

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ИЗЛЪЧВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ БОРДОВИ СИСТЕМИ С КОСМИЧЕСКО БАЗИРАНЕ

Румен Шкевов, Павлин Граматиков

Институт за космически изследвания - Българска академия на науките
e-mail: shkevov@space.bas.bg, pgramatikov@space.bas.bg

Ключови думи: космически електронни системи, електромагнитна съвместимост, радиочестотни смущения, електромагнитни взаимодействия, интелигентни системи, микропроцесорен блок, електромагнитни емисии

Абстракт: Извършено е измерване на електромагнитното излъчване на интелигентна система с космическо базиране с цел оценка и оптимизация на разработвания модул. Измерванията са проведени в различни работни състояния на системата. Направен е анализ за приложението на конкретната система в космически условия при наложени изисквания по международните стандарти за електромагнитна съвместимост на борда на големи космически обекти. Приведени са графики с измерените амплитуди на електромагнитните смущения и техните разлики в различни работни режими.

INVESTIGATION OF ON-BOARD SPACE-BASED INTELLIGENT SYSTEMS ELECTROMAGNETIC EMISSION

Rumen Shkevov, Pavlin Gramatikov

Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: shkevov@space.bas.bg, pgramatikov@space.bas.bg

Keywords: space electronic systems, electromagnetic compatibility (EMC), radio-frequency interference (RFI), electromagnetic interference (EMI), intelligent system, microprocessor unit, electromagnetic emission

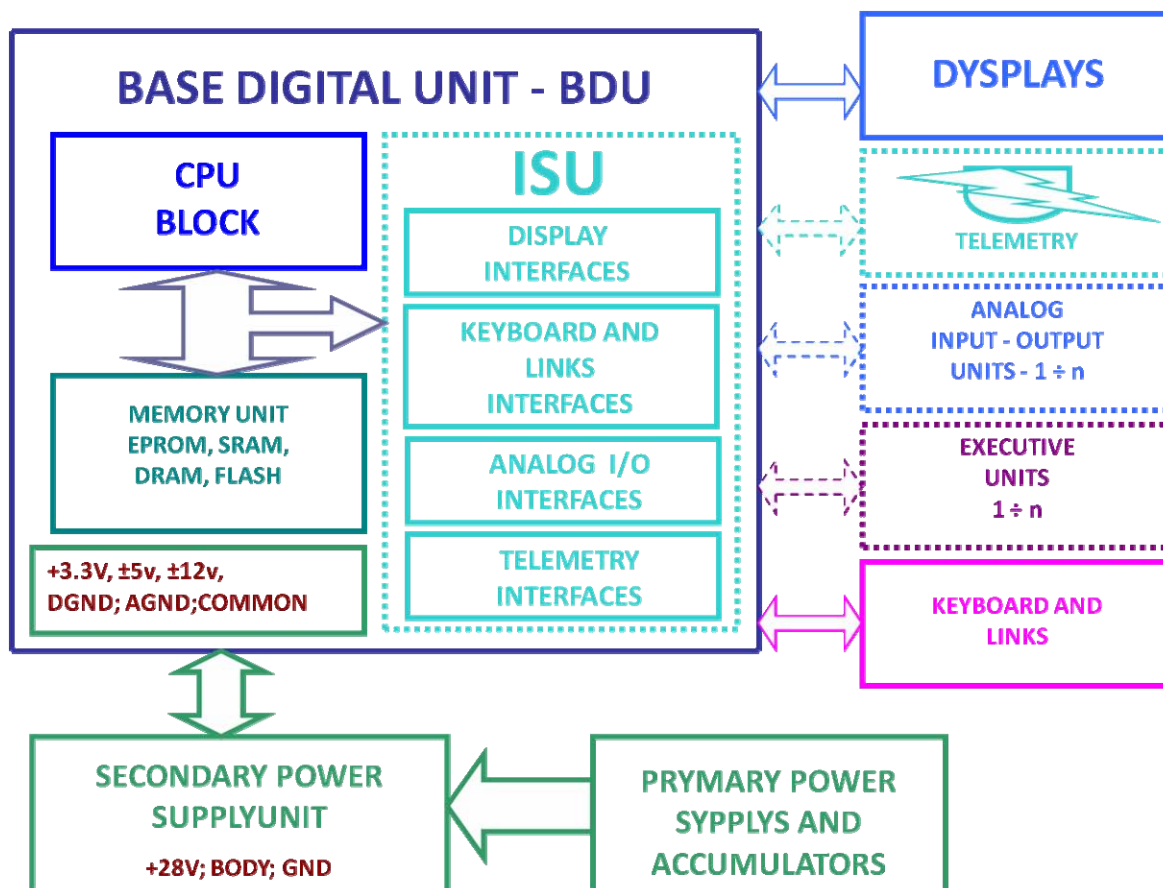
Abstract: The electromagnetic emission of an intelligent onboard space-based system is investigated for the later optimization of the developed unit. Leading measurement is performed in different work conditions of the system. Analysis of the system's applicability in space conditions in conformity with international standards of electromagnetic interference, radio-frequency interference and electromagnetic compatibility onboard large space structures is made. Graphs of the measured amplitudes of electromagnetic disturbances and their differences in several work regimes are shown.

