

Elektronická proudová pojistka

Vyučující: Ing. Pavel Hanák, Ph.D., hanakp@feec.vutbr.cz, kancelář SD5.65

Zadání:

1. Z dodaných podkladů překreslete schéma a navrhnete desku plošných spojů.
2. Hotový KiCad projekt vezměte s sebou k hodnocení ve stanoveném termínu. Odevzdávat jej (uploadovat do systému Elearning) budete až po udělení bodů. Ze závažných důvodů je možné projekt odevzdat i e-mailem. Před odesláním však z projektu vymažte soubor *fp-info-cache* a adresář záloh *backups*. Zbytek zkomprimujte do ZIP archívu.

Pokyny k vypracování:

1. Po dohodě s vyučujícím je možné odevzdat i jiný projekt – například desku, kterou jste vytvořili v rámci bakalářské práce apod. Deska však musí mít podobnou (nebo vyšší) složitost jako tento zadaný projekt. Ke konzultaci náhradního projektu se dostavte na kontrolní cvičení. Pokud bude v pořádku, můžete již na kontrolním cvičení dostat body a projekt budete mít splněn.
2. Desku navrhnete jednovrstvou nebo dvouvrstvou. Zadání záměrně používá staré součástky, takže bohatě stačí 3. nebo 4. konstrukční třída.
3. Součástky můžete použít klasické THT, SMD nebo jejich libovolné kombinace. Níže naleznete tabulku doporučených značek a pouzder z knihoven KiCadu. U některých součástek mohou být k dispozici pouze THT nebo SMD varianty. **Pro začátečníky je snazší používat THT součástky.**
4. Snažte se přípojná místa (konektory), indikátory (LED, displeje) a ovládací prvky (přepínače, potenciometry) na desce rozmísťovat racionálně, nikoliv „tam, kam vám zrovna vyjdou.“
5. Při kreslení schématu i návrhu desky dodržujte pravidla, popsaná v učebních materiálech. **Při hodnocení je kladen důraz na funkčnost schématu i desky.** Při odevzdání však budou kontrolovány následující aspekty:
 - Správnost zapojení schématu, včetně rozvodu zemí a napájení (Highlight Nets).
 - Výsledek Electrical Rule Checkeru.
 - Správné přiřazení pouzder (footprint) ke schématickým značkám.
 - Bezchybná synchronizace schématu a desky.
 - Nastavení návrhových pravidel, efektivita využití měděných vrstev a plochy desky.
 - Umístění důležitých prvků a použitá vrstva THT součástek.
 - Výsledek Design Rule Checkeru.

Doplňující pokyny k proudové pojistce:

- Původní schéma je nakreslené v jiném programu, takže značky mohou mít odlišné rozložení vývodů (pinů), než v KiCadu. Při zapojování se proto řiďte jejich čísly nebo elektrickou funkcí.
- Svorky zátěže J1+J2 a napájení J3+J4 slučte do dvoupinových konektorů dle tabulky.
- Pro rozvod napájení a zemí použijte značky z knihovny *power*.
- Nezapomeňte zapojit napájecí vstupy všech integrovaných obvodů.
- Blokovací kondenzátory 100n by měly ležet v blízkosti těchto napájecích vstupů.

Některé schématické značky jsou v knihovnách jako konkrétní typy (part number), takže se jim automaticky přidělí i THT či SMD pouzdra. Takové součástky proto mají v tabulce jen béžové řádky. Většinou však pouzdra musíte přiřadit sami, vhodné varianty jsou v zelených řádcích. Některé součástky existují jen v THT či SMD variantě.

Pro připomenutí: značky a pouzdra nemusíte v knihovnách hledat ručně. Místo toho můžete zkopírovat text z tabulky a použít ho pro vyhledávání, případně ho přímo vložit do pole Footprint.

