



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra informatiky

Bakalářská práce

Tvorba pracoviště pro práci s SMD elektronickými součástkami – aplikace s Atmel AVR

Vypracoval: Jan Matějček
Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý

České Budějovice 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta pedagogická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan MATĚJÍČEK**
Osobní číslo: **P10350**
Studijní program: **B7507 Specializace v pedagogice**
Studijní obor: **Informační technologie ve vzdělávání**
Název tématu: **Tvorba pracoviště pro práci s SMD elektronickými součástkami - aplikace s Atmel AVR**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované fyziky a techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. SMD součástky (rozměry, manipulace, osazování, ...)
2. "Amaterské" metody osazování a výměny SMD součástek
3. Konstrukce prototypu měřicího modulu k procesoru Atmel AVR
4. Vytvoření řídicího a vyhodnocovacího programu
5. Ověření funkčnosti
6. Vyhodnocení dosažených parametrů

Rozsah grafických prací: podle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: cca 40-50 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- Matoušek, D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16.
- Váňa, V.: Mikrokontroléry Atmel AVR - Assembler.
- Váňa, V.: Mikrokontroléry Atmel AVR - Popis procesoru a instrukční soubor.
- Šubrt, V.: Mikrokontroléry Atmel AVR - Vývojové prostředí.
- webová stránka www.atmel.com


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Šerý**
Katedra aplikované fyziky a techniky

Datum zadání bakalářské práce: **27. dubna 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2013**


Mgr. Michal Vančura, Ph.D.
děkan




prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 27. dubna 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 30.4.2013

.....

Jan Matějčík

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o součástkách pro povrchovou montáž a slouží jako návod k použití amatérských pomůcek pro osazování SMD součástek s využitím horkovzdušného pájení. Součástí práce je vakuová pinzeta určená pro manipulaci s SMD součástkami a vytvořený prototyp měřicího modulu, který slouží pro řízení výkonu horkovzdušné pistole za pomoci mikrokontroléru ATmega32 s inteligentním LCD displejem.

Abstract

This thesis concerns surface mount components and serves as a user guide for amateur equipment for mounting SMD components using hot air soldering. Part of the thesis is vacuum tweezers for handling SMD components and a prototype measurement module for heat gun power control using ATmega32 microcontroller with intelligent LCD display.

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval panu Ing. Michalu Šerému za odbornou a vstřícnou pomoc, poskytnutí cenných rad, trpělivost a veškerý čas, který mi věnoval při vypracovávání mé bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Musilovi za odbornou konzultaci a čas, který mi věnoval.

Obsah

1	ÚVOD.....	9
2	TEORETICKÉ POZNATKY	10
2.1	PLOŠNÉ SPOJE	10
2.2	SMD SOUČÁSTKY	11
2.2.1	<i>Předchůdce SMD součástek</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Charakteristika součástek pro povrchovou montáž.....</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Základní požadavky.....</i>	<i>12</i>
2.2.4	<i>Typy vývodů SMD součástek</i>	<i>13</i>
2.2.5	<i>Pouzdra SMD</i>	<i>16</i>
2.3	METODY OSAZOVÁNÍ.....	27
2.3.1	<i>Pájecí pasty a lepidla</i>	<i>27</i>
2.3.2	<i>Montáž součástek SMD na plošný spoj</i>	<i>30</i>
2.3.3	<i>Technika povrchové montáže.....</i>	<i>33</i>
2.3.4	<i>Demontáž součástek</i>	<i>37</i>
2.4	ATMEL AVR.....	40
2.4.1	<i>Architektura AVR</i>	<i>40</i>
2.4.2	<i>Programování AVR</i>	<i>41</i>
2.4.3	<i>ATmega32.....</i>	<i>43</i>
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	48
3.1	NÁVRH AMATÉRSKÉ METODY OSAZOVÁNÍ A VÝMĚNY SMD SOUČÁSTEK.....	48
3.1.1	<i>Nanášení pájecí pasty.....</i>	<i>48</i>
3.1.2	<i>Osazení součástek vakuovou pinzetou</i>	<i>49</i>
3.1.3	<i>Přetavení pájecí pasty</i>	<i>51</i>
3.1.4	<i>Odstranění můstků.....</i>	<i>52</i>
3.1.5	<i>Oplach tavidla</i>	<i>52</i>
3.1.6	<i>Výměna SMD součástek</i>	<i>52</i>
3.2	KONSTRUKCE PROTOTYPU MĚŘÍČÍHO MODULU K PROCESORU ATMEL AVR	53
3.2.1	<i>Návrh schématu zapojení měřícího modulu</i>	<i>53</i>
3.2.2	<i>Prototyp měřícího modulu.....</i>	<i>54</i>
3.2.3	<i>Popis činnosti</i>	<i>55</i>
3.2.4	<i>Použití mikrokontroléru ATmega32 s inteligentním displejem.....</i>	<i>57</i>
3.3	VYTVOŘENÍ ŘÍDÍČÍHO A VYHODNOCOVACÍHO PROGRAMU	58
3.3.1	<i>Ověření funkčnosti.....</i>	<i>59</i>

3.4	VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH PARAMETRŮ.....	60
4	ZÁVĚR	61
5	REFERENCE.....	62
6	PŘÍLOHY.....	64

1 Úvod

Vzhledem k tomu, že jsou v dnešní době kladeny nároky na zmenšování elektronického zařízení, je nutné taktéž zmenšovat elektronické součástky. Způsob osazování je řešen technologií SMT (Surface Mount Technology) – technologie povrchové montáže. Součástky určené pro povrchovou montáž se nazývají SMD (Surface Mount Device).

Tato bakalářská práce právě pojednává o zmíněných SMD součástkách. Cílem práce je seznámit čtenáře s jednotlivými typy součástek pro povrchovou montáž, s možnostmi jejich osazování a metodami pájení se zaměřením na horkovzdušné pájení.

Dalším cílem je návrh amatérského postupu osazování plošného spoje s použitím amatérských pomůcek. Práce obsahuje návod pro vytvoření amatérské vakuové pinzety, která slouží pro usnadnění práce při manipulaci s SMD součástkami.

Dalším stanoveným cílem bylo vytvořit prototyp měřicího modulu, který by byl schopen řídit pomocí procesoru Atmel AVR, jenž bude naprogramován v jazyce Bascom, proces horkovzdušného pájení s vlastní kontrolou teploty pájeného spoje.

2 Teoretické poznatky

2.1 Plošné spoje

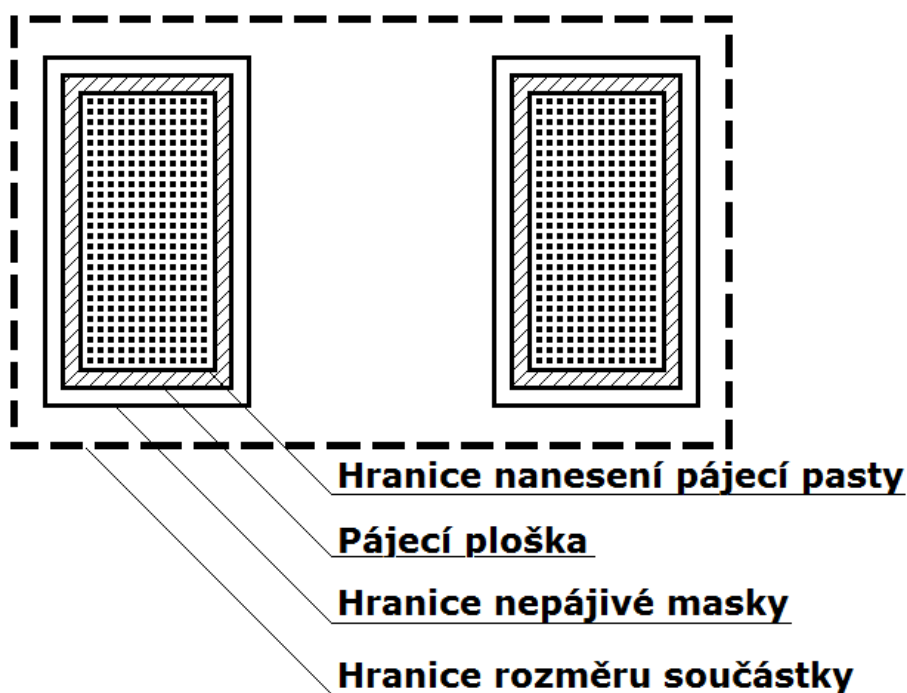
Plošné spoje je termín popisující techniku, během které spojení mezi elektronickými součástkami s vývody na nebo v pájecích bodech vytvářejí tenké vodivé pásy, tzv. plošné vodiče na elektroizolačním základním materiálu. Výsledkem je deska s plošnými spoji (DPS), obsahující plošné vodiče, pájecí body a další prvky vodivého obrazce. Je určena pro montáž součástek i mechanických dílů z jedné nebo obou stran. [1]

Deska s plošnými spoji je elementární složkou montážní technologie veškerých elektronických celků. Plní mechanickou funkci vlastního propojení součástek, zajišťuje odvod ztrátového tepla, funguje jako elektrický a optický propojovací člen mezi součástkami a systémy. [1]

Plošné spoje můžeme rozdělit z hlediska provedení a podle množství vodivých vrstev. Z hlediska provedení to jsou pevné plošné spoje a ohebné plošné spoje. Podle množství vodivých vrstev je dělíme na jednostranné, oboustranné a vícevrstvé. Propojení jednotlivých vrstev u vícevrstvých plošných spojů je realizováno pomocí prokovených děr nebo speciálních nýtů. [2]

Pro desky plošných spojů, určených pro montáž SMD součástek, jsou charakteristické obdélníkové, případně čtvercové plošky nezakryté nepájkivou maskou, na které se pájí vývody součástek. Typická pájecí ploška, určená pro SMD součástku je znázorněna na obrázku č. 1 na straně 11. [3]

Obrázek 1: Pájecí ploška pro SMD součástku; převzato a upraveno z [3]



2.2 SMD součástky

2.2.1 Předchůdce SMD součástek

Vývody součástek v prvních elektronických zařízeních byly uzpůsobené pro propojování pomocí šroubků, pod které byl uchycen propojovací vodič. Podmínkou tohoto způsobu byla masivnost a velká mechanická odolnost součástek.

První pokusy propojování součástek na pevné podložce byly prováděny ve třicátých letech minulého století. Při těchto pokusech byly vyvíjeny první vodivé laky, díky nimž bylo možné vytvářet vodivé spoje na izolační podložce.

Na počátku čtyřicátých let se uskutečňovaly první pokusy odleptávání spojů. Z důvodu finanční náročnosti tato technologie neuspěla. Díky vývoji nových materiálů a výrobních postupů na konci čtyřicátých let a v průběhu let padesátých v oblasti propojování elektronických součástek se technologie

odleptávání spojů obnovila a dostala se tak na první místo. Nové výrobní technologie s sebou přinesly další miniaturizaci a integraci součástek. Vyráběly se první hybridní obvody s klasickými drátovými vývody, které bránily další miniaturizaci.

Během konce šedesátých let přišla firma Philips s prvními součástkami bez drátových vývodů. Vývody součástek byly nahrazeny bočními stěnami součástek, které jsou na desku pájeny ze strany spojů. Tím vznikla technologie povrchové montáže označovaná SMT. [2]

2.2.2 Charakteristika součástek pro povrchovou montáž

Jedná se o součástky menšího rozměru, asi 30 až 60 % rozměrů klasických součástek. Při samotné montáži součástek se neprovádí tvarování a ohýbání přívodů. Vývody SMD součástek nejsou zasouvány do otvorů DPS, nýbrž jsou pouze pájeny na plošný spoj ze strany spojů. A proto jsou vhodné pro osazování pomocí automatů, které v současné době využívají SMT technologii. [2, 3]

Součástky SMD jsou jednak bezvývodové a jednak s vývody. Příkladem bezvývodových součástek jsou čipové rezistory, kondenzátory či cívky. Mezi součástky s vývody patří tranzistory nebo integrované obvody. [2]

2.2.3 Základní požadavky

Odolnost vůči pájení

Každá součástka musí být specifikovaná výrobcem. Specifikace uvádí, pro jaký typ pájení je SMD součástka určena. Konstrukce součástek jsou odlišné pro pájení vlnou, ruční pájení a pro pájení přetavením. Například potenciometry, konektory a držáky baterií nebo pojistek, které jsou otevřené, nemohou být pájeny vlnou, protože by došlo k jejich zalití pájkou. Na druhou stranu součástky citlivé na teplo je nutné pájet ručně, např. plastový kryt. [4]

Odolnost vývodů proti rozpouštění

Výrobce součástek musí být zajištěna odolnost vývodů při pájení. Při procesu pájení nesmí dojít k rozpouštění koncových vývodů. Tato odolnost je vyřešena pokovením niklovou bariérou v tloušťce 2 až 4 μm . Na povrchu niklové vrstvy se nachází vrstva cínu nebo olova, která chrání vývody před oxidací a současně zajišťuje dobře smáčitelný povrch. [4]

Odolnost vůči čistícím prostředkům

Každý prvek SMD součástky musí být odolný vůči běžně používaným čistícím prostředkům při montáži sestav plošných spojů. Například se jedná o působení čistících rozpouštědel v čtyřminutovém intervalu a alespoň jednominutovém působení ultrazvuku. Další doporučení, jak postupovat a dodržovat patřičné hodnoty, při kterých použité čisticí prostředky nesmí poškozovat součástky a jejich značení, určují výrobci. [4]

2.2.4 Typy vývodů SMD součástek

Přívody jsou nejčastěji vyrobeny ze slitiny niklu a oceli, kde podíl niklu činí 42 %. Tato slitina zaručuje vyšší tuhost a mechanickou odolnost. Nové konstrukce používají slitinu mědi (podíl 98 %) a niklu (podíl 2 %). Výhodou měděných přívodů je lepší chlazení součástky a jejich nemagnetičnost. Důvodem, proč se přechází na slitiny s větším obsahem mědi je to, že tyto součástky mají měkčí vývody a tím dochází k menšímu pnutí v pájeném spoji.