Въведение

Обектът на изследване в настоящата работа са електромагнитното излъчване (EMI), електромагнитната съвместимост (EMC) и радиочестотните смущения (RFI) на интелигентни бордови системи с космическо базиране. Измерванията на (EMC) и (RFI) могат да се извършат според методите и стандартите [1÷4]. Теорията, методиките и инструментите чрез които се решават проблеми на електромагнитната съвместимост са изложени в [5]. Оптимизацията при проектиране на топологията на електронни модули е подробно разгледана в [6,7]. Особеностите на електронни инструменти с аерокосмическо приложение и техните EMC и EMI при имитация на реален бордови комплекс са описани в [8]. Една работа с практическа насоченост, обсъждаща в комплексен аспект проблемите при дизайна на сложни интелигентни аналого-цифрови системи е [9]. Натрупаният опит в реализация на космически прибори [10] показва, че изследването на EMC, EMI и RFI е препоръчително да се започне на по-ранен етап - лабораторен или технологичен образец.

Методи на изследването

Блоквата схема на интелигентна система с космическо базиране е показана на фиг.1, където използваните съкращения са - „Base Digital Unit” - BDU, „Interface System Unit” – ISU. Показаната обща структура е максимално близка до реалните интелигентни системи, с цел постигане на максимално коректни измервания и изследвания на (EMC) и (RFI). Изследвано е излъчването на съединени и захранени BDU и ISU. Към тях бяха присъединени дисплеи, интерфейсите на аналоговите входно-изходни устройства, интерфейсите на изпълнителни механизми и устройства, а също така и интерфейсите на печатащи устройства клавиатури.



Фиг.1 Блок-схема на изследваната система.

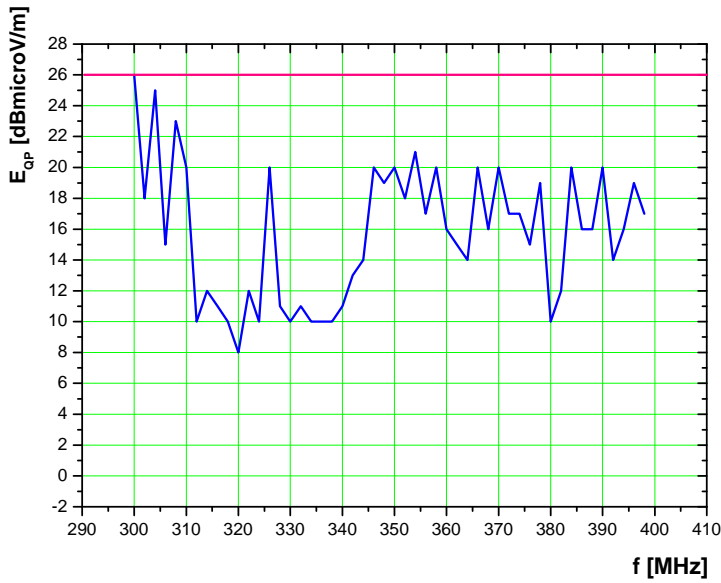
Индуцираните токове в използваните за екраниране материали и структури могат да бъдат разглеждани като източници на електромагнитни вълни. Взаимодействието им води както до подобряване, така и до влошаване на EMC и EMI в зависимост от реализираната конфигурация.

Експерименталните условия, теорията и методиките, на които е основано настоящото изследване са сходни с тези от серията публикации в конференцията SENS. Подробно описание на постановката на експеримента може да бъде намерена в [11].

