

Ing. Drahomíra Picmausová

## ZDROJE MĚŘICÍHO SIGNÁLU – MĚŘÍCÍ GENERÁTORY

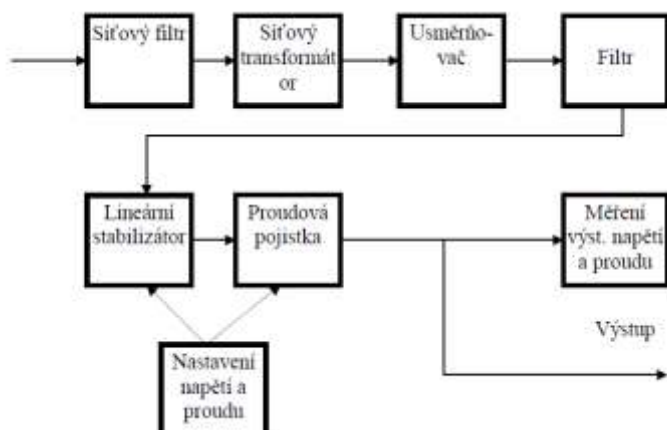
Uplatňují se především jako zdroje zkušebního signálu k ověřování funkce nejrůznějších elektrických a elektronických zařízení, k proměřování frekvenčních charakteristik, měření poměru signálu k šumu, měření nelineárních obvodů apod., případně jako napájecí zdroje pro rezonanční a můstkové obvody. Umožňují testovat analogové a digitální obvody.

Pro všechna tato a řadu dalších měření je zapotřebí mít k dispozici zkušební signál s nastavitelnými parametry (kmitočet, výstupní napětí, hloubka modulace apod.) a s garantovanou přesností. Za signál při tom považujeme časový průběh napětí nebo proudu. Generované signály jsou stejnosměrné, periodické a neperiodické (stochastické čili náhodné nebo šumové). Místo signálu náhodného se v praxi často používá signál pseudonáhodný, který má vlastnosti obdobné signálu náhodnému. Přestože je periodický, jeho perioda může být podstatně delší než je doba měření a pak se uživateli jeví jako neperiodický.

Zdroje měřicích signálů:

- zdroje stejnosměrného napětí
- generátory harmonického průběhu,
- kmitočtové syntezátory
- generátory matematických funkcí (funkční generátory),
- generátory libovolných (programovatelných) průběhů
- generátory impulsní (pulzní),

### Zdroje stejnosměrného napětí



Obr.1: Blokové schéma stabilizovaného zdroje stejnosměrného napětí s lineárním stabilizátorem

Zdroje stejnosměrného napětí jsou součástí většiny samotných složitějších elektronických měřicích přístrojů, často se používají i jako samostatné přístroje. Na jejich místě lze samozřejmě



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

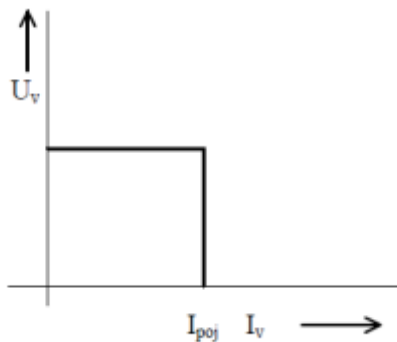


OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

použít některé typy článků (primární či sekundární), budeme se dále zabývat zdroji stejnosměrného napětí, které jsou napájeny z distribuční sítě (230V/ 50Hz).

Takový zdroj lze provozovat jak v režimu zdroje konstantního napětí (odebíraný proud je menší než hodnota nastavená na proudové pojistce), případně i jako zdroj konstantního proudu (odebíraný proud je roven proudu nastavenému na proudové pojistce, napětí klesá). Výstupní voltampérová charakteristika má průběh, který se blíží obdélníkovému (obr.2).



