

# Laboratorní zdroj KAZ 2 0 až 40 V/0 až 2 A

Josef Mach

**Kvalitní stabilizovaný zdroj s možností regulace výstupního napětí a proudu patří k základní výbavě „bastlířských koutků“ i profesionálních laboratoří. Z vlastní zkušenosti vím (a mnozí mi jistě dají za pravdu), že častým původcem nestabilní funkce obvodů a „náhlých odchodů“ součástek je nevhodný napáječ.**

Návodů ke stavbě zdrojů bylo již uveřejněno mnoho. Regulace napětí pracuje většinou bez problémů, horší je to s indikací proudového omezení a regulací výstupního proudu. Před započítím vlastní vývoje jsem odzkoušel zdroje popsané v lit. [1 až 3]. Nejlepší stabilitu výstupního napětí a proudu včetně spolehlivé indikace proudového omezení měl zdroj KAZ, uvedený v lit. [1].

Jeho regulační obvod jsem upravil pro rozsah výstupního napětí 0 až 40 V a proudu 0 až 2 A. Zdroj je dále vybaven obvodem, zmenšujícím výkonovou ztrátu koncového tranzistoru, digitálním panelovým měřidlem s převodníkem ICL7107 a „inteligentním“ elektronickým přepínačem měřených veličin.

## Základní technické údaje

**Napájení:** 230 V, max. 100 VA.  
**Výstupní napětí:** 0 až 40 V.  
**Výstupní proud:** 0 až 2 A.  
**Zvlnění a šum:** <5 mV při  $U_2 = 30\text{ V}$  a  $I_2 = 2\text{ A}$ .  
**Indikace proudového omezení:** LED.  
**Měření  $U_2$ ,  $I_2$ :** Digitální měřidlo s ICL7107.  
**Přesnost měření:** typ. 1 %.

## Popis obvodů laboratorního zdroje

Blokové schéma zdroje je na obr. 1. Střídavé napětí ze sekundárního vinutí I. transformátoru TR1 je přivedeno na vstup FILTRU, z jehož výstupu vedeme usměrněné a vyhlazené napětí  $U_1$  ke kolektoru výkonového tranzistoru T1 na desce REGULACE. Regulační obvod je řešen jako „plovoucí“, díky tomu lze výstupní napětí  $U_2$  regulovat již od nulové úrovně a jeho maximum není omezeno napájecím napětím řídicího obvodu IC1. Nevýhodou tohoto řešení je potřeba dalšího sekundárního vinutí (II.), které zajišťuje napájení regulačních obvodů.

K napájení elektronického přepínače vstupního filtru, měřicího modulu GATE a digitálního měřidla slouží vinutí III. transformátoru TR1. Pro lepší představu jsou všechna vinutí transformátoru znázorněna na obr. 2.

Z obrázku vyplývá, že transformátor představuje nákladnou a těžko dostupnou součástku, jedinou v celém zdroji. Sám jsem použil dva transformátory s paralelně spojenými primárními vinutími. U jednoho z nich jsem využil sekundární vinutí 2x 20 V s vyvedeným středem – jedná se o výpro-

dejní kus, původně určený k napájení výkonového zesilovače, snad AZS 222. Ve výprodeji můžeme najít transformátor s označením 9WN 668 89 s vinutími 18 V/1,8 A a 2x 10,6 V/2,7 A, který lze také s úspěchem použít. Další možností je koupě toroidního transformátoru, ale pozor: číslo u něj přiložené není letopočet, ale cena!

V krajním případě můžeme použít i transformátor s „jednoduchým“ sekundárním vinutím 30 V/2 A za cenu menšího napětí na výstupu zdroje a větší výkonové ztráty koncového tranzistoru, viz „Možné úpravy zdroje“.

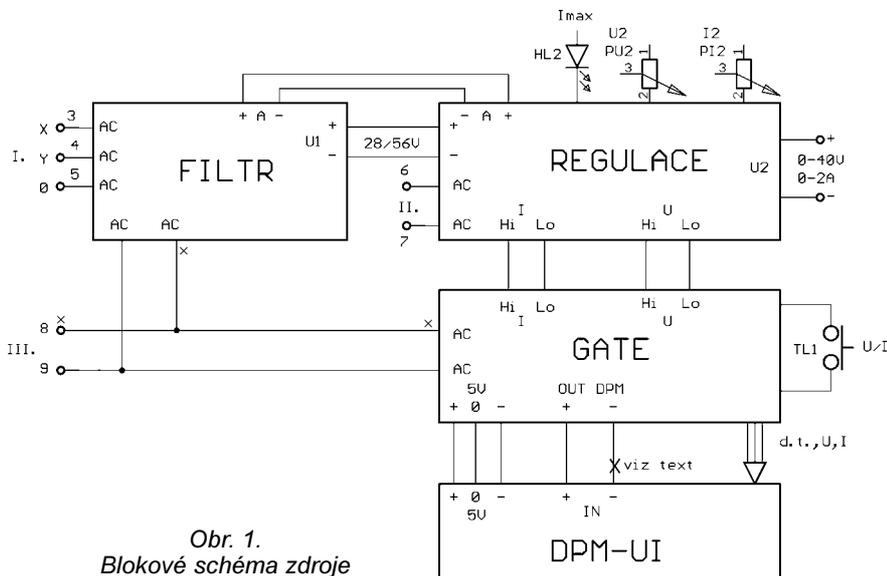
Druhý transformátor, zajišťující pomocná vinutí II. a III., jsem získal demontáží ze starého černobílého televizoru a odvinutím několika závitů ze sekundárních vinutí (původně 12 a 25 V); můžeme jej však nahradit běžným typem 230 V/2x 12 V/5 VA, i když vinutí III. bude digitálním měřidlem zatíženo „na doraz“.

K pohodlnému nastavení výstupního napětí  $U_2$  slouží dva lineární potenciometry - PU2A, který umožňuje „hrubé“ nastavení v rozsahu 0 až 36 V a potenciometr PU2B, kterým lze výstupní napětí „jemně doladit“ v rozmezí 0 až 4 V (popř. 0 až 2 V). Vyšší komfort obsluhy dosáhneme s desetitáčkovým potenciometrem - mne však odradila jeho cena.

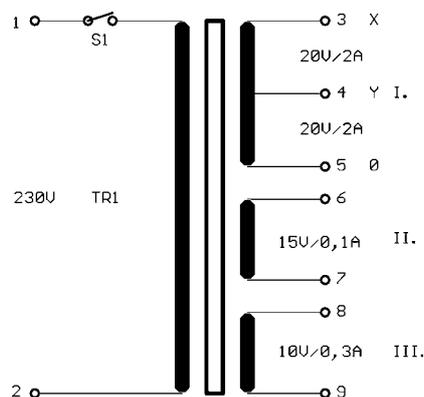
Výstupní proud regulujeme logaritmickým potenciometrem PI2 v mezích 0 až 2 A. Omezení výstupního proudu indikuje LED HL2.

Výstupní napětí a proud měříme jediným panelovým měřidlem DPM-UI. Rezistor R5 na desce REGULACE, na kterém vzniká úbytek napětí úměrný výstupnímu proudu (viz obr. 4), je vložen v kladné větvi zdroje – měřidlo proudu bychom proto museli napájet z dalšího (v pořadí už čtvrtého) vinutí transformátoru TR1!

Z tohoto důvodu je měřidlo doplněno úrovňovým převodníkem – modulem GATE, zajišťujícím zvojnásobení vzorků výstupního napětí a proudu (resp. úbytku napětí na snímacím rezistoru R5), odebraných z měřicích



Obr. 1.  
Blokové schéma zdroje



Obr. 2. Použitý transformátor a parametry vinutí

výstupů U a I modulu REGULACE. Modul GATE dále vytváří napájecí napětí pro panelové měřidlo a umožňuje snadnou volbu měřené veličiny tlačítkem TL. Po každém zapnutí zdroje zobrazí displej měřidla výstupní napětí. Děje se tak i v případě, že jsme před vypnutím měřili proud. K zavedení této funkce mě inspirovala zkušenost se zdrojem KAZ podle [1], kde k volbě měřené veličiny sloužil mechanický přepínač. Zapnul jsem zdroj a nevšiml jsem si, že měřím výstupní proud. Údaj na měřidle nevně přeblikával mezi hodnotami 000-001, což mě přimělo ke zvětšování napětí zdroje. Svůj omyl jsem si uvědomil až poté, co se rozsvítila kontrolka proudového omezení a připojený obvod se proměnil v dýmovnici. Jen se smějte, vám se díky popsanému modulu GATE nic takového nestane!