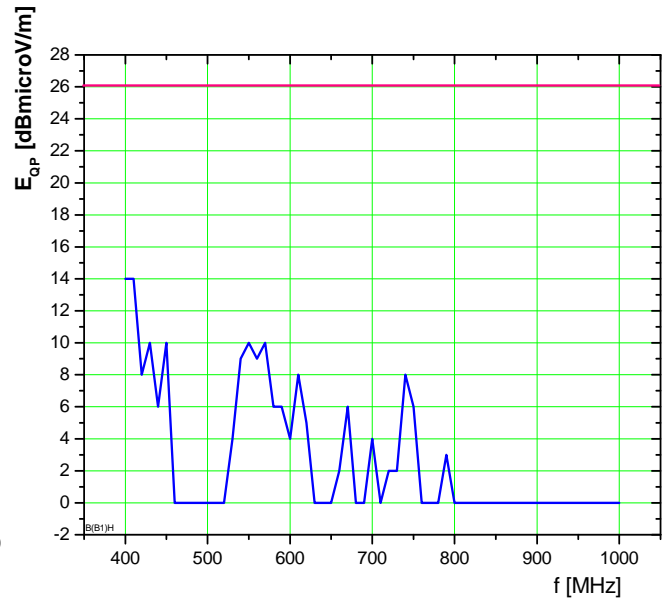
Експериментални резултати

Проведените измервания са направени в съответствие с процедурите описани в [2], [3], [8]. На фиг. 2 е представен резултатът от измерването на спектъра на излъчените радиощумове E_{QP1} на отворени неекранирани базови блокове BDU и ISU от 300 до 400 MHz, където E_{QP} са измерените стойности за амплитудите на напрегатостта на електрическото поле за конкретни честоти в [dBmicroV/m].

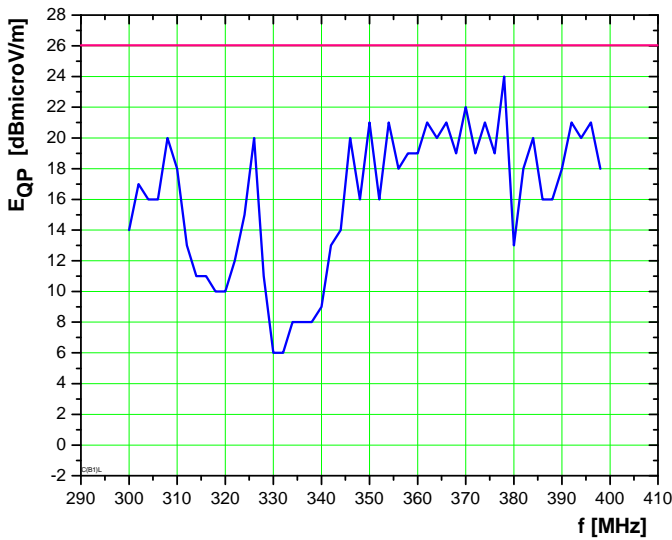
Както се вижда на фиг. 2, най-високи амплитуди на шумовете се наблюдават на честоти от 300÷310 MHz, 325 MHz и в диапазона 345÷395 MHz. Профилът на амплитудите на E_{QP2} от фиг.3 в диапазона 400 MHz до 1000 MHz показва сравнително по-ниски амплитуди спрямо E_{QP1} - фиг. 2. На честоти по-високи от 800 MHz, излъчените шумове са пренебрежимо малки -



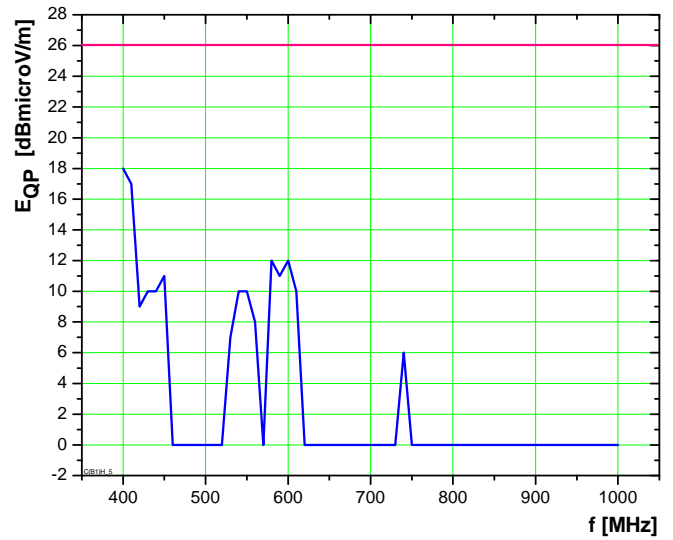
Фиг. 2. Напрегнатост на електрическото поле на излъчените радиOSHуmове E_{QP1} на отворени неекранирани BDU и ISU от 300 до 400 MHz.



