

ČÍSLICOVÉ PANELOVÉ MĚŘIDLO

V článku je uvedena konstrukce číslicového panelového měřidla — ČPM s převodníkem A/D, C520D, který je dovážen z NDR. Oproti dříve publikovaným konstrukcím je stavbě jednoduchá a nenáročná na uvádění do provozu. Výhodou ČPM jsou malé rozměry, nutnost použít jen jedno napájecí napětí 5 V a poměrně malá spotřeba proudu.

Technické údaje

Základní rozsah: 1 V (999 mV); rozsah lze zvětšit napěťovým děličem podle tab. 1.
Základní rozsah proudu: 100 μ A (99,9 μ A); rozsah lze zvětšit bočníkem podle tab. 1.
Vstupní odpor při měření napětí: 10 k Ω /V.
Úbytek napětí při měření proudu: 1 V pro plný rozsah.
Přesnost: $\pm 0,1\%$ z rozsahu \pm digit.
Rozliš. schopnost: 0,1 % z rozsahu.
Vstupní proud: asi 100 nA.
Displej: 3místný, LED.
Indikace kladné polarity: bez znaménka.
Indikace záporné polarity: (jen do -99 mV).
Indikace překročení rozsahu:]]] v kladné polaritě,
[[[v záporné polaritě.
Rychlosť měření: pomalý provoz 4 měř./s (2 až 7), rychlý provoz 120 měř./s (48 až 168).
Potlačení souhlasného rušení, CMR: 48 dB.
Potlačení rušení v napájení, SVR: 75 dB v nule, 70 dB na konci rozsahu.
Teplotní součinitel nuly: 28 μ V/K.
Teplotní součinitel konečné hodnoty: 27 ppm/K.
Rozsah pracovních teplot: 0 až 70 °C.
Napájení: + 5 V \pm 10 %/100 mA \pm 20 %.
Rozměry: 108 x 45 x 33 mm.

Ústředním obvodem ČPM je převodník A/D, C520D, pracující metodou dvojí integrace. Tento IO patří mezi obvody LSI a je zhotoven technologií I²L. Obsahuje více než 1200 integrovaných prvků, z nichž 75 % patří k číslicové a 25 % k analogové části obvodu. Převodníkem A/D bylo věnováno již dosti místa v literatuře [1] a [2]. Pro informaci o vnitřní struktuře obvodu je blokové schéma zapojení IO na obr. 1. Převodník se skládá z analogové a digitální části. Do analogové části patří vstupní převodník napětí/proud, komparátor, zdroj referenčního napětí a konstantního proudu. Číslicová část je tvořena oscilátorem, děličkami, kontrolní a řídicí logikou, čítačem, multiplexerem a výstupními obvody.

Celý převod se skládá ze dvou časových intervalů. Během prvního intervalu T_1 , se nabíjí integrační kondenzátor C1 proudem z výstupu převodníku napětí/proud. Nabíjecí proud je přímo úměrný vstupnímu napětí převodníku. Doba trvání intervalu T_1 , po kterou je kondenzátor nabíjen, je konstantní a je určena generátorem hodinového kmitočtu v číslicové části. Stupeň nabitého kondenzátoru tedy odpovídá velikosti vstupního napětí. Kondenzátor je v druhé fázi převodu během intervalu T_2 vybíjen zdrojem konstantního proudu až do prahového napětí komparátoru. Po dosažení prahového napětí se komparátor překlopí a přes obvody

řídící a kontrolní logiky se zablokuje čítač. Protože je kondenzátor vyblížen konstantním proudem, je délka druhého časového intervalu přímo závislá na stupni jeho nabití a tedy i na velikosti vstupního napětí.

Stav čítače tak odpovídá v číslicové formě vstupnímu analogovému napětí. Obě fáze převodu jsou řízeny stejným hodinovým kmitočtem, takže jeho pomalé kolísání neovlivňuje přesnost měření. Pro dobré potlačení rušivého napětí 50 Hz na vstupu převodníku je nutno zvolit dobu integrace vstupního napětí jako celý násobek 20 ms. Protože je u převodníku doba integrace delší než 1 ms, má tento IO malé potlačení rušivého vstupního napětí. Převodník napětí na proud obsahuje diferenční zesilovač s Darlingtonovou dvojicí na vstupu. Zesilovač je napájen přes proudové zdroje. Nastavením nuly trimrem P1 se mění symetrie proudových zdrojů a tedy i offset diferenčního zesilovače. Vstupy 10 a 11 jsou vnitřním zapojením chráněny až do napětí ± 15 V proti zemi. Z výstupu 12 je pak nabíjen vnější integrační kondenzátor. Komparátor vyhodnocuje stav nabití a vybití integrační kapacity a jeho výstup ovládá start nebo zastavení čítače. Zdroj referenčního napětí je typu bandgap [1] a je jím řízen zdroj konstantního proudu a proudové zdroje napájení vstupního převodníku U/I. Trimrem P2-nastavení zisku (konečné hodnoty) je na vývodu 13 ovlivněn poměr odporů ve zdroji referenčního napětí, čímž se mění i velikost konstantního proudu, kterým je vyblížen integrační kondenzátor. Změnou odporu trimru P2 tedy nastavujeme zisk (konečnou hodnotu) ČPM. Oscilátor se skládá z devítistupňového kruhového generátoru, jehož kmitočet se může měnit podle rozptylu stavebních prvků od 0,2 do 1,3 MHz. U oscilátoru je požadována jen krátkodobá stabilita kmitočtu pro časy do 5 ms (což splňuje). Všechny ostatní hodinové impulsy jsou z oscilátorového kmitočtu odvozeny, takže se mohou případně měnit v daném rozsahu kmitočtu oscilátoru. Celá dělička je sestavena z devatenácti klopných obvodů, dělících kmitočet oscilátoru. Po vydelení 2^{12} nebo 2^{13} se získávají hodinové impulsy k řízení multiplexera a k řízení integrace v rychlém režimu. Ve zbylých stupních se hodinové impulsy dělí pro řízení integrace v pomalém režimu. Dělící poměr (volba druhu provozu) se přepíná změnou napětí na vývodu 6.

Dekadicí čítač je synchronní 3 1/2 místný. Je sestaven též z klopných obvodů a jeho maximální čitaný stav je 1999. Integrační fáze vstupního signálu začíná od stavu 000 a končí 880. Dalších dvacet taktů trvá přepnutí integračního kondenzátoru na vyblížení režim. Záporný měřený rozsah -1 až

-99 mV odpovídá stavu čítače 901 až 999, přičemž 901 odpovídá -99 mV. S přechodem 999 na 1000 zhasne záporné znaménko. Kladný měřený rozsah začíná stavem 1000 až do 1999, čemuž odpovídá 000 až 999 mV. Nevýznamné přední nuly nejsou potlačeny. Dosažení hodnoty 2000 se indikuje jako překročení kladného rozsahu číslem 11 (HLHH) ve všech třech dekádách. Negativní znaménko se indikuje číslem 10 (HLHL) ve výstupu MSD (10^2). Při překročení maximálního záporného vstupního napětí se indikuje ve všech třech dekádách číslo 10 (HLHL). Po ukončení měřicího cyklu a vydání výstupní hodnoty je čítač opět vynulován. Kontrolní a řídící logika řídí v průběhu měřicího cyklu všechny obvody převodníku. Dále tento obvod realizuje přepínání tří provozních stavů. Při napětí 0 až 4 V na vývodu 6 je zvolen pomalý cyklus integrace a rychlosť měření je 2 až 7 za sekundu. Při napětí 3,2 až 5,5 V jsou hodinové impulsy pro měřicí cyklus odebírány z klopného obvodu 12 nebo 13 a rychlosť měření je 48 až 168 za sekundu. Při napětí v rozmezí 0,8 až 1,6 V je průchod kmitočtu děličkou uzavřen a měření se zastaví. V čítači však zůstává poslední změřená hodnota. Úrovně napěti na vývodu 6 jsou shodné s úrovněmi logiky TTL a lze ji tedy na tento vstup připojit. Pro výdej stavu čítače na výstup je použit multiplexer, který přivádí tři výstupní stavy čítačů (v kódu BCD) postupně na výstup. Multiplexer je řízen vyděleným hodinovým kmitočtem z oscilátoru. Při rychlém měření vydává multiplexer jen jeden výstupní údaj během každého cyklu, při pomalem opakuje výstupní údaj 24x během každého cyklu. Výstupní obvody jsou ovládány multiplexerem a tvoří je tranzistory s otevřeným kolektorem. V kolektorech tranzistorů pro spínání dekád jsou sériové rezistory 1 k Ω .

Mězní údaje IO jsou v tab. 2 a důležité provozní údaje v tab. 3.

Na obr. 2 je schéma zapojení ČPM. Převodník A/D je v základním zapojení s rozsahem -99 až 999 mV. Napěťový dělič R1 a R2 upravuje vstupní rozsah podle tab. 1. Proudové bočníky pro vyšší rozsahy proudů (1 A, 10 A) na místě R2 jsou umístěny mimo desku s plošnými spoji, stejně jako rezistor R1 pro rozsah 1000 V. Vzhledem k tomu,

Tab. 1. Odpor rezistorů R1 a R2 pro různé rozsahy

Napěťový rozsah	R1	R2
1 V	0	10 k Ω
10 V	90 k Ω	10 k Ω
100 V	990 k Ω	10 k Ω
1000 V	9,99 M Ω	10 k Ω

Proudový rozsah	R1	R2
100 uA	0	10 k Ω
1 mA	0	1 k Ω
10 mA	0	100 Ω
100 mA	0	10 Ω
1 A	0	1 Ω
10 A	0	0,1 Ω

