

ОДРЕЂИВАЊЕ ТАЧНОСТИ ОСТВАРИВАЊА СПРЕГЕ ДВА ХИДРАУЛИЧНА СЕРВОМОТОРА

Дане Џепчески, Јелена Павловић

Кључне речи: мерна несигурност, неелектрична величина, положај

КРАТАК САДРЖАЈ

У раду је приказан поступак процене мерне несигурности електричног мерења две међусобно спрегнуте неелектричне величине. Процена наведене мерне несигурности извршена је за потребе поступка испитивања којим се одређује тачност остваривања спреге положаја клипова два хидраулична сервомотора. Два хидраулична сервомотора су извршни органи система за турбинску регулацију производних хидроагрегата са Каплановом турбином. Као део поступка процене описано је разматрање и квантификација утицаја коришћених мерних инструмената, тачности позиционирања сервомотора и тачности мерења положаја клипова сервомотора, на мерну несигурност.

ACCURACY DETERMINATION OF THE TWO HYDRAULIC SERVOMOTORS COUPLING

Dane Džepčeski, Jelena Pavlović

Keywords: measurement uncertainty, non-electric quantity, position

ABSTRACT

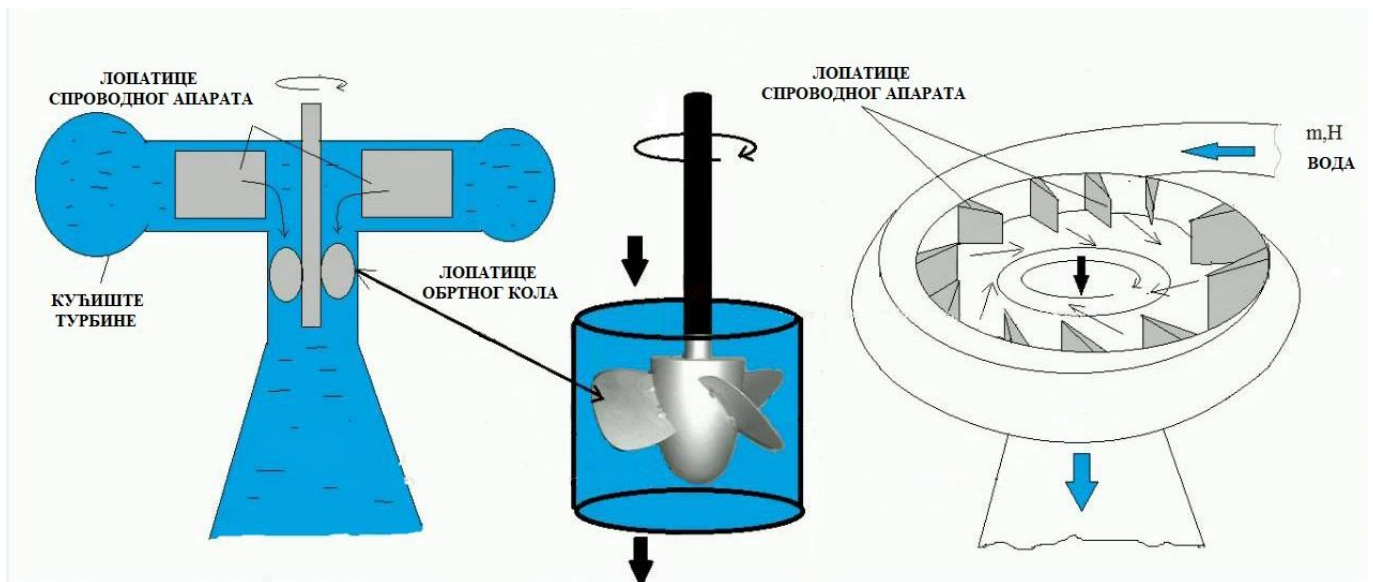
The measurement uncertainty estimation of electrical measurements of two coupled non - electric quantities is presented in the paper. The estimation of the stated measurement uncertainty was performed for the needs of the test procedure, in which the coupling accuracy of the two hydraulic servomotor pistons are measured. Those two hydraulic servomotors are the turbine governing system actuators of hydro-power units with Kaplan turbine. The consideration and quantification of the influence of the used measuring instruments, the servomotor positioning accuracy and the accuracy of servomotors pistons measurement on the measurement uncertainty are described, as part of the estimation procedure.

