

Zprávy z redakce

Úvodník	str. 4
---------------	--------

Novinky a zajímavosti

Kapesní čítač s displejem	str. 5
Současné technologie nabíjecích článků	str. 6
Nové elektrochemické zdroje	str. 8
Odborná literatura	str. 40

Začínáme

Malá škola praktické elektroniky	str. 9
Kurs monolitických mikropočítačů	str. 11

Teorie

Filtrace a aktivní filtry	str. 14
Elektromagnetická slučitelnost	str. 20

Zajímavé obvody

Jak získat 3,3 V z pětivoltového zdroje	str. 25
Mikroprocesorom riadený systém nabíjania batérií LTC 1325	str. 26

Konstrukce

Soumrakový spínač	str. 32
Teploměry s číslicovým zobrazením	str. 33
Detektor lži	str. 37

KTE – magazín elektroniky

Vydává: Rádio plus s. r. o. ♦ Redakce: Šaldova 17, 186 00 Praha 8, tel./fax: 02 / 24 81 64 91

Sekretariát: Markéta Pelichová ♦ Layout & DTP: Jakub Hynek & Lubomír Bláha

Fotografie na titulní straně: Oldřich Petřina a Task Force Clipart ♦ Při tvorbě elektronických schémat je využíváno programu LSD 2000 ♦ V časopisu jsou použity obrázky Task Force Clipart, © New Vision Technologies Inc.

Všechna práva vyhrazena. Přetiskování článků z tohoto časopisu je možné jen s písemným povolením vydavatele.

Cena jednoho výtisku je 25 Kč/29 Sk, předplatné 20 Kč/24 Sk. Objednávky inzerce přijímá redakce.

Nevyžádané rukopisy se nevracejí. Za původnost a věcnou správnost příspěvku odpovídá autor.

Podávání novinových zásilek povoleno Českou poštou, s.p., odšt. záv. Praha,

Č.j. 5326 ze dne 14. 7. 1995 MK ČR 6413, ISSN 1210-6305

Rozšiřuje: PNS a.s. a soukromé distribuční firmy, objednávky do zahraničí vyřizuje PNS a.s., Hvoždanská 5 – 7, 148 31 Praha 4

Distribuci ve Slovenské republice zajišťuje: PNS Bratislava, Pribinova 25; Mediaprint capa

Předplatné zajišťuje: v ČR redakce, v SR: KTE, P.O. BOX 6, Školská 19, 900 24 Veľký Biel;

Abopress, s.r.o., Vajnorská 134, 831 04 Bratislava

ÚVODNÍK

Vážení čtenáři,

letos již podruhé se k Vám obracíme formou úvodníku, abychom dali sdělení náležitý význam. Tak jako posledně, jsou i nyní důvodem závažné změny týkající se vydávání časopisu.

Od začátku července došlo ke změně majitele a tím i vydavatele časopisu KTE, což jistě bude mít zásadní význam na další vývoj časopisu, obsahu a jeho celkovou úroveň. Pro potřeby časopisu uvolnil nový vydavatel poměrně rozsáhlé prostory a podle předběžných záměrů počítá s postupnou modernizací jak redakce (to jest vlastního DTP pracoviště), tak i vývojového oddělení stavebnic.

Souběžně s materiálovými investicemi zamýšlí vydavatel uvedená pracoviště posílit i personálně. Všechna realizovaná a připravovaná opatření jsou motivována snahou celkově zlepšit kvalitu a tím i postavení časopisu na trhu odborných periodik. Přitom lze předpokládat, že zmíněné záměry mají reálné předpoklady na uskutečnění už vzhledem k tomu, že nový vydavatel má blízký vztah k široké radioamatérské veřejnosti. Závažně přislíbil převzít závazky k předplatitelům do konce roku 1997. Jakákoliv opatření se ovšem mohou minout účinkem, pokud se nesetkají se zájmem a ohlasem našich čtenářů. Od začátku roku zaznamenáváme stálý nárůst počtů dopisů od našich čtenářů, dopisů pochvalných i kritických. Děkujeme za všechny. Ty první nás povzbuzují, ty druhé nám pomáhají odstranit chyby a vést časopis takovým směrem aby vyhovoval co nejširšímu okruhu čtenářů. Proto znovu děkujeme za všechny vaše připomínky a doufáme, že i nadále s námi zůstanete v kontaktu.

Závěrem několik slov o nejbližších redakčních záměrech. Pro rubriku Zprávy z redakce připravujeme nejen vyhodnocení čtenářské soutěže za minulé období, ale také informace o některých připravovaných změnách, které by měly zvýšit váš zájem o spolupráci s naším časopisem. Ze strany nového vydavatele je přislíbena značná podpora fondu odměn za nejlepší příspěvky. Na podzim letošního připravujeme vyhlášení soutěže o hodnotné ceny.

Doufáme, že v brzké době vytvoříme časopis, který s vaší spoluprací dosáhne dobré technické úrovně.

Rádio plus

Kapesní čítač s displejem

Známý evropský výrobce měřicí techniky FLUKE nabízí široký sortiment velmi malých měřicích přístrojů v doslova kapesním provedení. Je to nejen řada výborných multimetrů, ale také multimetrů s displejem LC zobrazujícím měřený průběh – tzv. grafických multimetrů, digitálních osciloskopů s kmitočtovým rozsahem až 100 MHz nebo dokonce přesných ss a stř kalibrátorů. V poslední době k těmto přístrojům přibýly dva přesné čítače Fluke 163 a 164 – obr. 1.

Fluke 163 je čítač s rozsahem 0 až 160 MHz, nestandardní je model 164, který má rozsah 0 až 1,3 GHz. Jeho vnitřní časová základna obsahuje buď teplotně kompenzovaný oscilátor se stabilitou $5 \cdot 10^{-7}$ nebo vysoce stabilní termostátovaný oscilátor se stabilitou $1,5 \cdot 10^{-9}$ (zvláštní nabídka).

Čítač může pracovat ve třech režimech zobrazení:

1. Průběh (Waveform)
2. Veličiny (Values)
3. Statistika (Statistic)

V režimu zobrazení průběhu můžeme na displeji LC pozorovat měřený průběh až do kmitočtu 50 MHz. Současně s průběhem se zobrazí úroveň spouštění šipkou na levém okraji obrazového pole, rozsah hystereze spouštění a v horní části displeje velikost měřeného kmitočtu, obr. 2. Údaj měřeného kmitočtu je až desetimístný, devítimístný údaj se zobrazí a obnoví každou sekundu. Měřit lze také trvání sledovaného děje s rozlišením až do

1 ns u jednorázového průběhu. Měření fáze má rozlišení 0,01°, měření napětí má rozlišení 1 mV. Při čítání a měření kmitočtu pomáhá hystereze úrovně spouštění vyloučit falešné náhodné signály. Kromě číselné hodnoty změřeného kmitočtu se na displeji ještě zobrazí mezivrcholová hodnota – amplituda měřeného signálu, rychlost časové základny a okamžik spouštění. Vertikální citlivost a spouštění se nastavuje automaticky a časová základna buď automaticky nebo, vyžádáme-li, tak ručně.

V režimu zobrazení veličin se na displeji objeví deset různých časových a napěťových parametrů (kmitočet, délka kladné a záporné části impulsu, střída, čelo a tyl, maximální, minimální a mezivrcholová hodnota napětí). Uvedené parametry se zobrazí současně při automatickém nastavení nejvhodnějšího režimu čítače, obr. 3.

Režim statistika poskytuje podrobnější údaje o vlastnostech signálu: střední, maximální a minimální hodnotu kmitočtu nebo periody, rozdíl maximální a minimální hodnoty, standardní odchylku a počet měření. Počet měření lze zvolit od 2 do 1 000 000 čtení.



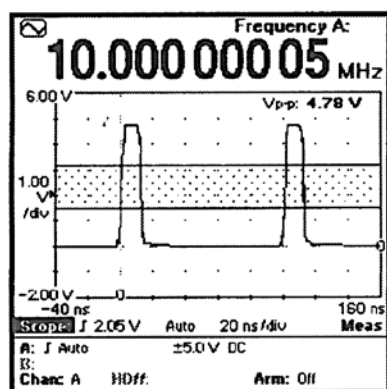
Obr. 1 – Multifunkční čítač Fluke 164

Čítač je ovladatelný přes rozhraní RS-232 a v nabídce je software pro Windows při použití PC. Použití počítače rozšíří možnosti přístroje o podrobnější analýzu výsledků, dokumentaci a uložení změřených hodnot. Minimální počet ovládacích prvků velmi zjednodušuje a zrychluje obsluhu. Čítač má celkem 20 tlačítek, což je podstatně méně nežli u běžného laboratorního měřiče kmitočtu. V nejjednodušším případě čítač zapneme, připojíme měřený signál, zvolíme vhodný režim prostřednictvím nabídky (menu) a stlačíme tlačítko automatického nastavení.

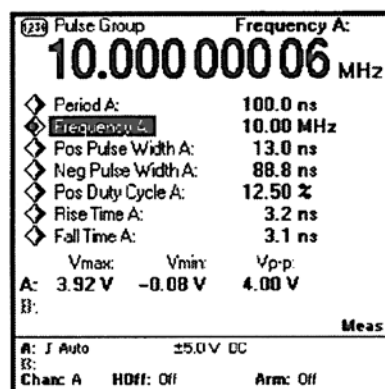
Čítač je napájen z vnitřní baterie nebo ze síťového adaptéru.

– Hav –

Fluke: Multifunction counter: A high accuracy counter with waveform display! T&M News 1996, č. 3



Obr. 2 – Displej čítače, který je v režimu průběh



Obr. 3 – Displej čítače, režim zobrazení hodnot

Současné technologie nabíjecích článků



Přestože nabíjecí články všeobecně nejsou (ve srovnání s většinou elektronických součástek) pokládány za technicky významně pokročilé prvky, bylo v poslední době při jejich zdokonalování dosaženo značných úspěchů. Pokrok byl přitom zaznamenán nejen ve zlepšování konvenčních niklkadmiových elektrochemických systémů, ale zejména v tom, že byly nalezeny systémy nové, založené na bázi lithia. Dosažené výsledky a od toho odvozené trendy v technice napájení přenosných přístrojů a zařízení jsou natolik významné, že je nelze přehlížet.

Požadavky, kladené na sekundární (nabíjecí) články přenosnými počítači, mobilními telefony, kapesními měřicími přístroji i zařízeními z oblasti spotřební elektroniky jsou nemalé a neustále rostou. Podívejme se, jak se s nimi současné technologie výroby nabíjecích článků dokáží vyrovnat.

Během zdokonalování relativně starých niklkadmiových článků (NiCd) postupně vznikaly technologie, jejichž snahou je nahradit některé nedostatky článků NiCd. Tak se objevily články niklmetal-hydridové (NiMH), lithium polymérové (Li-Poly) lithium ion (Li-Ion) a lithium-metal (Li-Metal). Dá se říci, že žádné z uvedených článků nejsou s to univerzálně plnit velmi rozdílné požadavky, které na ně kladou nejrozumnější přenosné spotřebiče. Snad také proto proces vývoje a zdokonalování výrobních technologií pokračuje, lit. [1].

Články NiCd

Nabíjecí články (akumulátory) NiCd mají elektrochemický systém tvořený elektrodami a alkalickým elektrolytem. Aktivním materiálem anody je hydroxyd niklu a zápornou elektrodu tvoří kadmium. Obě elektrody jsou odděleny plátkovým, několik desetin milimetru silným porézním separátorem, např. laminovaným nylonem. Aktivní mate-

riál anody hydroxyd niklu je vyroben spékáním jemného prachu, takže je neobvykle porézní. Aktivní materiál katody tvoří kadmium, elektrolytický nanesený na ocelový nosič. Alkalický elektrolyt je nasáklý v aktivní hmotě elektrod a pórech separátoru. Elektrody s oddělovacím separátorem jsou těsně svinuty do válcového tvaru a neprodyšně uzavřeny v pouzdře. To tvoří záporný pól článku. Z hlediska jednoduchosti výroby je válcový tvar článku nejvýhodnější. U článků ve tvaru kvádrů jsou elektrody rovné desky, oddělené ploškami separátoru, případně jsou meandrovitě poskládané. Kladný pól článků ve tvaru ocelové poniklované čepičky je v horní části článku. Kryje pojistný ventil, který odolává vnitřnímu tlaku asi do 1,5 megapascalu. Elektrody článku jsou v elektrolytu, nerozpustné ve kterékoliv fázi pracovního cyklu. Chemické reakce nepůsobí úbytek aktivní hmoty elektrod, takže životnost článku je poměrně vysoká – asi 1000 cyklů při správném zacházení.

Použitím pórovitých elektrod bylo u článků NiCd dosaženo objemové účinnosti 150 Wh/dm³ a energetické hustoty do 50 Wh/kg. V současné době dosahují tyto články 30 % své teoretické hustoty energie. Samovybití lze označit za přiměřené ve srovnání s ostatními typy článků a činí nejvýše 25 % z celkové kapacity za měsíc, viz tabulka 1. Velikost samovolného vybití je důležitá, používáme-li baterie NiCd v zařízení, které se zapíná jen čas od času a větší část doby je mimo provoz. Nabíjení článků NiCd pomalé i rychlé je již dobře zvládnuto a existuje řada integrovaných obvodů od nejrozumnějších výrobců, se kterými je možno postavit i velmi sofistikované nabíječky. Při nabíjení je nutno vyvarovat se dlouhodobého zvýšení teploty článků. Právě tak je důležité nenabíjet částečně vybité články proudem větším než desetina kapacity, abychom se vyhnuli paměťovému jevu. (Článek

si „pamatuje“, jak byl neúplně vybit a chová se, jako by měl menší kapacitu – takovou, jaká ve článku byla ještě před nabíjením. Paměťový jev vzniká také při rychlém nabíjení, kdy je nutné nabíjení ukončit předčasně kvůli kritickému zvýšení teploty. Článek si pak „pamatuje“ takto dosaženou nižší kapacitu. U článků s paměťovým jevem narostou krystaly aktivního materiálu tak, že se zmenší účinná plocha elektrod a tudíž klesne jeho kapacita. Po následném vybití článku na napětí 1 V a plném nabití je paměťový jev vymazán).

Materiál katody je toxické kadmium, jehož je v niklkadmiovém článku až 20 % z celkové hmotnosti elektrod. Odkládání článků NiCd mezi běžný odpad je tedy nebezpečné pro životní prostředí a jako takové nezodpovědné. Z těchto důvodů byly hledány a nalezeny jiné technologie nabíjecích článků. Patří mezi ně metalhydridové články NiMH.

Články NiMH

Základní rozdíl proti NiCd článkům spočívá v použití kovové slitiny, absorbující vodík (namísto kadmia) na vytvoření záporné elektrody. Základem této slitiny je lanthanum-nikl (pro dosažení větší životnosti článků je lanthan nahrazován směsí titanu, vanadu a zirkonu, nikl zase nahrazuje směs niklu s kobaltem, hliníkem nebo manganem).

Anodu tvoří práškový nikl, který při nabití přejde v hydroxyd niklu.

Na záporné elektrodě je produktem nabíjení kovový hydrid (metalhydrid MH). Elektrolytem je hydroxyd draselný. Objemová účinnost článků NiMH je 230 Wh/dm³. To je mnohem více, nežli u článků NiCd. U metalhydridových článků bylo dosaženo zatím 20 % teoretické hustoty energie. Napětí článků NiMH je naprázdno stejné jako u článků NiCd a to 1,2 V. Mnoho vývojových pracovníků proto nahrazovalo články NiCd pokročilejšími články NiMH. Metalhydridové články jsou však až o 50 % dražší než články NiCd. Navíc články NiMH mají ze všech, zde uváděných článků, největší samovybíjecí proudy. Samovybíjecí proudy rostou s teplotou, takže je výhodné uchovávat nabitý články při nižší teplotě okolo 5 °C. Provozování článků NiMH (i článků NiCd) při nižší teplotě ovšem zase snižuje jejich kapacitu. Optimální pracovní teplota je 20 až 25 °C, což platí i pro články ostatní.

Články NiMH neobsahují žádné složky nebezpečné pro životní prostředí a to je jejich největší přednost. Navíc nemají paměťový jev, působící snížení kapacity článků. U metalhydridových článků ale dochází ke snížení napětí v případě, že jsou opakovaně částečně vybity a znovu plně nabity. Články pak mají nižší napětí, kterého dosáhly po částečném vybití. Je to způsobeno fyzikálními změnami ve struktuře elektrod. Jev snížení napětí zmizí po úplném vybití na napětí 1 V a následném plném nabití článků. Podrobnější popis vlastností článků NiCd, NiMH a pravidla správného zacházení s nimi nalezne čtenář v literatuře [2].

Lithiové nabíjecí články

Nabíjecí články na bázi lithia odstranily řadu potíží článků NiCd a NiMH a staly se v současné době nejefektiv-

nějšími nabíjecími články. Komerčně jsou přístupné články Li-Ion a Li-Metal. Nejnovější systém Li-Poly je dosud ve stadiu vývoje a proto se články ve standardních velikostech zatím nevyrábějí. Přestože mají jmenované články společně použití lithia jako anody, liší se v některých vlastnostech.

Články Li-Poly

Elektrochemický systém článků Li-Poly je založen na organosulfidovém polymeru, tvořícím katodu. Organosulfidový polymer vyvinuly laboratoře Lawrence Berkeley v Karolině, USA. Své vlastní polymerové materiály obdobných vlastností vyvinulo již několik společností, zabývajících se výrobou baterií. Článek Li-Poly je tvořen folií lithia (anoda), izolační vrstvou separátoru, vrstvou elektrolytu a polymerovou katodou s kovovou folií, která sbírá proud. Technologie slibuje dosáhnout hustoty energie 200 Wh/kg. V současné době to je 70 až 100 Wh/kg, viz tabulka 1. Napětí článku může být 1,8 až 3 V. Objemová účinnost je 25 až 40 Wh/dm³. Lze předpokládat, že články budou výborně levné, protože polymery lze produkovat ve velkém v rolích, jak je obvyklé v průmyslu plastů.

Články Li-Ion

Nabíjecí články Li-Ion byly prvně použity v malých videokamerách. Dnes je můžeme najít i v jiných přenosných zařízeních, například v počítačích laptop. Poměrně velké napětí článků 3,6 V umožňuje sestavit baterie s požadovaným napětím z menšího počtu článků. Významnou nevýhodou je nepříznivý poměr ceny k užitečným vlastnostem těchto článků. Cena jedné watthodiny je u článků Li-Ion největší, ale jeho

vlastnosti proti ostatním nevykazují odpovídající přednosti – viz tabulka 1. Například objemová účinnost je u článků Li-Ion (225 Wh/dm³) výrazně menší, než u článků Li-Metal (300 Wh/dm³). Je sice lepší, než u článků NiCd (150 Wh/dm³), ale články NiCd jsou zase cenově výrazně výhodnější, než články Li-Ion. Hustota energie u článků Li-Ion je více než o 50 % větší, než u článků NiCd, ale také o 40 % nižší, než u článků Li-Metal. Současná technologie článků Li-Ion dosahuje 18 % teoretického maxima hustoty energie.

Další nevýhodou článků Li-Ion je velmi nelineární vybíjecí charakteristika. Plně nabitá tužková baterie Li-Ion má napětí 4,1 V. Je-li vybíjena proudem 250 mA, klesne její napětí ze 4,1 V na asi 3 V za 90 minut. Při dalším vybíjení proudem 250 mA zůstane napětí 3 V během dalších 90 minut a pak náhle poklesne na 2 V, kdy je baterie pokládána za vybitou. Vybíjecí charakteristika článků Li-Ion může být velkou překážkou pro jejich použití v případech, kdy napájené zařízení nesnáší větší pokles napájecího napětí.

Aby se zabránilo přebíjení nebo nepřipustně velkému vybíjení, obsahují většinou baterie Li-Ion uvnitř pouzdra ochranný obvod. Ten zabraňuje, aby při nabíjení nestouplo napětí baterie nad 4,1 až 4,2 V (podle výrobce), neboť by mohlo dojít k poškození článků. Ochrana proti velkému vybití hlídá ou kapacitu tak, aby konečné napětí nekleslo pod 2,3 až 3 V. Hlubší vybíjení poškozuje články baterie tak, že snižuje počet cyklů nabití – vybití. Nabíjení článků Li-Ion se zprvu provádí konstantním proudem a dokončuje se konstantním napětím s přesností ±1 %.

Obecně se dá říci, že články či baterie Li-Ion vyžadují velmi přesné sledování dodaného i odebraného náboje. Může se však stát i to, že i ty nejdoko-

Druh článku	Pracovní napětí [V]	Hustota energie [Wh/kg]	Objemová účinnost [Wh/litr]	Paměťový jev	Rychlost vybíjení [% za měsíc]	Vliv na ekologii	Pracovní teplota [°C]	Cena [\$Wh]
NiCd	1,2	45	150	Ano	25	Ano	-10 až 50	0,75 až 1,5
NiMh	1,2	70	230	Pokles napětí viz text	20 až 25	Ne	-10 až 50	1,5 až 3,0
Li-Poly*	1,8 až 3	70 až 100	25 až 40	Ne	20	Ne	-20 až 50	–
Li-Ion	3,6	100	225	Ne	8	Ne	-20 až 50	2,5 až 3,5
Li-Metal	3,0	140	300	Ne	1 až 2	Ne	-35 až 55	1,4 až 3,0

*Články Li-Polyse dosud nevyrábí ve standardních velikostech [únor 1997]

Tab. 1 – Porovnání tužkových nabíjecích článků AA různých technologií

nalejší ochranné obvody baterie Li-Ion článků přelstí a ztratí svou kapacitu vlastním samovybitím.

Články Li-Metal

Nejnovější z řady komerčně vyráběných nabíjecích článků jsou články Li-Metal (Li/LixMnO₂). Nabízejí ze všech zde uváděných článků největší hustotu energie (140 Wh/kg) a objemovou účinnost (300 Wh/dm³). Také jejich teoretická hustota energie 900 Wh/kg je zatím bezkonkurenční. Dosud bylo u komerčně vyráběných článků dosaženo 13 % z této hodnoty. Napětí jednoho článku Li-Metal je 3 V.

Články Li-Metal jsou bezpečné a velmi odolné. Uživatel ani zařízení, do něhož jsou vloženy, jejich životnost ani kvalitu neohrozí. Nevadí jim přebíjení ani hluboké vybití, zkrat ani hrubé mechanické poškození článku. Proto je elektrochemický systém Li-Metal nazýván samozhášecí. Také články Li-Metal jsou běžně opatřovány pojistným ventilem.

U článků Li-Metal se nevyskytuje paměťový jev. Tyto články ze všech zde uvedených mají nejnižší samovybíjecí proudy, které způsobí pokles ná-

boje jen asi 1 až 2 % za měsíc. Běžná baterie Li-Metal, uložená při pokojové teplotě 20 °C, si po roce zachováva ještě 85 % své kapacity! Čtenář si jistě povšimne v tabulce 1, že články mají největší rozsah pracovních teplot: od -30 °C do +55 °C. Neméně příznivá je i vybíjecí křivka, která je prakticky plochá. Při vybíjecím proudu 250 mA poklesne napětí plně nabitého článku z 3,3 V na 2,8 V asi za 10 minut, ale pak zůstává 2,8 V až do 80% vybití. Plně vybitý je článek, klesne-li jeho napětí na 2 V. Šestivoltovou baterii, potřebnou pro mobilní telefon, složíme z pouhých 2 článků, neboť mnohé z telefonů mohou ještě pracovat při 4 V, tedy až do úplného vybití baterie.

Z baterií Li-Metal je možné trvale i impulsně odebírat proud až 2 A. To je důležité u mobilních telefonů s výstupním výkonem 600 mW, kde odběr proudu dosahuje 1,4 A. Také hmotnost baterií Li-Metal je velmi příznivá (34 g u dvoučlánkové baterie pro telefony), tato baterie je pro telefony ze všech nejlehčí.

Články a baterie Li-Metal se nabíjí konstantním proudem a není nutné hlídat jejich maximální napětí. Rovněž se nemusí monitorovat vybíjecí napětí.

Závěr

Nejpoužívanější nabíjecí články NiCd jsou ze všech nabíjecích článků nejstarší. Doznanly proto nejvíce zdokonalení. Jejich používání však představuje pro vysoký obsah toxického kadmia ekologický hazard. Velkou nadějí nám dávají články Li-Metal. Cena 1 Wh z baterie Li-Metal je prakticky stejná jako u baterií NiMH a spodní hodnotou svého rozhraní se přiblížila nejvyšší ceně baterií NiCd. Články Li-Metal dosahují největší kapacity stěsnané do nejmenšího objemu a mají ze všech článků nejnižší hmotnost. Po právu je můžeme pokládat za nejvýhodnější články současné doby. Navíc stojí prakticky na prahu svého vývoje, což představuje dobrou perspektivu pro další zlepšení. Bohužel mnoho dnešních přenosných zařízení je konstruováno pro články 1,2 až 1,5 V (zejména tužkové) a jejich přímé nahrazení třívoltovými články Li-Metal je komplikované.

– Hav –

Literatura:

[1] Pnina Dan: *Recent Advances In Rechargeable Batteries*

Electronic Design 1997, February 3. s. 112, 114, 116

[2] Havlík L.: *Jak používat články a baterie NiCd a NiMH*

KTE Magazin 1994, č. 4, s. 45–148, č. 5, s. 187–190, č. 6, s. 227–230, č. 7, s. 265–268, č. 8, s. 305–308, č. 9, s. 345–348 a č. 10, s. 387–390

Druh článku	Počet článku baterie	Napětí [V]	Kapacita [Ah]	Hmotnost [g]	Objem [cm ³]
NiCd	5	6	1,0	104	40
NiMH	5	6	1,2	104	40
Li-Ion	4	7,2	0,8	72	32
Li-Metal	2	6	0,8	34	16

Tab. 2 – Porovnání druhů článků pro 6 V telefonní baterii

Nové elektrochemické zdroje

Energetická bomba pro přenosné počítače

Nové Ni-MH akumulátory pro přenosné počítače v provedení laptop a notebook od firmy Sanyo Energy s typovým označením HR-4/AU a HR-4/3FAU jsou válcového tvaru s průměrem 17 mm (18 mm) a délkou 67 mm a mají hmotnost 54 g (60 g). Jejich energetická hustota má hodnotu 78 až 84 Wh/kg, což odpovídá kapacitě 3,5 (resp. 4) Ah. K nabití vybitého

akumulátoru je třeba jen 1,4 až 1,6 h. Nové akumulátory tvoří řadu, která začíná kapacitou 580 mAh.