Rezistory u vyšších rozsahů musí být dimenzovány na příslušná napětí a proudy

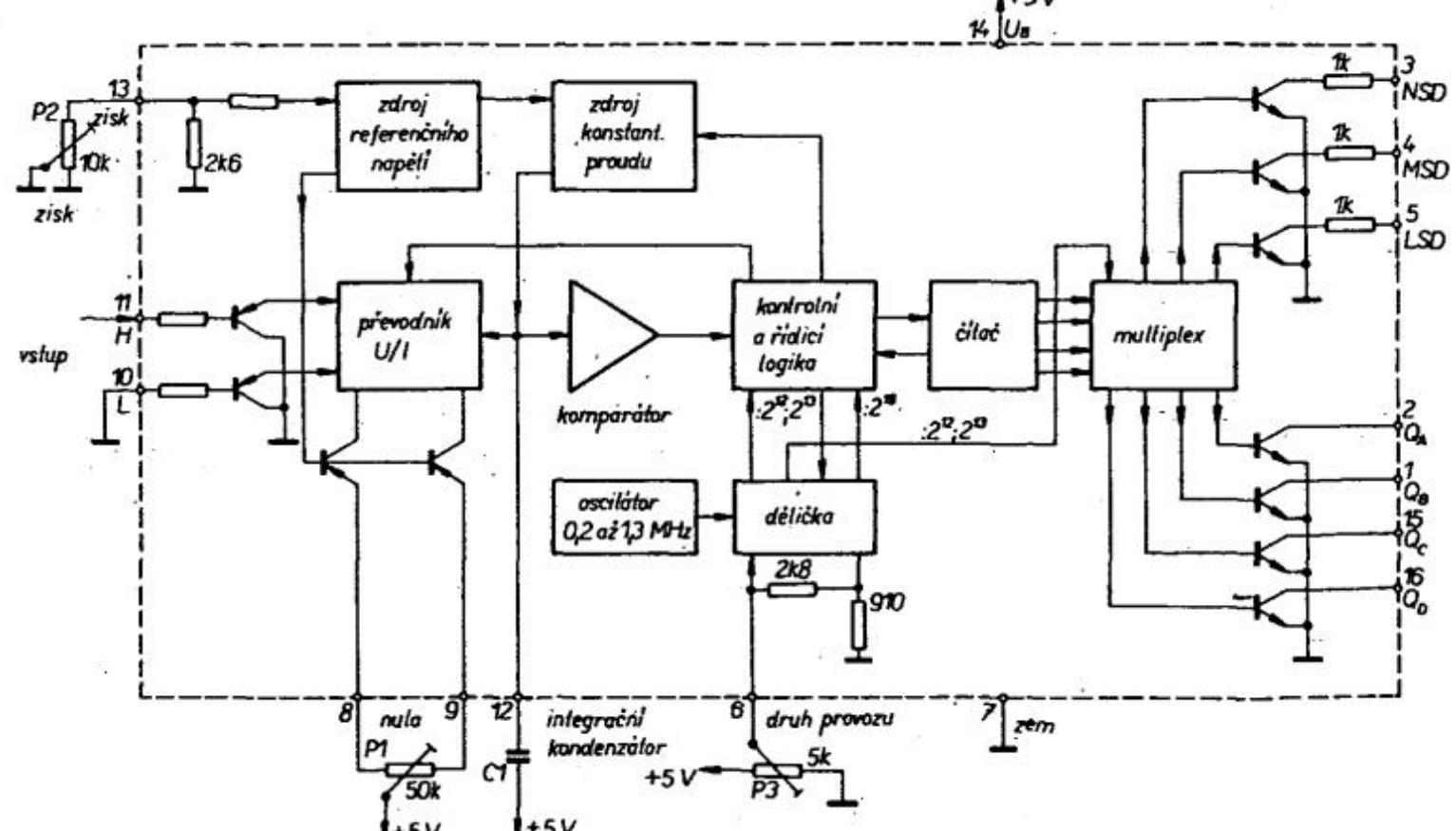
Tab. 2. Mezní údaje IO C520D

Veličina	Min	Max
Napájecí napětí [V]	0	7
Napětí na vstupu H [V]	-15	15
Napětí na vstupu L [V]	-15	15
Napětí na výstupech [V]	0	7
Napětí na vstupu pro druh provozu [V]	0	7

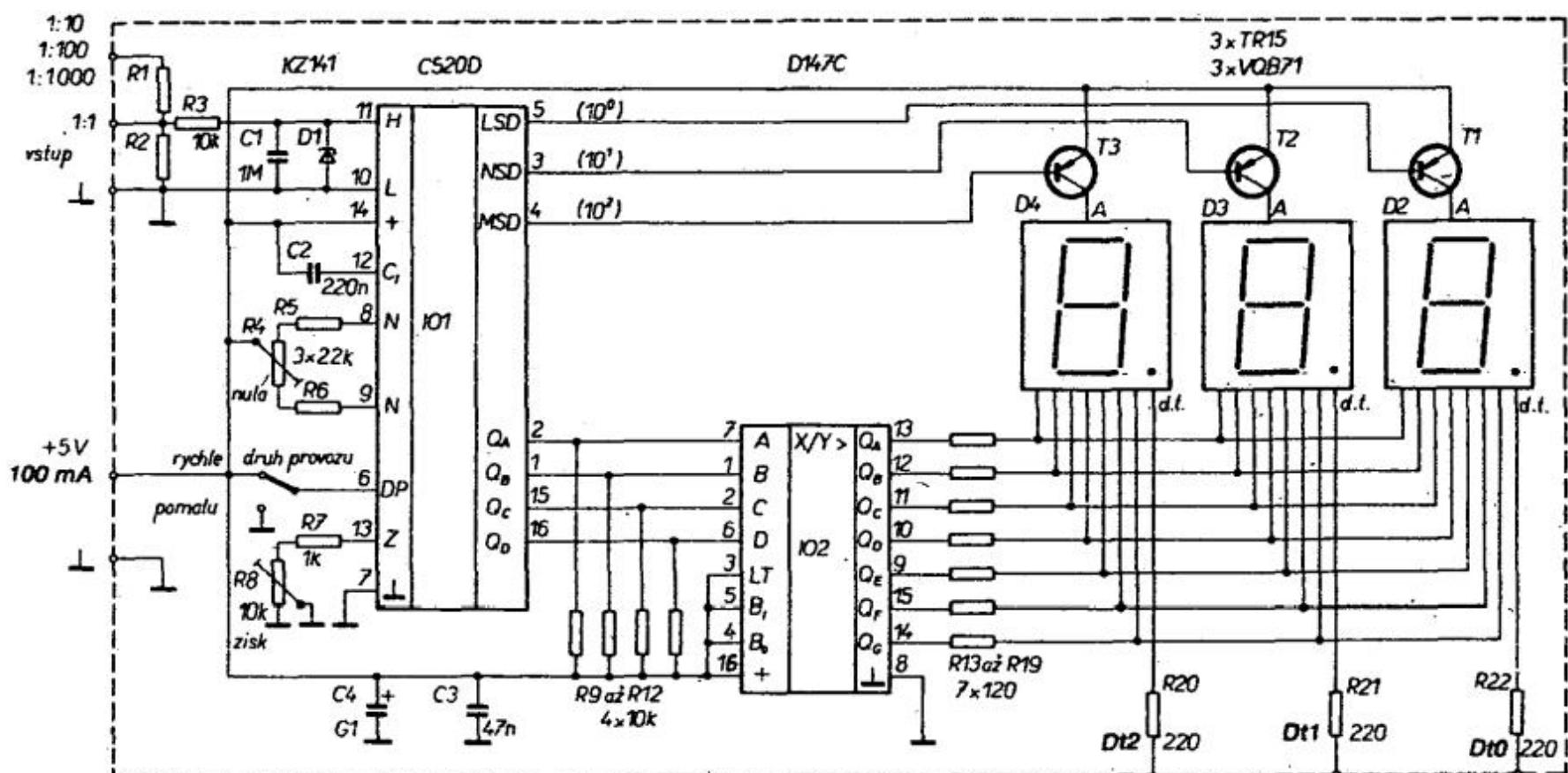
Tab. 3. Provozní a jmenovité údaje IO C520D

Veličina	Min.	Typ.	Max
Napájecí napětí [V]	4,5		5,5
Teplota okolí [°C]	0		70
Vstupní napětí [mV]	-99		999
Napětí na vstupu 6:			
pomalý převod [V]	0		0,4
hold (neměří) [V]	0,8		1,6
rychlý převod [V]	3,2		5,5
Napájecí proud [mA]	10		20
Chyba linearity [%]	-0,1	0,05	0,1
1 dig.	1 dig.	1 dig.	
Napětí na výstupech			
BCD pro úroveň L [mV]	90		400
Potlačení souhlas.			
rušení (CMR) [dB]	48		
Vstupní proud [nA]	110		
Teplotní součinitel			
nuly (TK ₀) [μ V/K]	28		
Teplotní součinitel			
koneč. hodnoty (TK _∞) [ppm/K]	27		
Rychlosť měření/s:			
pomalý převod	2	5	7
rychlý převod	48	122	186

že převodník IO1 má malé potlačení rušivého napětí sítě, je na vstupu zařazena dolní propust R3, C1. Chceme-li větší potlačení kmitočtu 50 Hz, je



Obr. 1. Blokové schéma vnitřního zapojení C520D



Obr. 2. Schéma zapojení číslicového panelového měřidla

vhodné propust zařadit dvakrát za sebou a zvětšit kapacitu C1 až 5x. Zenerova dioda D1 a rezistor R3 tvoří ochranu před vysokým napětím na vstupu v obou polaritách a to až do velikosti, kdy se přeruší dioda nebo rezistor R3 (více než 1000 V při rozsahu 1 V). Člen R3, C1 zabránil přitom vytvoření napěťové špičky. Integrační kondenzátor C2 je zapojen mezi výstup 12 a kladné napájecí napětí. Mezi vývody 8 a 9 je zapojen nulovací obvod R4, R5, R6. Rychlosť převodu se volí napětím na vývod 6. Zisk převodníku se nastavuje změnou R8. Vývod 7 a vstup 10 jsou spojeny se zemí. Rezistory R9 až R12 jsou v kolektorech výstupních tranzistorů převodníku a zabezpečují úroveň log. 1 pro následující dekodér BCD na kód pro sedmsegmentový displej, IO2. Výstupy LT, BI, BO/RBI nejsou využity a jsou spojeny s + 5 V. Výstupy dekodéru jsou přes rezistory R13 až R19 vedeny na paralelně spojené katody jednotlivých segmentů sedmsegmentového třími-

stného displeje D2 a D4. Anody displeje jsou spínány tranzistory T1 až T3 na + 5 V. Tranzistory jsou spínány výstupy IO1, přičemž rezistory pro omezení proudu bází jsou integrovány v převodníku. Pořadí spínání je MSD, LSD, NSD (10^2 , 10^0 , 10^1). Desetinné tečky displeje jsou vyvedeny přes rezistory R20 až R22. Spojením vývodu se zemí se rozsvítí příslušná desetinná tečka.