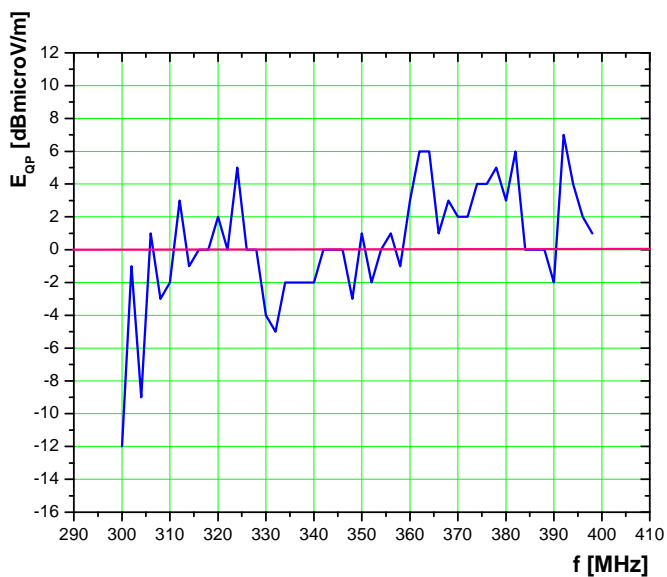
Фиг. 3. Напрегнатост на електрическото поле на излъчените радиOSHуmове E_{QP2} на отворени неекранирани BDU и ISU от 400 MHz до 1000 MHz



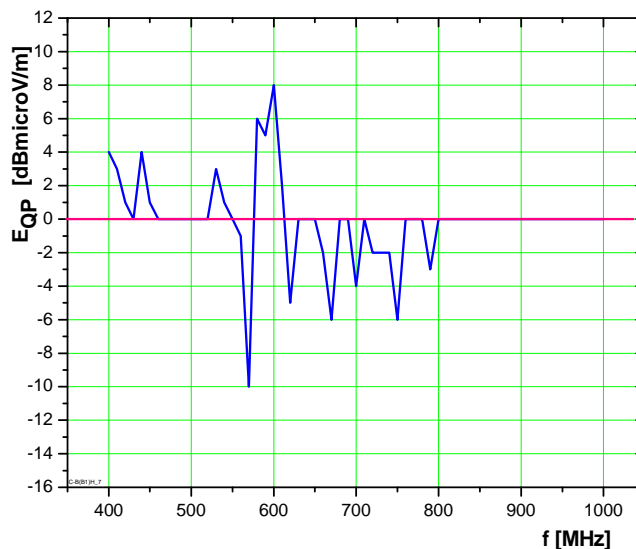
Фиг. 4. Напрегнатост на електрическото поле на излъчените радиOSHуmове E_{QP3} на BDU и ISU и заземен екран на BDU от 300 до 400 MHz.



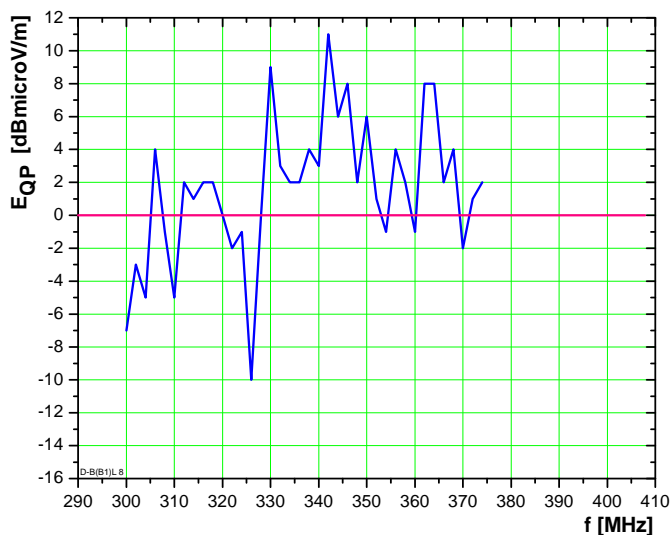
Фиг. 5. Напрегнатост на електрическото поле на излъчените радиOSHуmове E_{QP4} на BDU и ISU и заземен екран на BDU от 400 до 1000 MHz.