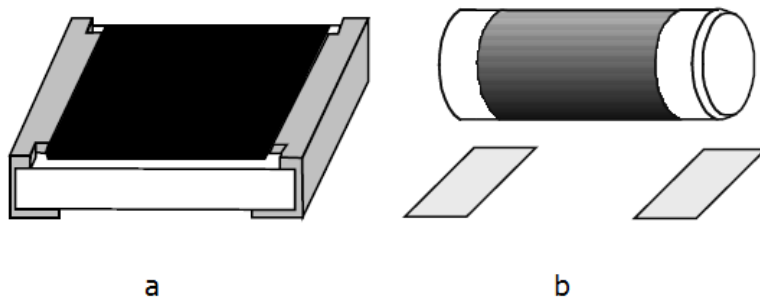
Vývody SMD součástek mohou být tvořeny následujícími způsoby. [3]

Metalizované plošky

Tento způsob vývodu je používán pro konstrukci SMD rezistorů, kondenzátorů, cívek a integrovaných obvodů umístěných v keramických pouzdrech LCCC (Leadless Ceramic Chip Carrier). Kovová plocha tvořící přívod se nachází přímo na tělese pouzdra a proto je spojení s deskou plošného

spoje nepružné. Nepružný spoj má za následek pnutí v pájeném spoji. Z tohoto důvodu je vhodné používat pro základní desku plošného spoje speciální materiály, které mají podobný koeficient tepelné roztažnosti jako materiál pouzdra. [2]

Obrázek 2: Čipový rezistor (a), válcové provedení pouzdra MELF (b); převzato a upraveno z [2]



Páskové vývody

Páskové vývody, jejichž vývod je tvořen kovovým páskem zahnutým pod pouzdro součástky, se používají pro součástky hranolovitého tvaru. Příkladem jsou elektrolytické kondenzátory. [2]

Páskové vývody tvaru „L“

Mezi jejich výhody se řadí snadná kontrolovatelnost a možnost jednoduššího testování pájených spojů. Nevýhodou součástek s páskovými vývody tvaru „L“ jsou větší rozměry, které jsou způsobeny vyhnutím vývodů vně součástky. To také způsobuje obtížnější osazování osazovacími automaty, jelikož při manipulaci dochází ke snadnějšímu deformování vývodů. Vývody tvaru „L“ jsou vyobrazeny na obrázku č. 3 na straně 15. [2]

Obrázek 3: Páskové vývody tvaru "L"; převzato a upraveno z [2]



Páskové vývody tvaru „J“

Tento typ páskových vývodů je používán u plastových nosičů čipu. Vývody jsou vytvarovány do podoby písmene „J“ a zahnuty pod pouzdro integrovaného obvodu. Jejich pájecí plošky jsou menší a nepřesahují přes obraz pouzdra. Výhoda obvodů v pouzdrech s těmito vývody spočívá ve snadném umístění do objímek. Oproti tomu je nevýhodou jejich výška, která znesnadňuje kontrolu a testování pájených spojů při těsném umístění pouzder vedle sebe. [2]

Obrázek 4: Páskové vývody tvaru "J"; převzato z [2]



Kuličkové vývody v šachovnicovém poli

Pro integrované obvody s velkým počtem vývodů byla vyvinuta pouzdra s kuličkovými vývody. Vývody na těchto pouzdrech jsou uspořádány po celém obvodu spodní strany součástky v šachovnicovém poli. [2]

2.2.5 Pouzdra SMD

Pouzdra pasivních součástek

Přestože se především v Japonsku používají pro pasivní součástky (rezistory, zřídka keramické kondenzátory) válcovitá pouzdra typu MELF (Metal Electrode Leadless Fuse – připájení za čelní kovovou elektrodu), je v praxi nejvýhodnější použití hranolovitého tvaru SMD součástek. Výhoda pouzder MELF je, že vyjdou levněji než jejich obdoba plochých čipů, ale naopak při montáži vyžadují speciální manipulaci a mají tendenci ke kutálení a sjíždění z pájecích plošek. Další provedení součástek typu MELF je mini-MELF a mikro-MELF. [3, 4]

Čipové pasivní součástky

Jedná se o nejčastěji používaná pouzdra, především pro konstrukci rezistorů a kondenzátorů. Mají tvar kvádrů, přívody jsou umístěny na protilehlých kratších stranách. V porovnání s typem MELF jsou menší a vhodnější pro osazovací automaty. Nutné je však dodržování vrchní a spodní strany součástky. Velikost pouzdra má mezinárodní standard. Označení pouzdra nám udává rozměr pouzdra v půdorysu v setinách palce (např. typ 0805 má délku 0,08 inch. a šířku 0,05 inch.). Taktéž se uvádí označení v milimetrech. Pouzdra rezistorů mají výšku v rozmezí od 0,3 mm do 0,7 mm, výška kondenzátorů dosahuje až 2,3 mm. [4]

SMD rezistory

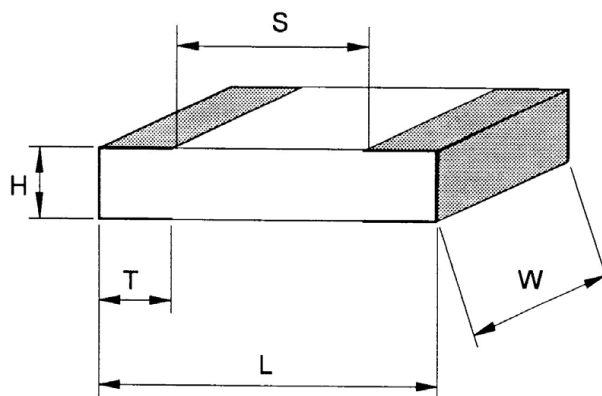
Mezi typické bezvývodové součástky se řadí SMD rezistor. Výrobní odporové hodnoty jsou v rozmezí 1 Ω až 100 M Ω . Rezistory se vyrábějí v pestré škále čipových pouzder značených v setinách palce nebo v milimetrech. [4]

Dělí se na tlustovrstvé a tenkovrstvé. U tlustovrstvých rezistorů je základním materiálem destička korundového materiálu Al₂O₃, na který je

sítotiskem nanese odporová vrstva. Na užších stranách destičky jsou vytvořeny kontakty pomocí metalizace. Odporovou vrstvu tvoří směs oxidu ruthenia a skla. Po vypálení je dostavena na požadovanou hodnotu trimováním. Trimování se provádí pomocí proudu křemenného písku nebo za pomoci laseru. Další vrstvou je borosilikátové sklo, které chrání odporovou vrstvu proti vlivům okolního prostředí. Tento typ konstrukce SMD rezistorů se provádí nejčastěji. [4]

Naopak u tenkovrstvých rezistorů se jako odporový materiál používá niklchromová vrstva. Ta se nanáší na korundovou destičku naprašováním, nikoliv sítotiskem. Oproti tlustovrstvým rezistorům má lepší tepelnou i časovou stabilitu. Nevýhodou jsou vyšší náklady na výrobu. Tenkovrstvé rezistory najdou uplatnění tam, kde se kladou nároky především na přesnější toleranci a vyšší tepelnou stabilitu. [4]

Obrázek 5: Parametry SMD čipového rezistoru; převzato a upraveno z [4]



Rozměry vybraných součástek k obrázku č. 5 jsou sepsány v tabulce č. 1 na straně 18.

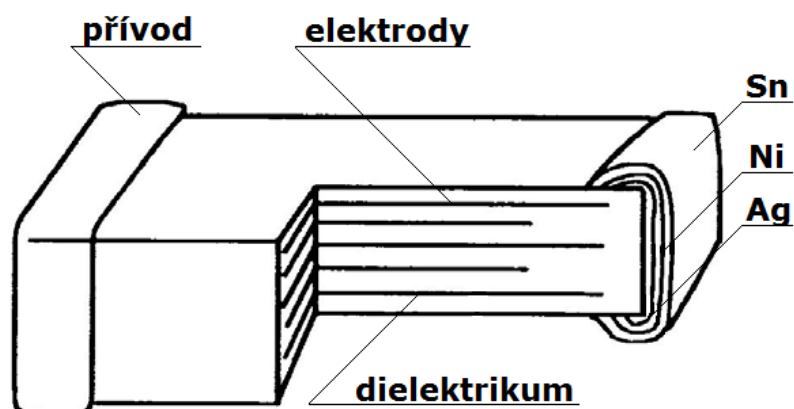
Tabulka 1: Parametry SMD čipového rezistoru; převzato a upraveno z [4]

Rozměry v palcích (mm)	L (mm)		S (mm)		W (mm)		T (mm)		H (mm)
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
0402 (1005)	1,00	1,10	0,40	0,70	0,48	0,60	0,10	0,30	0,40
0603 (1608)	1,50	1,70	0,70	1,11	0,70	0,95	0,15	0,40	0,60
0805 (2012)	1,85	2,15	0,55	1,32	1,10	1,40	0,15	0,65	0,65
1206 (3216)	3,05	3,35	1,55	2,32	1,45	1,75	0,25	0,71	0,71
1210 (3225)	3,05	3,35	1,55	2,32	2,34	2,64	0,25	0,71	0,71

Keramické kondenzátory

Keramické kondenzátory pro SMT jsou vyráběny s malými a středními kapacitami a pevným keramickým dielektrikem. Dielektrikum může být jednovrstvé nebo vícevrstvé. Obvykle mají hranolovitý tvar, jako například čipové kondenzátory. Méně častou variantou je provedení s pouzdem MELF. Tělísko jednovrstvých kondenzátorů tvoří jedna vrstva dielektrika s oboustrannými kontakty. U vícevrstvých kondenzátorů je tělísko složeno z několika vrstev dielektrika a elektrod zapojených paralelně, vyvedených na vývodní kovové pájecí plošky. Průřez keramického kondenzátoru je znázorněn na obrázku č. 6 na straně 19.

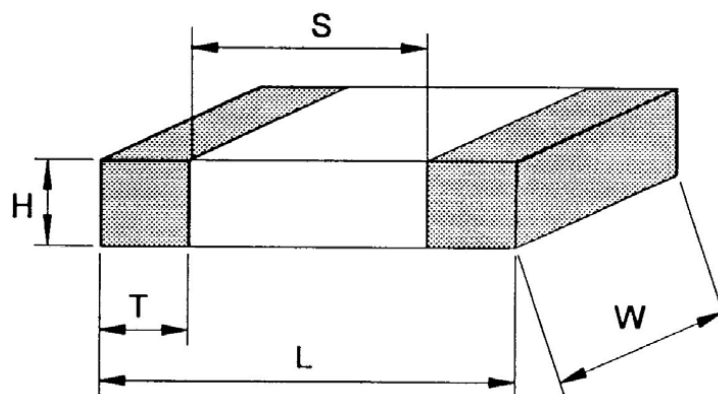
Obrázek 6: Provedení vícevrstvého keramického kondenzátoru; převzato a upraveno z [4, 5]



Jedním z faktorů ovlivňující kapacitu kondenzátorů je vhodná volba dielektrika bez nutnosti změny velikosti součástky. Obecně lze říci, že čím větší máme permitivitu materiálu, tím máme také větší závislost na teplotě, napětí a frekvenci. Materiály používané jako dielektrikum se rozdělují do několika typů v závislosti na požadavku teplotní nezávislosti na úkor nižší kapacity. Dalším požadavkem může být vysoká kapacita za cenu teplotní nestability.

Mezi nejčastěji používané materiály pro dielektrika patří hmoty NPO, X7R a Z5U. Keramický materiál pod označením NPO má hlavní využití u kondenzátorů pro oscilátory, časové obvody. Vyznačuje se vysokou stabilitou kapacity a vysokým izolačním odporem. Hmota X7R nachází uplatnění u odrušovacích kondenzátorů a kondenzátorů pro impulzní zařízení. Umožňuje konstrukci kondenzátorů s kapacitou řádově od 1 nF do 100 nF. Pro blokovací a odrušovací účely jsou vhodné kondenzátory z keramického materiálu nesoucí označení Z5U. Rozměry vybraných keramických kondenzátorů s obrázkem č. 7 jsou sepsány v tabulce č. 2 na straně 20. [4, 5]

Obrázek 7: Parametry SMD keramického kondenzátoru; převzato a upraveno z [4]



Tabulka 2: Parametry SMD keramického kondenzátoru; převzato a upraveno z [4]

Rozměry v palcích (mm)	L (mm)		S (mm)		W (mm)		T (mm)		H (mm)
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
0402 (1005)	1,00	1,10	0,40	0,70	0,48	0,60	0,10	0,30	0,40
0603 (1608)	1,50	1,70	0,70	1,11	0,70	0,95	0,15	0,40	0,60
0805 (2012)	1,85	2,15	0,55	1,32	1,10	1,40	0,15	0,65	0,65
1206 (3216)	3,05	3,35	1,55	2,32	1,45	1,75	0,25	0,71	0,71
1210 (3225)	3,05	3,35	1,55	2,32	2,34	2,64	0,25	0,71	0,71
1812 (4532)	4,20	4,80	2,30	3,46	3,00	3,40	0,25	0,95	1,35

Vícevrstvé foliové kondenzátory

Tento typ kondenzátorů je vytvořen z navinutých vrstev dielektrika, na nichž je napařena hliníková vrstva, která tvoří elektrody. Pokovená fólie může být navíjena buď bezindukčně nebo může být skládaná do více vrstev. Tato komponenta je zalisována do plastového pouzdra. [4, 5]

Tantalové kondenzátory

Tantalový kondenzátor je typ elektrolytického kondenzátoru. Skládá se z kladné a záporné elektrody. Kladná elektroda je tvořena tantalem a je pokryta pentoxidem tantalu (Ta_2O_5). Zápornou elektrodu tvoří grafit s nanesenou stříbrnou pájkou. Burelový elektrolyt (MnO_2) má pevné skupenství. Celek je zalisován do plastového pouzdra s vývody zahnutými pod tělo součástky.

Hliníkové kondenzátory

Svou konstrukcí jsou podobné klasickým kondenzátorům díky kapalnému elektrolytu. Elektrody tvoří hliníková folie s oxidovou vrstvou hliníku (Al_2O_3). A spolu s papírem nasyceným kapalným elektrolytem jsou navíjeny do svitku. Umísťují se do hliníkového nebo plastového pouzdra s pryžovou průchodkou. Na rozdíl od kondenzátorů s pevným elektrolytem podléhají rychlejšímu stárnutí v důsledku vysychání elektrolytu. [3, 4, 5]

Induktory

Skládá se z feromagnetického materiálu tvořící jádro induktoru a na něm navinutého vodiče. K výrobě se používají magneticky měkké materiály s vysokou permeabilitou. Provedením se podobají tantalovým kondenzátorům. U induktorů s menší kapacitou je feromagnetické jádro nahrazeno keramickým. Menší induktory jsou vyráběny s absencí jádra, jejich tvar je přizpůsoben povrchové montáži.

Pouzdra pro diody a tranzistory

Pouzdra SOD

Pouzdra SOD (Small Outline Diode) jsou určena pro diody. Materiálem pro výrobu pouzder je sklo nebo plast. Značení katody proužkem se zde používá stejně jako u klasických diod. [4]

Pouzdra SOT

Nejčastěji používané pouzdro je třívývodové pouzdro SOT-23. Jeho vývody jsou zahnuty do tvaru „L“. Historie pouzdra sahá až do šedesátých let minulého století, kdy bylo vyvinuto. Do pouzdra se umísťují i diody vyráběné ve válcovém skleněném pouzdru.

Existuje několik typů SOT, které se odlišují počtem vývodů. Pouzdra pro výkonové tranzistory a diody nesou označení SOT-89. Jde o pouzdro se třemi vývody, kde prostřední vývod má velkou plochu, která má za účel odvod tepla ze součástky do vodivé cesty. Dalším typem pouzdra je SOT-143, který je určen pro čtyřvývodové tranzistory. Jiným typem čtyřvývodového pouzdra je SOD-223 s podobnou konstrukcí jako SOT-89. Využívá se pro výkonové tranzistory, u kterých je nutný přenos tepla do vodivého obrazce na DPS.