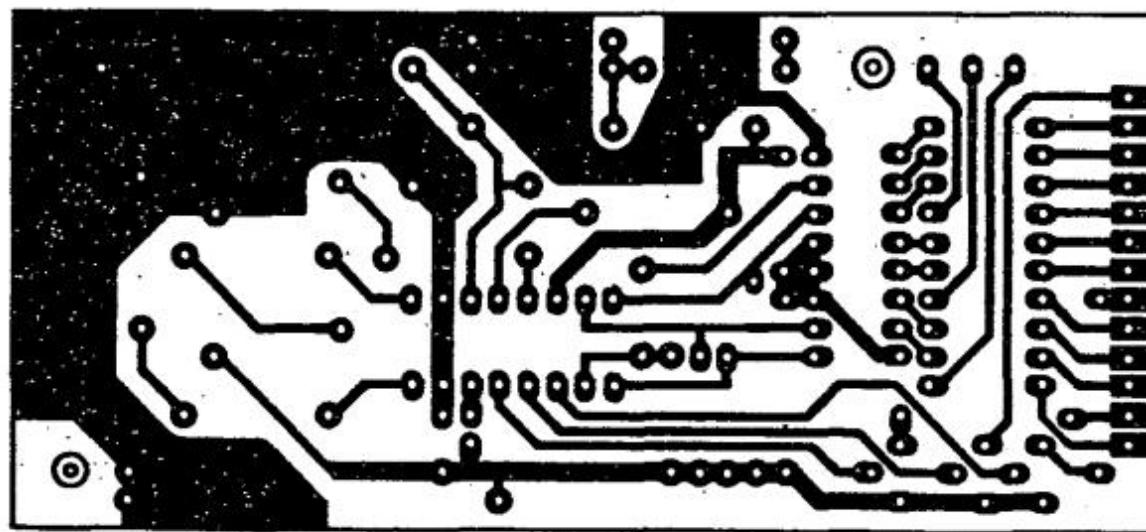
C3	47 nF/32 V, TK 783
C4	100 μ F/6 V; TE 981
Polovodičové součástky	
IO1	C520D
IO2	D147C
T1, T2, T3	TR15
D1	KZ141
D2, D3, D4	VQB71

Použité součásti a jejich nahraď

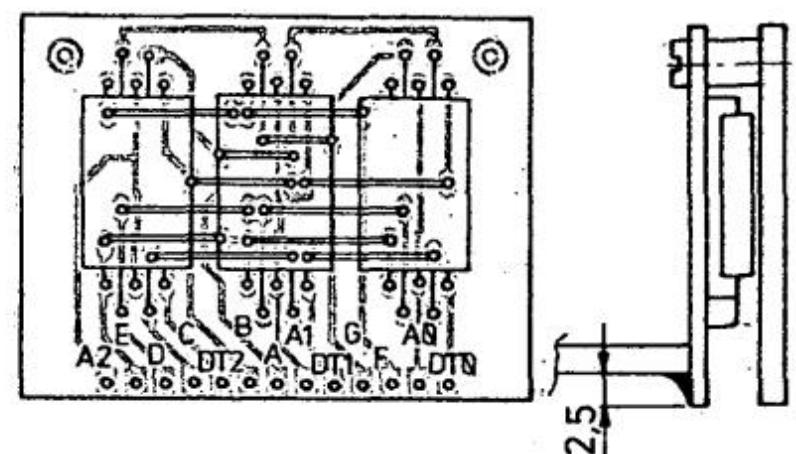
Převodník A/D lze těžko nahradit něčím jiným, k dostání je v prodejně TESLA, Dlouhá 15, Praha 1 za 165 Kčs nebo ho lze dovést z NDR (asi za M 35,-). IO2 lze nahradit jakýmkoli typem jiných výrobců, ekvivalentním obvodům 7447 nebo 7446. Ideální by byl typ 9347 (Fairchild), který zobrazuje znaménko - mínsus opravdu jako - kladné překročení vstupního napětí jako EEE a záporné jako ---. Tranzistory T1 až T3 mohou být jakékoli křemíkové p-n-p. Pro displej je možné použít jakékoliv sedmsegmentové čísla-

Seznam součástek

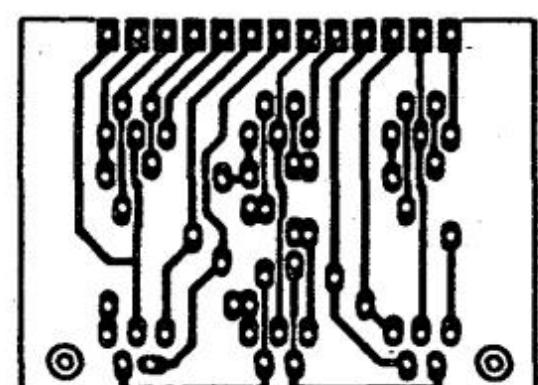
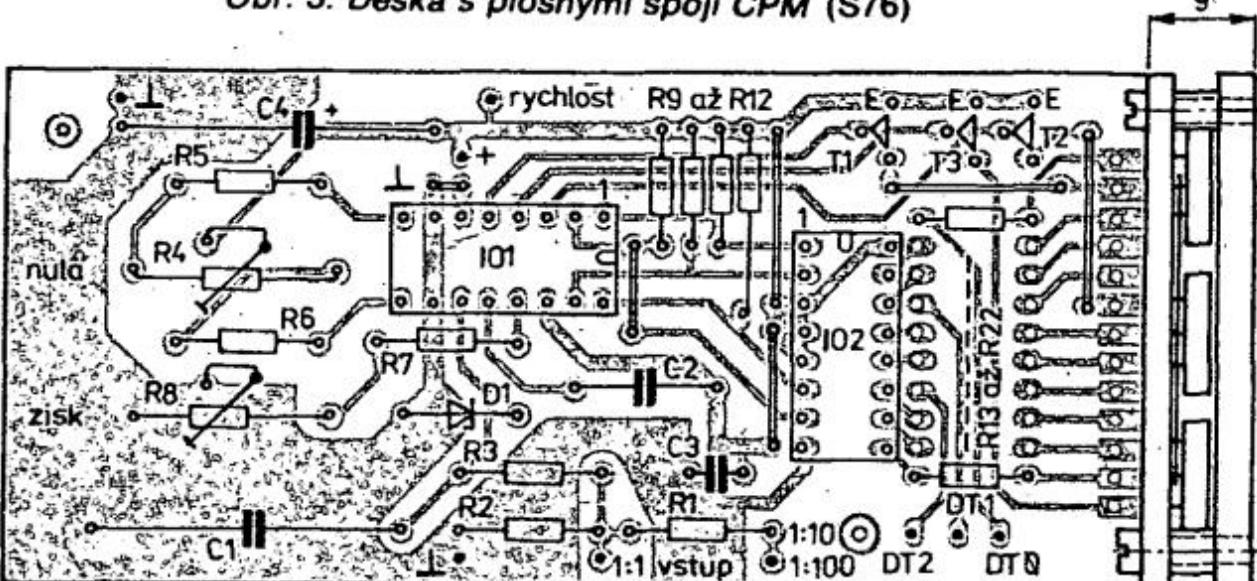
Rezistory	
R1, R2	viz tab. 1.
R3	10 k Ω , TR 161
R5, R6	22 k Ω , TR 161
R7	1 k Ω , TR 161
R4	22 k Ω , WK 67911, trimr
R8	10 k Ω , WK 67911, trimr
R9 až R12	10 k Ω , TR 212
R13 až R19	120 Ω , TR 212
R20 až R22	220 Ω , TR 212
Kondenzátory	
C1	1 μ F/100 V, TC 215
C2	220 nF/100 V, TC 215



Obr. 3. Deska s plošnými spoji ČPM (S76)



Obr. 4. Deska s plošnými spoji displeje (S77)



covky se společnou anodou. V případě použití jiných typů je však nutné upravit desku s plošnými spoji displeje. Zenerova dioda D1 může být libovolná na napětí 5 až 12 V. Proud diodou v propustném směru nesmí do $-0,1$ V vstupního napětí ovlivnit měřenou veličinu, proud v závěrném směru nesmí ovlivnit měřenou veličinu do napětí $+1$ V. Této podmínce vyhoví většina Zenerových diod, pokud nejsou horší jakosti. Přesvědčíme se o tom tak, že při vstupním napětí -95 mV a 995 mV odpojíme D1 a údaj na displeji se nesmí změnit. Kondenzátory C1, C2 by měly být svitkové (styroflex apod.). Kapacita kondenzátoru C1 může být $0,47$ až $4,7 \mu F$, na ní závisí (spolu s rezistorem R3) kmitočet zlomu dolní propusti ($f = 1/2 \pi R_3 C_1$). Kapacita integračního kondenzátoru C2 se může pohybovat v rozmezí 100 nF až 330 nF . Přestože přesnost měření na jeho kvalitě příliš nezávisí, je vhodné použít kvalitní typ. Na obou pozicích je možné použít i typy s metalizovaným papírem TC 180. Důležité je, aby se kondenzátor na desku se spoji vůbec vešel. Rezistory R1 až R3 a R5 až R7 by měly být ve stabilním provedení s malým teplotním součinitelem (TR 161, MLT-0,25). Až na rezistory R1 a R2, tvořící vstupní napěťový dělič, nemusí být přesné. Vzhledem ke vstupnímu proudu IO1 by neměl být součet odporek rezistorů R2 a R3 větší než $50 \text{ k}\Omega$. Součet odporek rezistorů R4 až R6 v obvodu nulování by měl být v rozmezí 10 až $50 \text{ k}\Omega$ (max. $100 \text{ k}\Omega$). Cím větší je součet, tím menší je vstupní proud IO1. Rezistor R7 je možné nahradit drátovou spojkou, pokud lze s použitým trimrem R8 nastavit konečnou hodnotu (zisk). Nesezenete-li trimry WK 67 911 na místech R4 a R8, lze je nahradit sériovou nebo paralelní kombinací stabilních rezistorů. Prolouží se tím sice čas nastavování ČPM, ale není to řešení náhradní, protože pevný rezistor je vždy stabilnější než trimr. Rezistory R9 až R12 jsou miniaturní uhlíkové nebo metalizované (TR 212, MLT-, TR 190 apod.), jejichž odpor může být od $3,3$ do $10 \text{ k}\Omega$. Stejného provedení jsou R13 až R19, na jejich odporu závisí jas displeje (od 82 do $180 \text{ }\Omega$) a též R20 až R22 k omezení proudu desetinnou tečkou (150 až $330 \text{ }\Omega$).

Mechanické provedení

ČPM je sestaveno na jednostranné desce s plošnými spoji velikosti $100 \times 45 \times 1,5 \text{ mm}$ (obr. 3). Číslovky displeje jsou na desce s plošnými spoji $33 \times 45 \times 1,5 \text{ mm}$ (obr. 4). Díry pro součásti mají $\varnothing 0,7$ až $0,8 \text{ mm}$, popř. 1 mm . Díry k uchycení základní desky mají $\varnothing 3,2 \text{ mm}$ a pro uchycení krycího organického skla $2,2 \text{ mm}$. Krycí organické sklo je červené $33 \times 45 \times 2$ až 3 mm a má pro upevňovací šrouby výříznutu dva závity M2; je připevněno dvěma šrouby M2 $\times 10 \text{ mm}$ přes distanční podložky podle obr. 4. Drátové propojky jsou z drátu o $\varnothing 0,5 \text{ mm}$ (na hlavní desce 5 nebo 7 ks a na desce displeje 12 ks). Před zapojením číslicovek přestříkáme spoje ze strany displeje matnou černou barvou, aby se zamezilo odrazu světla od spojek. Po zapojení číslicovek je vhodné zkontrolovat funkci displeje, aby se včas odstranily případné zkraty nebo přerušení spojů: na jednotlivé anody přivedeme $+5 \text{ V}$ přes rezistor asi 150Ω

a spojujeme postupně jednotlivé katody se zemí.

Pokud bude deska displeje připájena k základní desce, není třeba vrtat díry pro vývody z desek. Deska displeje se podle obr. 4 kolmo přiloží k hlavní desce s přesahem asi $2,5 \text{ mm}$ od spodní plochy a jednotlivé plošky se připájejí. Nebude-li displej součástí základní desky, vyvrátáme příslušné díry a obě desky propojíme nejlépe několika oživovým plochým vodičem PNLY. Z hlediska oživování je vhodné použít pro IO objímky, není to však nutné. Použijeme-li je, odbrousíme trojúhelníkové konce s děrami. Při pájení součástí do desky je vhodné použít pájecí smyčku z tenčího drátu ($\varnothing 0,8$ až 1 mm). Po osazení a zapojení desky zkontrolujeme, nedotýkají-li se čepičky rezistorů a nejsou-li na desce zkraty.