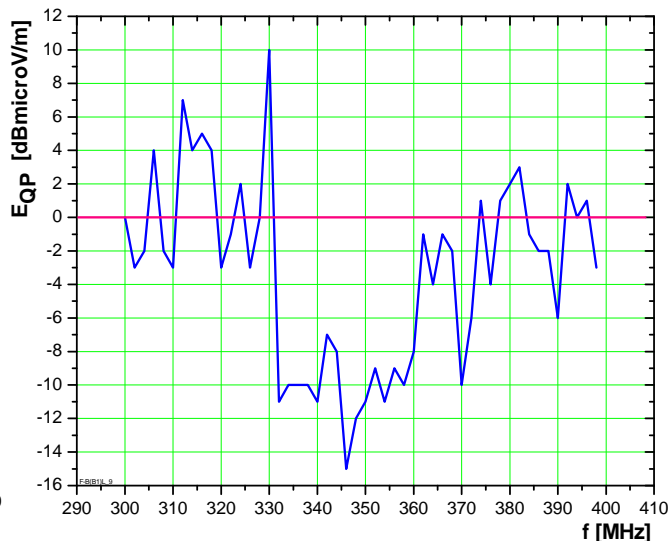
Фиг. 6. Разлика в напрегнатостта на електрическото поле на радишумовете ΔE_{QP1} на BDU и ISU и заземен екран на BDU от 300 до 400 MHz.



Фиг. 7. Разлика в напрегнатостта на електрическото поле на радишумовете ΔE_{QP2} на BDU и ISU и заземен екран на BDU от 400 до 1000 MHz.



Фиг. 8. Разлика в напрегнатостта на електрическото поле на радишумовете ΔE_{QP3} на BDU и ISU и заземени екрани на BDU и ISU от 300 до 400 MHz.



Фиг. 9. Разлика в напрегнатостта на електрическото поле на радишумовете ΔE_{QP4} на BDU и ISU и незаземени екрани на BDU и ISU от 300 до 400 MHz.

– съизмерими със собствените шумове на използвания измервателен уред. Измерените стойности на E_{QP1} и E_{QP2} на неекранираните цифрови модули BDU и ISU са използвани като базови за нуждите на проведеното изследване.

Приложени бяха различни средства за потискане на EMC и RFI, като еднослойни многослойни магнитни и немагнитни екрани с различни геометрични форми и структури. Изследвано бе влиянието на разстоянието между екрана и платката, видът и мястото на заземяването на екрана. По-долу са обсъдени три експеримента с плоски локални, немагнитни екрани, съизмерими с размерите на базовите блокове BDU и ISU.

Първият експеримент бе проведен при монтиран заземен екран на BDU и резултатите от него са представени на фиг.4÷7. Амплитудите на E_{QP3} са показани на фиг. 4 в диапазона от 300÷400 MHz, а на E_{QP4} - фиг. 5 от 400÷1000 MHz. На фиг. 6 е представена разликата в напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радиошумове ΔE_{QP1} на BDU и ISU и заземен екран на BDU от 300÷400 MHz, където :

$$(1) \quad \Delta E_{QP1} = E_{QP2} - E_{QP1} \quad [\text{dBmicroV/m}]$$

Анализът на фиг.4 и фиг.6 показва влошаване на параметрите на RFI в честотния диапазон от 310÷330 MHz и от 360÷400 MHz. Голям положителен ефект е понижението на ΔE_{QP1} (фиг. 6) в обхвата 300÷310 MHz, а относително по-малък е този в диапазона 330÷340MHz. В условията на първият експеримент (фиг.3, фиг. 5) в честотния диапазон 400÷1000MHz се наблюдава изчезването на няколко спектрални съставлящи на честота 560 MHz и в диапазоните 620÷730 MHz, което подобрява общата картина на RFI и EMI.

На фиг. 7 е показана разликата в напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радиошумове ΔE_{QP2} на BDU и ISU при заземен екран на BDU от 400 до 1000 MHz, където :

$$(2) \quad \Delta E_{QP2} = E_{QP4} - E_{QP1} \quad [\text{dBmicroV/m}]$$

На фиг.7 в диапазона от 400÷600 MHz се забелязва повишаване на амплитудата на 5 хармонични честоти, а в обхвата 560÷800 MHz понижаване в 6 отделни честоти.