Obr.2: Zjednodušená charakteristika laboratorního zdroje stejnosměrného napětí

Režim konstantního proudu bývá indikován. Hlavní parametry zdroje jsou maximální nastavitelné napětí, maximální odebíraný proud, velikost vnitřní impedance v režimu zdroje napětí, velikost zbytkové střídavé složky napětí, činitel stabilizace (poměr změny výstupního napětí ku změně síťového napětí), způsob a přesnost měření výstupního napětí a proudu (analogové, číslicové, společným měřidlem či odděleně)

Používají se také zdroje pevných napětí ( $\pm 15V, +5V$ ), které nemívají výstupní charakteristiku obdélníkovou, ale při překročení proudu výrazně klesne výstupní napětí (pro zmenšení výkonového zatížení stabilizátoru). Takové zdroje mohou mít i napěťovou pojistku proti překročení nastaveného výstupního napětí (závadou ve stabilizátoru, zavlčením z vnějšku).

Obvykle žádná z výstupních svorek zdroje není spojena s ochranným vodičem sítě (se zemí), pokud je nezbytné, můžeme toto spojení vytvořit (spojkou se zdířkou s označením symbolem  $\perp$ ). Zdroje bývají kombinovány tak, že v jednom přístroji jsou např. 2 samostatné zdroje stejnosměrného napětí (TESLA BS525), případně jsou kombinovány zdroje pevných a proměnných napětí (ZPA AUL 310). Většinou, právě pro zajištění univerzálnosti, tyto zdroje nejsou navzájem uvnitř nijak galvanicky propojeny. Je ale třeba mít na zřeteli, že bývá omezeno maximální napětí mezi některou svorkou zdroje a zemí (bezpečnostní a izolační důvody) a že impedance již na nízkých kmitočtech mezi některou svorkou zdroje a zemí není příliš velká (kapacita řádově 100nF). Střídavé napětí, které bychom naměřili mezi výstupní svorkou zdroje a zemí též není zcela zanedbatelné.

Nezbytné je i věnovat pozornost časovému průběhu výstupního napětí při zapnutí zdroje vypínačem (nesmí vzniknout překmit napětí, který by mohl poškodit napájené zařízení).

Zdroje pro větší zatížení bývají konstruovány s předstabilizátorem např. impulsního typu (řešeno např. řízeným usměrňovačem), případně je zvolena koncepce impulzního stabilizátoru bez

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

síťového transformátoru (snížení rozměrů a hmotnosti). U těchto typů zdrojů je třeba vždy kontrolovat, zda nedochází k rušení měřeného obvodu z obvodů zdroje. Impulzní zdroje při správném řešení jsou perspektivní součástí řady měřících přístrojů (osciloskopy).

Některé zdroje dovoluují řídit velikost napětí i proudu číslicově z měřícího systému (jde o výkonový číslicově-analogový převodník), případně i analogově (změnou napětí na zvláštním vstupu). U takových zdrojů je třeba sledovat i dynamické parametry (odezvu na skokovou změnu žádané hodnoty napětí). Bývá též možno nastavovat napětí i proud číslicově přepínači. Většina zdrojů stejnosměrného napětí má charakter „zdroje“, to znamená, že pokud na svorky zdroje přivedeme napětí zvenku větší než nastavené, výstupní odpor zdroje pronikavě vzroste. Jen malá část zdrojů může být provozována v režimu „spotřebič“, tj. chová se jako zátěž (proud může protékat do výstupních svorek dvěma směry a je řízen). Naopak existují zařízení, která mohou být jen zátěží (s nastavitelným odporem, ztrátovým výkonem i jinými charakteristikami). Označují se jako *elektrické zátěže* a používají se při kontrole stejnosměrného napětí.

### Generátory harmonického průběhu

Generátory harmonického průběhu lze rozdělit na

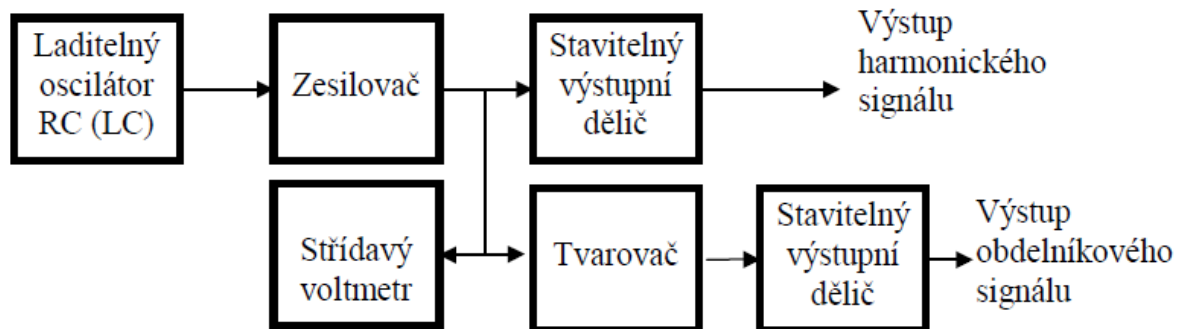
- RC nízkofrekvenční generátory,
- RF generátory (radiofrekvenční – vysokofrekvenční) a

