

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ИЗЛЪЧВАНЕ НА ЦИФРОВИ МОДУЛИ С КОСМИЧЕСКО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Павлин Граматиков, Румен Шкевов

*Институт за космически изследвания - Българска академия на науките
София 1000, ул. "Московска" № 6*

OPTIMISATION OF THE ELECTROMAGNETIC EMISSION OF DIGITAL UNITS FOR SPACE APPLICATIONS

Pavlin Gramatikov, Roumen Shkevov

*Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
6 Moskovska Str., 1000 Sofia, BULGARIA
e-mail: pgramatkov@space.bas.bg*

Ключови думи: космически прибори, електромагнитна съвместимост, радиочестотни смущения, цифрови устройства.

Key words: space instruments, electromagnetic compatibility (EMC), radio-frequency interference (RFI), digital units

Абстракт: Изследвана е възможността за оптимизация на общото електромагнитно излъчване на цифрови модули от наземен вариант на космически прибор. Измерени са амплитудите на радиочестотните смущения на цифровите модули в базов работен режим. За основа на оптимизационния процес са използвани стойностите на напрегатостта на електрическото поле на неекранирани цифрови модули и захранвания. С помощта на различни средства за екраниране на модулите е постигнато понижаване на излъчените емисии. Използваните методики и апаратура са в съответствие с международните стандарти за измерване на електромагнитна съвместимост на космически прибори. Резултатите от оптимизационния процес са показани в графичен вид.

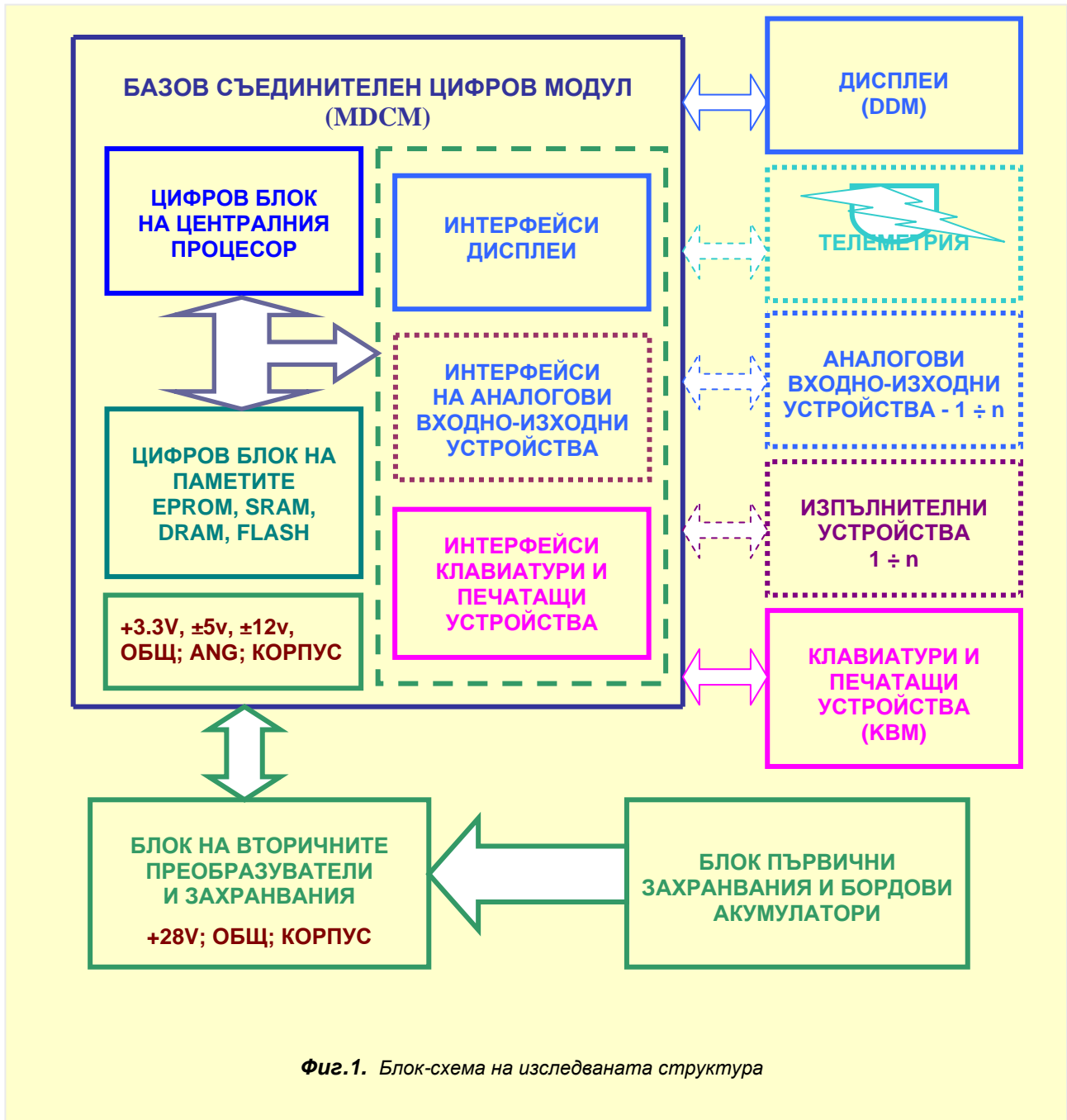
Abstract: The possibility of the full electromagnetic compatibility (EMC) optimizations of the space instrument ground variant is investigated. The radiofrequency interferences (RFI) amplitudes of the digital units in the main mode are measured. For the base of the optimizations process is used the measured values of the EMC on unshielded digital units and power supplies. With the help of the different techniques of the shielding of the digital units is achieved the lower amplitudes of the RFI emissions. Used methods and equipment are in keeping conformity with the international standards for the EMC measuring of the space instruments. The obtained results are shown in graphical diagram.

