

# Adaptér pH k multimetru

RNDr. Josef Hanzal

Konstrukce pH-metru nebyla již na stránkách časopisů o elektronice publikována řadu let. Protože podstatnou část přístroje - digitální měřidlo - má každý kutil doma, může tomu, kdo potřebuje měřit pH jenom občas, dobře posloužit následující adaptér. Jeho rozsah je 0 až 14 pH, rozlišení 0,01 pH, k napájení slouží baterie 12 V (typ 23A - odběr 1 mA). Jako čidlo pro měření pH slouží kombinovaná skleněná elektroda.

Aniž bychom zabředali do nezáživné teorie, spokojíme se s konstatováním, že tato elektroda je zdroj napětí s velkým vnitřním odporem (kolem 100 MΩ). Při pH 7 poskytuje nulové napětí, s rostoucím pH toto napětí lineárně klesá se strmostí 59 mV na jednotku pH, čili při pH 4 poskytuje napětí asi +177 mV, při pH 11 kolem -236 mV.

Strmost elektrody se mění s teplotou a také vlivem stárnutí. Zrovna tak nulové napětí neposkytuje elektroda vždy přesně při pH 7,00; avšak řekněme od pH 6 do pH 8. Protože tyto charakteristiky jsou pro každou elektrodu trochu jiné a v čase proměnné, je adaptér vybaven dvěma trimry, které umožní nastavit zesílení a ofset podle roztoků se známým a stabilním pH - podle kalibračních pufrů.

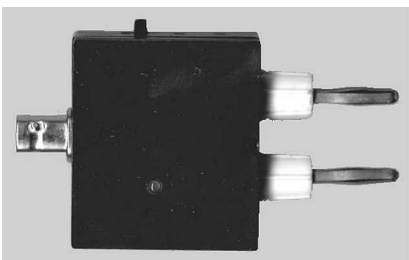
Adaptér převádí pH v rozsahu 0 až 14 na napětí v rozsahu 0 až 1,4 V. Toto napětí měříme digitálním voltmetrem na rozsahu 2 V. Pozorného čtenáře již nyní napadne, že umístění desetiné tečky nebude správné, bude mezi desítkami a jednotkami pH, nikoliv mezi jednotkami a desetinnými. To je pravda, avšak při příležitostném použití lze tento nedostatek tolerovat, jak se říká: „Za málo peněz...“

Další funkcí adaptéru je přizpůsobení velkému vnitřnímu odporu elektrody, což zajišťuje operační zesilovač U1 s tranzistorem FET na vstupu. Abychom omezili vliv svodového odporu desky s plošnými spoji, není neinvertní vstup operačního zesilovače zapájen do desky, ale je vyhnut nad ní (obr. 3 - detail kondenzátoru), druhý vývod kondenzátoru C1 je k němu

připájen a rezistor R7 je připojen přímo mezi vstupní konektor a spojení U1 a C1. Přestože schéma na obr. 1 vypadá poněkud zamotaně, žádná součástka není samoučelná. Zjednodušené schéma je na obr. 2, napětí jsou udána vzhledem ke spoji rezistorů R2 a R3, který tvoří signálovou zem.

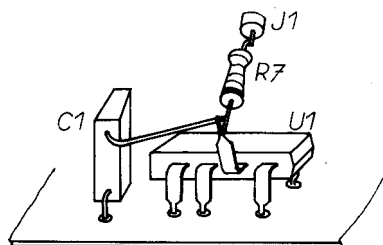
Elektroda se připojuje ke konektoru BNC J1, R7 a C1 filtrují rušivé střídavé napětí, které se může naindukovat do přívodního kabelu. Operační zesilovač mění své zesílení v rozsahu 1,5 až 2 podle nastavení trimru P2. Tím se přizpůsobuje směrnici elektrody v rozsahu od 50 do 66 mV/pH. Trimr P1 mění napětí na kladné svorce multimetru a tím zvětšuje nebo zmenšuje údaj měřidla, aniž by ovlivňoval zesílení. Protože invertující vstup OZ je opeň o stejné napětí jako zdroj signálu na neinvertní vstup, jsou oba trimry (při vhodné zvoleném pH kalibračních pufrů) na sobě nezávislé. U2 - TL431 je zdroj konstantního napětí 2,5 V, svítivá dioda D1 indikuje zapnutí adaptéru a hlavně posunuje referenční napětí U2 o 1,5 V směrem k zápornému pólu napájecího napětí. Tím je zaručeno, že napětí na výstupu U1 nedosáhne saturační úrovně. Kondenzátory C2 a C3 zajišťují stabilitu operačního zesilovače. Zapojení nemá žádné záludnosti, pouze u rezistorů je žádoucí dodržet toleranci 1 %. Trimry nastavujeme teprve před měřeními při kalibraci elektrody.

