

Малки двуканални фотометри по проекти “Активен” и “АПЕКС”

Бойчо Бойчев

Институт за космически изследвания, БАН

В Централната лаборатория за космически изследвания, Института за космически изследвания и Централната лаборатория за слънчево-земни въздействия при Българската академия на науките са разработени редица спектрометрични системи за видимия, ултравиолетовия и инфрачервения диапазон за измерване на слаби оптични емисии в йоносферата [1 и др]. Тези емисии са следствие от явления, протичащи в авроралната област, предизвикани от изсипването на потоци заредени частици по време на магнитни бури, генериране и дисипация на електромагнитни вълни, модифициране на основните параметри на средата и в резултат интензи-фициране на естествените оптични емисии. Всички тези процеси на преобразуване на енергия водят до йоносферни и магнитосферни смущения в широк спектър на електромагнитните вълни.

В последно време за изучаване на сложните физически процеси, протичащи в йоносферно-магнитосферната плазма, се провеждат и експерименти, включващи активни въздействия върху околната плазма от борда на космически апарати, каквито бяха проведени по проектите “Активен” и “АПЕКС” [2].

В частност измерването на слабите оптични емисии, предизвикани от това въздействие, синхронно с измерванията в други области на електромагнитния спектър, са необходим елемент за изясняването на тези процеси.

Известни са значителен брой уреди, разработени за изследвания по горепосочения проблем, летели на различни космически обекти, по различно време и съответно на различно техническо ниво. Това са уредите ЕМО1 до ЕМО5 [3], Спектър 15 и 256 [4], Дъга 1 и 2 [5], СМП 32 [6], както и прибор ФС [7] за проект “АПЕКС”. Всички тези уреди са спектрометрични апарати, чрез които се измерват оптични емисии основно във видимия и близкия ИЧ диапазон, в няколко спектрални области. Те са фиксирани в зависимост от възприетата оптична схема чрез много на брой механично превключваеми интерференчни сфетофилтри – монохроматори, и един фотоприемник – обикновено ФЕУ, или чрез използването на дифракционна решетка – полихроматор и разнесени в пространството фотоприемници, понякога един координатно чувствителен приемник - ССД линия.

В общия случай в тези уреди е постигната пределна чувствителност, точност и достатъчна спектрална разделителна способност за сметка на значителни габарити, маса и консумация на енергия. В уредите има и механика за управление на затвор и филтри, която е чувствителна към вибрации и ускорения. Към недостатъците можем да причислим и необходимостта от охлаждане на приемниците, както и високо захранващо електрическо напрежение, в случаите когато се използва фотоприемник ФЕУ. В някои от уредите не е решен въпросът с автокалибровка и контролиране на характеристиките по време на работа.

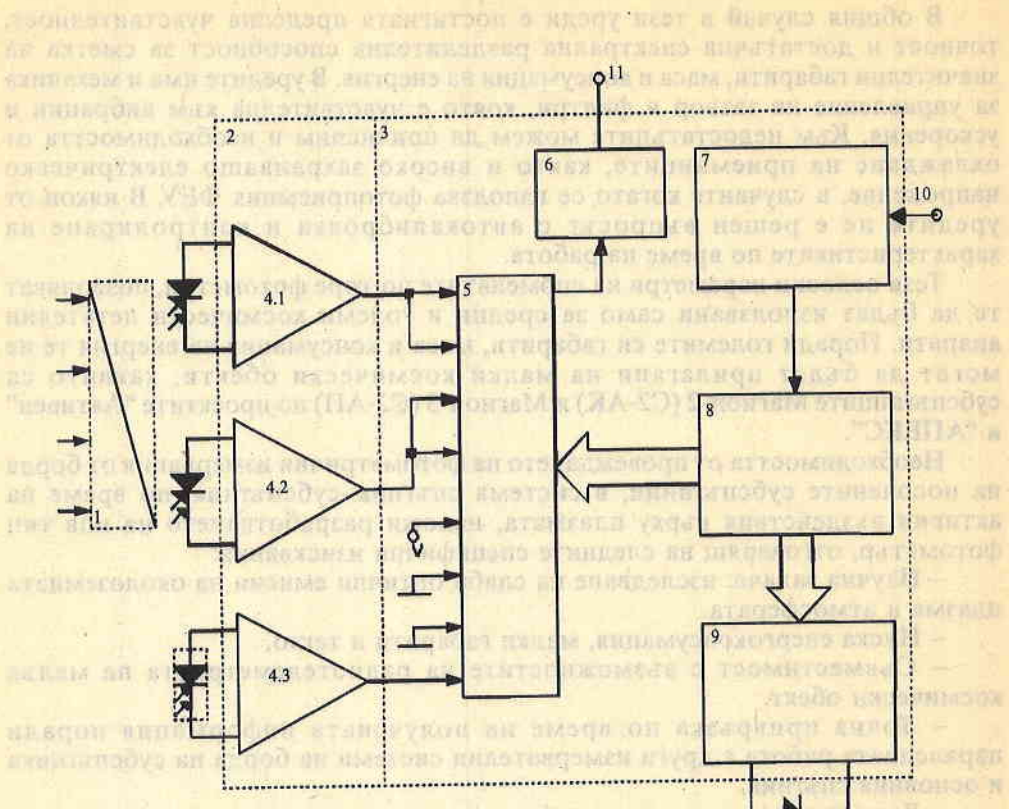
Тези основни параметри на споменатите по-горе фотометри, позволяват те да бъдат използвани само за средни и големи космически летателни апарати. Поради големите си габарити, маса и консумация на енергия те не могат да бъдат прилагани на малки космически обекти, каквито са субспътниците Магион-2 (С2-АК) и Магион-3 (С2-АП) по проектите "Активен" и "АПЕКС".

Необходимостта от провеждането на фотометрични измервания от борда на посочените субспътници, в система спътник-субспътник, по време на активни въздействия върху плазмата, наложи разработването на нов тип фотометър, отговарящ на следните специфични изисквания:

- Научна задача: изследване на слаби оптични емисии на околоземната плазма и атмосферата.
- Ниска енергоконсумация, малки габарити и тегло.
- Съвместимост с възможностите на радиотелеметрията на малък космически обект.
- Точна привръзка по време на получената информация поради паралелната работа с други измервателни системи на борда на субспътника и основния спътник.
- Достигане на достатъчна информативност и спектрална разделителна способност чрез измерване на някои характерни линии на емисия, в случая – 016300\AA и 015577\AA .
- Осигуряване на голям динамичен диапазон на измерване поради невъзможността за управление на прибора по време на работа.
- Оценка на достоверността на получаваната информация чрез периодична автокалибровка, оценка на радиационни въздействия върху детекторите и др.

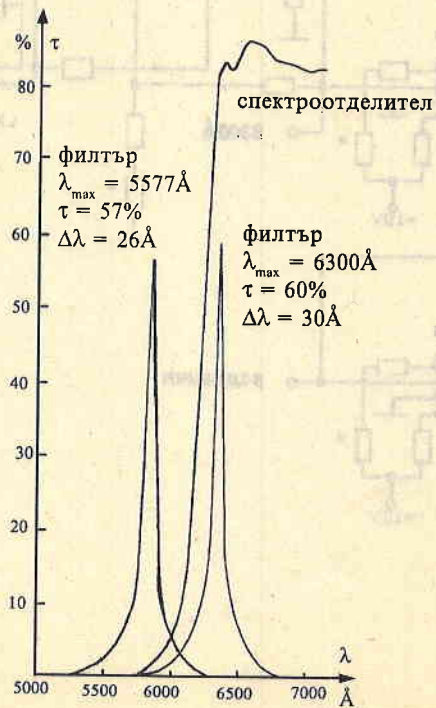
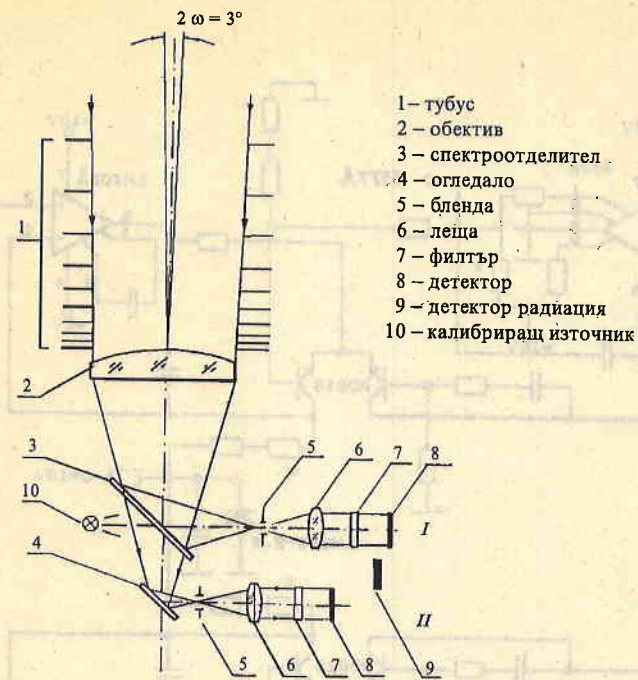
Разработеният на основата на горепосочените изисквания малък двуканален фотометър ФДС (фотометър двуканален субспътников) бе реализиран по блокова схема, показана на фиг. 1. Оптичната схема и някои параметри на използваните оптични елементи са показани на фиг. 2. На фиг. 3 е показана принципната електрическа схема на аналоговата част. В структурната схема на апаратурата са предвидени два канала за спектрални измервания и един канал за качествена оценка на радиационната обстановка, работещи паралелно. Получаваната информация се мултиплексира в 5 и по един аналогов телеметричен канал постъпва в телеметрията на космическия носител. Чрез блокове 7 и 8 получената информация се синхронизира с бордовото време, а също така чрез блок 9 – управляем генератор на ток и източник на светлина – светодиода, се осигурява синхронна периодична калибровка по време на работа.

Използваните фотоприемници във фотометъра са силициеви диоди с голяма площ. Фотоприемниците работят във фотодиоден режим при нулево напрежение върху тях $U_d = 0\text{ V}$ и еквивалентно товарно съпротивление

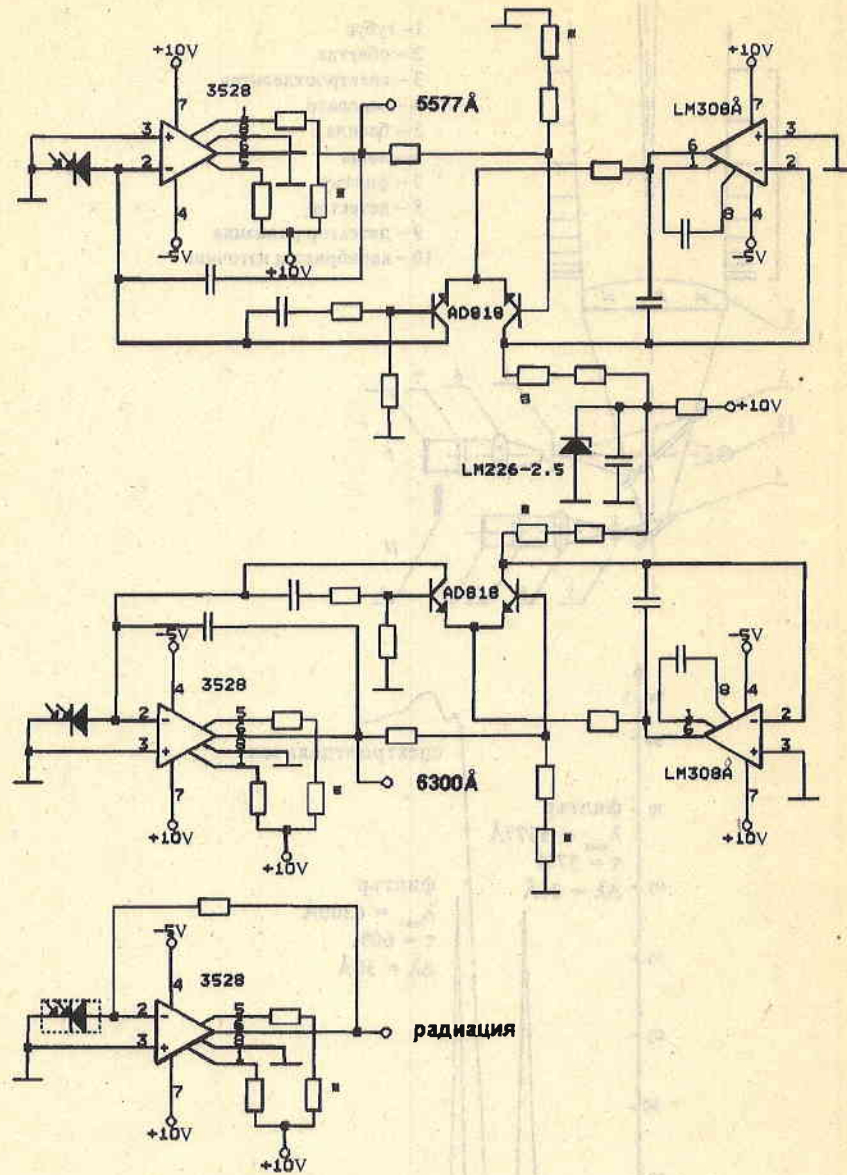


Фиг. 1. Структурна схема на фотометъра

- 1 – оптичка система
- 2 – аналогов блок
- 3 – цифров блок
- 4.1 – логаритмичен преобразувател ток–напрежение (канал 1)
- 4.2 – логаритмичен преобразувател ток–напрежение (канал 2)
- 4.3 – преобразувател ток–напрежение (канал 3)
- 5 – мултиплексер за (аналогови) данни
- 6 – буферен усилвател (изход към телеметрията)
- 7 – схема за синхронизация с бордовото време
- 8 – логическа схема, осигуряваща циклограмата на работа
- 9 – блок за синхронна калибровка
- 10 – вход за синхронизация сигнал DTEN
- 11 – изход към телеметрията на спътника



Фиг. 2. Оптичната схема и графики, илюстриращи спектралната ѝ пропускателна способност



Фиг. 3. Принципна схема на аналоговата част

$R_1 = 0 \Omega$. Този режим на работа осигурява нечувствителност спрямо околната температура, линейност и огромен динамичен диапазон на работа. Реализацията на режима се осъществява чрез преобразуватели ток – напрежение, които са разработени като логаритмични с цел разширяване на динамичния диапазон по отношение на постъпващия от фотоприемника ток, пропорционален на светлинния поток.

Използваните фотоприемници в прибора са SP103 [8] за ФДС1 и ВРУ12 [9] за ФДС2. При работа с преобразуватели ток – напрежение те осигуряват динамичен диапазон $D = 10^5$ при линейност в рамките на 1%. Промяната на детекторите доведе до повишаване на праговата чувствителност над 2 пъти.

Поради изключително строгите изисквания по отношение на енергоконсумацията и малкия входен ток не беше възможно използването на стандартни логаритмични преобразуватели като например 4127 [10], ICL8048 [11] и се наложи разработването на вдвоен логаритмичен преобразувател ток – напрежение на дискретни елементи, като основно внимание беше обърнато на понижаване на консумацията и на разширяване на динамичния му диапазон към малките токове. Той е построен на 2 броя операционни усилватели тип 3528 [10], опорен източник LM226/2,5 [12], логаритмични двойки транзистори AD818 [13] и допълнителни операционни усилватели LM308A [12]. Изходното напрежение на всеки от преобразувателите зависи от десетичния логаритъм на отношението на входния ток I_{in} (от детектора) към опорния I_{ref} .

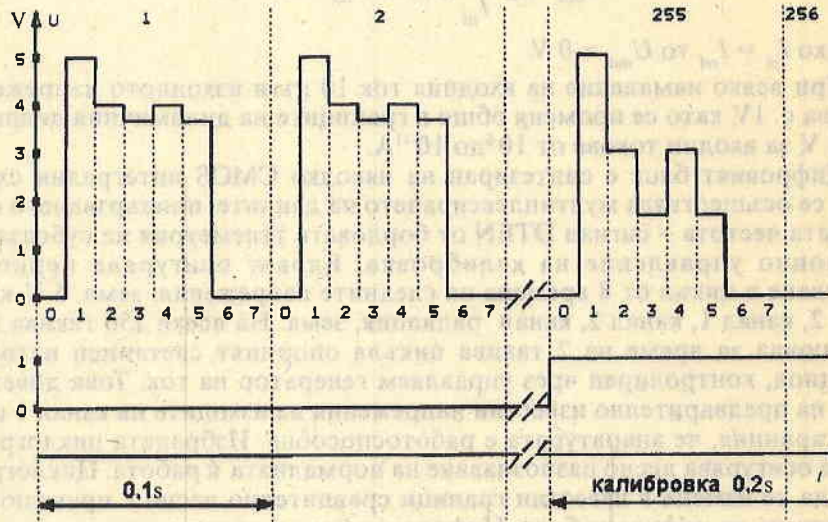
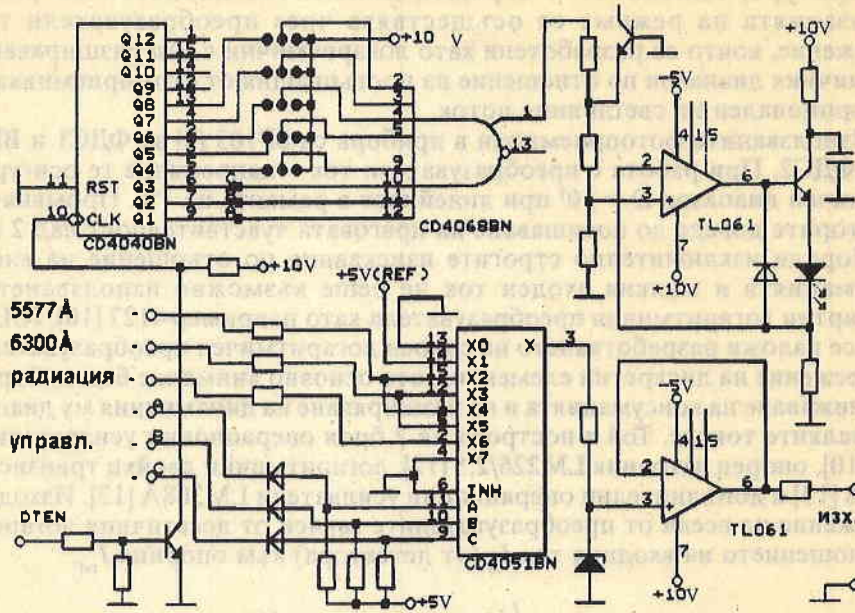
$$E_{out} = \lg \frac{I_{ref}}{I_{in}} [V], \quad I_{ref} = 10^{-6} \text{ A.}$$

Ако $I_{in} = I_{ref}$ то $U_{out} = 0 \text{ V}$.

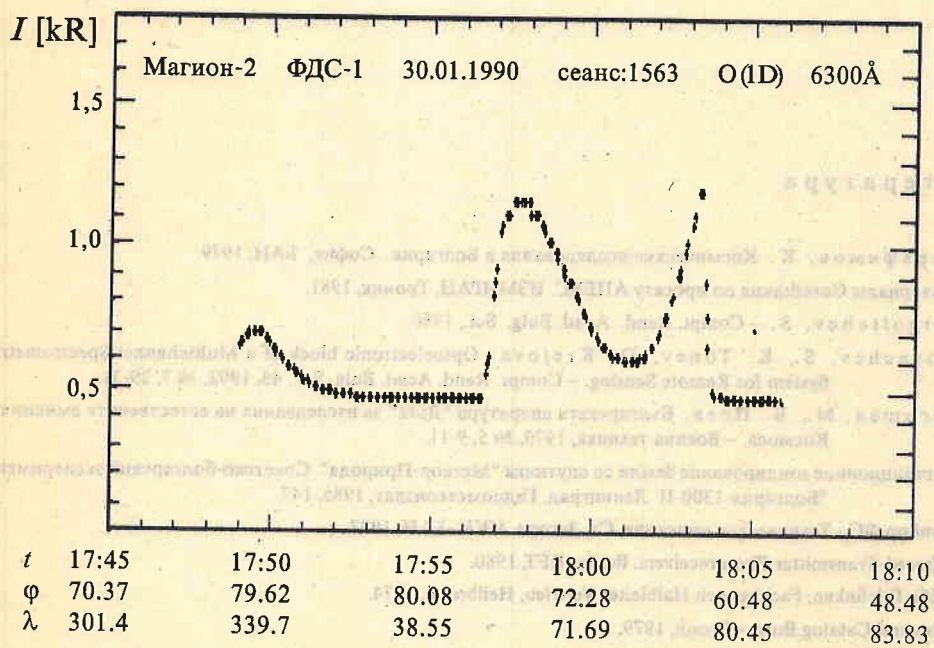
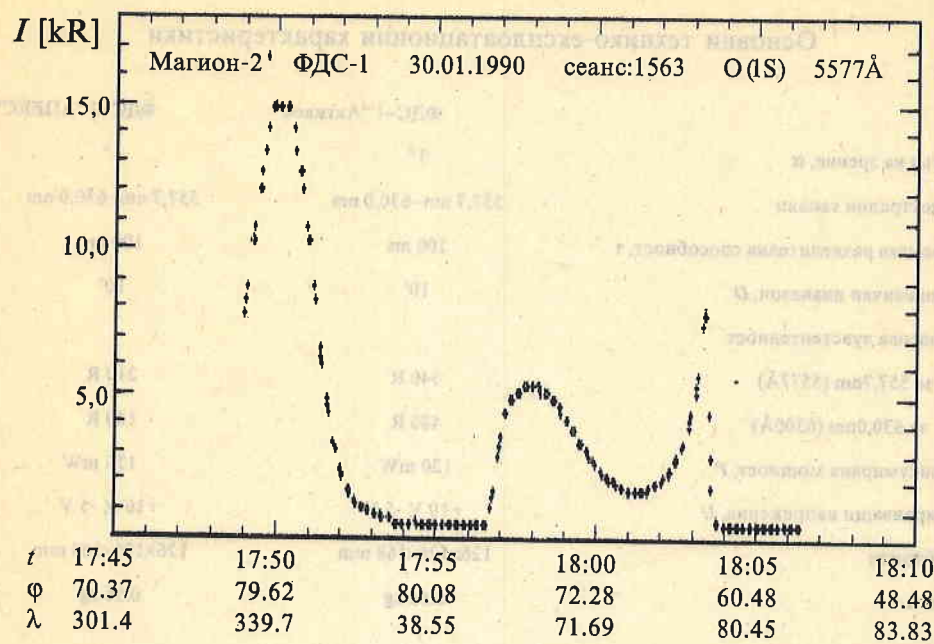
При всяко намаление на входния ток 10 пъти изходното напрежение се покачва с 1V, като се променя общо в границите на динамичния диапазон от 0 до 5 V, за входни токове от 10^{-6} до 10^{-11} A.

Цифровият блок е синтезиран на няколко CMOS интегрални схеми. В блока се осъществява мултиплексирането на данните, привързването им към входната честота – сигнал DTEN от бордовата телеметрия на субспътника и синхронно управление на калибровка. Блокът осигурява периодично включване в цикъл от 8 времена на следните напрежения: земя, 5 V, канал 1, канал 2, канал 1, канал 2, канал радиация, земя. На всеки 256 такива цикъла се включва за време на 2 такива цикъла опорният светлинен източник – светодиода, контролиран чрез управляем генератор на ток. Това довежда до поява на предварително известни напрежения на изходите на канал 1 и канал 2 и е гаранция, че апаратурата е работоспособна. Избраната циклограма на работа осигурява лесно разпознаване на нормалната ѝ работа. Циклограмата може да се изменя в известни граници сравнително лесно с превключвания на платката на цифровия блок. Цифровият блок и примерната циклограма на работата му са показани на фиг. 4.

