

ВЫБОР ТОЧЕК ЗАЗЕМЛЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ПОМЕХ СИГНАЛА ВЫСОКООМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Гринкевич В.А., Сероклинов Г.В.

Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Проведены исследования (2020 г.) по снижению влияния электромагнитных помех, генерируемых устройством формирования температурных воздействий на основе элемента Пельтье, на измеритель биопотенциала растений. Рассмотрено четыре варианта схем заземления оборудования при отсутствии отдельной шины заземления для силового оборудования, приведены графики сигналов биопотенциалов. Показан вид помехи, которую наводит устройство формирования температурных воздействий на канал измерения биопотенциала. Корпус блока управления для термостоллика на основе элемента Пельтье и силовой кабель для подключения элемента Пельтье к блоку управления необходимо заземлять в отдельной точке от оборудования для измерения биопотенциала. Электроды для измерения биопотенциала необходимо заземлять как можно дальше от корпуса блока управления и в отдельной точке от заземления пластины термостоллика. Даны рекомендации по заземлению измерительных устройств с высоким входным сопротивлением и силового оборудования, излучающего мощные индуктивные помехи и наводящего помехи в шине заземления, находящегося в одном лабораторном помещении при отсутствии отдельного заземления для силового оборудования. Для снижения помех до допустимого уровня, кроме выбора точки заземления, требуется фильтрация. При неправильном выборе точки заземления на выходе фильтра присутствует сигнал с высоким уровнем помех. Использование предложенных рекомендаций для заземления устройства формирования температурного воздействия на основе элемента Пельтье и измерителя биопотенциала позволяет оценить ответную реакцию растения, находящегося на термостоллике, на температурное воздействие и не усложнять программную фильтрацию сигнала, полученного измерителем биопотенциала.

Ключевые слова: помеха, экранирование, заземление, измерение биопотенциала, элемент Пельтье, импульсный преобразователь, электромагнитная совместимость

SELECTING GROUNDING POINTS TO REDUCE INTERFERENCE LEVEL OF THE SIGNAL OF HIGH-IMPEDANCE MEASURING CHANNEL

Vladimir A. Grinkevich, Gennadiy V. Seroklinov

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

The study was carried out (2020) to reduce the effect of electromagnetic interference generated by a device for the formation of temperature effects based on Peltier element on a plant biopotential meter. Four variants of equipment grounding circuits are considered in the absence of a separate grounding bus for power equipment; graphs of biopotential signals are given. The type of interference that the device for the formation of temperature effects induces on the biopotential measurement channel is shown. The control unit case for the temperature-controlled stage based on Peltier element and the power cable shield for connecting Peltier element to the control unit must be grounded at a separate point from the biopotential meter. Biopotential meter electrodes should be grounded as far as possible from the control unit case and at a separate point from the grounding of the plate of the temperature-controlled stage. Recommendations are given for the grounding of high impedance input measuring devices and the power equipment emitting powerful inductive interference and causing interference in the grounding bus located in the same laboratory room, in the absence of separate grounding for power equipment. To reduce interference to an acceptable level, in addition to the selection of the grounding point, filtering is required. If the grounding point is selected incorrectly, a signal with a high level of interference is present at the filter output. The application

of the proposed recommendations for grounding a device for the formation of a temperature effect based on Peltier element and a biopotential meter makes it possible to assess the response of a plant placed on the temperature-controlled stage to a temperature effect and not complicate programmed filtering of the signal received by the biopotential meter.

Keywords: interference, shielding, grounding, biopotential meter, Peltier element, switching convertor, electromagnetic compatibility

Для цитирования: Гринкевич В.А., Сероклинов Г.В. Выбор точек заземления для снижения уровня помех сигнала высокоомного измерительного канала // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 4. С. 103–113. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-4-12.

For citation: Grinkevich V.A., Seroklinov G.V. Selecting grounding points to reduce the interference level of the signal of high-impedance measuring channel. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 4, pp. 103–113. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-4-12.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Действующие на канал измерения электромагнитные помехи приводят к увеличению погрешности измерений, а также к недопустимым результатам измерений или нарушению работы автоматизированных систем управления¹ и возникновению ошибок при передаче информации [1]. Вопросы по электромагнитной совместимости и снижению влияния помех рассмотрены во многих информационных источниках (см. сноску 1)^{2–4} [1–11]. Электромагнитные помехи подразделяются на индуктивные и кондуктивные. Для снижения индуктивных помех применяется экранирование (см. сноску 1)^{5,6} [3, 4]. Источниками индуктивных помех являются наводки от электросети, оборудования с импульсными блоками питания, электродвигателей. В случае размещения измерительных систем вблизи оборудования с импульсными источниками питания электромагнитная совместимость становится сложной задачей (см. сноску 1). В настоящее время не существует универ-

сальных методов по защите от электромагнитных помех, а неправильное заземление экрана может даже повысить их уровень.

