

К. т. н. И. Б. ПЕТУХОВ

Республика Беларусь, г. Минск, ОАО «Планар-СО»

E-mail: petuchov@kbtem.by

СТАБИЛИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО УСИЛИЯ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНТАЖА ПРОВОЛОЧНЫХ И ЛЕНТОЧНЫХ ВЫВОДОВ

Для повышения качества микросварки проволочных и ленточных выводов предложена методика стабилизации сварочного усилия за счет компенсации упругости подвески ультразвукового преобразователя в цикле ультразвукового/термозвукового монтажа вывода. Проведен анализ алгоритма управления током программируемого устройства нагружения на основе катушки в поле постоянного магнита (voice coil motor). Установлено, что компенсация упругости подвески позволяет устранить изменения предустановленной нагрузки до 20% при сварке проводников увеличенного сечения (от 100 мкм).

Ключевые слова: ультразвуковая сварочная головка, сварочное усилие, стабилизация тока в катушке, ультразвуковой преобразователь, подвеска, плоскопараллельные пластины.

В современных установках ультразвуковой сварки значительная составляющая неравномерности сварочного усилия определяется колебаниями, вносимыми подвеской ультразвукового преобразователя. В различных конструкциях сварочной головки подвеска реализуется различными способами, в частности на подшипниковых опорах или плоскопараллельных пластинах [1, 2]. Преимуществом подвески на плоскопараллельных пластинах является отсутствие трения качения и повышенная износостойкость по сравнению с узлами на подшипниковых опорах, что делает их вариантом, привлекательным для применения в системах ультразвуковой сварки. Однако у подвески на плоскопараллельных пластинах есть и недостаток: зависимость усилия в зоне сварки от величины перебега сварочной головки после момента контактирования рабочего инструмента с местом присоединения, за счет которого обеспечивается необходимая деформация проводника [3, 4]. Фактически к предустановленному сварочному усилию прикладывается упругая сила изгиба плоскопараллельных пластин.

В данной статье представлен алгоритм управления сварочным усилием, реализованный в контуре управления актуатором сварочной нагрузки на основе катушки в магнитном поле (voice coil motor). Разработанный алгоритм позволил скомпенсировать неконтролируемые изменения сварочного усилия, вносимые подвеской на плоскопараллельных пластинах, достигающие 60—80 г, что для заданного усилия, например, 300 г (необходимо для присоединения проволоки диаметром 250 мкм) составляет порядка 20%.

Основное внимание при ультразвуковом монтаже проволочных и ленточных выводов методом «кли-

н» уделяется качеству и надежности процесса. Проволочное межсоединение деформируется в процессе присоединения в точке сварки под действием прилагаемого усилия и ультразвука, а при последующем формировании петли из-за возникающих напряжений возможно образование микротрещин в области сварного соединения и прилегающей к нему части перемычки. Если такое соединение подвергается воздействию каких-либо напряжений, связанных, например, с циклическими тепловыми нагрузками, вызываемыми рассеиваемой мощностью и условиями эксплуатации, с расширением герметизирующей пластмассы, то возникает высокая вероятность его разрушения [5—7]. Предложенное в работе техническое решение позволит избежать дестабилизации сварочного процесса, что в результате повысит выход годных изделий.

Основные части ультразвуковой сварочной головки (СВГ) показаны на рис. 1. СВГ устанавливается на координатную систему позиционирования установки присоединения выводов по координатам X , Y , Z для возможности перемещения рабочего инструмента к точкам сварки и формообразования выводов в обрабатываемом изделии на рабочем столике (координатная система установки и рабочий столик с изделием на рис. 1 не показаны). СВГ имеет привод вращения относительно вертикальной оси для совмещения клинообразного торца рабочего инструмента с направлением подачи присоединяемой проволоки.

