

Ing. Václav Z i m a , VÚHU

Číslicové měřicí metody v třífázové soustavě a jejich uplatnění na dobývacích strojích v koncernu SHD

Úvod

Rozvoj energetiky si vyžádal přehodnocení tradičního pojetí odběru elektrické energie a hodnocení jeho kvality. Byl vypracován nový teoretický model třífázové soustavy, navrženy nové způsoby měření elektrické energie a vyvinuty prakticky použitelné měřicí soupravy. Ty bylo možné realizovat již s použitím lineárních integrovaných obvodů. V současné době je vyráběn široký sortiment analogových souprav, které vyhovují novému pojetí třífázové soustavy.

V posledních letech se v měřicí technice stal mikropočítač základním stavebním prvkem. Umožnil aplikovat řadu poznatků z teorie diskrétního zpracování signálu. To platí i o systémech určených pro měření veličin v třífázové soustavě. Moderně koncipované mikropočítačové soupravy mají často víceprocesorovou strukturu a umožňují hodnotit třífázovou soustavu po stránce kvalitativní i po stránce kvantitativní.

Vliv výkonové elektroniky na třífázovou soustavu

S rozvojem silnoproudé polovodičové techniky přibývají odběratelé elektrické energie, kteří provozují zařízení výkonové elektroniky. Třífázová soustava je proto zatěžována nesinusovými proudy a nesouměrně. Nelze již tedy vystačit s tradičním způsobem měření elektrické energie, příkonu, efektivních hodnot

proudu a účinníku. Bylo nutné zavést jiné způsoby měření těchto veličin a jiná kritéria hodnocení kvality odběru. Tradiční způsob měření a hodnocení odběru neuvažuje s působením vyšších harmonických v proudové soustavě a s důsledky nesouměrnosti a nevyváženosti odběru. Nesouměrnost a nesinusovost odběru je doprovázena pulzačním a deformačním výkonem. Speciálně ve čtyřvodičové soustavě je pak nevyváženost odběru provázena skrytým výkonem. Jedná se o newattové výkony, ale jejich vlivem dochází k větším ztrátám v pasivních odporech soustavy. Jejich míra se vyjadřuje činitelem nesouměrnosti, deformace a nevyváženosti. Podstatně byl přehodnocen též pojem účinníku, jehož interpretace pomocí fázového posuvu mezi proudem a napětím ztrácí v netradičním pojetí smysl.

Je zřejmé, že tradiční model třífázové soustavy řadu faktorů opomíjí a nemůže podávat kvalitní informace o jejím skutečném stavu.

Měřicí soupravy a způsoby měření v třífázové soustavě

Wattové i newattové výkony, efektivní hodnoty proudu, účinník a činitelé kvality odběru jsou v netradičním modelu soustavy dány poměrně složitými analytickými vztahy. K získání jejich hodnot je nutné provádět řadu dílčích aritmetických úkonů mezi okamžitými, středními a efektivními hodnotami elektrických veličin soustavy. Často je třeba oddělovat základní a vyšší harmonické. Prostředky pro realizaci vyhovujících měřicích souprav poskytla již analogová technika. S použitím lineárních integrovaných prvků lze sestavovat rozsáhlé výpočetní sítě a aktivní filtry. Z těchto obvodů je dnes vyráběn široký sortiment analogových měřicích souprav, které dostatečně vystihují netradiční model třífázové soustavy. Výstupy souprav jsou většinou realizovány v podobě stejnosměrného nebo frekvenčně modulovaného signálu. Proto je lze snadno začlenit do řídicích, měřicích nebo

výpisových systémů. Poskytují informace pro úplné kvantitativní hodnocení odběru a většinu informací pro kvalitativní hodnocení. Plně vyhovují ve většině průmyslových aplikací, kde je nutné kvalitu odběru sledovat.

Pro hlubší analýzu proudové a napěťové soustavy po stránce vyšších harmonických však analogová technika již zcela nepostačuje. Zde přináší nové možnosti mikropočítačová technika a metody diskrétního zpracování signálu. Např. číslicové filtrace nebo spektrální analýza. Rychlou aplikaci těchto metod umožňuje nová generace mikropočítačové techniky. Jsou to např. signálové procesory. Jejich instrukční soubory a programovací jazyky umožňují v jejich pamětech vytvářet efektivní programy pro rychlý výpočet analytických výrazů, algoritmy pro číslicovou filtraci a spektrální analýzu signálu. Signálové procesory mají velký význam v systémech, které pracují s analogovým prostředím v reálném čase. Jako příklad lze jmenovat signálové procesory I 2920 firmy INTEL, PD 7720 firmy NEC nebo TM 320 firmy TEXAS INSTRUMENTS.

Z analogových souprav lze jmenovat např. převodníky elektrických veličin na stejnosměrný proud. U nás jsou vyráběny pod označením NC a NCZ firmou METRA a v zahraničí firmou SIEMENS. Jsou využívány v průmyslových rozvodnách pro kvantitativní hodnocení odběru.

Plně číslicové soupravy jsou určeny především pro diagnostiku sítě v průmyslových rozvodnách a zkušebnách. Lze jmenovat např. výrobky firmy SIEMENS, která vyrábí řadu specializovaných síťových analyzátorů, transient recordérů, ale též příručních číslicových přístrojů pro měření výkonu, efektivních hodnot proudu a účinníku.