В зависимости от вида индуктивных помех применяют различные способы экранирования. Для защиты от низкочастотных магнитных полей применяют ферритовые экраны (см. сноску 1). Для защиты кабеля от электромагнитных полей в широком диапазоне частот применяют заземленную медную оплетку, коаксиальный кабель (см. сноски 3, 6) [6] или витую пару [7]. Для снижения электромагнитных помех от инверторов (см. сноску 2) [4, 5], ШИМ-преобразователей [12] рекомендуется их помещать в заземленный металлический шкаф (см. сноску 3). Для снижения электромагнитных помех, излучаемых кабелем от инверторов или ШИМ-преобразователей до силовых устройств (двигателей, элементов Пельтье), рекомендуется помещать эти кабели в металлическую трубу, свивать силовые провода (см. сноску 3), использовать экранированные силовые кабели. Для защиты от электромагнитных помех в измеритель-

¹Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие. Томск: «ТМЛ-Пресс», 2007. 256 с.

²Защита от электромагнитных помех в сервосистемах. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/zashchita-ot-ehlektronnymi-pomek-v-servostistemakh/>

³Инструкция по применению инвертора. Методы по борьбе с шумами. М., 2004. URL: <http://www.pkip.ru/files/files/pomeh.pdf>.

⁴Термин: эффект антенный (емкостная наводка). URL: https://www.lcard.ru/lexicon/antenna_effect.

⁵Методы экранирования и заземления. URL: https://www.bookasutp.ru/Chapter3_5.aspx.

⁶Коаксиальный кабель. URL: <http://cable-plus.ru/news/94-coaxialcable.html>.

ных цепях рекомендуется располагать их на расстоянии более 30 см от силовых кабелей, применять экранированные витые пары или коаксиальные кабели. Для снижения чувствительности к емкостным наводкам рекомендуется применять дифференциальные входы (см. сноску 3) и увеличение входной емкости.

По данным исследований, в шине заземления могут присутствовать значительные помехи, идущие от компьютеров, станков и другого электрооборудования [1, 5]. Для снижения влияния помех, распространяющихся по заземлению, рекомендуется применять для силового оборудования отдельное заземление (см. сноску 3). В случае отсутствия отдельного заземления силовое и измерительное оборудование нужно заземлить в разных точках.

В исследуемых в данной работе лабораторных условиях есть одна общая шина заземления (арматура здания). Однако существует возможность заземления приборов в разных точках этой шины – в нескольких точках электроцита, на стационарном силовом оборудовании (например, в климатической камере).

При проведении исследований стрессоустойчивости различных злаковых культур методом измерения биопотенциала проростков в лабораторных условиях^{7, 8} используют униполярный способ съема биопотенциала с применением хлорсеребряных электродов. При этом источник сигналов имеет высокое внутреннее сопротивление, что значительно снижает помехоустойчивость канала измерения к емкостной наводке (см. сноску 4).

При проектировании измерительных приборов, а также при проведении экспериментов с применением нескольких приборов необхо-

димо обеспечить электромагнитную совместимость различного оборудования. Для этого требуется провести исследования по влиянию электромагнитных помех от одного оборудования на другое (измерительные каналы).

В данной работе исследовано влияние помех от формирователя температурного профиля⁹ на основе элемента Пельтье [12] с ШИМ-преобразователем на канал измерения биопотенциала растения с хлорсеребряными электродами. Силовой ШИМ-преобразователь – источник значительных индуктивных помех. Электроды с растением как источник сигнала имеют высокое внутреннее сопротивление. Это снижает помехоустойчивость канала измерения. При проектировании канала измерения биопотенциала и применения нескольких приборов в лабораторных исследованиях необходимо обеспечить электромагнитную совместимость приборов и исследовать влияние создаваемых ШИМ-преобразователем помех на работу измерительного оборудования.

Цель исследований – определить точки заземления, позволяющие снизить помехи высокоомного измерительного канала, наводимые формирователем температурного профиля с ШИМ-преобразователем, до уровня 20–40 мВ, что обеспечит получение незашумленного сигнала измерителя биопотенциала растений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Источник помех в данном исследовании – формирователь температурного профиля, который состоит из блока управления (термоконтроллера), лабораторного термостоллика и источников питания: цепи управления (ИПУ), термометра (ИПТ), силовой части (СИП) и модуля гальванической раз-

⁷Сероклинов Г.В. Задачи автоматизации экспериментальных исследований сложных биофизических объектов // Методы и технические средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве: сборник научных трудов СибФТИ: Сибирское отделение РАН. Сибирский физико-технический институт аграрных проблем. Новосибирск, 2001. С. 46–53.

⁸Сероклинов Г.В., Гунько А.В. Информационные технологии при исследовании изменения биопотенциала растений от действия температуры // Актуальные проблемы электронного приборостроения труды XII междунар. конф.: АПЭП–2014. 2014. С. 72–75.

⁹Температурный профиль. URL:http://www.pk-altonika.ru/dictionary_42.htm. Температурный профиль. URL:http://www.pk-altonika.ru/dictionary_42.htm.