Panelové měřidlo využívá integrovaný obvod ICL7107 v obvyklém zapojení. Měřenou veličinu zobrazuje třímístný displej (obr. 6), čtvrtý displej slouží k indikaci parametru, např. u 12.0 nebo i 0.56.

### Funkce jednotlivých modulů

Relé RE1, osazené v modulu FILTR (obr. 3), připojí na vstup usměrňovacího můstku M1 buď polovinu sekundárního vinutí I. síťového transformátoru, nebo celé vinutí podle velikosti napětí na vstupu A. Obvod ovládající relé spolupracuje s regulační deskou a významně přispívá k omezení výkonové ztráty regulačního tranzistoru, jak vyplývá z dalšího popisu. Rezistor R4 je třeba zvolit podle napětí na kondenzátoru C6 a proudu cívky relé RE1. Můstek M1 je doplněn kondenzátory C1 až

C4, které potlačují rušení vznikající v okamžiku spínání či vypínání jednotlivých diod. Tímto způsobem je rovněž ošetřen můstek M na desce REGULACE i usměrňovací diody D1 a D2 v modulu GATE. Napětí usměrňené můstkem M1 je vyhlazeno kondenzátorem C5 a přivedeno na vstup modulu REGULACE (obr. 4).

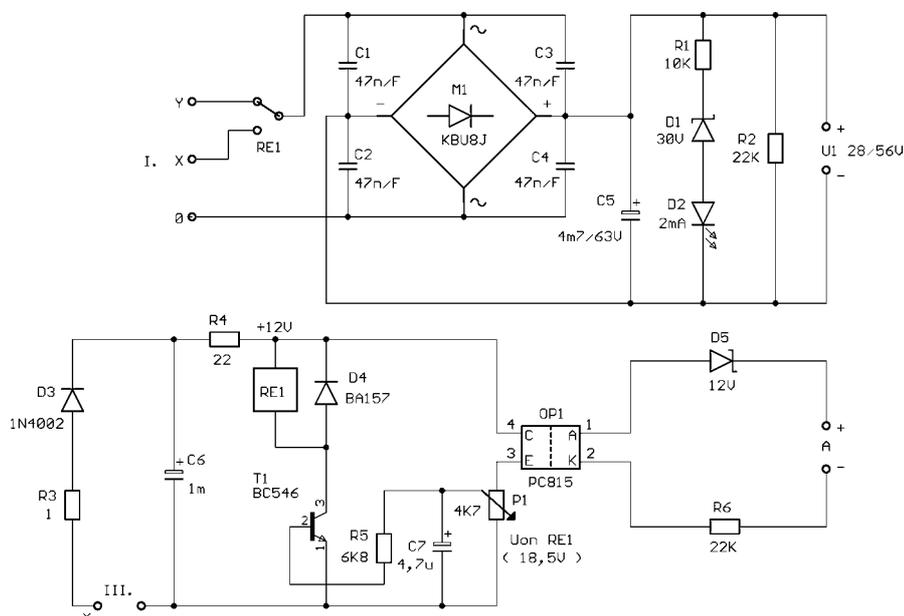
Regulační obvody jsem s drobnými úpravami převzal z [1]. Abych dosáhl výstupního proudu 2 A bez větších úprav elektronické pojistky zdroje (IC2, T2), zmenšil jsem odpor snímacího rezistoru R5 na 0,5 Ω (původně 1,1 Ω).

Na tomto rezistoru vzniká úbytek napětí úměrný výstupnímu proudu zdroje, který využívá obvod proudového omezení a modul GATE k měření odebraného proudu. Snímací rezistor R5 jsem zhotovil z odporového drátu navinutého na tělísku šestiwattového rezistoru. Můžeme použít i běžně dostupný drátový rezistor 0,56 Ω/5 W, ten je však méně odolný vůči proudovým nárazům při zkratu zdroje a snadno se přeruší. Kromě toho mívají běžné drátové rezistory dosti velký teplotní součinitel odporu, který může způsobit velkou chybu při měření proudu. Při výstupním proudu 2 A vzniká na R5 úbytek napětí 1 V, který vedeme z děliče R7, R8 na vstup modulu GATE.

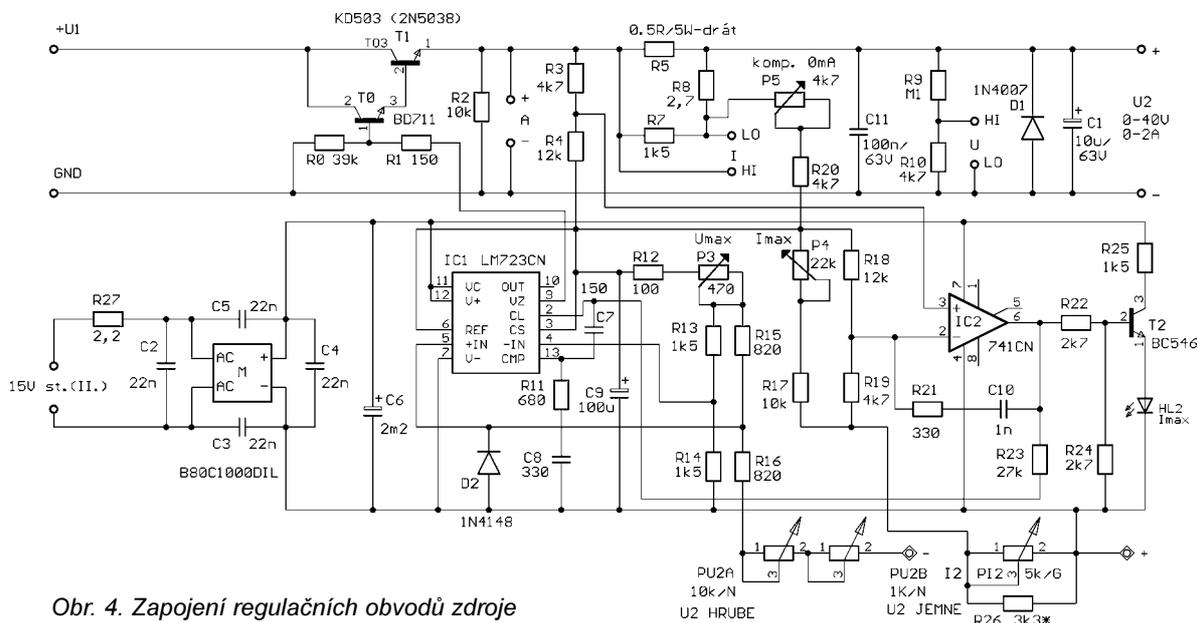
Trimr P5 slouží ke kompenzaci proudu tekoucího přes potenciometry PU2A a PU2B, aby nebyl tento proud zobrazován na displeji panelového měřidla.

Průběh regulace výstupního proudu je nejpříznivější s logaritmickým potenciometrem PI2 v kombinaci se stabilním paralelním rezistorem R26.

Změnou odporu R26 můžeme (při PI2 na maximum) měnit výstupní proud elektronické pojistky v širokých mezích, v menší míře lze totéž provést trimrem P4. Minimální výstupní proud při nulovém odporu PI2 se blíží 0 mA. Chceme-li definovat jeho velikost (např. 10 mA), přerušíme na desce



Obr. 3. Zapojení filtračního obvodu s elektronickým přepínáním výstupního napětí



Obr. 4. Zapojení regulačních obvodů zdroje

regulace (obr. 10) spoj mezi R19 a P12 a do místa přerušení vložíme ze strany spojů rezistor, kterým nastavíme minimální velikost výstupního proudu.

