

УДК 621.313.3

UDC 621.313.3

АСИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ЭЛЕКТРОПРИВОДА КУБГАУ. (К 40-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ КАФЕДРЫ ЭМ И ЭП КУБГАУ)

ASYNCHRONOUS GENERATORS IN SCIENTIFIC RESEARCHES OF ELECTRIC MACHINES AND ELECTRIC DRIVE DEPARTMENT, KSAU. (IN COMMEMORATION OF THE 40TH ANNIVERSARY OF ELECTRIC MACHINES AND ELECTRIC DRIVE DEPARTMENT'S CREATING)

Богатырев Николай Иванович
Заслуженный изобретатель России, к.т.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Bogatryyov Nikolai Ivanovich
Distinguished inventor of Russia, Cand. Tech. Sci., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Представлен 40-летний анализ становления и развития одного научного направления исследований на кафедре электрических машин и электропривода Кубанского ГАУ

Analysis of 40 years' making and evolution of one of the subject area on Electric machines and electric drive department is presented

Ключевые слова: СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, СТАБИЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЗАЦИИ

Keywords: AUTONOMOUS SYSTEM OF POWER SUPPLY, ASYNCHRONOUS GENERATOR, VOLTAGE STABILIZATION, POWER SUPPLY, ELECTROMECHANIZATION EQUIPMENT

По приказу Минсельхоза СССР № 263 7 сентября 1970 года организована кафедра электрических машин и электропривода (ЭМ и ЭП), которая вошла в числе других в состав вновь образованного факультета электрификации сельского хозяйства. Заведующим кафедрой ЭМ и ЭП назначен к.т.н. доцент Фришман Владимир Соломонович.

Костяк кафедры составили сотрудники и аспиранты, которые перешли с кафедры ТОЭ. Развитие учебного процесса сопровождалось становлением научных направлений, которые были заложены на этих кафедрах.

Необходимо отметить, что в это время в Кубанском СХИ активно занимались вопросами разработки и исследования электроприводов на повышенную частоту тока 200 – 400 Гц. Применение средств электромеханизации на повышенную частоту тока потребовало разработки и источников питания на такую же частоту тока. В наибольшей мере требованиям простоты, надежности и удобства эксплуатации обладают автономные асинхронные генераторы (ААГ) с конденсаторным самовозбуждением. Вместе

с тем ААГ свойственны некоторые недостатки, обусловленные их крутопадающей внешней характеристикой, что приводит к резкому спаду напряжения при подключении двигательной нагрузки.

Кроме того, использование в генераторном режиме серийных асинхронных машин, предназначенных для использования в качестве двигателей, также создает определенные трудности. Относительно малая степень насыщения таких машин затрудняет стабилизацию напряжения ААГ.

Линейное стандартное напряжение (380/220 В) неприемлемо для непосредственного питания ручного инструмента в полевых условиях по нормам и правилам техники безопасности. Введение же трансформатора для снижения напряжения до 36 В, ведет к ухудшению массогабаритных показателей переносной электроустановки.

Наивно полагать, что наш университет и кафедра ЭМ и ЭП является пионером в области исследования и применения ААГ. По мнению некоторых исследователей, первые отечественные работы по ААГ опубликованы в тридцатых годах прошлого века (Чечет Ю. С., Будзко И.А, Горяинов Ф.А. и др.) [4, 48]. В этих работах был поставлен ряд теоретических и практических вопросов по уяснению внутренней природы и эксплуатационных свойств ААГ. С этого времени начался период интенсивной работы по применению ААГ в сельском хозяйстве, для чего использовались серийные асинхронные двигатели. В дальнейших работах советских авторов (1940 – 60 годы) идеи использования ААГ малой мощности в сельском хозяйстве для питания электрифицированного инструмента получили известное развитие, наметились также новые области их использования.

В этот период времени выходят в свет две монографии Иванова А.А. (1948 г.) и Зубкова Ю.Д. (1949 г.). Дополняя друг друга, эти монографии внесли определенный вклад в дальнейшие исследования в этой области, и остаются изданиями, в которых впервые систематизированы теоретические и экспериментальные исследования по самовозбуждающимся ААГ.

В работах (1950 – 60 гг.) описываются асинхронные генераторы для бортовых источников питания летательных аппаратов мощностью 3–15 кВт, частотой 400 Гц при скоростях вращения ротора 12000 – 24000 об/мин. Появляются также описания передвижных автономных электростанций с АГ мощностью до 75 кВт промышленной и повышенной частот.

С шестидесятых годов во многих научных коллективах страны ведутся работы по совершенствованию и внедрению электростанций с АГ небольшой мощности сельскохозяйственного назначения для питания электрифицированного инструмента и электротехнологических установок.

По принципу устройства ААГ не может служить источником реактивной мощности, а поэтому важнейшие характеристики его являются крутопадающими, особенно при подключении активно - индуктивных двигательных нагрузок. Такие генераторы нуждаются в стабилизации напряжения. Стабилизация напряжения осуществляется компенсацией реактивной индуктивной мощности, как потребителей, так и самого генератора.

Известны два метода компенсации реактивной мощности: метод последовательной и метод параллельной компенсации. Компенсационные устройства, применяемые для стабилизации напряжения ААГ должны увеличивать реактивную емкостную мощность по мере увеличения нагрузки генератора и этим компенсировать возрастающую индуктивную мощность. Компенсационные устройства (КУ) имеют два элемента: емкость - конденсаторы и регулирующий элемент – катушка со стальным сердечником или электронные аппараты, регулирующие величину емкостной реактивной мощности. Регулирующий элемент КУ может быть подключен как параллельно, так и последовательно к конденсаторам [17, 19, 51].

Первые публикации сотрудников нашего ВУЗа (доступные автору) [19, 50] связаны с вопросами стабилизации напряжения ААГ методами параллельной и последовательной компенсации реактивных нагрузок и разработки различных компаундирующих устройств для ААГ и преобразова-

телей частоты. В дальнейшем эти разработки были представлены в кандидатской диссертации соискателя Капленко В.К. [18] (рук. Фришман В.С.).

В этой и других работах показаны перспективы устройств с последовательной и комбинированной системой возбуждения (рис. 1) и проблемы, которые при этом возникают [19, 49, 50]. Это связано с тем, что в таких схемах при КЗ в цепи нагрузки, на вторичных обмотках трансформаторов тока ТА и на конденсаторах С4 – С6 возникает не допустимо высокое напряжение. Это требует установки дополнительных сопротивлений R1 – R3, на которых выделяется значительная активная мощность.

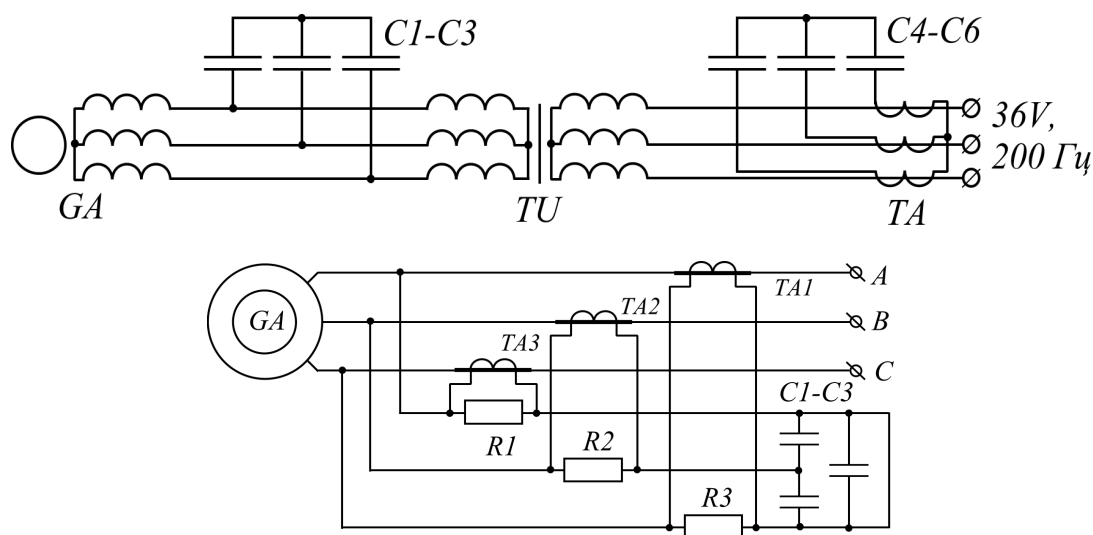


Рис. 1 – Функциональные схемы устройств компаундирования ААГ. GA – автономный АГ; ТА – трансформаторы тока; ТУ – согласующий трансформатор 380/220 – 36 В; С1 – С6 – конденсаторы возбуждения и компаундирования.

Обобщающий материал по результатам исследований на тот период был представлен в отдельном сборнике трудов «Асинхронные генераторы в сельском хозяйстве», вышедшем на кафедре ЭМ и ЭП в 1970 году [4]. В этом издании В.С. Фришман дал обзорную статью [48], в которой были подведены некоторые итоги исследований на тот период времени. Это издание можно считать отправной точкой начала развития научного направления по исследованию асинхронных генераторов на кафедре ЭМ и ЭП.

Под руководством Фришмана В.В. в это время работали несколько аспирантов: Змитрович В.С., Ильина Л.А., Агафонов В.М; в дальнейшем –

Кимкетов М.Д., Эвентов С.З., Прохорова Г.А. и др. Тематика их исследований была связана с вопросами регулирования и стабилизации напряжения, повышения надежности самовозбуждения ААГ и разработки электропривода на повышенную частоту тока. В дальнейшем эта тематика стала базовой для заключения госбюджетных НИР [41, 42].