вязки (ИПГР). Измеритель биопотенциала состоит из хлорсеребряных электродов (ЭСр-10101/3,5), предусилителя с входным сопротивлением около 10 ГОм, усилителя с гальванической развязкой и многоканального АЦП «L-CARD E14-440»¹⁰. Для измерения биопотенциала растения в данном комплексе применен униполярный способ снятия сигнала с использованием хлорсеребряных электродов. Напряжение с электродов поступает на предусилитель, после чего подается на усилитель с гальванической развязкой и далее – на дифференциальный вход многоканального АЦП «L-CARD E14-440». Предусилитель имеет вход с общей землей (недифференциальный, несимметричный). Термостолик, применяемый для исследования ответной реакции на тепловой стресс, находится в климатической камере с заземленным металлическим корпусом, в которой создаются необходимые при проведении экспериментов параметры окружающей среды. Термоконтроллер имеет аналоговый выход измеренного значения температуры, который подключается ко входу АЦП «L-CARD E14-440». Силовая часть формирователя выполнена по схеме мостового ШИМ-преобразователя, в состав которого входят MOSFET-транзисторы и фильтр (два дросселя и конденсаторы). В диагональ мостового ШИМ-преобразователя через фильтр, обеспечивающий выделение из двухполярной последовательности импульсов постоянной составляющей тока, включен элемент Пельтье. Элемент Пельтье размещен под медной пластиной, в которую встроен датчик температуры, внутри лабораторного термостолика, на котором размещается объект исследований (растение). Медная пластина также служит экраном для защиты от помех, излучаемых элементом Пельтье. Для подключения элемента Пельтье к блоку управления используется силовой кабель типа «экранированная витая пара». Для снижения уровня импульсных помех рядом с блоком управления на сило-

вом кабеле установлено ферритовое кольцо с размещенной на нем закороченной обмоткой (несколько витков). На другом конце силового кабеля, в месте подключения к термостолику, установлен конденсатор для фильтрации высокочастотных помех.

В процессе экспериментальных исследований рассмотрены четыре варианта заземления оборудования:

1. Экран электродов заземлен на корпус формирователя температурного профиля. Все приборы заземлены в одной точке электрощита (см. рис. 1, а).

2. Все приборы и их соединительные кабели заземлены в одной точке электрощита (см. рис. 1, б).

3. Экран электродов заземлен на корпус климатической камеры, все приборы и их соединительные кабели заземлены в одной точке электрощита (см. рис. 1, в).

4. Экран электродов и медная пластина заземлены на корпус климатической камеры в разных точках, корпус блока управления и экран силового кабеля заземлен на электрощите отдельно от приборов канала измерения биопотенциала (см. рис. 1, г).

Для каждого варианта заземления проведены эксперименты по оценке зашумленности измеряемого сигнала биопотенциала растения при экспериментальных исследованиях его устойчивости к температурным воздействиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований (2020 г.) при заземлении оборудования по первому варианту (см. рис. 1, а) получена реализация сигнала биопотенциала при воздействии повышенной температуры, представленная на эюре (см. рис. 2, а). Согласно полученным данным, полезный сигнал зашумлен помехой (до 1,25 В), существенно превышающей уровень измеряемого сигнала.

При проведении экспериментальных исследований при заземлении оборудования по второму варианту (см. рис. 1, б) получена

¹⁰L-Card E14-440 Внешний модуль АЦП/ЦАП/ТТЛ на шину USB 1.1: Руководство пользователя. М., 2008. www.lcard.ru/download/e14_440_users_guide.pdf.

