

4. ČÍSLICOVÉ MERACIE PRÍSTROJE

Číslicové (digitálne) meracie prístroje (ČMP) sú elektronické zariadenia, ktoré obvykle menia meranú veličinu na jednosmerné elektrické napätie, v analógovo-číslicovom prevodníku ho menia na číselný kód a znázorňujú výsledok merania v číslicovom tvare.

ČMP v porovnaní s analógovými (hlavne s elektromechanickými) predstavujú výrazný kvalitatívny pokrok vo viacerých parametroch:

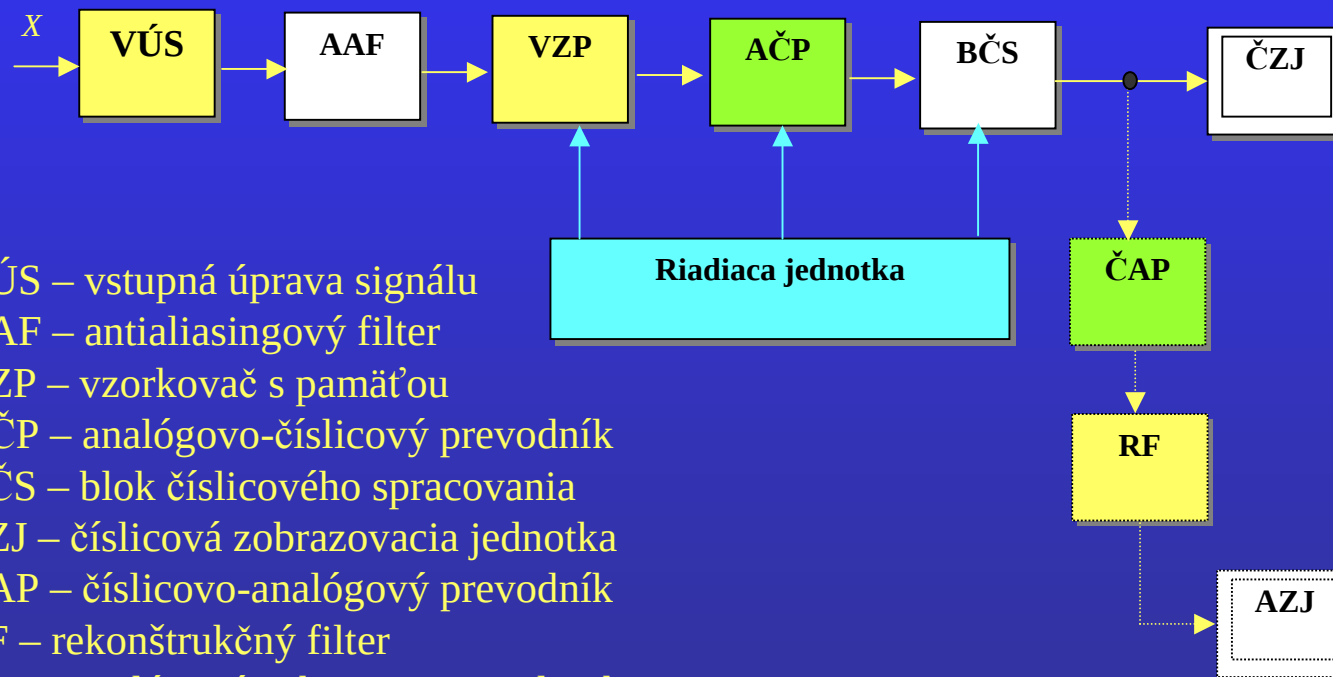
- väčšiu presnosť,
- dosahujú výrazne väčšiu rýchlosť merania,
- majú podstatne väčšie pásmo rozsahov,
- svojou koncepciou umožňujú automatizáciu merania.

Základné rozdelenie ČMP :

- číslicové multimetre,
- číslicové wattmetre a analyzátory elektrických sietí,
- číslicové ohmetre a RLC merače,
- číslicové logické analyzátory,
- číslicové zdroje meracieho signálu,
- číslicové zapisovače,
- číslicové osciloskopy,
- číslicové spektrálne analyzátory,
- číslicové analyzátory signálu.

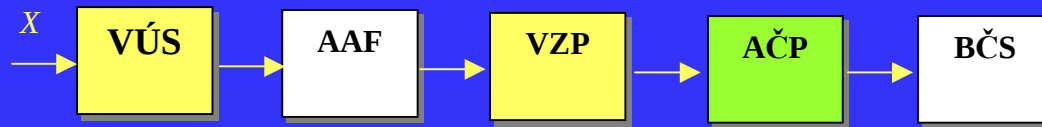
4.1 PRINCÍP ČINNOSTI ČMP

Všeobecná bloková schéma



VÚS – vstupná úprava signálu
 AAF – antialiasingový filter
 VZP – vzorkovač s pamäťou
 AČP – analógovo-číslcový prevodník
 BČS – blok číslicového spracovania
 ČZJ – číslicová zobrazovacia jednotka
 ČAP – číslicovo-analógový prevodník
 RF – rekonštrukčný filter
 AZJ – analógová zobrazovacia jednotka

Popis všeobecnej blokovej schémy



Meraná veličina X sa privádza do bloku vstupnej úpravy signálu - **VÚS**, ktorý upravuje úroveň signálu na hodnotu spracovateľnú ďalšími obvodmi. Takýmto blokom môže byť merací prevodník, napr. prevodník $I \rightarrow U$.

