

# Universal Control Unit for Registration of Electric Power Consumption From Small Substations

Angel Pachamanov, Dobromir Krastev, Vassil Zelengorov

Универсален контролер за управление и регистрация на електропотреблението от трансформаторен пост

Ангел Пачаманов, Добромир Кръстев, Васил Зеленгоров

## Summary

The control unit fulfills the function of first level controller's system for monitoring of electric power consumption of consumers. It combines the functions of an analyzer of electric power quality, regulator of power factor and a system for switching on the reserve supply.

## 1. Общи положения

Контролерът е предназначен за задоволяване на съвременните изисквания за рационално управление на електропотреблението от цехова подстанция (ЦП, трафопост), включващо измерване на основните параметри и определяне качеството на електрическата енергия, поддържане на предварително зададен дневен и нощен фактор на мощността, автоматично включване на резервно електрозахранване (АВР) на консуматори I категория.

Контролерът може да изпълнява и функциите на контролиран пост (КП) и първо йерархично ниво на диспечерска система (ДС), осъществявана по вътрешна телефонна мрежа на промишлено предприятие или енергиен обект [4]. ДС обикновено се състои от 4 до 16 контролирани поста, разположени в основните енергообекти на потребителя на електроенергия, свързани с пункт за управление (ПУ) на енергийното стопанство. Линиите за връзка са усукани двойки от обикновен телефонен кабел, който обикновено съществува до всеки енергиен обект. Двустранна връзка между ПУ и КП се осъществява чрез специални адаптери тип "токов кръг" АТК1 и АТК2 [3]. АТК1 се свързва към серийния интерфейс RS232 на компютъра в ПУ и изпълнява функциите на концентратор, а АТК2 - към серийните интерфейси (SCI) на микроконтролерите в КП. Възможна е работа на контролера и в независим режим, при който настройките и снемането на информация се извършва с преносим компютър по стандартния сериен интерфейс RS232.

## 2. Апаратна част

Контролерът е изграден на модулен принцип, като всеки модул представлява самостоятелна платка. Платка "Процесор" съдържа микроконтролер MC68HC11A8 (Motorola), постоянна памет (EPROM 16 kB), оперативна памет (RAM 16 kB), часовник за реално време MC68HC68T1 (Motorola) и захранващ блок. Към тази платка, чрез платкови куплунги се включват платка "АТК2" и платка "PIA".

Връзката с периферните устройства е посредством блок с измервателни преобразуватели (БИП) и терминална платка (ТП). БИП преобразува токовете и напреженията на трите фази в подходящи сигнали за четене от аналого-цифровия преобразувател (АЦП) на микроконтролера. Изводи на микроконтролера и платка "PIA" се използват за управление на транзисторни ключове, разположени на ТП, както и за контрол на състоянието на релета и контактори. Транзисторните ключове управляват оптосимистори, свързани със симисторен блок за включване и изключване на контакторите

на кондензаторните батерии и бобините на прекъсвачите, участващи в схемата на АВР. На фиг.3 е показана схемата на външните връзки на контролера с периферните устройства.

Връзката между процесорната платка, БИП и ТП е с лентови кабели. Основното мрежово захранване 220V~ за контролера се подава откъм терминалната платка.

### 3. Програмно осигуряване

Програмното осигуряване (ПО) на контролера се дели на три части: ПО за обработка на сигналите, получавани от измервателните преобразуватели ( $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C$ ); ПО, обслужващо системата за АВР; ПО на регулатора за поддържане на фактора на мощността на ЦП чрез управление на КБ.

#### 3.1. Измерване на параметрите на доставяната електроенергия

а) измерването на величините  $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C$  се прави през 10 секунди като АЦП на микроконтролера се стартира през 1 ms за 3 периода на мрежовото напрежение. Едно измерване на величините се извършва за 128  $\mu$ s. Следва процедура за представяне на величините в ред на Фурие, като за избрания интервал на дискретизация (1 ms) напреженията и токовете се представят до девети хармоник включително. Активната мощност  $P$  на всяка фаза се получава чрез сумиране на активните мощности на отделните хармоници (от 0 до 9)  $P = \sum U_i \cdot I_i \cdot \cos \phi_i$ , а пълната мощност  $S = U \cdot I$  - като произведение на ефективните стойности на напрежението  $U = \text{SQRT}(\sum U_i^2)$  и тока  $I = \text{SQRT}(\sum I_i^2)$ . Тъй като в повечето случаи получените несинусоидални напрежение и ток не съдържат постоянна съставяща, ефективните им стойности се заменят с еквивалентни ефективни стойности на синусоидално напрежение и ток. Въвежда се еквивалентен ъгъл  $\phi_{\text{ЕКВ}}$ , между еквивалентните синусоидални напрежения и ток, такъв че активната мощност на еквивалентния синусоидален ток да бъде равна на активната мощност на несинусоидалния ток, т.е.  $\cos \phi_{\text{ЕКВ}} = P/S$ . Реактивната мощност се изчислява по формулата  $Q = P \cdot \text{tg} \phi_{\text{ЕКВ}}$  [2].

Същото се прави и за останалите две фази, като началният момент на отчитане на величините е този, който е и за фаза А. Алгоритъмът на изчисленията е даден на фиг.1.

б) получаването на 15-минутни средни стойности на величините  $P, Q$  и  $\cos \phi_{\text{ЕКВ}}$  става от три масива по 90 текущо запомнени стойности. От тези масиви през 10 секунди се изчисляват средни стойности, като всяко ново измерване транслира останалите (най-старото се губи). По текущата средна стойност на  $\cos \phi_{\text{ЕКВ}}$  се управлява броят на включените кондензаторни батерии, а по текущите средни стойности на  $P$  и  $Q$  се формират импулси към броячни изходи с честота от 2 до 0.02 Hz (за товар от 100% до 1%) за отчитане на консумираната енергия по тарифи. Първоначалното зареждане на масивите е с първите измерени стойности, като в следващите 15 минути същите изцяло се обновяват. На всеки 15 минути средните стойности на  $P, Q$  и  $\cos \phi_{\text{ЕКВ}}$  се запомнят в масив, организиран в енергонезависима памет.