R1	Značka THT+SMD	Device:R_Small
	Pouzdro THT	Resistor_THT:R_Axial_DIN0918_L18.0mm_D9.0mm_P22.86mm_Horizontal
	Pouzdro SMD	Resistor_SMD:R_4020_10251Metric
Ostatní rezistory	Značka THT+SMD	Device:R_Small
	Pouzdro THT	Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P7.62mm_Horizontal
	Pouzdro SMD	Resistor_SMD:R_1206_3216Metric
C11, C12, C13	Značka THT+SMD	Device:C_Polarized_Small
	Pouzdro THT	Capacitor_THT:CP_Radial_D8.0mm_P3.50mm
	Pouzdro SMD	Capacitor_SMD:CP_Elec_8x10
Ostatní kondenzátory	Značka THT+SMD	Device:C_Small
	Pouzdro THT	Capacitor_THT:C_Disc_D5.0mm_W2.5mm_P5.00mm
	Pouzdro SMD	Capacitor_SMD:C_1206_3216Metric
IO1	Značka THT+SMD	Amplifier_Operational:OP07
	Pouzdro THT	Package_DIP:DIP-8_W7.62mm
	Pouzdro SMD	Package_SO:SOIC-8_3.9x4.9mm_P1.27mm
IO2	Značka THT	Regulator_Linear:L78L05_TO92
	Značka SMD	Regulator_Linear:L78L05_SOT89
IO3	Značka THT+SMD	Comparator:LM311
	Pouzdro THT	Package_DIP:DIP-8_W7.62mm
	Pouzdro SMD	Package_SO:SOIC-8_3.9x4.9mm_P1.27mm
IO4	Značka THT	Timer:NE555P
	Značka SMD	Timer:NE555D
D1	Značka THT+SMD	Device:D_Zener_Small
	Pouzdro THT	Diode_THT:D_DO-41_SOD81_P7.62mm_Horizontal
	Pouzdro SMD	Diode_SMD:D_MiniMELF
D2, D3	Značka THT	Diode:1N4148
	Značka SMD	Diode:1N4148W
D4, D5	Značka THT+SMD	Device:LED_Small
	Pouzdro THT	LED_THT:LED_D5.0mm
	Pouzdro SMD	LED_SMD:LED_1206_3216Metric
T1	Značka THT	Device:Q_NMOS_GDS
	Pouzdro THT	Package_TO_SOT_THT:TO-220-3_Vertical
T2 až T5	Značka THT	Transistor_FET:BS170
	Značka SMD	Transistor_FET:BSS123
S1	Značka THT+SMD	Switch:SW_Push
	Pouzdro THT	Button_Switch_THT:SW_PUSH_6mm
	Pouzdro SMD	Button_Switch_SMD:SW_Push_1P1T_NO_6x6mm_H9.5mm
KK1	Značka THT+SMD	Switch:SW_DIP_x08
	Pouzdro THT	Button_Switch_THT:SW_DIP_SPSTx08_Slide_9.78x22.5mm_W7.62mm_P2.54mm
	Pouzdro SMD	Button_Switch_SMD:SW_DIP_SPSTx08_Slide_6.7x21.88mm_W8.61mm_P2.54mm_LowProfile
J1+J2	Značka THT	Connector:Screw_Terminal_01x02
J3+J4	Pouzdro THT	TerminalBlock_Phoenix:TerminalBlock_Phoenix_MKDS-1,5-2-5.08_1x02_P5.08mm_Horizontal

Elektronická proudová pojistka

Pokud napájíme nějaké zařízení z výkonového zdroje ss napětí s neomezeným výstupním proudem (např. z olověného akumulátoru pro automobily), hrozí při nějakém nešikovném zásahu do zařízení jeho úplné zničení nadměrným proudem tečkou do něj z napájecího zdroje.

Průtoku nadměrného proudu můžeme předejít tavnou pojistkou; ta je však v některých případech pomalá a po každém jejím přepálení je nutné ji vyměnit.