Uvedení do provozu a nastavení

Hotové ČPM připojíme přes ampérmetr s rozsahem asi 150 mA na napájecí napětí $+5 \text{ V}$ (může být i čerstvá plochá baterie). Na displeji se objeví nějaký údaj, buď kladné nebo záporné polarity. Odběr proudu je 80 až 120 mA . Trimrem R4 pro nastavení nuly pak nastavíme na displeji 000. Vstup je při tom otevřený, při zkratovaném vstupu se údaj nemění. Pak na vstup připojíme zdroj napětí 0 až 1 V s paralelně připojeným číslicovým voltmetrem (DVM) a napětí na vstupu nastavíme asi na 900 mV . Pokud používáme ČPM jako voltmetr nebo ampérmetr s jiným rozsahem než 1 V , přivádíme na vstup napětí nebo proud, odpovídající danému rozsahu, zmenšený asi o 10% z hodnoty rozsahu. Trimrem R8 pak nastavíme příslušný údaj na displeji ČPM. Jak již bylo uvedeno, lze trimry nahradit kombinací pevných rezistorů. Potom můžeme zkontrolovat linearitu ČPM v plném rozsahu vstupních napěti porovnáním údajů ČPM a DVM jak při kladných, tak záporných napěťích proti zemi a indikaci překročení vstupního napětí. Není-li údaj ČPM lineární (směrem k větším napětím se zmenšuje), vyměníme diodu D1 za kvalitnější. Spojením vývodů desetinných teček na hlavní desce se zemí zkontrolujeme jejich funkci. Tím je nastavení ČPM skončeno. Pokud se použijí dobré součásti (jako vždy se vyplatí pasivní prvky měřit předem a u diod a tranzistorů kontrolovat vodivost přechodů), a není-li chyba v pájení, pracuje ČPM na první zapojení. Zhotovení ČPM zvládne i pečlivý začínající radioamatér.

Závěr

ČPM je určeno k přesnému měření napětí analogových výstupů elektronických měřicích přístrojů. Tento funkci odpovídá základní rozsah měřidla 999 mV . Vzhledem ke svým vlastnostem může sloužit i jako kvalitní náhrada přesných laboratorních i méně přesných panelových měřicích přístrojů, jejichž vlastnosti převyšuje přesnosti, otřesuvzdornosti, rozměry a náklady. Zavedením převodníku A/D na náš trh se zjednodušila stavba ČPM na minimum, což jistě přispěje k rozšíření číslicových měřicích přístrojů a k číslicovému zobrazení jakékoli měřené veličiny (i neelektrické). Pomocí tohoto IO lze řešit i automatické přepínání rozsahů. Pro zobrazení je možné použít i displej se společnou katodou nebo displej s kapalnými krystaly. Převodník lze také použít jako vstupní obvod



Obr. 5. Celkový pohled na sestavené ČPM

mikropočítače, případně jej vybavit mezipamětí pro uchování několika měřených veličin. Uvedený návod uvádí jen základní zapojení IO, který nalezne jistě širší možnosti použití.

NAPĚŤOVÁ DIGITÁLNÍ MĚŘICÍ SONDA

Při měření na různých místech zapojení přímo v zařízeních se projevuje nedostatek většiny univerzálních měřicích přístrojů, ať už analogových nebo digitálních. Je třeba vykonávat současně dva úkony, tj. sledovat místo, odkud je odebrán měřený signál a zároveň číst naměřený údaj. V zahraničí se v poslední době objevily multimeter ve formě sondy [1], [2], které uvedené nedostatky řeší zcela uspokojivě, pokud jsou vybaveny automatickým přepínáním rozsahů [2]. Vzhledem k tomu, že se do ČSSR dováží obvod C520D za poměrně nízkou cenu, rozhodl jsem se realizovat podobnou sondu ze součástek, dostupných u nás.

Technické údaje

Rozměry: 35 × 25 × 170 mm (š × v × d).
Délka měřicího hrotu: 55 mm.
Napájení: +5 V/0,3 A; ±12 V/15 mA.
Měřicí rozsahy: 1 V; 10 V; 100 V ss i st; přepínání rozsahů automatické.
Vstupní odpor: 1 MΩ pro všechny rozsahy.
Kmitočtový rozsah: 0 až 10 kHz ±3 % (0 až 20 kHz ±10 %).
Přesnost: ±0,5 % z rozsahu (ss až 3 kHz).
Hmotnost: 130 g.
Možnost blokovat poslední naměřený údaj:

je zapojen dělič 1:100, který zajišťuje stálý vstupní odpor celé sondy a zároveň řeší komplikace, způsobené vstupními klidovými proudy vstupního zesilovače, který je dalším blokem. U tohoto zesilovače, osazeného IO MAA741 v neinvertujícím zapojení, lze volit zesílení (100×; 10× a 1×); volba je ovládána automatikou (blok AUTO). Na vstupní zesilovač je stejnosměrně navázán usměrňovač a indikátor polarity. Pro zjednodušení prochází signál usměrňovačem stále a tlačítko ~ = mění pouze zesílení dalšího

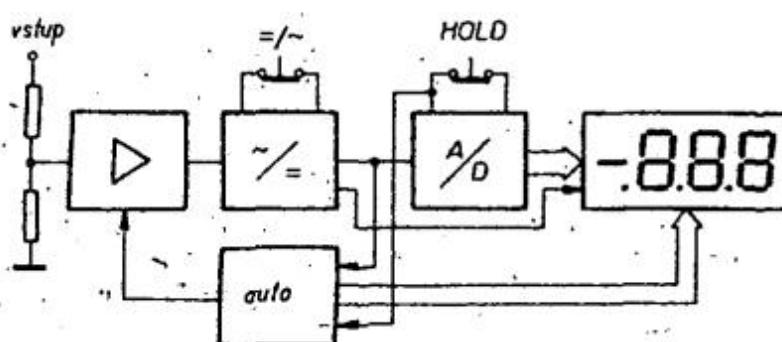
stupně z 2 na 2,22. Za usměrňovačem je zapojen převodník A/D, realizovaný obvodem C520D, který budí displej v multiplexním režimu. Protože tento obvod umožňuje dva stupně rychlosti provozu včetně blokování posledního naměřeného údaje, bylo této možnosti využito pro zapojení tlačítka HOLD.

Popis jednotlivých bloků

Vnitřní zapojení jednotlivých funkčních celků a jejich vzájemné propojení je dobře patrné z celkového schématu zapojení sondy na obr. 2. Zapojení bylo navrhováno s ohledem na maximální úsporu místa (použití moderních prvků, miniaturizace atd.) a na malé pořizovací náklady (co nejjednodušší zapojení, dostupné součástky).

Vstupní dělič a zesilovač

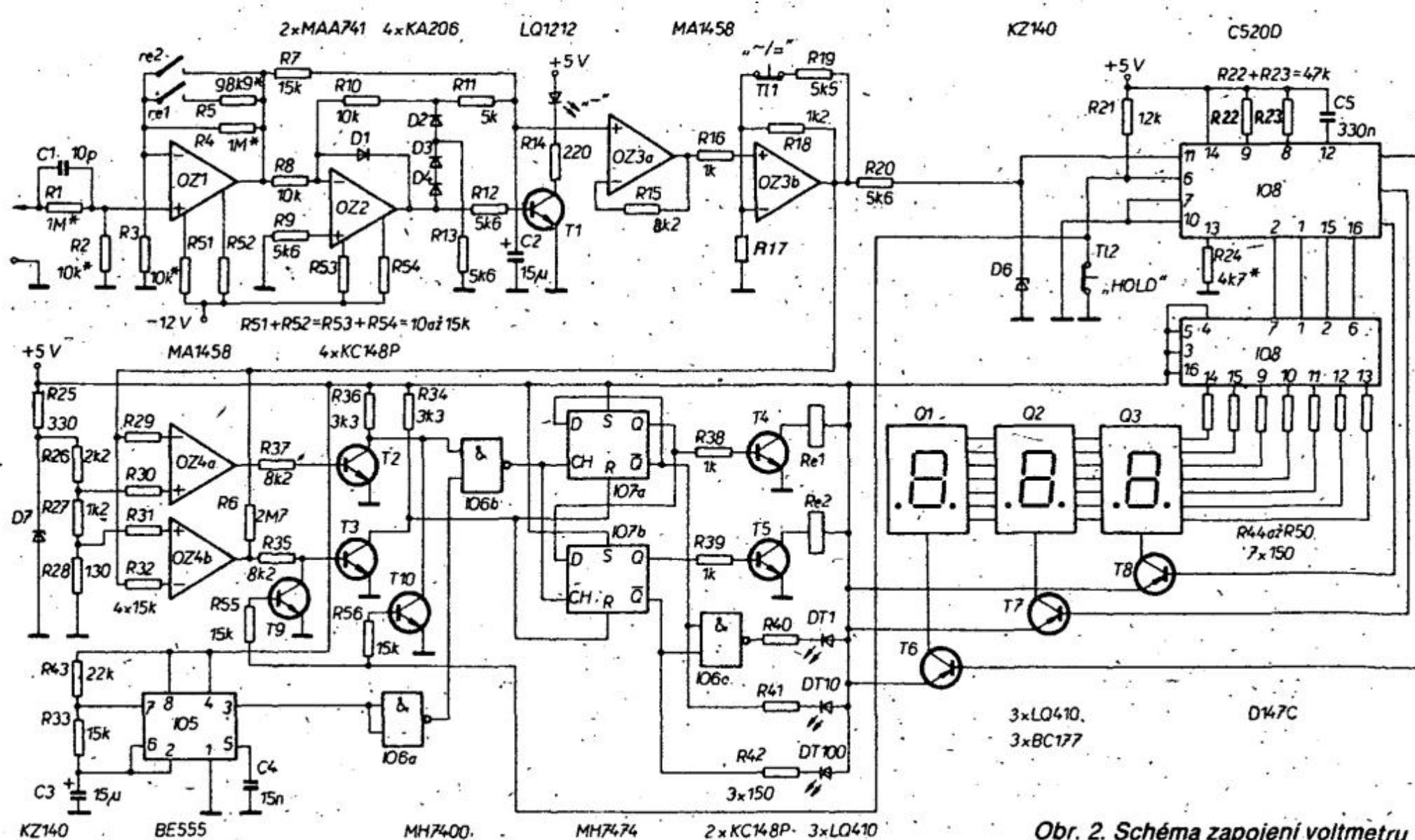
Protože na trhu se v současné době nevyskytuje vhodný operační zesilovač s tranzistory FET na vstupu, bylo nutno řešit kompenzaci klidového



Obr. 1.
Blokové
schéma
voltmetru

Popis činnosti

Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně jednoduché zařízení, odpovídá tomu i počet funkčních částí v blokovém schématu podle obr. 1. Na vstupu



proudů vstupního OZ. Při návrhu jeho zapojení bylo nutno rovněž přihlédnout k zamýšlené automaticce přepínání rozsahů a proto bylo s ohledem na dostupná jazyčková relé zvoleno neinvertující zapojení s volbou zesílení ve zpětné vazbě. Na vstupu je tedy zapojen „pevný“ dělič $1\text{M}\Omega/10\text{k}\Omega$, přičemž na invertujícím vstupu OZ1 je rovněž vůči zemi zapojen odpor $10\text{k}\Omega$, aby úbytek na těchto odporech, způsobený vstupními klidovými proudy, byl přibližně stejný. Kondenzátor C1 (10pF) na vstupu děliče kompenzuje ztráty OZ1, OZ2 na vyšších kmitočtech a částečně linearizuje přenosovou charakteristiku. Odpor rezistorů R1 až R5, by měly být v takovém vzájemném poměru, aby bylo zesílení OZ1 pro rozpojené kontakty re1 i re2 100 a pro re1 sepnutý 10. Na jejich přesné absolutní velikosti samozřejmě nezáleží. Odpor R1 byl zvolen s ohledem na vstupní odpor sondy (co největší) a na dostupné odpory rezistorů typu TR 191. Napěťová nesymetrie vstupu a nesymetrie, způsobené vstupními klidovými proudy na rezistorech R2, R3, je kompenzována rezistory R51 a R52 v doporučeném zapojení.

