

Производство отечественных средств защиты от импульсных перенапряжений: от варистора до УЗИП

Визит на производство АО «Хакель» (бренд «Ключевой Компонент»)

Ю. Ковалевский



АО «Хакель» было создано в 2002 году как официальный представитель чешского производителя электротехнической продукции Nakel. Через семь лет компания запустила производство устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) на собственной производственной площадке в Санкт-Петербурге. В 2016 году АО «Хакель» стало компанией со 100%-ным российским участием, а с 2023 года оно выпускает продукцию под своим основным брендом «Ключевой Компонент» (K2).

С момента запуска первого собственного производства компании линейка выпускаемых ею электротехнических изделий существенно расширилась. В нее вошли релейные, снабберные модули, устройства питания, реле времени и многое другое. Во время нашего визита на предприятие мы познакомились с тем, как изготавливаются такие изделия, и узнали, что принесло компании участие в национальном проекте «Производительность труда» и внедрение инструментов бережливого производства. Но особенно интересно было увидеть производство варисторов, которые компания не только применяет в собственных устройствах, но и предлагает на рынке в качестве самостоятельной продукции.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ И ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВАРИСТОРОВ НА РЫНКЕ

«Варистор лежит в основе большинства УЗИП, которые выпускает наша компания, – рассказал нам директор направления «Электронные компоненты» АО «Хакель» Павел Мишин, встретивший нас на производственной площадке предприятия в Индустриальном парке Greenstate, расположенном под Санкт-Петербургом. – Ранее большая часть компонентов, которые мы использовали в составе наших УЗИП, были импортные, преимущественно европейских производителей. Но события 2022 года потребовали перестройки логистики, мы стали применять компоненты из Китая. Однако ситуация, возникшая в 2022 году, показала, что зависимость от зарубежных поставщиков создает большие риски для выпуска нашей основной продукции, поэтому было принято решение развивать собственное производство варисторов».

По словам Павла Мишина, за несколько лет данное направление в компании прошло путь от небольшой лаборатории, в рамках которой выполнялись исследования в области материалов и технологии изготовления данных компонентов, до производства полного цикла от приготовления керамических порошков до проведения всех необходимых испытаний готовых варисторов.

Хотя изначально производство варисторов создавалось в компании с целью обеспечить собственную потребность в данных компонентах, по мере развития парка технологического и испытательного оборудования появилась возможность вывода этой продукции на рынок.

«Наша компания разрабатывает УЗИП с характеристиками, соответствующими актуальным требованиям отрасли, которая постоянно развивается. Это, в свою очередь, требует создания варисторов с улучшенными и новыми характеристиками. Мы внимательно анализируем ситуацию на рынке, отслеживаем, какие типы варисторов востребованы сегодня и какие решения будут актуальны в перспективе. Исходя из этого, мы непрерывно совершенствуем и расширяем линейку выпускаемых компонентов», – сказал Павел Мишин.

Линейка варисторов, выпускаемых предприятием на собственных производственных мощностях, включает дисковые варисторы общепромышленного назначения серии КВС с радиальными выводами типоразмеров от 7 до 20 мм. Диапазон рабочих напряжений изделий составляет от 18 до 1200 В, а максимальная амплитуда импульсного тока 8/20 мкс (8 мкс – время фронта импульса, 20 мкс – время его спада до уровня 50 %) – от 0,25 до 6,5 кА.

В настоящее время ведется работа по расширению серии КВС, включая освоение в производстве дисковых



Павел Мишин

варисторов типоразмера 25 мм. Кроме того, на базе дисковых варисторов разрабатываются решения со встроенной тепловой защитой (серия КВТ), а также гибридные варисторы серии КВГ, выполненные по технологии комбинированной защиты (ТКЗ).

Также предприятие выпускает варисторы для УЗИП типоразмеров 25 мм и 34×34 мм, применяемые преимущественно в устройствах собственной разработки, и силовые варисторы серии КВМ классов испытаний I и II, рассчитанные на импульсные токи до 40 кА (8/20 мкс) и 8,5 кА (10/350 мкс).

Для производителей, которые из-за конструктивных особенностей оборудования не могут использовать УЗИП, устанавливаемые на DIN-рейку, компания предлагает решение в виде силового варистора с механическим терморасцепителем, визуальной и дистанционной сигнализацией. По сути, изделие представляет собой миниатюризированный УЗИП класса II для монтажа непосредственно на плату. Максимальный импульсный ток устройства – до 40 кА (8/20 мкс).