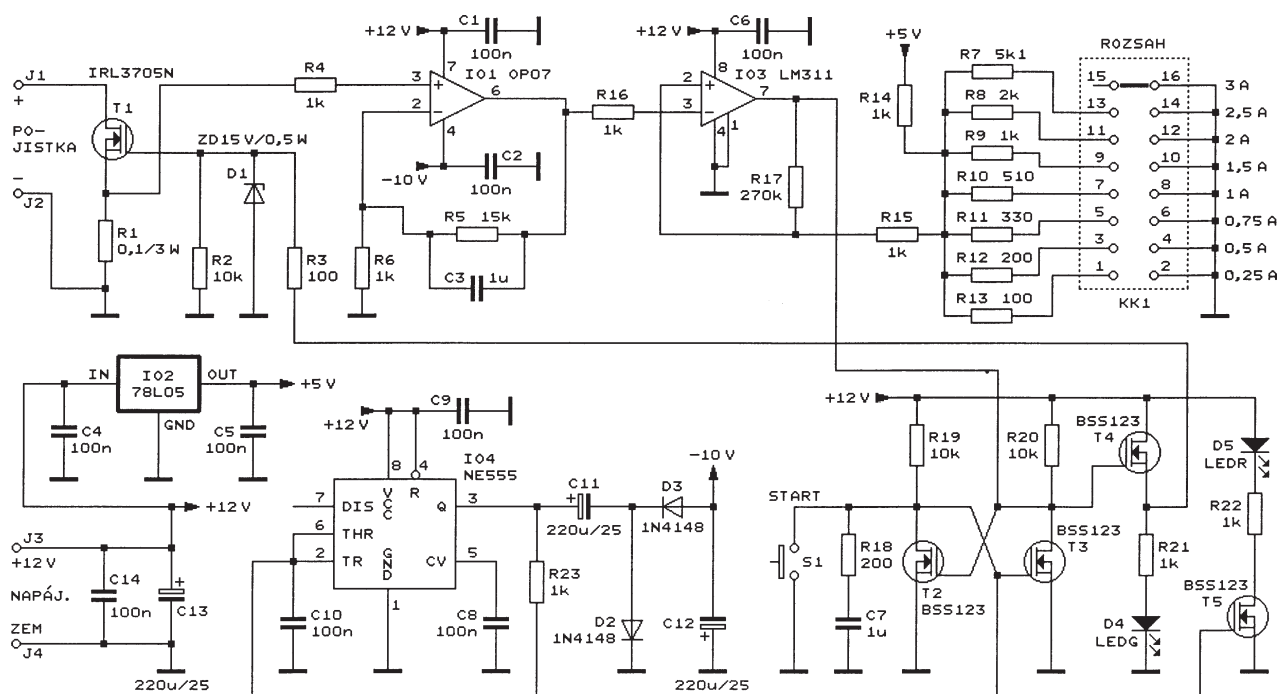
Výhodnější je nadměrný napájecí proud přerušovat elektronickou pojistkou, která je popsána v tomto příspěvku. Jedná se o pojistku, která je

dodávána jako stavebnice.

Schéma zapojení elektronické pojistky, která se mezi svorkami J1 a J2 chová jako běžná tavná pojistka, je na obr. 6. Na rozdíl od tavné pojistky je však elektronická pojistka vhodná jen pro jistění ss proudu, a ten musí protékat od J1 k J2.

Elektronická pojistka se tedy musí zapojit mezi jištěný zdroj ss napájecího napětí a jištěný spotřebič např. tak, že kladný pól zdroje se spojí s kladnou napájecí svorkou spotřebiče, záporná napájecí svorka spotřebiče spojí se svorkou J1 pojistiky a svorka J2 pojistiky se spojí se záporným pólem zdroje.

Jištění zdroj může mít napětí maximálně 50 V, jeho minimální napětí



Obr. 6. Schéma zapojení elektronické proudové pojistky

není v původním prameni uvedeno; pravděpodobně se jedná o jednotky voltů.

Elektronická pojistka má bistabilní charakter. Do vodivého stavu se uvádí zapnutím vlastního napájecího napětí nebo stisknutím tlačítka S1 (START).