Deska s plošnými spoji (obr. 4) je připravena pro vestavbu do krabičky SEB-2A, nicméně mechanické uspořádání není kritické. Vstupní konektor

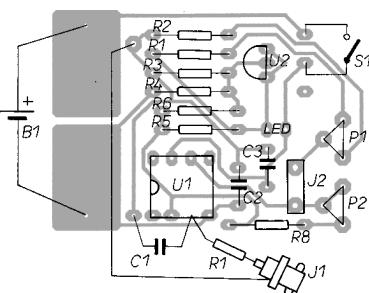
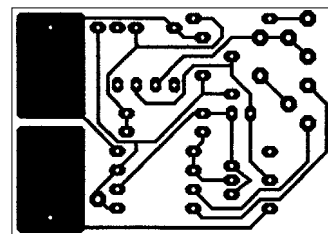


a výstupní banánky jsou zašroubovány do protilehlých stran krabičky. Banánky mají zkrácenou horní část, jejich rozteč je přizpůsobena použití multimetru, v mém případě 19 mm. Kontakty k baterii 12 V jsou vyrobeny z vývodů staré ploché baterie a jsou připájeny k desce s plošnými spoji a ohnuty podle obr. 5. Ve víčku krabičky je vlepen kousek molitanového těsnění do oken, který přidržuje baterii. Desku lze upevnit v krabičce buďto lepidlem, nebo pouze namáchnout po opílování na přesný rozměr.

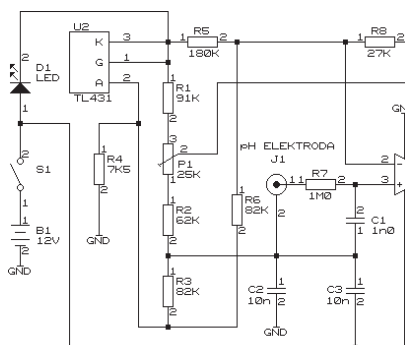
Před prvním použitím je pH elektrodu většinou třeba aktivovat podle pokynů výrobce. Aktivace se děje máčením v destilované vodě nebo pufru s pH 7 po dobu 24 hodin. Po aktivaci je třeba elektrodu kalibrovat. Ke kalibraci budeme potřebovat dva pufrů,



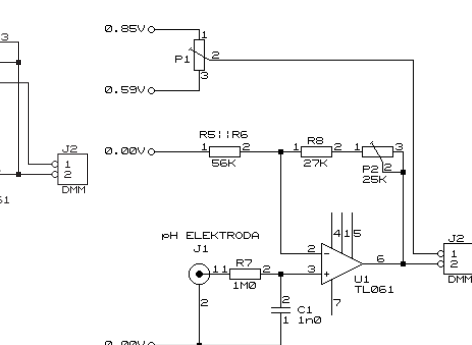
Obr. 3. Zapojení neinvertního vstupu



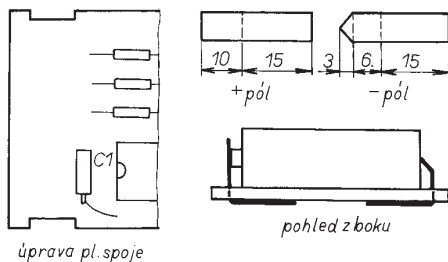
Obr. 4. Deska s plošnými spoji



Obr. 1. Schéma zapojení



Obr. 2. Zjednodušené schéma zapojení



Obr. 5. Kontakty pro baterii

kteří je dobré volit tak, aby očekávané pH vzorků leželo mezi pH pufrů. Také teplota vzorků a pufrů by měla být přibližně shodná.