Вторият експеримент е проведен при монтирани два заземени екрана на BDU и ISU. Резултатите за ΔE_{QP3} са представени на фиг.8. Сравняването на кривите, показани на фиг.6 и фиг.8 води до извода, че вторият експеримент е по-неуспешен в сравнение с първия.

Третият експеримент е проведен при монтирани два незаземени екрана на BDU и ISU. Резултатите за ΔE_{QP4} са представени на фиг.9. Анализът на кривите от фиг.6, фиг.8 и фиг.9 извежда като най-успешен третия експеримент, защото в относително широк диапазон 330÷380MHz е постигнато най-добро потискане на излъчените радиошумове. За отделни честоти е получено сравнително високо понижаване в границите от -10 [dBmicroV/m] до -15 [dBmicroV/m].

Заземяването на екрани като единствен фактор и разлика между втори и трети експеримент показва съществени промени в измерената напрегнатост на електрическото поле на радиошумовете. Противно на очакванията, незаземените екрани дадоха по-добри резултати.

Заклучение

Регистрирани са съществени изменения в наблюдавания спектър на измерените електромагнитни смущения E_{QP} при добавяне на екрани в изследваната интелигентна микропроцесорна система за различни работни състояния. Свързването и големината на екраните на съответните модули, както и тяхното разположение води до противоречиви резултати - фиг. 6, 7, 8, 9. Приложените методи и средства в проведеното изследване повишават до +11 [dBmicroV/m]. - фиг. 8 или понижават до -15dB [dBmicroV/m]. - фиг. 9 нивото на излъчените радиошумове, за различни състояния на системата. Необходимо е допълнително изследване и оптимизация на EMC и RFI на системата при работа в комплекса от научна апаратура на борда на космическия обект. Анализът на нивото и характера на EMC и RFI, показва приложимостта на конкретната система за целите на космическото приборостроене.

Литература:

1. Space systems - Electromagnetic compatibility requirements. Draft International Standard ISO/DIS 14302, International Organization for Standardization, 2001.
2. International Space Station Program. NASA/RSA Joint Specifications/Standards Document for the ISS Russian Segment, SSP 50094, Revision A, NASA, Johnson Space Center Houston, Texas, March 10, 2000. 551pgs.

3. Исходные технические требования к аппаратуре и оборудованию - ИТТ2. Комплекс целевых нагрузок. ИТТ КЦН РС МКС П 34240-515, Ракетно–космическая корпорация “Энергия” имени С. П. Королева, сентябрь 2000г. 111стр.
4. V. S m i t h. Comparison of Commercial Electromagnetic Interference Test Techniques to NASA Electromagnetic Interference Test Techniques. NASA/CR—2000–210400. NASA Marshall Space Flight Center, November 2000.
5. Archambeault B., Ramahi O., Brench C., EMI/EMC Computational Modeling Handbook (2nd Edition), Springer; 2001, 336 p.
6. K i n g, M i c h a e l W., EMCT: High Speed Design Tutorial (ISBN 0-7381-3340-X), Module 3, Sections A and B, Published by Elliott Laboratories, Sunnyvale California, August, 2002
7. E v e r e t t I I I, W. W o o d r o w et. all, "Experimental Evaluation of Microprocessor Susceptibility in the 300 MHz to 1.0 GHz Range," 1984 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Vol. 1, Tokyo, Japan, Oct. 16-18, 1984, pp. 216-221.
8. S k e t o e J. G. Integrated circuit electromagnetic immunity handbook, Tech. Rep. NASA/CR-2000 -210017, Boeing Information, Space and Defense Systems, Seattle, WA, 2000
9. B r o e d e r s J a n – H e i n, M a r k M e y w e s, and B o n n i e B a k e r. “Noise and Interference,” Burr-Brown Design Seminar, (www.conformity.com/2261).
10. Television observations of Phobos G. A. A v a n e s o v,P. G r a m a t i k o v,....et all. Nature V.341, 1989, 585-587p
11. G r a m a t i k o v P., R. S h k e v o v. Electromagnetic interference optimization of the digital units for space applications. Proceedings of the Second Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY, 27–29 June 2007, Varna, Bulgaria, 126-131pp.