

ОПТИМИЗАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ЦИФРОВАТА РЕГИСТРАЦИЯ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ГЕОМАГНИТНОТО ПОЛЕ

Г. Мардиросян

Институт за космически изследвания, БАН, 1000 София

РЕЗЮМЕ. Статията представя резултатите от експериментите с разработения оригинален патентован метод за автоматична цифрова регистрация в реално време на елементите на земното магнитно поле - деклинацията D , хоризонталния интензитет H , вертикалния интензитет Z и тоталния вектор F . Направена е дискусия на експерименталните резултати от съпоставянето на аналоговата фоторегистрация с цифровите записи и е направен оптимизационен анализ по отношение на динамичен диапазон, разделителна способност по амплитуда, разделителна способност по време, брой регистрирани компоненти, възможност за ефективно съпоставяне на резултатите и др. На базата на направения оптимизационен анализ са дефинирани основните технико-експлоатационни характеристики на крайния вариант на апаратурния комплекс за цифрова регистрация на елементите на геомагнитното поле. Уточнени са алгоритмите за измерване, първичната обработка на данните и регистрацията на информацията. Целта на разработката е оформяне на окончателния вариант на техническото задание за разработване на апаратурния комплекс.

OPTIMIZATION ANALYSIS OF THE DIGITAL REGISTRATION OF GEOMAGNETIC FIELD PARAMETERS

G. Mardirosian

Institute for space investigations, BAS, 1000 Sofia

ABSTRACT. The paper presents the results from the experiments performed using a developed original proprietary method for automatic on-line digital registration of earth electro-magnetic field components – declination D , horizontal intensity H , vertical intensity Z , and total vector F . The experimental results from juxtaposing analogue photo-registration and digital records are discussed, and optimization analysis is performed with respect to amplitude and time resolution, dynamic range, number of registered components, possibility to effectively juxtapose the results and more. Based on the performed optimization analysis, the major technical-operational characteristics of the ultimate version of the equipment complex for digital registration of geomagnetic field components are defined. The measurement algorithms, primary data processing, and information registration are specified. The objective of the contribution is to finalize the technical mission for development of the equipment complex.

Метод и реализация

Проблемите на аналоговата магнитологична фото-регистрация са показани в [1,2]. В [2] е представен оригиналният и патентован [3] метод за автоматична цифрова регистрация на четирите основни параметъра на геомагнитното поле – деклинацията D , хоризонталния интензитет H , вертикалния интензитет Z и тоталния вектор F . Методът се състои в използване на част от светлинните бликове, чрез които се осъществява аналоговата фоторегистрация, за получаване на цифров електрически сигнал, съответстващ на тази регистрация. За целта се използват специални фотодиодни линейки, монтирани на диафрагмата на фоторегистратора така, че върху тях да попада неизползваната част от светлинните бликове, осъществяващи аналоговия фото-запис.

Резултати от лабораторните експерименти и анализи

Направените лабораторни експерименти и тестване на отделни възли от апаратурата за цифрова регистрация на параметрите на геомагнитното поле показаха някои проблеми, дължащи се както на неточности в първоначалното

техническо задание, така и на липсата на някои оптико-електронни елементи и невъзможността за прилагане на модерни технологии, следствие на финансови ограничения. Тук се представят резултатите от лабораторните експерименти на някои апаратни възли и резултатите от оптимизационния анализ на основните технико-експлоатационните характеристики (някои от които са напълно противоречиви) с цел изработване на окончателния вариант на техническо задание за реализация на апаратурата.

Оптимизационен анализ

Оптимизационният анализ има за обект основните технико-експлоатационни характеристики на апаратурата за автоматична цифрова регистрация на основните параметри на геомагнитното поле. Тези характеристики са:

- а) Амплитуден (динамичен) диапазон – A
- б) Разделителна способност по амплитуда – r_A
- в) Разделителна способност по време – r_t
- г) Брой на цифрово регистрираните компоненти
- д) Възможност за максимална достоверност при съпоставянето с многогодишната аналогова регистрация