Pokud je proud tekoucí mezi svorkami J1 do J2 menší než nastavený vypínací proud, je pojistka trvale vodivá. Když proud tekoucí mezi J1 a J2 překročí nastavený vypínací proud, pojistka se zpožděním asi 35 ms přejde do nevodivého stavu. V něm zůstává až do stisknutí tlačítka START, kterým se opět uvede do vodivého stavu.

Pojistka má zpoždění asi 35 ms kvůli tomu, aby nevypínala při krátkých impulsch nadproudu způsobovaných např. nabíjením filtračních kondenzátorů v jištěném spotřebiči.

Vodivý stav pojistky je indikován svitem zelené LED D4, nevodivý stav svitem červené LED D5.

Aby měla elektronická pojistka co nejširší využití, lze u ní volit tyto vypínací proudy: 0,25 A, 0,5 A, 0,75 A, 1,0 A, 1,5 A, 2,0 A, 2,5 A a 3,0 A. Tyto hodnoty se nastavují odpovídající polohou propojky (jumperu) na kontaktních kolíčkách KK1.

Proud tekoucí pojistkou se zapíná a vypíná spínacím tranzistorem T1 typu IRL3705N (N-MOSFET). Velikost proudu tekoucího pojistkou se snímá bočnickem R1 zapojeným v emitoru T1.

T1 se ovládá přes emitorový sledovač s T4 bistabilním klopným obvodem (BKO) s T2 a T3. Ovládací napětí se z emitoru T4 vede na hradlo T1 přes R3, který zabraňuje vlastním kmitům T1. Zenerovou diodou je hradlo T1 chráněno před případným přepětím.

Stavem BKO je určován stav pojistky. Když je BKO ve stavu „vede“, ve kterém je T2 sepnutý a T3 vypnutý, je na kolektoru T3 a na emitoru T4 vysoká úroveň H. Díky tomu je T1 sepnutý, takže pojistka vede. Svítí zelená LED D4, nesvítí červená LED D5. Do stavu „vede“ se BKO uvádí stisknutím tlačítka S1 (START) nebo kondenzátorem C7 při zapnutí vlastního napájecího napětí. V tomto stavu může být BKO jen tehdy, když je výstup komparátoru IO3 ve stavu vysoké impedance (tj. když je tranzistor s otevřeným kolektorem na výstupu IO3 vypnutý).

Do stavu „nevede“ přejde BKO po přechodu výstupu komparátoru IO3 do nízké úrovně L (tj. po sepnutí tranzistoru s otevřeným kolektorem na výstupu IO3). Ve stavu „nevede“ je T2 vypnutý a T3 sepnutý. Na kolektoru T3 a na emitoru T4 jsou úrovně L, takže T1 je vypnutý a pojistka nevede. Na červené LED D4 je úroveň L, a proto nesvítí. Úrovní H z kolektoru

T2 je otevřen T5, takže červená LED D5 zapojená v kolektoru T5 svítí.

Ve stavu „nevede“ zůstává BKO i po návratu výstupu komparátoru IO3 do stavu vysoké impedance. Zpět do stavu „vede“ se BKO musí uvést stisknutím tlačítka S1 (START).

Ss napětí z bočnicku R1 představující informaci o proudu protékajícím pojistkou je 16x zesilováno operačním zesilovačem (OZ) IO1 typu OP07. Toto zesílení je dáno zpětnovazebním děličem s R5 a R6.

Aby se dosáhlo vypnutí pojistky s požadovaným zpožděním přibližně 35 ms, je kondenzátorem C3 omezen horní mezní kmitočet zesilovače na asi 10 Hz.

Napětí z výstupu OZ IO1 je komparátorem IO3 typu LM311 porovnáváno s volitelným referenčním napětím z děliče s R7 až R14. Podle výsledku tohoto porovnávání je pak výstupem komparátoru měněn stav BKO a tím i stav pojistky. Aby komparátor nezakmitával, má rezistorem R17 vytvořenou malou hysterezi.