Regulaci výstupního napětí (a také přechod zdroje do režimu proudového omezení) zajišťuje integrovaný obvod IC1 typu LM723CN (MAA723CN). K nastavení žádaného napětí na výstupu zdroje slouží lineární potenciometry PU2A (hrubě) a PU2B (jemně). Má-li PU2B odpor 1 k $\Omega$ , lze výstupní napětí „doladovat“ v mezích 0 až 4 V. Můžeme použít i potenciometr s odporem 500  $\Omega$  a výstupní napětí jemně regulovat v mezích 0 až 2 V. Maximální napětí zdroje nastavíme trimrem P3. V mém případě jsem nastavil 40 V. Jsou-li oba potenciometry nastaveny na minimum, je výstupní napětí nulové; není-li tomu tak, ošetříme potenciometry sprejem KONTOX (i malý přechodový odpor stačí k posuvu výstupního napětí od nuly) a případné „zbytkové“ napětí na výstupu (řádu jednotek až desítek mV) odstraníme připojením rezistoru vhodné velikosti paralelně k R15 či R16 ze strany spojů desky.

Vzorek výstupního napětí pro modul GATE odebíráme z výstupu děliče R9/R10.

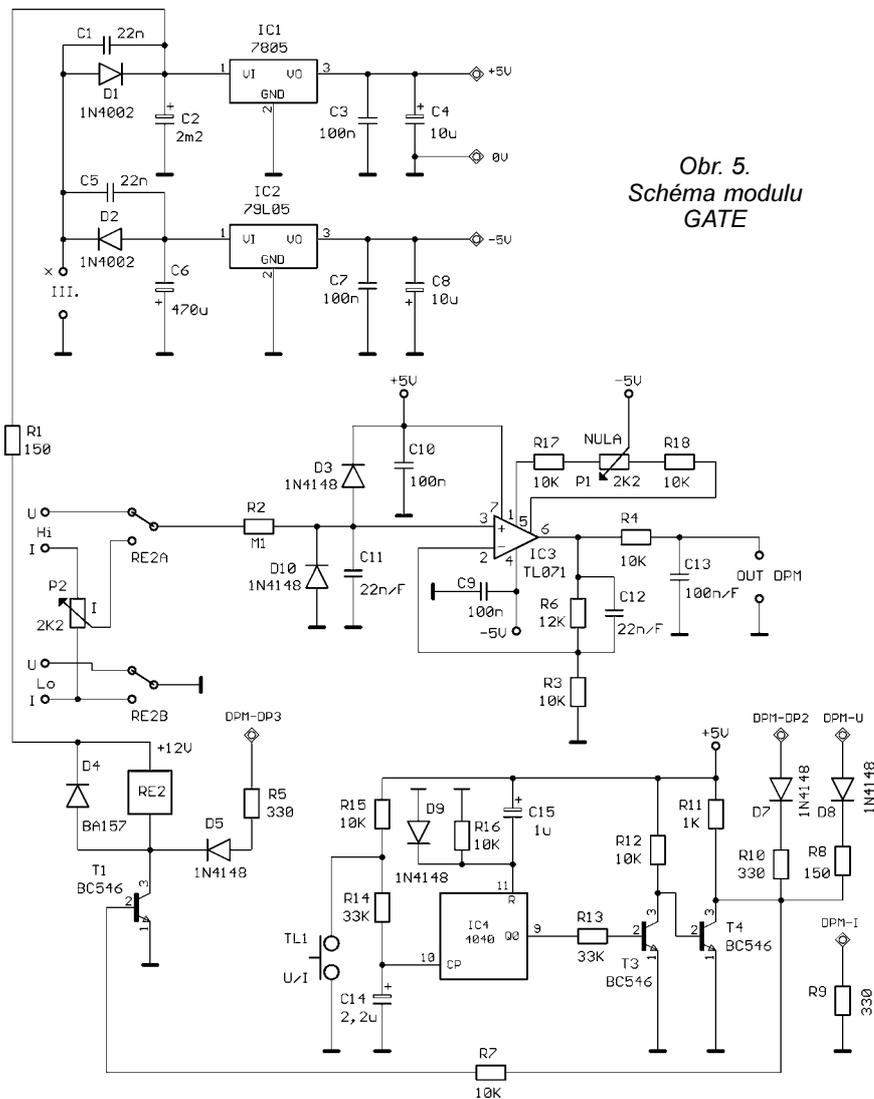
V původním zapojení zdroje byl jako regulační tranzistor použit „Darlington“ KD367. Nahradil jsem jej typem BDW83D (120 V, 15 A, 120 W). Regulace napětí i proudu pracovala dobře, ale náhodný zkrat na výstupu zdroje (při vstupním napětí asi 56 V) měl za následek průraz tranzistoru.

Aby byl zdroj skutečně zkratuuvzdorný, nahradil jsem Darlingtonovu dvojici dvěma externími tranzistory – T0 typu BD711 a T1 typu KD503 (2N5038 nebo 2N3055 v pouzdru TO3). Přídavný rezistor R0 zlepšuje stabilitu zdroje při výstupním napětí řádu desítek voltů. Tranzistor KD503 se mi zničit nepodařilo ani déletrvajícím zkratem.

Zatížení regulačního tranzistoru zmenšuje obvod, ovládací relé RE1 na desce FILTRU (obr. 3). Současně se zvětšuje odolnost zdroje. Sekundární vinutí I. transformátoru TR1 má vyvedený střed. Je-li napětí na vstupu A menší než asi 18,5 V, relé RE1 připojí vstup diodového můstku do středu vinutí I. na vývod Y. Výstupní napětí U1 je pak 28 V. Při výstupním proudu 2 A napětí U1 poklesne zhruba o 5 V a ztrátový výkon regulačního tranzistoru nepřesáhne 46 W. Pokles napětí závisí na kapacitě kondenzátoru C5 a vnitřním odporu použitého transformátoru.

Řídící napětí odebíráme na svorkách A mezi emitorem koncového tranzistoru a zemí na desce REGULACE. Zvětší-li se toto napětí nad 18,5 V, objeví se na běžci trimru P1 (obr. 3) napětí postačující k sepnutí tranzistoru T1. Sepne relé RE1 a můstek M1 je nyní připojen k celému vinutí I. (vývod X) a napětí U1 se zvětší na 56 V.

Sepnutí relé je indikováno LED D2. Největší ztráty na koncovém tranzis-



Obr. 5.  
Schéma modulu  
GATE

toru vznikají při napětí kolem 20 V. Tehdy může ztrátový výkon dosáhnout až 60 W. Zkratuje-li se při tomto napětí zdroj, zmenší se napětí na svorkách A desky REGULACE na maximálně 1 V (úbytek na R5), relé RE1 spojí můstek M1 se středem vinutí I. a ztrátový výkon regulačního tranzistoru se zmenší pod 50 W.

Bez elektronického přepínače sekundárního vinutí transformátoru by se kolektorová ztráta tranzistoru mohla zvětšit až na 100 W.

Úroveň napětí  $U_{on}$ , při které sepne relé, si můžeme zvolit podle použitého transformátoru tak, aby výstupní napětí U1 (je-li kontakt RE1 v poloze Y) bylo alespoň o 8 V větší než  $U_{on}$ . Stabilitu překlápní zvětšuje poměrně velká hysterese obvodu.

Pomocný obvod FILTRU je napájen z vinutí III. TR1 spolu s modulem GATE. Sdílení napájecího napětí je možné díky optočlenu OP1.