в) определяне на показателите на качеството на напрежението  
Коефициент на несинусоидалност на напрежението на шините:

$$k_{\text{нсU}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_1} 100, \% ,$$

където  $U_v$  е стойността на  $v$ -тия хармоник на напрежението, а  $U_1$  - на първия хармоник.

Аналогично се изчислява коефициент на несинусоидалност на консумирания ток:

$$k_{\text{hcl}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n I_v^2}}{I_1} 100, \% , \text{ по който се съди за степента на "замърсяване" на мрежата с}$$

висши хармоници, вследствие на нелинейността на товара (при газоразрядни лампи има силно изразени 3 и 5 хармоник).

Отклонение на напрежението:

$$\delta U(t) = \frac{U(t) - U_H}{U_H} 100, \% ,$$

където  $U(t)$  е моментната стойност на напрежението, а  $U_H$  е номиналното напрежение на консуматора.

Средно отклонение на напрежението за период от време  $T$ :

$$\delta U_{\text{CP}} = \frac{100}{T} \int_t^{t+T} \frac{U(t) - U_H}{U_H} dt, \% .$$

Средно квадратично отклонение на напрежението:

$$\delta U_{\text{CPKB}}^2 = \frac{10000}{T} \int_t^{t+T} \left( \frac{U(t) - U_H}{U_H} \right)^2 dt, [\%]^2 , \text{ където } T \text{ най-често е 1 седмица.}$$

Вероятността отклонението на напрежението  $\delta U$  за периода  $T$  да бъде в интервал  $\delta U_1 < \delta U < \delta U_2$  може да се изчисли ако се приеме, че изменението на случайната величина  $\delta U$  се подчинява на нормалния закон:

$$P(dU_1 < dU < dU_2) = \Phi\left(\frac{dU_2 - dU_{\text{CP}}}{s}\right) - \Phi\left(\frac{dU_1 - dU_{\text{CP}}}{s}\right),$$

където  $s^2 = dU_{\text{CPKB}}^2 - dU_{\text{CP}}^2$ , а стойността на интеграла на вероятността

$$\Phi\left(\frac{dU - dU_{\text{CP}}}{s}\right) = \Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{t^2}{2}} .dt$$

се отчита от таблицата на функцията на стандартното нормално разпределение  $N(0,1)$  за  $u_i = (\delta U_i - \delta U_{\text{CP}}) / \sigma$  [1].

След определяне на времето, през което светлинните източници са работили на повишено напрежение, може да се изчисли намаляването на живота им, а това от своя страна позволява съобразяване на целесъобразността от подмяна на лампите преди да започне масовото им изгаряне.

Процедурата е заложена в програмното осигуряване на контролер, разработен за нуждите на тунелното осветление и във всеки седмичен отчет се дават часовете, с които е намален (при  $\delta U > 2,5\%$ ) или увеличен (при  $\delta U < -2,5\%$ ) животът на натриевите и луминесцентните лампи, монтирани в тунела.

### 3.2. Автоматично включване на резервно електрозахранване

Реализираният алгоритъм (фиг.2) е за автоматично включване на резервно електрозахранване (явен резерв) и осигурява наличие на напрежение на шините на секция, захранвана от два независими източника. При намаляване на напрежението на шините и отсъствие на късо съединение на шинната система (отпадане на напрежението  $U_1$  от основния източник MAIN1) АВР за минимално време възстановява захранването от резервния източник MAIN2. При завръщане на основното захранване се изчаква стабилизирането му и едва тогава АВР превключва консуматорите към него.

### 3.3. Поддържане на зададен фактор на мощността

Поддържането на фактора на мощността в предписаните граници води до намаляване на загубите от пренос на реактивна енергия, увеличаване на пропускателната способност на захранващата линия и трансформатора и подобряване на качеството на напрежението.

Поддържането на зададен фактор на мощността се извършва по параметър  $\cos\phi_{\text{ЕКВ}}$ , получен в резултат на Фуриеров анализ на трите напрежения и токове. Чрез сериен интерфейс RS232 от персонален компютър или от пункта за управление се задават желаните дневен и нощен  $\cos\phi$  (сервизна настройка 0.92 дневен, 0.68 нощен), както и времето за включване и изключване между две стъпки (сервизна настройка 1 минута).

При първото стартиране на регулатора се извършва инициализиране на системата (натиснат бутон "тест"). В този режим автоматично се извършва:

- ◆ определяне на схемата на свързване на КБ в ККУ (1:1:1:1; 1:2:2:2; 1:2:4:4; 1:2:4:8) и минималната кондензаторна мощност;
- ◆ определяне на необходимата чувствителност на регулатора чрез коефициента  $C/k$ . Последният се определя от минималната мощност на кондензаторна батерия (КБ) в степен (например  $Q_k=10 \text{ kVAr}$ ) и коефициента на трансформация "k" на токовете трансформатори:  $C/k < 0,62 \cdot Q_k / (1,73 \cdot U \cdot k)$ . Правилно определеният коефициент  $C/k$  предотвратява възможността за непрекъснато включване и изключване на една степен на КБ;
- ◆ определяне на алгоритъм за последователността на превключване на КБ с оглед минимален брой комутации (линеен или кръгов режим) съобразно схемата на свързване на КБ (1:1:1:1; 1:2:2:2; 1:2:4:4; 1:2:4:8). Избраният алгоритъм отговаря на оптимизиран брой комутации за поддържане на зададения  $\cos\phi$  с наличните КБ.