По хронологии публикаций научных работ, подготовки и защиты диссертаций развитие научного направления по исследованию ААГ на кафедре ЭМ и ЭП представлено на рисунке 2.

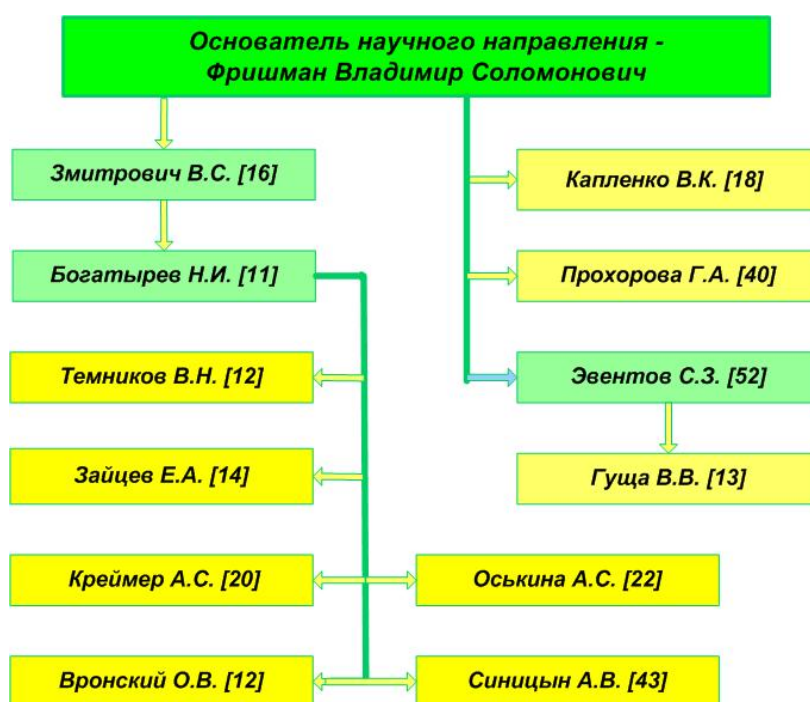


Рис. 2 – Основные участники и этапы развития научного направления по исследованию ААГ

Прохорова Г.А. в своей диссертации [40] выполнила исследование ААГ с двумя независимыми обмотками статора. Одна обмотка проектировалась на напряжение возбуждения 380/220 В, а другая на рабочее напряжение 36 - 40 В. Математическое моделирование процессов самовозбуждения такого ААГ удачно сочеталось с высоким насыщением магнитной системы, за счет чего происходила стабилизация выходного напряжения.

Большой объем работы Эвентов С.З. выполнил по исследованию и разработке электрифицированного агрегата для сбора чайного листа. В

своей работе [52] он обосновал и выполнил замену электропривода постоянного тока на электропривод с АД на частоту тока 200 Гц для чаеподрезочных и чаесборочных аппаратов. Одновременно разработал индивидуальные источники питания для этих аппаратов.

Гуща В.В. продолжил эту тему и разработал электрифицированный агрегат для шпалерной подрезки чайных кустов [13].

Общий недостаток этих разработок в том, что они имеют узконаправленную специфику. Работы на чайных плантациях имеют явно выраженный сезонный характер. Поэтому большая часть времени такие электрифицированные агрегаты находятся на консервации.

В настоящее время эти темы потеряли актуальность по двум причинам: 1. Разработки имели узконаправленную специфику и применение.

2. В Краснодарском крае чайная отрасль прекратила свое существование в том виде, в каком она была 20 лет назад. Главные чайные плантации бывшего СССР -Азербайджан и Грузия остались по ту сторону границ.

Змитрович В.С. в своей работе [16] исследовал режимы работы ААГ в системах автономного питания некоторых сельскохозяйственных потребителей с электроприводом обычной и повышенной частоты.

С появлением мощных транзисторов разработано компаундирующее устройство (Рис. 3). Оно имело удовлетворительные внешние характеристики (Рис. 4) и после модернизации явилось составным элементом бензоэлектрического агрегата ПБА - 1 для питания электросекаторов (Рис. 5).

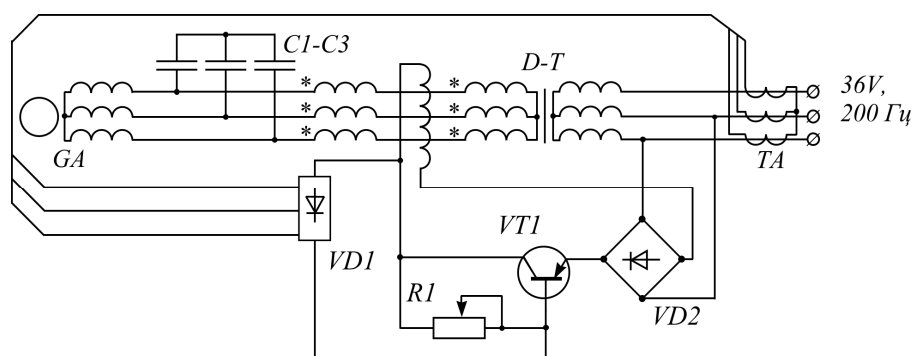


Рис. 3 – Схема компаундирующего устройства для ААГ с обратной связью по напряжению и току нагрузки. D-T – дроссель-трансформатор; VT1 – транзистор П - 210А; VD1 – выпрямитель обратной связи по току нагрузки; VD2 - выпрямитель обратной связи по напряжению; ТА – трансформатор тока.

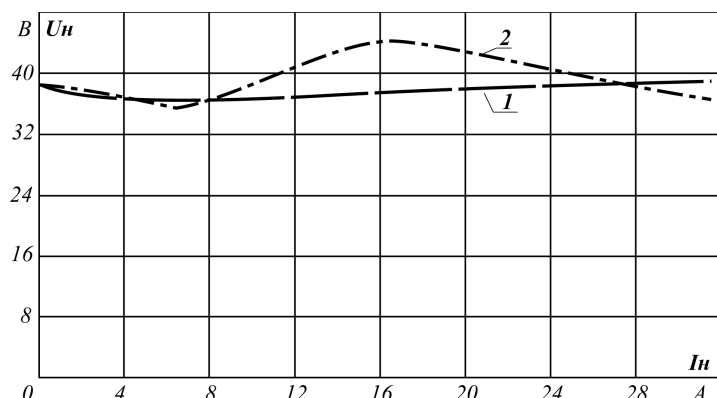


Рис. 4 – Внешние характеристики компаундирующего устройства для ААГ. 1 – с параллельно включенными конденсаторами; 2 – с последовательно включенными конденсаторами.



Рис. 5 – Внешний вид электроагрегата ПБА – 1.

Номинальная мощность, Вт/ВА – 1700/2125;

Номинальное напряжение асинхронного генератора, В – 230/130;

Частота тока, Гц – 200;

Выходное номинальное напряжение компаундирующего устройства, В – 38;

Приводной двигатель, тип – Дружба.

В технологическом процессе сельскохозяйственного производства преобладает сезонность работ, мобильность, территориальная рассредоточенность производственных объектов, что требует применения различного электрифицированного инструмента и средств малой механизации. Поэтому существует необходимость в разработке многофункциональных источников питания небольшой мощности, способных обслуживать широкую гамму электрифицированных инструментов, а в межсезонье использоваться для других целей, например, как источник питания сварочной дуги [6].

Дальнейшие исследования были направлены на разработку многофункциональных и комбинированных источников питания с ААГ [5, 11].

Впервые в мировой практике на кафедре ЭМ и ЭП автономный АГ был применен в качестве источника питания сварочной дуги. Действительно, в формуле изобретения [3] (рис. 6) сказано... источник питания сварочной дуги ..., *отличающийся тем, что, ...* в качестве источника тока *использован асинхронный генератор повышенной частоты тока с конденсаторной батареей в системе возбуждения...*

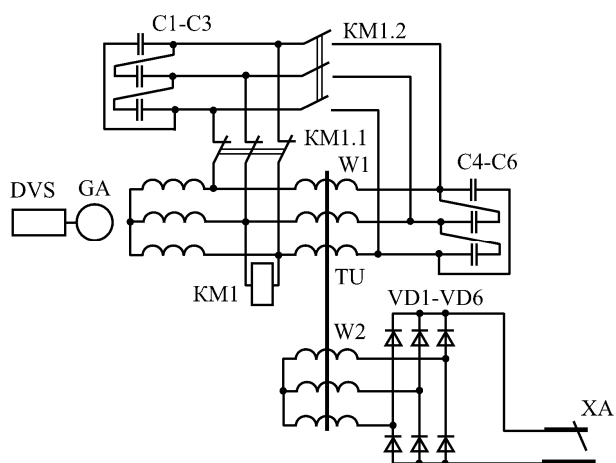


Рис. 6 – Схема источника питания сварочной дуги с ААГ. Емкость С1-С3 конденсаторной батареи подключена к статору генератора GA через нормально замкнутые контакты контактора KM1.1 и служит для возбуждения генератора на холостом ходу. Емкость С4-С6 конденсаторной батареи подключена к статору генератора GA через первичную обмотку W1 трансформатора TU и необходима для компенсации реактивной мощности трансформатора и нагрузки. Напряжение генератора GA, пониженное трансформатором, снимается с его вторичной обмотки W2 и через выпрямитель VD1-VD6 подается на сварочные электроды XA.

Техническое решение оказалось настолько перспективно, что было принято для серийного производства сварочных агрегатов Калужским заводом «Трансмаш». Вариант компоновки агрегата показан на рис. 7.

