

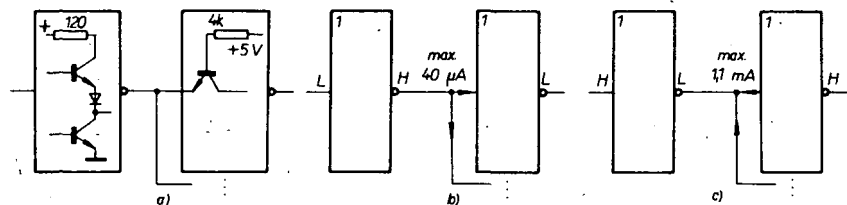
# PROUDOVÁ SONDA

Karel Spáčil

Při ožiování a opravách zařízení s obvody TTL se vyskytne často situace, kdy výstup hradla má být v logické „jedničce“, tzn. že na něm má být napětí nejméně 2,4 V, a přitom logickou sondou, osciloskopem, popř. voltmetrem zjistíme, že je tato úroveň nižší. Tato vada může být způsobena buď hradlem samotným, nebo obvody, které jsou na tento výstup připojeny, což v obou případech znamená hledat zkrat, ať již úplný, nebo částečný. Dosud se tato situace řeší ve většině případů postupným přerušováním plošných spojů, čímž se odpojí část obvodů a zjišťuje se, zda závada zmizela. Samozřejmě nastávají také situace, kdy na výstupu hradla má být logická „nula“, tzn. napětí nejvýše 0,4 V (u obvodů u nás běžných), je však vyšší. Svědčí to opět o částečném nebo úplném zkratu v obvodu napájecího napětí. Po nalezení závady se musí přerušené spoje opět propájet. Tím se poškozuje plošný spoj, zvláště u spojů širokých 0,5 mm. Tento způsob oprav je kromě toho i zdlouhavý, neboť na výstupu hradla může být zapojeno až třicet dalších obvodů. Po několika takovýchto opravách je deska nepoužitelná. Proto se hledají způsoby, jak zjistit místo zkratu nedestruktivně. Pro nás jsou dostupné dvě metody: a) měření úbytku napětí na plošném spoji, b) měření protékajícího proudu pomocí měřicího transformátoru. Myslím si, že je vhodnější způsob druhý. Proto byla navržena sonda, která umožňuje porovnávací metodou nalézt ve většině případů místo zkratu bez ničení plošného spoje.

## Požadavky na proudovou sondu

Proudové poměry v logické síti bez závad jsou znázorněny na obr. 1. Z uvedených obrázků vyplývá, že sonda by měla být schopna indikovat proudy větší než 1 mA, abychom mohli zjistit i částečné zkraty.



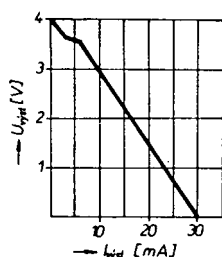
Obr. 1. Proudové poměry v logické síti

Z výstupní charakteristiky (obráz. 2) členu NAND (ve stavu H) vyplývá, že výstupní napětí se zmenší pod 2,4 V teprve při výstupním proudu asi  $I_{\text{vst}} = 13 \text{ mA}$ , což by znamenalo, že postačí, bude-li citlivost sondy asi 10 mA. V případě, že na daný výstup bude připojeno více částečně vadných obvodů, musí být citlivost sondy větší (sonda HP typ 547 A má citlivost 1 mA až 1 A).

Je vhodné, aby napájecí napětí bylo +5 V (není zapotřebí zvláštního zdroje) při minimálním proudovém odběru.

## Zapojení přístroje

Blokové schéma přístroje je na obr. 3, schéma zapojení na obr. 4.



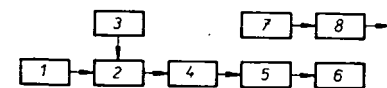
Obr. 2. Výstupní charakteristika logického členu TTL pro výstup ve stavu H

## Snímání čidla (1).

Je vlastně zjednodušený transformátor. Je tvořen snímací cívkou s jádrem tvaru U. Po přiložení čidla k měřenému místu tvoří vodič (plošný spoj), kterým protéká neznámý proud, primární vinutí s jedním závitem a cívka čidla sekundární vinutí.

