

ABSTRAKT

Niklkadmiové případně niklmetalhydridové akumulátorové sady jsou v současné době hojně využívané pro napájení ručního nářadí. Problémem levného ručního nářadí jsou však nabíječe, které zpravidla neobsahují žádné obvody pro zajištění správného nabíjení. V důsledku tohoto jsou akumulátory ručního nářadí udržovány většinou nesprávným způsobem, což vede k jejich nízké životnosti. Tato diplomová práce navrhuje obvodové řešení inteligentního nabíjecího systému včetně programového vybavení řídicího mikrokontroléru. Toto zařízení umožňuje lepší správu a údržbu akumulátorových sad, čímž jim zajistí vyšší životnost a důsledkem tohoto také snižuje zatížení životního prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Akumulátor, inteligentní nabíjení, měření, testování, mikrokontrolér.

ABSTRACT

Nickel cadmium and nickel metal hydride accumulators sets are currently used for supplying hand tools (screwdrivers,...). Problems of cheap hand tools are chargers, mostly of it doesn't use any charging driving circuits. In consequence of it the accumulators are kept incorrectly, which causes lowernig of lifetime. This thesis suggest circuit design Main of intelligent charging system, which enable better battery management, increases battery lifetime and lower load of environment.

KEYWORDS

Accumulator, smart charging, measurement, testing, microcontroller.

MÍLEK, Č. "Smart" tester a nabíječka akumulátorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. **28** s. Vedoucí diplomové práce Ing. Václav Michálek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „Smart“ tester a nabíječka akumulátorů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu 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

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Michálkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	iv
Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	vii
Úvod	1
1 Elektrické vlastnosti NiCd a NiMH akumulátorů	2
1.1 Elektrické vlastnosti NiCd akumulátorů	2
1.1.1 Paměťový efekt	2
1.1.2 Napěťová deprese	2
1.1.3 Vnitřní odpor NiCd článků	3
1.2 Elektrické vlastnosti NiMH akumulátorů	3
1.2.1 Napěťová deprese NiMH článků	3
1.2.2 Vnitřní odpor NiMH článků	4
1.3 Srovnání NiCd a NiMH akumulátorů	4
1.4 Akumulátorové baterie	4
1.5 Balancer a vyvažování	5
2 Detekce stavu nabití NiCd a NiMH akumulátorů	6
2.1 Časované nabíjení	6
2.2 Detekce poklesu napětí ($\Delta U dt < 0$)	6
2.3 Nulový napěťový přírůstek ($\Delta U dt = 0$)	7
2.4 Sledování teploty	7
2.5 Sledování časového teplotního přírůstku	8
2.6 Detekce inflexního bodu ($d^2 U dt^2 = 0$)	8
3 Koncepce testovacího a nabíjecího zařízení	10
3.1 Požadavky na „Smart“ tester a nabíječ	10
3.2 Parametry navrženého zapojení „Smart“ testeru a nabíječe	10
3.3 Zapojení „Smart“ testeru a nabíječe akumulátorů	11
3.3.1 Princip činnosti „Smart“ testeru a nabíječe	11
3.4 Konstrukce „Smart“ testeru a nabíječe	15

4	Programové vybavení mCU „smart“ testeru a nabíječe	17
4.1	Ovladače vstupně výstupních obvodů.....	17
4.1.1	A/D převodník.....	17
4.1.2	Ovladač pro tlačítka	17
4.1.3	Ovladače generátoru PWM	18
4.1.4	Ovladač LCD.....	18
4.2	Hlavní programová smyčka a pomocné funkce	18
5	Práce se „Smart“ testerem a nabíječem	21
5.1	Ovládání Smart testeru	21
5.2	Struktura a funkce nabídek Smart testeru	22
5.3	Nabíjení a formování.....	23
6	Závěr	25
	Literatura	26
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	27
	Seznam příloh	28

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Napěťová deprese a pokles kapacity neúplně vybitých článků (převzato z [1]).....	3
Obrázek 2: Balancer na principu omezovače napětí.....	5
Obrázek 3: Pokles napětí na svorkách akumulátoru při plném nabití	6
Obrázek 4: První derivace nabíjecí charakteristiky měřené akumulátorové sady 4x1,2 V / 1400 mAh, při nabíjecím proudu 280 mA	7
Obrázek 5: Průběhy pro jednotlivé metody detekce nabití akumulátoru (převzato z [1])	8
Obrázek 6: Druhá derivace nabíjecí charakteristiky akumulátorové sady 4x1,2 V / 1400 mAh při nabíjecím proudu 280 mA	8
Obrázek 8: Obvody převodu D/A a řízení protékajícího proudu.....	12
Obrázek 7a, b: Obvody pro měření napětí	12
Obrázek 9: Obvod spínání nabíjecího proudu	13
Obrázek 10: Zapojení pinů konektoru CON2 (SPI)	15
Obrázek 11: Fotografie konstrukce "Smart" testeru a nabíječe	16
Obrázek 12: Uspořádání tlačítek Smart testeru	21
Obrázek 13: Struktura menu Smart testeru a nabíječe.....	22

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1: Srovnání parametrů NiCd a NiMH akumulátorových článků dle [1] a [2] 4

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá elektrickými vlastnostmi NiCd akumulátorů, nejčastěji používanými principy nabíjení NiCd akumulátorových sad a navrhuje obvodové i programové řešení nabíječe akumulátorů pro ruční nářadí. Navržené zapojení využívá nejmodernější nabíjecí metodu, která umožňuje efektivní nabíjení a zajistí akumulátorům dlouhou životnost.

Kapitola 1 rozebírá elektrické parametry a vlastnosti akumulátorů, jež jsou důležité pro jejich správné nabíjení i užívání. V kapitole 2 jsou probrány možné principy nabíjení akumulátorů a detekce nabití. Kapitola 3 představuje konstrukci nabíječe akumulátorových sad a detailně vysvětluje princip činnosti obvodového řešení. Čtvrtá kapitola se věnuje programovému řešení nabíječe, popisuje smysl a činnost významných funkcí. Poslední Kapitola 5 uzavírá problematiku popisem ovládání zkonstruovaného zařízení a vnitřních postupů řídicího programu.

1 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI NiCd A NiMH AKUMULÁTORŮ

Tato kapitola představuje základní elektrické vlastnosti a parametry NiCd a NiMH článků a akumulátorových sad, se kterými je možné se setkat během nabíjení a vybíjení akumulátorů.

1.1 Elektrické vlastnosti NiCd akumulátorů

Jmenovité napětí NiCd článku je 1,2 V, při vybití článku na hodnotu 1,1 V již zbývá v článku pouze několik procent energie. Následující text ukazuje, proč je vhodné NiCd články vybíjet na hranici 1,0 V na článek.

1.1.1 Paměťový efekt

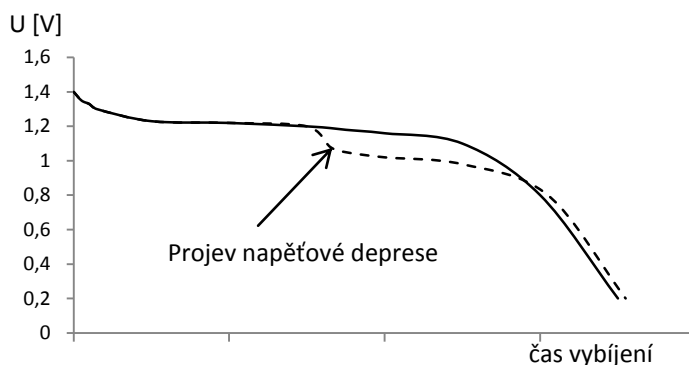
Tento jev je velmi obávaný, avšak v praktických podmínkách se téměř nevyskytuje. K paměťovému jevu u NiCd článků dochází při vybíjení článků mnohokrát opakovaně na přesně stejnou úroveň a následným nabitím přesně na 100 %. Dlouhodobým používání akumulátoru v tomto režimu může dojít ke ztrátě kapacity článku.

Paměťový efekt se neprojeví, pokud nebudou články vybíjeny opakovaně na přesně stejnou úroveň nebo pokud budou mírně přebíjeny.

1.1.2 Napěťová deprese

Napěťová deprese je jev, který může způsobit, že snímač stavu baterie označí baterii předčasně za vybitou.

Napěťová deprese je důsledkem přebíjení baterie a projevuje se náhlým poklesem výstupního napětí v určité fázi vybíjecího cyklu z 1,2 V na asi 1,05 V. Tento jev lze odstranit úplným vybitím samotného článku. Pokud je více článků spojeno do baterie a nelze články vybit samostatně, je třeba baterii vybíjet na hodnotu asi 1 V/článek, která je ještě bezpečná z hlediska přepólování článků a přitom dojde již k vybití všech článků pod hranici napěťové deprese.



Obrázek 1: Napěťová deprese NiCd článku

1.1.3 Vnitřní odpor NiCd článků

Důležitým parametrem všech napájecích zdrojů je jejich vnitřní odpor. Při stejné kapacitě jsou články s nižším vnitřním odporem schopny dodat vyšší okamžitý výkon. Články s vyšším vnitřním odporem mohou být v proudově náročnějších spotřebičích nesprávně vyhodnoceny jako vybité.

U běžných NiCd článků se vnitřní odpor pohybuje okolo 10 – 15 mΩ, což vyhovuje pro většinu aplikací. Existují také speciální NiCd články se sníženým vnitřním odporem, které se hodí zejména pro akumulátorové nářadí, kde jsou třeba vysoké vybíjecí proudy. Takové speciální články dosahují vnitřního odporu 4 - 10 mΩ.

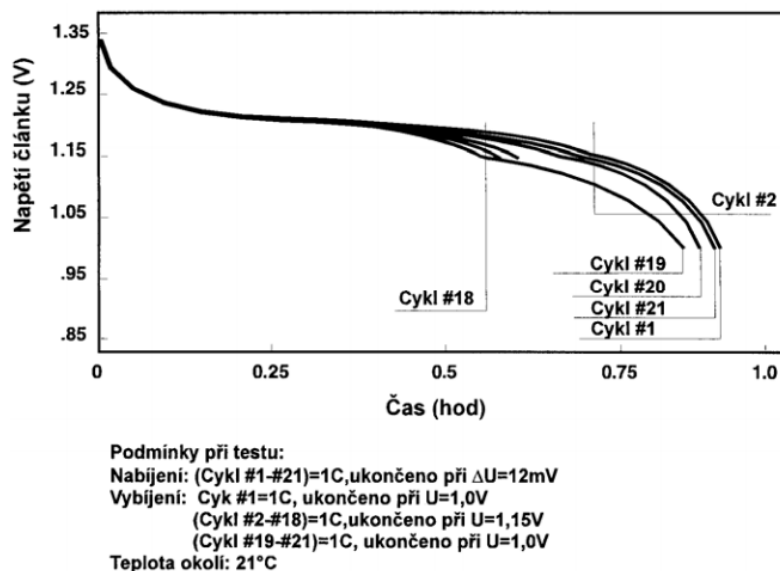
Při správné údržbě NiCd článků se jejich vnitřní odpor v průběhu životnosti příliš nemění.

1.2 Elektrické vlastnosti NiMH akumulátorů

U NiMH baterií dochází po větším počtu cyklů k postupnému poklesu kapacity. Tento pokles bývá výraznější při dlouhodobém přebíjení akumulátorů, přehřívání či provozování za vyšších teplot, také při nevhodném párování nestejných článků do baterie.

1.2.1 Napěťová deprese NiMH článků

Niklmetalhydridové články vykazují podobně jako články NiCd napěťovou depresi a mírný pokles kapacity, způsobené nabíjením neúplně vybitých článků. Měření Doc. Ing Jiřího Hammerbauera, Ph.D. [1] však ukazuje, že tento jev je vratný a k obnově kapacity dochází již po několika cyklech úplného vybití, jak ukazuje Obrázek 1.



