

## **ВИРТУАЛЕН БЛОК ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА КОСМИЧЕСКА ОРАНЖЕРИЯ “СВЕТ”**

**Йордан Найденов, Таня Иванова, Илиана Илиева, Иван Дандолов**

*Институт за космически и слънчево-земни изследвания – Българска академия на науките*  
e-mail: yordan.naydenov@space.bas.bg

**Ключови думи:** Космическа оранжерия “СВЕТ”, Блок за управление, адаптивна концепция

**Резюме:** Резултатите от бордовите изследвания в Космическа оранжерия (КО) “СВЕТ” (първа автоматизирана оранжерийна система, работила на Орбитална станция МИР) доказаха възможността за поддържане на пълен жизнен цикъл при отглеждане на висши растения в условия на микрогравитация. С цел оптимизиране на процеса и минимизиране на стреса при култивиране на растенията беше развита концепция за адаптивно управление на средата в КО “СВЕТ”, базирана на подробен анализ на натрупаните данни от космическите експерименти в периода 1990-2000 г. За нейната реализация се разработва виртуален Блок за управление (ВБУ), като един от възлите на цялостен лабораторен комплекс за отработване на алгоритмите на адаптивното управление. Лабораторният комплекс включва КО “СВЕТ” с вградени сензорни системи за мониторинг на средата, контролер за събиране на данни ME-4610, инсталиран на персонален компютър, на който ще работи ВБУ, храняващ блок и интерфейс адаптивен модул между КО и системата компютър–контролер. Описаният ВБУ софтуерно симулира всички функции, интерфейс и работни режими на оригиналния микропроцесорен БУ на КО “СВЕТ”.

## **VIRTUAL CONTROL UNIT FOR SVET SPACE GREENHOUSE**

**Yordan Naydenov, Tania Ivanova, Iliana Ilieva, Ivan Dandolov**

*Space and Solar-Terrestrial Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences*  
e-mail: yordan.naydenov@space.bas.bg

**Keywords:** SVET Space Greenhouse, Control Unit, Adaptive Control Concept

**Abstract:** The possibility of supporting a full life cycle of higher plants cultivated in microgravity has been confirmed by onboard experiments in the SVET Space Greenhouse (SG), which was the first automated greenhouse facility operating onboard the MIR Orbital Station in the period 1990-2000. Based on these experiments, a new concept for adaptive control of the environmental parameters in the SG aiming to optimize the cultivation process and to minimize the stress in plants has been formulated. To implement this, a Virtual Control Unit is being developed as part of a laboratory complex which will be used to clarify and refine the adaptive control's algorithms. This complex comprises the SG itself and its internal environment monitoring systems, an ME-4610 data acquisition and signal processing controller installed on a general-purpose computer which the VCU will run on, an interface adapter, and a power-supply module. The VCU simulates all the functions, operating modes, and man-machine interface of the original embedded Control Unit of the first two modifications of SVET SG.

### **Въведение**

Космическа оранжерия (КО) „СВЕТ” беше първата напълно автоматизирана щатна оранжерийна установка и единствената апаратура за дългосрочни изследвания с растения на борда на Орбитална станция (ОС) МИР. В нея бяха проведени дългосрочни изследвания с няколко вида култури по различни международни програми в периода 1990-2000 г., с обща продължителност от 680 дни [1]. В резултат на тези многомесечни експерименти бяха направени изводи с фундаментално теоретично значение в областта на космическите растителни биотехнологии. Доказано бе практически, че няма принципни пречки растенията да бъдат отглеждани в условия на микрогравитация [2, 3], а те са основно звено от бъдещите

Биологични системи за осигуряване живота на космонавтите (БСОЖ) при дългосрочни пилотируеми мисии [4].

Експедициите на бъдещите пилотируеми космически апарати (дори тези за посещение на най-близките до Земята планети, напр. Марс) ще бъдат трудно осъществими, и дори невъзможни, без наличието на затворени екологични системи, които да поддържат живота на космонавтите, чрез възстановяване на наличните ресурси – пречистване на въздуха, водата, както и автономно осигуряване на храна. Такава БСОЖ се базира на кръговрата на химичните елементи, посредством обмяната на хранителни вещества и енергия между звената на трофичните вериги от които е изградена екосистемата – продуценти (автотрофни организми, основно висши растения), консументи (различни видове животни и хората от екипажа) и редуценти (микроорганизми) [5]. Затова експерименти с различни видове растения, които се провеждат още от зората на пилотируемите полети, продължават и днес на Международната космическа станция и в наземни експериментални установки и комплекси, като проекта „Марс-500“ [6].

