



oddíl 2

M ě ř e n í



C í l e a m e t o d y m ě ř e n í

kapitola 2. 0

C í l e m ě ř e n í

Měření je základním zdrojem informací. Jako takové je nezbytným předpokladem samočinného řízení všech druhů výroby a je součástí i většiny klasicky ovládaných strojů a technologických uzlů. V automatizaci má měřicí technika dva základní významy:

- *informuje o vlastnostech a chování soustavy* nebo procesu (např. o výrobní lince a způsobu její činnosti), který se má regulovat a o vlastnostech a chování prvků a členů (snímačů, regulátoru,...), ze kterých se řídicí systém skládá. Bez těchto informací by nebylo možné systém navrhnout, realizovat ani udržovat.
- *informuje o stavu a průběhu procesu* při vlastním řízení. Bez těchto informací by nebylo možné systém provozovat, řízení by nemělo podle čeho probíhat.

M e t o d y m ě ř e n í

Měření lze provádět mnoha *metodami*. Charakteristika a členění metod záleží na hledisku, podle kterého jsou posuzovány.

Podle vlastní měřené veličiny lze rozlišovat:

- *přímé měření*, při kterém se hodnota určuje přímo bez převodu na jinou veličinu (např. délka měřením metrem)
- *nepřímé měření*, při kterém se hodnota měřené veličiny určuje ze známé závislosti na jiné veličině (jedné nebo více). Mezi veličinami se v tomto případě provádí převod (např. vlhkost dřeva měřením el. odporu).

Podle způsobu zjišťování hodnoty dané veličiny je:

- *bezprostřední měření*, při kterém je měřená veličina převáděna přímo na výstupní veličinu a ta je cejchována (např. teplota na sloupec kapaliny se stupnicí).
- *porovnávací měření*, při kterém je měřená veličina porovnávána s mírou. Dosáhne-li se shody (nulový nebo zanedbatelný rozdíl - nulová metoda) nebo dosáhne-li se známý rozdíl (diferenční metoda), lze hodnotu odečíst na stupnici (např. jazýček vah).

Podle povahy měřené veličiny lze rozlišovat měření:

- *statických veličin* - měřená veličina nemění v průběhu měření svoji hodnotu. Měří se pouze její velikost.
- *dynamických veličin* - měřená hodnota mění v čase svoji hodnotu. Měří se časová závislost změny hodnoty výstupní veličiny při známé a okamžité změně vstupní veličiny.

Měření lze však též rozlišovat podle nejrůznějších potřeb nebo zvyklostí na měření *elektrických a neelektrických veličin*, měření *laboratorní a provozní*, měření *orientační a závazná* a podobně.

Měřicí přístroje

Pod pojmem měřicí přístroje chápeme všechna zařízení, určená k získávání údajů o hodnotách veličin. Základem měřících přístrojů jsou snímače veličin, k jejichž měření má přístroj sloužit. Jejich další vybavení závisí na účelu měření, podmínkách, požadavcích a podobně. Podle těchto hledisek je také vypracováno množství způsobů dělení a třídění měřících přístrojů podobně, jako tomu je u měřících metod. Přitom o žádné klasifikaci nelze prohlásit (s výjimkou tvrzení autora), že je jednoznačná a konečná.

Jedno z hledisek, které zásadním způsobem ovlivňuje konstrukci přístroje je, má-li výsledek měření sloužit:

- pro informování jeho obsluhy (indikační přístroje)
- jako vstupní informace, kterou zpracovává následné samostatné zařízení (např. řídicí systém výrobní linky)
- pro registraci naměřených hodnot (registrační přístroje)
- pro kombinované využití.

Indikační měřicí přístroje

kapitola 2. 1

Tyto přístroje slouží obsluze jako zdroj informací o velikosti měřené veličiny. Jsou vybaveny indikátorem pro vizuální sledování okamžitých hodnot nebo méně často světelnou nebo akustickou indikací mezních stavů.

Obecné blokové schema měřicího řetězce, ze kterého se skládá indikační měřicí přístroj, je na obr. 2.1.1.



Obr. 2.1.1 - Blokové schema indikačního měřicího přístroje

Měřicí přístroj představuje téměř vždy soustavu převodníků, ve kterých dochází k transformaci měřené vstupní veličiny na veličinu výstupní. Prvním z převodníků je již čidlo - snímač, na který měřená veličina bezprostředně působí. Další členy závisí na druhu měření a požadovaném způsobu zpracování naměřených hodnot. U elektrických měřicích přístrojů převádí snímač měřenou veličinu zpravidla přímo na elektrický signál, který je dále elektronickými obvody upravován a může při něm docházet k dalším převodům (napětí na proud, frekvenci, soustavu impulsů, ...). U neelektrických zařízení se jedná o převody mechanických veličin (např. tlak na posuv membrány). Posledním členem je zobrazovací jednotka, která umožní naměřenou hodnotu odečíst.

Rozdělení indikačních měřicích přístrojů lze provést podle množství různých hledisek obdobně, jako rozdělení měřicích metod. V dalším bylo vzato jako základní hledisko způsobu zpracování měřeného signálu. Přístroje jsou proto děleny na analogové a číslicové.

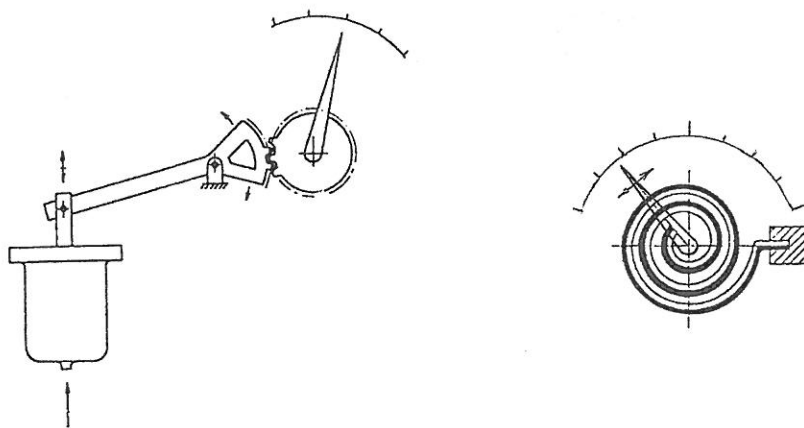
Analogové měřicí přístroje

Analogové měřicí přístroje pracují s veličinami, jejichž úroveň se plynule mění. V průběhu zpracování signálu (úprava úrovně, převody na jiné veličiny a pod.) spojitý charakter signálu zachovávají a spojitá je i jeho indikace. Jsou běžně užívány v mechanickém i elektrickém provedení.

Mechanické přístroje

Mechanické analogové přístroje pracují bez převodu měřené veličiny na elektrický signál. Jejich vstupní veličinou je posunutí nebo pootočení. Velikost tohoto pohybu v závislosti na snímané veličině lze ovlivnit vlastnostmi snímače (tuhostí vlnovce při snímání tlaku, délkou bimetalového pásku nebo spirály při snímání teploty a pod.). Citlivost přístroje nebo přesnost indikace naměřené hodnoty lze upravit převodovým poměrem hřebenového ozubeného převodu nebo pákových převodů s ozubenými segmenty tak, aby měřicí rozsah snímače odpovídal rozsahu stupnice. Poslední možnost upravit přesnost měření spočívá v čitelnosti indikovaných údajů. Na to má vliv délka ručičky, délka a provedení stupnice, případně u velmi přesných přístrojů použití dvou nebo tří ručiček, které spolu s příslušnými převody zvýší přesnost čitelnosti indikované hodnoty i o několik řádů (např. mechanické hodinky). Zvyšování přesnosti indikace však má smysl pouze do přesnosti vlastního snímače.

Velikost měřené veličiny je u analogových přístrojů indikována nejčastěji výchylkou ukazatele na cejchované stupnici. V některých případech je možná i přímá indikace bez převodu na pohyb ručičky, např. při měření teploty rtuťovými teploměry, úrovně hladiny stavoznaky a pod.



a) s pákovým a ozubeným převodem

b) bez převodu

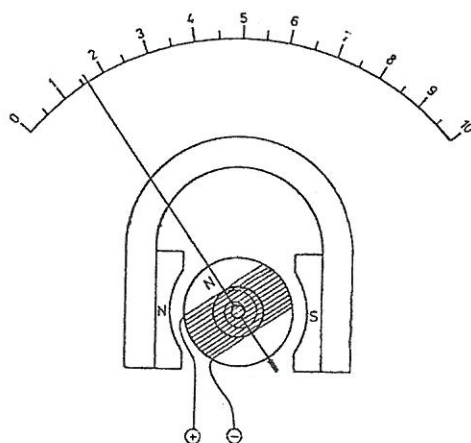
Obr. 2.1.2 - Mechanické měřicí ústrojí

Mechanické měřicí přístroje se často používají pro indikaci přesné polohy suportů obráběcích jednotek nebo pracovních stolů u strojů bez číslicového řízení, pro měření tlaku, teploty i dalších veličin. Výhodou je jejich jednoduchost, spolehlivost a nízká cena.

Elektrické přístroje

Elektrické analogové přístroje jsou určeny pro měření elektrických veličin všeho druhu (napětí a proud ss i st, výkon, práce, odpor, kapacita, indukčnost, frekvence, fázový posuv, ...). Pokud jsou určeny pro měření neelektrických veličin, mají ve svém vybavení snímače, které měřenou mechanickou veličinu převedou na elektrický signál, nejčastěji napětí. Měření v těchto případech provádí voltmetry, jejichž stupnice je cejchována v hodnotách původní snímané veličiny.

