

## **ПРИМЕНА КОНЦЕПТА ВИРТУЕЛНОГ ИНСТРУМЕНТА У РЕАЛИЗАЦИЈИ ПРИМАРНОГ СПЕКТРОФОТОРАДИОМЕТРИЈСКОГ СИСТЕМА**

Владан Шкеровић, Предраг Вукадин, Вељко Зарубица,  
*Савезни завод за мере и драгоцене метале*

**Сажетак** - *Развој и реализација примарног спектрофоторадиометријског система, већ неколико година уназад, представља најважнији развојни посао у оквиру делатности Лабораторије за фотометрију и радиометрију Савезног завода за мере и драгоцене метале (СЗМДМ). У овом раду дат је приказ рада на аутоматизација целог система и њеној реализацији применом концепта виртуелног инструмента.*

### **1 УВОД**

Концепцијом развоја метрологије оптичког зрачења у нашој земљи [1], предвиђено је да централно место припадне тзв. примарном спектрофоторадиометријском систему. Реализацијом оваквог система ствара се основа за извођење и преношење вредности јединица величина оптичког зрачења.

Префикс спекторрадиометријски у називу целог система односи се на примене које подразумевају реализацију скале спектралне осетљивости детектора и извођење јединица спектралне ирадијације (озрачености) и радијације, а посредно и реализацију канделе по дефиницији.

Други префикс у називу система, **спектрофотометријски**, односи се на примену система за утврђивање својстава материјала на основу мерења коефицијента пропустљивости, односно рефлексије истих. Заступљеност ових мерења у свакодневној пракси, а пре свега у области здравства (у биохемијским лабораторијама), у фармацеутској и прехранбеној индустрији, као и области заштите животне средине, намећу потребу за успостављањем метролошког обезбеђења у овој области а самим тим и првенствену намену овог система као примарног спектрофотометријског система. Као такав, систем је намењен реализацији јединице спектралног коефицијента пропустљивости, односно преношење његове вредности на одговарајуће референтне узорке.

Све ове примене спектрофоторадиометријског система, методе мерења које се са њим могу реализовати, као и конструкција система, нису предмет овог рада, али их је потребно назначити како би се могли сагледати захтеви који се пред један овакав систем постављају, као и стећи утисак о сложености самог система.

Јасно је, из претходно наведеног, да је неопходно да овакав систем буде веома прилагодљив тако да се релативно лако може модификовати за мерење различитих величина, а да се при томе управљачке функције система као и функције система за детекцију и аквизицију података битније не ремете, односно, да се не морају мењати од случаја до случаја. Ово је посебно значајно, ако се зна да спектрална мерења подразумевају задавање великог броја улазних управљачких података, као и аквизицију и обраду великог броја излазних података. Оваква мерења

захтевају веома стручно и добро обучено особље, као и значајан утршак времена. Такође, јасно је да се овакав систем мора састојати из више независних делова чије је функционисање потребно ускладити.

Обзиром да функција овог система јесте реализација и преношење вредности јединица одговарајућих величина у циљу остваривања метролошког обезбеђења, односно преношење тих вредности до крајњих корисника, произилази да је потребно да систем буде оперативан и да омогућава релативно једноставно руковање и брз рад.

Кључ за испуњење свих претходно наведених захтева представља аутоматизација рада целог система. Обзиром да се за циљ има повезивање великог броја независних делова мерног система у један јединствени систем, тако да се задржи контрола над радом појединих компоненти, а да се при томе рад читавог система одвија тако као да је реч о једном компактном мерном инструменту, као најоптималније решење овог задатка појављује се аутоматизација на бази концепта виртуелног инструмента [2].