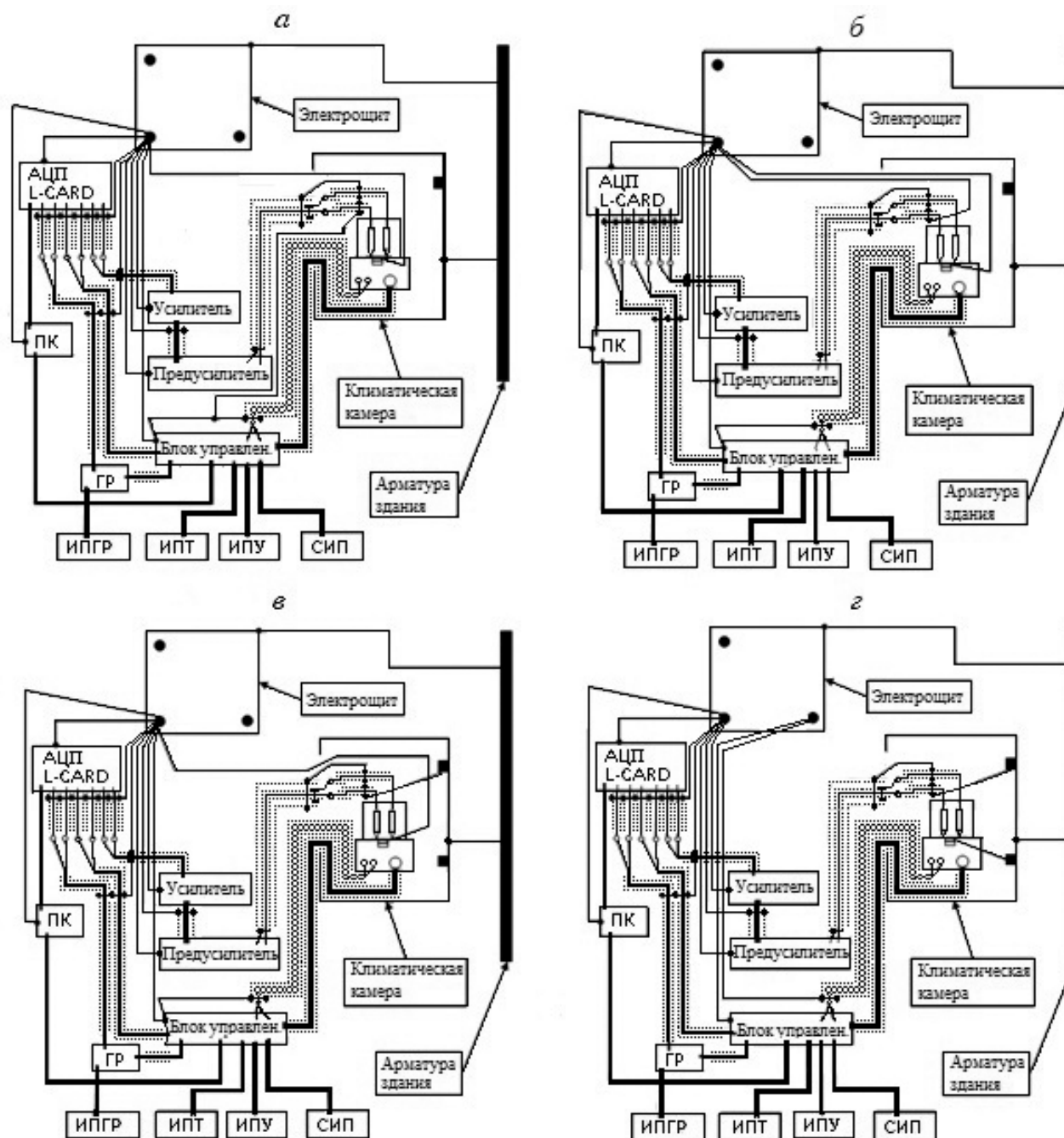


Рис. 1. Схема заземления устройств:

вариант: *а* – первый, *б* – второй, *в* – третий, *г* – четвертый

∞ – силовая витая пара; • – соединения; ● – точки заземления на электрощите; ■ – точки заземления на внутреннем корпусе климатической камеры; — – одножильные кабели; — — — – многожильные кабели; — — — — – экран кабелей

Fig. 1. The grounding circuit of devices:

variant: *a* – first, *б* – second, *в* – third, *г* – fourth

∞ – power twisted pair; • – connections; ● – grounding points on electric panel; ■ – grounding points on the inner case of climate chamber; — – single core cables; — — — – multicore cables; — — — — – cable shield.