УВОД

Из разлога одржавања или због доказивања експлоатационих особина одређене хидрауличне турбине, према потреби, врши се одређивање тачности остваривања спреге два хидраулична сервомотора који се користе за покретање појединих склопова турбине. У раду је описан поступак испитивања и приказан је поступак процене мерне несигурности приликом одређивања тачности остваривања наведене спреге. Као део поступка процене мерне несигурности описано је разматрање и квантификација утицаја коришћених мерних инструмената, тачности мерења положаја клипова сервомотора и тачности позиционирања хидрауличних сервомотора на мерну несигурност.

СПРЕГА ДВА ХИДРАУЛИЧНА СЕРВОМОТОРА

У циљу повећања и одржавања степена корисног дејства хидрауличне турбине на високој вредности, за широки опсег промене нето пада воде, одређени типови хидрауличних турбина конструисани су тако да поседују могућност промене геометрије и статорског и роторског дела турбине у зависности од тренутног нето пада. Овакве турбине називају се турбине са двојном регулацијом и најпознатији њихов представник је Капланова турбина. Промена геометрије статорског дела турбине, тј. отворености спроводног апарата, и промена геометрије роторског дела турбине, тј. отворености обртног кола, морају бити међусобно усаглашене и изводе се према унапред дефинисаној законитости која представља конструктивну особину турбине. У пракси се зависност отворености обртног кола турбине од промене отворености спроводног апарата турбине назива комбинаторна зависност. На сл. 1 приказани су основни делови Капланове турбине и правац и смер протицања воде кроз турбину [1].



Слика 1 – Приказ основних делова Капланове турбине[1].

Положајем лопатица спроводног апарата и положајем лопатица обртног кола једновремено се управља из система за турбинску регулацију, у даљем тексту регулатор, који се састоји од електричног и хидрауличног дела. У електричном делу регулатора реализован је целокупан алгоритам и законитости управљања. У њему се извршавају нумерички прорачуни у реалном времену и издају налози према извршним органима који се, између осталог, налазе у хидрауличном делу регулатора. Извршне органе регулатора чине два међусобно спрегнута хидраулична сервомотора. Један хидраулични сервомотор служи за позиционирање лопатица

спроводног апарата турбине, док други хидраулични сервомотор служи за позиционирање лопатица обртног кола турбине. Спрега између наведена два хидраулична сервомотора, код савремених регулатора, остварена је преко комбинаторне зависности која је на одговарајући начин уписана у меморију процесног рачунара електричног дела регулатора. Позиционирање хидрауличних сервомотора врши се у затвореној повратној спрези по положају клипњача сервомотора које су једнозначни репрезенти отворености лопатица спроводног апарата и лопатица обртног кола турбине.

УСЛОВИ ПРИЛИКОМ ПРИМЕНЕ ПОСТУПКА ИСПИТИВАЊА

ПРЕ ИЗВОЂЕЊА ПОСТУПКА ИСПИТИВАЊА

Подразумевано је да је регулатор функционално исправан и спреман за погон, као и да су уграђени претварачи положаја спроводног апарата и обртног кола турбине, који су саставни део регулатора, потпуно исправни и претходно умерени, односно да су калибрисани при крајњим положајима сервомотора. Наведена провера исправности и калибрација давача положаја клипњача сервомотора спадају у редовне поступке које особље службе одржавања примењује приликом завршетка сервисних и/или ремонтних активности, а пре предаје агрегата служби експлоатације електране.

У ТОКУ ИЗВОЂЕЊА ПОСТУПКА ИСПИТИВАЊА

Приликом извођења испитивања, као једини мерни инструменти, који се накнадно постављају у постојеће мерне кругове регулатора (мерне кругове по положају клипњача сервомотора) користе се два прецизна мултиметра идентичних метролошких карактеристика. Односно, услов за исправно спровођење поступка испитивања је да су оба прецизна мултиметра, тј. прецизна милиамперметра, повезана директно на ред у коло повратне спреге регулатора, и да мере вредности струјних сигнала са давача положаја које мери и сам регулатор. Такође, подразумева се и да је извршено мерење и записивање вредности струјних сигнала из претварача положаја оба сервомотора у крајњим положајима клипњача сервомотора.

ПОСТУПАК ИСПИТИВАЊА

Испитивање тачности реализације комбинаторске зависности врши се када је агрегат заустављен и предтурбински затварач затворен. Проточни тракт турбине не мора бити осушен, односно испитивање се може урадити када је проточни тракт у тзв. мирној води, када не постоји проток воде кроз турбину.

