

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

360°

Сентябрь '23

Если роботы имеют все функции живого вещества биосферы и обитают в ней, то они и есть живое вещество, которое является физико-химически единым со всеми живыми существами биосферы...



Электродвигатель МБ-3013

Номинальное напряжение	27В	213/ 197 мНм	Пусковой момент при минимальном/максимальном нагреве постоянных магнитов (ограничивается инвертором)
Частота холостого хода (ограничивается инвертором)	6550 об/мин	7,4А	Пиковый пусковой ток (ограничивается инвертором)
Номинальная частота вращения (ограничивается инвертором)	6500 об/мин	0,56 мГн	Линейная индуктивность
Номинальный момент	70 мНм	1,13 Ом	Линейное сопротивление
Фазный ток при номинальном моменте	1,93А	1,3·10 ⁻⁶ кг·м ²	Момент инерции

Электродвигатель МБ-4010

Номинальное напряжение	27В	716/ 598 мНм	Пусковой момент при минимальном/максимальном нагреве постоянных магнитов (ограничивается инвертором)
Частота холостого хода (ограничивается инвертором)	2156 об/мин	8,4А	Пиковый пусковой ток (ограничивается инвертором)
Номинальная частота вращения (ограничивается инвертором)	2150 об/мин	2,6 мГн	Линейная индуктивность
Номинальный момент	195 мНм	1,84 Ом	Линейное сопротивление
Фазный ток при номинальном моменте	2,1А	3,1·10 ⁻⁶ кг·м ²	Момент инерции

Электродвигатель ЗА-504

Номинальное напряжение	27В	1550/ 1440 мНм	Пусковой момент при минимальном/максимальном нагреве постоянных магнитов (ограничивается инвертором)
Частота холостого хода (ограничивается инвертором)	27000 об/мин	120А	Пиковый пусковой ток (ограничивается инвертором)
Номинальная частота вращения (ограничивается инвертором)	10000 об/мин	13,8 мкГн	Линейная индуктивность
Номинальный момент	1440 мНм	5 МОм	Линейное сопротивление
Фазный ток при номинальном моменте	120А	30·10 ⁻⁶ кг·м ²	Момент инерции

Электродвигатель ЭД-БАС-4950/400

Номинальное напряжение	37В	1029 мНм	Пусковой момент при нагреве постоянных магнитов до 80 °С
Частота холостого хода	9250 об/мин	40В	Напряжение в режиме взлёта
Номинальная частота вращения	4920 об/мин	650 мкГн	Линейная индуктивность
Номинальный момент	0,5 Нм	0,93 Ом	Линейное сопротивление
Фазный ток при номинальном моменте	11,93А	57,6·10 ⁻⁶ кг·м ²	Момент инерции

37 стр.

Современные отечественные и мировые достижения в области разработки и применения беспилотных летательных аппаратов

Японский мини-лунный зонд трансформируется по мере движения	38
Многосегментная система трансформации с памятью формы	39
Навигационное решение для роя беспилотников, предназначенного для исследования неизвестной среды	42
Разработан компактный безмагнитный электродвигатель	45

26 стр.

Текущее состояние исследований и разработок авиационных силовых установок в Европейском Союзе и США за август 2023 г.

Двигатель Rolls-Royce прошел первые горячие испытания	26
Universal Hydrogen запустила масштабную кампанию летных испытаний нового поколения	27
Lilium начала производство силовой установки для летательного аппарата Jet eVTOL	28
EASA контролирует прогресс внедрения SAF в авиации	30
General Atomics готовится к летным испытаниям боевого БПЛА воздушного базирования LongShot	32
Universal Hydrogen сертифицируют комплекты для ремоторизации самолетов ATR 72-600 на базе ВВТЭ	33
Самолет на базе ВВТЭ HY4 компании H2FLY совершил первый полет	34
Boeing выбрал двигатели Pratt&Whitney GTF для демонстратора пассажирского самолета	35

15 стр.

Обзор достижений и направлений развития электроники в электромобилях

Устройство для получения силицена от ученых Санкт-Петербургского университета	15
Отечественные технологии для импортозамещения печатных плат	17
Беспроводной портативный монитор напряжения тела	18
Электронные устройства без печатных плат	20
Модульные высоковольтные преобразователи для энергетики	21
Преобразователи для микросетей на основе ВИЭ	22
Интегрированная электроника высокой плотности	24

4 стр.

Современные мировые достижения в области разработки и применения электрических машин.

LILium начинает сборку электродвигательной системы для прототипа самолета EVTOL	4
Helix разрабатывает масштабируемый демонстратор аэрокосмической электрической силовой установки с прямым приводом	6
VoltAero выполнила испытательный полет электрогибридного самолета на 100% SAF	7
Электрический самолет Beta совершил первый международный рейс в Монреаль	9
Компания RTX начала изготовление генератора мощностью 1 МВт для научно-исследовательской лаборатории BBC	11
Исследование намагничивания и размагничивания HTS	12
Охлаждение сверхпроводниковых двигателей криоэлектрических самолетов	13

Современные мировые достижения в области разработки и применения электрических машин

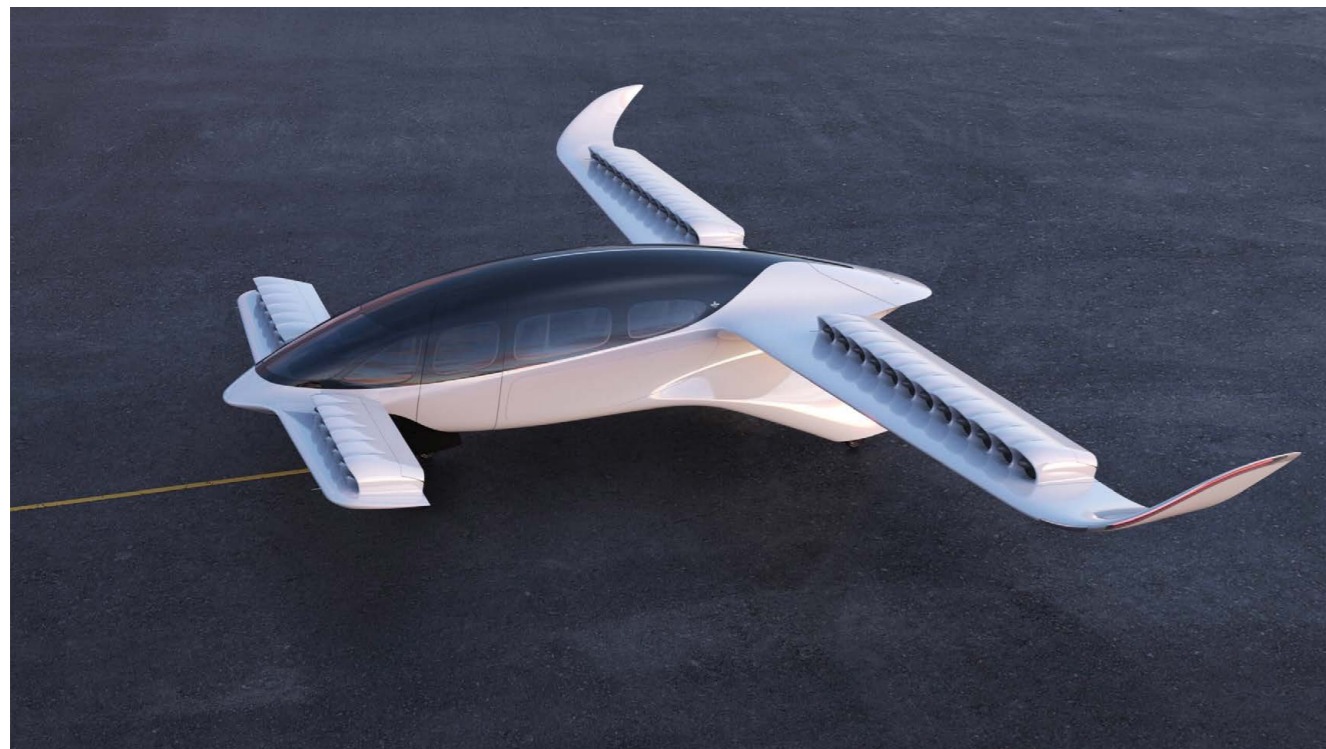
Жеребцов Алексей Анатольевич

Научный руководитель фронтальной НИР «Разработка, исследования и внедрение электрических машин со сверхвысокими удельными характеристиками (в том числе криогенных электрических машин)»

Пронин Егор Андреевич

Инженер группы исследований электрических машин

1. LILIUM начинает сборку электродвижной системы для прототипа самолета EVTOL



Прототип Lilium Jet

Lilium приступила к сборке электрической силовой установки (EPS), которую она разработала для своего шестиместного самолета eVTOL. Немецкая компания сообщила об этой важной вехе 26 сентября, через неделю после объявления о том, что ее партнер Aciturri строит первый фюзеляж для одного из семи прототипов Lilium Jet, с которым она намерена начать испытательные полеты с экипажем в конце 2024 года.

Отличительная конструкция EPS основана на 30 электродвигателях с канальными вентиляторами, установленных в крыльях и носовой части самолета. На первом этапе сборки вращающиеся детали, такие как вал, магниты и титановый вентилятор компрессора, собираются, а затем соединяются со статическими компонентами, включая статор электродвигателя и направляющие лопатки, используемые для поддержки конструкции и охлаждения.

Эти подсистемы затем будут объединены с электрическими двигателями, которые позднее в этом году будут интегрированы с силовой установкой Lilium Jet. Система крепления состоит из закрылков, образующих заднюю часть крыла и переднюю переднюю часть носовой части, в которой размещены двигательная и векторизирующая установки, обеспечивающие вертикальный и горизонтальный полет.

Хотя компания Lilium сама разработала EPS и является системным интегратором, она получила значительную поддержку со стороны ключевых партнеров. В их число входят американская аэрокосмическая группа Honeywell и японская Denso, которые вместе работали над разработкой электродвигателей. Aeroportamic поставила титановый вентилятор компрессора, а SKF поставила подшипники для электродвигателя.

В июле Lilium завершила испытания полноразмерного прототипа подсистемы вентилятора и статора на испытательном стенде Jetpel в Германии. Компания также начала испытания прототипа электродвигателя для оценки его механических, электрических и тепловых характеристик. Ожидается, что этот двигатель весом всего четыре килограмма (чуть менее девяти фунтов) будет обеспечивать мощность более 100 киловатт.

«Для меня и моих коллег-сооснователей начало промышленной сборки двигательной установки Lilium Jet знаменует собой особый момент», — прокомментировал Дэниел Виганд, главный инженер по инновациям и будущим программам. «Именно наша общая вера в радикальный потенциал нашей электрической реактивной технологии легла в основу нашей компании и с тех пор продвигает Lilium вперед. Я более чем когда-либо убежден, что наше видение новой устойчивой формы высокоскоростных и доступных региональных перевозок станет коммерческой реальностью».

С тех пор как Виганд и его коллеги основали компанию в Мюнхене еще в 2015 году, она протестировала пять поколений демонстраторов технологий. Сегодня в компании работает более 800 человек, в том числе около 450 аэрокосмических инженеров.

По словам Lilium, ее транспортное средство eVTOL, как ожидается, будет иметь максимальную «физическую дальность полета» 155 миль и «рабочую дальность при запуске» 109 миль, а крейсерскую скорость — 155 миль в час. Компания намерена завершить сертификацию типа в EASA и FAA к концу 2025 года, а первые поставки клиентам начнутся в 2026 году.

Источник: futureflight.aero/news-article/2023-09-27/lilium-starts-assembling-electric-propulsion-system-evtol-prototype

2. Helix разрабатывает масштабируемый демонстратор аэрокосмической электрической силовой установки с прямым приводом

Сотрудничая с Аэрокосмическим альянсом Мидлендса и Ноттингемским университетом, компания Helix спроектировала, построила и испытала масштабируемый демонстратор аэрокосмической электрической силовой установки с прямым приводом.



Helix, британский производитель самых энергоемких электродвигателей и инверторов в мире, продолжает свое расширение в секторах, помимо автоспорта и автомобилестроения, завершив технологический проект демонстратора масштабируемой аэрокосмической электрической силовой установки с прямым приводом. Этот проект, известный внутри компании как XBS, осуществлялся в партнерстве с Midlands Aerospace Alliance (MAA) и проектом раскрытия потенциала аэрокосмической отрасли (Aerospace UP) между MAA и Ноттингемским университетом.

Определив потребность аэрокосмической отрасли в двигателе с прямым приводом и при поддержке MAA и Aerospace UP, Helix разработала проект XBS в рамках своего X-Division. Компания предлагает свою передовую масштабируемую базовую технологию (SCT) в трех уровнях продукта: стандартный, сконфигурированный и индивидуальный; X-Division развивает уникальные возможности Helix, разрабатывая инновационные решения, которые выводят производительность за пределы установленных границ.

Под руководством главного инженера Дерек Джордану-Бейли проект XBS взял существующую конфигурацию двигателя SCT и адаптировал ее для использования со сквозным валом диаметром 38 мм. Архитектура со сквозным валом обеспечивает значительную универсальность и оптимизацию для различных применений в аэрокосмической отрасли. Например, установленный на поршневом двигателе электродвигатель может увеличить мощность двигателя в параллельной гибридной схеме. Альтернативно, воздушный винт мог приводиться в движение от одного конца двигателя через коробку передач, а другой обеспечивал вспомогательный привод для

генераторов, насосов и другого вспомогательного оборудования.

Встроенный охлаждающий насос и передовая технология уплотнений еще больше усовершенствовали демонстратор XBS. Встроенный насос охлаждения устранил необходимость в отдельном двигателе, кабелях, кронштейнах и других элементах, связанных с внешним насосом охлаждения, а в X-Division использовалась передовая технология уплотнений, чтобы сохранить в конструкции запатентованное охлаждение ротора Helix.

Главный инженер Дерек Джордану-Бейли говорит: «Благодаря нашей технологии уплотнений демонстрационный образец развивал частоту вращения до 15 000 об/мин и высокую мощность при относительно небольшом диаметре корпуса. Мы могли бы легко адаптировать его для привода редуктора, понижая скорость вращения винта. Мы крутили его при постоянной мощности 310 кВт и пиковой мощности 380 кВт, снижая частоту вращения редуктором до 2500 об/мин, что означает огромный крутящий момент, подходящий для привода воздушного винта большого диаметра, и значительную экономию массы по сравнению с более крупным двигателем с прямым приводом той же мощности».