Pouzdra pro integrované obvody

Integrované obvody využívají pro pouzdra plastové nebo keramické materiály. Plastová pouzdra nesou označení PLCC, SOIC (SO) a QFP. Jednotlivé typy se liší svým provedením. Pouzdra pro integrované obvody v keramickém provedení se vyrábí jako vývodová nebo bezvývodová a mají pokovené plošky. Jejich označení je LCCC. Výhodou keramických pouzder je jejich dobrá hermetičnost a dobré elektrické parametry. Nevýhodou je vysoká cena a problémy s tepelnou roztažností. Proto se používají v omezené míře. Podle počtu vývodů se integrované obvody rozdělují do dvou typů. Pokud mají pouzdra maximálně 20 vývodů, tak jsou kontakty uspořádány do dvou

rovnoběžných řad. Integrované obvody s větším počtem vývodů mají kontakty na všech 4 stranách nebo na spodní straně pouzdra. [4]

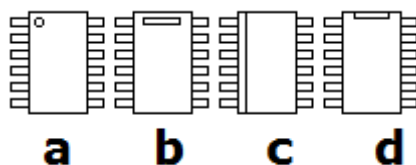
Pouzdra PLCC

Pouzdra Plastic Leaded Chip Carrier se vyrábí s vývody typu „J“. Japonské označení je QFJ. Vývody jsou velmi odolné vůči poškození a nezvětšují obrys součástky. Pouzdra jsou vhodná pro zasazení do patic. Při pájení pouzdra přímo na plošný spoj je nevýhodné pájení vlnou z důvodu nedostatku místa. Častěji se využívá pájení pomocí pájecí pasty. [3, 4]

Pouzdra SOIC

Pouzdra Small Outline Integrated Circuit se někdy označují pouze jako SO. Tato pouzdra odpovídají klasickým vývodovým pouzdrům DIL. Taktéž mají stejně zapojené vývody. Standardně je počet vývodů mezi 8 až 56. Pro správnou manipulaci se součástkou je v pouzdře kruhový výlisek (a), výřez (b), čára (c) nebo skosení hrany (d), jak je znázorněno na obrázku č. 8. [3, 4]

Obrázek 8: Znázornění orientace SMD součástky v pouzdře SOIC; převzato a upraveno z [3]



Pouzdra Flat Pack

Jde o pouzdra, kde jsou vývody tvaru „L“ vyvedeny v protilehlých rovnoběžných stranách pouzdra (Flat Pack), nebo ze všech čtyřech stran čtvercového či obdélníkového pouzdra (Quad Flat Pack – QFP). Pouzdra QFP se vyznačují malou montážní výškou. Jedná se o cca 2,5 až 3,3 mm. U pouzder TQFP (Thin Quad Flat Pack) se jde dokonce o pouze 1,5 mm. Rozteče vývodů se pohybují od 0,8 mm do 0,3 mm. Vzhledem k velikosti a hlavně citlivosti vývodů k poškození bylo sestrojeno pouzdro BQFP podle americké normy

JEDEC. Pouzdro BQFP se liší od pouzder QFP tak, že v rozích pouzdra má nálitky. Tyto nálitky ochraňují vývody před mechanickým poškozením během manipulace se součástkou. Nejčastěji se používají horkovzdušné metody montáže a vyžadují značnou dávku zkušeností a použití speciálních nástrojů. Obal pouzdra je tvořen plastovým nebo keramickým materiálem. [3, 4]

Obrázek 9: Pouzdro BQFP s nálitky v rozích; převzato z [4]



Pouzdra LCCC

Leadless Ceramic Chip Carrier je typ keramického pouzdra, který díky svému materiálu nachází využití u náročných aplikací. Výhodou jsou jeho dobré elektrické vlastnosti, které podmiňují malou kapacitu, indukčnost a odpor vývodů. Hermetické uzavření čipu LCCC předurčuje vhodné použití v prostředí, kde by součástka s plastovým pouzdrem po určité době přestala fungovat. Naopak keramický materiál má různé teplotní roztažnosti než desky plošného spoje a proto se teplotní roztažnost stává nevýhodou těchto pouzder. Tento problém se dá eliminovat použitím keramického pouzdra s vývody nebo použitím plošného spoje s podobným koeficientem teplotní roztažnosti, aby nedocházelo k praskání pájeného spoje. Keramické pouzdra se zhotovují buďto jako bezvývodová nebo s vývody. Pouzdro s čipem a s víčkem z keramického

nebo kovového materiálu se uzavírá hermeticky. Bezvývodová pouzdra využívají jako kontaktní plošky pokovené koncové plošky. Vývodová pouzdra využívají kontaktů z měděné slitiny nebo z kovaru, které mají tvar typu „L“, „J“ nebo „C“. [4]

Pouzdra BGA

Ball Grid Array pouzdra se částečně podobají pouzdrům PGA (Pin Grid Array) s drátovými vývody. Vývody tvoří kuličky nebo válečky rozmístěny do matice. Pouzdra jsou schopna samočinného vystředování během pájecího procesu, kdy dochází k výrazným změnám polohy. Tolerovaná chyba v poloze osazení pouzdra do pájecí pasty činí až polovinu průměru pájecí plošky. Při kontrole kvality zapájení je nutné při zjištění chybného osazení součástku odpájet a znovu opakovat proces osazení. [4]

Tabulka 3: Porovnání parametrů jednotlivých typů pouzder BGA; převzato a upraveno z [4]

Typ pouzdra	PGA	FQFP	BGA	T-BGA	μ-BGA
Počet vývodů	208	208	225	224	313
Rozteč vývodů	2,5 mm	0,5 mm	1,27 mm	1,27 mm	0,5 mm
Plocha na DPS	1140 mm ²	785 mm ²	670 mm ²	530 mm ²	252 mm ²
Hmotnost	25 g	–	1 g	5 g	0,47 g
Poměr čip/pouzdro	11	8	7	5	1
Indukčnost vývodů	3–7 nH	6–7 nH	3–5 nH	1,3–5,5 nH	0,5–5,1 nH
Kapacita vývodů	4–10 pF	0,5–1 pF	1 pF	0,4–2,4 pF	0,05–0,2 pF
Tepelný odpor	2–3 °C/W	0,5–0,6 °C/W	10 °C/W	1,5 °C/W	0,2–2 °C/W

Ostatní součástky SMD

Potenciometry a trimry

Výroba potenciometrů pro SMT montáž se provádí v utěsněné a otevřené variantě. Utěsněné potenciometry jsou zcela uzavřeny a jsou opatřeny těsněním chránícím prvek vůči vniknutí vlhkosti a nečistot. Těsnění má i funkci ochrannou během procesu pájení, kdy tento prvek chrání před tavidly a během čištění ho chrání před rozpouštědly. Využívají se pro průmyslové a vysoce spolehlivé aplikace.

Otevřené potenciometry mají opačný princip. Svoji otevřenou konstrukci využívají ke snadnému přístupu čistících rozpouštědel odstraňujících tavidla. Mají menší finanční nároky na výrobu a využívají se především ve spotřební elektronice. [4]

Ostatní SMD prvky

Ve většině případů se vyznačují hranolovitým tvarem s přírady pro bezvývodové pájení. Jsou konstruovány tak, aby odolávaly zvýšenému tepelnému namáhání během pájení. Příkladem mohou být relé, krystaly, keramické filtry, termistory, optoelektronické součástky a pojistky včetně pouzder. Svým tvarem musí usnadnit osazování pomocí osazovacích automatů. [3, 4]

Elektromechanické součástky pro SMT

U elektromechanických součástek pro SMT montáž se musí přizpůsobit jejich tvar, velikost i provedení. Týká se to např. spínačů, konektorů, patič a dalších prvků. Se zvyšující se hustotou osazování DPS vzniká potřeba jejich vzájemného propojení. Z tohoto důvodu musí konektory obsahovat vysoký počet kontaktů s roztečí 1,27 mm a menší. U integrovaných obvodů nebo programovacích pamětí se pro připojení používají patice. Jejich výhodou je rychlá výměna. Problémem patič je hrozící nebezpečí koroze. Důvodem je

dotek kontaktů součástek, kde nejsou pájené spoje. Ve vlhkém prostředí může dojít k oxidaci a následnému přerušení elektrického kontaktu. Za přítomnosti vibrací může dojít k posunu součástky a taktéž k přerušení elektrického kontaktu. [4]

2.3 Metody osazování

2.3.1 Pájecí pasty a lepidla

Pájecí pasty

Pájecí pasta je homogenní směs, která se skládá z práškové pájky, gelového tavidla a reologického modifikátoru. Prášková pájka se velkou mírou podílí na kvalitě tisku, roztékání i na smáčecích charakteristikách. Dále předurčuje teplotu tavení. [6]

Požadavky na pájecí pastu se liší podle jednotlivých aplikací. Důraz je kladen na tisk pasty, přetavení a testování. Během tisku a po natisknutí jsou důležité dobré tiskové vlastnosti, stabilita pasty na šabloně, minimální zasychání, ostrý obrazec natisknuté pasty a rozměrová stabilita pasty po tisku. Při dávkování je požadována minimální tahavost vláken a absence vzduchových bublin. Další požadovanou vlastností pájecí pasty je dobrá a dlouhodobá lepivost při osazení.

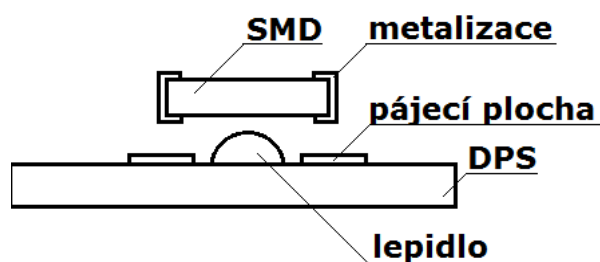
Lepidla

U povrchových montáží se používají dva základní typy lepidel. První typ lepidla je elektroizolační, který se dále dělí na tepelně vodivá a nevodivá lepidla. Tepelně vodivá lepidla se používají méně, a to jen u SMD součástek, u kterých je nutné odvádět ztrátové teplo. Druhý typ je elektricky vodivé lepidlo. To se nanáší pro speciální aplikace, kde nelze použít technologii pájení. Lepidlo proto slouží nejen pro mechanické upevnění součástky, ale

i pro elektrické propojení mezi pájecími ploškami DPS a kontakty součástky. [7]

K tomu, aby se lepidlo dostalo na požadované místo na DPS, se využívá sítotisk, šablonový tisk, nebo kapková metoda.

Obrázek 10: Nanesené lepidlo pro uchycení součástky; převzato a upraveno z [7]



Pro vytvrzení lepidla se používají 3 metody. Vytvrzení teplem, kde teplo působí 1–5 minut při 120–150 °C. Další metoda je vytvrzení UV zářením, kde intenzita UV záření je cca 100 mWcm⁻² a působí po dobu 10–45 sekund. Třetí metoda se skládá z kombinace obou předchozích metod. [7]

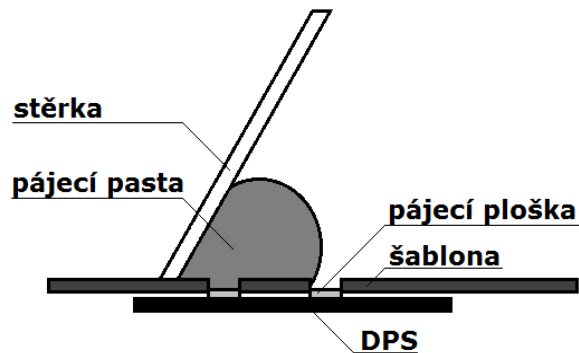
Nanášení pájecích past a lepidel

U aplikace pájecích past a lepidel platí pravidlo – pokud je dobře natisknuto, tak je z poloviny zapájeno. Pro aplikaci past a lepidel se používá nejčastěji šablonový tisk, sítotisk a dispenzer.

Metoda tisku přes šablonu

Technologická zařízení pro šablonový tisk jsou totožná se zařízeními pro sítotisk. Kovová folie s požadovaným motivem je upnuta v rámu, přes kterou se provádí tisk na desku. Tloušťka vrstvy natisknuté pasty nebo lepidla v mokrém stavu odpovídá tloušťce šablony. Těrka svírá se šablonou úhel mezi 45 ° až 60 ° a je k ní přitlačována silou tak, aby při pohybu před sebou pastu rolovala a zatlačovala jí do otvorů v šabloně. Znázornění tisku přes síto je vyobrazeno na obrázku č. 11 na straně 29. [7]

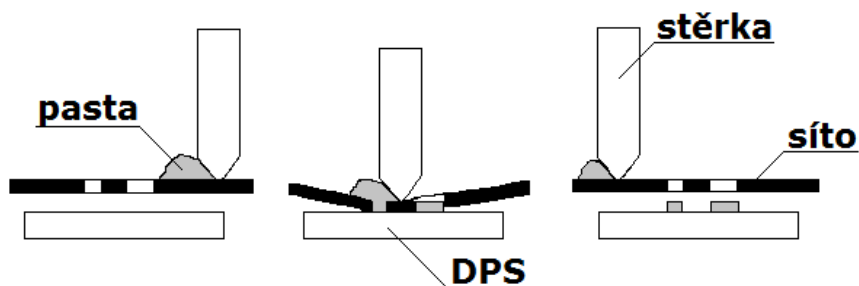
Obrázek 11: Metoda tisku přes šablonu; převzato a upraveno z [7]



Metoda tisku přes síto

Princip tisku spočívá v protlačení viskózní pasty přes síto maskované požadovaným obrazcem na nosnou keramickou podložku. Tato podložka je vakuově uchycena v držáku a zároveň je umístěna pod sítkou, která je napnutá v kovovém rámečku. Vzdálenost sítky od síta definuje výšku vrstvy pasty. Postup je následovný. Na sítku je nanášeno potřebné množství pasty, které se pohybem stěrky protlačí do otvorů v síťce. Důsledkem deformačních vlastností pasty dochází po návratu stěrky do krajních poloh k navrácení sítky do původního stavu. Současně dochází k přenesení sítotiskové pasty z otvorů v síťce na podložku, a tím je vytvořen požadovaný motiv. [8]

Obrázek 12: Metoda tisku přes síto; převzato a upraveno z [8]



Ruční způsob dávkování

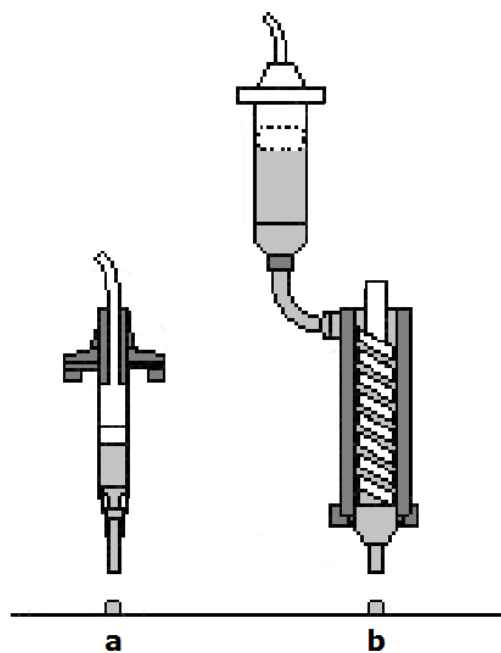
Ruční dávkování nachází využití tam, kde se osazuje malé množství součástek nebo tam, kde se součástky pouze vyměňují, a tudíž nelze použít

metody tisku přes šablonu nebo síto, kvůli přítomnosti připájených součástek. Požadované množství pasty (lepidla) lze koordinovat zvoleným průměrem jehly. [6]

Strojní způsob dávkování

Slouží jako alternativa pro tisk pomocí šablony nebo síta tak, kde je ekonomicky nevýhodné vyrábění nákladných šablon. Existují dva možné způsoby strojního dávkování. První způsob je téměř stejný jako ruční dávkování, ale s tím rozdílem, že na píst tlačí vzduch. Ve druhém způsobu je pasta tlačena šroubovicí na desku plošného spoje. [6]

Obrázek 13: Strojní způsob dávkování pomocí pístu (a) a šroubovice (b); převzato a upraveno z [6]



2.3.2 Montáž součástek SMD na plošný spoj

Způsob montáže a pájení součástek na desky s plošnými spoji musí zohledňovat typ osazovaných součástek a jejich seskupení. Buďto se mohou

osazovat pouze SMD součástkami nebo v kombinaci s klasickými součástkami.