Създадено бе ново направление в науката – космическо растениевъдство. След успешните експерименти по отглеждане на няколко поколения растения в КО „СВЕТ“ стана ясно, че създаването на космически оранжерии с по-големи площи ще зависи от усъвършенстването на техническите средства и биотехнологиите. Поради специфичните условия на работа, трябва да се създаде оранжерийна установка, която да осигури условия за отглеждане на висши растения в точно определени норми на средата, при практическа липса на гравитация. Всичко това не би било възможно, ако КО не е автоматизирана и не осигурява както автономна работа, така и управление на апаратурния комплекс от човешкия фактор (в лицето на космонавтите или на наземния персонал). Това беше една от основните причини за успеха на изследванията по отглеждане на растения в космически условия с помощта на двете модификации КО „СВЕТ“, която осигуряваше контролирани параметри на средата и функционираше безотказно на ОС МИР.

Развитието на техниката и технологиите през последното десетилетие позволи да се търсят нови начини за осигуряване на оптимален растеж и развитие на растенията, отглеждани в условия на микрогравитация, с цел максимален добив на биомаса и регенерация на ресурсите на борда на пилотируемите космически апарати. Това може да се осъществи или чрез използване на нови биотехнологии при култивирането, или с подобряване на методите за поддържане на оптимални условия на култивиране, съобразно с моментния физиологичен статус/стадий на растеж и развитие на растенията.

Именно втората от двете възможности беше избрана от колектива разработил КО „СВЕТ“ за модернизираният ѝ, като се формулира и обоснова концепция за адаптивно управление на средата в КО [7].

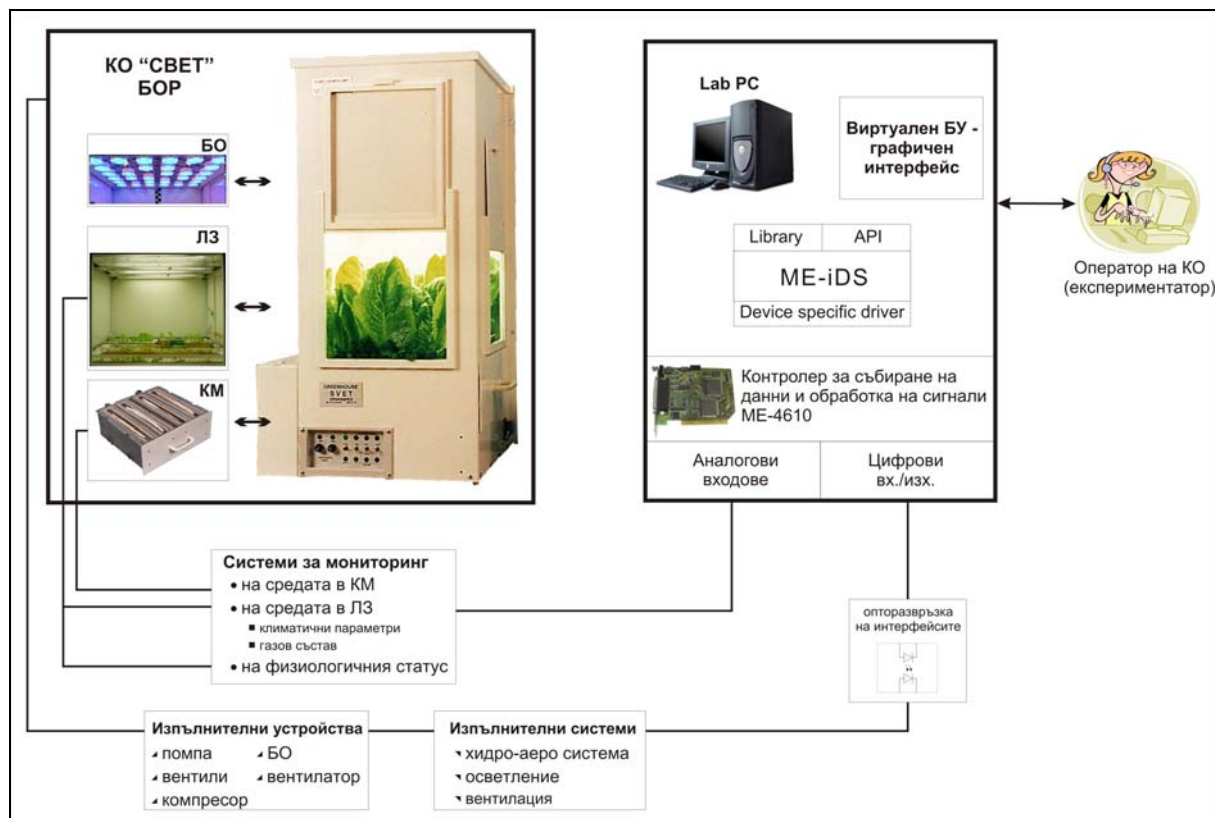
Разработката на виртуален Блок за управление (ВБУ) цели предоставяне на механизми за отработване и прилагане на алгоритми за адаптивно управление на средата в КО „СВЕТ“. Поради тази причина той се реализира като софтуерна програма, изпълнявана на компютър с общо предназначение (персонален компютър).