Obrázek 2: Napěťová deprese a pokles kapacity neúplně vybitých článků (převzato z [1])

1.2.2 Vnitřní odpor NiMH článků

Články NiMH vykazují vyšší vnitřní odpor oproti článkům NiCd a jsou proto vhodné pro aplikace, kde nejsou požadovány vysoké vybíjecí proudy.

Typický niklmetalhydridový článek vykazuje vnitřní odpor okolo 20 – 30 mΩ. Narozdíl od NiCd článků, dochází po několika stovkách cyklů u NiMH k postupnému nárůstu vnitřního odporu o desítky procent.

1.3 Srovnání NiCd a NiMH akumulátorů

Niklkadmiové články se v současné době stále hojně používají v aplikacích, kde jsou požadovány velké vybíjecí proudy, protože tyto akumulátory mají nižší vnitřní odpor než akumulátory typu NiMH. Další výhodou NiCd oproti NiMH je nižší pokles energie, kterou je článek schopen dodat při nízkých teplotách. Výhody NiCd článků jsou vykoupeny jejich vyšší cenou v porovnání s články NiMH stejné kapacity. Velkou nevýhodou NiCd článků je toxicita látek, z nichž jsou vyráběny – kadmium.

Pro snížení zátěže pro životní prostředí jsou články niklkadmiové v aplikacích, kde je to možné nahrazovány akumulátory niklmetalhydridovými, které jsou chemicky téměř nezávadné. Navíc akumulátory NiMH vykazují vyšší energetickou hustotu, jak ukazuje Tabulka 1.1 a je tedy možné dosáhnout vyšší kapacity článku při zachování rozměrů. Další výhodou NiMH článků je nižší napěťová deprese než u NiCd, která může způsobit nesprávné vyhodnocení hodnoty vybití akumulátoru, tato je navíc u NiMH článků vratným procesem. Vlivem vyššího vnitřního odporu dochází k vyššímu zahřívání NiMH článků při vybíjení či nabíjení vysokými proudy.

Tabulka 1.1: Srovnání parametrů NiCd a NiMH akumulátorových článků dle [1] a [2]

Provedení článku	Jmenovité napětí	Vnitřní odpor	Hustota energie		Samovybíjení	Provozní teplotní rozsah	Počet cyklů
	[V]	[mΩ]	[Wh/kg]	[Wh/l]	[%C/měsíc]	[°C]	[-]
NiCd	1,2	10 - 15	45	150	10	-10 – 45	5000-10000
NiMH	1,2	20 - 30	70	230	20	-10 – 60	400-700

1.4 Akumulátorové baterie

Sériové spojení více článků s sebou nese, mimo výhody ve formě získání vyššího napětí, také několik možných zdrojů problémů, kterých je vhodné si povšimnout.

U sériového spojení článků může dojít během vybíjení k přepólování jednoho z článků. Mohou za to nestejně kapacity a tím nestejný stav nabití jednotlivých článků. Článek s nejnižší kapacitou je nejdříve vybit. Proudem ostatních článků je přebíjen na opačnou polaritu a uvnitř článku je vyvíjen vodík. Ten je absorbován zápornou elektrodou a po nasycení dochází k uvolňování kyslíku. Tímto vzrůstá vnitřní tlak, což může způsobit otevření pojistného ventilu článku. Tomuto stavu se dá předejít vybíjením akumulátorové baterie pouze na omezenou dostatečně vysokou hranici výstupního napětí. Doporučuje se hranice cca

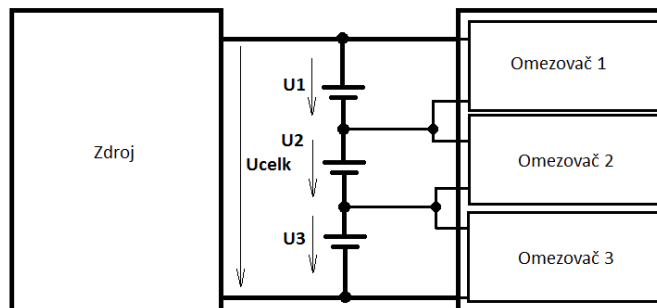
1 V / článek, což je výhodné také z hlediska napěťové deprese, jak bylo uvedeno v podkapitole 1.1.2.

Také při nabíjení sériového spojení více článků je reálné nebezpečí poškození článků. Články mají zpravidla na začátku nabíjení rozdílná napětí a dosáhnou tedy stavu nabití v rozdílných časech. Takto může pravidelně docházet k přebíjení některých článků, při tomto dochází k nežádoucím chemickým reakcím uvnitř článku a vzniku plynů, které působí nárůst vnitřního tlaku. Případně dochází k nedostatečnému nabíjení některého článku a akumulátorové sada jako celek vykazuje horší vlastnosti. Problém rozdílného průběhu nabíjení jednotlivých článků lze účinně řešit pomocí tzv. balanceru, viz následující podkapitola.

1.5 Balancer a vyvažování

Balancer je obvod, který v průběhu nabíjení akumulátorové baterie kontroluje stav jednotlivých článků a řídí jejich nabíjení tak, aby nedocházelo k přebíjení ani nedostatečnému nabíjení jednotlivých článků. Existují prakticky dva typy balancerů.

Konstrukčně nejjednodušší a nejlevnější jsou balancery, které sice neodpovídají přesně definici uvedené v předchozím odstavci, ale do jisté míry je lze balancery nazývat. Tyto balancery pracují na principu omezení napětí na jednotlivých člancích. Takovýto balancer si lze představit jako paralelně připojenou zenerovu diodu. Po dosažení daného napětí článku začne nabíjecí proud protékat přes tento omezovač, čímž je omezeno nabíjení daného článku a zároveň umožněno nabíjení ostatních.



Obrázek 3: Balancer na principu omezovače napětí

Druhý typ balancerů bývá osazen mikroprocesorem. Tyto balancery jsou při výrobě kalibrovány přímo na danou baterii. Také v průběhu jednotlivých nabíjecích cyklů balancer sleduje průběh nabíjení jednotlivých článků a údaje o nich ukládá do vnitřní paměti. Tyto balancery velmi účinně a rychle regulují napětí jednotlivých článků a jsou vhodné i pro rychlé nabíjení. Navíc díky přítomnosti mikroprocesoru dokáží poskytovat další informace jako je zbývající energie článků nebo celkový stav baterie a mohou přímo komunikovat s nabíječkou.

Používání balancerů má smysl pro všechny typy akumulátorových baterií, ale nejčastěji jsou používány s lithiovými akumulátory LiIon či LiPol, kde je velké riziko poškození článku či dokonce exploze při přebíjení.

2 DETEKCE STAVU NABITÍ NiCd A NiMH AKUMULÁTORŮ

Kapitola 2 popisuje využitelné postupy pro vyhodnocení stavu nabití akumulátorových článků a baterií. Jsou zde rozebrány výhody a nevýhody jednotlivých metod.

2.1 Časované nabíjení

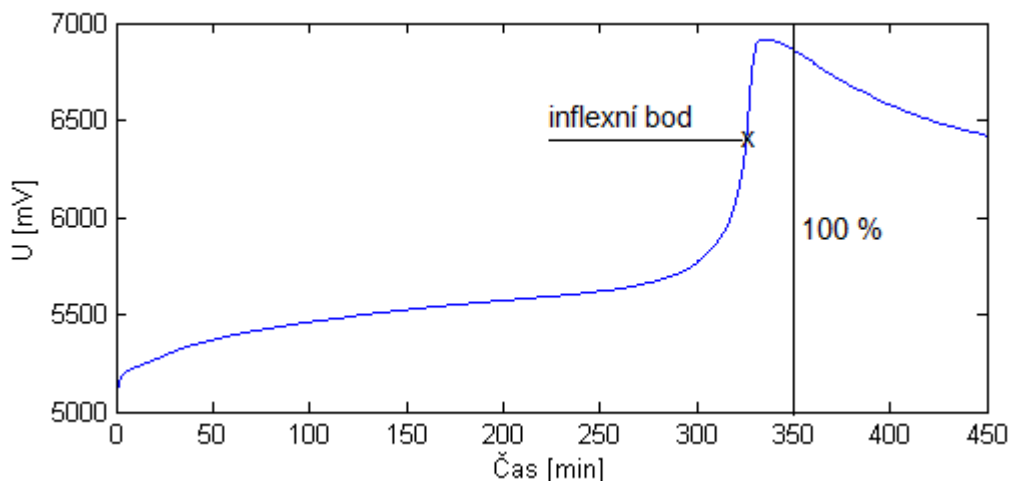
Tato nabíjecí metoda patří mezi nejjednodušší. Princip spočívá v nabíjení akumulátoru konstantním proudem po stanovenou dobu, tak aby byla akumulátoru předána energie odpovídající 140 % (NiCd) nebo 160 % (NiMH) jmenovité kapacity akumulátoru.

Dodaná energie je vždy vyšší než 100 % kapacity akumulátoru, protože nelze dosáhnout účinnosti nabíjení $\eta = 1$. Během nabíjení je část energie převáděna akumulátorem na teplo, díky jeho vnitřnímu odporu. S rostoucím stupněm nabití účinnost nabíjení klesá.

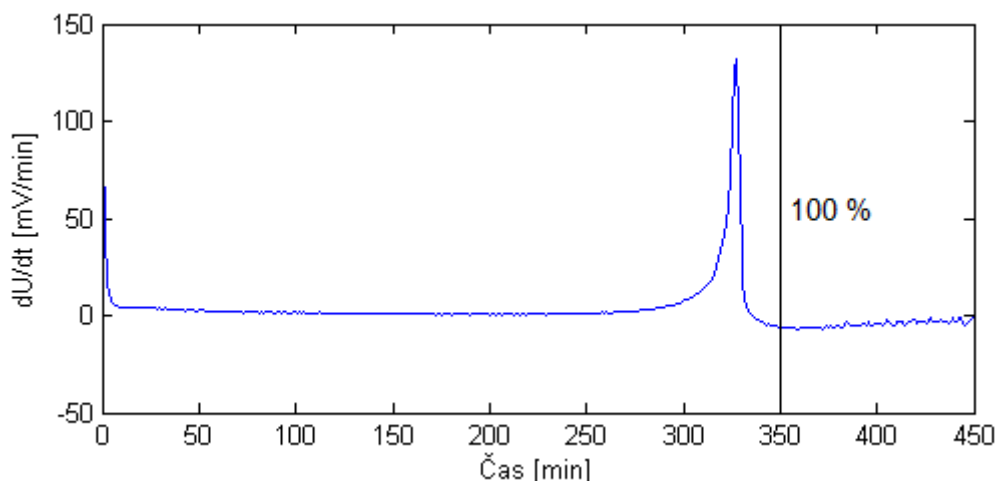
Metoda časovaného nabíjení je vhodná pro nižší nabíjecí proudy do asi C/3.

2.2 Detekce poklesu napětí ($\frac{\Delta U}{dt} < 0$)

Při nabíjení akumulátorů konstantním proudem dochází při plném nabití akumulátoru k mírnému poklesu napětí na jeho svorkách (viz Obr. 3), což je využito v této nabíjecí metodě.



Obrázek 4: Pokles napětí na svorkách akumulátoru při plném nabití



Obrázek 5: První derivace nabíjecí charakteristiky měřené akumulátorové sady 4x1,2 V / 1400 mAh, při nabíjecím proudu 280 mA

Tento nabíjecí režim je dobře využitelný pro NiCd akumulátory, kde je pokles velmi dobře patrný, obecně se udává asi 10 – 25 mV na článek.

Na změřené nabíjecí charakteristice odpovídá podle předchozí teorie stavu 100 % nabití, kdy byla článkům dodána energie ve výši 140 % jejich jmenovité kapacity, čas 420 minut. Je však vidět, v tomto čase již byl změřen napěťový pokles asi 100 mV na článek a články jsou zde již přebíjeny.