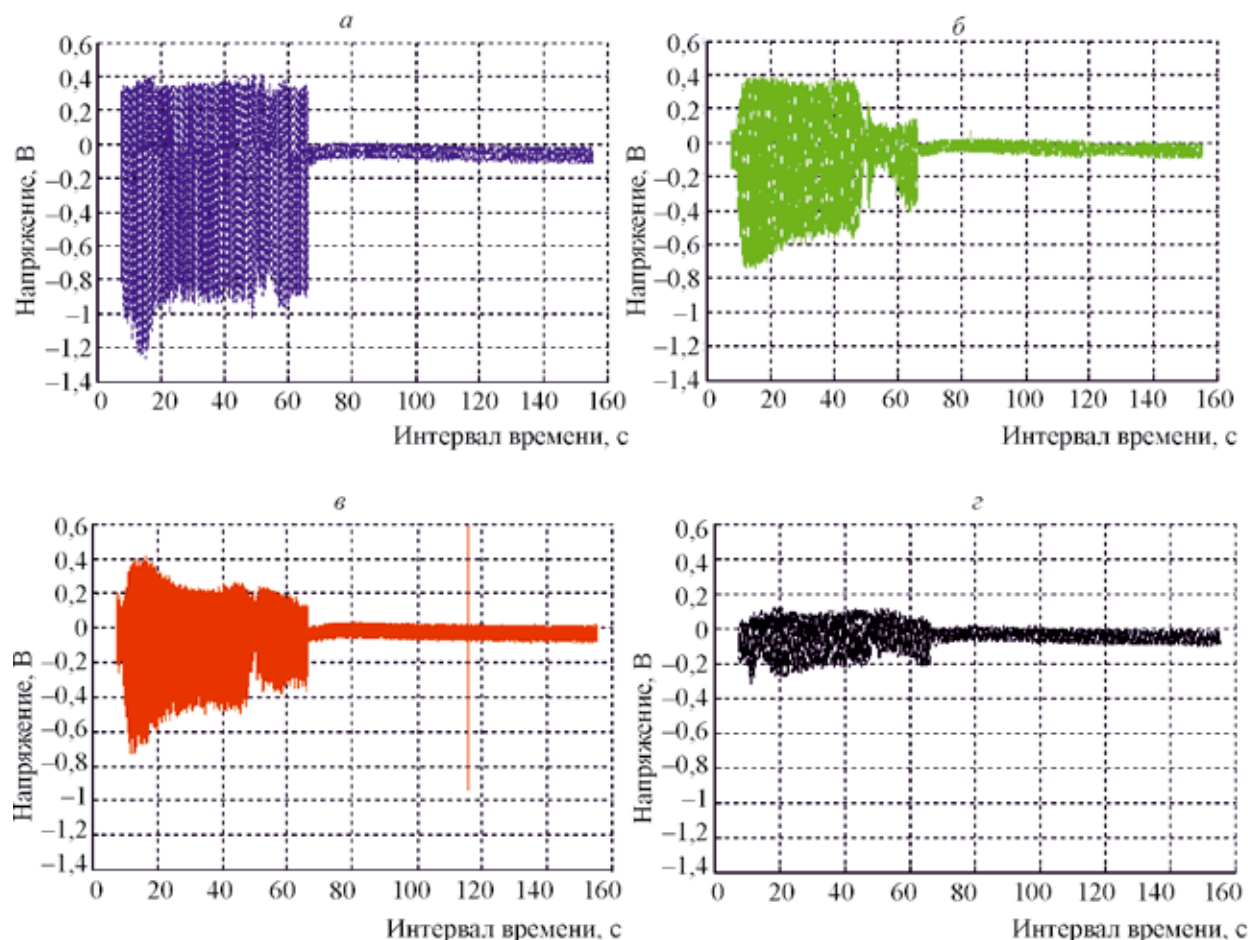


Рис. 2. Сигнал с электродов для измерения биопотенциала при различных вариантах заземления: вариант: *а* – первый, *б* – второй, *в* – третий, *з* – четвертый

Fig. 2. Signal from the electrodes of biopotential meter at different grounding variants: variant: *a* – first, *б* – second, *в* – third, *з* – fourth

реализация сигнала биопотенциала при воздействии повышенной температуры, представленная на эпюре (см. рис. 2, б). Согласно полученным данным, полезный сигнал зашумлен меньшей помехой (до 0,75 В), чем в первом случае, но значительно превышающей уровень полезного сигнала.

При проведении аналогичных экспериментальных исследований при заземлении оборудования по третьему варианту (см. рис. 1, в) получена реализация сигнала биопотенциала при воздействии повышенной температуры, представленная на эпюре (см. рис. 2, в). Согласно полученным данным, полезный сигнал зашумлен такой же помехой (до 0,75 В), что и во втором случае, также значительно превышающей уровень полезного сигнала.

При проведении экспериментальных исследований при заземлении оборудования по четвертому варианту (см. рис. 1, з) получена реализация сигнала биопотенциала, при воздействии повышенной температуры, представленная на эпюре (см. рис. 2, з). В данном случае экран электродов и медная пластина термостоллика заземлены на корпус климатической камеры в разных точках (на расстоянии 43 см), корпус блока управления и экран силового кабеля заземлены на электрошите отдельно от приборов канала измерения биопотенциала (на расстоянии 52 см). Согласно полученным данным, полезный сигнал зашумлен значительно меньшей помехой (до 0,3 В), чем во всех предыдущих случаях.

Представленные результаты показывают, что при различных вариантах заземления оборудования измерительного комплекса зашумленность измеряемого сигнала существенно различается. Наибольший уровень помехи отмечен при первом варианте заземления, когда экраны электродов соединены с корпусом формирователя температурного профиля, на котором формируется высокий уровень помехи, которая через экраны электродов попадает в канал измерения.

Снижение уровня помех во втором и третьем вариантах достигается за счет расположения точки заземления элементов измерительного канала (электродов) дальше от силового оборудования. Это происходит в результате изменения индуктивности (увеличения) цепи заземления от элементов силовой части формирователя до электрощита и шкафа.

Снижение уровня помехи в четвертом варианте достигается за счет того, что заземление элементов канала измерения биопотенциала выполнено отдельно от элементов силовой части. В результате такого подключения возрастает индуктивность цепи между точками заземления силовой части и измерительного канала, что приводит к снижению влияния силовой части на канал измерения через шину заземления.

Из приведенных графиков (см. рис. 2) видно, что помеха имеет наибольший уровень во время формирования температурного воздействия (работы элемента Пельтье), что является результатом коммутации больших значений тока ШИМ-преобразователя. Вид возникающей при этой коммутации помехи приведен на рис. 3.