По завершении тщательной программы испытаний демонстратор масштабируемой аэрокосмической электрической силовой установки с прямым приводом доказал свою надежность и производительность. По сравнению с поршневым авиационным двигателем или турбиной, обеспечивающими мощность в аналогичном диапазоне, XBS был на порядок легче, значительно меньше и практически не нуждался в обслуживании.

Источник: ehelix.com/communication/aerospace-electric-demonstrator

3. VoltAero выполнила испытательный полет электрогибридного самолета на 100% SAF

VoltAero совершила знаковый полет, используя свою запатентованную электрическую гибридную трансмиссию, работающую на 100-процентном экологически чистом топливе, предоставленном TotalEnergies.

Этот примечательный полет состоялся на исследовательском предприятии VoltAero в Руане, Франция, что ознаменовало значительный шаг вперед в области устойчивых авиационных технологий.



В знаковом полете VoltAero участвовал испытательный самолет Cassio S, который служил платформой для проверки применения электрической гибридной трансмиссии и экологически чистого авиационного топлива (SAF).

Это достижение имеет значительный вес в авиационной отрасли, где экологическая повестка находится на переднем крае глобальных проблем.

Генеральный директор и технический директор VoltAero Жан Ботти выразил гордость тем, что является частью этого замечательного достижения.

«Основываясь на первоначальных результатах, мы рассчитали действительно впечатляющее сокращение выбросов CO₂ примерно на 80 процентов при работе трансмиссии Cassio в электрическо-гибридном режиме и с двигателем внутреннего сгорания, работающим на топливе Excellium Racing 100 от TotalEnergies», – сказал Жан Ботти.



Это сокращение выбросов подчеркивает потенциал того, что самолеты Cassio могут сыграть ключевую роль на пути авиации к декарбонизации.

Топливо Excellium Racing 100 компании TotalEnergies, полученное из отходов виноделия, получило признание за свою экологичность. Это топливо на основе биоэтанола уже использовалось в автомобильных соревнованиях, сокращая выбросы CO₂ как минимум на 65 процентов в течение всего жизненного цикла по сравнению с ископаемым топливом. Его внедрение в авиации представляет собой значительный шаг на пути к сокращению выбросов углекислого газа в отрасли.

Жозель Наварон, президент TotalEnergies Aviation, подчеркнул свою приверженность поддержке целей декарбонизации авиации. Он упомянул о текущих усилиях, включая установку электрических зарядных станций для самолетов авиации общего назначения и пилотную программу, направленную на предложение топлива типа SP98 для совместимых самолетов. Эти инициативы отражают приверженность TotalEnergies решению проблем декарбонизации авиации общего назначения.

Источник: aviationsourcenews.com/general-aviation/voltaero-performs-test-flight-of-electric-hybrid-aircraft-on-100-saf

4. Электрический самолет Beta совершил первый международный рейс в Монреаль

Полностью электрический самолет Beta Technologies совершил свой первый международный рейс из Платтсбурга, штат Нью-Йорк, в Монреаль, Квебек, что не только ознаменовало новую веху для аэрокосмической компании, но и впервые полностью электрический самолет приземлился в Канадский город.

«Приятно иметь возможность доставить наш полностью электрический самолет в один из самых загруженных аэропортов одной из ведущих аэрокосмических столиц мира», — сказал Кайл Кларк, основатель и генеральный директор Beta. «Этот полет представляет собой еще один значимый шаг на пути к созданию устойчивого авиационного будущего во всем мире».

В ходе полета 27 сентября самолет Alia взлетел в обычном режиме самолета из летно-испытательного центра Beta в Международном аэропорту Платтсбург (PBG) в Нью-Йорке, пересек международную границу и приземлился в Международном аэропорту Пьера Эллиота Трюдо (YUL) в Монреаль, Квебек.

Летчик-испытатель бета-версии Крис Капуто пилотировал 30-минутный полет, преодолев 64 мили (55 морских миль), с инженером-испытателем бета-версии Эммой Дэвис на правом сиденье. Рейс предполагал перелет через загруженное воздушное пространство аэропорта класса В, который обычно принимает в среднем до 53 000 пассажиров в день. Капуто направил самолет в инженерный центр компании в Монреале, который официально открылся в марте 2023 года. В центре работает команда из 70 экспертов в области аэрокосмической промышленности, которым поручено поддерживать проектирование, сертификацию и производство конструкции самолета.

Полностью электрический самолет Alia компании Beta приземляется в международном аэропорту Пьера Эллиота Трюдо в Монреале, Квебек, 27 сентября.



«Конструкция нашего самолета разрабатывается совместной международной командой талантливых инженеров, многие из которых базируются прямо здесь, в нашем растущем центре в Монреале», – сказал Кларк.

В ознаменование этой вехи компания Beta приняла у себя группу лидеров аэрокосмической и транспортной отраслей, чтобы продемонстрировать свой самолет Alia и обсудить устойчивую авиацию и сотрудничество между регионами.

В их число входили генеральный секретарь Международной организации гражданской авиации (ICAO) Хуан Карлос Саласар, президент и генеральный директор Aéro Montréal Мелани Люсье, делегат от Квебека от Новой Англии Мари-Клод Франкер, а также президент и главный исполнительный директор Aéroports de Montréal (ADM) Ив Бошан.

«Безопасное прибытие этого самолета представляет собой самый первый международный полет самолета со 100% электрическим приводом, предназначенного для перевозки пассажиров или грузов», – сказал Саласар, добавив, что самолет является примером «невероятных инноваций, происходящих во всем нашем секторе, чтобы помочь решить проблему воздействия международных воздушных перевозок на выбросы CO₂».

Другие лидеры поддержали это мнение: Франкёр заявил, что «сотрудничество между Квебеком и Вермонтом является прекрасным примером технологического прорыва, который поможет нам достичь нашей региональной цели по углеродной нейтральности к 2050 году».

Международный рейс – лишь последний из серии важных событий для Beta. Прошлым летом компания завершила многоцелевой перелет по пересеченной местности, преодолев в общей сложности 2000 морских миль (3700 километров) туда и обратно из Платтсбурга, штат Нью-Йорк, в Бентонвилл, штат Арканзас, с приземлениями по пути для подзарядки аккумуляторов на собственной инфраструктуре. За этим последовал второй многоцелевой полет из Нью-Йорка в Кентукки в декабре 2022 года, на этот раз общей протяженностью 1300 морских миль (1400 км).

Beta также провела демонстрационный полет в Вестчестере, штат Нью-Йорк, став первым электрическим самолетом, совершившим полет в воздушном пространстве Большого Нью-Йорка, и выполнила полеты для качественной оценки с пилотами-испытателями Федерального авиационного управления (FAA), ВВС США и армии США.

Наряду с Alia eVTOL, Beta разрабатывает полностью электрический eSTOL, который планирует получить сертификацию типа в FAA в 2025 году, а в 2026 году – eVTOL. Компания откроет свой завод осенью этого года на юге в Берлингтоне, штат Вермонт, где начнет производство этих самолетов на своей производственной линии.

Для поддержки своего парка самолетов Beta также строит мультимодальную совместимую зарядную инфраструктуру, способную заряжать другие электрические самолеты и транспортные средства. В настоящее время у компании есть зарядные устройства на 13 объектах от Вермонта до Арканзаса и Джорджии, а также на более чем 50 дополнительных объектах, находящихся на стадии получения разрешений или строительства вдоль Востока и побережья Мексиканского залива.

Источник: verticalmag.com/news/betas-electric-aircraft-completes-first-international-flight-to-montreal

5.

Компания RTX начала изготовление генератора мощностью 1 МВт для научно-исследовательской лаборатории ВВС

Collins Aerospace, подразделение RTX (NYSE: RTX), завершило детальный анализ конструкции и приступило к изготовлению электрического генератора мощностью один мегаватт для Исследовательской лаборатории военно-воздушных сил (AFRL), части программы «Передовые турбинные технологии для доступных миссий». Генератор на каскаде низкого давления может иметь множество применений для будущих военных платформ с экипажем и без экипажа.

“Для питания современных систем, высокоэнергетического оружия и гибридно-электрических силовых установок военным самолетам следующего поколения потребуется на порядок больше электроэнергии, – говорит Билл Долан, вице-президент компании Collins по разработке силовых установок и систем управления. “Наш генератор мощностью 1 МВт, обеспечивая безопасное и эффективное питание от бортовой сети постоянного тока высокого напряжения, будет поддерживать эти новые технологии и поможет новым платформам достичь своих целевых возможностей”.

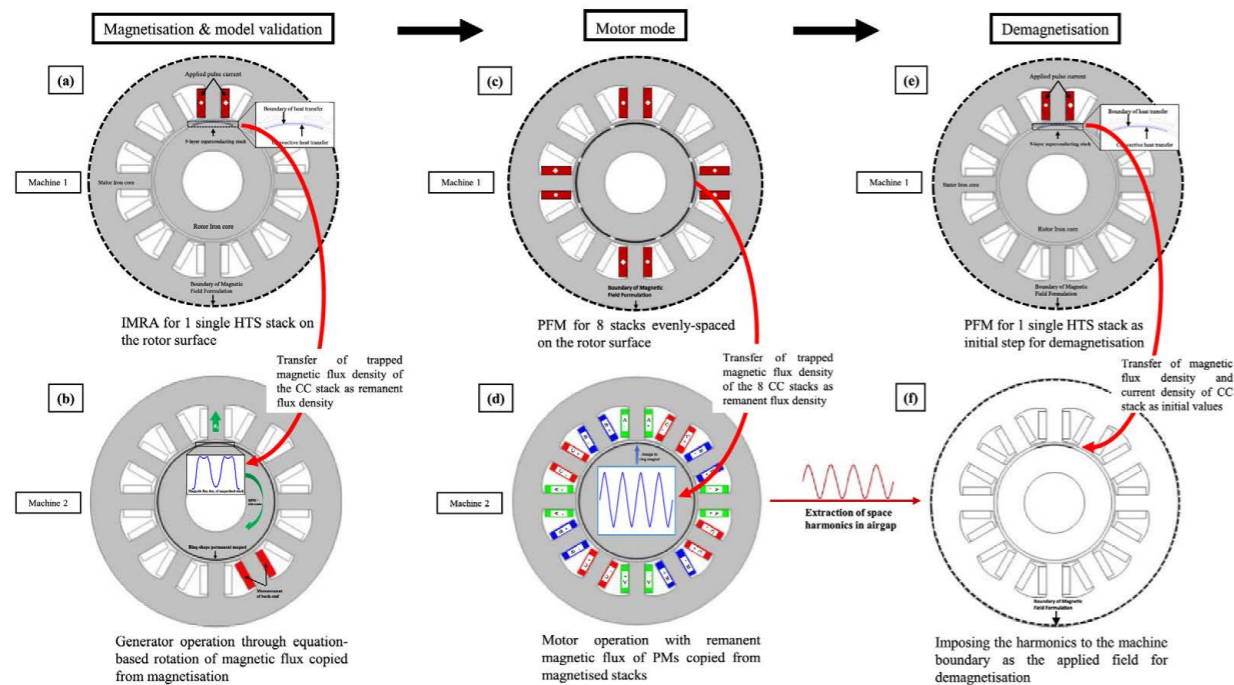
Завершив инженерные работы над генератором и перейдя к этапу производства, компания Collins планирует поставить военно-воздушным силам аппаратное обеспечение и провести испытания генератора до пятого уровня технологической готовности в 2024 году. Испытания будут проводиться в лаборатории The Grid стоимостью 50 млн. долл., которая будет открыта в октябре в Рокфорде, штат Иллинойс. Подразделение компании RTX Pratt & Whitney также оказывает поддержку программе AFRL по созданию генератора мощностью 1 МВт, изучая возможности будущей интеграции двигателей.

Генератор мощностью 1 МВт основан на многолетнем опыте компании Collins в обеспечении электроэнергией военных и коммерческих самолетов, включая генераторы, которые она в настоящее время поставляет для F-22, F-35 и Boeing-787. Наряду с генератором мощностью 1 МВт компания Collins разрабатывает гибридный двигатель RTX. Электрический летный демонстратор, генератор мощностью 1 МВт является частью технологической карты компании Collins по разработке семейства мотор-генераторов, которые можно масштабировать для удовлетворения требований к мощности будущих военных и коммерческих платформ.

Источник: rtx.com/news/news-center/2023/09/11/rtx-begins-fabrication-of-1mw-generator-for-air-force-research-laboratory

6. Исследование намагничивания и размагничивания HTS

Это исследование представляет собой комплексный и инновационный подход к исследованию намагничивания и размагничивания в поперечном поле высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП) в частично сверхпроводящих машинах, предлагая новый подход к анализу, основанный на моделировании FEM. Исследование вносит новизну и вклад, характеризующийся изучением взаимодействия гармоник во время практической работы двигателя и использованием многослойного моделирования для анализа размагничивания. Также представлен уникальный подход к моделированию, позволяющий упростить работу двигателя без перемещения сетки. Наконец, в этой статье показано влияние высокочастотных гармоник на размагничивание.



Система электродвигателя и воздушного винта

Эта исследовательская работа началась с проверки модели сверхпроводящей машины на основе экспериментальных результатов, гарантирующих точность и надежность модели. Затем проверенная модель была использована для изучения типичных электромеханических характеристик исследуемой машины с ВТСП, в которой электромагнит с захватом поля (ЭЗП) используются в качестве альтернативы традиционным магнитам в синхронных машинах с постоянными магнитами. Для моделирования работы двигателя был использован новый метод с использованием аналитических формул для уменьшения количества степеней свободы, что позволяет значительно повысить эффективность моделирования. Из-за геометрической конструкции машины для работы двигателя использовались восемь стеков, каждая из которых содержала четыре ленты, чтобы максимизировать способность захвата поля проводников с покрытием HTS.

Анализ размагничивания был основан на извлеченных гармониках, испытываемых ЭЗП во время работы двигателя. Для гармоник, извлеченных из воздушного зазора машины, основная и пятая гармоники тангенциального магнитного поля являются доминирующими согласно результатам трансформации Фурье, они были использованы для исследования размагничивания. Средние значения основной и пятой гармоник составили 25 мТл и 1,75 мТл соответственно при пиковом значении плотности магнитного потока в воздушном зазоре 462 мТл.