### Měřicí modul GATE

GATE je řídicí modul pro měření výstupního napětí a proudu zdroje. Zajišťuje napájecí napětí pro digitální voltmetr, volí měřenou veličinu a zpracovává vzorky výstupního napětí a proudu, odebrané z výstupů U (Lo, Hi) a I (Lo,

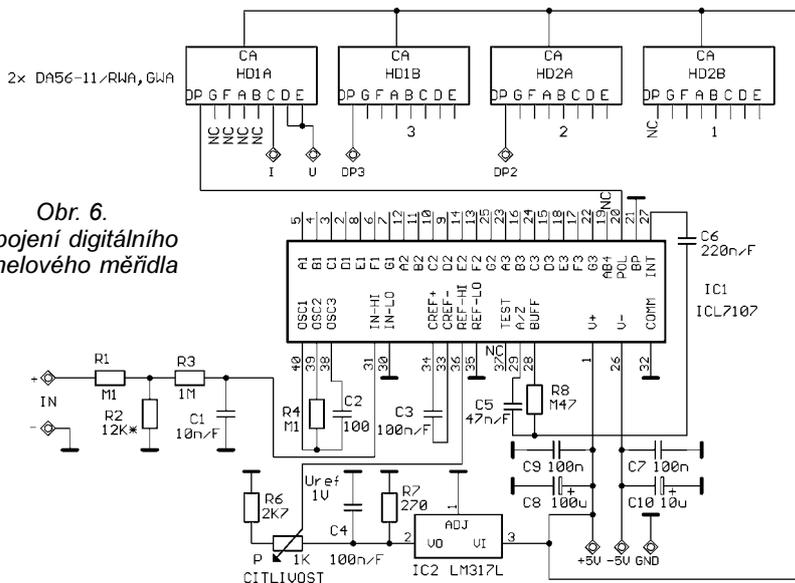
Hi) regulační desky. Schéma zapojení modulu GATE je na obr. 5.

Modul sdílí napájecí vinutí III. TR1 spolu s elektronickým přepínačem FILTRU. Při pohledu na blokové schéma (obr. 1) se napájení obou modulů jeví zbytečně komplikované – rezistor R4 FILTRU by stačilo připojit na kladný pól kondenzátoru C2 v modulu GATE, ale pak bychom nemohli oživovat moduly nezávisle na sobě. Přívody k usměrňovacím diodám v uvedených modulech označené křížkem připojíme k jednomu konci vinutí III. TR1. Jejich záměna může mít za následek pronikání rušení do společné země a nestabilitu měření.

Napájecí napětí pro modul GATE a digitální měřidlo získáme na výstupech stabilizátorů IC1 a IC2. Stabilizátor IC1 opatříme chladičem.

K volbě měřené veličiny slouží tlačítko TL1 na vstupu obvodu IC4. Tento vstup je vybaven Schmittovým klopným obvodem, umožňujícím snadné potlačení zákmitů tlačítka obvodem s R14, R15 a C14. Vždy po zapnutí je IC4 vynulován členem R16, C15 a na jeho výstupu Q0 je úroveň L.

Tranzistor T1 je uzavřen a kontakty relé RE2 zaujmají polohu, naznačenou ve schématu. Díky tomu přichází na vstup měřicího zesilovače IC3 vzo-



Obr. 6.  
Zapojení digitálního panelového měřidla

rek výstupního napětí zdroje, odebraný ze svorek U Hi a U Lo regulační desky. Napětí na výstupu zesilovače pak číselně odpovídá výstupnímu napětí zdroje.

Tranzistory T1 a T4 mimo jiné i přepínají desetinné tečky displejů měřidla a podle měřené veličiny aktivují znaky u a i před zobrazeným číslem.

Po stisku tlačítka bude výstup Q0 IC4 ve stavu H, sepne tranzistor T1 ovládající relé a na vstup zesilovače IC3 je přiveden úbytek napětí ze svorek I Hi a I Lo regulační desky, úměrný výstupnímu proudu zdroje. Displej měřidla nyní zobrazí před číselnou hodnotou znak i. Rezistor R1 je třeba zvolit podle napětí na kondenzátoru C2 a proudu cívky relé RE2.

Jak už bylo uvedeno, vždy po zapnutí zdroje se vynuluje klopný obvod IC4 a displej zobrazí nastavené napětí. Je tomu tak i v případě, že jsme před vypnutím zdroje měřili proud. Použití měřičiho zesilovače IC3 si vynutil malý odpor snímacího rezistoru R5 na desce REGULACE. Při průchodu proudu 2 A odporem 0,5 Ω vznikne úbytek napětí 1 V. Po dvojnásobném zesílení tohoto úbytku získáme na výstupu IC3 napětí číselně odpovídající výstupnímu proudu zdroje a to pak měříme digitálním voltmetrem.

Při měření výstupního napětí je vzorek odebraný ze svorek U Hi a U Lo regulační desky rovněž dvakrát zesílen. Tomu odpovídá poněkud neobvyklý dělicí poměr R9/R10 na desce REGULACE – přibližně 1:20.

Uvedené řešení má tu nevýhodu, že maximální výstupní napětí zdroje omezuje rozkmit napětí na výstupu měřičiho zesilovače, který se při napájení 5 V a výstupním napětí zdroje nad 40 V již může dostat do saturace.

### Digitální panelové měřidlo DPM - UI

Schéma zapojení panelového měřidla je na obr. 6. Uvedené zapojení

představuje klasickou aplikaci převodníku ICL7107.

Původně jsem chtěl použít voltmetr popsáný v [2], ale vadila mi přílišná závislost naměřeného údaje na napájecím napětí +5 V. K jejímu potlačení přispívá doplněný stabilizátor IC2 typu LM317L, z jehož výstupu (1,25 V) odvozujeme trimrem P a rezistorem R6 referenční napětí převodníku.

Základní rozsah obvodu ICL7107 bez děliče R1, R2 je 2 V; trimrem P nastavíme citlivost obvodu. Měřená veličina je zobrazena na třech místech displeje, na displeji HD1A svítí jen zna-

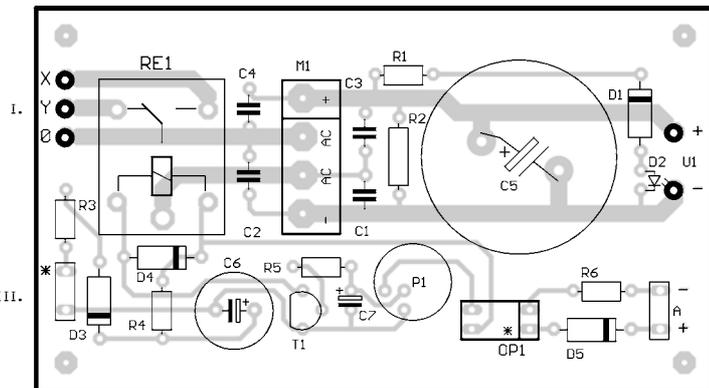
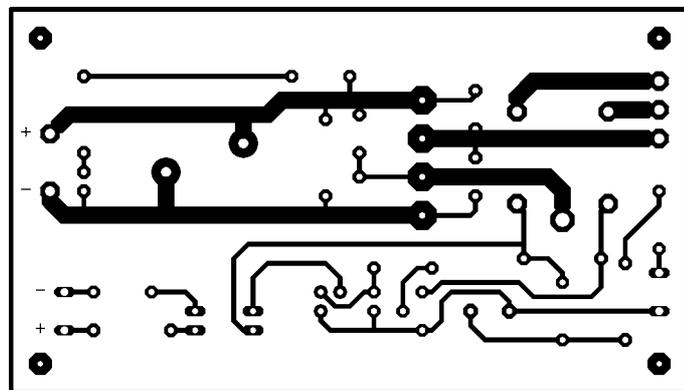
ky u, i odpovídající měřené veličině. Objeví-li se na vstupu převodníku záporné napětí max. -0,6 V (což se může stát při ožiování regulační desky zdroje), rozsvítí se desetinná tečka displeje HD1A, nahrazující znak -, jenž by v kombinaci se znakem u vytvořil „nepsmyslný“ čtvereček.

Napájení pro měřidlo odebíráme z modulu GATE.

### Výběr součástek a stavba zdroje

Použité rezistory musí být přesné a stabilní, doporučuji metalizované provedení vel. 0207 s povolenou ztrátou 0,6 W. O snímacím rezistoru R5 na desce REGULACE jsem se zmínil v popisu uvedeného modulu. Odporový drát bývá běžně ke koupi, ale ne každý lze pájet (např. KANTHAL). Kondenzátory, u nichž za údajem kapacity následuje písmeno /F (viz schéma) jsou fóliové s roztečí vývodů 5 mm pro napětí 63 V. Kondenzátory C1 až C4 v modulu FILTR je vhodné zvolit na provozní napětí 100 V. LED D2 je s malým příkonem a slouží pouze k indikaci většího výstupního napětí FILTERU po přepnutí relé RE1. Na místě diod připojených paralelně k cívkám relé můžeme použít i 1N4148.