Так как помеха является не постоянной, а возникающей через интервал времени,

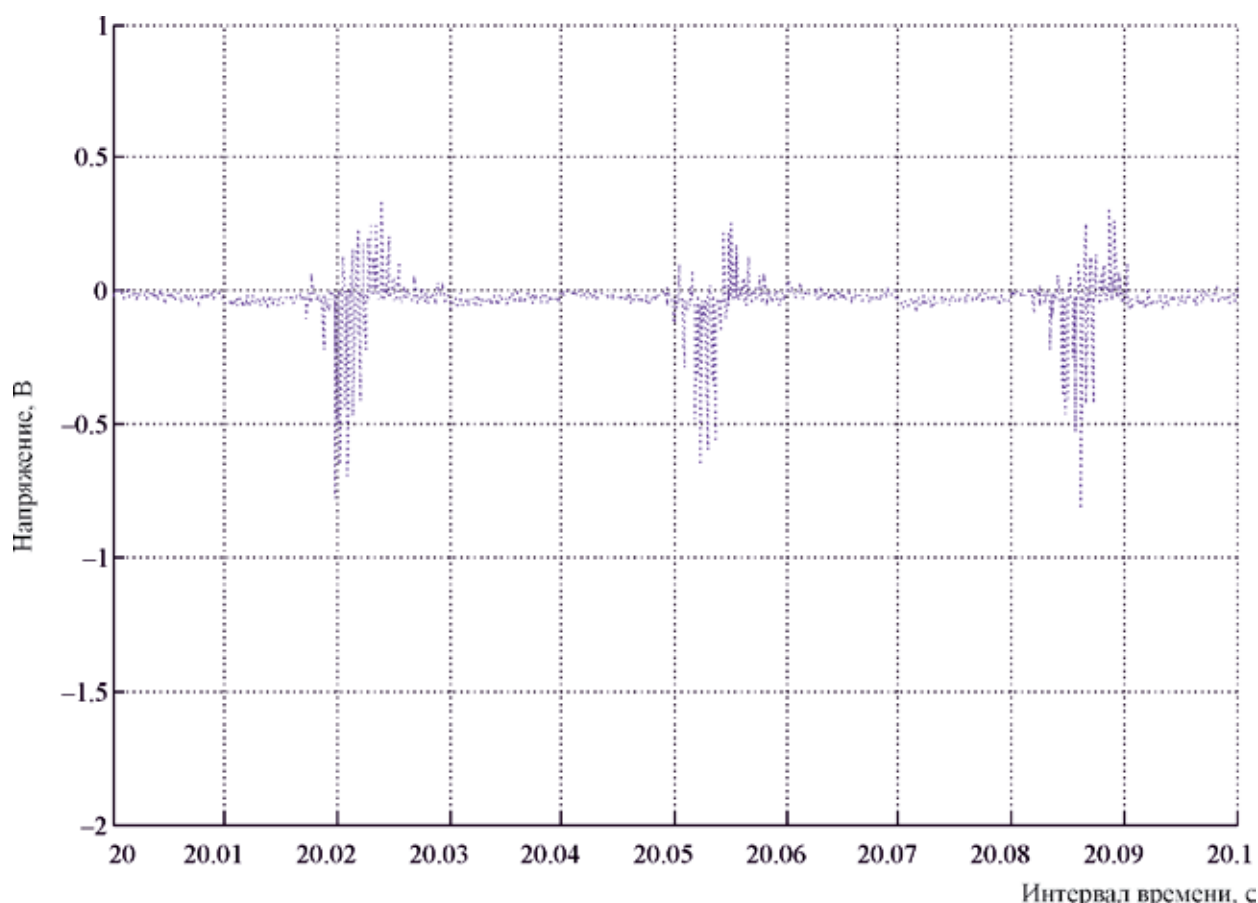


Рис. 3. Сигнал с электродов для измерения биопотенциала на интервале времени от 20 до 20.1 с

Fig. 3. Signal from the electrodes of the biopotential meter on the time interval from 20 to 20.1 s

равный 0,033 с, и имеющей длительность 0,005 с (см. рис. 3), то применение при последующей обработке цифровых фильтров не позволяет достичь необходимого уровня фильтрации и может привести к ошибкам при статистическом анализе. Поэтому необходимо обеспечивать максимально возможное снижение помехи за счет выбора оптимальной схемы заземления.

Полученные сигналы биопотенциалов проростков пшеницы обработаны с использованием цифровых фильтров [13]. В результате фильтрации получены измеренные сигналы биопотенциалов, эпюры которых приведены на рис. 4.

Приведенные на рис. 4 графики показывают, что для получения незашумленного измеренного сигнала необходимо максимально минимизировать помехи (до уровня не более 40 мВ) за счет правильного выбора

точек заземления элементов и оборудования экспериментальных исследовательских установок.

Данные результаты (см. рис. 2, 4) также подтверждают рекомендации (см. сноски 3, 5) [2, 3] о том, что электроды нужно заземлять или на отдельную шину заземления от силовых устройств, или подальше от силовых устройств. Особенность используемого в экспериментальной установке оборудования – ШИМ-преобразователь, который создает сильные помехи в точке подключения к шине заземления. Поэтому корпус блока управления, силовые провода необходимо заземлять в отдельной точке от оборудования канала измерения. Пластику термостоллика, находящуюся между элементом Пельтье и исследуемым растением, также нужно заземлять в отдельной точке от оборудования канала измерения и корпуса бло-

