

**PROCEEDINGS OF THE
ANNUAL MEETING
NEW METHODS AND PROCEDURES IN
AUTOMATIC CONTROL, INSTRUMENTATION AND INFORMATICS**

May 20-22, 2013

Hotel Karel IV.
Turnov, Czech republic

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION AND CONTROL ENGINEERING
CVUT IN PRAGUE



Contents

Emergent phenomena in Evolution of Shapes	1
BILA, JIRI	
Možnosti řešení saturace akční veličiny při použití regulátoru daného meromorfní funkcí	5
BUŠEK, JAROSLAV	
Obrábění progresivní čočky s evolventním profilem	7
HOŠEK, JAN	
Měření výkonu v neharmonických sítích	10
CHYSKÝ, JAN; KOŘÍNEK, PETR; NOVÁK, JAROSLAV; NOVÁK, MARTIN	
Rozlehlý distribuovaný řídicí systém	14
JURA, JAKUB	
In-cylinder Pressure Based Control Overview	18
KOUBA, ADAM	
Rozptýlené světlo	21
MACÚCHOVÁ, KAROLINA	
Current State of Development of the OSQAR Experiment Instrumentation	25
MACÚCHOVÁ, KAROLINA	
Porovnanie možností použitia základných štruktúr neuronových sietí pre riadenie procesu anodickej oxidácie hliníka	29
MICHAL, PETER; BUKOVSKÝ, IVO	
Adaptivní bimorfnní zrcadlo	34
NĚMCOVÁ, ŠÁRKA	
Progress on Construction of High-Speed Permanent Magnet Synchnous Machine	36
NOVÁK, MARTIN; NOVÁK, ZDENĚK; NOVÁK, JAROSLAV; NOVÁK, LUKÁŠ	
Optimization of the Stator Tooth Width in a PMSM Using Lua Scripting Engine in the FEMM Software	40
NOVÁK, ZDENĚK; NOVÁK, MARTIN; CHYSKÝ, JAN	
Průběh prací a cíle projektu "Výzkum inteligentních metod ekonomicko-ekologického řízení prototypu 100kW kotle na zbytkovou biomasu"	43
OSWALD, CYRIL	
Filtrování měřených dat při spalování biomasy	47
PLAČEK, VIKTOR	
Preparing electrodes for micro EDM milling	50
ŠINDELÁŘ, PETR	
Dynamic Stability of Electric Power Lines	53
UHLÍŘ, IVAN	
Zjišťování poměru amplitud a fázového zpoždění periodických signálů pomocí neuronu s dopravním zpožděním	56
VRÁNA, STANISLAV	
Řízení laboratorních úloh přes internet - inovace vzdáleného ovládání úloh v laboratoři automatického řízení	57
TRNKA, PAVEL; BAUEROVÁ, DANA; HOFREITER MILAN	

Emergent phenomena in Evolution of Shapes

Jiri Bila

Department of Instrumentation and Control Engineering,
Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague,
160 00 Prague 6, Czech Republic

Abstract— This paper is devoted to knowledge and symbolical environments for grasping of emergent phenomena. Respecting the fact that the origin of shapes of nature has its essence in emergencies the paper turns attention to formalisms for direct work with such “shapes” (Morphomatics).

Keywords— emergent situations; structural invariants; matroid bases; Ramsey numbers

I. INTRODUCTION (Heading 1)

After an enormous effort of physicists to discover beginnings of nature phenomena (as some typical nature shapes) and especially of the origin of our Universe (as the essential and largest emergence) it was formulated a vision of mathematic formalisms for future with the following properties:

- a) To be more qualitative than quantitative.
- b) To contain some traces of emergent phenomena that lead to nature shapes but no proper emergencies.
- c) To allow the direct work with shapes.

Author [1] titled such a „mathematics“: *Morphomatics*.

Emergent phenomena for the sake of their uniqueness form obstacles to a traditional approach in search for solutions of a given task. It is possible to name long file of interesting books and papers that stroked a non perforable wall.

In this paper we slightly shifted this wall though not too much. Application of the approach that has been formed for emergent situations in role of natural shapes, e.g., in [7] and continued, e.g., in [3] has been oriented in last years to ecosystems [2], [4] and [5]. In this paper are introduced formal and computational tools that had been published in recent works in more general context.

II. TYPES OF EMERGENT SITUATIONS

Better is now to speak about “Surprising situations”. There are three types of such situations:

A. Situations that were surprising and in a certain context can be considered as surprising

Their causes and their output forms (outputs, shapes) are known. It is possible to recognize them and predict their appearance. Examples of processes and systems that generate such situations are, e.g.:

Belousov-Zhabotinski reaction; environments for initiation of solitons; oregonator; brusselator - and they belong to the

field of Synergetics. Such situations are **not** Emergent Situations.

B. Situations that were surprising and in a certain context are still surprising

Their causes are not known however their output forms are known. Such situations are **Emergent situations** (EMSs). They have the following properties:

b1) The situation appears suddenly without explicit association with situations of the previous relevant context in the system.

b2) The situation appears as a discrete object, fact, shape.

b3) The shape of situation has been recognized, it is described and stored. (I.e., we have a model how such a situation looks.)

b4) The global reason of such a situation appearance is a violation of the system structure (not of the system function).

b5) The detailed reasons and the internal causes of the appearance of situation are not known (i.e., it is impossible to propose a complete model of situation evolution and prediction).

b6) For the detection of such a situation we have only indirect associated means. It is possible only to detect it or to detect its possible appearance.

Situations that belong to this class are, e.g.: Change of strategy of behavior in a swarm colony; appearance of floods; resonance in dynamic system; appearance of Rough waves; traffic jam.

C. Situations that could be surprising. Nor their causes neither their output forms are known.

Such situations are **Emergent situations** (EMSs). They have the following properties:

c1) The situation appears suddenly without explicit association with situations of the previous relevant context in the system.

c2) The situation is assumed and surmised as a discrete object, fact, shape.

c3) The global reason of the situation appearance is assumed as a violation of the system structure (not of the system function).

c4) For the detection of such a situation we have only indirect associated means. It is possible only to detect it or to detect its possible appearance.

c5) From item c1) implies that is impossible to propose a complete model or test before it first operates. More – respecting c1), c2) and c3) - it is difficult to model and to process *such situations by means of numerical spaces and functions that are based on some concept of continuity.*

Situations that belong to this class are, e.g.:

Possible instabilities in Ecosystems; sharp growth of extents of large towns; appearance of artifacts in nano-structures; situations of discoveries in Conceptual Design; the violation of supersymmetries in quantum mechanics.

III. COGNITIVE TOOLS FOR INVESTIGATION OF CONDITIONS OF APPEARANCE OF EMERGENT SITUATIONS (CAEMSS)

In classical approach we search for some measurable representative variables and we try to determine and compute some limit values indicating *Conditions of Appearance of Emergent Situations* (CAEMSS).

For example in case of a sudden arise of traffic jam we find variables as

(the density of car file, the average velocity of cars, the average distance between cars, the average number of braking of individual car during half of an hour, the average number of stopping of individual car during half of an hour)

and we verify by simulation the variants of values of these variables - here is one of them:

(the density of car file (150 cars /km), the average velocity of cars (80 km/hour), the average distance between cars (10 m), the average number of braking of individual car during half of an hour (15), the average number of stopping of individual car during half of an hour (7)).

This approach is very “economic” however it does not represent relations between individuals. (Impossible, e.g., for monitoring of flights.)

For rather multidimensional systems we have to descend more deep into principles of modeling:

III.1 Level of the description (LD)

Constructed LD could allow to represent interactions between elements (components) of the system.

- In constructed LD can be used a few types of modeling schemes, e.g., „Model of Reality (M_R)“, „Sign Model - Interpretation Space (SM/IS)“, „Macrostructure - Microstructure (MA/MI)“, as it was described, e.g., in [7].
- LD sharply distinguishes between model of structural features and model of functional properties.

III.2 Structural Invariants (SIs)

- SIs „defend“ the structure of the system against possible transformations.

- SIs represent a „constant part“ of interactions between elements (components) of the system.
- Violation of SIs indicates and detects arise of EMS.

In [7], there were introduced and described some essential types of SIs, e.g., “Matroid and its Bases”, the pair “Dulmage-Mendelsohn Decomposition, Tree Ordering”, the pair “Hasse Diagram, Set of Associated Rules” and “Algebra of Transformations on the Set of Situations”. In this paper will be used only one type structural invariant: **Matroid and matroid bases.**

III.2.1 Matroid and Matroid bases as a structural invariants

Matroid has the following pleasant properties:

- It is possible to construct it for each set of elements when we have the relation of independence or when they are given independent sets.
- There are investigated the all elements with regard to relation of independence.
- The relation of independence is very adaptable (from unary, binary till n-ry relation).

Matroid is usually introduced as the following structure

$$M = \langle X, IND, \{N_1, N_2, \dots, N_n\} \rangle = \langle X, B \rangle, \quad (1)$$

where X is the ground set of elements (components), IND is a relation of independence, N_1, N_2, \dots, N_n are independent sets and B is a set of matroid bases. Matroid bases are maximum (according to cardinality) independence sets.

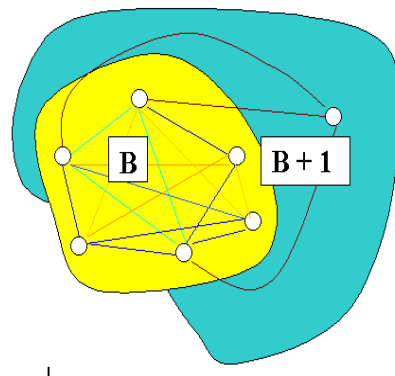


Fig. 1 Extension of a matroid basis by one element

The violence of this SI will be executed as an extension of matroid basis at least by one element (and it will be considered as an indicator of emergent situation appearance).

In case that relation IND is considered as a binary relation it is possible to use following consequences:

- If IND will be considered as a binary relation (basic relation) the bases (**B**) will be constructed as perfect subgraphs (in perfect graph on X).

- The independent (B) and dependent elements ($X \setminus B$) in perfect graph are easy constructed by coloring the edges by two colors and the formalism of Ramsey numbers - $R(\#B, \#(X \setminus B))$ is offered to be used.

The extension of one of bases (B) by one element is illustrated in Figure 1. The perfect graph in Fig.1 has six nodes and 15 (brown) edges. Coloring the edges by green and blue colors, there appears at least one perfect sub-graph with 3 nodes and 3 edges (basis B) – for example the green one. For extension of B by one element (into $B+1$ with 4 nodes) we need to add at least 3 elements (that are invisible here).

Note1: Till now there are known only some Ramsey numbers (RNs), e.g.: $R(3, 3) = 6$, $R(3, 4) = 9$, $R(3, 5) = 14$, $R(3, 6) = 18$, ..., $R(3, 15) = [73, 78]$, ..., $R(4, 4) = 18$, $R(4, 11) = [96, 191]$, ..., $R(6, 10) = [177, 1171]$, ..., $R(10, 10) = [798, 23\ 556]$, ..., $R(19, 19) \geq 17\ 885$. (In computations in Section IV. will be used known table quantities.)

Note 2: Steps of the work with matroid:

- S1. The relation of independence is introduced.
- S2. The matroid is constructed.
- S3. The bases on the matroid are extracted.
- S4. The extension of some basis is executed.

Note 3: Hypothesis: The system selects as optimal those Ramsey numbers for which is needed to add the minimum elements for the extension of basis by one element.

Example: $\#X = 1600$. ($\#B = 11$ for $\#X \geq 1597$) and for one element extension ($\#B = 12$ for $\#X \geq 1637$) we have to add 40 elements.

III.2.2 Reinterpretation of some results of relativistic theory of information

One of the essential results of Relativistic theory of information [6] were the equations for the computation of the conditional entropy of a system. These equations were invariant respect to Lorentz transformation.

We use here only the structure of those equations.

Complexity of the matroid basis extended by one element $H_{COM}(B+I)$

$$H_{COM}(B+I) = H_{COM}(B) + u H_P(B), \quad (2)$$

Power of the emergent phenomenon modeled by one element extension of the basis B .

$$H_P(B+I) = H_P(B) + (u/c) H_{COM}(B), \quad (3)$$

Contribution of the power of the emergent phenomenon

$$\Delta H_P(B+I) = (u/c) H_{COM}(B), \quad (4)$$

where u is the quotient of self-organization $u \in \langle 0, c \rangle$, c is the limit of self-organization (both depends on the emergent environment). $H_{COM}(\cdot)$ is approximated in our case by number of element of basis, $\Delta H_P(B+I)$ is the needed power of the phenomenon expressed in % (for example, contribution for 20 % is calculated as $(120/100) = 1.2$).

III.2.3 Computation with $H_{COM}(B)$, $H_P(B)$ and $\Delta H_P(B+I)$

C1. The quantity of $\Delta H_P(B+I)$ for a given emergent environment is estimated.

C2. The quantity of (u/c) for a given emergent environment is determined.

C3. The number of elements of Basis B is computed.

$$H_{COM}(B) = \xi((c/u) \Delta H_P(B+I)) = \#B, \quad (5)$$

where $\xi(x)$ is the nearest higher complete number (e.g.,

$\xi(2.5) = 3$).

C4. The number ($\#X$) of interacted elements needed for emergent situation appearance is computed.

Example: For $\Delta H_P(B+I) = 2$ and $(u/c) = 0.5$ is computed $\#B=4$ and Ramsey numbers: 9, 18, 25, 41, 61, ..., 282. For the extension of the basis by one element ($\#(B+I) = 5$) we find Ramsey numbers: 14, 25, 49, 87, ..., 464. Optimal pairs of Ramsey numbers for *induction of emergent situation* are $(9 \rightarrow 14/5)$, $(18 \rightarrow 25/7)$, $(25 \rightarrow 25/0)$, $(41 \rightarrow 49/8)$, $(61 \rightarrow 87/26)$, etc.

IV. Appearance of emergent situations in simple cases

IV.1 Change of the strategy of behavior in a Swarm colony

The changes of termite behavior (e.g., the formation of attack patterns) are induced by the changes of termite pheromone concentration.

There exists a basic group of termites (the Basis) that causes the highest increase of pheromone concentration and induces the spreading of message for other termites. Using the calculus that had been explained before we may compute the number of termites from basic group and the number of termites included into the emergence of other type of behavior.

For of $\Delta H_P(B+I) = 1.5$ and for $(u/c) = 0.2$ (lower self-organization)

$$H_{COM}(B) = \xi((c/u) \Delta H_P(B+I)) = \#B = 8.$$

For $\#B = 8$ there are RNs: 28, 56, 84, 127, 495, 1031, 1870.

For $\#(B+I) = 9$ (the extension by one element) there are RNs: 36, 69, 121, 316, 1713, 565, 153, 780, 6588.

Optimal pairs of RNs for *induction of emergent situation* are $(28 \rightarrow 36/8)$, $(56 \rightarrow 69/17)$, $(127 \rightarrow 153/26)$, $(84 \rightarrow 115/31)$, $(495 \rightarrow 565/70)$.

IV.2 Traffic Jams

Traffic jam is an emergent result of interaction of many transport elements and factors (cars, lights, structure of transport symbols, ..., whether, hours in the day time, etc.) and mainly of an “self-organizing phenomenon” that forms the external performance of traffic jam. Here is considered only an emergent phenomenon that starts in a basic group of cars.

“Self-organization” process is hard to describe but is possible to compute numbers of elements in basic groups:

For of $\Delta H_P(\mathbf{B}+\mathbf{I})=2$ and for $(u/c) = 0.4$

$$H_{COM}(\mathbf{B}) = \xi((c/u) \Delta H_P(\mathbf{B}+\mathbf{I})) = \#\mathbf{B} = 5.$$

For $\#\mathbf{B} = 5$ there are Ramsey Numbers: 9, 18, 25, 35, 41, 49, 61, 153, 198, 230, 242, 282, 417.

For $\#(\mathbf{B}+\mathbf{I})=6$ (the extension by one element) there are RNs: 18, 35, 41, 58, 87, 102, 165, 298, 374, 434, 495, 548, 614, 710, 780, 878, 1070, 1171.

Optimal pairs of RNs for induction of emergent situation are (9→18/9), (25→35/10), (35→41/6), (49→58/9), (282→298/16), (417→434/17).

IV.3 Floods

The changes of behavior of brooks, streams, rivers, ponds and lakes inducing emergent situation “floods” (“conspiracy” of water carriers) start on basic group of them.

Using the calculus that had been explained before we may compute the number of water carriers from basic group and the number of water carriers included into the emergence of other type of water behavior.

For of $\Delta H_P(\mathbf{B}+\mathbf{I})=1.5$ and for $(u/c) = 0.09$,

$$H_{COM}(\mathbf{B}) = \xi((c/u) \Delta H_P(\mathbf{B}+\mathbf{I})) = \#\mathbf{B} = 17.$$

For $\#\mathbf{B} = 17$ there are Ramsey Numbers: 92, 182, 284, 548, 627, 737, 8917.

For $\#(\mathbf{B}+\mathbf{I})=18$ (the extension by one element) there are RNs: 98, 614, 722, 871, 11005.

Optimal pairs of RNs for induction of emergent situation are (92→98/6), (548→614/66), (627→722/95), (737→871/134).

V. CONCLUSIONS

A general conclusion that has been achieved in this paper may be considered, from the first sight, too trivial: “By increasing the concentration of mutually interacting elements (or their properties) in a finite space may be induced

unforeseen (emergent) phenomena.” Emergence in such a context is not an artificial epistemological construction (e.g., a performance of phenomena from lower level of description to a higher descriptive level) but a very real question. Though this question “has already been answered” many times (remember the explosion of volcano in the island Santorini, processes of negative transmutations in biology or the collapses of transport in overdosed centers of large towns) we have no reliable tool for even the detection of such negative emergent phenomena. From the other side – not in every case are induced emergent phenomena as a consequence of increasing density of interacting elements in closed space.

In this paper has been proposed a procedure that (after tuning) could compute something as “a distance” from appearance from a possible emergent phenomenon. This computation has been performed in this paper only for emergent situation for which are known consequences and not causes (type B). In these cases is yet possible to speak about modeling.

For emergent situations of the type C we have no models because these situations are available not soon then after their first operation. Such situations are possible only to detect by special methods. A technique of matroid bases and Ramsey numbers explains an apparent stability of ecosystems though just in ecosystems are expected emergent situations of the type C (and some ecological catastrophes demonstrated it).

ACKNOWLEDGMENT

The development of this paper has been supported by Research Grant SGS12/177/OHK2/3T/12. This support is very gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] I. Stewart, *Nature's Numbers (The Unreal Reality of Mathematical Imagination)*. The Orion Publishing Group, Great Britain, (John Brockman, ed.), 1995.
- [2] J.Bila, J. Pokorny, J. Jura, and I. Bukovsky, Qualitative Modelling and Monitoring of Selected Ecosystem Functions. *Ecological Modelling*, Vol. 222: pp. 3640–3650, 2011.
- [3] J.Bila and S. Gojda, Monitoring Emergent Situations in Complex Systems with the Help of Conceptual Detection Patterns. *International Review of Automatic Control*, Vol.4: pp. 855–866, 2011.
- [4] J.Bila and I. Bukovsky, Qualitative Models for the Landscape Development Monitoring. *Journal for Communication and Computer*, Vol.9, No.6 : pp.721–728, 2012
- [5] J.Bila and J. Pokorny, Design of Smart Regions and Landscapes, Invited paper, 30th cCAADe Conference, Prague, 2012.
- [6] G. Jumarie, New results in relativistic information theory. Application to deterministic, stochastic and biological systems. *International Journal on System Sciences*, Vol. 7, No.4: pp. 393-414, 1976.
- [7] J. Bila, The detection of emergent situations by structural invariants, 13th Int. Conf. on Soft Computing – Mendel 2010, pp. 495-501, Brno, Czech Republic, June, 2010.

Možnosti řešení saturace akční veličiny při použití regulátoru daného meromorfní funkcí

Jaroslav Bušek

Ústav přístrojové a řídicí techniky
Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze
Praha, Česká republika
jaroslav.busek@fs.cvut.cz

Abstrakt — Příspěvek pojednává o problematice saturace akčního členu v regulačním obvodu, který využívá regulátor s nekonvenční dynamikou, zahrnující jak integraci, tak dopravní zpoždění. Stručně jsou uvedeny základní možnosti opatření při saturaci akční veličiny u běžných regulátorů (tzv. anti-windup opatření) a je zváženo využití modifikace anti-windup opatření pro optimalizaci regulačního pochodu.

Klíčová slova — saturace, lineární systémy se zpožděním, anti-windup, metoda přidělení konečného počtu pólů

I. ÚVOD

Praktický návrh regulátorů je v mnoha případech založen na použití lineárních modelů regulovaných soustav s neomezeným akčním zásahem, jelikož používané metody návrhu regulačního obvodu jsou zpravidla jednoduché a osvědčené. Lineární modely jsou reprezentovány soustavami lineárních diferenciálních rovnic, ačkoliv dynamika soustavy bývá složitější – může zahrnovat zpoždění a nelinearity. V tom případě se lineární model shoduje s regulovanou soustavou pouze v blízkém okolí pracovního bodu, v němž byl model identifikován. Proto je vhodné zohlednit tyto vlastnosti i v použitém modelu.

Lineární systémy se zpožděním jsou široce používány, jelikož vyjadřují vlastnosti mnoha fyzikálních procesů – např. chemických procesů, přenosů tepla, elektrických obvodů, telekomunikačních aplikací. Zohlednění zpoždění v návrhu regulačního obvodu a primárně ve struktuře navrhovaného regulátoru vede ke zlepšení výsledků regulace a to zvláště proto, že zpoždění mohou zapříčinit zhoršení regulačního pochodu nebo dokonce jeho nestabilitu.

Nedílnou součástí reálných soustav je nelinearita způsobená omezením akční veličiny, které je dáno praktickým provedením akčního orgánu. Nebezpečí, které plyne z tohoto omezení, spočívá v pokračující integraci akční veličiny v algoritmu regulátoru při překročení jejich skutečně dosažitelných mezí (tzv. wind up). Tento jev způsobuje odchýlení od navrženého chování regulátoru a zhoršení regulačního pochodu.

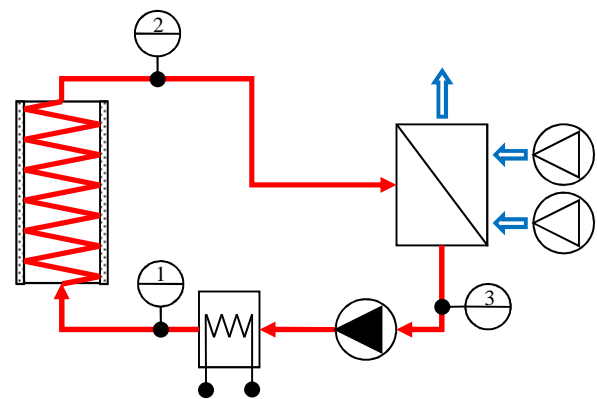
Saturace akční veličiny a zpoždění zahrnutá v dynamice regulované soustavy se často vyskytují společně, a přesto většina anti-windup opatření je zaměřena na lineární systémy bez zpoždění.

II. MOTIVACE

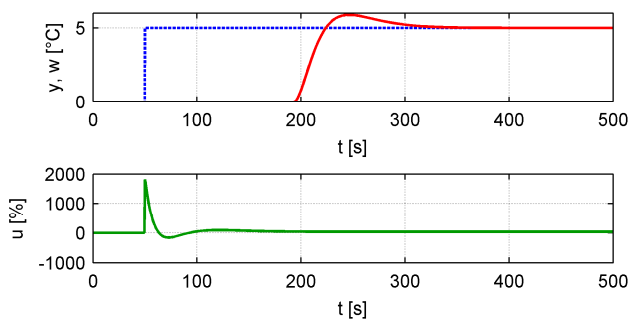
Implementace anti-windup opatření do struktury regulátoru, určeného pro regulaci soustavy s dopravním zpožděním, byla motivována použitím metody přidělení konečného počtu pólů (Finite spectrum assignment, FSA, [1]) při návrhu regulačního obvodu pro laboratorní soustavu tepelného výměníku. Metoda byla aplikována v rámci testování pokročilých metod návrhu regulačních obvodů pro soustavy s dopravním zpožděním. Soustava je tvořena jedním uzavřeným tepelným okruhem s elektrickým průtokovým ohřivačem, dlouhým tepelně izolovaným potrubím, tepelným výměníkem voda/vzduch a čerpadlem (Obr. 1). Pracovním médiem je destilovaná voda.

Akční veličinou je výkon průtokového ohřivače (0 až 100 %), který je měněn za použití pulzní šířkové modulace (PWM). Regulovanou veličinou je teplota média, měřená mezi výměníkem a čerpadlem. Dlouhé tepelně izolované potrubí způsobuje v soustavě zpoždění od 50 do 300 sekund (v závislosti na nastaveném výkonu čerpadla).

Dynamika modelu soustavy se skládá ze tří částí, pro jichž popis byly použity anizochronní modely prvního řádu proto, aby byl dosažen co nejmenší výsledný řád modelu soustavy [2]. Parametry modelu byly identifikovány z naměřených statických a přechodových charakteristik za použití metody nejmenších čtverců.



Obr. 1. Schéma laboratorní soustavy tepelného výměníku



Obr. 2. Průběh přechodové charakteristiky regulačního obvodu (nahore) a průběh akční veličiny bez zohlednění saturace (dole)

$$U(s) = G_U(s)U(s)e^{-Ls} + G_Y(s)Y(s) + G_W(s)W(s) \quad (1)$$

Přenos modelu soustavy byl zjednodušen na lineární systém s dopravním zpožděním na základě vyhodnocení rozložení pólů přenosu pomocí funkce Quasi-Polynomial Mapping Based Rootfinder (QPmR) [3]. Aplikací metody FSA byl získán regulátor (1), daný meromorfní funkcí. Při simulaci bylo zjištěno, že jeho akční zásah několikanásobně překračuje reálně dosažitelný rozsah akční veličiny (Obr. 2), a proto je vhodné použít anti-windup opatření.

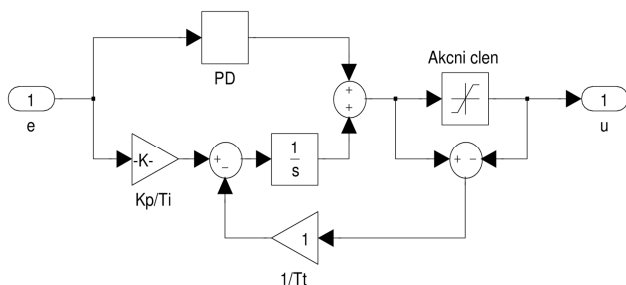
III. ANTI-WINDUP OPATŘENÍ

Základní metody implementace anti-windup opatření začaly být řešeny v období nástupu číslicové techniky (více v [4]) z důvodu přerušení pomyslné vazby mezi algoritmem regulátoru a praktickými primárně byly navrženy pro strukturu PID regulátoru. Jejich principy jsou v modifikacích používány dodnes. Následující seznam uvádí tři původní metody anti-windup opatření.

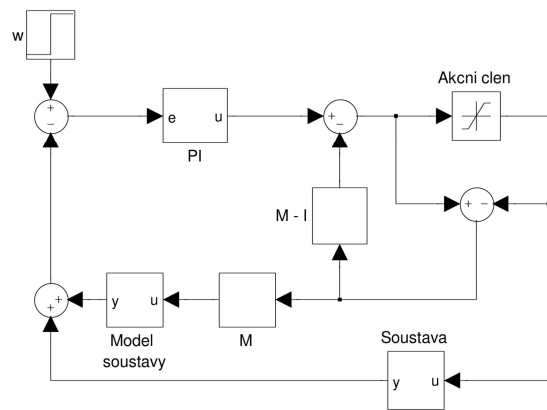
1) *Přírůstkový algoritmus*: Tento algoritmus byl používán v počátcích návrhu regulačních obvodů a spočíval v implementaci integrace pomocí reálných prostředků s omezením (např. motor pohybuje regulačním ventilem).

2) *Podmíněná integrace*: Jak vypovídá název, principem této metody je aplikace integrace pouze tehdy, jsou-li splněny příslušné podmínky - akční veličina nesaturuje a regulační odchylka je malá.

3) *Zpětný přepočít* („back-calculation“, [5]): V případě, že akční veličina přesáhne saturační mez, je integrál v této metodě dynamicky „přepočítán“ tak, aby akční veličina sledovala dosaženou mez (Obr. 3). Modifikace této metody pro systémy s více vstupy vede na schéma, založeném na principu pozorovatele a stavové zpětné vazby [4].



Obr. 3. Schéma metody zpětného přepočtu ve struktuře PID regulátoru



Obr. 4. Schéma metody „linear conditioning“ s PI regulátorem

Uvedené klasické metody se při návrhu anti-windup opatření primárně zaměřují na regulátor jako takový a hlavně na jeho integrační část, kdežto novější přístupy rozšiřují princip anti-windup opatření o další funkce. V [6] je zmíněna metoda pro lineární modely nazývaná „linear conditioning“, která využívá anti-windup kompenzátoru, jenž dává možnost měnit chování regulačního obvodu během a následně po saturaci akční veličiny. Implementace metody je založena na použití rozšířeného regulačního obvodu bez zásahu do struktury navrženého regulátoru (Obr. 4). Metoda však neuvádí kritérium pro vyhodnocení vlivu volených parametrů na průběh regulace, což vede nejednoznačnosti jejich návrhu.

IV. ZÁVĚR

Pro účel aplikace na regulátor daný meromorfní funkcí byla uvedena potenciálně vhodná anti-windup opatření.

Z klasických metod implementace anti-windup opatření se jeví vhodná metoda zpětného přepočtu, která ve své modifikaci umožňuje využít stavovou formulaci pro více vstupů a je založena na struktuře regulátoru ve tvaru pozorovatel – stavová zpětná vazba. Novější metoda nazývaná „linear conditioning“ přistupuje k otázce řešení saturace akční veličiny komplexnějším způsobem, který by při doplnění o vhodné kritérium mohl přinést příznivější výsledky.

Následující práce bude spočívat v aplikaci uvedených metod na popsanou soustavu, jejich ověření a případném doplnění o vhodné kritérium návrhu parametrů.

LITERATURA

- [1] Qing-Guo Wang, Tong H. Lee, Kok K. Tan. Finite-spectrum assignment for time-delay systems. Springer, 1998
- [2] T. Vyhlídal. Analysis and Synthesis of Time Delay System Spectrum. Prague, 2003. Ph.D. Thesis. Czech Technical University in Prague. Supervisor Prof. Ing. Pavel Zítek, DrSc.
- [3] T. Vyhlídal, P. Zítek. Mapping Based Algorithm for Large-Scale Computation of Quasi-Polynomial Zeros. IEEE Transactions on Automatic Control. 2009, vol. 54, no. 1, p. 171-177. ISSN 0018-9286.
- [4] K. Åström, L. Rundqwist. Integrator Windup and How to Avoid It. American Control Conference, 1989, pp. 1693 - 1698, 21-23 June 1989
- [5] H. A. Fertik, C. W. Ross, Direct digital control algorithms with anti-windup feature. ISA Trans. 6, No. 4, pp. 317 - 328.
- [6] Paul F. Weston, Ian Postlethwaite. Linear conditioning for systems containing saturating actuators, Automatica, Volume 36, Issue 9, September 2000, pp. 1347 – 1354.

Obrábění progresivní čočky s evolventním profilem

Jan Hošek

Ústav přístrojové a řídicí techniky, odbor přesné mechaniky
a optiky, Fakulty strojní ČVUT
Technická 4, Praha 6, Česká republika
Jan.Hosek@fs.cvut.cz

Aneta Hrušková, Barbora Kohoutková

Obor optika a optometrie, Fakulta biomedicínského
inženýrství ČVUT
Sítňá 3105, Kladno 2

Abstrakt — Tento článek má za cíl prezentovat výrobu asférických brýlových progresivních čoček na stroji, umožňující výrobu progresivních čoček s evolventním profilem. K realizaci výroby byl použit brousící stroj vyvinutý doc. Šulcem. Stroj byl zprovozněn, modernizován a byly na něm provedeny všechny fáze výroby progresivní čočky. Profil vyrobené čočky byl následně změřen metodou optické profilometrie.

Keywords—*progressive lens, involute profile, local grinding and polishing*

I. ÚVOD

Progresivní čočky se využívají pro refrakční korekci emetropů a ametropů v presbyopickém věku, neboli od 40. roku stáří, kdy se snižuje elasticita a plasticita oční čočky. Základním rozdílem progresivních čoček od bifokálních či vícefokálních čoček je, že segmenty zorného pole s různou optickou mohutností, sloužící pro vidění na blízko a na dálku jsou propojeny optickým koridorem, kde dochází k plynulému přechodu (nikoliv skokovému) mezi optickými mohutnostmi. Zásadní problém progresivních čoček je dán přítomností optických aberací, zejména astigmatismu, v koridoru mezi jednotlivými zornými poli s konstantní optickou mohutností a to v důsledku proměnné hodnoty poloměrů křivosti ploch v sagitální a meridiánové rovině, jak je naznačeno na obrázku 1.

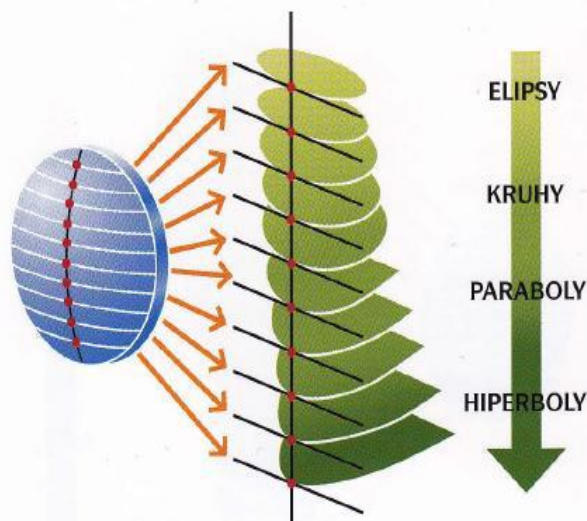


Fig. 1. Horizontální řezy profilem čočky Varilux 2 [1]

V důsledku rozdílu konečné velikosti zornice oka (2- 8 mm) dochází v oblasti koridoru procházející do oka paprsky s různou lamavostí, což vede v důsledku optických vad k omezení ostrosti vidění, zejména ve větších úhlech od meridiální roviny a tím i omezené šířce koridoru s ostrým viděním.

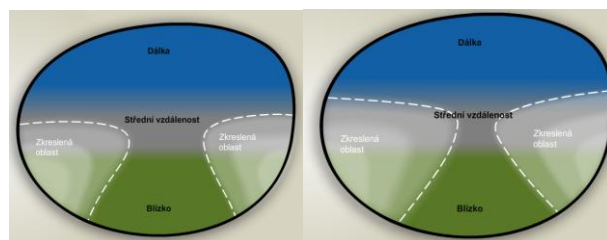


Fig. 2. Zorná pole progresivních čoček s různou šířkou progresivního kanálu: Hoyalux iD - vlevo, Hoyalux Summit pro - vpravo [2].

Problematiku rozšíření progresivního koridoru potlačením sagitálních optických aberací řeší různé firmy různě. Složitost výsledných optických ploch je však tak komplikovaná, že výrobu čoček již nelze použít klasické optické technologie, ale musejí se používat vysoce přesné CNC stroje pro jednobodové obrábění. Jako alternativu vyvinul doc. Šulec [3] brousící stroj pro generaci jednoduchého geometrického meridiánového profilu evolventy, který lze získat mechanický svázáním jednotlivých pohybů nástroje.

II. PROFIL EVOLVENTNÍ PROGRESIVNÍ ČOČKY

Stroj na alternativní výrobu progresivních čoček byl zkonstruován tak, aby generoval evolventní profil trajektorie nástroje daný rovnicemi [3]:

$$x = (r+d) \cos t + r.t \sin t \quad (1)$$

$$y = (r+d) \sin t - r.t \cos t \quad (1)$$

kde r je poloměr evoluty, d je vzdálenost tvořícího bodu přímky a t je úhel odvalení.

V našem případě je obráběn polotovar sférické čočky o průměru 50 mm a to na čelní ploše s poloměrem zadní 116,2 mm. Evolventní pohyb nástroje je dosažen odvalováním dvojice globoidních ozubených kol po dvojici šneků s profilem ozubeného hřebene. Celkový úhel odvalení činí $dt = 45 - 90^\circ$, což umožňuje generovat evolventní profil na čelní ploše čočky s poloměry křivosti od 56,3 mm do 118,9 mm. V sagitální rovině pak přední plocha čočky nabývá kvazihyperbolický tvar

v sagitální rovině [4], jako důsledek měnícího se úhlu natočení prstencového obráběcího nástroje. Schéma generace evolventního profilu přední plochy čočky je zobrazeno na obrázku 3.

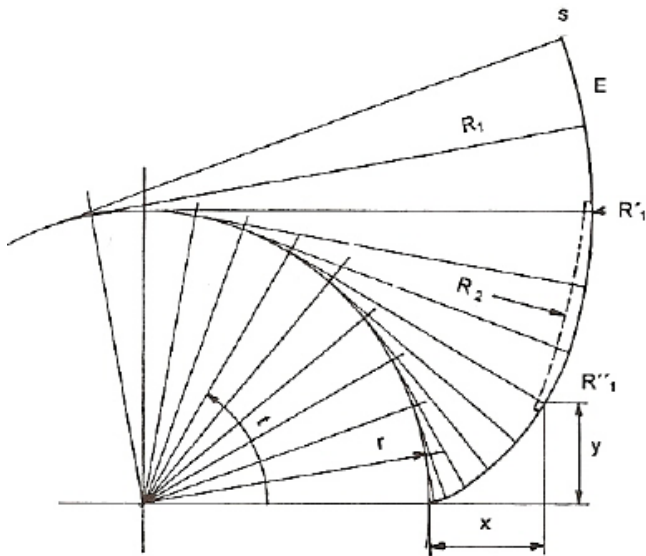


Fig. 3. Generace evolventního profilu čočky [3].



Fig. 4. Stroj na obrábění progresivních čoček s evolventním profilem.

