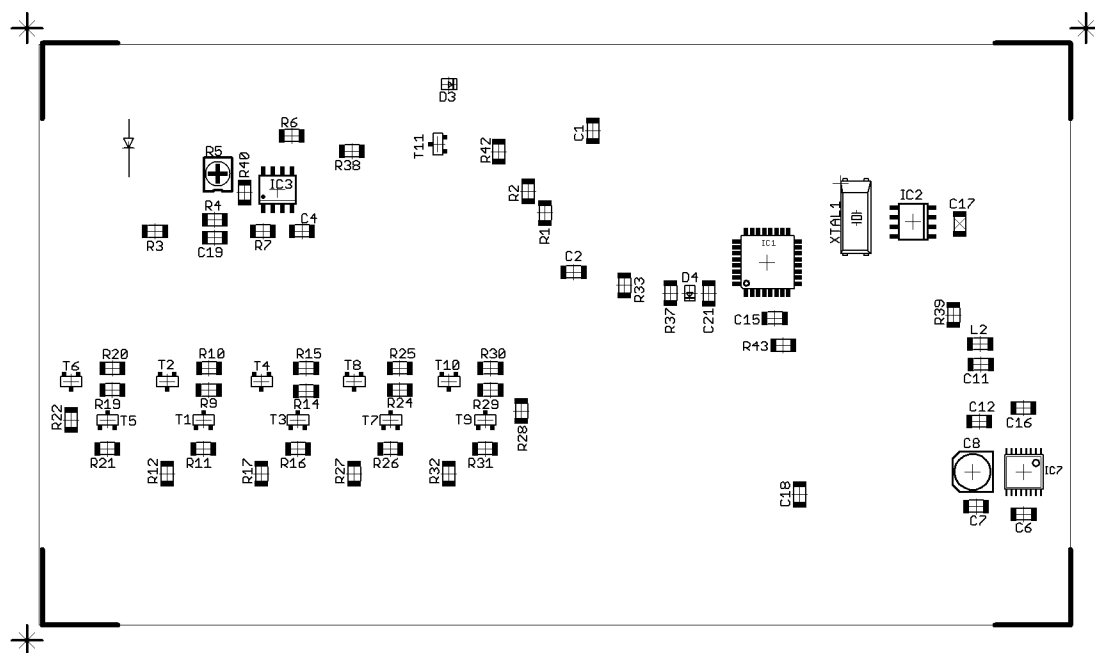
Deska plošných spojů – horní vrstva



Příloha C: Osazovací plán



Osazovací plán – horní vrstva



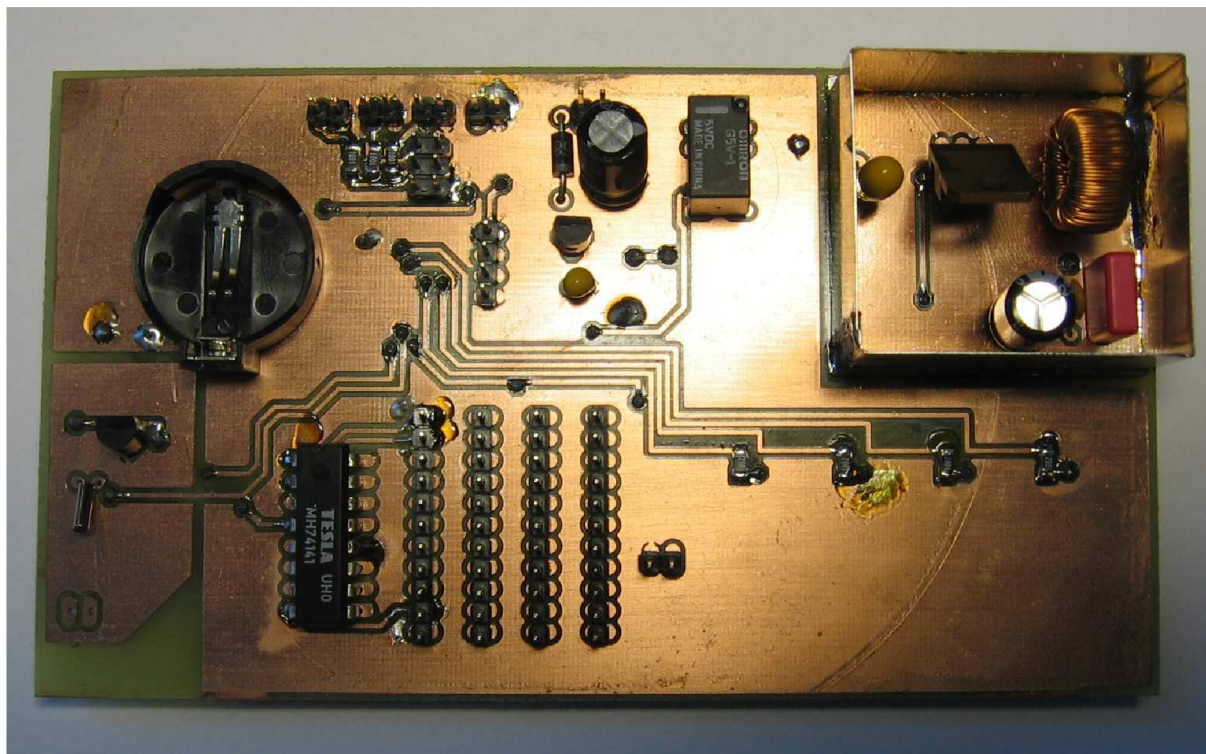
Osazovací plán – spodní vrstva

Příloha D: Seznam součástek

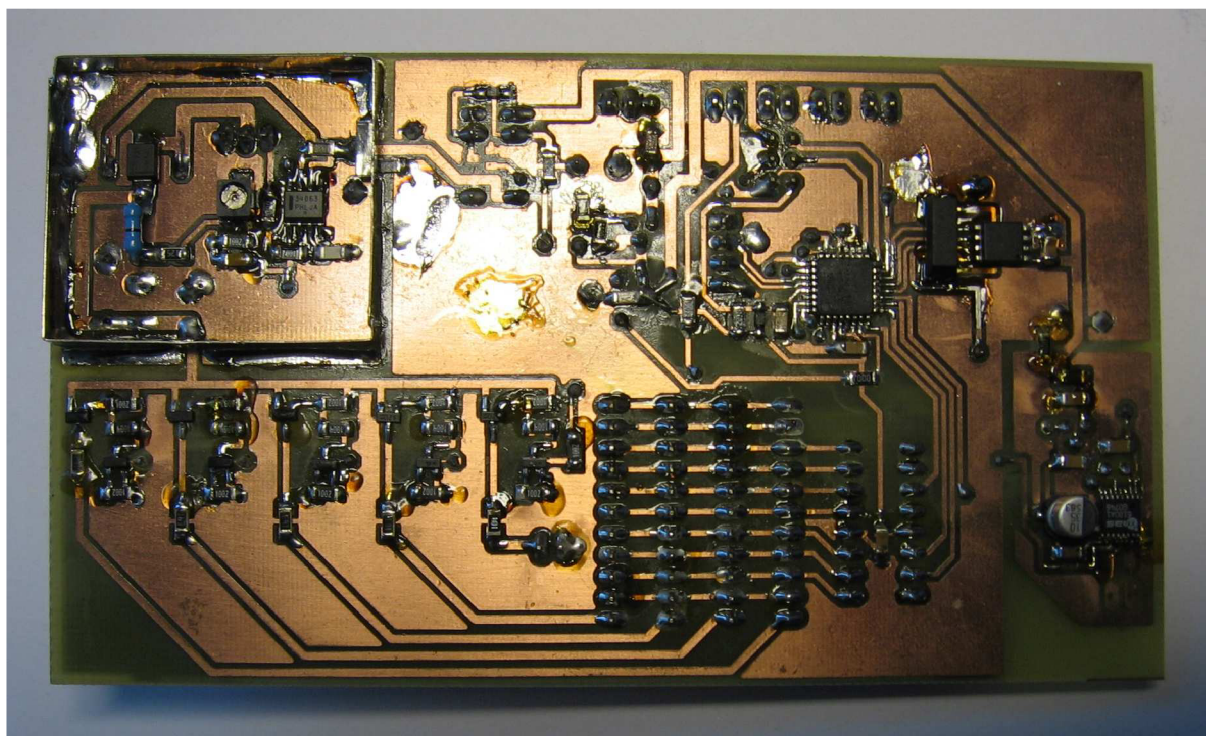
Množství	Hodnota	Název součástky	Značka součástky
5		SMBTA42	T1, T3, T5, T7, T9
4		PINHD-1X11	JP12, JP13, JP14, JP15
1	0R	R-EU_0204/5	R41
5	0R	R-EU_R1206	R38, R39, R40, R42, R43
5	1M0	R-EU_R1206	R9, R14, R19, R24, R29
2	1M2	R-EU_R1206	R1, R3
2	1N4148	DIODE-SOD323-W	D3, D4
1	1N5819	DIODE-DO41-10	D1
1	1R0	R-EU_R1206	R6
3	1k	R-EU_R1206	R34, R35, R36
1	1k0	R-EU_R1206	R7
1	1k6	R-EU_R1206	R33