#### Nízkofrekvenční RC generátory

pracují v pásmu 10Hz až 20MHz, mají výstupní impedanci 50 Ohm nebo 600 Ohm (v audio pásmu).

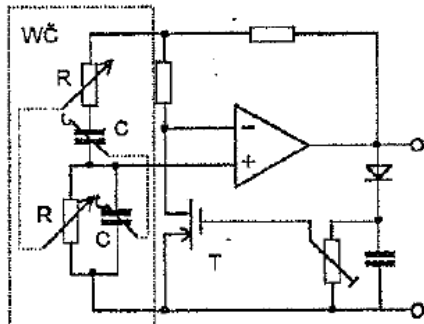
Předností těchto generátorů je primární tvorba harmonického průběhu, který má v porovnání s generátory funkcí (funkčními generátory) mnohem menší zkreslení.

Jeich blokové schéma uvádí obr.3.



Obr.3: Blokové schéma generátoru RC(LC)

Základním blokem generátoru je RC oscilátor (např. s Wienovým článkem obr.4), který je přeladován změnou kapacity nebo odporu.



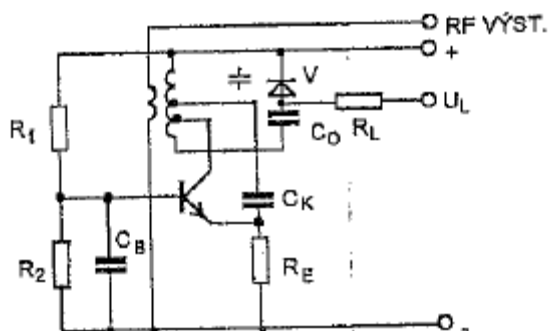
Obr.4.: Oscilátor s Wienovým článkem(můstkem)

Aby byla stabilizována amplituda signálu, nahrazuje se spodní z dvojice rezistorů nelineárním prvkem, např. tranzistorem T (žárovka). Potenciometr v bázi tranzistoru slouží ke změně amplitudy. Na výstup oscilátoru je připojen zesilovač, který zajistí oddělení a změnou jeho zesílení se nastavuje spojitě velikost výstupního napětí. I zde bývají zpětné vazby pro zajištění stability výstupního napětí. Rozsah výstupního napětí se volí nastavitelným zeslabovačem(attenuátorem) (stupňovým děličem) s konstantním výstupním odporem ( $50\Omega$  nebo  $600\Omega$ ). Zeslabení se většinou uvádí v dB. Výstupní úroveň se měří před zeslabovačem(děličem) a výstupní napětí se definuje buď pro výstup naprázdno nebo pro jmenovitou zatěžovací impedanci rovnou výstupní impedanci generátoru, pokud v tomto druhém případě napájíme generátorem obvod s velkou vstupní impedancí, je výstupní napětí dvakrát větší než nastavené na generátoru.

Někdy bývají generátory RC vybaveny i zvláštním kanálem s tvarovačem a výstupním děličem, na jehož výstupu lze získat signál obdélníkového průběhu TTL nebo CMOS úrovně.

### RF generátory

Generátory RF využívají LC oscilátoru (obr.5), který je přeladován změnou kapacity a indukčnosti. Používají se od kmitočtů desítek kHz do sto MHz. Pro nízké frekvence by vycházely příliš velké hodnoty indukčností.