При анализе размагничивания были рассмотрены два аспекта: затухание поля и потеря намагниченности. Была проведена серия симуляций с различной частотой и амплитудой поперечного поля в течение времени 15 мс. Ниже поля параллельного проникновения используемой ленты AMSC, составляющего 27 мТл, захваченное поле демонстрирует минимальные изменения на всех частотах. Когда приложенное поперечное поле превышает поле проникновения, скорость затухания размагничивания захваченного поля увеличивается пропорционально частоте и амплитуде приложенного перекрестного поля. Примечательно, что максимальная скорость затухания достигала почти 80 % при амплитуде 150 мТл на частоте 20 кГц.

Что касается анализа потерь намагничивания, рассматривались две ленточные структуры: полугомогенизированная модель и многослойная модель. Полугомогенизированная модель, без учета присутствия серебряных стабилизаторов, использовалась для проверки модели и работы двигателя из-за ее незначительного влияния на намагниченность и работу двигателя. Однако в процессе размагничивания многослойная структура со стабилизаторами из серебра обеспечивает более точное представление по сравнению с полугомогенизированной моделью, поскольку скин-эффект и эффект экранирования из-за электромагнитного взаимодействия между нормальными проводящими и сверхпроводящими слоями ЭСП должны рассматриваться на высоких частотах.

Потери намагниченности в различных слоях стека ВТСП были тщательно проанализированы в широком диапазоне частот от 66,7 Гц до 20 кГц и амплитуд от 25 мТл до 150 мТл с точки зрения поперечного поля. Результаты показывают, что потеря намагниченности во всех слоях, а также общая потеря намагниченности увеличиваются с увеличением частоты и амплитуды приложенного поперечного поля. В диапазоне частот ниже 1 кГц потери намагничивания в ВТСП-слое преимущественно определяют общие потери. Однако в более высоких частотных диапазонах (выше 1 кГц) несверхпроводящие слои, особенно слой серебра, имеют приоритет при определении общих потерь из-за скин-эффекта. Кроме того, примечательно, что самые внешние слои ВТСП обмотки оказывают экранирующий эффект на внутренние слои, что приводит к более высоким потерям от намагничивания во внешних слоях по сравнению с внутренними слоями. Этот эффект экранирования становится более выраженным на более высоких частотах.

Источник: iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6668/acfcdf/pdf

7. Охлаждение сверхпроводниковых двигателей криоэлектрических самолетов

Опубликована работа специалистов из Новой Зеландии, где описывается опыт коллектива в использовании материалов аддитивного производства для структурной оптимизации и улучшения охлаждения сверхпроводниковых двигателей криоэлектрических самолетов.

Приводится описание двух двигателей мощностью 100 кВт и 3 МВт. Конструкция 100 кВт используется для помощи в демонстрации технологий и разработке компонентов, а также для снижения рисков проекта. Ротор этого двигателя мощностью 100 кВт имеет во многом те же характеристики, что и ротор мощностью 3 МВт, однако в нем используется статор с медными проводящими катушками, охлажденный до комнатной температуры подходящей жидкостью. Двигатель мощностью 3 МВт имеет ВТСП-обмотки REBCO на роторе и MgB2 на статоре. Температура хладагента 20 – 50 К.

Чтобы максимизировать преимущества от использования сверхпроводников и минимизировать вес, была выбрана конструкция без железа (или с «воздушным сердечником»). Основные параметры представлены в таблице.

Параметр	Характеристики двигателя 3 МВт.	Характеристики двигателя 100 кВт.
Номинальная мощность, кВт	3000	100
Количество фаз	3	3
Напряжение шины постоянного тока, В	1500	1500
Количество полюсов	4	4
Номинальная частота вращения, об/мин	4500	4500
Номинальная частота, Гц	150	150
Температура катушки возбуждения ротора, К	40	40
Рабочая температура статора, К	20	30
Целевая удельная мощность, кВт/кг	> 25	> 5

В статье представлены конструкции и результаты расчетов для статора и ротора 100 кВт и 3 МВт конструкции. Описываются сложности и обосновывается выбор тех или иных решений в конструкции. Также представлены свойства различных материалов и их механические характеристики.

Источник: iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6668/acf1d4/pdf

Обзор достижений и направлений развития промышленной электроники

Фаррахов Данис Рамилевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры электромеханики

Барабанов Кирилл Андреевич (инженер 1 категории)

Фазлиахметов Денис Маратович (инженер 2 категории)

Рахман Мд. Нафиз (инженер 2 категории)

Обух Федор Андреевич (инженер 3 категории)

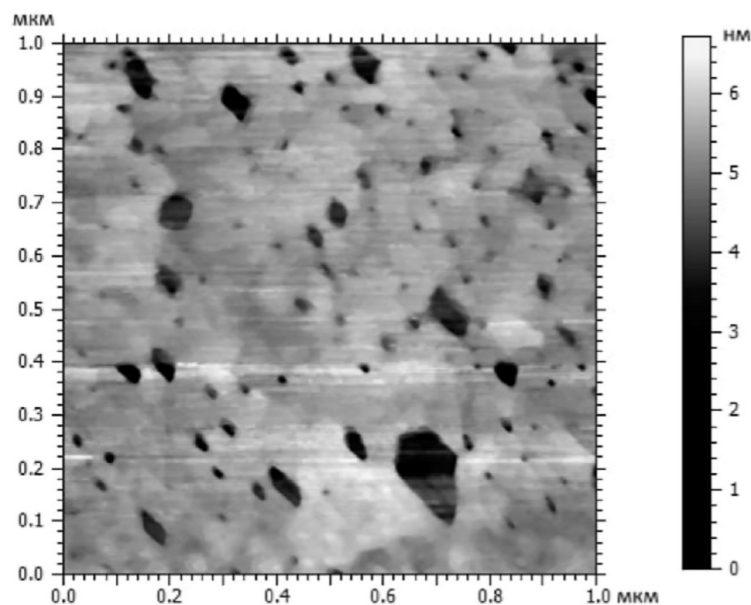
Мустафин Дамир Шамилович (оператор ЭВиВМ)

1. Устройство для получения силицена от ученых Санкт-Петербургского университета

В последние годы широко изучаются материалы, которые могли бы заменить дорогостоящий кристаллический кремний в устройствах микроэлектроники. Полупроводниковые приборы на основе кремния позволяют управлять потоком электронов и создавать различные логические схемы. Он имеет ряд недостатков, таких как высокая стоимость производства, большое энергопотребление, низкая скорость передачи сигналов, высокая температура работы и ограниченная миниатюризация. Поэтому ученые по всему миру ищут альтернативные материалы, которые могли бы заменить кремний в микроэлектронике будущего.



Одним из таких материалов мог бы стать Графен обладает уникальными свойствами: он самый тонкий и самый прочный материал в мире, прозрачен для света и тепла, отлично проводит электричество, гибок и эластичен. Однако графен также имеет свои сложности: он трудно синтезируется в больших количествах и качестве, и, главное, он не имеет запирающего эффекта, необходимого для создания транзисторов. Поэтому ученые продолжают искать другие двумерные материалы, которые могли бы заменить или дополнить графен в микроэлектронике. Один из таких материалов — силицен. Силицен является кремниевым аналогом графена, но имеет ряд отличий от него. В частности, силицен имеет запирающий эффект, то есть может менять свою проводимость в зависимости от приложенного напряжения. Это делает его подходящим для создания транзисторов — основных элементов микросхем.



Монослой силицена под микроскопом

Сотрудники Санкт-Петербургского университета, разработали и запатентовали устройство для получения силицена с улучшенной кристаллической структурой. Это первая такая разработка в России, которая может стать прорывом в области посткремниевой микроэлектроники.

Устройство представляет собой специальную камеру, в которой происходит процесс синтеза силицена методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Этот метод заключается в том, что исходный материал подвергается термическому распылению, а затем атомный или молекулярный пучок направляется на поверхность подложки, где он откладывается и образует тонкий слой пленки. Все это происходит в вакууме, чтобы исключить примеси и препятствия. Для получения силицена ученые СПбГУ использовали подложку из вольфрама — металла, имеющего высокую температурную стабильность и хорошую адгезию к кремнию. На подложку из вольфрама наносили слой серебра методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Затем на нагретую до 200°C подложку направляли атомарный поток кремния. Таким образом, ученым удалось получить однослойный силицен на поверхности серебра.

Особенностью разработанного устройства является то, что оно позволяет формировать силицен с большим размером нанокристаллических доменов — областей, в которых атомы имеют одинаковую ориентацию. Чем больше размер доменов, тем лучше качество материала и его электронные свойства.

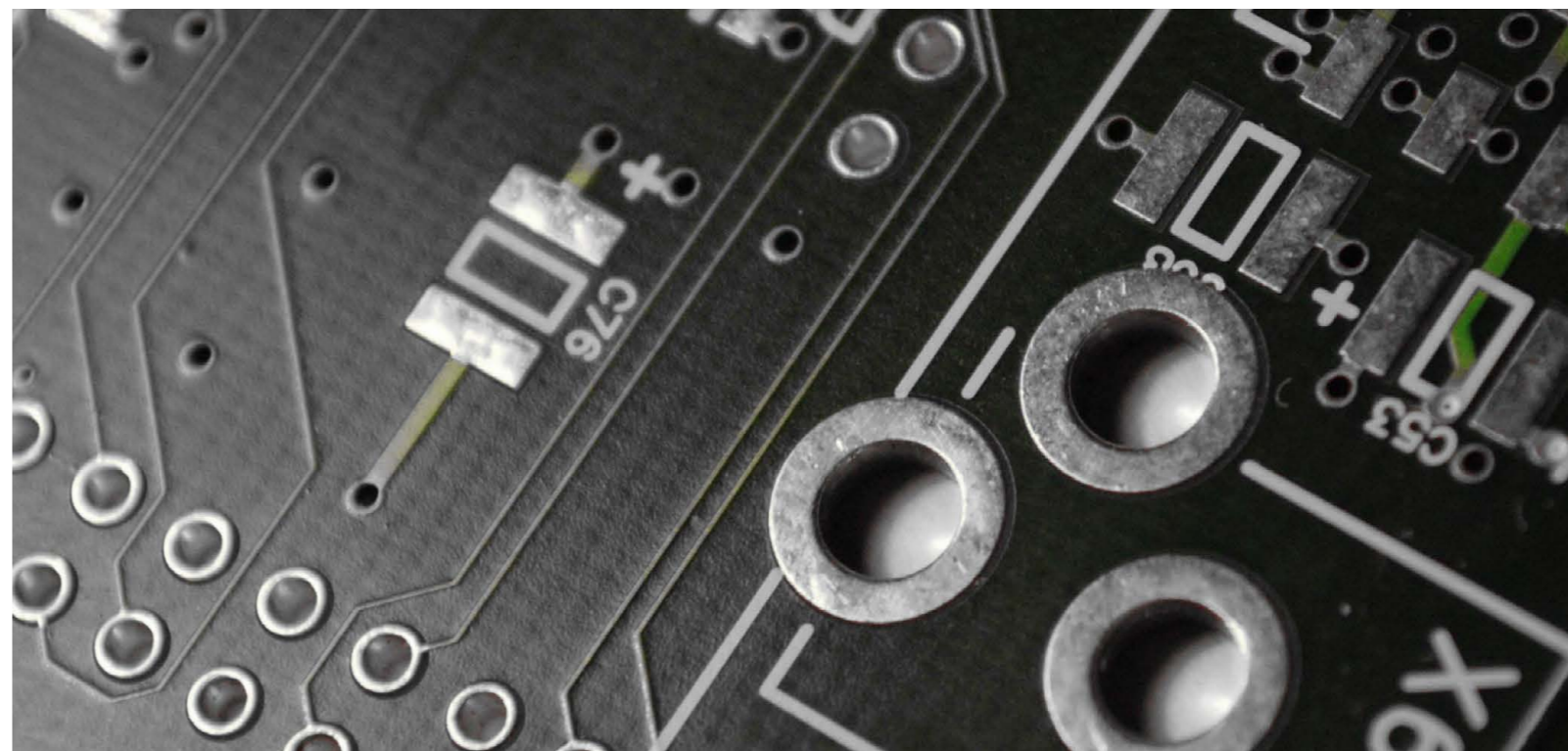
“”

Производство силицена стало доступно в России. А это значит, что скоро нам станут доступны отечественные полупроводниковые элементы на основе силицена, которые заменят своих кремниевых предшественников.

Источник: spbu.ru/news-events/novosti/fiziki-spbgu-pervymi-v-rossii-zapatentovali-ustroystvo-polucheniya-silicena

2. Отечественные технологии для импортозамещения печатных плат

С развитием промышленности требования к печатным платам, которые являются основным компонентом любого электронного устройства, ужесточаются, усложняется их конструкция и возрастает класс точности. Определяющую роль в обеспечении качества плат играет трудоемкий процесс металлизации сквозных отверстий, в ходе которого на поверхности диэлектрика формируется токопроводящий медный слой. С ростом класса точности многослойных печатных плат становится все труднее обеспечивать металлизацию отверстий, и для быстрого создания качественного токопроводящего слоя требуются высокотехнологичные процессы металлизации.



Ученые Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева (РХТУ) исследовали процессы химического и электрохимического осаждения меди на диэлектрическую основу, влияние на эти процессы природы и концентрации компонентов растворов и различных технологических характеристик процесса, а также свойства получаемых покрытий. В итоге им удалось разработать раствор химического меднения, не уступающий зарубежному аналогу по технологическим параметрам (стабильность, скорость осаждения) и свойствам осаждающихся покрытий (сплошность в отверстиях, однородность и компактность), а также отечественный электролит меднения сквозных отверстий плат, позволяющий получать покрытия (как внутри отверстий, так и на поверхности), сопоставимые по равномерности и блеску с зарубежным аналогом.

“”

Разработка российских химиков позволит снизить и постепенно исключить зависимость отечественных производств от зарубежных поставок в области гражданской и специальной электроники.