Tvar baterie může určit zákazník

Lithium-thionylchloridové baterie od americké firmy Battery Engineering mají energetickou hustotu přes 300 Wh/kg a napětí 3,4 až 3,6 V. Lze je použít při teplotách -40 °C až +150 °C. Skladovat je lze velmi dlouho, po

10 letech mají ještě 80 % původní kapacity. Při teplotě 37 °C, odpovídající použití v medicíně (implantáty), je rychlost samovybití jen 2 % za rok. Nejmenší z těchto miniaturních baterií nejrůznějších tvarů má hmotnost pouze 2,7 g. Dohodnout lze i provedení, které tvarem a vývody optimálně odpovídá požadavku zákazníka, prototyp je k dispozici do 4 až 8 týdnů.

– HH –

Elektronik 6/97

Malá škola

praktické elektroniky

(7. část)

V tomto čísle si zkusíme zapojit tranzistor jako blikáč a poznáme nové součástky: tranzistor, kondenzátor a sluchátko.

Tranzistor

Tranzistoru už bude 50 let a bylo o něm napsáno mnoho. Ve škole by začali od fyzikálního principu, pro začátečníka, který chce tranzistor umět použít už při čtení tohoto článku, stačí tyto základní informace.

Tranzistor je součásta se třemi vývody, které se jmenují KOLEKTOR, BÁZE a EMITOR. Schematická značka je na obrázku 1. Tranzistory se vyrábějí v různém provedení. Většinou jsou v plastovém nebo kovovém pouzdru, obvyčejné a výkonové – ty poznáme podle toho, že jsou větší a obvykle mají otvory pro přišroubování na nějakou chladicí desku, k tomu také někdy dojdeme.

Už umíme rozsvítit LED. A nyní do zapojení vložíme tranzistor. Ten si pro tento případ můžeme představit jako ventil na potrubí, ve kterém může voda téci jenom jedním směrem. Když je uzavřený, voda neprotéká, když ho otevřeme, voda může protékat. Viz obrázek 2.

Zkusíme si to. Nejprve si LED rozsvítíme podle zapojení na obrázku 3.

Když je obvod uzavřený, proud protéká, LED svítí.

Když obvod rozpojíme, LED nesvítí.

Když místo rozpojování do obvodu zapojíme tranzistor, LED nesvítí, protože tranzistor není otevřený.

Takovým kolečkem na otevření krouhoutu je u tranzistoru báze. Stačí malý proud do báze, tranzistor se otevře a LED bude svítit. Proto se také tranzistor říká zesilovač – malý proud tekoucí do báze způsobí průtok silnějšího proudu od kolektoru k emitoru. Viz obrázek 4.

Odborníkům a učitelům, kteří se k podobnému poznání prokousávali teorií polovodičů a principem tranzistoru, se nad tímto výkladem možná ježí vlasy, ale pro nejjednodušší výklad by to mohlo být přijatelné.

Než tranzistor zapojíme, musíme si určit vývody. Obrázky najdeme v katalogu. Na tranzistor se díváme stejně jako na obrázek, natočíme si ho stejně a zjistíme například, že vlevo je emitor, uprostřed báze a vpravo je kolektor. U tranzistorů v kovovém pouzdru se řídíme výstupkem na okraji, u toho bývá emitor. U tranzistoru v plastovém pouzdru se orientujeme podle plošky pouzdra, na kterém je napsaný typ tranzistoru. Otočíme-li si tranzistor jako na obrázku vývody směrem k sobě a ploškou dolů, je zase emitor vlevo. U většiny tranzistorů je to stejné, ale některé mají bázi

na kraji a ne uprostřed – to zjistíme v katalogu. Viz obrázek 6.

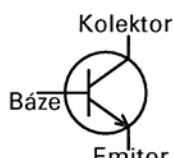
Povedlo se? Pokud ne, zkontrolujte si celé zapojení, hlavně zapojení tranzistoru. Ten, kdo má voltmetr, může změřit napětí mezi bází a emitorem. Mělo by být asi 0,6 V. To je znamení, že tranzistor je otevřený a může vést proud. *Měření tohoto napětí se mnohdy používá při opravách, při hledání závady k zjištění, jestli je tranzistor dobrý.*

Pamatujeme si: Otevřený tranzistor má napětí mezi bází a emitorem $U_{BE} \approx 0,65 \text{ V}$.

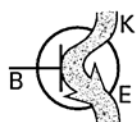
Když se napětí U_{BE} z nějakého důvodu sníží, tranzistor nebude vést, zavře se. K tomu dojde například při spojení báze s emitorem. Zkusíme něco jiného.

Kondenzátor

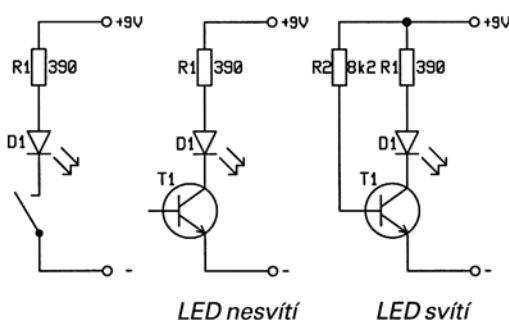
Kondenzátor je něco jako nádržka, kterou lze naplňovat nebo vyprazdňovat. Má určitý objem – kapacitu. Naplňování velkého sudu s velkou kapacitou trvá dlouho, naplnění malé sklenice s malou kapacitou je rychlé. Také záleží na tom, jestli proud vody nebude brzděn, poteče tlustou hadicí s malým odporem,



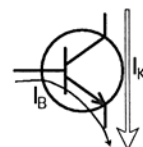
Obr. 1 – Schematická značka tranzistoru



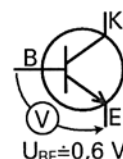
Obr. 2 – Princip tranzistoru



Obr. 3 – Zapojení LED s tranzistorem



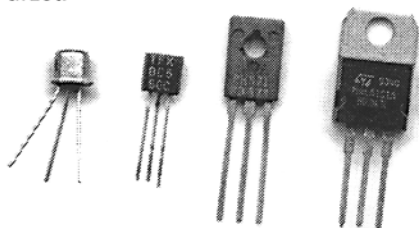
Obr. 4 – Tok proudu tranzistorem



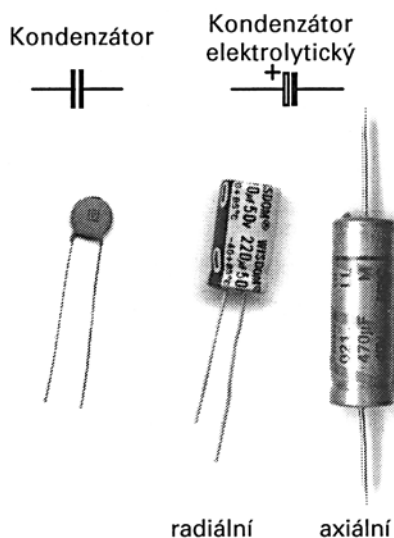
Obr. 5 – Napětí mezi bází a emitorem je přibližně 0,65 V

nebo jenom tenkou hadičkou, která má velký odpor, víc vody jí téci nemůže. To též je při vyprazdňování.

Schéma kondenzátoru je na obrázku 7. Kondenzátor má dva vývody – pokud oba vycházejí z pouzdra na jednu stranu, je kondenzátor *radiální*, vede-li každý vývod na jinou stranu, je *axiální*. Některé kondenzátory (říká se jim elektrolytické, krátce elektrolyty) mají vyznačenou polaritu pro připojení. Na schématu bývá značka + a na pouzdru kondenzátoru mají některé typy vyznačeno + a některé -. Polaritu je třeba dodržet.



Obr. 6 – Ukázky některých typů tranzistorů



Obr. 7 – Schématická značka kondenzátoru a několik ukázek

Druhý dnešní pokus

Rozsvítíme si obě LED jako na obrázku 8. A teď přidáme kondenzátory. LED začnou střídavě blikat. Jak dlouho která z nich svítí, záleží na velikosti kondenzátorů a také rezistorů, přes které se kondenzátory nabíjejí a vybíjejí.

Nejdříve zkusíme dát oba kondenzátory stejné. Doba bliknutí jedné i druhé LED bude stejná.

Bude-li jeden kondenzátor větší než druhý, bude blikání „kulhat“. Jedna LED svítí déle a druhá kratší dobu. Oba kondenzátory budou například 20 μF . Pak k jednomu z nich přidáme paralelně ještě další. Treba ještě jeden 20 μF . Kapacita se zvětšila a prodloužila se doba vybíjení a nabíjení.

Pamatujeme si: Při zapojení kondenzátorů vedle sebe (paralelně) se jejich kapacity sčítají.

Budou-li oba kondenzátory například 100 μF , bude již blikání pomalé.

Budou-li oba kondenzátory například 10 μF , bude blikání velmi rychlé.

Budou-li oba kondenzátory například 2 μF , bude blikání velice rychlé. A když na kolektor jednoho tranzistoru zapojíme přes kondenzátor 100 nF, aby nám neutíkal stejnosměrný proud, telefonní sluchátko 50 Ω , uslyšíme rychlý bručivý tón.

Budou-li oba kondenzátory například 100 nF, uslyšíme ve sluchátku nízký tón, blikání LED není vidět, oko ho vnímá jako trvalý svit.

Budou-li oba kondenzátory například 47 nF, uslyšíme ve sluchátku vysoký tón.

Při ještě menší kapacitě bychom slyšeli vysoký pištivý tón a ještě vyšší tóny již lidské ucho neslyší.

Pokud nemáme telefonní sluchátko, můžeme použít reproduktor 8 Ω a spojený do série, tedy za sebou, s rezistorem okolo 47 Ω , ale zvuk bude slabší, protože jenom asi jedna sedmina napětí bude rozkmitávat membránu reproduktoru a zbytek se bude ztrácet na rezistoru.

Obvykle se toto zapojení kreslí jako na obrázku 9 a říká se mu multivibrátor. K čemu to je dobré? Například:

a) jako zdroj zvuku – pískání na plašení myši nebo komárů, bzučák, pípákovou zkoušečku nebo klapavý zvuk jako metronom;

b) blikáč pro cokoliv. Přidáním dalšího tranzistoru nebo jiného spínacího prvku můžete nechat blikat diskotéková světla, výstražná světla, rozsvěcovat dva různé obrazce atd.

Příště si třeba postavíme blikáč na kolo.

Součástky, které budeme potřebovat

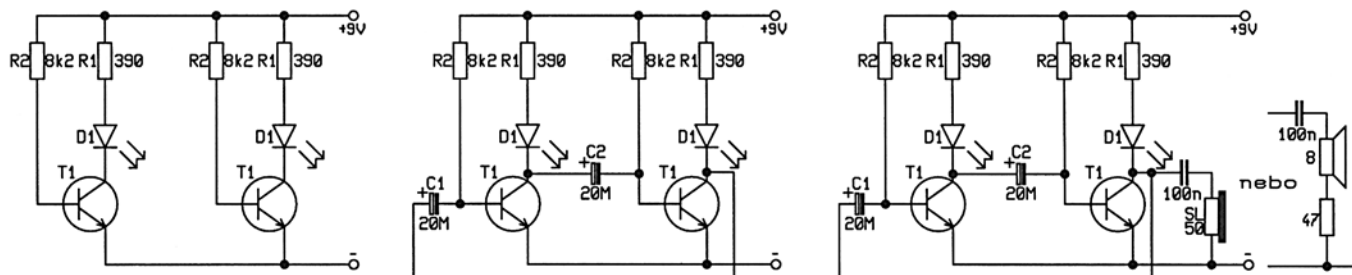
(některé již máme z předchozích pokusů)

2 nebo 3 tranzistory typu KC507, 508, 509 nebo KC237, 238, 239 nebo s jiným značením (K i B znamenají křemík) BC237, 238, 239, nebo BC337, 338 nebo i jiné typy. Ale musí být typu NPN. Tranzistory PNP mají obrácenou polaritu, tím se zatím nenecháme plést, na to také dojde.

LED 3 ks

– ostatní součástky:

1 ks baterie	4,5 V nebo 9 V
2 ks rezistor	150 nebo 390
2 ks rezistor	4k7 nebo 8k2
2 ks kondenzátor	20 $\mu\text{F}/10\text{ V}$
2 ks kondenzátor	100 $\mu\text{F}/10\text{ V}$
2 ks kondenzátor	47 nF
3 ks kondenzátor	100 nF



Obr. 8 – Zapojení LEDkového blikáče. Pro $U_2 = 4,5\text{ V}$ je $R_1 = R_4 = 150\ \Omega$ a $R_2 = R_3 = 4k7$

– na pokusy s rychlostí blikání:

2 ks kondenzátor 10 μF , 2 μF , 50 μF
(všechny na 10 V)

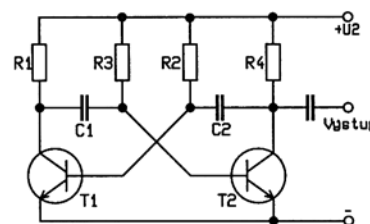
1 ks rezistor 6k8, 22k

telefonní sluchátková vložka 50 Ω , nebo reproduktor 8 Ω v sérii s rezistorem 47 Ω .

například 100 μF /10 V znamená kondenzátor 100 μF na 10 V.

Otázka na příště: Prodávač nám místo 20 μF nabídne 22 μF . Můžeme je použít?

A odpověď na otázku z minulého čísla: čírá LED je průsvitná a barvu světla má různou, podle vyzařované vlnové délky.



Obr. 9 – Multivibrátor

Připravil – Hvl –

Kurs monolitických mikropočítačů

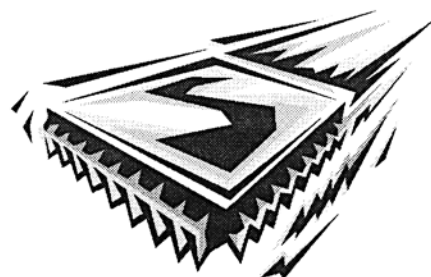
3. část – Technické vlastnosti řadiče AT89C2051

Monolitické mikropočítače od amerického výrobce Atmel Corp. vychází z rodiny mikrořadičů 8051. Základní řada **AT89C** obsahuje celkem čtyři typy mikrořadičů. **AT89C1051** je umístěn ve 20-ti vývodovém pouzdře a obsahuje 1 kB reprogramovatelné paměti (Flash PEROM), 64 bytů datové paměti, 15 programovatelných I/O linek, jeden šestnáctibitový čítač a tři zdroje přerušení. Typ **AT89C2051** má na rozdíl od předchozího typu 2 kB Flash PEROM, 128 bytů datové paměti, dva šestnáctibitové čítače, pět zdrojů přerušení a programovatelný sériový kanál. Dalším typem je **AT89C51** se 40-ti vývody, 4 kB Flash PEROM a 32 programovatelnými I/O linkami. Ostatní parametry jsou v podstatě shodné s předchozím typem. Posledním z řady AT89C je typ **AT89C52** s 8 kB Flash PEROM, 256 bytů datové paměti, třemi 16bitovými čítači a osmi zdroji přerušení.

Řada AT89C byla později ještě doplněna typem **AT89S8252**, který obsahuje navíc 2 kB datové paměti typu EEPROM, programovatelný WatchDog časovací obvod a rozhraní typu SPI pro programování mikrořadiče přímo v systému. Pro programování tohoto mikrořadiče není tedy nutné používat samostatný programátor.

Pro úplnost se zmíním i o nejnovější řadě mikrořadičů ATMEL **AT90S**, která využívá architekturu typu RISC. Její typy jsou zaměnitelné s typy řady AT89C a vyznačují se zejména větším výkonem. Hodinový kmitočet je odvozený přímo z kmitočtu oscilátoru, na čipu je navíc umístěna datová paměť typu EEPROM, programovatelný obvod watchdog a až dva 10bitové kanály PWM. Řada AT90S zahrnuje typy AT90S1300, AT90S2312 a AT90S8414.

V další části se budeme zabývat typem **AT89C2051**, který má velmi příznivý poměr cena/výkon. Jedná se o mikrořadič v pouzdře DIP20 (SOIC20) s určitými úpravami ve vnitřním zapojení oproti klasickému typu 8051. K dispozici jsou pouze výstupní brána P1 a částečně P3. Vstupní-výstupní linka P3.6 není zapojena, ale má v mikrořadiči novou funkci. Na místě tohoto datového bitu lze na adrese brány P3 přečíst stav výstupu analogového komparátoru (viz obr. 5). Velikost pouzdra předurčuje AT89C2051 pro nasazení v menších a jednodušších aplikacích, kde vystačíme s pamětí programu do 2 kB. I přes omezený počet vývodů zůstal zachován sériový kanál a dva 16bitové čítače/časovače.



Ing. Radomír Matulík

Zapojení vývodů mikrořadiče AT89C2051 je na obr. 6. Napájecí vývody Vcc a GND umožňují připojit napájecí napětí v rozmezí od 2,7 V do 6,0 V pro mikrořadič s hodinovou frekvencí 12 MHz nebo v rozmezí 4,0 V až 6,0 V pro mikrořadič s frekvencí 24 MHz. Port 1 s osmi vývody P1.0 až P1.7 je obousměrný a umožňuje vstup i výstup. Vývody P1.2 až P1.7 mají vnitřní kolektorové rezistory s odporem několik desítek k Ω připojeným na kladné napájecí napětí. Vývody P1.0 a P1.1 jsou s otevřeným kolektorem a lze je použít jako vstupy analogového komparátoru (viz obr. 5). Port 1 se rovněž využívá pro programování a verifikaci interní paměti programu.

Port 3 obsahuje sedm obousměrných vývodů s kolektorovými rezistory. Chybějící osmý vývod P3.6 je připojen na výstup analogového komparátoru, jak již bylo zmíněno při popisu obr. 5. Prvních šest vývodů portu P3 může mít také další funkce uvedené v tabulce 1. Port 3 se rovněž využívá pro programování a verifikaci interní paměti programu. Jednotlivé vývody obou portů je možno zatížit proudem až 20 mA při nízké logické úrovni. Je tak možné přímo budit diody LED nebo sedmissegmentové zobrazovače

LED. Celkový proud všech vývodů nesmí ovšem překročit hodnotu 80 mA.

Dalším vývodem mikrořadiče AT89C2051 je RST. Jedná se o vstup signálu **reset – nulování**, který slouží k počátečnímu nastavení některých vnitřních obvodů mikrořadiče. Nulování se provádí tak, že na vývodu RST musí být připojena logická hodnota 1 nejméně po dobu dvou strojových cyklů (tj. 24 period oscilátoru). Během nulování jsou nastaveny všechny I/O vývody na logickou hodnotu 1 a mohou se tedy ihned používat jako vstupy. Obsah vnitřní paměti RAM se funkcí nulování neovlivňuje. Při zapnutí napájecího napětí ovšem není obsah paměti RAM definován. Prakticky se funkce nulování zajišťuje připojením elektrolytického kondenzátoru s kapacitou 10 µF mezi vývod RST a kladné napájecí napětí, a rezistoru s odporem 8,2 kΩ zapojeného mezi vývod RST a nulový potenciál (GND).

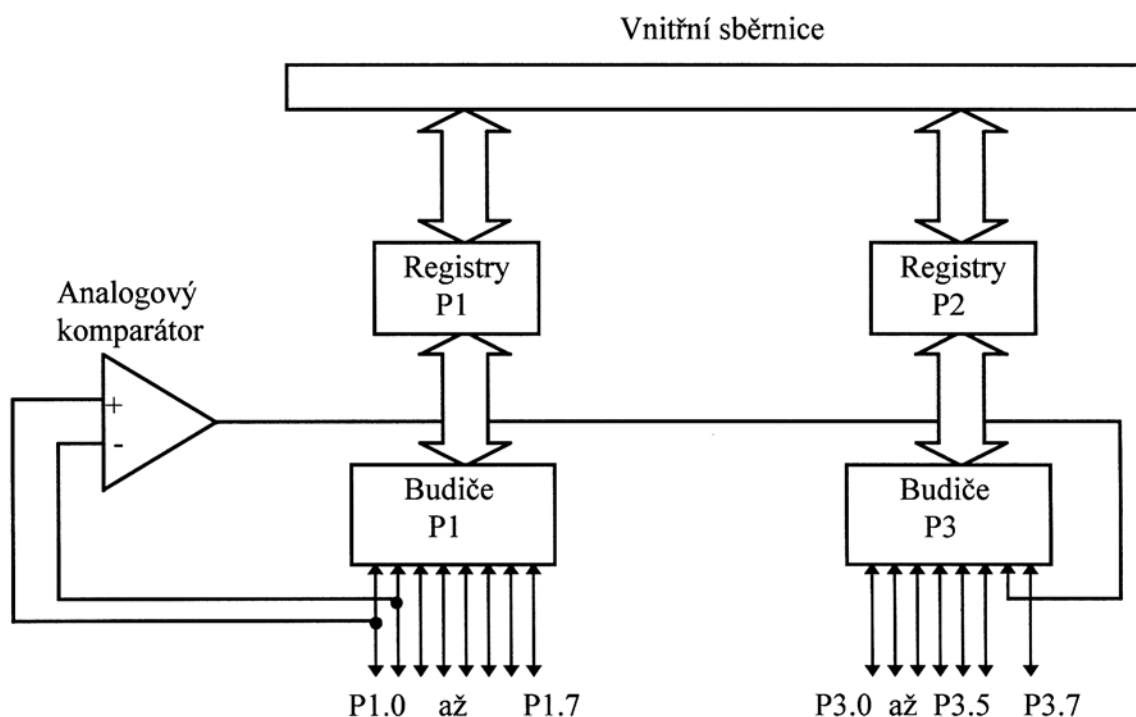
Vývod XTAL1 je vstupem invertujícího zesilovače oscilátoru a lze k němu přímo připojit externí hodinový signál. Častější je ovšem připojení krystalu s rezonančním kmitočtem max. 24 MHz mezi vývody XTAL1 a XTAL2, ke kterým se dále připojí dva keramické kondenzátory 33 pF spojené s GND, jak je znázorněno na obr. 7. Oscilátor

budí vnitřní generátor hodin, který poskytuje hodinové signály pro procesor.

Časování vnitřních obvodů mikrořadiče vychází z hodinového kmitočtu oscilátoru. Dvanáct period oscilátoru vytváří **strojový cyklus**, ve kterém je provedena jednocyklová instrukce. Dvoucyklové instrukce potřebují ke svému provedení dva strojové cykly. Více než dva strojové cykly potřebují pouze dvě instrukce, a to instrukce MUL (Multiply – násobení) a DIV (Divide – dělení). Obě vyžadují čtyři strojové cykly. Na začátku každého strojového cyklu je operační kód přenesen z paměti programu, adresované čítačem programu PC do registru instrukcí a je v něm uložen po celou dobu trvání cyklu. Výstupy registru jsou pak zavedeny do dekodéru instrukcí. Ten aktivuje jednotlivé mikroinstrukce, které v řadiči podmiňují generování řídicích signálů nebo se stávají součástí dat přenášených vnitřní sběrnici. Při maximálním hodinovém kmitočtu 24 MHz trvá jeden strojový cyklus 0,5 µs. Znalost doby trvání cyklu a tím i doby provedení jednotlivých instrukcí je důležitá např. při generování časových zpoždění programem.

Důležitou součástí vnitřní datové paměti RAM je sada **speciálních funkčních registrů** (SFR). K těmto registrům

se přistupuje prostřednictvím symbolů, které jsou jednotlivým registrům přiřazeny. **Střadač (ACC)** je registr, který má obvyklé funkce střadače. V operandových částech instrukcí pro práci se střadačem se označuje písmenem A. **Registr B** se užívá při aritmetických operacích násobení a dělení. Pro ostatní instrukce se může využít jako jiný registr tzv. zápisníkové paměti. **Ukazatel zásobníku (SP)** může ukazovat kamkoliv do vnitřní paměti RAM. Provedením funkce RESET se nastaví obsah SP na hodnotu 07H. **Ukazatel dat (DPTR)** je tvořen dvěma byty (DPH a DPL) a uchovává 16-ti bitovou adresu. **Porty (P1 a P3)** jsou registry obsahující zachytné klopné obvody (latche) portů 1 a 3. **Stavové slovo programu (PSW)** uchovává stavy některých registrů a klopných obvodů, nastavovaných vybranými akcemi mikrořadiče. Bit 7 stavového slova má symbol CY a jedná se o **příznak přenosu** (Carry Flag). Bit 6 (AC – Auxiliary Carry Flag) je **příznak pomocného přenosu** a užívá se při operacích s čísly v kódu BCD. Bit 5 (F0 – Flag 0) je **uživatelský příznak**, jeho využití je ponecháno na úvaze uživatele. Bit 4 (RS1) a bit 3 (RS0) jsou **řídící registry pro výběr sady registrů**. Nastavují a nulují se softwarově a určují jednu ze čtyř bank registrů, která



Obr. 5 – Zapojení komparátoru v AT89C2051

se bude využívat v dané části programu. Bit 2 (OV – Overflow Flag) je *příznak přetečení*, bit 1 není využit a bit 0 (P – Parity Flag) je *příznak parity* a indikuje lichý nebo sudý počet bitů ve střadači, které obsahují jedničku. *Vyrovňovací paměť sériových dat (SBUF)* tvoří ve skutečnosti dva oddělené registry a to vyrovňovací registr pro vysílání a vyrovňovací registr pro příjem. Registrové páry (TH0, TL0) a (TH1, TL1) jsou šestnáctibitové *čítací registry* pro časovače/čítače 0 a 1. Registry speciálních funkcí IP, IE, TMOD, TCON a PCON obsahují řídicí a stavové bity pro přerušovací systém, časovače/čítače a sériový port. Budou popsány v článcích věnovaných konkrétnímu popisu aplikací.

Mikropočítač AT89C2051 obsahuje dva paměťové **uzamykací bity**, které umožňují chránit vnitřní paměť programu před nežádoucím čtením. Tyto bity mohou, ale nemusí být nastaveny na závěr programování obvodu. Bit LB1 chrání paměť před dalším programováním, bit LB2 chrání paměť i proti čtení. Oba bity mohou být odstraněny pouze úplným vymazáním paměti.