Mikropočítačový měřicí systém a jeho uplatnění v třífázových soustavách na dobývacích strojích

Oddělení energetické náročnosti VÚHU Most má ve své pracovní náplni též měření na pohonech dobývacích strojů a pásové dálkové dopravy. Většinou se jedná o měření výkonu, proudu a účinníku v rozvodných soustavách, ze kterých jsou pohony nebo jejich skupiny napájeny. S přibývajícím silnoproudou elektronikou v rozvodnách SHD přibývá požadavků na měření v rozvodných soustavách, ze kterých jsou zařízení silnoprůdné elektroniky napájeny. Zde nelze tradiční měřicí techniku úspěšně použít.

Z nedostatku vhodné měřicí techniky pro tyto účely na našem trhu, jsme se rozhodli řešit nepříznivou situaci vlastními silami. Protože jde o problematiku komplikovanou, navázali jsme spolupráci s Ústavem radiotechniky a elektrotechniky ČSAV. Výsledkem spolupráce je univerzální měřicí systém, který umožňuje aplikovat některé poznatky z diskretního zpracování signálu.

Technické prostředky měřicího systému

Přístroj je řešen jako univerzální mikropočítačový měřicí systém, který pracuje ve sběrnici STD. Řídícím prvkem je deska osmibitového mikropočítače s procesorem U 880D. V systému je dále deska paměti RWM 64 Kbyte, deska videosignálu a deska řadiče disketových pamětí. Blokové schéma měřicího systému je v příloze 1. Styk s analogovým prostředím zajišťuje deska analogově-číslicového převodníku a deska číslicově-analogových převodníků (AD systém a DA systém). AD systém umožňuje snímat čtyři analogové napěťové signály v rozmezí ± 5 V. Jeho vstupní část je tvořena analogovým čtyřkanálovým multiplexerem, měřicím zesilovačem a vzorkovacím zesilovačem. K analogově číslicovému

převodu je použit rychlý převodník AS 572. Do sběrnice STD je začleněn obvodem MHB 8255. Blokové schéma AD systému je v příloze 2. DA systém je tvořen dvěma dvanáctibitovými monolitickými číslicově-analogovými převodníky, jejichž výstup je upraven na napěťový signál ± 5 V. Do sběrnice STD jsou převodníky začleněny opět obvodem MHB 8255. Blokové schéma DA systému je v příloze 3.

Konstrukčně je měřicí systém řešen jako modulová mikropočítačová stavebnice. Všechny desky jsou v jedné přístrojové skříni ALMES tzv. "Malého evropského formátu". Ve skříni je pevně zabudován napájecí zdroj DAB 08 ZPA Děčín a tištěný spoj sběrnice STD. STD je navržena pro osm pozic. Do systému lze tedy začlenit další dvě uživatelské desky.

Programové prostředky měřicího systému

VÝVOJOVÉ PROSTŘEDKY

Měřicí systém je provozován pod operačním systémem CPM, který je na osmibitových mikropočítačích dosti rozšířen. Uživatelské programy lze implementovat v jazyce symbolických adres nebo ve vyšším programovacím jazyce. Pro naše účely jsme zvolili "C" jazyk a Turbo Pascal. "C" jazyk je moderní strukturovaný jazyk, který kombinuje oba způsoby implementace uživatelských programů. To je výhodné při sběru a zpracování dat z AD systému, které probíhají v reálném čase a jsou zde vyšší nároky na rychlost. Bohužel verze překladače "C" jazyka, kterou používáme neobsahuje funkce pracující s pohyblivou čárkou. Proto jsme pro implementaci programů, které zpracovávají data z AD systému a neprobíhají v reálném čase použili Turbo Pascal.

UŽIVATELSKÉ PROGRAMY

.Naším záměrem bylo vybavit měřicí systém takovými programy, které vyhovují většině běžných měřicích úloh na pohonech dobývacích strojů. Je to např. snímání rychlých dějů v proudové napěťové soustavě při spouštění a provozu asynchronních motorů. Rychlých dějů na stejnosměrné straně tyristorových měničů, ale také pomalých změn el. veličin na pohonech dobývacích strojů při různých technologických postupech. Pro tyto měřicí úlohy jsme vyvinuli dva následující programy. Program AD 12 pro snímání rychlých dějů a program F4 pro snímání pomalých dějů. Pro měření el. veličin střídavých a stejnosměrných motorů používáme v současné době převodníky el. veličin na stejnosměrný proud řady NC nebo NCZ. Takto lze zvládnout řadu měřicích úloh na pohonech dobývacích strojů. Dále uvedeme stručný popis programu AD 12 a F4.

Program AD 12 je určen k digitalizaci analogových bipolárních signálů v rozmezí ± 5 V. Při digitalizaci jsou okamžité hodnoty vzorkovaných signálů ukládány do paměti. Po skončení digitalizace jsou data z paměti uloženy do typového souboru na pružný disk. Před spuštěním digitalizace je nutné zvolit tyto parametry:

f_v - vzorkovací kmitočet /Hz/

P_s - počet měřených signálů

D_z - délka záznamu /s/.