## Obvod úpravy signálu (2).

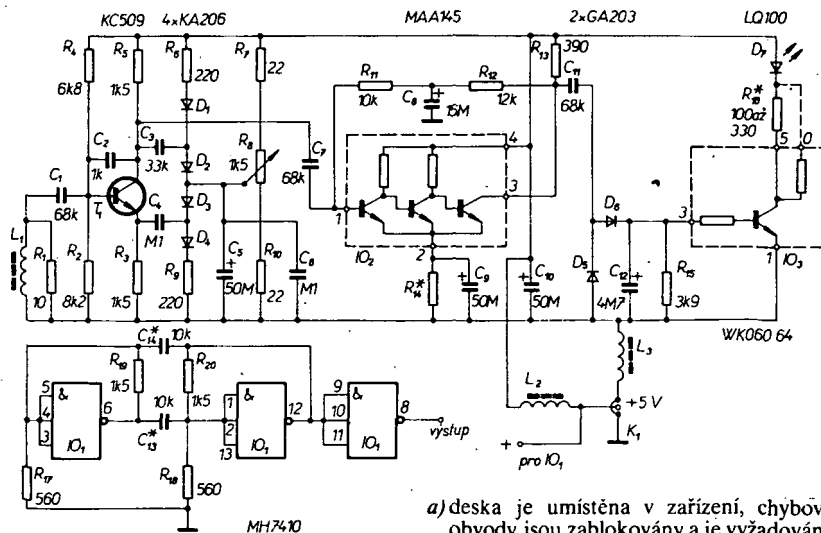
Tento blok tvoří stupeň s tranzistorem  $T_1$  v běžném zapojení. Odpory  $R_2$ ,  $R_4$  určují pracovní bod tranzistoru  $T_1$ . Kondenzátorem



Obr. 3. Blokové schéma sondy: 1 – snímací čidlo, 2 – obvod úpravy signálu, 3 – obvod regulace zesílení, 4 – zesilovač, 5 – usměrňovač, 6 – indikátor, 7 – generátor, 8 – oddělovací stupeň

## Princip měření

Zkrat zjistíme obvykle nejprve osciloskopem, logickou sondou nebo voltmetrem při ožiování zařízení. Abychom mohli použít sondu k jeho lokalizaci, musíme do vadné větve vnést střídavý proud, který lze proudovou sondou sledovat. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby:



Obr. 4. Schéma zapojení sondy

a) deska je umístěna v zařízení, chybové obvody jsou zablokovány a je vyžadována činnost, při níž ve vadné větvi vznikají proudové impulsy. Tento případ je však méně častý, u některých případů nemožný.

Vybrali jsme na obálku **AR**

**Z KONKURSU AR a**

b) deska je připojena na napájecí napětí (vsazena do zkoušeče logických desek nebo podobných zařízení, popř. jen připojena na zdroj +5 V) a do vadné větve vnucujeme proudové impulsy z generátoru, vestavěného v proudové sondě.

Výstup generátoru lze spojit přímo s vadnou větví, protože jedno hradlo v IO lze zkratovat. Proudovou sondu přiložíme ke zkoumávanému spoji a potenciometrem nastavíme takovou citlivost sondy, při níž indikační prvek (dioda LED) žhne. Sondou pak postupujeme po spoji a sledujeme, kde je proud větší. Tak lze vysledovat, kam teče zkratový proud.

Při zkratu napájecího napětí může nastat případ, kdy nestačí proud z generátoru (30 mA do zkratu); pak je nutno impulsy proudové zesílit, nebo použít jiný zdroj impulsů.

Možné typy zkratů jsou znázorněny na obr. 6 a) až g). Dalším případem může být zkrat mezi spoji na desce. Na obr. 6 a) až f) jsou běžné typy poruch, které lze poměrně snadno nalézt sondou. V případě g) je třeba dbát na vhodné nastavení výstupů hradel A, B. Obdobným případem je zapojení hradel s otevřenými kolektory. Občas se vyskytují i kombinace těchto závad. Lze je opět nalézt sondou bez přerušování plošných spojení, ale měření je zdlouhavější.