### **2 РЕАЛИЗАЦИЈА АУТОМАТИЗОВАНОГ СПЕКТРОФОТОРАДИОМЕТРИЈСКОГ СИСТЕМА**

Спектрофоторадиометрија подразумева мерења чији је резултат презентован у виду спектра, у функцији таласних дужина. Основни делови спекторрадиометра су подесиви дисперзиони елемент (монохроматор) и детектор са појачавачем и региструјућим мерним инструментом. Уз коришћење одговарајуће улазно излазне оптике и додатних прикључака, спекторрадиометар се може модификовати за мерење извора зрачења, карактеризацију материјала, односно оптичких средина било да су пропустљиве или рефлектујуће, као и мерење осетљивости детектора зрачења [3]. У таквој конфигурацији спекторрадиометар се са правом може назвати и спектрофоторадиометријским системом.

Систем који је реализован у лабораторији за фотометрију и радиометрију СЗМДМ, поред захтева у погледу прилагодљивости за мерења претходно поменутих величина, као и захтева за тачношћу поменутих мерења (ако се зна да систем има улогу еталонског уређаја), морао је да буде прилагођен неким од постојећих могућности лабораторије, у смислу простора и постојеће опреме, односно да подразумева рационално коришћење постојећих ресурса. Аутоматизација рада целог система представља, такође, један од веома битних услова потребних да би се обезбедило његово најоптималније функционисање.

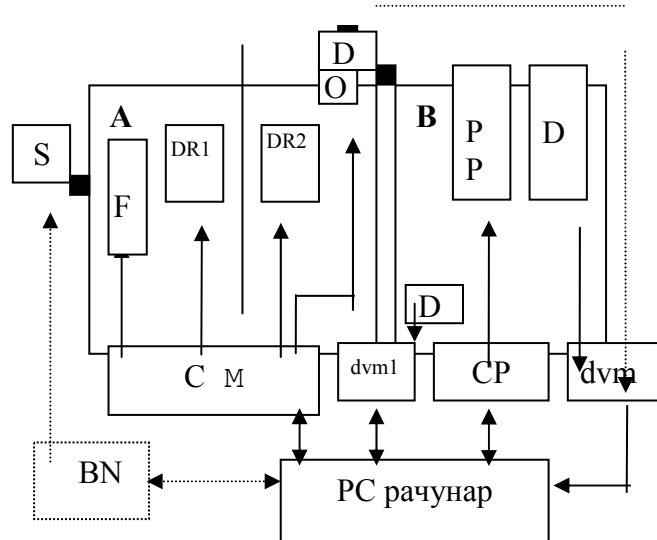
Код спектрофоторадиометријског система искомбиноване су две наизглед инкомпатибилне карактеристике, а то су прилагодљивост (вишефункционалност) и једноставност. Обзиром да су све контроле над радом инстру-

мента аутоматизоване и да се већина елемената налази у заједничком кућишту, знања која се захтевају од корисника сведена су на минимум. При раду са оваквим системом, међутим, мора бити задржана доза опрезности. Наиме, потпуно аутоматизовани систем који подразумева комплетно интегрисана мерења, израчунавања и презентацију резултата, може корисника удаљити од самог процеса и учинити га мање свесним могућих грешака. Да би се обезбедили добри резултати, од суштинског је значаја да се кориснику омогући контрола над радом инструмента, где све његове функције могу бити проверене и оптимизоване [4].