Два варианта на малкия двуканален фотометър ФДС работиха и предадоха информация по време на провежданите експерименти по проекти "Активен" и "АПЕКС" от борда на субспътници Магион-2 (С2-АК) и Магион-3 (С2-АП), разработени в Геофизичния институт на Чехословашката академия на науките в Прага. И по двата експеримента програмата включваше синхронна работа на система спътник–субспътник, както и активни експерименти. По-долу са дадени основните характеристики на двата варианта на апаратурата. На фиг. 5 са показани няколко сеанса на приета информация.



Фиг. 4. Цифров блок и примерна циклограма на работата му



фиг. 5. Иллюстрация на приета информация при някои сеанси

Основни технико-експлоатационни характеристики

	ФДС-1 "Активен"	ФДС-2 "АПЕКС"
1. Ъгъл на зрение, α	3°	3°
2. Спектрални канали	557,7 nm–630,0 nm	557,7 nm–630,0 nm
3. Времева разделителна способност, τ	100 ms	100 ms
4. Динамичен диапазон, D	10 ⁵	10 ⁵
5. Прагова чувствителност		
за 557,7 nm (5577 Å)	540 R	210 R
за 630,0 nm (6300 Å)	480 R	180 R
6. Консумирана мощност, P	120 mW	120 mW
7. Захранващи напрежения, U	+10 V, -5 V	+10 V, -5 V
8. Габарити	126×126×168 mm	126×126×168 mm
9. Маса	0,56 kg	0,56 kg

Литература

1. Серафимов, К. Космически изследвания в България. София, БАН, 1979.
2. Материали Съвещания по проекту АПЕКС. ИЗМИРАН, Троицк, 1981.
3. Sargoitchev, S. – Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 1980.
4. Kovachev, S., K. Tonev, D. Krejova. Optoelectronic block of a Multichannel Spectrometric System for Remote Sensing. – Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 45, 1992, № 7, 29-31.
5. Гогошев, М., Б. Пеев. Българската апаратура "Дъга" за изследвания на естествените емисии от Космоса. – Военна техника, 1979, № 5, 9-11.
6. Дистанционно зондирование Земли со спутника "Метеор-Природа". Советско-българский эксперимент "България-1300-II. Ленинград, Гидрометеиздат, 1985. 147.
7. Прибор ФС - Техническое описание, Ст. Загора, ИКИ-БАН, 1987.
8. Infrared-Transmitter Photoreceivers. Berlin, RFT, 1980.
9. AEG-Telefunken, Fachbereich Halbleiter Vertrieb, Heilbronn, 1974.
10. General Catalog Burr - Brown, 1979.
11. INTERSIL Catalog. Intersil Datel GmbH, Munchen, 1988.
12. NATIONAL SEMICONDUCTOR Linear Databook. Santa Klara, 1978.
13. ANALOG DEVICES Data Acquisition Products Catalog, 1978.

Постъпила на 14. V. 1996

Small two-channel photometers under the "Aktiven" and "Apex" projects

Boycho Boytchev

(Summary)

The paper is devoted to the small two-channel photometers intended for the study of weak optical emissions of the around-the-earth plasma and atmosphere from board of space objects such as the subsatellites "Magion-2" (S2-AK) and "Magion-3" (S2-AP) under the "Aktiven" and "Apex" projects.

The specific technical and exploitation requirements to the photometers resulting from the peculiarities of the small space objects are formulated, their structural and optic scheme is briefly described, the most important elements of their electric circuit are considered, their major technical and exploitation characteristics are provided, and an illustration of the received information is shown.