[2]

- montáž pouze SMD součástek
 - jednostranná – DPS je osazena součástkami pouze z jedné strany
 - oboustranná – osazované součástky jsou pájeny po obou stranách DPS
- kombinovaná montáž SMD a klasických součástek
 - první způsob – součástky pro klasickou montáž jsou osazovány pouze na straně součástek, SMD součástky jsou osazovány na straně spojů
 - druhý způsob – SMD součástky jsou montovány po obou stranách DPS, ze strany klasických součástek i ze strany spojů

Úprava plošného spoje před osazením součástek

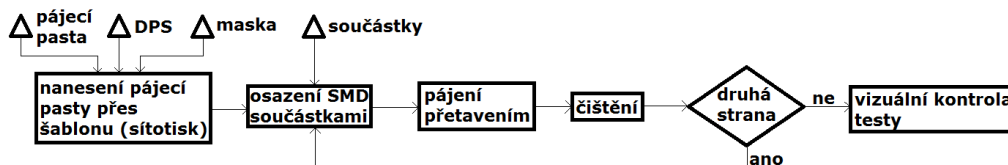
Kvalitního osazení dosáhneme za předpokladu výborné pájitelnosti DPS. K tomu potřebujeme aplikování tavidla. Tavidlo je zpravidla kapalná látka, která zajišťuje spolehlivý proces pájení s reprodukovatelnou kvalitou pájených spojů a dosažení minimálních zbytkových nečistot po pájení. Pro úsporu času se používají bezoplachová tavidla. [2]

Montáž pouze SMD součástek

Pro tuto montáž je specifická metoda přetavení pájecí pasty. Nejprve se nanese pájecí pasta pomocí sítotisku nebo šablonového tisku na plošný spoj. Do takto nanesené pasty se osazují SMD součástky pomocí osazovacích automatů či poloautomatů. V této fázi slouží pasta jako dočasné lepidlo, které fixuje součástku k desce. Následuje metoda přetavení, po které jsou již spoje lesklé a hladké. Případné zbylé nečistoty po pájení jsou odstraněny v etapě čištění.

Je-li deska navržena pro montáž součástek po obou stranách, tak se celý proces znovu opakuje i na druhé straně. Po úspěšném provedení pájení se provede vizuální kontrola, kterou se dají odhalit viditelné závady např. můstky cínu mezi spoji, odtržení součástky atd. Správnost funkcí osazené desky je vyhodnocována konečnými testy. [2]

Obrázek 14: Postup osazování SMD součástkami; převzato a upraveno z [2]

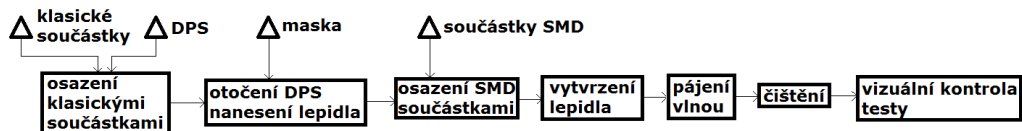


Kombinovaná montáž

SMD součástky na straně spojů, klasické součástky na straně součástek

Při této montáži se nejprve osadí klasické součástky. Vývody součástek jsou zasunuty do prokovených otvorů v plošném spoji ze strany součástek. Upevnění součástek proti vypadnutí se provádí zahnutím vývodů na opačném konci DPS. Na straně spojů se osazují SMD součástky. Upevňují se pomocí lepidla. Po přilepení součástek a následném vytvrzení lepidla je prováděno pájení vlnou. Vlna roztavené pájky pájí najednou jak SMD součástky, tak vývody klasických součástek k plošnému spoji. Po následném vyčištění zapájené desky probíhá opět vizuální kontrola a následné kontrolní testy. [2]

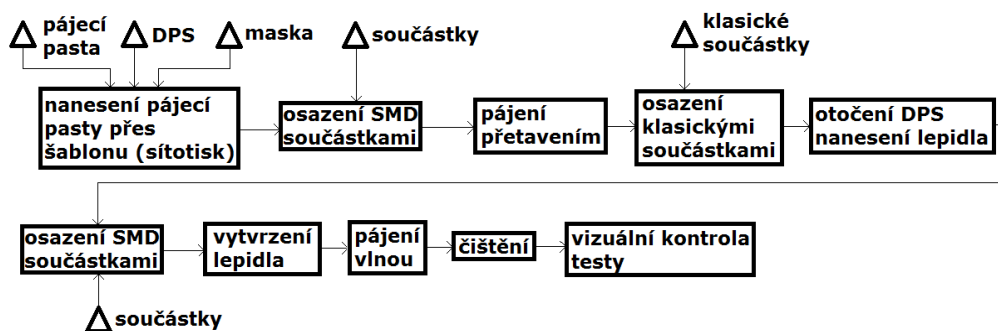
Obrázek 15: Postup osazování klasickými součástkami a jednostranně SMD součástkami; převzato a upraveno z [2]



SMD součástky po obou stranách desky s plošnými spoji, klasické součástky na straně součástek

U této kombinované metody jsou klasické součástky osazeny pouze na straně součástek a SMD součástky jsou osazeny po obou stranách desky. Vzhledem k počtu montážních operací je tato metoda nejsložitější. Využívá obě již zmiňované metody pájení, a to metodu přetavením a metodu pájení vlnou. Prvním krokem je nanášení pájecí pasty na stranu součástek, do které se osadí SMD součástky. Následuje metoda přetavení. Současně musí být překryty otvory pro montáž klasických součástek. Po tomto kroku přichází na řadu osazení klasických součástek do otvorů v desce a jejich upevnění proti vypadnutí. Upevnění je zajištěno zahnutím konců vývodů na protilehlé straně desky. Další kroky jsou shodné s postupem osazení kombinace součástek na jedné straně desky. [2]

Obrázek 16: Postup při osazování desky klasickými součástkami a oboustranně SMD součástkami; převzato a upraveno z [2]



2.3.3 Technika povrchové montáže

Nejrozšířenější metodou spojování součástek v elektronice je metoda pájení. U spojování kabelů byla tato metoda částečně nahrazena mechanickými metodami. Samotné pájení spočívá v tom, že dva kovy se spojí třetím roztaveným kovem – pájkou.

Pájení se dá rozdělit do dvou skupin, měkké pájení a tvrdé pájení. V této práci popisují jen měkké pájení, kde dosahované teploty nepřekračují 450 °C. Pájkou při měkkém pájení je většinou slitina cínu s olovem. Avšak v současné době je snaha vyloučit jedovaté olovo ze všech výrobních postupů, a proto se dnes olovo v pájkách nahrazuje jinými kovy. Tyto kovy musí být netoxické, dostupné, cenově přiměřené, dostatečně smáčivé a musí vytvářet kvalitní spoje. Pro kvalitní propojení kovů je nutné pájku i spojované kovy zahřát na vhodnou teplotu. Teplota závisí na složení pájky. Bod tavení olova je 327 °C, bod tavení cínu je 232 °C. Slitina cínu s olovem se začíná tavit již při teplotě cca 180 °C. Páječka by měla mít teplotu vždy vyšší o 50–100 °C.

Další podmínkou pro dosažení kvalitního spoje je nutné, aby povrchy spojovaných dílů byly čisté a zbavené oxidu. Toho dosahujeme použitím tavidla, které bývá přímo obsaženo v pájce. [9]

Pro očištění pájecího pole se používá pomocná kontaktní pájka, která roztaví zbytky cínu a za pomoci měděného knotu odsaje přebytečný cín. U jemnějších plošek se doporučuje použití mikropájkky z důvodu možnosti regulace teploty a vhodného hrotu. [9]

Ruční pájení

Jde o metodu, která je nejméně spolehlivá, jelikož kvalita pájeného spoje je ovlivněna zkušenostmi obsluhy. Důležité je zachovat pohyb hrotu jedním směrem z důvodu kontroly a případnému zamezení přehřátí. Hlavní faktor ovlivňující kvalitu pájení je teplota. Při kontaktní metodě vyhřátým nástrojem se teplo přenáší na součástku z vyhřívaného pájecího hrotu. Hrot páječky, kterým je nutné dobře prohřát spoj, dosahuje teploty cca 300 °C. Vyšší teploty by přepálily tavidlo a došlo by k silné oxidaci cínu v páječce. Přepálení pájky negativně ovlivňuje kvalitu pájení. Naopak při nedostatečném prohřátí dochází k tzv. studenému spoji. Ruční pájení nachází uplatnění hlavně při opravách

zařízení a je vhodné pro pájení pouzdra typu PLCC a QFP. Naprosto nevhodné je pro pouzdra typu BGA.

SMD součástky díky svým rozměrům a hmotnosti vyžadují teplotu a čas pájení nižší než součástky klasické. Teplota pájky u klasických součástek se pohybuje v rozmezí 260–295 °C, čas se pohybuje v rozmezí 1–4 sekund. S přihlédnutím k času pájení jsou vhodnější krátké a široké tvary hrotů. Základním materiálem hrotu je měď, která zaručuje dobrou tepelnou vodivost, povrchová vrstva je upravena niklem a železem. Důležitá je údržba hrotu páječky. Hrot by měl být čistý, pocínovaný a bez vrstvy oxidů. Pokud cín na hrotu nedrží, odpadává nebo tvoří kuličky, je zoxidovaný nebo dosahuje vysoké teploty, která je nevhodná pro pájení.

Pájení vlnou

Metoda pájení cínovou vlnou zvýšila výtěžnost a spolehlivost. Pájení probíhá tak, že deska, která je osazena součástkami, putuje přes vlnu cínu. Díky neustálému přísunu pájky dochází k odplavování případných nečistot. Tato metoda se využívá při hromadné výrobě plošných spojů.

Pájení přetavením

Tato metoda je vhodná jak pro hromadnou výrobu, tak i pro malé opravy. Pájka se nanáší na pájecí plošky ve formě pasty. Do ní se usazují součástky svými vývody. Takto osazená deska se zahřeje horkým vzduchem, infračerveným zářením nebo popřípadě kondenzačním pájením. Oproti ručnímu pájení a pájení vlnou lze nejlépe definovat teplotu i dobu zahřívání pájky. Výsledný spoj je spolehlivý a kvalitní. Pájení přetavením vyžaduje dostatečnou odolnost součástek proti působení tepla. Například SMD součástky s pouzdem typu BGA nelze ani jinak připájet.

Pájení horkým vzduchem

Pájení diskretních součástek se provádí tak, že na čistý povrch plošného spoje nanese se potřebné množství pájecí pasty pomocí jehly o průměru 0,8 mm až 1,2 mm. Do takto nanesené pasty osazujeme SMD součástky. Z důvodu velikosti diskretních součástek je vhodné použití vakuové pinzety pro jednodušší manipulaci. Pastu následně přetavíme pomocí horkovzdušného pera. Teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 250–340 °C. Objem vzduchu by měl být přiměřený, aby nedošlo k odfouknutí součástky. Praktické je ale i použití větší trysky na menší součástky. Důvodem je přenesení většího svazku teplého vzduchu, který nemá tak vysokou rychlost, aby součástku odfoukl. Pozor se musí dát i na součástky v okolí, kde teplota nesmí přesáhnout teplotu 150 °C, jinak by došlo k rekrystalizaci.

Pájení integrovaných obvodů SMD je obdobné jako pájení diskretních součástek. Integrovaný obvod se osazuje do nanesené pájecí pasty tak, aby všechny jeho vývody byly přesně osazeny na svých pájecích ploškách. K přetavení se používá pájecí stanice s vhodným nástavcem pro konkrétní pouzdro. Při správném nanesení a množství pasty se pasta stáhne na vývody součástky spolu s pájecími ploškami.

Pájení infračerveným zářením

Při infračerveném pájení dochází k přetavení pomocí infračerveného záření. Množství absorbovaného tepla závisí na koeficientu. Velikost koeficientu souvisí s barvou povrchu a vlnovou délkou záření. S narůstající vlnovou délkou klesá absorpce záření. Během záření dochází k většímu namáhání součástek z důvodu tmavého povrchu pouzder. Tmavé barvy více pohlcují teplo, a dochází tak k nerovnoměrnému rozložení teploty na povrchu desky plošného spoje. Výhodou tohoto pájení je fakt, že nedochází k proudění vzduchu, který může SMD součástky posunout nebo odfouknout. [1]

Kondenzační pájení

Kondenzační pájení neboli takzvané pájení v parách. Jde o techniku, kdy plošný spoj s osazenými součástkami v pájecí pastě se ponoří do nasycených par fluorovaných uhlovodíků. Tyto páry kondenzují na chladnějších místech plošného spoje. Při této kondenzaci dochází k uvolňování tepelné energie, která ohřívá součástky, pájecí pastu i DPS. Postupem času dojde k přetavení pájecí pasty. [1]

2.3.4 Demontáž součástek

Demontáž součástky je doprovázena určitými komplikacemi. Mezi tyto komplikace patří i fakt, že součástka určená pro odpájení není na montážní desce sama, ale je obklopena i jinými součástkami. Existují zásady pro bezpečnou demontáž, které je potřeba dodržovat. Mezi tyto zásady patří:

- součástku včetně vývodů nesmíme poškodit tepelně ani mechanicky,
- nesmí se poškodit montážní a korespondující plošky, plošné vodiče,
- zamezit nadbytečnému ohřevu okolních součástek a pájených spojů.

Teplotní kritéria pro bezpečnou ruční montáž a demontáž jsou uvedena v tabulce č. 4 na straně 38.