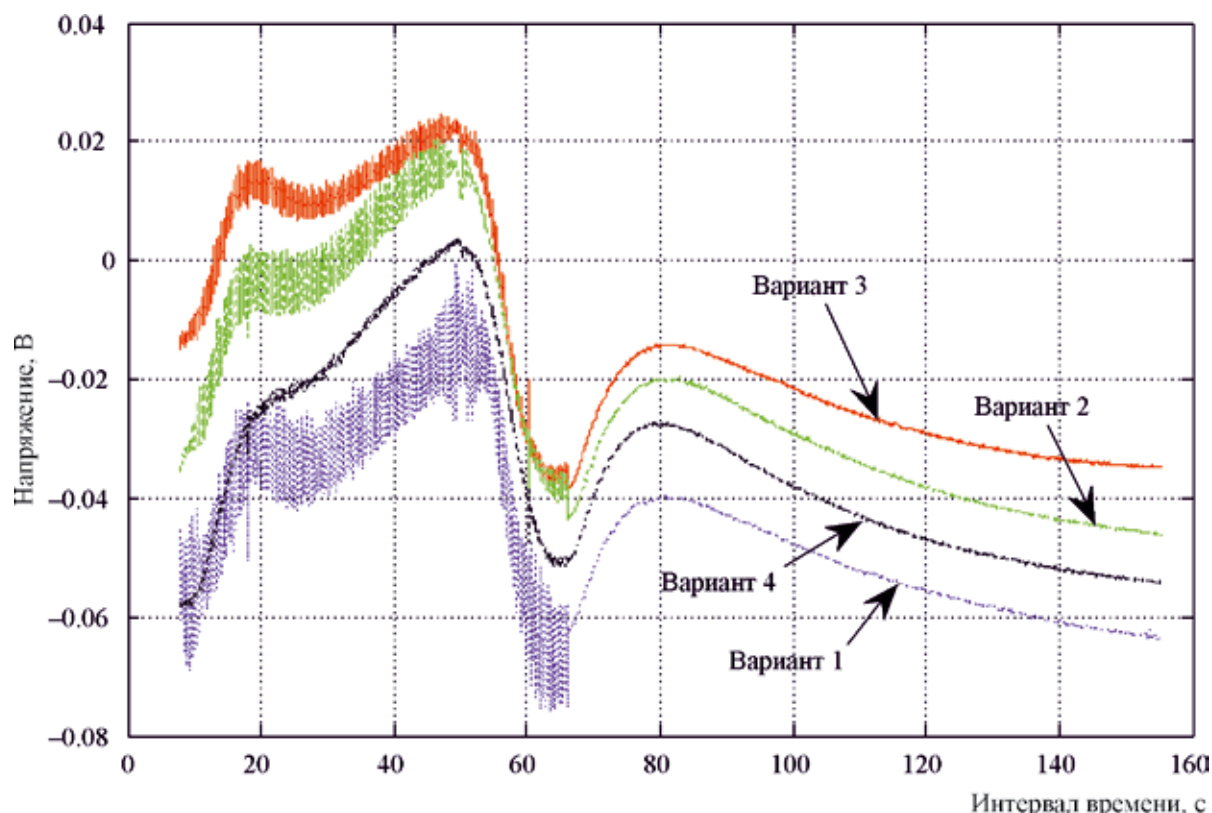


Рис. 4. Отфильтрованные сигналы с электродов для измерения биопотенциала проростков пшеницы при различных вариантах заземления

Fig. 4. Filtered signal from the electrodes of the biopotential meter of wheat seedling at different grounding circuits

ка управления, поскольку на ней наводится помеха от элемента Пельтье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На измерение биопотенциала растений методом униполярного отведения с использованием хлорсеребряных электродов влияет емкостная наводка, индуктивные и кондуктивные помехи, формируемые на шине заземления.

Для снижения уровня помех необходимо использовать раздельное заземление силового оборудования и каналов измерения. При отсутствии отдельного заземления для силового оборудования его элементы, экраны электродов и пластину термостоллика рекомендовано заземлять в разных точках шины заземления. Подключение элемента Пельтье к силовому блоку необходимо выполнить экранированной витой парой. Данные результаты можно применять при обеспечении помехозащищенности измерительных каналов с высоким входным сопротивлением.

Результаты данной работы использованы при разработке системы оценки стрессоустойчивости растений с применением формирователя температурного профиля, излучающего сильные электромагнитные помехи, и измерителя биопотенциала с высоким входным сопротивлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галалу В.Г., Киракосян С.А. Помехи по шинам заземления в системах промышленной автоматизации // Известия ЮФУ. Технические науки. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2016. № 5 (178). С. 20–30.
2. Guofei C., Qinglin G., Yongtao J., Yongfa L., Jian M., Linran X., Xinyun W., Zitao J. Current interference of HVDC ground electrode to buried pipelines and its personal safety distance // Natural Gas Industry. Beijing: KeAi Publishing Communications Ltd. 2019. Vol. 6. Is. 5. P. 427–434. DOI:10.1016/j.ngib.2019.03.001.
3. Sarkar K., Das D., Chattopadhyay S. Smart and Economic Conductive Textile for Electromagnetic Interference Shielding // Procedia Engineering. 2017. Vol. 216. P. 93–100. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.1118.
4. Shi-Zhou X., Yu-Feng P., Shao-Yu L. Suppression effectiveness research on multi-level EMI filter in thermal electromagnetic interactive filed of explosion-proof three-level NPC converter // Case Studies in Thermal Engineering. 2019. Vol. 15. Article 100510. DOI: 10.1016/j.csite.2019.100510.
5. Lezynski P., Smolenski R., Loschi H., Thomas D., Moonen N. A novel method for EMI evaluation in random modulated power electronic converters // Measurement: journal of the International Measurement Confederation (Ned.). 2020. Vol. 151, P. 107098. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.107098.
6. Manoj G., Jacob E., Kundukulam S.O. Design, Simulation and Comparison of Mixing Schemes for DC, AC and Bidirectional Data through Coaxial Cable // Procedia Computer Science. 2016. Vol. 93. P. 578–584. DOI: 10.1016/j.procs.2016.07.303.
7. Ayob M.A., Madrin F.P., Hussien H.I., Abu Taib M.A., Yasir M., Supriyanto E. Optimal Cables Arrangement for Minimizing Electromagnetic Interference in Hospital // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 133. P. 440–447. DOI: 10.1016/j.procs.2018.07.0543.
8. Turczyn R., Krukiewicz K., Katunin A., Sroka J., Sul P. Fabrication and application of electrically conducting composites for electromagnetic interference shielding of remotely piloted aircraft systems // Composite Structures. 2020. Vol. 232. Article 111498. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111498.
9. Qian M., Zhao G., Ren Y., Diao W., Feng Z., Li M. Triple-Coil Inductive Debris Sensor with Special Shielded Coils for Depressing Interference of Dielectric Components // Procedia Manufacturing/ 2019. Vol. 39. P. 1279–1288. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.341.
10. Zhai L., Lee G., Gao X., Zhang X., Gu Z., Zou M. Impact of electromagnetic interference from power inverter drive system on batteries in electric vehicle // Energy Procedia. 2016. Vol. 88. P. 881–888. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.341.

