

# Školní generátor TTL a synchronizační obvod

PETR ADÁMEK – JIŘÍ TESAŘ

Pedagogická fakulta JU, České Budějovice

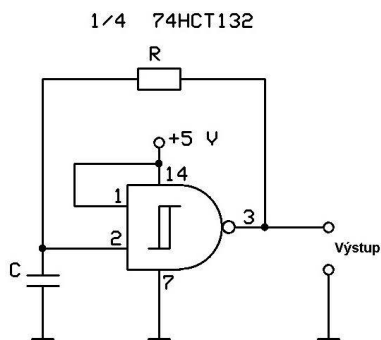
Přesto, že v současné době jsou na trhu k dispozici mnohé téměř dokonalé učební pomůcky, sofistikované elektronické stavebnice, měřicí přístroje, mnohdy pracující ve spojení s osobním nebo jednočipovým počítačem a též počítačové simulátory elektronických obvodů, začíná chybět jistá nedílná součást výuky. Významnou součástí praktické výuky je vlastní realizace a aplikace jednoduchých elektronických obvodů. Tato část výuky má nenahraditelný význam z hlediska přímého kontaktu s realitou, rozvoje tvůrčího myšlení, soustředění a jemné motoriky, respektive harmonického vývoje jedince.

Tento příspěvek uvádí známé i méně známe konstrukce jednoduchých obvodů, které jsou upraveny dle současné běžně dostupné součástkové základny a použity jako alternativy školního generátoru diskrétního signálu a časovacího spouštěcího synchronizačního obvodu, které mohou posloužit též svými jednotlivými částmi jako námět pro realizaci učebních pomůcek. Generátor nebo synchronizační obvod lze používat v laboratorních úlohách zaměřených na fyziku, elektroniku, elektrotechniku. Při konstrukci generátoru byl kladen důraz na jednoduchost konstrukce a též minimální materiálovou náročnost. Vzhledem k rozsahu a účelu příspěvku je pouze vysvětlena funkce zapojení a jednotlivých komponent a kromě schémat zapojení, není uvedena úplná technická dokumentace pro realizaci.

## **Popis zapojení generátoru a spouštěcího synchronizačního obvodu**

Generátor vybavený synchronizačním obvodem je rozdělen na tři základní části, vlastní generátor TTL (Transistor Transistor Logic) signálu, dělič dvěma a zpožďovací synchronizační obvod. Všechny části lze využívat samostatně a nezávisle. Generátor TTL signálu, jehož princip je převzat z [1], vznikl již v roce 1989. Toto zapojení využívá číslicového integrova-