Tabulka 4: Teplotní kritéria pro bezpečnou ruční montáž a demontáž; převzato a upraveno z [1]

Položka	Teplotní kritéria
Teplota uvnitř součástky (max.)	220 °C
Teplota uvnitř teplotně citlivé součástky (max.)	150 °C
Rychlost předehřevu teplotně citlivých součástek	2–5 °C/s
Maximální teplota na přilehlých pájených spojích	150 °C
Vytvoření spájeného spoje	220 °C po 2–4 sec.
Chlazení pájeného spoje (rychlé)	100 °C za 5 sec.
Ohřev DPS	125–150 °C
Teplota předehřevu (max.)	125 °C
Teplota pájecího hrotu (max.)	385 °C

Mezi kontaktní metody demontáže patří metoda vyhřátým nástrojem. Teplo, které je potřebné pro rozehtání pájky, se přenáší pomocí vyhřátého nástavce. Po rozehtání pájky se součástka odebere pomocí vakuové pinzety, čelistmi nebo se sama zvedne povrchovým napětím. Tento typ metody je vhodný pro všechny typy pouzder. Výhodou je minimální teplotní ovlivnění okolních součástek. Teploty a časové údaje pro kontaktní pájení jsou uvedeny v tabulce č. 5 na straně 39.

Tabulka 5: Kontaktní pájení/odpájení; převzato a upraveno z [1]

Typ pouzdra	Teplota (°C)	Čas (sec.)
Čipy – rezistor, kondenzátor	315	1–6
SOT	315	1–10
SOIC	315	3–20
Flat Pack Small	315	3–45
Flat Pack Large	345	3–90
PLCC	345	3–90
BGA	370	60–90

Demontáž pomoci horkého vzduchu se provádí za pomoci speciální trysky, kterou je teplo přiváděno na pouzdro součástky nebo pouze na vývody. Až se pájka roztaví, součástka se demontuje. Podmínkou je, aby teplota v okolí nepřekročila 150 °C. Překročením okolní teploty by došlo k rekrystalizaci pájeného spoje v okolí demontované součástky.

Tabulka 6: Bezkontaktní pájení/odpájení; převzato a upraveno z [1]

Typ pouzdra	Teplota (°C)	Čas (sec.)
Čipy – rezistor, kondenzátor	345/315	2–5/6–15
SOT	345/315	3–6/6–15
SOIC	345/315	5–15/6–15
Flat Pack Small	345	10–20/20–30
Flat Pack Large	370	30–90/40–90
PLCC	370	30–90/60–180
BGA	370	45–180/90–300

Při metodě infračerveného záření se záření fokusuje na odstraňovanou součástku. Po následném roztavení pájky se součástka demontuje.

Poslední dvě zmiňované metody, horkým vzduchem a infračerveným zářením, se řadí do bezkontaktních metod demontáže SMD součástek.

2.4 Atmel AVR

V současné době se téměř ve všech zařízeních, které se denně běžně používají, vyskytují mikrokontroléry. Mikrokontroléry Atmel AVR jsou nízkopříkonové a skládají se z 32 stejných 8bitových registrů obsahujících data i adresy. Jejich architektura je založena na architektuře AVR RISC a Harvardské architektuře. To znamená, že používá redukovanou sadu instrukcí a má oddělenou paměť pro program a pro data. Instrukční sada, což je skupina všech instrukcí, které mikrokontroler umí vykonat, je tvořena 89, 118 nebo 131 instrukcemi. [10, 11]

U AVR mikrokontroleru se registry propojují s aritmeticko logickou jednotkou (ALU). Díky tomu je dosaženo takové rychlosti operace, kdy ALU provede za hodinový cyklus jednu operaci. [10, 11]

Dříve se mikroprocesory AVR vyráběly ve třech řadách, která se lišili v počtu instrukcí a zakomponovaných modulů. Základní řada se v dnešní době již nevyrábí. Vyrábí se řada ATtiny a řada ATmega. Řada ATmega se vyznačuje rozhraním JTAG, které umožňuje ladění softwaru přímo v aplikaci. Jednotlivé mikroprocesory se od sebe odlišují použitými obvody. To znamená, že se liší velikostmi pamětí SDRAM, FLASH a EEPROM, počtem čítačů/časovačů, počtem portů, A/D převodníky a dalšími. [11]

2.4.1 Architektura AVR

AVR jádro, které se podobá jádru RISC procesorů, se skládá z 32 stejných 8bitových registrů. Posledních 6 registrů je možné ve dvojici využít jako ukazatele adresy pro nepřímé adresování paměti dat. Tyto dvojice registrů se

označují písmeny X, Y, Z. Registry X, Y, Z dovolují libovolné ukládací operace. Programátor si například může vybrat, zda ukazatel adresy bude po zpracování instrukce inkrementovat, nebo před zpracováním operace dekrementovat. [12]

Architektura AVR má pro paměť dat pět adresovacích módů. Jsou to:

- přímé adresování,
- nepřímé adresování s posunutím (6bitový posun),
- nepřímé adresování,
- nepřímé adresování s dekrementací ukazatele adresy před zpracováním instrukce,
- nepřímé adresování s inkrementací ukazatele adresy po zpracování instrukce.

Jak již bylo zmíněno výše, AVR využívá Harvardskou architekturu. Paměť programu je přístupna za pomoci dvoustupňové pipeline. To znamená, že jakmile se začne jedna instrukce vykonávat, další instrukce je již připravována ke zpracování. Proto probíhá zpracování instrukcí vždy v jednom hodinovém cyklu. Během jednoho taktovacího cyklu jsou z pracovních registrů přivedeny oba zdrojové operandy. Poté se provede požadovaná instrukce a výsledek operace se uloží zpět do registrů. Pokud operace proběhne úspěšně, je potřebný čas roven jednomu taktu. [12]

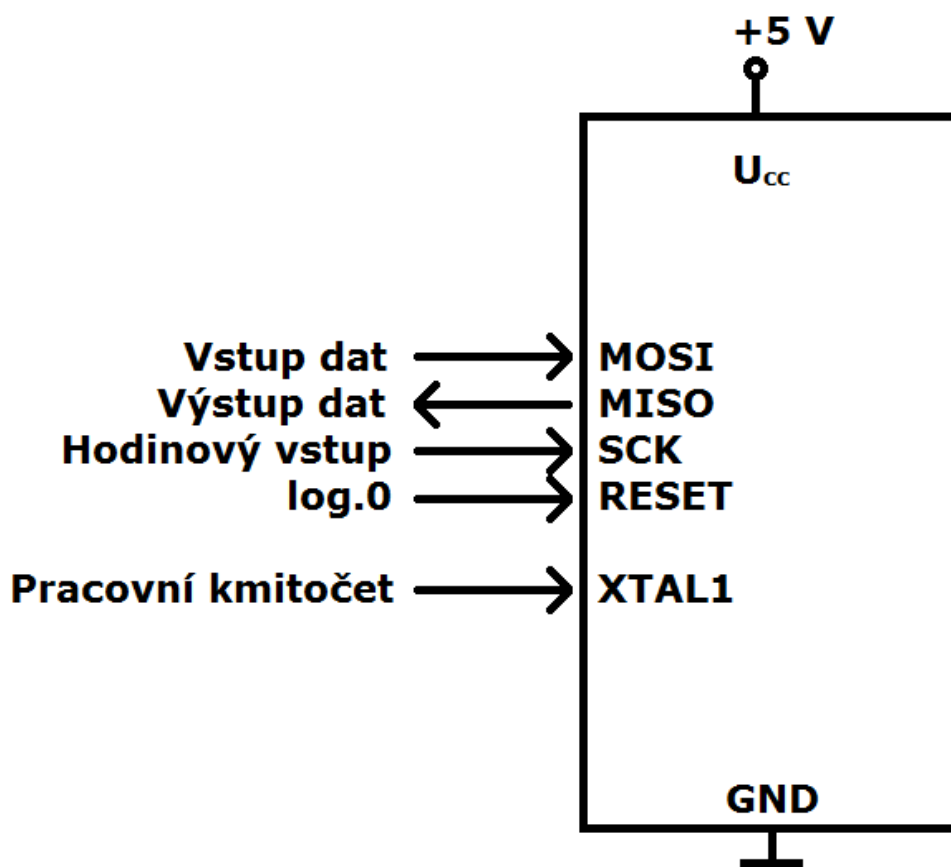
2.4.2 Programování AVR

Mikrokontroléry AVR lze programovat pomocí klasického způsobu (paralelně) nebo pomocí SPI rozhraní (sériově). Klasické programování disponuje více možnostmi, nevýhodou je však jeho komplikovanost. Postup klasického programování je takový, že se programovaný mikrokontrolér nejprve naprogramuje v programátoru a následně se vyjme z programovací

patice. Poté se vkládá do zvolené aplikační desky. Obvod pro paralelní programování je navržen tak, aby se po připojení programovacího napětí provedlo přepnutí na daný pin obvodu. Toto přepnutí umožní v pracovním režimu vstupně výstupních portů přístup k datovým a adresovým vývodům paměti EEPROM. Tímto je možné zaznamenávat data do paměti. Po dokončení programování se obvod přepne zpět. [10]

Sériové programování umožňuje programovat mikrokontrolér přímo v aplikaci. Díky této výhodě se celý proces programování a ladění programu urychlí. Je to způsobeno tím, že odpadá složité vkládání a vyjímání programovaného obvodu do a z aplikační desky. Sériové rozhraní obsahuje vývody MOSI (vstup), MISO (výstup), SCK (hodiny). Programování paměti EEPROM vyžaduje nastavení SPI sběrnice takové, kdy RESET = 0. [10]

Obrázek 17: Ideové zapojení pro seriový download; převzato a upraveno z [10]



Programovací jazyk Bascom

Bascom je programovací jazyk, který byl vytvořen Markem Albertsem v roce 1995. Tento jazyk vychází z dříve používaného programovacího jazyka Basic a nachází využití u programování mikrokontrolérů. Hlavní důvod vytvoření jazyka Basic byl, aby si mohli lidé, kteří nejsou zkušenými programátory, vytvářet vlastní programy.

Jazyk Bascom umožňuje i začátečníkům vytvořit program, který řídí jednočipové mikropočítače a mikrokontroléry. Mezi výhody se řadí vestavěné funkce, které velmi usnadňují práci s displejem, čítačem, A/D převodníky a jinými periferiemi. Další výhodou je jednoduchost jazyka, který má kratší a srozumitelnější zdrojový kód než Assembler. Nevýhoda tohoto jazyka je, že ve výsledku máme větší vyprodukovaný kód, a s tím souvisí i rychlost. Delší kód je pomalejší, ale kritické úseky, které nejvíce zpomalují program, lze nahradit napsáním kódu v Assembleru. [13, 14]

Bascom AVR

Bascom AVR – IDE je programovací prostředí pro PC, ve kterém je umožněna editace zdrojových kódů, překlad, spojování, debugging atd. s mikroprocesory Atmel AVR. Výhoda tohoto programu je taková, že obsahuje ustálené rutiny a ty se pak nemusí znovu psát, např. definované knihovny. Bascom využívá okolo 300 předdefinovaných příkazů. [13, 14, 15]

2.4.3 ATmega32

Konstrukční základ tvoří mikroprocesor v pouzdře DIL40. U ATmega32 se nacházejí čtyři vstupně-výstupní porty označené PA až PD. Každý z těchto portů může pracovat o maximálním výstupním proudu až 40 mA z jednoho pinu. [16, 17]

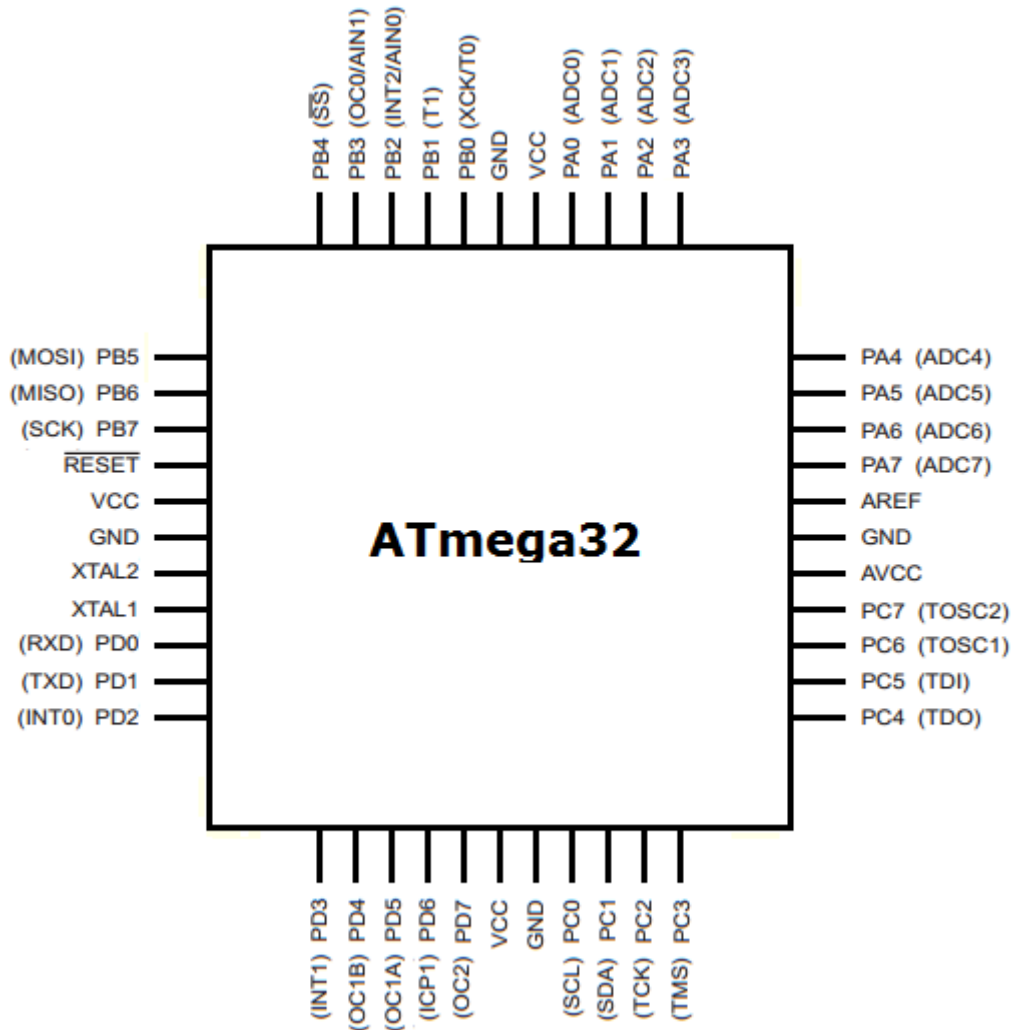
ATmega32 je poslední klon řady ATmega, který je vyráběn i v pouzdře DIL40. Všechny novější klony jsou vyráběny jen pro SMT montáž v pouzdře TQFP. [17]