Volba vzorkovacího kmitočtu f_v může podstatně ovlivnit kvalitu digitalizované formy signálu. Velikost kmitočtu proto musí vždy splňovat Shannonovu větu o vzorkování a je jí nutné volit s ohledem na charakter signálů. Pro všechny signály je společný vzorkovací kmitočet. Z tohoto důvodu musí být měřené signály z hlediska svých spekter podobné. Nutno podotknout, že volba vzorkovacího kmitočtu je v teorii diskrétního zpracování signálu rozsáhlou partií a nelze ho jednoduše analyticky určit.

Parametry lze v programu AD 12 volit v těchto mezích:

f_v - 64 až 8 192 /Hz/

P_s - 1 až 4

D_z - 1 až 8 192/($f_v \cdot P_s$) /s/.

Při vstupu hodnot parametrů jsou jejich meze kontrolovány a při jejich nedodržení je hlášena chyba. Soubory digitalizovaných signálů je možné textově interpretovat na konzole nebo v textovém souboru a graficky na liniový zapisovač. Všechny funkce programu je možné volit v menu interaktivním způsobem. Příklad použití programu AD 12 je v příloze 4.

Program F4 je určen pro měření středních hodnot čtyř bipolárních signálů v rozmezí ± 5 V v reálném čase. Střední hodnoty měřených veličin (signálů) jsou průběžně ukládány do paměti a pro dva signály jsou též analogově interpretovány DA systémem. Dobu jednoho měření lze zvolit takto:

$$T_{\text{stř}} = k \cdot 2\,800 \text{ /ms/}$$

kde k může nabývat hodnot 1 až 4.

Do vyhrazené paměti lze uložit 2 000 výsledných hodnot. Jestliže je vyhrazená paměť zaplněna, je měření ukončeno. Přerušit měření můžeme kdykoliv z klávesnice a potom jej opět spustit nebo ukončit. Informace o tom, kdy bylo měření přerušeno, je ukládána do pomocné proměnné a po ukončení měření je uložena společně s naměřenými daty do souboru na disku. Hodnoty ze souboru můžeme textově nebo graficky interpretovat. Textově na konzolu a v textovém souboru a graficky na liniový zapisovač. Všechny funkce programu lze volit v menu interaktivním způsobem. Příklad použití programu F4 je v příloze 5.

Oba popsané programy pracují s analogovým prostředím v reálném čase a jsou uzpůsobeny podmínkám na dobývacích strojích. Pro jejich implementaci byl použit "C" jazyk.

Pro další zpracování a vyhodnocení naměřených dat z diskových souborů je nutná pohyblivá čárka aritmetických operací a funkcí. Programy pro tyto účely jsme proto implementovali v jazyce Pascal. Pro ilustraci dále uvedeme stručný popis dvou takových programů.

Program LREG je určen pro statistické vyhodnocení dat získaných programem F4. Často není možné určit analyticky vztah mezi některými veličinami při technologických postupech na dobývacích strojích a je nutné užít statistických metod. Řadu takových závislostí lze s dostatečnou přesností nahradit lineární funkcí. Program LREG prokládá dvojicemi naměřených hodnot lineární funkci $Y = A + BX$. Dvojice lze před výpočtem upravit pomocí těchto parametrů:

- POSUV - posuv hodnot x a y o celistvý násobek doby I stř.
PERIODA - počet hodnot x a y , z kterých je vypočítána střední hodnota.

Tedy:

$$x_i = \frac{1}{\text{PERIODA}}$$

$$\sum_{j=1}^{\text{PERIODA}} x_j^j$$

$$y_i = \frac{1}{\text{PERIODA}}$$

$$\sum_{j=1}^{\text{PERIODA}} y_j^j + \text{POSUV}$$

kde:

$$i \in (1, \dots, (N - \text{POSUV})/\text{PERIODA})$$

kde N - celkový počet hodnot x a y .

Výstupem programu je textový soubor, který obsahuje protokol s charakteristikami vstupního souboru a výsledné přímky