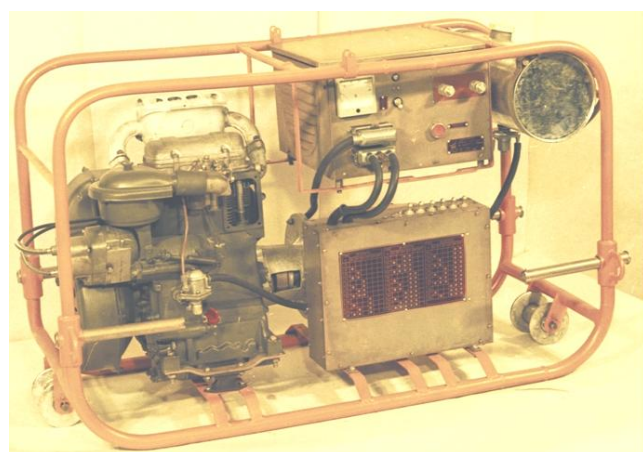


Рис. 7 – Агрегат сварочный АДБ - 13.02 со ступенчатым регулированием сварочного тока. Внешний вид. Номинальный сварочный ток - 130 А; предел регулирования сварочного тока 20 – 180 А; частота вращения генератора - 6000 мин⁻¹; номинальная мощность генератора - 6,0 кВА; приводной двигатель - УД-25.

По ТУ для АДБ – 13 необходимо было разработать систему регулирования сварочного тока. Эта задача была успешно решена [1] (рис. 8).

При повышении частоты тока ААГ снижается габарит и масса согласующего трансформатора TU, обмоточные данные которого определяются

следующим образом:
$$W_1 = \frac{U_{\phi 1} \cdot 10^4}{4,44 \cdot B_A \cdot f \cdot S_A},$$

где $U_{\phi 1}$ – фазное напряжение на первичной обмотке, В; B_A – допустимая индукция в магнитопроводе (зависит от качества трансформаторного железа), Тл; f – частота питающего тока, Гц; S_A – сечение магнитопровода, см².

Таким образом, увеличение частоты с 50 до 200 Гц, позволяет уменьшить число витков первичной и вторичной обмоток ТУ в 4 раза.

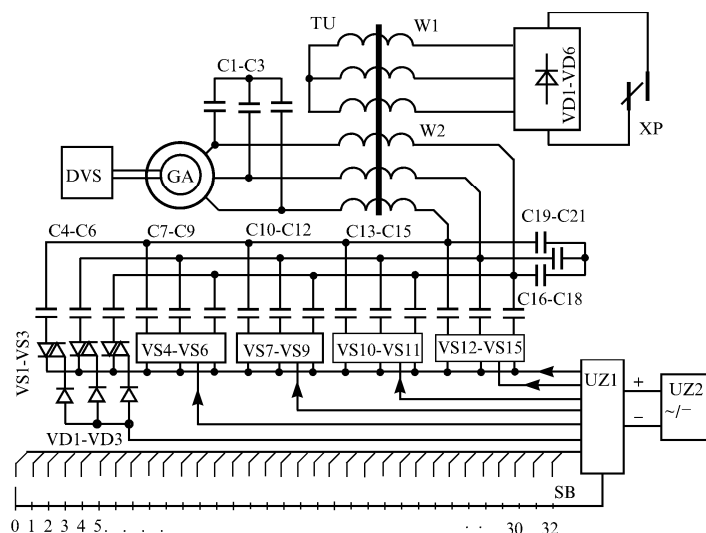


Рис. 8 – Схема регулирования тока сварки для АДБ-13.

Приводной двигатель DVS типа УД-25; ААГ с короткозамкнутым ротором GA; конденсаторы возбуждения C1 - C3 и регулируемые конденсаторы C4 - C21; согласующий трансформатор ТУ; силовой выпрямитель VD1 - VD6; электроды XP; бесконтактные коммутирующие устройства VS1 - VS15; источник собственных нужд UZ2; дешифратор UZ1, многопозиционный выключатель SB.

Для генератора мощностью 7,5 кВА, частотой тока 200 Гц элементы схемы имеют следующие данные: C1-C3 – 24 мкФ; C19-C21 – 8 мкФ; C4-C6 – 1,0 мкФ; C7-C9 – 2,0 мкФ; C10-C12 – 4 мкФ; C13-C15 – 8 мкФ; C16-C18 – 16 мкФ.

Коммутирующие устройства схемы состоят из симистров ТС2-10-5 и диодов КД105. Дешифратор UZ1 и многопозиционный переключатель SB специальной конструкции. Изменяя положение переключателя SB, получаем семейство внешних характеристик (рис. 9).

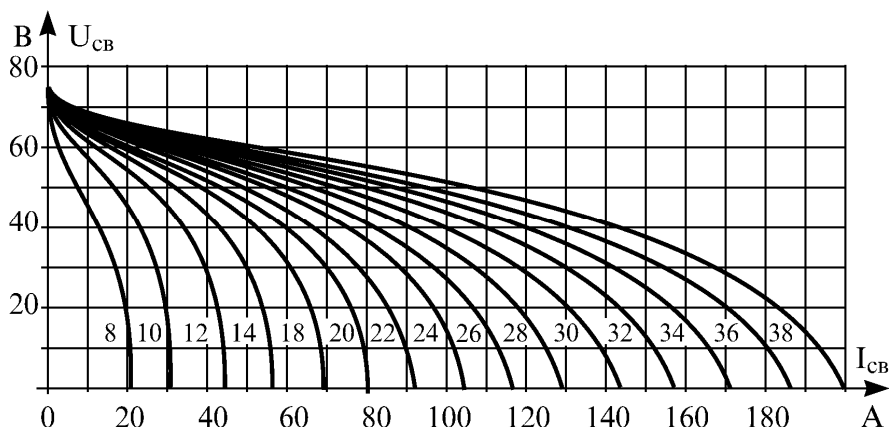


Рис. 9 – Внешние характеристики АДБ-13 при различных емкостях C4 – C21

Для упрощения конструкции вместо бесконтактных элементов было

предложено использовать реле. Опытный образец сварочного блока с реле показан на рис. 10, *а* (внешний вид), а на рис. 10, *б* монтаж блока.

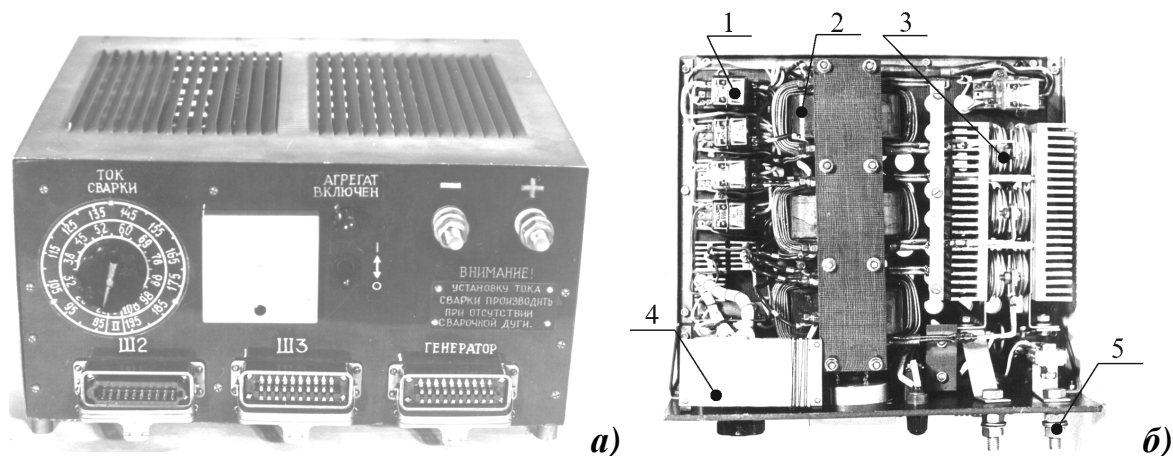


Рис. 10 – Внешний вид сварочного блока *а*), блок управления без кожуха *б*), 1 – реле; 2 – согласующие трансформаторы; 3 – силовой выпрямитель; 4 – дешифратор; 5 – выводы для подключения сварочных проводов

Для расширения эксплуатационных возможностей автономных источников их изготавливают универсальными. Универсальность заключается в том, что они могут питать двигательную нагрузку и сварочную дугу.

По такому принципу были продолжены наши исследования, в результате были получены несколько вариантов универсальных источников [1, 6]. Наиболее перспективный источник показан на рис. 11.

Возможны следующие режимы работы источника питания.

В режиме сварки присоединяются сварочные электроды. Переключатели FA1 и SA ставятся в верхнее по схеме положение. При этом обмотка W1 трансформатора TU включается на «звезду» и последовательно с ней включается дополнительная конденсаторная батарея C4-C6 с выпрямителем VD1-VD6 и регулятором DA тока. Одновременно переключатель SA подключает на вход регулятора DA тока обратную связь по току, которая снимается с трансформатора TA тока через делитель R2 напряжения.

В режиме питания осветительной и двигательной нагрузки ручной инструмент включается к разъему XS1 (если двигатель инструмента рассчитан на напряжение 230 В) или к разъему XS2 (если двигатель инстру-

мента рассчитан на напряжение 38 В). Переключатель FA1 ставится в нижнее положение, при этом первичная обмотка W1 трансформатора соединяется в «треугольник», одновременно параллельно зажимам АГ подключаются разъемы XS1 и дополнительная батарея конденсаторов C4-C6, что приводит к увеличению жесткости внешней характеристики. Одновременно переключателем SA (переводя его в нижнее положение) включаем на вход регулятора DA тока обратную связь по напряжению, снимаемую с делителя R1 напряжения.