Před stavbou zdroje si opatříme transformátor a změříme napětí jeho sekundárních vinutí. Vinutí I. nesmí dávat větší napětí než 2x 21 V, jinak bychom překročili povolené napětí filtračního kondenzátoru C5. Napětí se-



Obr. 7 a 8. Deska s plošnými spoji modulu FILTR v měřítku 1:1 a rozmístění součástek na desce

kundárního vinutí II. může být v me-  
zích 12 až 20 V bez vlivu na funkci  
zdroje, u vinutí III. postačí napětí 10  
až 14 V, při větším napětí se zbytečně

zvětšuje ztráta stabilizátorů napájejí-  
cích moduly GATE a DPM.

Kapacitu filtračního kondenzátoru  
C5 není vhodné příliš zvětšovat – prou-

dové špičky při jeho nabíjení ohrožují  
diodový můstek. Nezapomínejme, že  
pokles napětí na tomto kondenzátoru  
při zátěži způsobuje také vnitřní odpor  
použitého transformátoru.

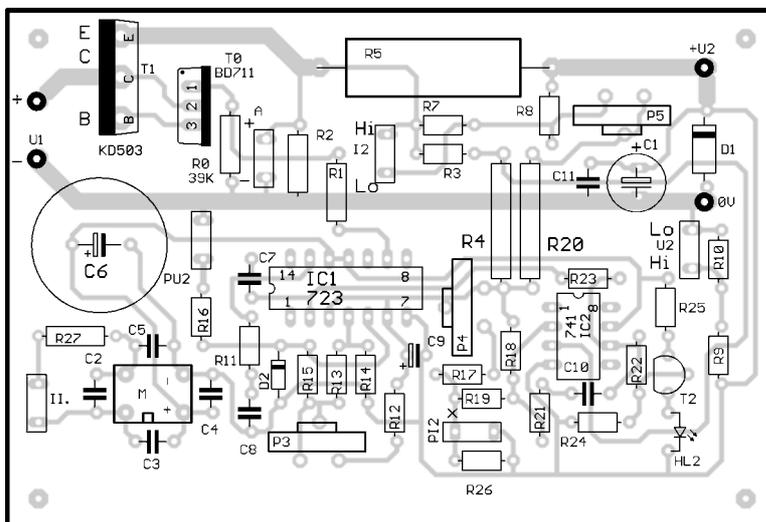
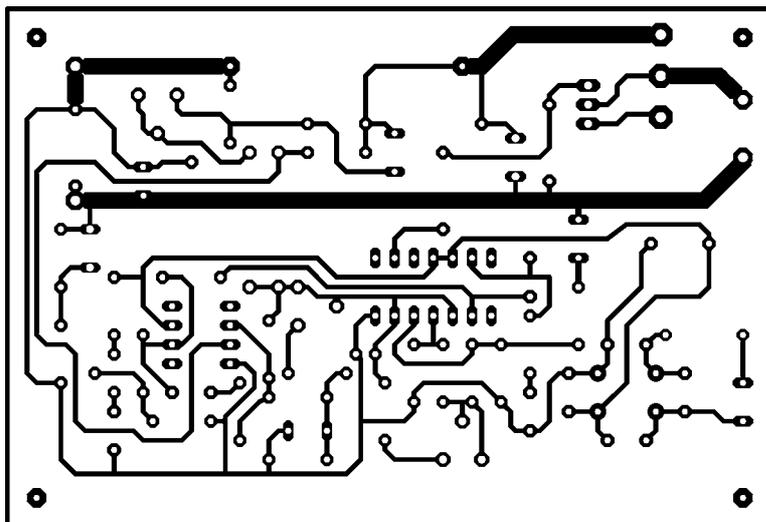
Kdo nesežene tranzistor KD503,  
může jej nahradit typem 2N5038  
(150 V, 20 A, 140 W) či 2N3055 (100 V,  
15 A, 115 W). Lze použít i jiné typy,  
nedoporučuji však tranzistory v pouz-  
dru TO220 – hůře se chladí a mají  
menší ztrátový výkon oproti kovovému  
pouzdru TO3.

Při ožívání již musí být regulační  
tranzistor umístěn na chladiči. U chla-  
diče platí zásada – čím větší, tím lepší.  
Snadno a levně jej můžeme získat  
z vraku nějakého výkonného zařízení  
(zesilovače, zdroje). Nemáme-li tuto  
možnost, musíme chladič koupit. Velký  
výběr nabízí např. GES ELECTRO-  
NICS.

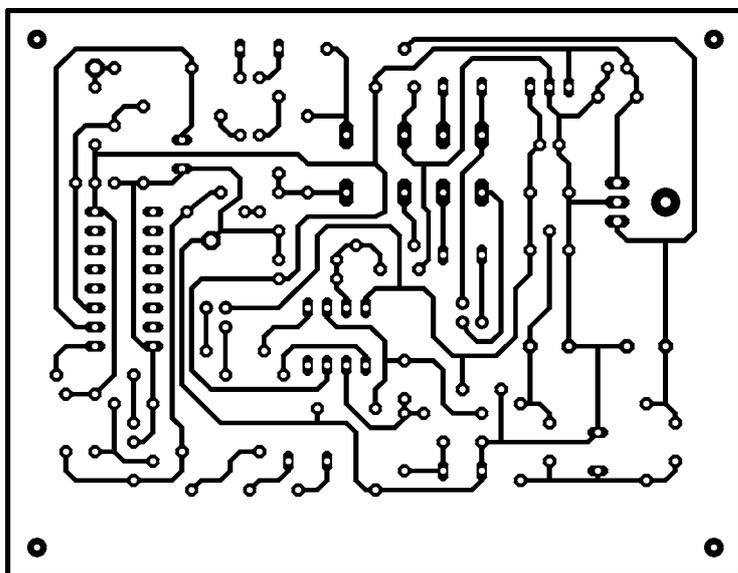
Desky s plošnými spoji jednotlivých  
modulů zdroje jsou na obrázcích 7 až  
15. Indexy součástek modulu GATE  
jsou rozmístěny poněkud chaoticky (viz  
obr. 5 a 12) v důsledku neustálého  
„předělávání“ tohoto modulu.

Nejpracnější bude zhotovení pane-  
lového měřidla (obr. 13 až 15). Deska  
měřidla je poměrně „hustá“. Před osa-  
zením součástek je dobré zkontrolovat  
spoje ohmmetrem. Pro dosažení mini-  
málních rozměrů jsou displeje osaze-  
ny ze strany spojů podle obr. 15, umís-  
tění desetinných teček označuje nápis  
dt. Obvod ICL7107 je velmi náchylný  
ke zničení elektrostatickým nábojem.  
Použijeme pro něj precizní objímku  
DIL40, kterou osadíme jako první, dří-  
ve než displeje! Máme-li desky osaze-  
ny, přistoupíme k jejich oživení.