V aplikacích, kde je kritická spotřeba energie, je možné použít režim čekání nebo režim se sníženou spotřebou. **Režim čekání (Idle Mode)** se nastavuje bitem PCON.0 do logické hodnoty 1. Hodinový signál je odpojen od CPU, avšak nadále se přivádí k blokům přerušování, sériového portu

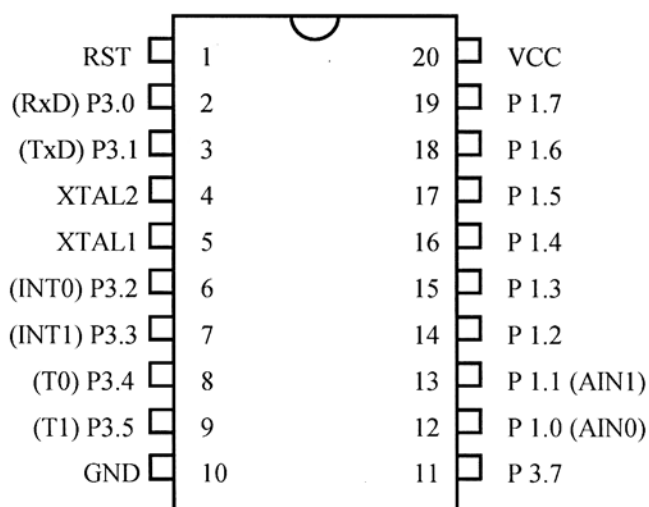
a časovačů. Je zachován úplný stav CPU: ukazatel zásobníku, programový čítač, stavové slovo programu, střadač i všechny ostatní registry uchovávají v režimu čekání svůj obsah. Špičky portů drží své logické stavy. Spotřeba mikrořadiče klesá na 5 mA pro napájecí napětí 6 V a kmitočet 12 MHz nebo až na 1 mA pro napájecí napětí 3 V, při kmitočtu 12 MHz. Existují dva způsoby jak režim čekání ukončit. Žádost o jakékoliv předem povolené přerušování způsobí, že se hardwarově vynuluje bit PCON.0 a tím se ukončí režim čekání. Jiný způsob, jak ukončit režim čekání, je využití hardwarové funkce nulování. Protože oscilátor hodin stále běží, stačí ke kompletnímu nulování vnitřních obvodů, aby RESET trval pouze dva strojové cykly.

Režim se sníženou spotřebou (Power Down Mode) se nastavuje bitem PCON.1 na logickou hodnotu 1. V tomto režimu se oscilátor umístěný na čipu zastaví a s ním se zastaví všechny funkce, avšak obsah paměti RAM a registrů speciálních funkcí zůstává zachován. Výstupy portů také zachovávají své hodnoty. Jediným východiskem z režimu se sníženým napájením je provedení hardwarové funkce nulování (RESET). Tato funkce znovu definuje obsah všech registrů speciálních funkcí, avšak nemění obsah paměti RAM. Napětí se může v tomto režimu snížit až na 2 V při odběru proudu pod 20 μ A.

Naprogramování mikropočítačů řady AT89 je poměrně složitou záležitostí a nejlepším řešením je použít některý z dostupných programátorů na našem trhu. Celá řada firem nabízí mikropočítačové moduly, simulátory, programátory včetně různého příslušenství a softwarového vybavení. Ceny se pohybují řádově v několikatisícových sumách a v některých případech (je-li programátor schopen programovat více druhů obvodů) se cena vyšplhá i přes deset tisíc korun.

Programování se pak skládá z několika kroků. Nejprve je nutné napsat vlastní program v jazyku symbolických adres (assembleru) na počítači PC. K psaní programu můžeme využít některý z dostupných editorů pracujících pod operačním systémem DOS. Může to být například editor z integrovaného prostředí Borland Pascalu, který je poměrně rozšířený. Dalším krokem je překlad programu do Intel Hexa kódu např. pomocí překladače assembleru A51. Pokud je překlad bez chyb, tak spustíme ovládací program programátoru a naprogramujeme vlastní mikrořadič. Velkou výhodou je možnost elektrického mazání paměti programu, což výrazně urychluje práci, oproti mazání paměti EPROM ultrafialovým světlem.

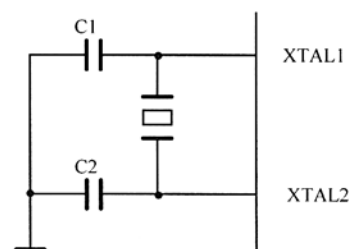
Příště si povíme něco bližšího o organizaci paměti mikrořadičů AT89C2051 a o základech programování monolitických mikropočítačů.



Obr. 6 – Zapojení vývodů mikrořadiče AT89C2051

Vývod	Alternativní funkce
P3.0	RxD vstup sériového kanálu
P3.1	TxD výstup sériového kanálu
P3.2	INT0 externí přerušování 0
P3.3	INT1 externí přerušování 1
P3.4	T0 vstup čítače 0
P3.5	T1 vstup čítače 1

Tab. 1 – Alternativní funkce vývodů portu P3



Obr. 7 – Zapojení obvodu oscilátoru

Ing. Jan Humlhans

část třetí

Filtrace a aktivní filtry

Návrh aktivního filtru

V tomto pokračování již přistoupíme k vlastnímu návrhu aktivního filtru (AF), přesněji řečeno k tomu, jak s pomocí tabulek nalezneme, po volbě typu filtru a jeho řádu, potřebné hodnoty odporů a kapacit RC sítě. Je vhodné znovu zdůraznit, že spíše než o exaktní návrh se jedná o přepočtení již vypočtených hodnot pro jednotkový kruhový kmitočet na kmitočet požadovaný, přičemž bude uveden i způsob, jak se vypořádat s tím, když v našich zásobách budou jiné hodnoty součástek, než které nám tabulky napoprvé poskytnou. I když tabulky budou obsahovat hodnoty pro realizaci téměř všech typů filtrů, o kterých jsme se v předchozích kapitolách zmínili, zabývat se budeme nejvíce filtry Butterworthovými, které vzhledem k svému chování v propustném pásmu zkreslí vstupní signál jen minimálně. Principiálně však, aplikujeme-li též postup, můžeme s využitím odpovídající části tabulky navrhnout i další tam obsažené typy filtrů. Dále si též ukážeme jak hodnoty horní propusti získáme přepočtem hodnot pro propust dolní.

1. Filtry vyššího než třetího řádu získáme kaskádou z nižších řádů

I když je možno RC síti s jedním operačním zesilovačem realizovat např. i filtr 5. řádu, v rámci jednoduchosti návrhu budeme filtry vyšších

řádů vytvářet kaskádou, tedy za sebou zapojenými bloky nejvýše třetího řádu a skončíme u filtru řádu 6. Pak jsou již nároky na dodržení přesnosti hodnot součástek RC sítě příliš velké.

1.1 Vytvoření filtrů 2. a 3. řádu

Zapojení filtrů, která budeme s uvedenými tabulkami schopni navrhovat (přičemž existuje i řada jiných způsobů návrhu), využívají některých skutečností, které lze zjistit po sestavení obecné přenosové funkce filtru 2. a 3. řádu se zesilovačem v neinvertujícím zapojení s obecným zesílením K . Tabulky, které budeme používat, vznikly výpočty prováděnými na základě porovnání obecné přenosové funkce dále popsanych zapojení s koeficienty mnohočlenů, které matematicky popisují jednotlivé aproximace přenosových funkcí, tedy např. Butterworthovu.

Projďeme si tedy nyní tyto jednotlivé díly tvořící naši filtrační stavbu.

2. Dolní propust

Při návrhu filtrů budeme pro všechny druhy frekvenčního chování aktivních filtrů vycházet vždy ze zapojení dolní propusti.

2.1 Dolní propust 2. řádu

Použijeme v obecném zapojení s neinvertujícím zesilovačem se zesílením o hodnotě K dle obr. 11. Je samozřejmé, že budeme chtít, abychom neměli přílišné problémy ne-

jen s výpočtem, ale ani se sestavením nalezené sady součástí. Možná zjednodušení jsou v použití

– *kondenzátorů se stejnými kapacitami*. Po dosazení této podmínky do výrazu pro přenosovou funkci obvodu z obr. 11 bychom zjistili, že v tomto případě se výpočet hodnot R_1 , R_2 a $C_1 = C_2 = C$ dále zjednoduší, volíme-li zesílení $K = 2$, tedy když je zesilovač zapojen jako neinvertující s tímto zesílením, jak je tomu na obr. 13.

– *rezistorů se stejnými odpory*. Tentokrát platí $R_1 = R_2 = R$. Tuto hodnotu spolu s hodnotami $C_{1,2}$ dostaneme snadněji pokud $K = 1$, tedy na místě zesilovače bude tzv. sledovač, zapojený podle obr. 14.

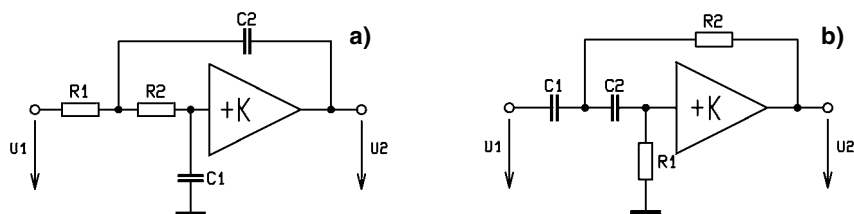
2.2 Dolní propust 3. řádu

kterou v našich filtrech použijeme, bude obecně zapojena podle obr. 12. Podobně jako v předchozím případě, i u dolní propusti 3. řádu nám pomohou stejné zjednodušující volby velikosti odporů případně kapacit RC sítě a zesílení zesilovače.

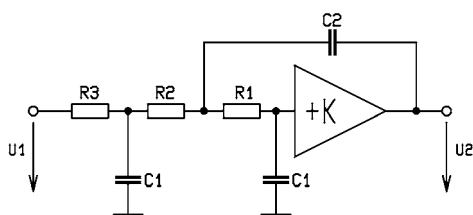
– *v případě volby stejných kapacit kondenzátorů C_{1-3}* , kdy je výhodné ještě volit zesílení $K = 2$, má filtr zapojení podle obr. 15.

– *pokud nám lépe vyhoví rezistory R_{1-3} se stejnými odpory*, dosáhneme dalšího zjednodušení při zesílení zesilovače $K = 1$ a filtr je zapojen podle obr. 16.

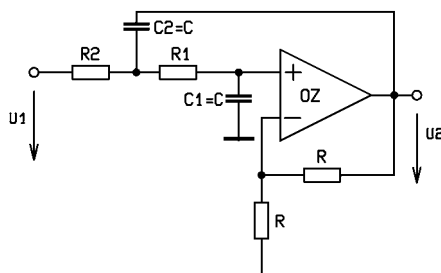
Zatím jsme si tedy ukázali, jak bude zapojena aktivní dolní propust s nejvyšším řádem 3. Pokud budeme požadovat filtr selektivnější, docílíme toho tím, že zapojíme zatím popsané bloky za sebe – do kaskády. Tedy např. filtr 4. řádu dostaneme zapojením dvou stupňů se zapojením odpovídajícím dolní propusti 2. řádu, 5. řád získáme kaskádou stupňů se zapojením podle obr. 12 a obr. 11.



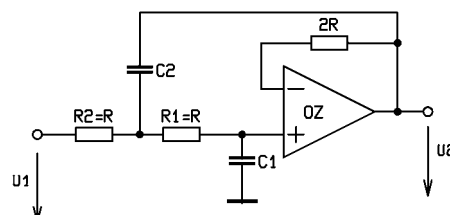
Obr. 11 – Zapojení DP (a) a HP (b) 2. řádu se zesilovačem se zesílením $+K$



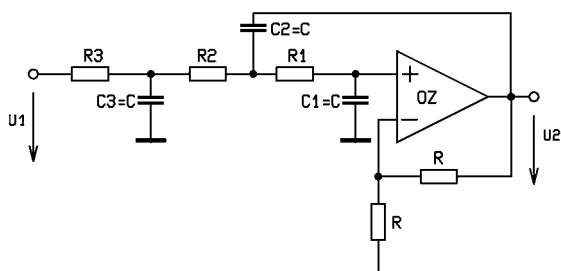
Obr. 12 – Zapojení DP 3. řádu se zesilovačem se zesilením +K



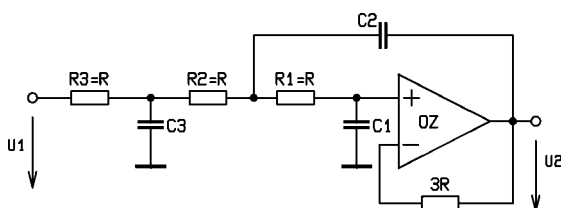
Obr. 13 – Dolní propust 2. řádu se stejnými kapacitami a zesilením 2



Obr. 14 – Dolní propust 2. řádu se stejnými odpory a zesilením 1



Obr. 15 – Dolní propust 3. řádu se stejnými kapacitami a zesilením 2



Obr. 16 – Dolní propust 3. řádu se stejnými odpory a zesilením 1

Jejich pořadí není lhostejné a z tabulek vidíme, že tyto dílčí stupně nemají stejné hodnoty součástí se samostatnými propustmi 2. a 3. řádu.

Rovněž nesmíme zapomenout, že při užití bloků, kde má zesilovač zesílení 2, se takto signál zesiluje v propustném pásmu v každém z nich, což však nemusí být v řadě případů na škodu.

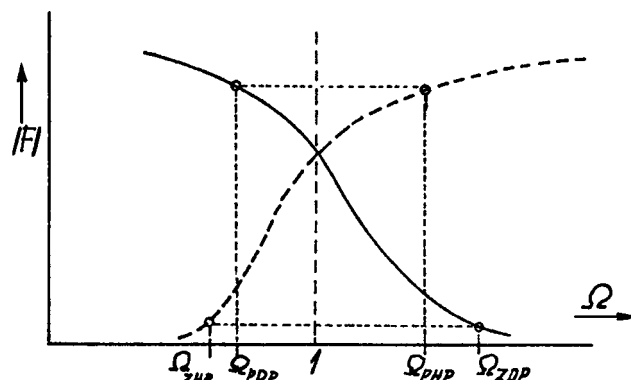
3. Návrh horních propustí

Ani zde se nebudeme příliš zabírat teorií, byť rubrika časopisu má toto označení. Protože naším cílem je aktivní filtry navrhovat s využitím tabulek, které budeme mít k dispozici, pro filtry typu dolní i horní propustí, v podstatě bez dokazování upozorníme na to, že mezi oběma typy filtrů existuje úzká souvislost. Podíváme-li se na schéma zapojení na obr. 11 a, které odpovídá obecné horní propusti 2. řádu a na 11 b, které patří HP 2.

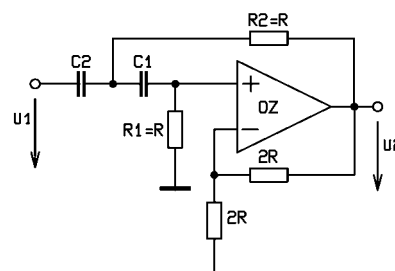
řádu, jistě si všimneme, že se od sebe liší tím, že na místě rezistorů v DP jsou v HP kondenzátory a místo kondenzátorů naopak rezistory. Takové obvody nazýváme duální. Na obr. 17 jsou naznačeny charakteristiky DP a HP stejného typu (aproximace), řádu a stejného mezního kmitočtu. Na základě zřejmé symetrie budeme proto postupovat tak, že pomocí charakteristik ekvivalentní DP nalezneme vhodný typ a potřebný řád a poté již využijeme připravených hodnot R a C pro HP (tabulky 2 a 4). Mezi v obr. 17 uvedenými normovanými kmitočty ekvivalentních propustí platí:

$$\Omega_{PDP} = 1 / \Omega_{PHP} \text{ a } \Omega_{ZDP} = 1 / \Omega_{ZHP} \quad (1)$$

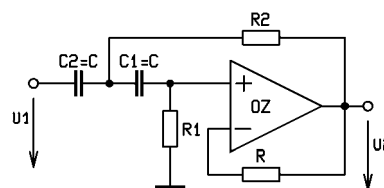
Názornější vše bude při řešení praktického příkladu uvedeného níže. Za připomenutí však stojí, že vzhledem k záměně R a C bude mít HP se stejnými kapacitami (na rozdíl od takto sestavené DP) zesilovač se zesílením 1 (obr. 15, 19) a HP se stejnými odpory rezistorů bude používat zesilovač se zesílením 2 (obr. 18, 20).



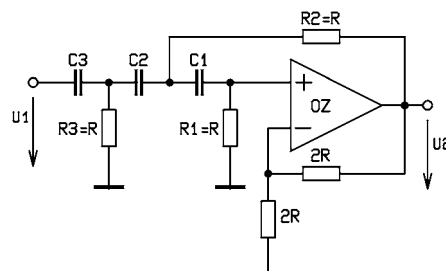
Obr. 17 – Kmitočtová charakteristika DP a HP stejného typu, řádu a mezního kmitočtu



Obr. 18 – Horní propust 2. řádu se stejnými odpory a zesilením 2



Obr. 19 – Horní propust 2. řádu se stejnými kapacitami a zesilením 1



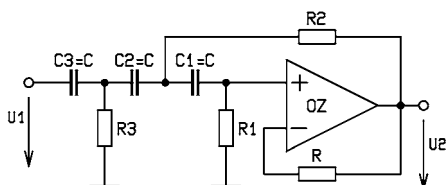
Obr. 20 – Horní propust 3. řádu se stejnými odpory a zesilením 2

4. Realizace zesilovacích stupňů

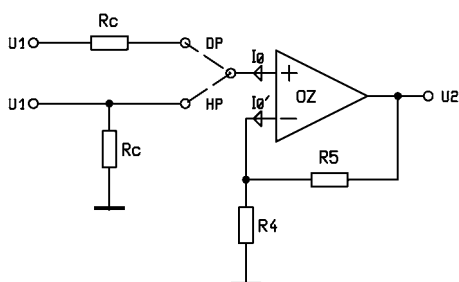
Jedním z předpokladů sestavení filtrů se zmíněnými zjednodušeními je použití zesilovačů s kladným zesílením $K = 1$ a $K = 2$. Použijeme pro to běžné neinvertující zapojení operačního zesilovače podle obr. 22, pro které platí, že $K = U_2 / U_1 = 1 + R_5 / R_4$. Pro $K = 2$ použijeme tedy rezistory se stejnými odpory, které pro snížení vlivu vstupních proudů zvolíme tak, aby platilo $R_4 = R_5 = 2 \cdot R_C$, kde pro případ DP a HP naznačené odpory R_C jsou celkové odpory, přes které se uzavírá proudová cesta z neinvertujícího vstupu OZ. Pro $K = 1$ zesilovač přejde v tzv. sledovač, kde rezistor R_4 je vypuštěn a R_5 se volí rovný R_C .

5. Průběhy amplitudových charakteristik DP

V každém případě budeme předpokládat, že při volbě typu aproximace rozhodnou její, v předchozím textu popsané, vlastnosti a jako nejpravděpodobnější variantu předpokládáme nejspíše Butterworthovu, jejíž charakteristika je



Obr. 21 – Horní propust 3. řádu se stejnými kapacitami a zesílením 1



Obr. 22 – Jak zapojíme zesilovač v aktivních filtrech

na obr. 23. Charakteristika Besselova filtru, jak je patrné i z obr. 24, je v přechodovém pásmu málo strmá a její využití je omezenější. Tabulky pro návrh filtru tab. 1 až tab. 4, však obsahují i hodnoty pro některé filtry Čebyševovy, které však mají zvlněné propustné pásmo s uvedeným rozkmitem. K návrhu můžeme přistoupit i tak, že se spokojíme s tím, že víme, že při mezním kmitočtu bude např. v případě Butterworthovy DP útlum signálu 3 dB a příliš nebudeme rozebírat situaci před a za mezním kmitočtem. Vhodný řád zvolíme např. podle zkušeností, odhadu nebo složitosti zapojení.

Může se však stát, že buď sami, nebo z jiného důvodu, dostaneme

zadání podrobnější, jako je tomu v následujícím případě, které posléze vyřešíme.

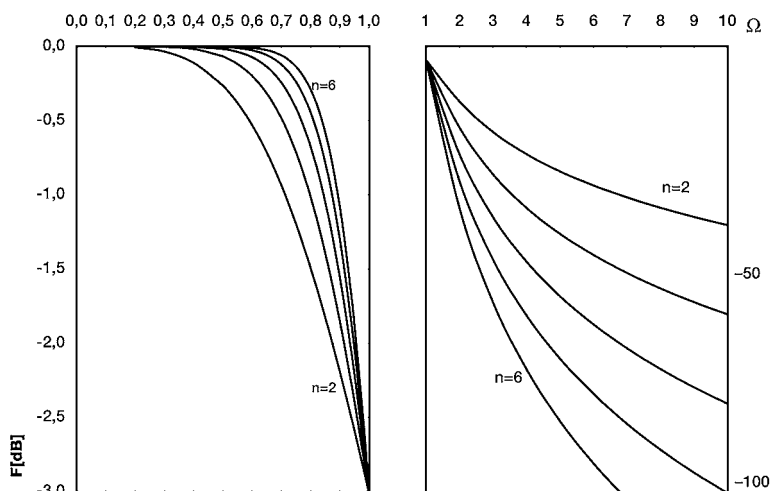
Příklad 1:

Dolní propust má mít v pásmu $0 \div 200$ Hz maximální útlum 1 dB a na kmitočtu $f_z = 500$ Hz minimální útlum 22 dB.

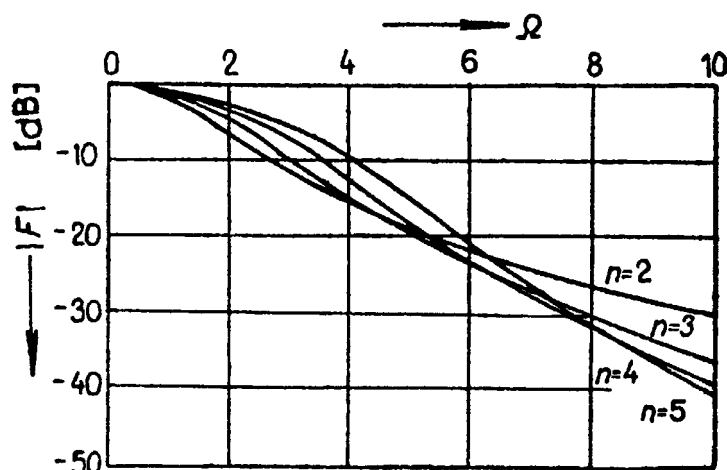
Příklad 2:

Horní propust má mít v propustném pásmu při $f_p = 350$ Hz přípustný útlum 1,5 dB, na kmitočtu $f_z = 140$ Hz minimální útlum 16 dB.

Nejprve zjistíme pomocí charakteristik na obr. 23 a 24, který nejnižší řád filtru již splní zadaná kritéria na útlum v propustném a zadržovaném pásmu.



Obr. 23 – Amplitudové charakteristiky Butterworthových DP



Obr. 24 – Amplitudové charakteristiky Besselových DP

6. Tabulky normovaných hodnot R, C pro aktivní DP a HP

Další pomůckou k nalezení hodnot odporů a kapacit AF pro nás budou tabulky tab. 1 až 4, které ve smyslu uvedených zjednodušení dosažených volbou zesílení zesilovače K na 1 nebo 2 a shodných odporů, případně kapacit o velikosti 1Ω případně $1 F$, udávají zbylé, neznámé hodnoty pro kruhový kmitočet $\omega = 1/s$. Na první pohled je zřejmé, že s těmito zajímavými čísly si budeme muset nějakým způsobem poradit, protože potřebujeme najít hodnoty nikoli pro jednotkový (normovaný) mezní kruhový kmitočet, ale pro konkrétní $\omega_m = 2\pi f_m$.