«У нас есть техническая возможность изготавливать варисторы типоразмера 5 мм, но их сборка существенно сложнее, а спрос на этот типоразмер не очевиден, поэтому пока мы их не производим», – отметил Павел Мишин.

Производство варисторов в АО «Хакель» включает полный цикл изготовления – от подготовки керамических материалов до сборки и испытаний готовых изделий. За несколько лет предприятие сформировало собственные компетенции в области разработки материалов, технологических процессов и контроля качества.

На производственной площадке выполняются все основные этапы изготовления рабочих элементов варисторов: подготовка исходных материалов, формирование

заготовок, высокотемпературная обработка и нанесение контактных покрытий. Компания продолжает модернизацию производства по этому направлению, приобретая новое оборудование.

Процесс изготовления варисторов начинается с подготовки шихты и приготовления материала: помола и смешивания порошков исходных компонентов со связующим, после чего выполняется грануляция – формирование однородных гранул материала. В основе состава лежат оксид цинка (ZnO), а также оксиды висмута и сурьмы (Bi_2O_3 и Sb_2O_3), обеспечивающие нелинейные свойства варистора. Дополнительно используются оксиды кобальта, марганца, хрома и другие модифицирующие добавки.

Получение керамического порошка, используемого при производстве варисторов, в АО «Хакель» осуществляется методом распылительной сушки керамической суспензии. На выходе получается порошок в виде разделенных гранул сфероидальной формы с низкой остаточной влажностью.

На предприятии проводятся работы по расширению участка массозаготовки. В скором времени здесь должен появиться новый, более крупный, гранулятор, а установка, применяемая в настоящее время, будет использоваться для проведения экспериментов. Это связано не с необходимостью увеличения объемов производства, а с задачей получения компонентов с новыми характеристиками.



Гранулятор (распылительная сушилка)

«Хотя, по нашей оценке, годовое потребление выводных варисторов общепромышленного назначения и варисторов для УЗИП на российском рынке превышает 100 млн изделий, а наши производственные возможности позволяют нам выпускать до 3 млн варисторов в год, наши мощности загружены далеко не полностью», – отметил Павел Мишин. Эта ситуация, по его словам, вызвана тем, что у многих производителей конечных изделий нет стимула применять отечественные варисторы. Для включения УЗИП в Реестр российской промышленной продукции, согласно постановлению Правительства РФ от 17 июля 2015 года № 719, с текущего года необходимо набрать 113 баллов, что невозможно сделать без применения отечественного нелинейного элемента, дающего 45 баллов. Однако в отношении многих других видов устройств требования таковы, что использование отечественного варистора оказывается необязательным, и их производители предпочитают использовать китайские компоненты.

«Например, одним из интересных рынков для нас является телекоммуникационная аппаратура. В этом секторе много производителей, и мы их знаем, поставляем им УЗИП. Но чтобы использовать наши варисторы, например, в коммутаторах, у них пока нет оснований. Очевидно, что при нынешних объемах выпуска мы никак не сможем конкурировать с китайскими производителями по цене», – сказал директор направления.



Образцы исходных компонентов материалов рабочих элементов варисторов

Павел Мишин также отметил тот факт, что ранее большинство производителей конечных изделий применяли варисторы Epcos, которые стоили значительно дороже китайских, а с 2022 года они перешли на китайские компоненты. Однако при оценке отечественных варисторов они продолжают сравнивать их характеристики с изделиями Epcos, а цену сравнивают с ценой китайской продукции.

«В то же время у нас есть то преимущество, что мы можем создавать кастомизированные решения, которые китайским компаниям будут просто неинтересны. Например, сейчас мы ведем такую работу с производителями электросчетчиков, сделали для них специализированные изделия», – отметил директор направления «Электронные компоненты».

При этом рынок диктует необходимость создания новых компонентов с характеристиками, недостижимыми на оборудовании, введенном в эксплуатацию несколько лет назад и выбиравшимся исходя из задач, которые стояли перед предприятием в то время. Поэтому необходимо приобретение новых установок, а все современное оборудование, которое способно обеспечить требуемые характеристики, высокопроизводительное.