III. VÝROBA EVOLVENTNÍ PROGRESIVNÍ ČOČKY

Tento stroj byl vyvinut pro obrábění minerálních brýlových čoček natmelených na sférickou mosaznou tmelku a umožňuje výměnou nástrojů realizovat jak frézování, tak broušení i leštění čočky. Frézovacím nástrojem je hrncová fréza s diamantovým brusem. Broušení se provádí volným brusivem Al_2O_3 305 s tangenciálním mosazným nástrojem. Pro leštění se používá suspenze Ceroxu a opět tangenciální nástroj

tentokrát s textilní vložkou. Ukázky jednotlivých nástrojů jsou zobrazeny na obrázku 5.



Fig. 5. Nástroje odshora na broušení, frézování, leštění.

Nástroj je poháněn synchronním třífázovým motorem a řemenovým převodem s převodovým poměrem 1,3. Frézování se provádí při obvodové rychlosti nástroje: $912 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro broušení bylo nutné snížit otáčky pohonu vřetena, a proto byl stroj vybaven frekvenčním měničem, kdy jak operace broušení, tak operace leštění byla realizována při otáčkách vřetene 4 Hz a odpovídajících obvodových rychlostech nástrojů: $51 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro dávkování chlazení při frézování a brusné a leštící disperze při broušení a leštění bylo použito malé čerpadlo Neptun NTP 300 – i, s čerpaným objemem 0 – 300 l/h a výkonem 6W.

Frézování bylo provedeno na požadovanou hloubku úběru v jediném kroku nastavené výškové pozice obráběcí čočky, nicméně pro broušení se osvědčilo nastavovat úběr nástroje postupně při hroubce záběru 0,1 mm. I přesto byly na povrchu čočky zřetelné stopy po jednosměrném obrábění brusným nástrojem. Tyto stopy byly nakonec odstraněny závěrečným leštěním, opět při několika nastavení předpětí do leštícího nástroje.

IV. KONTROLA VYROBENÉ PROGRESIVNÍ ČOČKY

Pro kontrolu vyrobené progresivní čočky jsme použili jednoduchou metodu optické profilometrie. Přestože se nejedná o nejpřesnější možnou metodu měření, vzhledem k velikosti odchylek evolventní progresivní čočky od náhradní kružnice je přesnost této metody dostatečná.

Sagitální a meridiánové profily vyrobené čočky byly nafotografovány v makro režimu fotoaparátu Casio Exlim F1. Fotografie profilů byly digitalizovány v programu Pointer a kalibrovány pomocí milimetrového měřítka. Rozdíl měřítka ve dvou na sebe kolmých směrech a pozicích 10 a 60 mm byl pouze 0,7%, takže korekci na zkreslení objektivu jsme mohli vyloučit. Dále byl určen vliv chyb vznikající pixelovou interpretací obrazu při jeho digitalizaci, jejichž směrodatná odchylka činí 0,041 mm, přičemž velikost rozteče jednotlivých

hodnocených pixelů obrazu je 0,0513 mm. Výsledné grafy odchylek změřených profilů na obrázcích 6 a 7 lze proto připsat právě chybě digitalizace.

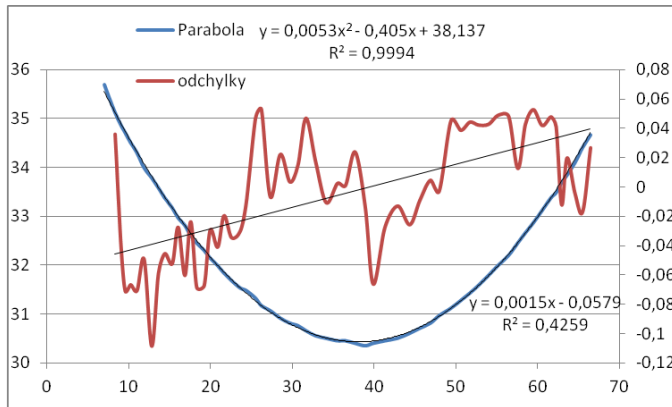
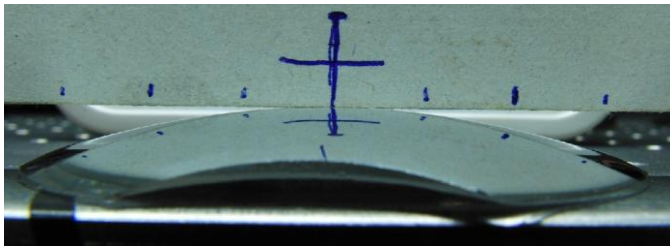


Fig. 6. Sagitální (kvazihyperbolický) profil čočky a jeho vyhodnocení.

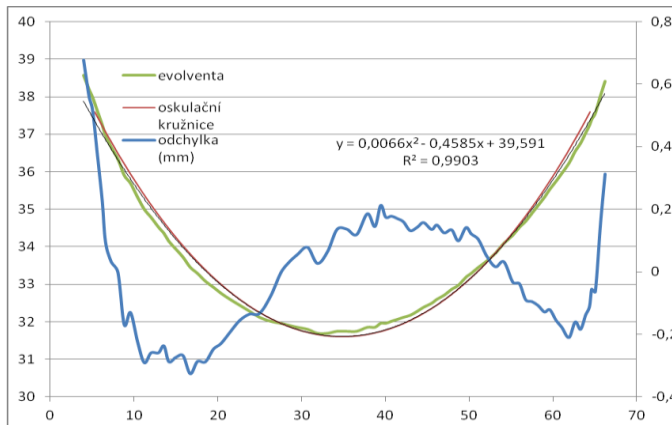


Fig. 7. Meridionální (evolventní) profil čočky a jeho vyhodnocení.

Uvedené profily čočky se velmi dobře shodují s teoreticky předpokládanými tvary profilů jak sagitální, tak i meridionální roviny čočky, které jsou zobrazeny na obrázku 8.

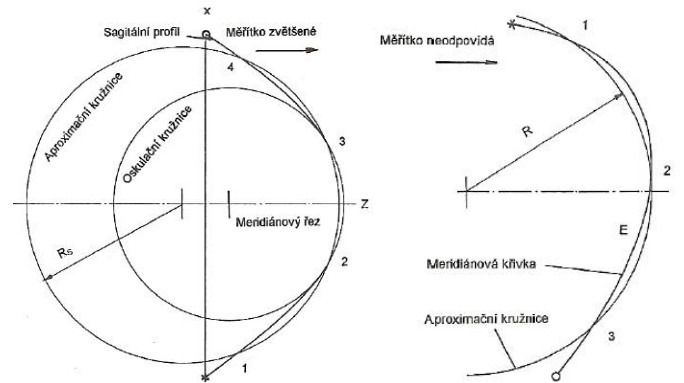


Fig. 8. Normálový sagitální řez - vlevo a meridiální řez prlochou s aproximovanou kružnicí [3].

V. ZÁVĚR

Byla provedena kompletní výroba progresivní čočky s evolventním profilem na čelní ploše, zahrnující frézování, broušení a leštění uvedené plochy. Po vyrobení uvedené čočky jsme proměřili její sagitální a meridiální profil metodou optické profilometrie a potvrdili jsme velmi dobrou shodu mezi vyrobeným profilem a teoretickým profilem jednotlivých ploch, kde nameřené rozdíly byly dány především chybou digitalizace profilu, zatímco odchylka evolventního profilu od její oskulační kružnice dosahuje řádově vyšších hodnot, jak je vidět na obrázku 7.

PODĚKOVÁNÍ

Rádi bychom poděkovali doc. Ing. Janu Chyskému, CSc. za zapůjčení frekvenčního měniče. Tento projekt vznikl s podporou projektu SGS13/060/OHK2/1T/12 - Vývoj astronomického detekčního zařízení.

REFERENCES

- [1] Essilor, Progresivní čočky, *Listy očních optiků*,
- [2] www.prooptik.cz.
- [3] V. Šulc, "Multifokální čočky, alternativní řešení," in *Jemná mechanika a optika*, 10/2002, pp. 299-303.
- [4] Vymyslický, "Asférické plochy v oční optice," *Oční optika* 2/1997, p. 75

Měření výkonu v neharmonických sítích

Jan Chyský

Ústav přístrojové a řídicí techniky
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní
 Praha, Česká republika
 Jan.Chysky@fs.cvut.cz

Petr Kořínek

Skybergtech s.r.o.
 U Mototechny 107
 Tehovec, Česká republika
 info@skybergtech.com

Jaroslav Novák

Ústav přístrojové a řídicí techniky
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní
 Praha, Česká republika
 Jaroslav.Novak@fs.cvut.cz

Martin Novák

Ústav přístrojové a řídicí techniky
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní
 Praha, Česká republika
 Martin.Novak@fs.cvut.cz

Abstract—Electric power is important quantity for evaluation of many electrical equipment's. Nowadays, during the development of many power electronic devices, it means groves. Frequency converters applied for powering many motors of drives using PWM modulation generate "harmonic" voltages. The generated waveform consists of useful fundamental frequency and many frequencies derivate from this fundamental and modulation frequency. Similar situation is on other case, when electric power is produced. Renewable sources of energy as photovoltaic or wind power plant use frequency inverters between power plant and distribution system. Classical wattmeter's based on electro-dynamic system works correctly on frequency 50 Hz, for higher frequencies the measurement is garbled by voltage system inductance, electronic instruments are designed for frequency 50 Hz and readings is improper again due to low sampling frequency. For power measurement high frequency systems have to be used special very expensive instruments, this paper deals with electric power measurement using quick digitizer with Lab View software.

Keywords—Electric power measurement in non-harmonic electric systems, high speed digitizer, LabView

NOMENKLATURA

$i(t)$ – okamžitá hodnota proudu
 n – počet vzorků
 t – čas [s]
 T – perioda měřeného průběhu [s]
 $u(t)$ – okamžitá hodnota napětí
 P – výkon [W]
 W – práce, energie [J]
 T_v – perioda vzorkování
 ψ – fázový posun [°]

I. ÚVOD

Elektrický výkon/práce je důležitý parametr pro hodnocení stavu v elektrických sítích, výroby a spotřeby elektrické energie. Výkon je definován jako střední hodnota z okamžitého výkonu během jedné periody dle (1.1).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt \quad (1.1)$$

Podobně pro práci vykonanou za čas T platí (1.2):

$$W = \int_0^T u(t) i(t) dt \quad (1.2)$$

Ve stejnosměrných sítích lze měření výkonu provádět jednoduše z definice, jako součin proudu a napětí, pro práci je nutné ještě výkon vynásobit časem. Ve střídavých sítích je situace odlišná, obecně je nutné výkon a práci počítat/měřit z definice (1.1) nebo (1.2). Pro měření v sítích 50 Hz byly zkonstruovány měřicí přístroje pracující na fyzikálním základu, využívající elektromechanický princip, viz např. [1]. Tyto systémy však měří přesně na kmitočtu, pro který byly navrženy a na kmitočtech odlišných (sic - řádově) ukazují chybně. To je způsobeno jednak závislostí proudu měřicím ústrojím na impedanci budících cívek (se zvyšující se frekvencí proud klesá), jednak také na fázovém posunu magnetických toků jednotlivých budících cívek u indukčního ústrojí. Vzhledem k náročnosti výroby těchto elektromechanických přístrojů, jsou dnes postupně nahrazovány přístroji pracujícími na elektronickém principu, které výkon i práci počítají podle (1.1) případně (1.2).

Pokud by pro měření byly použity ideální analogové obvody, výsledek by byl správný. Problém je však v tom, že analogový výpočet je běžně nahrazen výpočtem číslicovým, tak jak jej běžně známe například u PID regulátorů či jiných obvodů. Měřicí systém vzorkuje okamžité hodnoty proudu a

napětí, z jejichž součinu určí okamžitou hodnotu výkonu a jejich součtem pak práci případně výkon viz (1.3) a (1.4).

$$W = T_v \cdot \sum_{i=1}^n u_i \cdot i_i \quad (1.3)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \cdot i_i \quad (1.4)$$

Z hlediska číslicového zpracování musíme uvažovat dva parametry. Jednak je to rozlišení převodníku a dále jeho rychlost. Dnes běžně používané převodníky mikropočítačů pracují s rozlišením 12 bitů a rychlostí převodu kolem 100 kS/s. Přesnost 12bitového převodníku 0,025% je pro další zpracování zcela vyhovující a nebudeme se jí dále zabývat. Druhá otázka se týká rychlosti převodu. Při 100 kS/s trvá doba jednoho převodu 10 μ s. Pro výpočet jedné okamžité hodnoty výkonu potřebujeme vzorek napětí a proudu. V optimálním případě budou tyto vzorky od sebe vzdáleny 10 μ s, což při frekvenci 50 Hz odpovídá fázovému posunu:

$$\psi_{50Hz} = 360^\circ \frac{10^{-5}}{1} = 1.8^\circ \quad (1.5)$$

Což je 0,5%. Vzhledem k průběhu funkce sinus bude průměrná chyba ve skutečnosti menší a obvykle ji můžeme zanedbat. V případě požadavku na lepší přesnost je možné ji početně kompenzovat například interpolací proudu respektive napětí ze dvou sousedních měření napětí respektive proudu.

V případě měření napětí/proudu v sítích napájených frekvenčním měničem je situace zcela odlišná. Sinusový průběh napětí je generován frekvenčním měničem s PWM modulací s modulační frekvencí jednotek až desítek kHz. Dále budeme pro jednoduchost pracovat s modulační frekvencí 10 kHz. V tomto případě fázový posun již činí

$$\psi_{10kHz} = 360^\circ \frac{10^{-5}}{1} = 360^\circ \quad (1.6)$$

Z uvedeného je patrné, že způsob postupného vyhodnocení měření je zcela nepoužitelný. Pro odstranění fázového posunu je možné použít obvod sample and hold, který zajistí, aby měřené hodnoty byly vzorkovány vždy ve stejný okamžik. Zůstává však otázka rychlosti vzorkování. Podle Shannon-Kotělnikova vzorkovacího teorému by rychlost vzorkování měla být alespoň dvojnásobná vzhledem k nejvyšší frekvenci, kterou chceme v měřeném spektru ještě vyhodnocovat. Obsah vyšších harmonických ve spektru PWM modulace závisí střídě signálu a dále na použitých spínacích součástkách. Podrobný rozbor přesahuje tento příspěvek a pro další budeme uvažovat desátou harmonickou, čemuž odpovídá frekvence 100 kHz a tedy minimální vzorkovací frekvence 200 kHz. Těchto parametrů nelze běžnými prostředky dosáhnout.

II. VYSOKORYCHLOSTNÍ DIGITIZÉR NI PXI-5105

Pro získání potřebného počtu vzorků s dostatečnou rychlostí vzorkování by bylo možné použít digitální osciloskop, který disponuje dostatečnou vzorkovací rychlostí, jeho nevýhoda je však v nízké rozlišovací schopnosti. Běžně vyráběné osciloskopy používají pouze 8bitové vzorkovací zesilovače, což je pro rozlišení obrazovky osciloskopu dostačující a současně to zrychluje vzorkování. V nouzi je i tento způsob možný společně s off-line vyhodnocením například v MATLABU nebo i Excelu.

Při požadavku na lepší přesnost případně vyhodnocování v reálném čase je třeba použít speciální hardware – digitizér/osciloskop. Dále bude popsáno použití digitizéru NI PXI-5105 pro měření ztrátového výkonu na 3fázovém sinusovém filtru, který se používá na výstupu frekvenčního měniče a přívodním vedením k motoru. Digitizér NI PXI-5105 je určený pro PXI systémy postavené na platformě PC uzpůsobené průmyslovým standardům a vybavené speciální PXI sběrnici pro přenos mezi jádrem systému a připojenými periferními kartami. Parametry použitého digitizéru NI PXI-5105:

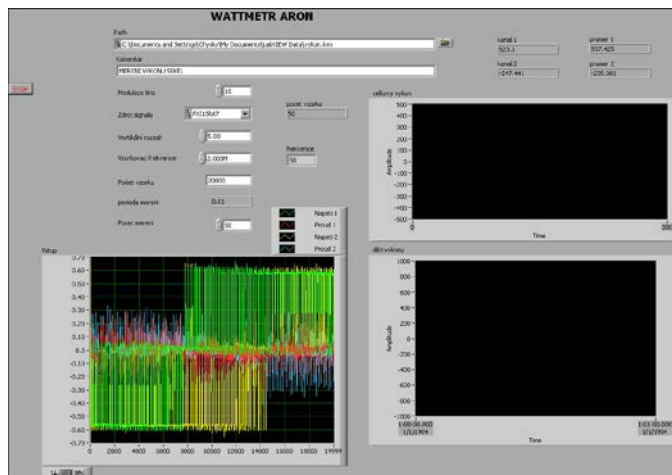
- 8 paralelně vzorkovaných kanálů
- 12bitové vertikální rozlišení
- 60 MS/s rychlost vzorkování v reálném čase
- 60 MHz analogová šířka pásma
- 16 MB paměť pro data (max. 512 MB)
- 120 000,- Kč cena bez DPH



Obr. 1 Digitizér NI PXI-5105



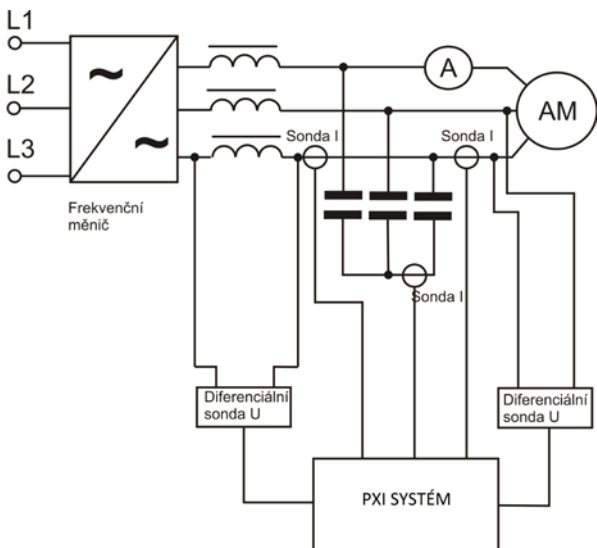
Obr. 2 Použitý PXI systém



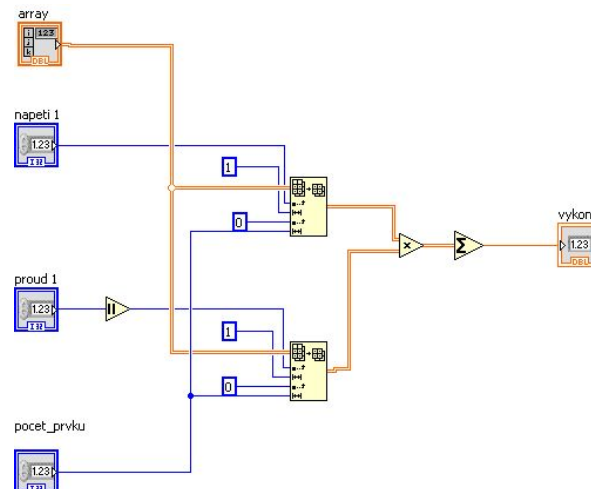
Obr. 4 Grafické uživatelské rozhraní

III. PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Použitý PXI systém pracoval pod operačním systémem Windows XP professional s nainstalovaným grafickým programovacím prostředím NI LabView v. 12 Spring edition. Program, jehož grafické uživatelské rozhraní je na obr. 3 obsluhoval měření podle schématu na obr. 4, na kterém je zapojení pro měření výkonu v jedné fázi. Vzhledem k nevyvedenému středovému vodiči bylo použito Aronovo zapojení pro měření výkonu na 3fázové zátěži, se současným měřením vstupního a výstupního výkonu postupně v obou krajních fázích. Pro snímání proudu byly použity proudové sondy Tektronix s rozsahem 80 A a frekvenčním rozsahem 0-200 kHz, pro měření napětí diferenciální napěťové sondy Hameg HZ110 s frekvenční rozsahem neznámým. Výrobce dle svého sdělení tento údaj neposkytuje! Pro ověření frekvenčního rozsahu sond byl použit alespoň jednoduchý experiment, kdy byl na 2kanálovém osciloskopu zobrazen průběh PWM signálu snímaného touto sondou a klasickou odporovou sondou bez pozorovaného rozdílu v obou průbězích



Obr. 3 Schéma zapojení měřicí aparatury

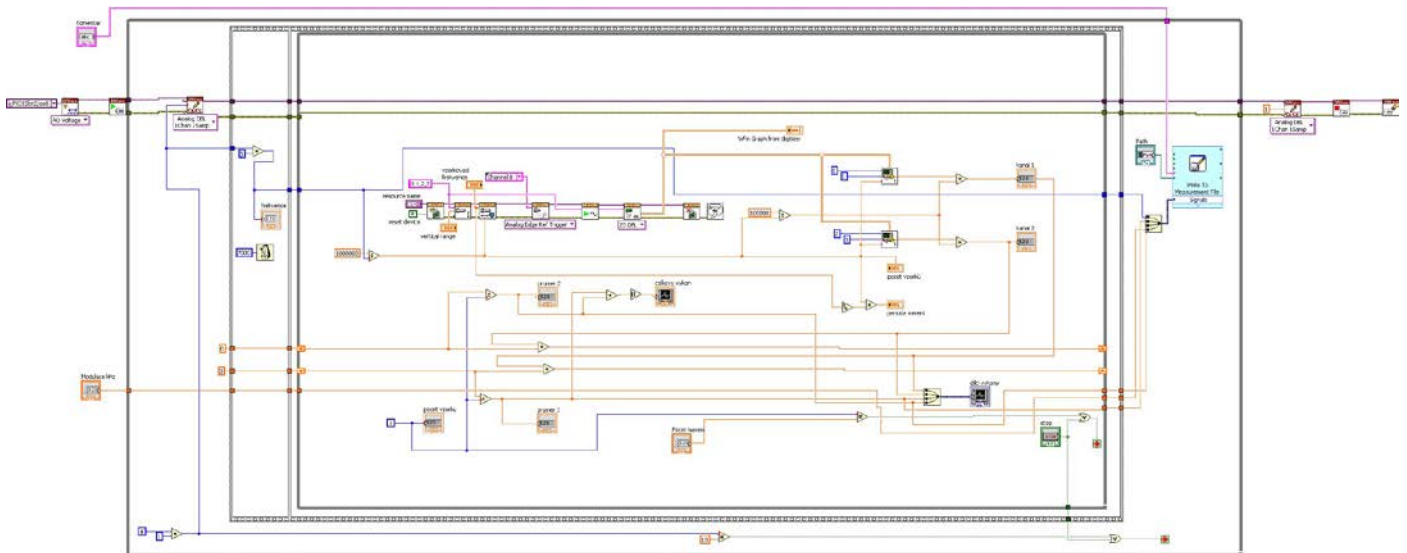


Obr. 5 Blokový diagram subpřístroje pro měření výkonu

Výsledky měření byly dále ještě ověřeny v zapojení s měřením ve všech třech fázích s umělou nulou pro napěťové sondy bez významných rozdílů. Naměřená hodnota byla v toleranci rozptýlu naměřených hodnot při opakovaných měření do 3%.

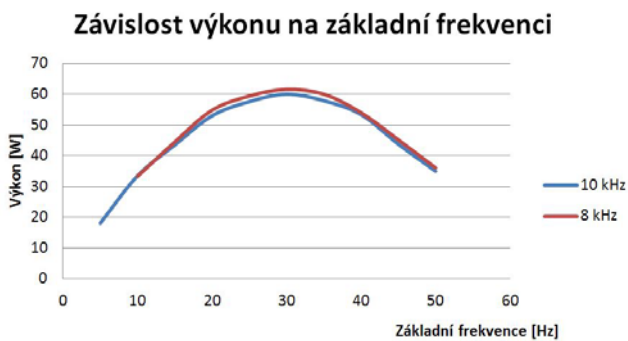
Na obr. 5 je blokový diagram virtuálního subpřístroje, který měří okamžitý výkon v jedné fázi, a která je volán z hlavního programu s blokovým schématem na obr. 6. Výkon se měří 50krát, vždy z 20 tisíc vzorků okamžitých hodnot proudů a napětí během jedné periody základní frekvence. Vzhledem k tomu, že se měří ztrátový výkon na sinusovém filtru je proveden jeho výpočet jako rozdíl příkonu před filtrem a výkonu z filtru vystupujícího. Na obr. 4 je grafické rozhraní pro obsluhu virtuálního přístroje.

Na zobrazeném grafu v levé dolní části obrázku je vidět okamžitý průběh měřeného výkonu, jehož průměrná hodnota za jednu periodu se zobrazuje na obrazovce vpravo. Měřicí aparatura byla použita pro měření ztrátového výkonu na sinusovém filtru, jako jedna ze tří metod, které byly pro tento účel použity. Celkem bylo provedeno a vyhodnoceno více než 200 měření při základních frekvencích od 5 do 50 Hz a



Obr. 6 Blokový diagram zapojení virtuálního přístroje pro měření výkonu

modulačních frekvencích od 4 do 12 kHz. Příklad průběhu naměřených hodnot závislosti ztrátového výkonu na základní frekvenci měřeného filtru pro modulační frekvence 8 a 10 kHz je na obr. 7.



Obr. 7 Příklad změřené charakteristiky

IV. ZÁVĚR

Příspěvek ukazuje možnosti využití programového prostředí LabView ve spojení s digitizérem NI PXI- 5105 pro realizaci vysokofrekvenčního wattmetru. Bylo realizováno 4 kanálové měření okamžitých hodnot proudu a napětí ve dvou fázích a z něj spočítaná hodnota výkonu. Při měření byl ověřen původní předpoklad minimální vzorkovací

frekvence 200 kHz. Při snižování této frekvence byl měřený výkon zatížen značnou chybou, která se projevovala zejména neopakovatelností měření. Naopak při zvyšování vzorkovací frekvence až na 10násobek původního předpokladu zůstávala měřená hodnota pro dané výchozí podmínky konstantní. Výsledky byly rovněž ověřeny porovnáním výsledků s hodnotami získanými na filtru z oteplovacích charakteristik a teoretickým výpočtem z charakteristik použitého magnetického materiálu. Hodnoty při porovnání vykazovaly překvapivě dobrou shodu s odchylkou do 10 %.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci podpory z projektu TE01020020 – Centrum kompetence automobilového průmyslu.

LITERATURA

- [1] R Drechsler, Měření elektrické energie SNTL/SVTL, Praha 1966
- [2] M. Dufek, V. Fajt Elektrické měření I. Elektrické měřicí přístroje, SNTL/ALFA, Praha 1974
- [3] R. Drechsler, J. Gyarfáš, M. Jakl, J. Vítovec, Elektrické měření II. Základní metody, SNTL/ALFA, Praha 1973
- [4] Firemní literatura National Instruments

Rozlehlý distribuovaný řídicí systém

Platforma pro lokálně dislokované řídicí systémy environmentálních aplikací

Jakub Jura

Department of Instrumentation and Control Engineering
Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague
Prague, Czech Republic
jakub.jura@fs.cvut.cz

Štěpán Gojda

Department of Instrumentation and Control Engineering
Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague
Prague, Czech Republic
stepan.gojda@fs.cvut.cz

Jiří Bíla

Department of Instrumentation and Control Engineering
Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague
Prague, Czech Republic
Bila@vc.cvut.cz

Abstrakt — Příspěvek pojednává obecně o distribuovaném řídicím systému, dále pak o jeho výskytu na jedné straně spektra v multiagentních systémech (umělá inteligence) a na straně druhé v holonických systémech (výroba). Věnuje se definici agenta a jeho roli v multiagentním systému, pojednává obecně o holonických systémech a o rozdílu mezi agentem a holonem. Dále pak se věnuje praktické realizaci těchto poznatků (popis Mesh sítě, její tvorba a realizace s použitím TR modulů) a na závěr návrh celé komunikační infrastruktury.

Keywords — multiagentní systém; holonický systém; agent; holon; mesh síť, radiová komunikace, TR modul,

I. ÚVOD

Distribuované řídicí systémy (DCS – Distributed Control System) jsou v oblasti průmyslových (a nejen průmyslových) aplikací již vcelku dobře etablovány. Z názvu vyplývá, že jsou to systémy, kde je řízení **rozděleno** - distribuováno. Jejich asi nejpodstatnější výhodou je **vyšší robustnost** oproti systémům centralizovaným (které mají z hlediska spolehlivosti tzv. úzké místo – centrální člen, při jehož nefunkčnosti přestane fungovat celý systém). Výpočetní a algoritmické metody distribuované architektury jsou však oproti centralizované o něco náročnější¹ a tak se často jedná více o název marketingový, než technický – a bývají tak označovány řídicí systémy, které jsou topograficky dislokovány, ale řízení je centrální – jedná se tedy v podstatě o vzdálené vstupy a výstupy (což rozhodně není DCS) [4].

Souhrnně řečeno – podobně jako v přírodě biodiverzita, tak i zde zajišťuje vyšší heterogenita vyšší stabilitu celku.

¹ Například namísto modelování chování pomocí konečného automatu je zapotřebí model tzv. komunikujících automatů (v podstatě jde o propojení více stavových diagramů dohromady).

A. Distribuovaný řídicí systém

Abychom řídicí systém mohli označit za distribuovaný, měl by odpovídat následující definici:

Distribuovaný systém je takový systém, který zahrnuje více než jeden procesor, a který má svůj program rozdělený na části, které si navzájem předávají data [10].

Podstatnou vlastností všech následujících konceptů je **distribuovanost** „D“ (tedy rozdělenost). Distribuovanost řídicího systému D je podle Enslowa [1] možné chápat jako vlastnost určenou uspořádanou trojicí:

$$D = [\text{použité procesory, sdílená data, rozdělené úlohy řízení}] \quad (1)$$

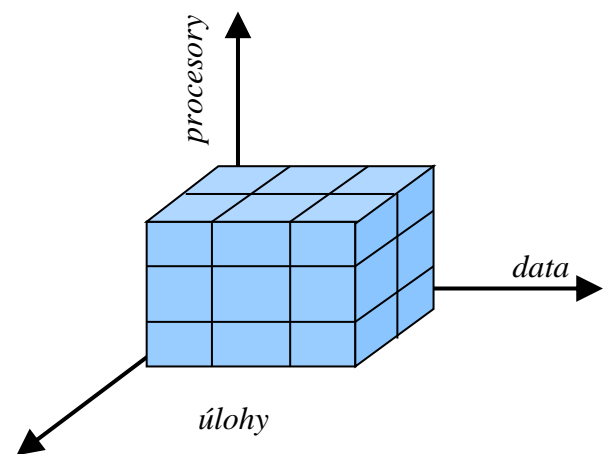


Fig. 1 – rozdělení úloh, dat a procesů v DCS.

Takto vymezená klíčová vlastnost distribuovaných systémů umožňuje jejich hodnocení co do kvantity – míry distribuovanosti (poměr úloh ku procesorům), ale i co do kvality – způsobu distribuovanosti (specifický způsob přiřazení dat a úloh k procesorům).

Distribuované systémy však většinou uvažujeme jako relativně malé a spíše uzavřené (s obtížemi rozšiřovatelné o další prvky). Je to pojetí vycházející z průmyslových aplikací. Opakem tohoto je zde diskutovaný rozlehlý DCS, který je svou podstatou značně rozsáhlý co do počtu úloh (stovky) i do jejich topologické vzdálenosti (kilometry). Navrhovaný DCS je orientován na velké environmentální aplikace (jako např.: [2]). V DCS jde především o celek – ten však není utvářen centrálně, ale vzniká ze svých částí – jejich propojením, souhrou – emerguje ze struktury [8] se všemi myslitelnými specifiky [1]². K tomu je základní podmínkou komunikace³ mezi prvky.

II. NÁVAZNOSTI NA DALŠÍ KONCEPTY

Teorie distribuovaných řídicích systémů se nevyskytují ve vakuu, ale mezi dalšími relativně podobnými koncepty. Jsou to především multiagentní systémy na jedné straně spektra (umělé inteligence) a holonické systémy na straně druhé (výroba).

A. Multiagentní systémy (MAS)

Bývá zvykem uvést problematiku DAI (distribuované umělé inteligence) na analogiích v přírodě či lidské společnosti: Multiagentové systémy se snaží využívat v technice těch výhod, které si ceníme na týmové práci [11]. Sdružování atomů v molekuly, ty v součásti buněk, buňky v tkáň, tkáň v orgány, orgány v jedince, jedince ve společnost... jsou charakteristické pro živou hmotu. I v oboru DAI platí základní anatomická premisa, že funkce a struktura jsou neodmyslitelně spjaty. Na to navazuje holistický předpoklad, že celek je více než prostý součet všech jeho prvků.

Jinou definici podal Woldridge (volně dle [12]): Agent je hardwarový, nebo softwarový systém, který je:

Autonomní – pracuje bez přímého zásahu člověka. Do jisté míry řídí své akce a vnitřní stavy – pracuje podle svého vlastního uvážení.

Sociální – interaguje s ostatními agenty prostřednictvím jazyka pro komunikaci (např. ACL – Agent Communication Language). Sociální agent pracuje s modely chování ostatních agentů (motivace a znalosti), či s úrovní jejich aktuální zátěže.

Reaktivní – reaguje na změny v okolí systémem produkčních pravidel: {situace S} → {akce A}, resp.: rozpoznání situace → vykonání akce. Má takzvané stereotypní plány. Tato představa je shodná s radikálním behaviorismem, který se domnívá, že všechny projevy živé hmoty jsou pouze reakcemi na nějaký aktuální nebo dřívější podnět.

² Například vznik neočekávaných situací UX³ a nutnost jejich detekce.

³ Už základ slova odkazuje na commun ... společný.

Proaktivní (intencionální – deliberativní) – reakci agenta na podnět nedeterminuje pouze aktuální stav, ale agentovo chování je řízeno cíli, přesněji dlouhodobými cíli. K tomu potřebuje mít symbolický model prostředí, v kterém se pohybuje (tento model je technická obdoba „kognitivní mapy“). Společenství agentů musí zajistit obzvláště (dle [11]):

1. koordinaci – patří sem především rozdělování práce a sdělování mezivýsledků. Zásadním termínem je zde:

{**závazek**} agent přislíbí, že vykoná nějakou činnost

{**úmluva**} a domluví se za jakých podmínek může od závazku odstoupit

2. kooperaci – základní metodou kooperace je **vyjednávání** (negotiation).

3. komunikaci – nutná podmínka pro koordinaci a kooperaci. Základním typem komunikace je posílání zpráv. Základní architekturou je **TABULE (sdílená virtuální datová struktura**, kam mohou prvky systému zapisovat data, a z které je mohou číst – podobně jako z reálné tabule).

B. Holonické systém (Holonický výrobní systém)

S termínem „**holon**“ přišel Arthur Koestler a označoval jím základní organizační jednotku biologických a společenských systémů [9]. Podle Koestlera se každá identifikovatelná jednotka organizace skládá z dalších jednotek nižšího řádu a na druhou stranu tvoří jednotky vyššího řádu, které tvoří celek [7].

Holonický výrobní systém (Holonický výrobní systém, Holonic Manufacturing System HMS) je systém složený z holonů, přičemž termínem holon se rozumí elementární řídicí a **výrobní** jednotka [4]. Pro lepší pochopení si je možné holon představit například jako výrobní zařízení, které je řízené automatem a ke kterému je připojen počítač například s vizualizací [7]. Základní rozdíl mezi holonem a agentem je ten, že agent zpracovává jen informace, zatímco holon zpracovává také materiál.

Teorie holonických výrobních systémů je méně intenzivně rozvíjena než teorie multiagentních systémů, a proto existuje v holonických systémech méně norem, a proto je také mnoho standardů odtud přejímáno Nejznámější organizací zabývající se standardizací pro holonické systémy je konsorcium HMS [4] (Holonický výrobní systém). Existuje též mezinárodní standard pro tvorbu HMS IEC 61499.

III. KOMUNIKACE

Technickým předpokladem pro realizaci distribuovaného řídicího systému DCS je komunikace mezi jeho jednotlivými prvky a na to se váže otázka komunikační infrastruktury. Právě ta se bude v případě rozlehlého systému (který je navíc primárně bez komunikační infrastruktury) od uvažovaných průmyslových nasazení podstatně lišit. Zatímco při průmyslovém nasazení je možné většinou využít stávající datové sítě, průmyslové sběrnice atp., tak v tomto případě je možné využít maximálně elektrickou rozvodnou síť (pomocí které je možné realizovat datový přenos například za využití Powerline Ethernet adapterů). Zbývá buď vytvořit nové vedení, nebo komunikovat bezdrátově. Zde se kromě obvyklé Wifi

nabízí i v technických aplikacích poněkud opomíjená **radiová komunikace**.

IV. TOPOLOGIE – MESH SÍŤ

Z hlediska komunikačního může být síť uspořádána různým způsobem – sběrnice, hvězda, kruh, polygon, ... a **mesh síť**. Ta má oproti ostatním jednu nespornou výhodu, kterou je vyšší robustnost systému. A to je i důvod jejího nasazení v kombinaci s využitím radiové komunikace, která je s ohledem na kvalitu přenášeného signálu velmi citlivá na množství nepodchytitelných rušení či meteorologických vlivů.

A. Mesh síť obecně

Mesh síť rozumíme soustavu modulů (jednotka, která obsahuje procesor, komunikační periferie, příp. další periferie – spínače, relé, senzory, atd.), kterých může být v jedné síti velké množství (typicky stovky až tisíce). Síť je řízena centrálním modulem (koordinátor, master), ostatní moduly se označují termínem Nod (uzel). Pro mesh síť je typická skutečnost, že každý Nod přijme a zpracuje zprávu, která je mu určena a zprávy, které jsou určeny jiným Nodům, přepoše dále (tzv. routování). Díky tomu existuje množství cest od odesílatele k příjemci, z čehož vyplývá vyšší robustnost sítě (která samozřejmě závisí na hustotě pokrytí dané lokality nody).