Blok AAF je tzv. antialiasingový filter, t.j. analógová dolnofrekvenčná priepusť. Je to obvod, ktorý prepúšťa na výstup len zložky meraného signálu s frekvenciami od nuly do hornej medznej frekvencie f_h , ktorá je tu menšia alebo rovná polovici vzorkovacej frekvencie f_s .

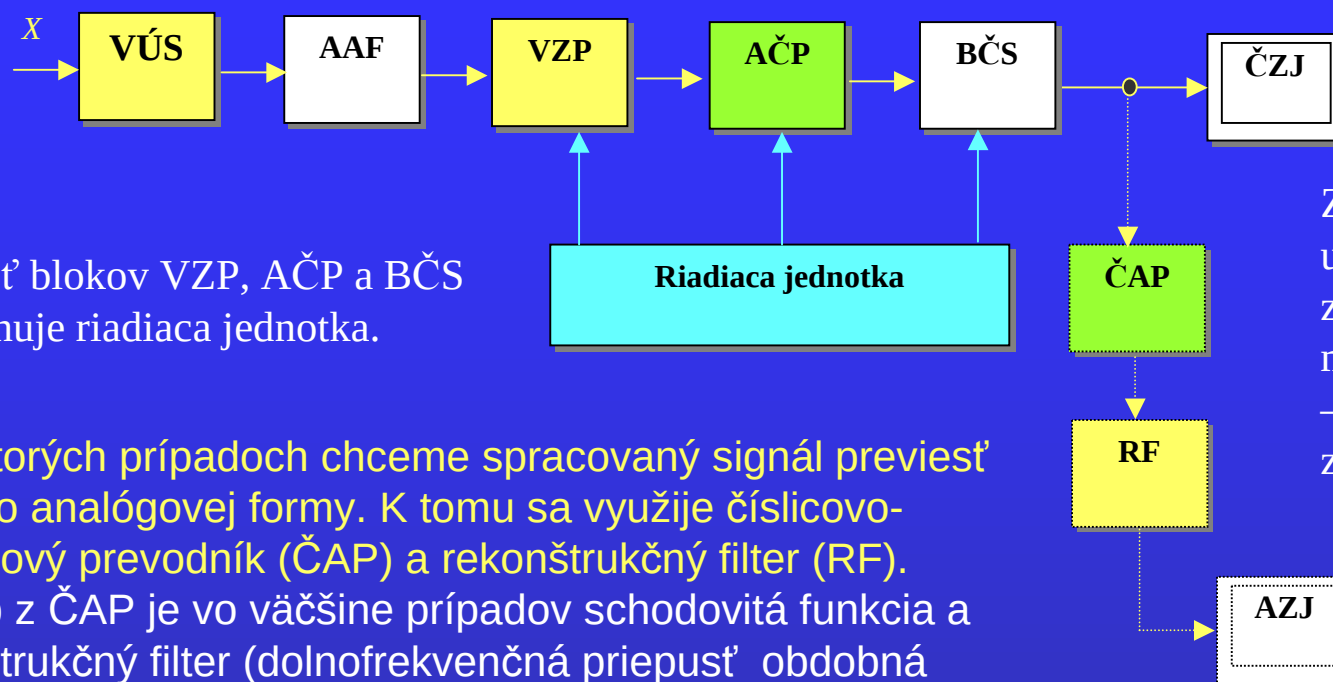
VZP je vzorkovač s pamäťou, čiže obvod umožňujúci odoberať z analógového signálu vzorky v okamžikoch, ktoré sú definované vzorkovacími impulzmi. Tieto vzorky môžu nadobúdať ľubovoľné hodnoty v meranom rozsahu prístroja a výstupné napätie vzorkovača je udržiavané konštantné a rovná sa hodnote vzorky až do odobratia vzorky nasledujúcej.

V analógovo – číslicovom prevodníku **AČP** sú hodnoty vzoriek prevedené na čísla, čiže kvantované a kódované (čísla sú vyjadrené konečným počtom číslic, takže ich počet je v meracom rozsahu prístroja konečný).

BČS je blok číslicového spracovania. Môže byť tvorený zabudovaným počítačom. Pokiaľ sa majú namerané hodnoty spracovávať v reálnom čase, majú sa zmeny v meranom signále bezprostredne prejavíť na zobrazovači prístroja. Spracovanie jedného vzorku má potom prebehnúť pred príchodom nasledujúceho vzorku, prípadne má byť jeden blok dát spracovaný v dobe, kedy sa do pamäte ukladá nasledujúci blok dát.

Popis všeobecnej blokovej schémy

4. Číslicové meracie prístroje



Činnosť blokov VZP, AČP a BČS koordinuje riadiaca jednotka.