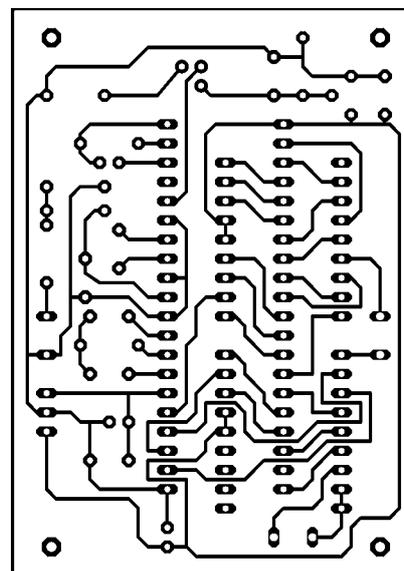
*Dokončení v příštím čísle, kde nale-  
zete popis oživení zdroje a rozmístění  
součástek na deskách modulu GATE  
a číslicového měřidla a seznam sou-  
částek.*



Obr. 9 a 10. Deska s plošnými spoji modulu REGULACE v měřítku 1:1  
a rozmístění součástek na desce



Obr. 11. Deska s plošnými spoji modulu GATE v měřítku 1:1



Obr. 13. Deska s plošnými spoji  
číslicového měřidla v měřítku 1:1

# Laboratorní zdroj KAZ 2

## 0 až 40 V/0 až 2 A

Josef Mach

(Dokončení)

### Oživení zdroje

Nejprve oživíme desky FILTR a REGULACE, jejichž vzájemné propojení znázorňuje blokové schéma na obr. 1. Před započítím práce umístíme regulační tranzistor T1 na chladič. Trimmer P1 v modulu FILTR nastavíme na minimum (k zemnímu konci) a potenciometr PI2 na desce REGULACE do středu odporové dráhy. Po zapnutí zdroje LED D2 v modulu FILTR nesvídí a napětí U1 na vstupu regulační desky bude (podle použitého transformátoru) asi 28 V. Při otáčení potenciometru PU2A a PU2B se již musí měnit napětí na výstupu zdroje od nuly do velikosti napětí U1. Je-li výstupní napětí trvale maximální, mohou být přerušeny přívody k potenciometrům PU2A a PU2B či proražený tranzistor T0 nebo T1.

Po odstranění případné závady nastavíme výstupní napětí 18,5 V a trimr P1 na desce FILTR nastavíme tak, aby sepnulo relé RE1. Napětí U1 se zvětší na 56 V, což je indikováno rozsvícením diody D2.

Nyní ověříme funkci elektronické pojistky. K výstupu zdroje připojíme pomocný miliampérmetr v sérii s rezistorem o takovém odporu, aby jím procházel proud alespoň 10 mA. Otočíme-li hřídel potenciometru PI2 na minimum, je tento proud dostačující k aktivaci pojistky, při níž se rozsvítí LED HL2.

Pak přepneme rozsah měřidla na 10 A, připojíme zátěž s menším odporem a větší výkonovou ztrátou (rezistor, autožárovky atd., v krajním případě zkratujeme výstupní svorky), plynule zvětšujeme výstupní proud potenciometrem PI2 a jeho maximum nastavíme trimrem P4 nebo změnou odporu R26 na 2 až 2,3 A – víc jsem nezkoušel.

Vstupní napětí U1 by mělo být alespoň o 5 V větší než maximální výstupní napětí, aby je regulační obvod spolehlivě „udržel“. Osvědčil se mi tento postup: Potenciometry PU2A a PU2B nastavíme výstupní napětí asi 25 V a připojíme takovou zátěž, aby jí procházel maximální výstupní proud. Při tomto proudu změříme vstupní napětí U1, v mém případě asi 46 V. Jakmile „máme změřeno“, odpojíme zátěž, od naměřeného údaje odečteme 5 V a toto napětí pak můžeme nastavit trimrem P3 na výstupu zdroje při vytočení potenciometrů PU2A a PU2B na ma-

ximum. Mějme na paměti, že při výstupním napětí nad 40 V se může zahřít měřící zesilovač v modulu GATE.

**Poznámka:** Popsané nastavení komplikuje obtížná dostupnost vhodné zátěže – vyhovuje „cokoliv“ s odporem do 10  $\Omega$  a výkonovou ztrátou 50 W. V nouzi můžeme použít i běžný rezistor 10  $\Omega$ /15 W, měřit však musíme velice rychle (několik sekund), aby přetížený rezistor neshořel. Zátěž nelze nahradit zkratem – působením elektronického přepínače na desce FILTR by se napětí U1 ihned zmenšilo na asi 28 V!

Nestačí-li k nastavení maximálního výstupního napětí rozsah trimru P3, vyměníme potenciometr PU2A za jiný s odporem 25 k $\Omega$ , k jehož krajním vývodům připojíme rezistor 15 až 22 k $\Omega$  podle potřebného přírůstku výstupního napětí.

Na závěr ještě zkontrolujeme výstupní napětí zdroje při potenciometrech PU2A a PU2B v poloze minimum. Při použití stabilních rezistorů a kvalitních potenciometrů by mělo být pouze několik milivoltů. Větší odchylku vyrovnáme připojením rezistoru vhodné velikosti paralelně k R15 nebo R16. Je totiž třeba, aby odporové děliče R15/R16 a R13/R14 měly shodný dělicí poměr.

Minimální výstupní proud zdroje není přesně definován, pohybuje se v řádu jednotek mA. Kdo požaduje přesné nastavení tohoto proudu, přeřadí na desce s plošnými spoji modulu

REGULACE spoj mezi R19 a PI2 a do místa přerušení (na obr. 10 označeno křížkem) připojí ze strany spojů trimr 150 až 220  $\Omega$ , kterým nastaví minimální výstupní proud zdroje. Pro zlepšení stability nastaveného minimálního proudu doporučuji nahradit trimr pevným odporem.

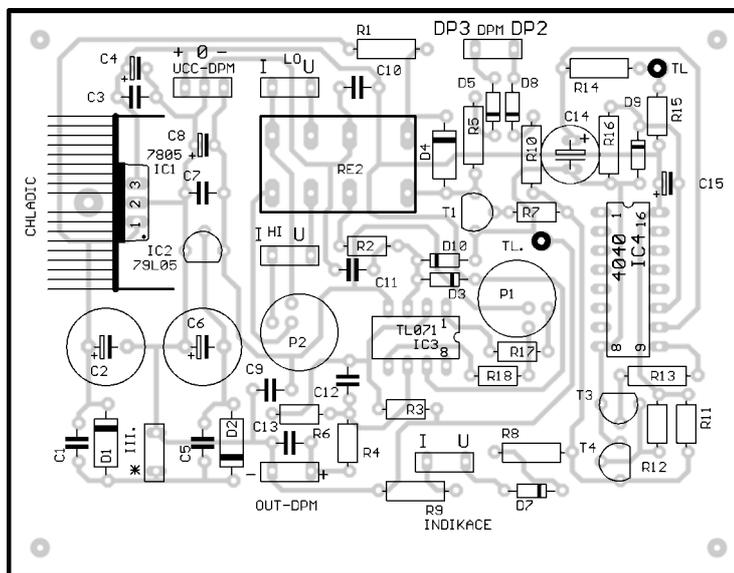
Tím je nastavení regulačních obvodů zdroje skončeno a můžeme přistoupit k oživení modulů GATE a DPM.

K vzájemnému propojení těchto modulů a jejich navázání k regulačním obvodům je nejhodnější plochý vícežilový kabel. Pozor! Zem panelového voltmetru je s modulem GATE spojena již napájecím vodičem 0 V. Abychom se vyvarovali zemní smyčky, nebudeme připojovat zem ke vstupu IN- měřidla (viz obr. 1)!

Před osazením převodníku ICL7107 doporučuji zkontrolovat napájecí napětí panelového měřidla. Jsou-li v pořádku, umístíme obvod do objímky, trimry na deskách měřidla a GATE nastavíme do střední polohy a po zapnutí zdroje bude při správném propojení modulů na displeji měřidla zobrazen údaj **u00.0**. Po stisku tlačítka TL1 na modulu GATE se na displeji objeví **i0.00**. Zobrazená čísla mohou být i jiná, voltmetr ještě není zkalibrován, takže pouze „ukazuje“.

Měřící zesilovač na modulu GATE musíme nejprve vynulovat. Vstup 3 IC3 spojíme se zemí a na výstup OUT DPM připojíme voltmetr. Trimrem P1 nastavíme na výstupu nulové napětí. Pak odpojíme vstup IC3 od země.

Panelové měřidlo doporučuji kalibrovat v rámci jednoho rozsahu kontrolního voltmetru, neboť při změně rozsahu se uplatní odchylka vstupního děliče. Na výstup zdroje připojíme přesný voltmetr a nastavíme zde napětí 10,0 V. Tlačítkem TL1 zvolíme měření výstupního napětí a trimrem P na desce měřidla nastavíme na displeji údaj **u10.0**. Není-li to možné, změníme odpor rezistoru R2. Tento postup opakujeme pro výstupní napětí 19,0 V.