После подготовки порошкового материала выполняется его прессование, осуществляемое в две стадии. Для изготовления опытных образцов используется пресс усилием 25 т, а серийное производство осуществляется на роторном прессе усилием 40 т с производительностью до 12 тыс. изделий за смену. «Насколько мне известно, в России таких прессов не изготавливают. Это надежная установка, построенная с минимальным применением электроники и максимальным – механики», – отметил директор направления «Электронные компоненты». – Парк оборудования этого участка тоже планируется расширить: сейчас приобретаем новый пресс. Потребность в нем также продиктована тенденциями в развитии варисторов».

Результатом прессования являются заготовки, размеры которых определяются используемой пресс-формой. Для каждого типоразмера варистора применяется индивидуальная пресс-форма. После прессования заготовки поступают на следующий этап – спекание (обжиг).

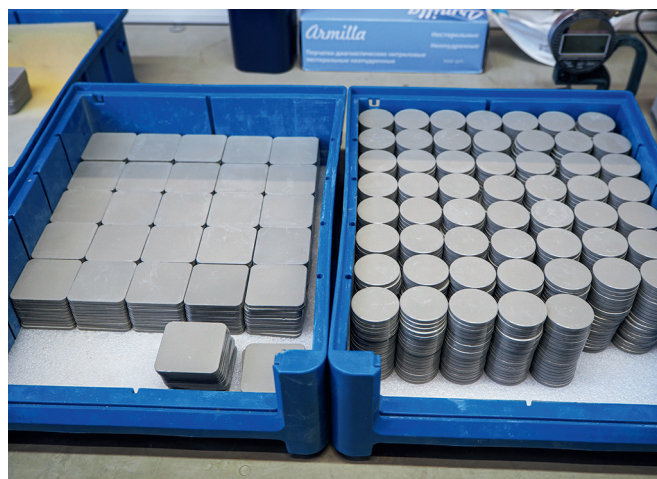
Обжиг выполняется в две стадии. На стадии утильного обжига удаляются органические компоненты материала, после чего проводится основной обжиг при температуре 1100–1300 °С. Процесс осуществляется в специальных капсулах.

По окончании обжига производится охлаждение полученных керамических изделий с постепенным, ступенчатым, снижением температуры.

Печи для обжига на предприятии загружены капсулами почти максимально. Единовременно может выполняться



40-тонный роторный пресс



Керамические заготовки после прессования

высокотемпературное спекание до 4 тыс. изделий типоразмера 34 × 34 мм.

«Мы применяем специфический профиль нагрева при обжиге, он достаточно длительный, поэтому загрузка печей довольно высока», – отметил Павел Мишин. Тем не менее, по его словам, при существующих объемах выпуска целесообразно применение камерных и муфельных, а не туннельных печей, поскольку последние имеет



Участок высокотемпературного обжига. Слева – муфельная печь; справа – две камерные печи с опцией утильного обжига (удаления связующего)



Прецизионный трафаретный принтер

смысл использовать тогда, когда они работают без отключения круглосуточно.

После обжига с помощью трафаретной печати выполняется нанесение серебросодержащей пасты. Помимо принтера, на этом участке расположены две конвейерные печи – для сушки пасты и ее вжигания. Паста на текущий момент используется импортная, но ведется работа по ее замещению на отечественный материал. «Сейчас вместе со специалистами российской компании работаем над созданием материала под наши задачи. Надеемся вскоре перейти на отечественное решение. Нам это было бы выгодно: паста, произведенная в России, будет не дороже, чем китайская, потому что ее цену в основном определяет серебро, а оно и у нас, и в Китае стоит одинаково», – рассказал Павел Мишин.



Печи для сушки (на переднем плане) и вжигания (на заднем плане) серебросодержащей пасты



Заготовки рабочих элементов варисторов с серебрением



Печь конвекционной пайки оплавлением



Гибридные варисторы для УЗИП, выполненные по технологии комбинированной защиты (ТКЗ™) (варисторы, соединенные параллельно, и последовательно подключенный к ним разрядник), прошедшие производственный контроль



Участок нанесения защитного покрытия. Слева направо: установка нанесения порошкового покрытия, печь предварительного нагрева, печь полимеризации

Далее производится контроль полученных изделий, и они отправляются на сборку, которая выполняется на предприятии различными способами в зависимости от типа варистора.