Elektrodu ponoříme do pufru s pH blízkým 7 a trimrem P1 nastavíme údaj multimetru na pH pufru (0,700 V pro pufr 7,00). Poté elektrodu opláchneme, ponoříme do pufru s pH 4 (nebo 10) a trimrem P2 nastavíme tento údaj na displeji. Tím je kalibrace skončena, můžeme měřit neznámé vzorky. Na otázku, jak dlouho kalibrace vydrží, není jednoznačná odpověď. Záleží na kvalitě a stáří elektrody, požadované přesnosti, změnách teploty, charakteru vzorků, způsobu přechovávání a v neposlední řadě také na počtu a tvaru slunečních skvrn. Nejlépe je vyzkoušet stabilitu kalibrace experimentálně. Elektrodu se většinou doporučuje uchovávat v destilované vodě, pokud ji výrobce dovoluje po dů-

kladném opláchnutí uchovávat v suchém stavu, je před dalším měřením třeba nové aktivace.

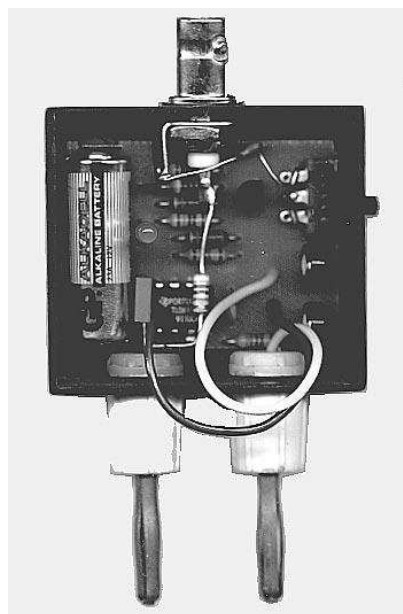
pH elektrody a kalibrační pufrů lze zakoupit u obchodníků s laboratorními přístroji nebo přímo u výrobců. Cena běžné tuzemské elektrody se pohybuje kolem 900 až 1000 Kč (bez 5 % DPH), pufrů kolem 150 Kč.

Následující výčet dodavatelů si neklade za cíl být vyčerpávající (dobře poslouží též Zlaté stránky): Monokrystaly Turnov - 0436/25 857, Labio Praha - 02/36 80 44, Theta 90 Praha - 02/81 86 33 89, MK Servis Praha - 02/20 61 13 49. Poslední dodavatel nabízí též „pufrů v prášku“, které se nekazí jako hotové roztoky.

Případné dotazy zašlete autorovi na [snail@iol.cz](mailto:snail@iol.cz).

### Seznam součástek

R1	91 kΩ, metal. 1 %
R2	62 kΩ, metal. 1 %
R3, R6	82 kΩ, metal. 1 %
R4	7,5 kΩ, metal. 1 %
R5	180 kΩ, metal. 1 %
R7	1 MΩ, metal. 1 %
R8	27 kΩ, metal. 1 %
P1, P2	25 kΩ, trimr 6 mm
C1	1 nF, polystyrénový
C2, C3	10 nF, keramický
U1	TL061



Obr. 6. Pohled dovnitř adaptéru

U2	TL431
D1	LED červená
B1	baterie 12 V, typ 23A
J1	konektor BNC do panelu
J2	banánky
S1	miniaturní posuvný spínač
krabička	U-SEB2A,
kombinovaná	pH elektroda, pufrů

## Číslicové řízení zisku zesilovače v rozsahu ±40 dB

Pro vytvoření číslicově řízeného zesilovače se většinou užívají zesilovače s programovatelným ziskem PGA (= Programmable-gain amplifier). Jejich nevýhodou jsou velké, binárně či dekadicky odstupňované skoky zesílení např. 1, 2, 4, 8 nebo 1, 10, 100, 1000. Pokud je třeba většího rozlišení, lze k tomu přistoupit různými způsoby. Jedna z možností (obr. 1) je zapojení zesilovače, jehož zisk lze měnit v rozsahu ±40 dB s rozlišením 1,25 dB. Tento obvod pracuje, jak ukazuje tab. 1, v závislosti na 6bitovém řídicím slově D5..D0 jako zesilovač i zesilovač. Použit může být jako digitálně řízený nf předzesilovač, nebo pro amplitudovou úpravu signálu před převodníkem A/Č.