1	1m	FASTRON_INDUCTORTOROID	L1
1	1n0	C-EUC1206	C4
1	4n7	C-EU050-025X075	C20
1	4u7	CPOL-EUE5-8.5	C5
1	4u7	L1206	L2
18	10k	R-EU_R1206	R2, R4, R8, R10, R11, R13, R15, R16, R18, R20, R21, R23, R25, R26, R28, R30, R31, R37
1	10n	C-EUC1206	C21
1	10u	CPOL-EU153CLV-0505	C8
1	10u	CPOL-EUE2,5-6E	C10
1	12V	PINHD-1X2	JP1
5	16k	R-EU_R1206	R12, R17, R22, R27, R32
1	33n	C-EUC1206	C6
1	47n	C-EUC1206	C7
1	91SMX	91SMX	XTAL1
1	100n	C-EU075-032X103	C3
9	100n	C-EUC1206	C1, C2, C11, C12, C15, C16, C17, C18, C19
1	200k	RTRIMM	R5
1	470u	CPOL-EUE5-10.5	C9
1	74141N	74141N	IC5
1	Antena	PINHD-1X2	JP2
1	CR2032	SN2032	BAT1
1	DS1302	DS1302SO8	IC2
1	Dvojtecka	PINHD-1X2	JP6
1	G5V1	G5V1	K1
1	IRF830	PMOSFET_NTO220BV	Q1
1	ISP	PINHD-2X3	JP3
1	Indikace_LED	PINHD-1X2	JP8
1	LM317	LM317L	IC4
1	LP2950CZ-3.3	LP2950CZ-3.3	IC6
1	MAS6180	MAS6180	IC7
1	MC34063AD	MC34063AD	IC3
1	MEGA8-AI	MEGA8-AI	IC1
5	MPSA92	SMBTA92	T2, T4, T6, T8, T10
1	MURS160T3	MURS160T3	D2
1	NDS331N	NDS331N	T11

Množství	Hodnota	Název součástky	Značka součástky
1	Q77.5kHz	CRYSTALTC26V	Q6
1	TL_1	PINH-1X2	JP9
1	TL_2	PINH-1X2	JP11
1	TL_3	PINH-1X2	JP10
1	TWI	PINH-1X4	JP4

Příloha E: Desky plošných spojů po osazení



Vrchní strana DPS – finální podoba



Spodní strana DPS – finální podoba

Příloha F: Celkový vzhled zařízení



Tělo hodin – pohled zepředu



Tělo hodin – pohled zezadu