Въведение

Електромагнитната съвместимост е едно от основните изисквания, на които трябва да отговарят космическите прибори. Методиките и стандартите отнасящи се за провеждане на измервания на (EMC) и (RFI) могат да бъдат намерени в [1], [2] и [3]. По време на осъществяване на експериментите от програмата "Шипка" - ССОД "ЗОРА" и "Невролаб-В" бяха оптимизирани цифрови модули и периферни устройства от гледна точка на (EMC) и (RFI). При тяхното изследване бе забелязано неблагоприятното влияние върху електромагнитната съвместимост на периферните устройства, като дисплеи, клавиатури и външни периферни устройства, присъединени с кабели. Част от известните подходи за понижаване на недопустимо високи нива на (EMC) и (RFI) генерирани от цифрови модули и периферни устройства са компютърна симулация на електромагнитните емисии [5], [6], оптимизация при проектиране топологията на модулите [7] и окончателна оптимизация при имитация на реален бордови комплекс. Нашият опит в реализация на космически прибори [4], [8] показва, че на ниво лабораторен и технологичен образец може да се извърши основната част от изследването и оптимизацията на електромагнитната съвместимост.

Методи на изследването

Блоквата схема на свързване на анализирани цифрови модули, техните периферни устройства и захранвания са показани на Фиг.1, където използваните съкращения са - „Базов съединителен цифров модул” – MDCM, „Клавиатури и печатащи устройства” – КВМ и „Модул дисплеи” – DDM. Както е видно от фигурата, показаната обща структура е максимално близка до реалните бордови цифрови системи, с цел постигане на максимално коректни измервания, изследвания и оптимизация на (EMC) и (RFI) на конкретно разглежданите цифрови модули. Изследвано е общото излъчване на съединен и захранен базов цифров модул (MDCM) с микропроцесор, кварцови генератори, EPROM, RAM, SRAM. Към него бяха присъединени дисплеи, интерфейсите на аналоговите входно-изходни устройства, интерфейсите на изпълнителни механизми и устройства, а също така и интерфейсите на печатащи устройства и клавиатури.



Фиг.1. Блок-схема на изследваната структура

Известно е, че основната честота на хармоничните съставки е пропорционална на половината от продължителността на времето за нарастване (спадане) на фронтите на сигнала [9].

Профилът на нормите за максимално допустимата напрегнатост на електрическо поле в честотния диапазон 100 -1000MHz [2], може да бъде описан с формулата:

(1)

$$E_{QP} = 36 + 19.lg\left(\frac{f}{100}\right) \quad [\text{dBmicroV/m}],$$

където E_{QP} е допустимата напрегнатост на електрическото поле в [dBmicroV/m], а f е честотата в [MHz].

Подтискането на спектри с променлив профил налага използването на широкодиапазонни средства за понижаване на амплитудите на емисиите, каквито са различните видове екрани.