Pro nabíjení akumulátorů NiMH v tomto režimu je třeba citlivější vyhodnocení, protože zde jsou udávány hodnoty napěťového poklesu asi poloviční, udává se 5 – 10 mV na článek dle velikosti nabíjecího proudu.

Pro nabíjení NiCd akumulátorů touto metodou neplatí žádné omezení. Pro akumulátory NiMH je tato metoda použitelná při proudech vyšších než $C/3$, protože při nižších nabíjecích proudech nemusí být detekovatelný pokles napětí.

2.3 Nulový napěťový přírůstek ($\frac{\Delta U}{dt} = 0$)

Jedná se o modifikaci postupu použitého v metodě detekce poklesu napětí, která umožňuje lepší detekci nabití NiMH akumulátorů.

U některých NiMH článků nemusí být za určitých podmínek detekovatelný pokles napětí $-\frac{\Delta U}{dt}$. Na nabíjecí charakteristice NiMH článku na Obr. 3 si lze povšimnout zcela konstantního výstupního napětí po nabití akumulátoru, což využívá tato metoda k rozpoznání nabitého akumulátoru. Pokud po určitou dobu nedochází k nárůstu svorkového napětí článku, je prohlášen za nabitý a nabíjení je ukončeno.

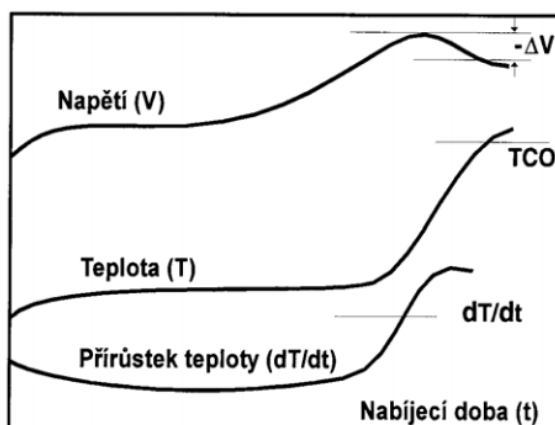
2.4 Sledování teploty

Samostatné nasazení tohoto postupu není příliš vhodné. Využívá se zde porovnávání aktuální teploty článku s nastavenou hranicí. Tímto nemusí dojít ke správnému vyhodnocení stavu akumulátoru. Když je do nabíječky vložen chladný akumulátor, může dojít k jeho

přebíjení do chvíle, než jeho teplota dosáhne požadované hranice. Naopak v prostředí se zvýšenou teplotou může být nabíjení ukončeno předčasně.

Sledování teploty je však vhodné jako doplňková metoda k uvedením předešlým, kdy je současně s napětím akumulátoru kontrolována i jeho teplota nebo spíše přírůstek teploty oproti počátečnímu stavu.

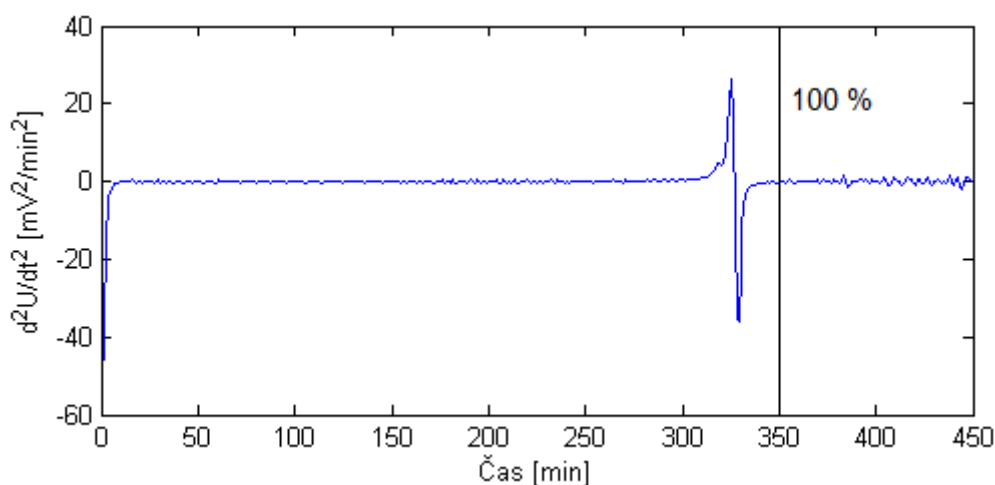
2.5 Sledování časového teplotního přírůstku



Obrázek 6: Průběhy pro jednotlivé metody detekce nabití akumulátoru (převzato z [1])

Tato metoda je velmi vhodná pro akumulátory NiMH, kde je teplotní přírůstek ve stavu 100 % nabití výraznější než u NiCd vlivem většího vnitřního odporu. Navíc je stav plného nabití detekován dříve než u metody detekce $\frac{\Delta U}{dt} < 0$, čímž je zamezeno přebíjení článků a není tak omezována jejich životnost.

2.6 Detekce inflexního bodu ($\frac{d^2U}{dt^2} = 0$)



Obrázek 7: Druhá derivace nabíjecí charakteristiky akumulátorové sady 4x1,2 V / 1400 mAh při nabíjecím proudu 280 mA

Tato metoda funguje velmi spolehlivě jak pro články NiCd tak i NiMH a je vhodná pro současné konstrukce nabíječů s mikroprocesory. Díky spolehlivosti detekce je vhodná pro rychlé nabíjení vysokým proudem, kde by u předešlých metod hrozilo přebíjení vysokým proudem.

Metoda detekce inflexního bodu vyhledá bod na nabíjecí křivce, kde dochází ke změně průběhu napětí z konvexního na konkávní. Využívá se k tomu druhé derivace nabíjecí charakteristiky, která v inflexním bodě prochází nulou. Tento bod předchází závěrečnému zvýšení teploty akumulátoru, při ukončení nabíjení v tomto bodě tedy nedojde k přehřátí a přebíjení akumulátoru a ke snižování jejich životnosti. Jak je vidět z nabíjecí křivky na Obr. 6, v inflexním bodě se pohybuje hladina nabití akumulátoru okolo 80 – 85%. Pro dosažení plného nabití je nutné při detekci inflexního bodu nabíjecí křivky přejít do režimu „top-up“ nabíjení. Jedná se o časově omezené impulzní nabíjení se střídou asi 1:3. Přerušované nabíjení před plným nabitím článku je velmi šetrné, protože kyslík vznikající na kladné elektrodě uvnitř článku během nabíjecího pulzu má dostatek času po dobu pauzy na rekombinaci na záporné elektrodě. Tím nedochází ke zvyšování vnitřního tlaku v akumulátoru.

3 KONCEPCE TESTOVACÍHO A NABÍJECÍHO ZAŘÍZENÍ

Třetí kapitola se zabývá obvodovým řešením zařízení, které umožní testování regeneraci a rychlé nabíjení akumulátorových sad.

3.1 Požadavky na „Smart“ tester a nabíječ

- rychlé kontrolované nabíjení sady NiCd a NiMH akumulátorů do 18 V (15 článků)
- možnost diagnostikovat stav akumulátoru
- možnost regenerovat dlouho nepoužívané nebo špatně udržované sady
- maximální šetrnost vůči akumulátorům vzhledem k jejich životnosti

Z uvedených požadavků vznikl návrh zapojení, jehož důležité parametry zachycuje následující podkapitola 3.2 a jeho schéma je uvedeno v příloze A.

3.2 Parametry navrženého zapojení „Smart“ testeru a nabíječe

- možnost nabíjení 4 – 18 článků (jmenovité napětí 1,2 – 18 V)
- nastavitelný nabíjecí proud 50 mA – 3 A
- vyhodnocení stavu nabití pomocí metody detekce inflexního bodu
- možnost diagnostiky stavu akumulátorů (měření energie dodané do akumulátoru při nabíjení i odebrané při vybíjení, měření vnitřního odporu)
- funkce samotného nabití, nebo formování ve více cyklech pro dosažení maximální kapacity

3.3 Zapojení „Smart“ testeru a nabíječe akumulátorů

Předložené zapojení Smart testeru a nabíječe provádí nabíjení a vybíjení lineárně regulovaným proudem. Po dosažení inflexního bodu je nabíječ přepnut do impulzního udržovacího režimu.

Řídicím prvkem celého zapojení je osmibitový mikroprocesor ATmega644 [3], který obsluhuje nabíjení i vybíjení připojené akumulátorové sady a zajišťuje komunikaci s obsluhou pomocí displeje a klávesnice. Mikroprocesor z řady ATmega byl vybrán, protože je pro něj na VUT dostupná široká podpora a byly mu již věnovány některé vyučované předměty.

Důležitými parametry mikrokontroléru ATmega 644 pro toto zapojení jsou přítomnost čtyř 8 bitových I/O portů a integrovaný 10 bitový A/D převodník s osmi multiplexovanými vstupy. Pro program je zde k dispozici 64 kB paměti Flash a 4 kB SRAM pro uživatelská data.

Výkonovou část tvoří dva unipolární tranzistory FET s kanálem N typu IRL530N [4], které na rozdíl od běžných FET tranzistorů umožňují spínání TTL úrovněmi a splňují požadované parametry. V zapojení je také použit běžný MOS-FET IRF9540 s kanálem P [5].

3.3.1 Princip činnosti „Smart“ testeru a nabíječe

Celé zapojení je napájeno z jednoho napájecího zdroje s napětím 10-30 V a proudem až 3 A. Pro řídicí část nabíječe je napájecí napětí stabilizováno 5 V stabilizátorem. Spotřeba samotného řídicí části se pohybuje okolo 25 mA, avšak při použití LCD displeje s podsvícením spotřeba naroste o cca 100 – 150 mA.

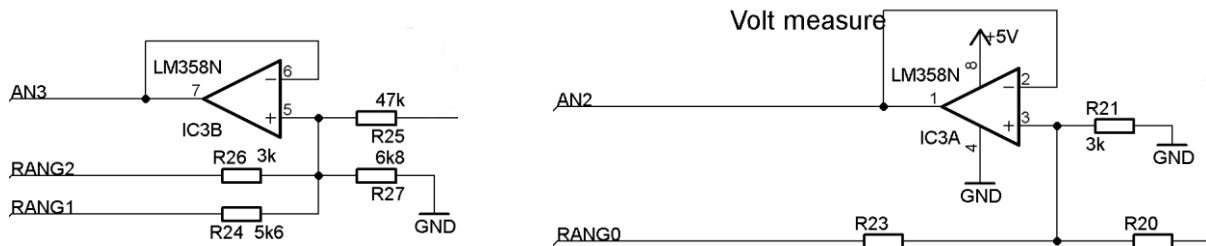
Dále je napětí přímo z připojeného zdroje přivedeno do výkonové části zařízení, které se přímo účastní nabíjení či vybíjení. Maximální velikost napětí 30 V byla zvolena s ohledem na nutnost nabíjet akumulátorové sady se jmenovitým napětím 18 V (15 článků). Tato sada dosahuje před ukončením nabíjení celkové napětí okolo 25 V (cca 1,7 V / článek). Odhadem rezervy nutné pro správnou činnost regulace se při návrhu dospělo k hodnotě 30 V. Další zvyšování napětí na vstupu nabíječe již není možné, protože mezní vstupní napětí použitého stabilizátoru je právě 30V. napětí Při nabíjení akumulátorových sad s menším jmenovitým napětím (menším počtem článků), není takto vysoké napětí nutné, dokonce to z hlediska výkonových ztrát a účinnosti není vhodné. Návrh a konstrukce vhodného zdroje se tato práce nezabývá.