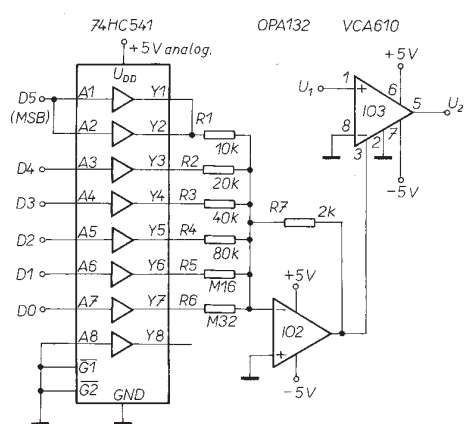
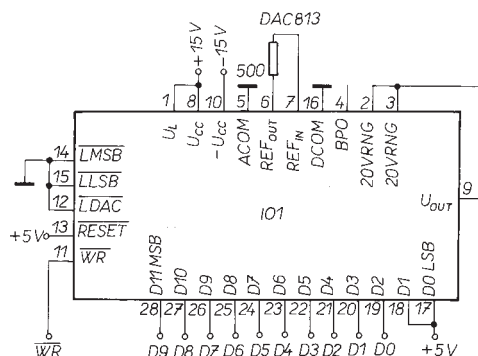
Základem obvodu je napětím řízený zesilovač IO3 VCA610, který zesiluje rozdílový signál mezi vstupy 1, 8 v závislosti na velikosti napětí na vstupu  $V_c$  se zesílením daným exponenciálním vztahem  $A = 10^{-2(V_c + 1)}$ . Pro zisk vyjádřený v dB platí lineární vztah  $G = -40 - 40 V_c$ . Pro převod 6bitového číslicového řídicího slova na analogové napětí je použit jednoduchý převodník Č/A tvořený 8bitovým linkovým budičem IO1. Ten přivádí na vstupní rezistory R1 až R6 8bitového invertoru IO2 s binárně odstupňovanými odpory (podle stavu jednotlivých bitů řídicího slova) napětí 0 nebo +5 V. Výstupní impedance výstupů IO1 je asi 50 Ω. Pro zmenšení chyby vlivem nejmenšího z odporů - R1 je tento rezistor připojen na dvě paralelně spojená hradla. Při použití 1 % nebo přesnějších rezistorů je výstup převodníku monotónní. Chyba není příliš ovlivněna ani zesilovačem IO2, který má malý

Tab. 1. Zesílení a zisk zesilovače v obr. 1. pro různá řídicí slova

Řídicí slovo	U [V]	Zesílení -	Zisk [dB]
000000	0	0,01	-40
010000	-0,5	0,1	-20
100000	-1	1	0
110000	-1,5	10	20
111111	-1,969	86,6	38,75

ofset a díky vstupům s tranzistory FET i malé vstupní proudy. Při volbě odporu zpětnovazebního rezistoru  $R7 = R1/5 = 2 \text{ k}\Omega$  se napětí  $V_c$  mění od 0 do -1,96875 V a největší zisk je o nejméně významný bit (LSB = 80 dB/2<sup>6</sup>) menší než 40 dB, tedy 38,75 dB.

Pokud je třeba větší přesnosti a rozlišení, lze užít 10bitový DAC (samotný IO1 je 12bitový) zapojený podle obr. 2. Pomocí zapojení vývodů 2, 3 a 9 je zajištěno výstupní napětí převodníku 0 až 10 V. Řídicí slovo se zapisuje do vnitřního registru IO1 přivedením signálu /WR na úroveň log 0. Výstupních 10 V převodníku je invertorem IO2 převáděno na 0 až -2 V. Rozlišení zisku je v tomto obvodu 0,078 dB (= 80 dB/2<sup>10</sup>).

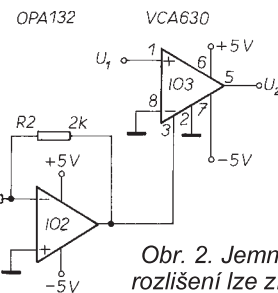


Obr. 1. Jednoduchým převodníkem Č/A a napětím řízeným zesilovačem lze řídit zisk v rozsahu 80 dB

V zapojeních použité integrované obvody jsou z produkce firmy Burr-Brown.

JH

[1] Shill, M: Digitally control gain over a ±40 dB range. EDN 12. září 1997, s. 106, 108.



Obr. 2. Jemnější rozlišení lze získat použitím 10 bitů z 12bitového převodníku Č/A