В исходном состоянии подвеска ультразвукового преобразователя (УЗП) под весом преобразователя находится на упоре, выполняющем дополнительную функцию электромеханического датчика кас-

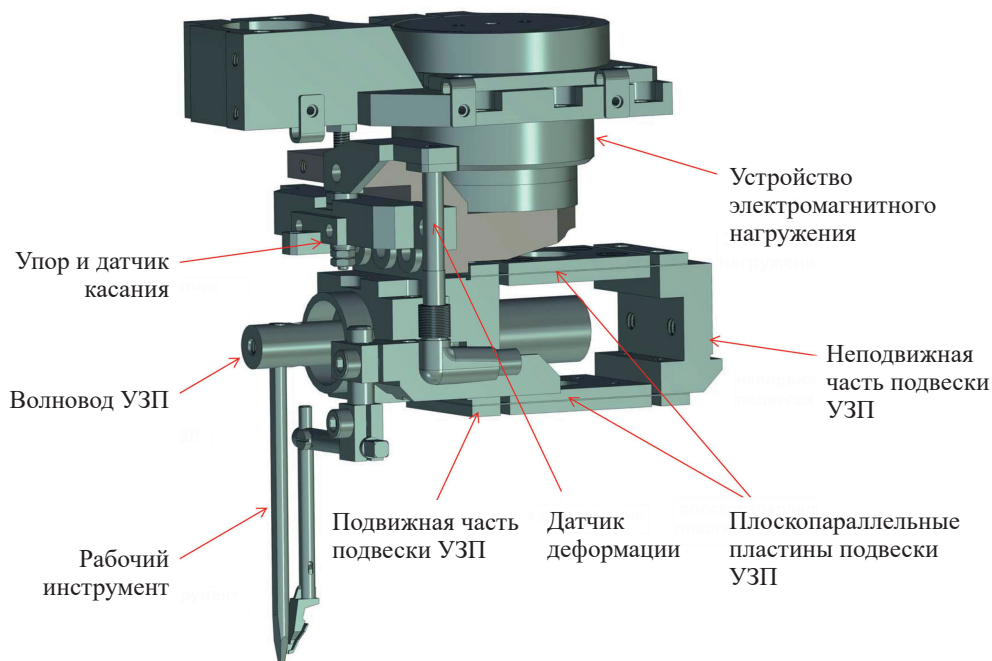


Рис. 1. Основные части ультразвуковой сварочной головки

ния. Для исключения дребезга датчика касания устанавливается предварительное регулируемое усилие.

Последовательность цикла формирования проволочного или ленточного вывода можно представить следующим образом. Координатная система установки перемещает СВГ в первую рабочую позицию (или в первую точку сварки), когда вертикальная ось рабочего инструмента находится строго над позицией сварки, а торец инструмента располагается строго вдоль прямой линии, соединяющей первую точку сварки со второй. В автоматических установках монтажа выводов предварительно вводятся координаты точек присоединения, полученные методом обучения с помощью визира на мониторе и перемещения привода СВГ манипулятором. После обучения в отношении координат точек сварки, проводится обучение машинному зрению для автоматической коррекции координат. Прделанная операция обучения по координатам изделия сохраняется в памяти установки под своим уникальным именем и может быть активирована в любое время, что ускоряет переналадку при смене изделий.

После выхода СВГ в рабочую позицию по координатам X , Y и φ (поворот на угол) СВГ опускается по вертикальной оси Z до получения сигнала датчика касания, когда торец рабочего инструмента коснется точки присоединения. Поскольку кронштейн крепления УЗП связан с подвижной частью подвески, срабатывание датчика касания происходит при изгибе плоскопараллельных пластин, когда между держателем УЗП (земля) и изолированным электрически механическим упором образуется воздушный

зазор (рис. 1). Высота, на которую поднимается УЗП, определяется диаметром присоединяемой проволоки / толщиной ленты — она должна обеспечивать возможность обратного хода торца УЗП, а значит, и торца рабочего инструмента при подаче ультразвукового воздействия и деформации проводника/ленты.

Подъем УЗП обеспечивается перемещением по оси Z сварочной головки с помощью привода на программируемую величину, так называемый перебег. Очевидно, что при отработке приводом величины перебега изгиб вверх параллельных пластин подвески УЗП пропорционально увеличивает предустановленное значение сварочного усилия. Соответственно, в процессе сварочного цикла с подачей ультразвукового воздействия сварочное усилие будет пропорционально уменьшаться с увеличением деформации проводника/ленты.

