

МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА УЛТРАВИОЛЕТОВИ СВЕТЛИННИ ПОТОЦИ С МНОГО НИСЪК ИНТЕНЗИТЕТ

Веселин Ташев¹, Венета Гинева¹, Ангел Манев¹, Георг Уит², Боян Киров¹

¹ -Институт за Космически и Слънчево-земни Изследвания (ИКСИ), Българска Академия на Науките, Филиал Стара Загора, ПК 73, 6000 Стара Загора, България;

² - Група по Атмосферна Физика при Филиала по Метеорология (MISU), Стокхолмски Университет, S 10691 Стокхолм, Швеция;

ABSTRACT

The measurement of weak light flows, especially in the ultraviolet range is related to solving many problems. The most important of these is the development or finding a factory sensor to convert light into electrical signals. This sensor should not only be extremely sensitive, but at the same time, this sensitivity must be located in the ultraviolet range. The device is manufactured with enhanced characteristics for operation in the severe conditions of the space environment. Its basic part is a photomultiplier tube R10825, as sensor for detection the ultraviolet radiation. When the light intensity becomes so low that the incident photons are separated as discrete output pulses obtained from the anode, this technique is known as the photon counting method. The number of output pulses is in direct proportion to the amount of incident light. The device is supplied by 28 V supply voltage whose source is a board battery.

1. Общи изисквания.

Измерването на слаби потоци светлина, особено в ултравиолетовия диапазон е свързано с решаването на много проблеми. Най-важния от тях е разработването или намирането на фабричен сензор за преобразуване на светлината в електрически сигнал. Този сензор трябва не само да е извънредно чувствителен, но в същото време тази чувствителност трябва да е разположена в ултравиолетовия диапазон. Внимателния подбор на подобен сензор е една много деликатна задача поради противоречивите изисквания към параметрите на прибора и високата му цена.

Един много важен и интересен поток от светлина с много нисък интензитет е пряката и разсеяна слънчева L_{α} радиация проникваща в мезосферата. За измерването и изследване на този поток се реализира проект “Поток на абсолютната L_{α} радиация (ASLAF – Attenuation of the Solar Lyman Alpha Flux)” като част от ракетния експеримент HotPay I на Ракетния Полигон в Андоя, Норвегия, по 6 Рамкова Програма. В рамките на този проект се осъществи разработка в ИКСИ-БАН, Филиал Стара Загора и Групата по Атмосферна Физика на Филиала по Метеорология на Университета в Стокхолм (MISU). Целта на тази разработка бе създаването на измервателен уред за слънчевата L_{α} радиация. Натрупания опит може да се използва за разработката на универсален уред за измерване и на други светлинни лъчения като Спектрофотометър за атомни емисии, VUV-UV Спектрофотометър, за детектиране на ултравиолетова светлина във вакуум и други.

2. Уред за измерване на светлинни потоци с много нисък интензитет.