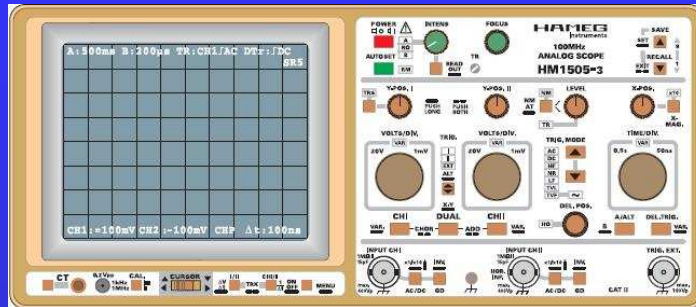
V niektorých prípadoch chceme spracovaný signál previesť opäť do analógovej formy. K tomu sa využije číslicovo-analógový prevodník (ČAP) a rekonštrukčný filter (RF). Výstup z ČAP je vo väčšine prípadov schodovitá funkcia a rekonštrukčný filter (dolnofrekvenčná priepusť obdobná AAF, obvykle aj s rovnakou medznou frekvenciou) tento schodovitý priebeh vyhladí.

Za BČS môže byť umiestnený číslicový zobrazovač alebo monitor počítača (ČZJ – číslicová zobrazovacia jednotka).

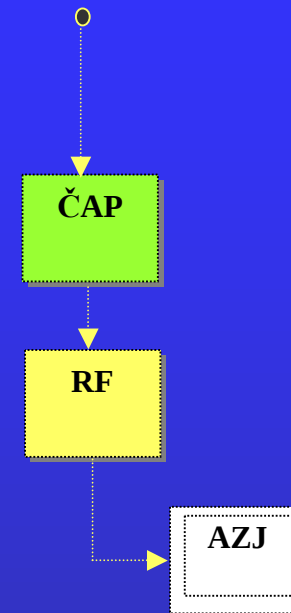
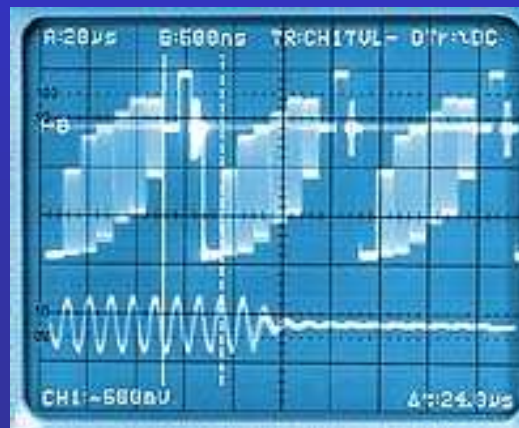
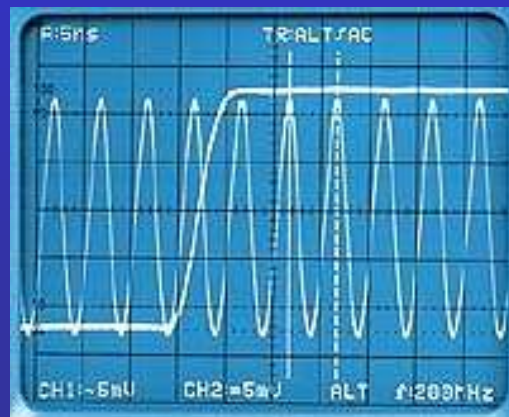
Vyhladený rekonštruovaný priebeh je možné zobrazit' napr. aj bežným analógovým osciloskopom (AZJ – analógová zobrazovacia jednotka).

Blokové schémy konkrétnych prístrojov sa od všeobecnej schémy z môžu líšiť napr. tým, že majú dva alebo viac vstupných kanálov, obsahujú na vstupoch rôzne prevodníky, alebo nemusia vôbec číslicový kanál spracovávať (neobsahujú BČS). Podľa druhu meracieho prístroja sa líši tiež použitý analógovo – číslicový prevodník.

4. Číslcové meracie prístroje



*Zobrazenie priebehov a znázornenie ich hodnôt
v číslcovom tvare analógovým (Read-out)
osciloskopom s mikroprocesorovým riadením*



Vyhľadený rekonštruovaný
priebeh je možné zobraziť napr.
aj bežným analógovým
osciloskopom (AZJ – analógová
zobrazovacia jednotka).

4.2 METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY ČMP

Metrologické charakteristiky ČMP v sebe zahrňujú základné vlastnosti, na základe ktorých sa ako ich užívatelia budeme orientovať pri výbere vhodného prístroja.

Medzi metrologické charakteristiky ČMP sem patria:

1. Druh meranej veličiny, t.j. akú konkrétnu veličinu je ČMP schopný merať. Ak meria striedavú tak, či je to efektívna (rms), stredná (AV) alebo maximálna hodnota (max).
2. Počet miest číslicového zobrazovača je najnápadnejšou charakteristikou prístroja, v súčasnom rozmedzí 3 až 8 celých miest (max. údaj 999 až 99 999 999).

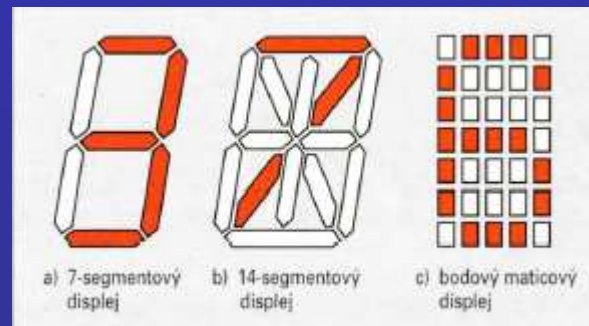
Bežné multimetre majú zobrazenie:

$3\frac{1}{2}$ - max. hodnota 1999

$3\frac{3}{4}$ - 3999

$4\frac{1}{2}$ - 19999

$4\frac{3}{4}$ - 39999



3. Rozsah merania predstavuje pásmo hodnôt meranej veličiny, ktoré je ohraničené najmenšou a najväčšou merateľnou hodnotou. Prepínanie rozsahov je ručné alebo automatické.