ПРИПРЕМА ИСПИТИВАЊА

Пре почетка испитивања Испитивач мора имати увид у прорачунске, тзв. теоријске комбинаторске зависности и да на основу њих изврши припрему података потребних за испитивање. Теоријске комбинаторске зависности Испитивачу обезбеђује Корисник или Испоручилац опреме хидрауличне турбине.

Такође, потребно је да Корисник или Испоручилац обезбеде комбинаторске зависности, у аналитичком или нумеричком облику, које су примењене у извршни програм регулатора у тренутку испитивања. Поређењем теоријских и примењених комбинаторских зависности Испитивач се осведочава да су у меморију процесног рачунара регулатора уписане одговарајуће, међусобно упоредиве зависности.

На електричним улазима и излазима регулатора потребно је створити такве услове да се симулира рад регулатора као да је хидраулична турбина, односно производни агрегат, у раду на електроенергетској мрежи. Такође, потребно је извршити симулацију мерења величине актуелног нето пада за различите вредности пада.

ИСПИТИВАЊЕ

Симулира се одређена величина нето пада која одговара нето паду за који је израчуната тзв. теоријска комбинаторска зависност. Клипњача сервомотора за покретање спроводног апарата турбине поставља се у положај при којем почиње да се отвара радно коло турбине. Када се положаји и једног и другог извршног органа устале, записују се мерене вредности струјног сигнала са оба прецизна милиамперметра.

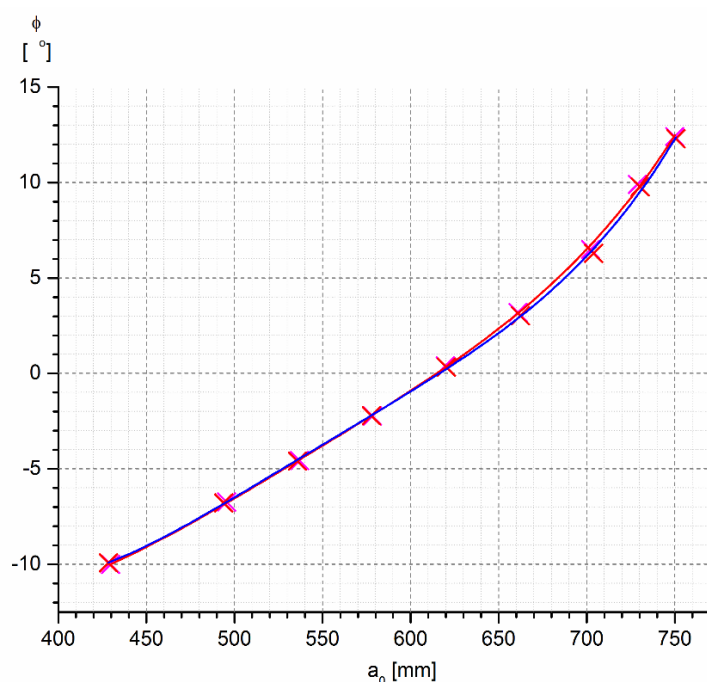
Испитивање при једној симулираној величини нето пада понавља се за 6 до 8 различитих положаја клипњаче сервомотора спроводног апарата турбине.

Врши се промена симулиране величине нето пада на следећу изабрану вредност из фамилије теоријских комбинаторских зависности.

Поступак се понавља док се не испитају комбинаторске зависности при свим симулираним вредностима нето падова које су обухваћене планом испитивања.

ПРЕГЛЕД И ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА

Након што су све комбинаторске зависности које су биле предмет испитивања снимљене, врши се њихово поређење са теоријским комбинаторским зависностима. Одступање реализоване од теоријске комбинаторске зависности не сме ни у једној тачки зависности бити веће у односу на највеће дозвољено одступање које је дефинисано у техничким условима из Уговора о испоруци опреме. Пример вредности највећег дозвољеног одступања у свим радним тачкама на карактеристици је 0,9% од опсега промене положаја клипњаче сервомотора за покретање лопатица обртног кола турбине. Изглед графичког поређења теоријске и измерене комбинаторне зависности приказан је на сл. 2.



Слика 2 - Међусобно поређење мерене и задате комбинаторске карактеристике Капланове турбине производног агрегата снаге > 200MW

АНАЛИЗА УТИЦАЈА И ПРОЦЕНА МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

У првом делу анализе утицаја биће приказана процена мерне несигурности мерења положаја клипњаче хидрауличног сервомотора. У другом делу ће бити размотрен могући утицај тачности позиционирања сервомотора од регулатора, док ће у трећем делу анализе бити урађена процена мерне несигурности поступка испитивања.