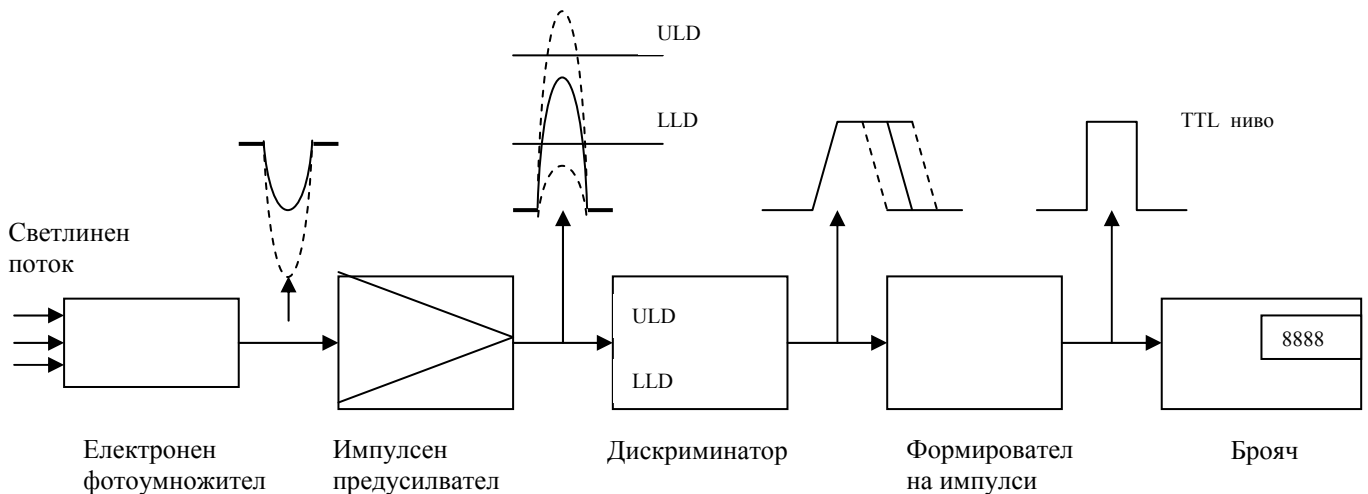
Уредът съдържа електронен фотоумножител (photomultiplier tube), който се използва като сензор за първично преобразуване на L_{α} радиацията в електричен сигнал и електронен усилвател за неговото усилване. Електронния фотоумножител (ФЕУ) е подбран със спектрална чувствителност в диапазона 121 nm, която съответства на слънчевата L_{α} радиация.

Електронните фотоумножители се използват за да превърнат светлинния поток в електрически сигнал – ток или напрежение. Когато светлинния поток е много слаб и върху катода падат единични фотони, в изхода на ФЕУ се получават импулси отдалечени един от

друг. Тогава падащото количество светлина е директно пропорционално на броя на импулсите получени в изхода на ФЕУ. Тази техника е известна като Метод на броене на фотони. (6)

Един от най-важните фактори, когато се използва метода за броене на фотони е квантовата ефективност (QE). Това е вероятността на количеството фотоелектрони, които ще бъдат емитирани, когато на фотокатода, попадне 1 фотон. При положение, че на фотокатода попадне един фотон, числото на емитираните първични фотоелектрони може да бъде само 1 или 0. Тогава квантовата ефективност се отнася за коефициента на средния брой на емитираните фотоелектрони от фотокатода за единица време, към средния брой фотони, попадащи върху фотокатода за същото време.

Амплитудата в изхода на електронния фотоумножител в режим на броене на фотони е извънредно малка. Това изисква усиването на изходния импулс да стане със специален усилвател – импулсен, с голямо усилване и нисък собствен шум. На фиг. 1 е показана блок-схемата за измерване на светлинни потоци с използване метода на броене на импулси.



Фиг. 1 Блок-схема на измерване на слаб светлинен поток по метода на броене на фотони.

В края на всеки блок на фиг. 1 са дадени сигналите, които се получават в изхода му. Тъй като сигнала от изхода на електронния фотоумножител е много слаб той трябва да се усили от импулсен предусилвател. Така усиления импулс се подава на Дискриминатор. Дискриминаторът сравнява входния импулс с две опорни напрежения и ги разпределя на две групи. Едната група импулси е с по-ниска, а другата с по-висока амплитуда от опорните напрежения. Импулсите с по-ниски амплитуди се елиминират от по-ниското референтно ниво на дискриминатора (LLD) и в повечето случаи импулсите с по-високи амплитуди се елиминират от по-високото референтно ниво на дискриминатора (ULD). Импулсите по-ниски от нивото (LLD) трябва да се отстранят, защото те са възникнали в резултат на шум. От компаратора намиращ се в изхода на Дискриминатора излизат импулси с ниво TTL. Тези импулси допълнително се преобразуват от Формирователя на импулси като правоъгълни за да бъдат правилно прочетени от брояча.