Спектрофоторадиометријски систем у лабораторији за фотометрију и радиометрију реализован је на бази двоструког монохроматора који се састоји од две одвојене јединице од којих свака има могућност измене до три дифракционе решетке, диска са филтерима за елиминисање виших хармоника таласних дужина на коме се налази и тзв. затварач ("схуттер") чијим постављањем је омогућено вршење корекција за струју мрака, као и два излазна прореза на које се може усмерити сноп зрачења помоћу покретног огледала ("сњинг ањау миррор- САМ"). Покретање и измена решетке, односно покретање диска са филтерима врши се помоћу три степ мотора којима се управља помоћу контролера који у себи садржи три независне картице ("мицростеппинг дривес"), а преко кога се врши и контрола покретног огледала. Променом излазног прореза монохроматора помоћу покретног огледала врши се и промена конфигурације система (различите компоненте система се налазе на различитим излазима из монохроматора), односно избор врсте мерења и мерене величине. У оквиру улазно-излазног оптичког система налази се и помоћни детектор са појачавачем који служи за компензацију дрефта извора зрачења када систем ради у конфигурацији за мерење спектралне осетљивости детектора, односно спектралне пропустљивости/рефлексије узорака материјала. У жижној равни улазно-излазног оптичког система налази се покретно постоље које омогућава аутоматску измену детектора или пропустљивих узорака (еталонских филтера). Покретање овог постоља врши се, такође, помоћу степ мотора са независним контролером. У конфигурацији система за мерење пропустљивости/рефлексије, односно параметара извора зрачења (радијанција, ирадијанција) на излазу мерног система налази се детектор са системом за појачањем и обраду електричног сигнала. У случају мерења спектралне осетљивости детектора, исти се налази на покретном постољу и у том случају се сукцесивно прати сигнал са највише три детектора истовремено.

Треба напоменути, да је у овом скраћеном опису система поменуто само оно што је значајно са становишта аутоматизације, док конструкционе, оптичке и физичке карактеристике система нису помињане, обзиром да не представљају тему овог рада.

Функционалне везе између компоненти система битних за његову аутоматизацију приказане су на упрошћеној блок шеми на слици 1.



Слика 1. Блок шема функционалних веза аутоматизованог спектрофоторадиометријског система

Ознаке на слици 1. имају следећа значења:

- С - извор зрачења
- А - Монохроматор
- Ф - диск са филтерима и затварачем
- ДР1, ДР2 - дифракционе решетке
- О - покретно огледало
- ЦМ - контролер монохроматора
- Б - светлосно изоловано кућиште оптичког система
- Дп - помоћни детектор са појачавачем
- ПП - покретно постоље
- Д - детектор
- двм1, двм2 - дигитални волтметри
- ЦП - контролер покретног постоља
- БН - блок за напајање и контролу рада извора зрачења
- ПЦ рачунар.

Испрекиданим линијама на шеми означене су везе између блокова који нису увек у функцији, односно делова система који се користе у промењеној конфигурацији када се врши мерење параметара извора зрачења. Ова мерења се тренутно не врше, али је систем реализован тако да се једноставном изменом улазне оптике и пребацивањема снопа на други излазни прорез монохроматора, односно променом начина обраде резултата, може за њих прилагодити. Осим физичке измене улазне оптике система остале измене врше се у оквиру универзалног софтверског пакета.

### 3 СПЕКТРОФОТОРАДИОМЕТРИЈСКИ СИСТЕМ - КАО ВИРТУЕЛНИ ИНСТРУМЕНТ

Аутоматизација система са слике 1. остварена је коришћењем контролера којима се управља радом покретних делова система и програмабилних инструмената (- дигиталних волтметара, односно Iph - метра, мерила фотострује) за мерење излазног сигнала, који су сви повезани на ПЦ рачунар преко стандардног GPIB интерфејса. Софтвер виртуелног инструмента је урађен применом LabView програмског пакета.

Рад спектрофоторадиометријског система, без обзира на то у којој конфигурацији, заснива се на принципу спектралних поређења, где се објекту чији се параметри мере (извор, детектор или филтер) придружују вредности на основу поређења са одговарајућим еталомом или референтним узорком. Усвајањем овакве методологије мерења, постигнуто је да систем функционише на исти или сличан начин за сва мерења која се са њим врше. Последица овога је да се за управљање системом може користити исти софтвер виртуелног инструмента, уз мање измене које се врше променом параметара у оквиру "интерактивног корисничког интерфејса" [2].