Для стабилизации сварочного усилия за счет компенсации упругости подвески УЗП в СВГ используется программируемое устройство электромагнитного нагружения (рис. 1) на основе катушки (подвижная часть) в поле постоянного магнита (неподвижная часть). Усилие линейно зависит от протекающего через катушку тока, управляя которым можно поддерживать сварочное усилие постоянным в течение цикла присоединения. Схема для реализации стабилизации заданного сварочного усилия показана на рис. 2. Катушка нагружения представлена последовательной цепью, состоящей из активного сопротивления R_2 и индуктивности L_1 . Она подключена к выходу мощного операционного усилителя типа ОРА541 по известной схеме классическо-

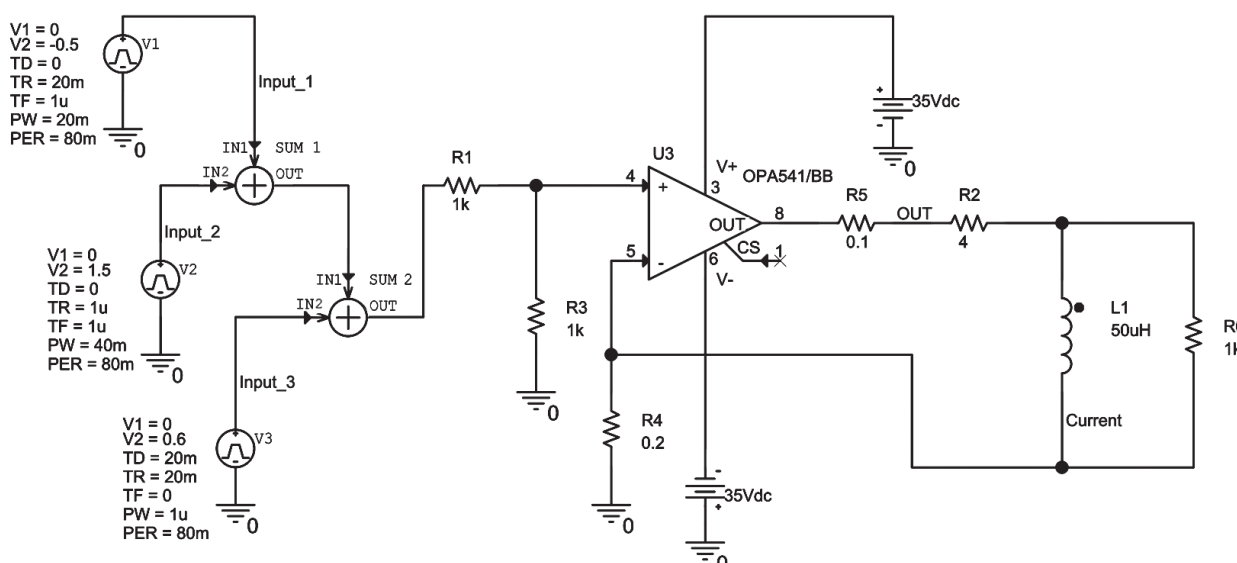


Рис. 2. Схема управления сварочным усилием

го источника тока и дополнительных пояснений не требует. Предустановленный ток через катушку нагружения задается выходным напряжением с выхода сумматора SUM2, а оценить его величину можно, воспользовавшись соотношением $I = 0,5 V_{sum2} R_4$. Источником напряжения, который задает предустановленный ток через катушку нагружения, является V_2 . Источник напряжения V_1 компенсирует изменение усилия упругой подвески при перебеге СВГ после момента контактирования. Таким образом, перед подачей сварочного ультразвукового импульса усилие сварки равно предустановленному (источником напряжения V_2), независимо от величины перебега.

Для того чтобы напряжение источника V_1 соответствовало величине перебега СВГ, при инициализации параметров установки проводится стандартная калибровка усилия при перебеге СВГ и при нулевом токе через катушку нагружения. Полученные калибровочные значения заносятся в память (ОЗУ) установки присоединения и используются в сварочном цикле. Таким образом, компенсация изгиба подвижной части подвески УЗП при перебеге СВГ осуществляется с использованием калибровочных данных.