Nejjednodušší měřicí zařízení představuje samotný ručkový indikační přístroj.



Obr. 2.1.3 - Měřicí ústrojí s otočnou cívkou

Měřicí ústrojí s otočnou cívkou je v současné době nejužívanější. Cívka je umístěna otočně v magnetickém poli trvalého magnetu a protéká jí měřený proud. Kroutící moment, který se ji snaží vychýlit ze základní polohy, je přímo úměrný velikosti proudu. Proti tomuto momentu působí řídící moment spirálové pružiny, který je přímo úměrný výchylce cívky. Cívka s ručičkou se ustálí v poloze, v níž jsou si oba momenty rovny.

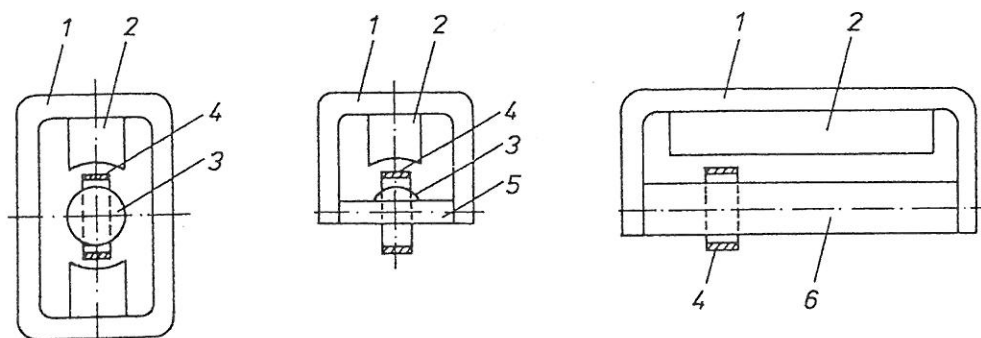
Měřicí ústrojí tohoto typu indikuje střední hodnotu proudu, který protéká jeho cívkou. Dosahuje přesnosti až desetin procenta a je vhodné pro provozní i laboratorní měření. Má však malou mechanickou odolnost proti otřesům a poměrně velkou setrvačnost, ze které vyplývá doba ustálení. Tím je přístroj omezen při měření špiček - na krátké reaguje málo nebo vůbec, na delší příliš - překmit.

U většinou konstrukčně starších, ale stále užívaných přístrojů se lze setkat i s dalšími systémy indikátorů:

- *elektromagnetické* indikují efektivní hodnotu proudu. Pro svoji nižší přesnost, ale vyšší mechanickou odolnost jsou vhodné pro provozní měření ss i st proudů a napětí.
- *elektrodynamické* indikují efektivní hodnotu proudu nebo napětí. Jsou vhodné pro přesná i provozní měření ss i st proudů, napětí, výkonu a práce.

- *tepelné* indikují efektivní hodnotu proudu nebo napětí. Jsou vhodné hlavně pro měření střídavých veličin i nesinusového průběhu.
- *elektrostatické* indikují efektivní hodnotu napětí. Jsou vhodné pro měření ss i st napětí. Vykazují nejvyšší vstupní odpor ale i malou citlivost.
- *indukční* indikují výkon. Používají se pro měření výkonu a práce střídavého proudu.
- *poměrové magnetoelektrické* indikují poměr proudů. Užívají se při měření odporu.
- *poměrové elektrodynamické* indikují poměr proudů, užívají se při měření kmitočtu a účinníku.

Měřicí ústrojí s lineárním motorkem poskytuje přímkový tvar a podstatné prodloužení stupnice indikátoru a tím i přesnější čitelnost údajů.



1 - jho, 2 - magnet, 3, 5, 6 - jádro, 4 - cívka

a) soustava s vnějším magnetem

b) lineární motorek

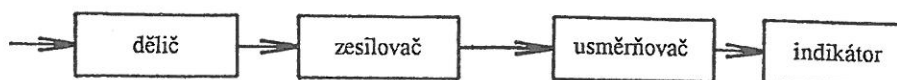
Obr. 2.1.4 - Odvození lineárního motorku

Lze si je představit jako prodloužené měřicí ústrojí s vnějším magnetem. Souměrný magnetický obvod je tvořen podélným magnetem, skládajícím se ze dvou kusů. Magnet (2) budí magnetický tok ve vzduchové mezeře a podélné jho (1) ve tvaru pásnice, které je obepínáno cívkou, jej odvádí k opačnému pólu magnetu. Uprostřed jha dochází k dělení toku, který lineárně narůstá směrem k oběma jeho koncům. Síla, působící na cívku (4), je úměrná proudu, který jí prochází, ale základní poloha cívky není vymezena jako v předchozím případě např. pružinou. Cívka se tedy zastaví, když jí přestane procházet proud a zpět se bude pohybovat při průtoku proudu opačným směrem.

Základní citlivost těchto přístrojů je dána hlavně provedením vinutí jejich cívek a může být v řádu jednotek milivoltů na plnou výchylku. Dílčí vyšší rozsahy se mění přepínáním předřadných odporů. Třída přesnosti se pohybuje od 2,5 u orientačních přístrojů až po 0,1 u přístrojů laboratorních. Nevýhodou je u těchto konstrukcí poměrně malý vnitřní odpor, hlavně u vyšších citlivostí. Tím stoupá jejich spotřeba proudu a spolu s ní i nelinearita převodní charakteristiky.

Elektronické přístroje

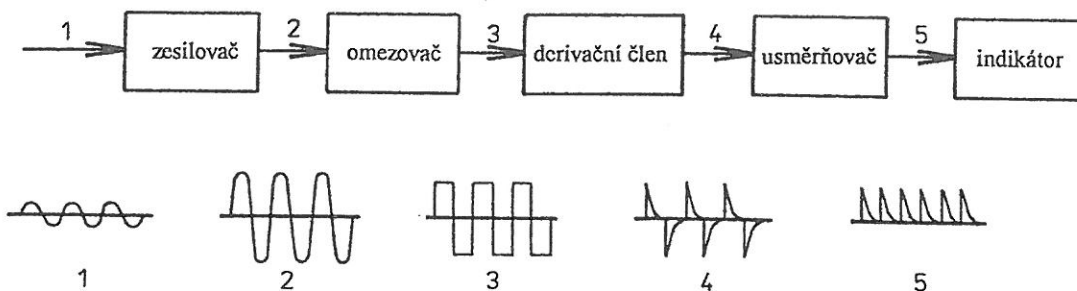
Pro zvýšení vstupního odporu lze přístroje vybavit vstupními obvody, jejichž odpor se hlavně při použití polem řízených tranzistorů s izolovanou řídicí elektrodou (MOSFET) pohybuje kolem $10^{14} \Omega$. Citlivost elektronických voltmetrů se podle druhu řešení pohybuje až v jednotkách μV na plnou výchylku indikátoru.



Obr. 2.1.5 - Blokové schema střídavého elektronického milivoltmetru

Měření střídavých napětí v rozsahu desetin μV až stovek V a rozsahu kmitočtu desítek Hz až jednotek MHz umožňují přístroje, jejichž blokové schema je na obr. 2.1.5. Odporový dělič přepíná pracovní rozsahy přístroje a upravuje tak úroveň vstupního signálu pro zesilovač. Zesílený signál je usměrněn a jeho velikost indikuje měřicí přístroj.

Pokud je charakter vstupní veličiny, pro jejíž měření je přístroj určen, nespojitý (např. frekvence), je třeba, aby přístroj pracoval jako číslicově - analogový převodník. Za příklad může sloužit přímoukazující měřič kmitočtu.



Obr. 2.1.6 - Blokové schema a tvar signálů přímoukazujícího měřiče kmitočtu

Vstupní signál se zesílí v zesilovači, který může být na svém vstupu doplněn odporovým děličem, upravujícím úroveň signálu (napětíové pracovní rozsahy). Další stupeň zesilovače pracuje jako omezovač, vytvářející signál jedné úrovně přibližně obdélníkového charakteru. Derivační člen vytvoří z obdélníkových impulsů, jejichž délka je závislá na frekvenci sled špiček střídavé polarity, jejichž exponenciální doznívání ("délka") závislé na frekvenci není. Dvojcestný usměrňovač "otočí" polaritu záporných špiček a magnetoelektrický indikátor změří střední hodnotu jejich napětí. Její velikost je dána výhradně hustotou špiček, tedy frekvencí vstupního signálu.

Číslicové přístroje

Číslicové měřicí přístroje jsou prakticky výhradně elektronické. Pokud nejsou určeny přímo pro měření elektrických signálů, vyžadují stejně jako analogové elektrické přístroje snímače, které měřenou mechanickou veličinu převedou na elektrický signál.

Princip činnosti číslicových přístrojů naznačuje schema na obr. 2.1.7:



Obr. 2.1.7 - Principiální blokové schéma číslicového měřicího přístroje

Zesilovač upraví vstupní signál na žádanou úroveň. Jeho vstupní obvody současně udávají vstupní odpor celého přístroje (vysoký, tj. malá spotřeba proudu). Převodník převede spojitý signál z výstupu zesilovače na číslicový a často jeho obvody obsahují i automatickou volbu pracovního rozsahu. Dekodér převede signál z převodníku na kód, odpovídající použité zobrazovací jednotce, která tvoří indikátor přístroje. Ve schématu není značeno napájení jednotlivých částí.