Реализацијом виртуелног инструмента омогућено је и максимално коришћење постојећих ресурса у погледу избора хардвера, где се мисли на избор инструмента за мерење излазног електричног сигнала. Ова карактеристика виртуелног инструмента овде посебно долази до изражаја, ако се зна да се у лабораторији за фотометрију и радиометрију врше веома различита мерења за која се користе исти расположиви инструменти. Софтвер спектрофоторадиометријског система је тако урађен да у њему постоје уграђени подпрограми за сваки од ових инструмената, чији се избор врши преко интерактивног корисничког интерфејса.

Виртуелни спектрофоторадиометријски систем обједињава већи број функција које се могу поделити у четири групе.

Прву групу чине функције којима се преко интерактивног корисничког интерфејса врши избор параметара битних за начин рада система, што се практично своди на избор конфигурације у којој систем ради, односно које се мерење са њим врши. То подразумева избор хардвера (програмабилних мерних инструмената), постављање покретног огледала (САМ) чиме се врши избор излазног прореза монохроматора и самим тим опредељује за врсту мерења (мерење параметара извора - зрачења, односно спектралне осетљивости детектора или спектралне пропустљивости филтера), избор рада са или без помоћног детектора, избор аутоматске или мануелне измене објекта мерења, као и избор начина и задавање параметара за скенирање спектра.

Другу групу чине функције за израчунавање улазних управљачких података, односно формирање матрице таласних дужина на основу задатих улазних параметара (почетна и крајња таласна дужина, ширина корака скенирања). На основу ових података, као и калибрације монохроматора по таласној дужини која се такође уноси кроз интерактивну комуникацију са уређајем, у следећем кораку се врши израчунавање броја корака степ мотора који покрећу дифракционе решетке. На основу података о заузетој таласној дужини врши се и избор одговарајућег филтера за елиминисање виших хармоника таласне дужине.

Трећу групу представљају управљачке функције којима се шаљу команде покретним деловима система и уједно врши контрола њиховог рада, односно провера њиховог статуса чиме се омогућава извршавање наредних функција док је неки од делова система још у покрету. Ово се обавља у оквиру посебног подпрограма који је јединствен за све покретне делове система.

У оквиру четврте групе налазе се функције за управљање радом програмабилних мерних инструмената (диг-

италних волтметара) као и аквизицију, обраду и презентацију резултата мерења. Ово подразумева мерење струје мрака при затвореном "схуттер-у" као и симултано мерење сигнала са помоћног и главног детектора. Такође постоји могућност задавања кашњења које бира корисник, а које омогућава да мерно појачавачки део система заузме одговарајући опсег и стабилизује показивање. Такође је омогућено кориснику да задаје број читавања инструмента, обзиром да је свако читавање, у ствари, средња вредност из задатог броја појединачних читавања инструмента. Систем врши обраду резултата мерења у смислу уношења корекција и одређивања односа мерених сигнала (код система спектралних поређења) и приказује резултате у виду матрице са дигиталним исказивањем као и у виду графика по таласним дужинама. Сви резултати мерења се поред исказивања на предњем панелу виртуелног инструмента (интерактивни кориснички интерфејс), смештају и у посебан фајл у Excel-у где је омогућена њихова даља анализа.

Изглед алгоритма по коме програм ради, у виду упрошћеног блок дијаграма дат је на примеру конфигурације система за мерење спектралне пропустљивости (слика 2.).