Po určení typu a řádu filtru podle charakteristik a výběru hodnot R_n a C_n z tab. 1 až 4, zatím však pro $\omega = 1/s$ budeme postupovat takto:

a) provedeme kmitočtové odnormování tak, že namísto hodnoty kapacity C_n z tabulek 1 až 4 použijeme skutečnou kapacitu C_{if} , pro níž platí:

$$C_{if} = C_n / \Omega_m \quad (2)$$

b) protože hodnoty R_n , C_n získané z tabulek mají příliš velké kapacity a malé odpory, je nutno je dále převést do praktické oblasti a případně použít součástky o hodnotách, které máme k dispozici. Zvolíme si sami např. maximální hodnotu odporu rezistoru R_{max} nebo C_{max} a vypočítáme si *impedanční měřítko* m jako:

$$m = R_{max} / R_{inmax} \quad \text{nebo} \\ m = C_{inmax} / C_{max} \quad (3)$$

definitivní hodnoty ostatních součástí pak pomocí tohoto měřítka získáme tak, že:

$$R_i = m \cdot R_n \quad \text{a} \quad C_i = C_n / m \quad (4)$$

7. Řešení příkladů

Příklad 1:

Na základě popsaných vlastností jednotlivých aproximací se rozhodneme pro Butterworthovu. Nejprve předpokládáme, že vystačíme s DP 3. řádu. Z charakteristiky na obr. 23 vidíme, že útlum 1 dB nastává při normovaném kruhovém kmitočtu $\Omega = 0,8$. Dále zjistíme, že pro normovaný kruhový kmitočet $\Omega = 500 \cdot (0,8/200) = 2$ má takový

Řád n	Stupeň	C [F]	Butterworth	Bessel	Čebyšev 0,5 dB	Čebyšev 1 dB	Čebyšev 2 dB	Čebyšev 3 dB
2	1	C1n	0,7071	0,5000	0,4701	0,4978	0,4883	0,4555
		C2n	1,4142	0,6667	1,4029	1,8219	2,4881	3,1013
3	1	C1n	0,2025	0,1451	0,0762	0,0587	0,0377	0,0253
		C2n	3,5468	0,8136	9,5674	14,7847	26,9374	43,4181
		C3n	1,3927	0,5647	1,9160	2,3445	3,0140	3,6286
4	1	C1n	0,9239	0,3169	1,1880	1,2060	1,1430	1,0490
		C2n	1,0824	0,3453	2,3620	2,9690	3,9490	4,8630
	2	C1n	0,3827	0,1831	0,1649	0,1414	0,1129	0,0943
		C2n	2,6131	0,4753	5,7030	7,1670	9,5370	11,7410
5	1	C1n	0,4213	0,1280	0,2864	0,2458	0,1941	0,1600
		C2n	1,7530	0,4170	6,4570	8,5950	12,2610	15,7910
		C3n	1,3540	0,3601	3,1310	3,8080	4,8970	5,9150
	2	C1n	0,3090	0,1280	0,1081	0,0905	0,0709	0,0586
6	1	C1n	0,9653	0,2260	1,8459	1,8609	1,7544	1,6007
		C2n	1,0350	0,2354	3,4507	4,3092	5,7043	7,0090
	2	C1n	0,7071	0,1791	0,3596	0,3046	0,2408	0,2002
		C2n	1,4142	0,2677	4,7138	5,8865	7,7922	9,5144
	3	C1n	0,2588	0,0949	0,0759	0,0628	0,0486	0,0400
		C2n	3,8637	0,3975	12,8783	16,0821	21,2924	26,1578

Tab. 1 – Kapacity kondenzátorů pro dolní propusti se shodnými odpory $R_n = 1 \Omega$, zesílením $K = 1$ a mezní kruhovou frekvencí $\omega = 1/s$

Řád n	Stupeň	R [Ω]	Butterworth	Bessel	Čebyšev 0,5 dB	Čebyšev 1 dB	Čebyšev 2 dB	Čebyšev 3 dB
2	1	R1n	1,4142	2,0000	2,1271	2,0087	2,0479	2,1955
		R2n	0,7071	1,5000	0,7128	0,5489	0,4019	0,3224
3	1	R1n	4,9395	6,8913	13,1199	17,0300	26,5393	39,4789
		R2n	0,2819	1,2291	0,1045	0,0676	0,0371	0,0230
		R3n	0,7181	1,7709	0,5219	0,4265	0,3318	0,2756
4	1	R1n	1,0824	3,1559	0,8418	0,8292	0,8749	0,9533
		R2n	0,9239	2,8962	0,4234	0,3368	0,2532	0,2056
	2	R1n	2,6131	5,4606	6,0650	7,0699	8,8540	10,6032
		R2n	0,3827	2,1038	0,1753	0,1395	0,1049	0,0852
5	1	R1n	2,3735	7,8150	3,4917	4,0677	5,1531	6,2516
		R2n	0,5705	2,3979	0,1549	0,1163	0,0816	0,0633
		R3n	0,7386	2,7774	0,3194	0,2626	0,2042	0,1691
	2	R1n	3,2361	7,8102	9,2511	11,0478	14,1143	17,0622
		R2n	0,3090	2,3247	0,1120	0,0895	0,0675	0,0549
	6	1	R1n	1,0360	4,4255	0,5418	0,5374	0,5700
R2n			0,9662	4,2484	0,2898	0,2321	0,1753	0,1427
2		R1n	1,4142	5,5820	2,7812	3,2830	4,1528	4,9961
		R2n	0,7071	3,7357	0,2121	0,1699	0,1283	0,1051
3		R1n	3,8637	10,5384	13,1747	15,9330	20,5639	24,9763
		R2n	0,2588	2,5159	0,0777	0,0622	0,0470	0,0382

Tab. 2 – Odpory rezistorů pro horní propusti se shodnými kondenzátory $C_n = 1 F$, zesílením $K = 1$ a mezní kruhovou frekvencí $\omega = 1/s$

filtr útlum pouze 18 dB. Je tedy třeba sáhnout po filtru vyššího, tedy 4. řádu. Pro $n = 4$ je útlum 1 dB pro $\Omega = 0,84$ a pro normovaný kruhový kmitočet odpovídající druhé podmínce $500 \cdot (0,84/200) = 2,1$ je útlum již asi 26 dB, což již splňuje požadavek příkladu.

Zvolíme např. filtr, který používá stejné odpory rezistorů a zesílení $K = 1$. Z tab. 1 vidíme, že jej budou tvořit dvě sekce 2. řádu zapojené podle obr. 14. Pro 1. sekci (od vstupu filtru) udává tab. 1 hodnoty normovaných kapacit a odporů

$$C_{1n} = 0,9239 F$$

$$C_{2n} = 1,0842 F$$

$$R_{1n} = R_{2n} = 1 \Omega$$

Normovanému meznímu kruhovému kmitočtu $\Omega = 1$ s útlumem 3 dB odpovídá mezní kmitočet

$$f_m = 1 \cdot (200/0,84) = 238,1 \text{ Hz}$$

Provedeme kmitočtové odnormování podle (2) a získáme:

$$C_{1f} = 0,9239 / (2 \cdot \pi \cdot 238,1) = 617,57 \mu F$$

$$C_{2f} = 1,0842 / (2 \cdot \pi \cdot 238,1) = 723,52 \mu F$$

Nyní provedeme podle (4) změnu impedančního měřítka získaného podle (3). Zvolíme hodnotu odporu použitých rezistorů $R_{\max} = 10 \text{ k}\Omega$. Impedanční měřítka m je tedy 10^4 .

Konečné hodnoty R a C pro první sekci tedy budou

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = C_{1f} / m = 61,8 \text{ nF}$$

$$C_2 = C_{2f} / m = 72,4 \text{ nF}$$

Pro druhou sekci filtru bychom obdobně získali tyto hodnoty:

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 25,6 \text{ nF}$$

$$C_2 = 174,8 \text{ nF}$$

Lze však i jednoduše použít přímé úměry mezi normovanými hodnotami v tabulce a již definitivními hodnotami první sekce.

Odpor R_5 v záporné zpětné vazbě zesilovače bude, podle 4., v obou sekcích 20 k Ω .

Příklad 2:

Již v předchozím jsme se zmínili, že mezi filtry typu HP a DP panuje úzký vztah znázorněný na obr. 17, který nám umožní využít prostředky známé z návrhu DP i pro HP.

Zvolíme opět Butterworthovu aproximaci. Při $n = 2$ nastává útlum 1 dB (s rezervou menší než požado-

vaných 1,5 dB) pro ekvivalentní DP podle obr. 23 při normovaném kmitočtu $\Omega_{PDP} = 0,72$. Na kmitočtu odpovídajícím v normované charakteristice 350 Hz, tedy na

$$\Omega_{ZDP} = 350 \cdot (0,72 / 140) = 1,8$$

zjistíme z charakteristiky na obr. 23 útlum 12 dB. Druhý řád je tedy nedostatečný a proto vyzkoušíme hodnoty při $n = 3$. V tomto případě nastane útlum 1 dB pro $\Omega_{PDP} = 0,8$ a pro kmitočet $\Omega_{ZDP} = 350 \cdot (0,8 / 140) = 2$ je 18 dB, což je, zatím pro ekvivalentní DP, vyhovující.

Nyní určíme podle (1) hodnoty normovaných kmitočtů

$$\Omega_{PHP} = 1 / \Omega_{PDP} = 1 / 0,8 = 1,25$$

$$\Omega_{ZHP} = 1 / \Omega_{ZDP} = 1 / 2 = 0,5$$

a úměrou hodnotu skutečného mezní kmitočtu

$$f_m = 1 \cdot (f_p / \Omega_{PHP}) = 1 \cdot (f_z / \Omega_{ZHP}) = 280 \text{ Hz},$$

kterou potřebujeme znát pro kmitočtové odnormování.

Pro realizaci zvolíme variantu HP se stejnými kondenzátory zapojenou podle obr. 21. Z tab. 2 zjistíme, že v normované podobě pro $\omega_m = 1/s$ budou mít kondenzátory stejnou kapacitu 1 F a rezistory odpory

$$R_{1n} = 4,9395 \Omega$$

$$R_{2n} = 0,2819 \Omega$$

$$R_{3n} = 0,7181 \Omega$$

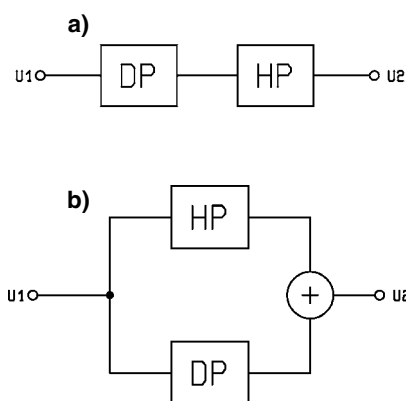
Kmitočtovým odnormováním pro $f_m = 280 \text{ Hz}$ dostaneme stále ještě nepoužitelnou hodnotu

$$C = 568,4105 \cdot 10^{-6} F$$

Přistoupíme proto k impedanční transformaci, přičemž zvolíme jako vhodnou hodnotu kapacity

$$C_{\max} = 100 \text{ nF}$$

Impedanční měřítka bude tedy $m = 5684,1 \cdot 10^{-7} / 10^{-7} = 5684,1$.



Obr. 25 – Získání pásmové zadržky (a) a propusti (b)

Pro konečné hodnoty odporů bude tedy platit $R_1 = m \cdot R_{1n} = 28,08 \text{ k}\Omega$, podobně $R_2 = 1,602 \text{ k}\Omega$ a $R_3 = 4,08 \text{ k}\Omega$.

8. Návrh pásmových propustí a zadržky

Pokud dokážeme navrhovat filtry typu DP a HP, není již problém vytvořit i pásmové propusti a zadržky, tedy PP a PZ. Propust získáme kaskádním (sériovým) spojením DP a HP, zadržku naproti tomu jejich spojením paralelním. V druhém případě přivedeme zpracováváný signál na spojené vstupy DP a HP, jejichž výstupy sloučíme, např. pomocí sčítacího zesilovače s OZ v invertujícím zapojení. Tento způsob vytváření těchto filtrů je vhodný, pokud se horní a dolní mezní kmitočty výrazněji liší, nehodí se tedy pro zadržky a propusti úzkopásmové, kdy se užívají jiné způsoby realizace, např. s kmitočtově selektivním dvojitým T-článkem ve zpětné vazbě OZ.

9. Součástky pro filtry

Ukázali jsme si jak určit hodnoty jednotlivých součástí aktivního RC. Zbývá však dodat několik poznámek pro volbu jejich typů.

U pasivních součástek je třeba, zvláště u filtrů vyšších řádů, dbát na co nejvyšší shodu s nalezenými hodnotami a na co možná malou teplotní závislost. Vhodné je např. zvolit rezistory, jejichž kladný teplotní koeficient je přibližně shodný se záporným teplotním koeficientem kapacity kondenzátorů. Tak tomu bývá např. u metalizovaných rezistorů a polyesterových kondenzátorů. Výhodné je, i z hlediska jemné velikostní řady (až E192), používat stabilní rezistory s odporovou kovovou vrstvou a nízkým teplotním koeficientem, případně přesné metalizované destičkové rezistorové sady vyráběné hybridní technologií. Uhlíkové rezistory použijeme jen pro filtry 2. a 3. řádu užívané v laboratorních podmínkách. Lze je však užít pro doplnění výše doporučených typů na potřebnou hodnotu paralelní či sériovou kombinací.

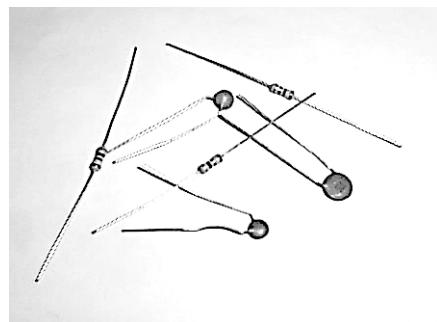
Při návrhu hledíme rovněž na to, aby hodnoty odporů byly větší než 1

k Ω a kapacita kondenzátorů byla minimálně stovky pF, nejvýše jednotky μ F. V případě potřeby lze opakovaně měnit impedanční měřítko tak, abychom se dostali do těchto podmínek. V této fázi stačí (při téže mezní kmitočtu) kompenzovat zvýšení/snížení kapacit úměrným snížením/zvýšením odporu rezistorů.

Jinak, při malých kapacitách, narůstá vliv parazitních kapacit přívodních vodičů a spojových drah. Keramickým kondenzátorům se kvůli velké teplotní závislosti vyhneme. Podobně nepoužíváme kondenzátory elektrolytické.

Při realizaci zesilovacích bloků, které podle zvolené varianty mají zesílení 1 nebo 2, předpokládáme samozřejmě použití operačního zesilovače. Důležitými parametry jsou v tomto případě tzv. *tranzitní kmitočet* f_t a *rychlost přeběhu SR (Slew Rate)*. Jejich hodnoty se u současných OZ pohybují v řádu jednotek MHz a V/ μ s. Takové OZ použijeme pro AF v kmitočtovém pásmu do desítek kHz. Rychlé OZ mají f_t v desítkách MHz a V/ μ s, což dovoluje realizovat filtry pro pásmo stovek kHz. V uváděných schématech nejsou popsány součástky, které si vyžadují různé typy, byť při blokování napájecích vývodů bývá víceméně pravidlem použití keramických 100nF kondenzátorů, případně paralelně s 1 μ F elektrolytem. Pro nízké mezní kmitočty, kdy se použít příliš velkých kapacit (nad 10 μ F) bráníme rezistory s velkým odporem, použijeme operační zesilovače s nízkými vstupními proudy, které mají na vstupu polem řízené tranzistory. Jejich vhodnost pro tento účel je většinou uvedeno přímo v technické specifikaci.

– Pokračování příště –



Řád n	Stupeň	R [Ω]	Butterworth	Bessel	Čebyšev 0,5 dB	Čebyšev 1 dB	Čebyšev 2 dB	Čebyšev 3 dB
2	1	R1n	1,4142	1,0000	0,9403	0,9957	0,9766	0,9109
		R2n	0,7071	0,3333	0,7014	0,9110	1,2441	1,5506
3	1	R1n	0,4348	0,1975	0,2681	0,2455	0,2071	0,1775
		R2n	1,4694	0,4207	2,7777	3,6442	5,0589	6,3751
		R3n	1,5652	0,8025	1,8766	2,2752	2,9199	3,5271
4	1	R1n	1,8478	0,6337	2,3756	2,4114	2,2857	2,0984
		R2n	0,5412	0,1726	1,1811	1,4843	1,9746	2,4317
	2	R1n	0,7654	0,3663	0,3298	0,2829	0,2259	0,1886
		R2n	1,3066	0,2377	2,8514	3,5833	4,7670	5,8706
5	1	R1n	0,5081	0,1379	0,5539	0,5085	0,4310	0,3705
		R2n	0,9328	0,2299	3,0420	3,9201	5,3555	6,8934
		R3n	2,1099	0,6060	3,4364	4,0370	5,0482	6,0243
	2	R1n	0,6180	0,2561	0,2162	0,1810	0,1417	0,1172
		R2n	1,6180	0,2151	4,4658	5,5892	7,4117	9,1142
6	1	R1n	1,9139	0,4519	3,6917	3,7217	3,5087	3,2132
		R2n	0,5176	0,1177	1,7254	2,1546	2,8521	3,5045
	2	R1n	1,1414	0,3583	0,7191	0,6092	0,4816	0,4003
		R2n	0,7071	0,1338	2,3569	2,9432	3,8961	4,7872
	3	R1n	0,5176	0,1898	0,1518	0,1255	0,0973	0,0801
		R2n	1,9319	0,1987	6,4391	8,0411	10,6444	13,0789

Tab. 3 – Odpor rezistorů pro dolní propusti se shodnými kondenzátory
 $C_n = 1$ F, zesílením $K = 2$ a mezní kruhovou frekvencí $\omega = 1$ / s

Řád n	Stupeň	C [F]	Butterworth	Bessel	Čebyšev 0,5 dB	Čebyšev 1 dB	Čebyšev 2 dB	Čebyšev 3 dB
2	1	C1n	0,7071	1,0000	1,0635	1,0044	1,0239	1,0978
		C2n	1,4142	3,0000	1,4256	1,0977	0,8038	0,6449
3	1	C1n	2,2999	5,0645	3,7306	4,0735	4,8286	5,6348
		C2n	0,6805	2,3770	0,3600	0,2744	0,1977	0,1569
		C3n	0,6389	1,2460	0,5329	0,4395	0,3425	0,2835
4	1	C1n	0,5412	1,5779	0,4210	0,4147	0,4375	0,4766
		C2n	1,8478	5,7924	0,8467	0,6737	0,5064	0,4112
	2	C1n	1,3066	2,7303	3,0325	3,5350	4,4270	5,3016
		C2n	0,7654	4,2076	0,3507	0,2791	0,2098	0,1703
5	1	C1n	1,9682	7,2505	1,8053	1,9667	2,3204	2,6989
		C2n	1,0720	4,3502	0,3287	0,2551	0,1867	0,1494
		C3n	0,4739	1,6502	0,2910	0,2477	0,1981	0,1660
	2	C1n	1,6180	3,9051	4,6256	5,5239	7,0572	8,5311
		C2n	0,6180	4,6494	0,2239	0,1789	0,1349	0,1097
		C3n	0,5225	2,2128	0,2709	0,2687	0,2850	0,3112
6	1	C1n	1,9319	8,4968	0,5796	0,4641	0,3506	0,2853
		C2n	0,5176	5,0319	0,1553	0,1244	0,0939	0,0765
	2	C1n	0,8761	2,7910	1,3906	1,6415	2,0764	2,4981
		C2n	1,4142	7,4714	0,4243	0,3398	0,2567	0,2089
	3	C1n	1,9319	5,2692	6,5874	7,9665	10,2819	12,4881
		C2n	0,5176	5,0319	0,1553	0,1244	0,0939	0,0765

Tab. 4 – Kapacity kondenzátorů pro horní propusti se shodnými odpory
 $R_n = 1$, zesílením $K = 2$ a mezní kruhovou frekvencí $\omega = 1$ / s

Elektromagnetická slučitelnost

■ Ing. Ladislav Havlík, CSc. ■ *část třetí* ■

Měření odolnosti proti rušení

Měření odolnosti proti rušení

Měření elektromagnetického rušení bylo v rozvinutých zemích prováděno již před více než 25 lety. Požadavky na měření odolnosti proti elektromagnetickému rušení a rušivým napětím se objevily později. První méně dokonalé normy byly upraveny podle nově vznikajících požadavků (objevily se například mobilní telefony) počátkem roku 1995 a začaly vznikat nové normy EN (European norms). Časové zdržení vzniku norem mělo za následek pozdější zavádění testu odolnosti proti rušení ve výrobě. Novým normám musí vyhovovat všechny výrobky určené pro evropský

trh od počátku roku 1996. Jen tak mohou být opatřeny chrannou známkou CE, aby je bylo možno volně prodávat. Původní označení odolnosti proti rušení EMS (electromagnetic susceptibility) používané v testech vojenských zařízení, je nyní nahrazováno názvem elektromagnetická imunita.

Měření odolnosti proti rušení, imunita, vyžaduje jiný přístup k testovanému zařízení a jiné metody, nežli měření rušivých signálů. Při měření odolnosti proti rušení se hledá velikosti rušivého elektromagnetického pole nebo napětí, při které ještě nedojde k poruše funkce měřeného zařízení. Naše velikosti pole nebo napětí musí být pod normami stanovenou úrovní rušení. Zdroj rušení je nahra-

zen generátorem rušivého signálu s vazebním zařízením, jak je naznačeno v obrázku 13.

Rozsahy parametrů při měření odolnosti proti rušení jsou zhruba uvedeny v tabulce 7. Dávají tušit, že měření jsou velmi rozmanitá a náročná takže vyžadují mnoho složitých a drahých zařízení. Mezi nejdražší zařízení patří bezodrazová komora, stojan s polohovačem antény, který umožňuje její automatické nastavování a výkonové zesilovače v signálu pro dosažení potřebné intenzity pole.

Měření odolnosti proti rušení vedením

Testy odolnosti proti rušení vedením (conducted immunity) vyžadují přivedení nosného napětí 1, 3 nebo 10 V do napájecí přívodní šňůry a propojovacích kabelů v kmitočtovém rozsahu od 150 kHz do 80 MHz. Testy se neprovádějí ve stíněných bezodrazových komorách, ale často se měří ve stíněných prostorách. Nosná je 80% $\pm 5\%$ modulována kmitočtem 1 kHz $\pm 10\%$. Harmonické a produkty zkreslení musí být o 15 dB nižší (5,6 $\times$) než je nosná. Napětí nosné 1 V je použito pro výrobky s nízkou imunitou, 3 V se střední imunitou, 10 V pro vybrané výrobky a připravuje se ještě třída výrobků s vysokou imunitou, kde není úroveň rušivého signálu dosud stanovena.

Rušivý signál se do přívodních šňůr a propojovacích vedení přivádí připojovacími a odpojovacími vazebními členy (Coupling / Decoupling Network – CDN), proudovými kleštěmi, elektromagnetickými kleštěmi nebo přímou injekcí. Souhlasná vstupní impedance pro rušivé signály na vstupu měřeného zařízení je stanovena na 150 Ω . Vazebních členů CDN je značné množství, neboť jejich provedení závisí na tom, zda přivádějí rušivý signál do přívodní šňůry nestíněného či stíněného nebo koaxiálního kabelu. Některé mohou fungovat jako umělé



Obr. 13 – Přijímač pro měření rušivých signálů Rohde&Schwarz ESS. V pozadí je bezodrazová stěna s tlumícími jehly

síť. Jejich provedení je stanoveno normami, lit. [2].

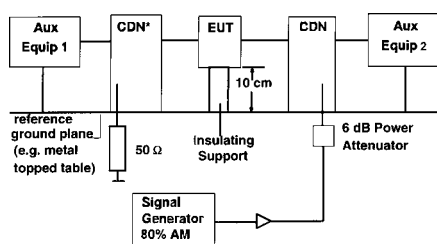
Zde je dobré poznamenat, že české normy navazují přímo na mezinárodní normy IEC (International electrotechnical commission) a na evropské normy EN. České normy vznikají v Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (UNMZ, Biskupský dvůr č. 5, 110 02 Praha 1).

Příklad blokového zapojení pracoviště na měření odolnosti proti rušení vedením je na obr. 14.

Vazebních členů CDN je stejné množství jako přívodů k měřicímu zařízení EUT (Equipment under test). Jeden zde slouží k navázání rušivého signálu, jiné zabráňují pronikání rušivé energie do pomocných zařízení (Auxiliary equipment). Pomocná zařízení umožňují správnou činnost testovaného zařízení a jiná zas připojují obslužné, měřicí a automatizační prostředky pro pracoviště. Měřicí zařízení je umístěno na vodivé desce, měřené zařízení je na izolační podložce 10 cm nad základní deskou. Vazební člen CDN s připojeným generátorem rušivého signálu je od měřeného zařízení ve vzdálenosti větší než 10 cm a menší než 30 cm.

Obecně je měření odolnosti proti rušení vedením prováděno v rozsahu 15 kHz až 80 MHz, viz tabulka 7.

Jedná-li se však o malé bateriové



Aux. equipment

..... Pomocné zařízení

CDN (Coupling/Decoupling Network)

..... Připojovací a odpojovací zařízení

Reference ground plane

..... Referenční vodivá základna – zem

6 dB power attenuator

..... Výkonový zeslabovač 6 dB

Obr. 14 – Pracoviště na měření odolnosti proti rušení vedením.

Rušivý signál z generátoru je přiveden vazebním členem CDN

Odolnost proti rušení	Rozsah
Vybíjení elektrostatického náboje	2 až 8 kV dotekem 2 až 15 kV vzduchem
Blikání v síti, řetězce poruch (Flickering, Burst)	250 V až 2 kV vstupní a výstupní vedení 500 V až 4 kV ss a síť napájení
Signály indukované vedením	150 Hz až 80 MHz 1 až 10 V/80 % AM 1 kHz
Signály šířené zářením	(26 MHz) 80 MHz až 1 GHz 1 až 10 V/m 80 % AM 1 kHz
Výkonové kmitavé magnetické pole	1 až 100 A/m nepřetržitě
Impulsní magnetické pole	100 až 1000 A/m
Magnetické pole tlumených oscilací	10 až 100 A/m

starší normy

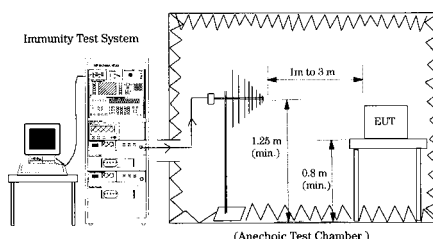
Tab. 7 – Rozsahy parametrů při měření odolnosti proti rušení

zařízení, mohou být kmitočtové hranice posunuty. Počáteční měřicí kmitočet je $f_{\text{star}} = 3 \cdot 10^8 / 10 l$, kde l je délka zkoušeného zařízení. Konečný kmitočet může být až 230 MHz.

Měření odolnosti proti rušení zářením

Provádí se v kmitočtovém rozsahu 80 MHz až 1 GHz. Nosná vlna je amplitudově modulována signálem 1 kHz do hloubky 80 %. Rozmítané měření připouští maximální rychlost změny kmitočtu 0,0015 dekadý za sekundu (~15 kHz/s v rozsahu 0,1 až 1 GHz). Elektrické pole se používá v rozmezí 3 až 10 V/m. Pracoviště na měření odolnosti proti rušení zářením se obvykle umísťuje do bezodrazové komory. Příkladem je obr. 15.

Bezodrazová komora je z vodivého materiálu (ocelová) s vnitřními stěnami pokrytými absorčním materiálem



EUT Testovací zařízení

Immunity test system

..... Zařízení na měření odolnosti proti

rušení zářením (imunity)

Anechoic test chamber

..... Bezodrazová komora

Obr. 15 – Pracoviště na měření odolnosti proti rušení zářením

(vodivý, černý molitan) ve tvaru jehlanů. Základna jehlanů je asi 10 cm. V levnějších komorách jsou tlumící jehlany nahrazovány tlumícími destičkami z tuhého bezodrazového materiálu. Vzdálenost mezi měřeným zařízením a anténou je obvykle 3 m, nejméně však 1 m. Vzdálenost r musí vyhovovat podmínce $r > \lambda / 2\pi$ ($r = 3 \cdot 10^8 / f$, f je kmitočet nosné vlny rušivého signálu).

Před každým měřením je nutné provést kalibraci intenzity pole ve vzdálenosti 3 v ploše $1,5 \times 1,5$ m, jejíž spodní strana je 0,8 m nad podlahou stíněné místnosti nebo vodivou základnou. Síla pole se měří izotropickou sondou v celkem 16 bodech v rastru $0,5 \times 0,5$ m nemodulovaným signálem. Smí kolísat v rozmezí +0 až -6 dB ve 12 ze všech 16 bodů (75 %). Kalibrace se provádí na kmitočtech od 80 do 1000 Mhz po přírůstcích nejvýše 10 % od předchozího kmitočtu. Takové měření se skládá z neobvyklého počtu hodnot a je nemyslitelné provádět je jinak nežli automatizovaně. To ovšem platí o měření EMC obecně.

Uvedme příklad výpočtu potřebného výkonu P , jestliže požadujeme sílu pole $E = 10$ V/m, vzdálenost $r = 3$ m na kmitočtu $f = 100$ Mhz. Použijeme bikonickou anténu, jejíž anténní činitel $A_F = 44$ dB na kmitočtu 100 Mhz. Pro nemodulovaný výkon $P_{\text{nemod.}}$ ve watech platí vztah:

$$P_{\text{nemod.}} = E^2 r^2 / 30 G$$

Výkon stoupá se součinem kvadrátů síly pole E a vzdáleností r !

G je zisk antény v dB a platí pro něj výraz:

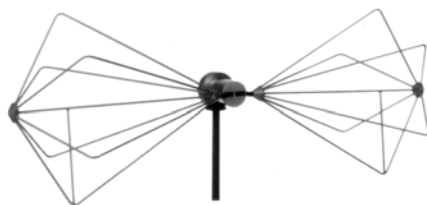
$$G = 20 \log f - A_F - 29,8 \text{ dB}$$

V našem případě je $G = 20 \log$

$100 - 44 - 29,8 = -33,8 \text{ dB} = 0,02$
 $a P_{\text{nemod}} = 10^2 \cdot 3^2 / 30 \cdot 0,02 = 1500$
 W. Při modulaci 80 % vzroste výkon $1,8^2$ krát na $P_{\text{modul}} \approx 5 \text{ kW}$! Požadované výkony jsou velké a s klesajícím kmitočtem dramaticky vzrůstají. Proto se někdy měření odolnosti proti rušení zařízením na nižších kmitočtech nahrazuje měřením imunity vedením a normy to povolují! Někteří výrobci totiž potřebují svoje výrobky testovat na kmitočtu 26 MHz v poli $E = 10 \text{ V/m}$ i



Obr. 17 – Logaritmicko-periodická anténa EMCO 3146 pro kmitočty 200 až 1000 MHz a vyzářený výkon do 1,3 kW



Obr. 16 – Bikonická anténa EMCO 3108 pro rozsah 30 až 300 MHz a vyzářený výkon do 500 W (EMCO = Electro Mechanics Company)

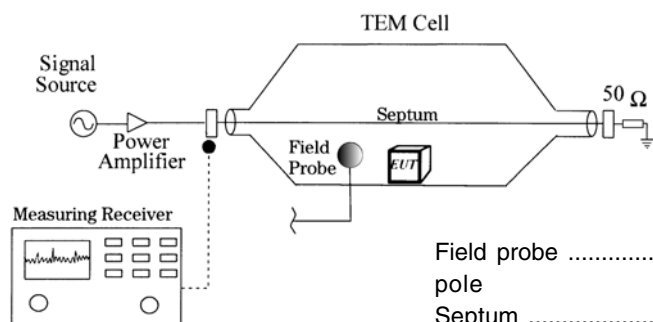
když to evropská norma vysloveně nežadá. Na tak nízkém kmitočtu by náklady na zařízení mohly vzrůst až trojnásobně proti měření na vyšším kmitočtu.

Vazebním prvkem mezi zdrojem rušení (generátorem, případně se zesilovačem) a měřeným zařízením jsou při imunitních testech antény. Používají se celkem trojího druhu:

1. Bikonické pro kmitočtový rozsah 30 až 300 MHz – obr. 16
2. Logaritmicko-periodické pro kmitočty asi 200 MHz až 16 GHz – obr.17
3. Širokopásmové, kombinované z obou předchozích, pro pásmo 30 MHz až 1 GHz.

Širokopásmové antény zmenšují počet součástí měřicího zařízení a nevyžadují použití anténního přepínače.

Pro předcertifikační měření odolnosti proti rušení zařízením se někdy používá TEM komora (transverse electromagnetic cell). Je proti velké bezodrazové komoře levným řešením. TEM komora je rozšířeným koaxiálním vedením čtvercového průřezu, kde střední vodič tvoří plochou přepážku – obr. 18. Rušivý signál z výkonového zesilovače, převedený na střední vodič (na druhé straně zakončený rezistorem s odporem $= Z_0 = 50 \Omega$) vytváří mezi přepážkou (středním vodičem) a dnem komory silné jedolité pole. Sílu pole kontroluje sonda s měřícím přijímačem. Rozměry měřeného zařízení nesmí přesáhnout 1/3 vzdálenosti mezi přepážkou a dnem komory. Čím větší je komora, tím nižší je její použitelný horní kmitočet, při němž je komora prostá rezonancí a pole v ní je neměnné velikosti. Například TEM komora s průřezem $30 \times 30 \text{ cm}$ má kmi-



Obr. 18 – TEM komora na imunitní měření

Field probe Sonda na měření pole
 Septum Přepážka = střední vodič
 Signal source Generátor
 TEM Cell Komora TEM
 Power amplifier Výkonový zesilovač
 Measuring receiver Měřicí přijímač

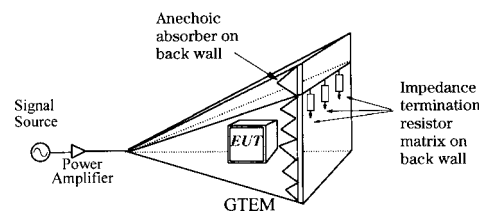
točtový rozsah 0 až 500 MHz a může v ní být testováno zařízení o rozměrech $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}$. Komora s průřezem $183 \times 183 \text{ cm}$ má rozsah 0 až 100 MHz a měřit v ní lze zařízení až $\sim 60 \times 60 \times 20 \text{ cm}$ velké, lit. [3].

Poměrně novým zařízením na získání jedolitého elektromagnetického pole až do kmitočtu několika GHz je GTEM komora (Gigahertz transverse electromagnetic cell). Je to jehlanovitě se rozšiřující pravoúhlé koaxiální vedení. Střední vodič v horní části komory tvoří přepážku, která je na rozšířeném konci impedančně zakončena rozloženou impedancí Z_0 tvořenou řadou rezistorů, obr. 19. Zadní stěna komory (základna jehlanu) je opatřena absorbčními jehlany. Maximální rozměr měřeného zařízení může být 1/2 vzdálenosti přepážka – dno komory. Se signálem o výkonu $P = 3$ až 25 W lze v komoře dosáhnout intenzity pole E i více než 10 V/m . Podle lit. [2] pro intenzitu pole platí

$$E = \sqrt{P Z_0} / h,$$

h je vzdálenost mezi přepážkou a dnem komory v místě měřeného zařízení. GTEM komory se konstruují modulárně, takže je lze rozšiřovat. Někdy dosahují pozoruhodných rozměrů, jako na obr. 20. Těchto komor se také používá při měření rušení zařízením. Generátor rušivého signálu (v obr. 19) je nahrazen měřícím přijímačem nebo analyzátozem spektra.

Testování odolnosti proti rušení vyžaduje použití zdrojů amplitudově modulovaných signálů s výstupním výkonem zhruba od 3 W (rádiové přijíma-



Anechoic absorber on back wall Tlumící jehlany na stěně
 Signal source Generátor
 EUT Testovací zařízení
 Impedance termination resistor matrix on the back wall Zakončovací matice rezistorů
Obr. 19 – GTEM komora na imunitní měření proti rušení schematicky

če) do 15 kW (automobily). Pro dosažení tak velkých výkonů se za generátory zařazují výkonové zesilovače. Vyžaduje se od nich dobrá linearita a malé zkreslení. I při největších výstupních výkonech musí být harmonické a produkty zkreslení nejméně o 15 dB nižší, než je nosná vlna. Protože vazební členy nemají vždy přesně definovanou vstupní impedanci, musí výkonové zesilovače pracovat bezchybně v širokém rozsahu zátěží.

Jako příklad uveďme výkonový zesilovač Amplifier Research 1000A100 s kmitočtovým rozsahem 10 kHz až 100 MHz a výstupní výkon nejméně 1,1 kW. Jeho kmitočtová charakteristika je na obr. 21. Zesílení je 60 dB (pro plné vybuzení je vstupní výkon 1 mW/50Ω, což je 0,22 V/50Ω) s možností regulace v rozmezí 18 dB (140 W až 1,1 kW). Harmonické zkreslení při výkonu 1 kW je nejvýše -20 dBc. Zesilovač má rozměry 56 š x 150 v x 58,4 h cm a váží 150 kg.

Pro testování odolnosti proti rušení impulsy se používají impulsy s velkým rozsahem parametrů – tab. 8, lit. [4]. Zkušební impulsy ohraničuje část nabíjecí exponenciely

$(1 - e^{-t/\tau})$ a vybíjecí exponenciely ($e^{-t/\tau}$). Délku impulsu určuje pokles vybíjecí exponenciely na 1/2 maximální amplitudy. Tvar proudových impulsů definovaných různými normami je na obr. 22. Parametry impulsů rozhodně nejsou skromné.

Harmonické kmitočty a blikání sítě

Poměrně novým odvětvím měření EMC je sledování harmonických kmitočtů a blikání sítě, hledání zdrojů těchto nepříjemných jevů a možností jejich omezení.

Harmonické vznikají v průmyslových zařízeních, motorech s pulzující zátěží, obvodech s jednocestným usměrněním, kopírákách, faxech a tiskárnách, domácích přístrojích jako jsou mixéry, vysoušeče vlasů nebo mikrovlnné trouby. Způsobují zkreslení průběhu síťového napětí. Součet harmonických výrazně zvyšuje proud nulovým vodičem a ve výsledku zvětšuje požadavek na výkon dodávaný elektrárnami. Právě nulový proud zvý-

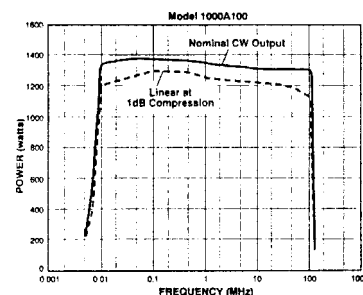


Obr. 20 – GTEM komora EMCO 5311 s měřicími zařízeními

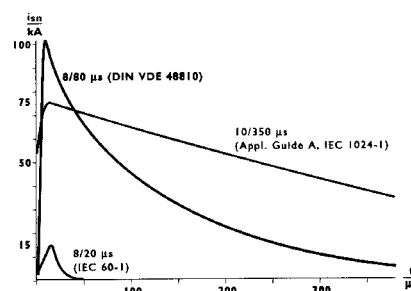
šený nad běžnou míru dal popud k nalezení harmonických kmitočtů v síti a jejich měření.

Blikání sítě způsobuje její rázové zatěžování. Protože má charakter obvodu RL jsou výsledkem rázového zatěžování impulsní poklesy napětí – blikání (flickering). Schematicky to znázorňuje obrázek 23. Takovým generátorem nežádoucích fluktuací je kompresor chladničky. Typickým a velmi nežádaným projevem těchto kolísání je blikání zdrojů světla. Působí velmi nepříznivě na zdraví pracovníků, ohrožuje bezpečnost práce a může způsobit i vážné pracovní problémy, například epileptické záchvaty u lidí k nim náchylných. Člověk je nejcitlivější na blikání s kmitočtem 8,8 Hz. Mžikové poklesy v dodávce energie ohrožují bezpečnou činnost velkého množství elektrických a elektronických zařízení.

Měření harmonických se provádí jednak analogově analyzátory spektra, jednak digitálně s použitím FFT (fast Fourier transform – rychlá Fourierova transformace). Přednost se dává podstatně rychlejší metodě FFT. Harmonické se snímají pomocí bočníku, jako na obr. 24, nebo proudovou sondou. Na obr. 24 jsou znázorněny zdroje harmonických – proudové impulsy ze spínacího zdroje napájení laserové tiskárny. Proudové sondy



Obr. 21 – Kmitočtová charakteristika lineárního výkonového zesilovače Amplifier Research 1000A100

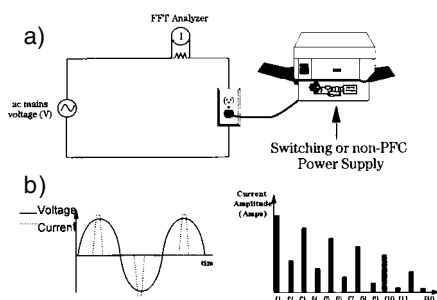


Obr. 22 – Tvary proudových impulsů pro testování odolnosti proti rušení impulsy

Generátor impulsů simuluje	Charakter impulsu: čelo/délka			
odpojení zátěže s velkou indukčností	napětí	1,2/50 μ s	proud	8/20 μ s
		10/700 μ s		4/300 μ s
odpojení zátěže bez indukčnosti	5/100 ns	1500 V		
zakmitávající mechanické kontakty	5/150 ns	500, 1000 V	f = 5 kHz	
			trvání impulsů	15 ms (burst)
			perioda	300 ms
vybití elektrostatického náboje (např. přes obsluhu)	5/50 ns	1,5 až 25 kV		

Tab. 8 – Parametry generátorů impulsů, které simulují vznik různých rušivých impulsů podle normy VDE 0843

jsou vhodnější pro měření ve třífázové síti, protože bočníky spotřebují nezanedbatelný výkon.



AC mains voltage Napětí sítě
 FFT analyzer Analyzátor FFT
 Switching power supply Spínací zdroj

Obr. 24

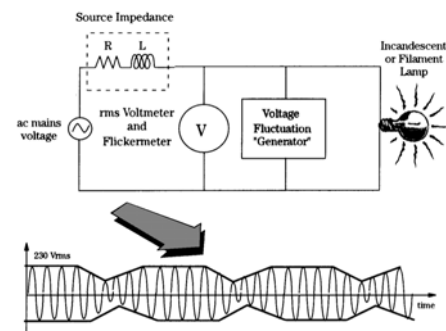
- a) Snímání harmonických bočníkem
 b) Vytváření harmonických signálů spínacovým zdrojem

Blikání se měří v oblasti kmitočtové (kmitočet, četnost) a v oblasti časové (tvar, napětí) specializovanými přístro-

ji. Vyžadují spolupráci s počítači, umožňují záznam četnosti poruch i jejich záznam v reálném čase, lit. [2]. Řada přístrojů Hewlett-Packard 6800 spojuje v jednom zařízení měřič harmonických a měřič blikání a současně i zdroj síťového napětí se simulovanými poruchami (definovaný počet chybějících sinusovek, nastavitelné zkreslení, přechodové jevy superponované na zdroji sítě atd). Zdroje mají výkon od 750 VA (HP 6812A jednofázový) až 4500 VA (HP 6834B třífázový). Obdobné přístroje nabízí dnes celá řada výrobců měřicí techniky a stávají se běžnou součástí laboratorní EMC.

Závěr

Z naší informativní práce lze poznat, že elektromagnetická slučitelnost je složitá a mnohostranná problematika. K



Source impedance ... Impedance zdroje
 AC mains voltage Napětí sítě
 Rms voltmeter and flickermeter
 Voltmetr na měření
 efektivní hodnoty a měřič blikání
 Incandescent or filament lamp
 Žárovka
 Voltage fluctuation „generator“
 „Generátor blikání“

Obr. 23 – Vznik blikání mžikovým zatěžováním sítě

řešení úkolů v této oblasti je zapotřebí mnoha kvalifikovaných pracovníků i náročných přístrojů a zařízení. Vstup České republiky do Evropské unie znamená, že i naše výrobky se budou podrobovat testům EMC. Chceme doufat, že náš příspěvek probudí o obor slučitelnosti zájem, jaký vskutku zasluhuje. Měření EMC není samoučelné, neboť významně přispívá k tomu, aby i naše výrobky byly kvalitní a mohly nám dlouho a dobře sloužit.

Ing. Ladislav Havlík CSc.

Reklamní plocha

Jak získat 3,3 V z pětivoltového zdroje

Linear Technology

Mikroprocesory, jejich podpůrné obvody a rodiny logických obvodů, které jsou určeny pro napájení napětím 3,3 V, se stále častěji objevují ve stolních i přenosných počítačích a jiných přístrojích. Rychlostí a většinou i energetickou spotřebou vynikají nad obvody s 5V technologií. Protože zdrojová část většiny systémů poskytuje stále potřebných 5 V, je třeba ji doplnit regulátorem napětí, který 5 V převede na 3,3 V. Lineární regulátory jsou dobrým řešením při výstupních proudech do 1 A. Nezbytné je použít nízkoubytkové regulátory, které udrží požadované výstupní napětí ještě při vstupním napětí 4,5 V. Jak jednoduché je zapojení takového regulátoru pro výstupní proud do 0,7 A s integrovaným obvodem LT1129-3.3 firmy Linear Technology,

ukazuje obrázek 1. Jeho klidový napájecí proud je jen 50 μ A. Pomocí logického signálu L na vstupu /SHUT-DOWN lze činnost regulátoru a tím i výstupní napětí zablokovat, přičemž pak odebírá pouze 16 μ A. Vzhledem k tomu, že je dále potřebný jen malý blokovací kondenzátor na výstupu, jsou prostorové nároky tohoto zdroje minimální. Protože výkonová ztráta při maximálním proudu dosahuje asi 1,5 W, stačí k odvedení vznikajícího tepla umístění 5vývodového pouzdra DD pro povrchovou montáž na plochu fólie 25 cm², např. zemního vodiče na spojové desce. Účinnost je okolo 62 %. Tabulka 1 uvádí typy integrovaných regulátorů vhodných pro různé proudy zátěže.

Při proudech nad 1 A je účinnost spinaných zdrojů již výrazně vyšší.

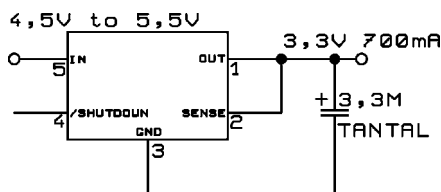
Impulsní snižovací regulátor z obrázku 2, který je vhodný pro proud až 2 A, pracuje v závislosti na zatížení s účinností od asi 75 % do 96 %. Na první pohled je patrná komplikovanost zapojení vůči obrázku 1. Tabulka 2 uvádí vhodné typy obvodů pro různé výstupní proudy. Někdy jsou navzdory menší účinnosti, avšak s přihlédnutím k obvodové jednoduchosti nebo malému výstupnímu zvlnění lineární regulátory používány i pro vyšší proudy než bylo deklarováno. Vhodný typ vybraný z tabulky 1 je pak třeba opatřit dostatečným chladičem.

– HH –

[1] M. Lee: *Techniques for Deriving 3.3 V from 5 V Supplies*. Linear Technology Design Note 74.

Proud zátěže	Obvod
150 mA	LT1121-3.3
700 mA	LT1129-3.3
800 mA	LT1117-3.3
1,5 A	LT1086
3 A až 7,5 A	LT1083-1085
10 A	2 × LT1087

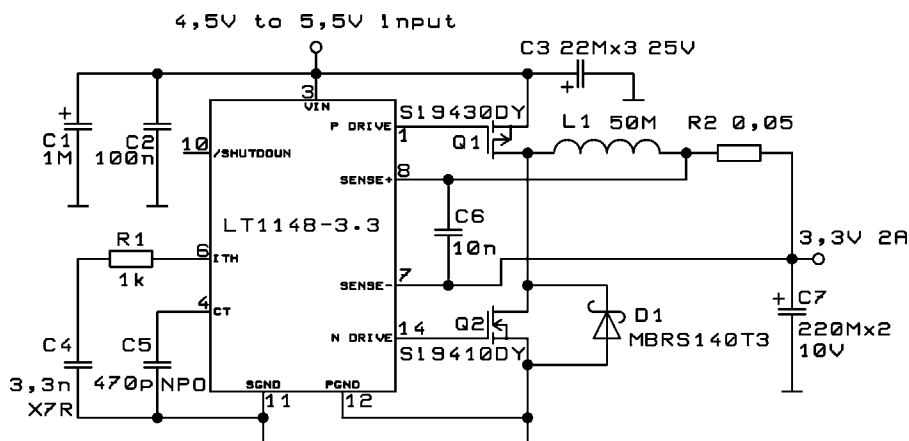
Tab. 1 – Lineární regulátory Linear Technology vhodné pro různé výstupní proudy



Obr. 1 – Nízkoubytkový regulátor je pro přeměnu 5 V na 3,3 V vhodný pro proudy do 1 A

Proud zátěže	Obvod	Účinnost
200 mA až 400 mA	LTC 1174-3.3	90 %
0,5 A až 2 A	LTC 1147-3.3	92 %
1 A až 5 A	LTC 1148-3.3	94 %
5 A až 20 A	LT 1158	91 %

Tab. 2 – Obvody vhodné pro impulsní řešení regulátoru



Obr. 2 – Impulsový regulátor při vstupu 5 V poskytne 3,3 V / 2 A s účinností 94 %

Mikroprocesorom riadený systém nabíjania batérií

V nasledujúcom popise by som chcel čitateľov oboznámiť s natolko zaujímavým obvodom, že som zvolil nielen stručný popis ale kompletne spracovanie jeho funkcií. Jedná sa o špecializovaný obvod od firmy Linear Technology, pomocou ktorého je možné postaviť nabíjačku batérií na doposiaľ neznámej dokonalejšej úrovni. Ide o obvod, ktorý je po prepojení s riadiacim mikrokontrolérom schopný poskytnúť batériám najkvalitnejšie podmienky pre činnosť. Myslím si, že táto podrobná informácia bude inšpiráciou pre všetkých konštruktérov – najmä profesionálov, ktorí riešia tento problém dosiaľ pomocou vlastného vývoja. Nasledujúce riadky potvrdia staré známe pravidlo, že je škoda vymýšľať, čo už raz vymyslené bolo. Pre všetkých, ktorí potrebujú kvalitnú nabíjačku – modelári, lekárska technika, vojenské využitie a pod. – je určený tento článok...

Základný popis

1. Rýchlo nabíjačka NiCd, NiMH, Lilon, alebo olovených batérií pomocou mikropočítačovej kontroly.
2. Flexibilná prúdová regulácia:
 - programovateľná 111 kHz pulzne-šírkovo modulovaná prúdová regulácia v spolupráci so zabudovaným PFET ovládačom
 - PFET prúdový zdroj pre použitie spolu s externým prúdovým regulátorom alebo prúdovo limitovaným transformátorom
 - vybíjací režim
 - meranie napätia batérie, teploty batérie a teploty okolia v spolupráci s vnútorným 10 bitovým AD prevodníkom.
3. Ochrana batérie pred napäťovým, teplotným preťažením, alebo poškodením nabíjajúcim časom.
4. Zabudovaný napäťový regulátor a programovateľný delič napätia pre batériu.
5. Jednoduché programovanie pomocou 3 až 4 vodičového pripojenia sériovým interface.
6. Precízne sledovanie tvorby plynu.
7. Široký rozsah napájania od 4,5 V do 16 V.
8. Možnosť nabíjať batérie ktorých napätie je vyššie ako napájacie napätie.

9. Vstupné piny digitálneho ovládania sú vo vysokej impedancii vo vypnutom stave.

LTC 1325 predstavuje jadro efektívnych, cenovo prijateľných riešení pre integrovaný systém nabíjania batérií. Monolitický CMOS integrovaný obvod kontroluje rýchle nabíjanie niklo-kadmiových, niklometalhydridových, olovených a iných batérií pomocou mikroprocesorovej kontroly. Obvod obsahuje v sebe programovateľný 111 kHz pulzne-šírkovo modulovaný zdroj konštantného prúdu so zabudovaným FET driverom, 10 bitový A/D prevodník, vnútorný napäťový regulátor, kontrolu vybíjania pred nabíjaním, programovateľný delič napätia pre batériu a jednoducho pripojiteľné sériové rozhranie.

Obvod môže pracovať v jednom z piatich režimov:

1. Vypnutý stav
2. Nečinný stav
3. Vybíjanie
4. Nabíjanie
5. Počítanie a sledovanie kapacity.

Vo vypnutom stave napájací prúd poklesne na cca 30 μ A. V nečinnom stave pri čítaní cez A/D prevodník môže pracovať bez spínacích šumových rušení presnosti merania. Vo vybíjacom režime je batéria vybíjaná cez externý tranzistor, pokiaľ nie je monitorovaná pomocou obvodu

LTC 1325

LTC1325 ako vadná. Nabíjací režim je ukončený pomocou mikroprocesora, pokiaľ je zistená ľubovoľná kombinácia napätia batérie, jej teploty alebo teploty okolia, poprípadne nabíjacieho času. Obvod LTC1325 takisto monitoruje batériu pred alebo počas nabíjania. V režime sledovania celkového náboja odpočítava celkovú nabíjajúcu kapacitu, ktorá je kalkulovaná pre batériu.

Znak LT, LTC a LT sú registrované obchodné značky firmy Linear Technology.

Obvod sa vyrába v dvoch prevedeniach púzdra:

LTC 1325CN – tzv. N púzdro – 18 vývodové plastické DIP

LTC 1325CSW – púzdro 18 vývodové plastické SO Wide

Maximálne pracovné údaje

Napájacie napätie Vdd oproti zemi GND 17 V

Ostatné piny

–0,3 V oproti Vdd +0,3 V

Pracovná teplota 0 °C do 70 °C

Skladová teplota –65 °C do 150 °C

Maximálna teplota pinu pri spájkovaní 10 sec 300 °C

Pri väčších odberoch je možné od výrobcu získať aj tzv. military prevedenie pracujúce od mínusových teplôt.

Popis jednotlivých pinov a ich funkcie

REG (pin1)

Výstup vnútorného regulátora. Regulátor poskytuje pevných 3,072 V pre vnútorný analogový obvod a taktiež poskytuje teplotne stabilné referenčné napätie pre generovanie MCV, HTF, LTF a predpätie pre termistor cez vonkajšie

rezistory. Vyžaduje blokovací kondenzátor okolo 4,7 μF a vyšší do zeme.

Dout (pin2)

TTL výstup DATA pre sériové rozhranie. Dout a Din môžu byť pripojené spoločne ako 3-vodičové interface alebo zostať oddelené vo forme 4-vodičového rozhrania.

Din (pin3)

TTL vstup pre sériové data. Tieto sú zapísané do obvodu vzostupnou hranou rise edge signálu CLK.

CS (pin4)

TTL Chip Select signál pre sériové rozhranie

CLK (pin5)

TTL hodinový vstup pre sériové rozhranie

LTF (pin6)

Allow analogový vstup pre minimálnu prípustnú teplotu batérie. LTF môže byť generovaný cez odporový delič medzi pinom 1 a zemou.

MCV (pin7)

Analogový vstup pre maximálne prípustné napätie článku. MCV môže byť generovaný cez odporový delič medzi pinom 1 a zemou.

HTF (pin8)

Analogový vstup pre maximálne prípustnú teplotu batérie. HTF môže byť generovaný cez odporový delič medzi pinom 1 a zemou.

GND (pin9)

zem

FILTER (pin10)

Vonkajší filtračný kondenzátor C_f je pripojený na tento vstup. Filtračný kondenzátor je pripojený na výstup vnútorného odporového deliča oproti batérii pre redukovanie spínacích rušení počas nabíjania. V móde sledovania celkového náboja C_f spolu s vnútorným $R_f=1\text{k}$ vytvárajú low pass filter pre priemerovanie napätia na snímacom rezistore.

SENSE (pin11)

Tento vstup kontroluje spínanie 111 kHz PWM zdroj konštantného prúdu v nabíjacom mode. Sense vstup je pripojený na externý snímací rezistor R_{sense} a zápornú stranu batérie. Nabíjacia slučka prinúti zistiť priemerné napätie na vstupe Sense do rovnosti s programovateľným vnútorným referenčným napätím V_{dac} . Nabíjací prúd batérie je rovný $V_{\text{dac}} / R_{\text{sense}}$. V móde sledovania celkového náboja

je napätie cez vstup sense filtrované cez RC člen, zosilnené a invertované, potom multiplexované cez ADC tak môže byť meraný vybíjací prúd cez batériu a kalkulovaný celkový povolený nabíjací prúd batérie.

Vin (pin12)

Celkový obsah, cieľ ADC vstup

Tamb (pin13)

Vstup okolitej teploty. Pripojený na externý termistor. Zväzok s REG nie je použitý. Môže byť použitý ako iný ADC celkový vstup.

Tbat (pin14)

Vstup teploty batérie. Pripojený na externý termistor. Spojenie s REG nie je použité.

Vbat (pin15)

Vstup batérie. Vnútorný napäťový delič je pripojený medzi Vbat a Sense vstup pre normalizovanie meraní jednotlivých článkov všetkých batérií. Delič je programovateľný v nasledovných režimoch 1/1, 1/2, 1/3, ..., 1/15, 1/16. Vo vypnutom režime, v režime sledovania celkového náboja a kalibrácie-meranie je delič nezapojený.

DIS (pin 16)

Aktívny výstup vybíjacej kontroly. Používa sa na zopnutie externého tranzistora ktorý vybíja batériu.

PGATE (pin 17)

Výstup na ovládanie FET tranzistora. Spína od zeme ku Vdd.

Vdd (pin 18)

Kladné napájacie napätie 4,5 V až 16 V

Popis funkcií

Hlavný popis

Počas normálnej činnosti je príkazové slovo posunuté do obvodu cez sériové rozhranie, potom ADC meranie pracuje v 10 bitovom čítaní a slovo stavu obvodu je posunované von. Príkazové slovo konfiguruje LTC1325 a prepína ho do jedného z piatich režimov: vypnutie, nečinnosť, vybíjanie, nabíjanie a sledovanie celkového náboja.

Vo vypnutom režime je analogová sekcia vypnutá a napájací prúd klesá pod 30 μA . Napäťový regulátor, ktorý poskytuje napätie pre vnútorný analogový obvod a vonkajší prúdový systém je vypnutý. Napäťový delič z batérie je odpojený a iba napäťový

regulátor pre logiku sériového rozhrania je ponechaný zapnutý.

Počas nečinnného režimu je čip plne napájaný ale vybíjanie, nabíjanie a sledovanie celkového náboja je vypnuté. Obvod môže byť ponechaný v tomto režime krátkodobo počas nabíjania, pretože ADC merací systém bude pracovať bez nežiadúcich rušivých spínacích šumov z PWM regulácie a zabezpečí sa tak presnosť čítania. Príkazové bity tohoto režimu sú „zhodené“ nakoniec sa objavia na Din, dovoľujú nabíjaciú slučku vypnúť a zapnúť pokiaľ zvyšok príkazového slova je posúvaný dnu.

Počas vybíjacieho režimu je batéria vybíjaná cez vonkajší tranzistor a sériový odpor. Batéria je monitorovaná pre zlé vlastnosti.

V nabíjacom režime mikropočítač monitoruje napätie batérie, jej teplotu a vonkajšiu teplotu cez 10 bitový A/D prevodník. Ukončovacie metódy ako $-\Delta V_{\text{bat}}$, $\Delta V_{\text{bat}} / \Delta \text{čas}$, ΔT_{bat} , $\Delta T_{\text{bat}} / \Delta \text{čas}$, $\Delta(T_{\text{bat}} - T_a)$, maximálna teplota, maximálne napätie a maximálny nabíjací čas môžu byť presne vytvorené pomocou software. LTC1325 takisto monitoruje stav batérie, jej kvalitu.

V režime sledovania celkového priemerného náboja, zisťovacie napätie cez sense rezistor môže byť odmerané pre určenie priemerného náboja, prúdu batérie. Zosnímané napätie je filtrované cez RC obvod, znásobené cez invertor štyrmi, potom konvertované cez ADC. Mikropočítač môže akumulovať merania z AD prevodníka a počítať priemerný čas zistený k určeniu celkového náboja opúšťajúceho batériu. RC obvod pozostáva z vnútorného 1k rezistoru R_f a vonkajšieho kondenzátora C_f , pripojeného na vstup FILTER.

Riadiace slovo

Riadiace slovo je 22 bitov dlhé a obsahuje všetky informácie potrebné pre konfigurovanie a kontrolu nad obvodom. Pri zapnutí sú všetky bity nastavené na logickú „0“.

Popis jednotlivých bitov – vid' obrázok 1.

BIT 1: Start

Prvá logická jednotka ktorá prichádza cez Din vstup po signále CS

preklopenom do nuly je štartovací bit. Štartovací bit inicializuje transfer dát a všetky úvodné nuly ktoré predchádzali tejto logickej jednotke budú ignorované. Po prijatí štartovacieho bitu zvyšné bity z príkazového slova budú prijaté tiež.

BITY 2 a 3: Mode Select (MOD0 a MOD1)

Dva bity určujú v ktorom zo štyroch móduv bude obvod: idle – nečinnosť, discharge – vybíjanie, charge – nabíjanie alebo sledovanie celkového náboja.

BIT 4: Jednostranne končiaca alebo rozdielová konverzia (SGL/DIFF)

SGL/DIFF určuje spôsob činnosti A/D prevodníka, pri jednostrannej činnosti bude meranie rešpektovať spoločnú zem, alebo pri rozdielovom meraní bude rešpektovať pin Sense.

BIT 5: MSB/LSB

Analógovo digitálny prevodník je programovaný pre režim MSB alebo LSB sekvencie používajúce MSBF bit. Pozri popis sériových vstupno/výstupných operácií pre bližšie detaily.

BITY 6 až 8: ADC Data výber vstupov (DS0 až DS2)

DS2, DS1 a DS0 určujú, ktorý obvod je pripojený na ADC vstup. Nepoužívajte nepopísané kombinácie.

BITY 9 až 12: Deliaci pomer pre batérie – výber počtu batérií

Pomocou týchto pinov vyberáme deliaci pomer pre napäťový delič napätia z batérií. Celkove je možné nastaviť až 16 kombinácií počtu batérií od 1 do 16.

BIT 13: Vypnutie napájania PS

PS vyberá medzi normálnym pracovným režimom, alebo vypnutím všetkých obvodov okrem digitálnych vstupov.

BITY 14 až 16: Duty Ratio Select

Tieto bity volia pracovný cyklus pri nabíjaciach cyklických operáciách. Pozor, nemýliť si s 111 kHz PWM cyklom. Zvyšné tri voľby prepínajú obvod do testovacieho režimu a nemajú byť využívané.

BIT 17: Fail-Safe Latch Clear – vymazanie registra zlyhania

Keď je tento bit nastavený do jednotky, vnútorný časovač zlyhania je resetovaný do 0 a register zlyhania je resetovaný. Tento bit je automaticky generovaný pokiaľ signál CS prechádza do jednotky.

BIT 18 až 20: Timeout period select – výber doby pre bezpečnostné vypnutie.

Tieto bity nastavujú požadovanú periódu bezpečnostného vypnutia. Pri zapnutí je nastavená štandardná doba 5 minút.

BITY 21 a 22: Výber referenčného napätia pre nabíjací cyklus

Tieto dva bity vyberajú požadované referenčné napätie Vchrg pre nabíjací cyklus. Nabíjací cyklus bude nútiť priemerné napätie na Sense pine k rovnosti s Vdac. Priemerný nabíjací prúd je daný vzorcom V_{dac} / R_{sense} (pozri obrázok 5)

Status (stavové slovo)

Stavové slovo je 8 bitov dlhé a obsahuje stav vnútorných bezpečnostných obvodov

BIT1: Battery present – prítomnosť batérie

Pokiaľ je nastavený na 1 indikuje prítomnosť batérie. Tento bit je nastavený na 1 pokiaľ napätie na Vbat vstupe spadá medzi Vdd – 1,8 V. BATP = 0 keď je batéria vybitá a Vbat je „strhnuté vyššie“ okolo Rtrk (pozri obr. 4).

BIT 2: Battery reversed (BATR) alebo Shorted – batéria prepólovaná alebo skratovaná

BATR bit je indikovaný, pokiaľ je batéria pripojená opačne alebo skratovaná. Tento bit je nastavený pokiaľ je napätie článku batérie na výstupe napäťového deliča Vcell pod 100 mV.

BIT 3: Maximum Cell Voltage (FMCV) – maximálne napätie článku

Tento MCV bit je indikovaný keď napätie článku batérie prevyšuje nastavený limit. Tento bit je nastavený, pokiaľ Vcell je vyššie ako napätie na pine MCV.

BIT 4: End Discharge Voltage (FEDV) – napätie ukončujúce vybíjanie

Tento bit nazvaný EDV, je indikovaný pokiaľ napätie článku batérie prudko poklesne pod vnútorne nastavený limit. Tento bit je nastavený pokiaľ napätie článku batérie na výstupe napäťového deliča Vcell je menšie ako 900 mV.

BIT 5: High Temperature Fault (HTF) – indikácia prekročenia prípustnej teploty.

HTF bit indikuje vysokú teplotu batérie. Používa pritom negatívny TC termistor. Bit je nastavený, pokiaľ napätie na Tbat pine je nižšie ako napätie na HTF pine.

BIT 6: Low Temperature Fault (LTF) – chyba nízkej teploty

LTF bit je indikovaný, pokiaľ teplota batérie je príliš malá. Používa pritom NTC termistor, a bit je nastavený keď napätie na Tbat pine je vyššie ako napätie na LTF pine.

BIT 7: Timeout (TOUT) – prekročenie časového limitu

Tout bit indikuje keď nabíjací čas batérie prevyší limit nastavený pomocou príkazového slova TO0, TO1 a TO2.

BIT 8: Fail-Safe Occured – indikácia chyby-poruchy

FS bit je indikovaný pokiaľ jeden z fault obvodov pre detekciu poruchy zastaví vybíjací alebo nabíjací cyklus. Tento bit je nastavený, pokiaľ niektorý z chybových príznakov EDV, LTF, HTF, alebo Tout sa vyskytne počas vybíjania. Počas nabíjania je tento bit nastavený ak sa vyskytnú príznaky chyby MCV, LTF, HTF alebo TOUT. Tento bit je resetovaný pomocou bitu FSCLR príkazového slova.

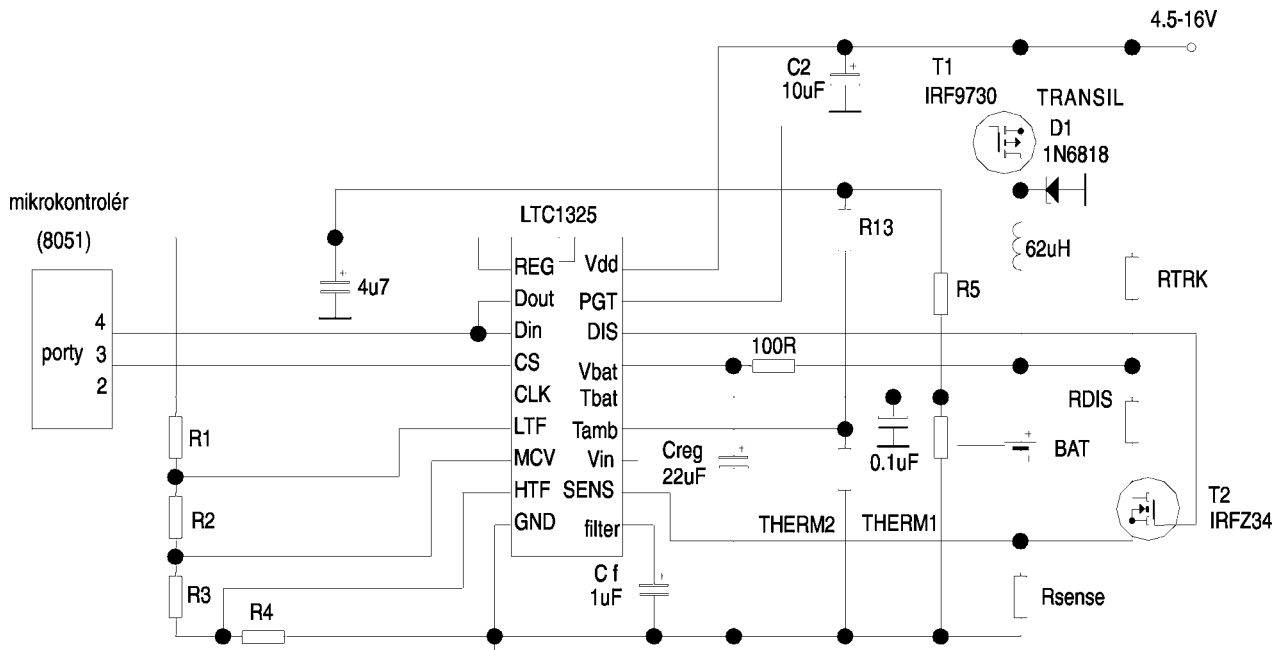
Detailný popis

Fault conditions (chybové stavy)

Obvod LTC 1325 monitoruje chybové stavy batérie pred a počas vybíjania a nabíjania (pozri obr. 4) Tieto stavy sú: Batéria vybitá/prítomná (BATP), batéria obrátená/skratovaná

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
START	MOD 0	MOD 1	SGL/DIFF	MSBF	DS 0	DS 1	DS 2	DIV 0	DIV 1	DIV 2	DIV 3	PS	DR 0	DR 1	DR 2	FSCLR	TO 0	TO 1	TO 2	VR 0	VR 1

Obr. 1 – Obsah a význam bitov stavového slova



Obr. 2 – Typická aplikácia – nabíjačka batérií až do 8 ks NiCd alebo NiMH článkov

(BATR), prekročené maximálne dovolené článkové napätie (MCV), prekročené minimálne napätie článku (EDV), prekročený maximálny teplotný limit (HTF), prekročený minimálny teplotný limit (LTF) a prekročenie časového limitu (TOUT). Keď sa vyskytne chybový príznak, vybijacie a nabíjacie slučky sú vypnuté alebo chránené pred zapnutím a bit príznaku chyby (FS) je nastavený. Obvod je resetovaný k prijatiu nového príkazového slova spolu s nastavením „čistiaceho“ bitu FSCLR. 8 bitové stavové slovo obsahuje stav-informáciu o príčine každej chybovej príhody.

Power shutdown mode (mód vypínania)

Príkaz: MOD1=X, MOD0=X, PS=1

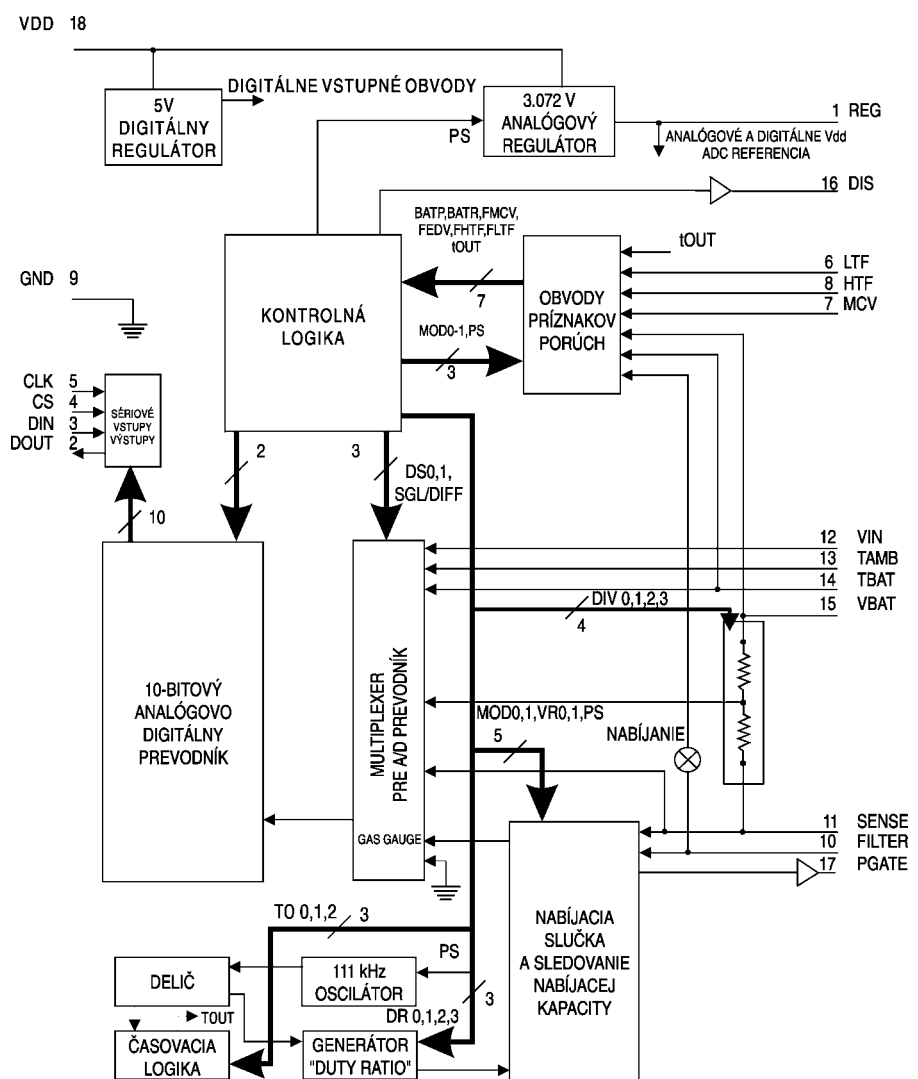
Stav: BATP=X, BATR=X, FMCV=X, FEDV=X, FHTF=X, FLTF=X, TOUT=X

V tomto režime je analógová sekcia vypnutá a napájací prúd poklesne na 30 μ A. Napätový regulátor ktorý poskytuje napájanie pre vnútorné analógové obvody a externý prúdový zdroj systému je vypnutý. Napätový delič z batérie je odpojený a iba jeden obvod je zapnutý – a to napätový regulátor pre logiku sériového interface.

Idle mode (režim nečinnosti)

Príkaz: MOD1=0, MOD0=0, PS=0

Stav: BATP=X, BATR=X, FMCV=X, FEDV=X, FHTF=X, FLTF=X, TOUT=V



Obr. 3 – Bloková schéma vnútorných obvodov IO

Obvod príde do režimu nečinnosti ak príslušné príkazové bity sú nastavené a príkazový bit POWER SHUTDOWN je čistý. Počas tohoto režimu je obvod plne napájaný, ale vybíjacie, nabíjacie obvody a obvody sledovania kapacity nabíjania sú vypnuté. Obvod môže byť uvedený do režimu nečinnosti momentovo počas nabíjania batérie a umožniť tak ADC prevodníku pracovať bez akýchkoľvek rušení spínacím šumom od PWM prúdového zdroja pre zvýšenie presnosti merania. Príkazové bity tohoto režimu pick sú „skopnuté“ dolu ak sa objavia na Din, pokiaľ zvyšok príkazového slova je aktívny, nabíjacia slučka má čas ustáliť sa pred začatím merania pomocou ADC.

Discharge mode (vybíjací režim)

Príkaz: MOD1=0, MOD0=1, PS=0

Stav: BATP=1, BATR=0, FMCV=X, FEDV=0, FHTH=0, FLTF=0, TOUT=0

Obvod príde do režimu vybíjania pokiaľ sú príslušné príkazové bity nastavené a príkazový bit vypnutia napájania je čistý. Ak neexistujú chybové

okolnosti, vtedy je DIS pin zopnutý voči Vdd cez vnútorný driver. DIS napätie je použité na zopnutie vonkajšieho tranzistora, ktorý vybíja batériu cez vonkajší sériový rezistor Rdis. Vybíjanie bude pokračovať pokiaľ nové príkazové slovo nezmení režim alebo sa nevyskytnú chybové príznaky.

Charge mode (nabíjací režim)

Príkaz: MOD1=1, MOD0=0, PS=0

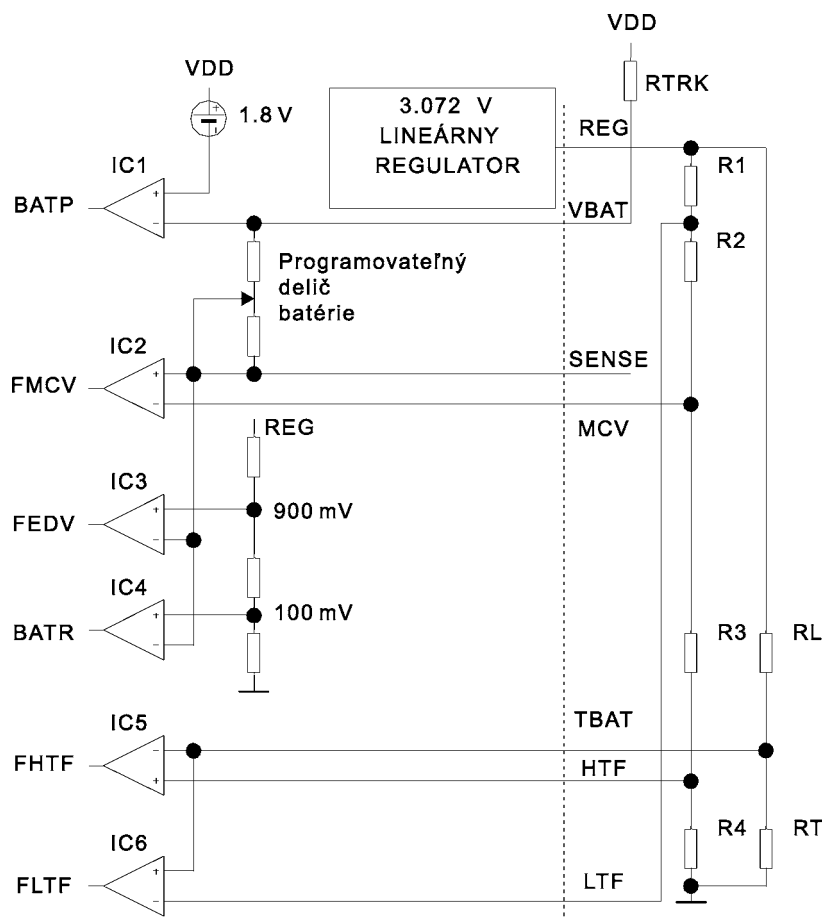
Stav: BATP=1, BATR=0, FMCV=0, FEDV=X, FHTF=0, FLTF=0, TOUT=0

Obvod prejde do nabíjacieho režimu ak sú príslušné príkazové bity nastavené a príkazový bit vypnutia napájania je čistý. Ak neexistujú chybové príčiny – nabíjanie môže začať. Nabíjanie trvá dovtedy, pokiaľ nové príkazové slovo nezmení režim alebo ak sa nevyskytnú chybové príznaky. Nabíjací prúd môže byť regulovaný pomocou programovateľného 111 kHz PWM spínaného prúdového regulátora, alebo použitím PFET tranzistora pre riadenie externého prúdového regulátora alebo prúdovo limitovaného transformátora.

111 khz PWM controller (šírkou pulzu modulovaný 111 kHz kontrolér)

Bloková schéma nabíjacej slučky zapojenej ako PWM spínaný prúdový regulátor je znázornená na obrázku 5. PWM môže pracovať v jednom z dvoch režimov: nepretržitý alebo prerušovaný. Sila slučky priemerneho napätia zo snímacieho rezistora odpovedá napätiu na výstupe z DAC, takže nabíjací prúd je rovný VDAC/Rsense. Pri zopnutí spínača S2 do stavu 1 a ostatné sú vypnuté zosilňovač A1 spolu s C1, R1 a R2 je konfigurovaný ako integrátor so šírkou pásma 16 kHz. Výstup z integrátora je priemer rozdielu medzi napätím zo snímacieho rezistora a výstupného napätia z DA prevodníka. Vzostupná hrana oscilátorového signálu spúšťa impulz, ktorý nastavuje výstupný klopný obvod na vysokú úroveň. Tieto spínajú externý PFET zopnutím jeho mriežky do nuly. Pri zopnutom tranzistore P1 prechádza prúd cez cievku L1 a na snímacom odpore vzniká napätie. Keď toto napätie je vyššie ako výstup, komparátor A2 zmení stav. Toto zresetuje klopný obvod a P1 sa vypne. Ochranná dioda typu TRANSIL D1 zopne krátkodobý vývod DRAIN tranzistora P1 voči zemi keď cievka vygeneruje spätné napätie a týmto vyvolaný prúd zopne diódu. Napätie na snímacom rezistore taktiež krátkodobu klesne k nule a ostane tak, pokiaľ nezačne bežať ďalší cyklus.

Priemerný nabíjací prúd je nastavený podľa výstupu z DA prevodníka a podľa generátora „DUTY RATIO“ – čo znamená cca nabíjací prídél. Napätie DAC môže byť programované do jedného zo 4 hodnôt: 1, 1/3, 1/5, alebo 1/10. DUTY RATIO môže byť nastavené na 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 alebo 1. Ak je hodnota 1, výstup DUTY RATIO generátora je vždy v nule a nabíjacia slučka pracuje nepretržite (pozri obr. 5). Pri nastavení DUTY RATIO, generátor DUTY RATIO má na výstupe obdĺžnikové impulzy s periódou 42 sec. Čas počas ktorého je výstup generátora v nule sa mení podľa nastavenia DUTY RATIO. Príklad: ak je DUTY RATIO programované na 1/2, výstup generátora je v nule iba 42/2=21 sec. Preto operácie prebie-



Obr. 4 – Obvody detekcie zlyhania a chybových príznakov

hajú iba 21 sec. z celkovej doby 42 sec. priemerný nabíjací prúd je polovičný. Všeobecne, priemerný nabíjací prúd sa rovná:

$$I_{chrg} = V_{dac} (\text{duty ratio}) / R_{sense}$$

Gated PFET controller (hradlovaný PFET kontrolér)

Keď je používaný externý prúdový regulátor alebo prúdovo obmedzovaný najprv odpojí cievku L1 a skratuje diodu D1. Nastavuje DAC kontrolné bity VR1=1 a VR0=1 a vyberá požadovaný deliaci pomer. Pre poistenie tohto nie je napätie na Sense pine nikdy vyššie ako 140 mV, výstup z integritora A1 bude saturovaný na maximum a komparátor A2 podrží slučku vypnutú. Toto môže byť dosiahnuté pri vypojení snímacieho rezistora a uzemnením Sense pinu, alebo ak je používaný sledovanie celkového náboja nastavením Rsense tak, aby Rsense / I_{chrg} bolo menšie ako 140 mV.

Gas gauge mód

Príkaz: MOD1=1, MOD0=1, PS=0

Stav: BATP=X, BATR=X, FMCV=X, FEDV=X, FHTF=X, FLTF=X, TOUT=X

V tomto režime priemerné napätie na snímacom rezistore môže byť merané pre určenie priemerného prúdu vstupujúceho do batérie. Výstup z DAC je nastavený do zeme a prepínače S1, S3 a S4 sú zopnuté. A1 je konfigurovaný ako invertujúci zosilňovač spolu s R1 a R2 nastavujúcimi zosilnenie na -4. Napätie zo snímacieho rezistora je filtrované cez RC obvod, zosilnené cez A1 a potom konvertované cez ADC. Mikroprocesor môže akumulovať ADC merania a robiť časový priemer, pre zistenie totálnej hodnoty náboja vchádzajúcej do batérie. Sense pin napätie by nemalo byť záporne väčšie ako -450 mV pre zabezpečenie linearity. RC obvod pozostáva z vnútorného 1k rezistora a vonkajšieho kondenzátora, pripojeného na pin Filter. Časová konštanta obvodu bude dlhšia ako merací interval. Spoločne so sériovým časom bežiacim na 100 kHz pridáva 380 μs pre vstup príkazového slova a výstup ADC obvodu či stavového slova.

Trickle resistor

Externý rezistor má viacero funkcií. Po prvé pripravuje plynulý nabíjací prúd pre zvrátenie konca život-

nosti batérie a spočítanie efektu samovybíjania. Po druhé, môže byť využitý do hlbokého vybitia batérie pre nabíjanie. Obvod LTC1325 nebude nabíjať batériu pokiaľ článkové napätie batérie je vyššie ako 100 mV. No a na záver, tento rezistor je vyžadovaný pre obvod detekcie batérie pre nastavenie pinu Vbat do maxima pokiaľ je batéria vybitá.

Serial interface (sériové rozhranie)

LTC1325 komunikuje s mikroprocesorom a ostatnými vonkajšími obvodmi cez synchronizované pol-duplexné 4 vodičové sériové rozhranie. Hodiny CLK synchronizujú prenos dát, pričom každý bit je vyslaný zostupnou hranou a zachytený vzostupnou hranou CLK v oboch vysielacích aj prijímacích systémoch. Obvod LTC najprv prijme vstupné dáta a potom vysielá späť výsledok A/D konverzie a stavové slovo (pol-duplex). Pretože sa jedná o pol-duplexnú prevádzku, Din a Dout môžu byť zviazané spolu pripúšťajúc prenos cez tri vodiče: CS, CLK a DATA (Din Dout). Prenos dát je inicializovaný prostredníctvom zostupného signálu CS. Keď CS prejde do nízkej úrovne, obvod LTC čaká na štartovací bit na Din. Štartovací bit je prvá logická jednotka prichádzajúca pomocou hodín CLK na Din vstup po príchode

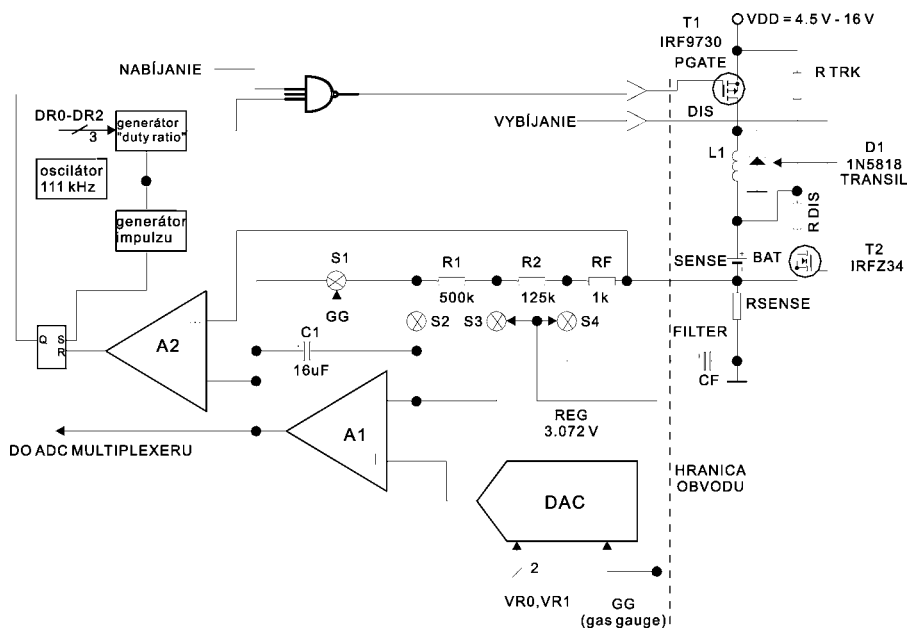
CS. LTC1325 bude ignorovať všetky predošlé nuly pred touto logickou jednotkou. Pokiaľ je štartovací bit prijatý, 21 ostatných kontrolných bitov vstupuje cez Din pre konfigurovanie obvodu a naštartovanie konverzie. Po príchode posledného bitu príkazového slova zostáva v trojstavovom stave pre jednu periódu CLK predtým, než je nastavený na nulu jedným nulovacím bitom. Nasledujúci nulovací bit, výsledky konverzie a 8 bitové stavové slovo sú vyslané na Dout pin. Na záver výmeny dát CS bude nastavený na úroveň HIGH.

Materiál vznikol ako preklad anglického originálu:

„LTC1325-Microprocessor-Controlled Battery Management System“ – vydala firma Linear Technology Corporation na CD ROM Linear View – (c) 1994

Autor sa vopred ospravedlňuje za prípadné drobné nepresnosti, ktoré mohli pri preklade vzniknúť. Záujemcom o konštrukciu s pomocou týchto obvodov odporúčam vyžiadať si originálne firemné podklady na adrese: Linear Technology Corporation 1630 McCarthy Blvd., Milpitas, CA 95035-7487 TEL: (408) 432-1900 FAX:(408) 434-0507

Jaroslav Huba



Obr. 5 – Bloková schéma nabíjacej slučky

Soumrakový spínač

Soumrakový spínač je jednoduché zařízení, s jehož pomocí můžeme při setmění automaticky spínat osvětlení nebo podle potřeby uvádět do činnosti jiná zařízení (na příklad bezpečnostní). Zapojení je velmi jednoduché, takže jeho stavbu snadno zvládnou i začínající adeпти elektroniky.

Popis zapojení

Zapojení soumrakového spínače (viz obrázek 1) používá jako čidlo foto-rezistor, jehož odpor je závislý na intenzitě osvětlení, čili na celkovém množství světla, dopadajícího na jeho činnou plochu. Tento element je zapojený do jedné z větví můstku, jehož dalšími prvky jsou rezistory R1, R2 a R3, dále ještě potenciometrický trimr P1. Můstek je napájen ze zdroje stejnosměrného napětí, který současně napájí i všechny ostatní elektronické obvody soumrakového spínače. Výstupní napětí z úhlopříčky můstku snímá operační zesilovač, který pracuje se zesílením otevřené smyčky zpětné vaz-

by (zesílení je obrovské, typicky několik set tisíc). Prostřednictvím rezistoru R4 zavedená kladná zpětná vazba však přináší určitou hysterezi, zabráňující mnohonásobnému přepínání (zakmitávání) výstupního relé při přechodu můstku přes oblast jeho vyvážení.

Zesílené napětí přes rezistor R5 a diodu D1 budí tranzistor T1. Vinutí relé je zapojeno v kolektorovém obvodu tranzistoru, jeho kontakty již mohou zapínat spotřebič, který chceme soumrakovým spínačem ovládat.

Kondenzátor C1 odstraňuje ze signálového napětí můstku naindukovaná rušivá střídavá napětí, aby přechod přes rozhodovací úroveň byl jednoznačný a klidný.



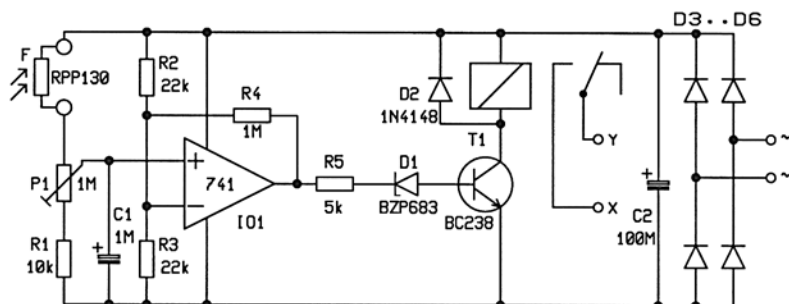
Napájecí obvody soumrakového spínače obsahují dvoucestný usměrňovač a elektrolytický filtrační kondenzátor, takže k jeho napájení můžeme použít jak stejnosměrný, tak střídavý zdroj (tedy třeba malý síťový transformátor).

Stavba a oživení

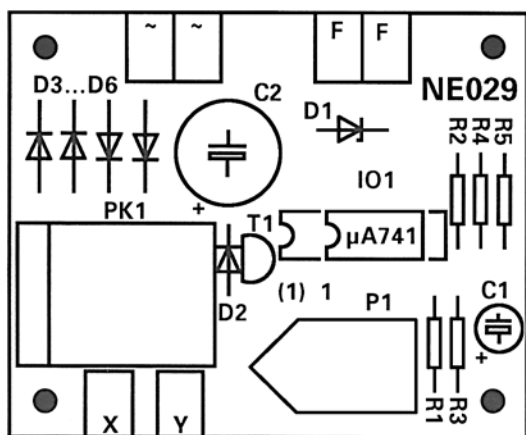
Součástky spínače pečlivě zapájíme do destičky podle obrázku 2, dbáme zejména na správnou polaritu diod a elektrolytů a také na správné osazení tranzistoru a operačního zesilovače.

Sestavené zařízení oživíme nejlépe s použitím stejnosměrného napájecího zdroje s napětím asi 12 V, zkušenější mohou použít i síťový transformátor s napětím do 10 V. V obou případech počítejme s proudovým odběrem (ve stavu sepnutí) asi 50 mA.

Vlastní seřízení je velmi jednoduché, pomocí trimru P1 prostě nastavíme požadovaný práh spínání.



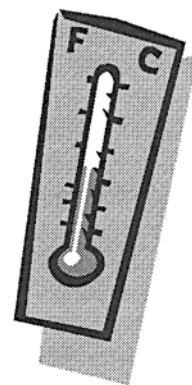
Obr. 1 – Schéma zapojení soumrakového spínače



Obr. 2 – Rozložení součástek



Teplooměry s číslicovým zobrazením



Představujeme čtenářům stavebnice, obsahující dvě varianty zapojení číslicových teploměrů. Varianta první (stavebnice 035) obsahuje sadu součástek teploměru, který měří teplotu v rozmezí od -50 do $+99,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a k indikaci měřené teploty používá velké sedmisegmentové displeje se svítícími diodami (LED), velikost číslic je 20 mm. Druhá varianta (045) nám umožní měřit teplotu až do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, k zobrazení používá displeje stejného provedení, jen jejich rozměry jsou jiné (velikost číslic je u této varianty 13 mm).

Úvod

V následujícím textu jsou popsány konstrukce obou typů číslicových teploměrů – na případné detaily, jimiž se varianty od sebe liší, je vždy upozorněno.

K systému zobrazení hned ještě jednu doplňující poznámku. U první varianty jsou na destičce displejů tři číslice a k indikaci teplot pod bodem mrazu je použita obyčejná kulatá ledka. Varianta druhá používá obvyklé 3 1/2 místné zobrazení číselného údaje (má tedy celkem čtyři číslicovky) teploty. K indikaci záporných teplot využívá prostřední ležatý segment první číslicovky, která jinak zobrazuje jedničku (pokud je naměřená teplota větší než $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$), nebo nic.

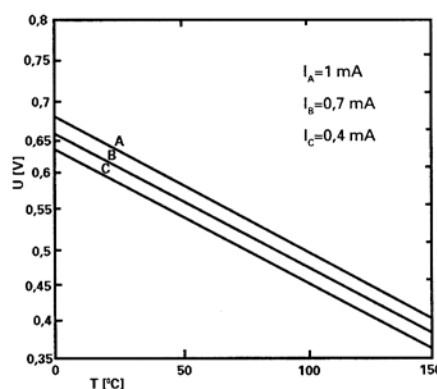
Jako teplotní čidlo oba teploměry využívají polovodičový P-N přechod (běžnou diodu), napájený konstantním proudem. Použití tohoto čidla v sobě spojuje dobré provozní vlastnosti (mimo jiné výbornou linearitu) s velmi jednoduchým zapojením.

Analogově číslicový převodník (dále A/D), použitý v této konstrukci, je známý obvod pro číslicové voltmetry ICL 7107. Ten dokonale a beze zbytku splňuje všechny požadované funkce (diferenční měřicí vstupy, dvanáctibitové rozlišení, dekodéry s budiči pro přímé řízení sedmisegmentových LED displejů) při velmi jednoduchém zapojení s malým množstvím vnějších součástek.

Celkově je teploměr charakterizován malými rozměry, dobrým rozlišením a linearitou měření, jednoduchostí seřízení (kalibrace ve dvou bodech), přitom k jeho napájení vystačíme s nestabilizovaným napětím.

Popis funkce zapojení

Známa vlastnost polovodičových přechodů je to, že jestliže jimi prochází proud v propustném směru, je velikost napětí na tomto přechodu závislá na jeho teplotě. Důležité je, že pokud je velikost proudu konstantní, pak je závislost na teplotě přísně lineární. Tuto skutečnost dosvědčuje obr. 1, kde vidíme teplotně – napěťové charakteristiky, naměřené u běžných diod typu 1N 4148 pro různé proudy. Přímkové závislosti jsou pro různé proudy rovnoběžné, čím je větší teplota, tím je menší úbytek napětí na přechodu.

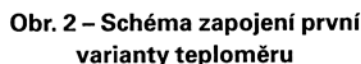


Obr. 1 – Teplotně-napěťové charakteristiky

Přejdeme nyní k vlastnímu zapojení číslicového teploměru, jeho zapojení je nakresleno na obrázku 2 (varianta první), resp. na obrázku 3 (druhá). V zapojení teploměru zastává funkci proudového zdroje, napájecího diodu (teplotní čidlo), operační zesilovač. Jeho činnost je následující: obvod 7107 obsahuje velmi kvalitní vnitřní zdroj referenčního napětí, které je vyvedeno na pinu COMMON a je vztaženo vůči vývodu kladného napájecího napětí V_{cc} . Toto napětí je přivedeno na dělič, složený z rezistorů R_2 , R_3 a víceotáčkového potenciometrického trimru P_2 . Na neinvertujícím vstupu operačního zesilovače je přibližně 1/3 referenčního napětí (vůči svorce COMMON), tedy asi 0,9 V. Jak je známo z teorie operačních zesilovačů, rozdíl napětí mezi vstupy ideálního operačního zesilovače je vždy nulový. To znamená, že přesně stejné napětí musí být také na invertujícím vstupu (zanedbáme-li vstupní napěťovou nesymetrii). Aby byla uvedena podmínka splněna, musí být na rezistoru R_4 stejné napětí jako na R_3 . Protože do vstupu ideálního operačního zesilovače proud neteče (zanedbáme-li vstupní klidové proudy), musí všude proud, vytvářející úbytek napětí na rezistoru R_4 (asi 0,33 mA), téci z výstupu operačního zesilovače přes měřicí diodu, která je zapojena ve zpětné vazbě. Tímto zapojením se udržuje konstantní proud, tekoucí přes měřicí diodu, nezávisle na změnách úbytku napětí na diodě při změnách teploty jejího P-N přechodu.

Výstupní napětí operačního zesilovače, které je při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ přibližně o 0,6 V větší, než napětí na jeho obou vstupech, je přivedeno na vstup IN LO

Obvody teploměru jsou postaveny na dvou destičkách s plošnými spoji, které se po osazení spojí do jednoho celku. Samotná montáž je jednoduchá a měl by ji zvládnout každý amatér, seznámený se základy elektroniky. Je třeba dát pozor na správnou orientaci součástek, které mají polaritu (diody, elektrolytické kondenzátory), zejména věnujte pozornost správnému osazení displeje. Pokládáme za samozřejmé, že každou součástku osadíme správně na patřičné místo. Při pájení obvodu 4049 dbejte zásad, které platí pro zacházení s obvody typu CMOS (zejm-



na z hlediska ochrany před přepětím – statická elektřina, napěťové špičky při pájení traťpáječkou, atd.) Převodník 7107 je nejdražší součástí celé stavby. Je zabalen do hliníkové folie a do plošného spoje se nepájí, nýbrž se vkládá do zapájené patice kompletně postaveného teploměru. Před jeho vložením obvod vybalíme a prsty přejedeme po spojích teploměru a teprve poté jej vtlačíme do patice. Předtím bude pravděpodobně nutné stlačit k sobě obě řady vývodů, což jde například o hranu stolu, kterou jsme předtím (za účelem vybití elektrostatických nábojů) ohmatali.

Postup sestavení teploměru

1) Zapájíme do destičky zobrazení drátové spojky (obr. 4 a pro druhou variantu je to obr. 6). Spojky jsou ze strany spojů, ale zkratů se bát nemusíme, protože destičky jsou opatřeny nepájivou maskou.

2) Do destičky osadíme podle obrázku 5 (pro druhou variantu podle obr. 6) ostatní součástky. Ze strany spojů propojíme bod P a P₃ (rozsvícení desetinné tečky displeje) – platí jen pro druhou variantu.

3) Do základní destičky zapájíme podle obr. 8 ze strany součástek drátové spojky a dále všechny součástky kromě IO₂, na místě IO₃ a IO₄ zapájíme příslušné patice. Znovu připomínáme – respektujte polaritu diod a elektrolytických kondenzátorů. K vývodům K a A provizorně připájíme teplotní čidlo (diodu 1N 4148).

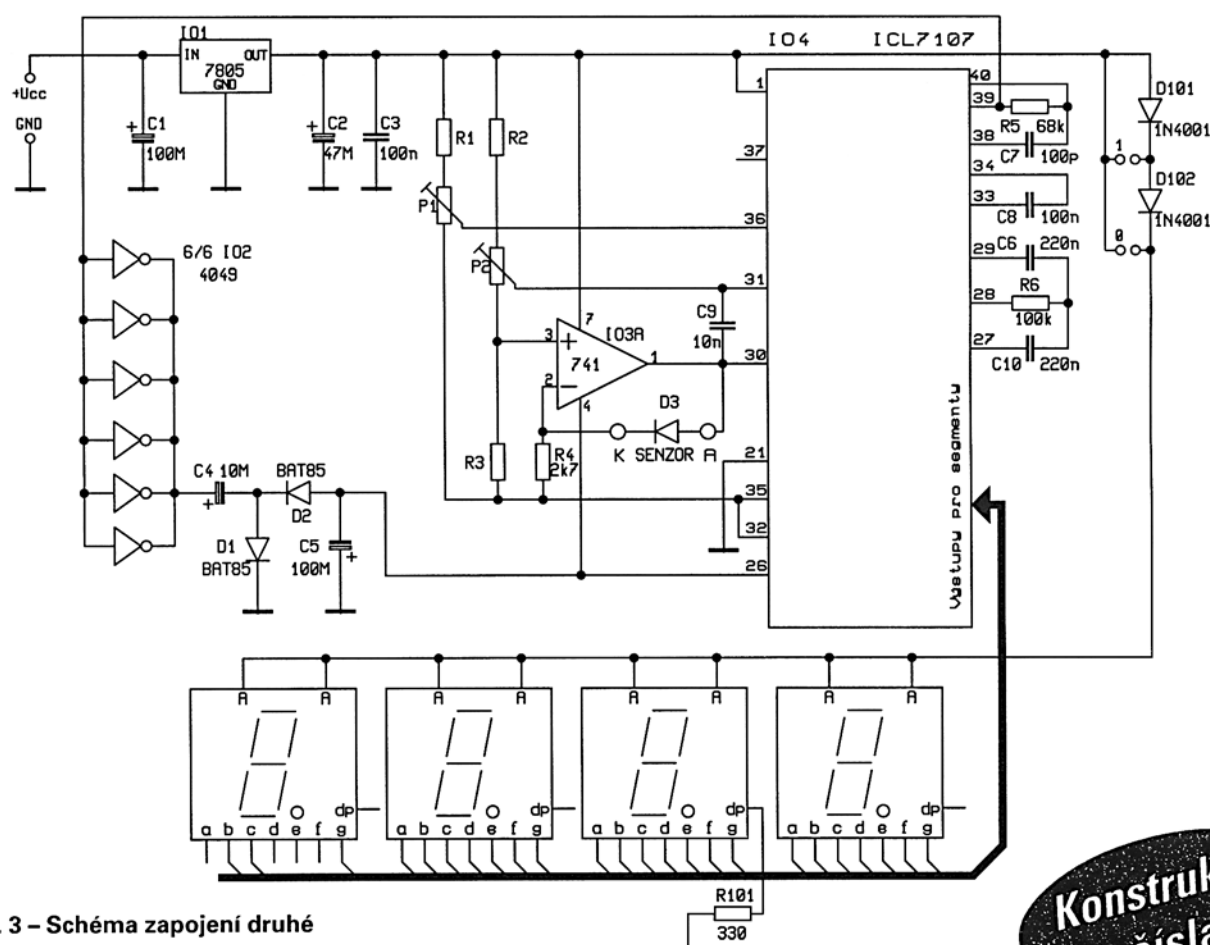
4) Obě destičky propojíme mezi sebou (mechanicky i elektricky zároveň) podle obr. 7.

5) K příslušným svorkám teploměru připojíme napájecí napětí 8 až 15 V ze zdroje, schopného dodat alespoň 250 mA (viz výše). Zkontrolujeme velikost napětí na výstupu stabilizátoru 7805 proti zemnicí svorce GND, má zde být napětí +5 V s tolerancí 10 %.

6) Odpojíme napájecí napětí, do základní destičky zapájíme obvod US2 (4049 – viz výše) a do patic vložíme obvody US3 a US4 (viz výše). Tím je stavba teploměru dokončena.

Oživení a seřízení obvodů teploměru

V první fázi seřizovacího procesu nastavíme proud displeje, tím zároveň i jeho jas. Do okruhu napájení zařadíme ampérmetr s rozsahem 250 mA (nebo podobným). Připojíme napájecí napětí a propojíme vývody č. 1 a č. 37 obvodu 7107. Tím rozsvítíme všechny segmenty u všech číslic displeje, takže ukazuje stav 88,8 (ve druhé variantě – 188,8). Aby nebyl překročen maximální dovolený proud budičů segmentů displeje uvnitř obvodu 7107 (který je 8 mA), nesmí být celkový odběr teploměru větší než asi 175 mA u varianty první a 190 mA u varianty druhé. Pokud je proud menší a jas displeje se nám nezdá být dostatečný, můžeme



Obr. 3 – Schéma zapojení druhé varianty teploměru

Konstrukce
číslo

zkusit propojením sousedících pocínovaných plošek „1“ na destičce displeje (viz obr. 4) proud displeje zvětšit, další zvětšení nastane po propojení podobných plošek, označených „0“.

Připomínáme znovu, že zvětšovat jas můžeme jen do pokud celkový proud nepřesáhne uvedenou mez. Jinak může dojít k výkonovému přetížení převodníku 7107, což by mělo za následek zhoršení přesnosti teploměru v důsledku teplotních změn napětí vnitřního referenčního zdroje. Po nastavení jasu displeje zrušíme zkrat mezi vývody 1 a 37 obvodu 7107. Posledním krokem seřizovacího postupu je kalibrace teploměru. Předtím však několik slov, týkajících se vlastního čidla.

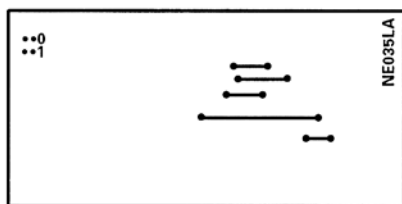
Teplotní čidlo umístíme do vhodného pouzdra (mělo by být malé, z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí a malou tepelnou kapacitou, aby teploměr svižně reagoval na změny teploty.

Je rovněž vhodné, aby pouzdro bylo vodotěsné a aby vlastní čidlo dobře izolovalo od pracovního prostředí, i s ohledem na další možné nepříznivé vlivy (zašpinění, koroze a pod.). Délka vodiče, propojujícího čidlo s obvody teploměru může být až několik metrů, ale není vhodné dělat přívody delší, než je třeba. Pokud z nějakých důvodů potřebujeme délku změnit, je nutné teploměr znovu zkaližovat.

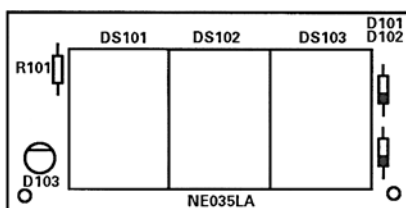
A nyní již postup vlastní kalibrace: čidlo umístíme do prostředí s teplotou 0 °C, to jest ponoříme jej do vody ve které plavou kousky ledu. Necháme teplotu ustálit a potom otáčením trimru P2 nastavíme na displeji stav 00,0. Potom čidlo přemístíme do nádoby s vařící se vodou a trimr P1 nastavíme tak, aby se údaj teploměru právě změnil z 99,9 na 00,0 – to platí pro první variantu. U varianty druhé nastavíme údaj rovnou na 100,0. Po tomto seřízení je teploměr připraven k použití.

Teploměr by měl být provozován při takové teplotě, která se od teploty, při níž byl kalibrován, neliší víc než o 10 °C (jedná se o teplotu obvodů teploměru, ne čidla). Tím ovšem není nijak dotčena jeho schopnost pracovat v rozmezí teplot od 0 do 70 °C.