3. Изисквания към сензора за измерване на слаби светлинни потоци, използващ метода на брое на импулси.

3.1. Спектрален отклик и квантова ефективност.

Спектралния отклик на електронния фотоумножител трябва максимално да съответства на дължината на вълната на светлинния поток в случая 121.6 nm. Квантовата ефективност трябва да бъде максимално висока, особено при по-слабите сигнали.

3.2. Чувствителност на катодното излъчване.

Чувствителността на катодното излъчване влияе върху квантовата ефективност и затова тя трябва да е максимално висока.

3.3. Ефективност на събирането (СЕ).

Тази характеристика е много важна ако се използва метода на брое на фотони. Колкото величината е по-голяма това означава по-малка загуба на сигнал. Ефективност на събирането зависи от формата на фотокатода, диодната структура и разпределението на напрежението между самите диоди.

3.4. Шум

В електронния фотоумножител могат да възникнат различни шумове, дори когато той се намира в пълна тъмнина. Могат да се предприемат различни мерки, така че тези шумове да се минимизират.

4. Избор на Електронен фотоумножител.

За първичен преобразовател на светлина (L_{α} радиацията) в импулси избираме електронния фотоумножител R10825, производство на фирмата Hamamatsu. Той се използва за измервания на ултравиолетова радиация. Електронния фотоумножител R10825 има следните по-важни характеристики:

- Spectral Response от 115 до 195 nm,
- Maximum Response 130 nm,
- Quantum Efficiency при 121 nm 23,5%,
- Усилване $4 \cdot 10^6$, Anode Dark Current 0.3 nA,
- Operating Temperature from -30 to + 50 °C,

Електронния фотоумножител R10825 отговаря на всички изисквания съгласно точка 3.

5. Избор на предусилвател.

Усилвателят C5594, производство на фирмата Hamamatsu, е разработен като най-подходящо устройство за усилване на сигнали от електронен фотоумножител, работещ в режим на брое на фотони. Той е от неинвертиращ тип има усилване от 36 dB или 63 пъти, широчината на честотната лента е от 50 kHz to 1.5 GHz.

6. Избор на устройство за брое на фотони.

Устройството за брое на фотони C3866, производство на фирмата Hamamatsu е проектирано да преобразува единичните фотонни импулси от електронния фотоумножител в импулси с амплитуда 5 V подходящи за работа с TTL логика. В самото устройство има вградени схеми на усилвател и дискриминатор, формироваател на импулси и делител на честота. Изходът на устройството за брое на фотони, което притежава високо съотношение на сигнал/шум може директно да се присъедини към стандартен брояч, работещ с TTL логика.

7. Захранване.

7.1 Високоволтово захранване

Устройството C4900- 51, производство на фирмата Hamamatsu, представлява модулен високоволтов блок предназначен за захранване на електронни фотоумножители. Той осигурява изходно напрежение променящо се от +200 V до +1250 V и изходящ ток – 0.5 mA.