Силовые варисторы собираются вручную. Паяные соединения выполняются с помощью паяльной пасты российского производителя. Паста наносится дозатором и оплавляется в конвекционной печи. На текущий момент применяется свинцовосодержащая паста, но печь

позволяет работать и по бессвинцовой технологии, переход на которую, по словам Павла Мишина, на предприятии рассматривается.

На этом же участке выполняется сборка разрядников, заключающаяся в припайки контактной группы к рабочим элементам данных приборов, которые компанией закупается уже в готовом виде. Как рассказал нам Павел Мишин, на данный момент совместно с одним из предприятий реализуется ОКР по локализации разрядников, а постановка производства их рабочих элементов планируется на мощностях АО «Хакель». В этих приборах заинтересована сама компания, поскольку, в частности, одна из типовых конфигураций УЗИП включает три варистора и один разрядник. Также, как отметил директор направления «Электронные компоненты», разрядники

востребованы заказчиками из области телекоммуникационного оборудования.

После сборки силовые варисторы поступают на участок нанесения защитного покрытия. На контактные поверхности компонентов наносится маска, затем они проходят операцию предварительного нагрева в печи и отправляются в установку, где на них тонкими слоями наносится эпоксидный порошок. Этот процесс также происходит с подогревом. После того как на изделие нанесено



Рабочее место лазерной маркировки

требуемое количество материала, оно отправляется на операцию полимеризации.

Готовые приборы передаются на участок проверки внешнего вида и контроля электрических параметров. 100%-ому контролю подлежат три основные характеристики варистора – классификационное напряжение, ток утечки и коэффициент нелинейности α . Остальные характеристики (теплостойкость при пайке, паяемость, надежность, стойкость к импульсным воздействиям и др.) контролируются в рамках периодических испытаний, о которых Павел Мишин рассказал нам позже –



Блок установки рабочих элементов в контактные группы



Отрезки ленты с контактными группами и рабочими элементами варисторов в оснастке



Установка пайки окунанием

во время посещения испытательной лаборатории. На прошедшие контроль изделия наносится маркировка с помощью лазера.

Сборка дисковых варисторов выполняется на другом участке. На автоматизированной линии из медной луженой проволоки толщиной 0,6, 0,8 или 1,0 мм изготавливаются контактные группы и вклеиваются в ленту. «Выводы большинства варисторов, выпускаемых в мире, выполняются из стальной проволоки, легированной медью. Мы же подобрали проволоку с таким составом, который позволяет поддерживать более высокую теплопро-



Блок обрезки перемычек контактных групп и автоматического контроля электрических параметров



Готовые дисковые варисторы BP14D681K (исполнение с формованными выводами) на ленте

водность и более низкое электрическое сопротивление. В том числе благодаря этому наши приборы обладают характеристиками на уровне лучших мировых аналогов», — отметил Павел Мишин.

Когда контактные группы подготовлены, с помощью вакуумных захватов в них вставляются керамические рабочие элементы варисторов, подаваемые из вибробункера. Лента отрезается, и ее отрезок с контактными группами и зажатый в них рабочими элементами укладывается оператором в оснастку, которая переносится в установку пайки окунанием. Для пайки используется бессвинцовый припой. В этой же оснастке компоненты отмываются и поступают на операцию нанесения защитного покрытия. Далее на продолжении линии выполняются обрезка перемычек, соединяющих контакты, и автоматический электрический контроль.

«Электрический контроль осуществляется с учетом полярности варистора. Многие считают, что варистор — элемент неполярный, но это не так, хотя в некоторых случаях его полярностью можно пренебречь», — рассказал Павел Мишин.

Затем выполняются автоматический контроль внешнего вида, лазерная маркировка компонентов, проверка маркировки и, при необходимости, обрезка выводов. Фасовка осуществляется также автоматически. Типовые нормы упаковки, применяемые на предприятии — 100, 250 и 500 шт. в зависимости от типоразмера. Как и в случае силовых варисторов, часть изделий из готовой партии забирается для проведения периодических испытаний.

Линия автоматизированной сборки дисковых варисторов разработана и произведена в Китае под требования

АО «Хакель». «Благодаря тому, что линия адаптирована под наши задачи, а ее интерфейс полностью русифицирован, при необходимости мы можем в очень короткие сроки — буквально за несколько месяцев — масштабировать эту часть маршрута», — отметил директор направления «Электронные компоненты».