### Konstrukce sondy

Při stavbě sondy bylo využito pouzdra od logické sondy, vyráběné n. p. TESLA Brno (sondu lze však umístit i do jiných pouzder, např. do pouzdra na kartáček na zuby, popř. lze podobné pouzdro zhotovit z jednostranně plátovaného kupřextitu). Na obr. 7 uvádím pro všeobecnou informaci sestavu sondy s hlavními rozměry. Na původním pouzdru bylo nutno udělat drobné úpravy. Protože většina zájemců o stavbu nebude mít toto pouzdro k dispozici, nejsou podrobnosti o úpravách v článku uvedeny.

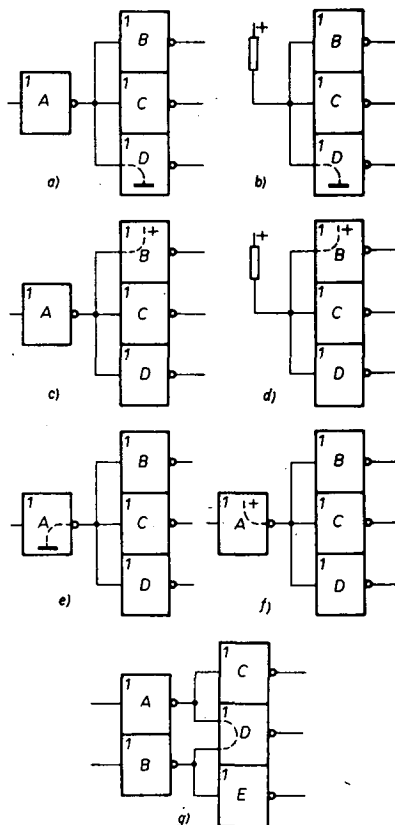
Téměř všechny součástky sondy jsou umístěny na desce s plošnými spoji O21 (obr. 8). Desku je vhodné osazovat v tomto pořadí: R, D, proměnný R, T, IO, HIO, C, ostatní; R<sub>14</sub> a C<sub>9</sub> před ožívováním neosazujeme. Pro diodu LQ100 je R<sub>16</sub> = 0. Nakonec připojíme napájecí kablík (na desce je stínění připojeno na -, střed na +) a zapojíme snímací čidlo.

Při zhotovování čidla postupujeme takto: toroid broušením přerušíme tak, aby mezera byla asi 0,5 mm (obr. 9). Navineme vinutí s vývody dlouhými asi 5 cm. Trubičku, v níž je uložen toroid, na jednom konci částečně zmáčkeme do elipsoidního tvaru. Z této strany prostrčíme vývody vinutí, kápneme lepidlo a vsuneme toroid s vinutím tak, aby

asi polovina toroidu byla v trubičce. Lepidlo by mělo vytvořit kolem celého toroidu obal. Po zatvrdnutí a případném dolepení obrousíme čidlo a na trubičku navlékneme ohebnou izolační trubičku (bužírku).

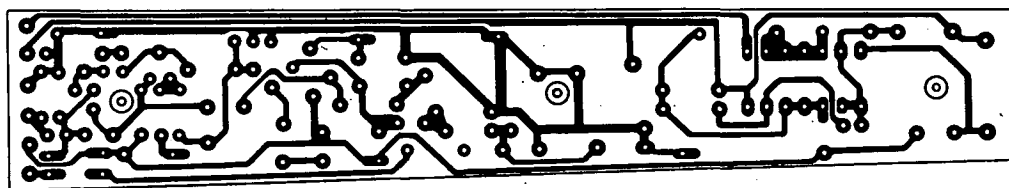
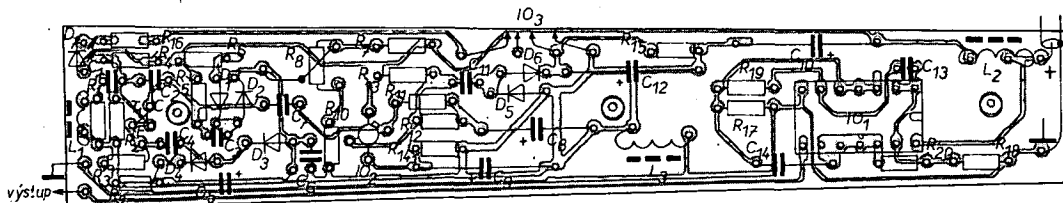
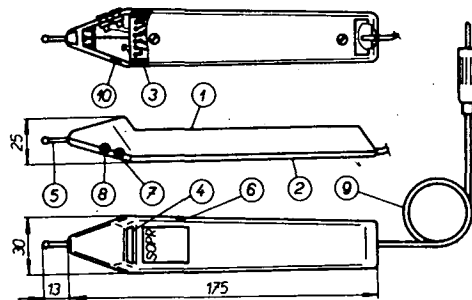
### Oživení sondy

