



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFOMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

DIGITÁLNÍ PODRUŽNÉ HODINY

DIGITAL SECONDARY CLOCK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN HORTVÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MARADA Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Hortvík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Applikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Digitální podružné hodiny

v anglickém jazyce:

Digital secondary clock

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podružné hodiny analogové, nebo digitální řady jsou hodiny určené k zobrazení času. Ke své činnosti potřebují mateční hodiny, se kterými tvoří systém jednotného času. Cílem práce je navrhnout a realizovat generátor minutových impulsů včetně napájecího zdroje pro řízení digitálních podružných hodin Pragotron.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se s problematikou použití podružných hodin.
2. Navrhněte elektroniku pro generování minutových impulsů včetně zdroje pro napájení hodin.
3. Navrženou elektroniku realizujte.
4. Demonstrujte funkčnost realizovaného řešení.

Seznam odborné literatury:

[1] <http://www.pragotron.sk/content/ipj0612/navod.pdf>

[2] <http://www.zajic.cz/podruzne/podruzne.htm>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 17.11.2013

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace elektroniky pro řízení digitálních podružných hodin. Úvodní část práce je zaměřena na seznámení se s problematikou použití podružných hodin. Následně se práce zabývá návrhem elektroniky pro generování minutových impulsů. První částí návrhu je zajištění správné velikosti napětí a polaritu impulsu. Přesné časování impulsů je zajištěno dvojicí řídicích obvodů, mikrokontroléru Atmega8 a obvodu reálného času. V poslední části práce je popsán postup realizace elektroniky provedením schématu, návrhem a výrobou plošného spoje, oživením jednotlivých částí a implementací modulu dovnitř krabičky.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design and implement control electronics for digital secondary clocks. The first part is focused on familiarization with the issue of the use of secondary clocks. Subsequently, the work deals with the design of electronics for generating minute pulses. The first part of the proposal is to ensure the correct voltage size and polarity of pulse. The exact timing pulses are provided by a pair of control circuits, Atmega8 microcontroller and RTC. The last part describes the procedure of realization of electronics by making schema, design and manufacture PCB, circuit revive and the implementation of the module into case.

KLÍČOVÁ SLOVA

AVR, Atmel, Atmega8, DC/DC měnič, H-můstek, I₂C, LM2577, mikrokontrolér, obvod reálného času, plošný spoj

KEYWORDS

AVR, Atmel, Atmega8, DC/DC converter, H-bridge, I₂C, LM2577, microcontroller, RTC, PCB

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího a s použitím uvedené odborné literatury.

V Brně, dne.....

podpis.....

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORTVÍK, M. *Digitální podružné hodiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Tomáši Maradovi Ph.D. za odbornou pomoc a další cenné rady při vytváření této bakalářské práce.

OBSAH:

1	Úvod	13
2	Systém jednotného času.....	15
2.1	Charakteristika a použití	15
2.2	Historie	15
2.3	Princip činnosti	15
2.4	Hlavní hodiny	16
2.4.1	Historické hlavní hodiny	17
2.4.2	Moderní hlavní hodiny	17
2.5	Podružné hodiny	18
2.5.1	Analogové podružné hodiny	18
2.5.2	Digitální podružné hodiny.....	18
2.6	Digitální podružné hodiny Pragotron IPJ 0612	20
2.6.1	Štítkové parametry	20
3	Návrh elektroniky	21
3.1	Základní informace a požadavky.....	21
3.2	Měniče napětí	21
3.2.1	Princip činnosti zvyšujícího měniče.....	22
3.2.2	Zapojení s obvodem MC34063	22
3.2.3	Zapojení s obvodem LM2577-ADJ.....	24
3.3	Měnič polarity.....	27
3.4	Řídící obvody	29
3.4.1	Mikrokontrolér Atmega8.....	29
3.4.2	Obvod reálného času PCF8583	30
3.4.3	Propojovací rozhraní I ² C	30
3.4.4	Programovací rozhraní SPI	31
4	Realizace elektroniky	33
4.1	Schéma zapojení	33
4.1.1	Měnič napětí	33
4.1.2	H-můstek	34
4.1.3	Řídící obvody	34
4.2	Návrh desky plošného spoje	36
4.3	Výroba a osazení desky plošného spoje	37
4.3.1	Předloha plošného spoje.....	38
4.3.2	Osvit a vyvolání	38
4.3.3	Leptání a chemické ošetření	39
4.3.4	Vrtání a osazení	40
4.4	Programování firmwaru.....	41
4.4.1	Programátor USBasp.....	42
4.4.2	Programovací software.....	43
4.5	Oživení modulu	43
4.6	Implementace modulu do krabičky	44
4.7	Funkčnost chodu podružných hodin.....	44
5	Závěr	45
6	Seznam použité literatury	47

1 ÚVOD

Systém jednotného času je v hojné míře využíván v budovách či komplexech většího rozsahu, kdy je vyžadováno zobrazení jednotné a přesné informace o aktuálním čase. Příkladem mohou být různé veřejné administrativní budovy, nemocnice, nádraží, školy a podobně.

Tato bakalářská práce vznikla za účelem znovu zprovoznění digitálních podružných hodin Pragotron od společnosti Jednotný čas, v dnešní době známou pod názvem Elektročas. Tyto hodiny byly používány v raných počátcích provozu výškové budovy A1 Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně. Špatný technický stav budovy a především její ohromná energetická náročnost, zejména v zimních měsících, si na konci roku 2012 vyžádaly její celkovou rekonstrukci. Probíhající stavební úpravy si vyžádaly vyklizení celého objektu, a to včetně veškerých zařízení. Z mnoha zastaralých věcí určených k likvidaci byly uchovány digitální podružné hodiny, které nebyly v provozu již řadu let. V dnešní době tyto hodiny představují sběratelskou zajímavost, kterou lze při troše štěstí sehnat pouze na aukčních serverech.

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat modul pro řízení podružných hodin, aby sloužily jako živoucí zajímavost pro studenty o zobrazovacích zařízeních času z dob minulého století.

Úvodní část práce tvoří seznámení se se systémem jednotného času společnosti Elektročas, specifikacemi jejich širokého portfolia a v neposlední řadě použitím těchto systémů v praktickém nasazení. Další část práce se zabývá návrhem elektroniky pro generování minutových impulsů. Tento úsek v sobě zahrnuje návrh řídicích obvodů pro zajištění přesného časování impulsů. Základ časování tvoří zapojení mikrokontroléru Atmega8 s obvodem reálného času PCF8583. Oboustranná komunikace řídicích obvodů probíhá po sběrnici I²C. Dále je nutné zajistit správnou velikost a polaritu impulsů, čehož je dosaženo pomocí zvyšujícího měniče napětí a tranzistorového H-můstku. Dalším krokem práce je realizace provedeného návrhu, čímž se rozumí navržení a výroba desky plošného spoje, oživení jednotlivých částí zapojení a následná implementace výsledného modulu do krabičky o vhodném rozměru.

2 SYSTÉM JEDNOTNÉHO ČASU

2.1 Charakteristika a použití

Systémy jednotného času (časoměrné soustavy) jsou určeny k zobrazování synchronizovaného času skrze podružná zařízení. Tato zařízení se nazývají podružné hodiny a jsou řízeny polarizovanými elektrickými impulsy generovanými hlavními hodinami.

Tyto systémy nalézají své uplatnění především v budovách většího rozsahu či komplexu budov. Zajišťují jednotnou a přesnou informaci o aktuálním čase pro velké množství lidí ve veřejných budovách či venkovních prostranstvích. Jejich výskyt je rozšířen zejména v administrativních budovách, zdravotnických zařízeních (nemocnice, ordinace, kliniky), školách a jiných vzdělávacích institucích, dopravních uzlech (autobusová a vlaková nádraží, letiště), podnicích, sportovištích, kostelních věžích, nákupních centrech a podobně. Časová informace je vyjadřována pomocí podružných hodin, kterých existuje mnoho druhů.

Další možností rozšíření je použití zařízení zvukové signalizace (zvonění na začátku a konci vyučování, oznamování začátku a konce pracovních směn aj.). Taktéž lze řídit zařízení na kontrolu docházky zaměstnanců do práce, nebo časové ovládání chodu různých strojů.

2.2 Historie

Počátky systému jednotného času se datují na konec roku 1839 patentem německého fyzika Carla Augusta von Steinheila. Na území bývalého Československa se výrobě těchto systémů věnovala společnost Jednotný čas (dnes Elektročas). V počátcích byla cena systému vysoká, tudíž byl používán pouze v nejvýznamnějších budovách. K širokému rozšíření došlo až ve druhé polovině 20. století při rozvoji průmyslové a dopravní infrastruktury [1].

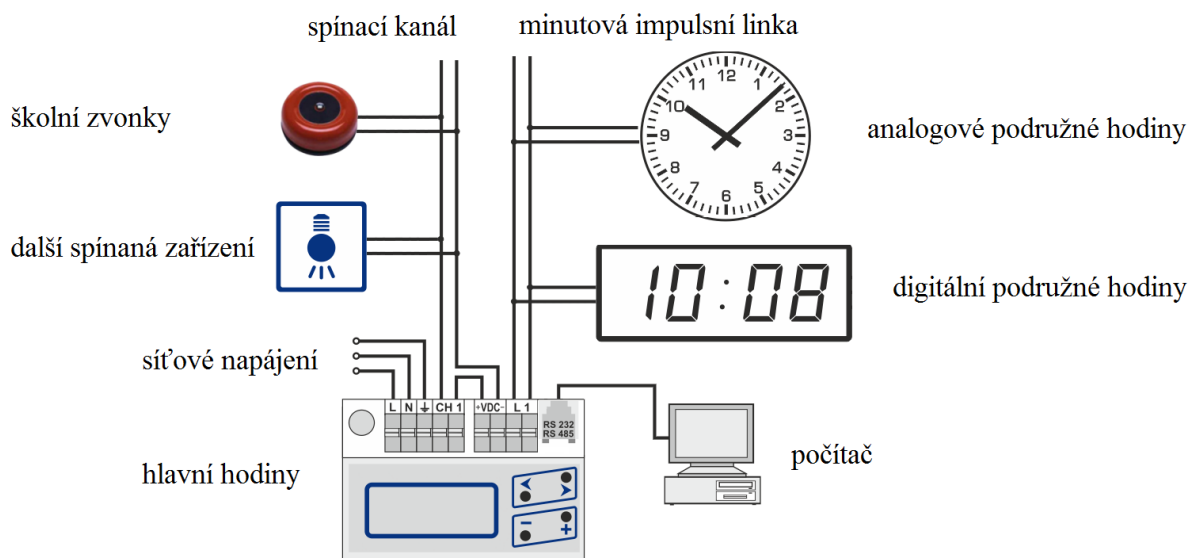
2.3 Princip činnosti

Hlavním prvkem časoměrné soustavy jsou hlavní hodiny, jinak nazývané jako mateční hodiny nebo řídicí hodiny. Slouží jako generátor řídicích impulsů pro všechny podružné hodiny připojené na tzv. podružné lince, což je dvoužilové vedení. Ukázka schématu zapojení systému jednotného času je zobrazeno na *obr. 1*.

Po lince podružných hodin jsou pravidelně přenášeny krátké polarizované elektrické impulsy o stanovené velikosti napětí. Polarizované se rozumí tak, že se mění polarita výstupního napětí při každém dalším impulsu.

V praxi se běžně vyskytují hodnoty napětí impulsu: 6 V, 12 V, 24 V a 60 V. Nejčastější hodnotou napětí impulsů je 24 V. Pro zvláště rozsáhlé podniky nebo komplexy budov se používá napětí impulsů 60 V, kde při značných délkách linek dochází k úbytku napětí. Při vyšším počtu podružných hodin můžeme klesající napětí kompenzovat pomocí tzv. linkových rozvaděčů, které pomocí vlastního zdroje napájení replikují polarizovaný impuls do dalších připojených podružných linek. K této lince lze připojit takový počet podružných hodin, kolik je uvedeno v parametrech hlavních hodin (jednotky až stovka zařízení). Linka se podle potřeby může postupně větvit a lze k ní připojit podružné hodiny stejného nebo různého typu.

Základní částí strojku každých podružných hodin je elektrická cívka s elektromagnetickým rotorem, který se díky střídající se polaritě při každém z impulsů pootočí, čímž uvede do pohybu mechanismus ovládající chod hodin [1][2].



Obr. 1 Schéma zapojení hlavních hodin s podružnými zařízeními systému jednotného času [3].

2.4 Hlavní hodiny

Jak již bylo zmíněno výše, hlavní hodiny jsou řídicím prvkem časoměrné soustavy. Postupem času se nároky na funkcionalitu zvyšovaly, a proto byly učiněny kroky k jejich modernizaci.

Jednou z modernizací byla možnost připojení záložního zdroje napájení pro zajištění chodu linky i při výpadku síťového napětí. Při výpadku delším než životnost záložního zdroje se mohl uplatnit tzv. střadač impulsů, který zabrání ztrátě časové informace. Výstupní linka však během toho není v chodu. Po obnovení napájení hodiny „dokrokuji“ na správný čas. Další z funkcí je samotné zrychlené nastavení správného času, kdy jsou impulzy posílány cca 2-3 sekundy po sobě. Dále přibývaly následující funkce: programové spínací okruhy, nastavování různých režimů, půlminutové a sekundové impulsy, přijímač rádiového signálu DCF (automatický přechod zimní - letní čas), příjem signálu GPS, připojení teploměru, distribuce času přes Ethernet/LAN, bezdrátová distribuce času (skrze speciální přijímací modul) a mnohé další [2][3][4].

Mezi základní parametry hlavních hodin patří:

- napájecí napětí (220 V/50 Hz)
- napětí výstupních polarizovaných impulsů (12 V, 24 V, 60 V)
- šířka minutových (případně sekundových) impulsů (0,4 až 3,5 s)
- výstupní napětí signálních okruhů (nejčastěji 75 V)
- maximální zatížení linky (200 mA až 2 A)
- maximální počet podružných hodin na lince (až 100)
- počet signálních okruhů, výstupních linek
- vestavěný zálohovací zdroj (ano, ne)
- vestavěný střadač impulsů (ano, ne)
- maximální odchylka hodin (0,1 s za 24 hod.)
- maximální a klidový příkon (5 VA, 70 VA)
- rozměry, hmotnost, provozní teplota, teplota skladování

2.4.1 Historické hlavní hodiny

K pohonu podružných hodin a signalizaci ve velkých průmyslových závodech a tehdejších veřejných budovách a ústavách se dodávali tzv. ústřední hodiny. Do konce 70-tých let 20. století byly kyvadlové, poté elektronické. Základními částmi byly generátor minutových impulsů a výkonové linkové spínače. První část byla tvořena dvojicí elektronických hodin, jejichž chod byl vzájemně zálohován. Srdcem časování impulsů byl krystalový oscilátor s pracovním kmitočtem 100 kHz. Následně byl tento kmitočet dělen obvody TTL. Impulsy byly zesilovány linkovými spínači a vyvedeny na výstup minutové linky [4].