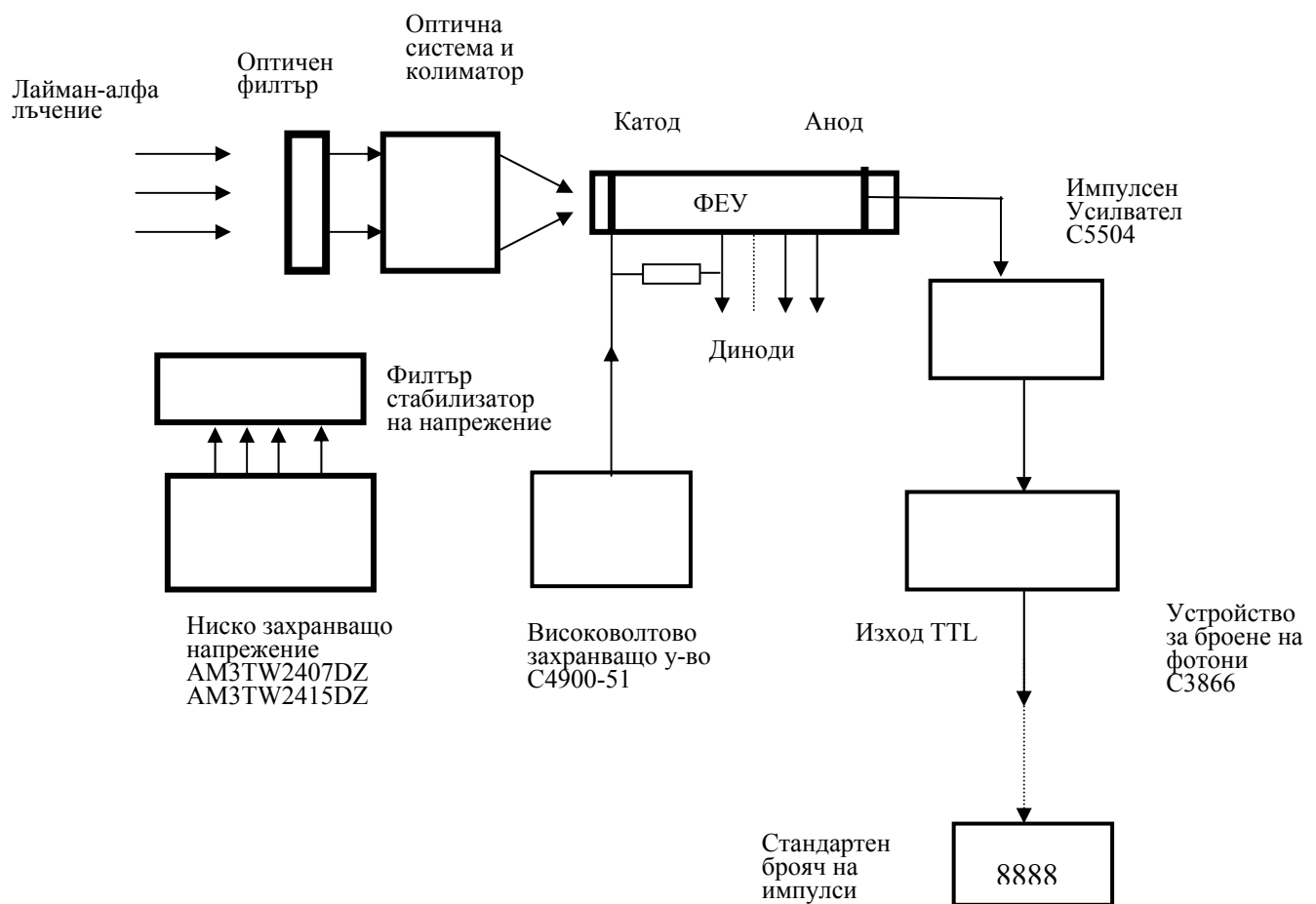
7.2 Нисковолтово захранване.

Електронният детектор се захранва с напрежение от 28 V, чийто източник е бордовата батерия. Отделните модули се нуждаят от нисковолтово захранване както следва: +12V / 95 mA, +5.2 V / 150 mA и -5V / 300 mA.

За получаване на тези захранвания се използват чиповете от типа DC/DC на фирмата АІМТЕС. Те преобразоват напрежението от 28 V, чийто източник е бордовата батерия във вторично като са избрани чиповете АМ3ТW2407DZ и АМ3ТW2415DZ. Чиповете съдържат в корпуса си високочестотни трансформатори с високо изолационно съпротивление, които развързват входното и изходното напрежение.

8. Разчет на електрическата схема на уреда за измерване на лъчението L_{α} .

Електрическата схема на уреда е показана на фиг. 2



Фиг. 2. Електрическа схема на детектора за измерване на лъчението L_{α} .