В процессе сварки при включении ультразвукового импульса ситуация иная. Привод СВГ находится в точке перебега, но УЗП, а значит, и торец рабочего инструмента в процессе деформации сварной точки опускаются вниз к исходному положению. Информация об этом перемещении считывается датчиком деформации, установленным на СВГ (рис. 1). Данные, полученные при калибровке упругости подвески УЗП, используются теперь для удержания предустановленного сварочного усилия, поскольку при перемещении УЗП вниз влияние подвески уменьшается, т. е. в течение цикла сварки не-

обходимо «добавлять» ток в катушку нагружения. Естественно, что измеряемые при калибровке значения усилия, создаваемого подвеской УЗП, сопоставляются с величиной перебега и сигнала датчика деформации, которые хранятся в ОЗУ. В результате калибровки получают массив данных, где каждому шагу перемещения соответствует значение усилия упругости подвески и значение сигнала датчика деформации, которые позволяют управлять величиной тока через катушку нагружения.

Как видно из представленной на рис. 2 схемы, данные о перебеге СВГ (источник напряжения V_1) и предустановленное напряжение источника V_2 суммируются сумматором SUM1, данные с выхода которого суммируются с сигналом датчика деформации V_3 сумматором SUM2.

Реализация предложенной методики стабилизации сварочного усилия в установке ЭМ-4341 производства ОАО «Планар-СО» показала ее эффективность в процессе опытной эксплуатации. Типовой внешний вид получаемых соединений представлен на рис. 3.

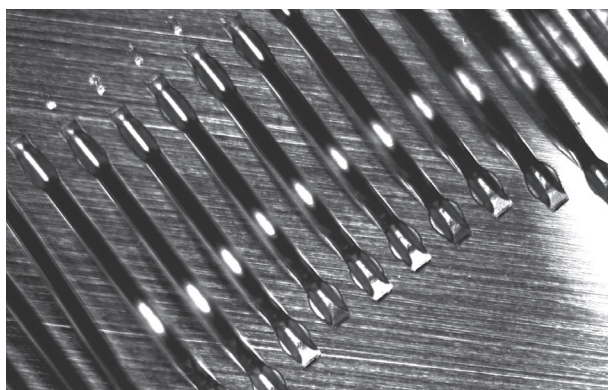


Рис. 3. Вид соединений, полученных при сварке алюминиевых проводников диаметром 300 мкм

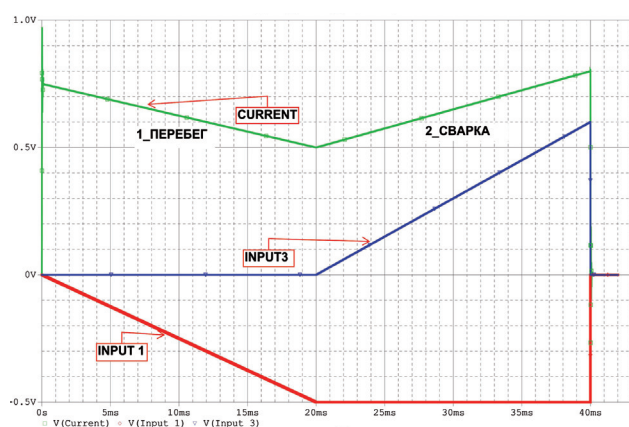


Рис. 4. Результаты моделирования входных сигналов и тока катушки нагружения

На рис. 4 представлены графики результатов моделирования входных сигналов и изменения тока в катушке нагружения. Как видно, ток в катушке (кривая *current*) на участке перебега имеет спадающий вид, это участок 1 компенсации увеличения упругости подвески УЗП. На участке 2 имеется возрастающий участок тока в катушке нагружения — это участок сварки, где подвеска УЗП движется вниз, соответственно, ток в катушке нагружения возрастает, как было описано выше. Очевидно, что для различных технологических режимов длительность участков будет разной, в зависимости от скорости перемещения сварочной головки и времени сварки.