4. Rozlišovacia schopnosť, rozlíšenie (angl. *resolution*) vyjadruje najmenšiu zmenu meranej veličiny indikovanú prístrojom. Napr. to môže byť napätie odpovedajúce zmene údaju o jedničku na poslednom mieste číslicového zobrazovača. Závisí na zvolenom meracom rozsahu.

5. Presnosť merania zaručovaná výrobcom sa u ČMP uvádzajú pre jednotlivé frekvenčné pásma a meracie rozsahy pri referenčnej teplote merania. Udvávajú sa vždy dve zložky relatívnej chyby, a to chyba z nameraného údaju a chyba z rozsahu, príp. z počtu kvantovacích krokov zvoleného rozsahu („chyba v digitoch“).

Chyby ČMP rastú s časom, ktorý uplynul od poslednej kalibrácie. Výrobcovia preto väčšinou udávajú aj časový interval platnosti udanej chyby, napr. 6 mesiacov, 1 alebo 2 roky.

Bežný katalógový zápis multimetrov:

1mV/200mV-2V-20V-200V-1000V, $\pm 0,5\%$ $\pm 1\text{dgt}$

6. Citlivosť (angl. sensitivity) vyjadruje najmenšiu hodnotu meranej veličiny merateľnú daným prístrojom.
7. Vstupná impedancia býva pre meranie striedavých napätí rádovo v jednotkách $M\Omega$ a u jednosmerných napätí rádovo desiatky $M\Omega$ (závisí od nastavených rozsahov). Štandardne u multimetoch – $10 M\Omega$.
8. Preťažiteľnosť predstavuje bezrozmerné číslo, udávajúce koľkonásobne väčšiu hodnotu ČMP znesie bez poškodenia, ako je hodnota zvoleného rozsahu. Spravidla na väčšom rozsahu býva 1,2 - 1,5 násobná a na menších rozsahoch býva až 10 – násobná.
9. Rýchlosť merania je počet meraní (resp. diskretných úkonov), ktorý je ČMP schopný vykonať za časovú jednotku. Čím je presnejšie meranie, tým viac elementárnych úkonov (kvantovanie) musí prístroj vykonať. Multimetre obsahujúce analógovo-číslcový prevodník s dvojtaktnou integráciou majú dobu merania už od 100 ms.
10. Spoľahlivosť ČMP je schopnosť udržiavať si svoje charakteristiky v stanovených medziach, resp. základnú funkčnosť za určitú dobu.

11. Špeciálne funkcie. Dôležitými vlastnosťami niektorých číslicových multimetrov sú napr.:

- **komunikácia s PC + dostupný software** (nutná pre programovo neznalých užívateľov),
- **programovateľnosť** (nutná pre použitie multimetra v číslicových meracích systémov – pre náročných programovo zdatných užívateľov),
- **schopnosť autokalibrácie** (samočinná korekcia zmien parametrov analógových vstupných častí multimetra)
- **automatické prepínanie rozsahov, uloženie nameranej veličiny do pamäte, funkcie Data-Hold** (podržanie výsledku merania), **Data-Max, Data-Min, Data-AVG** (vypočítaná priemer. hodnota za daný čas) **apod.**

12. Prevod:

- **Stredná hodnota** (prístroj meria strednú hodnotu striedavého signálu, ale zobrazuje jeho efektívnu hodnotu)
- **TRMS AC** (prístroj meria i zobrazuje skutočnú efektívnu hodnotu privedenej veličiny a vstup je viazaný len so striedavou zložkou)
- **TRMS AC, AC+DC** (navyše meria aj jednosmernú zložku)

13. Rušenia číslicových voltmetrov.

- Na merané napätia sa superponujú rušivé napätia - jednosmerné, periodické alebo náhodné (šumy).
- Môžu pôsobiť buď v sérii s meraným napätím (sériové rušenie), alebo pôsobia rovnako na obe vstupné svorky voltmetra proti zemi (súhlasné rušenie).
- Najčastejšie v praxi je striedavé sériové rušenie a striedavé i jednosmerné súhlasné rušenie. Striedavé rušivé napätia majú frekvenciu siete (vznikajú elektromagnetickou indukciou vo vstupných obvodoch voltmetra). Potlačenie sériového a súhlasného rušenia (*SMR* a *CMR*) udáva niekedy výrobca v dB.