ПРОРАЧУН МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ МЕРЕЊА ПОЛОЖАЈА

Код савремених регулатора, као уграђени претварачи положаја клипњаче хидрауличног сервомотора, користе се претварачи положаја чији се рад заснива на магнетостриктивном ефекту. Такође, тамо где је то неопходно, на системима старе конструкције, за потребе испитивања постављају се претварачи истог типа, те се из наведених разлога као пример, за потребе процене мерне несигурности, усвајају технички подаци овог типа претварача положаја. Декларисана тачност претварача положаја дужине $L=500\text{mm}$ је типично $10\mu\text{m}$, док је линеарност типично $0,01\%$ опсега мерења. Температурни коефицијент је $\leq 30\text{ppm}$. Температурни утицај у овој анализи неће бити посебно разматран јер се усваја да се за време извођења испитивања температура претварача и његове околине није променила. Овај приступ сматра се оправданим јер је претварач уграђен на склопу који је саставни део турбине чија се маса мери у тонама или десетинама тона, док само испитивање траје неколико сати.

Као што је већ претходно наведено, електрични сигнал из претварача положаја мери се прецизним миламперметром. Размотрићемо појединачни утицај милиамперметра и претварача положаја на мерну несигурност мерења положаја клипњаче хидрауличног сервомотора.

Прорачун мерне несигурности милиамперметра

Приказан је прорачун мерне несигурности [2] приликом мерења једносмерне струје у опсегу $4\text{--}20\text{mA}$, коришћењем мултиметра са 100000 count-а. Декларисана тачност мултиметра при мерењу једносмерне струје у опсегу од $10\text{--}100\text{mA}$ је $0,08\%+8\text{dig.}$, док је резолуција у истом опсегу $1 \cdot 10^{-6}\text{A}$.

Практично, у опсегу од $10\text{--}100\text{mA}$ мерена вредност приказана је у формату xx.xxx mA , што одговара резолуцији инструмента. Дакле, максимална грешка је $0,08\% + 8 \cdot 10^{-6}\text{A}$. То значи да је у опсегу мерења од $4\text{--}20\text{mA}$, величина опсега 16mA , грешка мерења:

$$0,08\% + (100 \cdot 0,008\text{mA}/16\text{mA})\% = 0,13\%.$$

За потребе израчунавања средње вредности и стандардне девијације мерења извршена су три узастопна мерења приближно на средини мерног опсега. При томе су измерене вредности $X_1=12,548\text{mA}$, $X_2=12,550\text{mA}$, $X_3=12,547\text{mA}$. На основу резултата мерења средња вредност мерења израчунава се као:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad \mu = 12,5483\text{mA},$$

док се стандардна девијација узорка израчунава као:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad \sigma = 0,007\text{mA}$$

За усвојене коефицијенте осетљивости $c_1=c_2=c_3=1$ компоненте мерне несигурности су:

Компонента услед понављања мерења за $\Delta I_A = 0,007 \text{ mA}$

$$u(\Delta I_A) = [(0,007/16) \cdot 100] / \sqrt{3} = 0,043\% / \sqrt{3} = 0,0253\%$$

Компонента мерне несигурности услед грешке:

$$u(\delta I_{RE}) = 0,13\% / \sqrt{3} = 0,0751\%$$

Компонента мерне несигурности услед резолуције:

$$u(\delta I_{RE-rez}) = (100 \cdot (0,001/16)) / (2 \cdot \sqrt{3}) = 0,0018\%$$

Комбинована мерна несигурност милиамперметра израчуната је из следећег израза:

$$\begin{aligned} \sqrt{u_A^2(I_A)} &= \sqrt{[c_1^2 \cdot u^2(I_A) + c_2^2 \cdot u^2(\delta I_{RE}) + c_3^2 \cdot u^2(\delta I_{RE-rez})]} = \\ &= \sqrt{[1^2 \cdot 0,0253^2 + 1^2 \cdot 0,0751^2 + 1^2 \cdot 0,0018^2]} = \\ &= \sqrt{0,0063} = 0,0793\% \end{aligned}$$

$$u_A = 0,0793\%$$

Прорачун мерне несигурности претварача положаја

Комбинована мерна несигурност претварача положаја састоји се од две компоненте, декларисане тачности (u_t) и декларисане линеарности давача (u_l).