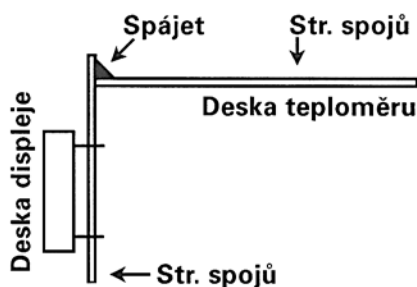
Teploměr nelze jednoduše bez rozsáhlých změn použít pro měření na několika místech za použití několika přepínaných čidel. Důvodem jsou rozdílné charakteristiky jednotlivých kusů diod, přičemž kalibraci teploměru lze udělat vždy jen pro jednu konkrétní diodu.



Obr. 4 – Drátové propojky na desce zobrazení první varianty



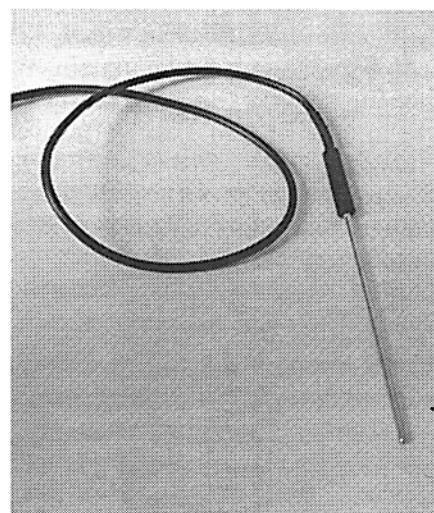
Obr. 5 – Osazení desky zobrazení



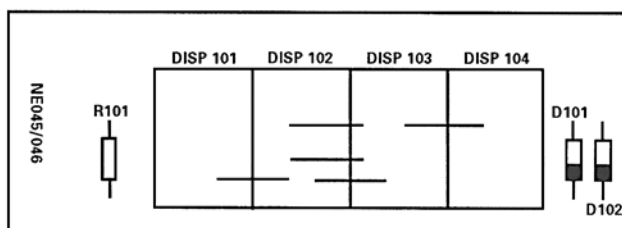
Obr. 7 – Propojení destiček

Závěrem

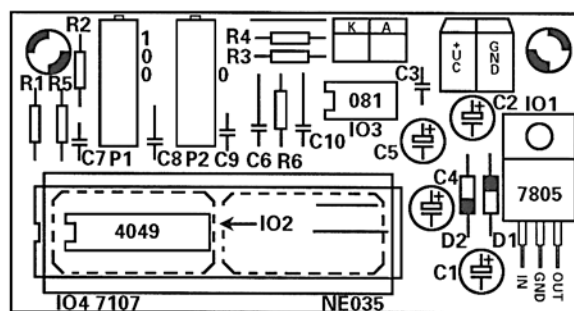
Chceme-li k napájení použít přímo stabilizované napětí 5 V, můžeme stabilizátor 7805 ze zapojení vypustit. V tom případě musíme na destičce propojit body, do kterých byl zapojen jeho vstupní a výstupní vývod (na destičce označeno IN a OUT).



Příklad provedení sondy pro měření teploty



Obr. 6 – Osazení součástek a drátových propojek na desce zobrazení druhé varianty



Obr. 8 – Osazení základní destičky

Detektor lži

Ing. Pavel Mašika
stavebnice č. 320

Základní technické údaje:

Napájecí napětí: 9 V
Proudový odběr: 10 až 15 mA

Lidské tělo není z „fyzikálního“ pohledu v podstatě nic jiného než nádoba s nehomogenním elektrolytem. Přiložíme-li na povrch této nádoby dvě elektrody, určitě mezi nimi naměříme nějaký ohmický odpor. Je známo, že celý lidský organismus je „řízen“ prostřednictvím nervů, v nichž se vzruchy šíří pomocí malých změn elektrického potenciálu. Potom nám nemůže připadat ani moc divné, že změna psychického stavu má vliv na „odpor člověka“. Tento odpor závisí na emocích, zdravotním stavu, momentální psychické i fyzické pohodě, momentálních myšlenkách atd. Je snadné představit si, že náš odpor (v Ω) ovlivní, když nám strachy běhá mráz po zádech, máme husí kůži, nebo se nám hrůzou ježí vlasy. Ještě pochopitelnější je vliv pocení pokožky. Bylo zjištěno, že i vyslovení „nepravdivého“ výroku (když člověk vědomě lže) má za následek dočasné zvýšení vodivosti těla. Tohoto jevu využívají takzvané *detektory lži* – svého času mezi bastlíři velmi populární zařízení. Dokonce se využívají i pro policejní účely (alespoň ve filmech, nemohu doložit vlastní zkušeností).

Následující popis by měl případným zájemcům umožnit sestavit si jednoduchý a na ožívování nenáročný detektor lži, se kterým lze úspěšně experimentovat a zažít mnoho zábavy. Individuální reakce při lhaní mohou být různé, pro lhaní jedinci zřejmě nezareagují ani při té největší lži. S pomocí statistiky by ale mělo být možné odhalit i nepatrné a náhodou ovlivněné výsledky – jednoduše tak, že stejný pokus provedeme mnohokrát za sebou.

vení pracovního bodu tak, aby na měřeném odporu bylo v celém rozsahu hodnot vždy stejné napětí. Proto vstupním zesilovačem snímáme vlastně relativní změnu odporu. Měřený odpor je napájen zdrojem proudu (kolektor T1) a tento proud je podle Ohmova zákona nepřímo úměrný odporu.

Pro rychlejší změny (díky R4 a C5) je zesílení vstupního zesilovače dáno poměrem R2/R3. Při náhlé větší změně

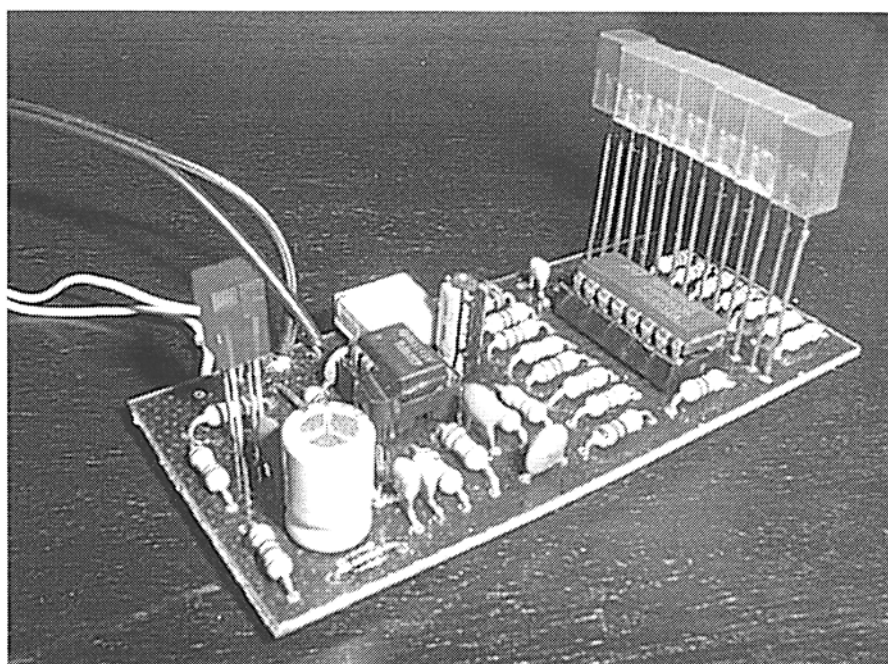
odporu jedním nebo druhým směrem se uplatní dioda D2 resp. D3, která přenesou výstupní napětí IC1A (mínus úbytek na diodě) na kondenzátor C5 okamžitě. Například při nasazení elektrod dojde k rychlému poklesu odporu, výstup IC1A jde do maxima a díky D2 není nutné dlouho čekat na ustálení pracovního bodu. Z druhé strany nastane stejný případ, jestliže elektrody omylem krátce zkratujeme. Jako D2 a D3 jsou použity svítivé diody pro jejich větší prahové napětí a také pro indikaci skokového vyrovnávání pracovního bodu. Pokud něco není v pořádku (např. utřžená nebo špatně přiložená elektroda) nebo při odpojených elektrodách poblikávají z důvodu brumu obě diody.

Zenerova dioda D1 v emitoru T1 „podkládá“ napětově tento tranzistor a tím určuje velikost stejnosměrné složky výstupního napětí IC1A. To se ustálí na takové hodnotě, aby odporem R4 tekla proud potřebný k otevření T1

Popis zapojení

Přístroj pracuje tak, že po připevnění dvou elektrod na zkoušenou osobu a po několikasekundovém ustálení indikuje krátkodobé změny vodivosti jeho těla (resp. kůže) pohybem svítícího bodu v řadě sedmi svítících diod.

Schéma zapojení detektoru je na obr. 1. Mezi svorky S1 a S2 se připojuje zkoušená osoba pomocí „prstýnků“, které zhotovíme z tenkého plechu. Můžeme je navléci na dva prsty téže ruky, nebo na každou ruku zvlášť. Odpor mezi těmito svorkami se může pohybovat ve velice širokém rozsahu, od desítek k Ω až do několika M Ω . Zpětná vazba zavedená z výstupu operačního zesilovače IC1A přes člen R4C5 a tranzistor T1 zajišťuje automatické nastá-



v daném pracovním bodě. Rezistor R5 posouvá pracovní bod Zenerovy diody směrem k většímu proudu a menšímu diferenciálnímu odporu.

Napětí ze vstupního zesilovače je dále zesíleno Butterworthovou dolní propustí třetího řádu, tvořenou prvky u IC1B. Tento filtr je zařazen kvůli potlačení brumu 50 Hz, kterého je zde kvůli „člověku na vstupu“ dost. Zesílení stejnosměrné složky je $R9 / (R6 + R7) = 5$, mezní frekvence cca 10 Hz, útlum na 50 Hz cca 40 dB.

Na konci celého řetězce je indikátor tvořený řadou sedmi svítivých diod, které jsou buzeny hradly CMOS obvodu 4050. Využíváme zde toho, že překlápěcí úroveň CMOS hradel je poměrně přesně rovna polovině napájecího napětí. Vstupy hradel jsou napájeny ze dvou rezistorových děličů – R12 až R15 a R16 až R19. Pokud je na výstupu IC1B polovina napájecího napětí, jsou hradla A, F a B v log. 1 a hradla E, C a D v log.

0 – svítí dioda D7. Při poklesu tohoto napětí na $0,45 \cdot U_{nap}$ dojde k překlapaní hradla B do log. 0 – D7 zhasne a rozsvítí se D6. Podobně dochází k překlápění dalších hradel při úrovních $0,325 \cdot U_{nap}$ a $0,2 \cdot U_{nap}$. Spodní polovina hradel má na vstupech překlápěcí úroveň při přesně symetrických hodnotách na výstupu IC1B ($0,55 \cdot U_{nap}$, $0,675 \cdot U_{nap}$ a $0,8 \cdot U_{nap}$). Svítící bod se pohybuje nahoru (směrem k D4) při zvýšení vodivosti člověka, protože signál je na cestě dvakrát zinvertován. Poprvé dolní propustí (IC1B) a podruhé právě popsaným mechanismem překlápění hradel IC2.

Popis konstrukce a poznámky

Všechny součástky jsou umístěny na jednostranné desce s plošnými spoji kte320 (obr. 2 a 3). Do desky zapájíme nejdříve tři drátové propojky (nejen z „teplných“ důvodů, ale i proto, že

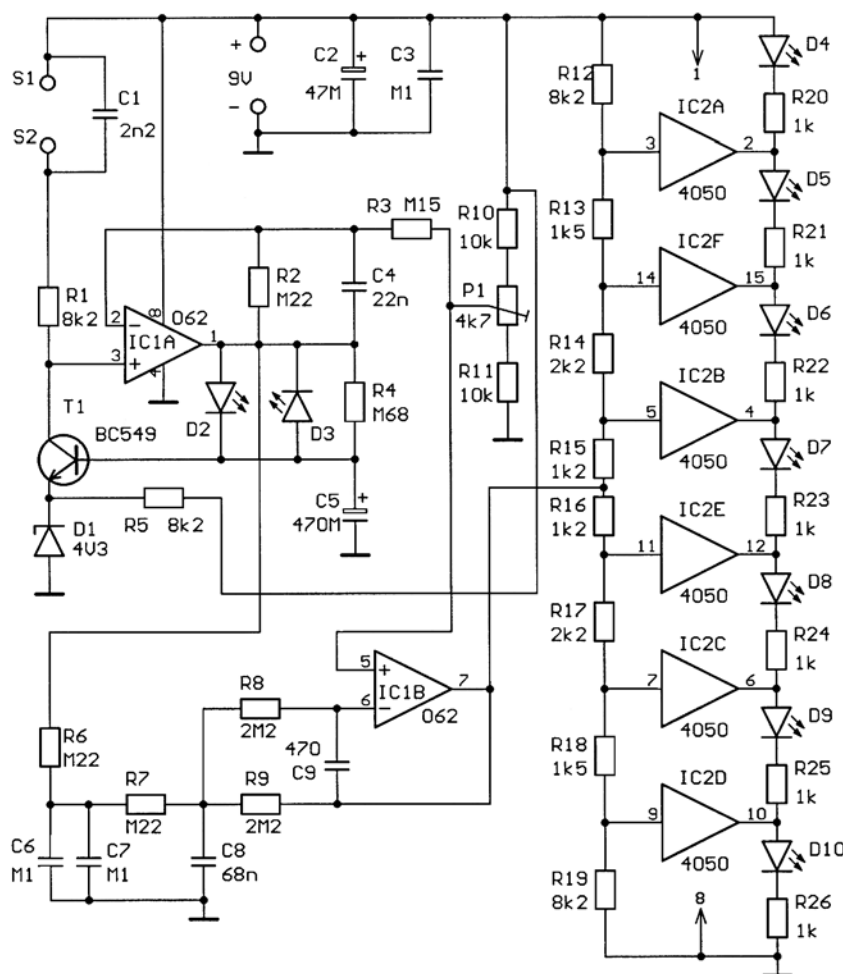
jedna z nich je pod integrovaným obvodem!). Dále osazujeme patice pro IO, pasivní součástky a nakonec tranzistor a svítivé diody. Délku jejich přívodů před zapájením přizpůsobíme zamýšlenému mechanickému provedení.

Přístroj lze napájet z devítivoltové baterie nebo ze síťového adaptéru. V principu lze hodnotu napájecího napětí měnit, ale při větší změně (např. na 12 nebo 15 V) bude nutné vyměnit Zenerovu diodu D1 tak, aby na emitoru T1 bylo přibližně $U_{nap} / 2$ (0,5 až 1 V).

Zapojení by mělo pracovat na první pokus, jediným nastavovacím prvkem je trimr P1. Tímto trimrem nenastavujeme polovinu U_{nap} , ale správnou polohu svítící diody v ustáleném stavu. Nejdříve je nutné nasadit si elektrody a vyčkat alespoň 10 sekund, až dojde k ustálení vstupního obvodu. Pak změnou polohy P1 doladíme svítící bod na prostřední diodu. V zásadě je možné za „bod klidu“ považovat i jinou než prostřední diodu – pokud při pokusech bude docházet k větším nárůstům než poklesům vodivosti, můžeme P1 nastavit tak, aby v klidu svítila např. D8. Zde je nutné poznamenat, že při změnách měřeného odporu v celém uvažovaném rozsahu dochází i k malým změnám ustáleného napětí na výstupu IC1A (díky změnám úbytku na R4) a tím i k změnám polohy svítící „klidové“ diody. Při připojení dvou různých rezistorů o hodnotách 50 kΩ a 2 MΩ se bude poloha diody lišit o jedno, maximálně o dvě místa, záleží na zesilovacím činiteli T1 (čím větší, tím menší změna). V praxi ale při extrémních hodnotách odporu (úplně suchá nebo zpocená kůže) stejně nelze očekávat uspokojivé výsledky. Hlavním „měřicím rozsahem“ budou hodnoty řádově okolo 0,5 MΩ a zde můžeme považovat střed naší sedmistupňové stupnice za stabilní.

Při aplikaci elektrod je někdy dobré použít zvlhčující prostředek (gel, krém), aby se minimalizoval vliv měnící se přítlačné síly na elektrodu při pohybu ruky (i nechtěném), vliv deformací pokožky apod. Každopádně je důležitý co největší klid rukou, tzn. zaujetí pohodlné polohy.

Podle [1] je možné s tímto přístrojem realizovat kromě „detekce lži“ i různé další experimenty. Např. po hlubokém nadechnutí nosem dojde k výraznému



Obr. 1 – Schéma zapojení detektoru lži

nárůstu vodivosti, přičemž intenzita této reakce klesá s únavou resp. nemocí organismu. Údajně lze také vyvolat reakci pouhým přiblížením ruky k ruce měřené osoby a napnutím svalů (zvláště u proutkařů a podobně citlivých osob). Každý může sám na sobě zkoušet reakci na nejrůznější podněty – od sledování různých předmětů až po užití léku nebo drogy.

Literatura:

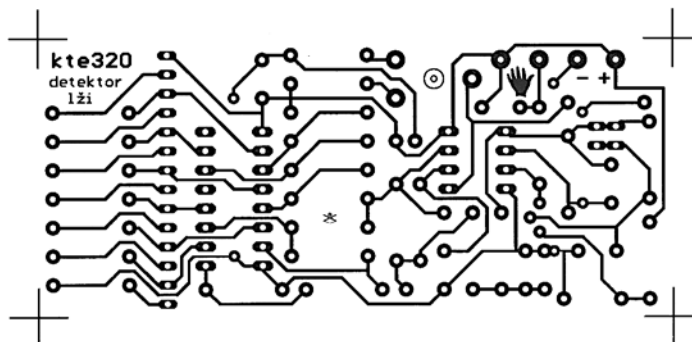
[1] Amatérské radio A 7/78, J. Brnka, ing. V. Patrovský: Jednoduchý měřič kondice.

Seznam součástek

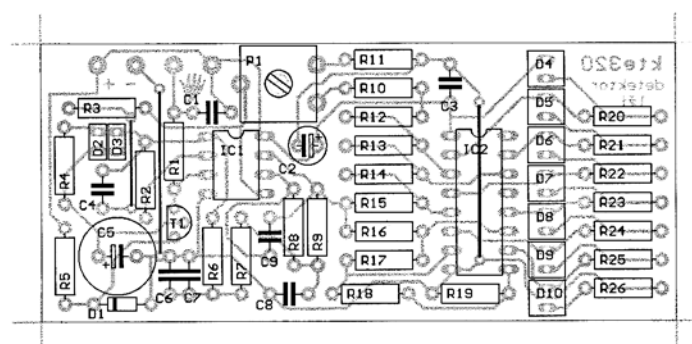
R1, R5, R12, R19	8k2 – 4 ks
R2, R6, R7	M22 – 3 ks
R3	M15
R4	M68
R8, R9	2M2 – 2 ks
R10, R11	10k – 2 ks
R13, R18	1k5 – 2 ks
R14, R17	2k2 – 2 ks
R15, R16	1k2 – 2 ks
R20 až R26	1k – 7 ks
P1	5k PT10V K005
C1	CK 2n2
C2	E 47M/16V
C3, C6, C7	CK 100n – 3 ks
C4	CK 22n
C5	E 470M/16V
C8	CK 68n
C9	CK 470p
D1	ZD 4V3
D2, D3	LED 2,5x5 mm červená – 2 ks
D4, D10	LED 5x5 mm červená – 2 ks
D5 až D9	LED 5x5 mm zelená – 5 ks
T1	BC549C
IC1	TL062
IC2	4050
patice	8pin – 1 ks 16pin – 1 ks
plošný spoj	kte320

Cena sady součástek včetně plošného spoje je **195 Kč**.

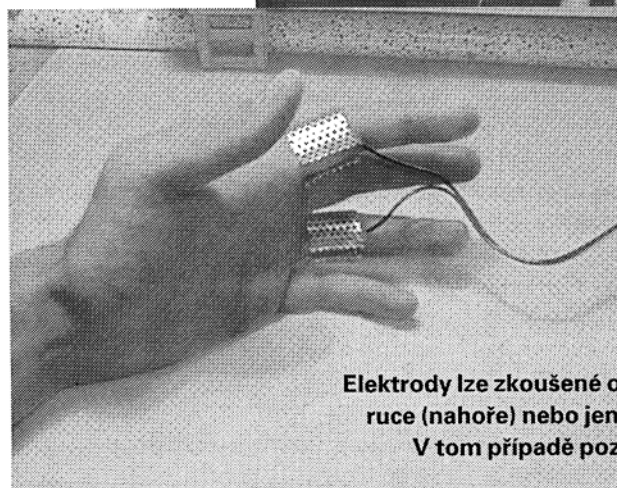
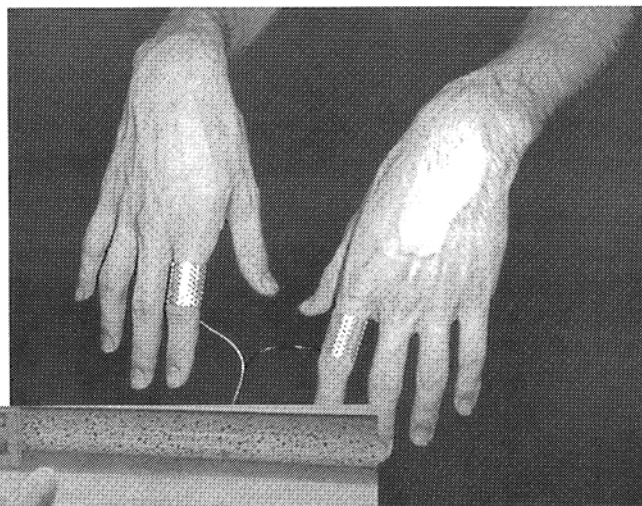
Elektrody nejsou součástí stavebnice.



Obr. 2 – Obrazec plošných spojů



Obr. 3 – Plán rozmístění součástek



Elektrody lze zkoušené osobě upevnit buď na obě ruce (nahore) nebo jen na dva prsty téže ruky. V tom případě pozor na možný zkrat.

Odborná literatura



Přehled obvodů řady TTL 7400, díl I. (7400 až 7499)

RECENZE

Příručka obsahuje v úvodní části všechny důležité informace o číslicových obvodech z rodiny TTL. Postupně probírá základní principy činnosti, definuje statické a dynamické parametry a systematicky a podrobně rozebírá aplikační zásady. Většina uvedených informací má vysloveně konstrukční povahu. Stručnou a velmi přehlednou formou čtenáře seznamuje se způsoby připojování vstupů a výstupů, převody logických úrovní, typy a schopnostmi výstupních obvodů a způsoby jejich připojení k různým zátěžím i k jiným logickým členům, dále s metodami ošetření nezapojených vstupů či hazardních stavů i problematikou napájení.

Úvodní část příručky uzavírají užitečné tabulky, vysvětlivky, přehled použité literatury a číselně seřazený kompletní seznam TTL obvodů od 7400 do 7450729 (celkem 750 typů!). V tomto seznamu je pro snazší orientaci a možnost rychlého nalezení vhodného obvodu v následující katalogové části příručky u každého typu uvedena jeho funkce.

V hlavní části knihy jsou obvody seřazeny podle číselného označení. Každý

obvod je charakterizován skupinou logických obvodů, do které patří (např. dekodéry, klopné obvody apod.) a stručným popisem funkce (synchronní čtyřbitový binární čítač, dekodér BCD na kód 1 z 10 apod.). Popis funkce se shoduje s informací, uvedenou v úvodním souhrnném přehledu obvodů, aby čtenář při hledání obvodu, plnění žádanou funkcí, neztrácel čas zdlouhavým prolistováním knihy. Součástí podrobných informací v hlavní části příručky je rovněž zapojení vývodů nejen standardního pouzdra DIL, ale i případných jiných modifikací (SMD – SO, flat-pack, LCC – PLCC). Dále je pro každý obvod uveden seznam vývodů s krátkým popisem jejich funkce. Následuje stručný popis funkce obvodu, logické a funkční schéma, funkční tabulka a údaje o spotřebě. Připojeny jsou též časové průběhy (případně tabulky typických zpoždění průchodu signálu obvodem nebo údaje o typickém mezním kmitočtu). Nechybí ani takové informace, jako je zatížitelnost výstupů nebo zatěžovací faktor vstupů. Popis většiny obvodů doplňují praktické aplikační příklady.

Krátce řečeno, příručka je kompletní a fundovaný slabikář TTL. Po jejím

zakoupení ušetříte nejen mnoho času, který jste dříve trávili při vyhledávání informací, roztroušených po mnoha knihách a katalogích. Ušetříte také ve své technické knihovně mnoho místa po literatuře, kterou budete moci odevzat do sběru.

V současné době se připravuje vydání druhého dílu (obvody 74100 až 74199), který by měl vyjít na přelomu roku 1997/1998.

Přehled obvodů řady TTL 7400, díl I. (7400 ... 7499)

rozsah: 288 stran B5
autor: Ing. Petr Jedlička
dat. vydání: březen 1997
ISBN: 80-86056-08-2
EAN: 9788086056081
MC: 199 Kč

Novinky ze zahraničí

C. Vincent, B. Scrosati:
Modern Batteries

Všeobecný teoretický úvod k elektrochemickým článkům je následován obsáhlým výkladem o různých typech baterií. Text zahrnuje chemické principy, technologické popisy i možné aplikace. Čtenář zde nalezne i poslední informace o nových typech, které se objevily nebo začaly komerčně využívat až v posledním desetiletí. Toto druhé vydání knihy je založeno na úspěšném prvním vydání a obsahuje text přístupný všem čtenářům se základními znalostmi chemie a fyziky.

Červenec 1997 Arnold, 288 stran, ISBN 0-340-66278-6, cena 19,99 liber.

B. Whyte:
Multimedia Telecommunications

Tato kniha je dílem odborníků z Britských laboratoří pro výzkum telekomunikací. Jsou zde v komplexním přehledu obsažena nejrůznější témata ze široké oblasti multimediálních telekomunikací. Od televizního vysílání ke zvláštnostem datových komunikací, od zábavy až k technologickým detailům. Pro všechny, kdo se chtějí některou z těchto oblastí zabývat, by měla být prvním a základním informačním pramenem.

Květen 1997 Chapman & Hall, 320 stran, ISBN 0-412-78600-1, cena 55 liber.

Reklamní plocha