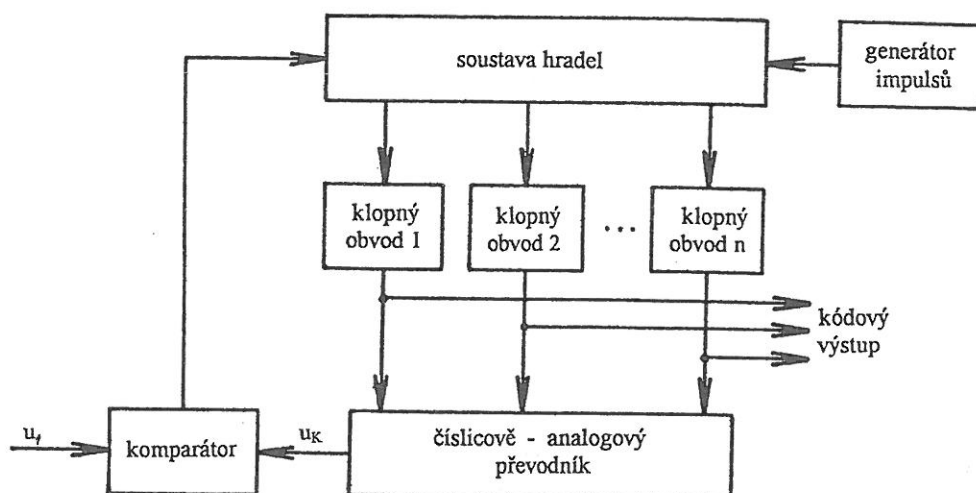
Převodníky

Ideálním signálem pro číslicové měřicí přístroje je číslo v paralelní nebo sériové formě nebo série impulsů. Číslo v paralelní formě lze matematicky libovolně upravit přepočítávacími koeficienty nebo vztahy a po převodu na kód zobrazovací jednotky zobrazit. Zpracování série impulsů vyžaduje na vstupu přístroje čítač, představující číslicový sériově - paralelní převodník. Na jeho výstupu je stav, odpovídající počtu impulsů, přivedených na jeho vstup (viz kapitola logické členy). Signály tohoto typu poskytují např. digitizery nebo impulsní generátory.

Při měření veličiny, jejíž hodnoty se spojitě mění, např. napětí, musí přístroj obsahovat analogově - číslicový převodník ss napětí \rightarrow kód. Pro tento převod se používá hlavně kompenzační nebo integrační princip.

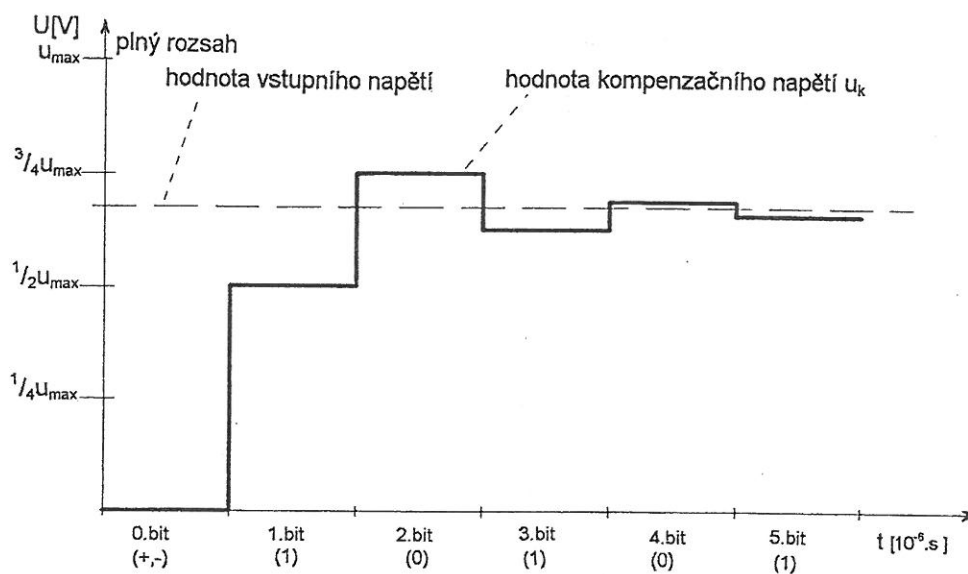
Kompenzační převodníky jsou založeny na postupné aproximaci, přibližování se kompenzačního napětí měřenému napětí.

Měřené napětí u_1 se v komparátoru porovnává s napětím kompenzačním u_k . V prvním kroku po odstartování měření se pro zjištění polaritý porovnává s napětím $u_k = 0$. V dalších krocích v rytmu impulsů generátoru spíná soustava hradel postupně klopné obvody KO_1 až KO_n . Tím se spínají jednotlivá napětí číslicově - analogového převodníku v pořadí od nejvyššího k nejnižšímu. Poměr napětí odpovídá užitému váhovému kódu, velikost pracovnímu rozsahu. Sepnuté napětí tvoří okamžité porovnávací napětí u_k . Je-li $u_k < u_1$, zůstává příslušný klopný obvod ve stavu I a napětí, sepnuté následným klopným obvodem (většinou poloviční) se k němu v dalším kroku přičítá.



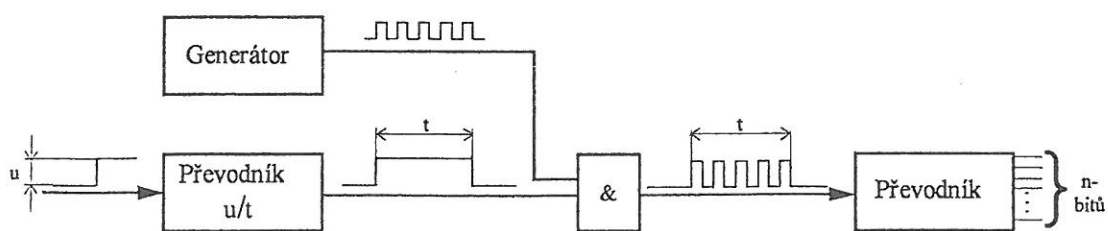
Obr. 2.1.8 - Blokové schéma kompenzačního převodníku

Je-li $u_k > u_l$, klopny obvod se vrací do stavu 0, tím jde do nuly i jemu odpovídající napětí a u_k klesá na předcházející hodnotu. Tak se u_k postupně přibližuje u_l a stav klopných obvodů KO_1 až KO_n udává výstupní číselnou hodnotu napětí. V následných obvodech se hodnota upraví podle použitého pracovního rozsahu (volba je automatická nebo ruční) a hodnota napětí se zobrazí na displeji přístroje. Přesnost převodníku a tím i celého přístroje je dána jednak počtem použitých binárních řádů, jednak přesností jednotlivých napětí, tj. přesností a stabilitou odporového děliče. Nevýhodou je značná citlivost na proměnná rušivá napětí. Celková přesnost převodníků dosahuje 0,1 až 0,01 %. Rychlost je vysoká, až 10^6 převodů/s.

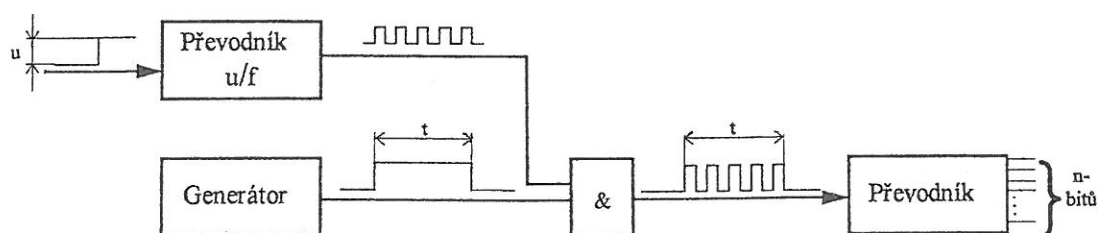


Obr. 2.1.9 - Průběh napětí u_k kompenzačního převodníku, pracujícího s pěti binárními řády

Integrační převodníky mohou pracovat s převodem měřeného napětí na časový interval nebo na kmitočet.



a) převodník napětí - čas - kód



b) převodník napětí - kmitočet - kód

Obr. 2.1.10 - Integrační převodníky bez zpětné vazby

U převodníků *napětí* \rightarrow *čas* \rightarrow *kód* je měřené napětí u převedeno v bloku u/t na impuls, jehož doba trvání t odpovídá hodnotě měřeného napětí. Během t je hradlo & otevřeno a impulsy z generátoru prochází do čítače. Po uzavření hradla poskytuje výstup čítače číselnou hodnotu napětí v paralelní formě.

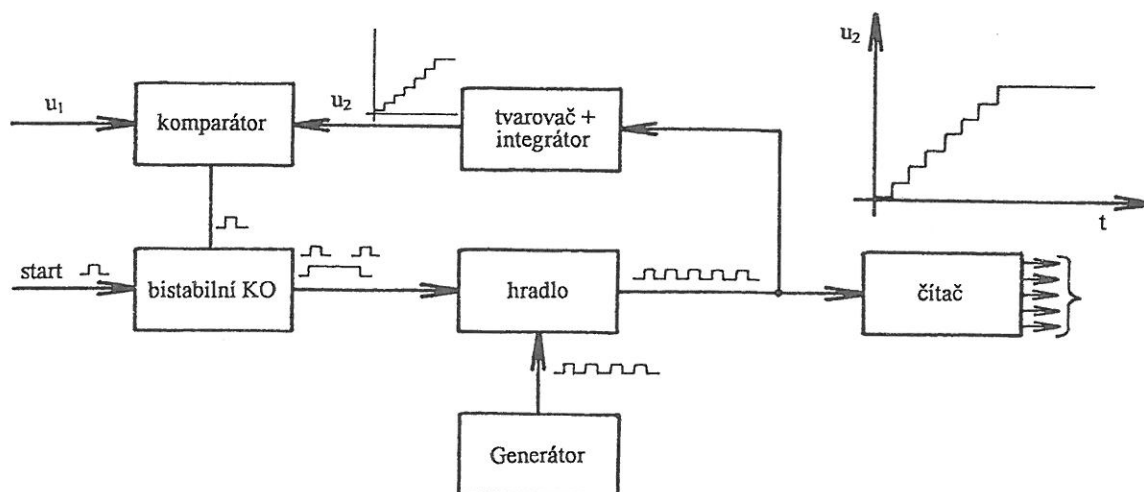
U převodníků *napětí* \rightarrow *kmitočet* \rightarrow *kód* je měřené napětí u převedeno v bloku u/f na frekvenci, úměrnou velikosti napětí u . Časový interval otevření hradla & je stálý a je dán délkou impulsů generátoru. Počet impulsů, které hradlo propustí do čítače, je tak opět úměrný velikosti měřeného napětí a na výstupu čítače je opět číselná hodnota tohoto napětí v paralelní formě.