$$Y = A + BX.$$

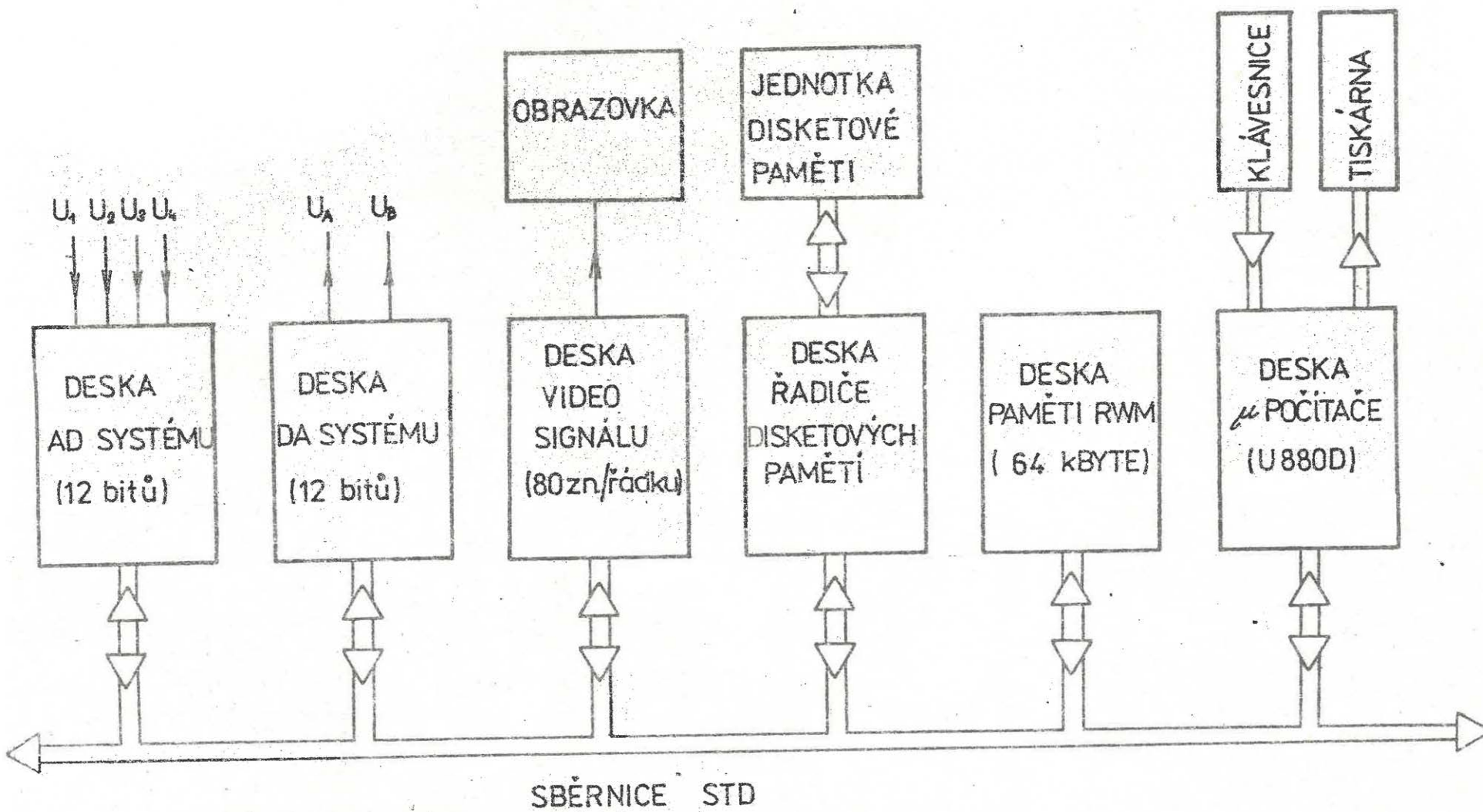
Příklad použití programu je v příloze 5.

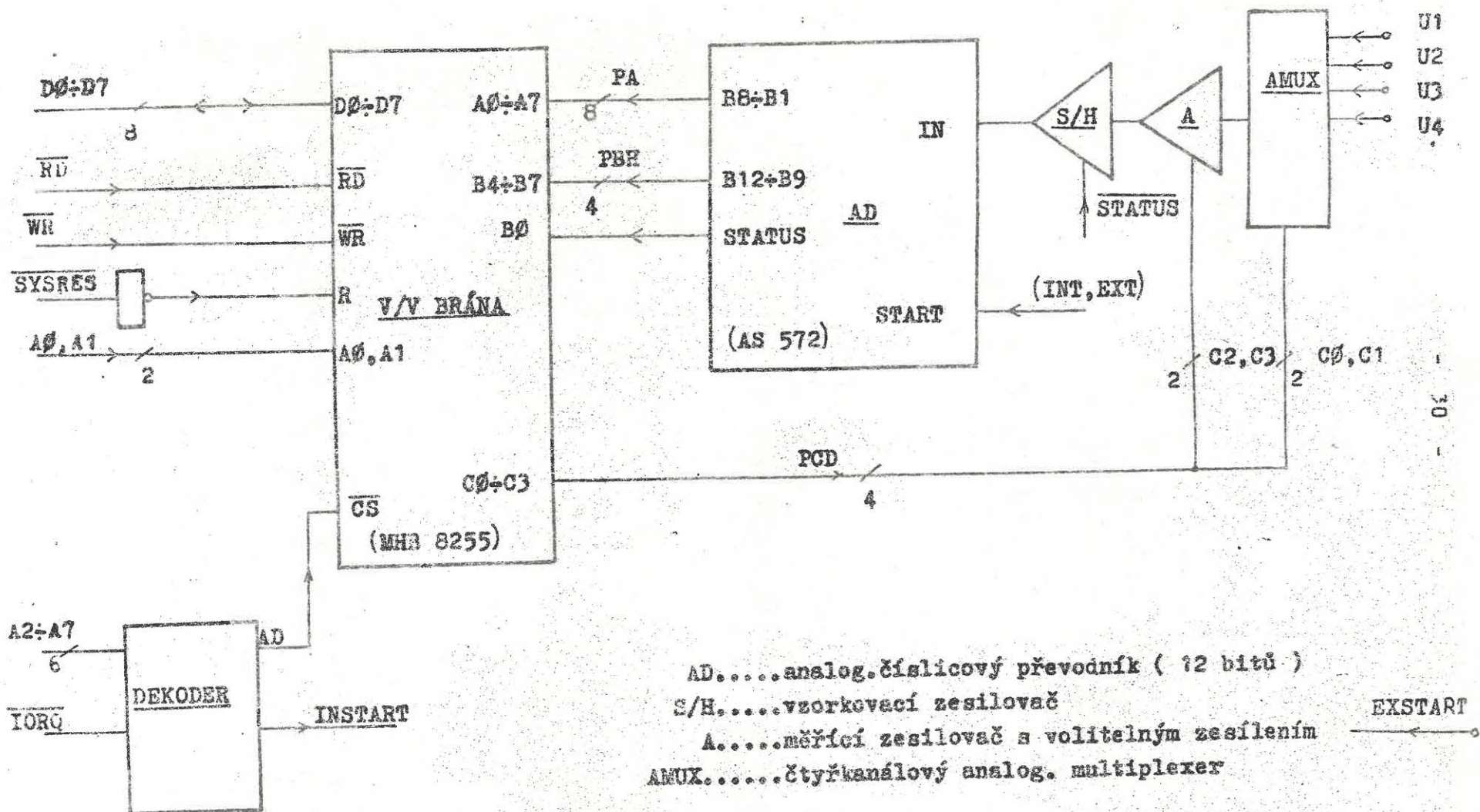
Program ENV je určen k výpočtu činného výkonu, jalového výkonu, zdánlivého výkonu, efektivních hodnot proudu a napětí, středních hodnot proudu a napětí a účinníku. Vstupem programu je typový soubor pořízený programem AD 12. Lze ho tedy použít k vyhodnocení přechodových jevů na asynchronních motorech apod. Výsledné hodnoty jsou zapsány do typového souboru na pružný disk. Lze je pak textově nebo graficky interpretovat. V-současné době je program ve vývoji, a proto neuvádíme příklad jeho použití.