Usměrňovač a indikátor polarity

Zapojení je přejato z [3] včetně indikátoru polarity se svítivou diodou D5; napájenou z $+5\text{V}$ místo $+12\text{V}$ (malá zatížitelnost zdroje $+12\text{V}$). Kapacita C2 je zmenšena pro zajištění spolehlivé činnosti automatiky přepínání rozsahů z původních $50\text{ }\mu\text{F}$ na $15\text{ }\mu\text{F}$. Na této kapacitě by totiž zbylý náboj po přepnutí automatiky směrem k nižšímu rozsahu způsobil zpětné přepnutí rozsahů, popř. rozkmitání celé automatiky.

Protože tento typ usměrňovače by měl pracovat do co největší impedance, pracuje následující stupeň s OZ3A (neinvertující se zesílením 1) jako převodník impedance. Druhá polovina MA 1458 (OZ3b) je zapojena rovněž jako neinvertující, avšak se zesílením 2 (pokud je tlačítko T11 v klidové poloze), neboť usměrňovač dodává na svém výstupu pouze napětí $U_{\text{st}}/2$. Proto jsou v obvodu zpětné vazby zapojeny T11 a R19, zajišťující opravu zesílení na 2,22 při měření st napětí (součinitel 1,11 pro přepočet U_{st} na U_{st}). Odpor R16 zajišťuje kompenzaci klidových proudů OZ3, stejně jako R15. Z výstupu OZ3b je odebírána signál pro automatiku přepínání rozsahů. Před převodníkem A/D je ještě zapojen jednoduchý ochranný obvod R20, D6, chránící IO8 před případným přepětím na vstupu.

Převodník A/D

Je použito zapojení, doporučované výrobcem v [4]. Rezistory R22 a R23 slouží k nastavení nuly, rezistor R24 k nastavení základního rozsahu 1 V. I když lze tímto obvodem měřit i záporná napětí do $0,1\text{V}$, nebyla tato jeho funkce u sondy využita. Tlačítkem „HOLD“ (T12) lze blokovat po-

slední naměřený údaj – je to tedy jakási paměť.

Na tento převodník navazuje dekódér BCD/7 segmentů D147C v multiplexním provozu spolu s tranzistory T6 až T8, které napájejí anody displeje se zobrazovacími jednotkami Q1 až Q3. Katody Q1 až Q3 jsou k dekodéru připojeny přes rezistory s odpory $150\text{ }\Omega$ a jsou zapojeny paralelně. Desetinné tečky displeje jsou ovládány automaticky spolu s přepnutím rozsahů.

Automatika přepínání rozsahů

Tento blok lze rozdělit na několik menších celků podle přehledného schématu na obr. 3. Ve zdroji referenčních napětí 1V a $0,1\text{V}$ je použita Zenerova dioda D7 s odporovým děličem R26, R27, R28, přičemž na absolutní přesnosti těchto napětí nezáleží; nesmí pouze přesáhnout uvedené hodnoty, jak vyplýne z dalšího textu. Jako komparátory K1 a K2 pracují operační zesilovače v OZ4 (MA1458), na jehož výstupu jsou zapojeny tranzistory T2 a T3 pro úpravu vstupního signálu na logické úrovně. Hradlo H je jedno ze čtveřice IO MH7400; jako generátor je zapojen IO5 (známý časovač 555), jehož doba taktu je asi $0,4\text{ s}$. Čítač tvoří dva klopné obvody D a k ovládání relé slouží T4 a T5.

Obr. 3.
Automatické
přepínání
rozsahů

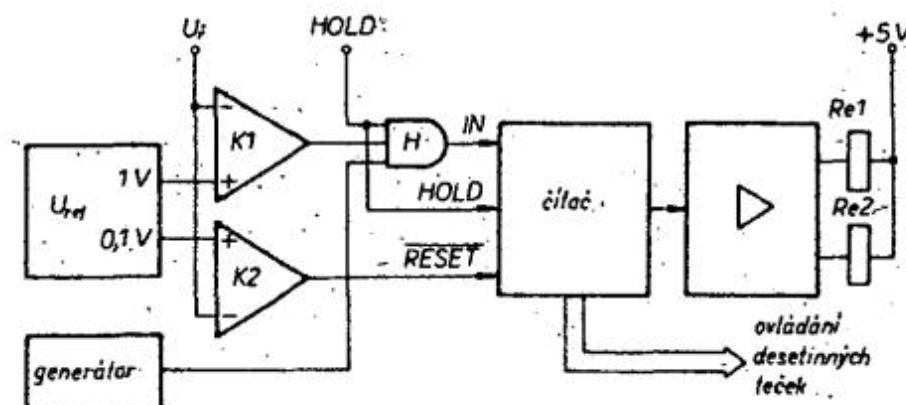
Samozřejmě přepne nikoli po překročení čísla 999 (popř. po poklesu pod 100), ale v závislosti na nastavení U_{ref} .

Komparátor K2 má zavedenu slabou hysterezi rezistoru R6 (někdy není nutno jej ani zapojit), který napomáhá k jednoznačnému přepnutí automatiky směrem dolů. Při pomalém přechodu přes komparační úroveň, (popř. když vstupní napětí v této oblasti kolísá) by se mohla automatika rozkmitat.

Informace o stavu mikrospínače T12 je k automatice přiváděna přes rezistory R55, R56, které ovládají tranzistory T9, T10. Při zmáčknutí T12 se oba tranzistory otevřou a jeden z nich blokuje hradlo IO6b nezávisle na T2, druhý uzemní bázi T3, takže znemožní vyžádání funkce RESET.

Použité součástky

S ohledem na co nejmenší rozměry byly zvoleny rezistory typu TR 191. Část z nich (ty, které neurčují přesnost), lze bezemžen nahradit jinými, ale vzniknou patrně problémy s mísitem, neboť rezistory typu TR 212 a TR 151 jsou nejen delší, ale mají i větší průměr. Obvody IO5, IO8 a IO9 jsou v prodejním sortimentu TESLA EL-TOS a měly by být běžně dostupné. Tranzistory KC148P byly voleny z dů-



Automatika pracuje takto: Pokud se napětí U , pohybuje v rozmezí 0,1 až 1V , je K1 překlopen do úrovně L, hradlo H je zablokováno a na vstup čítače se impulsy z generátoru nedostanou. Komparátor K2 je ve stavu H a funkce RESET tedy není požadována. Čítač si udržuje předchozí stav a tranzistory zapojené na jeho výstupu spínají příslušná relé. Rovněž nastavení desetinné tečky odpovídá rozsahu.

Pokud se napětí U , zmenší pod $0,1\text{V}$, komparátor K2 se překlopí do stavu L a vybaví funkci RESET čítače. Tím se rozpojí kontakty obou relé a sonda je přepnuta na nejcitlivější rozsah. Je-li U , větší než 1V , překlopí se K2 zpět a K1 do stavu H, čímž otevře hradlo. Čítač pak čítá podle tab. 1, až se U , zmenší pod 1V a K1 se překlopí zpět. Stejný děj probíhá, překročí-li U , 1V z klidového stavu.

Takto popsána se zdá být činnost složitá. Názornější je příklad: Dejme tomu, že je nastaven rozsah 10V a vstupní napětí překročí rozsah. Sonda se automaticky přepne na rozsah 100V . Zmenší-li se pak napětí na vstupu zpět pod 10V , nejprve se zapojí rozsah 1V a teprve v dalším taktu generátoru rozsah 10V . Rozsah se

vodu malých rozměrů plastikového pouzdra. Jako T6 až T8 je možno použít i jiné křemíkové tranzistory p-n-p s C_{max} alespoň 70 mA – např. TR15, které bylo možno získat ve výprodeji z počítačových desek.

Jako kondenzátor C5 byl použit typ TC 215 pro jeho stabilitu a malé rozměry. C2 a C3 jsou tantalové „kapky“ rovněž z rozměrových důvodů s ohledem na stabilitu a svodový proud. C1 je slídrový a musí vydržet střídavé napětí 100V , takže byl zvolen typ WK 71113. Rezistory v obvodu vstupního děliče, zpětné vazby OZ1

Tab. 1.

Takt	Q1	Q2
0	0	1
1	1	0
2	0	1
3	1	0
4	0	1
:	:	:
RESET	0	0

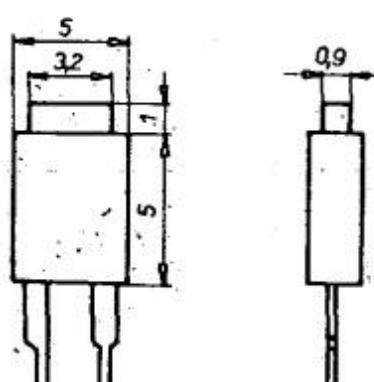
a usměrňovače (R8; R10, R11, R7) jsou vybírány na maximální přesnost. Rezistory, určující zesílení, stačí vybrat na přesný poměr tak, aby bylo příslušné zesílení zachováno. Stejně tak R17, R18, R19.

Jako tlačítka jsou použity mikrospínače WK 55900, které jsou dostupné. Největším problémem bude patrně získat příslušná jazyčková relé (kontakty v trubičce o Ø 3,5 mm, délka 28 mm) s typovým označením VFNR 817, výrobce POLAM-UNITRA. Rovněž lze použít relé výroby NDR, popř. BLR, které jsou dokonce menší. Jedná se o typ používaný ve stolních kalkulátorech ELKA. Na závěr je popsána možnost úpravy zapojení s tranzistory MOSFET typu KF521 jako náhrada.

Konstrukce sondy

Celá sonda byla realizována na dvou oboustranných deskách s plošnými spoji podle obr. 8 až 12. Na větší desce je vstupní zesilovač, usměrňovač, převodník A/D a displej. Tato deska je použita jako nosná základna, na kterou je pak připevněna menší deska s automatikou rozsahu. Desky jsou mechanicky propojeny měděnými dráty tloušťky asi 1,5 mm, které jsou do obou desek zapájeny a zároveň nesou mikrospínače T11 a T12.