Nejdříve zkontrolujeme proudy, které je sonda schopna indikovat. K tomu použijeme přípravek podle obr. 10. Z generátoru impul-



Obr. 6. Typy poruch v logické síti

Obr. 7. Sestava sondy: 1 – horní část pouzdra, 2 – dolní část, 3 – deska plošných spojí se součástkami, 4 – kryt z organického skla, 5 – čidlo, 6 – regulátor citlivosti, 7 – zdička pro výstup, 8 – prizemňovací zdička, 9 – napájecí kablík s konektorem, 10 – zátky



Obr. 8. Rozmístění součástek a deska s plošnými spoji O21

### Seznam součástek

Odpory (TR 191, není-li uvedeno jinak)

R <sub>1</sub>	10 Ω
R <sub>2</sub>	8,2 kΩ
R <sub>3</sub> , R <sub>5</sub> , R <sub>19</sub> , R <sub>20</sub>	1,5 kΩ
R <sub>4</sub>	6,8 kΩ
R <sub>6</sub> , R <sub>9</sub>	220 Ω
R <sub>7</sub> , R <sub>10</sub>	22 Ω
R <sub>8</sub>	1,5 kΩ, trimr, TP 018
R <sub>11</sub>	10 kΩ
R <sub>12</sub>	12 kΩ
R <sub>13</sub>	390 Ω
R <sub>14</sub>	vinutý, viz text
R <sub>15</sub>	3,9 kΩ
R <sub>16</sub>	100 až 330 Ω, viz text
R <sub>17</sub> , R <sub>18</sub>	560 Ω

Kondenzátory

C <sub>1</sub> , C <sub>7</sub> , C <sub>11</sub>	68 nF, TK 782
C <sub>2</sub>	1 nF, TK 724
C <sub>3</sub>	33 nF, TK 782
C <sub>4</sub> , C <sub>6</sub>	0,1 μF, TK 782
C <sub>5</sub> , C <sub>9</sub>	33 μF, TE 121 (50 μF, TE 981)
C <sub>8</sub>	15 μF, TE 121 (20 μF, TE 981)
C <sub>10</sub>	50 μF, TE 152 (TE 981)

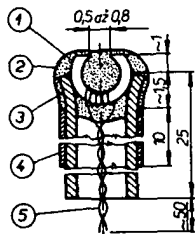
C <sub>12</sub>	4,7 μF, TE 121 (5 μF, TE 984)
C <sub>13</sub> , C <sub>14</sub>	10 nF (15 nF), TK 782

Cívky

L <sub>1</sub>	čidlo: 60 z drátu CuL o Ø 0,04 mm, toroid o Ø 2,5 mm hmota H 22 (viz text)
L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub>	tlumivka: 10 z drátu CuEH o Ø 0,3 mm, toroid o Ø 10 mm hmota N 02

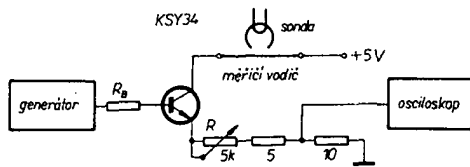
Polovodičové součástky

D <sub>1</sub> až D <sub>4</sub>	KA206
D <sub>5</sub> , D <sub>6</sub>	GA203
D <sub>7</sub>	LQ100
T <sub>1</sub>	KC509
IO <sub>1</sub>	MH7410
IO <sub>2</sub>	MAA145
IO <sub>3</sub>	WK 060 64