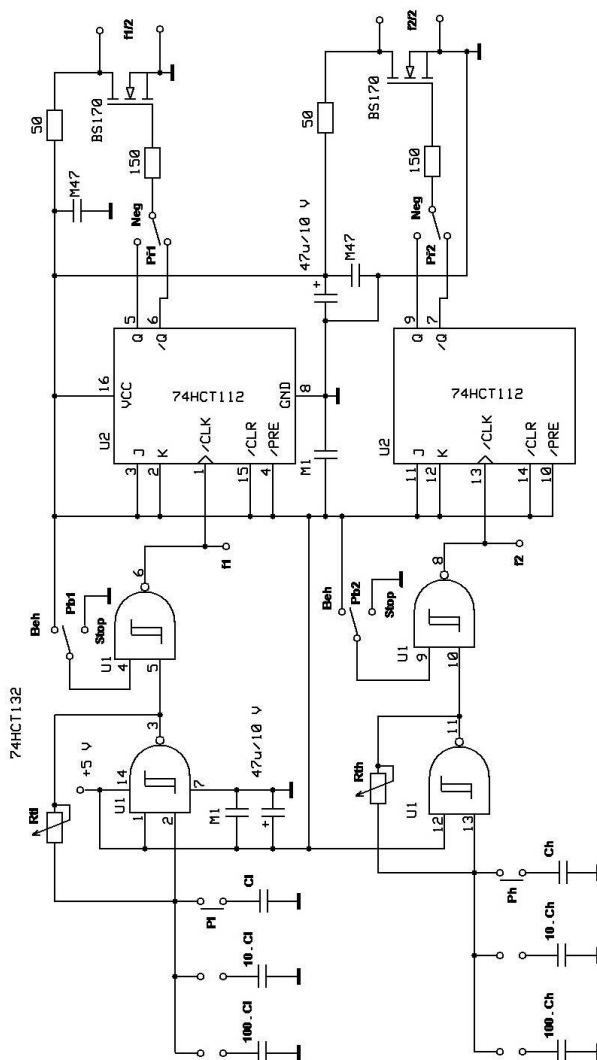
ného obvodu z řady 74XX nízké integrace, původně to byl obvod 7413. Obvod 7413 obsahuje dvě čtyřvstupová hradla NAND se Schmittovým obvodem na vstupu. Schmittův obvod [2] na vstupu ve spojení s obvodem hradla má dostatečný napěťový zisk, aby se po zavedení zpětné vazby z výstupu na vstup obvodu hradlo rozkmitalo. Pracuje jako relaxační oscilátor. Relaxační oscilátor neprodukuje harmonické sinusoidální kmitý jako pravý harmonický oscilátor. Např. když je na výstupu logická „1“, tedy 5 V, je přes zpětnovazební rezistor  $R$  nabíjen kondenzátor  $C$  na vstupu (obr. 1). Jakmile dosáhne napětí na kondenzátoru rozhodovací úrovně vstupu hradla (2), v tomto případě Schmittova klopného obvodu, výstup hradla NAND se překlápí do logické „0“ a kondenzátor se přes zpětnovazební rezistor vybíjí, tentokrát do úrovně logické nuly na vstupu hradla a hradlo na to opět zareaguje změnou svého výstupního stavu do logické jedničky. Tento proces probíhá periodicky. Výstupním signálem je v tomto případě téměř pravouhlý impuls.



Obr. 1: Principiální zapojení relaxačního oscilátoru

V současnosti jsou běžně dostupné podobné obvody vyráběné v rychlé řadě logických obvodů CMOS (74HCTxxx). Jako vhodná náhrada byl zvolen obvod 74HCT132<sup>TM</sup> [3], ve kterém jsou integrována čtyři dvouvstupová hradla NAND se Schmittovým obvodem na vstupu. Tento technologicky podstatně dokonalejší obvod se vyznačuje, mimo jiné, např. velkým vstupním odporem, malými vstupními proudy do 1  $\mu\text{A}$ , vyšší rychlostí přeběhu, kratším dopravním zpožděním, výrazně nižší spotřebou a vyššími výstupními proudy, dle údajů výrobce až 25 mA. Tyto obvody, díky svým uvedeným výborným vlastnostem, umožňují vytvořit jednoduchý laditelný relaxační oscilátor s velkým kmitočtovým rozsahem nastavení. Díky velkému vstupnímu odporu hradla je možno měnit hodnotu odporu zpětnovazeb-

ního rezistoru řádově od  $10^2\Omega$  až do  $10^5\Omega$ . Těto možnosti může být využito ke konstrukci oscilátoru s plynule nastavitelným kmitočtem jediným potenciometrem. Konkrétní zapojení je uvedeno na obr. 2.