Velikostí referenčního napětí U_{ref} je určen hlavní parametr pojistky, kterým je vypínací proud označený jako I_V . Odvodíme si vztah mezi U_{ref} a I_V .

Proudem I protékajícím pojistkou ze svorky J1 do svorky J2 je na bočnicku R1 vytvářen úbytek napětí U_{R1} , který má podle Ohmova zákona velikost:

$$U_{R1} = I \cdot R1. \quad [V; A, \Omega] \quad (1)$$

Napětí U_{R1} je zesilovačem s OZ IO1 zesilováno 16x, takže na výstupu OZ je napětí U_{OZ} o velikosti:

$$U_{OZ} = I \cdot R1 \cdot 16. \quad [V; A, \Omega] \quad (2)$$

Komparátorem IO3 je U_{OZ} porovnáváno s referenčním napětím U_{ref} . Pokud je U_{OZ} nižší než U_{ref} , je výstup IO3 ve stavu vysoké impedance a pojistka je ve vodivém stavu. Pojistka vypne (přejde do nevodivého stavu) tehdy, když U_{OZ} dosáhne (resp. nepatrně přesáhne) velikost U_{ref} a výstup IO3 následkem toho přejde do úrovně L.

Protože pojistka má vypnout, když I dosáhne velikosti I_V , musí platit, že:

$$\text{při } I = I_V \text{ je } U_{OZ} = U_{ref}. \quad (3)$$

Po dosažení (3) do (2) lze napsat:

$$U_{ref} = I_V \cdot R1 \cdot 16. \quad [V; A, \Omega] \quad (4)$$

Ze vztahu (4) můžeme přímo určit, jaké referenční napětí U_{ref} je potřebné pro dosažení zvoleného vypínacího proudu I_V , popř. jaký I_V odpovídá danému U_{ref} .

Je nutné upozornit, že velikost I_V vyplývající ze vztahu (4) je jen přibližná, skutečná velikost I_V závisí na hysterezi komparátoru a na přesnosti hodnot použitých součástek.

Referenční napětí U_{ref} je odvozoováno od stabilizovaného napětí +5 V

přiváděného na R14 a jeho velikost se volí změnou konfigurace děliče s R7 až R14 propojkou na kontaktních kolíčkách KK1. Na schématu zapojení na obr. 6 jsou u jednotlivých poloh propojky uvedené odpovídající velikosti vypínacího proudu I_V .

Elektronická pojistka je napájena z vlastního napájecího zdroje stabilizovaným ss napětím 12 V přiváděným na svorky J3 a J4. Vlastní zdroj musí být plovoucí vůči jištěnému zdroji i spotřebiči. Napájecí proud pojistky je přibližně 30 mA.

Napětí +12 V ze svorky J3 se přímo přivádí na vnitřní napájecí sběrnici, ze které jsou napájeny všechny obvody pojistky.

Stabilizátorem IO2 typu 78L05 se získává stabilizované napětí +5 V, ze kterého jsou odvozoována referenční napětí pro komparátor IO3.

Astabilním multivibrátorem s časovačem NE555 (IO4) a následujícím invertujícím zdvojujícím usměrňovačem s D2 a D3 se získává ss záporné napětí asi -10 V pro napájení OZ IO1.

Aby byla zajištěna stabilní funkce pojistky, je sběrnice +12 V blokována kondenzátory C13 a C14 a napájecí vývody všech IO jsou co nejbližší u pouzder blokovány keramickými kondenzátory C1, C2, C4 až C6 a C9.

Elektronická pojistka obsahuje běžné součástky. C3, C7 a C10 by měly být fóliové, ostatní kondenzátory jsou keramické nebo elektrolytické hliníkové. Rezistory R1, R5 až R15 a R17, kterými jsou určovány velikosti vypínacího proudu, by měly být třídy přesnosti 1 %.