Известно е, че [9] затихването при поглъщане на екран може да се опише с формулата:

$$(2) \quad B = 0.132 t \sqrt{f G \mu_r} \quad [\text{dB}],$$

където B - затихването при поглъщане на екрана в [dB], t - дебелината на екрана в [μm], f - честотата в [MHz], G - относителната електропроводимост, а μ_r - относителната магнитна проницаемост.

Експериментални резултати

Проведените измервания са направени в съответствие с процедурите описани в [1], [2], [10]. На фиг. 2 е представен резултатът от измерването на спектъра на излъчените радишумове E_{QP1} на отворени неекранирани цифрови модули MDCM, KBM и DDM в диапазона от 300 MHz до 400MHz. Както се вижда на фигурата, най-високи амплитуди на шумовете се наблюдават на честоти от 345 до 395 MHz. Профилът на амплитудите на фиг.3 E_{QP2} в диапазона 400 MHz до 1000 MHz показва сравнително по-ниски амплитуди спрямо E_{QP1} - фиг.2. На честоти по-високи от 700 MHz, излъчени шумове са пренебрежимо малки – съизмерими със собствените шумове на използвания измервателен уред. Поради това последвалите изследвания бяха съсредоточени в диапазона от 290 до 410 MHz. Измерените стойности на E_{QP1} и E_{QP2} на неекранирани цифрови модули MDCM, KBM и DDM са използвани за основа на оптимизационния процес. Проверени бяха различни средства за подтискане на EMC и RFI, като ферити и немагнитни екрани с различни геометрични форми и обеми, както и влиянието на разстоянието между екрана и платката, видът и мястото на заземяването на екрана. Влиянието на феритите и тяхното местоположение е несъществено върху общото излъчване на блоковете. Изследването на електромагнитната съвместимост на захранващия блок и генерираните от него радишумове показва, че захранващият блок не внася съществени емисии над 6 MHz. Фиг. 4 показва резултата от измерването на напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радишумове E_{QP3} на цифрови модули със заземен екран на MDCM и неекранирани KBM и DDM от 300 до 400 MHz. Използван е един плосък, локален, немагнитен екран, съизмерим с размерите на MDCM. На Фиг. 5 е показана разликата в напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радишумове ΔE_{QP1} на цифрови модули със заземен екран на MDCM до 400 MHz, където :

$$(3) \quad \Delta E_{QP1} = E_{QP2} - E_{QP1} \quad [\text{dBmicroV/m}],$$

Анализът на фиг.4 и фиг.5 показва влошаване на параметрите на RFI. В честотния диапазон от 310 до 400 MHz противно на очакванията, излъчените шумове се повишават средно с 6 [dBmicroV/m], а на отделни честоти достига до 16 [dBmicroV/m].

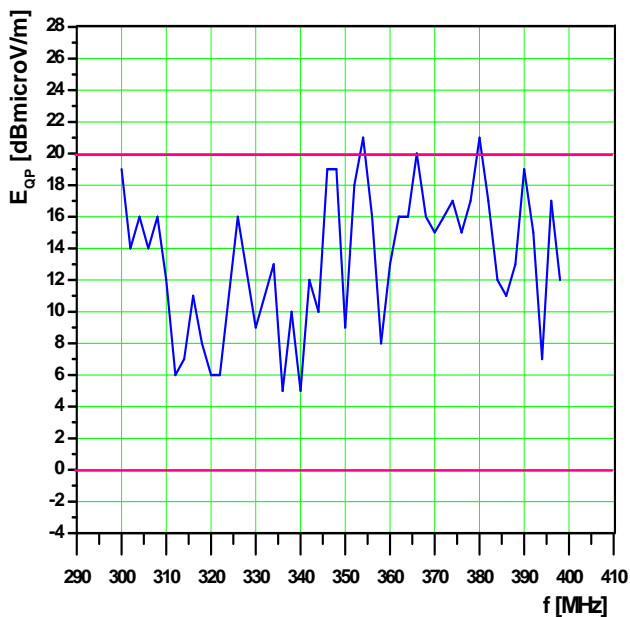
Фиг. 6 показва резултата от измерването на напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радишумове E_{QP4} на цифрови модули с незаземен екран на MDCM и неекранирани KBM и DDM от 300 до 400 MHz, а на фиг.7 – разликата ΔE_{QP2} , където:

$$(4) \quad \Delta E_{QP2} = E_{QP4} - E_{QP1} \quad [\text{dBmicroV/m}].$$

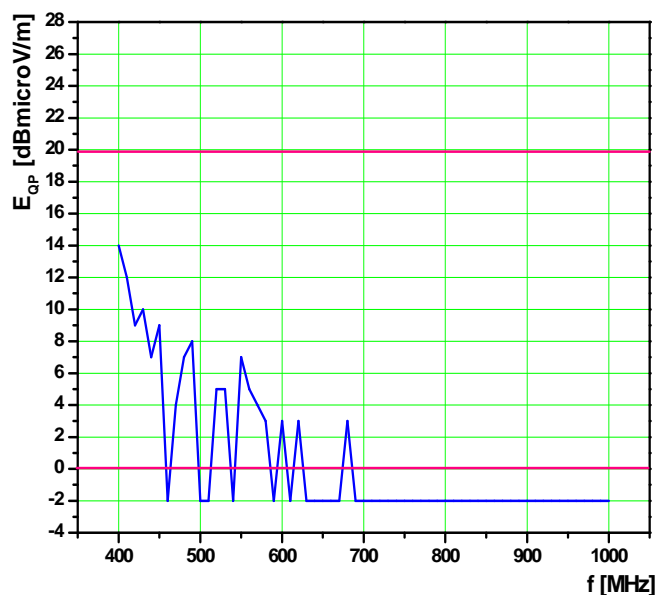
Сравнявайки профилите на ΔE_{QP2} (фиг.7) и ΔE_{QP1} (фиг.5) се наблюдава положителен ефект върху параметрите на RFI при незаземен екран на блока MDCM.

Един от добрите оптимизационни резултати е показан на фиг. 8. и фиг. 9, където разликата ΔE_{QP2} е :

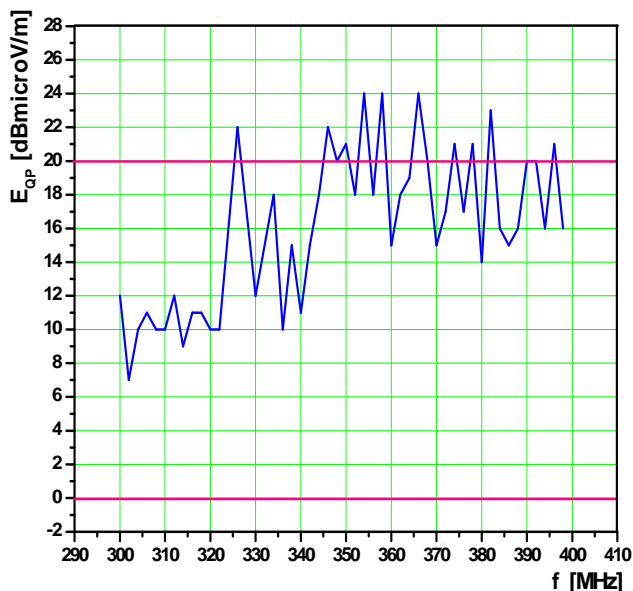
(5) $\Delta E_{QP3} = E_{QP5} - E_{QP1}$ [dBmicroV/m].



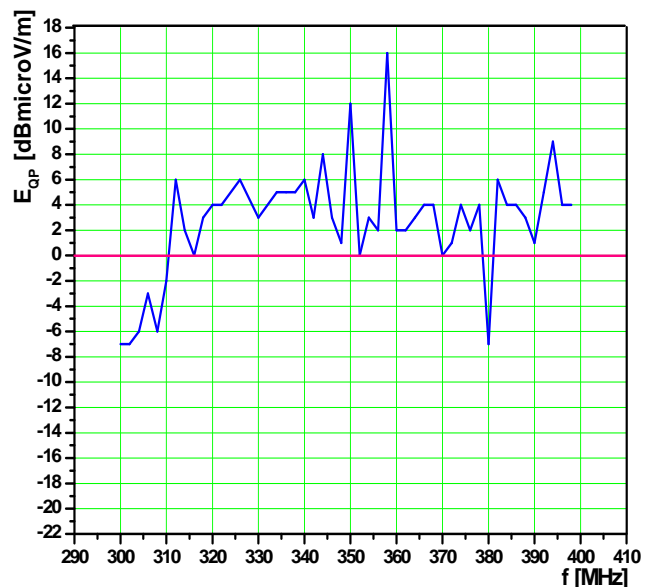
Фиг. 2. Напрегатост на електрическото поле на излъчените радиошумове E_{QP1} на отворени неекранирани цифрови модули от 300 MHz до 400 MHz