Celé zapojení se skládá z několika dílčích obvodů. Dvěma z nich jsou obvody pro měření napětí tvořené dvojitým operačním zesilovačem IC3 v roli napěťového sledovače a rezistorů R20 – R21, R23 a R24 - R27 tvořících přepínatelné napěťové děliče. Jejich úkolem je převést hodnotu napětí na vstupu na napětí v rozsahu 0 – 1,225 V, což je hodnota referenčního napětí A/D převodníku MCU. Dělič na Obr. 7a tvoří rezistory R24 až R 27. V základním stavu je dělič tvořen rezistory R25 a R27, jejichž hodnoty určují dělicí poměr:

$$\frac{U_{vst}}{U_{výst}} = \frac{R27}{R25+R27} = \frac{5,6 \cdot 10^3}{47 \cdot 10^3 + 5,6 \cdot 10^3} \cong \frac{1}{8} \quad (1)$$

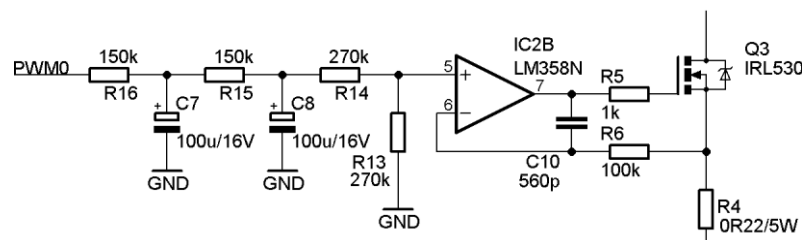
Tímto je omezen maximální měřitelný rozsah napětí na svorce AKU- na $8 \cdot U_{ref} = 8 \cdot 1,225 = 9,8 \text{ V}$. Tato hodnota je nedostatečná při použití velkého napájecího napětí a současném připojení baterie s nízkým počtem článků. Proto dělič obsahuje rezistory R24 a R26. Uzemněním R24 nebo R24 a R26 současně lze zvýšit dělicí poměr na 1:16 nebo

1:32. Volba patřičného dělicího poměru se provádí uvedením odpovídajícího pinu portu A mikrokontroléru buď do stavu log. 0 nebo vysoké impedance. V případě log. 0 je daný rezistor připojen paralelně k pevně danému rezistoru R27 resp. R21 a dělicí poměr je tak zmenšen. Odpor sepnutých výstupních tranzistorů v MCU se pohybuje v řádu nízkých jednotek ohmů a měření tedy vzhledem k hodnotám odporů děliče prakticky neovlivňuje. Uvedení do stavu vysoké impedance se provede přepnutím pinu do režimu vstupu. V tomto případě je daný rezistor děliče nepřipojen a dělič pracuje ve svém základním dělicím poměru 1:8 (dělič s IC3A) resp. 1:16 (dělič s IC3B).



Obrázek 8a, b: Obvody pro měření napětí

Napěťový dělič se sledovačem IC3A umožňuje volbu dělicích poměrů 1:16 a 1:32 a slouží k měření napětí kladné svorky akumulátoru vůči zemi. Zde se předpokládají vyšší napětí, proto zde není možnost volby dělicího poměru 1:8, jako je tomu u děliče se sledovačem IC3B. Tento dělič je používán k měření napětí na záporné svorce akumulátoru vůči nulovému potenciálu. Toto napětí se v předloženém zapojení může pohybovat od jednotek V i přes 20 V, dle jmenovitého napětí akumulátoru a napětí zdroje. Proto je zde použit dělič s volbou mezi třemi dělicími poměry 1:8, 1:16 a 1:32. Dělicí poměry v mocninách dvou byly zvoleny pro usnadnění výpočtů v mikrokontroléru. Tyto hodnoty jsou však pouze teoretické a zaokrouhlené. Hodnoty použitých rezistorů neodpovídají přesně uvedeným dělicím poměrům a nepřesnost je dále umocněna vlivem tolerancí součástek. Pro zajištění přesného měření jsou mikroprocesoru uloženy přesné hodnoty získané měřením odpovídající těmto poměrům.



Obrázek 9: Obvody převodu D/A a řízení protékajícího proudu

Další důležitou částí jsou dva shodné obvody, které převádí digitální informaci z mikroprocesoru na analogový proud. Jeden z obvodů (s IC2B) řídí proud vybíjení akumulátoru, obvod s IC2A řídí nabíjecí proud.

Do obvodu vstupuje signál s pulzně-šířkovou modulací, který je na RC članku R15, R16, C7, C8 typu dolní propust usměrněn a přes napěťový dělič 1:2 R13, R14 přiveden na neinvertující vstup operačního zesilovače. Šířkou pulzů PWM je ovlivněna hodnota usměrněného napětí, širší pulzy znamenají vyšší napětí na vstupu OZ. Toto řešení regulace proudu je převzato z [6].

Na neinvertující vstup OZ se přivádí napěťový úbytek na rezistoru R4 vyvolaný procházejícím proudem. Výstup OZ reguluje otevření tranzistoru Q3 tak, aby se obě napětí rovnala, tedy aby protékající proud odpovídal šířce pulzů PWM. Tranzistor Q3 byl vybrán z řady IRL, které umožňuje ovládání TTL úrovněmi, tedy 0 – 5 V, aby byla zjednodušena konstrukce budící části.

Tranzistor Q3 a rezistor R4 jsou zapojeny mezi kladnou a zápornou svorku akumulátoru. Při vybíjení je většina proudu dodaného akumulátorem přeměněna v teplo na tranzistoru, proto je potřeba zajistit jeho dostatečné chlazení. Hodnota rezistoru R4 byla zvolena tak, aby ztrátový výkon na něm byl únosný i při maximálním vybíjecím proudu. Při vybíjení akumulátorové sady s 15 články (18 V) maximálním proudem nabíječe (3 A) je ztrátový výkon rezistoru:

$$P_R = RI^2 = 0,22 \cdot 3^2 = 1,98 \text{ W} \quad (1)$$

a úbytek napětí bude:

$$U_R = RI = 0,22 \cdot 3 = 0,66 \text{ V} \quad (2)$$

Na tranzistoru je potom rozdíl napětí akumulátoru a úbytku na rezistoru

$$U_{Q3} = 18 - 0,66 = 17,34 \text{ V} \quad (3)$$

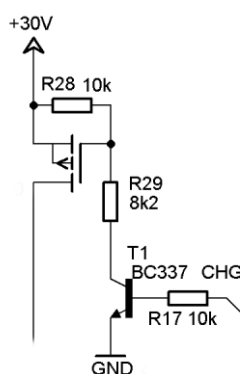
a ztrátový výkon Q3 bude za těchto podmínek:

$$P_{Q3} = UI = 17,34 \cdot 3 = 52,0 \text{ W} \quad (4)$$

Pro tranzistor Q2 regulující nabíjení nastává nejvyšší zatížení při nabíjení velkým proudem sady s malým napětím, pokud je napětí zdroje vysoké. Při napětí zdroje 30 V, připojené akumulátorové sadě se jmenovitým napětím 4,8 V a nabíjecím proudem 3 A bude na tranzistoru Q2 ztrátový výkon:

$$P_{Q2} = UI = (30 - 4,8 - 0,66) \cdot 3 = 73,6 \text{ W} \quad (5)$$

Použité tranzistory typu IRL530N mají dovolenou ztrátu 88 W, takže se nacházíme v mezích povolených výrobcem, jen je třeba zajistit dostatečné chlazení. Připojením vybitého akumulátoru ztráta ještě mírně vzroste, ale nepřekročí povolenou mez tranzistoru.



Obrázek 10: Obvod spínání nabíjecího proudu

Nabíjecí proud zdroje je na kladnou svorku akumulátoru přiveden přes elektronický spínač tvořený tranzistory Q4 a T1. Q4 je výkonový tranzistor typu FET s kanálem P, tranzistor T1 je bipolární tranzistor typu NPN.

Uvedením výstupu CHG mikrokontroléru do stavu log. 1 je na bázi T1 přivedeno kladné napětí +5 V. Tímto napětím je tranzistor otevřen, přes přechod C-E protéká proud odporového děliče R28, R29. Tímto děličem je na řídicí elektrodu Q4 přivedeno asi 45 % napájecího napětí. Záporné napětí U_{GS} způsobí otevření tranzistoru. Dělič byl navržen tak, aby při napájecím napětí 30 V nebylo překročeno maximální napětí U_{GS} tranzistoru Q4 ± 20 V a zároveň, aby bylo zajištěno plné otevření tranzistoru a tím minimální výkonová ztráta i při napájecích napětích kolem 10 V. Takto je zajištěno, že tento tranzistor není třeba dodatečně chladit.

Poslední součástí obvodu je řídicí mikrokontrolér s externím zdrojem referenčního napětí 1,225 V IC4. Mikrokontrolér zajišťuje řízení všech výše uvedených obvodů a vzorkování napětí přiváděných na vstupy A/D převodníku.

Po připojení napájecích napětí proběhne inicializace periférií mikrokontroléru a následně je uživatel dotázán na parametry připojeného akumulátoru (jmenovité napětí, udávané kapacita) nabídnuta volba mezi provedením nabíjení příp. formováním a měřením akumulátoru. Po zvolení libovolné akce jsou nejprve nastaveny vhodné napěťové děliče na vstupech A/D převodníků dle velikosti napětí zdroje a napětí připojeného akumulátoru. Proto je nutné ve chvíli spuštění dané akce již mít akumulátor připojen. V opačném případě může dojít k chybnému vyhodnocení stavu akumulátoru a zvolený proces nemusí proběhnout korektně.

Zvolením volby nabíjení, je pin 4 PORTB uveden do stavu log. 1 a je tak sepnut spínač nabíjecího proudu. Dále je nastaven generátor PWM kanál PWM0 (OC0) na hodnotu 0. Tím dojde k uzavření tranzistoru Q3 a nabíjecí proud neprotéká vybíjecím obvodem připojeným paralelně k akumulátoru. Na kanálu PWM1 (OC2) je generována pulzně-šířková modulace se šířkou pulzu odpovídající nastavenému nabíjecímu proudu s kmitočtem asi 30 Hz. Kmitočet PWM není nijak kritický. Volbou vyššího kmitočtu dojde při zachování hodnot součástek k rychlejšímu ustálení hodnoty protékajícího proudu, avšak se zvýší se minimální takto nastavitelný proud.

V průběhu nabíjení je mikroprocesorem kontrolováno napětí akumulátoru pomocí napěťových sledovačů s přepínatelnými děliči. Napětí na akumulátoru je získáno jako rozdíl napětí na kladné a na záporné svorce akumulátoru vůči zemi. Zároveň je vzorkován úbytek napětí na měřicím rezistoru R3 a dopočítávána skutečná hodnota protékajícího proudu, která se poté využívá k výpočtu dodaného náboje.

Při vybíjení akumulátorů je tranzistorový spínač Q4 rozepnut a do obvodu nemůže téci proud ze zdroje. PWM signál s odpovídající šířkou pulzu je generován na výstupu PWM0. Tímto je řízen tranzistor Q3. Na kanálu PWM1 je rovněž generována PWM, ale zde na šířce pulzu nezáleží, protože rezistorem R3 neteče žádný proud a úbytek napětí na něm je tedy nulový. Na invertujícím vstupu IC2A je tedy nulové napětí. Na neinvertujícím je kladné napětí, které způsobí překlopení výstupu OZ na +5 V. Takto je tranzistor Q2 plně otevřen. Tímto způsobem je záporná svorka akumulátoru připojena na GND, aby bylo možné uskutečnit všechna měření, protože ta jsou prováděna právě vůči zemní svorce. V průběhu vybíjení je opět monitorováno napětí akumulátoru i proud jím protékající a následně dopočítáván odebraný náboj.

Měření vnitřního odporu akumulátorů se provádí postupným nastavením dvou hodnot vybíjecího proudu a měřením napětí baterie v těchto okamžicích. Dynamický vnitřní odpor je potom roven:

$$R_{int} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (6)$$

Informování uživatele o stavu nabíječe, akumulátoru a také zobrazení nabídek požadovaných činností zajišťuje alfanumerický LCD display 2x16znaků MC1602 [7] s řadičem HD44870 [8]. Komunikaci s ním zajišťuje osmibitová datová sběrnice na portu C mikrokontroléru a tři řídicí vodiče připojené na port D. Odporovým trimrem R2 lze nastavit kontrast displeje.