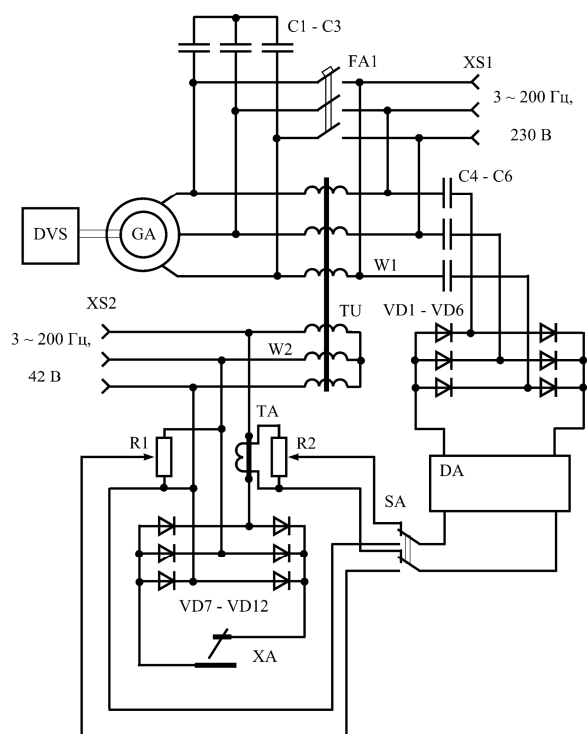


Рис. 11 Блок-схема универсального источника питания.

DVS - приводной двигатель внутреннего сгорания; GA - асинхронный генератор; C1 - C3 - конденсаторы возбуждения; TU – согласующий трансформатор; C4 - C6 - дополнительная конденсаторная батарея; VD1 - VD6 выпрямитель с регулятором тока DA. FA1 – переключатель, позволяющий переключать обмотку W1 со "звезды" на "треугольник" и соединять разъем XS1 со статорной обмоткой АГ. Вторичная обмотка W2 трансформатора TU соединена с выпрямителем VD7-VD12, который на выходе имеет сварочные электроды XA. Одновременно обмотка W2 соединена с низковольтными разъемами XS2 для подключения низковольтного инструмента; R1, R2 - делители напряжения; DA – регулятор тока.

По теме источников питания сварочной дуги с ААГ сотрудники кафедры ЭМ и ЭП выполнили большую научно-исследовательскую, проектную и конструкторскую работу. На протяжении 20 лет сотрудничали с СКО при КЗТМ г. Калуга. В результате - разработаны на уровне изобретений различные способы регулирования сварочного тока (а.с. №№ 1013160, 1013161, 1159736, 1196189, 1232409, 1299726); схемы защиты сварочных агрегатов с ААГ от аномальных режимов работы (а.с. №№ 975274, 1107973); специальные схемы однофазных и ассиметричных сварочных ААГ (№№ 1129040, 1199514).

Восьмидесятые «горбачевские» перестроечные годы наложили свой отпечаток на тематику научных исследований. По тем временам требовались научные разработки «двойных» назначений: то есть научная разработка должна быть востребована в промышленности и в быту.

Так был разработан и запатентован оригинальный синхронный генератор (СГ), принимающий нагрузку, соизмеримую с мощностью генератора [2, 27]. Это стало возможным благодаря прямому токовому компаундированию на дополнительную обмотку на роторе генератора ОРД. В этой обмотке ток пропорционален нагрузке. При подключении АД за счет пускового тока происходит форсаж возбуждения (Рис. 12).

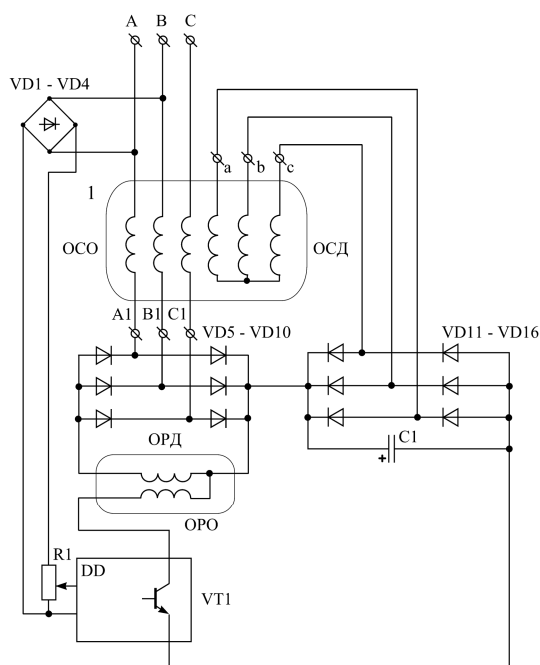


Рис. 12 – Функциональная схема синхронного генератора специальной конструкции.

Синхронный генератор содержит статор 1 с основной ОСО и дополнительной ОСД трехфазными обмотками, ротор с основной ОРО и дополнительной ОРД обмотками возбуждения, два трехфазных мостовых выпрямителя VD11-VD16 и VD5-VD10, конденсатор фильтра C1, регулирующий элемент транзистор VT, с дискретной схемой управления DD, в качестве которой может быть использован аналого-дискретный преобразователь, применяемый в цифровой технике, делитель напряжения R1 и выпрямитель обратной связи VD1-VD4.

Дополнительная ОСД и основная ОСО трехфазные обмотки статора смещены одна относительно другой на 90 эл. градусов.

На основании этих разработок начато серийное производство агрегатов АБ2-Т230-ВПМЗ и АБ4-Т230-ВПМЗ различных модификаций, в том числе с индексом ТНП (товары народного потребления) (Рис. 13).

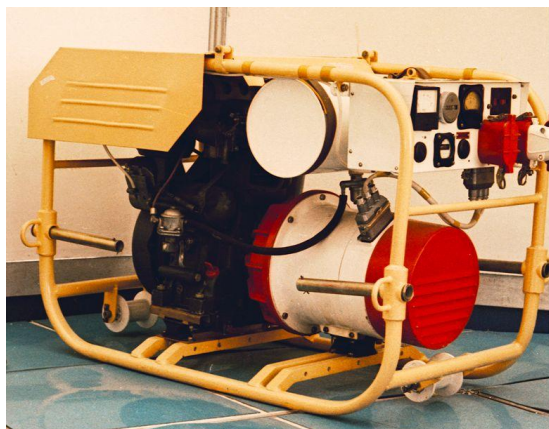


Рис. 13 – Внешний вид электроагрегатов АБ2-Т230-ВГМЗ и АБ4-Т230-ВГМЗ.

Номинальная мощность, кВт - 2,5 и 5,0.
 Номинальное напряжение, В - 230/130.
 Номинальная частота, Гц – 50.
 Приводной бензодвигатель, тип – УД-15 и УД-25.
 Скорость вращения, мин⁻¹ – 3000.
 Мощность приводного двигателя, кВт – 3,0 и 6,0.

Исследования схемы нового СГ показали перспективность заложенных в нем идей. На основании чего был разработан универсальный источник для питания двигательной и осветительной нагрузок, а так же для питания сварочной дуги, работающий в режимах от короткого замыкания до холостого хода, и обладающий жесткой и крутопадающей внешней характеристиками (Рис. 14) [2, 6]. Причем во всех режимах работы генератор загружается до номинальной мощности.

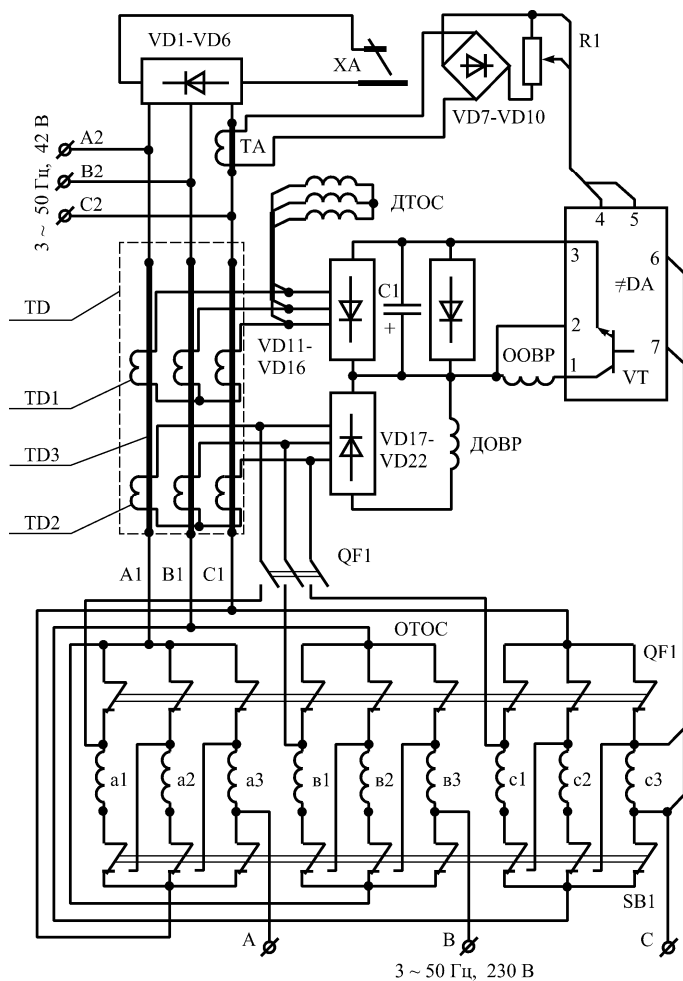


Рис. 14 – Функциональная схема универсального источника питания (УИП).