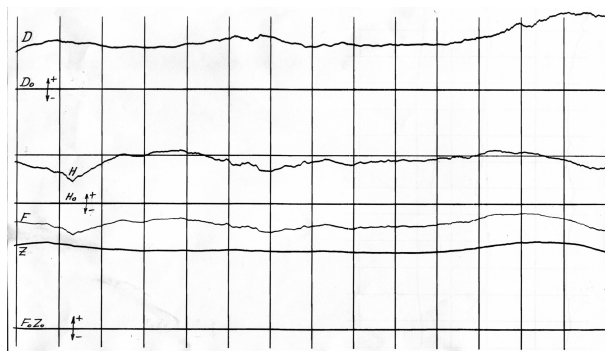
Трябва да се решат по-ефективно и някои допълнителни въпроси като: необходимо ли е да се регистрират и базисните стойности, някои технически и технологични въпроси на управлението на фотодиодните линейки, мултиплексването и др.

Амплитуден (динамичен) диапазон

Както при измерването и регистрацията на всички физични и геофизични величини, така и за параметрите на геомагнитното поле динамичният (амплитудният) диапазон A се определя като разлика между максималния $A_{\max}$ и минималния $A_{\min}$ размах на измерваната величина:

$$A = A_{\max} - A_{\min}$$

Общата ширина на фоторегистрационната хартия при аналоговата регистрация е 200 mm. При спокойна геомагнитна обстановка в регистрационното поле са разположени записите на четирите компоненти D , H , F и Z . и трите бази D_0 , H_0 и F_0Z_0 . Заедно с тях се регистрира и температурата T (фиг. 1). При автоматичното цифроване не е необходимо да се регистрира температурата, тъй като тя се измерва и вкарва в реално време в компютъра заедно с други геофизични и климатологична параметри (влажност и микросейзмични колебания) [2].



Фиг. 1. Аналогова фоторегистрация на спокойно геомагнитно поле

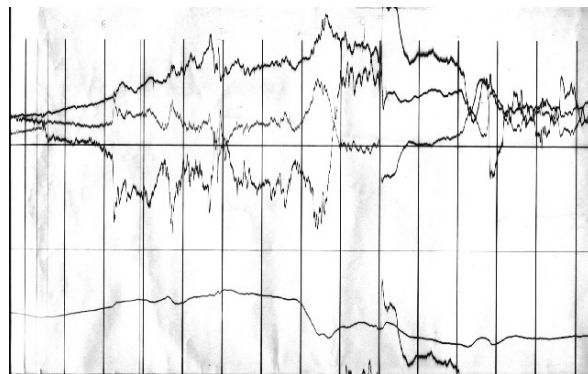
В зависимост от разположението си понастоящем върху регистрационното поле (фиг. 1), отделните компоненти могат да се регистрират с максимални амплитуди върху фотохартията (т.е. да се осъществи запис преди основният светлинен блик да я напусне) приблизително както следва:

D	+ 65 mm и – 135 mm
H	+ 130 mm и – 70 mm
F	+ 180 mm и – 20 mm
Z	+ 180 mm и – 20 mm

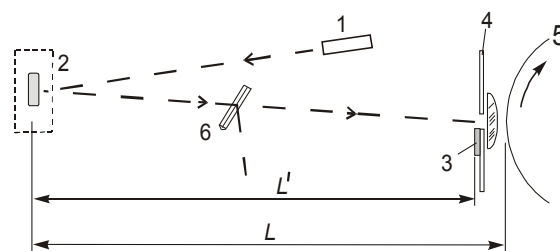
Ако приемем, че по време на геомагнитна буря стойностите на отделните компоненти нарастват средно с 300–500 nT, то поради факта, че 1 nT съответства на 0,5 mm от аналоговия запис следва, че амплитудите върху регистрограмата могат да достигат до 150–250 mm. Освен, че напускат регистрационното поле, трасетата се пресичат, което затруднява много интерпретацията на записите (фиг. 2).

Динамичният диапазон на регистрацията може да се увеличи с намаляване на разстоянието от огледалцата на сензорите (2 от фиг. 3) до фотодиодната линейка, т.е. на-

маляване на оптичното рамо L . Но това ще доведе до намаляване на разделителната способност по амплитуда r_A . Експериментите с използване на полупрозрачна призма, (6 от фиг. 3), монтирана на пътя на лъчите осъществяващи фоторегистрацията, и която да отклонява част от тях към фотодиодна линейка, показаха нецелесъобразността си в настоящия етап. Основно причина за това е флукутация на бликовете, паразитни бликове, технологични проблеми за монтирането на отклонителната система и др.