K zajištění zpětného kanálu komunikace s uživatelem slouží čtyřtlačítková klávesnice. Vzhledem k dostatku volných pinů MCU je každé z tlačítek připojeno na samostatný pin. Všechna tlačítka mají jeden z kontaktů připojen na GND a v MCU jsou aktivovány vnitřní pull-up rezistory. Tlačítka ESC a ENTER jsou připojena na vstupy externích přerušeni INT0 a INT1, která jsou využita pro jejich obsluhu.

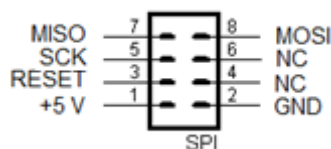
3.4 Konstrukce „Smart“ testeru a nabíječe

Nabíječ je zkonstruován na jednostranné desce plošných spojů se čtyřmi drátovými propojkami. Deska byla navržena pomocí programu Eagle a má rozměry 139 mm x 100 mm. Tlačítka jsou umístěna na samostatné desce s rozměry 44 mm x 47 mm a s hlavní deskou jsou propojena pětivodičovým plochým kabelem. Stejně je provedeno připojení LCD zobrazovače pomocí třináctivodičového kabelu. Vývody pro obě periferie jsou na DPS umístěny na okraji desky, aby bylo možné připojit je pouze pomocí pinové lišty s roztečí 2,54 mm. Otvory pro připojení napájecího zdroje a svorkovnice pro akumulátor jsou umístěny na okrajích desky.

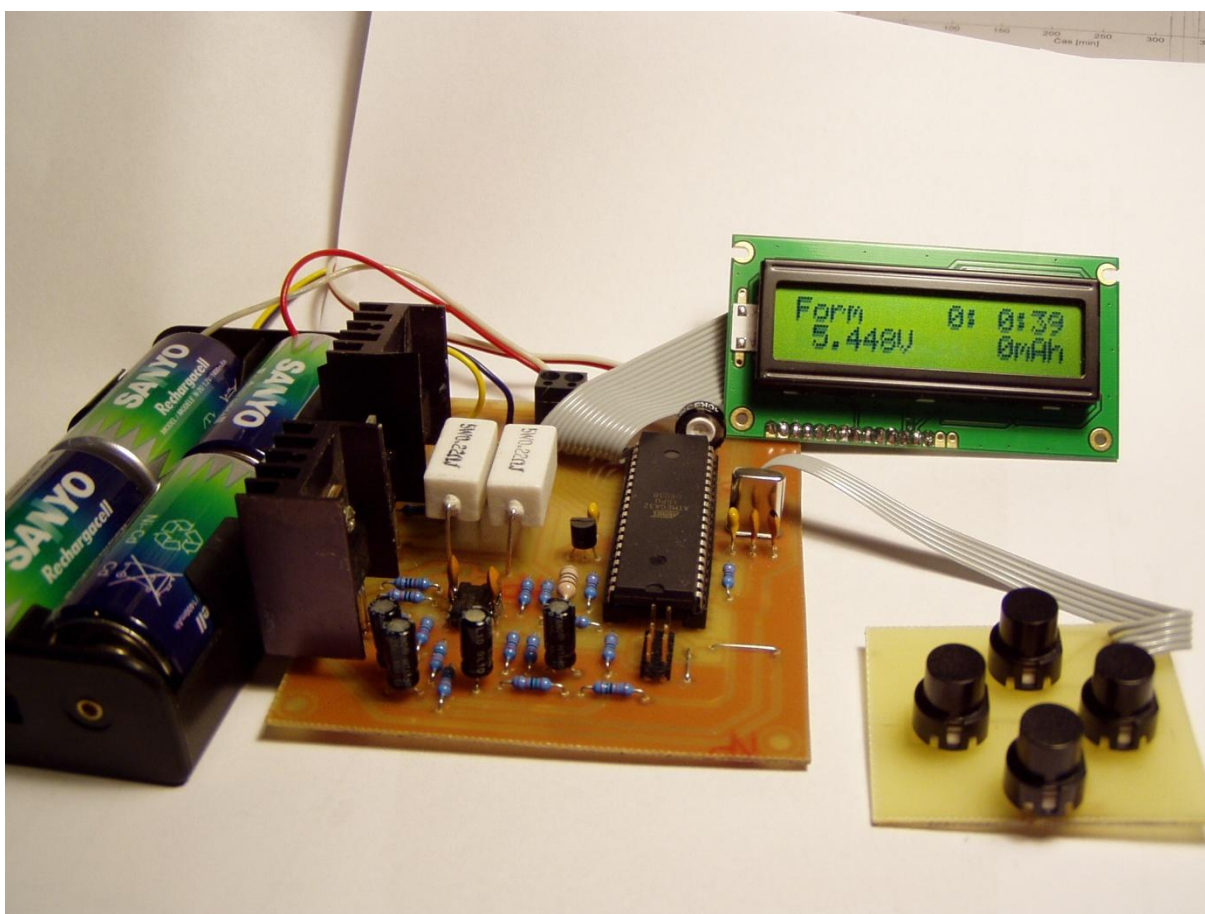
Výkonové tranzistory spolu se stabilizátorem jsou umístěny na okraji desky, tak aby bylo možné je izolovaně připevnit na chladič. Výkonová ztráta na nabíjecím i vybíjecím tranzistoru může dosahovat desítek wattů, proto je vhodné použít chlazení s nuceným prouděním vzduchu.

Na desce je umístěn konektor pro naprogramování MCU pomocí ICSP. Konektor je osmipinový, avšak dva piny jsou vyštípnuty, pro jednoznačné určení jeho orientace. Zapojení pinů konektoru CON2 je na Obrázku 10.

Motivy DPS jsou uvedeny v příloze A.



Obrázek 11: Zapojení pinů konektoru CON2 (SPI)



Obrázek 12: Fotografie konstrukce "Smart" testeru a nabíječe

4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ MCU „SMART“ TESTERU A NABÍJEČE

Celý program pro řídicí MCU „Smart“ testeru je napsána na více než 800 řádcích v jazyce GCC a zabírá v paměti Flash mikrokontroléru 15 kB (23 %). Je velmi důležitou součástí nabíječe, bez které by celé zapojení nebylo funkční, proto jsou v této kapitole popsány jeho důležité části.

4.1 Ovladače vstupně výstupních obvodů

Hlavní programová smyčka využívá pro komunikaci se vstupními i výstupními obvody ovladače napsané v samostatných souborech pro snazší modifikovatelnost výsledného kódu v případě použití s jiným MCU nebo v upraveném zapojení. Zde jsou popsány jednotlivé ovladače.

4.1.1 A/D převodník

Před použitím A/D převodníku je nejprve nutné zavolat funkci `ADC_init`, která provede přepnutí pinů používaných pro A/D převodník do režimu vstupů, zapne funkci A/D převodníku, nastaví volbu referenčního napětí na externí a pro taktování časovače ADC nastaví předděličku hodinového kmitočtu. Převodník smí být taktován kmitočtem maximálně 200 kHz. Vzhledem k použitému hodinovému kmitočtu 16 MHz je tedy jedinou možnou variantou nastavení předděličky na nejvyšší možnou hodnotu 1:128. V tomto případě je ADC taktován kmitočtem:

$$f_{ADC} = f_{osc} \cdot d = 16 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{128} = 125 \text{ kHz.} \quad (7)$$

Po inicializaci A/D převodníku již mohou být vzorkovány jednotlivé vstupy ADC. K tomu slouží funkce `ADC_get` volaná s parametrem určujícím číslo vstupu ADC (0-3), na kterém má být napětí vzorkováno. Funkce vrátí v šestnáctibitové proměnné výsledek 10 bitového A/D převodu zarovnaný dle zvyklostí vpravo.

4.1.2 Ovladač pro tlačítka

Před prvním použitím funkcí pro čtení stavu klávesnice je nutné zavolat její inicializační proceduru `KBD_init`, která provede nastavení používaných pinů pro vstup a připojí interní pull-up rezistory a povolí přerušení od tlačítek ENTER a ESC. Přerušení od zbývajících tlačítek není pro chod programu nutné. Tlačítka ENTER a ESC generují přerušení INT0 a INT1 při sestupné hraně, tedy v okamžiku stisku tlačítka. V obsluze přerušení je do globální proměnné `key_pressed` uloženo číslo stisknutého tlačítka, které se dále využívá pro řízení chodu programu a proměnná je nulována po zpracování události.

Po inicializaci je možné, mimo čekání na přerušení, zjistit stav klávesnice pomocí makra `KBD_status`, které vrátí hodnotu právě stisknuté klávesy. V případě, že není stisknuta žádná klávesa, je vrácena hodnota 0. Navrácená hodnota je osmibitového neznaménkového typu.

4.1.3 Ovladače generátoru PWM

Stejně jako předešlé ovladače i PWM vyžaduje před prvním použitím inicializaci funkcí `PWM_init`. Tato funkce inicializuje výstupy OC0 a OC2, nastaví správnou polaritu PWM a zvolí předděličku 1:1024, což umožní generování PWM s kmitočtem:

$$f_{PWM} = \frac{f_{clk}}{N \cdot 510} = \frac{16 \cdot 10^6}{1024 \cdot 510} = 30,6 \text{ Hz dle [3]}.$$

Generátor PWM pracuje s dominantní úrovní log. 0 a je měněna šířka kladných pulzů. Nastavení požadované hodnoty pro PWM výstup se provádí voláním maker `PWM0_set` a `PWM1_set` dle zvoleného PWM kanálu s požadovanou hodnotou. Vstupní hodnota je osmibitová neznaménkového typu.

4.1.4 Ovladač LCD

Ovladač pro komunikaci s LCD je poměrně rozsáhlý pro jeho kompletní popis na tomto místě a mnohé z jeho funkcí nejsou využívány. Před prvním použitím displeje je nutné zavolat inicializační funkci `LCD_init`, která nastaví `PORTC` a několik pinů z `PORTD` pro komunikaci a inicializuje displej pro 8 bitovou datovou sběrnici.

Vymazání zobrazovače se provádí funkcí `LCDclr`, skok na počáteční adresu `LCDhome`, skok na požadovanou pozici `LCDgotoXY` a zobrazení požadovaného řetězce obsluhuje funkce `LCDstring`. Ovladače obsahují i další funkce, ty ale nejsou ve „Smart“ testeru a nabíječi využity nebo velmi zřídka a jejich význam je patrný z jejich názvu. K zobrazení číselných hodnot získaných měřeními nebo výpočty mikrokontroléru se využívá převodu čísla na řetězec funkcí `sprintf`. Následně je tento řetězec odeslán na displej funkcí `LCDstring`.

Řetězce používané pro zobrazení nabídek jsou uchovávány v programové paměti Flash. Do operační paměti jsou následně přepokopírovány pouze právě potřebné řetězce. Takto dochází k šetření prostorem v paměti RAM.

4.2 Hlavní programová smyčka a pomocné funkce

Před spuštěním hlavní programové smyčky je definována celá řada konstant a maker pro zpřehlednění hlavní smyčky a zjednodušení případných úprav.

Po těchto definicích následují definice globálních proměnných a prototypy funkcí. Po veškerých definicích je spuštěna hlavní programová smyčka. Ta nejprve provede inicializaci všech periférií zavoláním příslušných inicializačních funkcí.

Po inicializačních procedurách následuje nekonečná programová smyčka, která nejprve vyžádá od uživatele údaje o akumulátoru a následně zobrazí nabídku pro volbu režimu. Aktuálně zvolená nabídka je uložena v globální osmibitové proměnné `mode`. Hodnota 1 odpovídá zvolení režimu „Chg/Form“, hodnota 2 pak režimu „Measure“. Podle hodnoty `mode` je dále rozhodnuto o zobrazení dalších nabídek. V režimu „Chg/Form“ lze dále zvolit položku „Charge“, tímto bude do proměnné `submode` uložena hodnota 1, případně položku „Form“. V tomto případě je uložena hodnota 2.