УИП содержит статор с основной трехфазной обмоткой (ОТОС), состоящей из параллельных секций a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1, c2, c3, соединенных с контактами переключателя режима работ (ПРР) QF1, с возможностью соединить секции последовательно и в «звезду» параллельно, и в «треугольник», выход A1, B1, C1 ПРР QF1 через первичную обмотку TD3 согласующего трансформатора TD и первичную обмотку трансформатора тока TA соединены с силовым выпрямителем VD1-VD6, дополнительная трехфазная обмотка ДТОС статора с одной стороны соединена в "звезду", а с другой стороны с трехфазной обмоткой напряжения TD1 согласующего трансформатора TD и со вторым трехфазным мостовым выпрямителем VD11-VD16, с конденсатором фильтра C1 на выходе последнего, токовая трехфазная обмотка TD2 согласующего трансформатора TD, через контакты ПРР QF1 соединена с основной трехфазной обмоткой ОТОС и одновременно через первый трехфазный мостовой выпрямитель VD17-VD22 – с дополнительной обмоткой возбуждения ротора ДОБР.

Возможны два режима работы: питание сварочной дуги и низковольтной нагрузки и питание двигательной и осветительной нагрузки. При питании сварочной дуги переключатель ПРР QF1 находится в положении, представленном на рисунке. В этом случае секции обмоток a1-a3, b1-b3, c1-c3 соединяются параллельно и в «треугольник». Выход обмоток A1, B1, C1 соединяется с первичной трехфазной обмоткой TD3 согласующего трансформатора TD и далее по схеме.

За счет обратных связей в режиме сварки формируется крутопадающая характеристика, в случае питания низковольтной нагрузки характеристика жесткая.

Режим питания двигательной и осветительной нагрузки на напряжение 220/127 В. Для этого режима ПРР QF1 переключается в другое по схеме положение. В этом случае секция обмоток a1-a3, b1-b3, c1-c3 соединя-

ется последовательно в «звезду». Причем, нулевую точку «звезды» формирует трехфазная токовая обмотка TD2 согласующего трансформатора TD и ДОВР через первый трехфазный мостовой выпрямитель VD17-VD22. Нагрузка в этом случае подключается к зажимам А, В, С, первичная обмотка TD3 согласующего трансформатора TD силовой выпрямитель VD1-VD6 не соединяются с основной трехфазной обмоткой ОТОС статора.

Внешние характеристики УИП показаны на рисунке 15.

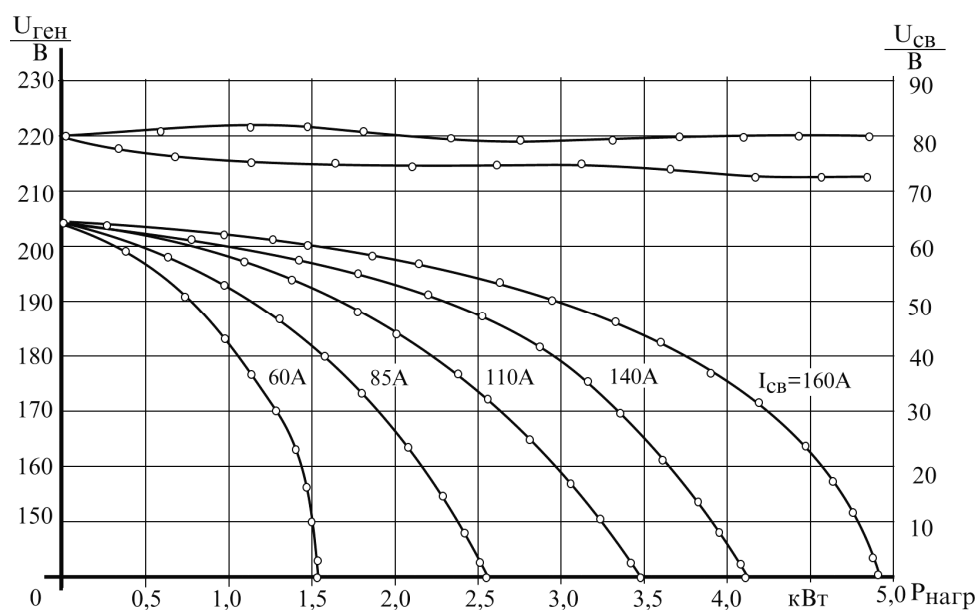


Рис. 15 – Внешние характеристики УИП: жесткая при питании двигательной и осветительной нагрузок; крутопадающая в режиме питания сварочной дуги при сварке штучными электродами.

Подробные результаты исследования СГ и УИП представил Темников В.Н. в своей диссертации [47].

Опытный образец источника был создан в лаборатории НИР кафедры ЭМ и ЭП (Рис. 16).



Рис. 16 - Внешний вид УИП и его технические характеристики:

Внешняя характеристика крутопадающая, пригодная для сварки штучными электродами и жесткая - для питания двигательной и осветительной нагрузок. Во всех режимах источник загружается до номинальной мощности. Высокие энергетические показатели во всех режимах.

1. Мощность генератора, кВт·А - 6,25
2. Частота тока, Гц - 50
3. Напряжение, В - 220/127, 42
4. Коэффициент мощности - 0,8
5. Ток сварки, А - 40 - 190
6. Тип генератора: синхронный
7. Приводной двигатель - УД-25М1
8. Расход топлива, л/ч - 3,2

В настоящее время новое поколение аспирантов и соискателей продолжает научное направление по исследованию асинхронных генераторов.

Зайцев Е.А. в своей работе [14] обосновал параметры универсального источника питания на основании анализа существующих средств электромеханизации по потребляемой мощности, роду тока, напряжению. Разработал математическую модели ААГ при работе на полупроводниковый выпрямитель и методику расчета универсального источника питания.

Самым тяжелым режимом для УИП является режим питания сварочной дуги, когда нагрузка изменяется от холостого хода до короткого замыкания. Для определения добавочных потерь в ААГ при работе на сварочную дугу проанализирован гармонический состав (рис. 17). Нужно отметить, что наиболее выраженными являются пятая и седьмая гармоники.

Расчеты показали, что увеличение мощности ААГ при различных нагрузках со спектром гармоник тока и напряжения не превышает 5-6 %. Столь высокое использование габаритной мощности можно объяснить наличием конденсаторов параллельного возбуждения, которые способствуют снижению уровня высших гармоник в кривых напряжения и тока ААГ.

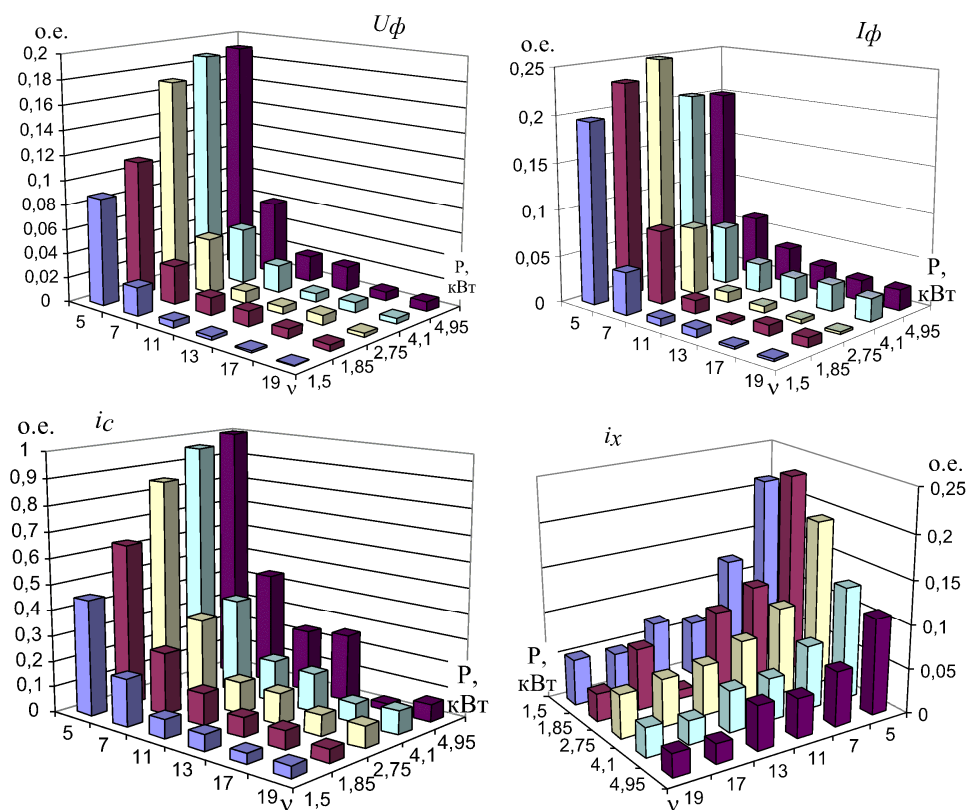


Рис. 17 – Гармонический состав токов и напряжений системы ААГ с параллельным возбуждением в режиме питания сварочной дуги

Во всем мире в последнее время отслеживается тенденция к применению в ВЭУ и малых ГЭС асинхронных генераторов, имеющих значительные преимущества перед СГ в стоимости, простоте эксплуатации, надежности и т.д. Одной из основных проблем применения ВЭУ и малых ГЭС в производстве является низкое качество электроэнергии из-за нестабильности мощности ветрового и водяного потоков. Поэтому в этих установках могут рассматриваться разные варианты решения задачи по стабилизации напряжения и частоты генерируемого тока [7, 24, 25, 26, 30].

Нами ведутся работы по созданию подобных систем с целью максимального упрощения механической части ветро- и гидроэнергетических установок малой мощности [26, 30]. В качестве источника электроэнергии для ВЭУ нами предлагается использовать двух – четырехскоростные АГ для эффективного использования ветровой нагрузки.

Креймер А.С. [20] в своих исследованиях для моделирования ветровой нагрузки использовал данные многолетних наблюдений Краснодар-

ского бюро мониторинга окружающей среды и показал, что пути повышения энергетической эффективности ВЭУ заключаются в разработке и совершенствовании новых генераторов и систем аккумулирования энергии. Исследования показали, что в нескольких районах Краснодарского края (включая все прибрежные) наблюдается среднегодовая скорость ветра выше 5 м/с, поэтому размещение ВЭУ является экономически оправданным. При этом в некоторых районах (Анапский, Темрюкский, район Новоросийска) возможно размещение крупных (от 1 МВт и выше) ВЭУ.

Доказана перспективность использования в схеме генерирования электроэнергии многоскоростного ААГ (Рис. 18) [7, 30]. Разработанная схема генерирования энергии для ВЭУ на основе многоскоростного ААГ и электромагнитной муфты позволяет повысить эффективность использования ветрового потока на 5–12%, получить стабильную частоту тока на нагрузке, упростить механическую часть системы за счет отказа от систем регулирования скорости вращения ветроколеса, удешевить электрическую часть за счет отказа от использования преобразователей частоты.

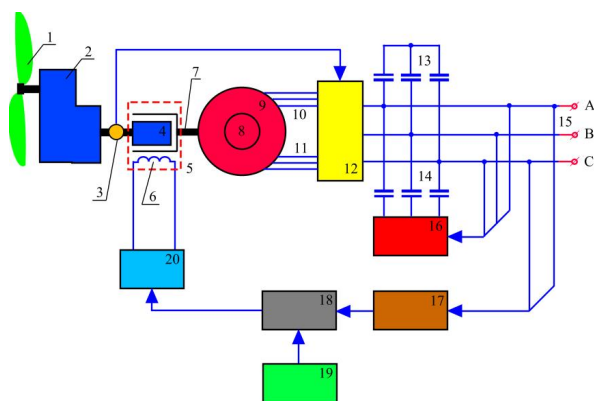


Рис. 18 – Функциональная схема **ВЭУ** с многоскоростным ААГ. Содержит: ветроколесо - 1; мультипликатор - 2; датчик частоты вращения - 3; электромагнитную муфту - 5, с обмоткой управления - 6; ведущий вал - 4 и выходной вал - 7; ротор - 8 n -полюсного АГ - 9 с обмотками - 10 и - 11; блок коммутации - 12; конденсаторы возбуждения - 13; и регулирования - 14; выходной жазимами 15; устройство стабилизации напряжения 16; формирователь импульсов 17; устройство синхронизации 18; задающий генератор частоты 19, усилитель 20.

Система стабилизации частоты отслеживает угол фазового сдвига выходного вала 7 каждый оборот, поэтому независимо от того, будет ли изменяться скорость приводного двигателя, скольжение ААГ или изменится нагрузка, выходная частота генератора останется стабильной, и будет определяться точностью задающего генератора частоты 19.

Напряжение ААГ при нагрузке определяет степень насыщения его магнитной цепи и параметры статорной обмотки. Увеличение насыщения магнитной цепи вызывает в большей степени рост намагничивающего тока, что отрицательно сказывается на мощности генератора особенно с многополюсной статорной обмоткой, целесообразность применения которой в генераторах повышенной частоты тока обусловлена приемлемой частотой вращения приводного двигателя без мультипликатора.

Поскольку характеристики генератора определяются также и параметрами статорной обмотки, проведены исследования направленного воздействия на напряжение генератора при нагрузке изменением параметров обмотки статора за счёт её особых конструктивных признаков [9, 10].

Вронский О.В. в своих исследованиях [12] занимался разработкой рациональных схем обмоток ААГ с конденсаторным возбуждением повышенной частоты тока для автономных генераторных установок с улучшенными эксплуатационными показателями. В результате исследования были разработаны несколько вариантов обмоток статора с комбинированной схемой соединения фаз на 10 и 8 полюсов (рис. 19).

При одинаковом числе витков в катушках статорной обмотки, соотношение напряжений составляет $U/U_H = 5,46/1 = 230/42$ В. Генератор с такими обмотками, применим для питания ручного электроинструмента на два напряжения, что расширяет его эксплуатационные свойства

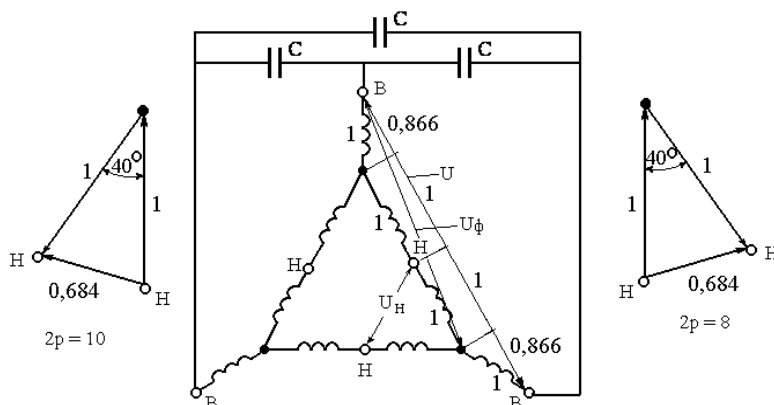


Рис. 19 – Ориентация ЭДС обмоток на 10 и 8 полюсов

Оськина А.С., выполнив анализ нагрузочных диаграмм работы электрифицированного инструмента и основных эксплуатационных характеристик электроактиватора водных растворов и озонатора, установила основные требования к качеству электроэнергии автономного АГ [22].

На основании этих требований были исследованы ранее существующие и разработаны новые схемные решения статорных обмоток ААГ, позволившие получить три выходных напряжения для питания электроинструмента и электротехнологических установок. Экспериментальные исследования опытного образца ААГ (Рис. 20) подтвердили теоретические предпосылки и расчеты, сделанные в диссертационной работе [22].

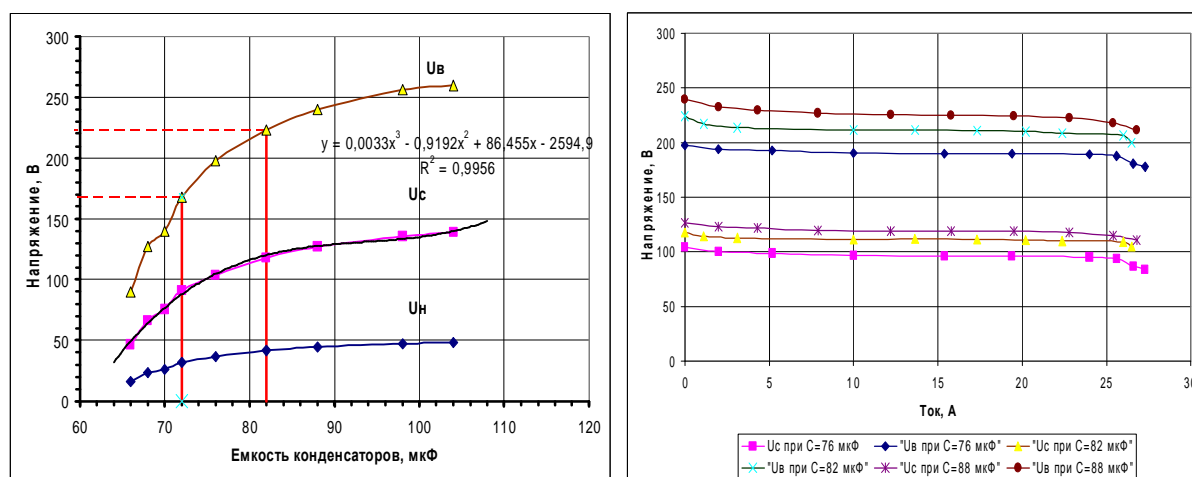


Рис. 20 - Характеристики холостого хода ААГ с приведением аппроксимирующей кривой по среднему напряжению и внешние характеристики при работе на выпрямительную нагрузку и различных емкостях возбуждения. В качестве нагрузки постоянного тока был исследован электроактиватор водных растворов

Уникальные возможности ААГ были подтверждены Синицыным А.В. при создании генератора на две частоты тока 50 и 200 Гц для питания мобильного стригального цеха КТО-12 в полевых условиях [43].

На основе матричной теории формирования статорных обмоток асинхронных машин [10] была получена специальная схема статорной обмотки асинхронного генератора, адаптированного для питания нагрузки частотой тока 50 и 200 Гц при одинаковой частоте вращения приводного двигателя автономной электростанции [32, 33].

Наличие заметных амплитуд высших гармоник (рис. 21 и 22) потребовало анализа их дополнительных тормозных моментов.