11. Коекин В.А., Корчагин В.А. Защита от помех управляющего и измерительного электрооборудования системы автоматизации жизнеобеспечения зданий // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса. 2009. Т. 5. № 3. С. 12–18.
12. Гринкевич В.А. Синтез регулятора тока для термостоллика на основе элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск, 2019. № 3–4 (96). С. 33–52. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-33-52.
13. Сероклинов Г.В., Гунько А.В. Информационные технологии в исследовании биопотенциалов растений при действии стрессоров // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21. Специальный выпуск: Информационные технологии, системы и приборы в агропромышленном комплексе. С. 94–103.

REFERENCES

1. Galalu V.G., Kirakosyan SA. Noise on the ground bus in industrial automation systems. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, Rostov-on-Don, Yuzhnyi federal'nyi universitet Southern Federal University Publ., 2016, no. 5 (178), pp. 20–30. (In Russian).
2. Guofei C., Qinglin G., Yongtao J., Yongfa L., Jian M., Linran X., Xiuyun W., Zitao J. Current interference of HVDC ground electrode to buried pipelines and its personal safety distance. *Natural Gas Industry, Beijing: KeAi Publishing Communications Ltd*, 2019, Vol. 6. Is. 5, pp. 427–434. DOI:10.1016/j.ngib.2019.03.001.
3. Sarkar K., Das D., Chattopadhyay S. Smart and Economic Conductive Textile for Electromagnetic Interference Shielding. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 216, pp. 93–100. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.1118.
4. Shi-Zhou X., Yu-Feng P., Shao-Yu L. Suppression effectiveness research on multi-level EMI filter in thermal electromagnetic interactive filed of explosion-proof three-level NPC converter. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2019, vol. 15. Article 100510. DOI: 10.1016/j.csite.2019.100510.
5. Lezynski P., Smolenski R., Loschi H., Thomas D., Moonen N. (2020). A novel method for EMI evaluation in random modulated power electronic converters. *Measurement: journal of the International Measurement Confederation (Ned.)*, vol. 151, pp. 107098. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.107098.
6. Manoj G., Jacob E., Kundukulam S.O. Design, Simulation and Comparison of Mixing Schemes for DC, AC and Bidirectional Data through Coaxial Cable. *Procedia Computer Science*, 2016, vol. 93, pp. 578–584. DOI: 10.1016/j.procs.2016.07.303.
7. Ayob M.A., Madrin F.P., Hussien H.I., Abu Taib M.A., Yasir M., Supriyanto E. Optimal Cables Arrangement for Minimizing Electromagnetic Interference in Hospital. *Procedia Computer Science*, 2018, vol. 133, pp. 440–447. DOI: 10.1016/j.procs.2018.07.0543.
8. Turczyn R., Krukiewicz K., Katunin A., Sroka J., Sul P. Fabrication and application of electrically conducting composites for electromagnetic interference shielding of remotely piloted aircraft systems. *Composite Structures*, 2020, vol. 232, article 111498. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111498.
9. Qian M., Zhao G., Ren Y., Diao W., Feng Z., Li M. Triple-Coil Inductive Debris Sensor with Special Shielded Coils for Depressing Interference of Dielectric Components. *Procedia Manufacturing*, 2019, vol. 39, pp. 1279–1288. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.341.
10. Zhai L., Lee G., Gao X., Zhang X., Gu Z., Zou M. Impact of electromagnetic interference from power inverter drive system on batteries in electric vehicle. *Energy Procedia*, 2016, vol. 88, pp. 881–888. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.341.
11. Koeikin V.A. Korchagin V.A. Protection of managing and measuring equipment against interference in building automation system. *Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy = Electrotechnical systems and Complexes*, Ufa: Ufimskii gosudarstvennyi universitet ekonomiki i servisa = Ufa State University of Economics and Service, 2009, vol. 5, no. 3, pp. 12–18. (In Russian).
12. Grinkevich V.A. Current controller design for temperature controlled stage based on Peltier element. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU = Transaction of Scientific Papers of NSTU*, Novosibirsk, 2019, no. 3–4 (96), pp. 33–52. (In Russian). DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-33-52.

13. Seroklinov G.V., Gun'ko A.V. Informatsionnye tekhnologii v issledovanii biopotentsialov rastenii pri deistvii stressorov. [Information technology in the study of plant biopotentials under the action of stressors]. *Vychislitel'nye tekhnologii* = *Computational Technologies*, 2016, vol. 21, Special is.: Information technologies, systems and equipment in agribusiness industry, pp. 94–103. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Гринкевич В.А.**, научный сотрудник;
адрес для переписки: Россия, 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463, научный сотрудник; e-mail: grinkevich-vova@mail.ru

Сероклинов Г.В., кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; e-mail: seroklinov@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Vladimir A. Grinkevich**, Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: grinkevich-vova@mail.ru

Gennadiy V. Seroklinov, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; e-mail: seroklinov@mail.ru

Дата поступления статьи 19.06.2020
Received by the editors 19.06.2020