Obr. 2: Konkrétní zapojení dvojitého generátoru TTL s 2 děličkami 74HCT112

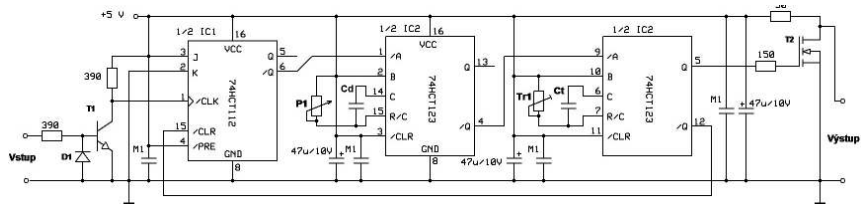
Hlavní výhodou tohoto generátoru je tedy velký rozsah nastavení kmitočtu jediným potenciometrem  $R_{tl}$  ( $R_{th}$ ) a jedním pevným kondenzátorem. Prakticky bylo zvoleno nastavení, ladění kmitočtu na jednom rozsahu více než desetkrát. Pomocí přepínače rozsahů P1 (Ph), lze postupným zmenšováním kapacity kondenzátoru C1 (Ch) na jednotky pF dosáhnout kmitočtu až přes 50 MHz. Naopak lze použít i kvalitní elektrolytické kondenzátory s malými svodovými proudy a tak, díky jejich možné velké kapacitě, lze se stejným zapojením dosáhnout nižších kmitočtů než  $10^{-1}$  Hz. V jednom pouzdře (DIL 14, SOIC 14) jsou uvedené obvody čtyři, což umožňuje vytvořit teoreticky až čtyři nezávislé laditelné generátory. V konkrétním zapojení, na obr. 2, jsou využity pouze dva a další dvojice je využita k oddělení kmitajícího obvodu a uvolnění (Beh) nebo hradlování (Stop) přepínačem Pb1, (Pb2) jeho výstupu. Nevýhodou a v některých případech i požadavkem na uvedené zapojení může být nerovnoměrná střída výstupního signálu.

Jak již bylo uvedeno, generátor neprodukuje harmonický, ale obdélníkový signál s nestejnou šíří impulsu a šíří mezery v periodě. Tato nerovnoměrná střída je způsobena různou rozhodovací úrovní pro logickou nulu a logickou jedničku vstupů hradla NAND, respektive Schmittova klopného obvodu. Střída se mění s nastaveným kmitočtem a též se může poněkud lišit obvod od obvodu. Na konkrétním obvodu byl naměřen poměr trvání impulsu k mezeře od přibližně 3 : 7 při kmitočtu řádově kHz až po téměř 1 : 1 na kmitočtech řádu MHz.

Pro dosažení stejné střídy a obdélníkového tvaru výstupních impulsů je na výstupu hradel NAND obvodu 74HCT132<sup>TM</sup> zapojena další část, a to dělička dvěma s obvodem 74HCT112<sup>TM</sup> [4]. Tato dělička sice způsobí, že maximální možný výstupní kmitočet celého generátoru bude omezen přibližně pouze do 25 MHz, ale výstupní signál pak má téměř ideální symetrický obdélníkový tvar.

Jako dělička je použit dvojitý klopný obvod J-K, stejné rychlé řady CMOS 74HCTxxx, resp. 74HCT112<sup>TM</sup> [4]. Tento obvod je možné při vyloučení požadavku na stejnou střídu a požadavku vyššího výstupního kmitočtu až 50 MHz nepřipojovat nebo nepoužít. Výstupy obvodů TTL, buď přímo 74HCT132<sup>TM</sup> nebo 74HCT112<sup>TM</sup> jsou následně zesíleny v jednoduchém výkonovém tranzistorovém stupni. Tento stupeň slouží pro proudové posílení výstupů. V uvedeném zapojení jsou použity rychlé spínací, polem řízené tranzistory BS170, které umožňují, aby výstupní proudy generátoru mohly dosahovat hodnoty až kolem 0,5 A, při zachování dostatečné strmosti čelní (10 ns) a týlové hrany (10 ns) impulsu viz údaje výrobce [5].

Třetí samostatná část školního generátoru je zpožďovací synchronizační obvod (trigger), který umožňuje po startu nějaké události impulsem delším než 20 ns, o napěťové úrovni vyšší než 0,7 V, spouštět výstupním signálem – impulsem s nastavitelným zpožděním a úrovni TTL časovou základnu osciloskopu nebo jiného záznamového zařízení. Tento obvod vznikl zjednodušením zapojení, původně vyvinutého pro jiné účely (viz [6]). V uvedeném zapojení na obr. 3. je použita jen část.