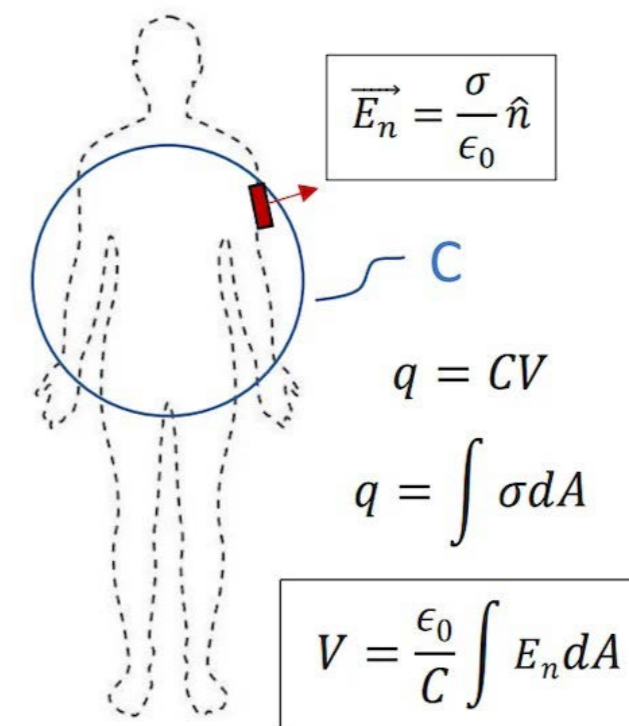
Источник: mustr.ru/news/obrazovanie-i-nauka/v-rkhtu-razrabotali-novye-rastvory-dlya-metallizatsii-pechatnykh-plat

3. Беспроводной портативный монитор напряжения тела

Одним из менее акцентируемых, но наиболее важных аспектов электронного проектирования являются явления электростатического разряда (ESD). Хотя большая часть предотвращения электростатического разряда зависит от того, как инженер проектирует схему, а именно, от добавления надлежащей защиты от электростатического разряда, другой важный аспект предотвращения электростатического разряда возникает на этапах производства и сборки. Привычное нам средство защиты - заземляющий провод, прекрасно справляется со своей задачей, но сильно ограничивает в движении человека. Iona Tech, стартап из Колорадо, объявил о выпуске «первого в мире беспроводного портативного монитора напряжения тела».



Носимый на плече браслет размером меньше и легче колоды карт, StatIQ Band постоянно измеряет напряжение на теле и подает сигнал тревоги, когда пользователь снимает статический заряд со своего тела или когда превышает заданный уровень. Благодаря возможностям Bluetooth и Wi-Fi устройство может подключаться к смартфону для отображения напряжения тела пользователя в режиме реального времени. В отличие от традиционного мониторинга напряжения тела, который непосредственно измеряет напряжение тела, используя в качестве эталона нейтральное положение заземления, StatIQ определяет напряжение тела на основе электрического поля тела. Когда поверхность кожи накапливает заряд, она также создает электрическое поле, пропорциональное плотности заряда. Устройство может оценить полный заряд тела на основе плотности заряда. Зная емкость человеческого тела, можно рассчитать общее напряжение тела.



Устройство работает до 18 часов от перезаряжаемого LiPo аккумулятора и подзаряжается через порт USB-C. Благодаря частоте дискретизации 1200 образцов в секунду StatIQ Band способен расширить доступ к средствам защиты от электростатического разряда.

“”

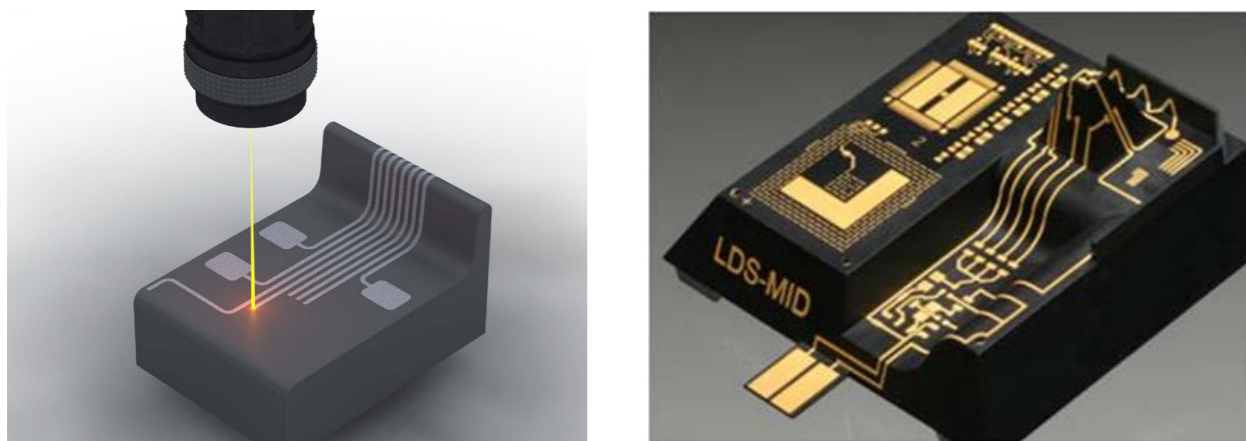
Данное устройство позволит значительно сэкономить на производстве электроники, которая выходит из строя во время сборки из-за электростатического разряда.

Источник: allaboutcircuits.com/news/body-voltage-monitor-brings-esd-protection-electronics-manufacturing

4. Электронные устройства без печатных плат

Электронные устройства становятся всё более компактными, поэтому требуются решения, которые придут на смену традиционным печатным платам. Технология 3D-MID способствует дальнейшей миниатюризации и позволяет создавать геометрически более сложные конструкции.

3D-MID – это технология создания схем на поверхности корпуса. Существует несколько технологий создания 3D-MID-структур, каждая из которых имеет свою специфику. Наибольшее распространение в массовом производстве получил метод прямого лазерного структурирования (LDS).



Для изделия LDS заготовка производится из пластика со специальными добавками (присадками). Сырье для литья представляет собой гранулы модифицированного пластика, которые подаются под высоким давлением в инструментальную форму. Готовая деталь вынимается из формы после охлаждения. Проводящие элементы на поверхности детали создаются в две стадии. Участки отливки, на которых должен быть сформирован проводящий рисунок, обрабатываются лазерным лучом. Под его действием пластик активируется – на его поверхности происходит физико-химическая реакция, разрушающая комплексные связи в полимерной матрице и высвобождающая связанные атомы металла. Кроме этого, поверхность, на которую воздействовал лазерный луч, становится микрошероховатой. После очистки от отходов лазерной активации на поверхности детали методом осаждения меди в химических ваннах создаются проводящие дорожки.

Толщина стандартного слоя металлизации составляет для слоя Cu от 5 до 8 мкм, для слоя Ni-P от 5 до 8 мкм и для слоя Au от 0,05 до 0,15 мкм, шаг элементов рисунка может составлять вплоть до 300 мкм (ширина проводника 150 мкм и расстояние между проводниками также 150 мкм).

“”

Данная технология позволит решить вопросы, касающиеся оптимального использования трехмерного пространства, обеспечения высокой функциональной плотности как механических, так и электронных составляющих изделия, а также сокращение количества деталей и операций.

В последние годы увеличивается количество публикаций, посвященных разработке и совершенствованию статических полупроводниковых преобразователей для электроэнергетики, в том числе распределенной, а также для сопряжения с сетью различных возобновляемых источников энергии. Для обозначения определенной проблематики исследований был введен в оборот термин «микросеть» (Microgrid) – локальная изолированная электрическая система ограниченной мощности, включающая в себя различные источники и накопители энергии, которая также может работать параллельно с энергосистемой.

Полупроводниковые преобразователи позволяют объединять в сеть источники и приёмники различной мощности, напряжения и рода тока. Кроме того, современные преобразователи также позволяют решить проблему коммутации потребителей на постоянном токе, что в перспективе позволит отказаться от дополнительного преобразования в технологических установках и сооружениях, где значительная часть мощности вырабатывается источниками постоянного тока и все крупные потребители также работают на постоянном токе.

Источник: researchgate.net/publication/372905352_Analysis_of_Tempering_Effects_on_LDS-MID_and_PCB_Substrates_for_HF_Applications

5. Модульные высоковольтные преобразователи для энергетики

Многоуровневые преобразователи (МУП) получили широкое признание благодаря своим исключительным преимуществам и стали предпочтительным выбором для приложений средней и высокой мощности/напряжения. Они позволяют решать сложные технические задачи, такие как снижение электромагнитных помех, которые могут возникать при использовании других типов преобразователей. Модульный многоуровневый преобразователь (ММП) – это продвинутая технология, которая может быть ключом к созданию новых, более гибких электрических сетей, сочетающих разные типы напряжений. Они могут быстро переключаться между различными режимами, а также выступать в качестве двунаправленного преобразователя постоянного и переменного тока, что делает их идеальными для сложных гибридных (комбинированных) сетей.

ММП можно использовать, например, в зарядных станциях для электромобилей, обеспечивая очень быструю зарядку. Они также могут поддерживать разные уровни напряжения, что позволяет создавать более сложные сети постоянного тока. Это может быть полезно, например, для создания твердотельных трансформаторов (SST – solid state transformer) для гибридных сетей.

Однако, как и любая новая технология, ММП имеют свои особенности, которые нужно изучить и понять. В приведенных статьях авторы разбирают разные типы ММП, исследуют их возможные преимущества и недостатки, а также обсуждают возможные проблемы и пути их решения. В целом, это исследование поможет лучше понять, как эта технология может быть использована в будущем для создания новых и более эффективных электрических сетей.

Предлагается новая топология трехпортового твердотельного трансформатора на основе гибридного изолированного модульного многоуровневого преобразователя, которая позволяет преодолеть ограничение на отношение напряжений $R(pu)$ в традиционных SST на основе ММП. Благодаря интеграции высокочастотного звена в структуру ММП и применению различных типов изолированных submodule (ISM), предлагаемый SST может работать как понижающий выпрямитель. В этом случае преобразователи силовой электроники, используемые для подключения отходящей линии постоянного тока среднего напряжения и распределенных энергоресурсов или аккумуляторных батарей, требуют меньшего количества активных устройств и позволяют минимизировать стоимость защитного оборудования. Кроме того, предлагаемая схема SST сохраняет существенные преимущества одноступенчатых твердотельных трансформаторов, такие как одноступенчатое преобразование мощности, меньшее количество конденсаторов и простая система управления.

В современной энергосистеме, где все больше электронного оборудования подключается к сети, возникают проблемы устойчивости и надежности. Преобразование энергии на основе многоуровневого преобразователя с подключенными к сети накопителями энергии, распределенными по различным частям системы, помогает обеспечивать устойчивость работы сети. Кроме того, предлагается применение виртуального синхронного генератора (ВСГ) для замены обычных генераторов, что должно помочь сохранять стабильность всей энергосистемы.

МУП с гальванической связью по постоянному току привлекают особое внимание

в промышленности благодаря отсутствию в их конструкции трансформаторов и выпрямителей, что делает их привлекательным вариантом для различных приложений, в первую очередь для приложений средней и высокой мощности/напряжения, таких как системы преобразования энергии ветряных турбин. Кроме того, они хорошо подходят для каскадного включения преобразователей, поскольку это позволяет использовать общее звено постоянного тока между ступенями выпрямления и инвертирования.

Преобразование энергии переменного и постоянного тока обычно реализуется с помощью двух преобразовательных каскадов: повышающего преобразователя переменного и постоянного тока, а затем каскада полномостового преобразователя с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с переключением в нуле напряжения. Для снижения потерь на переключение в первом каскаде часто используется активная вспомогательная схема. В данной статье рассматривается возможность использования такой схемы для передачи части входной мощности непосредственно на выход двухступенчатого AC/DC-преобразователя. Такая прямая передача мощности позволяет обрабатывать часть входной мощности только один раз, а не два, что снижает потери и токовые нагрузки второго каскада преобразователя постоянного тока.

“”

Модульные многоуровневые преобразователи позволяют реализовать такие технологии как твердотельный трансформатор, виртуальный синхронный генератор, а также преобразователи с непосредственной связью, исключая использование трансформаторов.

Источники:

ieeexplore.ieee.org/document/10227452
ieeexplore.ieee.org/document/10182395
ieeexplore.ieee.org/document/10215131
ieeexplore.ieee.org/document/10114360
ieeexplore.ieee.org/document/10171447
ieeexplore.ieee.org/document/10246762

6. Преобразователи для микросетей на основе ВИЭ

Микросети постоянного тока рассматриваются как ключевой компонент интеллектуальных сетей, позволяющий повысить надежность электросетей, добиться хорошего качества электроэнергии и энергоэффективности системы, а также обеспечить возможность независимости от сети для отдельных пользователей. По сравнению с традиционными электросетями микросети постоянного тока имеют преимущества, заключающиеся в расширении возможностей сочетания распределенной и возобновляемой энергии и снижении энергопотребления.

Для повышения напряжения низковольтных источников постоянного тока, таких как фотоэлектрические источники и небольшие ветрогенераторы, в микросетях постоянного тока целесообразно применять преобразователи постоянного тока с высоким коэффициентом усиления. Сравнение классического повышающего преобразователя с бестрансформаторными преобразователями с высоким коэффициентом усиления, такими как трехрежимный двухканальный преобразователь (Double Duty Triple Mode Converter), показывает преимущества новых схем, а также необходимость их исследования с целью разработки алгоритмов управления для достижения максимальных показателей эффективности.

Наиболее важной и растущей проблемой микросетей являются проблемы качества электроэнергии. В качестве одного из решений проблемы качества электроэнергии, энергетического кризиса и загрязнения окружающей среды все большее внимание привлекает солнечная энергия. Для интеграции этих возобновляемых источников энергии в сеть используются силовые преобразователи. Входная энергия постоянного

тока преобразуется в выходную энергию переменного тока с помощью двухступенчатой системы преобразования, состоящей из преобразователя постоянного тока и инвертора. При каскадном соединении преобразователя постоянного тока и инвертора в системе возникают гармоники, обусловленные импульсным преобразованием энергии. Эти гармоники протекают в системе, воздействуют на источник (солнечную батарею) и существенно влияют на изменение напряжения.