$$u_L^2 = c_1 \cdot u_t^2 + c_2 \cdot u_l^2 = 1^2 \cdot [(10 \cdot 10^{-6} / 500 \cdot 10^{-3} \cdot 100) / \sqrt{3}]^2 + 1^2 \cdot (0,01 / \sqrt{3})^2 = 1,3 \cdot 10^{-6} + 33,3 \cdot 10^{-6}$$

$$u_L = \sqrt{34,6 \cdot 10^{-6}} = 0,006\%$$

Разматрањем утицаја појединачних компонената мерне несигурности претварача положаја клипњаче хидрауличног сервомотора сагледавамо чињеницу да је доминантан утицај грешке услед нелинеарности (већи од 94%), те да је податак о величини укупног хода сервомотора од знатно мањег значаја. Из тога произилази да је предметна комбинована несигурност применљива за претвараче истог типа без обзира на дужину активног дела примењеног давача.

Сада је комбинована мерна несигурност мерења у кругу повратне спреге регулатора по положају клипњаче хидрауличног сервомотора:

$$u_m^2 = u_A^2 + u_L^2,$$

$$u_m = \sqrt{(0,0793^2 + 0,006^2)} = 0,07953\%;$$

Компонента која потиче од милиамперметра доприноси са 99,4% комплексној мерној несигурности мерења положаја клипњача хидрауличних сервомотора, док је допринос компоненте која потиче од претварача положаја свега 0,6%.

РАЗМАТРАЊЕ УТИЦАЈА ТАЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРАЊА СЕРВОМОТОРА

Са становишта примене предметног поступка испитивања није од значаја са којом тачношћу регулатор појединачно позиционира клипњаче хидрауличних сервомотора спроводног апарата и обртног кола. Као улазни подаци, за поступак су важне измерене вредности остварених положаја клипњача хидрауличних сервомотора у тренутку мерења јер се положај клипњаче хидрауличног сервомотора обртног кола успоставља као релативни положај у односу на положај клипњаче хидрауличног сервомотора спроводног апарата турбине. У току спровођења поступка испитивања измерене вредности електричних сигнала из претварача положаја, као репрезенти тренутних положаја клипњача хидрауличних сервомотора, улазе у прорачун којим се утврђује величина одступања остварене у односу на теоријску комбинаторну зависност.

ПРОЦЕЊЕНА МЕРНА НЕСИГУРНОСТ МЕРЕЊА ПРИМЕЊЕНОГ ПОСТУПКА ИСПИТИВАЊА

Приликом спровођења поступка испитивања којим се утврђује тачност реализације комбинаторске зависности истовремено се мере положаји клипњача два сервомотора. Мерење се врши у два различита мерна круга за које се оправдано могу претпоставити исте метролошке особине јер је у пракси то и најчешћи случај.

Комбинована мерна несигурност мерења јесте корен из збира квадрата вредности компонената грешке појединачних мерења.

$$u_k = \sqrt{2} \cdot u_m^2 = \sqrt{2} \cdot 0,07953^2 = 0,1125\%$$

Проширена мерна несигурност мерења положаја клипа сервомотора за степен поверења у резултате од 95% и нормалну расподелу резултата износи:

$$U_K = k \cdot u_k = 2 \cdot 0,1125 = 0,225\%, \text{ односно}$$

$$U_K = 0,23\%;$$

ЗАКЉУЧАК

Поред описа основних техничких појмова везаних за хидрауличну турбину са тзв. двојном регулацијом, описа поступка испитивања тачности остваривања спреге два хидраулична сервомотора, у раду је описана и анализа утицаја појединачних компонената мерне несигурности на процењену мерну несигурност поступка. Наведено је да је су за описани поступак испитивања релевантне измерене вредности положаја клипњача сервомотора спроводног апарата и обртног кола у тренутку мерења, без обзира на тачност позиционирања клипњача хидрауличних сервомотора од регулатора. Анализом утицаја појединачних компоненти мерне несигурности показано је да доминантан допринос мерној несигурности мерења положаја клипњаче једног хидрауличног сервомотора потиче од коришћеног милиамперметра. Такође, иако има мали утицај на мерну несигурност мерења положаја клипњаче хидрауличног сервомотора, показано је да је величина компоненте мерне несигурности која потиче од претварача хода клипњаче хидрауличног сервомотора готово потпуно независна од дужине хода клипњаче, односно да зависи само од конструктивних особина примењеног типа претварача. Укратко, може се усвојити да је мерна несигурност поступка мерења врло приближно једнака корену из збира квадрата мерних несигурности два коришћена милиамперметра.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Слика преузета са везе <https://mectips.com/what-is-kaplan-turbine-and-how-it-works/>. Слика је уређена у делу промене језика незива на слици.
- [2] EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration