



**Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном»
Научно-популярная статья призера III степени Голубкова Павла
Евгеньевича (аспирант 2 года обучения, ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет», г.Пенза)**

**Последнее странствие Дон Кихота и его верного оруженосца Санчо Пансы,
или
«Сила – ничто без контроля»¹
Научная сказка**

Аннотация: В данной работе в увлекательной форме изложены материалы двух статей [1, 2], которые были написаны во время научного исследования, посвященного решению проблемы управляемости процесса микродугового оксидирования (МДО). В ходе этого исследования ведется проектирование автоматизированной измерительной системы для углубленного изучения процесса формирования МДО-покрытий. Автор данной научно-популярной статьи занимается разработкой измерительных преобразователей для этой установки, и исследованием их метрологических характеристик.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование (МДО), измерительная система, Дон Кихот, Санчо Панса, Мерлин, научная сказка.

1. Введение

Действующие лица (рисунок 1):

Дон Кихот, Рыцарь Печального Образа. На рисунке обозначен как Персональный Компьютер (ПК).

Кодекс чести:

- Командовать своим оруженосцем (микропроцессорным модулем), т.е. управлять процессом МДО;
- Проводить вычисления на основе передаваемых им данных;
- Строить графики формовочных кривых, динамических вольтамперных характеристик (ВАХ), а также временных зависимостей толщины МДО-покрытия (рассчитывается по импедансу оксидного слоя) и температуры электролита;
- Общаться с пользователем;
- При любых катастрофических отклонениях (срабатывание защитного ограждения, перегрев электролита, перегрузка по току) останавливать процесс МДО.

Санчо Панса, оруженосец. Также откликается на имя Микропроцессорный Модуль.

¹ Научно-популярная статья основана на материалах публикаций:

1. Golubkov P.E., Pecherskaya E.A., Karpanin O.V., Shepeleva Y.V., Zinchenko T.O., Artamonov D.V. Automation of the micro-arc oxidation process. IOP Journal of Physics: Conf. Series, 2017, 917, 1 – 6.
2. Голубков П.Е., Печерская Е.А., Карпанин О.В., Шепелева Ю.В., Зинченко Т.О., Артамонов Д.В. Автоматизированная исследовательская технологическая установка микродугового оксидирования. Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия: сборник статей по материалам IV международной молодежной научной школы-семинара. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2017, 103 – 114.

Вооружение (рисунок 2):

- микроконтроллер, в состав которого входят: аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователь (АЦП и ЦАП соответственно);
- цифровой синтезатор сигналов;
- цифровой потенциометр;
- гальванически развязанный СОМ-порт для связи с ПК («рация»);
- рюкзак, который каждый уважающий себя оруженосец обязан носить с собой.

Обязанности:

- Служить своему господину (ПК) и выполнять его приказы.
- Обеспечивать работу источника технологического тока (ИТТ) и измерительной платы.

Мерлин, волшебник. Он же источник технологического тока (ИТТ).

Обязанности:

- Ничего никому не обязан. Он сам по себе. Но для достижения своей мечты (получить качественное МДО-покрытие), он готов верой и правдой служить хоть Дон Кихоту, хоть его оруженосцу (пока процесс МДО не закончится).

Навыки:

- Колдовство. Умеет посылать импульсы технологического тока («молнии») (рисунок 3) в гальваническую ячейку (ГЯ), чтобы вырастить на не приметном куске алюминия покрытие с удивительными свойствами (высокой микротвердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, электро- и теплоизоляцией).
- Ну и много чего ещё.

Измерилка. Лошадь. Прошу любить и жаловать. Символизирует измерительные преобразователи.

Навыки:

- Может чувствовать многие факторы, влияющие на процесс МДО:
 - ток и напряжение в гальванической ячейке;
 - импеданс растущей оксидной плёнки;
 - яркость микрозарядов;
 - мутность, температуру электролита;
 - выработку электролита (уменьшение концентрации ионов).

Ведро, или **Гальваническая Ячейка** (ГЯ). Можно просто Галя.

Обязанности:

- Вмещать в себе электролит.
- Не мешать Мерлину колдовать (не дать ему об себя споткнуться, не выплёскивать электролит на одежду и т.п.).

- Быть электропроводным!!! (Так как это катод).
- Не ржаветь. Даже если очень хочется.

Блок питания. Это луг, на котором пасётся лошадка и провиант в рюкзаке оруженосца.

Так, всех перечислил? Никого не забыл? Ах да, **Измеритель Пористости!** Я тебя ещё не разработал.

Все готовы? Тогда начинаем.

2. Действие первое (и единственное)

Однажды Дон Кихот решил отправиться на поиски приключений. Поскольку, после досадного поражения от Рыцаря Белой Луны слава о его предыдущих похождениях немного поутихла, он решил обновить свой послужной список и вернуть себе доброе имя. Он открыл свою конюшню, где были припаркованы все его лошади, и служили все его оруженосцы, коих за последний год он нанял аж целых пять человек, не считая верного Санчо Пансы, вышел вперёд и молвил:

- Верные мои оруженосцы! Настало время нам вновь отправиться в героическое путешествие, полное опасностей и приключений! Кто со мной?!!

По конюшне явственно пронёсся «тихий» шепоток: «Тьфу ты, опять у него бзик поехал!», и оруженосцев как ветром сдуло. Остался один лишь Санчо Панса, который не успел слинять вместе со всеми (а может, это многолетняя преданность своему чудаковатому господину сделала своё дело?), и теперь стоял, потупив взор, и неохотно переминался с ноги на ногу.

- Я знал, что ты никогда меня не бросишь, - улыбнулся Дон Кихот. – Ну что, дружище, поехали?

- Поехали! – согласился Санчо Панса и стал запрягать лошадь в телегу.

- А что у тебя в телеге? – поинтересовался Дон Кихот.

- Да так, - пожал плечами оруженосец, - по дороге увидите.

Дон Кихот на своём жеребце выехал из конюшни, Санчо Панса взял под уздцы свою кобылку, вывел телегу, и они, не спеша, двинулись в путь.

Дон Кихот так сосредоточенно созерцал дорогу перед собой, выискивая потенциальных нарушителей закона и порядка и уже готовясь, обнажив свой меч (ржавый, кстати), броситься в атаку и зарубить очередные несчастные мельницы, что не сразу заметил, как на телеге, будто из воздуха, материализовался ещё один пассажир, поставил перед собой ведро с электролитом, одной рукой ухватился за его край, а другой сунул в электролит какую-то деталь из алюминия, закрыл глаза и начал читать заклинание. И о чудо: сначала на поверхности детали появились пузырьки газа, а потом вся она начала покрываться искорками беловатого цвета. Попутно незнакомец перемешивал электролит своим посохом и дул на него, чтобы охладить (см. рисунок 1, система перемешивания и охлаждения электролита).

- Кто это? – подозрительно спросил Дон Кихот.

- Это Мерлин, волшебник. Мы с ним недавно познакомились на ярмарке, и я согласился довести его до Камелота, а он за это подарил мне свою кобылку.

- А что у него в ведре так сияет?
- Это идет процесс МДО (микродуговое оксидирование). Очень мощное колдовство. Лучше туда зря пальцы не совать. Как говорится, «не влезай – целее будешь!».
- А что он делает? – снова спросил Дон Кихот.
- Видишь, у него в одной руке ведро, а в другой – деталь из алюминия? Он посылает между ними, через электролит, импульсы тока, проще говоря, молнии, которые сначала наращивают защитную оксидную пленку на детали, потом пробивают её, а если разряды достаточно мощные – поджаривают и переплавляют (это аморфный оксид алюминия переходит в кристаллический).
- А что получится в итоге?
- Мерлин и сам не знает. Видишь ли, он не умеет этим процессом управлять. Дескать, там столько влияющих факторов, что у него ум за разум заходит, и глаза разбегаются.

Дон Кихот пытался поймать за хвост отчаянно ускользающую мысль.

- А лошадку-то он ведь тебе не зря подарил. – догадался Дон Кихот. – Она что, особенная?
- Да. Её зовут Измерилка, и она умеет измерять разные физические величины. Она их чувствует, а потом говорит мне.

Тут Санчо Пансу посетил видение. Измерилка действительно была необычной лошастью. Она, как и конь Алёши Поповича Юлий, появилась в результате эксперимента по созданию суперсолдат-мутантов много лет назад. Эти животные должны были обладать недюжинной силой, гибким умом, способностью быстро приспосабливаться к ситуации и неистребимым желанием убивать. Но, так как проектом руководил волшебник-недоучка, его творения оказались чересчур миролюбивыми, и лабораторию закрыли за ненадобностью, а сам волшебник по имени Мерлин, сидел сейчас возле ведра, держась руками за электроды, и выращивал МДО-покрытие. Надо признать, в то далёкое время он добился довольно интересных результатов: коза, научившаяся метать молнии (да-да, розовая, с жёлтой полосой на спине!), летающий металлический слон с цветами вместо ушей (это был первый прототип квадрютюгокоптера), умный говорящий конь Юлий, и Измерилка, венец его творения, в которой он соединил лошадь, амперметр, вольтметр, измеритель импеданса (конденсаторный делитель напряжения), измерители яркости микрозарядов, мутности, температуры и выработки электролита, кучу операционных усилителей, транзисторов и всякой мелочовки. В итоге получилась весёлая сверхчувствительная кобылка, как ни в чём ни бывало шагающая вперёд по дороге и напевающая себе под нос одной лишь ей известный мотивчик.

Вынырнуть из видения Санчо Пансу заставил вопрос Дон Кихота.

- И ты её понимаешь? – спросил он.
- Отчасти. Хоть я немного и знаю язык животных, я не могу определить единицы измерения, и поэтому всё перевожу в условные единицы аналого-цифрового преобразователя (АЦП), например, в попугаи.
- Постой-ка! Кажется, давным-давно, ещё до моих подвигов, я где-то читал, как переводить из попугаев в нормальные единицы измерения... - Дон Кихот задумчиво почесал в затылке. - О! Вспомнил! Но для этого надо знать, что мы измеряем, в каких пределах лежит диапазон входного сигнала и разрядность аналого-цифрового преобразователя.
- Не вопрос! Измерилка подскажет. Она у меня умная.

С этими словами Санчо Панса с любовью погладил кобылку по загривку. Та скромно

потупила взор и взмахнула длинными ресницами.

- Ну тогда ты, Санчо, будешь мне говорить, что измерила твоя лошадка, я буду приводить эти показания в привычный вид и говорить, что делать дальше. Согласен?
- Конечно, мой господин!
- Мерлин, ты не против?
- Конечно нет, буду рад любой помощи! – обрадованно отозвался волшебник.

Так они и сделали. Мерлин посылал в ведро молнию за молнией (импульс за импульсом), лошадка Санчо Пансы проводила измерения, сам он слушал и передавал результаты этих измерений (в попугаях) Дон Кихоту, который занимался подсчётами в уме, и время от времени отдавал приказы оруженосцу, а тот по цепочке передавал их Мерлину.

- Прибавить ток! – командует Дон Кихот.

Санчо Панса кричит Мерлину:

- Эй, Мерлин, так твою разтак! Поддай жару!

(Молнии становятся мощнее, процесс МДО идёт с новой силой).

А если надо ток убавить, то:

- Эй-эй, полегче! Ты чего это такой дерзкий! Сбавь обороты!

Измерилке очень хочется помочь Мерлину, ведь она никогда не видела такого сложного колдовства. Она буквально горит желанием что-нибудь померить, но у неё сейчас другая обязанность – ей надо везти телегу. Что же делать? С одной стороны, она не может не помочь своему создателю, а с другой стороны, не может подвести Санчо Пансу, своего нового хозяина. Поразмыслив, она находит выход из ситуации, зовёт Санчо Пансу и что-то шепчет ему на ушко. Санчо Панса краснеет, хихикает и, молча, убегает исполнять.

Всем интересно, что же такое нашептала оруженосцу лошадка, поэтому никто не сводит с него глаз. А Санчо Панса подбегает к волшебнику и говорит:

- Мерлин, остановись на минуточку. Ну, пожалуйста!

Мерлин прекращает колдовать. Санчо Панса берёт хвост Измерилки и заплетает его в две косички. Одну из них он привязывает к ведру, а другую – к алюминиевой детали.

- Готово! – кричит оруженосец Измерилке и говорит Мерлину:
- Всё, можешь продолжать. Спасибо!
- На здоровье! – буркнул Мерлин.

Теперь лошадка могла оторваться на полную катушку. От переизбытка чувств она тут же измерила несколько значений тока и напряжения, мутность, температуру и выработку электролита (на всякий случай), и в красках поведала об этом Санчо Пансе. Тот, не ожидая такой прыти от своей кобылки, сначала немного замешкался, но взял себя в руки, перевёл всё в попугаи и передал Дон Кихоту, которому пришлось лихорадочно применять полученные знания, коими от так опрометчиво похвастался, и в поте лица строить пальцем в

воздухе перед собой графики формовочной кривой (зависимости напряжения от времени) и динамической ВАХ-ВАХ-ВАХ (зависимости тока от напряжения на детали).

«Нет, профессию надо менять!- подумал он. – Как закончу с этим приключением, приеду домой и стану инженером-метрологом. Вот тогда-то я и заткну за пояс этого выскочку Рыцаря Белой Луны! Он-то такого не умеет!»

- Измерить импеданс! – снова командует Дон Кихот.

Санчо Панса подходит к Мерлину и говорит:

- Сходи-ка ты, Мерлин, передохни. А я пока поколдую.

До некоторого времени считалось, что Санчо Панса не обладает магией, но это не так: недавно он открыл в себе электрический дар, хоть и не такой сильный, как у Мерлина, но и этого ему хватило, чтобы послать тестовый сигнал на измеритель импеданса кобылки. Распробовав напряжение на образце, лошадка ответила:

- Входное напряжение делителя 96 попугаев, выходное напряжение 48 попугаев!

Санчо Панса сообщил об этом Дон Кихоту, и тот по формулам делителя напряжения и ёмкости плоского конденсатора посчитал:

- Толщина МДО-покрытия равна 30 микрометров (плюс-минус километр). Маловато. Продолжить МДО!

- Ну наконец-то! - Мерлин садится около ведра и продолжает свою работу.

Время от времени Измерилке хочется узнать яркость микрозарядов. Кобылка подходит к ведру и заглядывает в него. Там происходит очень интересное явление: в зависимости от того, какой силы молнии посылает в ведро Мерлин, меняется цвет микрозарядов на поверхности детали. Маленький импульс тока – беловатые микрозаряды, импульс посильнее – ярко синие, ещё сильнее – оранжевые, ну и, наконец, когда Мерлин чересчур увлечётся, появляются красные дуговые заряды.

Улыбаясь, кобылка зачарованно смотрит одним глазом на микрозаряды, а другой её глаз в это время смотрит совершенно в другую сторону. Со стороны может показаться, что она просто глючит («Дорогой, кажется, наша лошадь сломалась! Ты не знаешь, где у неё инструкция? Может быть, можно её по гарантии сдать?»), однако на самом деле этой раскосой улыбке существует простое объяснение. Измерилка должна решить очень важную задачу. На её глаза – два датчика освещённости – посткпают разные сигналы: один показывает нужную яркость микрозарядов, но вместе с помехой - освещённостью окружающей среды, а другой – просто эту освещённость. Задумавшись. Измерилка вычитает из одного сигнала другой и узнаёт яркость микрозарядов, о чём тут же с гордостью сообщает Санчо Пансе. Он достаёт из-за пазухи рацию и передаёт эту информацию Дон Кихоту:

- Первый, Первый, я второй! Как слышно?

Хоть Дон Кихот и идёт всего в паре шагов от Санчо Пансы, он считает своим долгом поддержать инициативу своего оруженосца и тоже достаёт рацию:

- Второй, это Первый, слышу тебя хорошо.
- Яркость микроразрядов – 48 попугаев.
- Понял тебя. Отбой.

Когда яркость микроразрядов слишком высока, и они приобретут красный цвет (дуговая стадия процесса МДО), Дон Кихот подумает: «А не пора ли нам заканчивать?», и отдаст приказ: «Завершить МДО!», а Мерлин перестанет колдовать. Но до этого ещё далеко, а пока наши герои наслаждаются прогулкой на свежем воздухе и любуются красотой звёздного неба над головой и мерцающих вспышек на поверхности детали, а из выключенной рации на поясе Дон Кихота раздаются странные жужжащие звуки, и диктор с призрачной российской радиостанции УВБ-76 загробным голосом произносит: «Номер абонента выключен или находится вне зоны действия сети». И тут же другой голос отвечает: «Алло?».

Само собой, через некоторое время Измерилка устаёт везти телегу, гружёную ведром и Мерлином, и её начинает мучить жажда. Видя это, Санчо Панса решает принести ей попить. Но, поскольку до ближайшего ручейка ему бежать лень (да его, к тому же, ещё и найти надо!), а жара, как назло, стоит такая, что хочется выпить даже электролит, Санчо Панса, недолго думая, берёт прозрачный стакан, черпает немного электролита из мерлинова ведра и несёт кобылке.

- О, электролит! – восклицает Измерилка. – Как кстати! А он чистый?
- Не знаю. – честно отвечает Санчо Панса.
- А давай проверим! Возьми в своем рюкзаке фонарик, будешь светить через стакан, а я посмотрю.

Если бы мимо них сейчас шёл прохожий, ему бы открылась следующая картина. Верный оруженосец Дон Кихота Санчо Панса, красуясь, что-то демонстрирует своей кобылке. В одной руке он держит стакан с непонятной жидкостью, в другой руке – фонарик. И сосредоточенно просвечивает стакан. Лошадка, закрыв один глаз и прищурив другой, подозрительно смотрит на пятно света в стакане, потом деловито обходит Санчо Пансу сбоку и смотрит в стакан снова. Если бы в прошедшем или отраженном свете Измерилка увидела в электролите мусор (частички МДО-покрытия, выбитые микроразрядами), она сказала бы об этом Санчо Пансе, он бы доложил об этом Дон Кихоту, а тот, грозно зыряка очами и пылая от негодования, сделал бы оруженосцу выговор и, с помощью волшебного пенделя, которому научил его Мерлин, приказал бы ему заменить электролит. Но на этот раз оруженосцу повезло, мусора в стакане не оказалось, и лошадка, как ни в чём ни бывало, выпила электролит и потащила телегу дальше. «Ну дела!» - подумал бы прохожий.

Больше всего на свете Измерилка хочет принять ванну, поэтому она то и дело подбегает к ведру и осторожно пробует электролит краешком копыта. Если вода горячая, Измерилка быстро отдёргивает копыто, дует на него, и с криком «Ай, горячо!» убегает обратно. По силе крика Санчо Панса определяет температуру электролита: 38 попугаев. Он намекает об этом Дон Кихоту, который не прочь искупаться и сам, тот переводит температуру в градусы, и если она оказывается слишком высокой, велит Мерлину на время перестать колдовать (отключить источник технологического тока, ИТТ), пока электролит в ведре не остынет до нужной температуры. После этого ИТТ опять включается (Мерлин отдохнул и снова полон сил!), но мечты Дон Кихота и Измерилки так и остаются лишь мечтами, потому что, как ни крути, а ни один из них в ведро не поместится. Так что им остаётся лишь вздыхать и ждать, когда они доберутся до ближайшего озера.

Иногда Измерилке приходит в голову мысль, что неплохо было бы определить выработку электролита, ведь если в электролите мало ионов, которые, в поисках лучшей доли уплывают на МДО-покрытие, обустроиваются и остаются жить на нём, электролит теряет свои чудесные свойства, и хорошего покрытия, как правило, не получается. Тогда она пробует электролит на вкус, касаясь его кончиком языка, и моментально ощущает изменение проводимости электролита (что только не почувешь, когда у вас язык под напряжением 600 вольт!).

В это трудно поверить, но всего лишь несколько лет назад такой способности у Измерилки не было, и из-за этого она очень переживала. Однажды она пришла к Мерлину, и он спросил у неё:

- Скажи, Измерилка, а хорошо ли тебе живётся? Легко ли тебе жить в таком бесчувственном мире, когда ты сама можешь почувствовать так много всего?
- Не волнуйтесь, создатель, - ответила лошадка. – Вокруг столько разных физических величин, которые можно измерить! И если люди при этом пользуются специальными приборами, то я могу ощутить любую из них, все оттенки её действительного значения, всего лишь подумав об этом. Я благодарна Вам за этот дар. Вот только...
- Вот только что? – Мерлин внимательно смотрел на неё.
- Я не могу измерять электропроводность, - печально вздохнула кобылка, и пушистые ушки её поникли. – А так хочется!
- Ничего, - ответил Мерлин, - это дело поправимое. Есть у меня одна мыслишка. Жду тебя завтра в полночь.
- Спасибо, учитель! Я обязательно приду! – Запрыгала от радости лошадка.

Когда в назначенный час волшебник встретил Измерилку, всё уже было готово к ритуалу объединения: зажжённые свечи стояли в углах нарисованной магическим мелом пентаграммы, в окошко светила полная луна, а в руке Мерлин держал лист бумаги, на котором, как думала лошадка, содержалась древняя рунная магия. Но когда волшебник перевернул листок, там оказался всего лишь рисунок принципиальной электрической схемы: четыре резистора, включённые в мост Уитстона, в диагонали которого стоял компаратор. Один из резисторов в схеме оказался цифровым потенциометром, который управляется с микропроцессора, а другой был всего лишь парой электродов, которые для измерения нужно было засунуть в какую-нибудь жидкость. Он приложил рисунок к боку Измерилки, произнёс заклинание «Лазернус утюгус!» и провёл рукой по листу бумаги. Почувствовав лёгкое жжение, лошадка оглядела себя: свежая татуировка принципиальной схемы, появившаяся у неё на боку, стремительно впитывалась в кожу и вскоре исчезла, не оставив и следа, но вместо неё глубоко в душе поселилось странное чувство незавершённости. Лист бумаги в руках Мерлина был пустым.

- Ну вот, я дал тебе то, что ты хотела. – напутствовал Мерлин. - Теперь ты можешь измерять электропроводность. Но есть одна проблема. Чтобы это сделать, тебе нужен напарник, который будет управлять цифровым потенциометром. Не волнуйся, я помогу тебе найти его. И Мерлин сдержал своё обещание, подарив Измерилку славному парню по имени Санчо Панса. И теперь, если Дон Кихот командует: «Измерить выработку электролита!» («Каррамба! Полундрра!» и тому подобное), верный оруженосец и его лошадка работают в паре, помогая друг другу: Санчо Панса медленно «подкручивает» сопротивление цифрового потенциометра, а Измерилка смущённо сигнализирует, когда сработает компаратор: «Ой! Кажется, у меня компаратор сработал!». (При этом мост оказывается в равновесии). Дон Кихот же, зная сопротивления резисторов в плечах моста Уитстона и сопротивление

цифрового потенциометра, которое ему по секрету сообщил Санчо Панса, может из условия равновесия моста найти проводимость электролита, а уже по ней определить концентрацию ионов в нём. Если ионов в электролите мало, то Санчо Пансе лучше держаться от своего сюзерена подальше, ведь «волшебный пендель Дон Кихота достаёт и до болота». В общем-то, если бы так получилось, он бы это заслужил, потому как «свежий электролит – залог здоровья, любви и процветания» (и что самое важное, качественного МДО-покрытия!).

3. Заключение

...Когда процесс МДО завершился, Дон Кихот вытащил покрытую МДО алюминиевую деталь из ведра и ахнул: это был меч, но очень необычный. В каждой его линии, в каждом изгибе орнамента на рукояти, в тусклом сероватом отблеске клинка чувствовалась небывалая мощь, а вдоль лезвия вилась замысловатая надпись-гравировка, означающая «сила – ничто без контроля». Дон Кихот подкинул его в руке, примериваясь к тяжести меча, и со всего размаху рубанул по стоящей рядом берёзе. Вначале он подумал, что промахнулся, но, увидев, как, спустя пару секунд, срубленное дерево с грохотом съехало на землю, он восхищённо цокнул языком и стал озираться по сторонам в поисках того, на чём ещё можно было бы попробовать этот удивительный меч. Тут взгляд его упал на огромный валун, лежащий чуть впереди. Подъехав к нему, с криком: «Ну погоди, барон Толстопуз!», он вогнал меч в камень по самую рукоятку. Но, как ни пыжился, вытащить его обратно уже не смог.

После долгих бесплодных попыток Дон Кихота, его верного оруженосца Санчо Пансы и даже кобылки, честно пытавшейся схватить рукоятку копытами, меч так и остался торчать в камне. И только Мерлин, хитро улыбнувшись, подошёл к нему и сказал:

- Я нарекаю тебя «Экскалибур», что в вольном переводе означает «Алюминий твёрже стали», и только тот, кто вытащит этот меч из камня, станет королём Британии!

После этих слов он слевитировал валун с мечом на телегу, и все четверо (включая Измерилку), оживлённо беседуя, поехали в Камелот на поиски новых приключений.

Список использованных источников

1. P. E. Golubkov, E. A. Pecherskaya, O. V. Karpanin, Y. V. Shepeleva, T. O. Zinchenko and D. V. Artamonov, "Automation of the micro-arc oxidation process," IOP Journal of Physics: Conf. Series, vol. 917, pp. 1-6, 2017.
2. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Карпанин О. В., Шепелева Ю. В., Зинченко Т. О., Артамонов Д. В. Автоматизированная исследовательская технологическая установка микродугового оксидирования // Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия : сборник статей по материалам IV международной молодежной научной школы-семинара. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2017. С. 103–114.
3. Мигель де Сервантес Сааведра. Хитроумный идальго Дон Кихот Ламанчский. Пер. Н. Любимов. – М: Художественная литература, 1988.
4. Легенда о короле Артуре.
5. Моё воображение, неГОСТИрованное и свободное (владелец Голубков П. Е.).

Иллюстрации

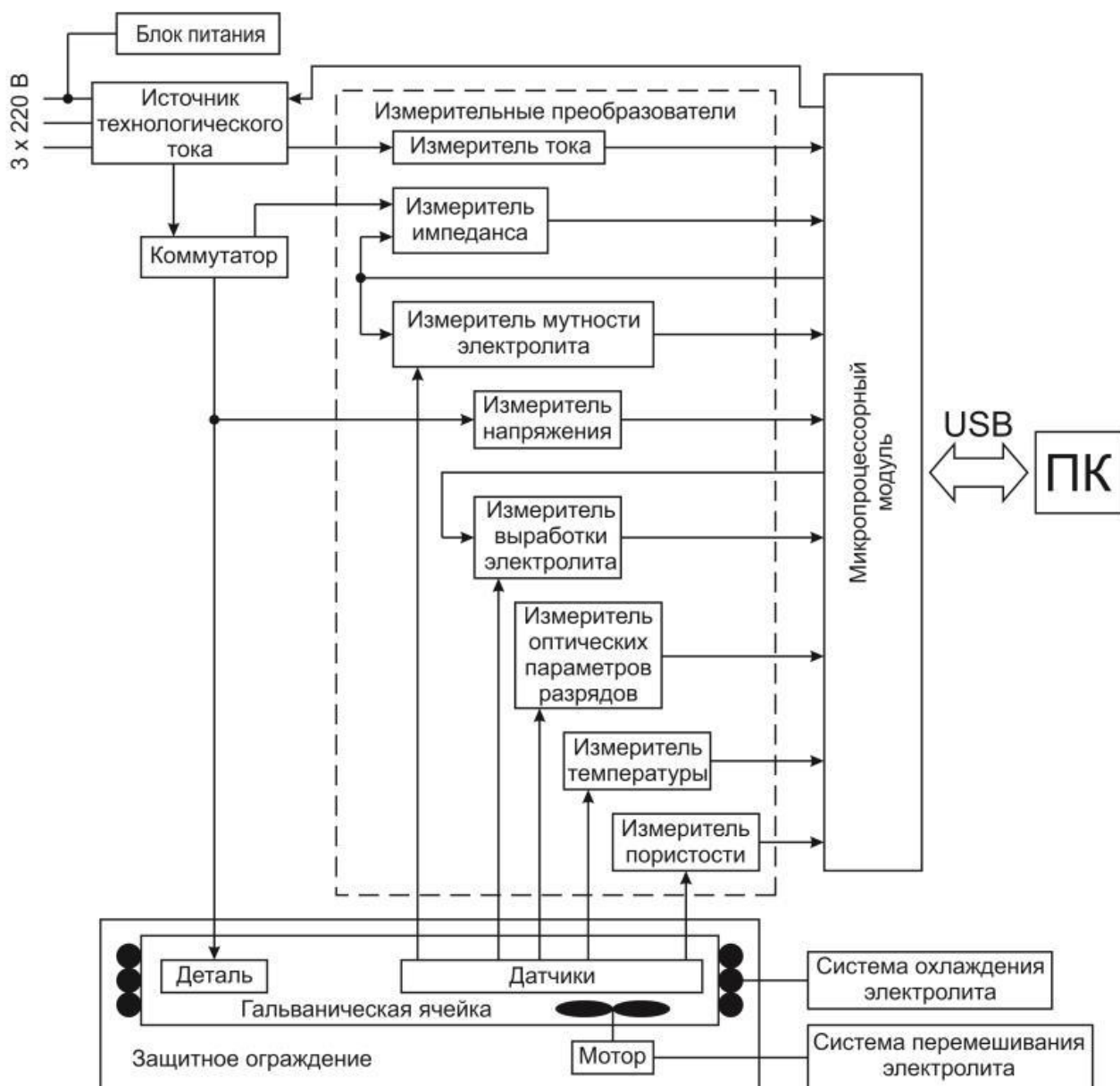


Рис.1. Структура автоматизированной установки МДО.

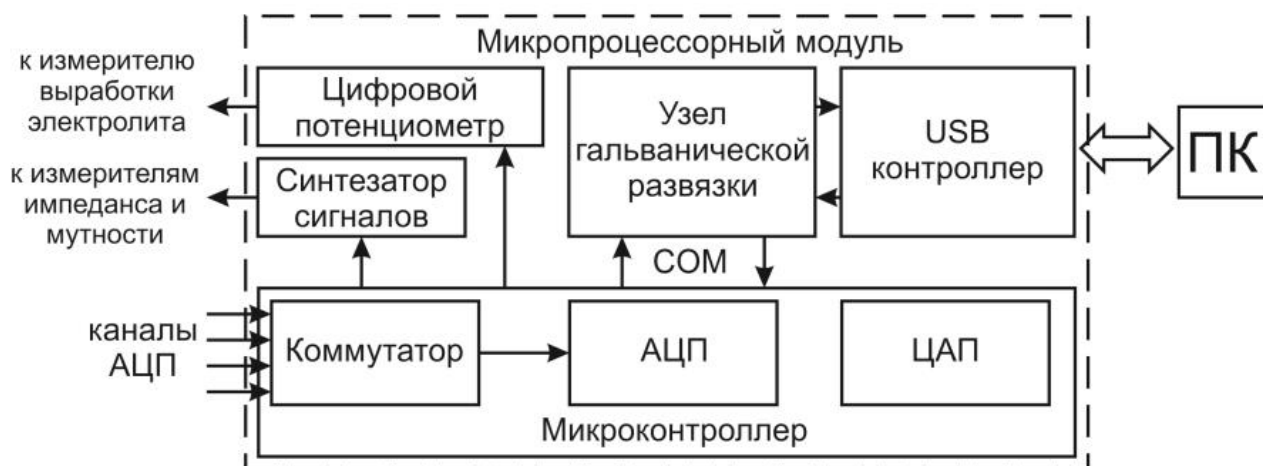


Рис.2. Структура микропроцессорного модуля.

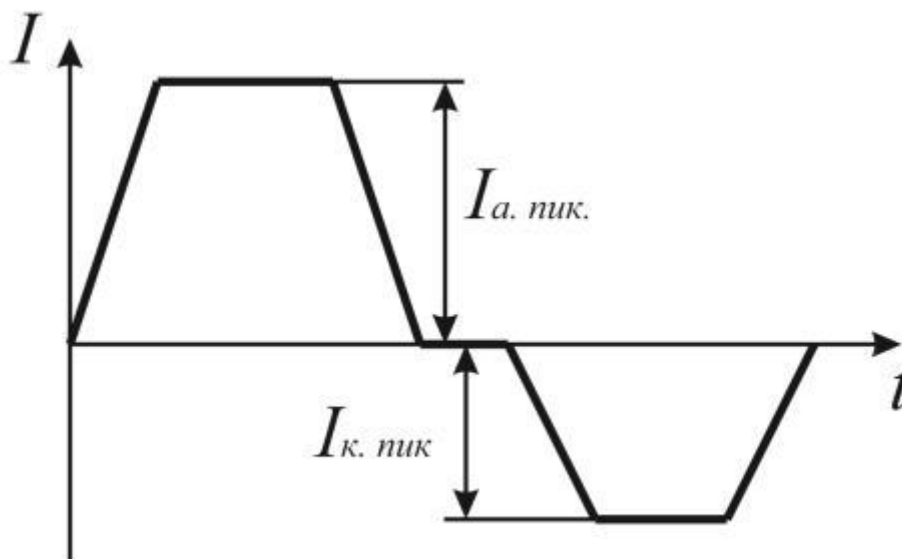


Рис.3. Форма импульсов технологического тока измерительной системы МДО.