Авторами предлагается использовать модульный многоуровневый преобразователь в связке с солнечными панелями в качестве шунтирующего фильтра активной мощности для компенсации гармоник, создаваемых нелинейными нагрузками. Предлагаемый преобразователь подает ток в общую точку связи путем управления напряжением шины постоянного тока ММП при мощности фотоэлектрических элементов, соответствующей точке максимума мощности (MPPT). Авторы утверждают, что качество электроэнергии при использовании предлагаемого активного фильтра на основе фотоэлектрических элементов удовлетворяет требованиям стандарта IEEE 519.

Из-за особенностей выходных LC-фильтров преобразователи с накопителями энергии сталкиваются с проблемой недостаточного управления реактивной мощностью, что делает их менее эффективными.

Авторы анализируют эту проблему и обнаруживают, что из-за фильтра преобразователь создает ненужную реактивную мощность, особенно когда фильтр имеет большую емкость.

Для решения этой проблемы предлагается новый метод управления, который позволяет динамически регулировать реактивную мощность преобразователя. Это делает его более стабильным и устойчивым к различным внешним помехам. Благодаря этому улучшению можно дополнительно оптимизировать фильтр, улучшая качество электроэнергии.

В представлена концепция, которая направлена на оптимизацию работы преобразователей мощности, чтобы сделать их более эффективными. Эта концепция особенно актуальна для систем, использующих солнечные панели.

Одним из основных задач преобразователя является извлечение максимально возможной мощности из солнечных панелей. Однако в определенных условиях стандартные методы могут не справляться с этой задачей, особенно когда мощность близка к нулю. В результате система может потерять свою эффективность.

Авторы предложили новый метод, который позволяет преобразователю эффективно работать даже при очень низких уровнях мощности. Этот метод был протестирован с помощью компьютерного моделирования и показал отличные результаты. Таким образом, новый подход может существенно улучшить работу систем на солнечных батареях, делая их более надежными и эффективными.

“”

Силовые полупроводниковые преобразователи позволяют объединять в одной электрической сети источники и потребителей постоянного и переменного тока, а также обеспечивают высокую надежность и устойчивость сети.

Источники:

ieeexplore.ieee.org/document/10215208
ieeexplore.ieee.org/document/10075947
ieeexplore.ieee.org/document/10152426
ieeexplore.ieee.org/document/10167056
ieeexplore.ieee.org/document/10227506

7. Интегрированная электроника высокой плотности

С развитием технологий электронные устройства становятся всё более миниатюрными и функциональными. Это требует создания новых, более компактных преобразователей мощности.

Монолитная интеграция является представляющей собой подход к созданию компактных, эффективных и недорогих преобразователей. Авторы обращают внимание на две ключевые проблемы: упаковку устройства и интеграцию миниатюрных индукторов. Для решения этих задач ими предложена новая технология, названная “технологией силового интерпозера” (PIT). Для демонстрации PIT в работе реализован понижающий преобразователь мощности. В преобразователе используются два GaN FET, конденсаторы и драйвер затвора, уложенные на кремниевую матрицу толщиной 0,28 мм, в которую встроен тороидальный микроиндуктор с трехмерной подложкой. Преобразователь работает на частоте 22 МГц в режиме коммутации при нуле напряжения, достигая пикового КПД 83% при полной нагрузке 1 Вт.

Такой подход обещает ряд преимуществ для будущих преобразователей мощности: компактность, отличное охлаждение, возможность масштабирования и объединение различных компонентов. К тому же, данная технология имеет большой потенциал на рынке, так как позволяет создавать действительно компактные и мощные устройства.

В представлены конструкция и характеристики нового полумостового модуля на SiC MOSFET с интеграцией в печатную плату. Благодаря использованию стандартной технологии изготовления печатных плат, предлагаемый модуль является удобным в производстве и очень экономичным. Две матрицы SiC MOSFET на напряжение 1,2 кВ полностью встроены в корпус, что позволило уменьшить их размеры более чем на 95% по сравнению с современным полумостовым модулем с тем же номинальным напряжением. Масса силового модуля уменьшена на 90% и составляет всего 0,06 унции (1,7 г). Индуктивность силового контура оптимизирована и сведена к минимуму до 2,3 нГ, а индуктивность контура затвора снижена до 3,8 нГ. Для снижения теплового сопротивления используется медное заполнение печатной платы. В статье представлены тепловые и электрические характеристики разработанного модуля.

В представлен интегральный силовой модуль на основе технологии встраивания в печатную плату, позволяющий решить проблемы, возникающие при использовании традиционных дискретных решений, и в полной мере использовать высокочастотные преимущества приборов на основе нитрида галлия (GaN). Предлагаемый GaN-модуль включает в себя мост на основе бескорпусных GaN транзисторов, содержащий также драйверы и развязывающие конденсаторы. В качестве материала-наполнителя используется бисмалеимид-триазин, а в качестве межсоединений с низкой паразитной индуктивностью и высокой теплопроводностью – микропереходные отверстия с медным наполнением. Тщательный электротермический расчет и оптимизация силового контура позволяют найти компромисс между индуктивностью силового контура и тепловыми характеристиками. В предлагаемом полномостовом силовом модуле достигнута самая низкая индуктивность силового контура – около 0,305 нГ среди силовых модулей с одинаковым уровнем мощности. Максимальные тепловые сопротивления от встроенных GaN-матриц до верхней и нижней поверхности составляют 3,39 и 0,42 °C/Вт соответственно. Благодаря сверхмалым паразитным индуктивностям силового контура скорость переключения GaN-приборов достигает 57,5 В/нс, а перегрузка по напряжению не превышает 5,35% от напряжения шины постоянного тока. Превосходные характеристики предложенного интегрального GaN-модуля делают его перспективным для применения в высокочастотных преобразователях с высокой плотностью мощности.

Авторы представили встроенный силовой модуль на основе карбида кремния (SiC) с низкой паразитной индуктивностью и низким термическим сопротивлением для высокочастотных и высокотемпературных приложений. Транзисторы на основе SiC ориентированы в конфигурации “лицом вниз” с соединительными шинами из меди, что способствует улучшению коммутационных характеристик и теплоотвода. Результаты

моделирования показали, что общая паразитная индуктивность не превышает 300 пГ. Испытания двойным импульсом и эксперименты с тепловым сопротивлением в сравнении с коммерческим корпусом показали, что потери на переключение и сопротивление перехода к корпусу у предложенного модуля уменьшились на 23% и 35% соответственно.

В представлен встроенный в печатную плату (ПП) полумостовой модуль на 1,2 кВ на металлооксид-полупроводниковом полевом транзисторе (МОП-транзисторе) из карбида кремния (SiC) для бортового зарядного устройства (БЗУ) электромобиля (ЭМ) мощностью 22 кВт. Корпус отвечает тепловым и электрическим требованиям приложения, при этом устраняются или уменьшаются факторы, приводящие к усложнению производства и увеличению занимаемой площади печатных плат. При этом учитываются такие факторы, как необходимость интеграции, ширина трассы и количество слоев. Пакет был создан в виде прототипа и подвергнут электрическим и тепловым испытаниям. Статические характеристики, полученные на опытных образцах, показали, что пакет вносит примерно 0,4 мОм паразитного сопротивления в контур питания.

Смоделированные минимальные индуктивности контура питания и контура затвора окончательного варианта пакета составляют 2,4 нГ и 1,6 нГ, соответственно. Испытания показали, что благодаря малой индуктивности контура ключи высокой и низкой стороны достигают скорости выключения 41 В/нс и 37 В/нс соответственно, при этом напряжение сток-исток (VDS) не превышает 34 В и 30 В соответственно. Выбор неизолированного корпуса, а также другие конструктивные решения позволили ограничить тепловое сопротивление между спаями кристаллом и корпусом (RTH,JC) каждого МОП-транзистора до 0,074 К/Вт.

“”

Развитие полупроводниковых технологий привело к созданию транзисторных модулей с высокой плотностью мощности и низкой паразитной индуктивностью, что позволяет достичь более высоких частот переключения и способствует дальнейшему снижению массы и габаритов модульных преобразователей.

Источники:

ieeexplore.ieee.org/document/10040757

ieeexplore.ieee.org/document/10131178

ieeexplore.ieee.org/document/9618771

ieeexplore.ieee.org/document/9920223

ieeexplore.ieee.org/document/10176350

Текущее состояние исследований и разработок авиационных силовых установок в Европейском Союзе и США за сентябрь 2023 г.

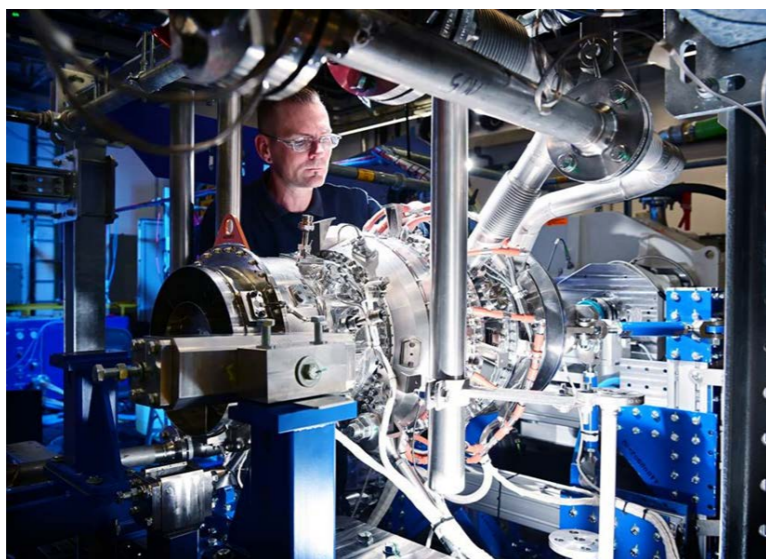
Михайлов Алексей Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент, научный руководитель фронтальной НИР «Формирование теории нового класса электрических машин, созданных с помощью аддитивных технологий», руководитель группы силовых установок

1. Двигатель Rolls-Royce прошел первые горячие испытания

Компания Rolls-Royce ведет разработку нового малоразмерного двигателя, который в составе турбогенератора предназначен для применения в гибридных силовых установках различной архитектуры. Целевым рынком для разрабатываемого турбогенератора является зарождающийся рынок аэромобильности, включающий различные типы летательных аппаратов пассажироместимостью до 19 человек с гибридными и электрическими силовыми установками. Кроме того, разрабатываемый турбогенератор может быть использован на вертолетах, в качестве вспомогательной силовой установки, а также может иметь ряд военных применений.

Для малоразмерного двигателя была разработана новая ультра-низкоэмиссионная камера сгорания.



Малоразмерный двигатель Rolls-Royce для ГСУ на испытательном стенде

В настоящее время первый опытный малоразмерный двигатель собран и запущена кампания наземных стендовых испытаний. На прошлой неделе малоразмерный двигатель прошел первые горячие испытания с запуском камеры сгорания.

Представителями Rolls-Royce отмечается крайне сжатый срок проектирования малоразмерного двигателя – два года от замысла до опытного образца на испытательном стенде.

Турбогенератор покрывает диапазон генерируемой мощности от 500 до 1200кВт, ключевой задачей является увеличение дальности полета электрических летательных аппаратов за счет генерации энергии для подзарядки аккумуляторных батарей. Отмечается, что на текущий момент гарантирована работоспособность двигателя при использовании 100% SAF топлива, а в перспективе будет обеспечена возможность использования водородного топлива.

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/rolls-royce-finishes-first-fuel-burn-on-hybrid-electric-engine.html

2. Universal Hydrogen запустила масштабную кампанию летных испытаний нового поколения

Компания Universal Hydrogen запустила двухлетнюю программу летных испытаний летающей лаборатории Lightning McClean, оснащенной силовой установкой на базе водородно-воздушных топливных элементов (ВВТЭ).

Летающая лаборатория Lightning McClean представляет собой ремоторизованный региональный турбовинтовой самолет De Havilland Canada Dash 8 – самый большой в мире самолет с силовой установкой на базе ВВТЭ на текущий момент.

Летающая лаборатория Lightning McClean оснащена новой, более мощной силовой установкой на базе ВВТЭ, использующей в качестве топлива жидкий водород. Компания Universal Hydrogen планирует использовать новую силовую установку на базе ВВТЭ с жидким водородом для ремоторизации существующего парка региональных турбовинтовых самолетов, а также разрабатываемых перспективных самолетов с пассажироместимостью до 60 человек.

Первый полет самолета Lightning McClean длился 20 минут, самолет достиг высоты 5000 футов и вернулся в аэропорт базирования. Силовая установка на базе ВВТЭ работала на полной мощности во время взлета и всего испытательного полета.

На текущий момент летающая лаборатория Lightning McClean совершила уже 10 испытательных полетов. По ожиданиям компании Universal Hydrogen ввод в эксплуатацию силовых установок на базе ВВТЭ состоится в 2026 году.

В рамках двухлетней программы летных испытаний планируется оптимизация конфигурации силовой установки, внедрение нового оборудования, в том числе нового турбокомпрессора для совершения полетов на высоте до 25000 футов, а также новой системы хранения жидкого водорода.

Кроме того, в рамках двухлетней программы летных испытаний планируется сертификация силовой установки в соответствии с нормами FAA. Ранее компания Universal Hydrogen согласовала с FAA сертификационный базис G-1 для сертификации силовых установок на базе ВВТЭ.

По заявлениям компании Universal Hydrogen на текущий момент портфель заказов на комплекты для ремоторизации региональных самолетов силовыми установками на базе ВВТЭ превышает 250 штук.

Первый испытательный полет летающей лаборатории Lightning McClean (фон)

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/defense/northrop-grumman-opens-hypersonic-missile-engine-factory-in-maryland-usa.html

3. Lilium начала производство силовой установки для летательного аппарата Jet eVTOL

Компания Lilium успешно завершила программу наземных испытаний отдельных компонентов и подсистем самолета Jet и начала производство полномасштабных силовых установок.

Планируется, что летательный аппарат вертикального взлета и посадки (eVTOL) будет иметь пассажировместимость 5 человек, дальность 250км и крейсерскую скорость 280км/ч и статический потолок 10000 футов.

Ожидается, что первый пилотируемый полет летательного аппарата Lilium Jet состоится в конце 2024 года, а сертификация EASA в конце 2025г.

На начальной фазе производства осуществлена сборка вращающихся компонентов (вал, магниты и титановый вентилятор) и невращающихся компонентов (статор электромшины и направляющие аппараты). Разработчиком электродвигателя является Denso и Honeywell, титановый вентилятор разработан Aeromatic, а опоры разработаны в кооперации с SKF.