Aby bylo možné zprávu odeslat a úspěšně přijmout, je zapotřebí nejprve specifikovat, kdo je příjemcem této zprávy. Pokud jsou příjemcem této zprávy všechny jednotky v síti, jde o broadcasting. Poté je nutné určit správný počet „hopů“ (tzn. přeposlání, přeroutování) zprávy, než dojde ke svému příjemci, což závisí na počtu nodů, které se nachází mezi odesílatelem a příjemcem zprávy. Pokud dostatečně neznáme rozmístění modulů v síti, musíme, pokud chceme mít jistotu, že zpráva bude v pořádku přijata, stanovit počet „hopů“ stejný, jako je počet modulů v síti (v nejhorším možném případě jsou moduly umístěny za sebou a od koordinátora k nejbližšímu modulu existuje pouze jedna trasa). Takovýto případ se nazývá „flooding techniqué“, česky zaplavení.

B. Mesh síť sestavená z TR modulů

Mesh síť⁴ v naší aplikaci rozumíme soustavu TR modulů (jednotka, která obsahuje procesor, anténu a další periferie), kterých může být v jedné síti až 65 000. Síť je řízena modulem (koordinátor), ostatní moduly se označují termínem nod (uzel).

Výhoda mesh sítě spočívá v tom, že každý modul v síti nejen že je schopen přijímat zprávy od sousedních modulů, umí navíc zprávy přeposílat k dalším modulům (tzv. routování), z čehož vyplývá vysoká robustnost sítě.

Příklad (Fig. 4): pokud bychom chtěli poslat zprávu z koordinátora sítě (C) uzlu sítě N2, nejprve je zpráva poslána z koordinátora do N8 a N10 současně, poté je poslána z N8 současně do N5, N4 a N7 a N10 (N10 na ni ale nereaguje, protože ji obdržel už podruhé). Po dalším přeroutování zprávy nakonec doputuje k cílovému nNodu N2, který nakonec tuto zprávu obdrží od N5, N1 a GW_ETH_01. Zprávu ale přijme pouze od prvního noda, který mu ji poskytne, v dalších případech ji ignoruje. Z toho vyplývá, že i kdyby byly přerušeny některé z cest, zpráva do určeného uzlu by bez problémů došla.

⁴ Tento typ Mesh sítě je vyvinut s použitím mikroprocesorů PIC 16F/LF firmou Microrisc se sídlem v Jičíně, Dělnická 222, 506 01

Volba koordinátora nebo noda závisí výhradně na uživateli, je dán skriptem, který je do modulu nahrán. Aby byl daný modul (nod) do mesh sítě zařazen, musí nejprve úspěšně proběhnout process, který se nazývá **bondování**. Ten probíhá tak, že nejprve je ve skriptu noda přečten řádek *bondRequest()*, nod tímto vyšle požadavek o zařazení do sítě a koordinátor tento požadavek potvrdí příkazem *bondNewNode()*. Poté je do paměti obou modulů zapsána adresa noda. Je nutné dbát na to, aby každý modul, který byl do sítě zařazen, byl umístěn na stejném místě, jako při bondování, aby nedošlo k narušení komunikace (koordinátor má díky adresám nodů ve své paměti zaevidované i cesty k jednotlivým nodům, které se poruší, pokud byly nody dodatečně přemístěny).

Tento problem řeší příkaz *discovery()*. Po úspěšném přidání nodů do sítě se tyto přemístí, vytvoří se fyzická struktura sítě a poté je příkazem *discovery()* síť znovu „namapována“ a do paměti modulů jsou zapsány virtuální adresy (vzestupně od noda, které jsou nejbližší koordinátorovi, až po nejbližší).

V. PROJEKT KOMUNIKAČNÍ INFRASTRUKTURY S VYUŽITÍM SYSTÉMŮ RADIOVÉ KOMUNIKACE

Výše popisovaná mesh síť doposud předpokládala komunikaci pouze uvnitř této sítě. Reálně je však potřeba zajistit také komunikační kanály ven – směrem k uživateli a

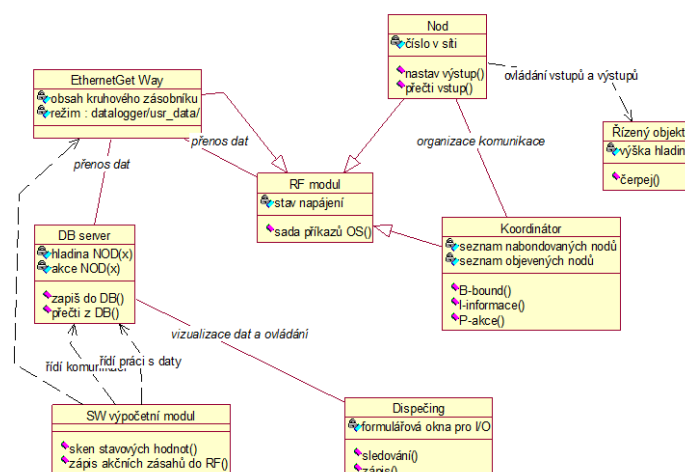


Fig. 2 – logická struktura komunikace (UML diagram tříd)

vyšší úrovni zpracování provozních dat (Fig. 2).

Komunikace směrem k technologii je realizována standardními způsoby komunikace mikroprocesoru s digitálními a analogovými periferiemi (zde SPI).

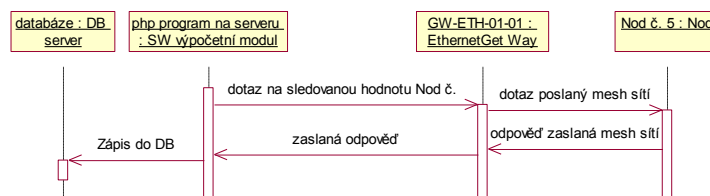


Fig. 3 – scénář komunikace při udržování aktuální hodnoty stavové veličiny v připojené SQL databázi.

Pro komunikaci směrem ven je možné použít bránu (GateWay) do sítě ethernet (schéma komunikační infrastruktury Fig. 4). V tomto případě GateWay umožňuje přenos dat z kruhového zásobníku (a opačně do TR modulu) mj. na základě příkazů php serveru (Fig. 4). Tato data je tedy možné relativně snadno ukládat do SQL databáze – a z ní na

základě jiného php kódu číst (Fig. 3). V opačném směru potom zapisovat do příslušné tabulky SQL databáze a odtud na základě permanentně běžícího php skriptu na serveru posílat do mesh sítě (pro modelování komunikace byl využit standard UML a CASE systém Rational Rose – Fig. 2, Fig. 3).

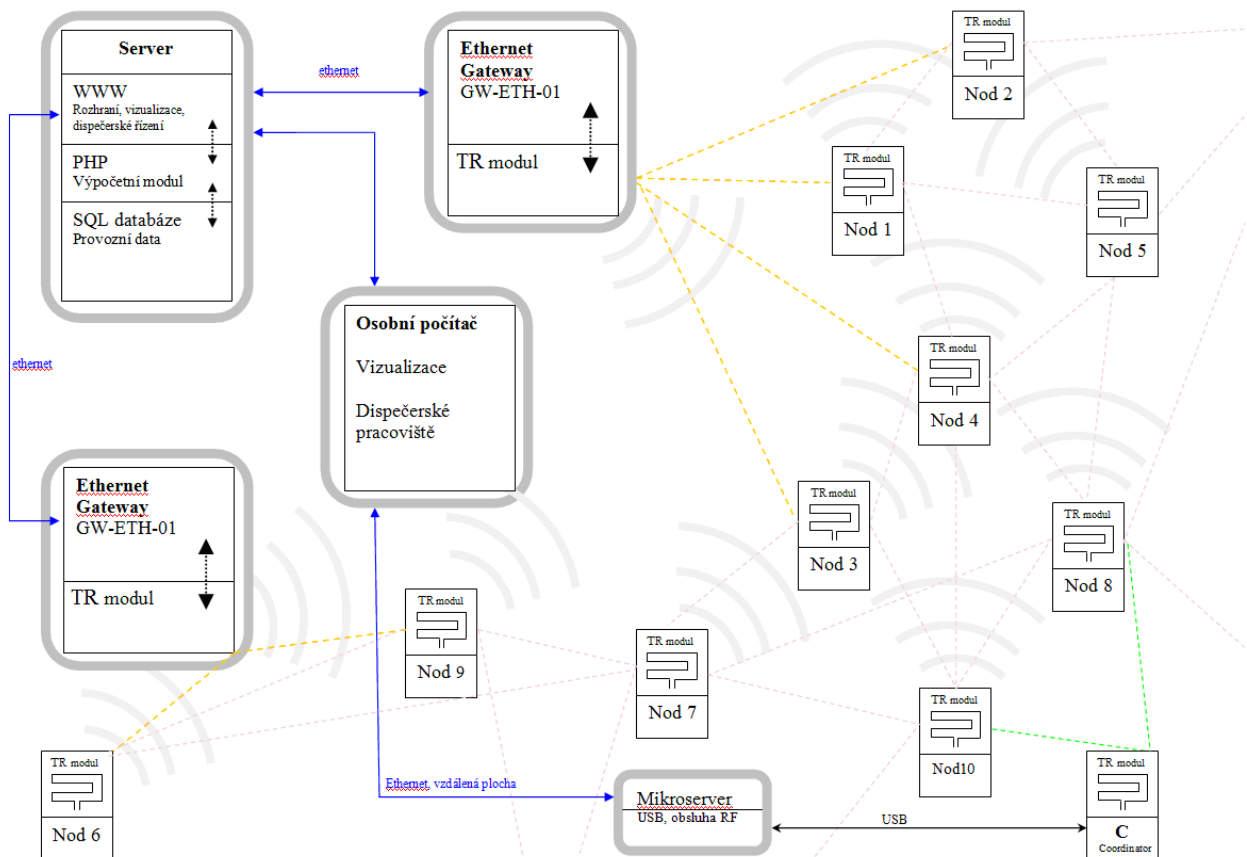


Fig. 4 – návrh komunikační infrastruktury s mesh sítí složené z prvků radiové komunikace.

VI. ZÁVĚR

Uvedený způsob komunikace je inspirován v biologických a sociálních systémech. Pro návrh jsou využity nástroje softwarového inženýrství a komunikace heterogenních struktur je modelována pomocí prvků jazyka UML.

VII. ACKNOWLEDGEMENT

Práce na projektu je podporována grantem TACR TA02011201 a tento článek byl spolupodpořen grantem SGS12/177/OHK2/3T/12.

VIII. REFERENCE

- [1] Bíla, J. and Jura, J.: Unexpected versus Ill Separable Situations. In: 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions – ISHF 2010, Prague, CTU Press, 2010, pp. 96-101.
- [2] Bila, J., Jura, J., Bukovský, I.: Qualitative Modeling in the Landscape Development Monitoring In Recent Researches in System Science. Athens: WSEAS Press, 2011, vol. 1, p. 35-41. ISBN 978-161804-023-7.
- [3] Enslow, Philip H.: Multiprocessor Organization. 1977. [online], [cit. 13.5.2013] Dostupné z:

<http://dforeman.cs.binghamton.edu/~foreman/580pages/pubs/enslow-mp-organization.pdf>

- [4] Holonic Manufacturing System consortium: [online], [cit. 13.5.2013] Dostupné z: <http://hms.ifw.uni-hannover.de>.
- [5] IQRF OS 3.03 User's Guide [online], [cit. 13.5.2013]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=155>.
- [6] Jura, Jakub: Bakalářská diplomová práce na téma: „Distribučný řídicí systém s PLC Tecomat“. Praha: ÚPRT FS ČVUT.
- [7] Jura, Jakub: Diplomová práce na téma „Holonický výrobní systém“. Praha: ČVUT FS, Ústav přístrojové a řídicí techniky, 2004.
- [8] Jura, J. & Bila, J.: Filosofie emergentismu v počítačových vědách In Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky (pp. 89 - 93). Praha: ČVUT FS, Ústav přístrojové a řídicí techniky, 2009.
- [9] Koestler A.: The Ghost in the Machine. Penguin Group, 1967. ISBN 0-14-019192
- [10] Puškin, V., N.: Psychologie a kybernetika. Praha: SPN, 1974
- [11] Mařík, V., Štěpánková, O., Katanský, J.: Umělá inteligence (2). Praha: Academia, 1997.
- [12] Wooldridge, M.: Agent-based Software Engineering. In IEE Proceedings on Software Engineering, 144(1), pages 26--37, 1997. Dostupné z: <http://www.cs.ox.ac.uk/people/michael.wooldridge/pubs/iee-se.pdf>

In-cylinder Pressure Based Control Overview

Ing. Adam Kouba

Department of Instrumentation and Control Engineering
Czech Technical University
Prague, Czech Republic
Adam.Kouba@fs.cvut.cz

Abstract - Control methods based on in-cylinder pressure signal are key to successful optimization of processes in the combustion chamber and therefore to lowering of engine out emissions. Unfortunately measurement and data processing of in-cylinder pressure signal was a problem in past years. Nowadays, when several applications of in-cylinder pressure based control are running in mass production cars, there are more technical possibilities to increase quality of this control or to replace the ICPS with estimation of in-cylinder pressure by a complex engine model. This paper puts different applications of in-cylinder pressure based control in time perspective and deals with new methods presented in last years.

Keywords - In-cylinder pressure, combustion control, ICPS

I. NOTATION

ICPS	...	in-cylinder pressure sensor
IMEP	...	indicated mean effective pressure
EGR	...	exhaust gas recirculation
EMC	...	electromagnetic compatibility

II. INTRODUCTION

This paper is focused on engine combustion control of diesel engine. The key to optimization of combustion process is in understanding of process in combustion chamber.

Unfortunately the measurement of variables in combustion chamber is very difficult and sensors for in-cylinder measurement are expensive or inaccurate and with short lifetime. That's why these sensors are still not popular in mass production. Because of the promise, that control methods based on measured in-cylinder variables, show, many manufacturers are now trying to build-in these sensors to their new engines to reach given emission standards. Using of in-cylinder pressure sensor is one way to get useful feedback from process in combustion chamber.

A. In-cylinder pressure measurement

Pressure sensors these days are developed with various basic principles of operation. Methods of in-cylinder pressure measurement are often divided to intrusive and non-intrusive. Intrusive sensors are giving more accurate results, but they are also more expensive with shorter life time. Non-intrusive sensors have the major disadvantage of being less accurate. Another approach to pressure measurement is direct

measurement, such as optical principle, or indirect pressure measurement, such as piezo-electric principle.

The principles of measurement could be divided as in [1] into these groups:

- Indirect pressure measurement
 - Deflection of glow/spark plug pin or glow/spark plug body/cylinder head
 - Piezo-electric [2]
 - Piezo-resistive [3]
 - Change in cylinder head sealing gap (head gasket)
 - Strain measurement
- Direct pressure measurement
 - Optical measurement of deflected membrane [4]
- Other methods
 - Ion current sensing
 - Knock sensors (accelerometer)
 - Crankshaft speed sensor

Methods from the 'Other methods' category could be used to estimate in-cylinder pressure after calibration of used technique on measured engine.

B. Mounting of ICPS

Mounting of sensor is different for different applications; it depends on size and type of the engine and in case of experimental measurement on possibility to reach the combustion chamber with a sensor tip. Because the measured pressure depends on position of sensor in combustion chamber, the best placement was found in the middle of cylinder head. Unfortunately this place is commonly used for spark plug or glow-plug or it's occupied by inlet and exhaust valves. In the first case of spark or glow plug, OEM's are using sensor integrated into a spark [2],[4] or glow [3],[5] plug. This solution is widely used by many manufacturers with different principles of sensors. In second case the only way how to get sensor into the combustion chamber is through additional hole, which can cause problems in engine design, production and lifetime. Another interesting application of ICPS mounted into cylinder gasket could be seen in [6].



Fig. 1: Kistler spark plug integrated piezo-electric cylinder pressure sensor [2]



Fig. 2: Beru glow plug integrated piezo-resistive cylinder pressure sensor [3]

Fig. 3



or with pressure

C. Errors of ICPS

Sensing of in-cylinder pressure is problematic due to high temperatures, pressures and frequencies in combustion chamber. The construction of sensor can eliminate some of measurement problems, like self-temperature compensation.

For other cases we are forced to correct measured signal to known errors. The main errors in in-cylinder pressure measurement are caused by [7]:

- Temperature influence
- Vibration influence
- Correct position of sensor
- Drifting problems
- Scaling problems
- Sensitivity to EMC
- etc.

D. Analysis of pressure signal

Analysis of pressure sensor depends on final application of measured in-cylinder pressure. Because a lot of sensors are liable to drifting and scaling problems, for example due to change of pressure in intake manifold or wear of sensor, commonly used variable is the difference of measured pressure [8]. From pressure difference we can detect knock phenomena, misfires, estimate crank shaft position of maximum pressure or estimate heat release [9]. To improve output accuracy and utility compensation of pressure drift is used. In this case we can obtain absolute value of in cylinder pressure, which can be used for estimation of IMEP, maximum pressure, etc. If the IMEP is estimated from one cylinder, there is a possibility to estimate IMEP value in other cylinders of controlled engine, via roughness of rotational speed[10] or another sensor like accelerometer. Fig. 4 shows the overview of possible control of combustion timing or maximum in-cylinder pressure.

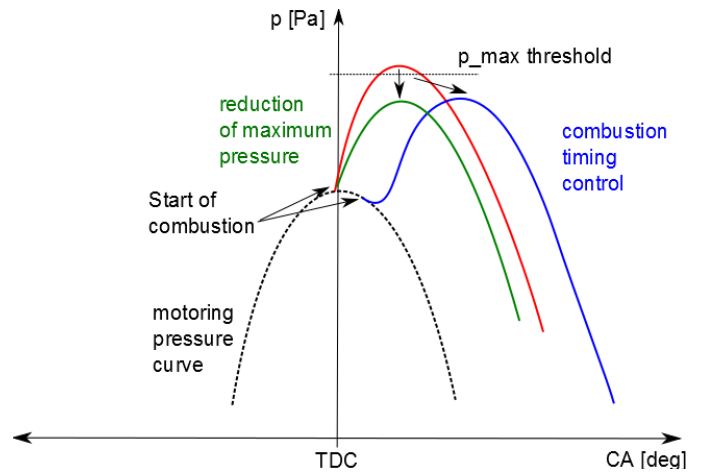


Fig. 4: Example of possible in-cylinder pressure based control management

III. APPLICATIONS OF PRESSURE BASED CONTROL

Since 1995 the emergence of In-Cylinder pressure based combustion control increased rapidly. Lot of patents and papers with different applications were published. This is because the ICPS feedback is robust to variety of fuel types, quality, combustion mode environmental temperature and pressure in variety load and disturbances. This makes the ICPS based control to be one of the possible aspirants, as the main element of unified engine control strategy.

In patent of General Motors Corporation [11] the difference of pressure is used to control ignition timing, diluents of gas flow rate (EGR) and fuel balance on EGR diesel engine. Because the patent was published in 1986, only 5 samples per combustion event were used. This shows the main problem of ICPS based control, which is in data processing and the computation power of nowadays control units.

More sophisticated combustion control [8] was published by Ricardo UK in 2006. This engine management is calculating with approx. 1 measured pressure sample per one crank angle, also with a absolute pressure measurement. This patent shows approaches for diesel engine and for gasoline or another spark ignited engine with possibility to control injection or spark timing, maximum pressure and also to use in knock detection, misfire detection or detection of combustion instability. Control diagram for fuel efficiency mode via estimation of B50 angle is show on Fig. 5.

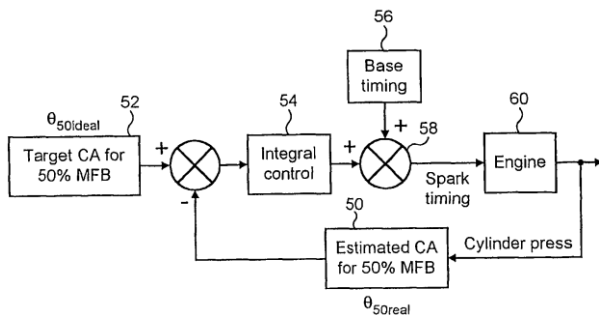


Fig. 5: Integral control for fuel efficiency mode via estimation of B50 angle presented in [8]

IV. CONCLUSION

The ICPS control based strategy is becoming to be the standard part of the engine. Nowadays sensors are mounted in several applications of mass production engines to reach the emission standards as EU6 with the more precise control of combustion processes like in Audi Q7 and A4 with 3.0L TDI engine (2008), Honda with iDTEC engine (2009) or Cadillac CTS (2009) [7].

To get more data OEM's are trying to implement model based control mechanisms to their strategies. The same way could be used to estimate in-cylinder pressure from other sensors already mounted on the engine or sensors which are more robust and they are not exposed to high pressures and temperatures in combustion chamber (like intake manifold pressure, temperature sensor, etc.). Because of the need to get real time data of in-cylinder pressure per crank angle, models are starting to be complex. Demands on computational power are still increasing with the need of use of 1D engine model to estimate engine parameters. The first real time 1D engine mode running in Electronic Control Unit was shown in Apr 2013 on Ricardo Software 2013 EUC [12], where the model was used to estimate in-cylinder pressure to control ignition timing of diesel engine.

REFERENCES

- [1] Beasley, M.; Cornwell, R.; Fussey, P.; King, R.; Noble, A.; Salamon, T.; Truscott, A - Ricardo UK, "Reducing Emissions Dispersion by Coordinated Combustion Feedback Control," Ricardo UK, 26 04 2006. [Online]. Available: http://www.amaa.de/previous/amaa_2006/Presentations_2006/2-1-02_Salamon.pdf. [Accessed 30 03 2013].
- [2] "Kistler Measuring Spark Plug," 20 Apr 2013. [Online]. Available: http://www.intertechnology.com/Kistler/pdfs/Pressure_Model_6117B.pdf.
- [3] "Beru," Beru, 15 04 2013. [Online]. Available: <http://beru.cialog.com/products/diesel-cold-start-technology/pressure-sensor-glow-plug-psg>.
- [4] "Optrand PSIplug," 20 Apr. 2013. [Online]. Available: http://www.optrand.com/fliers/psiplug_%20060201.pdf.
- [5] G. Troy, A. Ramond and S. Goretti, "Glow Plug Integrated Piezo-Ceramic Combustion Sensor for Diesel Engines," [Online]. Available: http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2005/session1/2005_deer_troy.pdf. [Accessed 20 Apr 2013].
- [6] D. Toth, T. Shaw, M. Wlodarczyk and C. and Cummings, "Cylinder Head Gasket with Integrated Combustion Pressure Sensors for Advanced Engine Controls," in *SAE Int. J. Engines* 4(1), SAE International, 2011, pp. 1235-1246.
- [7] K. E. Shahrudi, *Robust Design Evolution and Impact of In-Cylinder Pressure Sensors to Combustion Control and Optimization: A System and Strategy Perspective*, Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [8] A. J. Truscott, A. D. Noble, A. Akoachere, C. J. Evans, P. J. F. Moulin and D. J. Bowker, "Engine Management". USA Patent US 7,073,485, 11 Jul. 2006.
- [9] S. Leonhardt, N. Muller and R. Isermann, "Methods for Engine Supervision and Control," *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*, vol. 4, no. 3, pp. 235-245, 1999.
- [10] A. Bieniek, "Conception of cylinder pressure based diesel injection control system," *Journa of KONES Powertrain and transport*, vol. 18, no. 3, pp. 27-35, 2011.
- [11] F. A. Matekunas, "Engine Combustion Control with Ignition Timing by Pressure Ratio Management". USA Patent US 4,622,939, 18 Nov 1986.
- [12] Navratil, Jiri; Hnilicka, Bohumil - Ricardo Prague, "Ricardo," 17 Apr 2013. [Online]. Available: http://www.ricardo.com/PageFiles/26406/04_NAUC_2013_WAVE-RT_Real_Time_1D_Model_Running_on_Engine_Controller.pdf. [Accessed 27 Apr 2013].

Rozptýlené světlo

Ing. Karolina Macúchová

Department of Instrumentation and Control Engineering
Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical
University in Prague
Prague, Czech Republic
Karolina.Vosatková@fs.cvut.cz

doc. Ing. Josef Zicha, CSc.

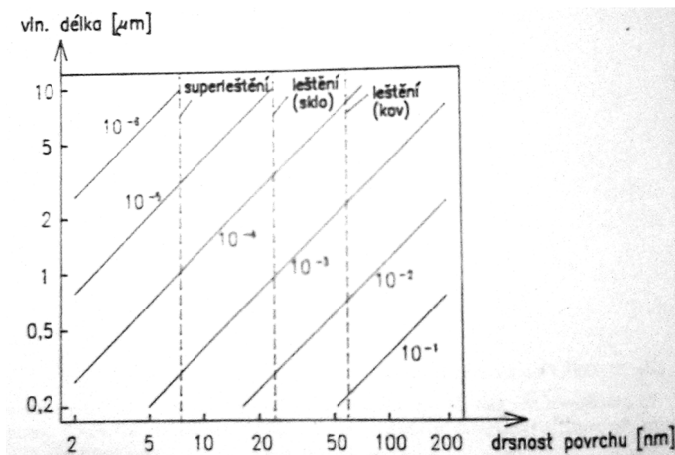
Department of Instrumentation and Control Engineering
Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical
University in Prague
Prague, Czech Republic
Josef.Zicha@fs.cvut.cz

Abstract — This paper describes the overall approach to diffuse and stray light. Emphasis is placed on definition of different types of interactions with particles in the atmosphere, which causes appearing of the diffusion effects within observing conditions especially in astronomy. We discuss the disadvantages and advantages of light diffusion with respect to design and performance of general optical systems.

Keywords—diffusion, diffuse light, stray light; light pollution; diffuse light.

I. ÚVOD

Difúze (rozptyl) světla je způsobena interakcí elektromagnetického záření s hmotou. Nejčastěji nastává při odrazu od drsného povrchu nebo při průchodu matným prostředím. V [1] je uvedena závislost množství rozptýleného světla na drsnosti povrchu.



Obr. 1 Závislost rozptýleného světla na drsnosti povrchu, (Zicha 1998)

Odraz obecně je definován jako odvrácení záření povrchem, aniž by došlo ke změně vlnové délky dopadajícího záření. Difúzní odraz je opakem všeobecně známého zrcadlového odrazu. Vyskytuje se na drsných (nerovných) rozhraních dvou prostředí, neleštěných površích s drsností větší, než je vlnová délka dopadajícího světla, nebo při průchodu záření opticky nehomogenním prostředím. Dopadající elektromagnetické záření je odraženo do poloprostoru s mnoha složkami různých směrů vlnových vektorů a s různou amplitudou. Složitá struktura odražené

vlnoplochy závisí na detailní struktuře předmětu, na němž k difúznímu odrazu dochází, zejména na vzájemném poměru charakteristického rozměru nerovnosti (nehomogenit) a vlnové délky dopadajícího záření.

Ve velké většině případů se jedná o jev, který se v konstrukci optických přístrojů snažíme potlačit, protože negativně ovlivňuje jejich jiné, obecně ceněné vlastnosti, jako např. kontrast, rozlišení, poměr signál /šum a další.

Účinky rozptýleného světla lze omezit světlotěsným obalem, či krytem nepropouštějícím světlo, použitou optickou konfigurací, či volbou materiálů. Antireflexní vrstvy na optice a polarizační filtry eliminují nechtěné odrazy. K zachycení parazitních odrazů lze použít tzv. světelných pastí (v angličtině light trap) nebo vyčerněním vnitřních částí přístroje (např. acetonovými sazemi, černou sametovou fólií, černěním, apod.), ve kterých se světlo může nekontrolovatelně šířit. Na objektivě odrazy a parazitní světlo eliminuje kruhová sluneční clona.

V průsvitných materiálech dochází k difúznímu rozptylu světla uvnitř materiálu. Matná destička vytváří sekundární zdroj rovnoměrnějšího a měkčího osvětlení s neostrými stíny.

II. MATEMATICKÝ PŘÍSTUP K DIFÚZI SVĚTLA

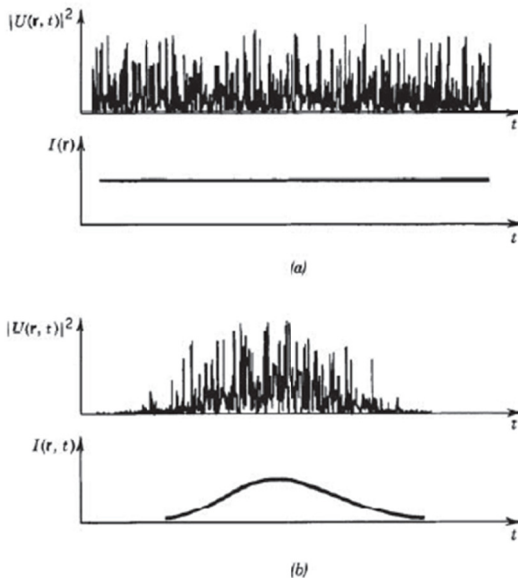
Místa vzniku difúzního světla v přístrojích nemusíme příliš složitě hledat, protože jsou úplně všude, kde se vyskytují fotony. Rozptýlené záření má prostorově složitou strukturu a odnáší energii prakticky do všech směrů prostoru. Jedná se o jev statistický, protože nelze určit, který foton z celkového ohromného množství projde optickou soustavou ve shodě s přáním jejího konstruktéra, který bude pohlcen a jehož energie se transformuje na teplo a který foton bude v důsledku parazitních odrazů a difúze procházet jinou, než zamýšlenou cestou.

Modelování průchodu světla je možné metodou Monte Carlo, neuronovými sítěmi, nesequenčním sledováním paprsků, zpětným sledováním paprsků, apod. BRDF (bidirectional reflectance distribution function) je čtyř-rozměrná funkce, která popisuje odraz světla od povrchu na základě Helmholtzova principu reciprocity. Uplatňuje se při měření rozptylu.

$$BRDF = \frac{\text{diferenciální záření}}{\text{diferenciální ozáření}} \approx \frac{dP_s/d\Omega}{P_i \cos\theta_s} \approx \frac{P_s/\Omega}{P_i \cos\theta_s} \quad (1)$$

Dvoustměrová rozptylová distribuční funkce (bidirectional scatter distribution function) [1/sterad] v sobě zahrnuje jednak BRDF, tak dvoustměrovou propustnou distribuční funkci.

Lambertův odraz představuje dokonale difúzní povrch s konstantní funkcí intenzity (viz Obr. 2-b).



Obr. 2 Statistická stacionární (a) a nestacionární vlna záření (Saleh a Teich 1991)

"Aniž si to příliš uvědomujeme, tak Vesmírem bloudí fotony, které nikdy žádným optickým zařízením neprošly a je jich o 87 řádů víc než těch, které byly zpracovány byť i jen primitivní optickou soustavou". Pro zajímavost: V pozorovatelném Vesmíru je 10^{78} atomů a fotonů je asi 10^9 krát více. Jiné vyjádření: Na 1 m^3 vesmírného prostoru připadá 0,2 protonu, ale cca 4×10^8 fotonů. (Zdroj: Rees 2004, str. 102).

III. INTERAKCE ZÁŘENÍ V ATMOSFÉŘE

Rozptyl elektromagnetického záření je proces interakce, při němž v rozptylujícím prostředí (v libovolném skupenství) mění dopadající záření svůj směr, fázi, vlnovou délku, či polarizaci. Elektrické pole dopadajícího záření polarizuje elektronový obal atomů a molekul prostředí, elektrony začnou kmitat, vzniká indukovaný dipólový moment a částice se stane zdrojem záření.

Je-li prostředí homogenní, ruší se vlivem interference všechny ostatní směry sekundárního záření kromě směru, který odpovídá šíření podle zákona odrazu a lomu. Je-li prostředí nehomogenní, nejsou pro interferenci splněny předpoklady a dochází k jeho rozptylu. Z kvantové mechanického hlediska lze na rozptyl pohlížet jako na absorpci dopadajícího fotonu s energií hc/λ_1 , polarizací μ_1 , impulsem hk_1 částicí s následnou emisí fotonu s energií hc/λ_2 , polarizací μ_2 , impulsem hk_2 . Má-li rozptýlené záření stejnou

vlnovou délku, jako záření dopadající, mluvíme o pružném rozptylu. Nemá-li, jde o rozptyl nepružný.

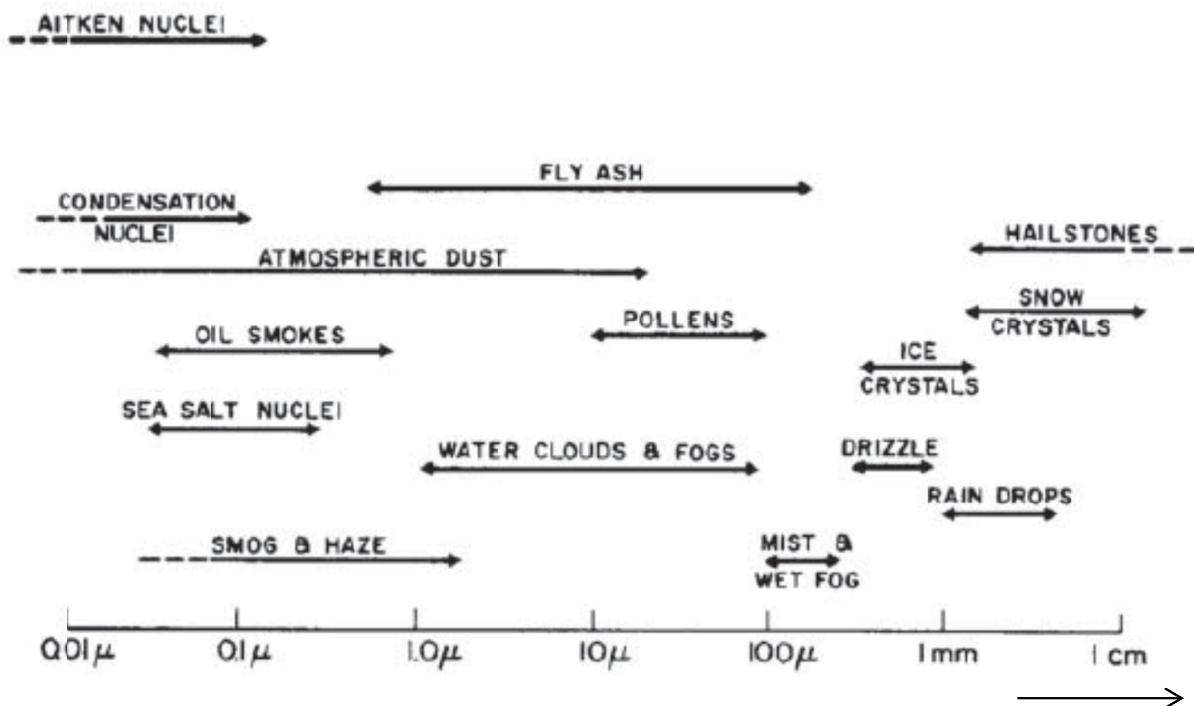
Je-li fáze dopadajícího a rozptýleného navzájem přesně určena, jde o rozptyl koherentní. Je-li fáze vlny rozptýleného záření nezávislá na fázi dopadajícího záření, dochází ke ztrátě informace o fázi a rozptyl nazýváme nekoherentním.

- Thompsonův rozptyl - dopadá-li záření na volné elektrony s kvantem energie menším než je klidová energie atomu.
- Comptonův rozptyl nastává při kratších vlnových délkách (vyšších frekvencích) dopadajícího záření. Elektromagnetické záření se srazí s atomy pevné látky a dojde ke změně vlnové délky v důsledku předání části energie atomům či elektronům.
- Rayleighův rozptyl – pružný rozptyl fotonu na atomech či molekulách, když je vlnová délka záření menší než jejich rozměr.
- Ramanův rozptyl – nepružný rozptyl fotonu na atomech či molekulách, když je vlnová délka záření menší než jejich rozměr.
- Brillouinův rozptyl – rozptyl na akustickém vlnění.
- Tyndallův rozptyl – je-li rozměr rozptylující částice srovnatelný nebo větší než vlnová délka záření
- Debyeův rozptyl – blíží-li se poměr indexu lomu rozptylujícího záření a prostředí jedné
- Mieův rozptyl – rozptyl záření na mikroskopických částicích
- Rozptyl nelineární a stimulovaný vzniká při velkých hustotách dopadajícího záření. (Vrbová 1994), (Fiala a Richter, Nelineární optika 2012)

Hodnota rozptýleného signálu bývá zpravidla nízká a kolísavá přes několik řádů. Určení signálu proto vyžaduje měření přes větší oblast kolem zdroje rozptylu.

Šíření světla atmosférou závisí na složení atmosféry. Velikost nejčastějších částic je zobrazena na Obr. 3. Difúze světla v atmosféře má za následek červenání při zapadání, bělení při vycházení. Zodiakální světlo je způsobeno rozptylem slunečního záření o miniaturní částičky meziplanetárního prachu (0,001-0,1 mm), které se nacházejí v rovině ekliptiky. Ve viditelné až blízké infračervené oblasti spektra jsou fluktuace indexu lomu atmosféry dané teplotou a kolísáním vlhkostí a mají za následek optické turbulence.

Interakce světla s atmosférou probíhá nejčastěji Rayleighovým rozptylem, molekulární absorpcí, Mieovým rozptylem na aerosolu a molekulární emisí. Molekulární absorpce je daná povolenými kvantovými energetickými stavy. Absorpční přechody se objevují v hluboké infračervené oblasti a oblasti mikrovln, přechody mezi vibračními hladinami se projevují v blízké infračervené oblasti – např. absorpční čáry CO_2 a H_2O jsou zřetelně patrné v oblasti kolem 2000 nm. Elektronové přechody se projevují v ultrafialové až viditelné oblasti záření.



IV. PŘÍRODNÍ A TECHNICKÉ APLIKACE

Podle doposud uvedeného by se mohlo zdát, že rozptýlené světlo je pouhým škůdcem funkce optických zařízení a že nemá své pozitivní místo v technických aplikacích.

Difúzní odraz působí rušivě v optických soustavách, kde snižuje kvalitu a výkon zobrazení, je zdrojem šumu, omezuje rozlišení. Na druhou stranu měření rozptylu se ukazuje velice citlivou metodou pro metrologii kvality povrchu a lokalizaci defektů v průmyslové výrobě.