K indikaci záporné polarity byla použita svítivá dioda červené barvy LQ1212, která byla opilováním upravena do tvaru segmentu G LQ410 podle obr. 4. Kromě čela pak byla natřena černou syntetickou barvou tak, aby svítila pouze přední stěna. Při této úpravě se nemusíme obávat poškození, neboť čip je umístěn podstatně níž, než je oblast opracování. Jazyčková relé jsou výroby PLR. Vinutí je navinuto bez kostřičky a čel přímo na skleněnou trubičku kontaktu relé drátem Ø 0,09 až 0,12 mm. Cívka má vnější průměr max. 8 mm a délku asi 20 mm, hotové vinutí je fixováno napuštěním lepidlem Kanagom. Při na-



Obr. 4. Uprava diody D5

pěti 5 V by odebraný proud neměl přesáhnout 70 mA a relé musí spínat spolehlivě již při 3,5 V.

Hrot sondy byl zhotoven z injekční jehly pro jedno použití INTER 9 x 40 (žlutá), kratšího kolíčku z konektoru FRB (v nouzi postačí vodič o Ø 0,6 a délce asi 20 mm), vypsané náplně ze čtyřbarevného kuličkového pera a trubičky o vnějším průměru 4 mm, vnitřním Ø 2,5 mm a délce asi 22 mm. K izolaci vnějšího pláště a jehly byly použity silikonové izolační trubičky („bužírky“).

Po zahřátí jehly páječkou byla stažena plastická část; hliníkový nálistek lze pak snadno rozpilovat a sejmout. Zůstane tvrdá, na jednom konci ostře nabroušená trubička z obtížně pájitelné nerezové oceli. S použitím pájecí pasty Eumetol do tupého konce zapájíme kolíček FRB. Přes jehlu přetáhneme izolační trubičku a na ni nasuneme část vypsané vložky z kuličkové tužky o \varnothing 2,2 a délce asi 32 mm. Na tlustší trubičku vyrežeme očkem M4 závit v délce asi 5 až 6 mm. Trubičku pak nasadíme a připájíme na částečně sestavený hrot tak, aby z kolíčku vycházelo asi 1 až 1,5 mm přes závit.

Protikus („samička“) na sondě je zhotoven z mosazné matice M4 a dutinky FRB. Dutinka je pak upevněna vpájením do očka z drátu Ø 0,8 mm, který je oběma konci zapájen rovněž do plošného spoje. Za maticí je vpájen kousek kuprextitu s rozměry podle obr. 5b, který zabraňuje přílišnému zašroubování a zkratování hrotu na „zem“. Konstrukce hrotu a jeho upevnění je patrné z obr. 5a. Tím jsme získali kvalitní, ostrý a nerezavějící hrot, který lze snadno odnímat. Délka hotového zašroubovaného hrotu je asi 50 až 55 mm.

Jako zemnící vodič (vstupní svorka s nižším potenciálem) je použit tenký izolovaný kablík s připájenou krokovou svorkou na jednom konci, na druhém je připájen šroub M3 x 6 s válcovou hlavou, který se šroubuje do matice, zapájené přímo v pouzdře sondy a spojené krátkým vodičem se „zemí“ sondy u vstupního zesilovače.

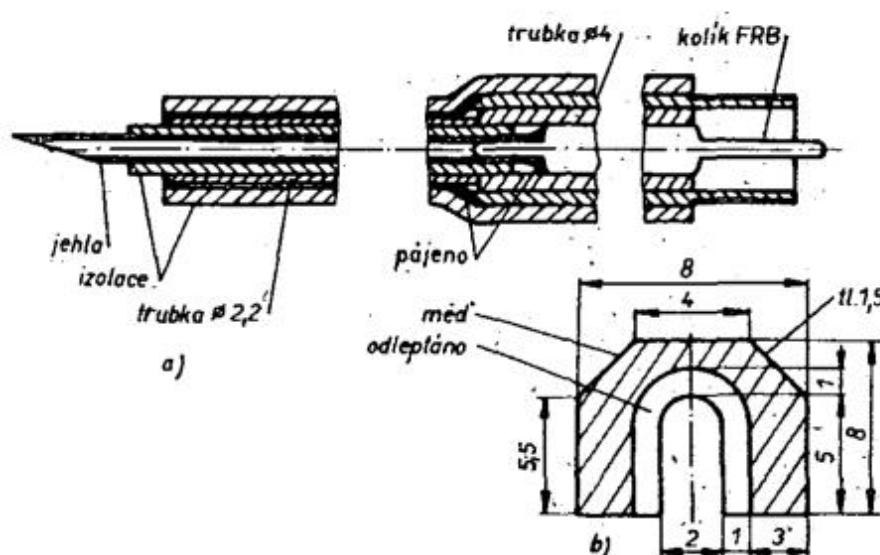
Desky s plošnými spoji jsou poměrně hustě zaplněny součástkami a proto jak spojovací pásky, tak i pájecí body pro vývody součástek jsou menší než obvykle. Před osazováním je nutno zkontrolovat zvláště delší spoje a spoje ze strany součástek, zda nejsou přerušeny, neboť chyby po zapájení již nelze odstranit. Všechny díry mají průměr 0,8 mm, vyjma děr pro

spojovací vodiče o Ø 1,5 mm a děr pro upevnění trubiček s kontakty jazýčkových relé (s průměrem 1,0 mm). Tento je nutno ohnout vývody poměrně těsně u konce skleněné trubičky, a proto je třeba postupovat opatrně, aby nepraskla.

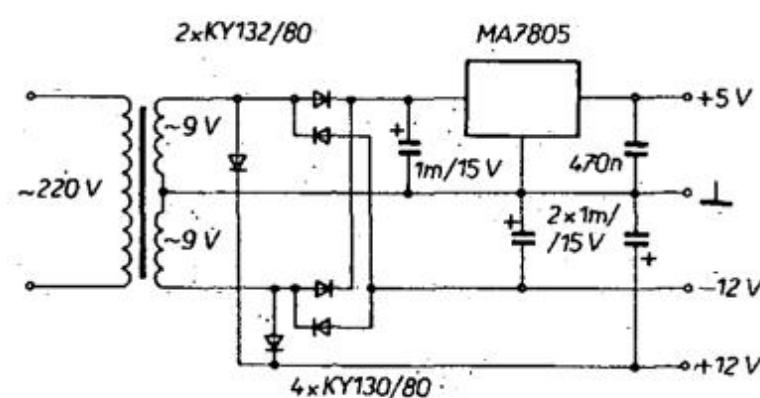
Před osazením displeje, IO8, T6 až T8 je nutno propojit tenkými vodiči spoje z jedné strany desky na druhou, protože po jejich zapájení to již udělat nelze. U displeje se jedná o vývody 3, 9, 14 (číslováno podle katalogu), u nichž je nutno prostrčit drát o Ø 0,2 až 0,3 mm otvorem v desce s plošnými spoji, zapájet jej ze strany součástek, pak usadit displej a zapájet jej ze strany spojů; nakonec spájet drátky s příslušnými vývody displeje. Stejný postup použijeme u vývodů báze T7 a T8 a u vývodu emitoru T6. Tyto obtíže nastávají při použití desek oboustranných plošných spojů bez prokovených dér.

Při dílčím osazování podle dalšího popisu osazujeme vždy nakonec součástky, označené hvězdičkou ve schématu. Jejich parametry nastavíme podle textu v odstavci Oživení a nastavení. Osazujeme nejprve rezistory pro displej, pak displej, T6 až T8, T1, D5; pak IO9, IO8, příslušné rezistory převodníku A/D a C5, D6, R20, OZ3 a k němu náležející rezistory. Pak nastavíme „nulu“ IO8 a osazujeme OZ2, diody a rezistory usměrňovače. OZ2 rovněž ještě před zapájením OZ1 „vynulujeme“. Pak osadíme OZ1 a rezistory, určující zesílení; nakonec jazýčková relé. Způsob nulování je popsán v odstavci Uvedení do chodu a nastavení: TI1 a TI2 připojíme předběžně delšími vodiči.

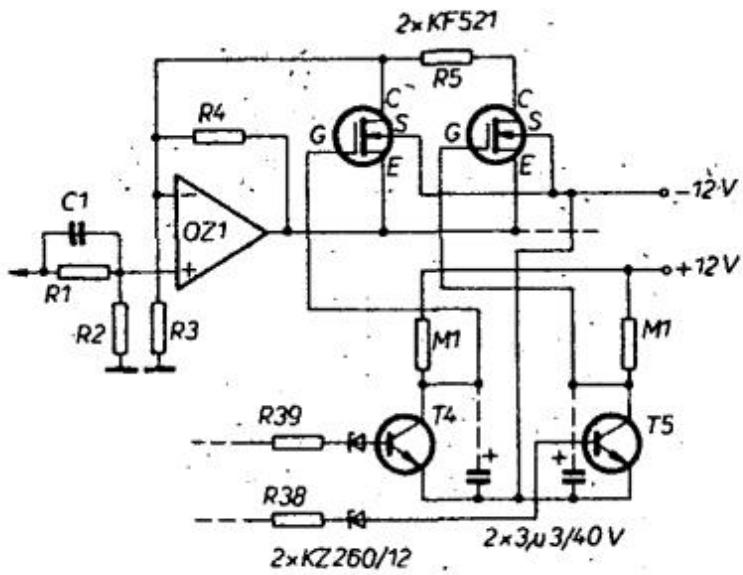
Po oživení hlavní desky osazujeme desku automatický obdobným způsobem, a to tak, abychom mohli zapájet příslušné spoje ze strany součástek (nejprve většinu IO a pak rezistory a kondenzátory). Desku automatiky nejprve připojíme delšími vodiči a uvedeme do chodu. Po zkontovalování a nastavení celé sondy můžeme zapájet spojovací vodiče a mikrospínače. Vodiče nejprve zapojíme do hlavní desky a navlékneme na ně rozpěrné trubičky o délce asi 3 mm (tvrdá „bužírka“). Pak nasuneme mikrospínače TI1 a TI2 a zapojíme je. Na ně nasadíme rozpěrné trubičky dlouhé 5 mm a do desky automatiky zapojíme nejprve vývody vinutí relé a pak spojovací vodiče. Pro zbylé spoje mezi oběma deskami použijeme tenké izolační kablíky. Tím je sonda při-