### **Лабораторен комплекс апаратури**

За осъществяване на разработката и провеждането на свързаните с нея изследвания се използва наземен образец на летялата на борда на ОС МИР КО „СВЕТ-2“, разположена в климатизираната Лаборатория за биотехнологични изпитания на ИКСИ-БАН. КО „СВЕТ“ е изградена на модулна принцип за повишаване на функционалността ѝ и с цел заменяемост на отделните възли при дългосрочната ѝ експлоатация. Състои се от 4 модула: (1) Блок осветление (БО); (2) Коренов модул (КМ); (3) Блок управление (БУ); и (4) Камера за отглеждане на растения (КОР), в която се вграждат БО и КМ (фиг. 1). БО може да се движи вертикално в КОР за осигуряване на оптимално осветление през различните етапи на култивация на растенията в КО. КМ може да се зарежда с различни типове хранителни субстрати и да се подменя, както това е правено неколкостранно по време на бордовите експерименти на ОС МИР. КМ, на свой ред, е съставен от две самостоятелни касети, които са независими една от друга по отношение на мониторинга и управлението на параметрите на средата в кореновата зона. Възлите на системите за мониторинг и управление на КО, съобразно с тази организация, са разпределени между отделните модули. Системите за осветление и вентилация са разположени в БО, тези за напояване и аерация на субстрата на който се отглеждат растенията – в КМ. Същото е в сила и за възлите на сензорните системи за мониторинг на параметрите на средата (въздушна и субстратна) в КО (вж. фиг. 1).

Предимството на подобна организация на оранжерия „СВЕТ“ е, че замената на отделни блокове, или добавянето на нови сензорни системи става лесно и удобно и не е обвързано с

модификации по общата конструкция на КО. По този начин оригиналният БО на флуоресцентни лампи NARVA тип LS 8-6 на „СВЕТ-1“ беше заменен през 1995 г. от нов БО на флуоресцентни лампи OSRAM тип DS 11/21. Този втори блок (оригинален за КО „СВЕТ-2“) е заменен от БО с мощни монохроматични светодиоди, излъчващи в червената, синята и зелената области на видимия спектър, с който се извършват наземните експерименти понастоящем [8]. По същия начин беше добавена изцяло нова система за мониторинг на физичните параметри на средата в листната зона на КОР [9, 10]. Подобна система (вкл. газо-анализираща) беше използвана в бордовите експерименти с растения в КО „СВЕТ-2“ в периода 1995-1997 г.



Фиг. 1. Лабораторен комплекс апаратури КО „СВЕТ-3“ (за съкращенията – виж в текста)

За четене на данните от мониторинговите системи в КМ и листната зона на КОР, както и за управление на изпълнителните устройства на КО се използва универсален контролер за събиране на данни и управление ME-Jekyll ME-4610 (Meilhaus Electronic GmbH, Германия), който е инсталиран на PCI слот в персоналния компютър на който се изпълнява ВБУ [11].