Источник: aerospacetestinginternational.com/news/drones-air-taxis/lilium-start-jet-evtol-propulsion-system-production.html

Концепт самолета Lilium Jet eVTOL

4. EASA контролирует прогресс внедрения SAF в авиации



Регуляторные органы Европейского Союза наделили EASA (Европейское агентство по безопасности полетов) полномочиями для осуществления мониторинга и формирования отчетности по прогрессу внедрения устойчиво производимого авиационного топлива (SAF) в авиационной отрасли.



В рамках пакета нормативных правовых актов ReFuelEU Европейский Парламент устанавливает перечень новых задач для EASA, в частности продвижение и контроль внедрения SAF в авиационной отрасли для снижения совокупной эмиссии CO₂. ReFuelEU наделяет EASA правом мониторинга данных и публикации отчетности по природе, количеству и характеристикам SAF, которые приобрели эксплуатанты летательных аппаратов. Кроме того, EASA будет осуществлять мониторинг рынка SAF и оценивать разницу в цене между SAF и стандартным авиационным керосином. Ожидается, что первый отчет EASA о применении SAF будет опубликован в конце 2025 года.

Семейство экологических самолетов Airbus ZEROe (фон)

Также ReFuelEU обязывает EASA разработать схему экологической оценки полетов, в рамках которой покупателям при бронировании авиабилетов будет предоставляться объективная научно-обоснованная информация об эмиссии вредных веществ при осуществлении полетов.

На текущий момент внедрение SAF является для Европейского Союза основным инструментом декарбонизации авиационной отрасли. Ожидается, что к 2025 году до 70% всего топлива в европейских аэропортах будет замещено на SAF.

Кроме того, в рамках пакета ReFuelEU запланировано введение контрмер против избыточной заправки воздушных судов для совершения обратного полета без дозаправки в аэропорту назначения. Танкирование топлива увеличивает взлетный вес воздушного судна, как следствие увеличивается эмиссия вредных веществ за типовой полетный цикл.



Источник: aerospacetestinginternational.com/news/easa-to-check-on-saf-aviation-adoption.html

5. General Atomics готовится к летным испытаниям боевого БПЛА воздушного базирования LongShot

В 2020 году Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) запустило программу разработки нового БПЛА воздушного базирования LongShot, с возможностью размещения на борту ракет класса воздух-воздух.

Основной целью DARPA является разработка нового класса боевых БПЛА воздушного базирования, оснащенных ракетами класса воздух-воздух для увеличения дальности захвата, повышения эффективности и безопасности полета многоцелевых пилотируемых истребителей. Программа LongShot изменяет парадигму ведения воздушного боя, многоцелевой истребитель сможет запустить БПЛА воздушного базирования, оснащенный ракетами воздух-воздух для ведения воздушного боя, сам находясь за пределами радиуса захвата самолета противника.



Концепт БПЛА воздушного базирования General Atomics по проекту DARPA LongShot

Проект БПЛА воздушного базирования, разрабатываемый General Atomics по проекту LongShot, позволит существенно увеличить дальность захвата воздушных целей и живучесть для широко применяемых в настоящее время истребителей 4-го поколения.

DARPA провела в феврале 2022г. защиту эскизных проектов БПЛА и выбрала компанию General Atomics в качестве исполнителя по программе LongShot. За прошедшие 1,5 года General Atomics разработала технический проект БПЛА и провела ряд наземных испытаний систем для снижения рисков по программе.

По ожиданиям General Atomics летные испытания прототипа БПЛА по программе LongShot должны начаться в следующем году. Летные испытания прототипа БПЛА необходимы для валидации концепции с точки зрения управляемости.

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/defense/general-atomics-set-to-flight-test-armed-air-launched-longshot-drone.html

6. Universal Hydrogen сертифицируют комплекты для ремоторизации самолетов ATR 72 СУ на базе ВВТЭ

Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) одобрило заявку компании Universal Hydrogen на получение дополнения к сертификату типа на воздушное судно ATR 72 для его переоснащения системой хранения и подачи жидкого водорода, а также силовыми установками на базе водородно-воздушных топливных элементов (ВВТЭ). Кроме того, FAA предоставило компании Universal Hydrogen сертификационный базис G-1 Issue Paper для сертификации ремоторизованных самолетов ATR 72.



Самолет ATR 72 компании Universal Hydrogen

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/universal-hydrogen-moves-forward-with-faa-approvals-for-hydrogen-aircraft.html

7.

Самолет на базе ВВТЭ НУ4 компании H2FLY совершил первый полет

Немецкая компания H2FLY, разработчик силовых установок на базе водородно-воздушных топливных элементов (ВВТЭ) совершила первый в мире пилотируемый полет самолета с электрической силовой установкой, работающей на жидком водородном топливе.

Компания H2FLY разработала летающую лабораторию НУ4 для проведения летных испытаний и отработки критических технологий создания силовых установок на базе ВВТЭ.



Летающая лаборатория H2FLY НУ4

Компания H2FLY провела 4 испытательных полета самолета НУ4 с криогенной системой хранения жидкого водорода и новым поколением силовой установки на базе ВВТЭ, работающей на жидком водороде.

Результаты испытаний показали, что использование жидкого водорода вместо газообразного обеспечивает увеличение максимальной дальности полета с 750 до 1500км. Переход на криогенное жидкое водородное топливо позволяет существенно снизить объем и массу топливных баков, что благотворно сказывается на результирующей дальности полета самолета. Значительное увеличение дальности полета самолета при переходе на жидкое водородное топливо является крайне важным фактором для создания экологически чистых средне- и дальнемагистральных самолетов. Разработчиком криогенной системы хранения и подачи водородного топлива является компания Air Liquide, компании Pipistrel и German Aerospace Center (DLR) занимались интеграцией криогенной топливной системы в конструкцию самолета.

Компания H2FLY в июне 2023г. анонсировала создание нового поколения силовой установки на базе ВВТЭ H2F-175, которая работоспособна на высоте до 27000 футов, что приближает коммерческое внедрение подобных силовых установок.

Программа летных испытаний самолета НУ4 на жидком водородном топливе является составной частью работ по проекту Европейского Союза HEAVEN.

Источник: h2fly.de/2023/09/07/h2fly-and-partners-complete-worlds-first-piloted-flight-of-liquid-hydrogen-powered-electric-aircraft

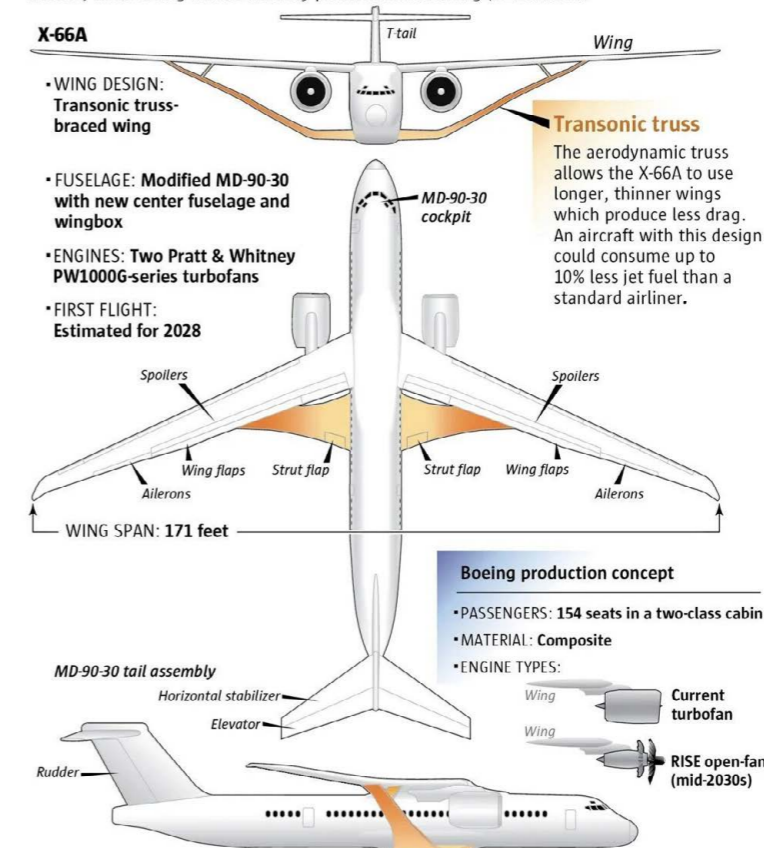
8.

Boeing выбрал двигатели Pratt&Whitney GTF для демонстратора пассажирского самолета

Компания Boeing в рамках программы NASA Sustainable Flight Demonstrator ведет разработку демонстратора узкофюзеляжного пассажирского самолета со стреловидным крылом сверхвысокого удлинения с подкосами (truss-braced-wing narrowbody aircraft).

The X-66A Sustainable Flight Demonstrator being developed by Boeing and NASA

Boeing will build a demonstrator aircraft in Palmdale, Calif., aiming to fly it in 2028. CEO David Calhoun has said Boeing has "a real shot at bringing that technology to bear on the next airplane" which is expected to enter service in the mid- to late 2030s. NASA will provide \$425 million, with Boeing and its industry partners contributing \$725 million.



Концепт самолета Boeing X-66A со стреловидным крылом сверхвысокого удлинения с подкосами

Компания Boeing в качестве силовой установки для самолета-демонстратора Boeing X-66A выбрала ТРДД с редукторным приводом вентилятора семейства GTF компании Pratt&Whitney.

В рамках программы NASA Sustainable Flight Demonstrator компания Boeing осуществит глубокую модификацию самолета MD-90, реализующего концепцию Transonic Truss Braced Wing (верхнеплан с крылом сверхвысокого удлинения и подкосами). Ожидается, что первый полет самолета Boeing X-66A состоится в 2028 году.

Отмечается, что конкурент Pratt&Whitney на рынке двигателей для узкофюзеляжных самолетов, компания CFM International также представит двигатель-демонстратор, разрабатываемый в рамках программы RISE, для испытаний на самолете Boeing X-66A.

По ожиданиям экспертов Boeing, архитектура самолета X-66A может быть эффективна при создании нового узкофюзеляжного пассажирского самолета, который должен прийти на смену Boeing 737MAX в 2030-х годах.

Объем инвестиций NASA по программе Sustainable Flight Demonstrator составляет \$425 млн., объем инвестиций Boeing и других частных компаний составляет \$725 млн.

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/universal-hydrogen-moves-forward-with-faa-approvals-for-hydrogen-aircraft.html

9.

Rolls-Royce провела испытания камеры сгорания двигателя Pearl 700 на 100% водородном топливе

Консорциум под руководством Rolls-Royce, включающий Loughborough University и German Aerospace Center (DLR) провел успешные испытания камеры сгорания двигателя Rolls-Royce Pearl 700 на 100% водородном топливе.

Группой ученых проведены испытания камеры сгорания двигателя Pearl 700 на 100% водородном топливе при условиях, имитирующих взлетный режим работы двигателя.

Ключевой критической технологией для достижения полученного результата являются новые топливные форсунки, которые позволяют эффективно контролировать положение фронта пламени. При переходе камеры сгорания на водородное топливо встает ряд технологических вызовов, обусловленных более высокой температурой и скоростью горения водорода по сравнению с традиционным керосином. Новые топливные форсунки обеспечивают постепенное перемешивание воздуха с водородом и позволяют эффективно управлять реактивностью топлива.

Эксперты Rolls-Royce отмечают, что эксплуатационные характеристики камеры сгорания с новыми форсунками и уровень эмиссии вредных веществ хорошо согласуются с результатами численного моделирования.



Испытания камеры сгорания двигателя Pearl 700 на 100% водородном топливе

Источник: ainonline.com/aviation-news/air-transport/2023-09-27/rolls-royce-runs-pearl-700-hydrogen-fuel

Современные отечественные и мировые достижения в области разработки и применения беспилотных летательных аппаратов

Уразбахтин Руслан Рустемович

Руководитель отдела исследований БПЛА

Мустаев Эдгар Ильдарович (инженер)

Дойников Антон Игоревич (инженер)

Дернов Михаил Юрьевич (инженер 2 категории)

Хакимьянов Артур Радикович (инженер 2 категории)

Кильметов Рафаэль Айдарович (инженер 1 категории)

Норкин Дмитрий Федорович (инженер)



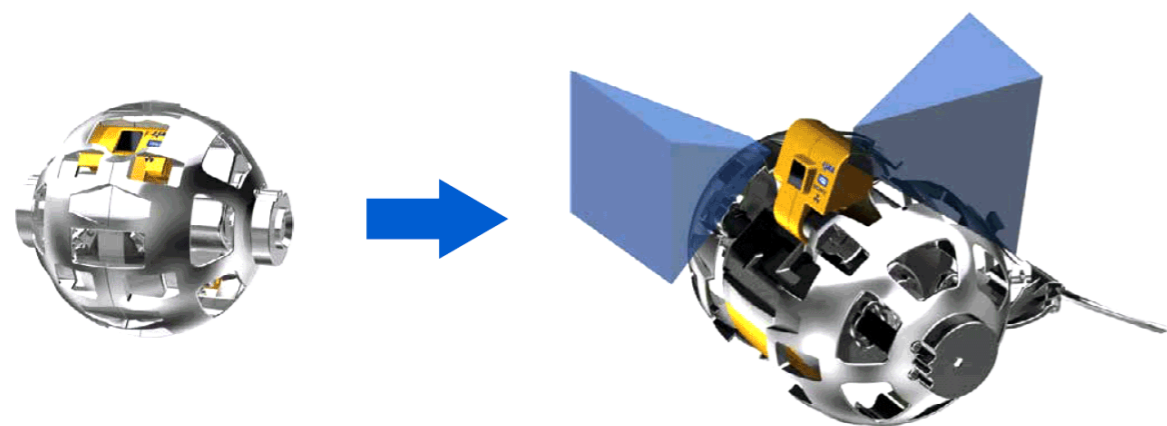
Мини-лунный зонд LEV-2

1. Японский мини-лунный зонд трансформируется по мере движения

В начале сентября 2023 года Япония запустила свой лунный посадочный модуль, на борту которого находится маленький робот-трансформер под названием LEV-2 (сокращенно от Lunar Excursion Vehicle 2). Робот предназначен для перемещения по Луне, собирая подробную информацию о лунной поверхности.