Výpočet chýb u ČMP: **Kap.1**

4. Číslicové meracie prístroje

Meraná veličina	Rozsah merania – citlivosť – relatívna chyba pri frekvencii		
Jednosmerné napätie	400 mV ~ 400 V 1000 V	100 μ V ~ 100 mV 1 mV	$\pm 0,06\% + 3$ dgts $\pm 0,2\% + 3$ dgts
Striedavé napätie	400 mV ~ 400V 750V	100 μ V ~ 100 mV 1 mV	$\pm 0,8\% + 10$ dgts (40 Hz ~ 1 kHz) $\pm 1,0\% + 10$ dgts
Jednosmerný prúd	4 mA ~ 400 mA 4 A ~ 20 A	100 nA ~ 100 μ A 1 mA ~ 10 mA	$\pm 0,3\% + 3$ dgts $\pm 0,8\% + 5$ dgts
Striedavý prúd	4 mA ~ 400 mA 4 A ~ 20 A	100 nA ~ 100 μ A 1 mA ~ 10 mA	$\pm 1,5\% + 10$ dgts (40 Hz ~ 1 kHz) $\pm 1,5\% + 10$ dgts
Odpor	400 Ω ~ 40 M Ω	0,1 Ω ~ 10 k Ω	$\pm 0,2\% + 10$ dgts (40 Hz ~ 1 kHz)
Kapacita	40 nF ~ 400 nF 4 μ F ~ 400 μ F	1 pF ~ 100 pF 1 nF ~ 100 nF	$\pm 2,0\% + 3$ dgts $\pm 3,0\% + 5$ dgts
Frekvencia	4 kHz ~ 40 MHz	1 Hz ~ 10 kHz	$\pm 2,0\% + 3$ dgts
Logika	prúdový test max.1000 μ A		
Poznámka	Vstupná impedancia: 10 M Ω ; Prevod: TRMS AC, AC+DC, referenčná teplota 22 $^{\circ}$ C $\pm$ 4 $^{\circ}$ C; rýchlosť merania 1 s; pracovná teplota 0 až 40 $^{\circ}$ C; napájanie 9 V batéria		

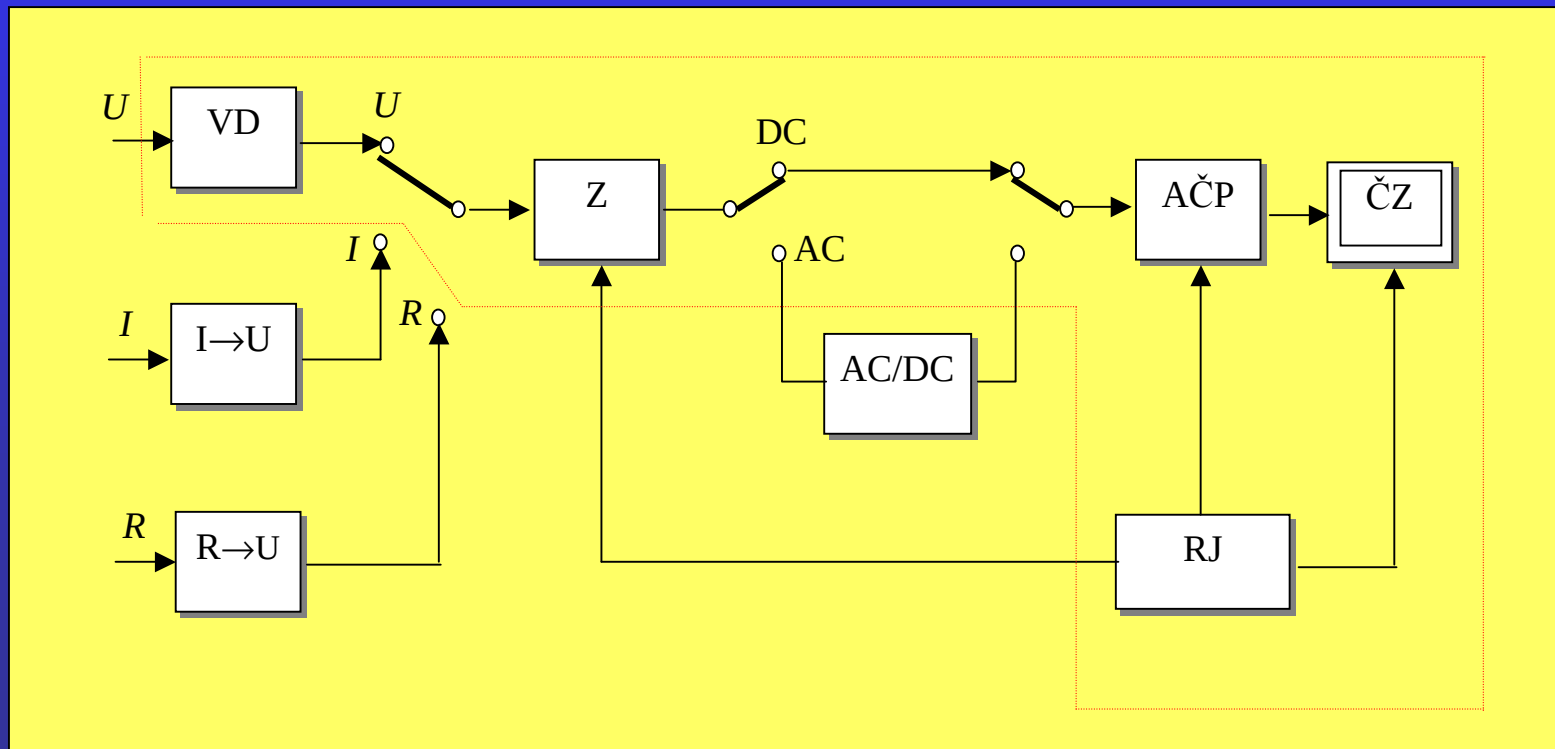


Obr.4.4 Číslicový multimeter
METEX M-5040D

4.3 Číslicové multimetre a wattmetre

4.3.1 Číslicové multimetre

Základná bloková schéma zapojenia ČMP vo funkcii bežne používaného číslicového multimetra merajúceho napätie, prúd a odpor:



Základným blokom číslicového multimetra je jednosmerný číslicový voltmeter (na obr. v rámečku).