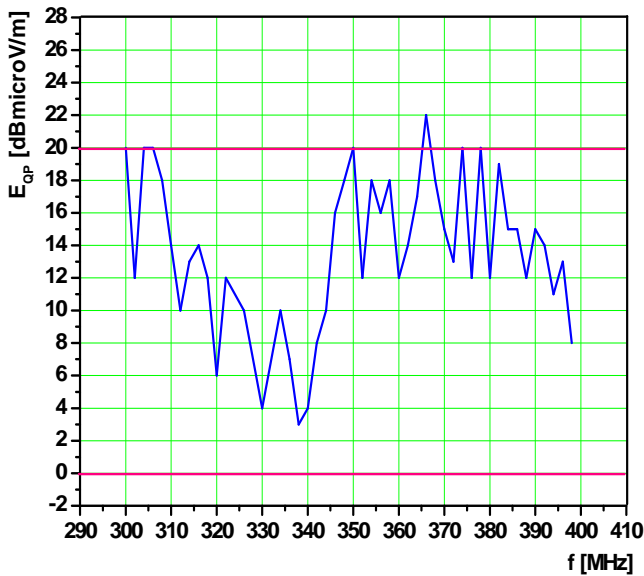
Фиг. 3. Напрегатост на електрическото поле на излъчените радиошумове E_{QP2} на отворени неекранирани цифрови модули от 400 MHz до 1000 MHz



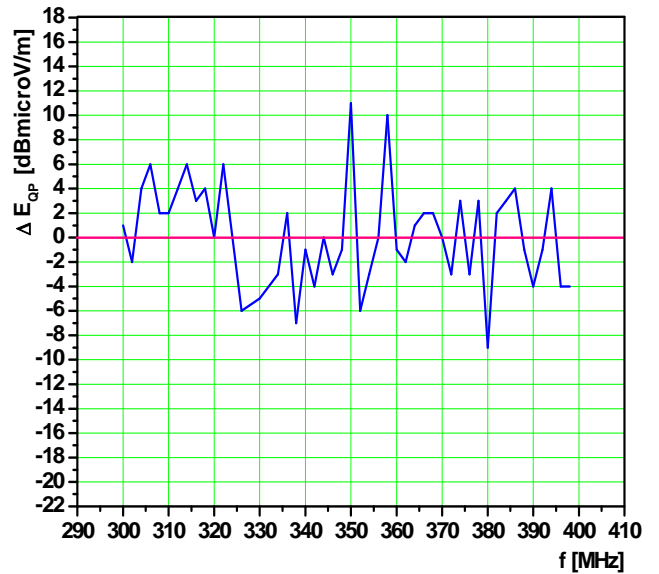
Фиг. 4. Напрегатост на електрическото поле на излъчените радиошумове E_{QP3} на цифрови модули със заземен екран на MDCM и неекранирани KBM и DDM от 300 MHz до 400 MHz



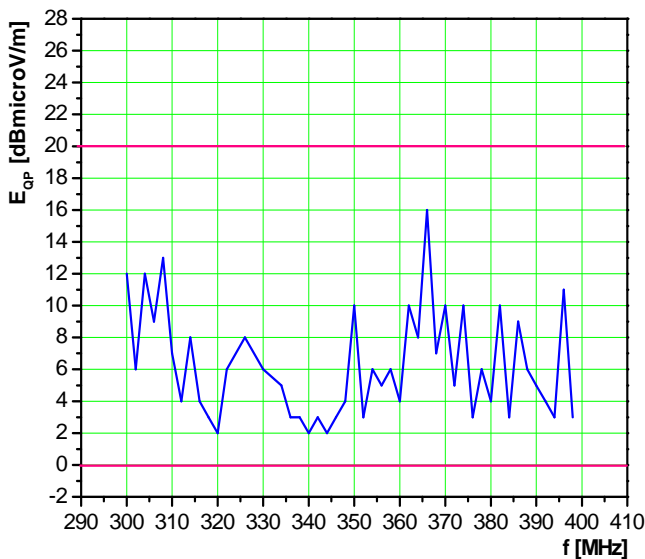
Фиг. 5. Разлика в напрегатостта на електрическото поле на излъчените радиошумове ΔE_{QP1} на цифрови модули със заземен екран на MDCM и неекранирани KBM и DDM от 300 MHz до 400 MHz