Obr. 2 Hlavní hodiny Pragotron EH 40 společnosti Jednotný čas [4].

2.4.2 Moderní hlavní hodiny

S příchodem mikroprocesorové techniky nastal také rozvoj hlavních hodin. Nový dvoumikroprocesorový systém nabízí řízení linky pro podružné hodiny s minutovým, půlminutovým nebo sekundovým strojkem. Mezi další inovace patří ovládání nezávislých signálních okruhů. Systém je přizpůsoben pro řízení školních zvonků nebo kdekoli jinde, kde je požadováno programové spouštění. Mikroprocesor dále zajišťuje napěťovou a proudovou ochranu výstupních linek (zamezení zkratu, přetížení). Programování režimů přímo na panelu hodin je snadné a uživatelsky přívětivé. Data jsou ukládána do paměti EEPROM, která se uchovává minimálně 10 let bez jakéhokoli napájení. Při výpadku síťového napájení je reálný čas (skutečný, běžící) udržován mikroprocesorem s nízkou spotřebou po dobu 3 dnů. Po tuto dobu je tento mikroprocesor napájen záložním zdrojem. Modernější typy mohou zajišťovat časovou synchronizaci osobních počítačů, síťových serverů a jiných zařízení. Komunikace přes počítač probíhá přes sériový interface RS232 / 485 [5].



Obr. 3 Hlavní hodiny SAH 72 společnosti Elektročas [5].

2.5 Podružné hodiny

Podružné hodiny jsou zařízení pro zobrazování synchronizovaných časových údajů. Pro svoji činnost vyžadují hlavní hodiny, na které jsou paralelně připojeny přes podružnou linku. Vnitřní hodinový strojek podružných hodin je ovládán přes polarizované impulsy o určité velikosti, které zajistí posunutí časového údaje o jednotku dopředu. Spotřeba podružných hodin se odvíjí podle použité cívky a pohybuje cca od 5 mA do 10 mA.

Podle místa použití je můžeme rozdělit na exteriérové a interiérové. Provedení exteriérových verzí je odolné vůči působení klimatických podmínek (větru a deště) pevným kovovým pláštěm. Setkáváme se s nimi v dopravních uzlech (autobusová a vlaková nádraží), sportovištích, náměstích a veřejných prostranstvích. Podle způsobu zobrazování je rozdělujeme na analogové a digitální [6].

2.5.1 Analogové podružné hodiny

Jedná se o klasické zobrazovače času (ciferník s ručičkami). Existuje mnoho variant kulatých a čtvercových, od jednostranných nástěnných až po čtyřstranné sloupové. Nabízejí možnost přídavného osvětlení ciferníku pro zajištění čitelnosti v nočních hodinách. Jedna z často používaných variant je zobrazena na obr. 4a. Přivedený polarizovaný impuls vytváří prostřednictvím cívky a elektromagnetu rotační pohyb, který je přenášen ozubenými převody na středové osy ovládající samostatně chod minutové a hodinové ručičky. Hodinový strojek starší výroby společnosti Jednotný čas je zobrazen na obr. 4b [6].



Obr. 4 a) Analogové podružné hodiny; b) hodinový strojek analogových podružných hodin [6][7]

2.5.2 Digitální podružné hodiny

Digitální podružné hodiny umožňují snadnější odečtení času, protože není nutné vyhodnocovat čas podle polohy ruček jako u klasických hodin s ciferníkem.

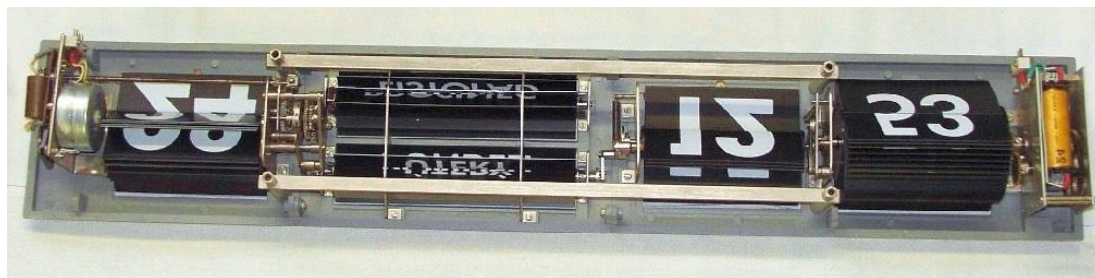
Mechanismus hodin je složen ze dvou překlápěcích listových segmentů (hodinového - 24 listů a minutového - 60 listů) a hodinového strojku skládajícího se z elektrické cívky s elektromagnetem, rotoru a ozubených převodů. Každý z překlápěcích listových segmentů se skládá ze dvou shodných plastových kol. V perforovaných okrajích těchto kol jsou uchyceny jednotlivé překlápěcí listy z černého plastu nebo z hliníkového plechu obsahující vždy vrchní polovinu jednoho zobrazovaného čísla na jedné straně a spodní polovinu chronologicky následujícího čísla na straně druhé. Uchycení vrchního z aktuálně zobrazených listů ve svislé

poloze je v každém ze segmentů zabezpečené plechovým jazýčkem. Manuální nastavení zobrazeného časového údaje na minutovém segmentu umožňuje osa s plastovým kolečkem vyvedena na pravé straně hodin.

Společnost Jednotný čas ve svém sortimentu digitálních podružných hodin nabízí kromě jednoduchých listových hodin také varianty zobrazující názvy dnů v týdnu, kalendář (datum, měsíc a název dne v týdnu) i sekundový údaj. Čelní panel hodin s kalendářem je zobrazen na *obr. 5*. Vnitřní mechanismus je na *obr. 6*. V pravé části je umístěna cívka s elektromagnetem. Z ní vycházející rotor otáčí složitým mechanismem a překlápá segmenty umístěné v 5 - ti řadách [6][9].



Obr. 5 Čelní panel digitálních podružných hodin CPJ 061/1 [9]



Obr. 6 Vnitřní mechanismus digitálních podružných hodin CPJ 061/1 [9]

V dnešní době již překlápěcí segmenty nahrazují LED hodiny a informační panely zobrazující navíc například datum a teplotu nebo v případě informačních panelů mnoho dalších informací. Displej je složen z vysoce svítivých oválných LED diod v červené, zelené, žluté, modré nebo bílé barvě a zaručuje výbornou čitelnost ze všech úhlů pohledu a také v přímém slunečním světle. Režim zobrazení lze přepínat pomocí infračerveného dálkového ovládání. Na *obr. 7* jsou zobrazeny moderní digitální podružné hodiny [10].



Obr. 7 Moderní digitální podružné hodiny společnosti MobaTime řady CD [10]

2.6 Digitální podružné hodiny Pragotron IPJ 0612

Tyto hodiny nacházely své uplatnění v interiéru budovy A1 Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně. V posledních letech již nebyly v provozu, ale jejich funkčnost je stále zachována. Pohled na přední stranu hodin bez plexiskla a levé plastové krytky je zobrazen na obr. 8.

Uvedený typ patřil k nejrozšířenějším, a to především díky elegantnímu vzhledu a snadno čitelným časem. Tyto hodiny byly posledním vyráběným typem využívající technologii překlápěcích listů. V roce 2007 byla trvale ukončena výroba listových hodin značky Pragotron [11].

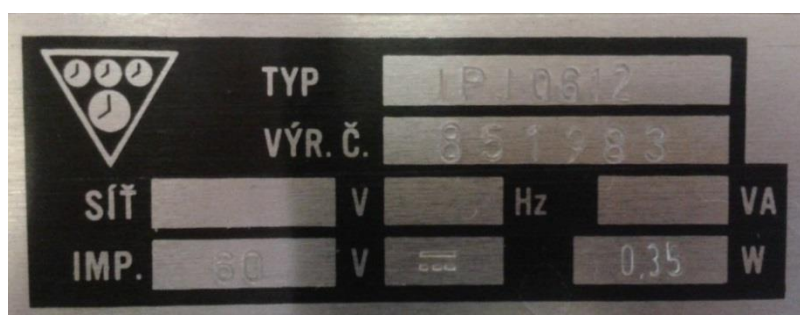


Obr. 8 Digitální podružné hodiny Pragotron IPJ 0612

2.6.1 Štítkové parametry

Údaje odečtené z výrobního štítku hodin na zadní straně přístroje (viz obr. 9):

- Typ: IPJ 0612
- Výrobní číslo: 851983
- Impuls: 60 V stejnosměrného napětí
- Příkon: 0,35 W



Obr. 9 Výrobní štítek zařízení

3 NÁVRH ELEKTRONIKY

3.1 Základní informace a požadavky

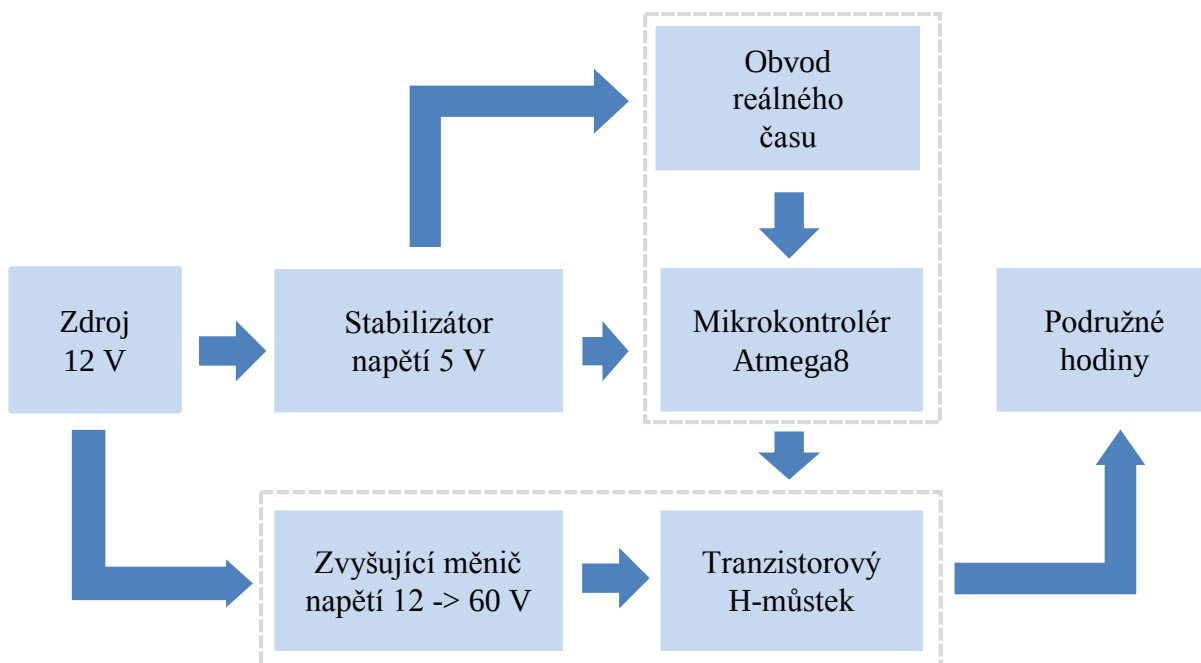
Při řešení návrhu řídicí elektroniky se vycházelo z dostupných parametrů podružných hodin a ze zadání práce. Z údajů na štítku bylo zjištěno, že správný impuls musí mít velikost 60 V stejnosměrného napětí a při každém dalším kroku musí být polarita impulsu změněna. Jak plyne ze zadání a z dostupných segmentů hodin (hodinových a minutových), je potřeba tento impuls generovat přesně každou minutu. Při průzkumu vnitřního prostoru hodin bylo zjištěno, že disponují dostatečným prostorem pro umístění modulu. Návrh desky plošného spoje se tedy odvíjel od dostupných rozměrů vnitřních prostor hodin. Dále bylo rozhodnuto, že výsledný modul bude napájen z laboratorního zdroje napětím 12 V.

Analýzou výše uvedených požadavků byl návrh řídicí elektroniky rozdělen na dvě části:

Výkonová spínací část – zahrnuje návrh zvyšujícího měniče napětí z 12 V na 60 V pro správnou velikost impulsu. Během návrhu byla vyzkoušena dvě zapojení a následně vybrána lepší varianta. Změnu polarity zajišťuje zapojení tranzistorového H-můstku.

Řídicí obvody – přesné časování impulsů s minutovou periodou zajišťuje mikrokontrolér Atmega8 připojený k obvodu reálného času přes dvoudrátovou sběrnici I²C. Napájení řídicích obvodů 5V bylo realizováno lineárním stabilizátorem napětí LM7805.

Propojení všech částí zapojení je zobrazeno na obr. 10.



Obr. 10 Blokové schéma návrhu řídicí elektroniky

3.2 Měníče napětí

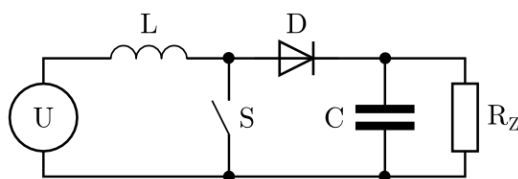
V praxi se často setkáváme s použitím stejnosměrných měničů. Mohou být zvyšující, snižující nebo invertující. Pokud má být výstupní stejnosměrné napětí vyšší než vstupní, mluvíme o zvyšujícím DC/DC měniči. Pro měniče zatížené vysokým proudovým odběrem se používají zapojení s vysokofrekvenčními transformátory. Spínané měniče pracují na různých principech, nejčastěji však na elektromagnetickém, kdy akumulujeme energii do cívky či

transformátoru. Existuje velké množství zapojení podle požadavků (galvanické oddělení, možná změna vstupního napětí bez změny výstupního aj.).

Proudový odběr podružných hodin se pohybuje v jednotkách mA, a proto bylo zvoleno co nejjednodušší zapojení [12].

3.2.1 Princip činnosti zvyšujícího měniče

Základním prvkem zapojení je spínač (tranzistor). V sepnutém stavu dochází k akumulaci energie do cívky L. V otevřeném stavu se polarita cívky L otočí a přes diodu D se nabíjí dostatečně napětově dimenzovaný kondenzátor C na napětí vyšší, než napětí zdroje U. Na zátěži R_Z se objevuje výstupní napětí, které je dáno frekvencí spínání tranzistoru (pohybuje se ve stovkách kHz). Změnou střidy tedy regulujeme výstupní napětí. Z toho důvodu se zavádí zpětná vazba, která má za úkol udržet konstantní výstupní napětí při změně vstupního napětí. Na obr. 11 lze vidět principiální blokové schéma zvyšujícího měniče [12].