Parametry ATmega32

- programová paměť typu flash 32 kB, až 10 000 cyklů přepsání
- 2 kB datové SRAM paměti
- 1 kB EEPROM paměti, až 100 000 cyklů přepsání
- instrukční soubor obsahuje 131 instrukcí
- třicet dva 8bitových registrů
- čtyři 8bitové vstupní/výstupní porty
- hodinový kmitočet 0–8 MHz, výpočetní výkon 8 MIPS
- napájecí napětí 2,7–5,5 V
- programování pomocí SPI nebo JTAG
- dva 8bitové čítače, dva 16bitové čítače, watchdog
- 4 PWM kanály
- analogový komparátor
- osm 10bitových A/D převodníků
- vestavěné rozhraní USART, SPI, I2C, 1-wire
- interní RC oscilátor

Vývody ATmega32

Obrázek 18: Rozmístění vývodů mikroprocesoru ATmega 32; převzato a upraveno z [16]



- Port B (PB0..PB7) – 8bitový obousměrný vstupně/výstupní port B
- RESET – Vstup reset
- VCC – Napájení
- GND – Uzemnění
- XTAL2 – Výstup z invertujícího zesilovače oscilátoru
- XTAL1 – Vstup k interním hodinám

- Port D (PD0..PD7) – 8bitový obousměrný vstupně/výstupní port D
- Port C (PC0–PC7) – 8bitový obousměrný vstupně/výstupní port C
- AVCC – Napájení pro A/D převodník (na portu A)
- AREF – Referenční napětí pro A/D převodník (na portu A)
- Port A (PA0..PA7) – 8bitový obousměrný vstupně/výstupní port A
- XCK – Externí hodinový vstup/výstup pro USART
- T0 – Hodinový cyklus čítače/časovače 0
- T1 – Hodinový cyklus čítače/časovače 1
- INT2 – Vstup vnějšího přerušení 2
- AIN0 – Kladný vstup analogového komparátoru
- OC0 – Output Compare čítače/časovače 0
- AIN1 – Záporný vstup analogového komparátoru
- SS – Slave Select kanálu ISP
- MOSI – Master Out/Slave In kanálu ISP
- MISO – Master In/Slave Out kanálu ISP
- SCK – Hodinový signál kanálu ISP
- RXD – Čtení/vstup pro USART
- TXD – Přenos/výstup pro USART
- INT0 – Vstup vnějšího přerušení 0
- INT1 – Vstup vnějšího přerušení 1
- OC1B – Output Compare čítače/časovače 1 (kanál B)
- OC1A – Output Compare čítače/časovače 1 (kanál A)

- ICP1 – Input Capture čítače/časovače 1
- OC2 – Output Compare čítače/časovače 2
- SCL – Hodinový signál TWI (I2C) rozhraní
- SDA – Datový signál TWI (I2C) rozhraní
- TCK – Hodinový signál JTAG rozhraní
- TMS – Výběr módu JTAG rozhraní
- TDO – Výstupní data JTAG rozhraní
- TDI – Vstupní data JTAG rozhraní
- TOSC1 – časovač oscilátoru pin 1
- TOSC2 – časovač oscilátoru pin 2
- ADC0..ADC7 – A/D převodník

3 Praktická část

3.1 Návrh amatérské metody osazování a výměny SMD součástek

3.1.1 Nanášení pájecí pasty

Ruční dávkování

Pro ruční dávkování pasty je možné použití injekční stříkačky naplněné pájecí pastou. Takováto stříkačka s pastou se prodává již jako celek. Samotné nanesení pasty je docela obtížné. Pasta je totiž poměrně hutné konzistence a její protlačení skrz tenký hrot vyžaduje značnou sílu. Při vynakládání větší síly je pak obtížné přesné nanesení na menší pájecí plošky.

Nanášení dávkovačem

K strojnímu nanášení pájecí pasty slouží dávkovač. Jeho výhodou je jednoduchá aplikace pasty za pomoci nožního pedálu, čímž odpadá nutnost vyvíjení síly. Naopak velkou nevýhodou u amatérského osazování je jeho cenová dostupnost. Ceny se pohybují od 12 000 Kč výše a dále je zapotřebí dovybavení takového dávkovače kompresorem (zdrojem stlačeného vzduchu), u kterého se velikost tlaku pohybuje obvykle od 2,5 do 7 barů. Pro neprofesionální potřeby lze sehnat i levnější dávkovač. Zdroj stlačeného vzduchu lze vyrobit také levnějším způsobem. K výrobě postačí tlaková nádoba na postřik rostlin, tlaková hadice a spojovací materiál. Tlaková nádoba pracuje s tlaky kolem 3,5 baru, což pro amatérské účely plně postačuje a rovnou obsahuje přetlakovou pojistku. Amatéři, kteří si chtějí práci ještě více zjednodušit, mohou tento celek obohatit připojením kompresoru na nafukování kol u auta, který nahradí ruční pumpování integrovanou pumpičkou v nádobce.

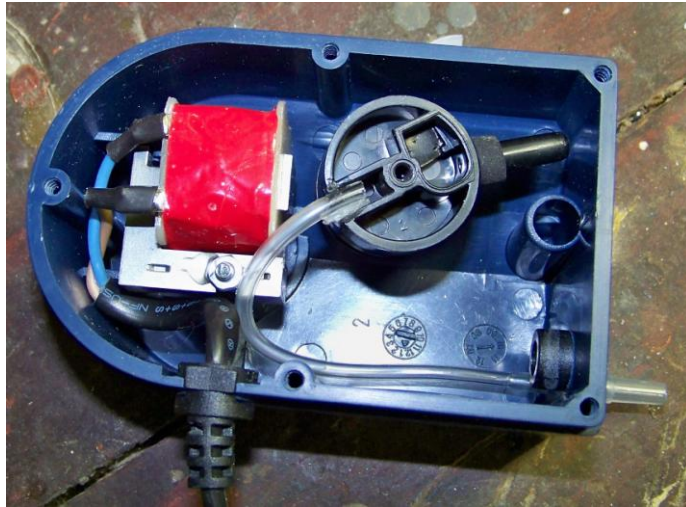
3.1.2 Osazení součástek vakuovou pinzetou

Po úspěšném nanesení pájecí pasty na potřebná místa plošného spoje přichází na řadu umístění SMD součástek na pájecí plošky s pastou. Tento krok můžeme provést pomocí pinzety. Je však nutné mít pevnou ruku, aby osazení bylo provedeno s velkou přesností. U tak malých součástek, jako jsou SMD, je výhodnější použít tzv. vakuovou pinzetu. Stejně tak jako profesionální dávkovač pasty, je i vakuová pinzeta poměrně drahá. Levnější varianta vakuové pinzety se vyrábí ve formě ručního pera. To je však vhodné při osazování větších integrovaných obvodů.

Pro laické osazování je možné si vyrobit vlastní vakuovou pinzetu. Osobně jsem k sestavení pinzety potřeboval následující součástky: vzduchovací motůrek pro akvaristiku, hadička pro infuzní systém, cca 1 m vzduchovací hadičky, teleskopická anténa od rádia, injekční jehly, sekundové lepidlo a běžné nářadí pro domácí kutily.

Prvním krokem k vytvoření pinzety byla úprava vzduchovacího motůrku. Potřeboval jsem upravit směr sání motůrku, jelikož originální motůrek vzduch vyfukuje. Jedna z možností by byla otočit chlopně ve válečku, který slouží pro pumpování vzduchu. Tuto možnost jsem ale zavrhl, protože by byl problém s opačným zasazením chlopní uvnitř válce. Proto jsem zvolil druhou možnost, a tou bylo vytvoření sacího ventilu. Toho jsem docílil vyvrtáním malého otvoru v plášti motůrku a následným vsazením části prodlužovací hadičky pro infuzní systém. K fixaci jsem použil sekundové lepidlo. Konec hadičky jsem vlepil do sacího otvoru ve válečku. Provedení je vidět na obrázku č. 19 na straně 50.

Obrázek 19: Vzduchovací motůrek s vytvořeným sacím vývodem

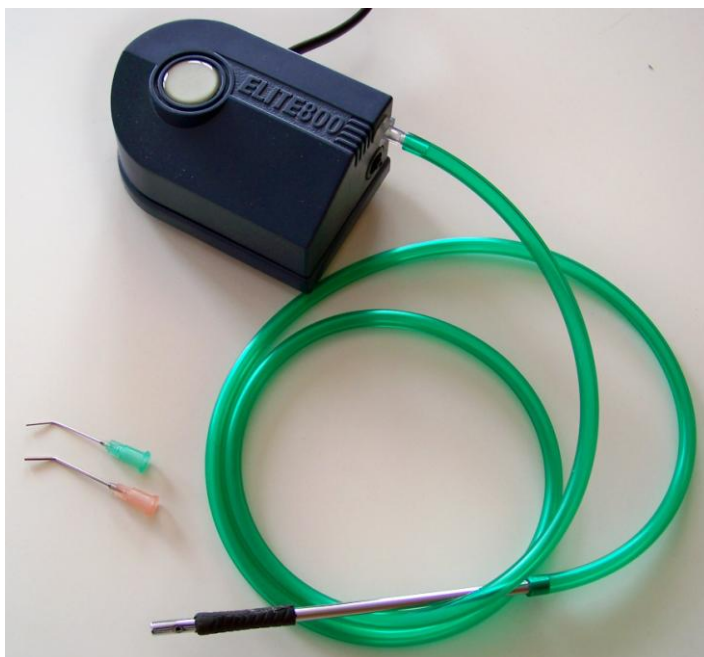


Druhým krokem bylo uzpůsobení teleskopické antény do podoby držadla s ovládáním podtlaku v sestavě. Pro držadlo slouží jedna část antény s potřebným průměrem. Na konci pláště zvoleného dílu antény jsem vyvrtal malou díрку (průměr cca 2 mm), která slouží pro ovládání podtlaku prstem. Takto upravenou trubičku jsem spojil s motůrkem vzduchovací hadičkou.

Posledním krokem bylo zbroušení hrotu injekční jehly do roviny a následné rozšíření vnitřního průměru jejího konce pomocí vrtačky s vrtákem menšího průměru (cca 2 mm). Pro pohodlnou manipulaci jsem konec jehly mírně zahnul. Tímto způsobem jsem upravil dvě injekční jehly různých průměrů. Různé průměry jsem zvolil kvůli odlišným velikostem SMD součástek. Tyto dvě jehly slouží jako nástavce na konec trubičky antény.

Vakuová pinzeta je vidět na obrázku č. 20 na straně 51, ovládání podtlaku v pinzetě spolu s nástavcem o průměru 1,2 mm je znázorněno na obrázku č. 21 taktéž na straně 51.

Obrázek 20: Vakuová pinzeta



Obrázek 21: Ovládání podtlaku s nástavcem o průměru 1,2 mm



3.1.3 Přetavení pájecí pasty

V amatérské sféře se nejvíce uplatňuje přetavení horkým vzduchem. K tomu je zapotřebí horkovzdušná pistole. Princip přetavení pájecí pasty horkým vzduchem je popsán v kapitole 2.3.3. Samotné použití horkovzdušné

pistole jsem obohatil o řízení výkonu pistole pomocí měřicího modulu (více v kapitole 3.2).

3.1.4 Odstranění můstků

Po dokončení pájení se může stát, že přetavená pasta vytvoří tzv. mosty mezi vývody součástky. K tomu dochází hlavně u integrovaných obvodů, které mají malou rozteč vývodů (od 0,3 mm). Tyto mosty je nutné odstranit. Dělá se to tak, že na spojené vývody se přiloží odsávací měděný knot napuštěný tavidlem a zahřeje se mikropájkou. Přebytný cín se nasaje do kapilár měděného knotu a mezi vývody a DPS zůstane jen potřebné množství cínu. Pokud by došlo k úplnému odstranění cínu a nebyl by vytvořen pevný spoj, je nutné proces pájení provést znovu.

3.1.5 Oplach tavidla

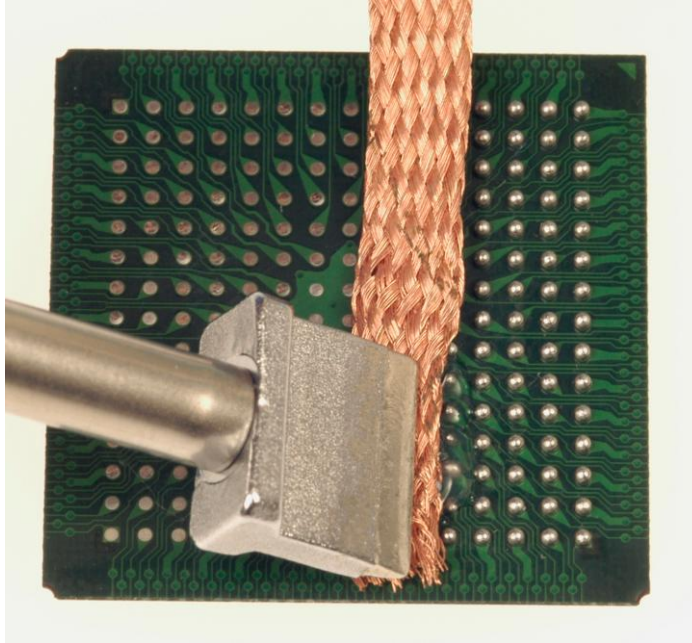
Tavidlo použité při pájení a tavidlo napuštěné v měděném knotu je na DPS nežádoucí. Je poměrně agresivní a vlivem dlouhodobého působení na DPS, by mohlo celý plošný spoj doslova „rozežrat“. Proto je nutné provést oplach tavidla. Pracovní postup je poměrně jednoduchý. Spočívá v tom, že desku ponoříme do nádoby naplněné izopropanolem a tavidlo se opláchne. Poněkud méně náročnou variantou je použití izopropanolu ve spreji. Ten se po aplikování rychle odpaří.

3.1.6 Výměna SMD součástek

Při výměně SMD součástky je důležité prvotní odebrání staré součástky. To provedeme tak, že páječkou zahřejeme cín, který odsajeme odsávačkou nebo vložíme odsávací měděný knot mezi páječku a spoj na plošném spoji, který chceme odstranit. Po odstranění cínu můžeme danou součástku odebrat. Pro nové osazení SMD součástkou musíme pájecí plošky na DPS vyčistit od zbytků cínu. To provedeme tak, že opět položíme měděný knot do místa, které chceme zbavit cínu, a zahřejeme kontaktní páječkou. Na takto upravené

plošky můžeme opět nanést pájecí pastu, jak je uvedeno v kapitole 3.1.1 a pájecí proces opakovat.