Následným zvolením rychlost „Slow“ nebo „Fast“ je v proměnné `speed` uložena hodnota 1 nebo 2. Pomocí této proměnné je dále rozhodnuto o způsobu výpočtu doporučené velikosti proudu.

Zobrazení nabídek a navrácení hodnoty patřičné zvolené položky zprostředkovává funkce `menu_select`, jejíž parametry jsou ukazatele na řetězce jednotlivých položek na displeji. Tato funkce vykoná načtení řetězců z Flash do RAM a jejich zobrazení. Poté dle stisknutých kláves navrací hodnotu zvolené položky 1 nebo 2 (položka na 1. nebo 2. řádku). V případě stisku ESC je navracena hodnota 0.

Veškeré aktivity nabíječe lze díky externímu přerušení od tlačítka ESC přerušit jeho stiskem, proto je průběžně kontrolována proměnná `key_pressed`, zda-li nedošlo k jeho stisku. Dále hlavní smyčka obsahuje kontrolu, jestli nebylo dříve stisknuto a nyní není stále drženo tlačítko ENTER, které by dále způsobilo nechtěné cyklické potvrzení údajů od uživatele. V případě jeho stisknutí, počkáme s vykonáním dalších instrukcí na uvolnění.

O načtení uživatelem požadovaných hodnot kapacity, proudů, počtu článků a jejich zobrazení se stará funkce `get_value`. Tato funkce se volá s parametry určujícími minimální, maximální hodnotu, krok a defaultní hodnotu. Poslední parametr slouží k povolení (1) nebo zakázání (0) zobrazení přepočítané hodnoty počtu článků na jmenovité napětí. Tento parametr je roven 1 pouze při nastavování počtu článků. Získané hodnoty jsou uloženy v patřičných proměnných `current`, `cell_count` a `capacity`.

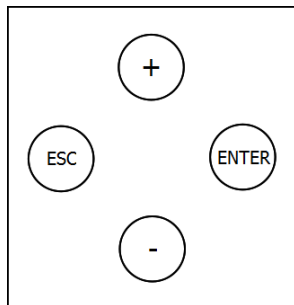
Spuštěním zvoleného procesu je vynulován obsah proměnných potřebných pro měření článků, inicializovány a spuštěny hodiny odměřující dobu nabíjení funkcí `clock_init`. Hodiny jsou realizovány pomocí šestnáctibitového časovače Timer 1 bez předděličky, který s periodou 244 Hz vyvolává přerušení. Dále jsou nastaveny vstupní napěťové děliče funkcí `set_volt_dividers`, hodnoty nastavených děličů jsou poté přístupné v globálních proměnných `volt_divider1` a `volt_divider2`. V cyklu, který může být ukončen stiskem tlačítka ESC nebo dokončením nabíjení, je volána funkce `chg_dischg_control`, která realizuje samotné nabíjení. Její návratová hodnota je 1, pokračuje-li nabíjení, 0 je-li nabíjení ukončeno z důvodu 100 % nabití baterie. Funkce `chg_dischg_control` je volána s parametry `PWM0_value`, `PWM1_value`, `curr_measure_ADCchannel`, `silent`, kde `PWM0_value` a `PWM1_value` určují v rozsahu 0-255 požadovanou hodnotu na výstupu generátorů PWM pro regulaci proudu. Hodnota `curr_measure_ADCchannel` určuje kanál ADC, který má být použit pro měření protékajícího proudu (0 nebo 1 podle zvoleného režimu nabíjení/vybíjení). Na pozici parametru `silent` může být vložena hodnota 0 nebo 1. Tato hodnota určuje, zda program po dokončení nabíjení/vybíjení čeká na potvrzení výsledků uživatelem, nebo jestli je provedeno tiché ukončení procesu bez odezvy. Tichého režimu je využíváno při formování, aby nemusela být každá fáze cyklu potvrzována uživatelen Rutina pro formování akumulátorů vychází z uvedené nabíjecí, liší se jen cyklickým voláním funkce `chg_dischg_control` s parametrem `silent=1` nejprve s parametry pro vybíjení a následně pro nabíjení.

Pro nabíjení a vybíjení se využívají funkce `charger` a `discharger`. Funkce `charger` každou minutu volá funkci `inflex_point_detect`, která vrací hodnotu 1 v případě detekce inflexního bodu. Funkce `discharger` pouze kontroluje aktuální napětí článků a v případě, že je vyšší než 1 V/článek vrací hodnotu 1.

V programu je využíváno i další jednodušších funkcí, které ovšem nemají na chod programu tak zásadní vliv jako výše uvedené a jejich význam a činnost lze pochopit z komentářů ve zdrojovém kódu.

5 PRÁCE SE „SMART“ TESTEREM A NABÍJEČEM

5.1 Ovládání Smart testeru



Obrázek 13: Uspořádání tlačítek Smart testeru

Smart tester je ovládán pomocí čtyř tlačítek, jejichž umístění a významy zachycuje Obrázek 12.

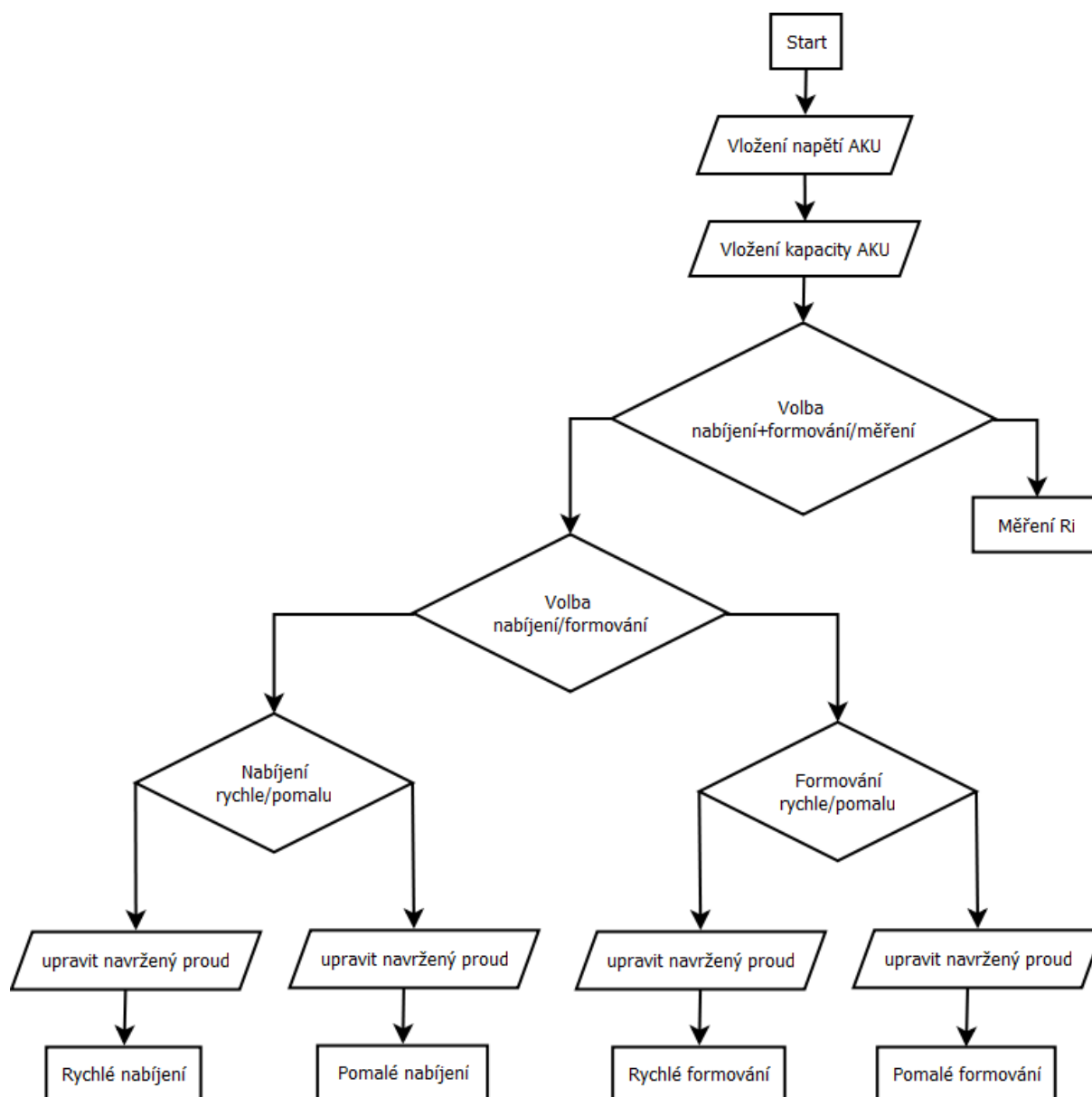
Tlačítka + a - lze inkrementovat zobrazenou hodnotu, pokud nabíječ vyžaduje vložení hodnoty. Krátkým stiskem je hodnota změněna o jeden krok. V případě, že je nutné hodnotu výrazně změnit, je výhodné tlačítko podržet. Nejprve dojde ke změně hodnoty o jeden krok a po cca 1/2 vteřině jsou hodnoty inkrementovány/dekrementovány automaticky s rychlostí 10 hodnot za sekundu dokud je tlačítko drženo.

Spínače + a - slouží také k označení konkrétní položky menu. Nabídka je vždy tvořena jednou položkou v pravé části horního řádku a jednou v pravé části dolního řádku displeje. Právě vybrané položka je označena symboly < a > na začátku a konci. Tlačítkem „+“ je označena horní položka, tlačítkem – spodní.

Potvrzení všech zadaných hodnot i vybrané položky menu se uskuteční stiskem tlačítka ENTER. Poté je zobrazena následující nabídka případně spuštěna daná akce.

Stiskem tlačítka ESC dojde k ukončení dané operace případně opuštění aktuální položky menu a návratu na nejvyšší položku menu jako po zapnutí napájení.

5.2 Struktura a funkce nabídek Smart testeru



Obrázek 14: Struktura menu Smart testeru a nabíječe

Po připojení napájení provede mikroprocesor inicializace všech potřebných vstupních i výstupních obvodů a zobrazí uvítací obrazovky, kde lze nalézt informaci o tvůrci programu a verzi programového vybavení.

Asi po 2 sekundách je zobrazen požadavek na zadání počtu článků „Count of cells?“, tedy jmenovitého napětí připojeného akumulátoru. Na druhém řádku displeje je zobrazena aktuálně vložená hodnota. Po potvrzení vložené hodnoty stiskem ENTER, je vyžádán údaj o kapacitě akumulátorové baterie. Informace o počtu článků resp. napětí akumulátoru je využita při vybíjení baterie pro určení hraniční hodnoty napětí a také pro správné nastavení funkce detekce nabití akumulátoru. Zadání kapacity není pro činnost nutné, avšak je využíváno pro výpočet optimálního nabíjecího resp. vybíjecího proudu ve zvoleném režimu. Tento proud však lze dodatečně nastavit, jak je uvedeno v následujících odstavcích.

Potvrzení hodnoty kapacity je zobrazena nabídka „Menu:“ kde lze zvolit ze dvou položek „Chg/Form“ a „Measure“. Zvolením položky „Measure“ (stisknout tlačítko – a poté ENTER) bude spuštěno měření vnitřního odporu připojené baterie. Měření trvá 20 sekund, v průběhu je na displeji zobrazen čas, po skončení měření je zobrazena změřená hodnota R_i v $m\Omega$. Prvních 10 sekund je nastaven proud 0,25 C a měřeno napětí článků, následně je proud zvýšen na 0,5 C a opět je prováděno měření napětí. Z rozdílu napětí a proudů je poté vypočtena hodnota vnitřního odporu všech článků v sérii, viz kapitola 3.