Jak z dále uvedeného textu plyne, existují jevy s difúzí světla spojené, které se zápornému hodnocení vymykají a s výhodou je lze v technické praxi aplikovat. Na vysvětlení uvedme tyto příklady:

A. Přírodní difúzní osvětlení v důsledku rozptylu v atmosféře

Nikommu například nepřijde podivné, že díky rozptylu světla na oblačnosti, na prachu v ovzduší a při odrazu na blízkých předmětech pozorujeme naše okolí s různými stupni jasu a nikoliv pouze s hraničními hodnotami plného světla a úplné tmy (jak o tom svědčí naše každodenní zkušenost např. na Měsíci).

Fotografové dobře vědí, jak je zmíněná okolnost důležitá při náležitém osvětlení fotografované scény a jak problematické jsou snímky, kde difúzní světlo chybí.

Díky chybějící difúzi záření a absenci atmosféry nedochází k vyrovnávání teplot např. na planetě Merkur a důsledkem toho lze na této planetě, která dostává od Slunce mnohem větší

množství energie než Země, najít v kráterech na pólech oblasti stínu s teplotou až 90 K, kam nikdy sluneční svit nedosáhne a patrně je tam k dispozici zmrzlá voda. Povrchová teplota Merkuru je při tom v průměru 400 K a poměr kvadrátu vzdáleností je roven

$$\left(\frac{\text{Slunce-Země}}{\text{Slunce-Merkur}}\right)^2 = \left(\frac{150 \cdot 10^6}{70 \cdot 10^6}\right)^2 = 4,6 \quad (2)$$

což odpovídá faktoru, kolikrát Merkur dostává více energie záření ze Slunce.

B. Umělé difúzní osvětlení

Ze zdrojů osvětlení se volí příjemnějšími plošné zářivé zdroje oproti bodovým (žárovka bez stínítka). A to nejen kvůli ostrým stínům, které bodové zdroje obecně vytvářejí.

Ke zlepšení světelné pohody na pracovišti může dojít aplikací Fresnelových válcových čoček, anebo odrazných rastrů, které jednak generují rozptyl na optických nedokonalostech povrchů (malé rádiusy zubů, nedokonalá geometrie ploch) a dále propouští rozptýlené světlo do interiéru bez výrazné změny jeho charakteru. Není to tím, že by se fotony rozptýleného světla chovaly při průchodu optickým prostředím v rozporu s optickými zákony, ale je to tím, že všechny směry v dopadajícím rozptýleném, světle jsou zastoupeny, takže po průchodu optickým prostředím jsou opět všechny směry k dispozici, i když jsou representovány "jinými" fotony.

C. Difúzní snímače

Difúzní snímače jsou druhem optických snímačů pracujících v bezkontaktním režimu triangulačním měřením vzdáleností. Měřený objekt je osvětlen zdrojem světla. Světlo se na povrchu objektu rozptyluje a odráží pod různými úhly, přičemž část vstupuje do detektoru. Snímací schopnost je dána barvou, velikostí a povrchovou úpravou detekovaného objektu. Existují různé druhy snímání: Difúzní s potlačením pozadí mají definovaný snímací dosah pro libovolné objekty bez ohledu na barvu, odraznost nebo povrchovou úpravu. Jsou schopny detekovat tmavé objekty umístěné přímo na lesklém pozadí. Difúzní s potlačením popředí definují „mrtvé pásmo“ od průhledu optiky snímače. Objekty v rámci této minimální snímací vzdálenosti se ignorují. Difúzní s vyhodnocením pozadí: vyhodnocují světlo odrážené pozadím. Pokud snímač pozadí nevidí, změní se stav výstupu. Což je užitečné pro snímání objektů netradičních tvarů, u nichž nelze zaručit, že světlo namířené na objekt se odrazí zpět do snímačů.

Při vyhodnocování slabých optických signálů je třeba brát do úvahy vlivy, které se na složkách měřeného signálu podílejí (světlo vnikající do přístroje jinou, než měřicí cestou, vliv prostředí – např. barva stěny v laboratoři, apod.) – tzv. instrument signature. Obdobně astronomické přístroje musí počítat s vlivem atmosféry, která mění vlastnosti procházejícího záření.

D. Fotometrická koule

Integrační koule je komponenta přístrojů optického rázu využívaná ve fotometrických a radiometrických měřeních a k zajištění rovnoměrného osvětlení. Jiný název vyskytující se v literatuře je Ulbrichtova koule. Princip je založen na vnitřní dutině, pokryté vysoce difúzním materiálem, který funguje jako světelný kolektor. Umožňuje rozptýlit vstupní světelný tok v prostoru a ten pak plošně integrovat difúzí na plochu detektoru. Záření vytvářející optické zobrazení je po transformaci na rozptýlené záření prakticky úplně integrováno, takže obrazová informace je nenahraditelně ztracena. Místo toho dostaneme na výstupu pro danou optickou konfiguraci zlomek intenzity (daný účinností difúzního odrazu) záření integrované přes prostorový úhel vstupní apertury.

Do koule je přiváděn vstupní aperturou světelný tok různých vlnových délek (dle aplikace): od infračerveného světla po hluboce ultrafialovou oblast a laserové záření. Poprvé byla použita Bennettem a Portem v roce 1961, při měření rozptylu záření na odrazivou polokouli. Definovaný parametr celkového integrovaného rozptylu - total integrated scatter (TIS) je vztažen k drsnosti povrchu reflektoru.

$$TIS = \frac{\text{integrováný rozptyl}}{\text{odražený výkon}} = \left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda}\right)^2 \quad (3)$$

Z tvaru plochy a z výpočtů je vidno, že světelný paprsek se několikanásobně odrazí, než dospěje k detektoru. Tím je zajištěno rovnoměrné rozložení osvětlení v celém objemu

dutiny. Vlivy způsobené původním směrem (směrovostí) a polarizací vstupujících paprsků jsou potlačeny. Pokud se vyžaduje rovnoměrné osvětlení difúzně rozptýleným odraženým světlem, je nutné zabránit přímému osvětlení vzorku vstupním svazkem. Pro tyto účely se používá světelných bariér rozmístěných kolem vzorku.

Aby se zabránilo světelným ztrátám, všechny vstupy do dutiny musí co nejmenší, maximálně do určitého průměru, který je ve vztahu k celkové vnitřní ploše dutiny. Dutina má nejčastěji tvar koule. I přes relativně velký objem koule oproti ploše detektoru a ploše světelného zdroje je zajištěna vysoká optická efektivita. Tato efektivita závisí na rozměrech dutiny, odrazivosti a difúznosti povrchové vrstvy a rozměrech vstupních portů.

Fotometrické koule se nejčastěji používají pro měření barvy a spektrálních charakteristik svítivých zdrojů. Jejich integračních a koncentračních vlastností lze ale s výhodou využít i pro další čítné aplikace.

V. ZÁVĚR

Jak z předcházejícího popisu plyne, je difúze světla poměrně složitý a hojně se vyskytující jev, kterého může být pozitivně využito a jindy může ohrozit funkci navrhovaného zařízení. V každém případě je žádoucí jev plně respektovat a jeho vliv posoudit na funkčním vzorku navrhovaného zařízení.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS 13/060/OHK2/1T/12.

LITERATURA

- [1] Zicha, J., Němcová Š., *Základy konstrukce přístrojů (Doplňkové skriptum)*, ČVUT Praha 1998
- [2] Bass, Michael, Eric W. van Stryland, David R. Williams, a William L. Wolfe. *Handbook of Optics I. Fundamentals, Techniques and Design*. USA: McGraw Hill, Inc., 1995.
- [3] Bass, Michael, Eric W. van Stryland, David R. Williams, a William L. Wolfe. *Handbook of Optics II. Devices, Measurements and Properties*. USA: McGraw Hill, Inc., 1995..
- [4] Bass, Michael, Eric W. van Stryland, David R. Williams, a William L. Wolfe. *Handbook of Optics III. Classical Optics, Vision Optics, X-Ray Optics*. USA: McGraw Hill, Inc., 1995.
- [5] Fuka, Josef, a Bedřich Havelka. *Optika a atomová fyzika: Optika*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961.
- [6] Kenyon, Ian R. *The Light Fantastic*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2008.
- [7] Saleh, Bahaa E.A., a Malvin Carl Teich. *Fundamentals of Photonics*. Weinheim: Wiley, 1991.
- [8] Vrbová, Miroslava. *Lasery a moderní optika*. Praha: Prometheus, 1994.
- [9] Rees, M. *Pouhých šest čísel*, Akademia Praha 2004.
- [10] Fiala, Pavel, *Nelineární optika*. Praha: Skriptum ČVUT FJFI, 2012.

Current State of Development of the OSQAR Experiment Instrumentation

Ing. Karolina Macúchová

Department of Instrumentation and Control Engineering
 Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical
 University in Prague
 Prague, Czech Republic
 Karolina.Vosatkova@fs.cvut.cz

doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.

Department of Instrumentation and Control Engineering
 Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical
 University in Prague
 Prague, Czech Republic
 jan.hosek@fs.cvut.cz

Abstract— This paper describes current state of development of instrumentation for the scientific experiment OSQAR (CERN). The aim of the experiment is detection of optical phenomena, which might proof new physics discoveries.

Keywords— Laser experiment; vacuum; axion; paraphoton; photon detection; photon regeneration; laser cavity.

I. INTRODUCTION

Light is electromagnetic radiation perceptible with human eye. Visible light has the wavelength in the range (380; 750) nm. The light, as well as all types of radiation, is emitted in small quanta of energy – called photons. Physical behavior of the radiation features properties of waves and particles – the wave-particle duality. Main properties of the electromagnetic wave encounter its intensity, direction of propagation in space, frequency/wavelength, and polarization. Energy of a photon depends only on its wavelength:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Dark matter is a type of hypothetical matter expected to be the source of a large part of the total mass in the universe. We are able to observe only less than 4% of the matter in the Universe. Roughly 73% of the Universe is dark energy, and 23% consists of dark matter.

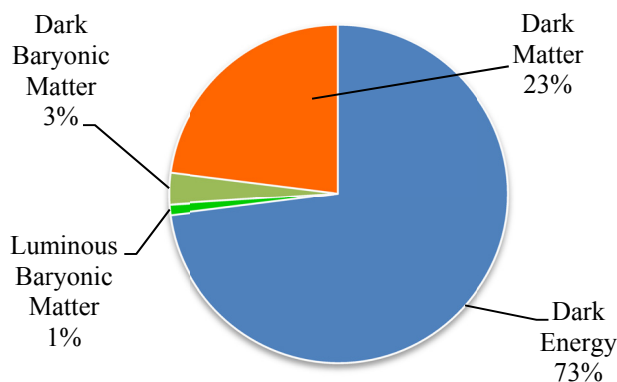


Fig. 1 Composition of the Universe

One of the physical theories predicts that dark matter is formed with exotic particles like WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles) or axions.

The axion is a hypothetical neutral weakly interacting sub-eV pseudo-scalar particle (pseudo Nambu-Goldstone boson).

II. EXPERIMENTAL SEARCH

A number of experiments have attempted to detect axions. Experimental approaches are based on the concept of axions coupling with two photons.

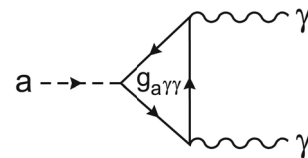


Fig. 2 Feynman diagram of decay of the axion (a) into two photons (γ).

One of these experiments is the OSQAR experiment in CERN. Department of Instrumentation and Control Engineering of the Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague is among the collaborating members. The other competing experiments are e.g. PVLAS, CAST in CERN, ALPS, BMV, BFRT, ADMX, GammeV, which share principle, but differs in parameters. None of them has reported positive results yet.

A. The OSQAR Experiments

The OSQAR experiment (Optical Search for QED vacuum magnetic birefringence, Axions and photon Regeneration) is a laser-based experiment for search of axions and axion-like particles.

The first experiment is aimed at measuring very small vacuum magnetic birefringence for the very first time. Vacuum magnetic birefringence can be induced by magnetic field in vacuum. The Quantum Electrodynamics prediction about interaction of external magnetic field with electric field of photon gives prediction of the relative difference of vacuum refractive indices. Presence of axions can still cause sizeable deviation from this theory.

The second experiment - photon regeneration - is designed as "light shining through the wall". It tries to search for axions which are converted photons in the magnetic field.

B. Conversion Probability

The photon regeneration experiment looks for photon-axion conversions (see Fig. 1). Probability of photon – axion conversion in vacuum is given by

$$P_{\gamma \leftrightarrow A} = \frac{1}{4\beta\sqrt{\epsilon}} g^2 B^2 L^2 \approx \text{const. } g^2 B^2 L^2 \quad (2)$$

Weakly interacting axions can pass through optical barrier and can be reconverted back to photons at magnetic field again.

Number of detectable axions per time interval is given by

$$N_{a-p} \approx \text{const. } \eta \frac{P}{\lambda} g_{a\gamma\gamma}^4 B^4 L^4 t \quad (3)$$

These equations show the importance of key experimental parameters. The magnetic field is given and cannot be increased. Therefore the only way leading to rise of the probability of conversion is increasing the length of the laser beam propagating in the magnetic field.

C. Experimental Setup

In 2010 a new phase of the experiment has started. The experiment was set up in configuration displayed in Fig. 3.

Magnetic field interferes with linearly polarized laser light and thus converts photons to axions. The magnetic field of 9T over 14.3 m length is provided by two spare superconducting dipole magnets of the Large Hadron Collider. The dipole magnets are cooled down to 1.9 K with superfluid Helium.

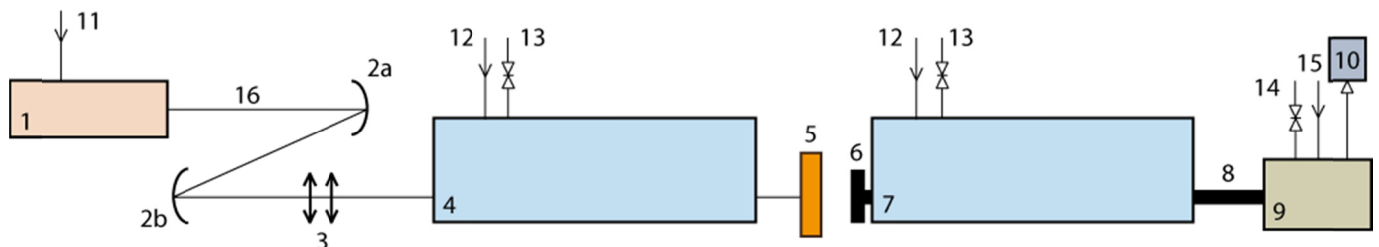


Fig. 3 Layout of the experiment

1. source of photons - laser
2. a, b – adjustable mirrors
3. beam expander
4. first LHC magnet
5. light trap
6. optical filters
7. second LHC magnet
8. dark chamber
9. CCD camera
10. data acquisition - PC
11. cooling (H₂O)
12. cooling (liquid Helium, T = 1.9 K)
13. vacuum pump (p = 10⁻⁶ - 10⁻⁷ mbar)
14. vacuum pump
15. cooling (LN₂)
16. laser beam

Source of the photons was an Ar⁺ laser with approximately 4W at 514 nm. The laser beam profile can be fitted with a Gaussian curve. $\lambda/2$ wave plates were used to control polarization of the beam with respect to the transverse magnetic field.

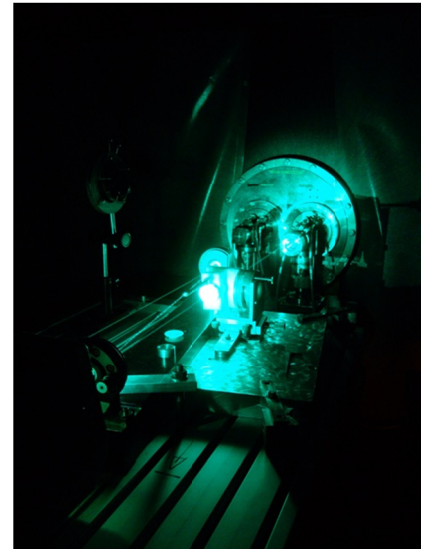


Fig. 4 Laser injection into the dipole magnet.

Photons, which are not converted into axion in the first magnet, are absorbed in a light trap. Weakly interacting axions pass through the light trap without alteration. In the second light tight magnet the axions are converted back to photons and detected by camera. The expected signal on the camera should inherit the same profile as the incident laser beam.

In 2011, also the vacuum magnetic birefringence experiment was measured together with measurement of laser beam deflection in magnetic field. In 2012, two new spare LHC dipoles have been assigned to OSQAR, installed and aligned on the dedicated horizontal cryogenic benches B1 and E2 in the SM18 hall. The optical path has been rectified and prepared for measurement of vacuum magnetic birefringence.

In all of the experimental runs, the team from Czech Technical University has provided technical support on site including adjustment and rectification of the optical components delivering the laser beam, as well as measurement of the beam deflection, or detecting the axion-like-particles. Simultaneously to these experiments, design work has been done at the Czech Technical University. We might say

the three year measurement have exploited most of the possibilities that can be explored with existing instrumentation. Transition to new phase of the experiment is being prepared.

The experiment can be improved in quality and quantity. Quality factor is being raised by better detecting camera, better focalization of the laser beam, or better stability of the whole system. As equation (2) shows, the quantity factor can be improved by increasing the length of the optical path in magnetic field. Therefore the advance workings for the run in 2013 focus on building a resonator cavity.

D. Result of Research and Development

The laser system had to be adjusted from square one several times. The adjustment procedure was time demanding. We have implemented several techniques helping to adjust the laser beam in much shorter time. One of them involved establishment of lowcost remote sensing system via internet, based on PC with a videocamera. All procedures were described in internal handbook which serves as a reference material for newcomer students.

Measured signal of the „shining through the wall“ experiment is a convolution of real signal with background noise, interfering with cosmic rays. Before we started the experiment, we made sequential acquisitions of background signal for 24 hours. This way we get information about the time stability of the system. Measured data were evaluated using various statistical methods.

Obtained results of the experimental measurement were published and can be found in [2] and [9].

III. LASER LABORATORY

A new laser laboratory was established at the Department of Instrumentation and Control Engineering at the beginning of 2013. This laboratory has replaced previous one that was shared with other projects. This laboratory is solely dedicated to work on resonator cavity and testing of the prototype.

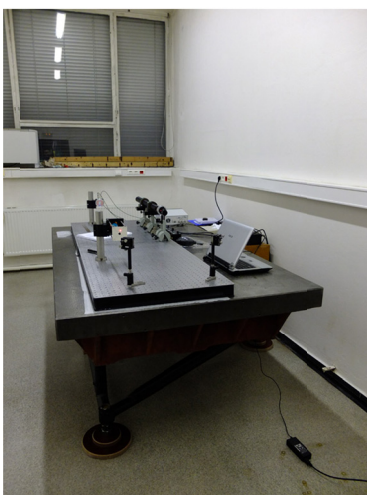


Fig. 5 Equipment of the new laser laboratory.

It is equipped with large cast iron optical table; obtained from the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic. Two steel 0.5 x 1 m optical tables were placed on the top of the cast iron table. Next it was equipped with a 50mW He-Ne laser, highly reflective custom mirrors, optical components (beam splitter, $\lambda/2$ plates), mechatronic parts (piezo actuators) and instrumentation (Shack-Hartmann wavefront sensor, high speed camera, powermeter, piezo controllers).

Work on the resonator cavity is under development. A 1-m prototype has been build. We have made several custom mechanical parts, like a mirror mount and easels. The work continues with experimental verification of adjustment methods, optimizing the opto-mechanical parts for use in vacuum.

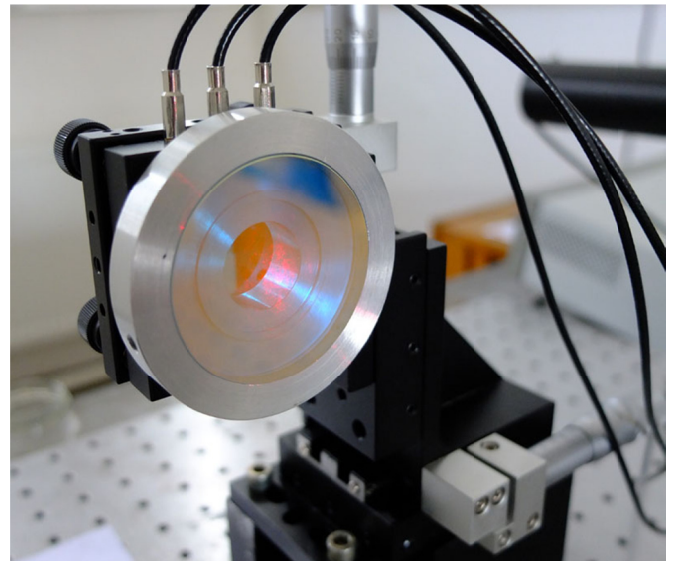


Fig. 6 Cavity mirror holder.

IV. CONCLUSION

A brief description of development of instrumentation on the OSQAR experiment during the years 2010-2013 was presented. First results of the OSQAR experiment were obtained from laser beam propagating in vacuum in strong magnetic field. These results were published in several papers. Measurement of fine vacuum magnetic birefringence and search for axions continue in the following years. Design and development focus on building a resonant cavity which is a very promising instrument for increasing the efficiency of both scientific experiments. It will enable to reach higher axion-photon conversion probability factor and therefore increases the chance to extend the current exclusion limits for axions and axion-like particles.

ACKNOWLEDGMENT

This work was partially supported by the Grant Agency of the Czech Republic, grant number P203/11/1546 and by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS 13/060/OHK2/1T/12.

LIST OF SYMBOLS

λ	wavelength	(nm)
c	speed of the light in vacuum	(ms ⁻¹)
h	Planck's constant	(Js)
P	optical power	(W)
η	detector efficiency	(-)
$g_{\text{a}\gamma\gamma}$	coupling constant	(ms ⁻²)
B	magnetic field	(T)
L	length of the optical beam in magnetic field	(m)
t	time	(s)

REFERENCES

- [1] SIKIVIE, P. Experimental Tests of the Invisible Axion, *Phys. Rev. Lett.* 51, 1415–1417 (1983).
- [2] SCHOTT, M. et al. First Results of the Full-Scale OSQAR Photon Regeneration Experiment, 6 October 2011, <<http://arxiv.org/pdf/1110.0774>>.
- [3] SOA, D.V. - LONG, H.N. - THUC, L.N., Photon-Axion Conversion Cross Section in a Resonant Cavity, 20 November 2006, <<http://arxiv.org/pdf/hep-ph/0611258v1.pdf>>.
- [4] BACHOR, H. – RALPH, T., *A Guide to Experiments in Quantum Optics*, 2nd edition, Wiley-VCH, (2008).
- [5] WEINBERG, S., A New Light Boson?, *Phys. Rev. Lett.* 40, 223 (1977).
- [6] WILCZEK, F., Problem of Strong P and T Invariance in the Presence of Instantons, *Phys. Rev. Lett.* 40, 279 (1977).
- [7] KITTEL, D.: *Precision Mechanics*, Morrisville: Happiness Tech., 1989
- [8] SALEH, B.E.A., TEICH, M. C., *Fundamentals of Photonics*, Weinheim: Wiley, 1991.
- [9] SULC, M. et al, Axion search by laser-based experiment OSQAR, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A* (2012), <<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2012.11.107>>.
- [10] ZAVATTINI, E. – IACOPINI, E. Experimental method to detect the vacuum birefringence induced by a magnetic field, *Phys. Rev. Lett.* 85B (1979) 151.

Porovnanie možností použitia základných štruktúr neurónových sietí pre riadenie procesu anodickej oxidácie hliníka

Peter MICHAL

Katedra matematiky, informatiky a kybernetiky
Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, TUKE
Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovenská republika
peter.michal@tuke.sk

Ivo BUKOVSKÝ

Ústav prístrojové a řídicí techniky
České vysoké učení technické v Praze
166 07 Praha 6 - Dejvice, Technická 4
ivo.bukovsky@fs.cvut.cz

Abstract- The paper deals with the possibilities of control and optimization of the technological process of aluminium anodic oxidation using the Design of Experiments (DoE) to evaluate and monitor the influence of the input factors on the resulting AAO (anodic aluminium oxide) film thickness. Also it compares using of different neural units to define relationship between individual inputs factors and their mutual interactions on the resulting AAO film thickness at the monitored current density $6,00 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$.

Keywords—*anodizing, surface treatment, artificial intelligence, neural networks*

I. POUŽITÉ NÁZVOSLOVIE

w_i -váha daného faktora

Δw_i -adaptívny prírastok váhy daného faktora

μ - rýchlosť učenia sa modelu

e - chyba výpočtového modelu

w - vektor váh príslušného modelu

y_r - vektor skutočných hodnôt

y_v - vektor vypočítaných hodnôt

X - matica vstupov

SSE- súčet štvorcov chýb

II. ÚVOD

Čistý hliník a jeho zliatiny, ako hmotnosť znižujúce materiály, nadobúdajú čoraz významnejšie postavenie z technického, technologického aj ekonomického hľadiska [1], [2] v leteckom a automobilovom priemysle, kde sa uprednostňujú ľahké a pevné konštrukcie [3]. Použitie týchto materiálov na pohyblivé súčiastky predstavuje značné prekážky pre nízku odolnosť proti oteru a opotrebeniu. Na zlepšenie týchto tribologických vlastností sa povrch takýchto súčiastok upravuje procesom anodickej oxidácie, ktorá navyše zlepšuje aj odolnosť pred koróziou [1], [2]. Hrúbka vytvoreného AAO na hliníkovom podklade patrí medzi hlavné ukazovatele protikorózneho ochrany a tak aj celkovej životnosti profilov na ktorých je takáto povrchová úprava aplikovaná. Z týchto dôvodov je anodická oxidácia hliníka predmetom značného množstva výskumov. Napríklad samotný princíp vytvárania AAO vrstvy sledovali Mingliang, Yinong, Hong[4], rýchlosť

akou sa vrstva vytvára Singh, Golovin, Aranson, Vinokur[5] prípadne štruktúrou vytvorenej vrstvy Meng, Masatoshi, Himendra[6]. Plánovaný experiment DoE patrí medzi základné nástroje ktorými je možné pozorovať vplyv vstupnej premennej na výstup [7]. Na druhej strane využitie umelej inteligencie (teória neurónových sietí) pri vyhodnocovaní výsledkov experimentu má svoje opodstatnenie najmä vo vyššej rýchlosti a presnosti pri predikovaní správania sa skúmaného procesu oproti klasickým štatistickým vyhodnocovacím metódam[8],[9],[10].

III. REALIZÁCIA EXPERIMENTU

Vzorka zliatiny EN AW 1050A s rozmermi $101,00 \times 70,00 \times 1,00 \text{ mm}$ bola odmastená v 38,00 % roztoku NaOH pri teplote 55,00-60,00 °C po dobu 2,00 min a morená v 40,00 % roztoku NaOH pri teplote 45,00-50,00 °C po dobu 0,50 min.

TABUĽKA I PREVODOVÁ TABUĽKA ÚROVNÍ FAKTOROV ZPŘIRODZENÉJ MIERKY DO KÓDOVANEJ MIERKY

označenie faktorov		faktorová roveň				
kódovaná miera	prírodná miera	-2,37	-1	0	+1	+2,37
x_1	H_2SO_4 [g.l ⁻¹]	33,51	130,00	200,00	270,00	366,49
x_2	$C_2H_2O_4$ [g.l ⁻¹]	1,49	7,00	11,00	15,00	20,51
x_3	Al [g.l ⁻¹]	0,18	5,00	8,50	12,00	16,82
x_4	T [°C]	-1,78	12,00	22,00	32,00	45,78
x_5	t [min]	6,22	20,00	30,00	40,00	53,78
x_6	U [V]	5,24	8,00	10,00	12,00	14,76

Následne bola vzorka ponorená do vyjasňovacieho kúpeľa (4,00 % HNO₃) pri teplote 18,00-24,00 °C po dobu 1,00 min. Roztok elektrolytu pre anodickú oxidáciu bol tvorený kyselinou sírovou p.a., kyselinou šťaveľovou p.a. a oxidom hliníťým p.a., pričom ich jednotlivé koncentrácie vychádzali z plánovaného experimentu využívajúceho centrálny

kompozitný plán pre šesť faktorov, ktorý určoval aj prevádzkové podmienky anodickej oxidácie (teplota elektrolytu, veľkosť pripojeného napätia a dobu oxidácie). Na prevod úrovni faktorov medzi prirodzenou a kódovanou mierkou slúži tabuľka (tab. 1). Po ukončení oxidácie bolo na povrchu každej vzorky vyznačených deväť meracích bodov, na ktorých sa merala hrúbka vytvorenej AAO vrstvy. Vzďialenosť týchto bodov od dolného okraja vzorky bola 5,00 mm, 10,00 mm, 15,00 mm, 20,00 mm, 25,00 mm, 30,00 mm, 35,00 mm, 40,00 mm a 45,00 mm. Vzďialenosť bodov od ľavého okraja bola vypočítaná tak, aby jednotlivým bodom na vzorke prislúchala prúdová hustota 6,00 A·dm⁻².

IV. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pri sledovaní vplyvu vstupných faktorov na výslednú vytvorenú hrúbku AAO boli použité štyri modifikácie neurónovej jednotky HONU [11] využívajúcej iteratívny optimalizačný algoritmus gradient descent. Tieto štyri výpočtové modely využívajú:

1. jednoduchú lineárnu kombináciu vstupných faktorov
2. lineárnu kombináciu vstupných faktorov a ich vzájomnú lineárnu interakciu
3. jednoduchú lineárno-kvadratickú kombináciu vstupných faktorov
4. lineárno-kvadratickú kombináciu vstupných faktorov a ich vzájomnú lineárnu interakciu

Proces učenia sa neurónovej jednotky pomocou adaptívneho algoritmu gradient descent je popísaný rovnicami (1, 2, 3 a 7) na príklade lineárnej jednotky (1st Order HONU [11]). Ide o proces pri ktorom dochádza k výpočtu váh pre jednotlivé vstupné faktory na základe rozdielu medzi reálnou (nameranou) hodnotou výstupnej veličiny a vypočítanou hodnotou výstupnej veličiny.

$$w_i = w_i + \Delta w_i \quad (1)$$

$$\Delta w_i = \mu \cdot e \cdot \frac{\partial y_{vk}}{\partial w_i} \quad (2)$$

$$e = y_{rk} - y_{vk} \quad (3)$$

$$\mathbf{w} = [w_0 \quad w_1 \quad \dots \quad w_i] \quad (4)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{0,1} & x_{1,1} & \dots & x_{i,1} \\ x_{0,2} & x_{1,2} & \dots & x_{i,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{0,k} & x_{1,k} & \dots & x_{i,k} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{y}_r = \begin{bmatrix} y_{r1} \\ y_{r2} \\ \vdots \\ y_{rk} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{y}_v = \mathbf{X} \cdot \mathbf{w}^T \quad (7)$$

V prípade jednoduchého lineárneho výpočtového modelu matica vstupov \mathbf{X} obsahuje plán experimentu (hodnoty úrovni faktorov x_1-x_6). V prípade zložitejšieho výpočtového modelu (lineárny model s interakciami, kvadratický model alebo kvadratický model s interakciami) obsahuje matica \mathbf{X} mocniny jednotlivých faktorov prípadne súčiny týchto faktorov, preto sa mení aj počet váh pre každý výpočtový model. Navyše matica vstupov \mathbf{X} obsahuje faktor x_0 , ktorý predstavuje pri výpočte absolútny člen a jeho hodnota je vždy na úrovni 1. Mieru do akej sa tento faktor pri výpočte prejavuje predstavuje hodnota váhy w_0 .

Pri zostavovaní jednotlivých výpočtových modelov bola za hodnotu y_r dosadená priemerná hodnota hrúbok vrstvy nameraná na meracích bodoch 10,00 mm, 20,00 mm, 30,00 mm a 40,00 mm od dolného okraja vzorky v oblasti s prúdovou hustotou 6,00 A·dm⁻². Pri procese tréningu neurónová jednotka po každej iterácii adaptovala príslušné váhy jednotlivých faktorov tak aby vypočítaná hodnota hrúbky vrstvy v čo možno najväčšej miere konvergovala k tejto priemernej hodnote hrúbky vytvorenej AAO vrstvy.

Po ukončení procesu učenia boli na základe vypočítaných váh pre jednotlivé vstupné faktory zostavené príslušné výpočtové modely: jednoduchý lineárny(8), lineárny s lineárnymi interakciami(9), jednoduchý lineárno-kvadratický (10) a lineárno-kvadratický s lineárnymi interakciami (11), kde princíp výpočtu výstupu z neurónovej jednotky aj adaptácia váh prebieha podľa schémy rovníc (1-7), avšak matica \mathbf{X} a váhový vektor \mathbf{w} obsahujú korešpondujúce polynomiálne členy a im prislúchajúce váhy vo vektorovej (1-D) reprezentácii rovnako 2-D matica váh [12].

$$h_L = 6,473 + 1,223 \cdot x_1 - 0,403 \cdot x_2 - 0,403 \cdot x_3 + 2,570 \cdot x_4 + 1,239 \cdot x_5 + 2,484 \cdot x_6 \quad (8)$$

$$h_{L+I} = 6,498 + 1,198 \cdot x_1 - 0,121 \cdot x_2 - 0,380 \cdot x_3 + 2,544 \cdot x_4 + 1,213 \cdot x_5 + 2,458 \cdot x_6 - 0,511 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,091 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,555 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,068 \cdot x_1 \cdot x_5 + 0,444 \cdot x_1 \cdot x_6 - 0,476 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,175 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,073 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0,074 \cdot x_2 \cdot x_6 - 0,012 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,604 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0,215 \cdot x_3 \cdot x_6 + 0,297 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,402 \cdot x_4 \cdot x_6 - 0,002 \cdot x_5 \cdot x_6 \quad (9)$$

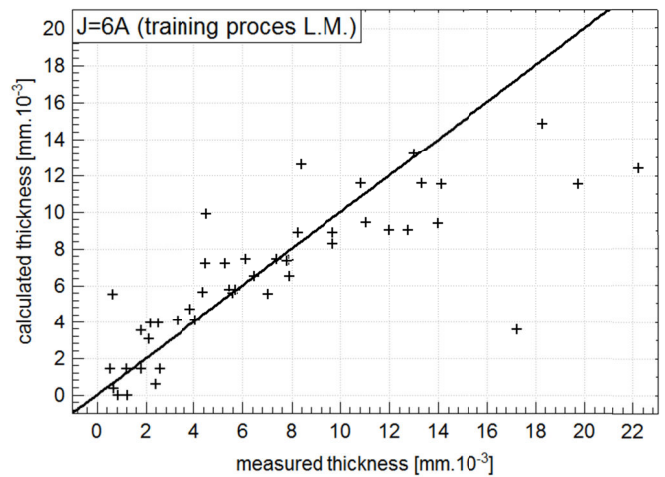
$$h_Q = 1,590 + 1,196 \cdot x_1 - 0,138 \cdot x_2 - 0,389 \cdot x_3 + 2,636 \cdot x_4 + 1,212 \cdot x_5 + 2,456 \cdot x_6 + 2,224 \cdot x_1^2 + 0,800 \cdot x_2^2 + 0,152 \cdot x_3^2 + 0,156 \cdot x_4^2 + 0,665 \cdot x_5^2 + 1,662 \cdot x_6^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 h_{Q+I} = & 1,592 + 1,192 \cdot x_1 - 0,134 \cdot x_2 - 0,386 \cdot x_3 \\
 & + 2,633 \cdot x_4 + 1,209 \cdot x_5 + 2,454 \cdot x_6 + 2,227 \cdot x_1^2 \\
 & + 0,803 \cdot x_2^2 + 0,155 \cdot x_3^2 + 0,158 \cdot x_4^2 + 0,668 \cdot x_5^2 \\
 & + 1,667 \cdot x_6^2 - 0,508 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,086 \cdot x_1 \cdot x_3 \\
 & + 0,561 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,062 \cdot x_1 \cdot x_5 + 0,451 \cdot x_1 \cdot x_6 \\
 & - 0,471 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,170 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,099 \cdot x_2 \cdot x_5 \\
 & + 0,079 \cdot x_2 \cdot x_6 - 0,006 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,598 \cdot x_3 \cdot x_5 \\
 & + 0,221 \cdot x_3 \cdot x_6 + 0,302 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,408 \cdot x_4 \cdot x_6 \\
 & + 0,005 \cdot x_5 \cdot x_6
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

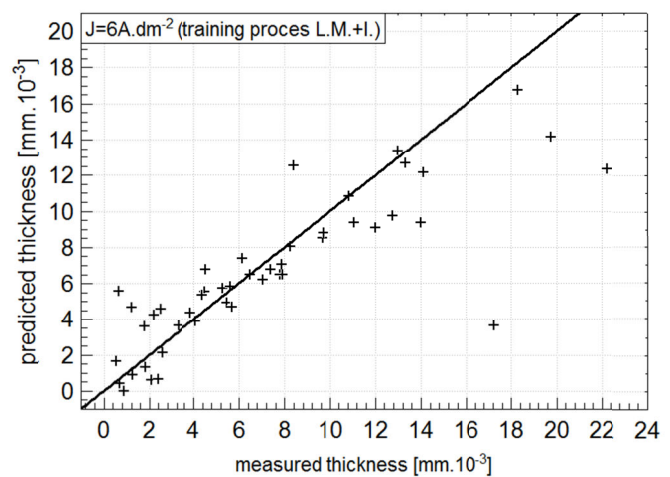
Správnosť týchto výpočtových modelov je možné pozorovať na obrázkoch Obr. 1, Obr. 2, Obr. 3 a Obr. 4 ktoré zobrazujú rozdiel medzi nameranou a vypočítanou hodnotou hrúbky AAO vrstvy po ukončení procesu učenia, pričom vzniknuté rezíduá sú rozmiestnené okolo Gausovej krivky, ktorá je rozvinutá na priamku. Z grafických závislostí je zrejme, že jednoduchý lineárny model resp. lineárny model s interakciami je oveľa menej spoľahlivý ako jednoduchý kvadratický model resp. kvadratický model s interakciami. Časť vzniknutých rezíduí rozložených okolo Gausovej krivky nadobúda príliš veľké hodnoty na to aby bolo možné zahrnúť ich do tolerancie príslušného výpočtového modelu. Najväčšie množstvo takých to extrémnych rezíduí vytvára jednoduchý lineárny model (Obr. 1). Postupným zvyšovaním parametrov vstupujúcich do výpočtu počet takýchto rezíduí klesá a takmer všetky ležia v tesnej blízkosti Gausovej krivky, resp. v tolerančnom pásme (Obr. 4). Tento fakt potvrdzuje aj tabuľka (tab. 2) v ktorej sú zaznamenané súčty štvorcov chýb pre jednotlivé výpočtové modely pre proces tréningu neurónovej jednotky ako aj pri procese overovania. Proces overovania prebiehal samostatne pre namerané hrúbky vrstvy na jednotlivých meracích bodoch 5,00 mm, 15,00 mm, 25,00 mm, 35,00 mm a 45,00 mm od dolného okraja vzorky v oblasti s prúdovou hustotou 6,00 A.dm². Ako je v tabuľke II vidieť veľkosť súčtu štvorcov chýb klesla na polovicu pri použití kvadratického výpočtového modelu s lineárnymi interakciami oproti veľkosti súčtu štvorcov chýb pri použití jednoduchého lineárneho výpočtového modelu.