V následných obvodech je třeba hodnotu upravit podle použitého pracovního rozsahu stejně, jako u kompenzačního převodníku.

Přesnost převodníků a tím i celého přístroje je dána přesností převodu napětí \rightarrow čas nebo napětí \rightarrow kmitočet. Pro vyšší přesnost se používají *převodníky se zpětnou vazbou*. Jejich součástí je zpětný převodník číselnicového kódu na napětí. Příklad blokového zapojení je na obr. 2.1.11.

Start-impuls na začátku převodu překlopí bistabilní klopný obvod do stavu I. Jeho výstupní signál otevře hradlo a impulsy z generátoru prochází do čítače. Počet prošlých impulsů je pomocí tvarovače a integrátoru zpětně převeden na napětí u_2 . Jakmile nastane rovnost obou napětí u_1 a u_2 , komparátor vyše stop-impuls, který překlopí klopný obvod zpět do výchozího stavu 0. Tím se hradlo uzavře a převod je ukončen.

Integrační převodníky se vyznačují vysokou přesností i citlivostí, hlavně díky snadnější potlačitelnosti rušivých napětí. Běžná rozlišovací schopnost je $1 \mu\text{V}$, dosahovaná $0,05 \mu\text{V}$. Rychlost je však výrazně nižší než u převodníků kompenzačních, asi 100 převodů/s.



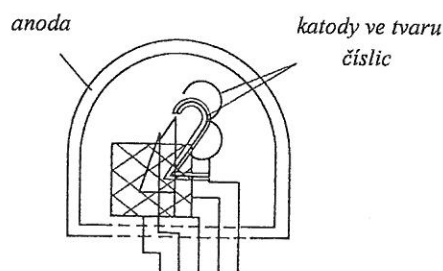
Obr. 2.1.11 - Blokové schéma integračního převodníku se zpětnou vazbou.

Zobrazovací jednotky

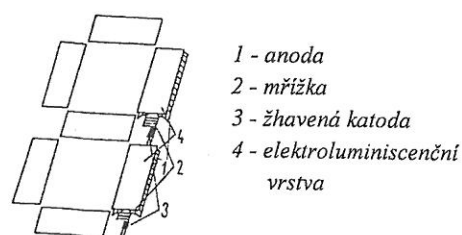
Velikost měřené veličiny je u číslicových přístrojů indikována nejčastěji na displeji. Podle druhu zobrazovaných údajů jsou *displeje*

- *numerické*, zobrazující jen číselné údaje (zobrazení jiných znaků než číslic je velmi omezené a slouží např. pro chybová hlášení, je-li vůbec využíváno)
- *alfanumerické*, zobrazující číslice, písmena a pomocné znaky

Nejstaršími elektronickými číslicovými zobrazovacími prvky, se kterými se lze ještě v praxi setkat jsou *digitrony*. Jsou to indikační výbojky s deseti katodami ve tvaru číslic (vyjíměčně jiných znaků) a s jednou anodou tvořenou sítčkou, která soubor katod obklopuje. Všechny katody i anoda mají vývody na patici skleněné, inertním plynem plněné baňky. Připojením jedné z katod na nulový potenciál při kladném napájecím napětí na anodě se příslušná katoda = číslice rozsvítí. Podle provedení jsou číslice čitelné z čela nebo boku digitronu. Výhodou je výborná čitelnost údajů za všech podmínek osvětlení i z různých úhlů pohledu. Nevýhodou je potřeba vysokého napájecího napětí (běžně nad 100 V) a nemožnost miniaturizace. U nových zařízení se již nepoužívají.



Obr. 2.1.12
Princip číslicové výbojky - digitronu



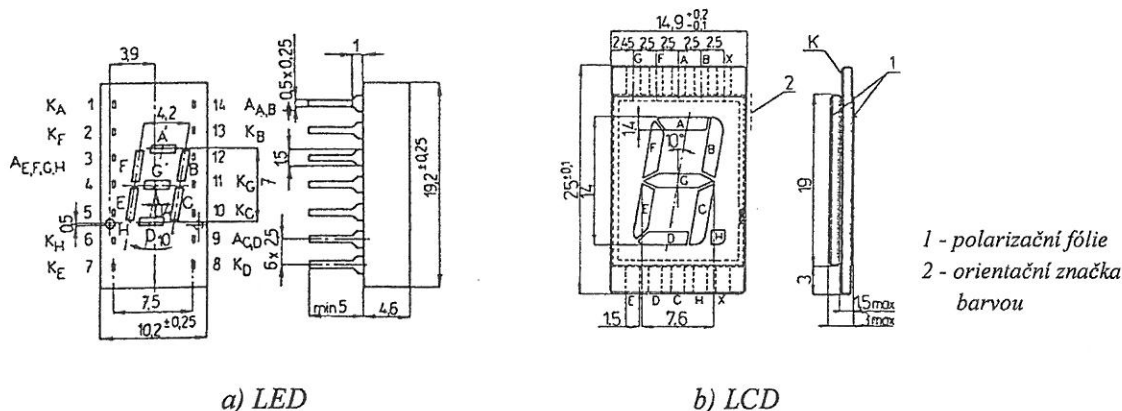
Obr. 2.1.13
Princip itronové zobrazovací jednotky

Nejběžnějšími dnes používanými prvky číslicových indikátorů jsou *sedmisegmentové displeje*. Jsou sestaveny ze sedmi segmentů ve tvaru čísla "8". Zapnutím vhodné kombinace segmentů lze zobrazit zjednodušený tvar kterékoliv číslice "0" až "9".

Itronové zobrazovací prvky využívají luminiscence vyvolané dopadem elektronů na elektroluminiscenční vrstvu ve vakuu. Každou sekci tvoří vlastně trioda, jejíž mřížka usměřňuje proud elektronů tak, aby jeho co největší část dopadala na elektroluminiscenční vrstvu. Výhodou vzhledem k předchozím je podstatně menší rozměr (celý displej o osmi až dvanácti znacích bývá umístěn ve společné baňce) a nižší napájecí napětí (25 - 50 V při proudu 1 - 5 μA /segment). Nevýhodou je potřeba žhavení a tím pro bateriové napájení velká trvalá spotřeba (10 - 30 mA při 2 - 6 V) a dvojí napájecí napětí. Proto jsou itrony v nových přístrojích nahrazeny prvky LED.

LED (Light-Emitting Diode) je polovodičová světlo emitující dioda. Prochází-li jejím přechodem v propustném směru proud, přechod svítí. Barva světla závisí na druhu a vlastnostech polovodiče (např. GaAs - červená, GaP - zelená). Lze vytvořit i kombinované přechody, které emitují různou barvu při rozdílném napětí. V sedmisegmentových displejích se však používají málo, např. pro zvýraznění kritických hodnot. Jejich napájení je shodné s napájením běžných číslicových obvodů (do 5 V), je jedno a proud kolem 10 - 20 μA na segment je odebírán jen když segment svítí.

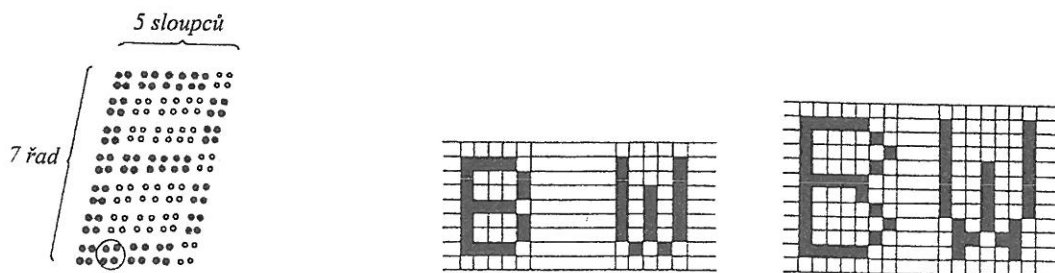
LCD (Liquid-Crystal Display) je displej, sestavený ze segmentů z organických materiálů (kapalné krystaly), které působením elektrického pole mění úhel polarizační roviny odraženého nebo propuštěného světla (reflexní nebo transmisní provedení). Podle použitého napětí (do 5 V) lze měnit kontrast segmentů v poměru k vypnutému stavu asi 1 : 8. Na rozdíl od ostatních prvků je použité napájecí napětí střídavé (20 - 200 Hz). Rychlost změny kontrastu je menší, kontrast se nejvíce z různých pozorovacích úhlů stejný a prvek musí být při čtení osvětlen. Tyto nevýhody jsou však vyváženy více než o řád menší spotřebou (do 1 μA), vhodnou pro přístroje napájené z mikro nebo fotočlánků.