Ten sa skladá z obvodov vstupnej úpravy signálu (**VÚS**), ktoré slúžia k zmene meracích rozsahov a dosiahnutí požadovanej vstupnej impedancii. Ďalej sa skladá z analógovo-číslcového prevodníka **AČP**, logicky riadiacej jednotky **RJ** a číslicového zobrazovača s dekóderom (**ČZ**).

Pre meranie prúdov a odporov sa využívajú prevodníky, ktoré prevádzajú tieto veličiny na napätie ($I \rightarrow U$, $R \rightarrow U$).

Pre meranie striedavých napätí a prúdov je pred AČP predradený prevodník striedavého napätia na jednosmerné napätie (**AC/DC**) - AČP meria len jednosmerné napätie.

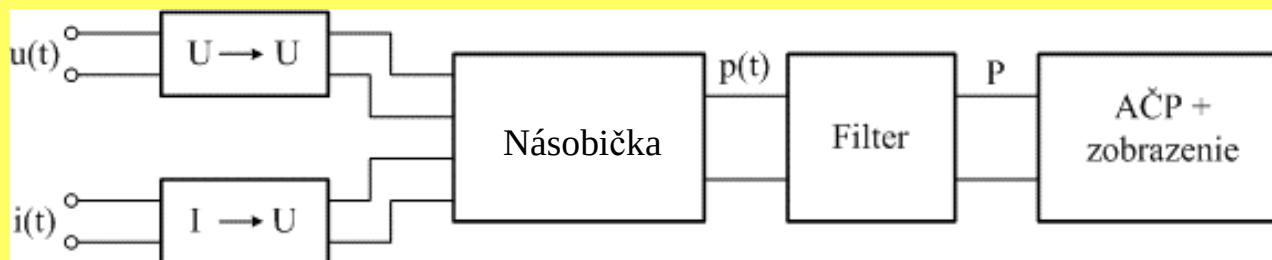
Dnešné číslicové multimetre často obsahujú jeden alebo niekoľko mikroprocesorov a obvody štandardizovaného rozhrania (interface), umožňujúcich normalizovanú komunikáciu s ďalšími prístrojmi v meracom systéme.

4.3.2 Číslicové wattmetre

Pre meranie výkonu pri frekvencii siete 50 Hz a harmonických priebehoch sa bežne používajú elektrodynamické či ferodynamické wattmetre. Tie však vzhľadom k ich značnej frekvenčnej závislosti nie sú vhodné pre meranie výkonu pri neharmonických priebehoch či vyšších frekvenciách. V tomto prípade je nutné použiť **číslcové wattmetre**.



Základná bloková schéma bežne používaného číslicového wattmetra:



Na vstup wattmetra sa privádza napätie a prúd, ktorých súčin chceme merať vhodným meracím prevodníkom – **násobičkou**.

Pri použití bežných násobičiek, ktoré majú napäťové vstupy s menovitým rozsahom jednotiek V, je nutné merané napätie a prúd previesť na napätie tejto úrovne vstupnými prevodníkmi U - U a I - U.

Napätie na výstupe násobičky, odpovedajúce okamžitému výkonu, je filtrované dolnofrekvenčnou priepust'ou a jeho jednosmerná zložka je meraná AČ prevodníkom. Ten je následne spojený s logicky riadiacou jednotkou RJ a číslicovým zobrazovačom s dekóderom.