Фиг. 2. Аналогова фоторегистрация на геомагнитна буря



Фиг. 3. Оптична схема на част от апаратурния комплекс

Разделителна способност по амплитуда

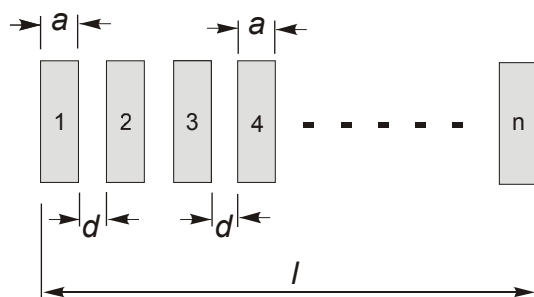
Изхождайки от геометричните и оптични характеристики на фоторегистратора, от качествата на използваната фоторегистрационна хартия и технологията на фотообработката, както и от възможностите на човешкото око, е определена разделителната способност при обработката и интерпретацията на аналоговата фоторегистрация на геофизични параметри (напр. сеизмологична фоторегистрация) [2]. Между нея и фоторегистрацията на параметрите на геомагнитното поле няма принципни различия, поради което може да се твърди, че разделителната способност при последната също е от порядъка на $r \approx 0,2\text{--}0,3$ mm. Тук обаче трябва да се отчете фактът, че при фотообработката на хартиената лента (проявяване, измиване с вода, фиксиране, отново измиване и сушене) няма никаква гаранция, че на нея не настъпват геометрични деформации съизмерими и дори по-големи от посочените по-горе стойности. Напротив, над десетилетния опит на автора с аналоговата сеизмологична фоторегистрация, която (както се каза по-горе) по принцип не се различава от магнитологичната, показва тъкмо обратното.

Вземайки предвид, че 1 mm от аналоговия запис съответства на 2 nT, следва, че разделителната способност по амплитуда е $r_A \approx 0,4\text{--}0,6$ nT, с уговорката, че вероятно действителните стойности са по-големите (т.е. разделителните способности са по-лоши).

Отчитайки конструктивния факт, че ширината на светлинния блик е $\delta \approx 1$ mm и коментирателните стойности на разделителната способност по амплитуда r_A , могат да се предложат 2 варианта за най-съществени за случая геометрични характеристики (фиг. 4) (ширина на активната площ – a , ширина на изолационната площ – d , брой на елементите – n и дължина – l) на специализираната фотодиодна линейка:

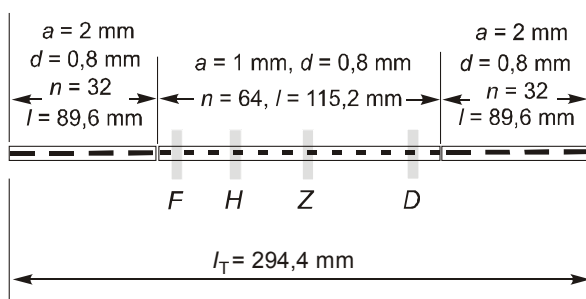
I. две еднакви линейки с: $a = 1$ mm, $d = 0,8$ mm, $n = 64$, $l = 115,2$ mm, като съставната линейка е с обща дължина $l_T \approx 230$ mm.

II. три линейки: в средата тази от вариант I и от двете ѝ страни линейки с: $a = 2$ mm, $d = 0,8$ mm, $n = 32$, $l = 89,6$ mm (фиг. 5), при което съставната линейка има обща дължина $l_T \approx 296$ mm.



Фиг. 4. Геометрични характеристики на елементите на фотодиодната линейка

Размерът $d = 0,8$ mm следва от презумцията светлинният блик с $\delta \approx 1$ mm винаги да е попаднал върху един или два съседни елемента от фотодиодната линейка.



Фиг. 5. Три специализирани фотодиодни линейки (вариант II)

Чрез така предложената геометрия на фотодиодните линейки при цифроването може да се постигне разделителна способност по амплитуда, както следва:

за амплитуди $0 < A < 100$ mm $r_A = 0,5$ mm = 1 nT
за амплитуди $101 < A < 200$ mm $r_A = 1$ mm = 2 nT.