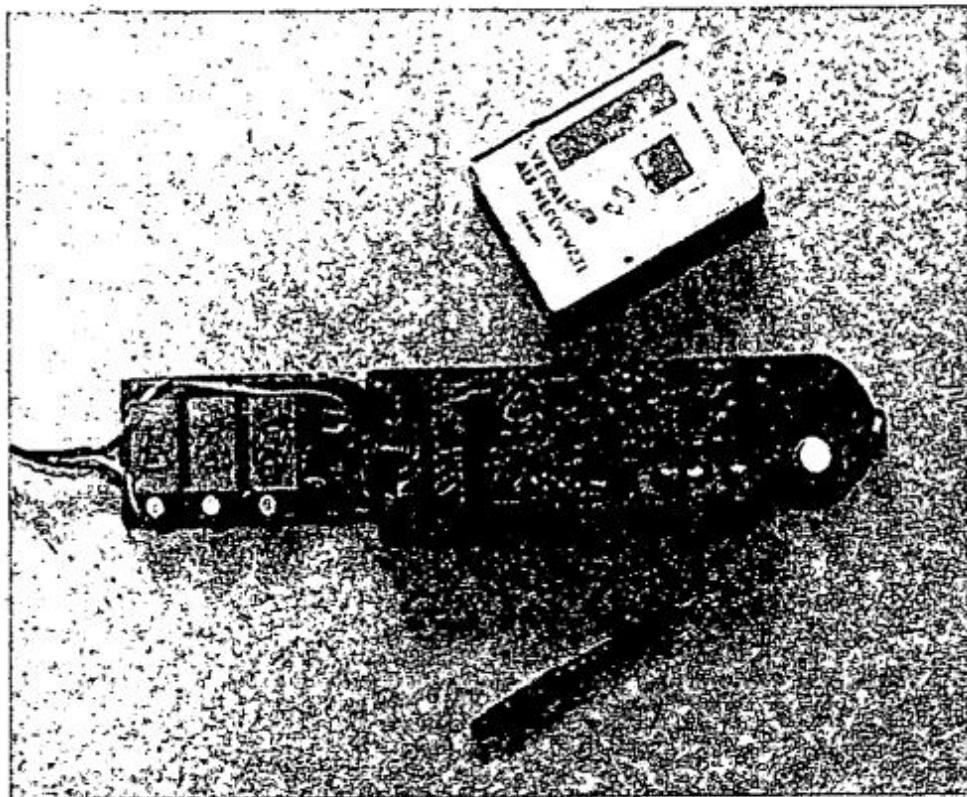
Obr. 5.
Ke konstrukci
sondy:
a - sestava
hrotu;
b - ochranný
kuprexititový dil



Obr. 6. Schéma zapojení napájecího zdroje pro sondu



Obr. 7. Schéma zapojení úpravy pro náhradu kontaktů jazýčkových relé tranzistory MOSFET



Obr. 8. Sonda s odejmutým krytem

pravena k vestavění do pouzdra, jehož přesné výrobní nákresy neuvádím, neboť závisí na možnostech amatéra. Já sám jsem pro jeho výrobu použil odřezky kuprextitu, který jsem v různých spájel a zlepil epoxidovou pryskyřicí. Po přestříkání tmelem a vybroušení jsem pro konečné nastříkání použil bílošedý sprej. Pro displej je udělaná šáchta se šikmými okraji, na její dno je vlepen kousek červeného organického skla. Jako přívod napájení slouží čtyřpramenný lepený plochý kablík. Hotová sonda bez krytu je na obr. 8, jedno z možných zapojení zdroje na obr. 6.

Uvedení do chodu a nastavení

Desky jsme postupně osazovali součástkami jednotlivých funkčních bloků v pořadí: displej, převodník A/D, usměrňovač, vstupní zesilovač, automatika rozsahů. V tomto pořadí desky rovněž oživujeme a nastavujeme (s výjimkou displeje a dekodéru, které není třeba oživovat).

U převodníku A/D je nutno nastavit nulu a rozsah. Rezistory R22 a R23 (součet jejich odpornů nesmí přesahovat 50 k Ω) nastavujeme nulu. Kompenzaci nastavujeme při osazeném OZ3 a zkratovaném C2. Rezistor, určující rozsah (R24), nahradíme drátovou spojkou. Trimrem 47 k Ω , zapojeným místo R22 a R23, nastavíme nulu. Nahradíme jej pak rezistorem, popř. paralelní a sériovou kombinací rezistorů.

Po osazení součástek usměrňovače přepojíme zkratovací spojku mezi „zem“ a spoj R7, R8. Nulu nastavujeme rezistory R53, R54; součet jejich odpornů by měl být asi 10 k Ω . Stejným způsobem nulujeme vstupní zesilovač, pouze s tím rozdílem, že vstup nezkratujeme a v obvodu zpětné vazby je zapojen jen R4. Nulovat musíme až po několika minutách po zapnutí – až se OZ1 teplotně ustálí.

Máme-li sondu vynulovánu, můžeme nastavit jednotlivé rozsahy. Jako první nastavíme rozsah 100 V. Místo kontaktu relé Re2 zapojíme drátovou spojku a na vstup připojíme zdroj známého ss napětí mezi 15 a 90 V spolu s paralelním multimeterem s přesností alespoň o rád lepší, než je

přesnost sondy. Udaj kontrolního měřidla se snažíme trimrem 6,8 k Ω zapojeným namísto R24, nastavit na displeji sondy. I toto nastavení provádíme až po teplotním ustálení. Trimr 6,8 k Ω nahradíme rezistorem. Rozsah 10 V nastavujeme změnou R5 při zkratovaném kontaktu re2 a rozsah 1 V změnou R4 při rozpojených kontaktech re1 i re2.

Kmitočtové pásmo proměříme generátorem a kontrolním multimetrem, u něhož známe přesnost měření v kontrolovaném kmitočtovém rozsahu, neboť např. multimeter Metra MT1 se odlišoval na kmitočtu 10 kHz od skutečného údaje asi o 10 %. Případné korekce lze provést změnou kapacity C1.

Po tomto nastavení oživujeme automatiku rozsahů. Desku osadíme všemi součástkami postupně tak, aby je bylo možno všechny zapájet i ze strany součástek (nejprve většinu IO, pak tranzistory a nakonec pasivní součástky). Automatiku prozatímne připojíme samostatně na zdroj napájecího napětí a změříme na horních koncích R28 a R27 vůči zemi. V prvém případě by tam mělo být asi 90 mV, ve druhém 0,9 V. Tato napětí určují úroveň přepínání rozsahu. Pro stabilitu automatiky je dobré, platí-li vztah $10U_{R28} = U_{R27}$. Tato napětí lze pozmenit změnou odporu R28, popř. R27. Dále zkontrolujeme osciloskopem impulsy s periodou asi 0,4 s na výstupu IO5. Tím je automatika při použití bezchybných součástek nastavena a oživena.

Můžeme tedy přikročit ke spojení obou funkčních celků. Prozatímne spojíme desky delšími vodiči a změnou vstupního ss nebo st napětí od 0,5 do 15 V zkontrolujeme přepínání rozsahů. Je možné, že při přechodu přes asi 8,8 až 9,5 V (závisí na U_{R28} a U_{R27}) se obvod automatiky zdánlivě rozkmitá, avšak po několikerém proběhnutí celého cyklu čítače se nastaví správný rozsah. To je způsobeno pomalou změnou napětí na C2. V praxi (pri měření) však bylo zjištěno, že uvedená skutečnost není tak dalece na závadu. Tím je nastavení sondy ukončeno.

Na závěr této části je nutno podotknout, že nastavení nuly i rozsahu IO8

závisí částečně na napájecím napětí +5 V, takže je vhodné přístroj nastavovat až s definitivním zdrojem. Naopak zdroj ± 12 V stabilitu a přesnost měření téměř neovlivňuje.

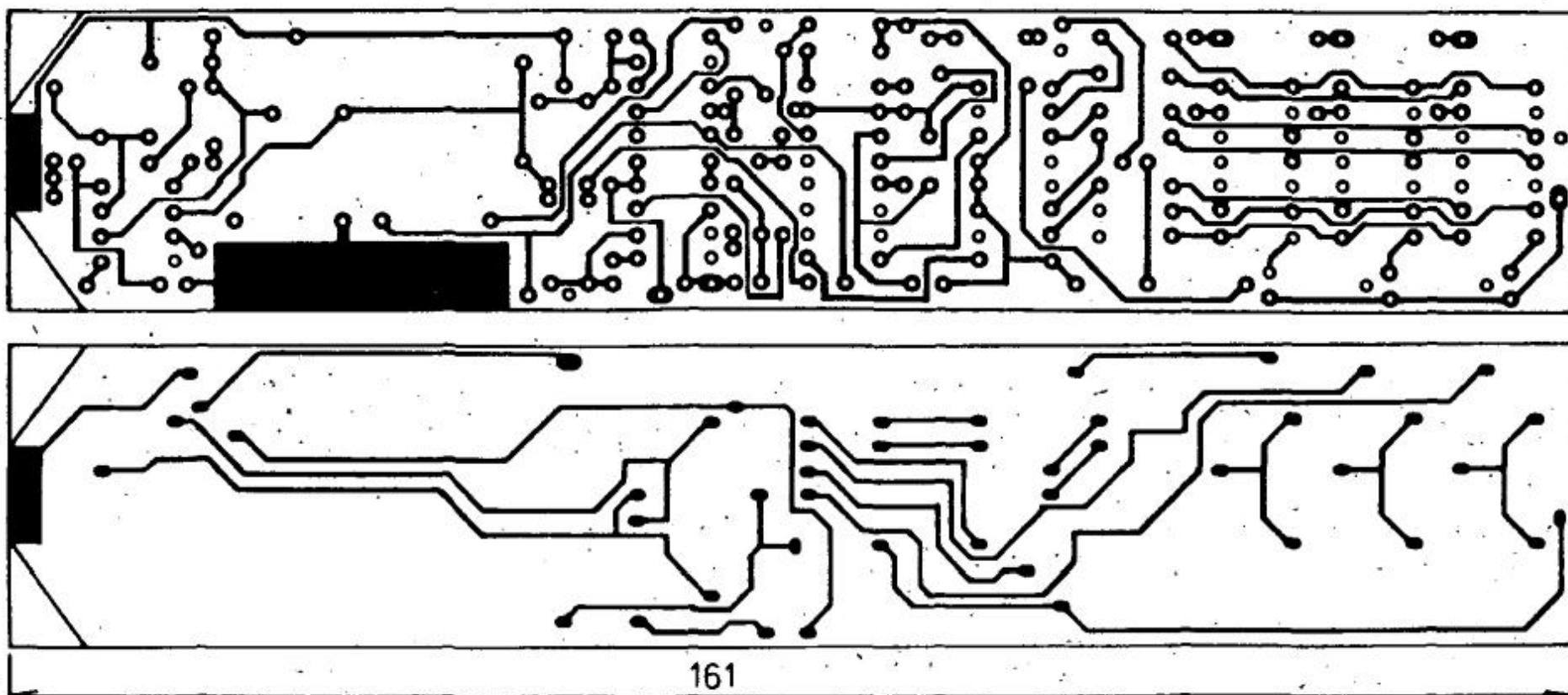
Možné úpravy

Náhrada jazýčkových relé POLAM VFNR tranzistory MOSFET typu KF521 je znázorněna na obr. 7. Úprava zapojení spočívá v přímé náhradě kontaktu tranzistory, přičemž je nutno upravit budiče. Tranzistory T4 a T5 jsou zapojeny mezi napětí ± 12 V, rezistory v obvodu kolektoru mají odpory 0,1 M Ω . Aby se tranzistory spolehlivě „zavřely“, mají do série s rezistory R38 a R39 v obvodu báze zapojeny Zenerovy diody KZ260/12. Při nastavování rozsahů je nutno počítat s odporem v zapnutém stavu asi 100 Ω , v rozpojeném asi 100 M Ω . Pro zatlumení při přepínání rozsahů lze mezi kolektory T4 a T5 a -12 V zapojit naznačené kondenzátory (tantalové „kapky“ 0,22 μ F až 2,2 μ F/40 V).