Obr. 3: Zapojení zpožďovacího a spouštěcího obvodu, „trigger“

Generování zpožděného spouštěcího, respektive synchronizačního impulsu, slouží monostabilní klopný obvod 74HCT123<sup>TM</sup> [7] a opět klopný obvod typu J-K = polovina pouzdra 74HCT112<sup>TM</sup>, který zde slouží jako paměť předchozího stavu, respektive příchodu vstupního spouštěcího impulsu. Na vstupu synchronizačního obvodu je použit spínací NPN tranzistor T1, typ 2N4401 [8], který zároveň slouží jako předzesilovač a přepětová ochrana společně s diodou D1 následujícího klopného obvodu J-K. Kladné napětí na vstupu tranzistoru T1 vyšší než 0,7 V, způsobí jeho otevření, vznikne tak sestupná 5 V – 0 V, tedy týlová hrana impulsu, která překlápí první klopný obvod J-K, jehož invertovaný výstup/Q (vývod č. 6) je přiveden na první monostabilní klopný obvod 74HCT123<sup>TM</sup> (vývod č. 1). První monostabilní klopný obvod slouží k plynule nastavitelnému zpoždění průchodu impulsu, které závisí téměř lineárně na nastavené hodnotě odporu potenciometru P1 a zvoleném časovacím kondenzáturu Cd. Následující druhý monostabilní klopný obvod generuje vlastní spouštěcí, synchronizační impuls na vývodu 5 a invertovaný impuls na vývodu 12. Tento signál je proudově posílen tranzistorem T2, typ BS170. Šíře spouštěcího impulsu je též nastavitelná pomocí trimru Tr1 a kondenzáturu Ct. Invertovaný impuls z vývodu 6 současně nastavuje počáteční podmínky celého synchronizačního obvodu – paměť příchozího impulsu, respektive nuluje první klopný obvod J-K. Dokud neproběhne celý proces zpoždění a vygenerování výstupního spouštěcího impulsu, není možno tento proces narušit příchodem vstupního signálu indikujícího další událost.

## Aplikace generátoru TTL a zpoždovacího a spouštěcího obvodu „triggeru“

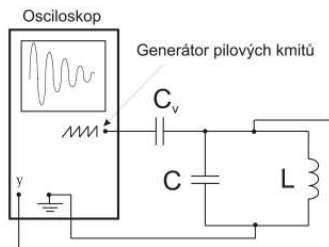
Generátor TTL je možné standardně využít jako zkušební generátoru pro testování zapojení čítačů, posuvných registrů nebo složitějších sekvenčních obvodů nebo k ověřování funkce jednotlivých vadných součástek. Vzhledem k poměrně velmi dobrým dynamickým parametrům použitých hradel i spínacích tranzistorů, se generátor vyznačuje velkou rychlostí přeběhu až  $5\,000\text{ V} \cdot \mu\text{s}^{-1}$ . Pro mnohé aplikace je tedy téměř ideálním generátorem obdélníkového signálu. Je ho tak možné ve spojení s dostatečně rychlým osciloskopem využít pro měření odezvy na budící jednotkový skok analogových zesilovačů, regulátorů, tvarovacích zesilovačů. Je možné jej využít k měření tzv. dopravního zpoždění průchodu signálu ze vstupu na výstup jak v analogových obvodech, tak v řadách 74xx, případně 74LSxx logiky TTL nebo „pomalých“ obvodů číslicové logiky CMOS řady 4000 [9, 10]. Stejným generátorem lze též měřit dobu ustálení výstupního napětí nebo proudu u výše zmíněných obvodů.