### Интерфейсен адаптерен и захранващ модул

**Интерфейс на ME-4610:** Комуникацията с контролера се осигурява от два конектора: (1) 78-пинов D-Sub (DD-78S) куплунг, монтиран на самата платка; и (2) 20-пинов IDC конектор, към който е свързан, посредством лентов кабел (ME-AK-D25F/S), 25-пинов D-Sub (DB-25S) куплунг. Два от четирите 8-битови двупосочни цифрови портове са изведени на конектор (2). Всички останали входни/изходни канали (на аналоговите входове, на броячите, на външните прекъсвания, на останалите два цифрови порта) се обслужват от първия конектор.

**Интерфейс на КО:** Комуникационните линии на КО „СВЕТ“, през които се четат данните от сензорите на мониторинговите й системи и се подават управляващи сигнали към изпълнителните й устройства, са канализирани в отделни цилиндрични нискочестотни съединители тип РС между оригиналния БУ и КОР (вкл. КМ и оригиналния БО).

**Интерфейс на светодиодния БО:** LED-БО (в неговата автономна конфигурация) се управлява по стандартен протокол DMX512 от собствен програматор през съединител тип XLR3.

За управлението на КО (вкл. LED-БО) от ВБУ през ME-4610 се предвижда изработването на междинен блок с основна роля на интерфейсен адаптер и допълнителна

функция – осигуряване на стабилизирани напрежения за захранване на сензорите и изпълнителните устройства на КО (без LED-БО, който ще използва собствения си захранващ блок).

### Организация на програмното осигуряване на ВБУ

Графичният потребителски интерфейс на ВБУ, имитиращ интерфейса на оригиналния БУ на КО „СВЕТ-1, -2” (вкл. до пресъздаване на матричния и седем-сегментен дисплей), е реализиран в графичната програмна среда на LabVIEW. Така се постига максимално доближаване към изгледа и усещането за работа с оригиналния микропроцесорен БУ, с което се цели приемственост в начина на взаимодействие между оператора на КО (експериментатора) и интерфейса ѝ. Това ще е особено полезно в преходния период между автоматизираното и адаптивното поддържане на средата, когато ще е необходимо провеждането на множество експерименти за установяване и потвърждаване на параметрите на адаптивното управление.

Функционалността на ВБУ, касаеща четенето на данни от сензорните системи в листната и кореновите зони, както и управлението на изпълнителните механизми на КО, е написана на С++ с използване на API функциите от ME-iDS библиотеката на универсалния драйвер на Meilhaus Electronic (вж. по-долу). Тези библиотечни функции се използват или директно, или индиректно – чрез класовете на библиотеката MEDIOi (вж. по-долу), когато се касае за управление на изпълнителните устройства на КО (цифровите портове на контролера ME-4610).

### Универсален драйвер ME-iDS на Meilhaus Electronic

Първоначално, всеки контролер от производствената гама на Meilhaus Electronic GmbH (или по-точно, всяка фамилия от устройства, напр. ME-4600 към която принадлежи ME-4610) имаха свой собствен драйвер. Впоследствие, фирмата-производител разработи един общ драйвер (система драйвери), който да обслужва всички предлагани устройства. Същевременно, поддръжката за контролер-специфичните драйвери се преустанови. Това наложи използването на унифицирания драйвер, наречен **Meilhaus Intelligent Driver System (ME-iDS)** [12], за нуждите на ВБУ (вж. *фиг. 1*).

Основното предимство е очевидно: ME-iDS предлага общ програмен интерфейс за всички устройства и фамилии операционни системи – по този начин се елиминира нуждата от редактиране на програмните кодове при смяна на типа контролер или при инсталирането на нова операционна система на персоналния компютър на който се изпълнява ВБУ.

Библиотеката на този универсален драйвер логически е организирана на йерархичен принцип: (1) *драйвер* – логическо представяне на цялата система като множество от устройства; (2) *устройство* – самостоятелна хардуерна единица, напр. контролер за събиране и управление ME-4610; (3) *подустройство* – логическо представяне на конкретна функционалност (напр. аналогови входове, цифрови входове/изходи, броячи, външни прекъсвания и пр.); (4) *канал* – единичен хардуерен компонент (напр. цифров/аналогов вход/изход).

### Библиотека от С++ класове за управление на цифровите портове

Управляващите сигнали на ВБУ към изпълнителните устройства на КО са цифрови. За по-добра организация на изходните кодове на ВБУ в частта им за управление на системите за поддържане на средата в КО, част от API функциите на ME-iDS драйвера са капсуловани в С++ класове, организирани в библиотека. Класовете предоставят удобен интерфейс за по-гъвкаво управление на цифровите портове на ME-4610.