Obrázek 22: Odsátí cínu pomocí měděného knotu; převzato a upraveno z [18]

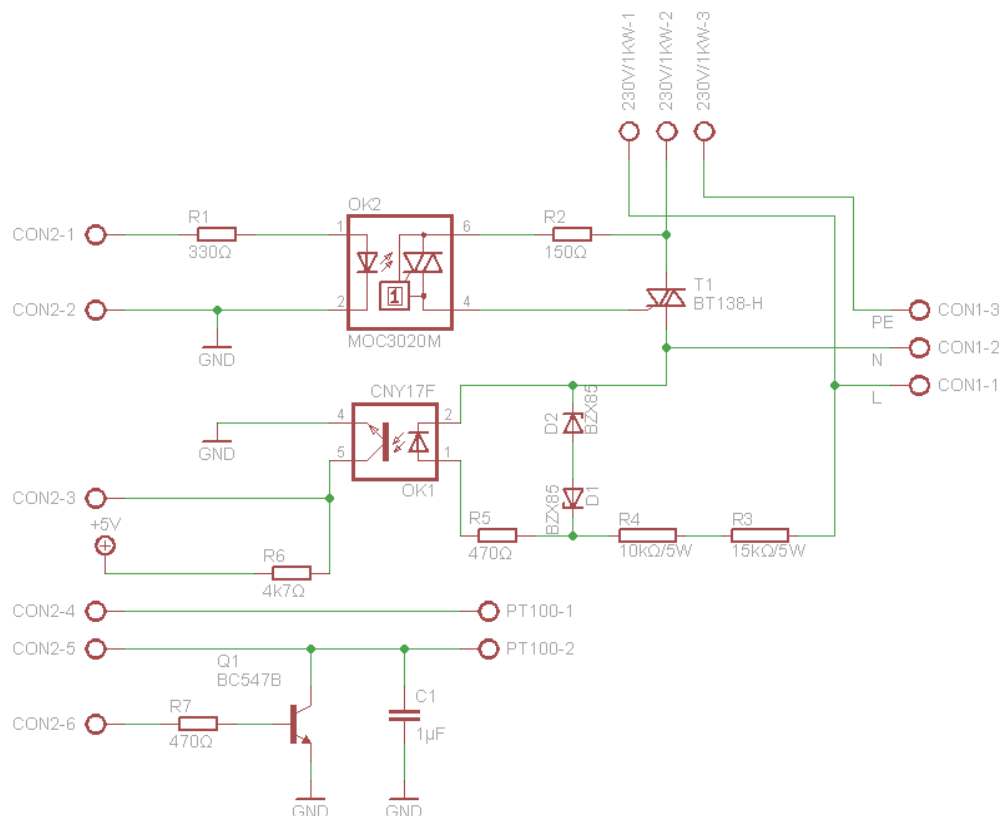


3.2 Konstrukce prototypu měřícího modulu k procesoru Atmel AVR

3.2.1 Návrh schématu zapojení měřícího modulu

Pro návrh zapojení měřícího modulu pro horkovzdušné pájení jsem si vytvořil schéma v programu Eagle. Jde o aplikaci od společnosti CadSoft, která je uživatelsky snadno ovladatelná a je možné si jí stáhnout ve free verzi. Tato aplikace je vhodná i pro navrhování desek plošných spojů. V mém případě jsem nenavrhol plošný spoj, protože se jedná pouze o prototyp, který bude dále vyvíjen. Schéma pro zapojení měřícího modulu je na obrázku č. 23 na straně 54. [19]

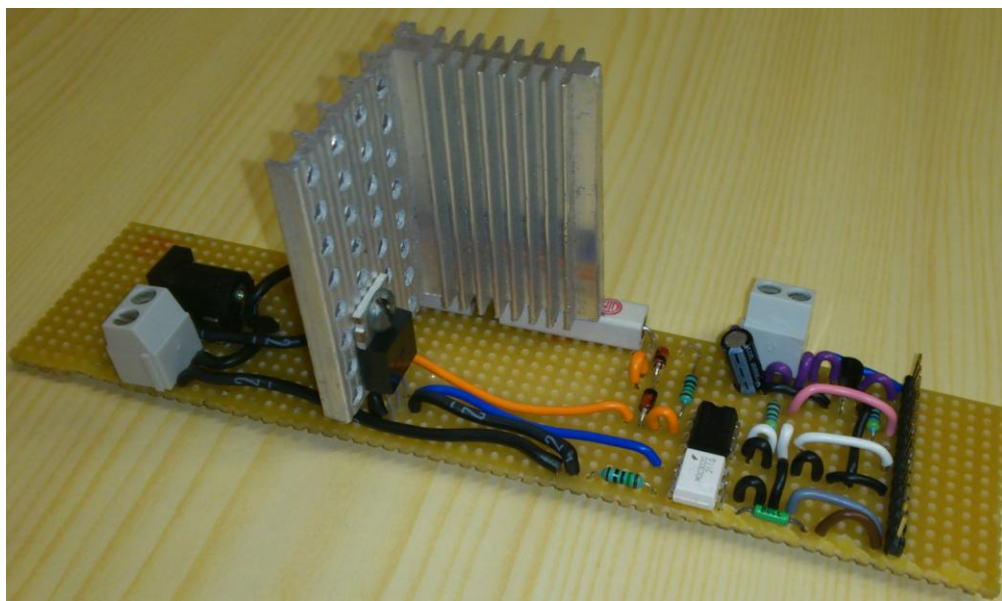
Obrázek 23: Schéma zapojení měřicího modulu



3.2.2 Prototyp měřicího modulu

K osazení jsem použil tyto součástky: rezistory o nominálních hodnotách (150 Ω , 330 Ω , 470 Ω , 4700 Ω), výkonové rezistory 10 k Ω a 15 k Ω , dvě zenerovy diody BZX 85C pro 10 V, kondenzátor 1 μ F, tranzistor BC 547C, triak BT139 s chladičem, optotriak MOC3020, optron CNY17F3, svorkovnice, napájecí konektor a jednořadou lámací lištu. Všechny tyto součástky jsem podle schématu osazoval na univerzální plošný spoj, který jde dále rozšiřovat o další součástky. Pro osazení jsem použil metodu kontaktního pájení mikropájkou.

Obrázek 24: Prototyp měřicího modulu



Takto osazený měřicí modul jsem dále rozšířil o čidlo PT100, které je připojeno pomocí tepelně odolného kabelu do dané svorky. Z druhé svorky je vyvedena zásuvka, pro připojení horkovzdušné pistole.

3.2.3 Popis činnosti

Na svorku CON2-4 jsem připojil stabilizované napětí +5 V, ze kterého se přes teplotní čidlo PT100 při měnícím cyklu nabíjí kondenzátor C1. Napětí na C1 roste podle rovnice: $u_C = +5V \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$, kde $\tau = R_{PT} \cdot C1$ a $R_{PT} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$. R_0 v rovnici znamená odpor PT100 při 0 °C, což je 100 Ω , α je teplotní součinitel a ϑ je teplota v °C. Čím je vyšší teplota, tím je vyšší odpor R_{PT} a tím je pomalejší nabíjení kapacitoru C1 a tím i delší čas k dosažení hodnoty napětí u_C na logickou hodnotu „1“. Svorka CON2-5 pak o to později zapne triak topný příkon do horkovzdušné pistole. Svorka CON2-5 je zapojena jako vstup do AVR a logická „1“ zde dává povel k zapnutí triaku. Kolik půlvln střídavého proudu bude zapnuto do topného tělesa pistole, řeší samotný program AVR podle doby nabíjení kondenzátoru C1. Čítač v AVR

po dobu nabíjení C1 inkrementuje svůj stav až do $u_{C1} = "1"$ a podle stavu čítače zapíná logaritmicky závislý počet půlvln topného střídavého proudu.

Paralelně k C1 je připojen tranzistor Q1, aby měření teploty na C1 přes PT100 probíhalo vždy od stejných počátečních podmínek. AVR na začátku měřicího programu vyšle na svorku CON2-6 povel logické jedničky rovný, tím se zapne tranzistor Q1 a vybije C1 na své saturační napětí cca +0,2 V. Pak program v AVR vypne tento povel a zapne +5 V na CON2-4 a začne odměřování teploty.

K zajištění zapínání triaku „v nule“ slouží optron OK1. Při zapínání „v nule“ tj. při malém napětí již na začátku půlperrody, prakticky triak nezpůsobuje žádné elektromagnetické rušení a nemusí se používat drahý odrušovací filtr (složený ze sériově zapojené tlumivky dimenzované na plný proud topného tělesa a paralelních kapacitorů dimenzovaných na plné síťové střídavé napětí). Na začátku každé kladné půlvlny síťového napětí se rozsvítí led dioda v optronu OK1 a fototranzistor zapne, čili zkratuje, svorku CON2-3 na logickou nulu. Na konci půlvlny led dioda zhasne a na CON2-3 se objeví logická jednička. Takto vlastně při každém průchodu střídavého napětí nulou dochází na CON2-3 ke změně logické hodnoty z 0 na 1 nebo z 1 na 0, což využije program AVR k možnému zapnutí triaku. CON2-3 je tedy vstup do AVR.

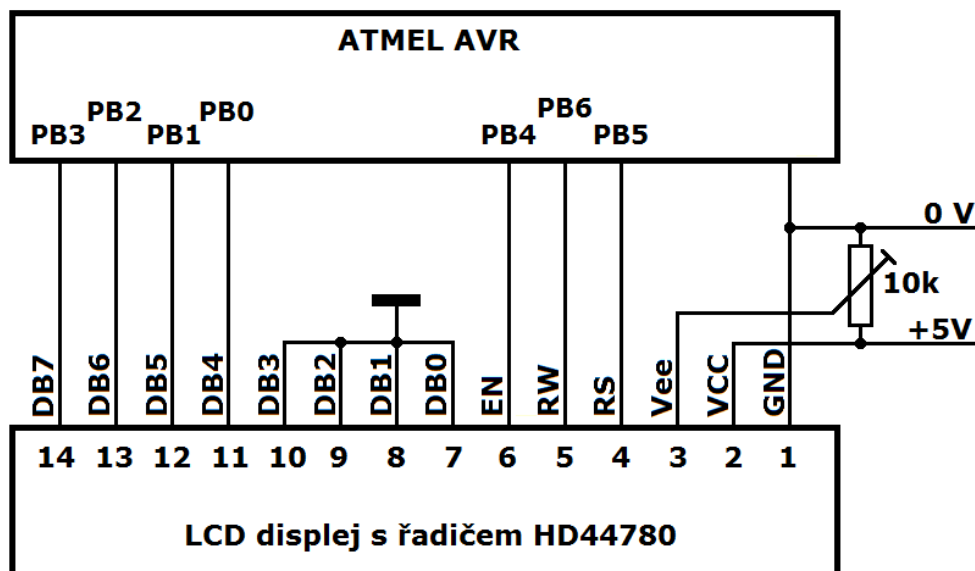
Povely pro zapnutí topného příkonu triakem vysílá AVR na svém výstupu CON2-1. Logická jednička zde rozsvítí led diodu v optotriaku OK2 a triak mezi piny 6 a 4 sepne obvod. Tím zapne větší proud přes rezistor R2 do řídicí elektrody „G“ výkonového triaku T1, který zapne proud cca 5 A do topného tělesa. Na konci půlvlny triak sám vypne (změnou polarity síťového napětí). Jestli zapne hned další půlvlnu, tak o tom už rozhoduje program AVR.

3.2.4 Použití mikrokontroléru ATmega32 s inteligentním displejem

Mikrokontrolér ATmega32 propojený s řídicím modulem horkovzdušného pájení jsem dále rozšířil o inteligentní LCD displej. Důvod tohoto rozšíření je takový, že na LCD displeji se při spuštění programu rovnou ukazují měřené teploty v aktuální čas.

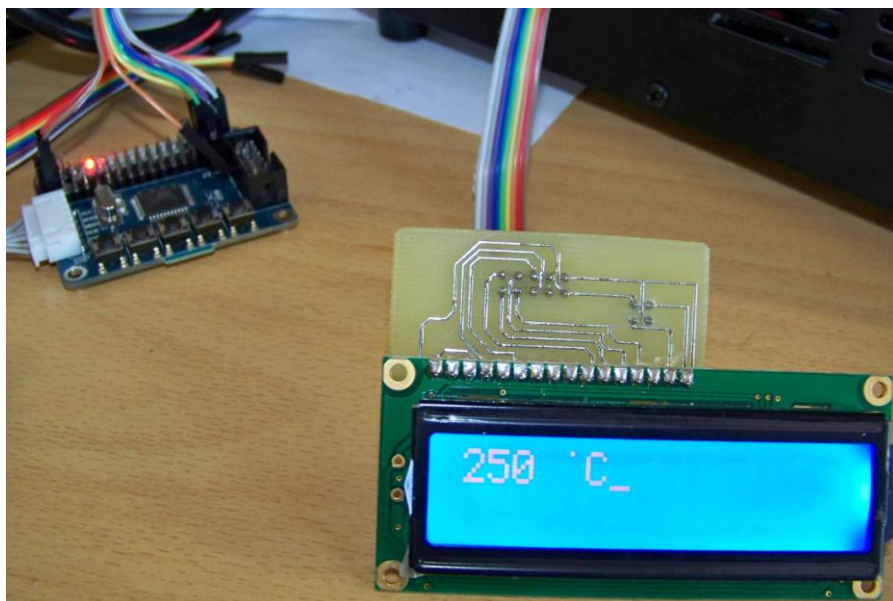
Inteligentní LCD displej již obsahuje řadič s vlastní instrukční sadou. Pro komunikaci využívá jazyk Bascom čtyřbitovou knihovnu. Propojení inteligentního displeje s mikrokontrolérem je vidět na obrázku č. 25 a na obrázku č. 26 na straně 58. [13]

Obrázek 25: Připojení inteligentního LCD displeje k mikrokontroléru Atmel AVR; převzato a upraveno z [13]



Při komunikaci slouží DB4, DB5, DB6 a DB7 pro přenos instrukcí do řadiče LCD a pro zápis či čtení dat do nebo z paměti. Signál RS určuje zápis dat či instrukcí, signál RW určuje zápis nebo čtení do LCD a signál EN znamená platná data.

Obrázek 26: Názorné propojení inteligentního LCD displeje s Atmel AVR



3.3 Vytvoření řídicího a vyhodnocovacího programu

Pro vytvoření programu jsem použil vývojové prostředí Bascom AVR. Kromě charakterizování použitého mikrokontroléru, deklarace proměnných, konfigurace inteligentního LCD displeje, vstupů a výstupů A/D převodníku, nastavení inicializace při spuštění programu, vzorce pro převod teploty z hodnot teplotního čidla na °C a určení řízení výkonu pro průchod nulou bylo nutné optimalizovat určení počtu zapnutých a vypnutých půlvln pro dílčí procentuelní hodnoty výkonu.

Při uvedení modulu do provozu je jasné, že teplotní čidlo naměří teplotu tak nízkou, že do horkovzdušné pistole půjde plný výkon a nebude se ubírat žádný počet půlvln střídavého napětí. Se stoupající teplotou se bude výkon snižovat, tudíž bude vynecháváno více půlvln. Optimalizaci jsem prováděl tak, aby vynechané půlvlny byly rovnoměrně rozmístěné v intervalu 1 měřeného cyklu. Např. pro 98% výkon budou vypnuty 2 půlvlny a 98 jich zůstane zapnutých. Já je ale ovšem rozdělil tak, že 49 půlvln bude zapnutých a právě jedna se vypne, a pak bude dalších 49 půlvln zapnutých a opět jedna vypnutá.