От спектъра в ултравиолетовата част на геокороната знаем, че на височина от около 100 км спектралната линия SI Lyman alpha е много тясна, а освен това, близо до нея има и други спектрални излъчвания с кореспондиращ интензитет. Поради тази причина Лайман-алфа лъчението влиза в колиматор през оптичен интерференчен филтър с лента на пропускане около 10 nm (FWHM) центрирана приблизително на 120 nm. Колиматора е направен от почернен алуминий със шестоъгълни клетки материал (порест) с дължина 2.54 cm и стъпка на клетката 1.53 mm, определяща почти цилиндрично зрително поле. След това Лайман-алфа лъчението се детектира с електронен фотоумножител (ФЕУ) и се усилва от предусилвател.

Използването на предусилвател се налага поради ниския изходен сигнал от ФЕУ. Във формула 1, отбелязахме, че очаквания изходен сигнал е $80 \text{ } [\mu\text{A}]$, при коефициент на усилване 10^6 . Избраното от нас захранване е с величина 1250 V и осигурява коефициента на усилване за ФЕУ около 10^4 . Тогава очаквания изходен сигнал от ФЕУ ще е $I_P = 0.8 \text{ } [\mu\text{A}]$.

Изчисляваме входното и изходното напрежения на предусилвателя:

$$V_{in} = I_P \cdot R_{in} = -0.8 \cdot 50 \text{ } \Omega = -40 \text{ } [\mu\text{V}]$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot K = -40 \cdot 63 = -2520 \text{ } [\mu\text{V}] = -2.52 \text{ } [\text{mV}] ,$$

Където:

V_{in} - Входно напрежение на предусилвателя

I_P - Изходен ток от ФЕУ

R_{in} - Входно съпротивление на предусилвателя

V_{out} - Изходно напрежение на предусилвателя

K - Коефициент на усилване на предусилвателя

Дискриминатора в броячното устройство работи с нива на дискриминация от -0.5 mV до -16 mV . Изходното напрежение на предусилвателя е -2.52 mV , и се намира точно в необходимия диапазон. От изхода на броящото устройство на фотони излизат формирани импулси с ТТЛ ниво, подходящи като вход на всеки стандартен брояч.

Изходната честота на импулсите от броящото устройство е пропорционална на интензивността на светлинното лъчение и се определя от брояча на цифрови импулси.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Guineva V., Witt G., Gumbel J., Khaplanov M., Werner R., Hedin J., Neichev S., Kirov B., Bankov L., Gramatkov P., Tashev V., Popov M., Hauglund K., Hansen G., Ilstad J., Wold H., Lyman-alpha Detector, Designed for Rocket Measurements of the Direct Solar Radiation at 121.5 nm , International Symposium on Recent Observations and Simulations of the Sun-Earth System (ISROSES), Varna, Bulgaria, September 17-22, 2006, Abstracts, p.50
2. Thrane, E.V., I. Nyberg, B. Narheim, Measurements of the Extinction of Solar Hydrogen Lyman- α in the Mesosphere, Internal Report E-230, Norwegian Defense Research Establishment (FFI), Norway, 1974
3. Thrane, E.V., A. Johannessen, A Measurement of the Extinction of Solar Hydrogen Lyman-alpha Radiation in the Summer Arctic Mesosphere, JATP, v.37, pp.655-661, 1975
4. Thrane, E.V., O.Hagen, F.Ugletveit, Rocket measurements of Mesospheric Density, Pressure and Temperature, Internal Report E-269, Norwegian Defense Research Establishment (FFI), Norway, 1977
5. Thrane, E.V., B.Grandal, O.Hagen, F.Ugletveit, Measurements of Lyman- α Extinction and Energetic Charged Particle Precipitation during the European Winter Anomaly Campaign 1975-76, J.Geophys., v.44, pp.99-106, 1977
6. HAMAMATSU "Photon counting, using Photomultiplier Tubes."