### Užití vytvořeného zařízení ve výuce

Zamysleme se, jak je možné uvedený generátor s příslušenství využít při výuce fyziky, respektive odborných předmětů. Samozřejmě ve spojení s osciloskopem při sledování průběhu děje v elektrických obvodech. Mnozí namítnou, že v době masového rozšíření PC, internetu a počítačových animací je takovéto zařízení zbytečné. Opak je však pravdou! Doba, kdy použití PC při výuce bylo výrazným motivujícím prvkem pro žáky všech věkových kategorií, už dávno pominula a velmi častá realita – výuka fyziky bez reálných pokusů je kromě jiného jednou z příčin, proč se fyzika nachází na spodním konci oblíbenosti školních předmětů. Všichni známe zaujetí žáků, pokud jsou vtaženi do reálného experimentu, který navíc často končí překvapivým, paradoxním zjištěním a jejich následnou spontánní reakcí. Proto je nutné vždy virtuální experiment považovat pouze za doplněk reálného experimentu a v tomto duchu vést výuku.

Konkrétní využití navrženého generátoru je například zobrazení tlumených elektrických kmitů. Tento jev se na ZŠ standardně nevyučuje, ale jako rozšiřující učivo ho najdeme v učebnici [11]. Sestavit vhodný elektrický obvod není problém. Stačí k tomu cívka z rozkladného transformátoru o 600 závitěch (vlastní indukčnost  $L = 42\text{ mH}$ ), dva vhodné kondenzátory, jeden  $C = 0,1\text{ }\mu\text{F}$  tvoří s cívkou kmitavý obvod  $LC$  a druhý, vazební  $C_v = 0,1\text{ }\mu\text{F}$ , potom zajišťuje kapacitní vazbu pro opakované nabití obvodu  $LC$ . Pro-

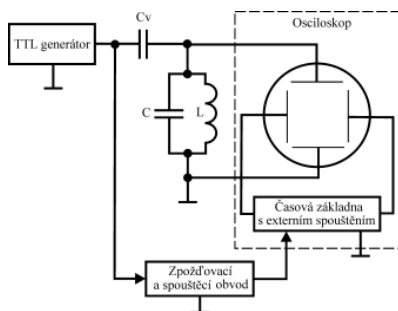
blémem je připojení vazebného kondenzátoru na vhodný zdroj impulzu a především jeho synchronizace s časovou základnou osciloskopu. Na starších osciloskopech značky Tesla<sup>®</sup> byly k dispozici vývody pilových kmitů, které byly synchronizovány s nastavenou časovou základnou osciloskopu. V tomto případě bylo vlastní zapojení experimentu triviální (obr. 4).



Obr. 4: Obvod  $LC$  buzený pilovými kmity z osciloskopu

Současné osciloskopy většinou výstup uvedeného signálu nemají. A zde je právě místo pro výše popsaný jednoduchý generátor. Zapojíme-li zmíněný obvod, dostaneme na obrazovce osciloskopu stabilní tlumené kmity, které můžeme porovnat např. se sinusovým průběhem střídavého proudu a ukázat žákům rozdíl mezi tlumeným a netlumeným kmitavým pohybem.

Blokové schéma zapojení pro sledování tlumených kmitů rezonančního obvodu je uvedeno na obr. 5.

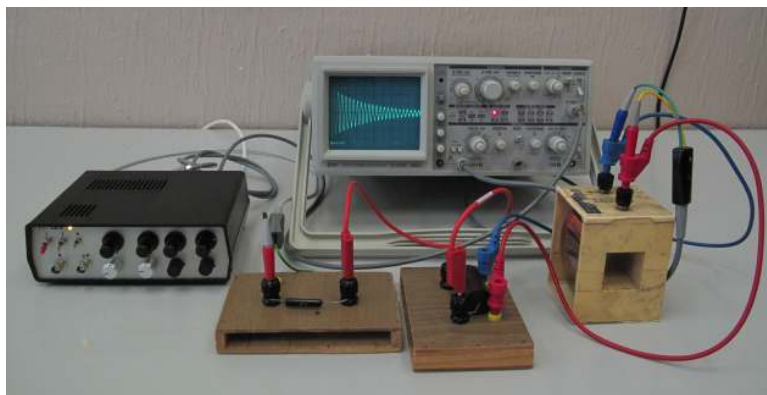


Obr. 5: Blokové schéma zapojení pro sledování tlumených kmitů

Skládá se z vlastního zkoumaného paralelního rezonančního obvodu  $LC$ , výše popsaného generátoru TTL, kterým je obvod buzen přes oddělovací vazební kondenzátor  $C_v$ , dále výše uvedeného zpoždovacího a spouštěcího obvodu, který slouží k synchronizaci osciloskopu s budícími kmity prostřednictvím vstupu pro externí spouštění časové základny osciloskopu.