Obr. 9. Konstrukce čidla: 1 – toroid, 2 – lepidlo EPOXY nebo LEPOX, 3 – mosazná (měděná) trubka o  $\varnothing$  3 mm (2,5 mm) a délce 25 mm, 4 – izolační trubka (bužírka) o  $\varnothing$  3 mm a délce 1 cm, 5 – drát CuL o  $\varnothing$  0,04 mm (potřebná délka asi 60 cm)

sů budíme tranzistor KSY34 přes vhodný odpor  $R_B$  (podle výstupního napětí generátoru) obdélníkovými impulsy a kmitočtu asi



Obr. 10. Zapojení přípravku k ožiování

100 kHz se střídou 1 : 1. Proud v měřicím vodiči lze měnit proměnným odporem  $R$  a jeho velikost lze zjistit z napětí, snímaného na odporu 10  $\Omega$  a zobrazeného na osciloskopu. Rozsah citlivosti lze měnit odpory  $R_1$  a  $R_{10}$ . Má-li  $IO_2$  velké zesílení a zapojení kmitá, je nutno zapojit odpor  $R_{14}$ ; jeho odpor (0,1 až 5  $\Omega$ ) zjistíme zkusem. Přitom je nutno připojit kondenzátor  $C_9$ . Nakonec zkontrolujeme osciloskopem výstupní signál multivib-

rátoru (měl by mít kmitočty asi 100 kHz a střidu 1 : 1). Kmitočty změním změnou  $C_{13}$ ,  $C_{14}$ , jsou-li odchylky větší než 100 %.

### Dosažené výsledky

Citlivost sondy:

Měřicí kmitočet	Maximální citlivost	Minimální citlivost	Rozsah regulace
10 kHz	3 mA	250 mA	1 : 83
100 kHz	2 mA	150 mA	1 : 75
500 kHz	1,5 mA	80 mA	1 : 53

Napájecí napětí: +5 V.  
Odebíraný proud: bez indikace 45 mA,  
s indikací 65 mA.  
Plocha čidla: odpovídá průměru asi 4 mm.  
Rozměry sondy: 28 x 25 x 170 mm (+ 13 mm hrot).  
Hmotnost: 75 g.

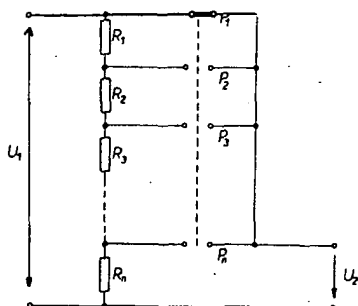
# Korigovaný dělič napětí

Ing. Karel Kuchta

Nedílnou součástí každého měřicího přístroje je přepínač rozsahů. U běžných voltmetrů jsou to přepínatelné předřadné odpory, u elektronických přístrojů je to napěťový dělič buď jednoduchý, nebo dělený do dvou sekcí. Ačkoli teorie ekvivalentního obvodu u ampérmetrů (Ayrtonův bočník) je podrobně zpracována a návrh tohoto bočníku nalezneme v mnoha učebnicích, teorie a návrh několikarozsahového děliče napětí je dosti opomíjena. Přitom se podobné obvody nevyskytují jen v měřicích přístrojích, ale i v zařízeních spotřební elektroniky či průmyslové elektroniky. Účelem tohoto článku je odvození obecného postupu návrhu několikarozsahového děliče napětí korigovaného pro danou zátěž a rozbor důsledků změn parametrů jednotlivých prvků obvodu.