Освен казаното по-горе, контролерът има следните допълнителни възможности:

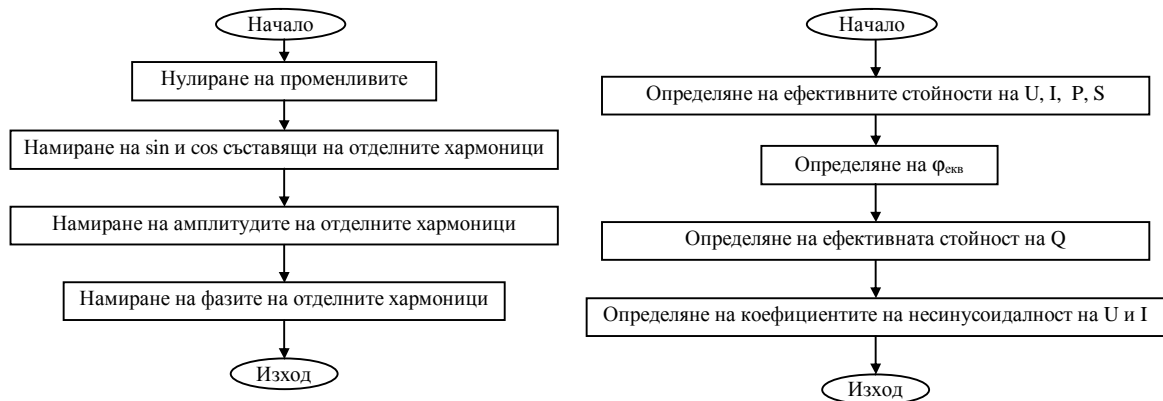
- ◆ осигуряване на енергонезависимо запамятане на работните параметри и алгоритми за управление на контакторите в зависимост от схемата на свързване на КБ;
- ◆ форсирано изключване на степени през 10 секунди ако се отдава капацитивната енергия (капацитивен  $\cos\phi$ );
- ◆ наличие на сигнализация ако се отдава капацитивната енергия (капацитивен  $\cos\phi$ ) за повече от 1 минута при всички изключени стъпала на КБ. Това означава залепнал контактор и необходим ремонт;
- ◆ запомняне на поддържания  $\cos\phi$  в продължение на един ден. Ако при пикови натоварвания  $\cos\phi$  е бил нисък (поради недостиг на КБ) през следващите часове се поддържа по-висок  $\cos\phi$  за компенсация;
- ◆ осигуряване на автоматично самостартиране след отпадане на захранването като включването на степените започва 1 минута след подаване на захранването.

## 4. Приложение

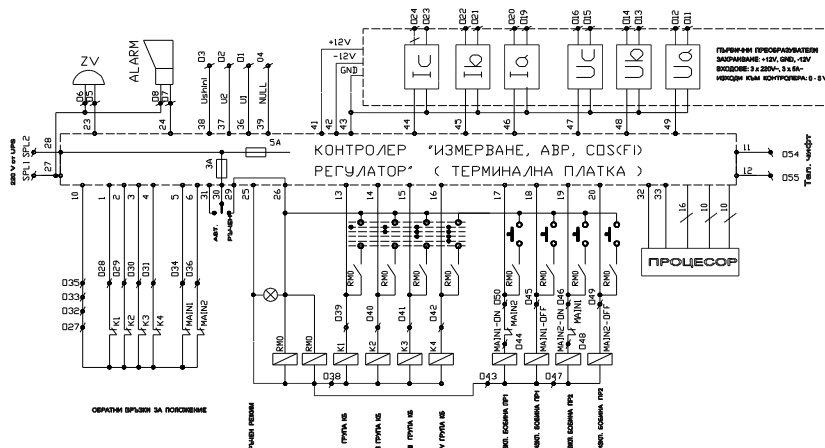
Конкретно приложение на контролера е разработено за нуждите на осветителна уредба на пътен тунел. Визуализацията в ПУ на описаните по-горе функции по измерване, контрол и управление на КБ могат да се видят на фиг.4, а на фиг.5 е показана схема, по която чрез два контролера, разположени на разстояние 1 км (две еднотрансформаторни подстанции в двата края на тунела) се осъществява резервиране на дежурното осветление. Осветителите от дежурното осветление на всяка тръба се превключват чрез АВР към срещуположния трафопост, ако същият има напрежение.

Автоматичното включване на резервно захранване, осъществявано в тази схема, не е типичният АВР, използван за резервиране на консуматор чрез "явен резерв" в един

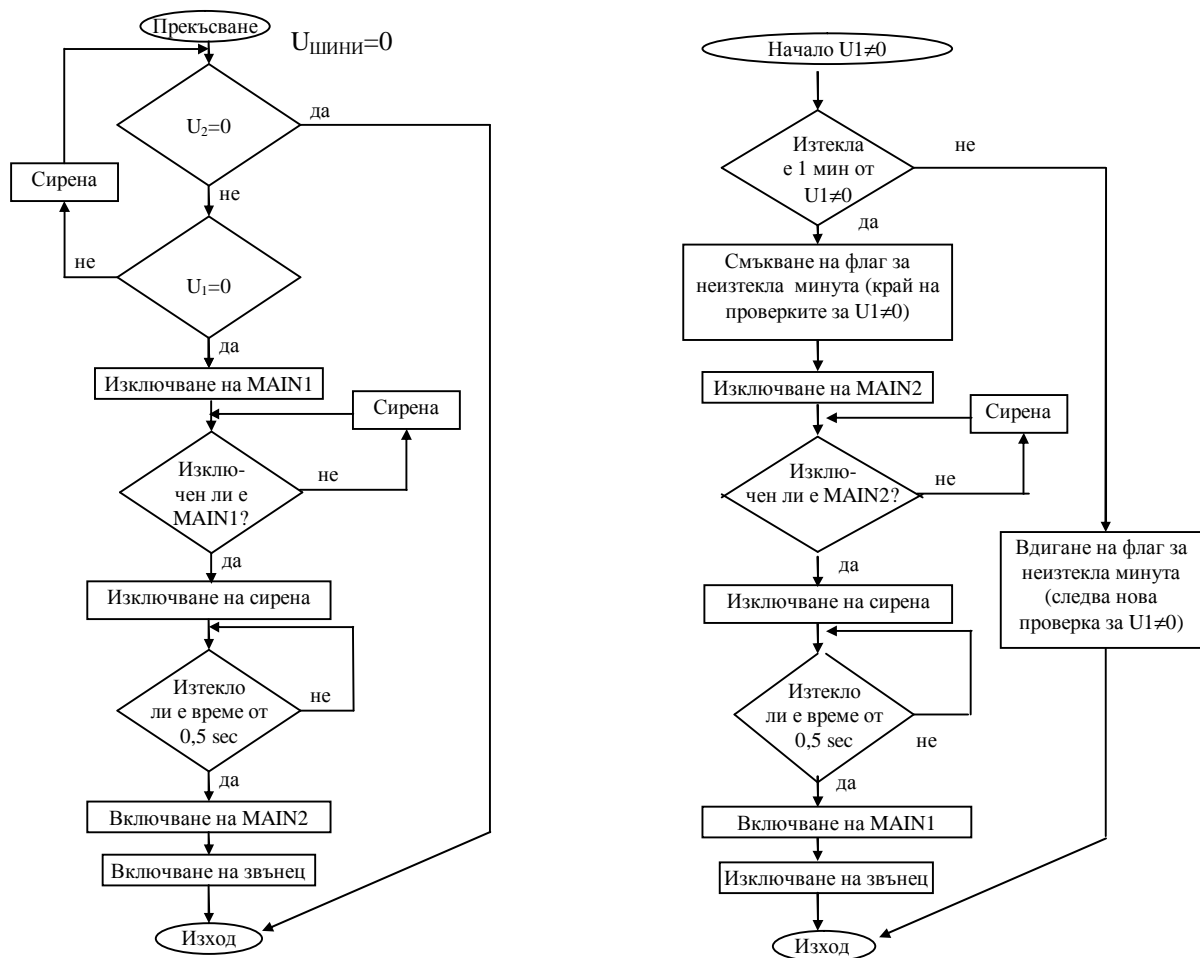
двухтрансформаторен трафопост. Блокировките между комутационните апарати се осъществяват на базата на телесигнализационни съобщения, които КП2 и КП6 взаимно си предоставят чрез ПУ (телемеханична връзка между обекти и пункт за управление). Възможен е вариант на осъществяване на АВР чрез блокировки по контролен кабел 10x1,5 между двете подстанции по алгоритъма от фиг.2 (схема на дистанционно управление). Схемата обаче е по-неудобна за настройечни работи, връзките по-сложни, а изпълнението - значително по-скъпо.



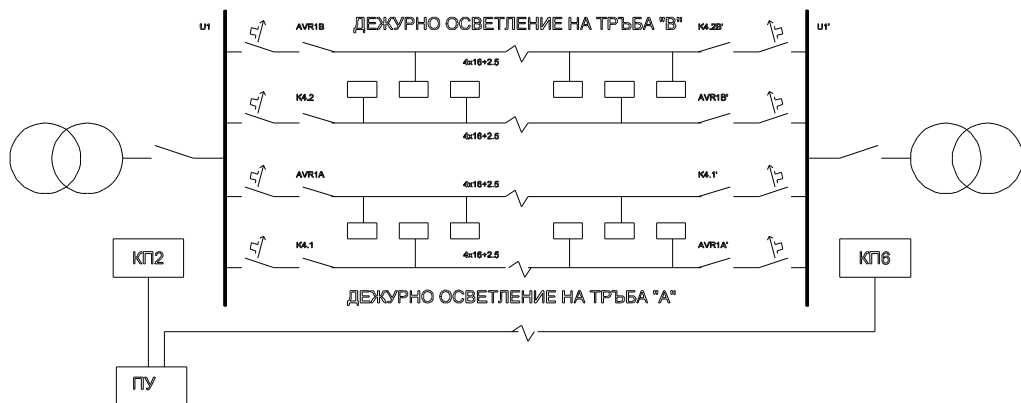
Фиг.2. Подпрограми за обработка по Фурие на измерените стойности на напреженията и токовете и определяне на производните величини



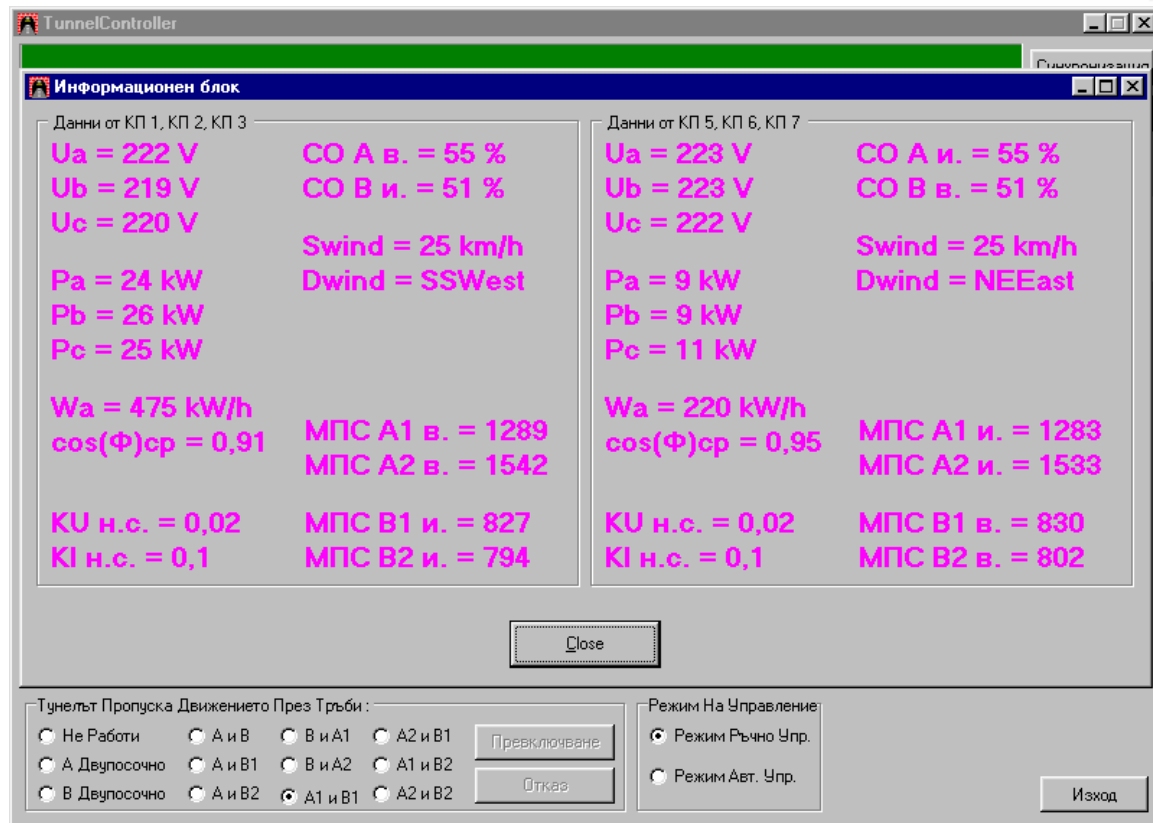
ФИГ. 3. БЛОКОВА СХЕМА НА КОНТРОЛЕРА И ВРЪЗКИ С "ВЪНШНИЯ СВЪТЪТ"



Фиг.3. Подпрограми за обслужване на AVR по маскируемо прекъсване IRQ и връщане към основното захранване



ФИГ.5. СХЕМА НА AVR ЗА ОСВЕТЛЕНИЕТО НА ПЪТЕН ТУНЕЛ



Фиг.5. Разпечатка на екрана на компютъра в ПУ при използване на контролера като периферен пост на диспечерска система “ЕСОТТ” на пътен тунел

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фелър У. Увод в теория на вероятностите и нейните приложения. I част, превод от английски. Наука и изкуство, София, 1986
2. Бессонов Л.А. Теоретически основи електротехники. Высшая школа, Москва, 1973
3. Пачаманов А.С. Метод и устройство за обмен на информация между пункт за управление и подчинени станции към енергообекти. Известия на ТУ-София, под печат
4. Пачаманов А.С. и к-в. Информационно-управляваща система на осветителната уредба, сигнализацията и електрозахранването на пътен тунел. “BALKAN-LIGHT’99”, 6-8 окт. 1999 г. Варна, България

---

## Автори:

1. доц. д-р инж. Ангел Пачаманов, ТУ - София, Email: [pach@vmei.acad.bg](mailto:pach@vmei.acad.bg), тел. 88-43-51 (380)
  2. инж. Добромир Кръстев, дипломант’99, Технически университет - София
  3. инж. Васил Зеленгоров, дипломант’99, Технически университет - София
-

## КОЛОРИМЕТЪР ФОК-1

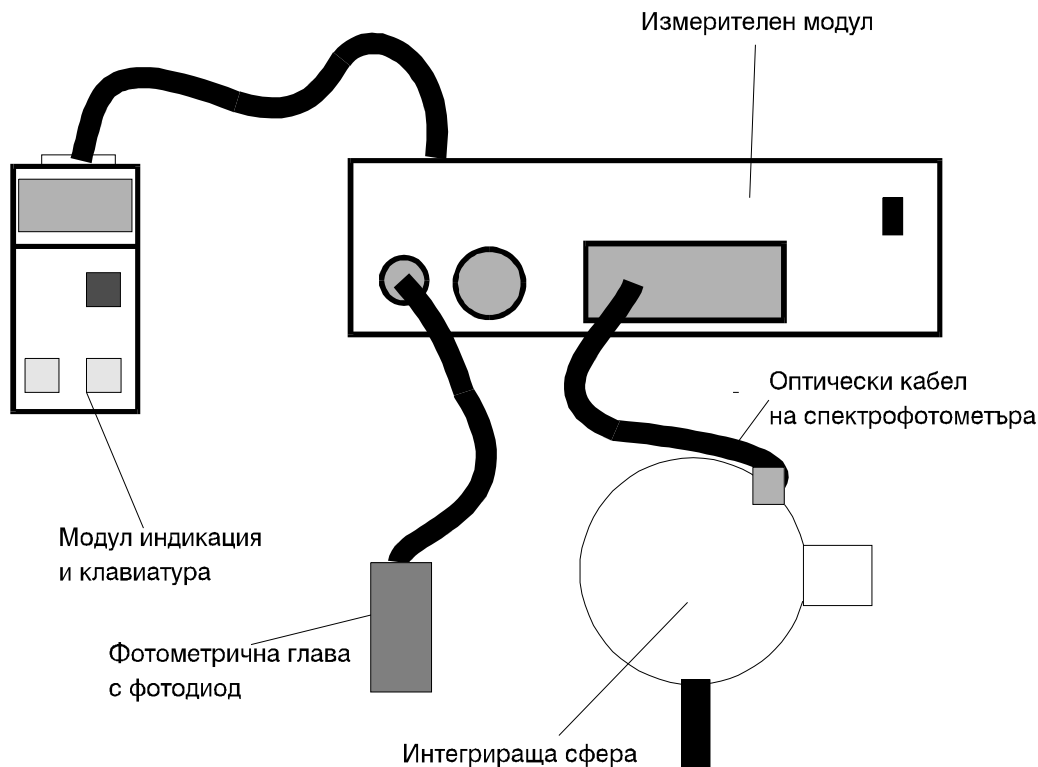
П. К. Станоев, И. Л. Стефанов,  
С. Шурулинков, Б. И. Ханджиева-Флориан

Ein kompaktes Spektrokolorimeter für Farbmessung von Leuchtstoffdioden (LED) zum Aufbau von Farblichtwänden wurde entwickelt. Die optische Strahlung von den gemessenen Lichtquellen tritt auf eine Ulbrichtsche Kugel ein, von wo sie über ein faseroptischen Kabel zu einem Spektralanalysator gebracht wird. Er bestimmt die Spektralverteilung der optischen Strahlung im Bereich 380-780 nm durch eine Zerlegung des Spektrums mit einem holografischen Beugungsgitter und seine Vermessung mit einem CCD-Detektor mit 2048 Elementen. Die Spektrumbearbeitung und Farbkoordinatenberechnung werden mittels einem eingebauten PC durchgeführt.

Завишените изисквания към ергономичността на осветлението и към качеството на възпроизвеждане на цветни изображения посредством светлинни екрани налагат приложението на измерителни прибори за определяне характеристиките на цвета на използваните светлинни източници. Това предизвиква създаването на компактен, преносим спектрален колориметър за измерване цвета на светлинни източници.

Създаденият от нас колориметър ФОК-1 е предназначен за измерване цвета на светодиоди (LED), но с успех може да се използва и за измерване цвета на източници на оптично лъчение от всякакъв тип.

Това е спектрален прибор, чийто принцип на работа се базира на спектрофотометричен метод за определяне цвета на източници на оптично лъчение. Принципната блок схема на колориметъра е показана на фиг.1.

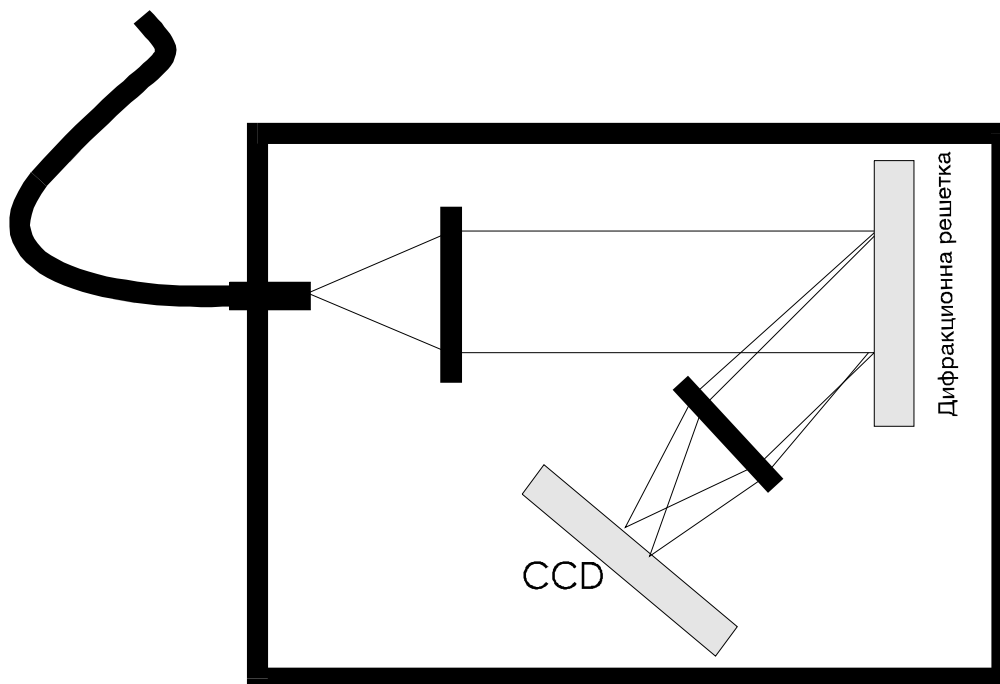


Фиг.1



Той се състои от измерителен модул, интегрираща сфера, оптически кабел, модул за индикация и клавиатура и модул за измерване на относителен интензитет на светлина. Към измерителния модул е добавен вход BNC за включване на фотометрична глава със силициев фотодиод за директно измерване на относителния интензитет на светлина на светодиоди.

Спектрофотометричният метод се основава на измерване на относителното спектрално разпределение на мощността на източника на лъчение  $S(\lambda)$ . Оптичното лъчение от измервания светодиод се насочва в интегрираща сфера с бяло вътрешно покритие от бариев сулфат, имитиращо идеално матова разсейваща повърхност. Посредством оптично влакно с дебелина  $100\text{ }\mu\text{m}$ , лъчението се подвежда към спектрофотометър. Измерването се извършва във видимата част на спектъра с портативен спектрофотометър и микропроцесорен модул. Оптичната схема на спектрофотометъра е дадена на фиг.2.



Фиг.2

Спектрофотометърът се състои от сферична оптика, холографска дифракционна решетка с работен спектрален диапазон  $380\text{-}780\text{nm}$ , входен процеп  $100\text{ }\mu\text{m}$  и CCD матрица за регистрация на спектъра. CCD матрицата се състои от 2048 пиксела с размер  $14 \times 200\text{ }\mu\text{m}$ . Линеината дисперсия на целия спектрофотометър е  $0.27\text{nm}$  на пиксел. Аналоговият сигнал от CCD постъпва на входа на 12 битов аналогоцифров преобразовател и оцифрваният сигнал представлява спектъра на излъчване на светлинния източник  $S(\lambda)$ .

За измерване на относителния интензитет на светлина на светлинни източници се използва силициев фотодиод, поставен в специално разработена фотометрична глава. Тази глава осигурява постоянна геометрия, позволяваща измерване на относителния интензитет на светлина на различни светодиоди. Конструкцията на главата осигурява разстояние между фотодиода и светодиода  $85\text{mm}$  и входен отвор с диаметър  $5\text{mm}$ . Модулът има четири обхвата на работа за покриване на необходимия широк измерителен диапазон. Поради необходимостта да се измерват светлинни източници с тесен спектрален диапазон на излъчване (светодиоди) използваният фотодиод е без корекция по  $V_1$ . При необходимост от измерване на абсолютния интензитет на светлина е необходима следната методика за калибриране на фотометричната глава:

1.Използва се светодиод със спектрален състав на излъчването много близък до спектралния състав на източниците, които ще бъдат измервани и с интензитет не по-малък от 300 mcd. Абсолютният интензитет на светлината на този светодиод се измерва с помощта на интегриращата сфера -  $I_0$ , в cd.

2.С фотометричната глава се измерва относителния интензитет на светлина на същия светодиод – I, в au.

3.Определя се калибрационен коефициент **K** за съответния спектрален диапазон:

$$K = \frac{I_0}{I} \text{ cd/au}$$

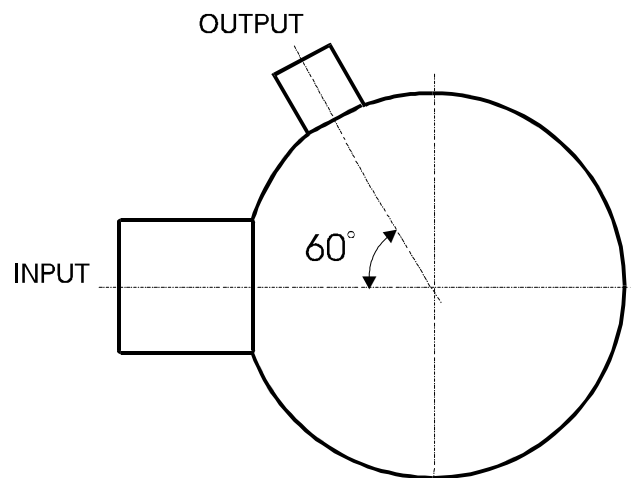
4.Привеждане на измерения относителен интензитет  $I'$  на светлинен източник от серията в абсолютни единици  $I'_0$  става по формулата:

$$I'_0 = K \cdot I'$$

Измерителната, интегрираща сфера с активен, вътрешен диаметър от 50 mm е с входен отвор с диаметър 18мм, предназначен за поставяне на измерваните светодиоди фиг.3.

Бялото, вътрешно покритие на интегриращата сфера е от бариев сулфат, което имитира матова, разсейваща повърхност и е почти един идеален дифузен отражател. То притежава оптична повърхност, която в областта от 380-780nm отразява с повече от 95% - средно с 97- 98%.

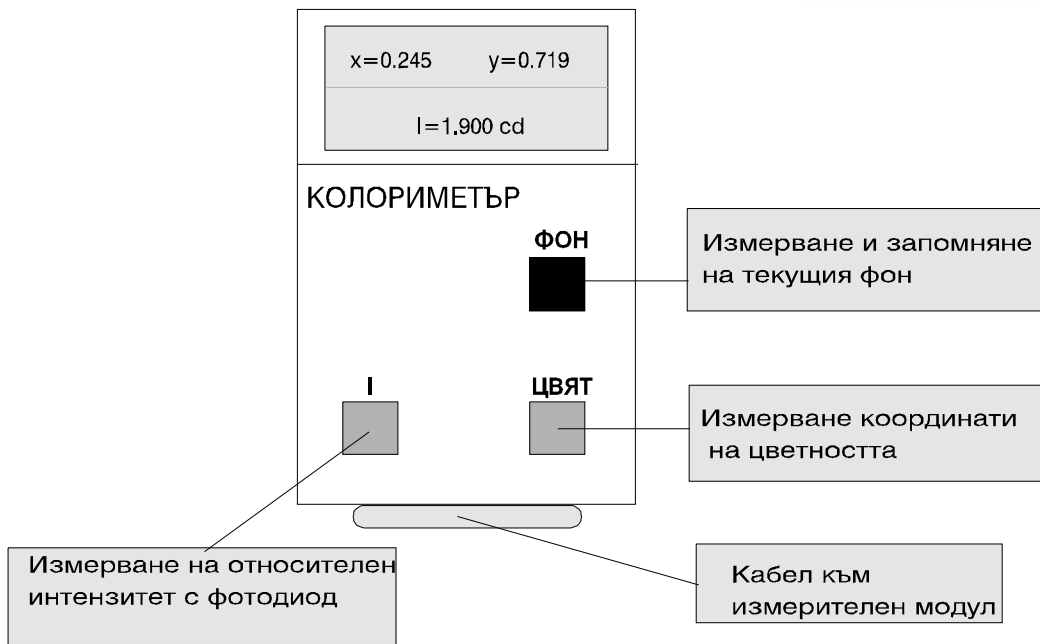
Оптичният сигнал от сферата се приема от оптичен кабел закрепен на специален куплонг. На фиг. 3 е показана принципна схема - сечение на интегриращата сфера.



Фиг.3.

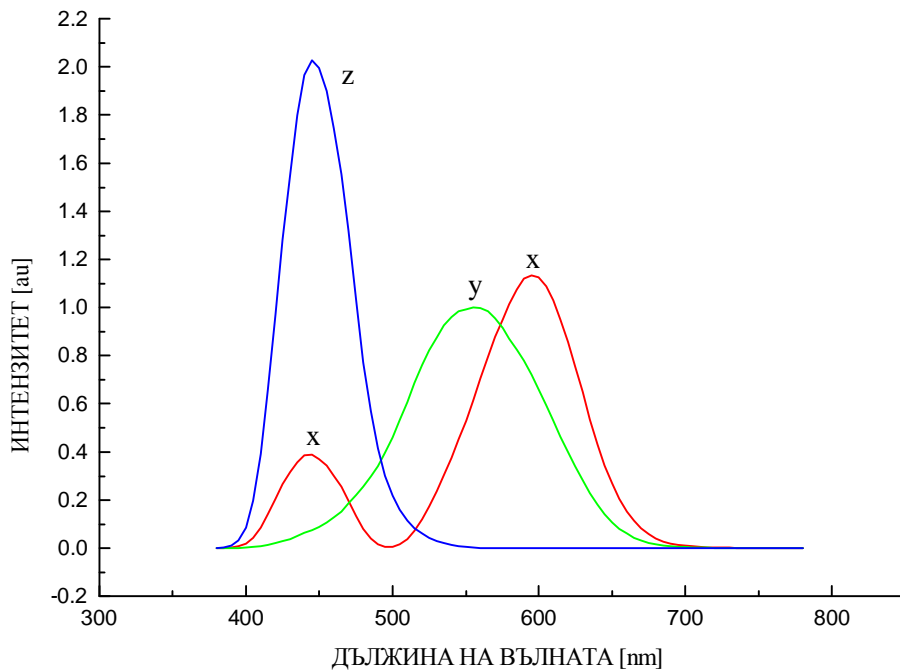
Схемата на модула за индикация и клавиатура е дадена на фиг.4. Индикацията е двуредна LCD индикация с 16 символа на ред. На нея се показват резултатите от съответните измервания на координатите на цветността, интензитета на светлината или относителния интензитет измерен с фотодиод.. Посредством три клавиша се избира необходимия режим на работа:

- “ФОН” -измерване на фон.
- “ЦВЯТ” - измерване координати на цветността и интензитета на светлината
- “I” - измерване на относителен интензитет светлина



Фиг.4

Обработката на измерения спектър на излъчване  $S(\lambda)$  и определяне координатите на цветността се извършва по методиката, дадена в БДС 8.822-81. Спектърът на светодиода се умножава с дадените по стандарт спектрални координати  $\bar{x}(I), \bar{y}(I), \bar{z}(I)$  (Фиг.5), приети от МКО 1931г.



Фиг.5

Резултантните спектри се интегрират в спектралния диапазон 380-780nm и получените стойности от това интегриране представляват координатите на цвета:

$$X = \int S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = \int S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Z = \int S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda$$

Координатите на цветността се изчисляват въз основа на получените координати на цвета от зависимостите:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Проведено е калибриране на колориметъра за измерване координатите на цветност. Калибрирането по дължина на вълната е извършено като за всеки пиксел от CCD матрицата се измерва интензитета на светлината на точно определена дължина на вълната в спектралния диапазон 380-780 nm. Определяне съответствието между номер на пиксела и дължина на вълната се извършва със спектрални живачна и неонва лампи с известен дискретен спектър.

Поради различните спектрални свойства на отделните компоненти, изграждащи спектрофотометъра е необходима корекция на спектралната му чувствителност по дължина на вълната. За целта е използван еталонен светлинен източник с известно спектрално разпределение на интензитета на излъчване.

За проверка точността на измерване координатите на цветността са използвани еталонни лампи с известни координати на цветност.

Създаденият прибор ФОК-1 е компактен спектроколориметър с влакнестооптичен вход, базиран на стандартен персонален компютър. С негова помощ се измерват координатите на цветността на светлинни източници с грешка по-малка от  $\pm 0.001$ . Допълнителна възможност на колориметъра е измерване на относителния интензитет на светлина на светодиоди в обхвата от 0.001cd до 1000cd с грешка по-малка от  $\pm 3\%$ .

Колориметърът ФОК-1 се използва за измерване характеристиките на светодиоди при цветна настройка на рекламни светлинни екрани. Той може с успех да се използва за измерване характеристиките на цвета и на други видове източници на оптично лъчение с непрекъснат спектър.

Автори:

1. Пламен Станоев, СД "Олис" - София, тел./факс (02) 22 11 13

2. д-р гл.ас. Иван Стефанов, Физически факултет, СУ"Св.Св. Климент Охридски", тел. (02) 62 56 775, факс (02) 68 89 13, E-mail [lambrev@phys.uni-sofia.bg](mailto:lambrev@phys.uni-sofia.bg).

3. Станислав Шурулинков, ЦЛЗОИ при БАН, тел (02) 71 00 18.

4. д-р инж. Божана Ханджиева- Флориан, СД "Олис" - София, тел./факс (02) 22 11 13, E-mail [florian@pc-link.net](mailto:florian@pc-link.net).

Адрес за кореспонденция:

София

бул. "Джеймс Баучер" 5

Физически факултет

СУ"Св.Св. Климент Охридски"

Иван Стефанов