Анализирана е възможността съставната линейка да има различна разделителна способност по амплитуда r_A по дължината си – в средата $a = 0,5$ mm, към краищата постепенно да се увеличава (влошава) и в края да е $a = 2$ mm. Това увеличение може да е или по логаритмична зависимост, или равномерно. В случая поради това, че амплитудите не се увеличават с порядъци, по-целесъобразно е постепенното равномерно увеличаване на a . Това може да се направи както само на страничните линейки, така и на

цялата съставна линейка от вариант II. Тогава например при:

$A = 100$ mm $r_A = 0,5$ mm = 1 nT
 $A = 150$ mm $r_A = 0,75$ mm = 1,5 nT
 $A = 200$ mm $r_A = 0,5$ mm = 2 nT,

т.е. процентното съотношение (1 %) се запазва.

Разделителна способност по време

И тук се изхожда от разделителната способност при аналоговата геофизична фоторегистрация. При скорост на движение на барабана с фотолентата (скорост на развивка на записа) $v = 20$ mm/час, това означава, че разделителната способност по време при аналоговата фоторегистрация е $r_t \approx 0,8$ мин или $r_t \approx 48$ s.

При цифровата регистрация може да се постигне увеличаване на r_t с няколко десетки пъти. Това обаче на този етап не е необходимо, още по-малко при съпоставянето на двата вида регистрация..

Брой на цифрово регистрираните компоненти

По принцип разработеният метод и апаратурата за реализацията му предвиждат цифрова регистрация на четирите основни параметъра на геомагнитното поле – деклинацията D , хоризонталния интензитет H , вертикалния интензитет Z и тоталния вектор F . При така налаганите строги ограничения от технико-експлоатационен и технологичен характер, на първо време може да се реализира автоматична цифрова регистрация само на трите компоненти D , H и Z . При това тоталният вектор F не се регистрира в цифров вид, а да се изчислява на базата на измерените стойности на хоризонталния и вертикалния интензитети H и Z по известната формула:

$$F = \sqrt{H^2 + Z^2},$$

като според [1] точността в този случай е ± 2 nT.

При решаването на въпроса да се регистрират ли базисните стойности D_0 , H_0 и Z_0 се има предвид, че на практика те не менят стойностите си. За една година например тяхното изменение е в границите от 3 до 5 nT [1]. Въпреки това е разработена възможността за тяхната регистрация (вторите двусекундни импулси от фиг. 6).

Съпоставяне с аналоговата регистрация

В Геомагнитна обсерватория "Панагюрище" на Геофизичен институт при Българска академия на науките се прави фоторегистрация на H , D и Z от 1937 г., а от 1971 г. и на тоталния вектор F [1]. Както и при всички геофизични регистрации, така и при тези на параметрите на геомагнитното поле, от съществено значение е възможността за съпоставяне на данните от многогодишната им регистрация. Поради това е необходимо, независимо от модернизацията на регистриращата апаратура, да се запазят нейните основни технико-експлоатационни характеристики, а с това и възможността за съпоставка с максимална достоверност на данните от няколкodesетилетните магнитологични измервания. В случая това изискване е изпълнено, тъй като сен-

сорите и преобразувателите са същите, а се модернизира само регистриращата част, и то така, че съпоставката да е с исканата максимална достоверност.

Оптичното рамо при аналоговата фоторегистрация е $L = 200$ cm. Тъй като специализираната фотодиодна линейка (3 от фиг. 3) е монтирана не върху фоточувствителния материал, а върху диафрагмата на фоторегистратора (4 от фиг. 3), то оптичното рамо в случая е по-малко: $L' = 195$ cm (фиг. 3). Това не е проблем, тъй като от една страна некоректността от 2,5 % е пренебрежима, а от друга – възможна е софтуерна корекция на получаваните резултати.

При евентуално разфокусиране на светлинния блик и осветяване на няколко съседни фотоелемента проблеми с точността на отчитане няма, тъй като софтуерно се определя елементът, който е в геометричния център на групата осветени елементи.