«Сейчас мы смотрим в сторону расширения номенклатуры выпускаемых компонентов», — продолжил он. — Прежде всего это касается смежных областей, таких как терморезисторы. У меня и моих коллег есть опыт разработки и производства таких приборов и материалов для них. Думаем и о варисторах для поверхностного монтажа, но на сегодняшний день не видим целесообразности освоения их производства, хотя компетенции у нас есть и в этой сфере. Их производство очень дорогое, требует чистых помещений, высококвалифицированного персонала, сложного и точного оборудования, а потенциальный спрос на такие изделия отечественного производства в нашей стране пока не велик».

ЦЕХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И ПРИБОРОВ: ИЗГОТОВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАРИСТОРОВ, И ЧТО ДАЮТ ИНСТРУМЕНТЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

После производственного комплекса электронных компонентов представители АО «Хакель» показали нам цех радиоэлектронной аппаратуры и приборов, где осуществляется сборка УЗИП, устройств промышленной автоматики и других электротехнических изделий компании. «Всего здесь изготавливается до 400 тыс. изделий в год, а номенклатура производимой в цехе продукции превышает



Никита Васильев

2 тыс. типов», – сказал наш гид по цеху, директор по производству АО «Хакель» Никита Васильев.

Наша экскурсия по данному подразделению предприятия началась со склада комплектующих, площадь которого составляет порядка 400 м². Именно на этот склад приходят в том числе варисторы собственного изготовления компании, которые в дальнейшем войдут в состав устройств, выпускаемых под брендом «Ключевой Компонент».

«Мы постоянно работаем над тем, чтобы максимально сократить сроки производства и обеспечить высокое качество продукции. В частности, с этой целью на нашем складе сейчас реализуется проект по внедрению адресного хранения, что позволит сократить время комплектации заказов и снизить количество ошибок при его выполнении», – рассказал Никита Васильев.



Цех радиоэлектронной аппаратуры и приборов

Затем директор по производству АО «Хакель» показал нам, собственно, сам цех. «В 2024 году мы присоединились к национальному проекту „Производительность труда“, что позволило нам существенно сократить сроки выпуска продукции, – рассказал он. – Мы смогли по-другому взглянуть на наши процессы, увидеть и структурировать проблемы и начать планомерно их устранять. Была поставлена конкретная цель по уменьшению времени выполнения заказов, сокращению незавершенного производства, повышению выработки, внедрению элементов контроля. В значительной мере эти цели были достигнуты. За время, прошедшее с момента присоединения к проекту, сроки выпуска продукции были уменьшены более чем в четыре раза».

По словам Никиты Васильева, внедрение инструментов бережливого производства позволило компании не только ускорить работу за счет устранения потерь времени на уровне исполнителей, но и исключить различные тормозившие выполнение заказов процессы, связанные с согласованием документации и организационными вопросами. «Мы продолжаем работать над повышением эффективности. Раз в квартал мы ставим перед собой новые цели по улучшению организации производства и стараемся их достичь», – добавил он.

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ: МОЛНИИ В СОСЕДНЕЙ КОМНАТЕ

Последним этапом нашего визита на предприятие стало посещение испытательной лаборатории, которую нам показал Павел Мишин.

Эта лаборатория состоит из двух частей. В первой части сосредоточено оборудование для испытания силовых варисторов, разрядников, УЗИП в сборе и защитных схем аппаратуры, систем и комплексов на воздействие импульсного перенапряжения. Здесь находятся генераторы импульсов различной формы. Имитация прямого удара молнии осуществляется с помощью импульса 10/350 мкс. Соответствующий генератор обеспечивает максимальный ток 120 кА. Следующая установка используется для моделирования наведенного импульса 8/20 мкс до 60 кА. Третий генератор формирует комбинированную волну.

За последние три года состав оборудования в лаборатории был расширен за счет современных отечественных установок. Среди них – новый генератор комбинированной волны с напряжением до 25 кВ и током до 12,5 кА и генератор импульсов 8/20 мкс амплитудой до 200 кА.

Помимо генераторов, в этой части лаборатории есть также источники рабочего напряжения, что позволяет испытывать изделия на импульсные воздействия под напряжением, в рабочем режиме.