В режиме ожидания LEV-2 по размеру и форме примерно равен бейсбольному мячу. Это позволяет ему плотно помещаться на борту транспортных средств, таких как посадочный модуль JAXA. После активации две половины, составляющие сферическую форму LEV-2, разделяются, открывая пару камер и стабилизатор, заключенные в желтый пластик. Металлический клин, который раньше закрывал середину LEV-2, тянется за роботом, сохраняя его устойчивость во время вращения LEV-2. Трапециевидные вырезы в металлическом корпусе LEV-2 позволяют роботу «захватывать» песчаный реголит Луны во время его вращения, продвигая зонд вперед.

LEV-2 неслучайно похож на детскую игрушку. JAXA наняло Тому Company (японская компания по производству игрушек), для помощи в разработке зонда. Изначально партнерство возникло из-за желания пробудить научный интерес у детей. Но у него было и второе преимущество: смоделировав LEV-2 как игрушку, инженеры сократили количество его компонентов, повысив тем самым его надежность.



Разница между состояниями ожидания и движения LEV-2

Другой узнаваемый японский бренд помог с технологией внутри конструкции робота, меняющей форму. Компания Sony разработала небольшую энергоэффективную плату управления и двойные камеры, отвечающие за управление движениями LEV-2 и съемку изображений лунного ландшафта.

JAXA будет использовать LEV-2 для исследования луны сразу после приземления в начале 2024 года. Продолжительность автономной работы LEV-2 составляет два часа, что позволит ему долгое время перемещаться по поверхности луны, делая фотографии ее поверхности крупным планом.

Компанией JAXA применен нестандартный подход к проектированию беспилотного аппарата, который позволил решить проблему обеспечения высокой надежности. Это подчеркивает необходимость применять нестандартные методы решения задач при проектировании сложных технических устройств, так как это позволяет повысить уровень получаемых результатов и качества создаваемого продукта.

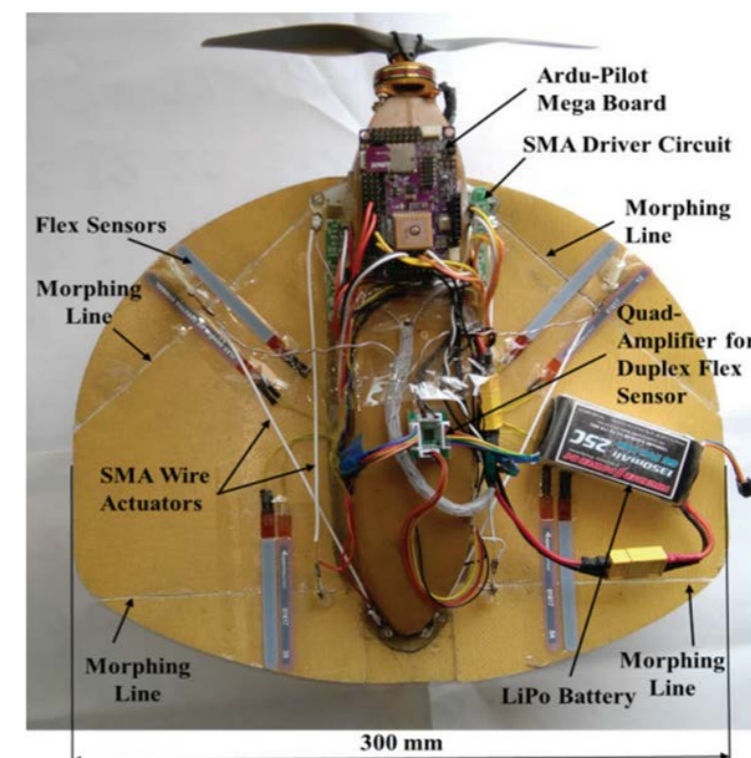
Источник: extremetech.com/aerospace/japans-mini-lunar-probe-transforms-as-it-moves

2. Многосегментная система трансформации с памятью формы

В проведенном исследовании представлена конфигурируемая многосегментная система морфинга для микроавиационного транспортного средства. Одним из новшеств является разработка алгоритма адаптивного распределения управления, который обеспечивает быструю, одновременную и независимую работу четырех деформируемых сегментов с использованием приводов из сплава с памятью формы (SMA). Работа SMA осуществляется с шагом по времени с разрешением в микросекунды, чтобы в определенный момент времени только один SMA получал питание от аккумуляторной батареи. Другими новшествами являются измерение угла отклонения управляющих поверхностей в полете с помощью двух гибких датчиков и изменение положения передних кромок таким образом, чтобы линия сгиба была диагональной (45°) по отношению к боковой оси БПЛА. Система была реализована на полетном контроллере с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом и работала от аккумулятора БПЛА. Были проведены наземные испытания с вращающимся воздушным винтом, где была реализована скорость наклона 35°/с и проверена возможность отслеживать синусоидальное изменение угла наклона с частотой 1 Гц.

БПЛА с неподвижным крылом, выбранный для исследования, имеет плоские крылья с профилем Selig 4083 и обратной формой крыла Циммермана.

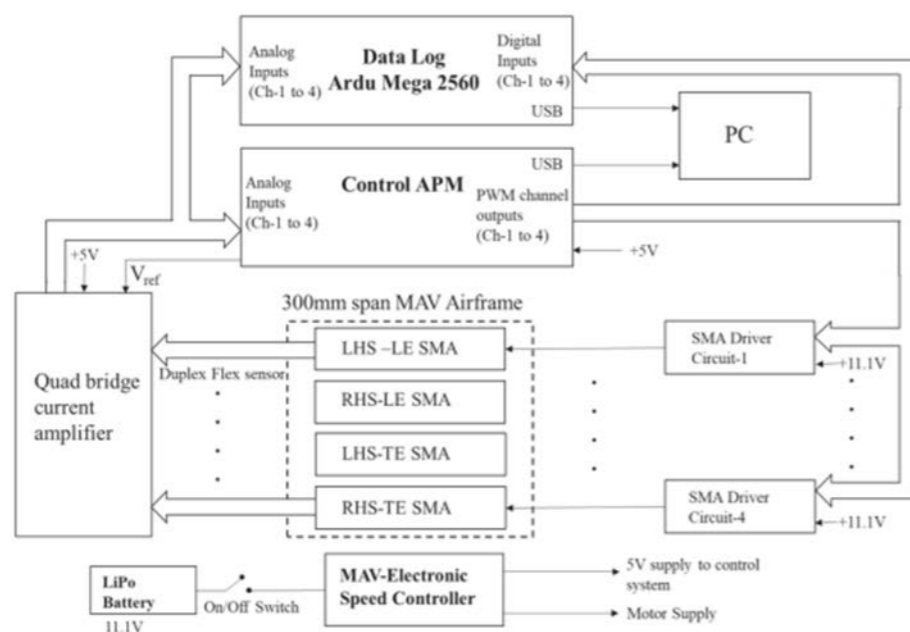
Размах крыльев составляет 300 мм, а общий вес – 300 г. Более ранние работы над традиционными самолетами показали, что опускание элевона улучшило аэродинамическую эффективность. Основываясь на этом, сначала был выполнен БПЛА с линией сгиба, лежащей параллельно боковой оси. Испытания в аэродинамической трубе этой конфигурации выявили незначительное улучшение CL (коэффициент подъемной силы), происходящее только при большем угле атаки без существенного улучшения аэродинамической эффективности. В дальнейшем линия сгиба была выполнена под углом 45° к боковой оси БПЛА, как показано ниже. Исследования показали, что эта конфигурация позволяет значительно улучшить аэродинамическую эффективность для широкого диапазона углов атаки во время испытаний в аэродинамической трубе.



Четырехсегментный трансформируемый БПЛА с двумя гибкими датчиками на сегмент, приводами SMA и электроникой

Авторами статьи предпринята попытка максимально увеличить скорость срабатывания привода SMA без снижения его срока службы при одновременном отслеживании до четырех различных профилей сегментов. Улучшение характеристик привода осуществляется путем высокоскоростного переключения питания от батареи БПЛА на приводы SMA с помощью алгоритма адаптивного распределения управления, построенного на алгоритме ПИД-регулирования и запланированным коэффициентом усиления. В нем также представлена усовершенствованная методика измерения степени сгибания или угла наклона. Привод SMA (изготовлен в CSIR-NAL), использованный в работе, имеет химический состав 44,5Ni-50,0Ti-5,5Cu. Нагрузки, действующие на провод SMA из-за структурной жесткости деформирующегося сегмента (который также обеспечивает восстанавливающее усилие для SMA), и аэродинамические силы были смоделированы вместе с эффектом гистерезиса SMA. Соответственно, был выбран провод SMA диаметром 0,15 мм и длиной 180 мм. В этом случае максимальная деформация SMA составляет 1,2%, а напряжение – 300 МПа. Приводы SMA термоизолированы втулкой Teflon диаметром 0,2 мм для уменьшения потерь тепла под воздействием воздушного потока, создаваемого пропеллером.

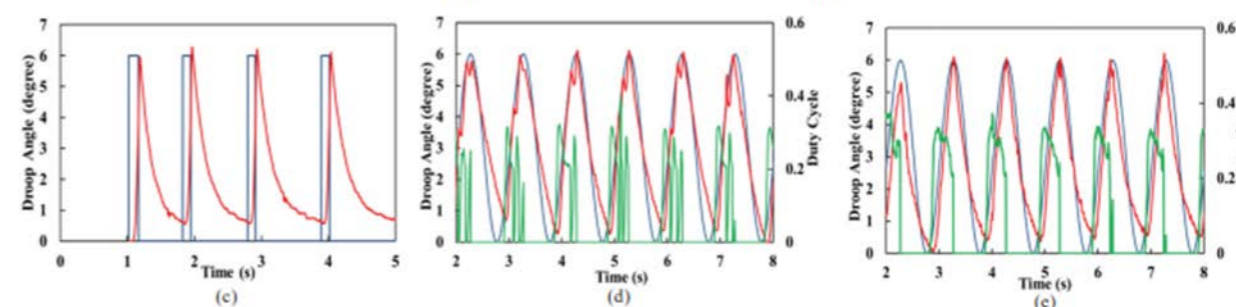
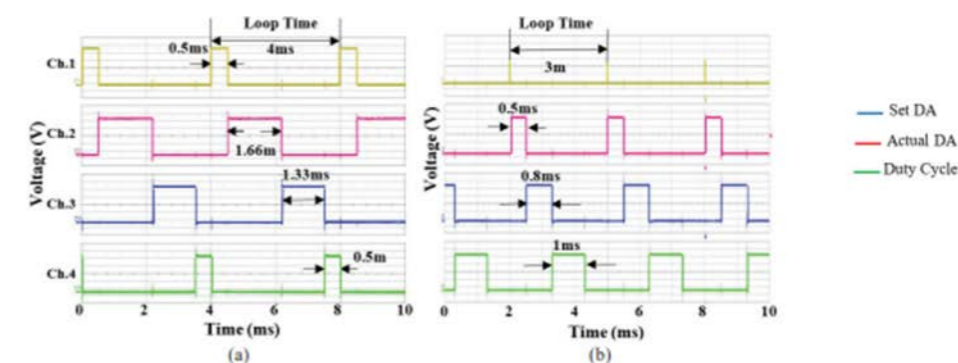
Структурная схема четырехсегментной системы морфинга с приводимыми в действие проводами SMA показана далее. Провода SMA подключены к аккумулятору БПЛА через MOSFET транзистор, который действует как быстродействующий электронный переключатель. Четырехъядерный усилитель подает четыре сигнала на аналоговые входные каналы полетного контроллера ('Ardu Pilot Mega'-APM 2.5). Четыре канала, отвечающие за сгиб управляющих поверхностей, управляются с помощью импульсов, генерируемых APM, которые распределены по времени таким образом, чтобы гарантировать, что в любой момент времени только один SMA потребляет ток от батареи. Алгоритм адаптивного распределения управляющих воздействий динамически изменяет эти временные интервалы. Система управления была настроена с использованием метода ступенчатого отклика Циглера-Николса для получения двух наборов значений ПИД-регулятора: одного для более быстрого приведения в действие, а другого для уменьшения перерегулирования.



Блок-схема системы управления многосегментным морфингом.

Управляющие сигналы, генерируемые алгоритмом и регистрируемые в этой области, выглядят так, как показано ниже. Длительность импульса этих сигналов соответствует расчетным значениям. Фактические сигналы, полученные для проверяющего алгоритм теста. Они соответствуют рассчитанным значениям. Контроллер был запрограммирован на ступенчатое повышение падения угла с 0° до 6° и возврат к 0° в тот момент, когда фактическое значение падения угла достигнет заданного значения. Результаты показаны в виде сравнения заданного и фактического значения падения угла. Начальная длительность в одну секунду была использована для определения значения

автоматического обнуления датчика изгиба. Когда подается команда на ступенчатое увеличение падения угла, SMA получает мощность, но требуется определенное время, чтобы преодолеть начальную температуру аустенита, сжаться и достичь заданного падения угла. Как только заданное значение угла наклона достигнуто, питание SMA отключается, и цикл повторяется после того, как значение падения угла уменьшится ниже 0,5°. Для ступенчатого ввода время, затраченное на достижение угла падения 6°, составило 0,17 с, что означает скорость изменения наклона 35°/с. Способность системы управления отслеживать синусоидальный заданный профиль с частотой 1 Гц. Во время приведения в действие наблюдается хорошее соответствие между заданным и фактическим значением угла наклона. Но во время охлаждения значение падения угла не могло упасть до 0° и могло достигать минимума ~0,5°. Также показаны соответствующие изменения рабочего цикла импульса SMA (зеленый цвет). Испытание было повторено с воздушным винтом, работающим на полной скорости и создающим скорость воздушного потока 8,6 м/с (измеренную с помощью анемометра).