TABUĽKA II CHYBA VÝPOČTU JEDNOTLIVÝCH MODELOV

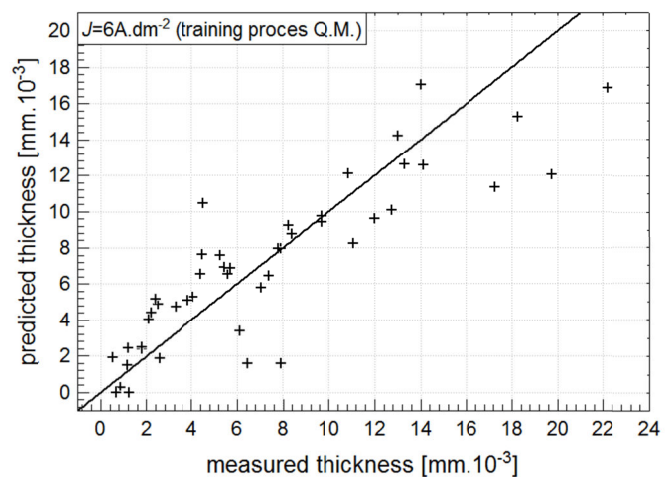
Model	SSE (trénovanie)	SSE (overenie)				
		5,00 [mm]	15,00 [mm]	25,00 [mm]	35,00 [mm]	45,00 [mm]
L	530,05	590,68	561,47	549,48	540,42	492,52
L+I	449,81	502,87	486,62	468,03	459,58	423,60
Q	336,53	379,02	373,08	380,37	342,86	316,36
Q+I	256,97	285,90	293,61	299,36	269,68	254,48



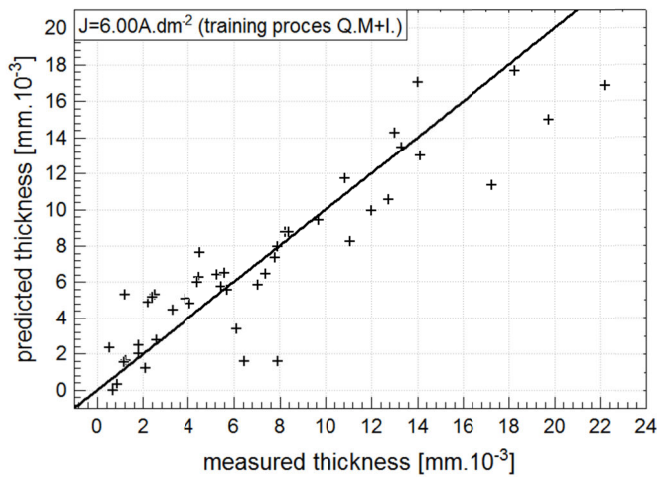
Obr. 1 Porovnanie nameranej a vypočítanej hrúbky vrstvy pre lineárny model



Obr. 2 Porovnanie nameranej a vypočítanej hrúbky vrstvy pre lineárny model s interakciami

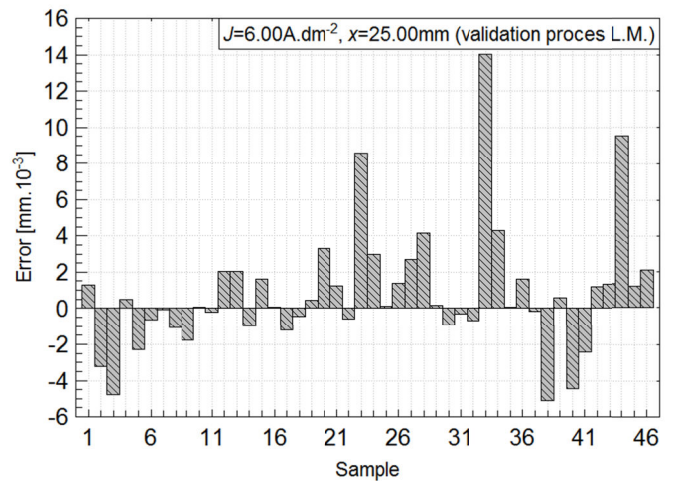


Obr. 3 Porovnanie nameranej a vypočítanej hrúbky vrstvy pre kvadratický model

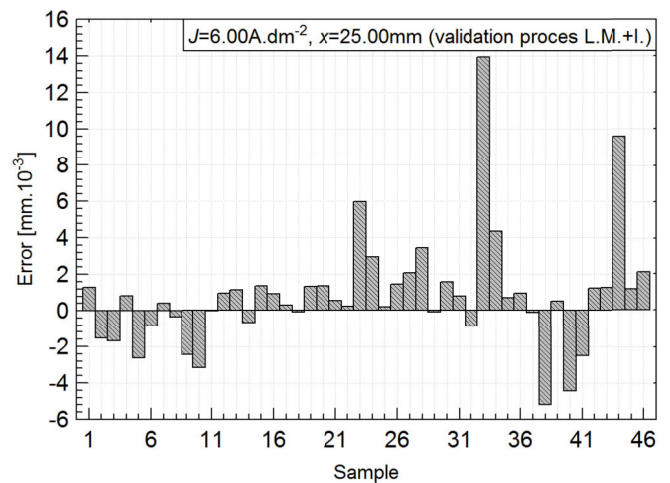


Obr. 4 Porovnanie nameranej a vypočítanej hrúbky vrstvy pre kvadratický model s interakciami

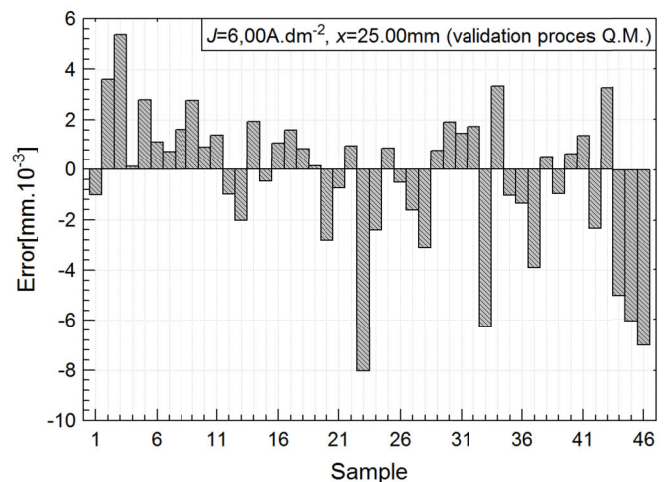
Proces overovania jednotlivých výpočtových modelov je zobrazený na obrázkoch 5, 6, 7 a 8. Pre ilustráciu boli použité namerané hrúbky vytvorenej AAO vrstvy namerané na bodoch vzdialených 25,00 mm od dolného okraja vzorky pre prúdovú hustotu $6,00 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$. Z obrázkov je zrejماً chyba výpočtu, ktorá vznikla nedokonalým učením sa neurónovej jednotky. Z celkového množstva 46 vzoriek je vypočítaná hodnota hrúbky vrstvy v tolerančnom pásme $\pm 2,00 \text{ mm} \cdot 10^{-3}$ 29 vzoriek pre jednoduchý lineárny model, 32 vzoriek pre lineárny model s lineárnymi interakciami, 29 vzoriek pre jednoduchý lineárno-kvadratický model a 31 vzoriek pre lineárno-kvadratický model s interakciami. Z toho vyplýva, že vo všeobecnosti sú presnejšie výpočtové modely využívajúce pri výpočte interakcie jednotlivých vstupných faktorov, pretože využívajú väčšie množstvo premenných a tak disponujú väčšou variabilitou. Ďalej porovnaním lineárneho výpočtového modelu s lineárnymi interakciami (obr. 6) a lineárno-kvadratického modelu s lineárnymi interakciami (obr. 8) je zrejماً výrazný pokles maximálnej absolútnej chyby z $13,95 \text{ mm} \cdot 10^{-3}$ pre lineárny model s interakciami na $6,99 \text{ mm} \cdot 10^{-3}$ pre lineárno-kvadratický model s interakciami čo predstavuje pokles maximálnej chyby výpočtu na polovicu. To znovu potvrdzuje najväčšiu presnosť lineárno-kvadratického výpočtového modelu s lineárnymi interakciami spomedzi všetkých skúmaných výpočtových modelov. Je ale dôležité brať do úvahy fakt, že tento model nepredikuje všetky hodnoty v tolerančnom pásme $\pm 2,00 \text{ mm} \cdot 10^{-3}$ a preto by použitie tohto modelu pri riadení technologického procesu anodickej oxidácie hliníka mohlo priniesť riziko zníženej protikorózneho odolnosti.



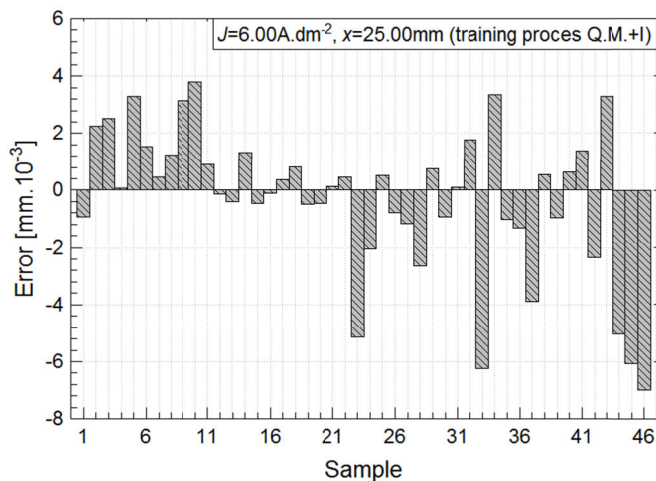
Obr. 5 Chyba lineárneho modelu pri procese overovania



Obr. 6 Chyba lineárneho modelu s interakciami pri procese overovania



Obr. 7 Chyba kvadratického modelu pri procese overovania



Obr. 8 Chyba kvadratickeho modelu s interakciami pri procese overovania

V. ZÁVER

Ako predkladá táto štúdia využitie princípov neurónových sietí na základe použitého iteratívneho optimalizačného algoritmu gradient descent prináša široké spektrum možností pri riadení technologického procesu anodickej oxidácie hliníka, keďže dokáže veľmi rýchlo a jednoducho popísať správanie sa sledovaného systému. Využitie tohto algoritmu ale so sebou prináša aj dva podstatné problémy a to:

1. Je potrebné zostaviť predbežný výpočtový model na základe ktorého sa bude neurónová jednotka učiť a následne riadiť technologický proces.
2. Získaný výpočtový model nie je vždy schopný dostatočne popísať správanie sa riadeného systému a teda v riadenom výrobnom procese vzniká veľká pravdepodobnosť vzniku nepodarkov.

Ďalší výskum v tejto oblasti by sa mal zaoberať zvýšením presnosti predikcie výpočtového modelu a tak zabezpečiť spoľahlivú prevádzku výrobného procesu.

ACKNOWLEDGEMENT

Spolupráca bola podporená projektom ERASMUS a ďalej grantom SGS12/177/OHK2/3T/12 a inštitucionálnou úlohou FVT TUKE IÚ 1/2013 Modelovanie technologických procesov povrchových úprav vybraných materiálov.

LITERATÚRA

- [1] J. Baumeister, J. Banhart, M. Weber: „Aluminium foams for transport industry“, *Materials & Design*, vol. 18, no. 4, pp. 217-220, 1997
- [2] F. King: „Aluminium and its alloys“, UK: Ellis Horwood Limited; 1987.
- [3] L.A. Dobrzański, M. Krupinski, J.H. Sokolowski: „Computer aided classification of flaws occurred during casting of aluminum“, *Journal of Materials Processing Technology* 167 (2005) 456-462
- [4] W. Mingliang, L. Yinong, Y. Hong: „A unified thermodynamic theory for the formation of anodized metal oxide“, *Structures Electrochimica Acta* 62 (2012) 424-432.
- [5] G. K. Singh, A. A. Golovin, I. S. Aranson, V. M. Vinokur: „Formation of nanoscale pore arrays during anodization of aluminum“, *Europhysics Letters*, 70 (6), pp. 836-842, 2005.
- [6] Z. Meng, S.I. Masatoshi, J. Himendra: „Influence of desiccation procedures on the surface wettability and corrosion resistance of porous aluminium anodic oxide films“, *Corrosion Science*, 55 (2012) 332-338.
- [7] Vagaská, A., Gombár, M., Kmec, J.: „Optimalizácia hrúbky zinkového povlaku lineárnym programovaním“ In: *Automatizácia a riadenie v teórii a praxi 2012*, (2012) 64-1-64-9. - ISBN 978-80-553-0835-7
- [8] I. Vojtko, J. Piteľ: *Neurónové siete vo výuke na KPaAT SJF TU Košice, pracovisko Prešov*, In: *ROBTEP '95*. - Košice : TU, 1995 S. 302-304.
- [9] M.S. Chun, J. Biglou, J.G. Lenard, J.G. Kim: „Using neural networks to predict parameters in the hot working of aluminum alloys“, *Journal of Materials Processing Technology*, 86 (1999) 245-251.
- [10] A.M. Hassan, A. Alrashdan, M.T. Hayajneh, A.T. Mayyas: „Prediction of density, porosity and hardness in aluminum-copper-based composite materials using artificial neural network“, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (2009) 894-899.
- [11] Gupta, M., M., Bukovsky, I., Homma, N., Solo M. G. A., Hou Z.-G.: „Fundamentals of Higher Order Neural Networks for Modeling and Simulation“, in *Artificial Higher Order Neural Networks for Modeling and Simulation*, ed. M. Zhang, IGI Global, 2012.
- [12] Bukovsky, I., Ichiji, K., Homma, N., Yoshizawa, M.: „Testing Potentials of Dynamic Quadratic Neural Unit for Prediction of Lung Motion during Respiration for Tracking Radiation Therapy“, *WCCI 2010, IEEE Int. Joint. Conf. on Neural Networks IJCNN*, Barcelona, Spain, 2010.

Adaptivní bimorfní zrcadlo

pro lasery s velkou aperturou

Josef Zicha, Šárka Němcová, Radek Orlita
Ústav přístrojové a řídicí techniky
ČVUT FS
Praha, ČR

Abstrakt: Těžko registrovatelné parametry a nepředvídatelné ojedinelé nebo v čase měnící se procesy vedou k nežádoucí degradaci laserového paprsku, což je zvláště důležité v případě vysokokvalitních svazků blížících se k difrakčnímu limitu. Intenzivní výzkumné úsilí je v současnosti věnováno dynamické korekci chyb paprsku v laserových systémech. Pro udržení vysoké kvality laserového svazku je rozhodující formování vlnoplochy, neboli řízení fáze. Jako vhodný prostorový fázový korektor je považované řízené deformovatelné zrcadlo (DZ).

Klíčová slova: adaptivní optika, piezokeramika, bimorfní zrcadlo, holografická interferometrie

I. ÚVOD

Podle názvosloví použitého v popisu konstrukce velkého slunečního dalekohledu na Kanárských ostrovech (nerealizován z finančních důvodů) je pojmu „adaptivní optika“ nadřazen pojem „živá optika“ („live optics“). Ze zmíněného popisu plyne že „partnerem“ adaptivní optiky je aktivní optika. Jaký je mezi nimi rozdíl a o co ve skutečnosti jde?

II. PROČ ŽIVÁ OPTIKA

K první civilní aplikaci živé optiky došlo v Evropské jižní observatoři (European South Observatory – ESO) v osmdesátých letech minulého století v rámci vývoje dalekohledů konstruovaných dle zásad nových technologií (New Technology Telescopes – NTT) s cílem podstatného snížení hmotnosti hlavního zrcadla astronomického dalekohledu a v té souvislosti i se snížením hmotnosti celého dalekohledu. Lze snadno dovodit, že důvody byly v podstatě ekonomické a byly indukované nesmírnými potížemi technologického rázu, které by bylo třeba překonat při překročení „magického“ průměru 6m (Zelenčukskaja, Krym, Rusko).

Jednou z možností bylo radikální zmenšení poměru tloušťka/průměr z hodnoty 1/(6-9) až na cca 1/(40-60). Následná poddajnost disku byla posléze kompenzována účinkem husté sítě počítačem řízených aktuátorů, čili ke slovu přišla mechatronika. Jenže „řídít“ znamená „měřit“ a měření vyžaduje „senzory“.

Senzorika souvisejícího procesu testování stavu optické soustavy je odvozena od Hratmannova testu kvality optických soustav, jejíž zrychlení o 6 řádů vymyslel prof. Shake – odtud

SH test. K tomu účelu je použito elektrooptické detekce obrazové informace, která je nutná k rychlému měření tvaru vlnoplochy přicházejícího světla s frekvencí cca 1kHz. Množství aplikací na sebe nenechalo dlouho čekat a uvedená metodika a související instrumentarium se staly velice rychle běžnou výbavou kvalitních optických laboratoří i výrobních firem.

III. APLIKACE PRO VELKÉ APERTURY

A nyní se dostáváme k rozdělení, které je naznačeno v úvodu. Aktivní optika reaguje na pomalé změny (do 1Hz), které ovlivňují kvalitu obrazu a týkají se velkých struktur obřích astronomických teleskopů. Příčinami jsou jevy související např. s pomalým pohybem dalekohledu za pozorovanou hvězdou, poryvy větru deformující montáž dalekohledu, změny teploty konstrukce atd. Ve výsledném efektu se tyto jevy projevují decentráží a defokusací optiky.

Jevy s vyšší frekvencí jsou způsobeny prakticky výlučně neklidem atmosféry. Senzor tvaru vlnoplochy je týž, ale ke korekci vzniklých jevů již nelze použít velkých struktur. Kupříkladu hlavní zrcadlo korigované s frekvencí 20Hz by změnilo dalekohled na tympán. Ke korekci účinků dochází na optických prvcích o průměru cca 100mm, jejichž vlastní frekvence leží nad hodnotou maximální korigované frekvence.

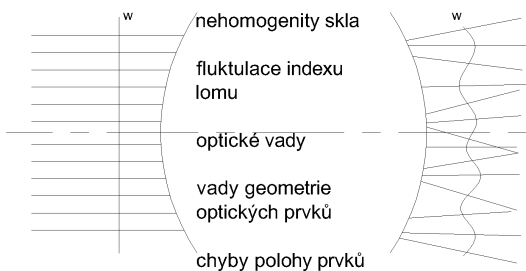
Bude dobře, když upozorníme, že amplituda korekčních zásahů dosahuje desítek nanometrů a v převážné většině případů je realizována prostřednictvím piezoelementů. Síla vyvozovaná aktuátory působí (na většině používaných systémů) ve směru normály k zrcadlicí ploše.

V našem případě je zadání komplikovanější, hlavně díky tomu, že amplituda může být o dva řády vyšší. Je potřeba deformovat zrcadlicí plochu o průměru 600mm amplitudou 10 μ m. V makroskopickém pohledu se zrcadlicí plocha podobá spíše zmačkanému ubrusu.

IV. STRUKTURA DEFORMABILNÍHO ZRCADLA

Vyvíjené zrcadlo je určené pro použití s vysoce výkonnými lasery s velkým průměrem svazku (PALS, HIPER, ELI). Na vývoji se podílí firma 5M a ÚFP AVČR. Základním požadavkem je zkoncentrování laserového paprsku do požadovaného místa a jeho depozice do malého prostoru s co nejvyšší hustotou energie. V praxi je kvalita laserového paprsku dána běžným provozem s vlivy jako mechanické

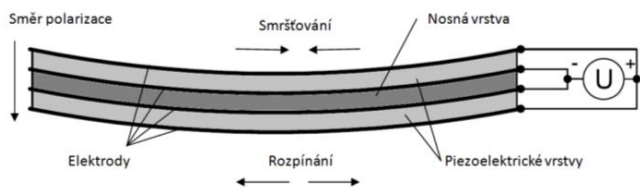
chyby a vibrace, nedokonalosti optiky, postupná degradace elementů, teplotně indukované nehomogenity indexu lomu, nestálé aktivní a transportní médium a další náhodné pochody. Pro udržení vysoké kvality laserového svazku je rozhodující formování vlnplochy, neboli řízení fáze.



Obr. 1: Degradace vlnplochy

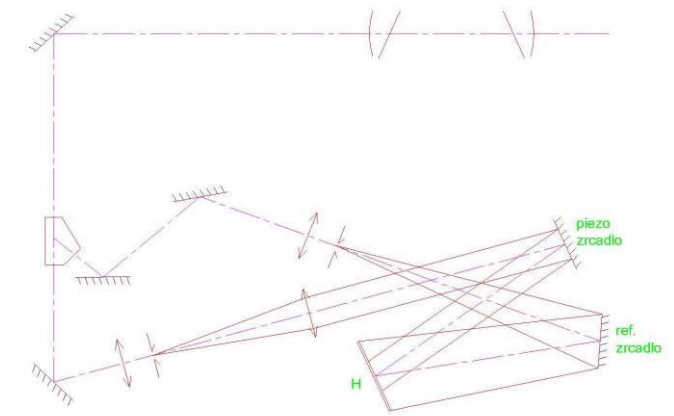
Deformovatelná zrcadla (DZ) pro výkonové lasery s malou aperturou mají menší počet oddělených aktuátorů. S větší aperturou a počtem aktuátorů velmi rychle roste hmotnost a objem vlastního zrcadla. Navíc použití většího množství oddělených aktuátorů vede k neúnosně vysoké ceně zařízení.

Konstrukce našeho zrcadla je založena na bimorfni struktuře s kompozitním jádrem a keramickou piezo vrstvou se segmentovými elektrodami. Jedinečnost tohoto řešení je v tom, že piezokeramika tvoří souvislou vrstvu a jednotlivé „aktuátory“ jsou tvořeny segmentovými elektrodami (tvar a uspořádání elektrod zatím nebylo rozhodnuto).



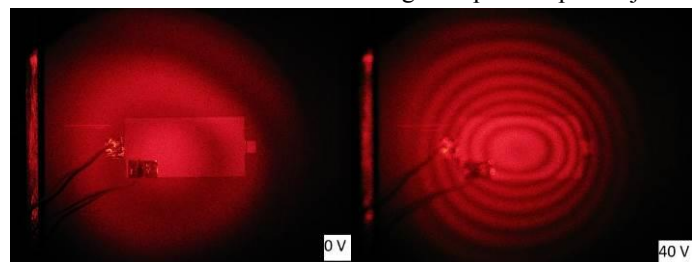
Obr. 2: Struktura bimorfního piezem buzeného zrcadla

Úkolem naší skupiny je měřit skutečnou deformaci zrcadla (topografie zrcadlicí plochy). Měříme metodou holografické interferometrie, konkrétně metodou živých proužků. Tato metoda má tu výhodu, že lze sledovat změny deformace v reálném čase. Citlivost metody je podle geometrického uspořádání až $\lambda/2$, tedy v případě HeNe laseru $0,3\mu\text{m}$.



Obr. 3: Optické uspořádání

Nejprve se zaznamená hologram zrcadla v nezátíženém stavu. Hologram se musí vyvolat na místě, což přináší určitou technickou obtíž. Přes tento hologram potom pozorujeme



zatěžované zrcadlo.

Rekonstruovaná vlnplocha nezátíženého zrcadla interferuje s vlnplochou odraženou od zatíženého zrcadla a vznikají interferenční proužky. Tyto proužky tvoří „vrstevnice“, tedy spojují místa stejného posuvu (deformace).

Měření jsme prováděli na vzorku tvaru desky z korundové keramiky o rozměrech $101,6 \times 101,6 \times 0,635 \text{ mm}$, v jejímž středu je sesklívací pastou přisklena piezokeramická destička oboustranně pokovená stříbrem o rozměrech $(40 \times 20 \times 0,2) \text{ mm}^3$. Ze spodní strany piezo destiček je vytažena elektroda.

Obr. 4: Interferogram

Při experimentech se ukázalo, že zrcadlo v zatíženém stavu (piezo buzené konstantním napětím) není dostatečně stabilní pro záznam hologramu. Hologram tedy exponujeme při vypnutém buzení. Dále zrcadlo vykazuje hysterezi, což je pro pieza typické. Tento problém překonáme zpětnovazebním řízením, které je stejně pro správnou funkci zrcadla nutné.

V současné době ověřujeme správnost výpočtu průhybu podle počtu interferenčních proužků a geometrického uspořádání experimentu. Dalším úkolem bude automatizovat vyhodnocení interferogramu (digitální zpracování obrazu).

Projekt je podpořen grantem TA01010878.

Progress on Construction of High-Speed Permanent Magnet Synchnous Machine

Martin Novák, Zdeněk Novák, Jaroslav Novák, Lukáš Novák

Department of Instrumentation and Control Engineering

Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

Prague, Czech Republic

Martin.Novak@fs.cvut.cz, Z.Novak@fs.cvut.cz, Jaroslav.Novak@fs.cvut.cz, Lukas.Novak@fs.cvut.cz

Abstract—This paper describes progress on the development of a high-speed permanent magnet synchronous machine (PMSM). The machine is supposed to work with a turbocharger turbine and compressor as a combined heat and power supply (CHP). The target specification are speed 250 kRPM, electrical power 5 kW. A smaller prototype is described in this paper. The machine was used to gain experience with construction of such machine and to estimate the feasibility of such concept.

Keywords—high-speed permanent magnet synchronous machine; construction of electrical machine

I. INTRODUCTION

There is an increasing pressure to sustainable development in the society. The question is how to improve the efficiency of heat and electrical energy production and to limit cost at the same time. Combined heat and power (CPH) have in general a higher efficiency compared to stand-alone heat and stand-alone power production. A comparison of the efficiencies is given in [1]. This reference estimates the efficiency of a CPH system to 75 % whereas the efficiency of separate heat and power production is estimated to around 51 %. The energy consumption of households in Czech Republic is around 25 % of the total energy consumption [2]. Around 80 % are used for heating and warm water production. The average consumption of a household is around 2500 kWh/year for 2-3 person family that is not using electrical power for heating and warm water production.

Combined heat and power production is well known for the big power plants where electricity is produced and typically a nearby city is heated with “waste” heat. There are also CPH source available for smaller power, starting from around 30 kW like the Capstone C30 unit [3]. However, in the area of household units where smaller powers are required, there is a significant gap. Although some solutions exists, like to couple the internal combustion piston engine with and electrical generator, those solutions are quite voluminous, heavy and expensive.

An ideal unit should be small, lightweight, robust and cheap. Although it is clear that all those requirements cannot be accomplished simultaneously there is a good candidate for such unit. It is a high speed permanent magnet synchronous machine coupled to an automotive turbocharger. As automotive

components are well mastered, robust, reliable and mass produced it is a relatively cheap component.

The high-speed permanent magnet synchronous machine (PMSM) on the other hand is a different story. There is recently a vivid development in this area. Solutions such as a 1 MRPM, 100 W machine [6] or a 200 kRPM 2kW motor [8] have been proposed. There are many recent examples of high speed machine development [4]-[7] as well.

Despite this progress, there are still only few research teams or companies in the word able to build such high-speed electrical machines. High-speed PMSM are still not a standard off-the-shelf components.

For this reason, it was decided to start the development of an own high-speed PMSM machine with the goal of small CPH unit construction.

The final unit design parameters are summarized in Table I.

TABLE I. FINAL UNIT DESING PARAMENTERS

Speed	Electrical output power
250 kRPM	5 kW

As the unit should be able to provide power for a typical household, the electrical output power was chosen to be 5 kW. The speed requirements are given by the idea to couple directly an automotive turbocharger without a gearbox in order to increase efficiency. The idea is such that a fuel (liquid or gas) is burned in a combustion chamber, spins the turbocharger turbine. The spinning is producing power in the generator and the exhaust gases are further cooled in order to produce hot water in a heat exchanger. The turbine provides mechanical energy for the compressor blowing air in the combustion chamber.

As this construction is quiet challenging, this paper will focus only on the construction of a high-speed machines.

The herein described initial stage comprises a smaller PMSM (~ 50 W, 30 kRPM) in order to gain experience with this type of machine.

II. WHY HIGH-SPEED PMSM ?

The reason why a high-speed PMSM should be used is its favorable high power/weight (volume) ration. For traditional PMSM, this ratio is around 1 kg/kW, a selection of three high-speed machines is summarized in TABLE II.

TABLE II. COMPARISON OF SELECTED HIGH-SPEED PMSM'S

	<i>PMSM 1</i>	<i>PMSM 2</i>	<i>PMSM 3</i>
Power [kW]	0,1/0,2 Without/with cooling	3	2
Weight [kg]	0,038	1,4	1,3/2,4 (with cooling)
Power density [kg/kW]	0,38/0,19	0,47	0,65/1,2
Nominal speed [RPM]	500k	240k	200k
Application	Celerotron CM-2-500 test machine [9]	Micro- CPH, MTT, Eindhoven	Experiment al machine [10]

The note with/without cooling represents the calculated power/weight ratio for different usage of the machine. For short runs of the machine, the cooling system can be omitted and only natural cooling can be used. For longer runs or permanent run, the machine has to be cooled. The presence of an external forced cooling system adds weight and volume to the unit and decreases the power/volume ration.

III. MACHINE CONSTRUCTION

As the calculation of machine parameters showed to be extremely complex due to the many unknowns and mostly empirical parameters, a small experimental machine was built in order to obtain an estimate of required machine size, torque, losses and manufacturing possibilities.

A cutaway view of the machine prototype is shown Fig. 1. The machine is built with a hollow titanium shaft with the permanent magnet inside the shaft. The shaft external diameter is 15mm, the internal diameter is 13.3 mm. The permanent magnet has diametrical magnetization. The first machine was built with a standard NdFeB, Ø 10 mm; length 20 mm N42

permanent magnet. This magnet has $B_r \sim 1.3$ T. The magnet was glued into position with epoxy resin. The current design uses now a custom made Ø 13.3 mm N52 NdFeB with $B_r \sim 1.45$ T pressed inside the shaft.

The hollow titanium shaft is made from Grade 5 Ti6Al4V allow with yield tensile strength of 880 MPa. The shaft is calculated such that for the machine nominal speed, the centrifugal force loads it to about 40 % of the tensile strength. This gives a safety factor of about 2.5. Due to the high speed of the machine, the torque is very small. For 250 kRPM and 5 kW, the torque is only 0.2 Nm. For this reason, the centrifugal force represents the main load and will limit the machine. It should be noted here that this first prototype is not supposed to work nor with 250 kRPM nor with a load applied to the shaft. The machine speed is limited with the used bearings to about 30 kRPM. This is due to the fact that cheap hybrid ceramic ball bearings are used in the first prototype. The test machine is developed merely in order to test the feasibility of such design.

The stator is built as a Y connected normal three phase winding. The stator uses a slot-less design. There are several reasons for this selection. One is the cogging torque due to the interaction between the permanent magnet and stator slots. In a traditional slotted machine, cogging torque causes torque ripple on the shaft. For a higher torque machine this does not cause problems, but as this is a low torque machine, cogging torque could cause significant problems or even made the construction impossible as the cogging torque could be bigger than the electromagnetic torque produced by the winding.

In the herein described construction, cogging torque is zero as the interaction between the rotor permanent magnet and stator is everywhere the same. Standard toroidal cores XFlux cores from Magnetics Company with 1.6 T saturation have been used.

The second reason for the slot-less design is the low winding inductance. The machine will be powered from an inverter. The rotor is a 2 pole design and for the desired speed 250 kRPM of the final machine this corresponds to fundamental harmonic frequency of 4166 Hz.

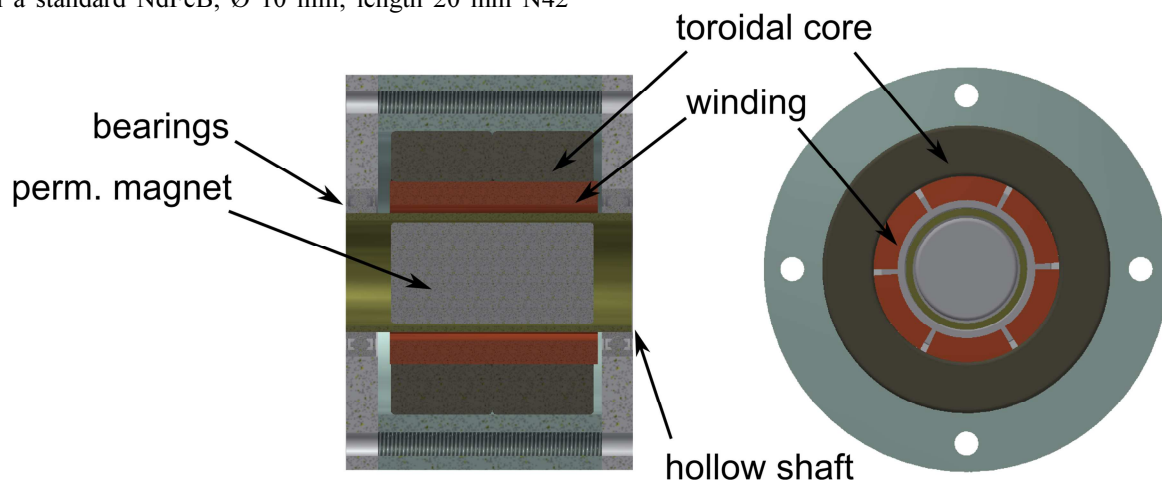


Fig. 1 - Cutaway drawing of PMSM prototype

As the impedance of the RL circuit is

$$\hat{Z} = R + j\omega L \quad (1)$$

due to the high frequency, the inductive component is increasing rapidly and requires the inverter to use a higher DC intermediate circuit voltage in order to push through a sufficient current. For the test machine, the winding had $R = 1 \Omega$ and $L = 70 \mu\text{H}$. Therefore the impedance did not cause any problems.

But for the final machine, with much higher power, the winding will also have significantly higher impedance. It was estimated to about $2200 \mu\text{H}$. This would cause the required DC intermediate circuit voltage to be very high (in kV order), jeopardize safety and isolation in the stator coils. For this reason it was also decided to use a slot-less design.

On the other hand, it is a fact that a slot-less design will produce a much lower torque as this is in principle an air inductor. The slot-less machine will therefore be bigger compared with a same power slotted machine.

IV. PUTTING IT ALL TOGETHER

After the individual components shown in Fig. 2 were produced, the machine was assembled.



Fig. 2 – Components before machine assembly

The winding is self-supporting and is not shown in Fig. 2. It has 50 turns. This gives $R = 1 \Omega$ and $L = 70 \mu\text{H}$ for a single coil. Two coils are connected in series and this set is then Y connected to form a three phase winding.

The assembled PMSM is shown in Fig. 3. The external stator diameter is 72 mm, length 35 mm. It is shown without one of the covers in order to show the assembly internals. The polarity of the permanent magnet is also shown to test the winding orientation and rotation later on.

The machine was first tested with DC voltage in order to determine the correct coil orientation and later on with a custom made frequency inverter. This IGBT inverter allows to set independently the current and frequency and to record circuit variables such as voltages and current. It is also possible to set the DC intermediate circuit voltage from around 5V to 600 V. The inverter was primarily developed for field oriented control (FOC) of a commercial high-speed PMSM shown in [11]-[13]. As FOC has not been required so far, V/f control is

used and another type of a custom made inverter was used for some experiments. This inverter is shown in Fig. 4.

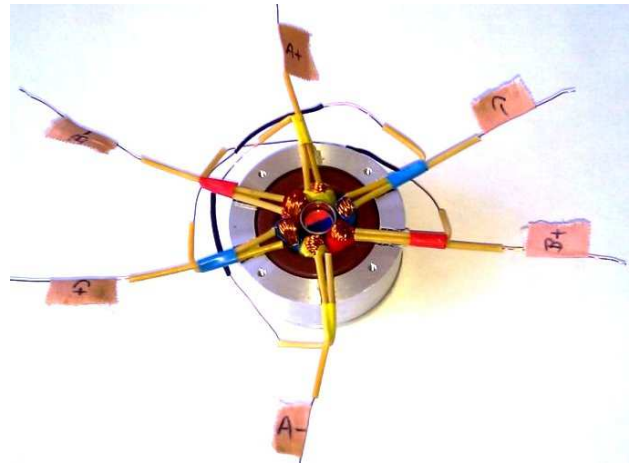


Fig. 3 - Assembled PMSM prototype

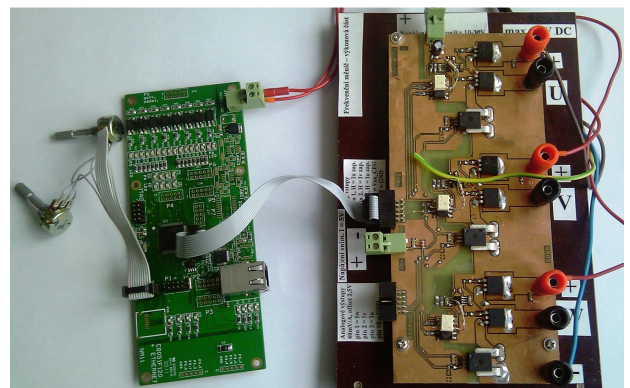


Fig. 4 - Custom made frequency inverter

V. EXPERIMENTAL RESULTS

The machine prototype was successfully built and tested. The maximal speed to which the motor was run was 30 kRPM (500Hz). The limiting factor was the bearing and also a suitable stabilized DC power supply with current limit. The one power supply available provided only 4 A and 30 V to the DC intermediate circuit.