«В принципе, такого парка генераторов сейчас ни у кого, кроме нас, в России нет, – отметил Павел Мишин. – Мы его используем не только для испытания собственной продукции. У нас есть заказчики, которые приезжают к нам, чтобы провести испытания своих решений – отдельных устройств, а также целых систем и комплексов – в том числе с применением наших компонентов или УЗИП».

Особенностью этой части лаборатории является то, что управление оборудованием осуществляется с пульта из соседней комнаты. Это сделано из соображений безопасности: поскольку импульсные воздействия чрезвычайно сильны, неисправное устройство может разрушиться и нанести повреждения человеку, находящемуся рядом. Кроме того, существует опасность сильного поражения электрическим током.

Во второй части лаборатории таких существенных рисков нет, и работа может осуществляться непосредственно на оборудовании. Здесь расположены три генератора импульсов различной формы, которые предназначены для испытаний варисторов общепромышленного назначения. «Для этой задачи необходимо отдельное, более точное, оборудование: воздействия малой амплитуды нужно моделировать с гораздо большей точностью, что трудно и нецелесообразно реализовывать с применением единого аппаратного решения», – пояснил Павел Мишин.



Генераторы импульсов тока и источники рабочего напряжения для испытания УЗИП и силовых компонентов

В этой части лаборатории также есть источник рабочего напряжения. Кроме того, здесь расположено оборудование для проведения испытаний варисторов на безотказность. Образцы варисторов выдерживаются под нагрузкой в течение 1 000 ч. Так, во время нашего визита проходили испытания варисторы с классификационным напряжением 430 В, при этом на них непрерывно подавалось переменное напряжение 275 В.

Установка для этих испытаний позволяет одновременно испытывать четыре различных номинала варисторов. Для каждого из них используется свой генератор, два из которых предназначены для подачи постоянного напряжения, а два других – переменного. При этом варисторы находятся в климатической камере, что позволяет проводить испытания при заданной температуре и влажности. В процессе испытаний регистрируется изменение параметров компонентов во времени.



Пульт удаленного управления оборудованием



Генераторы для испытания варисторов



Оборудование для испытаний варисторов на безотказность и определения параметров надежности

Испытание на устойчивость к термоциклированию, наряду с испытаниями на импульсную устойчивость и на безотказность, проводится на выборке в рамках периодических испытаний. Оно выполняется в камере тепла и холода, которая также имеется в лаборатории.

Здесь же расположены установки для испытаний на стойкость к чрезмерному нагреву и огню и тепловую стабильность. В первой – выполняется проверка того, что при подведении к корпусу УЗИП раскаленной проволоки и последующем ее отведении прибор не будет продолжать гореть более установленного стандартом времени – 30 с.

Производство АО «Хакель» объединяет в себе целый ряд аспектов, актуальных для нашей отрасли. Это и локализация производства конечной продукции, и изготовление собственных изделий ЭКБ, и внедрение инструментов, направленных на повышение эффективности. Предприятие не останавливается на достигнутом: обновляет и расширяет парк оборудования, планирует создание новых компонентов и устройств, продолжает оптимизацию своей деятельности. Хочется пожелать компании исполнения задуманного и, главное, роста спроса на ее продукцию, который и лежит в основе развития любого коммерческого предприятия!



Установка для испытаний на стойкость к чрезмерному нагреву и огню



Установка испытания УЗИП на тепловую стабильность



Камера тепла и холода



КЛЮЧЕВОЙ
КОМПОНЕНТ

Российская
электротехническая
компания

ОКСИДНО-ЦИНКОВЫЕ ВАРИСТОРЫ



Продукция АО «Хакель»
внесена в Государственную информационную систему
промышленности (ГИСП) и Реестр радиоэлектронной
продукции Минпромторга России.

ПРОИЗВОДИМАЯ ПРОДУКЦИЯ



УЗИП



УСТРОЙСТВА
ПРОМЫШЛЕННОЙ
АВТОМАТИКИ



НКУ



МОЛНИЕЗАЩИТА
И ЗАЗЕМЛЕНИЕ



ЭЛЕКТРОННЫЕ
КОМПОНЕНТЫ



СДЕЛАНО
В РОССИИ

8 (800) 333-28-29
k2el.ru

продукция
АО «Хакель»
на портале