Zvolením položky „Chg/Form“ dojde k zobrazení další nabídky „Mode2:“, kde lze zvolit možnost samotného nabíjení „Charge“ a formování „Form“. Zvolením libovolné podnabídky dojde k zobrazení možností „Speed Fast“ a „Slow“, které ovlivňují výpočet navrženého nabíjecího nebo i vybíjecího proudu. Volbou položky „Slow“ je zvolen program pomalejšího nabíjení nebo vybíjení, kdy je navržena hodnota proudu odpovídající 0,1 C. Položka „Fast“ navrhne rychlejší proces s proudem 0,5 C. V obou případech lze nyní proud zkorrigovat tlačítky + a -. Při zvolení pomalejšího nabíjení nebo formování lze proud nastavovat v krocích 10 mA, při rychlejším nabíjení či formování je krok 50 mA. Potvrzením zobrazené hodnoty proudu dojde v případě formování ještě k dotazu na požadovaný počet cyklů, při samotném nabíjení dojde k jeho spuštění. Na obnovu akumulátorů se běžně používají 3 cykly, proto je tato hodnota automaticky navrhnutá při volbě formování a stačí ji potvrdit, případně je možné změnit. Potvrzením již dojde ke spuštění procesu formování.

Při formování je baterie nejprve vybíjena nastaveným proudem, dokud není dosaženo hraničního napětí 1 V/článek. Při poklesu pod tuto hodnotu je spuštěno nabíjení konstantním nastaveným proudem. Pokud je detekován během nabíjení inflexní bod, je nabíjení ukončeno a následuje pulzní nabíjení se střídou 1:2 pro dosažení plného nabití. Poté se celý cyklus opakuje dle zvoleného počtu cyklů. V průběhu všech cyklů jsou průběžně zobrazována napětí baterie, dodaný nebo odebraný náboj a doba trvání procesu. Na prvním řádku LCD je také zobrazeno číslo se znaménkem plus nebo minus. Číslo signalizuje, o kolikátý cyklus se jedná, znaménko určuje aktuální proces (+ znamená nabíjení, - vybíjení). Po posledním nabití bliká na displeji nápis „Charged!“, je zobrazen celkový čas formování a na spodním řádku je zobrazeno dosažené napětí a hodnota aktuálně dodaného náboje. Srovnáním dodaného s udávanou kapacitou lze rozhodnout o dalším nakládání s baterií. Je nutné uvážit, že nabíjení nemá účinnost 100 %.

5.3 Nabíjení a formování

Po spuštění nabíjení nebo formování spustí MCU na patřičném výstupu generování PWM případně sepne tranzistor Q4 pro uzavření nabíjecího okruhu. Během několika sekund plynule stoupne proud přibližně na nastavenou hodnotu a zde se ustálí. Na displeji jsou zobrazovány informace o průběhu akce. Horní řádek zobrazuje režim („Charge“ nebo „Form“) a celkový čas od spuštění. Druhý řádek zobrazuje aktuální napětí akumulátoru a náboj dodaný případně odebraný z akumulátoru. Napětí a proud jsou vzorkovány s kmitočtem 10 Hz, ale hodnoty získané z A/D převodníku jsou zatíženy šumem, proto jsou filtrovány exponenciálním filtrem s faktorem 0,9. Filtr pracuje dle vzorce:

$$U_{avg} = 0,9U_{avg} + 0,1U_{actual} , \text{ případně} \quad (8)$$

$$I_{avg} = 0,9I_{avg} + 0,1I_{actual} , \quad (9)$$

Faktor filtru lze spolu s množstvím dalších parametrů nabíječe upravit v hlavičce programu.

Touto filtrací je způsobeno zpomalení odezvy indikovaného napětí na jeho změnu. Skutečná hodnota se po změně na displeji objeví po několika sekundách. Hodnota dodaného náboje je vypočítávána na základě průměrné hodnoty protékajícího proudu a uplynulého času. Její aktualizace probíhá každou minutu a je vypočítávána podle vztahu:

$$C = C + \frac{I_{avg}}{60} \text{ [mAh, mAh, mA]} \quad (10)$$

Hodnota náboje se každou minutu navýší o náboj dodaný v uplynulé minutě.

V případě detekce hodnoty protékajícího proudu blíží se nule v deseti vzorcích jdoucích za sebou, jsou pozastaveny hodiny a na druhém řádku LCD se zobrazí varovná zpráva „Battery ERROR!“. Varování je zobrazeno, dokud nedojde k obnovení protékajícího proudu. Poté jsou znovu spuštěny hodiny a činnost nabíječky pokračuje.

Činnost nabíječky lze kdykoli přerušit stiskem tlačítka ESC.

Nabíjení je automaticky ukončeno po detekci nárůstu druhé derivace napětí podle času a jejího následného poklesu k nule nebo do záporných hodnot. Za časový přírůstek je při výpočtu derivací brána 1 minuta, proto první resp. druhá derivace je v programu vypočítávána jednoduše jako rozdíl aktuální hodnoty napětí resp. první derivace a hodnoty v předcházející minutě.

Za stav vybití akumulátorů nabíječ považuje pokles napětí na nebo pod úroveň 1V / článek.

Ukončení nabíjení je na displeji indikováno blikajícím nápisem „Charged!“ a na displeji jsou zobrazeny výsledné hodnoty napětí akumulátoru, dodané energie a čas trvání nabíjení. Stiskem ENTER lze přejít do základní nabídky.

Ukončení formování rovněž indikuje nápis „Charged!“, protože poslední aktivitou nabíječky je nabití akumulátoru. Na displeji je zobrazen celkový čas všech cyklů formování, výsledné napětí po nabití a aktuální verze firmwaru 1.1 vypisuje náboj dodaný v posledním nabíjení. Stisk ENTER způsobí přechod do základní nabídky.

6 ZÁVĚR

V diplomové práci byla představena konstrukce inteligentního nabíjecího zařízení a mikroprocesorem ATmega644. Navržená konstrukce byla realizována a pro mikrokontrolér byl vytvořen řídicí program.

V průběhu programování a zkoušení jednotlivých funkcí se původně navržené zapojení ukázalo jako nevyhovující a postupně v něm proběhly různé úpravy. První, byla provedena v obvodech řízení tranzistorů FET pro regulaci proudů. Zde docházelo ke kmitání komparátorů, proto byl obvod doplněn keramickými kondenzátory 560 pF mezi výstupem a invertujícím vstupem komparátorů. Další z úprav se týkala tranzistoru FET spínajícího dobíjení, které bylo původně řešeno jiným zapojením s tranzistorem s kanálem N. Toto zapojení bylo nevyhovující z důvodu zbytečné výkonové ztráty a úbytku napětí. Změny se nevyhnuly ani obvodům pro měření napětí akumulátoru, které byly doplněny o přepínatelné napěťové děliče pro zvýšení přesnosti. Ani mikrokontrolér nebyl změněn ušetřen. Původně použitý typ ATmega32 byl nahrazen ATmega644. Smyslem nebylo získat větší prostor v paměti programu. Důvodem bylo poškození původního procesoru a jeho aktuální nedostupnost. Proto byl nahrazen pinově kompatibilním typem. Program však musel být pro něj uzpůsoben. Schéma uvedené v této práci obsahuje všechny provedené změny.

Program mikrokontroléru představený v této práci je plně funkční a implementuje všechny důležité funkce, avšak bylo by vhodné některé parametry ukládat do vnitřní paměti EEPROM, aby nebylo nutné je stále nastavovat. Rovněž by bylo vhodné do paměti EEPROM uložit některé kalibrační konstanty, které jsou řešeny pomocí definic.

LITERATURA

- [1] HAMMERBAUER, J., Akumulátory NiFe a NiCd [online], Západočeská univerzita v Plzni, 2009, [cit. 4.4. 2009]. Dostupné na www: <vyuka.fel.zcu.cz/kae/enz/Texty_folie/Texty/Akum_otevrene_NiFe_NiCd.pdf>.
- [2] NAUMEC, D., NiCd batteries in practice [online], Dept. of Electrical and Electronic Technology, FEEC, VUT, 2003, [cit. 25.4.2009]. Dostupné na www: <http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2003/fsbornik/02-Mgr/01-Electronics/06-naumec_david.pdf>
- [3] *8-bit AVR microcontroller with 64K Bytes In-System Programmable Flash – Atmega644* [online], Atmel Corporation, 2007, [cit. 20.4.2010]. Dostupné na www: < http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2593.pdf>
- [4] *IRL530N* – [online], International Rectifier, 2004, [cit. 14.11.2009]. Dostupné na www: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irl530n.pdf>
- [5] *IRF9540*– [online], International Rectifier, 1998, [cit. 20.4.2010]. Dostupné na www: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9540n.pdf>
- [6] KUBÍN, S., ONDRÁŠEK, J., MUNZAR, M., Standardní nabíječka. *100 Praktických konstrukcí*, Praha, 1997, p. 276 -279
- [7] *Standard LCD module MC1602-13* –[online], Bona Display specialist, [cit. 14.11.2009]. Dostupné na www: <<http://www.anglia.com/bona/datasheets/MC1602-13.pdf>>
- [8] *HD44780U (LCD-II) Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver* – [online], Hitachi, , [cit. 14.11.2009]. Dostupné na www: <<http://www.htvision.com/DOWNLOAD/HD44780.PDF>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

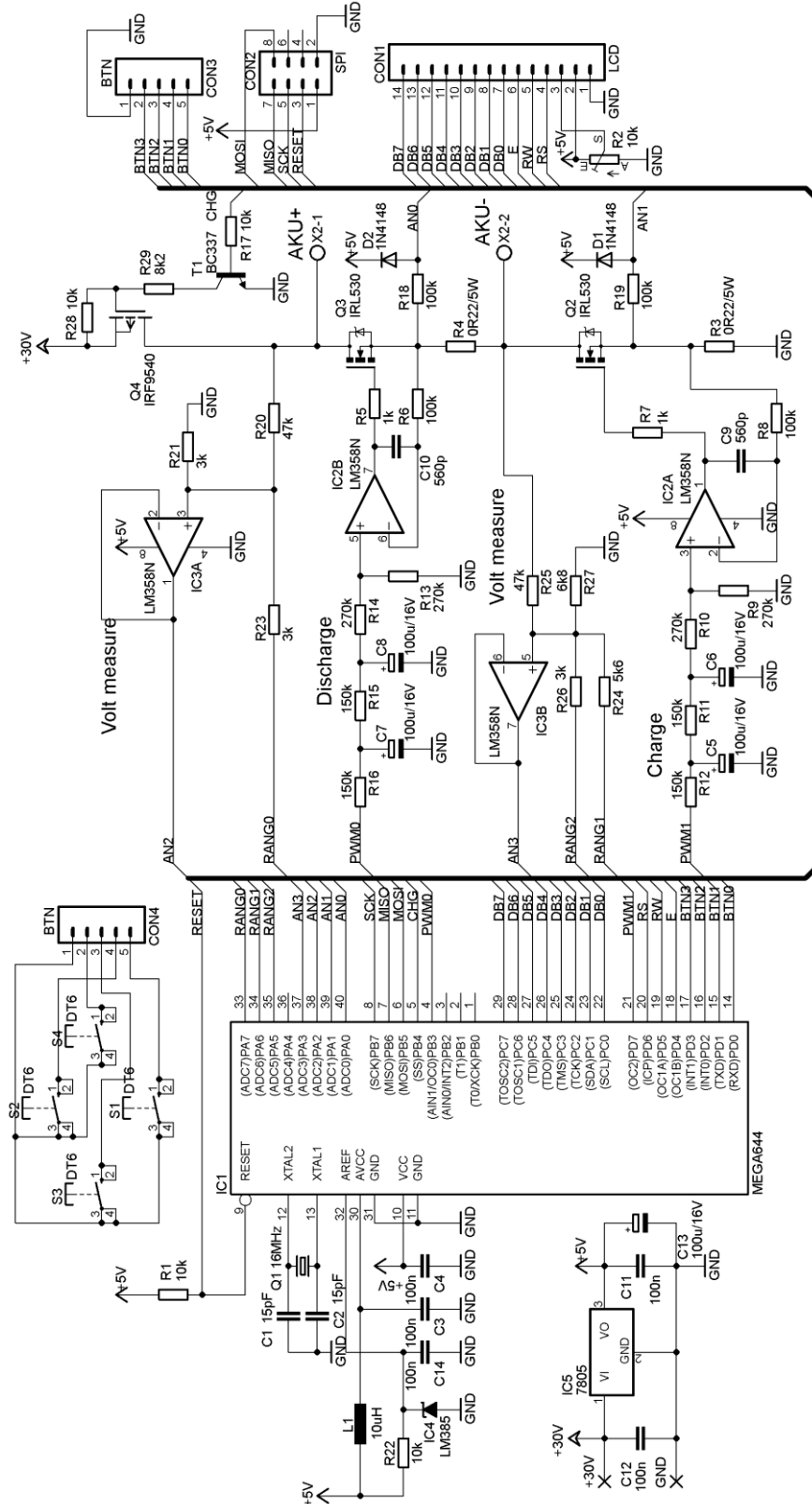
R_{int}	vnitřní odpor akumulátoru
U_r, U_Q	napěťový úbytek na rezistoru/transistoru
P_r, P_Q	výkonová ztráta na rezistoru/transistoru
U_{avg}, I_{avg}	filtrovaná hodnota napětí, proudu
U_{actual}, I_{actual}	okamžitá hodnota napětí, proudu
f_{PWM}	kmitočet PWM
f_{ADC}	taktovací kmitočet ADC
C	náboj dodaný/odebraný akumulátoru
A/D	analog/digital, analogový/digitální
ADC	analog - digital convertor, analogově – digitální převodník
CPU	central processing unit, ústřední řídicí jednotka, procesor
DPS	deska plošných spojů
GND	ground, zem
I/O	input/output, vstup/výstup
IO	integrovaný obvod
ICSP	in circuit serial programming
LCD	liquid crystal display, zobrazovač s tekutými krystaly
PWM	pulse width modulation, pulsně šířková modulace