Obr. 12. Rozmístění součástek na desce modulu GATE. Deska s plošnými spoji byla otištěna v PE 7/02

Poté zvolíme tlačítkem TL1 měření výstupního proudu a na výstup zdroje připojíme zátěž v sérii s kontrolním ampérmetrem. Regulaci výstupního napětí nebo proudovým omezením nastavíme proud tekoucí zátěží na 0,25 A. Trimr P2 na desce GATE nastavíme tak, aby se velikost proudu zobrazila na displeji ve tvaru **i0.25**. Nastavení opakujeme pro jiné výstupní proudy, např. 0,5 A, 1 A ...

Přesnost měření výstupního proudu ovlivní zejména teplotní součinitel odporu snímacího rezistoru R5 na desce REGULACE, který se průchodem proudu zahřívá, zvětšuje svůj odpor a v důsledku toho se neúměrně zvětšuje údaj o naměřeném proudu.

Při odpojené zátěži a maximálním výstupním napětí musí displej měřidla zobrazit údaj **i0.00**. Případnou odchylku vykompenzujeme trimrem P5 na desce REGULACE.

### Možné úpravy zdroje

Modulová koncepce zdroje umožňuje měnit parametry přístroje podle představ a možností uživatele. Uvedu několik příkladů:

1. Co dělat, když není k dispozici transformátor s rozděleným sekundárním vinutím?

Nemá-li transformátor sekundární vinutí I. (viz obr. 2) s vyvedeným středem, můžeme jej také použít. V tomto případě vynecháme elektronický přepínač sekundárního vinutí v modulu FILTR (obr. 3). Vinutí transformátoru připojíme rovnou k můstku M1. V důsledku toho se zvětší výkonová ztráta regulačního tranzistoru. Při zachování maximálního výstupního proudu 2 A je vhodné smířit se s menším výstupním napětím zdroje. Při napětí 30 V na sekundárním vinutí I. transformátoru bude maximální výkonová ztráta regulačního tranzistoru 60 až 70 W. Regulační obvody zůstanou bez úprav, pouze ke krajním vývodům potenciometru PU2A připojíme rezistor s odporem asi 39 k $\Omega$  a trimrem P3 na desce REGULACE nastavíme maximální výstupní napětí na 30 V.

2. Regulace výstupního proudu v mezích 0 až 1 A.

Tato varianta umožňuje sestavit úsporný zdroj, u kterého použijeme k měření napětí a proudu ručková měřidla ze „šuplíkových“ zásob. Ampérmetr vložíme např. do emitoru koncového tranzistoru, voltmetr připojíme k výstupním svorkám zdroje. V důsledku toho odpadají moduly GATE a DPM. Na regulační desce vynecháme R7 až R10, R20 a P5. Dále změním odpor snímacího rezistoru R5 na 1  $\Omega$ , se zatížením minimálně 2 W a maximum výstupního proudu nastavíme trimrem P4 nebo změnou odporu R26 na desce REGULACE.

Zkušební konstruktéři mohou upravit zapojení modulů GATE a DPM pro displej LCD, jehož aplikace výrazně zmenší spotřebu měřidla.

### Mechanické provedení zdroje

Mechanické provedení ponechám na úvaze, možnostech a zručnosti každého konstruktéra. Rozměry krabičky závisí především na velikosti použitého transformátoru. Já jsem zdroj umístil do plastové krabičky KP14 s větracími otvory. Moduly jsou díky plechovému úhelníku umístěny nastojato, displej panelového měřidla prochází čtverhranným otvorem v subpanelu naproti stejnému otvoru v čelním panelu, který je opatřen barevným filtrem. Regulační tranzistor opatřený krytem je izolován od chladiče a spolu s ním upevněn distančními sloupky na zadním panelu krabičky. Kdyby chladič dosedl k panelu, může se zadní stěna působením tepla deformovat. Výhodnější je umístit zdroj do plechové krabičky, už kvůli její mechanické pevnosti. Podrobný návod k výrobě takové krabičky uvádí lit. [1].

### Závěr

Popsaný zdroj je ve srovnání s běžnými návodami poněkud složitější, složitost je však vykoupena širokým rozsahem a stabilitou výstupního napětí a proudu, omezením výkonové ztráty regulačního tranzistoru a jeho odolností

vůči zkratu zdroje. K výhodám patří též snadné měření výstupního napětí a odebíraného proudu jediným panelovým měřidlem.

Reprodukovatelnost konstrukce jsem ověřil stavbou dvou kusů popsaného zdroje pro získání symetrického napáječe. Pominu-li obtíže se sháněním vhodného transformátoru, odporového drátu a velké tolerance použitých potenciometrů, neskýtá stavba zdroje žádné zásludnosti.

### Seznam součástek

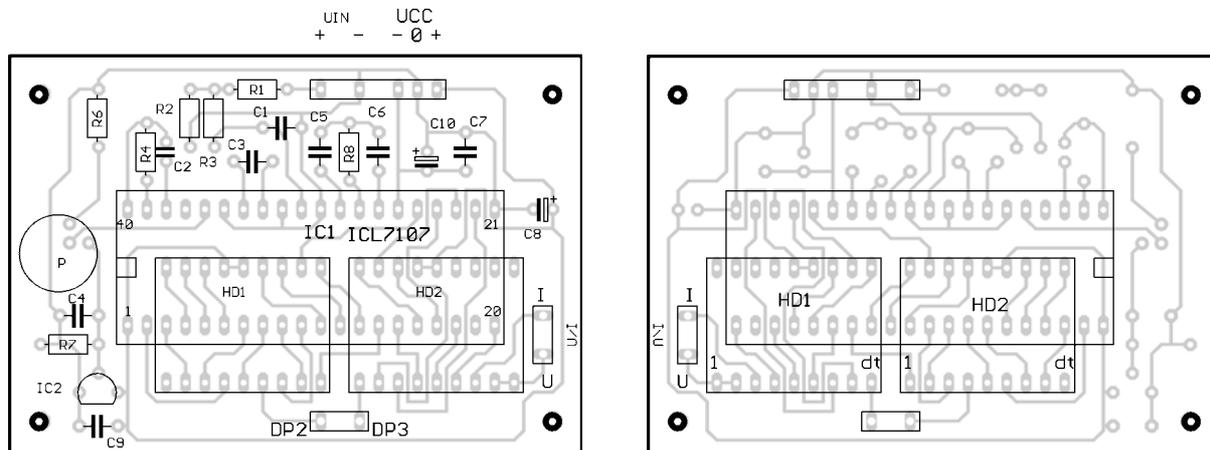
Všechny rezistory, kromě R5 v modulu REGULACE, jsou metalizované, vel. 0207 pro zatížení 0,6 W. Kondenzátory MP mají rozteč vývodů 5 mm a jmenovité napětí 63 V, není-li uvedeno jinak.