Заключение

Разработанная методика позволяет повысить качество микросварки проволочных и ленточных выводов путем стабилизации предустановленного сварочного усилия за счет компенсации влияния упругости плоскопараллельных пластин подвески ультра-

звукового преобразователя в цикле ультразвукового/термозвукового монтажа вывода. Предустановленное значение сварочного усилия не зависит от перебега сварочной головки по вертикали и поддерживается постоянным в процессе сварки. Результаты применения методики на установке ЭМ-4341 показали возможность улучшения стабилизации сварочного усилия до 20% при сварке проводников из Al диаметром 100 мкм и более. Предложенная методика применима и в других ультразвуковых технологических системах микросварки, в том числе для присоединения проводников диаметром менее 100 мкм.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ланин В.Л., Петухов И.Б., Драгилев Л.Г. Ультразвуковая микросварка проволочных выводов больших диаметров при монтаже мощных полупроводниковых приборов. *Электроника: Наука, Технология. Бизнес*, 2020, №2 (00193), с. 152–160.
2. Петухов И.Б., Кипарин И.Н. Технологическая система микросварки проволочных выводов большого диаметра. *Материалы 21-й МНПК «Современные информационные и электронные технологии»*, Украина, Одесса, 2020, с. 46–47.
3. Chen Y., Yan Q., Gong H. Research on the force-position switching control system of wire bonding head on DSP. *Mechanics and Materials*, vols. 511–512, 2014, pp. 1118–1122. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.511-512.1118>
4. Fang L., Yin Y.H., Chen Z.N. Design and control of novel linear wire bonding head. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007, 35(11), pp. 1136–1144. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0795-9>
5. Harmann G.G. *Wire Bonding in Microelectronics*. USA, NY, McGraw Hill, 2010, 446 p.
6. Достанко А.П. и др. *Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультразвуковые*. Минск, Бестпринт, 2009, 202 с.
7. Jacques S. *The Importance of Interconnection Technologies: Reliability of Power Electronic Packages*, 2017, p. 185–201. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69611>

Дата поступления рукописи в редакцию 10.01 2021 г.

DOI: 10.15222/ТКЕА2021.1-2.49
УДК 621.791.16

К. т. н. И. Б. ПЕТУХОВ

Республика Беларусь, м. Минск, ВАТ «Планар-3И»
E-mail: petuchov@kbtbem.by

СТАБІЛІЗАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЗУСИЛЛЯ В ПРОЦЕСІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНТАЖУ ДРОТЯНИХ І СТРІЧКОВИХ ВИВОДІВ

Для підвищення якості микросварювання дрових і стрічкових виводів запропоновано методику стабілізації зварювального зусилля шляхом компенсації пружності підвіски ультразвукового перетворювача (УЗП) у циклі ультразвукового / термозвукового монтажу виводу. Проведено аналіз побудови ультразвукових технологічних систем і факторів, що впливають на стабільність процесу микросварювання. Для керування зварювальним зусиллям використовується електромагнітний пристрій на основі котушки в полі постійного магніту, при цьому зусилля прямо пропорційно струму, що протікає в котушці. Для компенсації пружності підвіски використовуються дані, отримані при попередньому калібруванні зміни зусилля підвіски у всьому діапазоні перебігу УЗП. При цьому калібрування виконується за відсутності струму, що протікає через котушку. Величина зусилля може зчитуватися з цифрового датчика зусилля. Одночасно значення зусилля порівнюються з оцифрованим сигналом датчика деформації. Отримані дані зберігаються у пам'яті установки приєднання виводів. У циклі приєднання провідника після визначення моменту контактування привод переміщує зварювальну головку по вертикалі на величину заданого перебіга (близько одного діаметра приєднуваного провідника). При цьому відбувається вигин рухомої частини підвіски УЗП і збільшення на-

вантажання, для компенсації якого автоматично зменшується струм через котушку електромагнітного навантаження, що дозволяє зберегти встановлене зусилля на заданому рівні. Аналогічно виконується компенсація зварювального зусилля при зварюванні, з тією різницею, що змінюється вектор зусилля компенсації — зусилля має збільшуватися зі збільшенням деформації провідника. Реалізація запропонованого алгоритму дозволила покращити стабілізацію зварювального зусилля до 20% при зварюванні провідників підвищеного перерізу та покращити якість зварювання. Запропоноване рішення може бути застосовано і в інших ультразвукових технологічних системах мікрозварювання, в тому числі для присіднання провідників діаметром менш ніж 100 мкм.