Obr. 2.1.14 - Příklad provedení samostatné číslice sedmisegmentového displeje

Méně rozšířené jsou *devítisegmentové displeje*. Mimo číslic umožňují zobrazit i některá písmena a znaky nejsou tak zjednodušené, jako u displejů sedmisegmentových.

Alfanumerické displeje poskytují širší možnosti zobrazit tvar znaku. Pole pro zobrazení jednoho znaku se běžně skládá z matice 5 x 7, případně 7 x 10 bodů. Body tvoří nejčastěji prvky LED nebo LCD, lze však používat i žárovky. Při velikosti znaků nad asi 50 mm jsou již body tvořeny několika prvky. V těchto sestavách mohou mít prvky (LED) jednoho bodu různé barvy a různou intenzitou jejich svitu lze vyvolat dojem plynulé škály barev obdobně jako na barevné obrazovce. Použití těchto velkoplošných zobrazovacích prvků je však obvyklejší na poli reklamy, než při zobrazení výsledků měření.



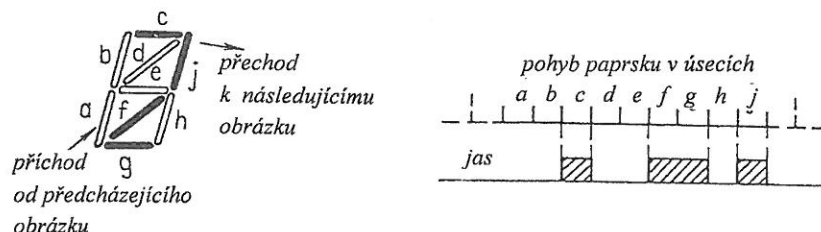
a) displej "5 x 7", každý bod je tvořen čtveřicí LED, zobrazeno je písmeno "B"

b) schematické porovnání zobrazení písmen "B" a "W" na displeji "7 x 5" a "10 x 7"

Obr. 2.1.15 - Sestava bodů alfanumerického displeje

Obrazovkové displeje slouží ke zobrazení jakýchkoli údajů. Samostatné měřicí přístroje, používané ve dřevařství, jimi většinou vybavovány nejsou. Jsou však běžnou součástí řídicích systémů. Pracují s řádkovým nebo vektorovým způsobem zobrazení.

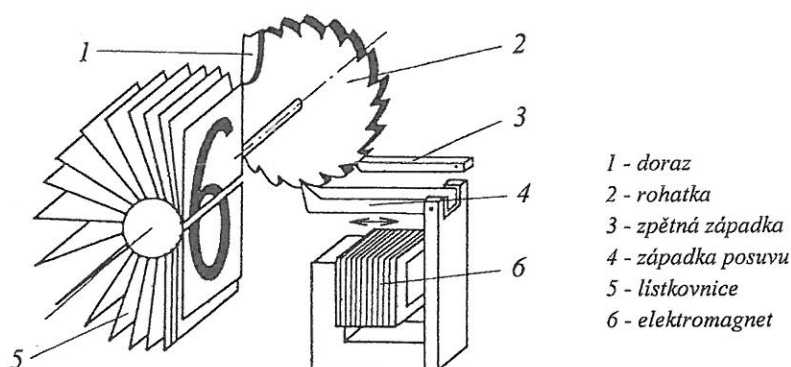
Při *řádkovém zobrazení* je znak rozdělen do vodorovných řádků, obsahujících jednotlivé body principiálně stejně, jako televizní obrazovka. Jas obrazovky se při přebězích v jednotlivých řádcích moduluje podle světlosti zobrazovaného znaku, odpovídá tedy řádkovému rozkladu znaku. Paměť jednotlivých znaků i dekodéry jsou číslíkové, rozklad znaku tedy odpovídá skladbou bodů jeho zobrazení na alfanumerickém displeji. Zvětšení znaku, jeho zpřesnění a zvýšení čitelnosti možné je, ale za cenu výrazného zvýšení složitosti řízení daného zobrazení.



Obr. 2.1.16 - Zobrazení číslice "2" způsobem devítisegmentového displeje na obrazovce s vektorovým vedením paprsku.

Při *vektorovém zobrazení* není obraz řádkován. Stopa paprsku je vedena přímo po tvaru zobrazovaného znaku nebo křivky principiálně stejně, jako u osciloskopu. Zobrazení standardních alfanumerických znaků je opět většinou shodné s bodovým nebo devítisegmentovým displejem. Křivky, případně kombinovaná grafická a alfanumerická zobrazení jsou bez řádkování čitelnější a proto při potřebě jejich velmi jakostního zobrazení nachází vektorové řízení obrazovkového displeje své uplatnění.

Zobrazení libovolných údajů je též možné a časté pomocí mechanických zobrazovačů. Nejstarší z nich jsou tzv. *lístkové zobrazovací jednotky*, používané u stolních hodin již v 18. století. Tehdy byly ovládány hodinovým strojem, šlo tedy o digitální zobrazení údajů jinak analogového přístroje, řečeno dnešní terminologií. Dnes jsou tyto zobrazovače ovládány elektromagneticky. Ve dřevařském průmyslu slouží např. jako venkovní zobrazovače hmotnosti nákladu při váhové přejímce materiálů, častěji jsou však součástí informačních systémů v dopravě a podobně.



Obr. 2.1.17 - Princip listkové zobrazovací jednotky

Číslicové zobrazení dovoluje velmi přesné odečtení naměřené hodnoty. Při jejím kolísání je však velmi nesnadné na rychle se střídajících znacích zjistit, okolo které úrovně a v jakých mezích se hodnota pohybuje. Ke zpřehlednění výsledků digitálního měření kolísajících hodnot slouží pomocná "pseudoanalogová" zobrazení, například sloupcem nebo řadou LED, umístěnou pod číslicemi displeje. Délka svítící řady diod s orientační stupnicí je vlastně digitálním provedením analogového ukazatele. Přehlednost lze výrazně zvýšit barevným odlišením části řady, která odpovídá mezním hodnotám nebo tzv. paměti špiček. Měřicí přístroj je v tom případě vybaven pamětí, do které se průběžně ukládají nejvyšší naměřené hodnoty. Ty se potom zobrazují na stupnici déle, než ve skutečnosti trvají. Tím se omezí možnost jejich přehlédnutí obsluhou zařízení, případně vůbec zviditelní jejich existence.

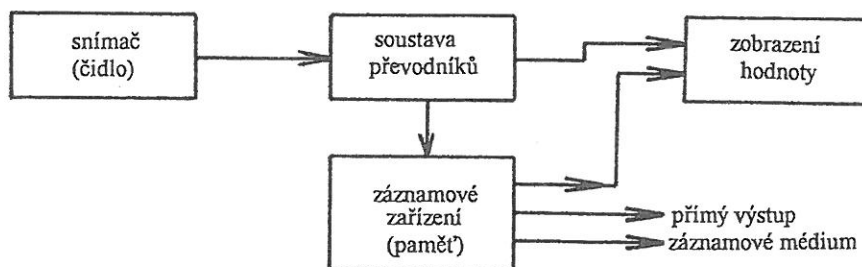
Přesné a laboratorní číslicové měřicí přístroje umožňují často mimo indikace hodnoty měřené veličiny též napojení dalších zařízení, určených pro záznam nebo další zpracování údajů. Jsou proto vybaveny rozhraním (např. RS 232, RS 422), pomocí kterého mohou předávat naměřené údaje počítačům.

Registrační přístroje

kapitola 2.2

Registrační přístroje slouží jako zdroj informací o výsledné (špičkové) hodnotě nebo průběhu hodnot měřené veličiny v rámci daného časového úseku. Jsou vždy vybaveny mechanickým nebo elektronickým záznamovým zařízením. Indikátor pro vizuální sledování okamžitých hodnot je jejich vhodným a běžným doplněním, není však nezbytný.

Obecné blokové schema měřicího řetězce, ze kterého se skládá registrační měřicí přístroj je na obr. 2.2.1:



Obr. 2.2.1 - Blokové schema záznamového měřicího přístroje

Čidlo sejme měřenou veličinu a převodníky upraví výstupní signál do stavu, vhodného pro záznam nebo indikaci. Obě úpravy mohou být rozdílné. Zaznamenané hodnoty mohou být čitelné:

- na zobrazovací jednotce přístroje
- na záznamovém médiu (je-li jím např. papírový pás)
- na jiném zařízení, kam je předáván přímým propojením nebo pomocí záznamového média (např. disket) a které údaje zpravidla dále zpracovává.

Přístroje pro registraci výsledné hodnoty

Přístroje určené k registraci výsledné hodnoty pracují integrační metodou. Během sledovaného časového úseku průběžně sčítají údaje o sledované veličině. Podle principu jejich řešení je můžeme rozlišovat na mechanické a elektrické, analogové a číslicové a pod.

Mechanické přístroje převádí měřenou veličinu na pohyb, většinou otáčky hřídelky. Poloha převodového mechanismu mezi vstupní hřídelkou a indikátorem představuje paměť, jejíž obsah stále vzrůstá v závislosti na okamžité hodnotě vstupní veličiny. Indikátorem je číselník nebo ručičkový ukazatel, na kterém lze kdykoli odečíst celkovou, ne však okamžitou hodnotu veličiny. Nejvyšší zaznamenaná hodnota (kapacita) číslcového indikátoru je dána počtem číslic. U ručičkových indikátorů jsou často ručičky alespoň dvě, aby byla při dostatečné kapacitě dosažena i potřebná *přesnost odečtu*. Přístroje bývají vybaveny nulovacím zařízením pro nastavení výchozího stavu. To je však často zajištěno před zneužitím (zámek, kód) nebo nastavuje pouze doplňkový indikátor. Celkový stav hlavního indikátoru obsluhou ovlivnit nelze. Příkladem těchto zařízení jsou nejrozličnější měřiče spotřeby - plynoměry, vodoměry, elektroměry a pod. Jejich výhodou je jednoduchost, spolehlivost, nízká cena a nepotřebnost napájecího zdroje. Méně časté je vybavení mechanických přístrojů více registračními zařízeními pro registraci ve více časových obdobích.