Технологични проблеми

Основният технологичен проблем в подобни ситуации е мултиплексването. В случая при една съставна фотодиодна линейка с $n_T = 128$ елемента и сравнително много ниската честота (от порядъка на 1–2 Hz) технически проблеми няма, още повече, че става въпрос за стационарна апаратура, без ограничения за маса, габарити и енергозахранване.

Анализирана е и възможността да се използва фоторезисторна линейка, която има предимството, че на практика може да задоволи искана и еднаква разделителна способност по амплитуда r_A по цялата си дължина. Нейното изработване обаче е многократно по-скъпо.

Резултати от оптимизационния анализ

Като основен резултат от оптимизационния анализ може да се посочи дефинирането на техническо задание за изработване на апаратурен комплекс за цифрова регистрация на параметрите на геомагнитното поле.

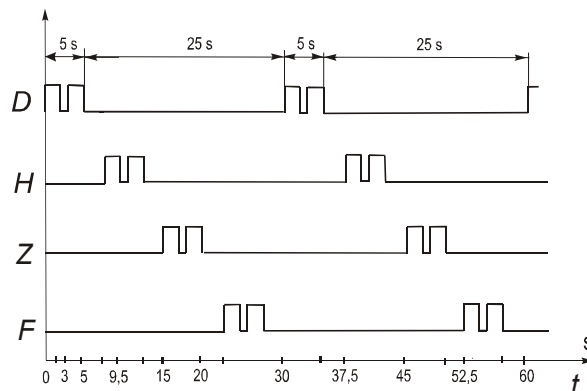
Целесъобразно се оказва монтирането на три специализирани фотодиодни линейки, една в средата с по-висока разделителна способност по амплитуда r_A и от двете и страни две линейки с двойно по-малка r_A . Общата дължина на съставната линейка е $l_T = 295$ mm (фиг. 5).

Анализът на многогодишния регистрационен материал показва, че по време на магнитна буря в повечето случаи деклинацията D расте, а хоризонталният интензитет H намалява. Това позволява разположение на светлинните бликове на D и H върху фотодиодната линейка както е показано на фиг. 5, т.е. трасето на D има възможност да се измества предимно в посока “+”, а на H в посока “–”.

Разгледана е и възможността вместо изработване на специализирана фотодиодна линейка да се използва стандартна такава, например от факс-апарати (с $n = 1024$ и $l = 225$ mm) или от цифрови копирни машини (ксерокс) или скенери.

Предложеният нов алгоритъм на измерване (циклограмата е показана на фиг. 6) дава възможност да се регис-

трират и базисните стойности. Имайки предвид, тяхното практически неизменение, може да се намали и времето за измерването им от 2 s например на 1 s. Това позволява съответно увеличаване на времената (от 2 на 3 s) на измерване на стойностите на съответните параметри, макар че предвиденото време за това гарантира максимална надеждност и достоверност.



Фиг. 6. Циклограма на измерване

Като заключение може да се синтезира главната част от техническото задание за изработване на апаратурен комплекс за цифрова регистрация на параметрите на геомагнитното поле:

1. Цифрово регистрирани параметри: D, H, Z, F
2. Разделителна способност по амплитуда: $r_A = 1,5$ nT
3. Разделителна способност по време: $t_i = 2$ s
4. Специално изработени фотодиодни линейки
5. Регистрация и на базовите стойности

Литература

- Костов, К., П. Ножаров. *Абсолютни магнитни измервания в България 1787–1987*. Геофизичен институт – БАН, София, 1987, 172 стр.
- Мардиросян, Г. *Методи и електронни средства за изследване на геофизични и климатологични процеси*. Докторска дисертация. ИКИ – БАН, София, 2003, 180 стр.
- Мардиросян, Г. *Устройство за автоматична цифрова регистрация на параметрите на геомагнитното поле – рег. № 106992/12.08.2002*. Официален бюлетин на патентно ведомство на Република България, № 2/2003, стр. 42.
- Mardirossian, G., Velkoski, S., Bliznakov, A. Improvements and Innovations in Registering the Geomagnetic Field Parameters. *50 years University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Annual, vol. 46, part 1, Geology and Geophysics*, Sofia, 2003, pp. 398–401.
- Mardirossian, G. Automatic digital Registration of Geomagnetic Field Parameters. The Eleventh International Scientific and Applied Science Conference “Electronics 2002”, Technical University, Sofia, pp. 155–158.