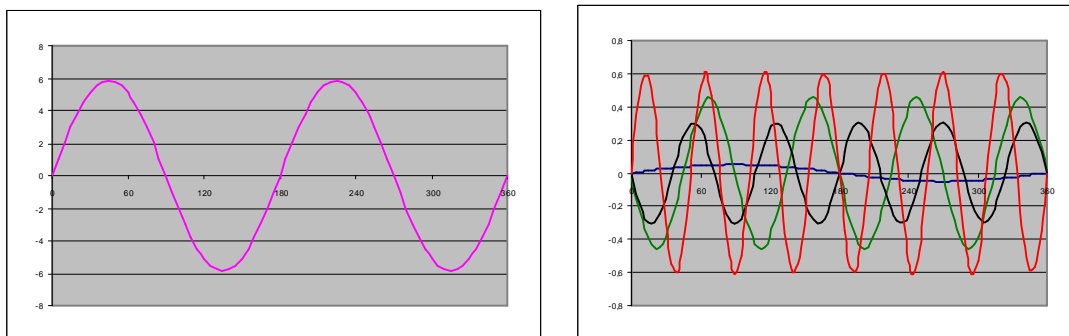


Рис. 21 –Основная гармоника и высшие гармоники периода МДС, $2p = 8$

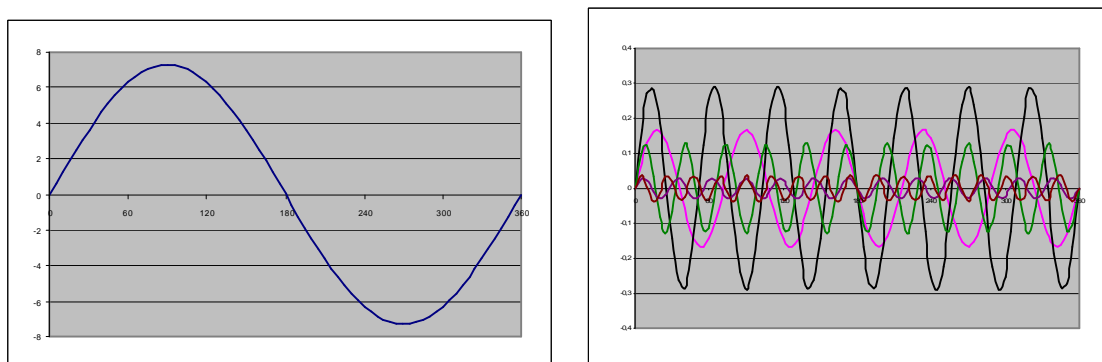


Рис. 22 – Основная гармоника и высшие гармоники периода МДС, $2p = 2$

Исследования показали, что дополнительное тормозное действие низших и высших гармоник ($M_{осн}=17,25$ Нм, $M_{n 5}=-0,0015$ Нм, $M_{n 7} = 0,013$ Нм), а также их влияние на рост потерь в обмотке ротора практически незаметно, и экспериментальный образец ААГ имеет высокие энергетические показатели на уровне асинхронных двигателей такой же мощности.

В настоящее время несколько аспирантов и сотрудников кафедры ЭМ и ЭП продолжают исследования автономных АГ. За последние годы разработаны несколько оригинальных стабилизаторов напряжения на современной электронной базе для АГ ВЭУ и микро - ГЭС [24, 25, 29, 35, 38]; газотурбогенераторные установки с АГ для утилизации избыточной энергии магистральных газопроводов [28, 31, 34]; новые схемы источников питания сварочной дуги [23, 37] и другие разработки.

Результаты исследований нашли отражения в монографиях и научных изданиях [8, 10, 21, 39, 44, 45, 46]. Издание монографии [10] осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту **№ 07-08-07021**.

Необходимо отметить совместную творческую работу кафедры ЭМ и ЭП с ГНУ ВНИИПТИМЭСХ (г. Зерноград) в лице главного научного сотрудника Ванурина Владимира Николаевича, высочайшего специалиста в области статорных обмоток асинхронных машин. При его непосредственном участии нами были разработаны, исследованы и запатентованы более 20 специальных обмоток для асинхронных генераторов.

В статье представлено только одно научное направление из выполняемых исследований на кафедре ЭМ и ЭП. О других научных направлениях исследований сотрудников и аспирантов кафедры можно узнать на электронном адресе кафедры ЭМ и ЭП (<http://electro.kubagro.ru>). Результаты научных исследований кафедры представлены в табл. 1

Таблица 1 – Аспиранты, докторанты и соискатели, подготовившие или защитившие диссертации на кафедре ЭМ и ЭП. (Из всех защищенных диссертаций на факультете более 50% выполнено на кафедре ЭМ и ЭП).

1. Змитрович В.С. – 1972.	2. Начинкин Е.Н. - 1983.	3. Эвентов С.З. - 1984.
4. Стрижков И.Г. – 1984.	5. Прохорова Г.А. - 1986.	6. Гуца В.В. – 1990.
7. Богатырев Н.И. – 1993.	8. Чеснюк Е.Н. – 1993	9. Демьянченко А. Г.–1994.
10. Темников В.Н. – 1997.	11. Помазанов В.В. – 1997.	12.Кондратенко Л.Н. – 1997.
13. Елистратов В.В. – 1997.	14. Тлиш Р.Д. – 1998.	15. Александров А.Б. – 1998.
16. Чеснюк Е.Е. – 1998.	17. Ирха А.П. – 1998.	18. Курзин Н.Н. – 1999.
19. Демьянченко Н.Г. – 2000	20. Пушкарский В.В. – 2000	21. Стрижков. И.Г. _{дтн} – 2001.
22. Зайцев Е.А. – 2001.	23. Гольдман Р.Б. – 2002.	24. Креймер А.С. – 2003.
25. Григораш О.В. _{дтн} – 2003.	26. Оськина Г.М. – 2004.	27. Вронский О.В. – 2004.
28. Дайбова Л.А. – 2004.	29. Симоненко С.А. – 2005.	30. Оськина А.С. – 2007.

31. Разнован О.Н. – 2007.	32. Сеницын А.В. – 2008.	33. Пахомов А.И. _{дтн} – 2008.
34. Чудин С.А. – 2008.	35. Шипалов В.И. – 2009.	36. Курзин Н.Н. _{дтн} – 2009.
37. Николаенко С.А. – 2010.		

На протяжении многих лет кафедра является лидером университета по изобретательской работе. Сотрудниками кафедры получено около 200 патентов и авторских свидетельств на изобретения. Более 50 студентов являются соавторами этих изобретений. Кафедра поддерживает связи с выпускниками факультета, активно занимается пропагандой результатов научных исследований. Сотрудниками опубликовано более 500 научных статей, издано более 30 учебников, монографий и учебных пособий.

Есть надежда, что к следующему Юбилею кафедры ЭМ и ЭП эта статья будет дополнена именами новых ученых и новыми научными достижениями, а научное направление достигнет вершин научной школы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1232409 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания / Н.И. Богатырев. (СССР). – № 3779935/25-27; Заявл. 13.08.84; Опубл. 23.05.86; Бюл. № 19 – 4 с.
2. А.с. № 1358732 СССР, МКИ Н 02 К 19/36. Синхронный генератор / Н.И. Богатырев, Б.И. Жидков. – № 3830717/24-06; Заявл. 26.12.84; Опубл. 08.08.87; Бюл. № 29.
3. А.с. № 727363 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Источник питания сварочной дуги / Н.И. Богатырев, Л.Н. Горохов, В.С. Змитрович и др. (СССР). – № 2645325/25-27; Заявл. 17.07.78; Опубл. 15.04.80; Бюл. № 14 – 4 с.: ил.
4. Асинхронные генераторы в сельском хозяйстве / (Тр. / КСХИ; Вып. 39 (67) – Краснодар, 1970. – 131 с.
5. Богатырев, Н.И. Асинхронный генератор как источник питания сварочной дуги // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2004. - № 11. – С. 33 – 36.
6. Богатырев, Н.И. Многофункциональный источник для питания средств электро-механизации АПК [Текст] / Н.И. Богатырев // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2003. - № 5. – С. 19 – 22.
7. Богатырев, Н.И. Новые перспективы применения асинхронных генераторов для ветроэнергетических установок и малых ГЭС [Текст] / Н.И. Богатырёв, А.С. Креймер, Я.А. Ильченко // Промышленная энергетика. – 2006. - № 5. – С. 48 – 52.
8. Богатырев, Н.И. Практикум по электроприводу / Н.И. Богатырев, С.В. Оськин, В.Н. Темников; под. ред. С.В. Оськина: - Краснодар, 2009. – 288 с.: ил.
9. Богатырев, Н.И. Статорные обмотки асинхронных генераторов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2004. - № 11. – С. 5 – 6.
10. Богатырев, Н.И. Схемы статорных обмоток, параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, О.В. Вронский; под. ред. В.Н. Ванурина: – Краснодар, 2007. – 301 с.: ил.