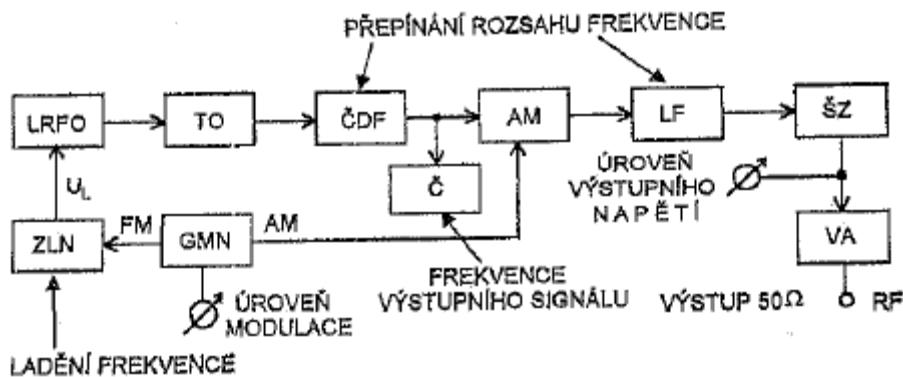


Obr.5.:Oscilátor s varikapovým laděním frekvence

Frekvence oscilací je měněna změnou kapacity varikapu V (diody pólované v závěrném směru, jejíž kapacita se mění se změnou ladicího napětí  $U_L$ ). Tak je možno měnit frekvenci oscilátoru v rozsahu od 1:2 do 1:3. Změn v širším rozsahu je možno dosáhnout přepínáním sekcí cívky LC obvodu nebo po mezipřevodu signálu na obdélníkový číslicovým děličem kmitočtu (viz obr. 6)

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Blokové schéma RF generátoru uvádí obr.6. Tyto generátory umožňují amplitudovou a frekvenční modulaci generovaného signálu.



Obr.6. Blokové schéma RF generátoru

LRFO – laditelný RF oscilátor

ZLN – zdroj ladícího napětí

GMN – generátor modulačního napětí

TO – tvarovací obvod

ČDF – číslicový dělič frekvence

Č - čítač

AM – amplitudový modulátor

LF – laděný filtr

ŠZ – širokopásmový zesilovač s nastavitelným zesílením

VA – amplitudový zeslabovač (atenuátor)

Přepínání frekvencí v širokém rozsahu se dosahuje převedením signálu tvarovacím obvodem TO na pravouhlé impulsy. Dělením frekvence těchto impulsů číslicově (ČDF) lze snadno frekvenci snížit a filtrací pomocí laděného filtru LF získáme opět harmonický signál.

Princip získání amplitudově a frekvenčně modulovaného výstupního signálu i změna amplitudy výstupního signálu pomocí amplitudového zeslabovače VA je vidět z blokového schématu (obr.6).

Amplitudový modulátor je řešen např. jako zesilovač s elektricky řízeným zesílením. Frekvenční modulace se dosahuje přidáním modulačního napětí k ladicímu napětí oscilátoru.

Výstupní impedance generátoru (a současně amplitudového zeslabovače) je 50Ω (výjimečně 75Ω).

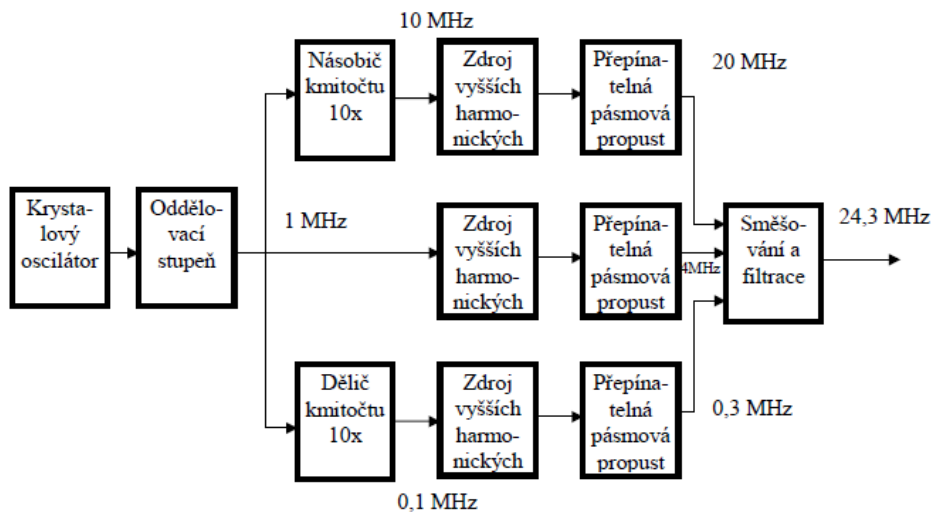
## Kmitočtové syntezátory

Výše popisované generátory harmonických signálů nezaručují dostatečnou stabilitu kmitočtu (řádově 1%). Pokud máme požadavky vyšší, lze použít krystalem řízený oscilátor, který však nelze přeladovat (nanejvýš výměnou krystalového výbrusu). Pokrytí požadavků na generátor harmonického kmitočtu s proměnnou avšak stabilní frekvencí zajišťují syntezátory. Používají buď přímou nebo nepřímou syntézu kmitočtu, kterou se volitelný kmitočet odvozuje od jediného přesného výchozího kmitočtu. Pod pojmem kmitočtová syntéza rozumíme vytváření množiny kmitočtů  $\{f_x\}$  z daného výchozího kmitočtu  $f_r$ , což lze vyjádřit rovnicí:

$$\frac{f_x}{f_r} = \frac{m}{n}$$

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

kde  $m, n$  jsou kladná celá čísla. Číslo  $n$  určuje rozlišovací schopnost generátoru, číslo  $m$  volíme při zadávání frekvence. Ze vztahu je zřejmé, že syntezátor musí obsahovat obvody pro dělení a násobení frekvence, obvody pro sčítání a odčítání frekvencí (směšovače) a filtry typu pásmová propust, které z deformovaného signálu o frekvenci odpovídající střední frekvenci filtru vyrobí harmonický signál. Číslkové dělení se realizuje pomocí přednastavitelných čítačů.

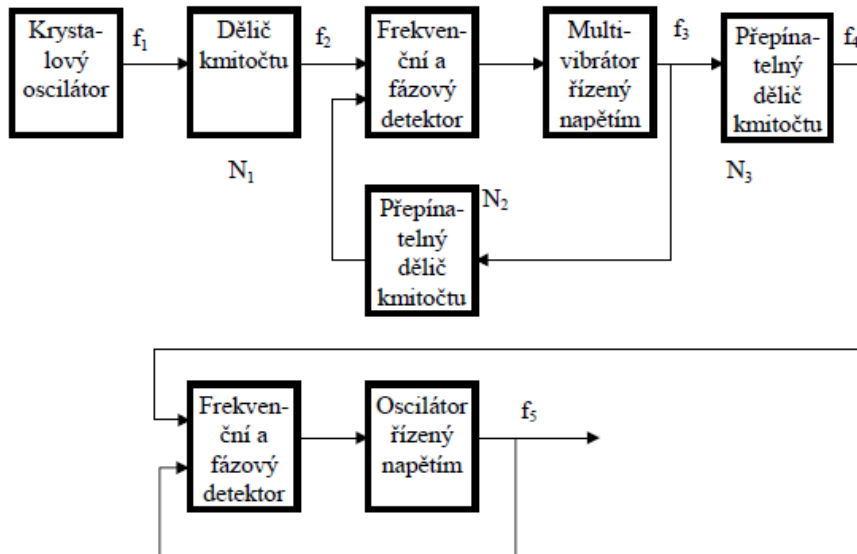
**Přímá syntéza kmitočtu** (angl. Direkt digital synthesis, DDS)


Obr.7 Princip přímé syntézy kmitočtu

Přímá syntéza kmitočtu je založena na použití násobičů a děličů kmitočtu. Tak získáme kmitočty, které jsou celistvým (často dekadickým) násobkem a podílem výchozího kmitočtu  $f_x$ . Z odvozených kmitočtů se pak vytváří signály s velkým obsahem harmonických složek, ze kterých je možno pásmovými propustmi vybrat potřebné složky. Kmitočty vybraných složek se pak pomocí směšování a filtrace sečtou. Kmitočet výsledného signálu se získá pomocí pásmových propustí. Nevýhodou je velký počet nutných propustí v přístroji (složitost obvodů – vysoká cena) a to, že výstupní signál není čistě harmonický (je mírně zkreslený). Výhodou je velká rychlost změny výstupního kmitočtu.