S h r n u t í

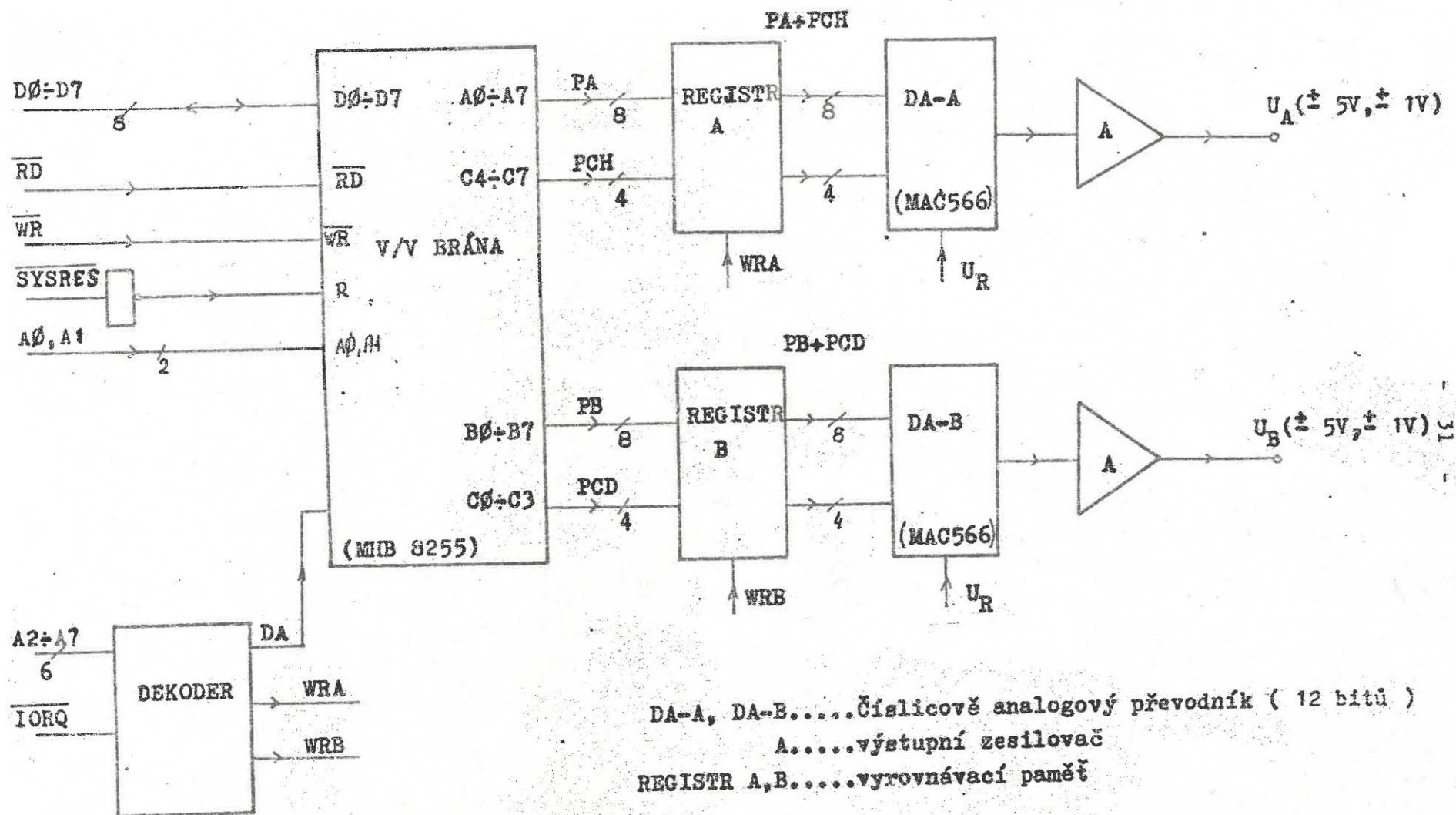
Cílem článku bylo naznačit směr, kterým se ubírá vývoj v měřicí technice používané pro hodnocení a měření veličin v tří-fázové soustavě. Záměrem však nebyl popis a výčet této techniky. Podle druhu aplikace se technické řešení těchto zařízení značně liší a hlubší rozbor této problematiky by si vyžádal samostatnou publikaci. Neuváděli jsme ani popis metod diskrétního zpracování signálů užívaných v měřicí technice, protože to je problematika přesahující rámec tohoto časopisu. Hlavní důraz jsme kladli na použití dostupné měřicí techniky ve specifických úlohách oddělení REN VÚHU Most.