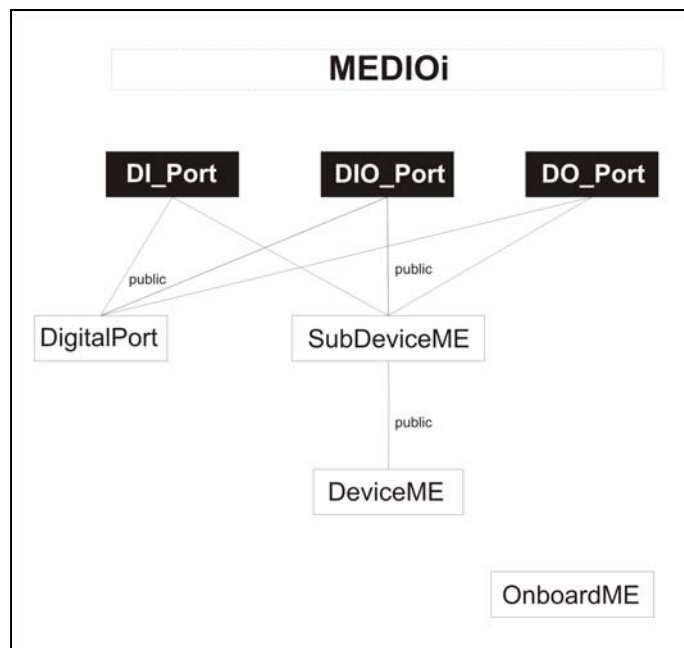
Библиотеката, наречена **ME Digital Input/Output interface (MEDIOi)**, има следната организация (*фиг. 2*):

Клас *OnboardME* служи за установяване наличието на инсталиран/и в системата контролер/и за събиране на данни и обработка на сигнали и драйвер/и за него/тях. Събират се и конкретни данни за броя инсталирани устройства, версии на драйверите и библиотеките.

Класовете *DeviceME* и *SubDeviceME* са пряко отражение на две от йерархичните нива на организацията на ME-iDS драйвера (вж. по-горе). С тяхна помощ се отправят запитвания към инсталираното устройство и се събира информацията за неговите характеристики (тип, сериен номер, тип и номер на шината на която е инсталирано и редица др.), както и за характеристиките на подустройствата му (тип, брой канали и др.).

Абстрактният клас *DigitalPort* генерализира концепцията за „цифров порт”, предоставяйки общ интерфейс за свойствата и поведението му.

Класовете *SubDeviceME* и *DigitalPort*, чрез множествено наследяване с публични права на достъп, се явяват базови за трите основни класа на библиотеката: *DI\_Port*, *DIO\_Port* и *DO\_Port*, предназначени за подустройства от тип входен, двупосочен и изходен цифрови портове.



Фиг. 2. MEDIOi – йерархия на библиотечните класове

Няма взаимно еднозначно съответствие между трите класа и едноименните им типове цифрови портове, т.е. при наличие на контролер с двупосочни портове (както е при ME-4610), те могат да се управляват от обекти, инстанциирани и от трите класа. По този начин може да се ограничи използването на съответен двупосочен порт като такъв, когато той ще се използва изключително като вход или изход, с цел минимизиране на риска от погрешно пренасочване. По същия начин, *DIO\_Port* може да се използва за инстанцииране на обекти, управляващи едностранни входни или изходни цифрови портове. В този случай, всеки опит за пренасочване ще предизвика генериране на съответно изключение, което може да се прихване и обработи от програмиста по подходящ начин.

### Блок за визуална регистрация на управляващи сигнали

За целите на тестването на компонентите на ВБУ, свързани с управлението на цифровите изходи на ME-4610, респективно изпълнителните устройства на КО, е изработен блок със светодиодна индикация (фиг. 3).



Фиг. 3. MEDIO – блок светодиодна индикация

На всеки цифров канал съответства по един светодиод (димиран, за по-удобна регистрация от малък ъгъл на наблюдение). Светодиодите са организирани в 4 групи по 8, в съответствие с организацията на цифровите канали в четири 8-битови портове. Блокът се захранва през USB интерфейс, чрез куплунг тип Standard-B.