### Nepřímá syntéza kmitočtu (angl. Phase-locked loop, PLL)



Obr.8 Princip nepřímé syntézy kmitočtu

Základem je krystalový oscilátor, který generuje (např. pravoúhlý) signál  $f_1$ . Po průchodu děličem kmitočtu získáme signál  $f_2 = f_1/N_1$ . Na vstup frekvenčního a fázového detektoru kromě tohoto signálu přichází i signál o kmitočtu  $f_3/N_2$ . Na výstupu frekvenčního a fázového detektoru vznikne napětí, které řídí kmitočet multivibrátoru řízeného napětím tak, aby  $f_3/N_2 = f_2$ , tedy  $f_3 = n_2 \cdot f_1/N_1$ . Obdobně funguje druhá smyčka, tak že  $f_5 = N_2 \cdot f_1/N_1$ . Zpravidla bývá v první smyčce použit laditelný generátor impulsů neharmonického průběhu (snazší realizace, větší přeladitelnost, fázový a frekvenční detektor se snadněji realizuje), v druhé smyčce však musí být harmonický oscilátor. Výhodou tohoto principu je harmonická čistota poskytovaného signálu, odezva při změně kmitočtu (změna přepínatelného děliče kmitočtu) je však pomalejší v důsledku ustalování smyček fázového závěsu.

Existují i jiné principy nepřímé syntézy kmitočtu. V praxi však bývá kombinován princip přímé a nepřímé syntézy, syntezátor má zesilovač výstupního signálu, výstupní dělič, indikační a nastavovací prvky i případný modulátor.

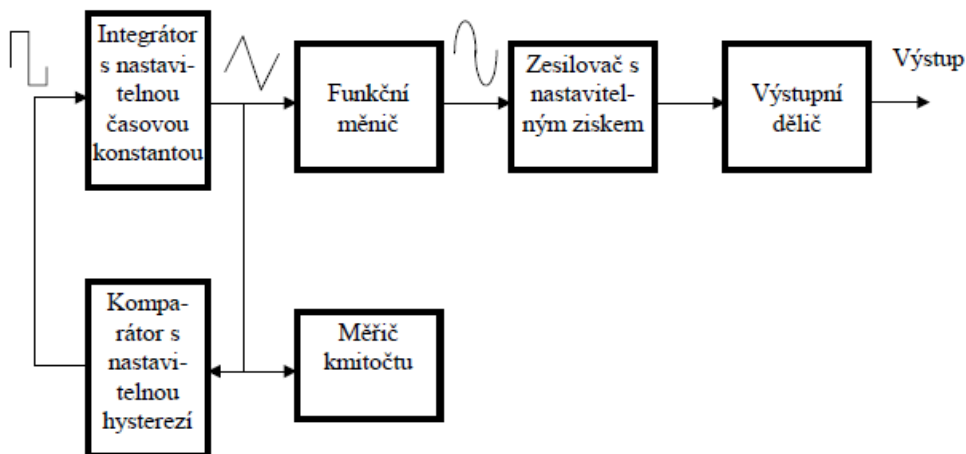
*Příklad konkrétního kmitočtového RF syntezátoru*



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kmitočtové RF syntezátory se vyznačují vysokou přesností a stabilitou generovaného harmonického průběhu, rozlišovací schopností Hz nebo mHz, nastavením parametrů z klávesnice, apod. Přesnost a stabilita je určena krystalovým oscilátorem, který je volen v několika modifikacích. Přístroje využívají přímou digitální syntézu (DDS) nebo nepřímou digitální syntézu (PLL). Signální RF generátory SG 1000 a SG 2000 pokrývají kmitočtové pásmo od 100kHz do 1000MHz resp. 2000 MHz. Připravuje se verze s kmitočtem do 4000MHz. Generátory mají AM, FM modulace, vnitřní paměti na uchování 100 souborů nastavených hodnot, rozhraní RS 232, vysokou stabilitu a rozlišení 1Hz. Vyznačují se zajímavým poměrem kvalita provedení a cena. Generátory řady SMT pracují v kmitočtovém pásmu až do 6GHz. Jsou určeny převážně k velmi přesným laboratorním měřením. Mohou být vybaveny dvěma NF generátory, umožňují amplitudovou, kmitočtovou a fázovou modulaci. U speciálních aplikací je k dispozici také VOR modulace, ILS-GS a ILS-LOC modulace, popř. MR značky. Generátory pracují v TX nebo RX režimu, mají vnitřní paměť, komunikují po sběrnici GPIB, stabilní oscilátor předurčuje přístroje k velmi přesným měřením.