Externí spouštění časové základny umožňuje velký rozsah posouvání zobrazených tlumených kmitů od počáteční velké amplitudy až po téměř úplné utlumení.

Při výuce fyziky na gymnáziích [12] se již setkáme s podrobným vysvětlením obvodu  $LC$  a se vznikem tlumených kmitů. Pomocí výše popsaného obvodu podobně jako na ZŠ můžeme nejen přesvědčivě ukázat tlumené kmity obvodu, ale i přistoupit ke kvalitativní analýze tohoto jevu, především Thomsonova vztahu pro výpočet periody kmitavého obvodu. Při vložení vhodného jádra do dutiny cívky, tj. změníme-li její vlastní indukčnost, vidíme změnu na horizontální škále oscilogramu, tj. prodloužení periody rezonančních kmitů uvedeného obvodu. Jestliže použijeme samotnou cívku a uvedený kondenzátor, tak jak výpočtem, tak odečtením časového intervalu, délky periody jednoho kmitu na stupnici dle nastavené časové základny osciloskopu, dojdeme k přibližně stejné hodnotě délky periody  $T = 0,42$  ms. Máme-li k dispozici vhodný multimetr pro měření indukčnosti cívky, resp. kapacity kondenzátoru, můžeme vytvořit postupně obvody  $LC$  o různých periodách rezonančních kmitů a na základě výpočtu a změřením periody ověřit zmiňovaný Thomsonův vztah. Obr. 6. ukazuje konkrétní uspořádání jednotlivých komponentů při měření tlumených kmitů, detail oscilogramu je zobrazen na obr. 7.



Obr. 6: Měření parametrů tlumených kmitů paralelního obvod  $LC$

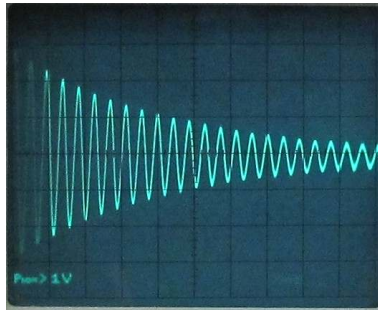
Na středních odborných školách zaměřených na elektrotechniku (viz učebnici [13]) lze uvedený generátor použít opět ve spojení s osciloskopem ke sledování přechodných dějů. Například ke sledování časového průběhu nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Ze získaných oscilogramů lze potvrdit



platnost známých vztahů pro nabíjení a vybíjení kondenzátoru:

$$u_t = U_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right), \quad \text{resp. vybíjení } u_t = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Uvedený generátor lze samozřejmě také využít při přípravě budoucích učitelů fyziky, ať už v základním měřicím praktiku, nebo v praktiku z elektrotechniky ke sledování periodických dějů. U výše uvedených tlumených kmitů lze sledovat další parametry. Například porovnat koeficient útlumu vypočteného z odporu cívky a její indukčnosti s koeficientem útlumu vypočteným z naměřených, postupně se snižujících hodnot napětí na oscilogramu, které určíme na základě kalibrace vertikální osy osciloskopu.