### Nekorigovaný dělič

Schéma obecného děliče napětí s  $n$  rozsahy je na obr. 1. Prozatím neuvažujeme vliv zátěže, připojené na napětí  $U_x$ . K návrhu je nutno znát především požadované dělicí poměry  $P_i$  ( $i = 2 \dots n$ ;  $P_1 = 1$ ), jak plyne z téhož obrázku. To ovšem k návrhu obvodu nestačí, protože počet zadaných veličin je  $n - 1$ , kdežto počet neznámých  $R_i$  je  $n$ . Lze tedy zkonstruovat nekonečné množství děličů s předepsanými rozsahy  $P_i$ . Při volbě další „vstupní“ veličiny je několik možností, jejichž účelnost je v tomto případě rovnocenná. Můžeme např. volit  $R_n$  (pro zachování minimálního předepsaného výstupního odporu děliče), nebo  $R_1$  (pro dosažení předepsaného minimálního vstupního odporu děli-



Obr. 1. Obecný dělič napětí

če). Obě tyto možnosti jsou velmi lákavé, neboť můžeme přímo určit jednu neznámou. Jak bude ukázáno v dalším odstavci, je velmi výhodné volit jako  $n$ tou proměnnou součet všech odporů v děliči

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad [1]$$

Tuto hodnotu lze volit například s ohledem na vstupní odpor děliče, případně na zvolený proud, který bude děličem procházet. Pak podle Théveninova teorému platí

$$P_n = \frac{R_n}{R}$$

a odtud

$$R_n = P_n R \quad [2]$$

Označíme-li

$$R'_i = R_i + R_{i+1} + \dots + R_n = \sum_{j=i}^n R_j \quad [3]$$

(tj. součet všech odporů děliče „pod“  $i$ tou odbočkou), pak platí

$$R'_i = P_i R \quad [4]$$

a příslušné odpory v děliči jsou

$$R_i = R'_i - \sum_{j=i+1}^n R_j \quad [5]$$

Situace se ovšem zásadně mění, připojíme-li výstup děliče na vstupní odpor dalšího obvodu  $R_x$  například zesilovače, měřicího

přístroje apod. Místo  $R'_i$  ve vztazích [4] a [5] bude všude paralelní kombinace  $R'_i$  a  $R_x$ . Tato skutečnost má dva důsledky:

1. Obecný vztah [4] nelze v této jednoduché formě použít.
2. Použijeme-li dělič, navržený podle vztahů [4] a [5], dostaneme známou nelineární závislost výstupního napětí na napětí vstupním, přestože v obvodu nejsou použity prvky s nelineární voltampérovou charakteristikou.

Na obr. 2 je naznačen vliv zátěže na charakteristiku potenciometru pro různé  $R_x$ . Je patrný velký vliv zatěžovacího odporu, je-li stejný nebo menší než celkový odpor potenciometru  $R_p$  (obr. 2 platí pro  $R_p = 10\,000\,\Omega$ ), což odpovídá odporu  $R$  u obecného děliče. Z tohoto důvodu se například přesné potenciometry ARIPOT konstruují tak, aby závislost  $U_x = f(U_1)$  byla lineární při určitém zatěžovacím odporu, který je udán na štítku.

### Korigovaný dělič

Uvažujme obecný dělič napětí podle obr. 1, zatížený na výstupu odporem  $R_x$ . Pak pro  $n$ ty rozsah platí

$$P_n = \frac{R_n \| R_x}{R - R_n + R_n \| R_x} = \frac{R_n R_x}{R_x R + R_n R - R_n^2}$$

a po úpravě

$$R_n^2 + R_n \left( \frac{R_x}{P_n} - R \right) - R R_x = 0 \quad [6]$$

Řešením této kvadratické rovnice je hodnota odporu  $R_n$  (obdobu vztahu [2] z předchozího odstavce). Úplnou indukci lze dokázat, že platí

$$R_i^2 + R_i \left( \frac{R_x}{P_i} - R \right) - R R_x = 0 \quad [7],$$

kde je definován  $R'_i$  vztahem [3]. Odpory  $R_i$  děliče jsou opět dány vztahem [5].

Zde je třeba podotknout, že jiné postupy řešení, například volba  $R_i$  nebo  $R_n$  vedou k dosti komplikovaným soustavám rovnic, kde se proměnné  $R_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) nevyskytují v explicitním tvaru. Výsledné obecné vztahy vycházejí velmi komplikované (a znemožňují použití kalkulatory, neboť se v nich vyskytují rozdíly dvou čísel, lišících se až na pátém či šestém místě). Popsaná metoda tyto nedos-