4.4 PRÍSTROJE SO ZABUDOVANÝM MIKROPOČÍTAČOM

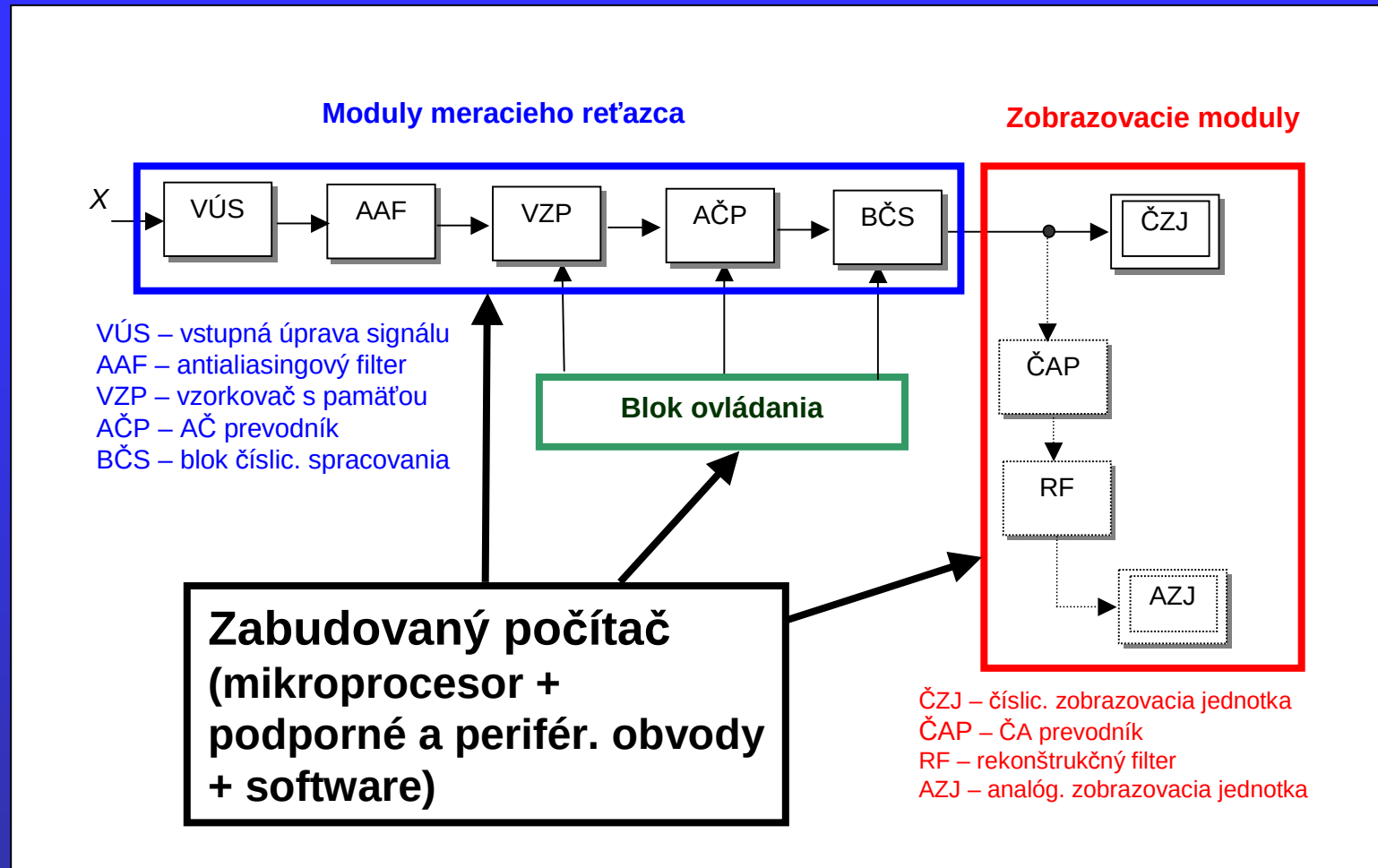
Moderné číslicové meracie prístroje (elektrických ako aj neelektrických veličín) využívajú jeden alebo niekoľko mikroprocesorov.

Samotný mikroprocesor je hlavnou súčasťou zabudovaného počítača, ku ktorému popri mikroprocesoru patria tiež:

- podporné a periférne obvody,
- programové vybavenie.

Zabudovaný počítač riadi všetky moduly blokovej schémy:

- moduly meracieho reťazca,
- blok ovládania,
- zobrazovacie moduly



Software, ktorým je zabudovaný počítač vybavený, je uložený v pevnej pamäti. Začína pracovať po zapnutí prístroja a nemožno ho dodatočne meniť. Preto sa nazýva **firmware**.

Zmenou pamäte ROM, ktorá obsahuje firmware, je však možné dosiahnuť zlepšenie funkcie prístroja (angl. *upgrade*).

Výhody spojené so zabudovaním mikroprocesora do meracieho prístroja:

- **zjednodušenie obvodového riešenia prístroja,**
- redukcia dát a voľba spôsobu prezentácie dát,
- **ľahšie ovládanie prístroja,**
- realizácia funkcií štandardizovaného prístrojového rozhrania (napr. RS-232)

Mikroprocesory sa konkrétne používajú pre:

1. *počiatočné nastavenie prístroja (angl. hardware setup),*
2. *riadenie meracieho algoritmu,*
3. *výpočet výsledkov merania,*
4. *samočinné testovanie prístroja a autokalibrácia,*
5. *softwarová kalibrácia,*
6. *samočinné prepínanie rozsahov a zobrazovanie výsledkov,*
7. *riadenie vstupu a výstupu dát pomocou štandardizovaného rozhrania (interface),*
8. *ovládanie prístroja prostredníctvom menu.*

V mnohých meracích prístrojoch **sa používa niekoľko mikroprocesorov**, čo umožňuje podstatné skrátenie doby merania.

Jeden z nich je obvykle **riadiaci** (angl. master), ostatné sú **podradené** (angl. slave).

Každý z procesorov je určený pre plnenie konkrétnej úlohy, napr. pre riadenie operácií konkrétneho modulu prístroja, a tým odľahčuje hlavný procesor, ktorý je schopný rýchlejšie matematicky spracovávať dáta.

1. Počiatočné nastavenie prístroja

Líšia sa pre rôzne merania.