11. Богатырев, Н.И. Универсальные мобильные источники для электропитания сварочной дуги и средств малой механизации предприятий АПК. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Богатырев Н.И. – Краснодар, 1993.
12. Вронский, О.В. Асинхронные генераторы повышенной частоты тока автономных источников питания сельскохозяйственных потребителей. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Вронский О.В. – Краснодар, 2004.
13. Гуца, В.В. Электрифицированный агрегат для шпалерной подрезки чайных кустов. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Гуца В.В. – Ленинград, 1990.
14. Зайцев, Е.А. Универсальный автономный источник с асинхронным генератором для питания средств электромеханизации АПК. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Зайцев Е.А. – зерноград, 2001.
15. Змитрович, В.С. Асинхронный генератор с управляемым дросселем - трансформатором / В.С. Змитрович - (Тр. / КСХИ; Вып. 39(67). – Краснодар, 1970. – С. 56 - 64.
16. Змитрович, В.С. Разработка и исследование методов улучшения режимов работы АГ в системах автономного питания некоторых сельскохозяйственных потребителей с электроприводом обычной и повышенной частоты. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.С. Змитрович – Краснодар, 1972.
17. Капленко, В.К. Применение асинхронного генератора с двумя обмотками статора для питания ручного сельскохозяйственного электроинструмента / В.К. Капленко, Л.А. Ильина - (Тр. / КСХИ; Вып. 39(67). – Краснодар, 1970. – С. 65 – 73.
18. Капленко, В.К. Применение метода продольной емкостной компенсации для стабилизации напряжения сельскохозяйственных потребителей повышенной частоты тока. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.К. Капленко – Краснодар, 1967.
19. Капленко, В.К. Стабилизация напряжения асинхронных генераторов с использованием емкости возбуждения для продольной компенсации реактивных нагрузок – (Тр. / КСХИ; Вып. 14(42). – Краснодар, 1966. – С. 134 – 140).
20. Креймер, А.С. Теоретические положения создания систем автономного электропитания сельскохозяйственных потребителей в ВЭУ малой мощности. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Креймер А.С. – Краснодар, 2003.
21. Математический аппарат для оценки эффективности систем гарантированного электроснабжения [Текст]: моногр. / О.В. Григораш, Н.И. Богатырев и др.; под ред. Н.И. Богатырева. – Краснодар, 2002. – 285 с.
22. Оськина, А.С. Параметры и режимы асинхронных генераторов для питания электрифицированных инструментов и электротехнологических установок в садах и виноградниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.С. Оськина – Краснодар, 2007.
23. Пат. № 2356709, МПК В23К 9/10 Источник питания сварочной дуги / Богатырев Н.И., Баракин Н.С., Вронский О.В. и др. заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007142899/02; Заявл. 19.11.07; Оpubл. 27.05.09; Бюл. № 15. – 6 с.: ил.
24. Пат. № 2366073, МПК Н02Р 9/46 Стабилизатор напряжения асинхронных генераторов для автономных источников, ВЭУ, малых гидроэлектростанций / Богатырев Н.И., Екименко П.П., Степура Ю.П. и др. заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007140615/09; Заявл. 01.11.07; Оpubл. 27.08.09; Бюл. № 24. – 5 с.: ил.
25. Пат. № 2373630, МПК Н02Р 9/46, Н02J 3/18 Устройство для регулирования и стабилизации напряжения автономного асинхронного генератора / Богатырев Н.И., Баракин Н.С., Вронский А.В. и др. заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007140615/09; Заявл. 31.03.08; Оpubл. 20.11.09; Бюл. № 32. – 7 с.: ил.
26. Пат. RU 2231686, МПК F 03 D 7/04 Ветрогидроэнергетическая установка / Н.И. Богатырев, Е.И. Трубилин, С.М. Сидоренко и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2002130670/06; Заявл. 15.11.02; Оpubл. 27.06.04; Бюл. № 18.

27. Пат. RU № 2107378, МПК Н 02 К 19/30, Н 02 Р 9/30. Синхронный генератор / Н.И. Богатырев, Б.И. Жидков, В.Н. Темников и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 93025697/07; Заявл. 29.04.93; Оpubл. 20.03.98; Бюл. № 8.
28. Пат. RU № 2151971, МПК F 25 В 11/00. Газотурбогенератор [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Е.А. Зайцев и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 97118075/06; Заявл. 30.10.97; Оpubл. 27.06.00; Бюл. № 18 – 6 с.: ил.
29. Пат. RU № 2216097 МПК Н 02 Р 9/46, Н 02 J 3/16. Устройство для стабилизации частоты и напряжения автономного асинхронного генератора [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Григораш и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. - № 2001123027/09; Заявл. 15.08.01; Оpubл. 10.11.03; Бюл. № 31 – 5 с.: ил.
30. Пат. RU № 2225531 МПК F 03 D 7/04. Ветроэнергетическая установка [Текст] / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2002117609/06; Заявл. 01.07.02; Оpubл. 10.03.04; Бюл. № 7. – 8 с.: ил.
31. Пат. RU № 2241921, МПК F 25 В 11/00 Автономное устройство для утилизации энергии газа / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, П.П. Екименко и др. (РФ) заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – Заявл. 09.04.03; Оpubл. 10.12.04; Бюл. № 34.
32. Пат. RU № 2248082, МПК Н 02 К 17/14, 3/28 Статорная обмотка двухчастотного асинхронного генератора [Текст] / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, С.В. Оськин и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2003126793/11; Заявл. 01.09.03; Оpubл. 10.03.05; Бюл. № 7. – 9 с.: ил.
33. Пат. RU № 2248083, МПК Н 02 К 17/14, 3/28 Статорная обмотка двухчастотного асинхронного генератора [Текст] / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, О.В. Григораш и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2003126833/11; Заявл. 01.09.03; Оpubл. 10.03.05; Бюл. № 7. – 8 с.: ил.
34. Пат. RU № 2257515, МПК F 25 В 11/00 Газотурбогенератор / Н.И. Богатырев, В.Н. Темников, Н.Н. Курзин и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2003115075/06 (015931); Заявл. 20.05.03; Оpubл. 27.07.05; Бюл. № 21. – 6 с.
35. Пат. № 2332773, МПК H02K 19/38, H02P 9/38 Автономный бесконтактный синхронный генератор / Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Григораш А.О. и др. заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007120541/09 (022374); Заявл. 01.06.07; Оpubл. 27.08.08; Бюл. № 24. – 4 с.: ил.
36. Пат. RU № 2332779, МПК H02P 9/46, H02J 3/18 Автономный источник электрической энергии [Текст] / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, Я.А. Ильченко и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007120542/09 (022375); Заявл. 01.06.07; Оpubл. 27.08.08; Бюл. № 27. – 3 с.: ил.
37. Пат. RU № 2336151, МПК В23К 9/10 Автономный источник питания сварочной дуги / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, Я.А. Ильченко и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – Заявл. 25.12.06; Оpubл. 20.10.08; Бюл. № 29. – 3 с.: ил.
38. Пат. RU № 2337465, МПК H02P 9/44 Устройство для стабилизации напряжения асинхронного генератора [Текст] / Н.И. Богатырев, А.О. Григораш, Я.А. Ильченко и др. (РФ); заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. – № 2007140615/09; Заявл. 01.11.07; Оpubл. 27.10.08; Бюл. № 30. – 5 с.: ил.
39. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования [Текст]: учеб. пособие для ВУЗов / Н.И. Богатырев, О.В. Григораш и др.; под ред. Н.И. Богатырева. – Краснодар, 2002. – 358 с.
40. Прохорова, Г.А. Математическое моделирование процессов самовозбуждения асинхронных генераторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Г.А. Прохорова. – 1986.
41. Разработка и исследование автономных источников электроэнергии повышенной частоты тока и ручного инструмента с применением асинхронных генераторов:

- Отчет о НИР (заключ.) / КубСХИ; рук. Лопатченко А.В.; испол. Богатырев Н.И., Змитрович В.С. и др. – Краснодар, 1981. – 78 с – № ГР. 77028609. – Инв. № Б. 932704
42. Разработка и исследование источников питания средств малой механизации сельскохозяйственного назначения [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / КубСХИ; рук. Лопатченко А.В.; испол. Богатырев Н.И., Змитрович В.С. и др. – Краснодар, 1991. – 103 с – № ГР.01860060898. – Инв. № 028.80.053573
43. Сеницын, А.В. Асинхронный генератор на две частоты тока для мобильных установок сельскохозяйственного производства [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.В. Сеницын – Краснодар, 2008. – 24 с.
44. Системы автономного электроснабжения [Текст]: моногр. / О.В. Григораш, Н.И. Богатырев и др.; под ред. Н.И. Богатырева. – Краснодар, 2001. – 333 с.
45. Стандартные и многофункциональные асинхронные электрические машины. / В.Н. Ванурин, Н.И. Богатырев, К.А.-А. Джанибеков, В.И. Пахомов: - Зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадеми - 2010 - 148 с.: ил.
46. Статорные обмотки асинхронных машин [Текст]: учеб. пособие / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, О.В. Вронский и др. – Краснодар, 2003. – 132 с.
47. Темников, В.Н. Универсальный автономный источник для питания средств электромеханизации АПК и сварочной дуги. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Темников В.Н. – Краснодар, 1997.
48. Фришман, В.С. Вопросы применения самовозбуждающихся асинхронных генераторов в сельском хозяйстве - Тр. / КСХИ; Вып. 39(67). – Краснодар, 1970. – С. 3 – 13.
49. Фришман, В.С. Компаундированный асинхронный генератор – преобразователь частоты с конденсаторным возбуждением / В.С. Фришман, В.К. Капленко // Механизация и электрификация соц. сел. хоз - ва. – 1965. - № 5. – С. 13 – 14.
50. Фришман, В.С. Применение асинхронных генераторов для электроснабжения стригальных пунктов / В.С. Фришман, В.К. Капленко // Техника в сельском хозяйстве. – 1960. - № 5. – С. 13 – 15.
51. Фришман, В.С. Расчет компаундирующего устройства для автономных источников повышенной частоты / В.С. Фришман, В.К. Капленко // Механизация и электрификация соц. сел. хоз - ва. – 1969. - № 4. – С. 19 – 20.
52. Эвентов, С.З. Разработка и исследование электрифицированного агрегата для сбора чайного листа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / С.З. Эвентов. – Ереван, 1983.
53. Электрические аппараты низкого напряжения [Текст]: учеб. для ВУЗов. / О.В. Григораш, Н.И. Богатырев и др.; под ред. Н.И. Богатырева. – Краснодар, 2000. – 313 с.