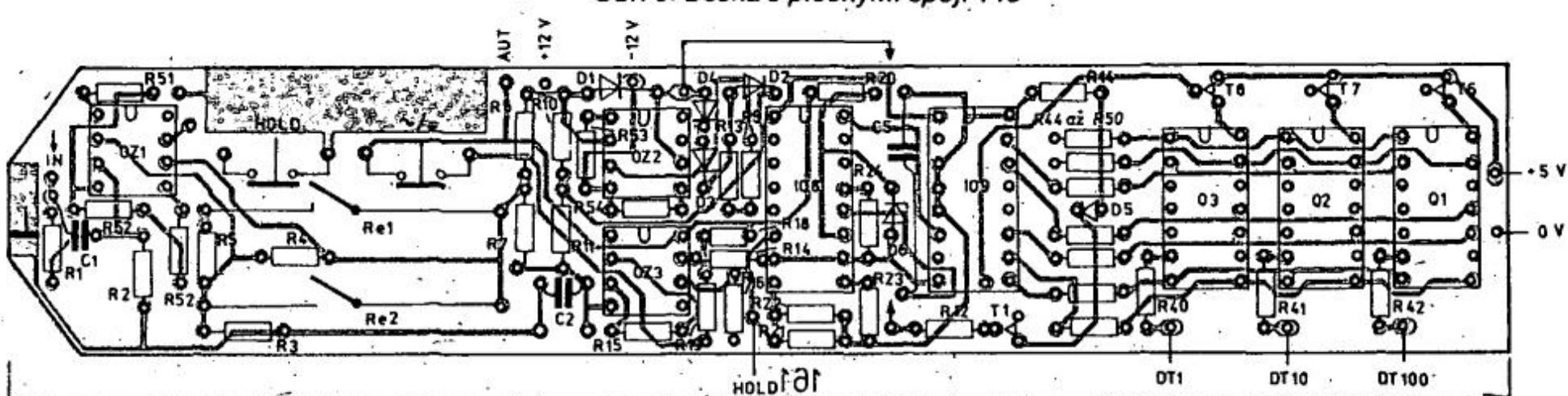
Další z nevýhod je nutnost použít tři napájecí napětí. Možným řešením je vestavět malý měnič 5 V/ ± 12 V přímo do sondy, přičemž však mohou vzniknout problémy s vzájemným odrůšením zdrojů.

Závěr

Popsaná sonda řeší obtíže spojené s měřením přímo v zařízeních, neboť umožňuje zjednodušit a usnadnit práci díky maximálnímu přiblížení místa čtení naměřeného údaje k měřenému bodu. Vestavěná automatika ulehčuje obsluhu a ovládání se redukuje pouze na přepínání ss a st, popř. blokování posledního naměřeného údaje. Také rozměry odpovídají profesionálně vyráběným sondám s obdobnými elektrickými parametry. Na druhé straně cena použitých součástek první jakosti nepřesáhne 850 Kčs, při použití některých součástek druhé jakosti lze bez újmy na parametrech a stabilitě pořídit sondu za méně než 600 Kčs,



Obr. 9. Deska s plášťovými zvoničkami T15



Obr. 10. Rozmístění součástek na desce

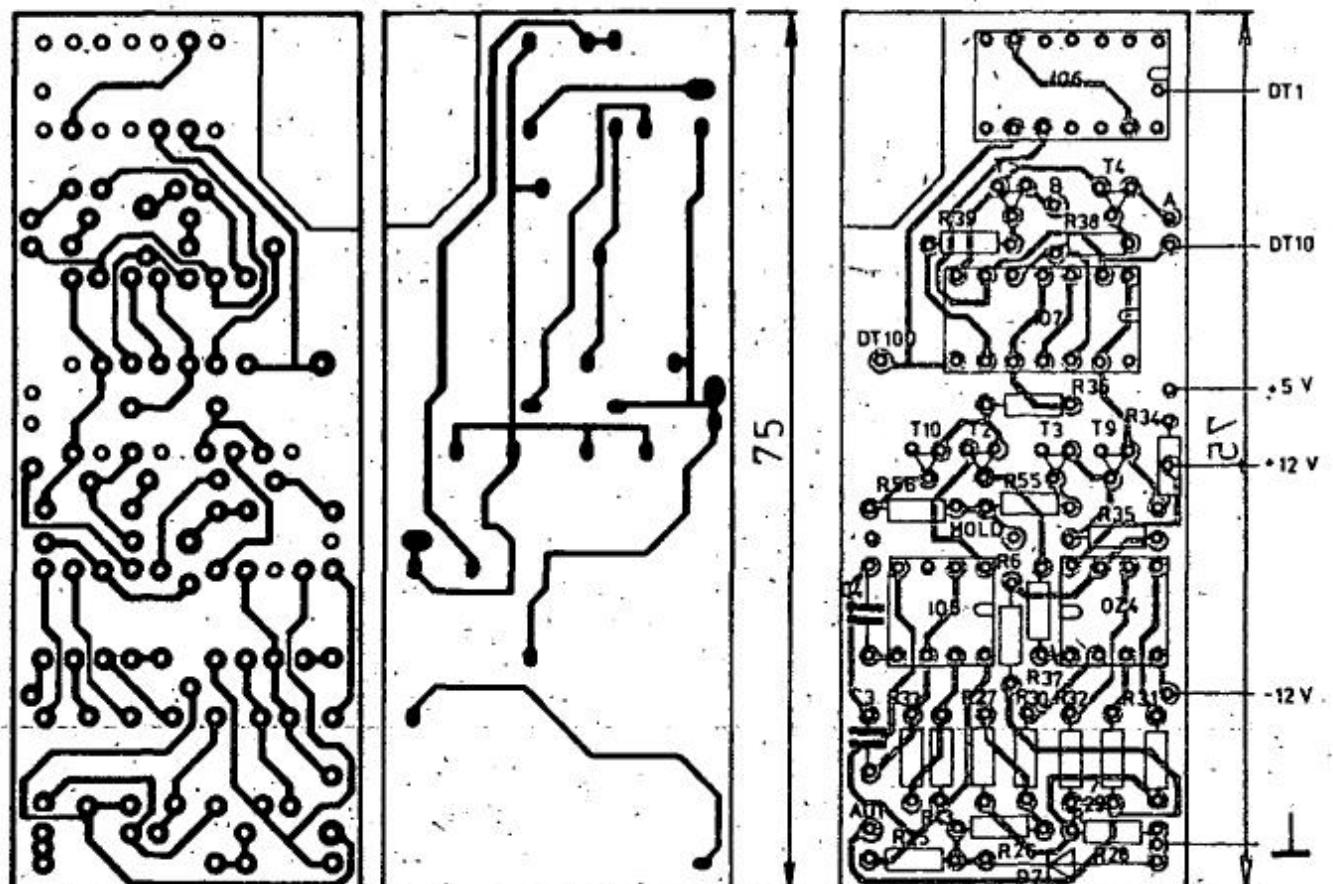
což je téměř cena logické sondy
TESLA.

Jsou zde ovšem i případné nedostatky – např. zakmitávání automaty, poměrně velká spotřeba z vnějšího zdroje, tři napájecí napětí, jen tři rozsahy atp. Tyto chyby však při použití sondy jako měřiče napětí při opravách zařízení komerčního typu nejsou tak závažné a jsou plně vyváženy zvětšením pohodlí při práci.

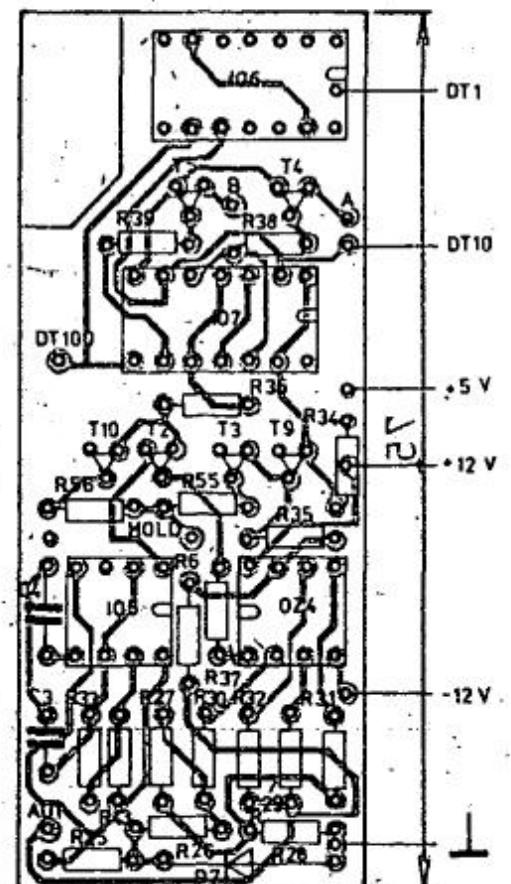
Seznam součástek

Rezistory (všechny kromě R6 TR 191; označené hvězdičkou vybrat s co nejpřesnějším odporem).

R1, R4	1 M Ω , viz text
R2, R3	10 k Ω , viz text
R5	98,9 k Ω , viz text
R6	2,7 M Ω , TR 212
R7	15 k Ω *
R8, R10	10 k Ω *
R9, R12,	
R13, R20	5,6 k Ω
R11	5 k Ω *
R14	220 Ω
R15, R34,	
R35	8,2 k Ω



Obr. 11. Deska s plošnými spoji T16 pro automatiku



Obr. 12. Rozmístění součástek na desce

R16, R38,		R40 až R42,		Q1 až Q3	LQ410
R39	1 kΩ	R44 až R50	150 Ω	T1 až T5,	
R17	1 kΩ*	R43	22 kΩ	T9, T10	KC148P
R18	1,2 kΩ*	R51 až R54	viz text	T6 až T8	BC177
R19	5,5 kΩ*			OZ1, OZ2	MAA741
R21	12 kΩ	<i>Kondenzátory</i>		OZ3, OZ4	MA1458
R22, R23,		C1	10 pF, WK 71113	IO5	BE555
R24	viz text	C2, C3	15 µF/6,3 V, TE 121	IO6	MH7400
R25	330 Ω	C4	15 nF, TK 782	IO7	MH7474
R26	2,7 kΩ	C5	0,33 µF, TC 215	IO8	C520D
R27	1,2 kΩ			IO9	D147
R28	130 Ω	<i>Polovodičové součástky</i>			
R29 až R33,		D1 až D4	KA206	<i>Ostatní</i>	
R55, R56	15 kΩ	D5	LQ1212, viz obr. 4	TI1, TI2	WK 55900
R36, R37	3,3 kΩ	D6, D7	KZ140	Re1, Re2	VFNR 817, viz text