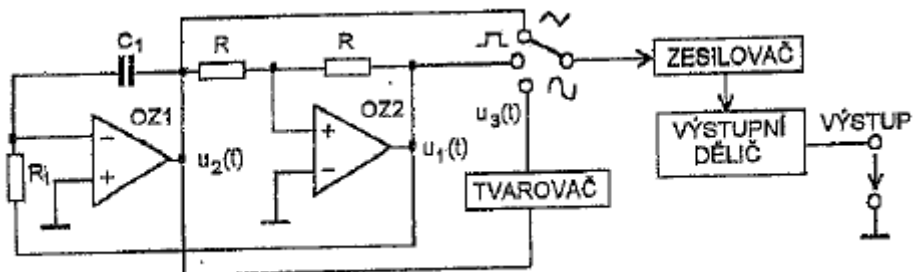
### Generátory matematických funkcí (funkční generátory)



Obr.9. Blokové schéma funkčního generátoru

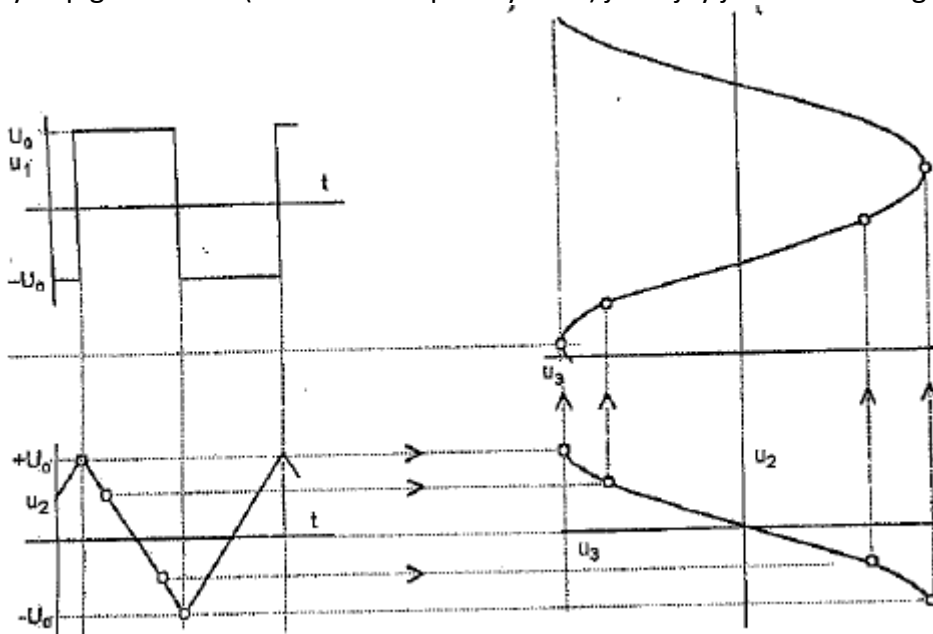
Generátory matematických funkcí (funkční generátory) generují klasickou technologií základní průběh napětí periodického trojúhelníkového a obdélníkového tvaru v kmitočtovém rozsahu od několika mHz až do desítek MHz. Pomocí tvarovače (obvod tvořený diodami, odpory a pomocnými napětími) je trojúhelníkové napětí transformováno na přibližně napětí harmonického průběhu (harmonický průběh má u těchto generátorů větší zkreslení než u generátorů RC nebo RF). Výstupní průběhy je možné amplitudově a kmitočtově modulovat. Speciální kmitočtové rozmitání ve zvolené dekádě může být lineární nebo logaritmické. Generátory mají většinou 7 dekád. Výstupní impedance je přepínatelná mezi 50 Ohm a 600 Ohm, amplituda výstupního napětí je udávána naprázdno nebo do zátěže 50 Ohm. Zesilovač výstupní části je skokový s max. zeslabením 60dB a plynulý se zeslabením 20dB. Přístroje mají možnost nastavení DC úrovně výstupního signálu. V mnoha případech jsou generátory doplněny externím čítačem harmonického průběhu. Základními představiteli jsou generátory FG 7005C s rozsahem 0,05Hz až 5MHz a frekvenčním čítačem do 50 MHz. Generátor FG 7002C pracuje v kmitočtovém rozsahu 0,02Hz až 2MHz. Generátor funkcí TOE 7704 pokrývá kmitočtové pásmo od 1mHz do 12MHz s max. výstupním napětím až 30V.