Elektrické přístroje jsou dnes převážně *číslcové*. Měřená veličina je u nich převáděna na řadu impulsů, jejichž celkový počet za dané období (po příslušném přepočtu) udává žádanou hodnotu. Pro náročnější použití jsou určeny přístroje s nastavitelným (přepínači) nebo programovatelným režimem práce. Nastavit lze hustotu a přesnost zaznamenávaných údajů (např. spotřeba nebo počet vyrobených dílů každou hodinu podle jejich druhu), způsob záznamu a předávání údajů a pod. Výhodou je jejich přesnost, možnost dálkového přenosu údajů, rychlost a možnost různých pracovních režimů.

Přístroje pro registraci extrémní hodnoty

Přístroje určené k registraci extrémní hodnoty pracují porovnávací metodou. Rozlišení přístrojů je podle stejných hledisek jako v předešlém.

Mechanické přístroje jsou častěji analogové. Na stupnici indikátoru je umístěna pomocná ručička, která je posouvána vpřed ručičkou běžného měřicího systému. Základní ručička ukazuje okamžitou hodnotu, pomocná zůstává na maximální dosažené hodnotě, dokud není po odečtení hodnoty vrácena obsluhou do výchozí polohy. Příkladem těchto zařízení mohou být teploměry a tlakoměry parních rozvodů, kde je indikace extrémních hodnot, dosažených v době nepřítomnosti obsluhy potřebná. Jejich výhodou je opět jednoduchost, spolehlivost, nízká cena a nepotřebnost napájecího zdroje. U nových zařízení jsou však používány již zřídka.

Tato zařízení umožňují odčítání extrémní i okamžité hodnoty. Zařízení mohou mít také měřicí systém, který se nevrací do své výchozí polohy a maximální dosaženou hodnotu tak ukazují přímo. Indikace okamžité hodnoty však při tomto řešení možná není.

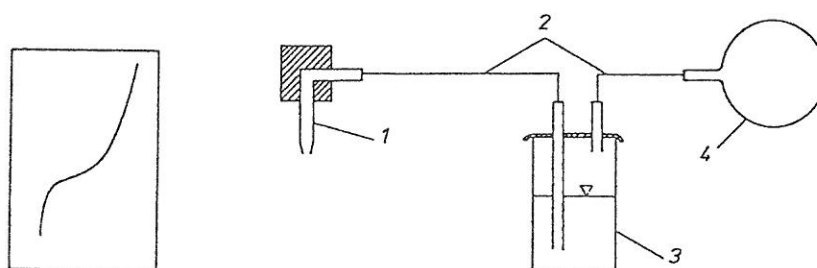
Elektrické přístroje jsou dnes převážně *číslcové*. Během daného časového úseku průběžně měří hodnotu sledované veličiny a porovnávají ji s předchozí již zaznamenanou. Je-li zaznamenaná hodnota vyšší než okamžitá, záznam zůstává. Je-li vyšší hodnota okamžitá, záznam se přepisuje touto hodnotou. I tyto přístroje lze pro náročnější použití vybavit nastavitelným nebo programovatelným zařízením, určujícím režim jejich práce a mají obdobné výhody jako přístroje registrující celkovou výslednou hodnotu.

Přístroje pro registraci celkového průběhu

Přístroje určené k registraci celkového průběhu poskytují trvalé záznamy o časovém průběhu okamžitých hodnot měřené veličiny. Záznam se provádí klasicky na papírový pás, používány jsou ale i diskety a pro krátkodobé zápisy rychlých dějů paměti RAM.

Přístroje, zapisující průběh měřené veličiny na papírový pás mohou pracovat spojitě nebo bodově, mohou být s přímým ovládáním zapisovacího ústrojí měřeným signálem nebo kompenzační a mohou zaznamenávat průběh jedné nebo více veličin - jednorázové nebo vícekrávkové.

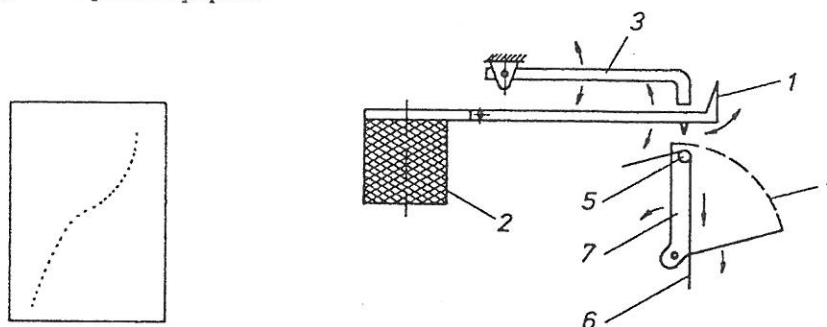
Při *spojitém (liniovém) záznamu* zaznamenává zapisovací člen velikost měřené veličiny souvisle a o jejím průběhu tak poskytuje úplnou informaci. Zapisovacím členem je nejčastěji pero, do kterého se přivádí inkoust kapilárním systémem ze zásobníku. Nedostatkem přístrojů s liniovým záznamem je trvalé tření mezi perem a papírem. Při delší odstávce též někdy působí potíže zasychání inkoustu v zapisovacím zařízení.



1 - zapisovací pero, 2 - ohebná kapilára, 3 - zásobník inkoustu, 4 - balónek

Obr. 2.2.2 - Liniový zápis a schema mechanismu zapisovacího členu

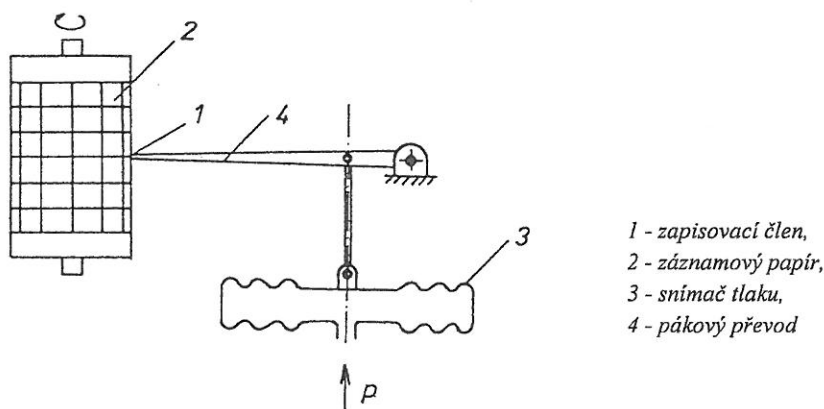
Při *nespojitém (bodovém) zápisu* se zaznamenává velikost měřené veličiny přitisknutím zapisovacího raménka v pravidelných intervalech k záznamovému papíru přes barvicí pásek. Zapisovací člen se pohybuje na rozdíl od liniových zapisovačů až do okamžiku zápisu volně, což přispívá přesnosti. Výsledný zápis je však sestaven z řady oddělených bodů. Intervalů mezi jednotlivými body (= okamžiky měření) je proto třeba volit s ohledem na potřebnou přesnost záznamu a rychlost posuvu papíru.



1 - zapisovací raménko = ručka měřícího ústrojí, 2 - otočný člen měřícího ústrojí
3 - padáčkový třmen, 4 - barvicí pásky, 5 - podložka, 6 - záznamový papír, 7 - držák pásek

Obr. 2.2.3 - Bodový zápis a schema mechanismu zapisovacího členu

V zapisovačích s přímým ovládním zapisovacího ústrojí zajišťuje pohyb ústrojí přímo měřená veličina. Musí tedy dodat pro tento pohyb veškerou energii a to se projevuje negativně na přesnosti záznamu a dynamických vlastnostech. Nejhuře jsou na tom přímé mechanické zapisovače. Lze je použít pouze pro záznam pomalu se měnících veličin a jejich užívání postupně klesá.

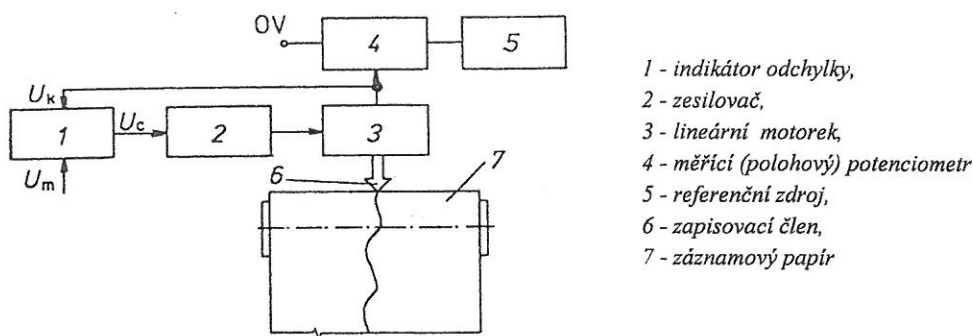


- 1 - zapisovací člen,
- 2 - záznamový papír,
- 3 - snímač tlaku,
- 4 - pákový převod

Obr. 2.2.4 - Schema přímého mechanického měřícího ústrojí pro záznam tlaku

Pneumatické a elektrické přímé zapisovací přístroje využívají možnost převodu měřené veličiny na pneumatický nebo elektrický signál. Principy těchto zapisovacích přístrojů se neliší od principů snímání tlaku nebo elektrických měřících přístrojů, uvedených v příslušných kapitolách. Vyrábí se jak s liniovým, tak bodovým záznamem.