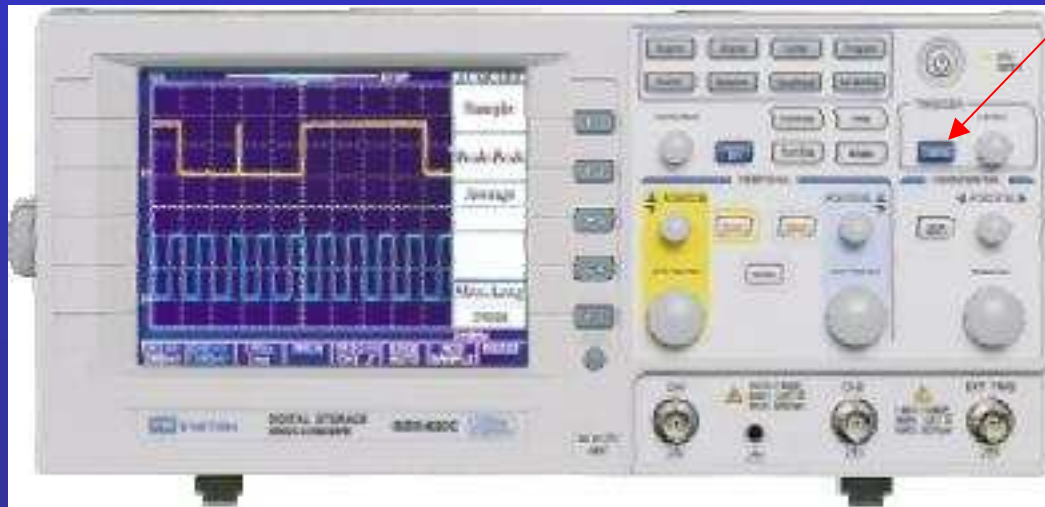
Je možné ich uložiť do pamäte a vyvolať pre spustenie prístroja.

Napr. pre číslicové osciloskopy:

Vlastné nastavenie režimu (napr. rýchlosti časovej základne, režimu spustenia a hodnoty zosilnenia vertikálneho kanálu) **zaistí mikroprocesor.**

Ten tiež riadi samočinné zmeny režimu osciloskopu tak, aby vznikol stabilný **obrázok, pokiaľ sa použije tlačidlo *autoset*.**

Prístroj umožňuje uložiť napr. 20 rôznych počiatočných nastavení.



2. Riadenie meracieho algoritmu

Príklady pre číslicové voltmetre:

- základná metóda analógového číslicového prevodu používaná číslicovými voltmetrami (dvojtaktná integrácia) môže byť pomocou mikropočítača zmenená na viactaktnú integráciu s prekrytím intervalov T_1 a T_2 – **potlačenie sériového rušenia SMR**.
- zaistiť určenie znamienka vstupného signálu a podľa neho pripojenie referenčného napätia požadovanej polarity.

3. Výpočet výsledkov merania

Mikropočítač môže zaistiť napr. výpočet výsledkov merania zo vstupných dát (napr. výpočet fázového posunu, frekvencie, napätia z obrazovky osciloskopu). Pokiaľ je výpočtová náročnosť vysoká, **využíva sa pre urýchlenie spracovania špeciálny druh mikroprocesorov, prípadne mikropočítačov – tzv. číslicových signálových procesorov**. Ich typická aplikácia v meracích prístrojoch je výpočet rýchlej Fourierovej transformácie (FFT) vo FFT spektrálnych analyzátoroch a v analyzátoroch signálu.

4. Autokalibrácia - samočinné skúšanie

Funkcia základných blokov prístroja je preskúšaná samočinne po zapnutí prístroja.

Tento test spočíva napr.:

- v postupnom rozsvietení skupín svetelných indikátorov na panely,
- v kontrole pripojenia napájaných napätí k jednotlivým blokom apod.

Po úspešnom prebehnutí tohto testu môže byť spustená *autokalibrácia*.

Tá umožňuje kompenzovať posuv nuly a chybu zosilnenia (sklon prevodovej charakteristiky) pomocou dvojitého merania a ich matematického spracovania.

Pokiaľ je obvod lineárny a použité prvky majú síce nepresné hodnoty, ale sú stabilné v čase, potom je možné výpočtom dosiahnuť zníženie chyby merania.

5. Samočinné prepínanie rozsahov

Rozsah merania predstavuje pásmo hodnôt meranej veličiny, ktoré je ohraničené najmenšou a najväčšou merateľnou hodnotou.

(Např. rozsahy prístroja Metex M 5040D pre jednosmerné napätie je:

400 mV, 4, 40, 400 a 1000 V).

Výhody autorozsahu: **Nie je nutné sa báť zničenia prístroja pri možnom prekročení medzirozsahu.**



Číslicový multimeter
METEX M-5040D

6. Zobrazovanie výsledkov

Vstavaný mikroprocesor riadi tiež spôsob zobrazenia výsledkov merania.

Typickým príkladom sú číslicové merače impedancií, kde je možné napr. pri meraní cievky voľiť z nasledujúcich zobrazení: L_s a R_s , L_p a R_p , X_L a R , $[Z]$ apod.

7. Riadenie vstupu a výstupu dát pomocou štandardizovaného rozhrania (interface)

Pokiaľ merací prístroj umožňuje pripojenie k tlačiarňi, plotru alebo zapojeniu do meracieho systému (komunikácia s počítačom), je použité štandardizované prístrojové rozhranie (IEEE 488, RS 232) tiež obvykle riadené mikroprocesorom.



Číslicový merací systém