Obr.10 Principiální zapojení funkčního generátoru

Základem generátoru je integrátor s operačním zesilovačem OZ1 a napěťový komparátor s hysterezí s operačním zesilovačem OZ2 (s kladnou zpětnou vazbou). V ustáleném stavu předpokládáme, že napětí  $u_1(t)$  má hodnotu rovnou kladné úrovni nasycení  $U_0$  zesilovače OZ2. Proud tekoucí do integrátoru rezistorem  $R_1$  způsobuje, že výstupní napětí integrátoru  $u_2(t)$  lineárně klesá. Až dosáhne hodnoty  $-U_0$  (nepatrně ji přesáhne), dojde k překlopení komparátoru a napětí  $u_1(t)$  skokem přejde na hodnotu  $-U_0$ . Napětí  $u_2(t)$  bude lineárně růst, až dosáhne hodnoty  $+U_0$ , kdy dojde k překlopení komparátoru a děj se opakuje. Vyvedením napětí  $u_1(t)$  a  $u_2(t)$  získáme obdélníkové a trojúhelníkové napětí. Využitím tvarovače se sinusovou převodní charakteristikou získáme harmonické napětí (obr.11) Tvarovač nahrazuje sinusovku několika přímkovými úseky – je to obvod tvořený rezistory, diodami a dvěma pomocnými napětími. Výstup generátoru (zesilovač a napěťový dělič) je stejný jako u NF a RF generátorů.



Obr.11 Časové průběhy napětí funkčního generátoru z obr.10 a princip tvarování signálu



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Generátory programovatelného průběhu (AWG)



Generátory libovolného průběhu (Arbitrary Waveform Generators) umožňují uživateli definovat jak tvar průběhu, tak i jeho kmitočet. Vnitřní paměť přístroje uchovává hodnoty definující amplitudy jednotlivých vzorků, které jsou do paměti vkládány uživatelem z klávesnice přístroje, z počítače nebo osciloskopu (průběh zobrazený na stínítku displeje). Většinou pracují AWG generátory v kmitočtovém pásmu do 15MHz (Agilent Technologies 33 120A, Hameg HM 8131-2), popř. do 16MHz (Tektronix AFG 310/320). Novinkou v oblasti AWG generátorů je přístroj Agilent Technologies 33 250A, který pracuje v kmitočtové oblasti do 80MHz, má grafický displej zobrazující požadovaný průběh, sběrnici RS 232 nebo rozhraní GPIB. Všechny AWG generátory umožňují AM, FM a FSK modulace, základní průběhy (trojúhelníkový, obdélníkový a sinusový) mají uloženy v ROM paměti, vzorkují rychlostí 12MS/s až 200MS/s s 12 bitovým rozlišením. K přístrojům jsou distribuovány firemní software - otevřený programovací balík.

## Impulsní generátory

Generátory impulsní generují posloupnosti pravoúhlých impulsů, u kterých lze nastavit amplitudu, náběžnou a sestupnou hranu, činitele plnění, délku kladného a záporného impulsu, apod. (nelze tedy zaměňovat generátory impulsní s generátory funkcí). Základní provedení impulsního generátoru představuje HM 8035, který pracuje v kmitočtovém pásmu od 2Hz do 20MHz. Přístroj má dva separátní výstupy a náběžnou hranu max. 3ns. Impulsní generátory Agilent Technologies řady 81100A generují požadované posloupnosti impulsů v kmitočtovém pásmu od 1MHz do několika GHz. Jsou určeny převážně k testování logických obvodů. Grafický displej umožňuje zobrazit vysílané posloupnosti impulsů, SCPI programovací příkazy, usnadňuje tvorbu speciálních průběhů, apod.