V kompenzačních zapisovačích není zapisovací ústrojí ovládáno měřenou veličinou přímo, ale prostřednictvím polohového servomechanismu.



- 1 - indikátor odchylky,
- 2 - zesilovač,
- 3 - lineární motorek,
- 4 - měřicí (polohový) potenciometr
- 5 - referenční zdroj,
- 6 - zapisovací člen,
- 7 - záznamový papír

Obr. 2.2.5 - Blokové schema kompenzačního měřícího ústrojí s lineárním motorkem

Měřené napětí U_m se porovnává s kompenzačním napětím U_k opačné polarity, které je odebráno z běžce polohového potenciometru. Jejich rozdíl, tzv. chybový signál U_c , se přivádí na vstup zesilovače a po zesílení napájí cívku motorku. Ta jednak nese ukazatel (ručičku) a zapisovací člen, jednak je spojena s běžcem zmíněného potenciometru. Shoduje - li se měřené napětí U_m s kompenzačním napětím U_k , je chybové napětí U_c nulové a poloha cívky (= ukazatele) indikuje na stupnici hodnotu napětí U_m . Přednostmi tohoto systému jsou vyšší citlivost, přesnost a menší setrvačnost a tím i vyšší možná rychlost celého mechanismu. Systém vykazuje mimo to malou citlivost na kolísání síťového napětí a teploty okolního prostředí.

Každý přístroj, který zapisuje naměřené údaje na papír, obsahuje *pohonný mechanismus*, zabezpečující jeho posuv. Papír je většinou v roličce, oboustranně perforovaný. Během záznamu je veden pod zapisovacím členem a postupně převíjen na cívku, poháněnou mechanickým nebo elektrickým hodinovým strojkem. Převodový mechanismus zpravidla umožňuje zvolit různou rychlost posuvu papíru (včetně vypnutí posuvu) v závislosti na potřebné přesnosti a době trvání záznamu. Běžné jsou též mechanismy, kde papír obepíná válec, otáčející se pod záznamovým zařízením - viz. obr. 2.2.4. Jedna otáčka válce potom většinou odpovídá době jednoho pracovního cyklu, jehož průběh má být zaznamenán (běžné např. při záznamu tlaku a teploty při impregnaci).

Zapisovače mohou často zaznamenávat více veličin současně. Liniové zapisovače používají více měřících a zapisovacích mechanismů, pracujících na jeden papír a používajících pro přehlednost záznamu různobarevné inkousty. U bodových zapisovačů lze v rámci jednoho měřícího intervalu využít jedno ústrojí k postupnému zápisu více hodnot (běžně do šesti). Jejich mechanismus postupně přepíná měřené veličiny a současně nastavuje příslušné barvicí pásy - viz obr. 2.2.3. Pro každou měřenou veličinu lze nastavit měřící rozsah buď samostatně nebo je třeba zabezpečit, aby všechny měřené veličiny byly převedeny na stejnou úroveň signálu předem.

Souřadnicové zapisovače

Zvláštním druhem registračních přístrojů jsou *souřadnicové zapisovače*. Umožňují zapisovat jednu nebo více proměnných veličin jako funkce další proměnné veličiny, kterou může ale též nemusí být čas (u registračních přístrojů je nezávislou veličinou čas vždy). Požadované závislosti lze zapisovat jak v *polárních*, tak v *pravoúhlých souřadnicích*. Zápis v pravoúhlých souřadnicích je dalece rozšířenější, proto se v dalším zaměříme hlavně na tento druh zapisovačů, nazývaných též zapisovače x - y nebo plottery.

Pohyb zapisovacího členu, případně i záznamového papíru ve směru pravoúhlých souřadnicových os je ovládán dvěma nezávislými servomechanickými soustavami. Pohybu lze dosáhnout:

- ovládním pohybu pouze zapisovacího členu ve směru obou souřadnicových os
- ovládním pohybu zapisovacího členu ve směru jedné a pohybu nositele záznamu ve směru druhé ze souřadnicových os

První způsob je užíván např. u souřadnicových kreslicích stolů a v technologických aplikacích (přesné opracovávání hlavně velkoplošných materiálů), druhý často u velkoformátových grafických tiskáren a plotterů.

Souřadnicové zapisovače spojitě pracujících měřících a registračních zařízení jsou ovládány analogovými kompenzačními ústrojími. Pro číslicové řízení je lze vybavit číslicově - analogovými převodníky (např. číslo - napětí). Pro spolupráci s číslicovými zařízeními, hlavně počítači, jsou však určeny souřadnicové zapisovače s přímým číslicovým řízením, které pracují s přírůstkovými servomechanismy. Ty zajišťují krokový posuv zapisovacího členu, odpovídající číslicovému vyjádření vstupní veličiny. Časté je též použití otočných nebo lineárních krokových motorků.

U *kreslicích stolů* má záznamová deska rozměry až 2 x 3 m. Papír se na ni upevňuje zpravidla elektrostaticky. Nad ní pojíždí ve směru jedné osy zapisovací rameno, po kterém se ve směru druhé osy pohybuje vozík se zapisovacím členem. Ten tvoří buď kreslicí hlavice s několika pisátky (různé barvy a tloušťka čar) nebo se pisátka při potřebě jejich výměny ukládají v zásobníku na boku pracovní plochy. V okamžiku zápisu sklopí elektromagnet zapisovací člen do pracovní polohy. Obdobným způsobem pracují i polohovací mechanismy suportů obráběcích center. Suport obráběcí jednotky s pohonem a zásobníkem nástrojů se pohybuje nad pracovním stolem s mechanicky nebo pneumaticky upnutým materiálem. Vodorovný pohyb suportu, druhy nástrojů i vertikální úroveň nástroje jsou řízeny počítačem.

Grafické tiskárny představují periferní jednotky, které mají záznamové zařízení shodné s jehličkovou nebo inkoustovou hlavou (jedno nebo více barevnou) běžných tiskáren. Hlava se pohybuje na vozíku, vedeném podélně nad pogumovaným válcem délky až 1.200 mm. Přes válec je převěšen papír délky i několika metrů, přitláčený soustavou pryžových kladiček. Pohon válce (oběma směry) a tím i posuv papíru je ve směru jedné osy, posuv vozíku s hlavou je na něj kolmý ve směru druhé osy. Podle provedení tiskárny a způsobu řízení je tisk buď bodový nebo liniový. Výhodou vzhledem k předchozím je úspora místa, nevýhodou nemožnost pracovat s pevnou podložkou.

Měřicí ústředny

Rozsáhlejší zařízení vyžaduje v krátkém čase změřit a zaznamenat hodnoty měřených veličin z celé řady snímačů. K tomu se používají měřicí ústředny. Měřicí ústředna je systém pro automatické měření a vyhodnocování velkého počtu veličin s možností jejich přímého zpracování a záznamu. Signály ze snímačů, upravené na jednotný, unifikovaný signál, se přivádí na vstupní přepínač. Přepínač - elektronický multiplexor, ovládaný řídicí jednotkou (počítačem), přepíná a postupně zpracovává v nastaveném režimu hodnoty jednotlivých veličin a zaznamenává též okamžik jejich zpracování - čas. Záznam se provádí většinou v číslicové formě na diskety. Mimo to lze průběh okamžitých hodnot kterékoli veličiny sledovat i na displeji (zobrazovací jednotce). Měřicí ústředny umožňují podstatně snížit počet vyhodnocovacích přístrojů, používaných pro dané měření, centralizují měření a zpřehledňují provoz. Umožňují tak operátoru technologického procesu kontrolovat celkový stav zařízení.

Pro úplnost nutno poznamenat, že s výjimkou velmi jednoduchých zařízení jsou dnes klasické registrační měřicí přístroje z mnoha aplikací vytlačovány počítači. Mají mnohostranné použití, poskytují větší komfort obsluhy a jednoduchou přizpůsobitelnost konkrétním podmínkám měření i požadavkům uživatele na formu zpracování výsledků měření. Cenový rozdíl přitom již není tak citelný.

Vlastnosti

Z hlediska použitelnosti přístrojů a zařízení při měření jsou důležité parametry, obdobné vlastnostem, definovaným pro snímače :

- *přesnost* - vyjadřuje celkovou úroveň chyb, jimiž je měření zatíženo. *Reprodukovatelnost měření* nebo *stálost* přitom vyjadřuje vliv náhodných chyb, *správnost* vliv chyb systematických. Vyjadřuje se převážně v procentech (\pm) ze zvoleného měřicího rozsahu u analogových přístrojů nebo počtem platných číslic hodnoty výsledku u číslicových přístrojů.