Tabulka 7: Příklad optimalizace zapnutých a vypnutých půvlňů k danému výkonu

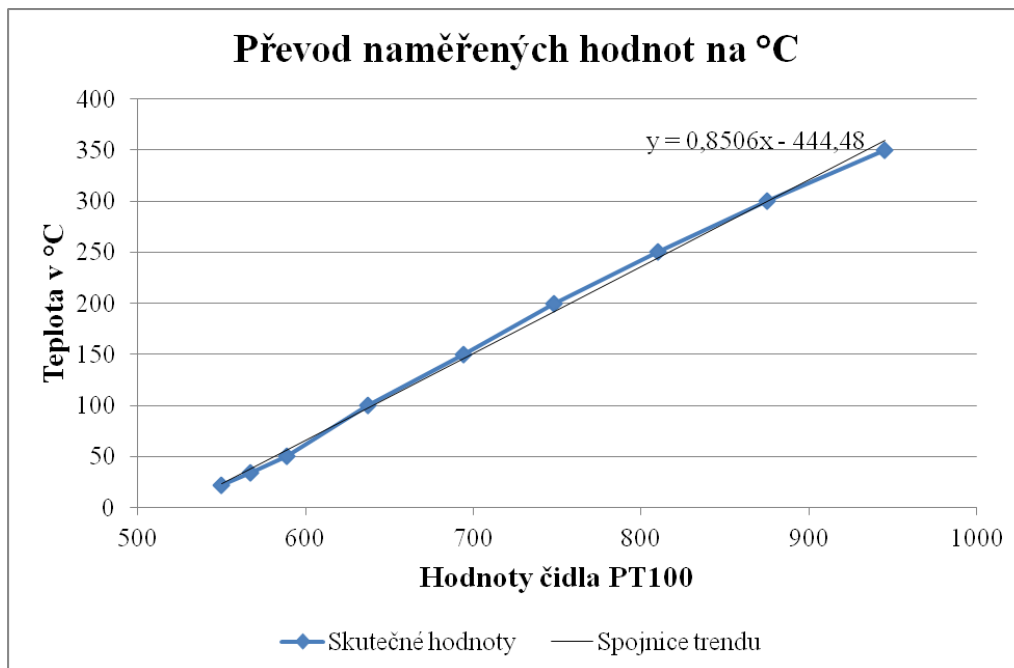
Výkon (%)	Počet zapnutých půvlňů	Počet vypnutých půvlňů
100	100	0
95	19	1
90	9	1
85	17	3
80	4	1
75	3	1
70	7	3
65	13	7
60	3	2
55	11	9

Zdrojový kód programu jsem umístil z důvodu velkého rozsahu do příloh.

3.3.1 Ověření funkčnosti

Nejprve jsem stanovil rovnici, která odpovídá spojnici trendu a zaručí mi převod mezi naměřenými hodnotami a požadovanou teplotou v daný okamžik. Pro správné měření teploty jsem poté provedl kalibraci měření pomocí termočlásku. Převod naměřených hodnot na °C je znázorněn v grafu č. 1 na straně 60.

Graf 1: Převod naměřených hodnot na °C



3.4 Vyhodnocení dosažených parametrů

V rámci návrhu amatérského postupu osazování plošného spoje jsem vyrobil vakuovou pinzetu, která usnadňuje práci při manipulaci SMD součástek během osazování plošného spoje. Funkčnost vakuové pinzety je dobrá a může být využita v praxi.

K možnosti regulace teploty horkovzdušného pájení jsem sestrojil řídicí modul, který jsem propojil s plošným spojem osazený mikrokontrolérem ATmega32. Provedl jsem sérii zkoušek, při kterých jsem ověřil funkčnost jednotlivých částí. Tento řídicí obvod pracuje spolehlivě.

4 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou osazování SMD součástek a návrhem postupu osazování za využití horkovzdušného pájení s vlastním řízením teploty. Podstata teoretické části spočívá v popsání parametrů jednotlivých druhů SMD součástek a v popsání používaných metod osazování.

Cílem praktické části bylo navržení amatérského postupu osazování. V rámci návrhu osazování jsem sestrojil vakuovou pinzetu pro usnadnění manipulace s SMD součástkami. Tato pinzeta pracuje uspokojivě a výrazně usnadňuje práci. Dalším cílem bylo zkonstruovat prototyp měřicího modulu k procesoru Atmel AVR. Následujícím krokem po zkonstruování a změření obvodu měřicího modulu bylo naprogramování procesoru ATmega32 v jazyce Bascom. Takto naprogramovaný procesor řídí pomocí měřicího modulu výkon horkovzdušné pistole. Byla provedena série zkoušek, při kterých byla ověřena funkčnost jednotlivých částí. Po provedení série testování mohu konstatovat, že měřicí modul byl sestrojen úspěšně, je plně funkční a pracuje spolehlivě. Kompletní sestavení bude provedeno po zhotovení držáků, které nebyly ovšem součástí práce.

5 Reference

- [1] STARÝ, Jiří; KAHLE, Petr; ŠANDERA, Josef. *Plošné spoje a povrchová montáž*. PC-DIR Real, 1999.
- [2] DOLEČEK, Jaroslav. Plošné spoje a technologie povrchové montáže. In: *Technologie: Plošné spoje* [online]. 2003 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://epso.wz.cz/stahovani/sps/Technol_III-1DPS_SMT.pdf
- [3] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 270 s. ISBN 80-730-0181-0.
- [4] JURČÍČEK, Petr. *Pájecí stanice pro SMD součástky*. Zlín, 2007. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
- [5] Technicest - keramické SMD. *Technicest.com* [online]. 2010 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://www.technicest.com/keramicke_smd.php
- [6] JANÁČ, Martin. *Technologie tisku pájecí pasty*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Petr Neumann, Ph.D.
- [7] STARÝ, Jiří. *Plošné spoje a povrchová montáž*. [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/METMEL/studijni-pomucky/METMEL_11_SP_BPSM_Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf
- [8] SZENDIUCH, Ivan. *Vytváření tlustovrstvé pasivní sítě* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/mmte/L03_Vytv%C3%A1%C5%99en%C3%AD_tlustovrstv%C3%A9_pasivn%C3%AD_s%C3%ADt%C4%9B.pdf
- [9] DRAXLER, Petr, Petr SMĚŠNÝ a Josef ŠAFRÁNEK. *Technika povrchové montáže*. Tábor, 2007.

- [10] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry atmel AVR AT90S*. 1. vyd. Praha: BEN, 2003, 375 s. ISBN 80-730-0088-1.
- [11] BABČANÍK, Jan. Začínáme s mikroprocesory Atmel AVR. *HW.cz* [online]. 2006 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/zaciname-s-mikroprocesory-atmel-avr.html>
- [12] DŘÍNEK, Milan. Architektura AVR. *Avr.hw.cz/* [online]. 2000 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://avr.hw.cz/architektura/arch_avr.html
- [13] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry Atmel AVR: programování v jazyce Bascom*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 216 s. ISBN 80-730-0115-2.
- [14] KUTĚJ, Jaroslav. PROGRAMOVÁNÍ V BASCOM-AVR. *STRÁNKY O MIKROPROCESORECH ATMEL* [online]. 2012 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.mp222.wz.cz/Bascom/bascom.htm>
- [15] PIRKL, Jan. Bascom AVR. *Jendaelektro.ic.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://jendaelektro.ic.cz/BAS/UV/UV.htm>
- [16] ATmega32. *Atmel Corporation* [online]. 2011 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>
- [17] ZLATNÍK, Petr. ATmega32. *Zlatnik.petr.sweb.cz/* [online]. 2008 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://zlatnik.petr.sweb.cz/scs/atmega32.htm>
- [18] EZReball. *PCB unlimited* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.pcbunlimited.com/ezreball-p-427.html>
- [19] *Eagle Online* [online]. 12.12.2011 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.eagle.cz/>

6 Přílohy

Zdrojový kód programu:

```
*****  
*      PT-100 a řízení výkonu a práce s menu   v 1.0 (26.3.2013)   *  
*****  
  
'JY board  
' diody port B  
' D8 PortB.0  
' D7 PortB.1  
' D6 PortB.2  
' D5 PortB.3  
' D4 PortB.4  
' D3 PortB.5  
' D2 PortB.6  
' D1 PortB.7  
  
' Tlačítka:  
' S1 PortD.4  
' S2 PortD.5  
' S3 PortD.6  
' S4 PortD.7  
  
$sim  
$regfile = "m32def.dat"           ' ATmega32  
$crystal = 16000000              ' 16 MHz - crystal oscillator value  
  
Dim Smer As Bit  
Dim Q As Byte  
Dim Skrz_nulu As Bit  
Dim Pocitadlo As Long  
Dim Teplota As Integer
```



```

Dim Pom As Single
Dim Puls_on(101) As Byte
Dim Index As Byte
Dim Index_a As Byte
Dim Celkem As Byte

Dim W As Word
Dim Pocet_pulvln As Integer
Dim Pocet_pruchodu_max As Integer
Dim Pocet_pruchodu As Integer

Dim A(10) As Integer
Dim B As Integer

Dim Hranice_u As Single
Dim Hranice_d As Single

Dim Hranice As Integer
Dim Hyst As Integer

Dim Teplota_prum As Single

'Typ LCD
'Konfigurace pinů LCD
Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Rs = Portc.5 , E = Portc.4 , Db4 = Portc.0 , _
    Db5 = Portc.1 , Db6 = Portc.2 , Db7 = Portc.3

' *****
'*    AD převodník    *
' *****

Config Adc = Single , Prescaler = Auto

Config Porta = Output

'0 = in, 1 = out
Config Portb = &B01111111

```

Config Pind.6 = Input

Set Portd.6

Config Pind.2 = Input

*** Konfigurace přerušení INT0, reaguj na sestupnou hranu (tlacitko) -
PIND.2

"Rising

"Falling

Config Int0 = Falling 'Change '

Disable Interrupts 'zakaž všechna přerušení

Enable Int0 'povol přerušení INT0

'obsluha přerušení od INT0 - tlacitko ENCODERu

On Int0 Pruchod_nulou

Enable Interrupts

Puls_on(1) = 0

Puls_on(2) = 1

Puls_on(3) = 1

Puls_on(4) = 1

Puls_on(5) = 1

Puls_on(6) = 1

Puls_on(7) = 3

Puls_on(8) = 1

Puls_on(9) = 2

Puls_on(10) = 3

Puls_on(11) = 1

Puls_on(12) = 1

Puls_on(13) = 3

Puls_on(14) = 3

Puls_on(15) = 7

Puls_on(16) = 3

Puls_on(17) = 4

Puls_on(18) = 8
Puls_on(19) = 9
Puls_on(20) = 9
Puls_on(21) = 1
Puls_on(22) = 9
Puls_on(23) = 9
Puls_on(24) = 9
Puls_on(25) = 6
Puls_on(26) = 1
Puls_on(27) = 13
Puls_on(28) = 7
Puls_on(29) = 7
Puls_on(30) = 9
Puls_on(31) = 3
Puls_on(32) = 13
Puls_on(33) = 8
Puls_on(34) = 3
Puls_on(35) = 17
Puls_on(36) = 7
Puls_on(37) = 9
Puls_on(38) = 7
Puls_on(39) = 19
Puls_on(40) = 14
Puls_on(41) = 2
Puls_on(42) = 23
Puls_on(43) = 21
Puls_on(44) = 3
Puls_on(45) = 11
Puls_on(46) = 9
Puls_on(47) = 23
Puls_on(48) = 23

Puls_on(49) = 12
Puls_on(50) = 24
Puls_on(51) = 1
Puls_on(52) = 25
Puls_on(53) = 13
Puls_on(54) = 26
Puls_on(55) = 27
Puls_on(56) = 11
Puls_on(57) = 14
Puls_on(58) = 4
Puls_on(59) = 29
Puls_on(60) = 33
Puls_on(61) = 3
Puls_on(62) = 22
Puls_on(63) = 31
Puls_on(64) = 12
Puls_on(65) = 16
Puls_on(66) = 13
Puls_on(67) = 33
Puls_on(68) = 6
Puls_on(69) = 17
Puls_on(70) = 29
Puls_on(71) = 7
Puls_on(72) = 22
Puls_on(73) = 18
Puls_on(74) = 19
Puls_on(75) = 37
Puls_on(76) = 3
Puls_on(77) = 19
Puls_on(78) = 30
Puls_on(79) = 32

Puls_on(80) = 34
Puls_on(81) = 4
Puls_on(82) = 38
Puls_on(83) = 41
Puls_on(84) = 39
Puls_on(85) = 21
Puls_on(86) = 17
Puls_on(87) = 43
Puls_on(88) = 20
Puls_on(89) = 22
Puls_on(90) = 8
Puls_on(91) = 9
Puls_on(92) = 30
Puls_on(93) = 23
Puls_on(94) = 13
Puls_on(95) = 47
Puls_on(96) = 19
Puls_on(97) = 24
Puls_on(98) = 32
Puls_on(99) = 49
Puls_on(100) = 99
Puls_on(101) = 100

Smer = 1

' Proměnná Pocet_pruchodu_max určuje krok regulace

' při 100 je to po jednom procentu

Pocet_pruchodu_max = 100

Pocet_pulvln = 0

Skrz_nulu = 0

'Index = 1 100 % výkonu

'Index = 101 0 % výkonu

```

Index = 50
Teplota_prum = 0

Hranice = 290
Hyst = 10
Hranice_u = Hranice + Hyst
Hranice_d = Hranice - Hyst

Cls
Lcd " Mereni teploty"
Lowerline
Lcd "v.1.0 26.3.2013"
Wait 1

Do
  B = B + 1

  W = Getrc(pinb , 7)
  Pom = W * 0.8467
  Teplota = Pom - 443.35
  If B < 10 Then
    Teplota_prum = Teplota_prum + Teplota
  Else
    B = 0
    Teplota_prum = Teplota_prum / 10
  Cls
  Lcd Str(teplota_prum)
  Lowerline
  Lcd Str(index)

  If Teplota_prum > Hranice_u Then
    Incr Index
    If Index > 101 Then Index = 101
  End If

```

```

    If Teplota_prum < Hranice_d Then
        Decr Index
        If Index < 1 Then Index = 1
    End If

    Teplota_prum = 0

End If

Wait 1

Enable Interrupts

Loop
End

Pruchod_nulou:

Disable Interrupts
Waitus 2500
Index_a = 102 - Index
Celkem = Puls_on(index_a) + Puls_on(index)
If Pocet_pulvln >= Celkem Then Pocet_pulvln = 0

Pocet_pulvln = Pocet_pulvln + 1

'0 zapne tyristor
'1 vypne tyristor
If Pocet_pulvln =< Puls_on(index) Then
    Portb.6 = 1
Else
    Portb.6 = 0
End If

'If Pocet_pulvln = Puls_on(index_a) Then Portb.6 = 0

Enable Interrupts
Return

```