Obr. 7: Detail oscilogramu tlumených kmitů

## Závěr

Byl realizován jednoduchý dvoukanálový generátor TTL dle schématu na obr. 2, u kterého jsou dva kmitočty signálu nezávisle nastavitelné v šesti přepínatelných rozsazích od cca 50 Hz do 25 MHz. Bez použití děličky s obvodem J-K do 50 MHz. Čítačem ověřovaná stabilita kmitočtu byla lepší než 0,01 %, výstupní proud až 0,5 A, při napětí 5 V. Do skříňky s generátorem (viz obr. 6 vlevo), byl též umístěn i synchronizační obvod (trigger), zapojený dle schématu na obr. 3 s obvody B74HCT123<sup>TM</sup> a 74HCT112<sup>TM</sup>, který má též nastavitelné rozsahy a umožňuje plynule nastavovat zpoždění od jednotek ns do desítek ms. Jeho TTL výstup je též posílen tranzistorem BS170 na 0,5 A. Taktéž šíře spouštěcího impulsu je nastavitelná od 0,1  $\mu$ s do cca 1  $\mu$ s. Spouštěcí a zpožďovací obvod se propojuje s generátorem a připojuje do vnějšího obvodu koaxiálními kabely přes vyvedené konektory BNC na zadní straně skříňky. Všechny součásti výše popsaného generátoru tj. generátor se 74HCT132<sup>TM</sup>, dvojitý klopný obvod J-K

74HCT112<sup>TM</sup> použitý jako dělička, jednoduchý spínací stupeň s tranzistorem BS170 i synchronizační a zpožďovací obvod je možno samozřejmě realizovat i používat samostatně.

Generátor je relativně odolný hrubému zacházení. V případě jeho přetížení připojením k vyššímu napětí dojde ke zničení relativně velmi levných součástek. Cena použitých obvodů je v relaci 10 Kč a u tranzistoru BS170 dokonce 1,50 Kč. Náklady, včetně napájecího transformátoru, usměrňovače, filtrace a stabilizátoru, skřínky a konektorů BNC, nepřesáhly 500 Kč. Parametry generátoru jsou srovnatelné s některými komerčními zařízeními, jak je uvedeno ve firemních nabídkách generátorů, avšak náklady dosahují cca 10 %. Proto se domníváme, že jsou uvedené obvody velmi vhodné pro aplikace ve školství, ať už k přímému použití při vybraných experimentech na nižších stupních škol nebo na odborných školách jako námět k jeho realizaci.

## Literatura

- [1] Šmíd, J.: Jednoduchý vf generátor 700 Hz až 35 MHz. Amatérské radio A, roč. 30 (1989), č. 10, s. 385–386.
- [2] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Klopn%C3%BD\\_obvod#Schmitt.C5.AFv\\_klopn%C3%BD\\_obvod](http://cs.wikipedia.org/wiki/Klopn%C3%BD_obvod#Schmitt.C5.AFv_klopn%C3%BD_obvod) [cit. 22. 1. 2013].
- [3] 74HCT132. <http://www.rentron.com/Files/74hct132.pdf> [cit. 22. 1. 2013].
- [4] 74HCT112. [http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC\\_HCT112\\_CNV\\_2.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC_HCT112_CNV_2.pdf) [cit. 22. 1. 2013].
- [5] BS170. <http://www.fairchildsemi.com/ds/BS/BS170.pdf> [cit. 22. 1. 2013].
- [6] Adámek, P.: UV 20376 Měřicí systém pro sondovou diagnostiku plazmatu Langmuirovou sondou. [cit. 22. 1. 2013]  
<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1464052&lan=cs>
- [7] 74HCT123. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hct423.pdf> [cit. 22. 1. 2013].
- [8] 2N4401. [http://pdf.zener.ru/101562.pdf?datasheet\\_NXP\\_Semiconductors%202N4401,116](http://pdf.zener.ru/101562.pdf?datasheet_NXP_Semiconductors%202N4401,116) [cit. 22. 1. 2013].
- [9] Jedlička, P.: Přehled obvodů řady 4000 – 1. díl. Ben – Technická literatura, Praha, 2005.
- [10] Jedlička, P.: Přehled obvodů řady 4000 – 2. díl. Ben – Technická literatura, Praha, 2005.
- [11] Rauner, K. a kol.: Fyzika 9, učebnice pro ZŠ a víceletá gymnázia. Fraus, Plzeň, 2007.
- [12] Lepil, O., Šedivý, P.: Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus. Prometheus, Praha, 2008.
- [13] Lániček, R.: Elektronika – obvody – součástky – děje. Ben – Technická literatura, Praha, 2002.