Na příkladech jsme ukázali, jakým způsobem ovlivnila mikropočítačová technika a číslicové metody měření v praxi oddělení REN. Naším záměrem bylo též dokázat, že znalost vyšších programovacích jazyků je užitečnou pomůckou při řešení praktických měřicích úloh na dobývacích strojích. Technické prostředky pak lze snadno programově přizpůsobit zadaným problémům.





Príloha 2 Blokové schéma AD systému



Příklad použití programu AD 12Příklad 1

Cílem měření bylo zaznamenat průběh přechodového děje v proudové soustavě při spuštění pohonu válečkového roštu na stroji K 2000/1. Pohon je tvořen třemi asynchronními motory 500 V/55 kW. U všech tří motorů byl zaznamenán průběh proudu v jedné napájecí fázi. Při měření byly využity měřicí transformátory proudu 150 A/5 A, které jsou standartní výbavou obvodů měření a ochran válečkového roštu. Sekundární proud měřicích transformátorů byl převeden na napěťový signál, který vyhovuje vstupním obvodům měřicího systému.

Parametry programu AD 12 byly zvoleny takto:

$$f_v = 1000 \text{ Hz}; P_s = 3; D_z = 5 \text{ s.}$$

Na obr. 1 je ukázána grafická interpretace přechodového děje.

Příklad 2

Cílem měření bylo zaznamenat průběh přechodového děje proudu stejnosměrného pohonu otoče na stroji K 2000/1 při opření kolesového výložníku do svahu. Současně s proudem byla zaznamenána změna příkonu tyristorového měniče, ze kterého je pohon napájen. Proud pohonu byl snímán z bočníku 250 A/60 mV a galvanicky oddělen převodníkem stejnosměrného napětí na stejnosměrný proud NC 230. Příkon tyristorového měniče byl měřen převodníkem střídavého výkonu na stejnosměrný proud NC 090 (Arnovo zapojení). Parametry programu AD 12 byly zvoleny takto:

$$f_v = 250 \text{ Hz}; P_s = 2; D_z = 16 \text{ s.}$$

Na obrázku 2 je ukázána grafická interpretace zajímavé části zaznamenaného děje.

Příklad použití programu F4 a LREG

Úkolem měření bylo stanovit závislost příkonu nejvíce vytíženého motoru pohonu válečkového roštu na těžném objemovém množství na stroji K 2000/1. Jelikož analytické stanovení závislosti je obtížné, bylo nutné použít statistické metody. K získání vhodného statistického souboru byl použit program F4. Příkon byl měřen převodníkem střídavého výkonu na stejnosměrný proud. Objemové množství bylo snímáno z napěťového výstupu ultrazvukového měřiče, který je na stroji instalován. V programu F4 byla před měřením zvolena $I_{stř} = 2\,800\text{ ms}$. Měření bylo pořízeno asi 500 platných hodnot obou veličin při běžném provozu stroje.

Získaný statistický soubor byl pro různé parametry programu LREG podroben lineární regresní analýze. Nejpříjemnější výsledky byly dosaženy pro tyto vstupní parametry programu LREG:

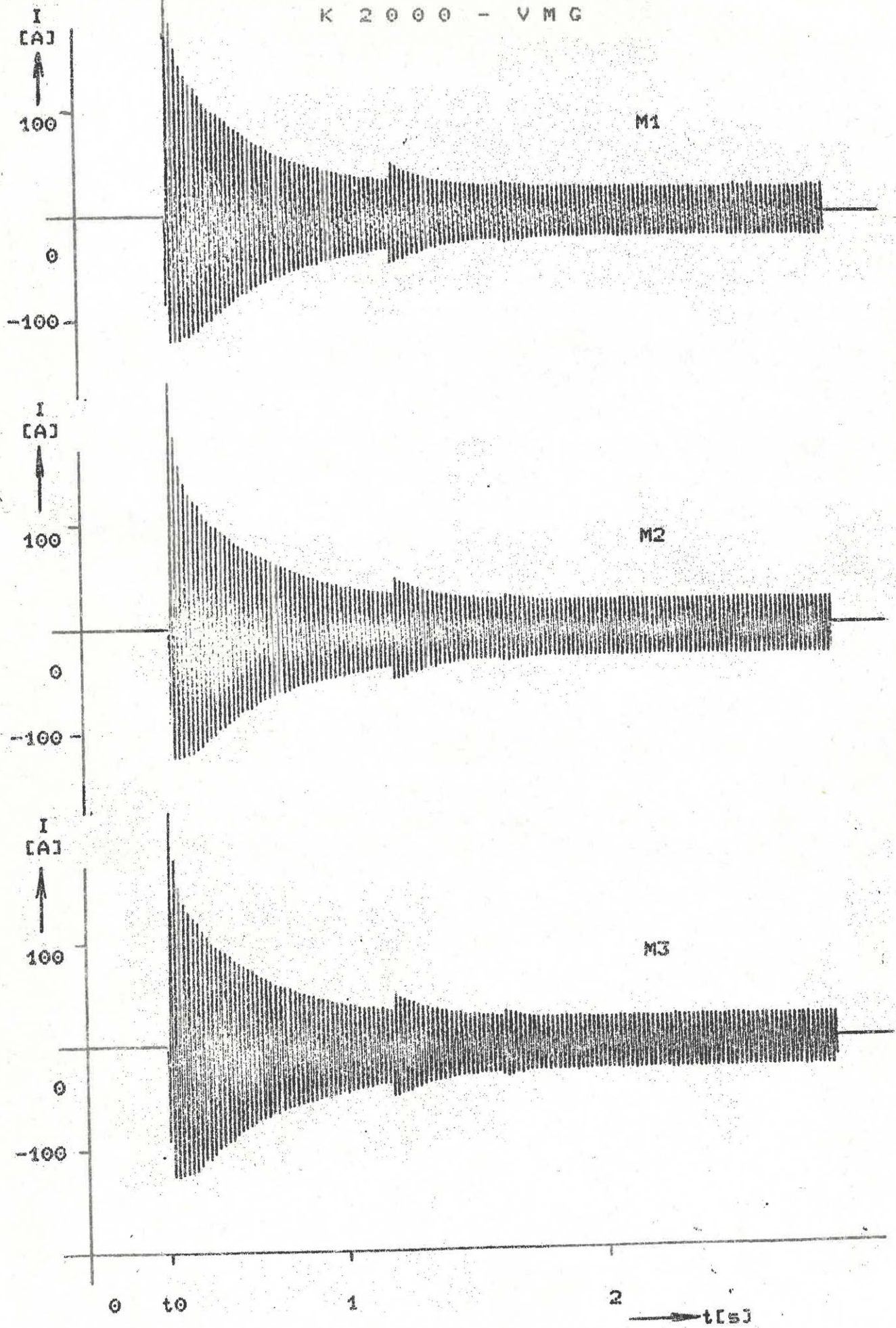
$$\text{POSUV} = 4; \text{PERIODA} = 1$$

a odpovídající rovnice:

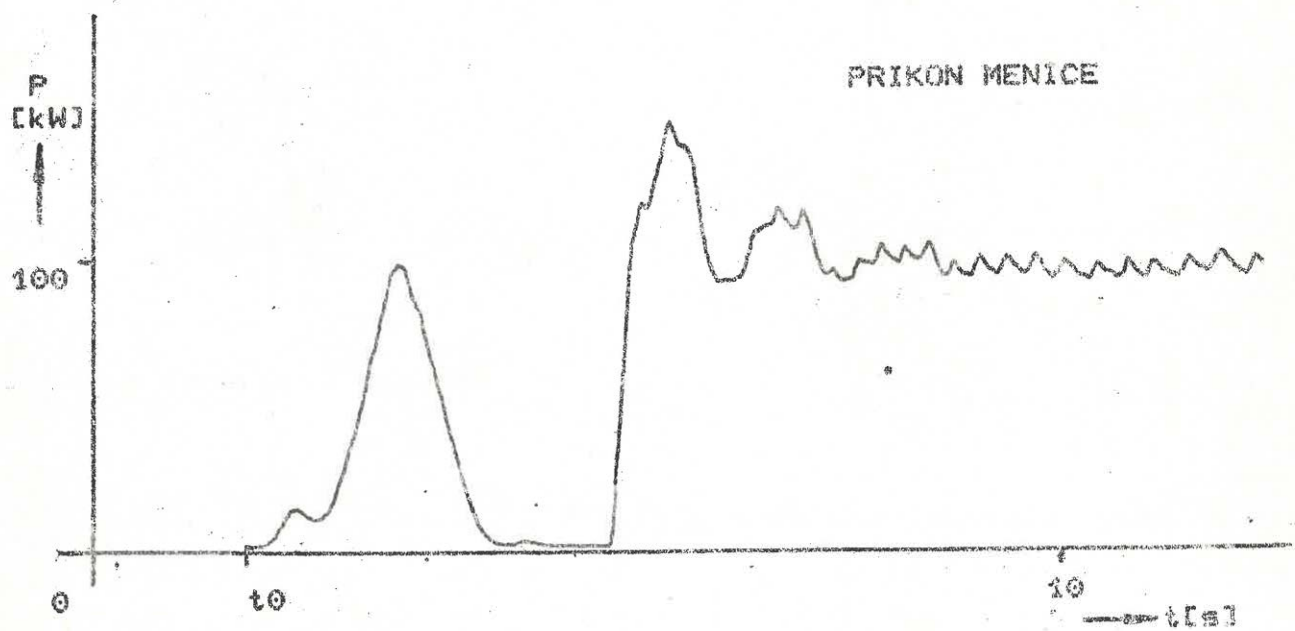
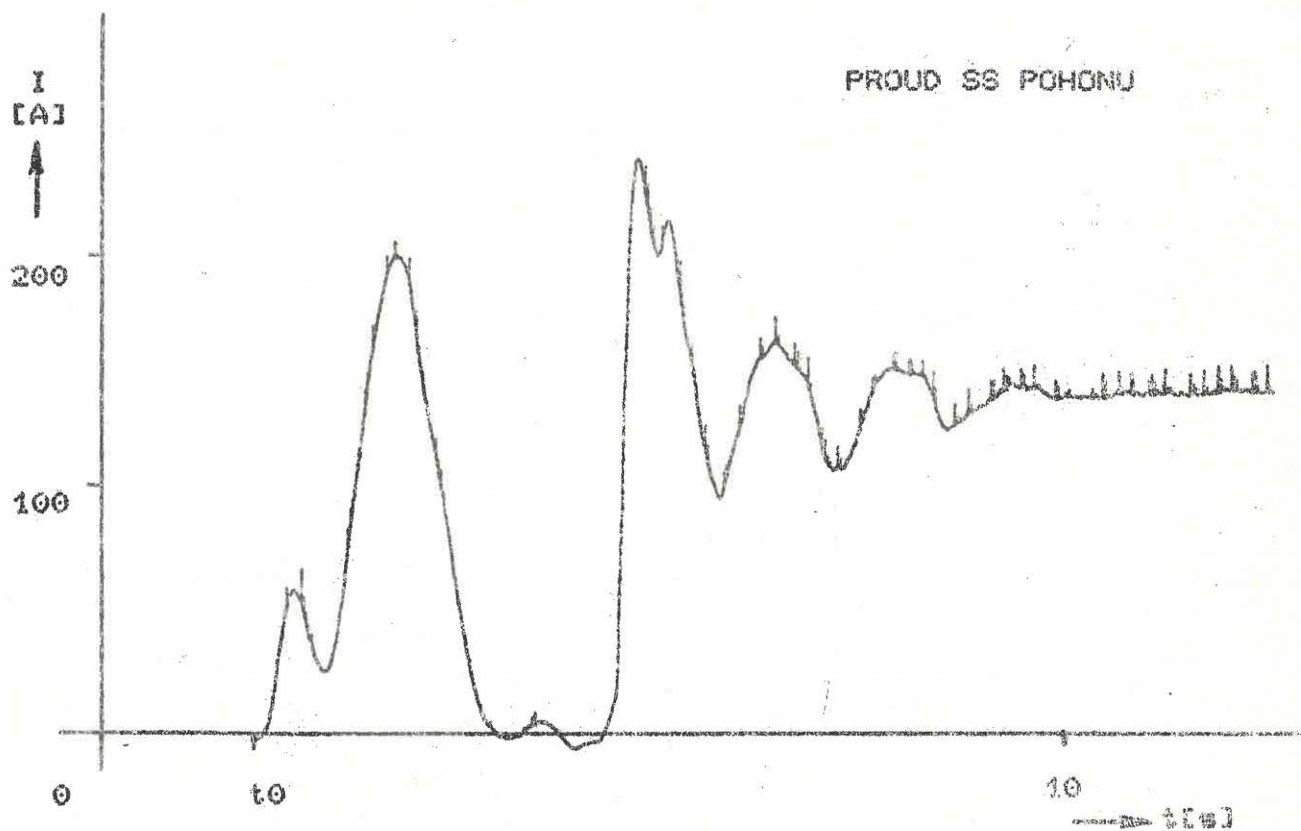
$$y = 6\,600 + 6,03x \quad /W; W; W/m^3; m^3/.$$

Určitá kontrola vyplývá ze skutečnosti, že časové zpoždění mezi objemovým měřičem a motorem je asi 12 s a příkon motoru na prázdko asi 6 kW.

Na obrázku 3 je výstupní protokol programu LREG pro uvedený případ.



K 2000 - V M G



* LINEARNI REGRESE $Y := A + BX$ *

SOUBOR ZDROJ.DIG :

=====

POCET VZORKU := 551

POCET KANALU := 3

Tstr := 2800 ms

VSTUPNI PARAMETRY:

=====

ZACATEK := 0

KONEC := 500

PERIODA := 1

POSUV := 4

KANALX := 4

KANALY := 2

REGRESNI PRIMKA: $Y = A + B \cdot X$

=====

X := 4958 m³ Y := 36493 W

A := 6595 W B := 6.03 W/m³

SA := 341 W SB := 0.07 W/m³

KKOR := 0.97

{STREDNI HODNOTY}

{ODHAD A a B}

{ODHAD CHYB A a B}

{KORELACNI KOEFICIENT}