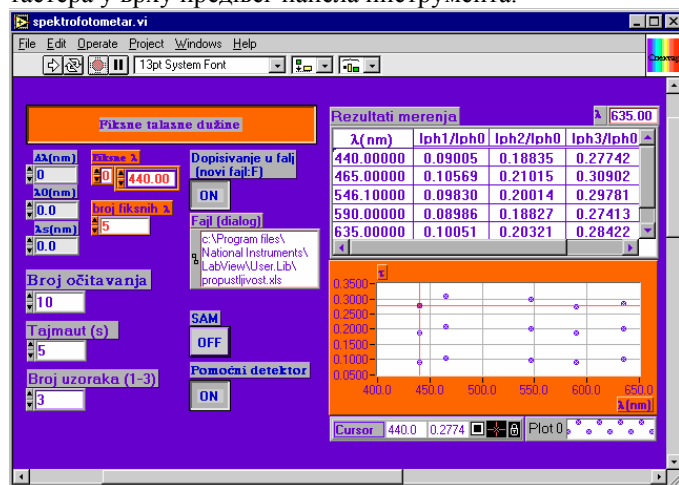


Слика 2 конфигурација система за мерење спектралне пропустљивости

Хијерархијском и модулрном организацијом виртуелног спектрофотометра обезбеђен је концепт модулрног програмирања [2], чиме је омогућено једноставно праћење рада засебних делова система и њихова оптимизација, на такав начин да се не ремети рад система у целини.

На слици 3. приказан је изглед предњег панела виртуелног спектрофотометра након завршеног једног циклуса мерења у конфигурацији за мерење на фиксним талас-

ним дужинама, што је и најчешћа врста еталонирања. Избор конфигурације (рад на фиксним таласним дужинама или скенирање спектра) се врши преко широког тастера у врху предњег панела инструмента.



Слика 3. Интерактивни кориснички интерфејс.

#### 4 ЗАКЉУЧАК

Основни задатак лабораторије за фотометрију и радиометрију, као примарне метролошке лабораторије, јесте реализација еталона и постављање метода за преносење вредности јединица величина оптичког зрачења са што је могуће мањом мерном несигурношћу. У том смислу треба сагледати и значај аутоматизације процеса мерења. Наиме, из досадашњег искуства са аутоматизацијом неких једноставнијих мерења, као што су поређења еталона светлосне јачине и светлосног флукса, дошло се до закључака да тамо где су, пре извршене аутоматизације, мерења вршена пажљиво и уз велики број понављања, сама аутоматизација процеса мерења није непосредно довела до приметног побољшања у погледу мерне несигурности. Посредни ефекти, међутим, у смислу много лакшег и бржег рада, омогућили су учесницима у процесу мерења да много више пажње обрате на све параметре који утичу на само мерење и на његову

тачност, што је на посредан начин довело и до смањења мерне несигурности.

Коришћењем компаративних предности софтвера виртуалне инструментације у односу на стандардне начине програмирања, у случају примарног спектрофоторадиометријског система, омогућено је да се при постављању и реализацији метода контролише рад сваке појединачне функције и компоненте система и анализира њихов утицај на тачност система у целини. Са друге стране, омогућено је да у вршењу оперативних задатака систем постиже ефикасност као да се ради о компактном комерцијалном инструменту.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. Вукадин, В. Шкерковић, В. Зарубица, "Савремене тенденције у развоју метрологије оптичког зрачења", Конгрес метролога Југославије 2000, Нови Сад, 2000.
- [2] В. Дрндаревић, "Аквизиција мерних података помоћу персоналног рачунара", Институт за нуклеарне науке "Винча", Београд, 1999.
- [3] W. E. Schneider, "Automated Spectroradiometric Systems: Components and Applications", Test & Measurement World, May 1985.
- [4] R. Young, W. E. Schneider, "Instrumentation advances enhance spectroradiometers", Laser Focus World, May 1995.

**Abstract** - In the past few years, development and realisation of primary spectrophotometric system become the most important part of the activities in the Laboratory for Photometry and Radiometry of Federal Bureau of Measures and Precious Metals. In this paper, the efforts on automation of the spectrophotometric system based on the concept of the virtual instrument, is presented.

#### APPLICATION OF THE CONCEPT OF VIRTUAL INSTRUMENT IN THE REALIZATION OF PRIMARY SPECTROPHOTORADIOMETRIC SYSTEM

Vladan Škerović, Predrag Vukadin, Veljko Zarubica