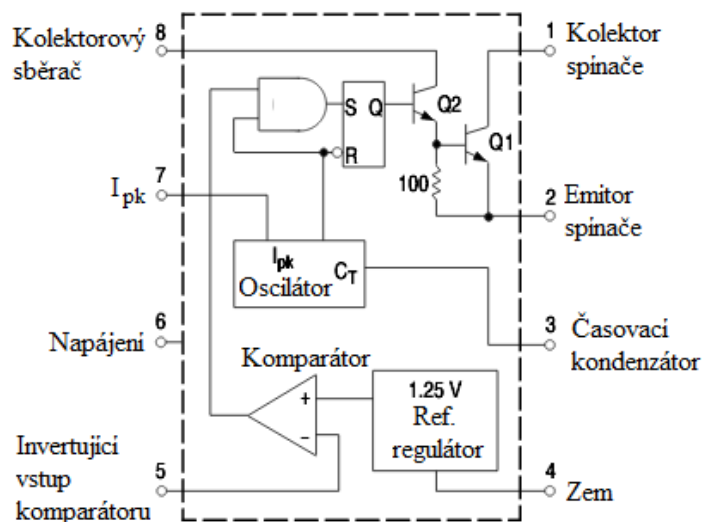


Obr. 11 Blokové schéma zvyšujícího měniče [12]

V dnešní době lze tyto měniče sehnat v podobě integrovaných obvodů. Kompletní zapojení získáme přidáním pouze malého množství součástek. Účinnost těchto měničů může dosahovat až 90% a výstupní proud jednotek A. Praktické zapojení zvyšujícího měniče bylo provedeno nejprve s integrovaným obvodem MC34063, poté kvůli nevyhovujícím poklesu napětí při zatížení bylo zvoleno zapojení s integrovaným obvodem LM2577 [12].

3.2.2 Zapojení s obvodem MC34063

Obvod MC34063 lze aplikovat ve zvyšujících, snižujících a invertujících měničích. Obsahuje teplotně kompenzovaný zdroj referenčního napětí, komparátor, oscilátor s šířkovou modulací, obvod proudového omezení, budič a výstupní spínač (blokové schéma na obr. 12) [13].



Obr. 12 Blokové schéma obvodu MC34063 [13]

Při navrhování měniče vycházíme z katalogového zapojení. Hodnoty součástek ve schématu byly vypočteny podle příslušných vzorců uvedených v katalogu integrovaného obvodu.

Uvažujeme vstupní napětí 12 V, výstupní napětí 60 V, výstupní proud 100 mA a účinnost 70 % [13].

Výkon na výstupu měniče je

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 60 \cdot 0,1 = 6 \text{ W} \quad (1.1)$$

Při účinnosti 70% je střední hodnota vstupního proudu

$$I_1 = \frac{\frac{P_2}{\eta}}{U_1} = \frac{\frac{6}{0,7}}{12} = 0,7 \text{ A} \quad (1.2)$$

Střední hodnota proudu souvisí s maximální hodnotou $I_{\max}$ a činitelem plnění $\delta = 0,5$

$$I_{\max} = 2 \cdot \frac{I_1}{\delta} = 2 \cdot \frac{0,7}{0,5} = 2,8 \text{ A} \quad (1.3)$$

Hodnota indukčnosti pro zvolenou frekvenci spínání 40 kHz

$$L = \frac{U_1}{(2 \cdot I_{\max} \cdot f)} = \frac{12}{(2 \cdot 2,8 \cdot 40 \cdot 10^3)} = 60 \text{ } \mu\text{H} \quad (1.4)$$

Vypočtená hodnota indukčnosti platí pro ideální spínač bez zpoždění. S rostoucím zpožděním stoupá proud na vyšší hodnotu, tudíž musíme zvolit vyšší hodnotu indukčnosti. Poslední údaje k zjištění jsou hodnoty rezistorů napěťového děliče ve zpětné vazbě

$$R_2 = \frac{R_1}{\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right)} = \frac{47}{\left(\frac{60}{12} - 1\right)} = 1 \text{ k}\Omega \quad (1.5)$$

Hodnota rezistoru $R_1=47 \text{ k}\Omega$ byla zvolena předem, aby řešení vyhovovalo standardně vyráběným řadám rezistorů. Frekvence oscilátoru je dána kapacitou časovacího kondenzátoru, z jehož hodnoty získáme časy sepnutí a rozepnutí spínače. Pro frekvenci 40 kHz volíme keramický kondenzátor s kapacitou $C_t=1,5\text{nF}$

$$t_{sep} = C_t \cdot \frac{0,5}{(35 \cdot 10^{-6})} = 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{0,5}{35 \cdot 10^{-6}} = 21,43 \text{ } \mu\text{s} \quad (1.6)$$

$$t_{rozep} = C_t \cdot \frac{0,5}{(200 \cdot 10^{-6})} = 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{0,5}{200 \cdot 10^{-6}} = 3,75 \text{ } \mu\text{s} \quad (1.7)$$

Výsledná frekvence

$$f = \frac{1}{t_{sep} + t_{rozep}} = \frac{1}{(21,43 \cdot 10^{-6} + 3,75 \cdot 10^{-6})} = 39714 \text{ Hz} \quad (1.8)$$

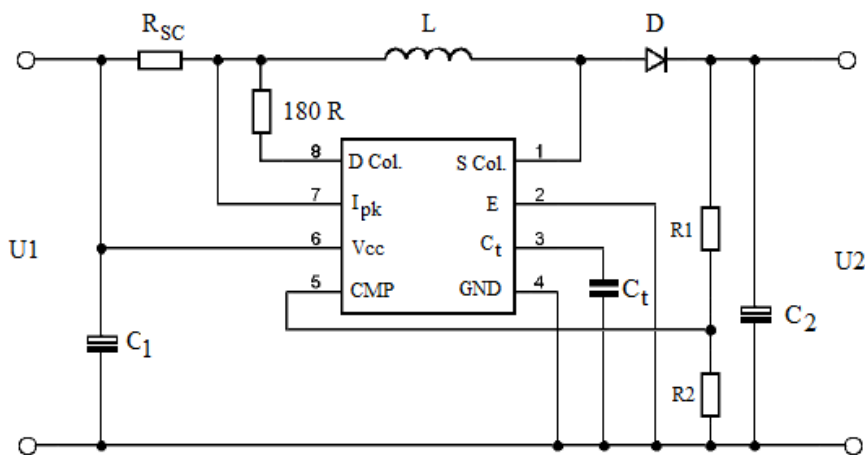
Hodnota ochranného rezistoru

$$R_{sc} = \frac{0,33}{I_{max}} = \frac{0,33}{2,8} = 0,18 \, \Omega \quad (1.9)$$

Výstupní kondenzátor (dostatečně napětově dimenzovaný) vypočteme dle požadavků na výstupní zvlnění (ideálně nulové, obvykle však 100 mV).

$$C_2 = 9 \cdot \frac{(I_2 \cdot t_{sep})}{\Delta U_2} = 9 \cdot \frac{0,1 \cdot 21,43 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 193 \, \mu F \quad (1.10)$$

Vstupní odrušovací kondenzátor C_1 je možno volit klasický keramický s kapacitou x100 nF. Z důvodu použití vysokého kmitočtu jsou kladeny nároky na rychlost diody D, která musí dostatečně rychle spínat. Volíme proto Schottkyho diody typu 1N5818 a příbuzné. Na obr. 13 je zobrazeno katalogové zapojení obvodu MC34063 s použitými součástkami [13].

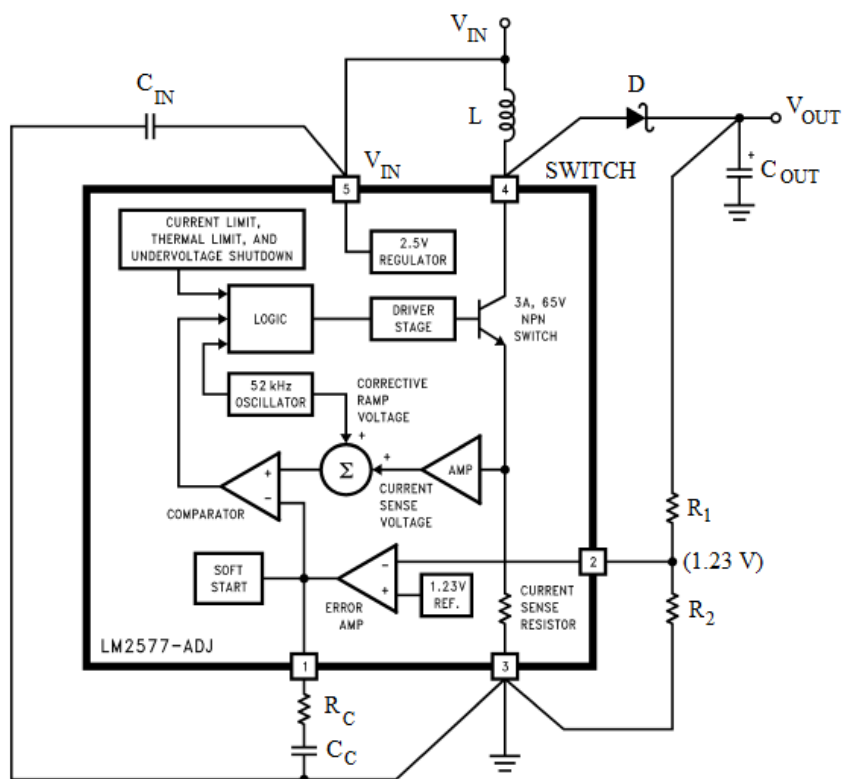


Obr. 13 Katalogové zapojení obvodu MC34063 s okolními součástkami [13]

Zapojení měniče bylo realizováno na nepájivém poli a následně proměřeno, zda a jak se mění velikost výstupního napětí při zatížení. Měřením bylo zjištěno, že při zatížení výstupní napětí velmi rychle klesá, a to až na polovinu velikosti napětí v nezatíženém stavu. Jelikož cívka uvnitř podružných hodin vyžaduje ke správnému chodu impuls o stálém napětí 60 V, byla provedena jiná konstrukce zvyšujícího měniče napětí s kvalitnějším spínacím obvodem, avšak založena na stejném principu.

3.2.3 Zapojení s obvodem LM2577-ADJ

Při konstrukci dalšího zapojení zvyšujícího měniče napětí bylo využito obvodu LM2577. Obvod se vyrábí ve verzích s pevným výstupním napětím (5V a 12V) nebo s nastavitelným výstupním napětím (ADJ – nastavitelný) v rozsahu od 1,5 V do 65 V. Konkrétně byla použita verze ADJ s výstupem 60 V. Tento obvod pracuje na principu spínaného stabilizátoru. Jeho výhodou oproti lineárním stabilizátorům je vyšší výkonová účinnost, menší tepelné ztráty a menší zvlnění výstupního napětí. Vstupní napětí je možno volit v rozsahu od 3,5 V do 40 V. Interní oscilátor pracuje na pevném kmitočtu 52 kHz. K akumulaci energie obvod využívá standartní indukční cívky. Dále disponuje tepelnou ochranou a proudovou pojistkou. Z katalogového zapojení zvyšujícího měniče napětí na obr. 14 je patrné, že zapojení pro svůj chod vyžaduje doplnění pouze osmi součástkami [14].



Obr. 14 Blokové schéma obvodu LM2577 ADJ [14]

Volba hodnot doplňujících součástek byla provedena pomocí katalogu příslušného obvodu [14]. Výpočty vychází ze stejného zadání

$$U_{VST} = 12 \text{ V}$$

$$U_{VYST} = 60 \text{ V}$$

$$I_{ZAT(max)} = 0,1 \text{ A}$$

Před zahájením výpočtů je třeba ověřit, zda lze zapojení realizovat z hodnot zadání. Musí tedy splňovat následující požadavky

$$I_{ZAT(max)} \leq \frac{2,1 \cdot U_{VST}}{U_{VYST}} \leq \frac{2,1 \cdot 12}{60} \leq 0,42 \text{ A} \quad (1.11)$$

Kde

$$U_{VYST} \leq 60 \text{ V} \quad (1.12)$$

$$U_{VYST} \leq 10 \cdot U_{VST} \leq 10 \cdot 12 \leq 120 \text{ V} \quad (1.13)$$

Výše uvedené zadání splňuje potřebné limity. Prvním krokem návrhu měniče je výpočet hodnoty indukčnosti L, začínajícím zjištěním spínacího pracovního cyklu

$$D_{max} = \frac{U_{VYST} + V_F - U_{VST}}{U_{VYST} + V_F - 0,6 \text{ V}} = \frac{60 + 0,5 - 12}{60 + 0,5 - 0,6} = 0,82 \quad (1.14)$$

kde $V_F=0,5$ pro Shottkyho diody. Minimální indukčnost cívky vychází ze vztahu

$$L_{min} = \frac{6,4 \cdot (U_{VST} - 0,6) \cdot (2 \cdot D_{max} - 1)}{1 - D_{max}} = \frac{6,4 \cdot 11,4 \cdot 0,64}{0,18} = 260 \mu H \quad (1.15)$$

Vzhledem k vypočtené hodnotě byla zvolena nejbližší vyšší indukčnost sériově vyráběných radiálních cívek 330 μH .

Volba spínací diody D je založena na požadavcích vysoké rychlosti spínání, velikosti reverzního napětí a procházejícího proudu a vhodného SMD pouzdra. K zajištění všech požadavků byla vybrána Shottkyho dioda SK210 značky Semitech.

Stabilizace regulátoru je zajištěna externím RC článkem složeným z rezistoru R_C a kondenzátoru C_C . Maximální hodnota rezistoru je určena vztahem

$$R_C \leq \frac{750 \cdot I_{ZAT(max)} \cdot U_{VYST}^2}{U_{VST}^2} \leq \frac{750 \cdot 0,1 \cdot 60^2}{12^2} \leq 1875 \Omega \quad (1.16)$$

Před určením kondenzátoru C_C musíme vypočítat minimální hodnotu výstupního kondenzátoru C_{OUT}

$$C_{OUT} \geq \frac{0,19 \cdot L \cdot R_C \cdot I_{ZAT(max)}}{U_{VST} \cdot U_{VYST}} \geq \frac{0,19 \cdot 330 \cdot 10^{-6} \cdot 1875 \cdot 0,1}{12 \cdot 60} \geq 16,4 \mu F \quad (1.17)$$

Kompenzační kondenzátor C_C zajišťuje hladký start obvodu

$$C_C \geq \frac{58,5 \cdot U_{VYST}^2 \cdot C_{OUT}}{R_C^2 \cdot U_{VST}} \geq \frac{58,5 \cdot 60^2 \cdot 16,4 \cdot 10^{-6}}{1875^2 \cdot 12} \geq 0,1 \mu F \quad (1.18)$$

Velikost výstupního napětí určují hodnoty rezistorů napětíového děliče ve zpětné vazbě

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_{VYST}}{1,23} - 1 \quad (1.19)$$

Jelikož jsou ve výsledném zapojení použity rezistory s hodnotou 1 k Ω , pro zjednodušení byla zvolena hodnota $R_2=1$ k Ω . Při dosazení do vztahu získáme hodnotu rezistoru $R_1=47$ k Ω .

Na vstupní kondenzátor C_{IN} nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky, v zapojení byl použit keramický kondenzátor s kapacitou 1 μF .

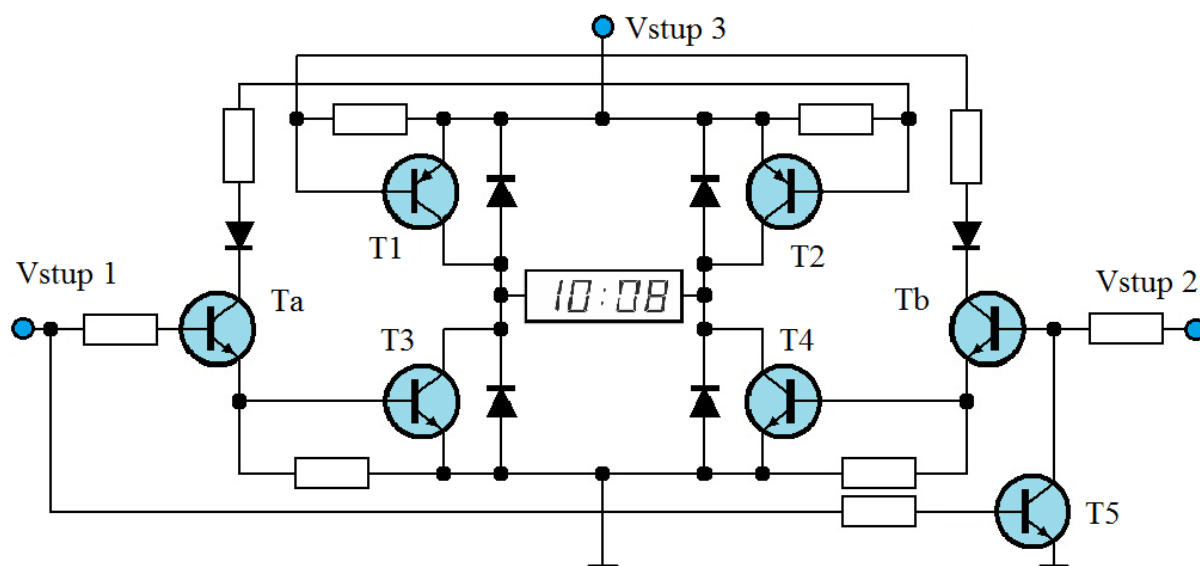
Zapojení zvyšujícího měniče s obvodem LM2577 bylo realizováno na nepájivém poli a vyzkoušena jeho funkčnost. Při zatěžování nedocházelo ke změně výstupního napětí, a to ani při spínání indukční zátěže (cívky podružných hodin). Z hlediska stability výstupního napětí je uvedené zapojení výhodnější volbou než zapojení s obvodem MC34063 (podstatně levnější varianta), a proto bylo tohle řešení zakomponováno do výsledného řídicího modulu digitálních podružných hodin.

3.3 Měníč polarity

Změna polarity napětí může být vyřešena v zásadě dvěma způsoby, a to použitím elektromagnetického relé nebo speciálního zapojení čtyř spínačů, tzv. H-můstku. První uvedené řešení je vhodné pro spínání vyšších hodnot proudu. S ohledem na dostupné místo uvnitř hodin, hlučnost spínání kontaktů a omezenou životnost relé byla dána přednost zapojení tranzistorového H-můstku, které je díky elektrické povaze problému lepším řešením.

V dnešní době lze na trhu s elektronikou nalézt velké množství integrovaných obvodů s funkcí H-můstku (např. často používaný obvod L293D), které jsou však přizpůsobeny spínání stejnosměrných elektromotorů a krokových motorů. Spínané napětí se obvykle pohybuje od jednotek po maximálně čtyři desítky voltů. Maximální proud do zátěže závisí na konstrukci obvodu, nad hodnotu 2,5 A již obvod potřebuje připevnění k externímu chladiči. Uvnitř obvodu se také nachází ochranné diody, které chrání výkonové spínací tranzistory před napěťovými špičkami indukovaného napětí, které vzniká při chodu elektromotoru.

Jelikož velikost napětí impulsu je 60 V, nelze použít žádný z dostupných integrovaných H-můstků. Pro realizaci bylo použito zapojení na obr. 15 [15].



Obr. 15 Schéma zapojení tranzistorového H-můstku [15]

Funkce H-můstku je demonstrována na obr. 15. Vstupy 1 a 2 jsou připojeny na piny řídicího mikrokontroléru Atmega8, na vstup 3 přivádíme spínané napětí 60 V a na kolektory spínacích tranzistorů T1-4 zátěž (cívku podružných hodin).

Přivedením log. 1 (5 V) na vstup 1 dojde k otevření tranzistoru Ta a následně se proudem do bází otevřou tranzistory T2 a T3. Na jednom z vývodů připojených hodin se skrze otevřený tranzistor T2 objeví spínané napětí 60 V, druhý vývod je uzemněn přes otevřený tranzistor T3. Analogicky připojením log. 1 na vstup 2 dojde k otevření tranzistorů Tb a následně i T1 a T4 – polarita spínaného napětí se vymění. Diody u tranzistorů T1-4 slouží k omezení napěťových špiček při spínání indukční zátěže.

Ze zapojení vyplývá, že přivedením log. 1 na oba vstupy 1 a 2 zároveň dojde ke zkratu zdroje spínaného napětí, což by mohlo vést k jeho poškození. Dále by nepochybně došlo k průrazu spínacích tranzistorů T1-4. Z tohoto důvodu se k základnímu zapojení přidává tranzistor T5, který se otevře přivedením log. 1 na vstup 1, čímž stáhne případné napětí na vstupu 2 k zemi, a tím zabrání zkratu [15].

Můstkové zapojení se skládá ze čtyř spínacích prvků. V použitém zapojení jsou jako spínače použity klasické bipolární tranzistory, kdy jejich sepnutí/rozepnutí řídíme proudem do báze. V praxi se běžně aplikují tranzistory MOSFET, které jsou řízeny napětím. Důvodem jejich použití je snadné ovládání a možnost vyššího zatížení.

Tranzistory Ta, Tb a T5 jsou v provedení NPN, napětí mezi bázi a emitorem je v sepnutém stavu přibližně 0,7 V. Nepřímé spínání bylo realizováno SMD tranzistory BCD846, které lze použít do 65 V (napětí kolektor – emitor). Typická hodnota zesilovacího činitele h_{FE} je přibližně 180 [16]. Tranzistory jsou připojeny na piny mikrokontroléru Atmega8 (při log. 1 disponují napětím 5 V). Před báze tranzistorů jsou zařazeny rezistory omezující protékající proud. Jejich hodnota se určí výpočtem [19].

Spínaný proud cívky podružných hodin určíme z Ohmova zákona. Naměřená hodnota odporu cívky $R=7,4\text{ k}\Omega$.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{7400} = 8,1\text{ mA} \quad (1.20)$$

Necháme prostor pro proudovou rezervu alespoň 20 mA. Nyní vypočítáme minimální bázevý proud, který je potřebný k sepnutí tranzistorů Ta, Tb a T5

$$I_{B\min} = \frac{I_{\text{spínaný}}}{h_{FE}} = \frac{0,02}{180} = 0,1\text{ mA} \quad (1.21)$$

Pro zajištění bezpečného sepnutí se v praxi používají hodnoty 5x vyšší

$$I_b = 5 \cdot I_{B\min} = 5 \cdot 0,0001 = 0,5\text{ mA} \quad (1.22)$$

Priváděné napětí z mikrokontroléru se rozdělí na rezistor a přechod báze – emitor, které činí 0,7 V. Velikost omezujícího rezistoru pak bude

$$R = \frac{U_{VYST} - U_{BE}}{I_b} = \frac{5 - 0,7}{0,0005} = 8,6\text{ k}\Omega \quad (1.23)$$

S ohledem na další rezistory v zapojení byla zvolena blízká běžně dostupná hodnota 10 k Ω .

K přímému spínání byly zvoleny SMD tranzistory BCX 53 (verze PNP) a BCX 56 (verze NPN). Umožňují spínat napětí až 80 V a typická hodnota zesilovacího činitele h_{FE} je přibližně 220 [16][17]. Tranzistory T1 a T2 přivádí spínané napětí 60 V k zátěži, musí být tedy použito PNP tranzistorů. Tranzistory T3 a T4 připojují zátěž k zemi, korektní zapojení vyžaduje použití varianty NPN. Hodnoty omezujících bázevých rezistorů vypočítáme analogicky [19]

$$I_b = \frac{I_{\text{spínaný}}}{h_{FE}} \cdot 5 = \frac{0,02}{220} \cdot 5 = 0,45\text{ mA} \quad (1.24)$$

$$R = \frac{U_{\text{spínané}} - U_{BE}}{I_b} = \frac{60 - 1,2}{0,00045} = 130\text{ k}\Omega \quad (1.25)$$

Byla zvolena nejbližší vyšší hodnota SMD rezistoru 220 k Ω . Zbylé rezistory mezi bázemi a emitory napomáhají ke správnému otevření tranzistorů.

3.4 Řídicí obvody

Spínání výkonové části modulu zajišťují řídicí obvody mikrokontrolér Atmega8 a obvod reálného času PCF8583 komunikujících přes dvoudrátovou sběrnici I₂C. Programování mikrokontroléru probíhá přes USBasp programátor.

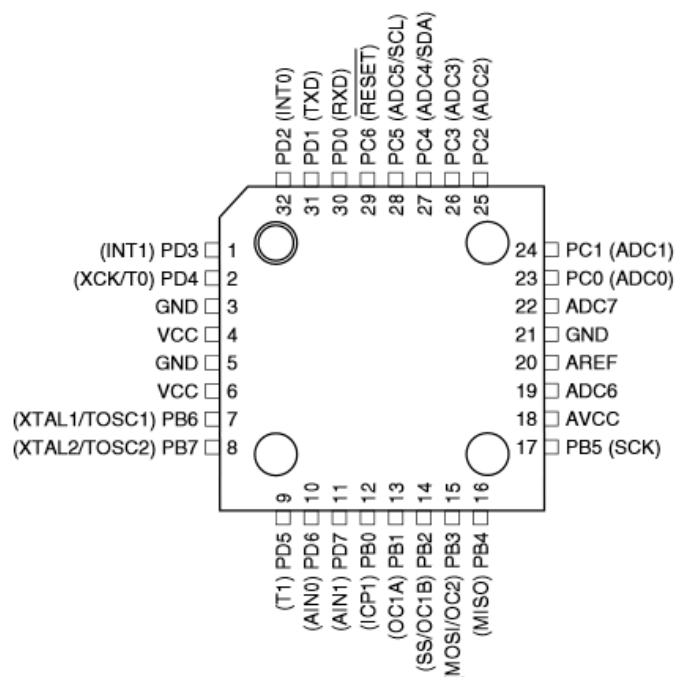
Stabilní napájecí napětí řídicích obvodů je zajištěno použitím lineárního stabilizátoru LM7805.

3.4.1 Mikrokontrolér Atmega8

Řízení spínání výkonové části provádí mikrokontrolér Atmega8 firmy Atmel. Díky nízkým nárokům na počet ovládacích pinů, za malé rozměry, výhodný poměr cena/výkon a jednoduchost programování byl vybrán tento integrovaný obvod. Základní vlastnosti [21]:

- Pracovní frekvence až 16 MHz
- 8 kB programové paměti
- 512 B paměti EEPROM
- 1 kB interní SRAM
- Dva 8 bitové čítače/časovače, jeden 16 bitový čítač/časovač
- Dvoudrátová sběrnice I₂C
- Master/Slave ISP rozhraní
- Programovatelný Watchdog
- 23 programovatelných vstupů/výstupů

Z důvodů nepřesnosti interních časovačů bylo zvoleno připojení obvodu reálného času přes sběrnici I₂C. Dále mikrokontrolér využívá ISP rozhraní k přenosu programu do vnitřní paměti. Na *obr. 16* je zobrazeno schéma s popisem pinů Atmegy8 (pouzdro TQPF).

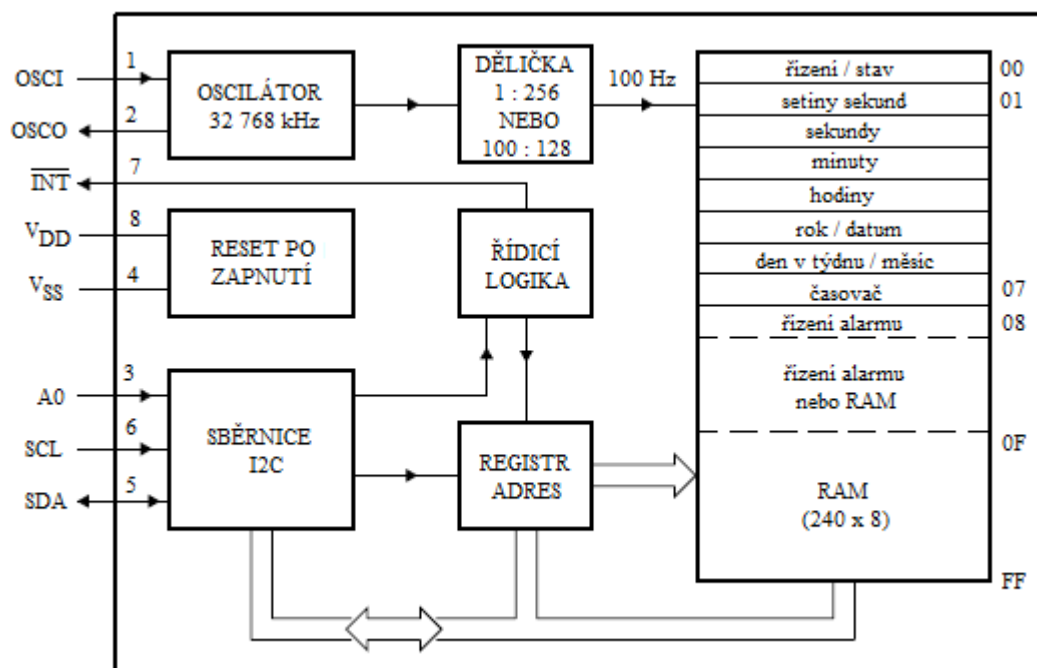


Obr. 16 Schéma mikrokontroléru Atmega8 [21]

3.4.2 Obvod reálného času PCF8583

Za účelem přesného časování byl použit obvod reálného času PCF8583. Byl zvolen pro svou jednoduchost a snadnou dostupnost. Prostřednictvím sběrnice I₂C můžeme přistupovat registrům určeným ke čtení a řízení (z paměti čteme a je umožněno ji přepsat). Jelikož podružné hodiny nepodávají informaci o aktuální pozici segmentů (nelze poznat, o kolik se časový údaj liší od nulového času), odbyla nutnost nastavení aktuálního času. Minutová perioda je získána čtením minutového registru.

Základem obvodu je statická CMOS RAM paměť o velikosti 2048 bitů, organizovaná jako 256 slov po 8 bitech. Čítání hodin a kalendáře zajišťuje prvních 8 bajtů paměti RAM a externí oscilátor o pracovní frekvenci 32 768 kHz. Dalších 8 bajtů lze použít k programování alarmových registrů. Při použití alarmů obvod informuje o dovršení nastaveného času pomocí signálu přerušení. Zbývající paměť 240 bajtů slouží jako volný paměťový prostor. Připojení k dalším zařízením obstarává dvoudrátová oboustranná komunikační sběrnice I₂C. Prostřednictvím pinu A0 lze měnit krajní bit hardwarové adresy. Tato adresa se používá při adresování konkrétních zařízení na sběrnici. Na obr. 17 je zobrazeno vnitřní blokové schéma obvodu [22].

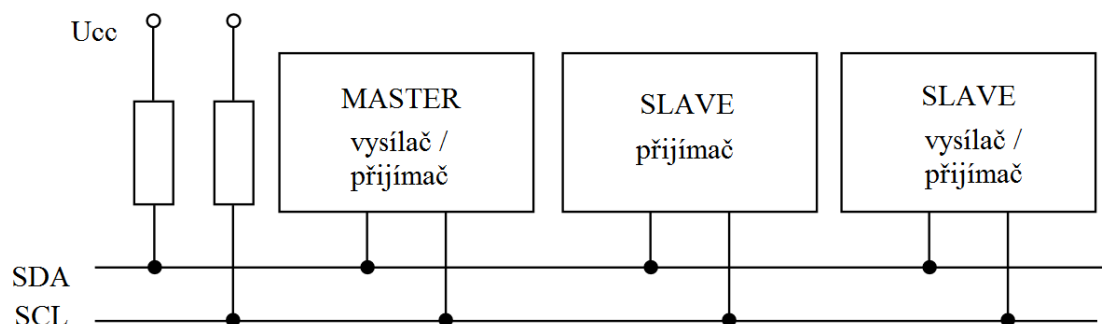


Obr. 17 Blokové schéma obvodu reálného času PCF8583 [22]

3.4.3 Propojovací rozhraní I₂C

Obousměrná komunikační sběrnice I₂C využívá dvou drátů: linka hodinového signálu SCL (Seriál Clock Line) a linku pro data SDA (Seriál Data Line). Oba dráty musí být připojeny ke zdroji kladného napětí (funkce pull-up rezistorů pro udržení log. 1 v klidovém stavu sběrnice). Komunikující zařízení mají společnou zem. Přenos dat může být zahájen pouze v klidovém stavu.

Připojená zařízení komunikují pomocí protokolu I₂C. Byl vyvinut společností Philips Semiconductors jako TWI (Two Wire Interface). Na obr. 18 jsou zobrazena zařízení připojena na komunikační sběrnici [22][23].

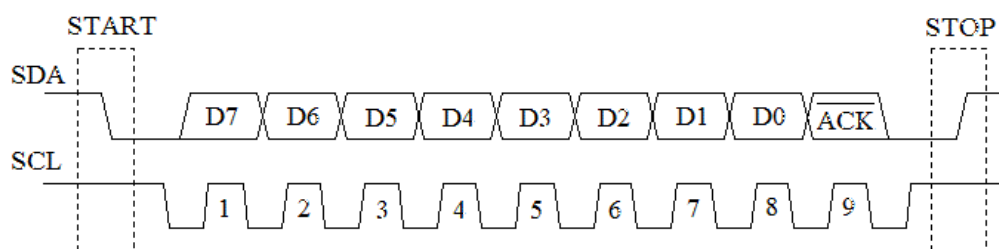
Obr. 18 Připojení zařízení na sběrnici I_2C [23]

Zařízení označované jako MASTER zajišťuje generování hodinového signálu, data mohou vysílat/přijímat oba druhy zařízení. Komunikace začíná vysláním start bitu, poté hardwarovou adresu cílového zařízení a řídicí bit 0, který určuje požadovaný směr komunikace (0 pro zápis, 1 pro čtení). Dalším krokem je vyslání potvrzujícího bitu ACK (acknowledge) z potvrzovaného zařízení. Po obdržení potvrzení probíhá přenos 8 datových bitů, které jsou na konci přenosu rovněž potvrzeny přijímacím obvodem. Komunikace končí vysláním stop bitu.

Start bit – přechod z klidového stavu (log. 1) do log. 0 na datové lince SDA při log. 1 hodinového signálu SCL.

Stop bit – přechod z log. 0 na log. 1 na datové lince SDA při log. 1 hodinového signálu SCL.

Potvrzovací bit ACK – přijímací obvod vysílá potvrzení o příjmu nízkou úrovní log. 0 na lince SDA, dokud vysílací zařízení nevyšle devátý hodinový impuls na lince SCL. Průběh komunikace na sběrnici je zobrazen na obr. 19 [22][23].

Obr. 19 Komunikace zařízení na sběrnici I_2C [23]

Adresaci konkrétního zařízení zajišťuje unikátní hardwarová adresa, která je specificky daná a z části proměnná (nastavovací pin A0 u obvodu reálného času). Na jedné sběrnici může být připojeno až 8 součástek stejného typu. Pracovní kmitočet sběrnice je 100 kHz [22][23].

3.4.4 Programovací rozhraní SPI

Programování mikrokontroléru Atmega8 umístěného přímo na desce plošného spoje je prováděno přes SPI rozhraní (Seriál Peripheral Interface). K tomuto účelu slouží ISP programátory (In System Programming).

4 REALIZACE ELEKTRONIKY

4.1 Schéma zapojení

K provedení schématu zapojení a následného návrhu desky plošného spoje byl použit editor spojů EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) společnosti CadSoft. Tato aplikace slouží ke tvorbě schémat a návrhu spojů, vše ovládáno z jednoho uživatelského prostředí.

Již od základní verze obsahuje velké množství knihoven součástek (klasická i SMD provedení pouzder), které lze dodatečně upravovat (měnit rozměry pájecích plošek, průměry děr, rozestupy mezi piny atd.). Taktéž lze navrhovat vlastní součástky.

Software umožňuje export vytvořených schémat a návrhu spojů pomocí CAM procesoru, kde lze nastavit parametry pro tisk nebo instrukce pro plotry či vrtačky.

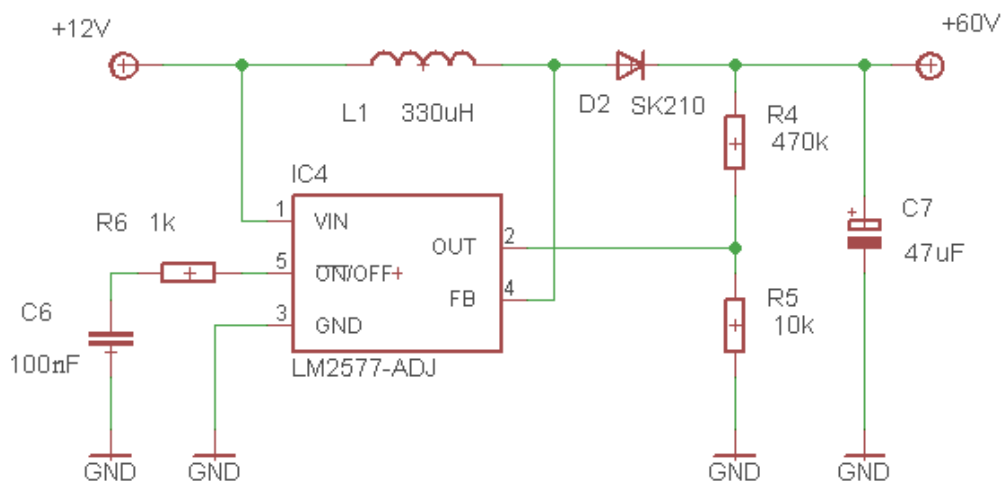
Byla použita freeware verze programu EAGLE Light, která má oproti plné verzi některá omezení. Jsou to [24]:

- Velikost plochy PCB je omezena rozměrem maximálně 100 x 80 mm
- Použití pouze dvou signálových vrstev spojů (spodní a vrchní)
- Tvorba schémat pouze v jednom listu

4.1.1 Měnič napětí

Schéma zapojení zvyšujícího měniče bylo provedeno podle katalogu spínaného stabilizátoru LM2577 [14]. Vypočítané hodnoty externích součástek (rezistory a kondenzátory) byly vhodně upraveny, aby se v zapojení nevyskytovalo velké množství různých hodnot.

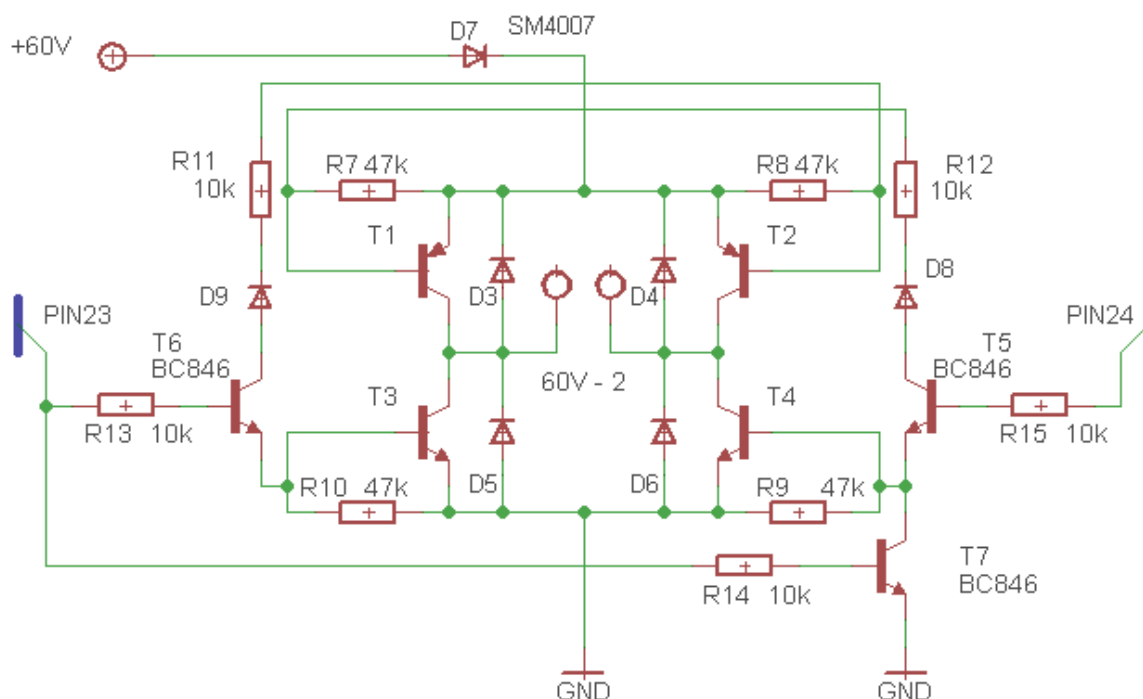
Vstupní napětí modulu 12 V je přivedeno na vstup spínaného stabilizátoru IC4 a cívku L1 (radiální provedení). Stabilizační RC člunek je tvořen rezistorem R6 a kondenzátorem C6 (oba v SMD provedení 0805). Spínací Shottkyho dioda D2 má pouzdro DO214AA. Zpětná vazba je tvořena rezistory R4 a R5 (SMD 0805). Kondenzátor C7 k vyhlazení zvlnění výstupního napětí byl zvolen v radiálním provedení.



Obr. 20 Schéma zapojení zvyšujícího měniče napětí

4.1.2 H-můstek

Na obr. 21 je zobrazeno schéma zapojení tranzistorového H-můstku. Základ tvoří čtveřice tranzistorů T1-4 (PNP verze BCX 53, NPN verze BCX 56), které ovládají polaritu na výstupních svorkách 60V - 2. Vstupní spínané napětí 60 V je přivedeno na emitory PNP tranzistorů T1 a T2 přes ochrannou diodu D7. Mezi kolektory a emitory T1-4 jsou diody D3-6 k omezení napětíových špiček při spínání indukční zátěže. Byly zvoleny klasické diody typu 4007. Ke spolehlivému otevření tranzistorů jsou mezi jejich báze a emitory zapojeny rezistory R7-10 o velikosti 47 k Ω . Samotné otevírání tranzistorů T2 a T3 zajišťují omezující rezistory R11 a R13, ochranná dioda D9 a tranzistor T6. Analogicky, otevírání tranzistorů T1 a T4 zajišťují rezistory R12 a R15, dioda D8 a tranzistor T5. Přívod napětí 5 V na piny PIN23 a PIN24 obstarává mikrokontrolér Atmega8. Ochrana proti zkratu je tvořena omezujícím rezistorem R14 a tranzistorem T7. Všechny uvedené součástky, kromě výstupních svorek, jsou v SMD provedení.

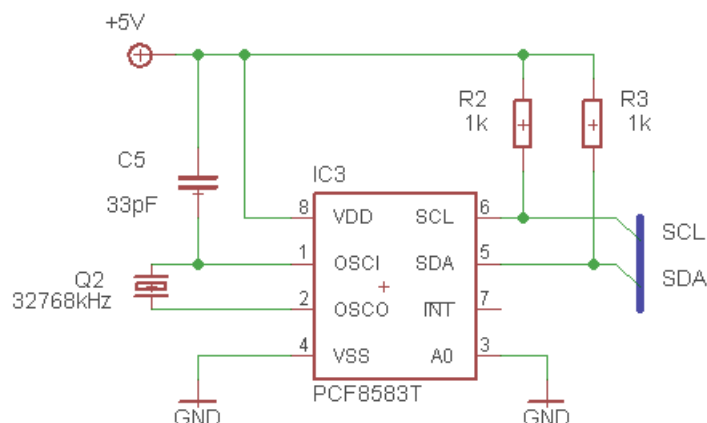


Obr. 21 Schéma zapojení tranzistorového H-můstku

4.1.3 Řídicí obvody

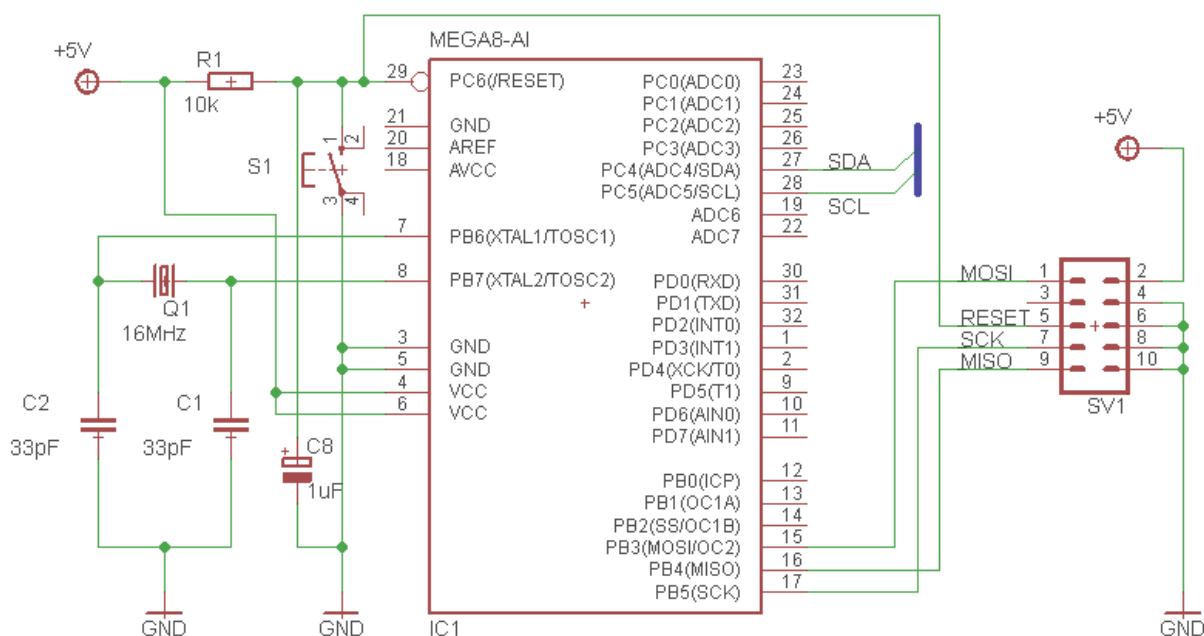
Schéma zapojení řídicích obvodů se skládá z dílčích schémat obvodu reálného času PCF8583, mikrokontroléru Atmega8 a napájecího obvodu pro zajištění stabilního napětí 5 V.

Na obr. 22 je zobrazeno schéma zapojení obvodu reálného času PCF8583. Napájení obvodu zajišťuje napájecí napětí 5 V přivedené na pin VDD. Zapojení oscilátoru tvoří krystal Q2 připojený na piny OSC1 a OSC0 a kondenzátor C5 určený z katalogu obvodu [22]. Výstup tvoří I²C rozhraní s piny SCL a SDA, které jsou připojeny k mikrokontroléru Atmega8. Zajištění klidového stavu (log. 1) na obou linkách zajišťuje dvojice pull-up rezistorů R2 a R3. Rezistory, kondenzátor a samotný obvod reálného času jsou v SMD provedení.



Obr. 22 Schéma zapojení obvodu reálného času

Obr. 23 zobrazuje schéma zapojení mikrokontroléru Atmega8 s periferními součástkami zajišťující jeho bezproblémový chod. Napájení 5 V je přivedeno na piny VCC. Pracovní kmitočet 16 MHz tvoří krystal Q1 připojený na piny XTAL1 a XTAL2 a totožné kondenzátory C1 a C2 o hodnotách doporučených katalogem Atmegy8 [21]. Resetovací mikrospínač S1 je pouze na test, hladký start mikrokontroléru zajišťuje kondenzátor C8 zapojený přes rezistor R1. Piny 4 a 5 portu C tvoří rozhraní sběrnice I²C. Přenos programu do paměti mikrokontroléru je realizováno přes 10-ti pinový ISP konektor. Tímto lze obvod programovat za chodu. K programování nebude nutné spouštět celý modul, jelikož programátor zajišťuje napájecí napětí 5 V z USB portu počítače.



Obr. 23 Schéma zapojení mikrokontroléru Atmega8

Stabilní napájecí napětí řídicích obvodů je zajištěno použitím lineárního stabilizátoru LM7805. Ten ke své činnosti potřebuje vstupní napětí minimálně o 2 V vyšší, než výstupní napětí. Jinými slovy, k zajištění 5 V na výstupu dohodnutý zdroj 12 V plně vyhovuje. Před použitím je nutné výpočtem ověřit velikost ztrátového výkonu, zda se nebude obvod přehřívět.

zahřívát. Měření maximálního odběru proudu bylo provedeno na zapojení realizovaném na nepájivém poli. Proudový odběr byl přibližně 40 mA [20].

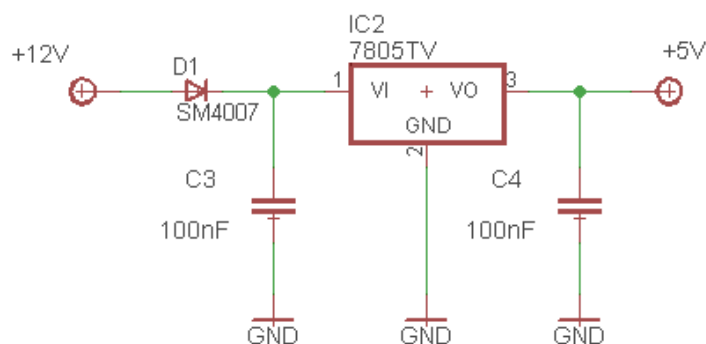
Rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem

$$\Delta U = U_{VST} - U_{VYST} = 12 - 5 = 7 \text{ V} \quad (1.1)$$

Ztrátový výkon stabilizátoru napětí

$$P_Z = \Delta U \cdot I_{VYST} = 7 \cdot 0,04 = 0,28 \text{ W} \quad (1.2)$$

Provoz stabilizátoru bez chladiče lze použít do ztrátového výkonu $P_Z \leq 1,9 \text{ W}$. Z výpočtu bylo usouzeno, že zapojení stabilizátoru je vhodné i s dostatečnou rezervou zatížitelnosti [20]. Na obr. 24 je zobrazeno zapojení stabilizátoru s okolními součástkami. Napětí ze vstupního konektoru 12 V vede přes diodu D1 (ochrana vůči přepólování zdroje) na vstupní pin VI lineárního stabilizátoru IC2. Keramické SMD kondenzátory C3 a C4 slouží ke stabilizaci obvodu.



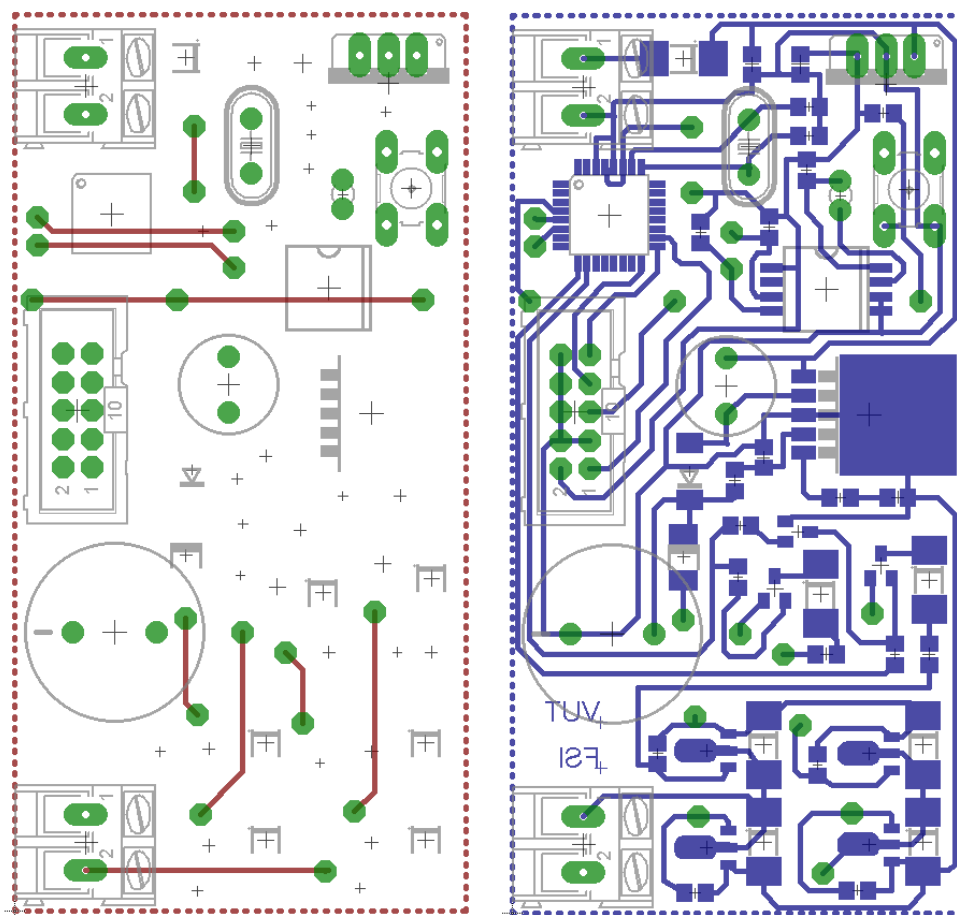
Obr. 24 Schéma zapojení napájecí části řídicích obvodů

4.2 Návrh desky plošného spoje

Pomocí softwaru EAGLE byl proveden návrh zapojení desky plošných spojů z výše uvedených dílčích schémat návrhu. S ohledem na dostupné rozměry uvnitř hodin byl zvolen základní rozměr desky 40 x 80 mm.

Prvním krokem návrhu je vhodné rozmístění součástek. Přitom bylo dodrženo konvencí ohledně umístění konektorů k okrajům desky pro snadný přístup vodičů (napájecí, výstupní a programovací konektory). Dále byla nastavena šířka cest na 16 mil, což vzhledem k nízkým hodnotám proudu bylo považováno za dostatečné. Velikost pájecích plošek byla jednotně nastavena na hodnotu 76 mil. U součástek, jejichž velikost pájecích plošek neodpovídala uvedené velikosti, byla tato velikost změněna editací samotného pouzdra součástky. Tvar pájecích plošek prokovů byl zvolen jako osmiúhelník o stejné velikosti. Následně byla zvolena jednotná velikost děr pro vrtání na 10 mil (rovněž byly upraveny pouzdra součástek, u nichž byla velikost díry odlišná).

Základní návrh propojení součástek byl proveden funkcí Autorouter a následně bylo ručně upraveno podle požadovaných konvencí (rozestupy mezi cestami, cesty pod úhlem 45°). Finální úprava desky spočívala v rozlité mědi připojené k zemi na obou stranách plošného spoje. K tomuto účelu slouží funkce Ratsnest, kde byla nastavena velikost izolování cest na 24 a zaškrtnuta možnost termálních můstků. Na obr. 25 je zobrazen návrh desky plošného spoje bez rozlité mědi (obr. 25a horní vrstva, obr. 25b dolní vrstva).



Obr. 25 Návrh desky plošného spoje a) horní vrstva b) dolní vrstva

4.3 Výroba a osazení desky plošného spoje

Dalším krokem po provedení návrhu desky plošného spoje byla samotná výroba PCB. Cenově přijatelnější je neprofesionální varianta výroby, kde je zapotřebí jistá zkušenost a šikovnost v práci s chemikáliemi.

Nabízí se několik metod výroby desky plošných spojů. V podstatě nejprve řešíme přenesení návrhu spojů na desku plošných spojů (destička cuprextitu zalitá mědí) a poté odstranění přebytečné mědi leptáním. Návrh můžeme přenést:

Nažehlením toneru – jednoduchá metoda, kdy na lepicí papír laserovou tiskárnou vytiskneme návrh, přilepíme jej k desce a pomocí žehličky necháme zapéct přibližně 2 minuty. Toner zahřátím přilne k desce. Poté necháme vychladnout ve vodě a papír odstraníme [25].

Fotocestou – na speciální fotocitlivou desku přiložíme vytištěný návrh na průhledné fólii či pauzovacím papíru a necháme osvitit UV zářením. Nekrytý fotocitlivý lak se naruší a po osvitě je odstraněn chemickým přípravkem zvaným vývojka [26].

Leptuvzdorným fixem – použití pouze při výrobě jednoduchých desek. Návrh kreslíme na měděnou plochu ručně.

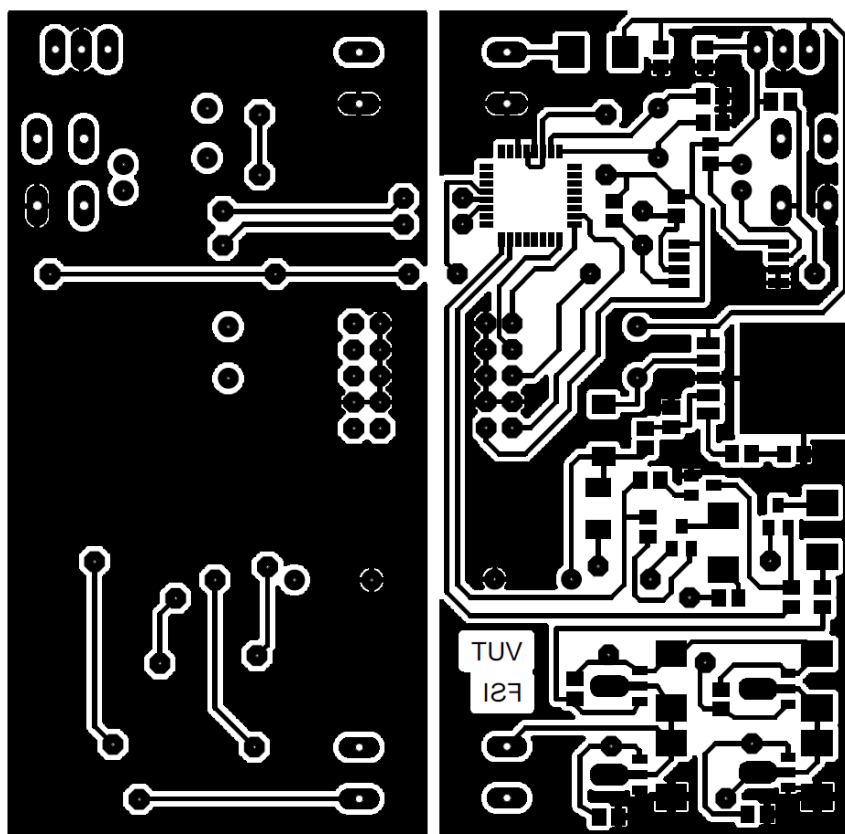
Jelikož učebna disponuje výbavou na výrobu desky fotocestou, byla vybrána tato metoda.

4.3.1 Předloha plošného spoje

Abychom návrh spolehlivě přenesli na desku, předloha musí být dostatečně kontrastní (UV záření nesmí předlohu prosvítit, jinak by došlo k narušení fotocitlivé vrstvy na celé desce). Pro přesnost je nutné zajistit dostatečné rozlišení.

Pro výrobu oboustranné DPS jsou jednotlivé strany vytištěny zvlášť. Předlohu přikládáme k desce vytištěnou stranou. Při exportu horní strany desky proto musíme zaškrtnout možnost Mirror, aby byla zrcadlově převrácena. Dolní strana nemusí být dodatečně převrácena, jelikož se v návrhu díváme skrz desku. Export byl proveden Cam procesorem v programu EAGLE do souborů PDF [26].

Vytištění proběhlo ve specializovaném tiskařském studiu na film.

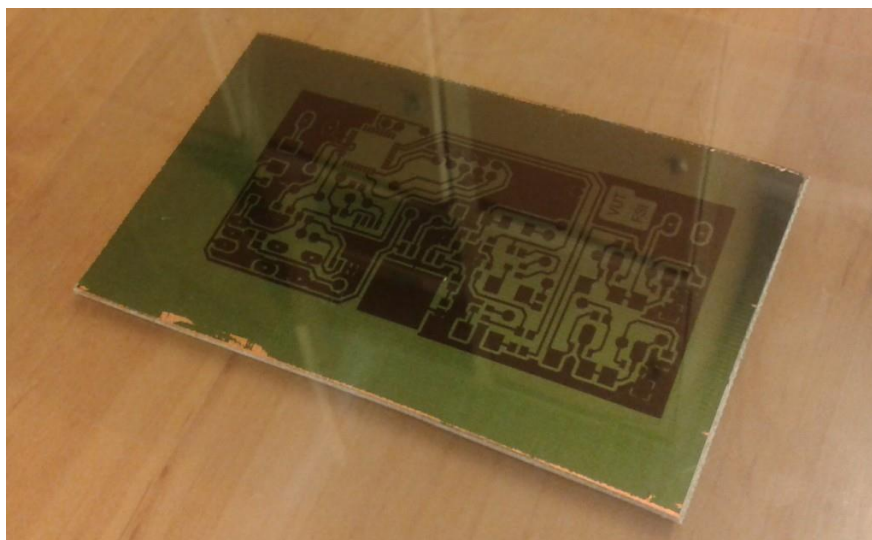


Obr. 26 Předloha plošného spoje k osvitu a) horní strana b) dolní strana

4.3.2 Osvit a vyvolání

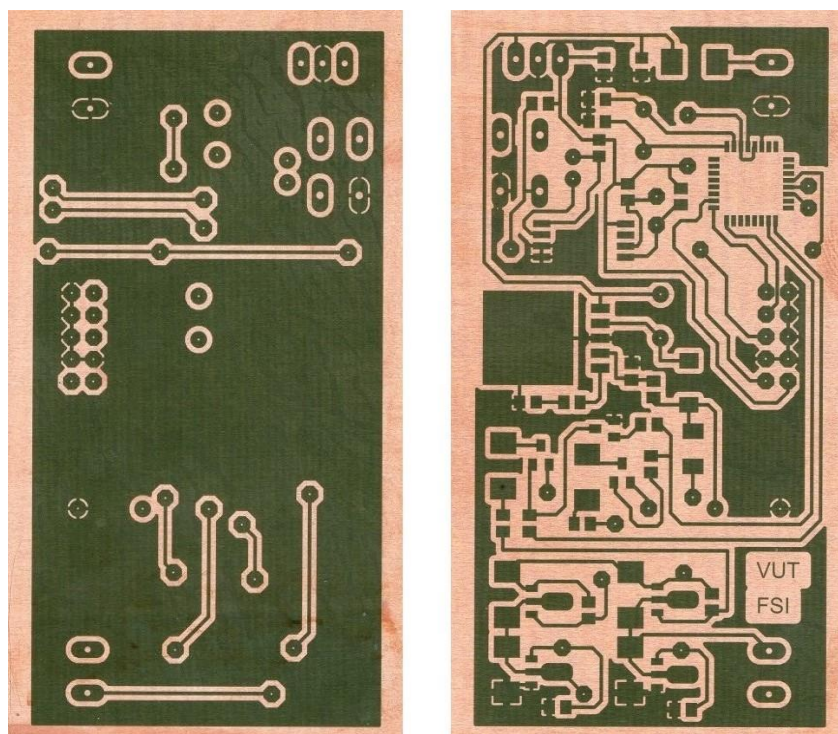
Vytištěná předloha byla zkontrolována, zda rozměry odpovídají zadání a zda jsou obě strany vůči sobě v přesné pozici. Poté byly obě strany přiloženy k sobě a okolní místa vyjma jedné z délek byla vzájemně přilepena a vytvořila tak kapsu, která zafixuje polohu obou předloh proti posunutí, do níž se následně vložila fotocitlivá deska plošných spojů o vhodném rozměru.

Dále byla deska vložena mezi skleněné tabulky. Spodní strana desky je navíc podložena molitanem, který zajistí rovnoměrné přilnutí desky na sklo. Po zajištění skel proti pohybu byla deska osvětlena UV zářením z každé strany cca 5 min. UV záření bylo zajištěno panelem osázeným UV LED diodami napájeným ze zdroje.



Obr. 27 Deska plošných spojů připravená na osvit UV zářením

Po dokončení osvitů byla deska plošných spojů ponořena do chemického přípravku zvaném vývojka. Jedná se o roztok NaOH (hydroxid sodný, louh) v koncentraci 10 g/l. Manipulací štětečkem po obou stranách dochází k rozpadu narušeného fotorezistu a následného odplavení na dno nádoby. Vyvolání trvalo přibližně 10 min. Na *obr. 28* jsou zobrazeny obě strany plošného spoje po vyvolání a omytí čistou vodou [26].



Obr. 28 Deska plošných spojů připravena na leptání a) horní strana b) dolní strana

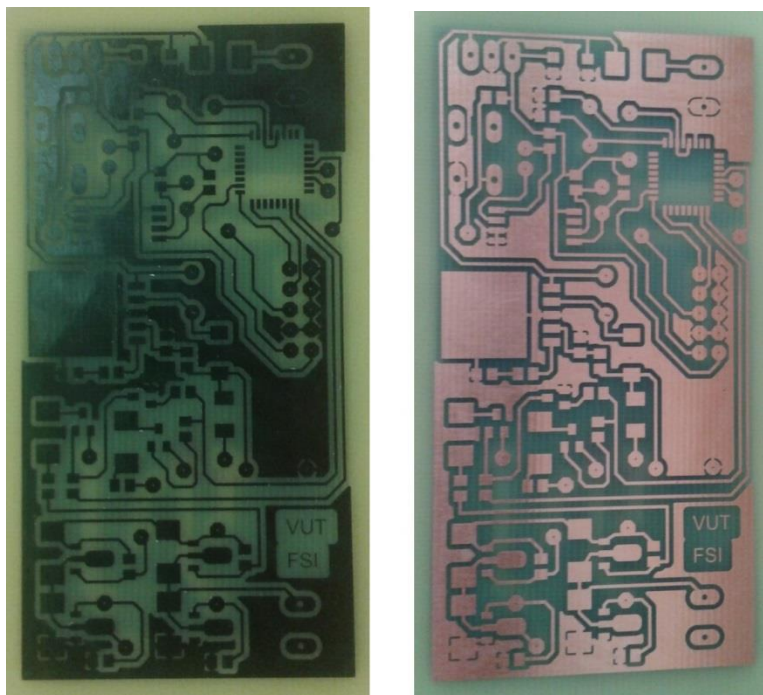
4.3.3 Leptání a chemické ošetření

Proces leptání odstraňuje přebytečnou měď mezi cestami nekrytými leptuvzdornou vrstvou. V praxi můžeme použít kyselinu chlorovodíkovou, kyselinou dusičnou nebo chlorid železitý. První dvě uvedené mají sice rychlejší průběh, ale z důvodů bezpečnosti se

v neprofesionálních výrobcích příliš nevyskytují. Leptacím roztokem byl zvolen chlorid železitý FeCl_3 .

Omytou a osušenou desku vkládáme na hladinu motivem dolů. V případě oboustranné desky musíme zajistit, aby byla namočena pouze dolní strana. Desku vkládáme na hladinu pod úhlem postupně, aby nedošlo k vytvoření bublinek. Umístění na hladině je důležité, jelikož odleptaná měď klesá ke dnu nádoby. Doba trvání se odvíjí od stáří roztoku a velikosti desky. Leptání je hotové, když motiv prosvítá skrz desku. Desku vyjmeme a omyjeme vodou.

Očištění desky od zbytků fotorezistu provádíme organickým ředidlem (Acetonem). Na obr. 29 je zobrazena deska po vyleptání a) před očištěním b) po očištění acetonem. Dále byl povrch obou stran broušen jemným smirkovým papírem. Následně došlo k nanesení pájitelného laku a zaschnutí (pro každou stranu minimálně 5 hodin). Dále byla prozkoušena vodivost všech cest měřicím přístrojem [26].

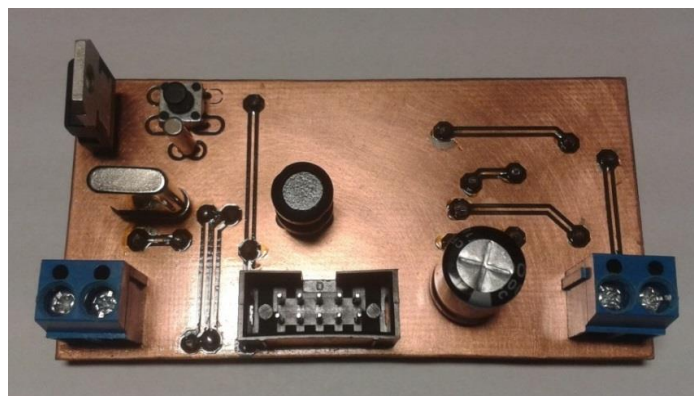


Obr. 29 Spodní strana desky a) před očištěním b) po očištění Acetonem

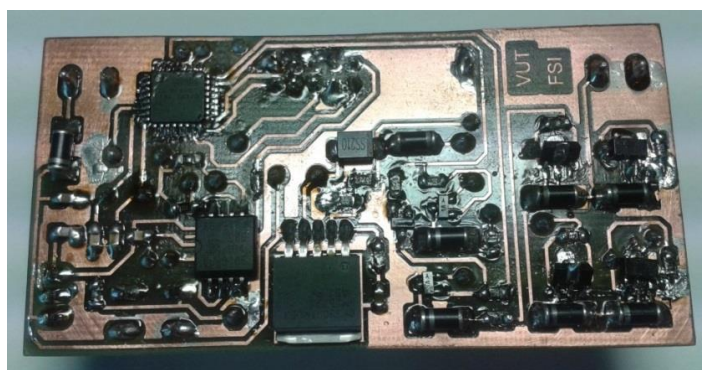
4.3.4 Vrtání a osazení

Deska byla seříznuta do požadovaných rozměrů. K vrtání otvorů byla použita ruční vrtačka. Průměr vrtáku byl použit 0,6 mm, pro konektory 0,8 mm. Po vyvrtání všech děr byl vrtákem většího průměru vyhlazen okraj děr.

Osazení probíhalo pomocí mikropájky za teploty přibližně 300°. Začalo napájením prokovů, což jsou drátky, které vodivě spojují cesty na jednotlivých vrstvách. Poté následovali všechny SMD součástky. Při osazování byl brán ohled na správné pozice součástek (polarita diody, umístění mikrokontroléru Atmega8). Součástky na horní straně desky byly osazeny nakonec. Na obr. 30 je zobrazena horní strana desky, na obr. 31 dolní strana desky po osazení všech součástek.



Obr. 30 Horní strana desky plošného spoje



Obr. 31 Dolní strana desky plošného spoje

4.4 Programování firmwaru

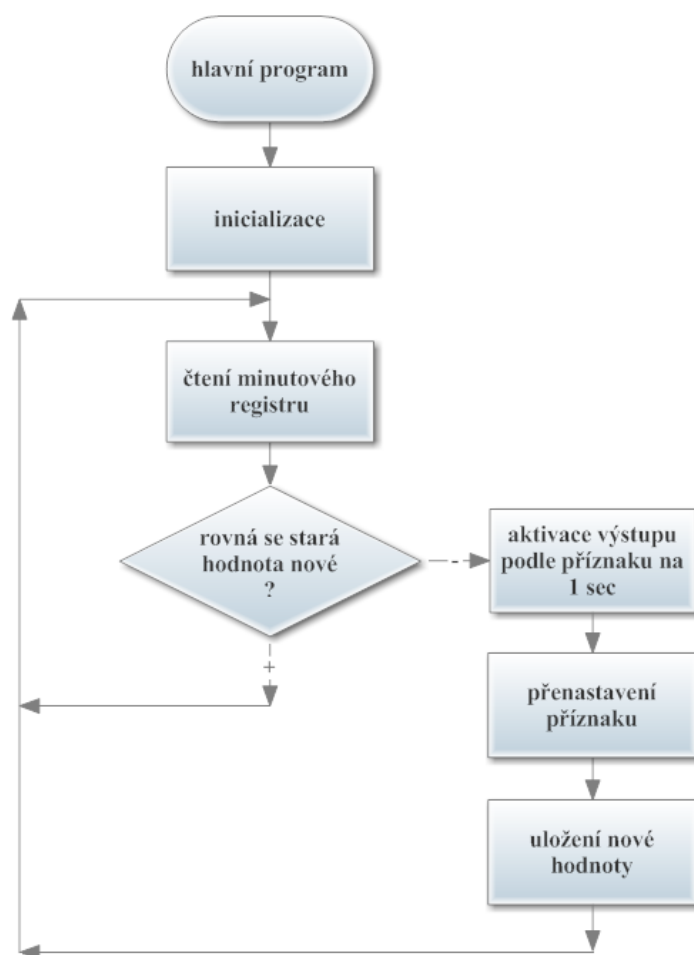
Tvorba programu probíhala v softwaru společnosti Atmel, AVR Studio 5.1. Vývojové studio nabízí programování v jazyce instrukční sady (assembleru) nebo jazyce C. Zvolením konkrétního typu mikrokontroléru můžeme zdrojové kódy kompilovat přímo do souborů s příponou HEX.

Program v mikrokontroléru zajišťuje spínání výkonové části (tranzistorového H-můstku). K ovládání můstku slouží pouze dva piny na PORTC, které jsou nastaveny jako výstupní. Přesná minutová perioda je získána z obvodu reálného času, který je k mikrokontroléru připojen pomocí sběrnice I²C. Implementace funkcí pro čtení byla realizována přes volně dostupnou knihovnu TWI určenou pro komunikaci zařízení po sběrnici I²C [27].

Pro jednotlivé časové úseky jsou v obvodu reálného času vyhrazeny datové registry s příslušnou adresou. Hodnota se v některých registrech skládá z jednotek a desítek, pro získání konkrétního výsledku je nutné použít logický součin s vhodnou maskou. Přenesená hodnota z registrů je v BCD kódu, která je následně převedena do binární podoby [27]:

```
minutes_low = 0x0f & BCD;           // Převod jednotek minut z BCD
minutes_high = (BCD>>4) & 0x0f;     // Převod desítek minut z BCD
```

Funkce hlavního programu je nestíněna vývojovým diagramem na obr. 32. Po startu programu dochází k inicializaci sběrnice I²C a nastavení výstupního portu. Ve smyčce je prováděno čtení minutového registru, následné porovnání aktuální a předchozí hodnoty. Při neshodě dojde k aktivaci výstupního pinu podle příznaku, který se střídavě mění s každou novou hodnotou, na 1 sec a poté je opět deaktivován. Nová hodnota se uloží k následnému porovnání v příštím cyklu. Při shodě probíhá čtení dál.