- *citlivost* - vyjadřuje poměr mezi změnou hodnoty měřené, tj. vstupní veličiny a změnou hodnoty sledované, tj. výstupní veličiny. Udává se buď na plný rozsah přístroje (např. citlivost voltmetru je 10 V na plnou výchylku) nebo vztahem převodu (např. u termoelektrického teploměru $0,1^{\circ}\text{C}$ na 1 dílek stupnice). U přístrojů, které neměří velikost signálu je citlivost udána pro nejnižší úroveň signálu, při které lze měření ještě provést (např. citlivost měřiče frekvence je 10 mV).
- *měřicí rozsah* - je rozpětí hodnot měřené, vstupní veličiny, ve kterém je možné daným přístrojem měřit s uvedenou přesností. Mimo tento rozsah hrozí též nebezpečí poškození přístroje. U převodníků a zdrojů měrných signálů se obdobně udává rozsah nastavitelnosti výstupního signálu (např. u převodníku frekvence/napětí citlivost nastavitelná v rozsahu 0,1 - 2 V na 1 kHz).
- *frekvenční rozsah, pásmo* - je obdoba měřicího rozsahu. Udává rozsah kmitočtů měřené vstupní veličiny, ve kterém je možné daným přístrojem měřit s uvedenou přesností (např. nízkofrekvenční milivoltmetr [nV mV-metr] pro pásmo 0 až 100 kHz).
- *rychlost měření* - udává nejkratší dobu, za kterou je přístroj schopen provést měření v rámci dané přesnosti. U analogových přístrojů se udává dobou jednoho měření podle přechodové charakteristiky (neudává se vždy), u číslicových přístrojů je dána nejvyšším počtem měření za sekundu.
- *podmínky měření* - udávají rozsahy podmínek, za kterých jsou zachovány vlastnosti (hlavně přesnost) měření. Jde zejména o teplotu, vlhkost a tlak vzduchu, polohu přístroje, napájecí napětí, vnější rušivá pole a pod. Podmínky jsou vymezeny podle typu přístroje a jsou udávány pro vlastní měření i pro skladování a dopravu (odlišné).

Stabilní měřicí přístroje mají přesně vymezen účel použití - jsou určeny pro měření jedné konkrétní veličiny v daném rozsahu. Měřicí přístroje přenosné nebo pro laboratorní použití jsou často víceúčelové. Dovolují měřit více veličin (někdy i současně) a pro každou veličinu je většinou k dispozici více rozsahů, přepínaných ručně nebo automaticky. Výše uvedené vlastnosti jsou potom pro měření každé veličiny jiné. Některé vlastnosti (přesnost, zatěžovací odpor, ...) přitom mohou být odlišné i u jednotlivých rozsahů téže měřené veličiny. Podrobný popis technických vlastností je proto vždy součástí návodu na obsluhu nebo uživatelské příručky, která je přikládána ke každému přístroji. Mimo to vydává výrobce pro servisní účely příručku, obsahující podrobnou dokumentaci a návod na údržbu, opravy a seřízení.

Chyby měření

kapitola 2.3

Při každém měření je důležitá jeho *přesnost*. Jsou na ní kladeny různé nároky. Obecně je snaha měřit co nejpřesněji, s rostoucími požadavky na přesnost měření však roste i technická složitost zařízení a náklady na jeho realizaci.

Chyby, které při měření vznikají, mají různý původ a různě se i projevují.

Podle projevu jsou to chyby :

- *systematické* - jsou způsobeny nedokonalými statickými i dynamickými vlastnostmi měřících přístrojů a zařízení, chybami jejich nastavení nebo cejchování, ale také trvalou chybnou nebo nedůslednou obsluhou. Projevují se za stejných podmínek stejnou odchylkou naměřené a skutečné hodnoty.
- *náhodné* - jsou způsobeny nedokonalostí vlastních přístrojů v kombinaci s nedokonalostí obsluhy a rušivými vlivy okolí, které nejsou známy a od jejichž působení nemůžeme měření izolovat. Jejich vlivem nabývá výsledek měření v určitých mezích náhodně libovolných hodnot.

Podle původu lze tytéž chyby rozlišovat na *chyby metodické*, volíme-li nevhodný postup nebo přístroj, *chyby přístrojů*, je-li chyba v provedení nebo stavu přístroje, *chyby osobní*, které způsobuje nekvalifikovaná nebo nedbalá obsluha, mohou vzniknout *chyby poruchou* přístroje, zapojení a další.

Chyby se vyjadřují hlavně:

- *v jejich skutečné hodnotě* (vhodné např. u systematických chyb vzniklých posuvem o známou hodnotu). Je-li x_s skutečná hodnota veličiny a x hodnota naměřená, potom rozdíl

$$\Delta x = x - x_s, \quad \text{případně} \quad -\Delta x = x_s - x$$

je *absolutní chyba*.

- *v relativní hodnotě* (vhodné např. je-li systematická chyba \pm stálou částí skutečné hodnoty). V tom případě

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_s}, \quad \text{případně} \quad \delta'_x = \frac{\Delta x}{x}$$

je *relativní chyba*.

- v procentech. Při něm je

$$\delta_{\%} = \frac{\Delta x}{x_s} \cdot 100 \quad .$$

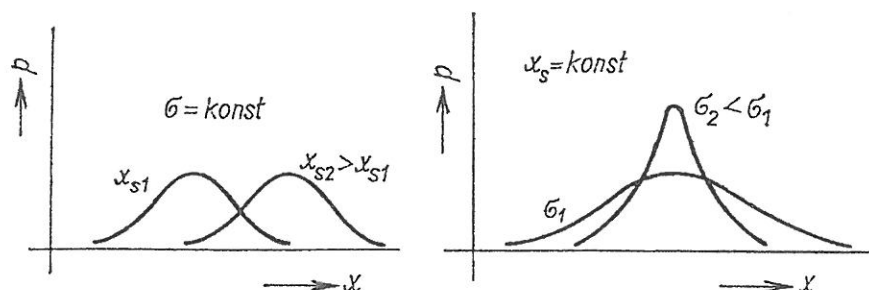
Chyby se snažíme *korigovat* - zcela nebo na nejmenší možnou míru.

Systematické chyby, které mají původ ve statických vlastnostech přístrojů, můžeme, pokud je známe, eliminovat výpočtem. Při stálé odchylce hodnotu odečteme nebo přičteme, při stálé relativní hodnotě chyby vynásobíme naměřenou hodnotu daným koeficientem. Chyby však mohou mít i nelineární charakter a potom je jejich matematická eliminace složitější. Jsou-li způsobeny dynamickými vlastnostmi přístrojů, je jejich korekce obtížná a možná pouze do určité míry.

Náhodné chyby lze vzhledem k jejich charakteru korigovat pouze do určité míry a to pomocí vyrovnávacího počtu. Při studiu jejich výskytu se již r. 1823 německý matematik a astronom Karl Fridrich Gauss (1777 - 1855) dopracoval k následným axiomům:

- kladné a záporné chyby téže velikosti se vyskytují se stejnou pravděpodobností
- malé chyby se vyskytují častěji než velké.

Výsledky jednotlivých měření x , zatížené náhodnými chybami, kolísají kolem skutečné hodnoty měřené veličiny x_s . Pravděpodobnost jejich výskytu je vyjádřena hustotou pravděpodobnosti p podle *normálního zákona*, tzv. normální nebo Gaussovo rozložení. Názorné je jeho grafické vyjádření :



Obr. 2.3.1 - Gaussovy křivky normálního rozložení

Skutečná hodnota měření x_s není známa, běžně se proto používá její odhad. Za nejspolehlivější je pokládán *aritmetický průměr naměřených hodnot*

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad ,$$

kde n je počet naměřených hodnot.

Aritmetický průměr se vyznačuje tím, že součet zdánlivých chyb (tj. odchylek naměřených hodnot od průměru) je nulový a součet druhých mocnin zdánlivých chyb je nejmenší :

$$\sum_i (x_i - \bar{x}) = 0 \quad , \quad \sum_i (x_i - \bar{x})^2 \rightarrow \min. \quad .$$

K posouzení přesnosti měření slouží nejčastěji střední kvadratická chyba jednoho měření σ . Tu však též v praxi nelze zjistit, protože ji nemůžeme vztáhnout ke skutečné hodnotě měřené veličiny x_s . Spokojujeme se tedy s jejím odhadem s , vztazeným k aritmetickému průměru \bar{x} :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Aritmetický průměr \bar{x} je vzhledem ke způsobu jeho získání rovněž náhodnou veličinou a jako takový má i on svoji střední kvadratickou chybu σ_x .

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

kterou jsme nuceni nahradit odhadem s_x

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Střední kvadratická chyba $\sigma \cong s$ má podle normálního zákona nejvyšší matematickou naději (= součin velikosti chyby a pravděpodobnosti jejího výskytu). V rozsahu $\pm \sigma$ leží přibližně 68 % všech chyb. Výskyt chyby mimo hranice $\pm 3\sigma$ má pravděpodobnost menší než 0,3 %. Hodnotu $\pm 3\sigma$ proto udáváme jako *maximální přípustnou chybu*.

V praxi naměříme často opakovaným měřením tutéž hodnotu. Neznamená to však bohužel, že měření je bez chyb, pouze citlivost použitého zařízení je natolik malá, že vliv náhodných chyb, ale i skutečných malých odchylek hodnoty měřené veličiny nezaznamenává.

Hrubé náhodné chyby vzniklé obsluhou nebo poruchou přístroje nepředpokládáme. Vzniknou-li však a nelze-li měření po opravě a kontrole opakovat, považujeme extrémně odlišné hodnoty za chybné a z naměřené soustavy hodnot je vypouštíme. Tento postup je však třeba provádět uvážene (obecná kritéria postupu nejsou příliš spolehlivá, obzvláště při větším počtu podezřelých hodnot), neboť jím lze často podstatně ovlivnit přesnost i vlastní výsledky měření.

L i t e r a t u r a :

- Švec, J. a kol. : Příručka automatizační a výpočetní techniky,
SNTL Praha 1974
- Vavřín, P. a kol.: Malá encyklopedie elektrotechniky, Automatizační technika,
SNTL Praha 1983
- Binder, J. : Základy automatického řízení
SNTL Praha 1987
- Maršík, A. : Automatizační technika,
SNTL Praha 1986
- Zajac, E. : Základy automatizácie a technickej kybernetiky,
VŠLD Zvolen 1988
- Havlíček, M., Wanke, J.: Angličtina pro elektrotechniky,
SNTL Praha, 1984
- Kolektiv : Polovodičové součástky TESLA
Tesla Olomouc 1982