As with increasing speed, the induced voltage increases, also the DC circuit intermediate voltage has to increase. As the used inverter allows voltages up to 200 V, with a different power supply the achieved speed would have been higher. For initial testing however a power supply with current limiter was preferred.

In order to obtain an idea about the machine torque, a static test has been made. The machine was connected through a lever of known length L to a weight as shown in Fig. 5. As the maximal available torque for PMSM is for torque angle 90° the rotor position was set to be perpendicular to the axis of winding A-A'. Winding A-A' was then powered with DC current and torque (resp. weight) was measured. In order to verify methods of torque calculation, also a finite element model was created in the FEMM software. The experiment was used to verify the FEMM calculation results.

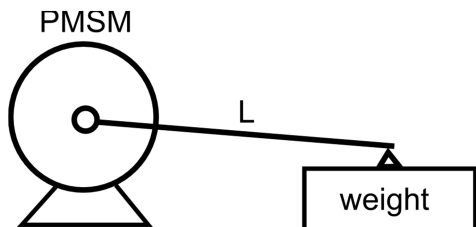


Fig. 5 - Measuring maximal available torque

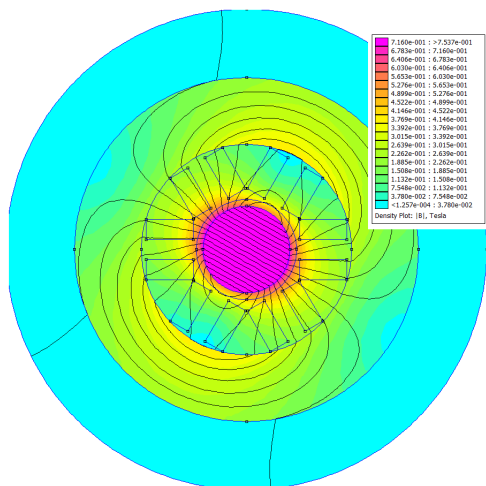


Fig. 6 - PMSM FEMM simulation

The experiment resulted in torque 0.012 Nm for current 4 A. The FEMM resulted in torque of 0.019 Nm for the same conditions. With regard to the large imprecision in setting the rotor angle and many neglected properties of the magnetic circuit, this agreement is considered sufficient.

The FEMM simulation is shown in Fig. 6. It can be seen that although the coil behaves as an air inductor, there is still a significant magnetic flux in the toroidal core and this can't be omitted completely.

An example of the measured data is shown in Fig. 7. The speed was changed with a step from -100 Hz to +100 Hz. As can be seen the motor can reverse in about 0.4 s. The real speed was not measured as there is not speed or position sensor in the motor. But as the motor is following the magnetic field and did not drop out of synchronism, it has to follow the stator magnetic field.

VI. CONCLUSIONS

The prototype motor is working with small power but is able to function as expected. Another experiment showing a step change from 100 Hz to 300 Hz can be seen on <http://control.fs.cvut.cz/cz/node/165>. Currently a larger version of the machine is being designed.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by the Czech ministry of education, youth and sport grant no. MSM6840770035 "The Development of Environmental - Friendly Decentralized Power Engineering" and internal CTU Grant SGS12/178/OHK2/3T/12 "Development of measuring,

simulation and experimental methods with focus on non-traditional energy source".

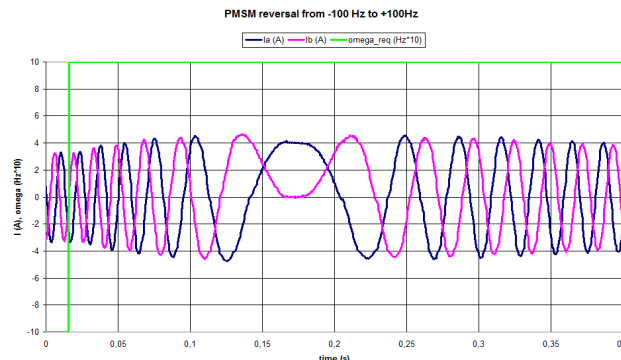


Fig. 7 - PMSM reversal test

REFERENCES

- [1] Methods for Calculating Efficiency, online on <<http://www.epa.gov/chp/basic/methods.html>>, accessed 6.5.2013
- [2] Spotřeba energie v domácnostech, online on <http://www.cittadella.cz/cenia/?p=spotreba_energie_v_domacnostech&site=energie>, in Czech, accessed 6.5.2013
- [3] Capstone turbine corporation – Product list, online on <http://www.capstoneturbine.com/prodsol/products/>, accessed 6.5.2013
- [4] Stumpf, P.; Jardan, R.K.; Nagy, I., "Subharmonics Generated by Space Vector Modulation in Ultrahigh Speed Drives," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.59, no.2, pp.1029,1037, Feb. 2012, doi: 10.1109/TIE.2011.2148683
- [5] Crescimbeni, F.; Lidozzi, A.; Solero, L., "High-Speed Generator and Multilevel Converter for Energy Recovery in Automotive Systems," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.59, no.6, pp.2678,2688, June 2012, doi: 10.1109/TIE.2011.2160513
- [6] Zwysig, C.; Kolar, J.W.; Round, S.D., "Megaspeed Drive Systems: Pushing Beyond 1 Million r/min," Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on , vol.14, no.5, pp.564,574, Oct. 2009, doi: 10.1109/TMECH.2008.2009310
- [7] Borisavljevic, A.; Polinder, H.; Ferreira, J.A., "On the Speed Limits of Permanent-Magnet Machines," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.57, no.1, pp.220,227, Jan. 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2030762
- [8] Limei Zhao; Chan Ham; Liping Zheng; Wu, T.; Sundaram, K.; Kapat, J.; Chow, L., "A Highly Efficient 200 000 RPM Permanent Magnet Motor System," Magnetics, IEEE Transactions on , vol.43, no.6, pp.2528,2530, June 2007, doi: 10.1109/TMAG.2007.893523
- [9] Permanent-magnet machine CM-2-500, Celerotron Datasheet, Available on <<http://www.celerotron.com/datasheets/en/Datasheet-CM-2-500.pdf>>, [accessed 26.9.2012]
- [10] Pfister, P-D. - Perriard, Y.: Very-High-Speed Slotless Permanent-Magnet Motors: Analytical Modeling, Optimization, Design, and Torque Measurement Methods, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 57, no. 1, Jan. 2010
- [11] Novák, M. - Novák, J. - Chyský, J.: Experimental Micro-turbine Power Generator. In: Proceedings of the First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology REVET2012. Tunis: IEEE - Tunisia, 2012, p. 1-6. ISBN 978-1-4673-1170-0.
- [12] Novák, M. - Novák, J. - Chyský, J.: Experimental Verification of High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor Model. In: Proceedings of the XXth International Conference on Electrical Machines ICEM2012. Marseille: IEEE, 2012, p. 2433-2438. ISBN 978-1-4673-0141-1.
- [13] Chyský, J. - Novák, J. - Novák, M.: Control of High-speed Permanent Magnet Synchronous Machine. In: Proceedings of IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society and 2012 6th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE). Montreal: IEEE, 2012, p. 4466-4470. ISBN 978-1-4673-2420

Optimization of the Stator Tooth Width in a PMSM Using Lua Scripting Engine in the FEMM Software

Zdeněk Novák, Martin Novák, Jan Chyský

Department of Instrumentation and Control Engineering

Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

Prague, Czech Republic

z.novak@fs.cvut.cz, martin.novak@fs.cvut.cz, jan.chysky@fs.cvut.cz

Abstract—This paper shows some of the possibilities of Lua scripting engine which can be used in FEMM software to optimize stator tooth width in the Permanent magnet synchronous motor (PMSM). Program code is written in the Matlab environment and then-after the execution-Matlab uses inter-process communication via ActiveX to connect with FEMM. In this process program tries several options for stator tooth width and then, after the program's script has ended, user can evaluate all the data about the overall progress.

Keywords—FEMM; Lua scripting; PMSM

I. INTRODUCTION

To find optimal proportions for any technical equipment or device can become quite time consuming problem. Usually there are more possible ways, how the final design of a device can look like. Even if we find e.g. 5 possibilities of these designs and all of them will be functional- in the term that the device does what it should do- there will be probably only one design, which will fulfill the given criteria such as weight, power consumption, energy production, final dimensions, etc. To find the optimal point where all requirements are met and it is done in a relatively short time can be done using e.g. some algorithm. In this algorithm, all possibilities of a design for the final product are simulated and results are available for the consideration.

Such an approach may be used to find optimal proportions of the stator tooth width in a PMSM. Also, this tooth doesn't have to be considered only as some iron material. In the case of using air core, we will have to use different settings in the simulation, but still the principle of a program is the same as for the iron material. Other dimensions, such as stator and rotor diameter, are given by their manufacturers (together with their properties), and they will remain throughout the simulation constant.

There are several software products available for solving the magnetic problems. The top ones, which are used in the engineering practice, are quite expensive. Therefore using some free software is inevitable. One of the free products is the FEMM (Finite Element Method Magnetics) [1] and it offers solving given 2D planar problems using FEM.

II. FEMM SOFTWARE AND LUA SCRIPTING ENGINE

When using FEMM, there are basically two approaches available for the user how to describe 2D planar magnetic problems which should be solved. The first one can be expressed with the following steps:

a) Problem description: First of all, user has to define type of a problem (planar, axisymmetric), length units, depth, solver precision, etc.

b) Drawing the model (cross-section model): User has to draw the problem, in our case it is a cross section model of a PMSM. This is one of the most time consuming part, because it is required to draw nodes with using their coordinates and connect them as a lines or arc segments. Hopefully, it is possible to import DXF file from the higher software for technical drawing, such as AutoCAD.

c) Setting properties: All used materials has to be described and placed in the drawing to corresponding positions. If there are any electrical circuits, they have to be described only with the applied current. FEM requires defining boundaries which also have to be placed.

d) Analysis and results: After setting all parameters, FEMM can now create a mesh for FEM and solve the problem. The user can view all the results and apply different tools for acquiring required data from the result output.

This approach can be used if the user already knows final dimensions for his product. But for the optimization process, where the chosen parameter is changing from e.g. 1 to 500, it is not a good choice. The user in this case would have to repeat steps b) and d) 499 times before being able to see the result of complete analysis.

To avoid this, it is possible to choose the second choice which offers using the Lua scripting engine. Lua is an open-source scripting language and more information about it can be found in [2]. This language has been used to add scripting possibilities for FEMM. There are several command sets which user can use for writing the script. Because every operation mentioned in the first kind of approach can be written with these commands, whole process of solving the problem can be automated. If the user chooses appropriate nodes and attach

them into groups, after finishing the analysis and obtaining results, he can erase all of them with one command and replace for iteration. This will greatly save his time required to find optimal solution of the problem.

To be able to further use obtained data from FEMM analysis, it is also possible to write a script in Matlab. Here, the Lua script commands are written as functions. After running a script, the interface for inter-process communication is then established via ActiveX.

III. RESULTS OF THE ANALYSIS

The optimization script has been created for 3 stator cores with a different dimensions and different tooth material. Parameters of the first one, which analysis results will be shown in figures, are given in the Table I. Material properties of the toroidal shape stator can be obtained using method mentioned in [3] or found on the website of the manufacturer.

A PMSM design is shown in Figure 1. We can see there are small black dots around some points, which are representing changes in the tooth width (iterations).

The overall results from the optimization process are shown in Figure 2. Because we always read a value of flux density B at one location in the tooth, it can create a slightly jagged waveform at some location in the output characteristics, which is only a cosmetic problem that can be removed by changing location of reading flux density or using some approximation functions to fit the curve.

IV. CONCLUSION

The optimization process has been applied to the PMSM design. Characteristics for a different tooth width have been acquired and they can be now used to design an ideal PMSM

for our purposes. Other improvements in the script can be considered as well as a different type of materials used for the stator and tooth.

TABLE I. TOROIDAL STATOR PARAMETERS

Parameter	Value
Type of stator	0078337A7 (Magnetics company)
Outer diameter	134 [mm]
Inner diameter	77 [mm]
Permeability	26
Motor length	50 [mm]

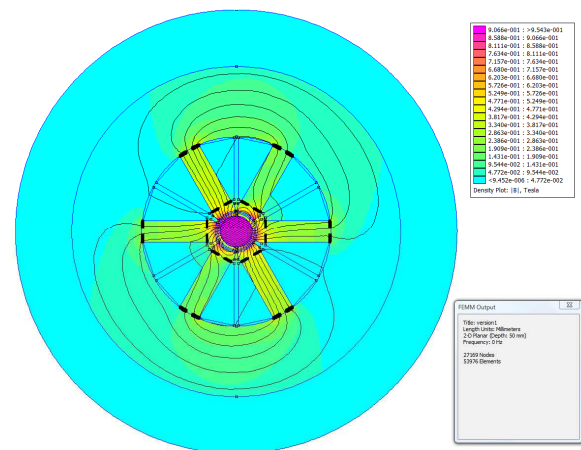


Figure 1 Design of PMSM; tooth width is 9 mm, applied current in circuit B is 3A

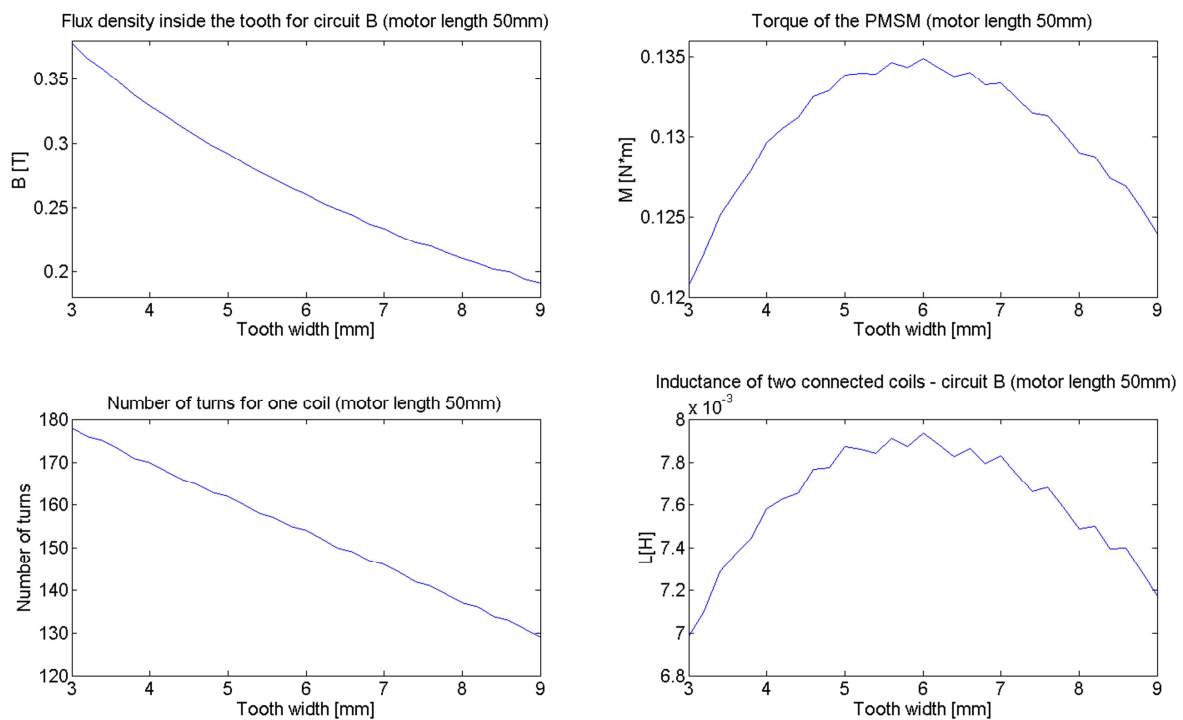


Figure 2 Results of the analysis; applied current 3A in the circuit B

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by the Czech ministry of education, youth and sport grant no. MSM6840770035 "The Development of Environmental - Friendly Decentralized Power Engineering" and internal CTU Grant SGS12/178/OHK2/3T/12 "Development of measuring, simulation and experimental methods with focus on nontraditional energy source".

REFERENCES

- [1] D. Meeker, "Finite Element Method Magnetics: DavidMeeker" [online]. 24.11.2011 [Retrieved 2013-05-10]. Available at: <http://www.femm.info/wiki/HomePage>.
- [2] R. Leruslimschy, W. Celes and L. Henrique de Figueiredo, "The Programming Language Lua" [online]. © 1994–2013 [Retrieved 2013-05-10]. Available at: <http://www.lua.org/>.
- [3] Polik, Z. and M. Kuczmann, "Measuring and control the hysteresis loop by using analog and digital integrators" In: Journal of optoelectronics and advanced materials. 2008, Vol. 10, No. 7, pages 5. ISSN 1454-4164.

Průběh prací a cíle projektu "Výzkum inteligentních metod ekonomicko-ekologického řízení prototypu 100kW kotle na zbytkovou biomasu"

Cyril Oswald

Ústav přístrojové a řídicí techniky
Fakulta strojní, ČVUT v Praze
Praha, Česká republika
cyril.oswald@fs.cvut.cz

Abstrakt — Článek představuje tříletý projekt "Výzkum inteligentních metod ekonomicko-ekologického řízení prototypu 100kW kotle na zbytkovou biomasu" řešený ve spolupráci s výrobcem automatických kotlů na biomasu firmou Fiedler Zdeněk spol. s r. o. a podpořený Technologickou agenturou České republiky v rámci programu ALFA druhá výzva. Dále shrnuje vykonané práce za minulý rok a plány dalšího řešení projektu včetně stanovených cílů projektu. Podrobněji je popsáno řešení komunikace mezi automatem WinCON s řídicím systémem REX a automatem Siemens, běžně používaného k řízení kotlů spolupracujícím výrobcem, zaznamenávání experimentů, včetně ukládání naměřených dat na server, získávání naměřených dat ze serveru a on-line monitorování experimentů přes Internet.

Klíčová slova — kotel, biomasa, řízení, optimalizace.

I. ÚVOD

Tříletý projekt ALFA TA02020836 - "Výzkum inteligentních metod ekonomicko-ekologického řízení prototypu 100kW kotle na zbytkovou biomasu" podpořený Technologickou agenturou České republiky byl zahájen v roce 2012. Na jeho řešení se na straně hlavního řešitele (ČVUT) podílí tým složený z pracovníků a doktorandů Ústavu přístrojové a řídicí techniky a Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT v Praze. Spoluřešitelem je pak firma Fiedler Zdeněk spol. s r. o. z Vlachova Březí zabývající se již více jak 20 let konstrukcí a výrobou automatických kotlů na zbytkovou biomasu [1].

Hlavními cíli projektu je v průběhu tří let jeho řešení navrhnout a vyrobit prototyp inovovaného automatického kotle na zbytkovou biomasu o nominálním výkonu 100 kW a pro tento prototyp vyvinout nové pokročilé algoritmy řízení a optimalizace provozu kotle se zaměřením na ekonomickou a ekologickou optimalizaci provozu.

Výsledkem projektu tak bude inovovaný kotel s pokročilým řízením provozu, který spoluřešiteli jednak poskytnou konkurenční výhodu na domácím trhu a také ulehčí vstup na zahraniční trhy, kde již dnes se mu daří uplatňovat své výrobky na východních trzích jako např. v Srbsku.

Na straně hlavního řešitele se pak počítá jak s publikacemi na konferencích tak s užitečným vzorem a dokončením dvou

disertačních prací zúčastněných doktorandů.

Cílem tohoto příspěvku je seznámit s dokončenými a probíhajícími pracemi v rámci řešení projektu, zejména na straně pracovníků a doktorandů Ústavu přístrojové a řídicí techniky a informovat o dalších plánovaných činnostech, které by měly vést k úspěšnému dokončení projektu v roce 2014.

II. DOKONČENÉ A PROBÍHAJÍCÍ PRÁCE

Práce na řešení projektu jsou přirozeně rozděleny mezi hlavního řešitele a spoluřešitele tak, že na straně spoluřešitele je zejména návrh konstrukce a výroba prototypu 100kW kotle na zbytkovou biomasu a hlavní řešitel má pak na starosti vývoj nových pokročilých algoritmů řízení.

V průběhu řešení jednotlivých úkolů je samozřejmá spolupráce, kdy např. spoluřešitel navrhoval prototyp kotle ve spolupráci s hlavním řešitelem a zahrnoval jeho návrhy a připomínky do finálního návrhu prototypu.

Spoluřešitel v průběhu prvního roku řešení dokončil:

- návrh konstrukce prototypu,
- výrobu prototypu,
- zaměření a přípravu místa pro umístění prototypu kotle v těžkých laboratořích Ústavu energetiky na Julisce a
- instalaci a oživení prototypu.

Dokončenými a rozpracovanými úkoly hlavního řešitele jsou:

- analýza současných řídicích algoritmů automatických kotlů Fiedler a jejich příprava pro inovaci a zapojení nových algoritmů řízení,
- příprava experimentálního zázemí, tedy prostředků pro zaznamenávání a vyhodnocování experimentů a
- rešerše aktuálního stavu poznání v oblasti ekonomicko-ekologického řízení kotlů na biomasu a v oblasti vyhodnocování kredibility senzorů a akčních členů.



Technologická agentura
České republiky

Projekt TA02020836 je řešen s finanční
podporou TA ČR.

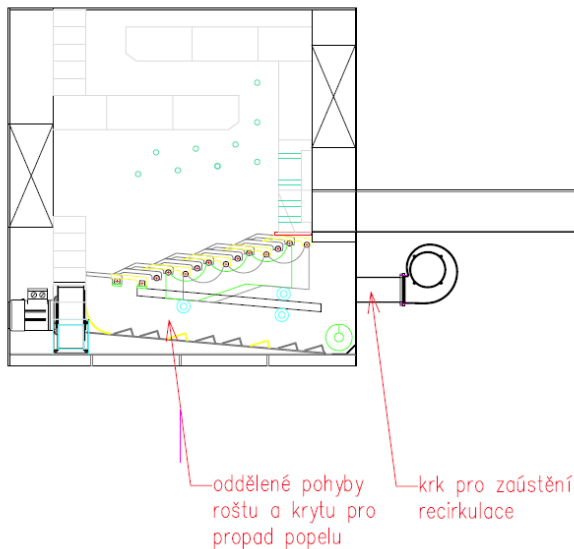
Tato práce byla podpořena grantem SGS ČVUT - SGS13/179/OHK2/3T/12

III. KONSTRUKCE, VÝROBA A INSTALACE PROTOTYPU KOTLE

Návrh nového prototypu 100kW kotle je evolucí kotlů standardně vyráběných spoluřešitelem projektu. Tato dosavadní konstrukce je upravena tak, aby bylo pro tento prototyp možno využít řízení založené na nových inteligentních řídicích algoritmech. Toho je dosaženo zavedením prvků využívaných na kotlích mnohem vyšších výkonů, zejména prvků pro optimalizaci spalovacího procesu a redukci plynných emisí. Tyto prvky musely být konstrukčně uzpůsobeny pro tento kotel relativně nízkého výkonu. Především se jedná o změny v rozložení a počtu i velikosti vstupů sekundárního vzduchu a zavedení řízení recirkulace spalin. Dále jde o změnu konstrukce roštu a koncepce odvodu popela.

Původní plán byl instalovat hotový kotel již na konci roku 2012. Avšak v průběhu návrhu se spoluřešitel rozhodl zapracovat požadavek jejich zahraničního obchodního partnera, který měl velký zájem o možnost spalovat alternativní pelety z kukuřičné slámy. V reakci na to spoluřešitel upravil původní koncepci prototypu, který byl pánován jen na spalování odpadní dřevní biomasy, tak aby bylo možné v něm spalovat i tato alternativní paliva. Jednalo se především o odlišný návrh uspořádání spalovacího prostoru s dlouhou dohořivací dráhou a posuvným roštem. Výsledný návrh konstrukce je na obrázku 1. Na konci roku 2012 tak byl kotel jen ve fázi výroby, jak je vidět na obrázcích 2 a 3.

K finální instalaci a oživení kotle nakonec došlo v průběhu března a dubna roku 2013. Vše proběhlo bez větších problémů během pěti návštěv pracovníků spoluřešitele v těžkých laboratořích Ústavu energetiky na Julisce. Aktuální podoba kotle a konečné umístění kotle v laboratořích je na obrázku 4. Kotel zatím nezahrnuje recirkulaci spalin, vše je však připraveno pro její instalaci poté, co bude dokončen její finální návrh v příštích měsících.



Obr. 1 - Spalovací komora s pohyblivým roštem, pohled z boku.



Obr. 2 - Výměňková část – žárotrubný výměník, stav v prosinci 2012



Obr. 3 - Čelní pohled na ocelový svařenec spalovací komory kotle s připojeným šnekovým dopravníkem a zásobníkem na palivo.



Obr. 4 - Aktuální podoba kotle.

IV. SOFTWAREOVÁ PODPORA A PREZENTACE PROJEKTU

Během řešení projektu vznikla potřeba efektivní koordinace, plánování činností a sdílení informací mezi jednotlivými řešiteli projektu. K tomuto bylo nakonec využito webového nástroje pro řízení projektů Redmine [2]. Tento webový nástroj byl zprovozněn na serveru na Fakultě strojní a umožňuje nejen sdílení informací mezi všemi, kteří se na projektu podílí, ale i plánování a koordinaci činností jednotlivých pracovníků a zaznamenávání všech událostí, což velmi zjednodušuje následné psaní průběžných a závěrečných zpráv pro Technologickou agenturu České republiky.

Na stejném serveru pak byla zprovozněna internetová prezentace projektu dostupná z adresy ecobicon.fs.cvut.cz, jejímž účelem je prezentovat cíle a průběh projektu veřejnosti. Webová prezentace běží na redakčním systému vyvinutém na Ústavu přístrojové a řídicí techniky pro potřeby konference ARaP. Úvodní stránka prezentace k 1. 5. 2013 je na obrázku 5.

Využití redakčního systému umožňuje editovat stránky všem zainteresovaným účastníkům projektu, a tak udržovat prezentaci projektu co nejaktuálnější.



Obr. 5 - Úvodní stránka internetové prezentace projektu. [2]

V. ANALÝZA PŘEVOD SOUČASNÝCH ŘÍDICÍCH ALGORITMŮ KOTLŮ FIEDLER

Za více než 20 let vývoje automatických kotlů Fiedler vznikl komplexní program automatického řízení vyráběných kotlů sestávající z několika navzájem provázaných algoritmů. Vývoj těchto algoritmů byl postupný a více než teoretickými základy a principy automatického řízení byl veden za pomoci zkušeností výrobců s provozováním kotlů tak, aby průběh řízení co nejvíce odpovídal představám výrobce i jeho zákazníků. Jeho důkladná analýza je potřebná z následujících dvou hlavních důvodů:

1. Algoritmy obsahují zkušenosti výrobce s provozem jeho kotlů, a tak, i když nový prototyp se bude v některých ohledech lišit od stávající produkce, jsou algoritmy stále vhodné k základnímu řízení kotle - uvedení kotle do provozu, udržení kotle na žádaném výkonu, nouzové odstavení atd. Využitím existujících algoritmů jako základu pro vývoj nových progresivních inteligentních algoritmů řízení

prototypu se ušetří čas a práce nutná k vývoji nových algoritmů pro základní řízení kotle. Stávající algoritmy však nelze jen využít jako základ nového řídicího systému, je nutná i jeho důkladná analýza, bez které by nešlo algoritmus dále rozvíjet a napojovat na něj nové inteligentní algoritmy vyvinuté v rámci projektu.

2. Spolupřítel využívá pro řízení svých kotlů řídicí automaty firmy Siemens. V návrhové fázi hardwaru řízení však bylo po dohodě rozhodnuto, že pro vývoj řízení během projektu bude využit automat WinPAC s řídicím softwarem REX [3], který umožňuje v plné míře využít propojení řízení kotle s prostředím Matlab/Simulink. To je velká výhoda pro vývoj a testování nově navržených algoritmů. K tomu je ale třeba převést kompletní stávající řídicí algoritmus 1:1 z automatu Siemens do automatu WinPAC tak, aby bylo možné následně porovnání nových algoritmů s původním řídicím algoritmem. K tomu je samozřejmě potřeba důkladná analýza původních řídicích algoritmů.

V současné době je dokončena komplexní analýza řídicího systému Fiedler na základě poskytnutých zdrojových kódů. Je vytvořena dokumentace řídicího systému a zázpis jeho algoritmů ve formě, která umožňuje jejich přepis do libovolného programovacího jazyka. Následovat nyní bude přepis řídicího systému pro řídicí systém REX a testování přeepsaného algoritmu porovnáním akčních zásahů originálního řídicího systému běžícího v automatu Siemens a přeepsaného řídicího systému při stejných vstupech.

Po ověření správnosti přepisu řídicího algoritmu bude možno k tomuto řídicímu systému připojit pokročilé algoritmy řízení či možná inovace původního řídicího systému na základě teoretických nástrojů automatického řízení.

VI. KOMUNIKACE PLC SIEMENS A PLC WINPAC A ZÁZNAM EXPERIMENTŮ

S prototypem kotle bylo spolupřítel dodáno i standardní řešení řízení automatem Siemens. Pro účely experimentů bylo však rozhodnuto o využití automatu WinPAC s řídicím systémem REX. Po diskuzi se spolupřítel bylo navrženo řešení, kdy automat Siemens bude obstarávat čtení dat ze senzorů a řízení akčních členů, kdy tato data budou odesílána do automatu WinPAC pomocí ethernetu protokolem MODBUS [4]. Zároveň bude umožněno automatu WinPAC ovládat prostřednictvím této sběrnice a automatu Siemens akční členy kotle. Výhodou tohoto řešení je, že není potřeba nakupovat vstupní a výstupní moduly pro automat WinPAC a také vyšší bezpečnost, kdy osvědčené bezpečnostní algoritmy v automatu Siemens mají vždy prioritu před příkazy z experimentálních algoritmů v automatu WinPAC. Zapojení obou automatů v rozvodné skříni kotle je na obrázku 6.

Záznam průběhu experimentů využívá možnosti řídicího systému REX, který umožňuje odesílat on-line libovolná data do SIMULINKu běžícím na počítači který je k automatu WinPAC připojen přes lokální síť či Internet. V prostředí MATLAB a SIMULINK bylo vyvinuto původní řešení záznamu dat, kdy jsou data obdržena od řídicího systému REX



Obr. 6 - Zapojení řídicích automatů v rozvodné skříni kotle. PLC WinPAC je v druhé řadě odspodu, PLC Siemens v třetí řadě odspodu.

jednak off-line zaznamenávána do souboru na disku počítače a také v případě připojení počítače k Internetu jsou data on-line zaznamenávána do databáze na serveru. K jednotlivým experimentům je možné uložit základní údaje (název, popis, autory) a také ukládat časové značky s popisem událostí. V případě výpadku připojení k Internetu, či kompletně off-line experimentu, je možné data uložená na disku nahrát do databáze kdykoliv později.

Tento on-line záznam experimentálních dat umožnil vyvinout webové rozhraní on-line zobrazující probíhající experiment přes Internet ve webovém prohlížeči. Vyvinuté webové rozhraní umožňuje s minimálním zpožděním (maximálně jednotky sekund, spíše méně) sledovat všechny

měřené veličiny, akční zásahy i všechny vnitřní proměnné řídicích algoritmů.

Webové rozhraní také umožňuje vybraným osobám přístup k datům z experimentů kdykoliv on-line přes Internet. Je možné si vybrat žádaný experiment a z tohoto experimentu stáhnout buďto vybraná data z vybraného časového úseku či kompletní záznam experimentu ve formátu CSV.

VII. SOUHRN AKTUÁLNĚ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A PLÁNOVANÉ PRÁCE

Od začátku řešení v roce 2012 do dubna 2013 bylo dosaženo všech plánovaných úkolů. Prototyp 100kW kotle na zbytkovou biomasu Fiedler je nainstalován v těžkých laboratořích Ústavu energetiky na Julisce a již byl proveden první zaznamenávaný experiment.

Vznikla dokumentace řídicího systému automatických kotlů Fiedler a rešerše „Analýza stávajícího řízení procesů spalování biomasy malých výkonů a studie uplatnění progresivních postupů“ [5]. Průběh prací byl prezentován na konferenci IFAC v Toulouse [6] a na konferenci ARaP 2013.

Byla uveřejněna webová prezentace projektu a vyvinut systém zaznamenávání experimentů do databáze umožňující nejen přístup k datům on-line, ale i "živé" sledování probíhajícího experimentu přes Internet.

V druhém roce projektu bude dokončen a instalován systém recirkulace spalin. Dále bude dokončen přepis původních řídicích algoritmů, bude provedeno experimentálně ověření vlastností kotle při využití různých paliv a vývoj a experimentální ověření nových pokročilých algoritmů řízení určených k optimalizaci provozu kotle z hlediska jak ekonomických tak ekologických kritérií.

LITERATURA

- [1] Informace firmě Fiedler Zdeněk spol. s r. o. *Webová prezentace firmy Fiedler Zdeněk spol. s r. o.* [online]. 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://kotlenabiomasu.com/>
- [2] Redmine [online]. [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.redmine.org/>
- [3] Řídicí systém REX. *Webová prezentace REX Controls s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.rexcontrols.cz/rex>
- [4] Oficiální webová prezentace protokolu MODBUS [online]. 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.modbus.org/>
- [5] PLAČEK, Viktor. *Analýza stávajícího řízení procesů spalování biomasy malých výkonů a studie uplatnění progresivních postupů.* [online]. 2013, s. 40 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://ecobicon.fs.cvut.cz/ebc/files/docs/reserse.pdf>
- [6] Oswald, C. - Plaček, V. - Šulc, B. - Hošovský, A.: *Transfer Issues of Control Optimizing Combustion from Small-scale to Medium scale Biomass-fired Boilers.* In: *Power Plant and Power System Control Proceedings.* Oxford: Elsevier, 2012, p. 207-211. ISBN 978-3-902823-24-3.

Filtrování měřených dat při spalování biomasy

Viktor Plaček

Ústav přístrojové a řídicí techniky
Fakulta strojní, ČVUT v Praze
Praha, Česká republika
viktor.placek@fs.cvut.cz

Abstrakt—Příspěvek srovnává použitelnost několika lineárních a nelineárních diskretních signálových filtrů pro filtraci veličin měřených při procesu spalování biomasy v horkovodních kotlích malého výkonu. Srovnávány jsou výsledky běžných filtrů – Butterworthův, Besselův a Čebiševův i méně běžných a speciálních filtrů – Prahový filtr, Gausovo křivkou vážený klouzavý průměr a Kalmanův filtr. U filtrů je kromě jejich schopnosti odfiltrout nežádoucí šum sledována také míra zanesení dynamického zpoždění do signálu.

Klíčová slova—spalování, biomasa, filtrace

I. ÚVOD

Při nehomogenním procesu spalování dochází k výraznému kolísání hodnot veličin, které se během spalovacího procesu obvykle sledují (teploty, průtoky spalin, koncentrace plynů atp.). Značná část jevů způsobujících toto rozkolísání není snadno identifikovatelná a ani není často účelné nebo hospodárné tyto jevy sledovat. Z praktického pohledu lze vlivy těchto "skrytých" jevů považovat za nežádoucí šum.

Pokud je třeba hodnoty měřených veličin použít jako vstup do řídicích algoritmů, může být tento šum značně na obtíž. Zvláště proto, že frekvenční spektrum tohoto šumu běžně zasahuje až do blízkosti prakticky využívaných částí amplitudových frekvenčních charakteristik samotného sledovaného procesu. Na obr. 1 je ukázka experimentálně získaného průběhu teploty spalin v ústí komína jako reakce na změnu napájecí frekvence motoru pohánějícího ventilátor vhnávající vzduch do spalovací komory kotle.

Řešením problému zatížení signálu šumem o vyšších frekvencích je filtrace signálu pomocí filtrů typu dolní propust. Nejběžnější je použití běžných lineárních filtrů. Pro náročnější aplikace pak existuje celá řada nelineárních filtrů. Pro

zmíněnou aplikaci bylo použito několik filtrů z obou skupin.

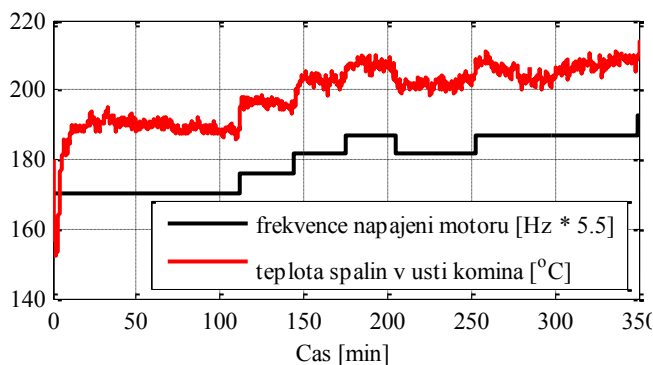
II. LINEÁRNÍ FILTRACE

Nejsnazším řešením problému odstranění šumu je použití lineárních filtrů. Protože však šum v procesu nehomogenního spalování zasahuje s významnou amplitudou až do nízkých frekvencí, je třeba při návrhu lineárních filtrů použít kořeny charakteristické rovnice filtru, které leží v komplexní rovině kořenů blízko k počátku. Takové filtry však vnášejí do signálu dynamické zpoždění, které neznídko překračuje dynamické zpoždění samotného procesu.

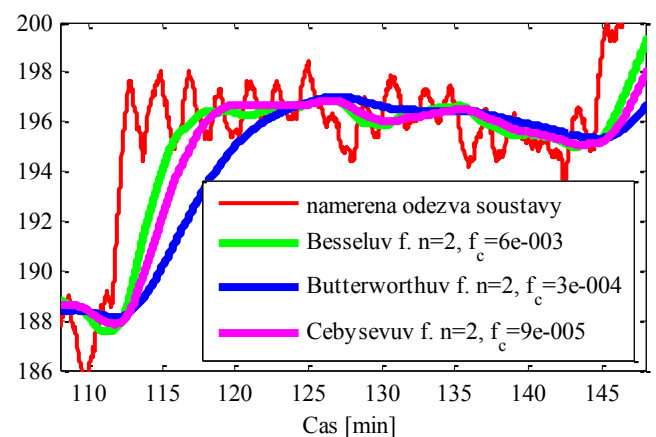
Filtrem zanesené dynamické zpoždění může být pro další použití signálu značně problematické. Proto při návrhu lineárního filtru vždy hledáme kompromis mezi mírou odfiltrování nežádoucího šumu a mírou zanesení nežádoucího dynamického zpoždění do měřeného signálu.