Obr. 32 Vývojový diagram hlavního programu

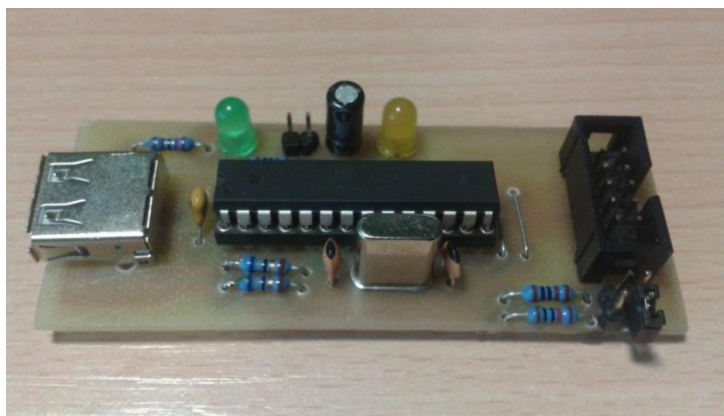
4.4.1 Programátor USBasp

Programování mikrokontroléru Atmega8 bylo realizováno přes USBasp ISP programátor vlastní výroby. Konstrukce programátoru vychází z [28], kde jsou publikovány potřebné instrukce pro jeho zhotovení včetně schématu zapojení, návrhu plošného spoje, USB driveru a zkompilovaného HEX souboru pro řídicí mikrokontrolér Atmega8.

Srdcem programátoru je výše zmíněný mikrokontrolér Atmega8 nebo Atmega88, do kterého byl vložen řídicí program přes paralelní port počítače za pomoci několika externích součástek. Dalším krokem byla realizace desky plošných spojů podle návrhu.

Díky jednoduchosti zapojení a kvůli použití transformátorové pájky k pájení byly použity součástky v klasických pouzdrech a metoda přenosu motivu spojů přes leptuvzdorný fix. Po vyleptání desky následovalo otestování vodivosti cest, vrtání a osazení. Do patice byl vložen naprogramovaný řídicí mikrokontrolér. Výsledný modul je zobrazen na obr. 33.

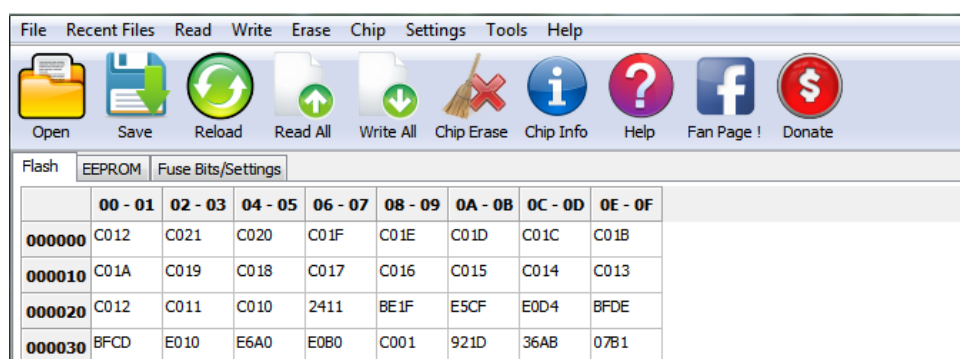
Oživení programátoru spočívalo nejprve v instalaci potřebných USB ovladačů pro operační systém Windows 7. Poté byl modul připojen na USB port počítače a registrován ve správci zařízení. Ve zmíněné části oživení se vyskytly potíže s ovladačem pro 64-bit verzi operačního systému. Po vyřešení tohoto problému byl však modul vždy vyhodnocen jako hláškou „Zařízení nepracuje správně“. Řešení spočívalo v připojení dvojice Shottkyho diod v závěrném směru na datové vodiče USB sběrnice, jak bylo uvedeno na originálním schématu zapojení programátoru [28].



Obr. 33 Programátor USBasp

4.4.2 Programovací software

Programování mikrokontrolérů Atmega je realizováno pomocí softwaru eXtreme Burner – AVR. Je určen k programování přes ISP programátory. Disponuje snadno ovladatelným uživatelským rozhraním (obr. 34). Mezi jeho funkce patří čtení a zapisování do paměti FLASH a EEPROM, nastavování pojistek a komunikační okno pro sériovou komunikaci s mikrokontrolérem. Nejprve vybereme konkrétní typ mikrokontroléru a programovací mód. Poté lze používat uvedené funkce [29].



Obr. 34 Uživatelské rozhraní programu eXtreme Burner – AVR

Nastavení pojistek slouží k určení zdroje a velikosti pracovního kmitočtu mikrokontroléru. Software poskytuje snadnou konfiguraci pojistek bez znalostí nastavovaných registrů daného mikrokontroléru. Použité nastavení pojistek odpovídá hardwarovým součástkám připojeným k obvodu [29].

4.5 Oživení modulu

Po osazení všech součástek byla provedena zkouška propojení cest a bylo ověřeno, zda nejsou spojené některé cesty, které by neměli být spojeny (což by mohlo vést ke zkratu).

První částí k oživení byly řídicí obvody. Připojením programátoru do USB portu se dostalo na desku plošného spoje napájecí napětí 5 V, které bylo naměřeno na pinech obvodů určených pro napájecí napětí. Komunikace s mikrokontrolérem (čtení a zápis do paměti) přes programátor proběhla úspěšně. Byly nastaveny pojistky pro seřízení pracovní frekvence.

Další částí bylo oživení napájecí části. Přivedením 12 V na vstupní konektor byl uveden do chodu stabilizátor napětí, na jehož výstupu bylo naměřeno 5 V. Kvůli možnému napájení spínacími zdroji napětí (velké zvlnění výstupního napětí) byl mezi vstup a zem propojen vyhlazovací kondenzátor 100 μ F.

Následně s přivedením napětí na vstup bylo změřeno výstupní napětí na vyhlazovacím kondenzátoru na výstupu zvyšujícího měniče 60 V.

Poslední částí k oživení byl H-můstek, který zpočátku nefungoval. Měřením bylo zjištěno, že napětí na vstupech nabývá správných velikostí. Při detailnějším zkoumání použitých tranzistorů multimetrem bylo zjištěno, že pozice jejich vývodů nesedí s návrhem. Toto bylo způsobeno volbou staršího typu pouzdra použitých PNP tranzistorů v editoru EAGLE. V zapojení stačilo tyto tranzistory zapojit opačně a funkce můstku již byla v souladu s předpokládaným chováním.

4.6 Implementace modulu do krabičky

Při implementaci modulu do vnitřního prostoru hodin došlo k rozporu ohledně zachování původní funkčnosti a tvaru podružných hodin (přívodní šňůra vede přímo k cívice, vrtání díry pro šroub připevňující modul k bočnímu oplechování hodinových segmentů) z důvodu znehodnocení hodnoty starožitného přístroje. Následně bylo dohodnuto řešení v podobě implementace řídicího modulu do plastové krabičky o vhodném rozměru. Vstupem do krabičky je napájecí konektor, výstupem spínací linka podružných hodin.



Obr. 35 Krabička pro řídicí modul

4.7 Funkčnost chodu podružných hodin

Modul řízení podružných hodin byl připojen k laboratornímu zdroji 12 V a otestována funkčnost spínání výstupní linky v minutových intervalech.

Nastavení aktuálního času na hodinách lze provést otáčením hřídele na pravém boku hodin. Jelikož v původním návrhu byla uvažována implementace dovnitř hodin, nastavení aktuálního času by vyžadovalo vyvedení ovládacích prvků vně konstrukce, což není v souladu s omezením konstrukčních úprav tvaru zařízení.

Implementace do externí krabičky by mohla umožnit přístup k ovládacím prvkům (tlačítka pro zrychlený chod k nastavení aktuálního času) či další funkce.

5 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat modul pro řízení podružných hodin. Bylo nutno seznámit se principem činnosti podružných hodin a jejich použití. Při řešení návrhu řídicí elektroniky byla zapotřebí aplikace obecných vztahů mezi základními elektrickými veličinami v dílčích zapojeních celkového návrhu. K realizaci navržené elektroniky bylo nutné seznámit se s grafickým editorem schémat a spojů, metodami výroby desek plošných spojů, softwarem pro vývoj řídicího programu a komunikačními protokoly mezi řídicími obvody.

Druhá kapitola se zabývá problematikou použití podružných hodin v systému jednotného času. Stručně byla popsána charakteristika systému včetně historie a principu činnosti založeného na existenci centrálního zařízení nazývaném hlavní hodiny, které slouží jako generátor impulsů pro všechny připojené podružné hodiny. Pozornost je také věnována vývoji těchto zařízení v čase od mechanických zařízení k čistě elektronickým. Rovněž nechybí seznámení se s konkrétními digitálními podružnými hodinami Pragotron.

Provedením analýzy základních požadavků pro řízení podružných hodin byl návrh elektroniky rozdělen na část výkonovou a řídicí. K řešení první části bylo nutné nastudovat problematiku stejnosměrných DC/ DC měničů k dosažení potřebné velikosti napětí při požadavku napájení nižším napětím. Hodnoty externích součástek pro chod centrálních obvodů byly určeny výpočty z katalogových listů. Byla zkoumána dvě zapojení a následně vybráno vhodnější řešení. Změnu polarity výstupního napětí zajišťuje kompletní návrh tranzistorového H-můstku včetně implementace ochrany vůči zkratu. Dále se návrh zabývá stručným seznámením s elektronickými obvody k řízení výkonové části mikrokontrolérem Atmega8, obvodu reálného času PCF8583 a komunikačního protokolu I²C.

Čtvrtá kapitola popisuje provedení schématu a návrhu desky plošných spojů z dílčích částí návrhu v editoru EAGLE, následnou výrobu desky, její osazení a oživení a konečnou fázi realizace v podobě implementace modulu do externí krabičky. Firmware řídicího mikrokontroléru byl vytvořen ve vývojovém prostředí AVR Studio 5.1. Zkompilovaný HEX soubor byl poté přenesen do paměti obvodu Atmega8 pomocí USBasp programátoru vlastní výroby. V závěrečné části došlo k otestování funkčnosti navrženého řídicího modulu řízením digitálních podružných hodin Pragotron.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Pragotron.sk. *Systém jednotného času* [online]. 2011 [cit. 2014-05-12].
Dostupné z: <<http://www.pragotron.sk/?ukaz=content/sjc&lang=sk>>
- [2] Pragotron.sk. *Sortiment společnosti Jednotný čas* [online]. 2011, 4s [cit. 2014-05-12].
Dostupné z: <http://www.pragotron.sk/content/sjc/pragotron_sortiment_sjc.pdf>
- [3] Katalog mobatime.cz. *Hlavní hodiny* [online]. [cit. 2014-05-12].
Dostupné z: <<http://www.mobatime.cz/katalog/hlavni-hodiny>>
- [4] Pragotron.sk. *Hlavní hodiny EH 40* [online]. 2011 [cit. 2014-05-12].
Dostupné z: <<http://www.pragotron.sk/?ukaz=content/eh40&lang=sk>>
- [5] Elektročas. *Signální autonomní hodiny SAH72* [online]. 2004 [cit. 2014-05-12].
Dostupné z:
<http://www.elektrocas.cz/?lang=cz&sec=catalogue_list&c_cat=54&title_string=SAH+72>
- [6] Katalog mobatime.cz. *Exteriérové hodiny* [online]. [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: <<http://www.mobatime.cz/katalog/exterierove-hodiny>>
- [7] Katalog mobatime.cz. *Interiérové hodiny analogové* [online]. [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: <<http://www.mobatime.cz/katalog/interierove-hodiny/analogove-hodiny>>
- [8] Pragotron.sk. *Analogové podružné hodiny P 27* [online]. 2011 [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: <<http://www.pragotron.sk/?ukaz=content/p27&lang=sk>>
- [9] Pragotron.sk. *Digitální podružné hodiny CPJ 0161/1* [online]. 2011 [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: <<http://www.pragotron.sk/?ukaz=content/cpj061-1>>
- [10] Katalog mobatime.cz. *Interiérové hodiny digitální* [online]. [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: <<http://www.mobatime.cz/katalog/interierove-hodiny/digitalni-hodiny>>
- [11] Pragotron.sk. *Digitální podružné hodiny IPJ 0612* [online]. 2011 [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: <<http://www.pragotron.sk/?ukaz=content/ipj0612>>
- [12] SLINTÁK, Vlastimil. *DC/DC měniče* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20].
Dostupné z: <<http://uart.cz/952/dc-dc-menice/>>
- [13] ON Semiconductor. *Teorie a aplikace obvodu MC34063* [online]. 2010, 41s [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <<http://www.technika.ilcik.cz/napajeci-zdroje/teorie-a-praxe-zapojeni-s-obvodem-mc-34063.pdf>>
- [14] Texas Instruments. *Katalogový list obvodu LM2577* [online]. 1999, 42s [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1577.pdf>>

- [15] BEZSTAROSTI, Jiří. *Robotem sem, robotem tam II, RoboDoupě* [online]. 2011 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <<http://robodoupe.cz/2011/robotem-sem-robotem-tam-ii-%E2%80%93-elektronika-take-neni-k-zahozeni/>>
- [16] NXP Semiconductors. *Katalogový list BC846* [online]. 2012, 15s [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BC846_SER.pdf>
- [17] NXP Semiconductors. *Katalogový list BCX53* [online]. 22s [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BCP53_BCX53_BC53PA.pdf>
- [18] NXP Semiconductors. *Katalogový list BCX56* [online]. 22s [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BCP56_BCX56_BC56PA.pdf>
- [19] BEZSTAROSTI, Jiří. *Péčkový tranzistor, RoboDoupě* [online]. 2012 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <<http://robodoupe.cz/2012/peckovy-tranzistor/>>
- [20] STMicroelectronics. *Katalogový list stabilizátorů řady L7800* [online]. 2007, 34s [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <<http://www.ges.cz/sheets/l/l78xx.pdf>>
- [21] Datasheet Atmel. *Katalogový list obvodu ATmega8* [online]. 2005, 21s [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <<http://www.ges.cz/sheets/m/mega8.pdf>>
- [22] NXP Semiconductors. *Katalogový list obvodu PCF8583* [online]. 2010, 37s [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8583.pdf>
- [23] HANKOVEC, David. *I2C – o co jde a jak pracuje* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <<http://www.dhservis.cz/iic.htm>>
- [24] CadSoft Computer GmbH. *EAGLE Online Freeware* [online]. 1994 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <<http://eagle.cz/freeware.htm>>
- [25] Hw.cz. *Výroba DPS nažehlením toneru* [online]. 2005 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vyroba-dps-nazehlenim-toneru.html>>
- [26] Mlab online. *Výroba plošných spojů fotocestou* [online]. 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How_to_make_PCB/DOC/HTML/How_to_make_PCB.cs.html>
- [27] HEJDOVÁ, Martina. *RTC (Real-Time Clock)* [online]. 2011 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/MIA/2011/Hejdova/index.html>>
- [28] FISCHL, Thomas. *USBasp – USB programmer for Atmel AVR controllers* [online]. 1998 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <<http://www.fischl.de/usbasp/>>
- [29] EXTREME ELECTRONICS. *GUI Software for USBasp based UBS AVR programmers* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <<http://extremeelectronics.co.in/avr-tutorials/gui-software-for-usbasp-based-usb-avr-programmers/>>