Ключові слова: ультразвукова зварювальна головка, зварювальне зусилля, стабілізація струму в котушці, ультразвуковий перетворювач, підвіска, плоскопаралельні пластини.

DOI: 10.15222/TKEA2021.1-2.49
UDC 621.791.16

I. B. PETUHOV

Republic of Belarus, Minsk, OJSC “Planar-SO”
E-mail: petuchov@kbttem.by

STABILIZATION OF BONDING FORCE DURING ULTRASONIC WIRE AND RIBBON BONDING

To improve the quality of ultrasonic wire and ribbon bonding, the author propose a methodology for stabilizing the bonding force by compensating the rigidity of ultrasonic transducer (UST) mount in the ultrasonic / thermosonic bonding cycle. The author analyze the construction of ultrasonic technological systems and factors affecting the stability of the bonding process. The bonding force is controlled by an electromagnetic unit based on a coil in the field of a constant magnet, the force being directly proportional to the flowing current in the coil. The rigidity of ultrasonic transducer mount was compensated by the data obtained during the preliminary calibration of the change in the mount force over the entire UST overrun range. The calibration in this case is performed with no current flowing through the coil. The force value can be picked up from a digital force sensor. The force values are simultaneously compared with the digitized signal of the deformation sensor. The obtained data is stored in the memory of the wire bonder.

In the bonding cycle, after the moment of contact is determined, the drive unit moves the bonding head vertically by the value of a predetermined distance of approximately one diameter of the bonding wire. This causes the movable part of the UST mount to rise and the force to increase. This increase is compensated by the automatic reduction of the current in the electromagnetic coil, which allows maintaining the preset force at the specified level. The bonding force during bonding is compensated in the same way, with the difference that the vector of force compensation changes – the force should increase with an increase in the deformation of the bonding wire. The implementation of the proposed algorithm made it possible to improve the bonding force stabilization to 20% when bonding thick wire, as well as to improve bonding quality. The proposed solution is also applicable in other technological ultrasound bonding systems, including bonding wire with the diameter of <100 microns.

Keywords: ultrasonic bond head, bonding force, current stabilization in wire coil, ultrasonic transducer, ultrasonic transducer mount, flat-parallel plates.

REFERENCES

1. Lanin V.L., Petuhov I.B., Dragilev L.G. Ultrasonic heavy wire bonding in assembly power semiconductor devices. *Electronics: Science, Technology, Business*, 2020, no. 2 (00193), pp. 152–160. (Rus).
2. Petuhov I.B., Kiparin I.N. Technology system for heavy wire bonding. *Proceedings of the 21st International scientific-practical conference “Modern information and electronic technologies”*, Ukraine, Odesa, 2020, pp. 46–47. (Rus).
3. Chen Y., Yan Q., Gong H. Research on the force-position switching control system of wire bonding head on DSP. *Mechanics and Materials*, vols. 511–512, 2014, pp. 1118–1122. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.511-512.1118>
4. Fang L., Yin Y.H., Chen Z.N. Design and control of novel linear wire bonding head. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007, 35(11), pp. 1136–1144. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0795-9>
5. Harmann G.G. *Wire Bonding in Microelectronics*. USA, NY, McGraw Hill, 2010, 446 p.
6. Dostanko A.P. et al Technology processes and systems in microelectronics: plasma, electron-ionic beam, ultrasonic. Minsk, Bestprint, 2009, 209 p. (Rus)
7. Jacques S. The Importance of Interconnection Technologies: Reliability of Power Electronic Packages, 2017, p. 185–201. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69611>

Описание статьи для цитирования:

Петухов И. Б. Стабилизация сварочного усилия в процессе ультразвукового монтажа проволочных и ленточных выводов. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2021, № 1–2, с. 49–53. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.1-2.49>

Cite the article as:

Petuhov I. B. Stabilization of bonding force during ultrasonic wire and ribbon bonding. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2021, no. 1–2, pp. 49–53. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.1-2.49>