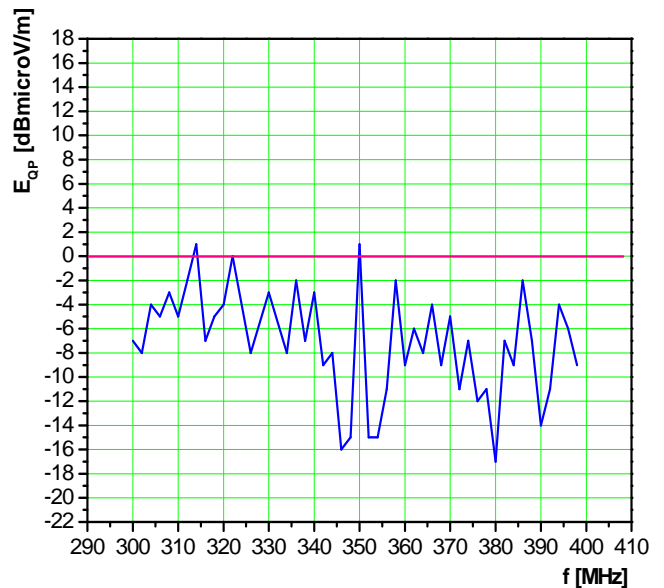
Фиг. 6. Напрегнатост на електрическото поле на излъчените радишумове E_{QP4} на цифрови модули с незаземен екран на MDCM и неекранирани KBM и DDM от 300 MHz до 400 MHz



Фиг. 7. Разлика в напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радишумове ΔE_{QP2} на цифрови модули с незаземен екран на MDCM и неекранирани KBM и DDM от 300 MHz до 400 MHz



Фиг. 8. Напрегнатост на електрическото поле на излъчените радишумове E_{QP5} на цифрови модули с незаземен екран на MDCM и два заземени екрана на KBM и DDM от 300 MHz до 400 MHz



Фиг. 9. Разлика в напрегнатостта на електрическото поле на излъчените радишумове ΔE_{QP3} на цифрови модули с незаземен екран на MDCM и два заземени екрана на KBM и DDM от 300 MHz до 400 MHz

При анализа на профила ΔE_{QP2} (Фиг. 9) се наблюдава понижаване на излъчените шумове средно с 8 dBmicroV/m, а в на отделни честоти достига до 16 dBmicroV/m, при съчетанието от един незаземен екран на MDCM и два заземени екрана на KBM и DDM.

Заклучение

Изследването на EMC и RFI на цифрови модули от наземен вариант на космически прибор, показва съществено изменение в наблюдавания спектър на измерените електромагнитни смущения E_{QP} , в резултат на добавяне на екрани. Оптимизирано е свързването и големината на екраните на съответните модули и тяхното разположение.

При анализа на разликите в профилите на ΔE_{QP} на изследваните варианти се забелязват промени в амплитудата на конкретни честоти от + 16 dBmicroV/m до - 17 dBmicroV/m за различни състояния на системата и от гледна точка на RFI.

Необходимо е при пълна конфигурация допълнително изследване и оптимизация на EMC и RFI на конкретната система, включваща в състава си цифрови блокове като дисплеи, клавиатури, печатащи устройства и др. периферни цифрови модули, предназначени за работа на борда на космически обекти.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. Аппаратура научная – Общие технические требования. Главкосмос, Москва, 1987г.
4. Протокол №01 Квалификационных испытаний (Етап 2), ГНЦ РФ-ИМБП, Проект "Нейролаб", система "Нейролаб-Б" КМ 01.055.00.00 зав.№01, Оцениваемые показатели: Электромагнитная совместимость, 10.11.1995г.
5. Archambeault B., O. Ramahi, Branch C. EMI/EMC Computational Modeling Handbook (2nd Edition), Springer; 2001, 336 p.
6. Estienne J.P., J.G. Ferrante. Geometrical & Electromagnetic Modeling for Aerospace Engineering, Proc. "2nd Conference on Advances and Applications of GiD, 18- 20 February 2004", Barcelona, Spain.
7. Everett III, W. Woodrow 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. Television observations of Phobos G.A.Avanesov,P.Gromatikov,....et all. Nature V.341, 1989, 585-587p.
9. Букреев С.С., Головацкий В.А., и др. Источники вторичного электропитания. М.: Радио и связь, 1983. – 280с.
10. Sketoe J. G., Integrated circuit electromagnetic immunity handbook, Tech. Rep. NASA/CR-2000 - 210017, Boing Information, Space and Defense Systems, Seattle, WA, 2000.