SEZNAM PŘÍLOH

A. Obvodové řešení Smart testeru	29
A.1 Schéma zapojení	29
A.2 Desky plošných spojů	30
A.2.1 Hlavní deska Smart testeru – strana spojů (bottom)	30
A.2.2 Deska tlačítek – strana spojů (bottom)	30
A.3 Osazovací plány desek plošných spojů.....	31
A.3.1 Hlavní deska Smart testeru – strana součástek (top)	31
A.3.2 Deska tlačítek – strana součástek (top).....	31
B. Seznam součástek	32

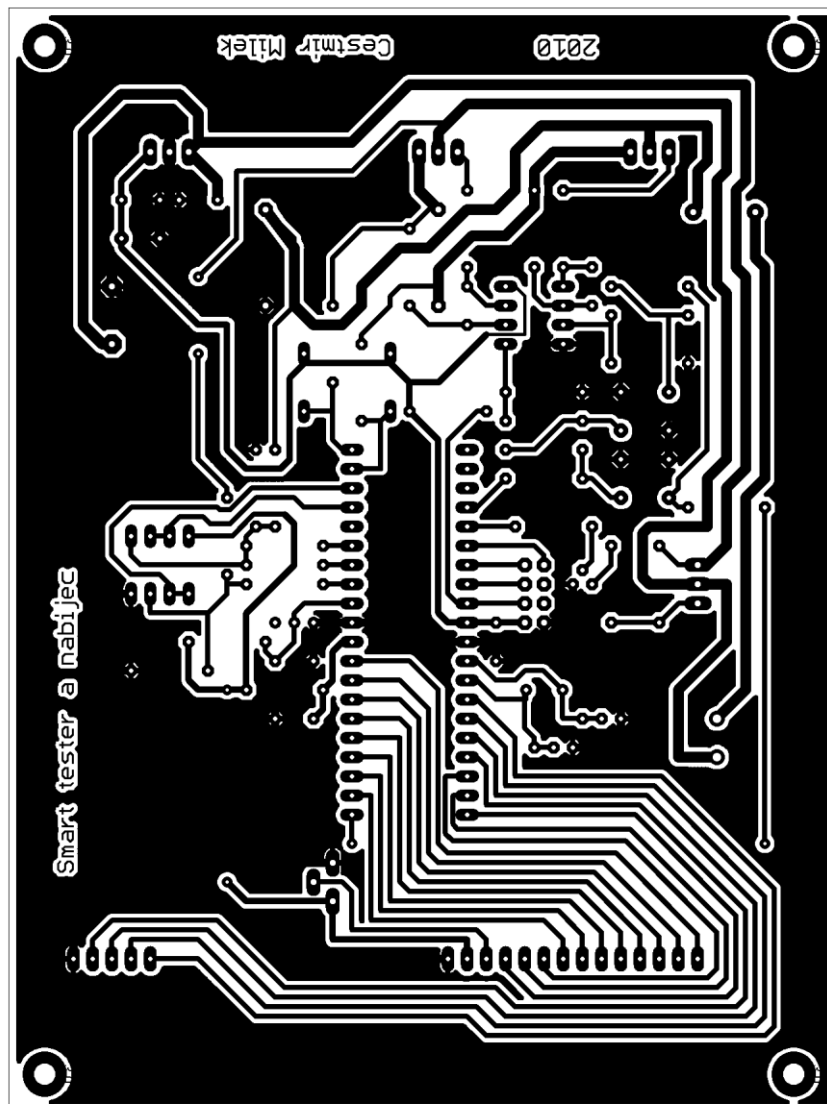
A. OBVODOVÉ ŘEŠENÍ SMART TESTERU

A.1 Schéma zapojení

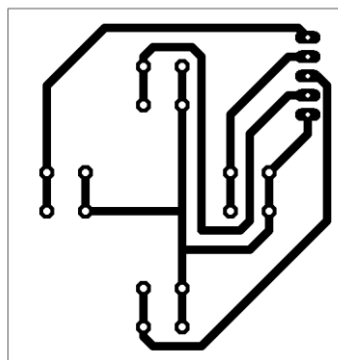


A.2 Desky plošných spojů

A.2.1 Hlavní deska Smart testeru – strana spojů (bottom)

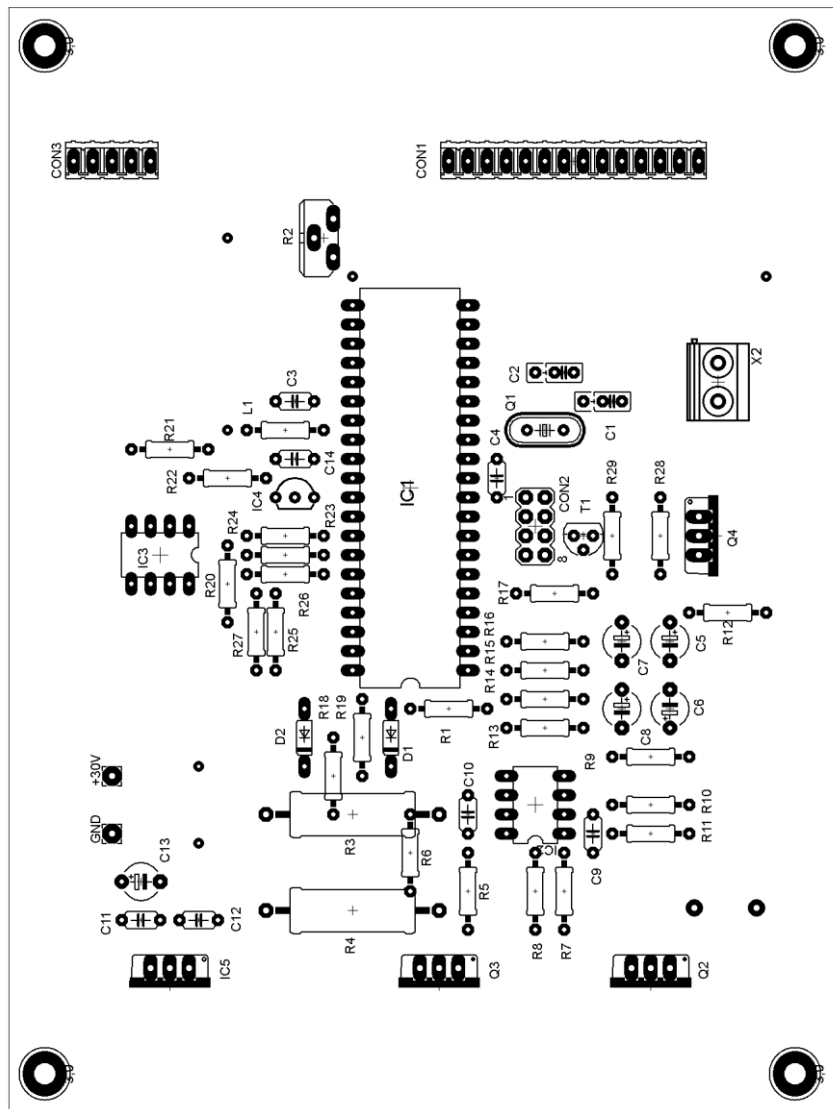


A.2.2 Deska tlačítek – strana spojů (bottom)

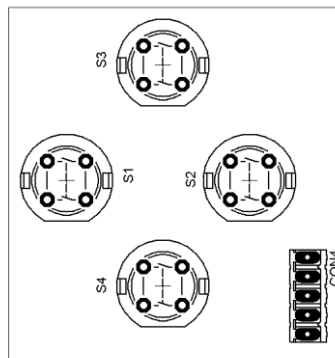


A.3 Osazovací plány desek plošných spojů

A.3.1 Hlavní deska Smart testeru – strana součástek (top)



A.3.2 Deska tlačítek – strana součástek (top)



B. SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1	15pF	C025_050-025X
C2	15pF	C025_050-025X
C3	100n	C050-024X044
C4	100n	C050-024X044
C5	100u/16V	E5-5
C6	100u/16V	E5-5
C7	100u/16V	E5-5
C8	100u/16V	E5-5
C9	560p	C050-024X044
C10	560p	C050-024X044
C11	100n	C050-024X044
C12	100n	C050-024X044
C13	100u/16V	E5-5
C14	100n	C050-024X044
CON1	LCD	14P
CON2	SPI	MA04-2
CON3	BTN	05P
CON4	BTN	05P
D1	1N4148	DO35-7
D2	1N4148	DO35-7
IC1	MEGA644	DIL40
IC2	LM358N	DIL08
IC3	LM358N	DIL08
IC4	LM385	LP_O-PBCY-W3
IC5	7805	TO220
L1	10uH	0207/10
Q1	16MHz	HC49/S
Q2	IRL530	TO220
Q3	IRL530	TO220
Q4	IRF9540	TO220
R1	10k	0207/10
R2	10k	PT-10S
R3	0R22/5W	0617/22
R4	0R22/5W	0617/22
R5	1k	0207/10
R6	100k	0207/10
R7	1k	0207/10
R8	100k	0207/10
R9	270k	0207/10
R10	270k	0207/10
R11	150k	0207/10

R12	150k	0207/10
R13	270k	0207/10
R14	270k	0207/10
R15	150k	0207/10
R16	150k	0207/10
R17	10k	0207/10
R18	100k	0207/10
R19	100k	0207/10
R20	47k	0207/10
R21	3k	0207/10
R22	10k	0207/10
R23	3k	0207/10
R24	5k6	0207/10
R25	47k	0207/10
R26	3k	0207/10
R27	6k8	0207/10
R28	10k	0207/10
R29	8k2	0207/10
S1	DT6	DT6
S2	DT6	DT6
S3	DT6	DT6
S4	DT6	DT6
T1	BC337	TO92
X2	AK100	MKDSN1,5/2-5,