Na obr. 2 je zvětšená část časového úseku z obr. 1 a na detailu je ukázán průběh vzorkovaného signálu teploty před filtrováním (červená čára) a po filtrování pomocí Besselova, Butterworthova a Čebiševova filtru. Kořeny lineárních filtrů byly voleny subjektivně tak, aby co nejvíce potlačily vliv šumu, avšak ještě zanesly do signálu co nejmenší dynamické zpoždění. Z obrázku je vidět, že při srovnatelném vyhlazení nejmenší dynamické zpoždění vnesl do signálu Besselův filtr druhého řádu s mezní frekvencí $f_c = 6 \cdot 10^{-3}$ [rad/s].

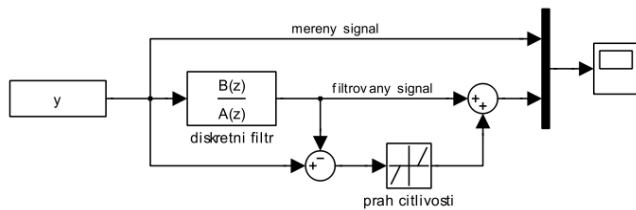
Z obr. 2 je také zřetelné, že kdybychom reakci procesu na skokovou změnu frekvence modelovali jako přechodovou charakteristiku prvního řádu, tak bude časová konstanta takové charakteristiky díky filtrem zanesenému dynamickému zpoždění nejméně dvakrát až třikrát větší.



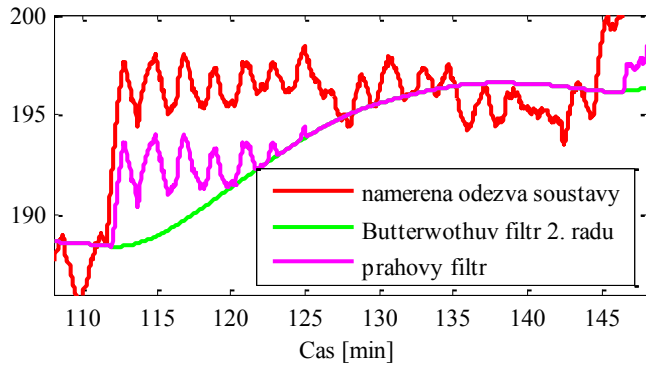
Obr. 1 – Ukázka časového záznamu jedné z veličin měřených během experimentu. Černou čarou je vykreslen průběh akční veličiny, červenou čarou je vykreslena odezva procesu.



Obr. 2 – Detail použití základních lineárních filtrů. Kořeny filtrů byly zvoleny jako přiměřený kompromis mezi odfiltrováním šumu a zároveň zanesením co nejmenšího dynamického zpoždění.



Obr. 3 – Princip činnosti algoritmu Prahového filtru podle [1].



Obr. 4 – Ukázka filtrace pomocí Prahového filtru.

Snaha o odstranění nebo alespoň zkrácení zaneseného dynamického zpoždění vede k použití nelineárních filtrů.

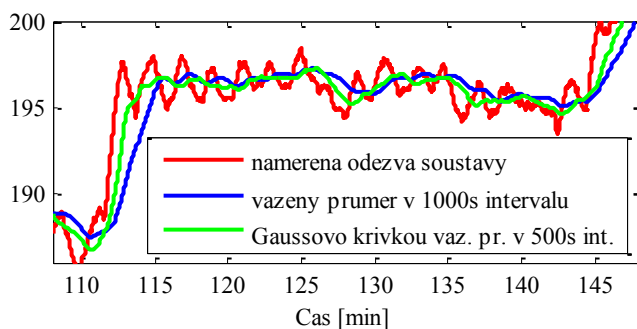
III. NELINEÁRNÍ FILTRACE

Protože běžné lineární filtry nespĺnily požadavky na dostatečnou filtraci signálu, bylo přistoupeno k aplikaci nelineárních filtrů.

A. Prahový filtr

První byl použit Prahový filtr podle [1]. Princip prahového filtru je zřejmý z obr. 3.: algoritmus porovnává měřený signál s jeho hodnotou filtrovanou běžným lineárním filtrem. Dokud je rozdíl okamžité hodnoty obou signálů ve stanovené mezí je na výstupu filtru hodnota veličiny tak, jako by byla filtrovaná jen lineárním filtrem. Pokud však rozdíl okamžitých hodnot signálů překročí stanovenou mez (práh), je hodnota vstupního (tedy nefiltrovaného) signálu překračující mez přičtena k výstupu lineárního filtru. Ukázka filtrace pomocí Prahového filtru je na obr. 4.

Prahový filtr dodává výborně vyhlazená data v úsecích, kdy se signál nemění. Při náhlé změně signálu reaguje prakticky bez



Obr. 5 – Ukázka filtrace pomocí Gaussovo křivkou váženého klouzavého aritmetického průměru.

dynamického zpoždění, avšak v těchto okamžicích signál nijak nefiltruje. Navíc okamžitou hodnotu nefiltrovaného signálu snižuje o prahovou hodnotu a tím může navodit dojem, že je hodnota veličiny menší než skutečně je.

B. Klouzavý průměr vážený Gaussovo křivkou

V práci [2] byl publikován a detailně popsán algoritmus speciálně navržený pro filtrování časových průběhů veličin naměřených při experimentech s kotli středních výkonů spalujících biomasu. Princip filtru se nijak neliší od běžného váženého aritmetického průměru. Avšak váhy použité pro průměrování okamžité hodnoty signálu se odvíjí od vzdálenosti hodnoty okamžité hodnoty od naposledy vypočítaného průměru.

Matematicky je váha okamžité hodnoty vyjádřena jako:

$$w_i = e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

kde μ je střední hodnota (průměr) získaný z předchozího vzorku a

σ je citlivost funkce na odlehlost měření.

Na obr. 5 je srovnání filtrace pomocí běžného klouzavého průměru z dat z posledních 1000 sekund měření a Gaussovo křivkou váženého klouzavého aritmetického průměru z dat z posledních 500 sekund. Z obrázku je vidět, že použitím vážení s Gaussovo křivkou lze dosáhnout vyhlazení signálu srovnatelné s běžným klouzavým průměrem o zhruba dvojnásobně dlouhém intervalu průměrování. Tím je spojena výhoda dobrého vyhlazení odpovídajícímu dlouhému intervalu průměrování s výhodou malého dynamického zpoždění díky skutečnému použití krátkého intervalu průměrování.

C. Jednoduchý diskrétní Kalmanův filtr

Diskrétní Kalmanův filtr je filtr pracující s vnitřním modelem. Ve vnitřním modelu v podobě stavového popisu má model uloženou informaci o ideálním chování soustavy (v případě dokonale přesného modelu). Naměřená data pak sice přináší skutečné chování soustavy, avšak jsou zatížena šumem. Kalmanův filtr umožňuje při praktické aplikaci pomocí kovariančních matic odhadnout přesnost vnitřního modelu v porovnání s přesností měření.

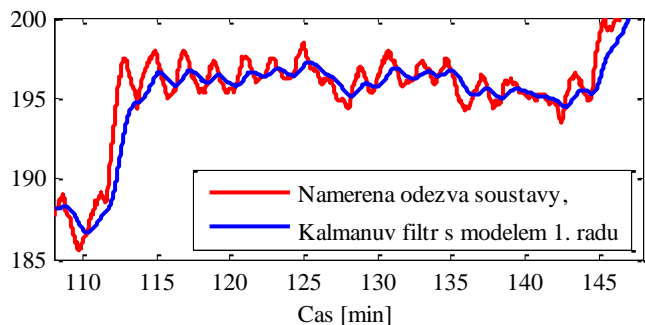
Pro účely filtrace signálu představeného na obr. 1 byl vytvořen velmi zjednodušený a nepřesný vnitřní model v podobě přenosu systému 1. řádu:

$$G(s) = \frac{S_u}{Ts + 1}, \quad (2)$$

kde S_u je statická citlivost teploty na změnu frekvence a

T je časová konstanta přechodové charakteristiky.

Oba parametry přenosu (2) byly z naměřeného průběhu zhruba odhadnuty. Při vlastní filtraci pak byly kovarianční matice měření a kovarianční matice procesu voleny tak, aby byl signál přiměřeně vyhlazený, ale nebyl tolik ovlivněný šumem zanášeným měřením.



Obr. 6 – Ukázka filtrace pomocí Kalmanova filtru s jednoduchým vnitřním modelem 1. řádu.

Při zvyšování hodnot kovarianční matice procesu a tím zvyšování důrazu na přesnost modelu získáme dobře vyhlazená "idealizovaná" data, která však při nepřesném modelu mohou vykazovat chybnou statickou citlivost i chybnou dynamiku.

Naopak při zvyšování hodnot kovarianční matice měření a tím zvyšování důrazu na přesnost měření získáme přesnější data necitlivé na nepřesnosti modelu avšak zatížená šumem měření.

Ukázka filtrace signálu pomocí Kalmanova filtru s jednoduchým a nepřesným modelem je na obr. 6.

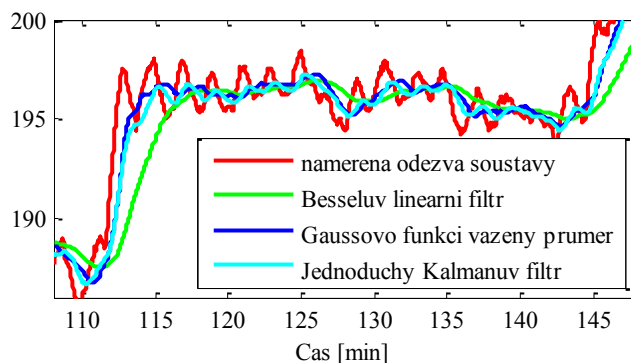
Je však nutno uvést, že hlavní síla Kalmanova filtru je v provázání několika závislých veličin. Pokud je potom jedna z veličin zatížená okamžitou chybou, je s větší vahou využita její hodnota vypočítaná z ostatních veličin na kterých je závislá. V uvedené aplikaci je měřená teplota závislá pouze na frekvenci napájení motoru ventilátoru a tak není užití Kalmanova filtru vhodné. I přesto je však z obrázku vidět, že výsledky lze zařadit mezi nejlepší z předchozích filtrů.

Další slabostí Kalmanova filtru je nutnost zmíněného vnitřního modelu. Filtr tak vyžaduje a posteriori znalosti chování soustavy. Zkušenost nasazení filtru však ukázala, že například při použití až desetinásobné hodnoty časové konstanty T ve vnitřním modelu, výsledný filtrovaný signál vykazuje dynamiku odpovídající hodnotě časové konstanty v intervalu mezi skutečným T a odhadovaným (modelovým) T . Tak lze pomocí konvergujícího iteračního procesu zpřesňovat vnitřní model tak dlouho, dokud se časová konstanta modelu nijak výrazně neliší od časové konstanty filtrovaných dat (nebo se bude mezi jednotlivými iteracemi měnit T jen málo).

IV. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo srovnat možnosti jednotlivých filtrů o odstranění šumu z dat naměřených při spalování biomasy v kotlích nízkých výkonů. Vhodnost filtru byla hodnocena nejen ve schopnosti odstranit z naměřeného signálu šum, ale i to, nakolik filtr zatěžuje měřený signál dynamickým zpožděním.

Na obr. 7 je porovnání nejlépe vyhovujících filtrů. Jako zástupce lineárních filtrů je zvolen Besselův filtr, protože



Obr. 7 – Srovnání použitých filtrů mezi sebou.

dosáhl ze všech lineárních filtrů nejlepších výsledků (viz obr. 2). Prahový filtr byl ze srovnání vynechán, protože při rychlých přechodových dějích propouští signál prakticky nefiltrovaný.

Optimálních výsledků dosáhly srovnatelně Gaussovo funkčně vážený aritmetický průměr a Kalmanův filtr. Gaussovo funkčně vážený aritmetický průměr je však poměrně citlivý na volbu parametru σ . Volba parametru příliš nízká nebo příliš vysoká vede ke špatnému vyhlazení šumu. Kalmanův filtr i s jednoduchým a nepřesným modelem však dosáhl srovnatelných výsledků. Při lepší znalosti parametrů procesu nebo dokonce při matematickém provázání s dalšími měřeními veličinami bude Kalmanův filtr díky popisnějšímu vnitřnímu modelu zřejmě vykazovat ještě lepší výsledky.

Je však třeba ještě připomenout, že výkyvy signálu (šum) jsou způsobeny vnitřními procesy, které nám nejsou známy. Kdyby se nám alespoň některé z nich podařilo objevit a alespoň částečně popsat jejich vztah k ostatním měřeným veličinám, zmenší se tak amplituda části signálu, kterou nyní nazýváme šumem.

LITERATURA

- [1] J., Hušák, "Adaptivní číslicová regulace turbokompresorů". disertační práce, Praha, 1983.
- [2] J., Boržiková et al., "Využití klzavého váženého průměru na filtrování meraných údajov". In: *ARTEP 2012*. Stará Lesná, 2012.

V., Plaček, "Investigation in Control of Small-scale Biomass Boilers". In *Proceedings of the 2011 12th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 312–315, Velké Karlovice, IEEE - Systems, Man, and Cybernetics Society, 2011

Preparing electrodes for micro EDM milling

Petr Šindelář

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky,
odbor Přesné mechaniky a optiky, Technická 4, Praha 6

Czech Republic

petr.sindelar1@seznam.cz

Abstract—This paper shows a comparison of two basic methods for preparing micro EDM electrodes. It shows the advantages and disadvantages of the solid block and the wire electrodes. In its final part parameters of the EDM process during preparing a flat electrode using a wire cutter are discussed. Results for the EDM process speed with different parameters are shown.

Keywords—EDM; electrode; block electrode; wire electrode; EDM parameters

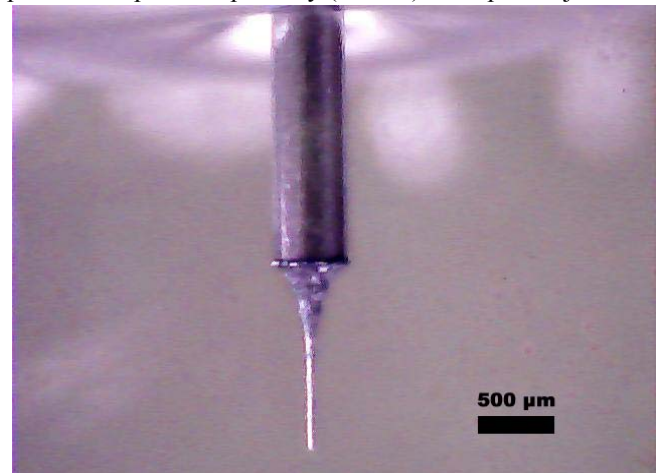
I. ÚVOD

Výroba dílů mikrometrových rozměrů nabývá v dnešní době na významu. Pro hloubení mikroder a výrobu jiných miniaturních detailů je zapotřebí přesných a přesně tvarovaných elektrod. Pro přípravu elektrod je možno zvolit několik různých postupů jejich výroby. V současné době používáme dvě základní metody výroby elektrod. Starší metodou je metoda použití blokové elektrody, která je na pevně umístěna na magnetickém stole. Vyráběná elektroda je polohována vůči této pevné elektrodě a vzájemným polohováním je docíleno požadovaného tvaru elektrody. Další metodou je použití drátofezného přípravku. Přípravek navíjí drát přes pevná vodítka, obráběná elektroda je polohována a pomocí elektroeroze vzniká výsledný tvar. Tento článek se zabývá porovnáním možností a výsledků těchto dvou typů obrábění.

II. POUŽITÍ BLOKOVÉ ELEKTRODY

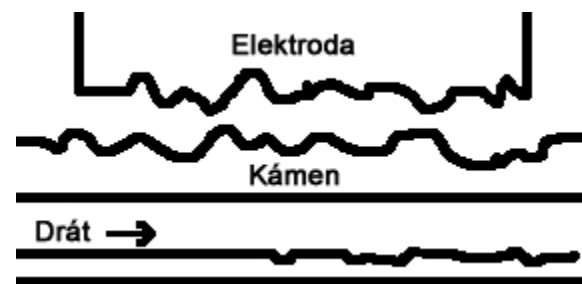
Jednou z metod používanou pro výrobu elektrod je použití brusného kamene na pevně umístěného v pracovním prostoru stroje. Elektroda jezdí okolo brusného kamene a jak elektroda, tak kámen se opotřebovávají. Tato metoda je vhodná pro obrábění například válcových elektrod. Při procesu obrábění se najednou odebrává materiál po celé délce elektrody. Tato elektroda vykazuje vcelku velkou rychlost, válcová elektroda na obr. 1 je obrobena touto metodou a její výroba trvala dvě minuty a osm vteřin. Nevýhodou této metody je to, že není úplně jednoduché naplánovat velikost vyrobené elektrody. Tím, že se obrábí kámen i elektroda navzájem, je velikost elektrody jenom přibližně stejná jako požadovaný rozměr. K dalšímu přiblížení se k požadovanému rozměru je zapotřebí dalších opakování obrábění, čímž se prodlužuje doba výroby dané elektrody. Pro obrábění jiných než válcových elektrod není tato metoda již příliš vhodná. Při

výrobě planžetových elektrod je kámen nerovnoměrně opotřebován po délce planžety (Obr. 2.) a tím pádem je velice



Obr 1. Válcová elektroda

těžké dosáhnout hladkého povrchu. Je vždy nutno přesunout se na nové neopotřebované místo, kde se tento problém sice bude opakovat, ale v menší míře. Výhodou této metody je na druhé straně fakt, že není zapotřebí přípravku pro navíjení drátu.



Obr. 2. Porovnání obrábění drátem a kamenem

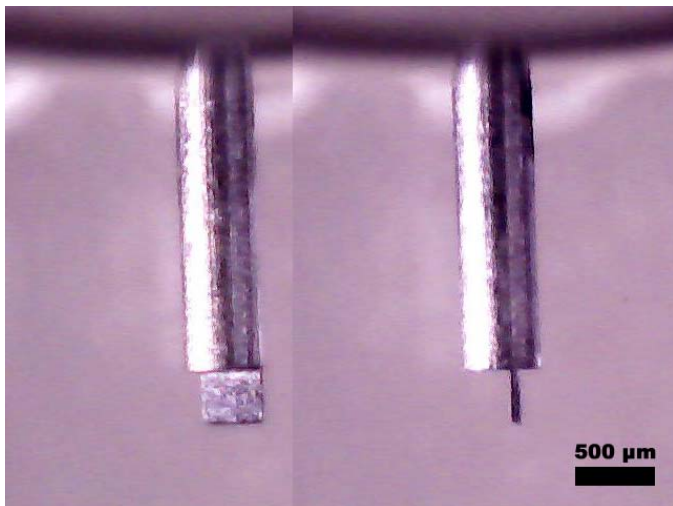
III. POUŽITÍ DRÁTOVÉ ELEKTRODY

Další metodou pro výrobu elektrod pro EDM mikroobrábění je metoda řezání pomocí drátu. Drát je odvíjen přes pevná vodítka a mezi ním a obráběnou elektrodou dochází k úběru materiálu. Pevná vodítka drží drát stále na stejném místě, a jelikož je drát neustále obnovován nachází se místo řezu na stejném místě. Jediným faktorem, který vnáší nejistotu do polohy místa řezu je tolerance samotného drátu. Pokud se průřez drátu mění, mění se o jeho toleranci i poloha

This work was supported in part by the SGS

řezu. Drátořezná metoda umožňuje na rozdíl od použití blokové elektrody možnost vyrábět elektrody různých kontur. Jediným omezujícím faktorem je radius řezacího drátu a samozřejmě také fakt, že drát je rovně natažen přes místo řezu. Pro pokusy používáme wolframový drát o průměru 50 mikrometrů. Výhodou tohoto drátu je malý radius, jeho nevýhodou je jeho dosti nízká pevnost, podmínky elektroeroze při jeho používání musí být dosti lehké a elektroeroze pak probíhá pomaleji.

V minulém roce jsem pro účel přípravy elektrod pomocí drátové elektrody zhotovil drátořezné zařízení.[1]



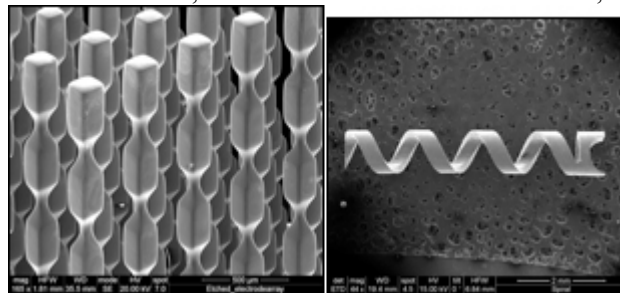
Obr 3. Planžetová elektroda

Pomocí tohoto zařízení připravujeme různé druhy elektrod. Jako materiál používáme wolfram. Díky jeho vysokému bodu tání má nejdélší životnost. Drátořezná metoda je velice vhodná pro přípravu elektrod s plochými stěnami. Planžetová elektroda je zobrazena na Obr.3. Její zhotovení při podmínkách on time 1 μ s , off time 10 μ s, napětí serva 150 V a hlavní napětí 150V trvalo 2 minuty a 36 vteřin. Elektroda má průřez 50 μ m. Další používané tvary elektrod jsou například čtvercové, nebo šestiúhelníkové. Na obr. 4. je vidět mřížka vyhloubená pomocí čtvercové elektrody 400 x 400 μ m.



Obr 4. Mřížka vyhloubená pomocí čtvercové elektrody

Pro obrábění válcových elektrod je tato metoda poněkud zdlouhavější. Pro zpřesnění vedení drátu se používá podpůrných vodiček v místě řezu. Na místo řezu se dá keramické vodičko, které má v sobě drážku udělanou tak, aby



Obr 5. Pole elektrod a šroubovice

drát stále přesahoval přes ni, tím pádem je zajištěna přesná poloha drátu. Pomocí drátořezné metody je možno vyrábět i elektrody složitějších tvarů, jako například šroubovice, nebo kulovou elektrodu. Na obr. 5 je zobrazeno pole elektrod vyrobené drátořeznou metodou a vpravo šroubová elektroda vyrobená pomocí interpolace s otáčením elektrody okolo vlastní osy [3].

IV. PARAMETRY ŘEZU PRO DRÁTOVOU ELEKTRODU

Proces elektroeroze je ovlivněn řadou parametrů zdroje elektrického napětí. Asi nejvíce se na rychlosti úběru podílí parametry on time a off time. Parametr on time udává délku trvání elektrického výboje a určuje řídicí systém elektrického výboje. Parametr off time určuje délku zastavení mezi jednotlivými elektrickými pulzy. Parametr SVC, napětí na servu určuje referenční napětí pro pohyb serva stabilizujícího napětí v mezeře. Pohyb serva je řízen podle kolísání napětí v mezeře s ohledem na napětí na servu. Pokud je napětí v mezeře vyšší, než napětí na servu, elektroda se přiblíží k obrobku, když je nižší elektroda ustoupí od obrobku dále. Dalším důležitým parametrem je velikost hlavního napětí, tento parametr udává napětí při elektroerozi, toto napětí má hlavní vliv na drsnost povrchu vyrobené elektrody. Tabulka 1 udává závislost délky řezu na jednotlivých parametrech, pokus byl uskutečněn s wolframovou elektrodou průměr 500 μ m. Výsledný čas znázorňuje dobu, za kterou byla tato elektroda přeféžána.

TABULKA I.

Řezání elektrody 500 μ m					
on	off	servo[V]	čas	V [V]	
1	10	150	4:08	120	
3	10	50	2:03	120	
3	10	150	2:35	90	
5	10	150	1:52	90	
5	10	100	1:48	90	

Tab.1. Parametry řezání a jejich vliv na výsledný čas

Z výsledků je patrné, že velký vliv na snížení času obrábění má zvyšování parametru on time, toto zvyšování, má svou hranici danou tím, že při těžkých podmínkách se v drátu udělají příliš velké prohlubně a drát pak nevydrží napětí a praskne. Dalším zajímavým parametrem je napětí na servu , při nižším napětí na servu se stroj snaží přiblížit elektrodu k oblouku , čímž se zvyšuje rychlost obrábění.

- [1] P. Šindelář, "Design of a small lowcost tool for making μ EDM electrodes," Proceedings of the annular meeting New Methods and Procedures in Automatic Control, Instrumentation and Informatics.

Praha: Ústav přístrojové a řídicí techniky FS ČVUT, 2012, s. 5-8. ISBN 978-80-01-05061-3

- [2] T. Fukuda, Handbook of Sensors and Actuators - Micro Mechanical systems, Nagoya University, Department of Microsystem Engineering, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-01, Aichi, Japan
- [3] Viteris technologies company website, Precision Machines Designed and Built to Meet Your Needs, May 14 , 2013, <http://www.viteris.com/edm.html>
- [4] A Rees, S S Dimov, A Ivanov, A Herrero, L G Uriarte; Micro-electrode discharge machining: Factors affecting the quality of electrodes produced on the machine through the process of wire electro-discharge machining , Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture March 1, 2007 vol. 221 no. 3 409-418

Dynamic Stability of Electric Power Lines

Prof. Ing. Ivan Uhlíř, DrSc.
 Email: ivan.uhlir@fs.cvut.cz

Abstract: The article about principle of oscillating systems in the electrical distribution network. Explain of behavior of oscillation systems using electro-mechanical analogy. It deals with the possibility of limiting the oscillation of the system. The emphasis on careful consideration of what resources can connect to the network without some attack of the stability.

Keywords: phassor, oscilations, power line, black out.

Abstrakt: Článek se zabývá přiblížením principu vzniku kmitavé soustavy v elektrické rozvodné síti. Kmitavou soustavu vysvětluje s použitím elektromechanické analogie. Zabývá se možnostmi omezení kmitání této soustavy. Důraz klade na pečlivé zvážení jaké zdroje lze na soustavu připojovat aniž by byla ohrožena její stabilita.

I. ÚVOD

Před pěti lety r. 2008 jsem na tomto semináři konaném v Želivě v příspěvku [1] informoval o podezření, že plošné výpadky, t.zv. black-outy, v rozlehlých elektrovedných sítích mohou být způsobeny kmitáním úhlů fázorů oproti sobě v různých místech sítě. Podezření se potvrdilo. Je proto načase na stejném místě informovat o vývoji problematiky ve světě, v ČR a také na našem Ústavě.

II. ELEKTROMECHANICKÁ ANOLOGIE ÚHLOVÉHO KMITÁNÍ ELEKTRICKÝCH FÁZORŮ.

Ve svém minulém příspěvku [1] jsem poněkud opomněl zdůraznit význam elektromechanické analogie pro pochopení i intuitivní řešení úhlového kmitání fázorů sítě. Přitom právě elektromechanická analogie dává vynikající názornou interpretaci mechanismu výpadku sítě a jejího následného katastrofálního rozpadnutí. Připomenutí podle Fig.1.:

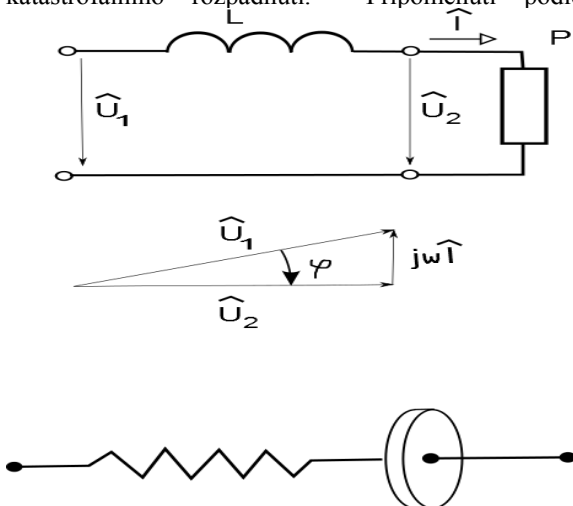


Fig.1. : Elektromechanická analogie

Náhradní schéma rozvodné linky, tj. metalického vedení a transformátorů je tvořeno převážně indukčností. Při transportu činného výkonu linkou je procházející proud ve fázi s napětím. Při průchodu proudu vznikne na náhradní indukčnosti linky úbytek napětí, kolmý na proud. Tento úbytek napětí způsobí fázový posuv mezi fázory napětí na vstupu a na výstupu linky.

Chování rozvodné linky s hlediska fázových posuvů mezi jejím začátkem je analogické pružině. Jestliže jsou v soustavě setrvační hmoty, rotory alternátorů a elektromotorů, vzniká kmitavá soustava. Měřením bylo zjištěno, že poměrný koeficient útlumu této soustavy se pohybuje mezi 0,05 až 0,15, kmitavá soustava je málo tlumená, a snadno se rozkmitá.

Příklad kmitání systému rozvodných linek ukazují [2]:

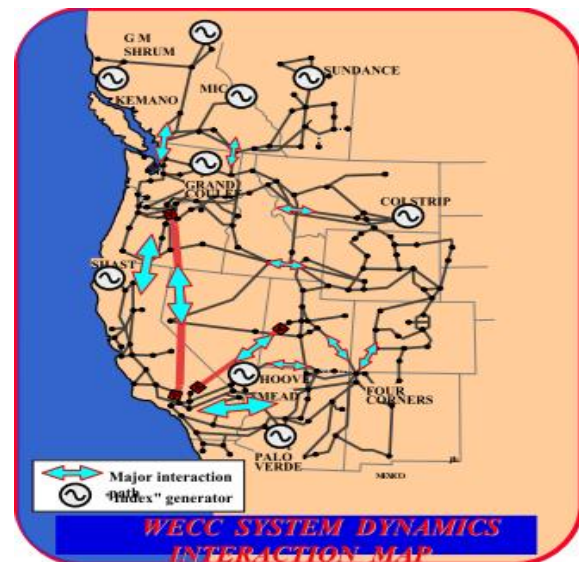


Fig. 2. Mapa oblasti výpadku dne 8.8.2006 v Kalifornii, USA. Převzato z [2].

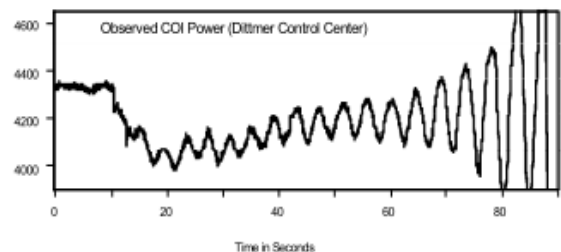


Fig. 3. Nárůst oscilací úhlu fázoru napětí (je úměrný výkonu) při výpadku dne 8.8.2006 v Kalifornii, USA. Převzato z [2].

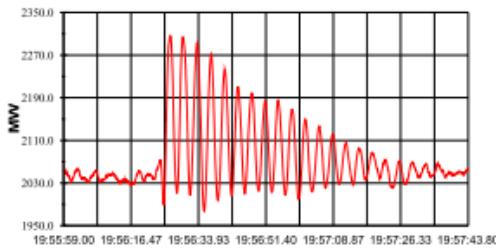


Fig. 4. Jiný vzruch výkonu úměrný úhlu fázoru ve stejné síti, který se ustálil bez výpadku. Převzato z [2].

III. VÝZKUM ÚHLOVÝCH TUHOSTÍ ELEKTROVODVÝCH SÍTÍ

Po několika rozsáhlých výpadcích elektrovodných sítí ve Spojených státech v letech 2003 -2009 a po masivním výpadku 4.11.2006 v Evropské unii došlo k intenzivnímu zkoumání úhlového kmitání fázorů podél rozvodných linek. Již toto zaměření profesionálního výzkumu napovědělo, že rozsáhlé black-outy nejsou způsobeny náhodnými jevy, jako blesky, pád ptactva na vedení, chybná manipulace na rozvodnách, jak se novináři snažili uklidnit veřejnost.

Na základě naměřených hodnot okamžité fáze napětí v různých místech rozvodných sítí byly určeny úhlové tuhosti jednotlivých úseků sítí, včetně trafostanic. Dále byly vyšetřovány setrvačné momenty výrobních i spotřebních energetických strojů a byly sestaveny modely úseků sítí a ty potom propojeny do modelů větších soustav. Ze zjištěných dynamických parametrů pak určeny možné rezonanční frekvence různých módů kmitání v elektrorozvodných sítích. Zvláštní péče byla věnována možné kmitočtové shodě rezonančních kmitočtů sítí s kmitočty možných budících zdrojů, jako jsou nerovnoměrnosti chodu hnacích strojů alternátorů a také periodické kmitání některých odběrů – velké kompresory atd. Detaily v [3], [4].

IV. POTLAČENÍ ÚHLOVÝCH KMITÁNÍ FÁZORŮ

Sledováním těchto publikací je patrný trend o rychlé nalezení řešení:

a) **Zvýšení úhlové tuhosti sítí jejím zhuštěním.** Odpovídá připojením rozhodujících spotřeb v síti více různými linkami, vedenými nejlépe z různých stran. Pro noviny se pak laicky o posílení hovoří přenosových linek. Ve skutečnosti však linky nejsou plně vytěžovány, neboť se jedná hlavně o zvýšení tuhosti linkové mříže. Takové řešení je nesmírně finančně náročné a není okamžitě dosažitelné. Ve státech s velkou rozlohou jsou mezi vedle hustě osídlených místy často velké vzdálenosti. V rozsáhlých řídcích osídlených mezioblastech, by bylo neúčelné síť posilovat nebo dokonce zahušťovat jen z důvodů potřeby zvýšení její úhlové tuhosti. Příkladem je elektrovodná síť v USA, kde spoje mezi východním a západním pobřežím jsou dlouhé a relativně řídké. [2]

b) **Nesynchronizované sítě.** Sítě jsou vázány přes převaděče výkonu. Dříve bylo takové klouzavé spojení mezi sítí v ČSSR a Rakouskem. Převaděče výkonu ať rotační nebo bezkontaktní elektronické jsou však drahá zařízení. Navíc jejich maximální přenášený výkon je striktně omezený a proto převaděče těžko řeší impulzní výpomoc při hroučící se síti na některé ze stran. Naopak však převaděč může být regulován

tak, že může dynamicky přispívat k tlumení kmitání úhlu fázorů v obou sítích.

c) **Tlumiče úhlového kmitání fázorů.** Jsou speciální zařízení, která se v energetice začínají objevovat až v posledních 5ti letech. Jejich výkonová mohutnost stále roste. Principiálně jde o střídač přečerpávající energii mezi sítí a dostatečně velikým zásobníkem energie. Nejde o pouhé kompenzátory jalového výkonu známé celé století. Na rozdíl od kompenzátorů jalové energie, kde zásobník – kondenzátor ukládá energii je po čtvrtperiodu síťového průběhu (5 ms) je třeba, aby zásobník energie byl tak veliký, aby byl energie schopný ukládat po dobu celého kmitu úhlu fázoru, tj. po dobu několika sec. Tlumič úhlového kmitání fázorů ze sítě při zrychlování se fázoru odebírá činnou energii a při zpouzdování fázoru jí do sítě vrací. Tlumiče kmitání jsou analogií hltičům torzních kmitů pro mechanické soustavy, např. hltiče kmitání montované na volné konce klikových hřidelů pístových spalovacích motorů. [4], [5].

d) **Inteligentní rychlá regulace parametrů energetických zdrojů.** Stávající regulace alternátorů v elektrárnách je zaměřena na víceméně statické dodržení dodávaného činného a jalového výkonu do sítě. Pokud je však dostatečně rychlá je ji možno doplnit o nadřazenou regulaci k utlumení oscilací kmitání úhlu fázorů v síti. Taková regulace bude bezpodmínečně nutná o měničů v solárních elektrárnách [6].

e) **Inteligentní síť.** Zajišťují řízení výkonů spotřebičů podle potřeb sítě. Pokud je odezva řízení dostatečně rychlá, je možno některé velké spotřebiče spínat tak, aby jejich náhlý odběr působit tlumení kmitů úhlů fázorů. Např. připnout spotřebič při zrychlování fázoru, odepnout při zpomalování. Jiným řešením je změnou konfigurace sítě vyvolat změnu rezonanční frekvence části sítě a odladit jí z rezonance [7].

d) **Velmi uvážlivé připojování nových energetických zdrojů k elektrorozvodné síti.** Tato metodika je aktuální zejména v ČR.

V ČR je velmi hustá energetická síť, tj. mříž elektrických rozvodů je velmi hustá. To je dáno jednak tím, že v ní nejsou rozsáhlé řídké obydlené oblasti a potom tím, že důležité uzle byly napájeny s různých směrů, protože síť v ČR byla z vojensko-strategických důvodů takto předimenzována. Navíc se různé napěťové řády rozvodných sítí v ČR po celé ploše překrývají a jsou mezi sebou v mnoha bodech – transformovných propojeny. Proto čeští elektroenergetici propuzování sítě ani nevnímají, proto se ČR vyhnul výpadek sítě od Dánska po Itálii dne 4.11.2006.

V. ZÁVĚR.

Diktát ze strany ekologických institucí velí připojovat na rozvodné sítě různé obnovitelné zdroje. Přitom je předkládán k posouzení výhodnosti pouhý statický výpočet, často jen na základě instalovaných výkonů. Opomíjen bývá fakt, že vyrobenou elektrickou energii nelze skladovat jako třeba ropu, zemní plyn nebo uhlí. Zcela jsou často přehlíženy vlivy takových „záračných“ zdrojů na stabilitu elektrické rozvodné sítě. Přitom stabilita je hlavním požadavkem na rozvodné sítě. Až plošné výpadky laickou veřejnost poučily o důležitosti

stability sítě. Zohledem na stabilitu sítě je omezena použitelnost obnovitelných zdrojů s nestabilním až náhodným výkonem, jako třeba větrné a solární elektrárny. Právě nestabilita výkonu těchto omezuje procento jejich využití, které by nemělo překročit 10 - 15% instalovaného výkonu.

Tento článek určen pro technické i netechnické energooborníky, kteří se přímo nezaměstnávají distribuci elektrické energie, ke střízlivějšímu posouzení využitelnosti možnosti obnovitelných zdrojů.