### Заклучение

Адаптивното управление на средата в КО „СВЕТ“ от ВБУ, наред с използването на светодиоден БО, ще позволи да се повиши общата ѝ ефективност от гледна точка на повишаване на добива (количеството произвеждана растителна биомаса), скъсяване на култивационния период и повишаване на хранителната стойност на отглежданите растения. Това ще означава цялостна модернизация на КО, като трето поколение оранжерийна установка способна адекватно да обезпечи апаратурно и биотехнологично звеното „продуценти“ в бъдещите затворени екологични системи за поддържане живота на екипажите на пилотируемите космически летателни апарати.

### Литература:

1. Ivanova, T., P. Kostov, I. Dandolov, S. Sapunova. Results from Microgravity Experiments in the SVET Space Greenhouse Onboard the MIR Orbital Station. *Proceedings of the 51<sup>st</sup> International Astronautical Congress*, 2-6 October 2000, Rio de Janeiro, Brazil, Rep. IAF-00-J.3.10.
2. Ivanova, T. N., Yu. A. Bercovich, A. L. Mashinsky, G. I. Meleshko. The First Vegetables have been grown up in the "SVET" Greenhouse by Means of Controlled Environmental Conditions. *Microgravity Quarterly*, Vol. 2, No. 2, pp. 109-114, 1992.
3. Levinskikh, M. A., V. N. Sychev, T. A. Derendyaeva, O. B. Signalova, F. B. Salisbury, W. F. Campbell, D. L. Bubenheim, G. Jahns. Analysis of the Spaceflight Effects on Growth and Development of Super Dwarf Wheat in Greenhouse SVET. *J. Plant Physiol.*, Vol. 156, No. 4, pp. 522-529, 2000.
4. Ivanova, T. N., P. T. Kostov, S. M. Sapunova, I. W. Dandolov, F. B. Salisbury, G. E. Bingham, V. N. Sytchov, M. A. Levinskikh, I. G. Podolski, D. B. Bubenheim, G. Jahns. Six-Month Space Greenhouse Experiments – a Step to Creation of Future Biological Life Support Systems. *Acta Astronautica*, Vol. 42, Nos. 1-8, pp. 11-23, 1998.
5. Иванова, Т. Растенията в космическите екологични системи за осигуряване живота на екипажите. *Екологично инженерство и опазване на околната среда*, бр. 1, 15-20, 2003.
6. Иванова, Т., И. Илиева, Й. Найденов, В. Сычев, М. Левинских. Стартира проекта "МАРС-500" – участия в наземния експериментален комплекс. *Proceedings of the Third Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety" SENS'2008*, 4-7 June 2008, Golden Sands, Bulgaria, pp. 64-69, 2008.
7. Kostov, P., T. Ivanova, I. Dandolov, S. Sapunova, I. Ilieva. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica*, Vol. 51, Nos. 1-9, pp. 213-220, 2002.
8. Ivanova, T., I. Dandolov, I. Ilieva, Y. Naydenov, M. Levinskikh, V. Sychev. New LEDs Light Module Developed on "Greenhouse-Mars" Project. *Aerospace Research in Bulgaria*, Vol. 23, pp. 85-102, 2009.
9. Naydenov, Y., S. Neychev, I. Ilieva. New Plant Shoot Environment Monitoring System for Third Generation SVET Space Greenhouse. *Proceedings of the Third Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety" SENS'2007*, 27-29 June 2007, Varna, Bulgaria, pp. 369-373, 2008.
10. Naydenov, Y., T. Ivanova, I. Dandolov, I. Ilieva. Plant Shoot Environment Monitoring and Control in the SVET Space Greenhouse. *Proceedings of the 60<sup>th</sup> International Astronautical Congress*, 12-16 October, 2009, Daejeon, Republic of Korea, Curran Associates Inc., Vol. 1, pp. 299-306, 2010.
11. Meilhaus Electronic. *Manual ME-Jekyll ME-4610: 16 Bit Multifunction Board with 16 A/D Channels. Revision 1.2E*. Meilhaus Electronic GmbH, Puchheim, Germany, June 22, 2005.
12. Meilhaus Electronic. *Manual Meilhaus Intelligent Driver System (ME-iDS). Revision 1.3E*. Meilhaus Electronic GmbH, Puchheim, Germany, May 21, 2010.