#### Modul FILTR

R1	10 k $\Omega$
R2, R6	22 k $\Omega$
R3	1 $\Omega$
R4	22 $\Omega$
R5	6,8 k $\Omega$
R6	22 k $\Omega$
P1	4,7 k $\Omega$ , trimr TP 095
C1 až C4	47 nF/100 V, MP, rozteč vývodů 5 mm
C5	4700 $\mu$ F/63 V, elektrol.
C6	1000 $\mu$ F/25 V, elektrol.
C7	4,7 $\mu$ F/25 V, elektrolyt.
M1	KBU8J
D1	BZX85/30V
D2	LED červená 2 mA
D3	1N4002
D4	BA157 (1N4148)
D5	BZX85/12V
T1	BC546
OP1	PC815
Re1	relé 12 V – RAS 1215 nebo H200S12 (GM)
TR1	transformátor viz text
	síťový spínač 1 ks

#### Modul REGULACE

R0	39 k $\Omega$
R1	150 $\Omega$
R2, R17	10 k $\Omega$
R3, R10,	
R19, R20	4,7 k $\Omega$
R4, R18	12 k $\Omega$
R5	viz text



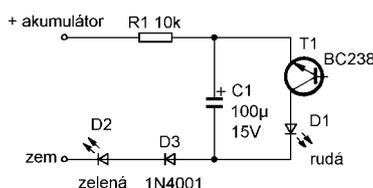
Obr. 14 a 15. Rozmístění součástek na desce digitálního měřidla. Deska s plošnými spoji byla otištěna v PE 7/02

# Imitátor imobilizéru s indikátorem napětí palubní sítě

Na téma imitátor imobilizéru bylo v poslední době na stránkách odborného tisku uveřejněno již více konstrukcí. Jejich složitost se pohybovala od těch nejjednodušších (samoblikající LED), až po složitější (s IO NE555, 4011). Jsem zastáncem názoru, že jakákoliv konstrukce musí bezpečně splňovat funkci, která je od ní požadována (v našem případě pouhé blikání červené LED), a zároveň musí být jednoduchá a levná. Pro amatérskou konstrukci to platí dvojnásob. S tímto vědomím vznikl následující jednoduchý imitátor imobilizéru, který dovede navíc řidiče přibližně informovat o velikosti napětí akumulátoru vozidla. Vlastní výroba tohoto imitátoru mi trvala méně než dvě hodiny a finanční náklady jsou nižší, než je cena jedné samoblikající LED.

Na obr. 1 vidíme celé zapojení. Jedná se o všeobecně známé zapojení relaxačního oscilátoru s tranzistorem T1 zapojeným v oblasti lavinového průrazu. Znalci mi jistě prominou, když pro neznané uvedu stručný popis funkce. Po připojení obvodu na napájecí napětí se kondenzátor C1 nabíjí přes diody D2, D3 a rezistor R1. Dosáhne-li napětí na kondenzátoru C1 určité velikosti, která je daná součtem průrazného lavinového napětí tranzistoru T1 a napětí  $U_{ak}$  diody D1 (okolo 10 až 11 V),

tranzistor se prudce otevře a kondenzátor C1 se přes T1 a červenou LED D1 vybijí. Diody D2 krátce a intenzivně blikne a kondenzátor C1 se opět začíná nabíjet. Tento děj se neustále opakuje. Kmitočet blikání závisí na napětí akumulátoru a hodnotách součástí R1 a C1. Jejich změnou můžeme ovlivňovat kmitočet blikání D1 ve velmi širokých mezích. Diody D2 a D3 vytvářejí určitý úbytek napětí, který způsobí, že při zmenšeném napětí akumulátoru obvod úplně přestane pracovat a blikání LED D1 ustane. V praxi bliká při napětí akumulátoru 12,5 V a větším dioda D1 asi dvakrát za sekundu, při napětí 12 V jednou za sekundu, při 11,5 V blikne jednou za dvě sekundy a při 11,3 až 11,4 V blikání zcela přestane. Z opakovacího kmitočtu blikání D1, můžeme tedy přibližně odhadnout napětí akumulátoru. Součásti ke stavbě imitátor-indikátoru



Obr. 1. Imitátor - indikátor

jsou zcela běžné, jejich hodnoty jsou uvedeny přímo ve schématu a většina se jich jistě nalezne v zásobách domácích kutilů. Jako T1 doporučuji odkoušet starší tranzistory KC..., KSY... apod., některé tranzistory relaxační kmitů vůbec nenasadí.

Při ožiování připojíme imitátor k regulovatelnému zdroji napětí a změnou odporu rezistoru R1 se snažíme nastavit kmitočet blikání 1 až 2 Hz při napětí zdroje 12,5 V. Potom zmenšíme napětí zdroje asi na 11,5 V a výběrem různých typů diod D2 a D3 se snažíme dosáhnout stavu, kdy dioda D1 přestane úplně blikat. Tohoto stavu dosáhneme, když na D2 a D3 získáme vhodný úbytek napětí. Máme k dispozici diody různých technologií od diod typu Schottky s úbytkem 0,3 až 0,4 V přes křemíkové diody (0,6 až 0,7 V) až po LED různých barev (1,1 až 3,6 V). Celé zapojení se mi podařilo realizovat na odřezku univerzální desky s rozměry 10 x 20 mm. Ve vozidle připojíme imitátor paralelně ke kontaktům spínače klíčku zapalování nebo paralelně ke kontaktům spínače kontrolky tlaku oleje. Dbáme při tom na správnou polaritu. Odběr proudu z akumulátoru vozidla je tak nepatrný, že nemá cenu o něm vůbec přemýšlet.

Tento jednoduchý imitátor-indikátor spolu s imobilizérem popsaným v [1] je velmi vhodným doplňkem všech vozidel, které podobné zařízení nemají.

Daniel Kalivoda

[1] Voráček, V.: Imobilizér pro auta našich žen. PE 3/2000.

R7, R13,	
R14, R25	1,5 kΩ
R8	2,7 Ω
R9	100 kΩ
R11	680 Ω
R12	100 Ω
R15, R16	820 Ω
R21	330 Ω
R22, R24	2,7 kΩ
R26	3,3 kΩ
R27	2,2 Ω
PU2A	potenciometr 10 kΩ/N
PU2B	potenciometr 1 kΩ/N
PI2	potenciometr 5 kΩ/G
P3	470 Ω, trimr
P4	22 kΩ, trimr
P5	4,7 kΩ, trimr
C1	10 µF/63 V, elektrolyt.
C2 až C5	22 nF, keramický
C6	2 200 µF/35 V, elektrolyt.
C7	150 pF, keramický
C8	330 pF, keramický
C9	100 µF/16 V, elektrolyt.
C10	1 nF, keramický
C11	100 nF/63 V, MP
D1	1N4007
D2	1N4148
HL2	LED červená standardní průměr 5 mm
T0	BD711
T1	KD503
	(2N5038, 2N3055)
IC1	LM723CN (MAA723CN)
IC2	741CN

<b>Modul GATE</b>	
R1, R8	150 Ω
R2	100 kΩ
R3, R4,	
R7, R12,	
R14 až R18	10 kΩ
R5, R9, R10	330 Ω
R6	12 kΩ
R11	1 kΩ
R13	33 kΩ
P1, P2	2,2 kΩ, trimr TP 095
C1, C5	22 nF, keramický
C2	2 200 µF/25 V, elektrolyt.
C3, C7,	
C9, C10	100 nF, keramický
C4, C8	10 µF/16 V, elektrolyt.
C6	470 µF/25 V, elektrolyt.
C11, C12	22 nF, MP
C13	100 nF, MP
C14	2,2 µF/16 V, elektrolyt.
C15	1 µF/16 V, elektrolytický
D1, D2	1N4002
D3, D5,	
D7 až D10	1N4148
D4	BA157 (1N4148)
T1, T3, T5	BC546
IC1	7805
IC2	79L05
IC3	TL071
IC4	4040
RE2	relé 12 V – G5V2-12T
TL	spínací tlačítko
chladič pro IC1	V7142B

<b>Panelové měřidlo (DPM)</b>	
R1, R4	100 kΩ
R2	12 kΩ
R3	1MΩ
R6	2,7 kΩ
R7	270 Ω
R8	470 kΩ
P	1 kΩ, trimr TP 095
C1	10 nF, MP
C2	100 pF, keramický
C3, C4	100 nF, MP
C5	47 nF, MP
C6	220 nF, MP
C7, C9	100 nF, keramický
C8	100 µF/16 V, elektrolyt.
C10	10 µF/16 V, elektrolytický
IC1	ICL7107
IC2	LM317L
displej	červený DA 56-11 / RWA (HDSP 5521) 2 ks nebo zelený DA 56-11 / GWA (HDSP 5621) 2 ks
objímka DIL40	precizní 1 ks

## Literatura

- [1] Zeman, P.: Stabilizované zdroje KAZ. AR A1/91 s. 8 a 2/91 s. 65.
- [2] Regulovatelný zdroj 1 až 30 V/0,02 až 3 A. Electus 98 s. 55.
- [3] Novotný, B.: Malý laboratorní zdroj pro IO. AR A9/94 s. 9.
- [4] Katalog GM Electronic 2000.