PODĚKOVÁNÍ

Článek byl vypracován za podpory Výzkumného záměru Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy ČR č. MSM6840770035 "Rozvoj ekologicky šetrné decentralizované energetiky".

REFERENCES

- [1] Uhlíř, I.: Elektromechanické kmitání jako možný důvod výpadků elektrorozvodných sítí. In: Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, s. 36-39. ISBN 978-80-01-04765-1.
- [2] Ballance J. W.; Bhargava B.; Rodriguez G.D.: Monitoring Power System Dynamics using Phasor Measurement Technology for Power System Dynamic Security Assessment (by Southern California Edison Co. Rosemead, CA 91770, USA) IEEE 2003, Power Tech Conference, June 23th-26th, Bologna, Italy.
- [3] Bilir B.: Bifurcation mechanism of low-frequency oscillations in power systems with long transmission lines, IEEE 2011, Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2011 7th International Conference, 2011 Istanbul, Turkey.
- [4] Kasembe A.G.; Muller Z.; Svec J.; Tlustý, J.; Valouch, V.: Synchronous phasors monitoring system application possibilities, Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI), 2012 IEEE 27th Convention of 14-17 Nov. 2012.
- [5] De Marco, F.; Martins, N.; Ferraz, J.C.R.: An Automatic Method for Power System Stabilizers Phase Compensation Design In: Power Systems, IEEE Transactions on May 2013, IME, Praça General Tibúrcio, Rio de Janeiro, Brazil, Volume: 28, Issue: 2, 2013, Page(s): 997 – 1007.
- [6] Mills-Price, M.; Scharf, M.; Hummel, S.; Ropp, M.; Joshi, D.; Zweigle, G.; Ravikumar, K.G.; Flerchinger, B. Solar generation control with time-synchronized phasors Protective Relay Engineers, 2011 64th Annual Conference 11-14 April 2011, pp 160 - 167
- [7] Yu-Wen Chen; Xiuxing Chen; Maxemchuk, N.: The Fair Allocation of Power to Air Conditioners on a Smart Grid, In: Smart Grid, IEEE Transactions on Dec. 2012 Volume: 3, Issue: 4 2012, pp. 2188 - 2195

Zjišťování poměru amplitud a fázového zpoždění periodických signálů pomocí neuronu s dopravním zpožděním

Stanislav Vrána

Ústav přístrojové a řídicí techniky
České vysoké učení technické v Praze
Praha, Česko
stanislav.vrana@fs.cvut.cz

Abstract—Vyhodnocování frekvenčních odezvy otevřených obvodů je jednou z důležitých činností při identifikaci soustav. Výhodou identifikace soustavy pomocí měření frekvenčních charakteristik je možnost takovou identifikaci provádět i v průběhu regulace. Při použití běžně používaných technik je nutné mít k dispozici záznam průběhů signálů. Tato nutnost odpadá při využití neuronu s dopravním zpožděním.

Keywords—neuron; frekvenční charakteristika; identifikace

I. ÚVOD

Vyhodnocování poměru amplitud dvou harmonických signálů a jejich vzájemného fázového zpoždění v otevřeném obvodu je obvykle prováděno ze záznamu průběhu těchto signálů [2]. To vyžaduje, aby vyhodnocovací zařízení mělo dostatečné množství paměti pro uložení těchto záznamů. V tomto příspěvku představený přístup umožňuje vyhodnocování poměru amplitud a fázového zpoždění pomocí neuronu s dopravním zpožděním [1] bez nutnosti ukládat minulé hodnoty průběhů vyhodnocovaných signálů.

II. NEURON S DOPRAVNÍM ZPOŽDĚNÍM PRO VYHODNOCOVÁNÍ FREKVENČNÍCH CHARAKTERISTIK

V lineárním případě je možné vztah mezi budícím harmonickým signálem $b(t)$ a odezvou $y(t)$ na něj zapsat jako

$$y(t) = M \cdot b(t - t_D) + y_0 \quad (1)$$

V úvahu je brán i možný offset. Tento vztah je i funkcí neuronu

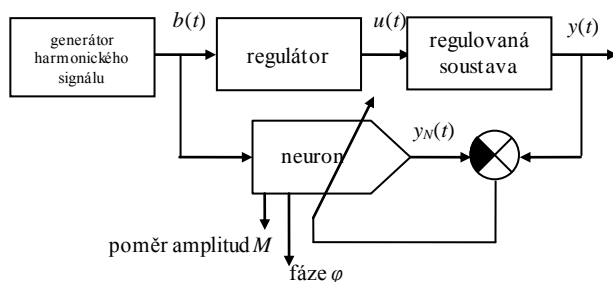


Fig. 1. Schéma připojení neuronu s dopravním zpožděním k otevřenému obvodu

Tato práce byla podpořena granty Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS10/252/OHK2/3T/12 a SGS13/179/OHK2/3T/12.

$$y_N(t) = M_w \cdot b(t - t_{Dw}) + y_{0w}, \quad (2)$$

kde proměnné s indexem w označují váhy neuronu. Metodou Back propagation pak lze odvodit následující adaptační funkce těchto vah:

$$\Delta M_w = \eta_M (y - y_N) b(t - t_{Dw}), \quad (3)$$

$$\Delta t_{Dw} = -\eta_{t_D} (y - y_N) M_w \dot{b}(t - t_{Dw}), \quad (4)$$

$$\Delta y_{0w} = \eta_{y_0} (y - y_N), \quad (5)$$

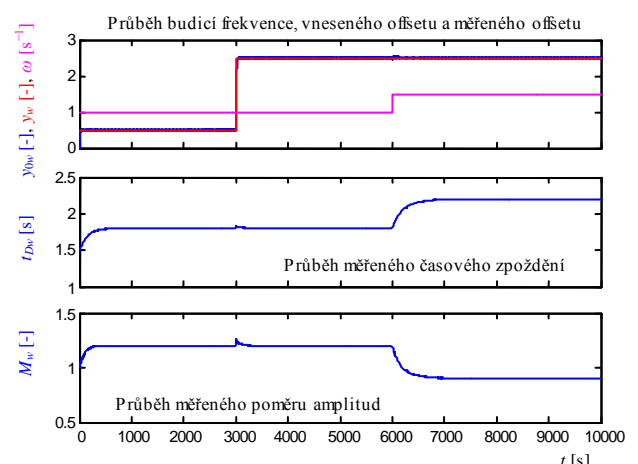


Fig. 2. Průběh měřeného poměru amplitud a časového zpoždění při vyhodnocování pomocí neuronu s dopravním zpožděním

III. ZÁVĚR

Využití neuronu s dopravním zpožděním pro vyhodnocování poměru amplitud a fázového zpoždění nevyžaduje ukládání minulých hodnot průběhů signálů.

LITERATURA

- [1] I. Bukovsky, J. Bíla, and M. M. Gupta, "Stable Neural Architecture of Dynamic Neural Units with Adaptive Time Delays", 7th International FLINS Conference on Applied Artificial Intelligence, p. 215-222, 2006
- [2] J. Crowe, M. A. Johnson, PID Tuning Using a Phase-Locked Loop Identifier. in Johnson, M. A., Moradi, M. H. (eds.) PID Control - New Identification and Design Methods. London: Verlag-springer London Limited. 2005.

Řízení laboratorních úloh přes internet

Inovace vzdáleného ovládání úloh v laboratoři automatického řízení

Pavel Trnka, Dana Bauerová, Milan Hofreiter

Ústav přístrojové a řídicí techniky - Odbor automatického řízení a inženýrské informatiky

Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze

Praha, Česká republika

Pavel.Trnka@fs.cvut.cz, Dana.Bauerova@fs.cvut.cz, Milan.Hofreiter@fs.cvut.cz

Abstrakt — Byla zahájena realizace vylepšeného vzdáleného ovládání reálných modelů ve Virtuální laboratoři automatického řízení provozované naším ústavem. Systém umožňuje ovládat model přes internet pomocí běžného počítače. Inovace spočívá ve změně struktury řetězce řízení, kde stávající softwarový regulátor běžící na klientském počítači, bude nahrazen hardwarovým regulátorem umístěným vhodněji přímo u ovládaného modelu. Samotný regulační proces zůstane plně pod kontrolou vzdáleného klienta (nastavení parametrů regulátoru, průběhy vstupních veličin atd.).

Klíčová slova — PLC, programovatelný automat, Foxtrot, Tecomat, odstředivý regulátor, roztěžník, internet, web, www, vzdálené řízení, regulace

I. ÚVOD

Na ČVUT v Praze, Fakultě strojní jsou všichni studenti seznámeni se základními pojmy a funkčními principy z oblasti automatického řízení v předmětu „Automatické řízení“, který absolvují ve 3. ročníku. Součástí tohoto předmětu je i experimentální část, kde si studenti na laboratorních modelech ověřují teoretické poznatky z přednášek. Experimentální úlohy slouží k ověřování a posuzování statických a dynamických vlastností řízených objektů, k procvičení a upevnění znalostí při návrhu logických řídicích obvodů, k seznámení se s návrhem a funkcí uzavřených regulačních obvodů spojitého i číslicového řízení včetně posouzení stability. K úspěšnému zvládnutí experimentální části je nezbytný jednak teoretický základ z oblasti analogového i číslicového řízení, jednak schopnost pracovat s reálnými technickými zařízeními, která jsou součástí připravených praktických úloh. Pro tento účel byla vytvořena webová Virtuální laboratoř automatického řízení [5]. Součástí virtuální laboratoře jsou applety s interaktivními simulacemi laboratorních úloh a poměrně nově také modul pro vzdálené ovládání reálných laboratorních modelů. Protože jsme již získali jistou zkušenost s tímto novým modulem, rozhodli jsme se jeho funkčnost dále vylepšit. Toto vylepšení spočívá ve změně struktury řetězce řízení. Stávající softwarový regulátor běží přímo v Java appletu na klientském počítači, nově bude nahrazen hardwarovým regulátorem umístěným vhodněji přímo u ovládaného modelu. Regulační proces přitom zůstane plně pod kontrolou vzdáleného klienta.

II. SOUČASNÝ STAV

A. Stránka úlohy

Webové stránky analogových úloh ve virtuální laboratoři mají jednotnou strukturu (viz dále). Začlenění funkce vzdáleného ovládání reálných úloh spočívá v přidání tlačítka pro spuštění reálné úlohy a tlačítka pro nápovědu k reálné úloze do stránky analogové virtuální úlohy. Momentálně je tato funkce implementována pouze v úloze „Wattův roztěžník“. Stránka analogové virtuální úlohy je zachycena na obr. 1.

Obr. 1. Stránka úlohy „Wattův roztěžník“.

Stránka je rozdělena do šesti částí:

1. Schéma a obrázek úlohy a odkazy na video s nahrávkou reálné verze virtuální úlohy. Po kliknutí na obrázek se zobrazí jeho verze v plné velikosti v novém okně.

2. Popis laboratorní úlohy, který popisuje vzhled a chování reálné úlohy a tím vlastně i simulace.

3. Návrhy úkolů, které lze řešit na virtuálním modelu či na vzdáleně řízené reálné úloze.

4. Poznámky k řešení úloh – obsahují upřesňující a pomocné informace k řešení.

5. Nejdůležitější část – obsahuje tlačítka pro spuštění virtuální úlohy a připojení vzdáleně ovládané reálné úlohy. Po kliknutí na tlačítko virtuální úlohy se otevře nové okno a v něm bude spuštěn applet virtuální úlohy. Stejně se po kliknutí na tlačítko reálné úlohy otevře stránka s appletem pro ovládání reálné úlohy. Dále jsou v této části ještě tlačítka, která slouží k zobrazení návodu k ovládání obou typů úloh.

6. Přehled doporučené literatury k dané úloze.

B. Applet vzdáleného ovládání reálné úlohy

Celá úloha je řešena jako Java applet. Veškeré ovládací prvky jako výběr a nastavení parametrů regulátoru, zadání žádané hodnoty regulované veličiny, výpis hodnot jednotlivých veličin a jejich vykreslování do grafu, celá funkce regulátoru, tedy výpočet akční veličiny, internetová komunikace s reálnou úlohou, tedy zjištění aktuální hodnoty regulované veličiny a odeslání hodnoty akční veličiny, to vše je prováděno uvnitř tohoto appletu. Jedinou výjimkou je zobrazení živého videa z kamery snímající reálný model. Obraz není vkládán do Java appletu, ale přímo do webové stránky. Integrace živého videa z webové kamery přímo do webové stránky je totiž daleko jednodušší a spolehlivější, než integrace do Java appletu, a přináší menší komplikace pro koncového uživatele. V některých prohlížečích je však kvůli tomu nutné vykreslovat obraz z kamery napravo od appletu a ne přímo v jeho pravé dolní části.

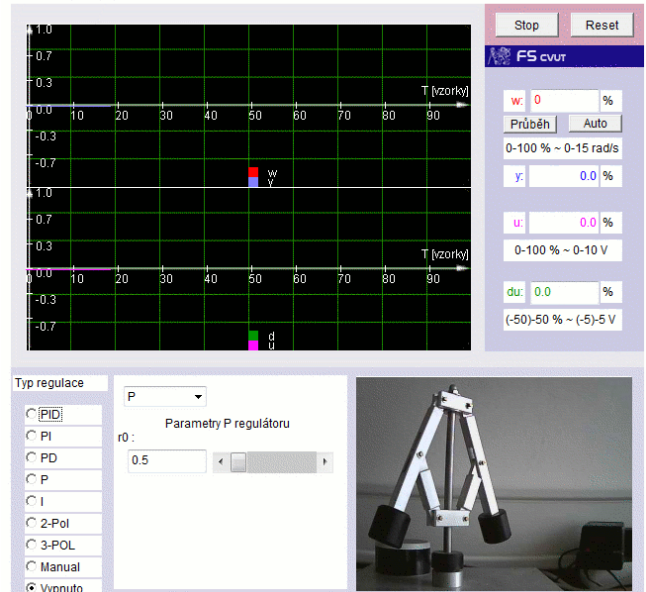
Okno appletu je rozděleno do čtyř oblastí (obr. 2).

Vlevo nahoře jsou grafy, do nichž se vykreslují průběhy jednotlivých veličin souvisejících s regulací – žádané hodnoty (w), regulované veličiny (y), akční veličiny (u) a poruchy (d). Uvedené veličiny jsou udávány jako bezrozměrné a nastavují/zobrazují se v procentech možného rozsahu reálného zařízení v rozmezí 0% ÷ 100%. Porucha v reálném systému je realizována jako porucha akční veličiny a nastavuje se v rozsahu -50% ÷ 50%.



Obr. 3. Kontrolní jednotka CTRL V4.

2. roztěžník



Obr. 2. Stránka s Java appletem vzdáleně ovládané reálné úlohy.

V pravém horním rohu jsou tlačítka „Start/Stop“ a „Reset“. Slouží ke spuštění/zastavení řízení a k resetování zadanych hodnot veličin a parametrů (tzn. jejich nastavení na počáteční hodnotu). V pravé horní části jsou také vypisovány číselné hodnoty akční a regulované veličiny a je zde možné zadat hodnotu žádané veličiny a poruchy. Hodnoty lze zadat buďto jako číslo, pak jsou konstantní, nebo nastavit jejich průběh v grafu po stisknutí tlačítka „Průběh“. Aby se hodnota veličiny měnila podle průběhu zadaného grafem, je třeba ještě kliknout na tlačítko „auto“.

Vlevo dole je část pro nastavení regulátoru. Zde je nejprve nutno vybrat zvolený typ regulátoru, od žádného, přes např. dvoupolohovou regulaci až po regulátor PID a dále je třeba nastavit příslušné parametry daného regulátoru, např. při PI regulaci hodnoty r_0 a T_i . Jako zvláštní případ regulace je zde možné vybrat manuální řízení a ovládat akční veličinu přímo.

Do oblasti vpravo dole je vložen obraz z webové kamery, která snímá reálný model.

Rozhraní reálné úlohy je velmi podobné analogovým virtuálním úlohám. Jedná se jak o vzhled, který je v podstatě totožný, tak o způsob ovládání. Jediný větší rozdíl ve vzhledu je ten, že virtuální úloha má v pravém dolním rohu ovládacího appletu obrázek simulace, zatímco reálná úloha obraz z webové kamery. Dále jsou zde drobné změny v počtu a rozložení ovládacích prvků (podrobnější informace v [1]).

C. Softwarový regulátor

Samotný regulátor je softwarový a běží přímo v Java appletu na počítači koncového uživatele. Vnitřní struktura regulátoru byla pro použití s reálnou soustavou rozšířena o funkci anti-windup, protože hodnota akční veličiny je u reálné úlohy omezena možnostmi akčního členu.

K dispozici jsou typy regulátorů: PID, PI, PD, P, I, dvoupolohový, třipolohový a speciální případ – manuální ovládání akční veličiny.

D. Komunikace s reálnou úlohou

Důležitou částí Java appletu je rozhraní komunikující s reálnou úlohou. Zjišťuje aktuální hodnotu regulované veličiny na reálném modelu (např. v úloze Wattův roztěžník odečítá otáčky roztěžníku měřené tachodynamem) a odesílá vypočtenou hodnotu akční veličiny do akčního členu (např. v úloze Wattův roztěžník nastavuje napětí motoru roztěžníku). Applet komunikuje s kontrolní jednotkou CTRL V4 (obr. 3), která pak přímo ovládá reálný model.

Komunikace probíhá pomocí protokolu TCP/IP prostřednictvím služby HTTP. Jinými slovy, kontrolní jednotka funguje jako webový server, který pomocí interaktivních webových stránek umožňuje nastavovat hodnoty na svých digitálních a analogových výstupech a také číst hodnoty ze svých analogových a digitálních vstupů a tyto hodnoty pak také ve formě webových stránek umí zobrazovat. Applet tedy potom dělá to, že otevírá tyto stránky a získává z nich potřebné hodnoty pro své použití, a naopak jiné hodnoty prostřednictvím dalších stránek na tento server posílá. Aby bylo možno využívat tuto funkci appletu, je třeba applet opatřit certifikátem. Při spuštění appletu je proto uživatel informován o použití certifikátu v samostatném okně a musí na jeho základě povolit spuštění úlohy kliknutím na tlačítko Run.

E. Zapojení více reálných roztěžníků

Z podstaty dálkového ovládání reálné úlohy je zřejmé, že na jednom zapojení může v jednom okamžiku pracovat pouze jeden uživatel. V praxi ale téměř jistě nastane situace, kdy bude žádoucí současná práce více uživatelů, například při měření studentů v laboratoři ČVUT, ale i kdekoli jinde. Z tohoto důvodu je třeba připojit více shodných reálných modelů. Modely fungují na jednotném principu, ale lze je ovládat nezávisle na sobě. V souvislosti s tím bylo třeba také vytvořit nové organizační rozhraní, které řídí připojování k jednotlivým úlohám.

Organizační rozhraní řeší následující problémy:

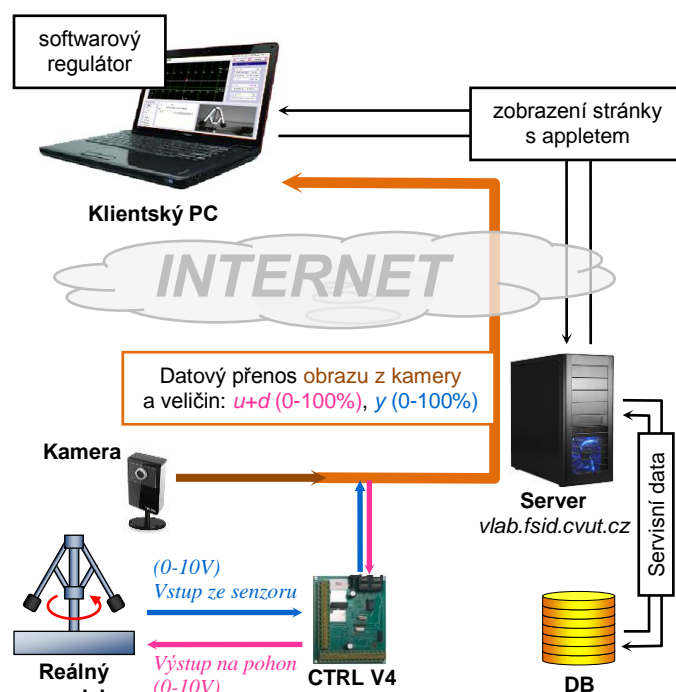
1. Zajišťuje, aby každý uživatel byl připojen k nové úloze, tedy aby nedošlo k ovládání jednoho reálného modelu několika uživateli najednou.
2. Zamezuje jedinému uživateli provádět měření na několika stejných modelech současně a tím je blokovat pro další uživatele.
3. V případě obsazení všech dostupných modelů jednoho typu je třeba vytvořit frontu dalších zájemců o měření a po určité době uvolnit obsazené modely pro tyto nové uživatele.
4. V souvislosti s předchozím bodem je třeba omezit a hlídat dobu využívání modelu jedním uživatelem.
5. Dále je v souvislosti s bodem 3. žádoucí informovat čekající uživatele o aktuální situaci, tedy o době, po kterou budou ještě jednotlivé modely obsazeny a o pořadí čekajícího uživatele ve frontě.
6. Ohlídá správnou kombinaci konkrétního modelu a k němu příslušející webové kamery.

7. Umožní v případě potřeby jednoduché připojení nového modelu nebo naopak jeho snadné odpojení například v případě poruchy bez nutnosti měnit zdrojový kód tohoto rozhraní nebo dokonce samotné úlohy.

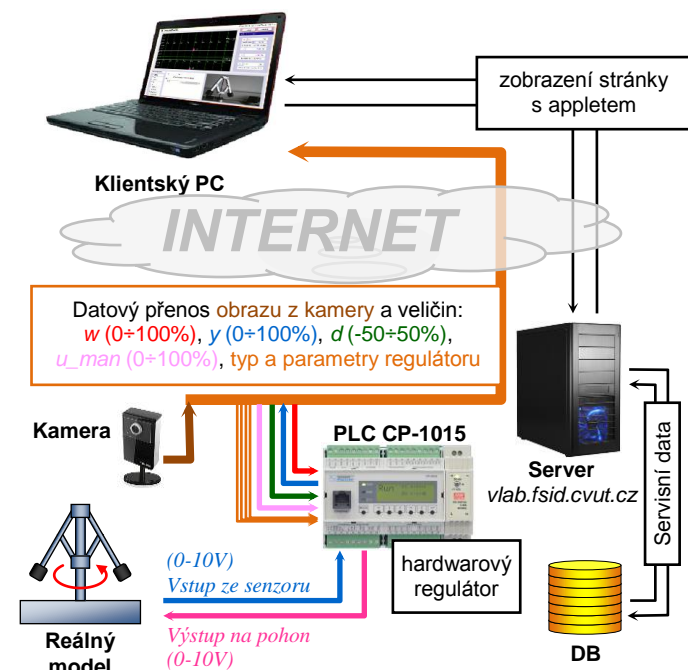
8. Zajistí zastavení modelu v případě, že již na něm neprobíhá měření, ale poslední uživatel se odpojil bez řádného ukončení práce.

Základem řešení většiny z výše uvedených problémů je vytvoření databáze úloh, do které jsou přidávána jednotlivá zapojení úlohy. Ke každému zapojení je potom uvedena adresa kontrolní jednotky, která ovládá konkrétní reálný model, adresa kamery patřící k danému modelu a stav úlohy (volná/obsazena/odpojena apod.). Pro vyřešení všech problémů bylo ještě třeba přidat databázi uživatelů připojených k úloze, ve které je uvedena identifikace uživatele podle jedinečného čísla, doba, po kterou již měří, případně jeho pořadí ve frontě čekajících apod. Dále bylo třeba vytvořit funkce (rozhraní), které budou na základě informací v této databázi jednotlivé problémy řešit.

Body 1-5 souvisejí s prací konkrétního uživatele, který si úlohu spustí, a proto bylo nevhodnější je implementovat přímo do stránky spouštějící applet s úlohou. Body 6 a 7 jsou aktuální pouze při fyzickém přepojování úlohy, které bude provádět pouze osoba odpovídající za provoz této úlohy, a jsou neměnné při běžném využívání úlohy jednotlivými uživateli. Proto bylo ošetření těchto bodů implementováno do samostatného rozhraní dostupného pouze správci úlohy. A konečně bod 8 lze realizovat pouze opakovaným automatickým kontrolováním všech úloh. Proto bylo vytvořeno ještě třetí rozhraní, které je v pravidelných intervalech automaticky spouštěno na serveru virtuální laboratoře.



Obr. 4. Původní schéma komunikace s kontrolní jednotkou CTRL V4. (Kde $u+d$ je akční veličina zatížená umělou chybou, y je regulovaná veličina.)



Obr. 5. Upravené schéma komunikace s PLC Foxtrout. (Kde w je žádaná veličina, y je regulovaná vel., d je umělá porucha akční veličiny, u_{man} je manuálně nastavená akční veličina)

Bod 1 je vyřešen změnou stavu úlohy v databázi. Pokud se nějaký uživatel připojí ke konkrétnímu zapojení úlohy, je toto zapsáno do databáze a úloha je pro něj na určitou dobu blokována. Tuto dobu lze upravovat, aktuálně je nastavena na pět minut.

Body 2 a 3 jsou vyřešeny přidělením jedinečného identifikačního čísla každému připojenému uživateli (za jedinečného uživatele je považován člověk připojený z jednoho počítače). Toto číslo je jednak zapsáno do databáze spolu se zapsáním uživatele a jednak je zapsáno do počítače uživatele. Pokud tak uživatel ukončí svoji práci, ale vzápětí se připojí znovu, je opět přidělen ke své úloze se zachovanou zbývajícím dobou měření. Do databáze jsou zapisováni jak uživatelé, kteří už měří, tak čekající uživatelé.

Výše uvedené prvky také řeší body 4 a 5. Pokud jsou totiž všechny úlohy obsazeny, místo spuštění appletu zobrazí stránka informace o stavech jednotlivých úloh a o frontě uživatelů.

Body 6 a 7 je možné jednoduše ošetřit zápisem do databáze. Jak už bylo řečeno, každé zapojení má v databázi vlastní záznam obsahující potřebné údaje. Funkčnost úlohy při změnách zapojení lze tak jednoduše zajistit pouhou změnou údajů v databázi. V případě přidání nového zapojení je třeba do databáze přidat nový záznam, v případě odpojení stačí pouze změnit stav konkrétního zapojení na „odpojeno“.

O bod 8 se stará samostatný skript spuštěný automaticky každých 10 minut na serveru *vlab.fsid.cvut.cz*. Tento skript zjišťuje, zda je konkrétní reálný model v provozu a pokud ano, porovnává s databází, zda je na něm prováděno měření. Pokud k danému modelu není připojen žádný uživatel (již vypršela doba měření rezervovaná pro posledního uživatele), skript ho zastaví, aby nedocházelo ke zbytečnému opotřebení a k plýtvání energií.

F. Hardwarové řešení úloh

Každé zapojení úlohy se skládá ze tří částí:

- Samotného reálného modelu, tedy mechanického zařízení obsahujícího kromě vlastní konstrukce akční člen ovládaný elektrickým napětím (elektromotor, čerpadlo apod.) a senzor regulované veličiny s napěťovým výstupem (tachodynamo pro snímání otáček, ultrazvukový dálkoměr apod.).

- Tzv. kontrolní jednotky, což je vlastně spojení webového serveru umožňujícího komunikaci po internetu a ovládací jednotky umožňující nastavení určité hodnoty napětí na svých výstupech či její čtení na vstupech. V současné realizaci jsou použity kontrolní jednotky CTRL V4 vyvinuté Ústavem teorie informace [2].

- Webové IP kamery. V současné realizaci jsou používány kamery TL-SC3130 od firmy TP-LINK.

Schéma komunikace v rámci celého regulačního řetězce, které odpovídá současnému stavu, je na obr. 4.

G. Požadavky na hardware a software uživatele

Požadavky na hardware a software uživatele jsou téměř totožné s těmi, které platí pro celou virtuální laboratoř automatického řízení. Stačí tedy běžný osobní počítač s internetovým prohlížečem a s nainstalovaným pluginem pro spuštění Java appletů. Jediným rozdílem je tak požadavek dostatečných uživatelských oprávnění k nainstalování softwaru pro zobrazení videa z webové kamery při prvním spuštění úlohy.

III. ZMĚNA REGULAČNÍHO ŘETĚZCE

A. Motivace

Jak bylo řečeno, stávající regulátor je realizován jako softwarový a běží přímo v Java appletu v počítači koncového uživatele. Celý regulační proces pracuje v diskretním čase s pevnou vzorkovací periodou. Toto řešení má však zásadní nedostatek z praktického, ale také pedagogického hlediska. Komunikace mezi regulovanou soustavou a regulátorem totiž probíhá přes prostředí internetu pomocí protokolu TCP/IP. Komunikace probíhá tak, že vysílající stanice rozdělí data do jednotlivých „balíčků“ – datagramů. Každý datagram je opatřen předepsanou hlavičkou, která obsahuje (mimo jiné) IP adresu odesílatele a příjemce a pořadové číslo datagramu v rámci aktuálního spojení. Jednotlivé datagramy putují sítí nezávisle, a tento průchod je bez záruky (každý uzel, kterým datagram prochází, se ho snaží poslat blíže k cíli, ale není zde žádné ověření). Teprve v cíli jsou datagramy sestavovány podle svých pořadových čísel zpět do původní zprávy a data jsou postupně předávána klientské aplikaci (např. webovému prohlížeči nebo Java appletu). Problém nastává, pokud se některý datagram cestou opozdí nebo vůbec nedorazí. V takovém případě musí být odeslán znovu. Doručení části dat následující za chybějícím datagramem se pozdrží. Tento způsob komunikace však nemůže zaručit dobu odezvy ani stabilitu spojení. Proto je daleko správnější postup umístit regulátor co nejbližší k regulované úloze a přes internet posílat pouze příkazy pro konfiguraci regulačního procesu.

Kromě toho softwarový regulátor běžící v appletu nepracuje v žádném případě v reálném čase a není schopen zaručit dodržování předpokládané vzorkovací periody. V původní realizaci řeší tento problém částečně samotná kontrolní jednotka, která je schopna aktualizovat data na své webové stránce s přesnou vzorkovací periodou. V praxi to znamená, že bez ohledu na skutečný okamžik, ve kterém regulátor čte z kontrolní jednotky, by data měla odpovídat aktuálnímu vzorku (to platí samozřejmě pouze v rámci omezení nastíněných v minulém odstavci).

B. Upravený regulační řetězec

Algoritmus regulace musí být přesunut z klientského počítače co nejblíže k úloze. Ideální by bylo využít k regulaci přímo kontrolní jednotku CTRL V4. Ta však dokáže pouze nastavovat/měřit napětí, ale neobsahuje žádnou vyšší logiku. Proto bude nahrazena hardwarovým regulátorem, který kromě základních funkcí kontrolní jednotky zajistí navíc algoritmus regulace. Tímto přesunem se poněkud pozmění komunikace s Java appletem na straně klienta (viz dále). Pro zajištění hardwarové regulace byl zvolen programovatelný automat Foxtrot CP-1015. Komunikační schéma s novou konfigurací regulačního řetězce je na obr. 5.

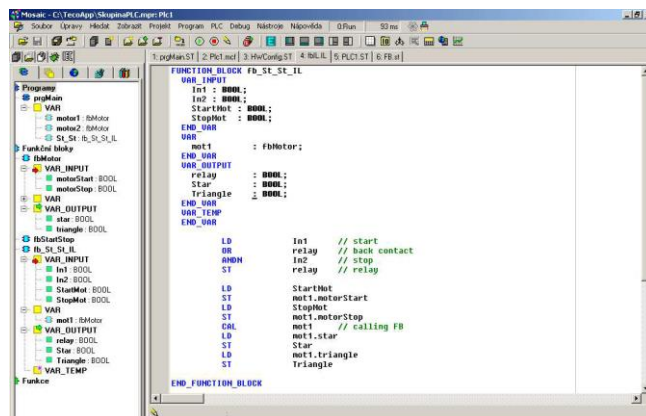
C. Programovatelný automat Foxtrot CP-1015

Programovatelný automat (dále jen PLC – Programmable Logic Controller) Tecomat Foxtrot CP-1015 (obr. 6) byl vyvinutý českou firmou Teco, a.s.

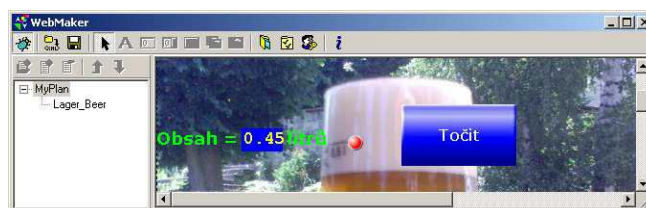
PLC Tecomat Foxtrot CP-1015 je vybaven šesti víceúčelovými vstupy, z nichž každý je využitelný buď jako analogový (napěťový, proudový nebo pro pasivní čidla teploty), nebo jako binární 24V, dvěma analogovými výstupy 10V a 6 reléovými výstupy. Základní ovládací a zobrazovací prvky jsou rozšířeny o LCD displej 4 × 20 znaků a 6 uživatelských tlačítek.



Obr. 6. Programovatelný automat PLC Tecomat Foxtrot CP-1015 s napájecím zdrojem osazený na DIN liště.



Obr. 7. Uživatelské prostředí programu Mosaic.



Obr. 8. Nástroj WebMaker pro tvorbu webové stránky v programu Mosaic.

Základní modul CP-1015 je osazen centrální jednotkou (CPU) řady K, která je určena pro aplikace s vysokými požadavky na výkon. Obsahuje zálohovanou paměť CMOS RAM pro uživatelské programy, data, tabulky, uživatelské registry a DataBox, paměť Flash pro zálohování uživatelského programu, slot pro MMC/SD paměťovou kartu, obvod reálného času, rozhraní Ethernet, dva sériové kanály (jeden s pevným rozhraním RS-232, druhý s pozicí pro volitelné submoduly), jeden komunikační kanál s rozhraním CIB pro připojení externích periférií a systémové rozhraní TCL2 určené pro připojení rozšiřovacích modulů, které zvyšují počet I/O systému.

Napájení regulátoru zajišťuje stabilizovaný spínaný zdroj stejnosměrného napětí 24V.

Automat je možno programovat pomocí PC se specializovaným softwarem Mosaic (obr. 7), který je také produktem firmy Teco. Součástí programové nabídky je i knihovna PID regulátoru a není problém ani vytvořit další typy regulátorů.

Součástí prostředí programu Mosaic je také rozhraní pro tvorbu webových stránek WebMaker. Stránky jsou potom publikovány na vestavěném webovém serveru PLC a slouží k posílání dat přes internet.

D. Změny v appletu

Při komunikaci s kontrolní jednotkou posílá applet pouze proud hodnot akční veličiny u (zatížená umělou poruchou d) a načítá proud naměřených hodnot regulované veličiny y . Funkci regulátoru zajišťuje sám.

Při komunikaci s PLC bude applet posílat konfigurační data regulátoru, tedy zvolený typ regulátoru, jeho parametry (např. pro PID regulátor hodnoty r_0 , T_i a T_d), zvolený typ regulátoru a

pouze v případě manuálního řízení také proud hodnot akční veličiny u . Dále bude applet posílat průběhy hodnot žádané veličiny w a poruchové veličiny d . Načítat z PLC bude applet opět pouze průběh regulované veličiny y .

Samotný applet bude po úpravách schopen pracovat v obou režimech, standardně bude pouze posílat konfigurační data, ale z důvodu zpětné kompatibility bude i nadále schopen provádět softwarovou emulaci regulátoru.

Drobná změna bude muset být provedena také v databázi, kde do konfigurace jednotlivých zapojení bude nutné přidat položku „typ kontrolního zařízení“, aby mohl applet zvolit správný režim regulace.

E. Změny v uživatelském rozhraní

Z hlediska uživatele by neměl být patrný rozdíl, uživatelské okno appletu bude beze změn. Je však pravděpodobné, že se projeví zlepšení kvality a stability průběhu regulace.

IV. ZÁVĚR

Zařazení hardwarového regulátoru do regulačního procesu zvýší názornost vzdělávací přínos virtuální laboratoře. Nyní se dokončuje přípravná fáze projektu a zahajuje se fáze realizace. Již byly zakoupeny čtyři kusy PLC Foxtrot CP-1015 a zahajuje se jejich implementace do úloh. V první fázi plánujeme naprogramovat algoritmus a webové stránky

PLC tak, aby se tvářil jako další CTRL V4 jednotka. Při správné funkci by applet neměl rozpoznat rozdíl. V další fázi již přistoupíme k samotnému přeprogramování appletu a ke kompletnímu naprogramování PLC.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory MŠMT IRP 2013 č. 113028B001.

ZDROJE

- [1] Hofreiter, M., Urbánek, D., Virtuální laboratoř pro řízení reálných úloh přes internet. Závěrečná zpráva projektu FRVŠ č. 894/2011/F1/d. Praha: ČVUT v Praze, Ústav PŘT, 2012
- [2] Klán, P., Smid, J., Webový procesor pro měření, regulaci a synchronizaci. [online]. Automa, [cit. 2013-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34149>
- [3] Programovatelné automaty Tecomat Foxtrot CP-1005, CP-1015 [PDF]. Uživatelská příručka. Teco, 2012, [cit. 2013-05-05], Dostupný z WWW: <http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00435_01_Foxtrot_CP_1005.pdf>
- [4] Začínáme v prostředí Mosaic [PDF]. Teco, 2010, [cit. 2013-05-05], Dostupný z WWW: <http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00320_01_Mosaic_ProgStart_cz.pdf>
- [5] Virtuální laboratoř automatického řízení [online]. Praha: ČVUT v Praze, Ústav PŘT, [cit. 2013-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://vlab.fsid.cvut.cz>>

Název: Proceedings of the annual meeting New methods and procedures in automatic control, instrumentation and informatics

Autor (editor) : Ing. Jiří Rošický

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta strojní

Kontaktní adresa Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze,
Technická 4, 166 07, Praha 6

Tel. 2 2435 2434

Vytiskl Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Adresa Technická 4, 166 07, Praha 6

Počet stran 68. Vydání první

ISBN: 978-80-01-05257-0