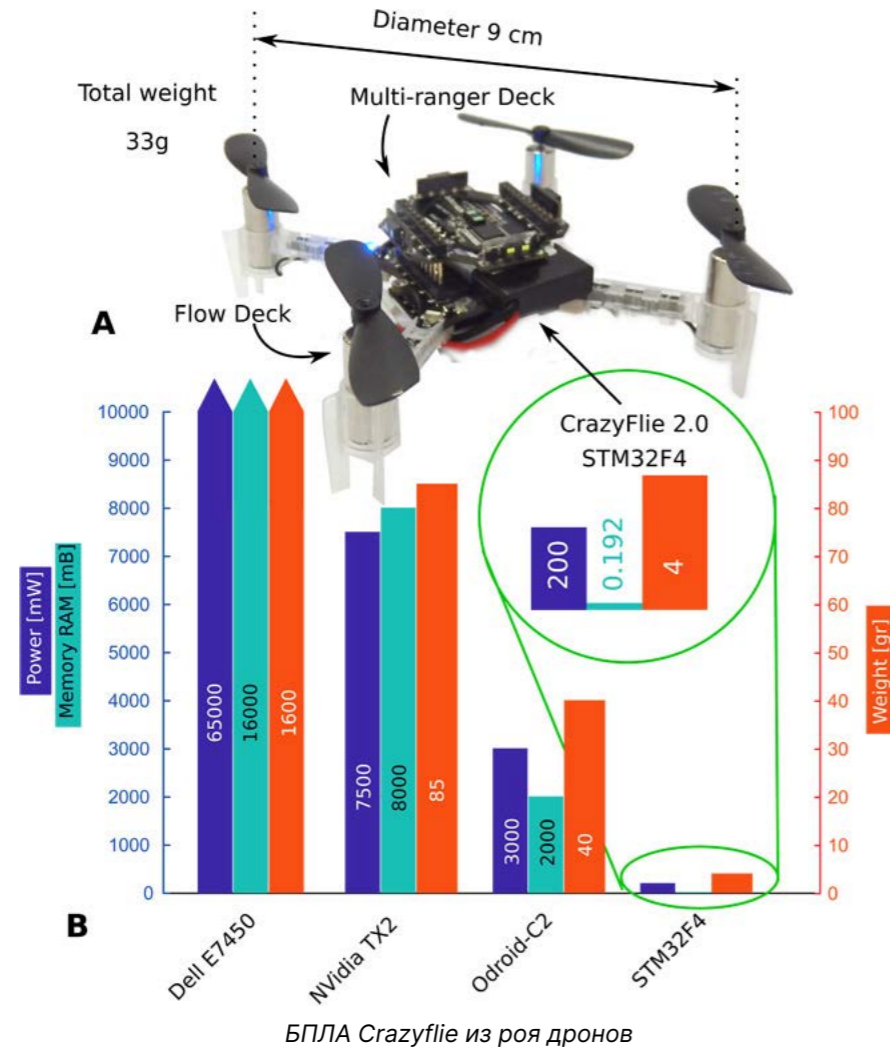
Производительность системы адаптивного распределения управления для высокоскоростного срабатывания SMA

Для беспилотных летательных аппаратов актуально не только повышение характеристик традиционных систем. Проведенная авторами работа демонстрирует, что для управления БПЛА самолетного возможно применять не сервопривода, а специальный деформирующийся от нагревания материал. Поиск новых решений в сфере БПЛА ведется в рамках научно-исследовательских работ, проводящихся в ПИШ «Моторы Будущего».

Источник: doi.org/10.14429/dsj.70.14145

3. Навигационное решение для роя беспилотников, предназначенного для исследования неизвестной среды

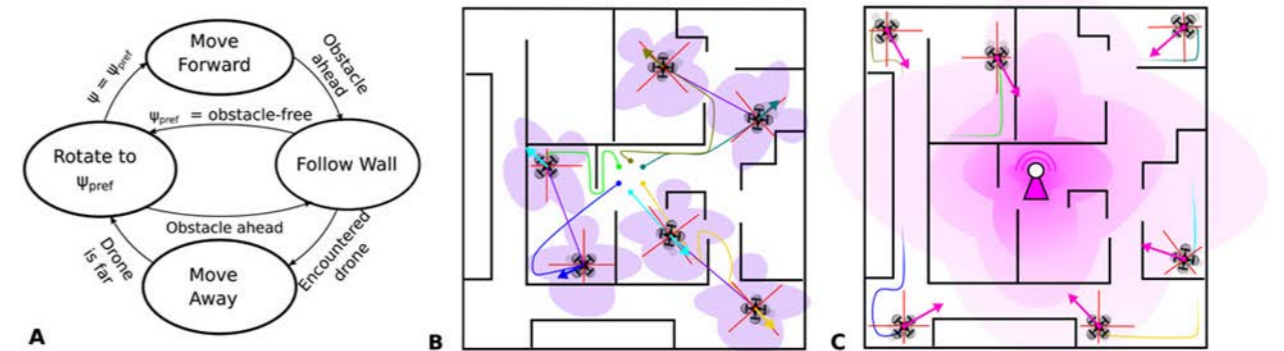
Основной принцип роевой беспилотных летательных аппаратов заключается в том, что отдельные беспилотники подчиняются относительно простым правилам управления, основанным на их собственной телеметрии и общении с ближайшими беспилотниками. Это позволяет минимизировать требования к отдельным беспилотникам, входящим в состав роя. Отказ от централизованной обработки информации при этом позволяет повысить надежность системы, так как один неисправный робот не поставит под угрозу выполнение задач в связи с возможностью перераспределения ролей в рое беспилотных летательных аппаратов. Для роя беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) основная



задача заключается в обеспечении автономной навигации каждого участника роя и координации между ними в реальных условиях. Основной особенностью существующих роев БПЛА является построение их маршрутов с опорой на данные GPS. При этом задача обеспечения полета роя БПЛА без доступа к GPS, фактически, является нерешенной. Решение этой проблем – применение SLAM технологии, по результатам которой строится карта местности на основании данных видеокamer или лидаров. При этом работа роя роботов, передающих информацию в рамках SLAM подхода, ведет к повышению на полосу пропусканию сигналов. Представлен БПЛА Crazyflie из роя дронов (А) Crazyflie 2.0 с модулями расширения потока и нескольких диапазонов и (В) автопилотом (STM32F4) по сравнению со спецификациями NVIDIA TX2, Odroid-C2 и ноутбука (Dell Latitude E7450). БПЛА Crazyflie на задачи навигации в рамках роя затрачивает до 7 Вт энергии, что обуславливает снижение его продолжительности полета. Соответственно, для создания роя дронов, способного функционировать без GPS, актуальна разработка

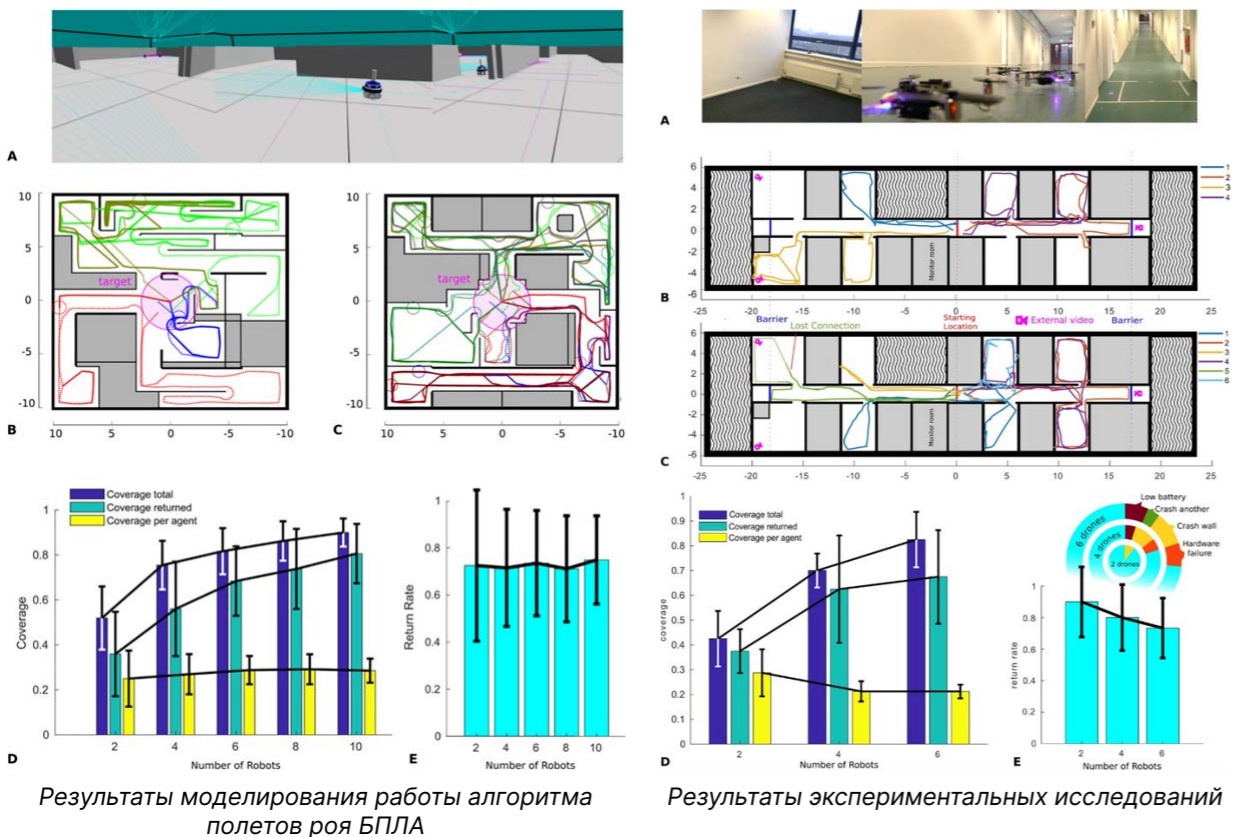
алгоритма управления, обладающего минимизированными затратами на вычисления и, соответственно, меньшей мощностью потребления.

Алгоритм управления роем БПЛА без GPS заключается в следующем. Рой БПЛА покидает свою базовую станцию и отправляется исследовать пространство. У каждого БПЛА есть свое заранее определенное направление, в котором он попытается двигаться. Когда БПЛА сталкиваются с препятствиями, они облетают их по периметру. В известной литературе по алгоритмам ошибок этот процесс называется «следованием вдоль стены». Когда в заранее определенном направлении робота снова пропадает препятствие, он продолжает следовать в заранее определенном направлении. Как только уровень заряда батареи БПЛА достигнет 60 %, он начнет движение вперед. Чтобы вернуться в исходное местоположение, роботы используют сочетание одометрии и, в более длинном промежутке времени, отслеживания направления по отношению к точке старта. Поскольку алгоритмы, основанные на нахождении препятствий, не создают карты, существует опасность, что они зацикливаются, а отследить это не представляется возможным. Например, это может произойти в комнатах, где есть только один выход, который может быть упущен из виду, когда БПЛА обошел препятствие в заранее заданном направлении, чтобы снова перейти к противоположной стене. Следовательно, как во время движения от точки старта, так и во время движения к точке старта, одометрия также использовалась для обнаружения кратковременных зацикливаний, которые могли привести к застреванию БПЛА в определенной части пространства. Во время эксперимента БПЛА также необходимо было избегать друг друга и сообщать друг другу желаемое направление. В экспериментах использовалась беспроводная связь между БПЛА для обеих вышеуказанных целей. В частности, для предотвращения столкновений внутри роя вместо передачи глобальной позиции (которая не известна БПЛА) использовался межроботный RSSI. Более того, когда одни БПЛА замечали присутствие других БПЛА в заранее определенном для них направлении, они адаптировали свои предпочтения, улучшая разведку для полета от точки старта. Стрелка цвета фуксии на месте расположения каждого БПЛА показывает предполагаемое направление полета БПЛА к точке старта.



Основная концепция SGBA, где: (А) Упрощенный алгоритм SGBA; (В) Полеты БПЛА от точки старта (фиолетовая заливка иллюстрирует локальную мощность сигнала вокруг каждого дрона, используемого для уклонения от роя); (С) Полеты БПЛА к точке старта (розовая заливка обозначает уровень сигнала беспроводного маяка на наземной станции, к которой направляются БПЛА)

Представлены результаты моделирования созданного алгоритма, полученные авторами.



Пример пространства полета показан выше (слева). Два примера планов пространств и траекторий показаны для шести роботов и для четырех роботов показаны далее. Результаты были получены для 2, 4, 6, 8 или БПЛА в 100 сгенерированных пространствах для каждой конфигурации пространства по охвату (не включая недоступные области) и скорости возврата. Показаны три типа покрытия пространства: общее покрытие (площадь, охваченная всеми роботами), возвращенное покрытие (площадь, охваченная только вернувшимися роботами) и покрытие на одного робота (площадь, которую покрыл один робот). Показана скорость возврата, т. е. доля БПЛА, которая успешно возвращается на базовую станцию после исследования.

Далее были проведены экспериментальные исследования для определения возможности применения алгоритма SGBA и сравнения результатов эксперимента с результатами моделирования (справа).

В целом, предложенный алгоритм показал свою эффективность с точки зрения уменьшения мощности, затрачиваемой на работу системы полета роя БПЛА в помещении. Однако, остается ряд проблем в части минимизации риска столкновений БПЛА, которые необходимо решить для возможности применения предложенного алгоритма для роя из большего числа БПЛА.

Настоящая работа показывает, что реализация систем автоматического полета БПЛА возможна без использования GPS. При этом важную роль играет постановка задачи, на решение которой направлено создаваемое программное обеспечение. В ПИШ «Моторы Будущего» проводится ряд работ в области систем обеспечения автоматического БПЛА, при этом ключевым в этих разработках является определение конкретных сценариев применения БПЛА.

Источник: [science.org/doi/10.1126/scirobotics.aaw9710](https://doi.org/10.1126/scirobotics.aaw9710)

4. Разработан компактный безмагнитный электродвигатель

Компании по всему миру работают над совершенствованием безмагнитных электродвигателей, чтобы сделать их более жизнеспособным вариантом для электромобилей. Немецкий автомобильный концерн ZF Friedrichshafen разработал самый компактный в мире безмагнитный электродвигатель I2SM, который по параметрам не уступает синхронным электродвигателям с постоянными магнитами. В будущем компания интегрирует его в силовые установки на 400 и 800 В для производителей легковых и грузовых электромобилей.



Ротор безмагнитного электродвигателя I2SM

Магнитная индукция – один из способов направить электричество на катушки ротора без применения щёток и контактных колец. В проделанной работе ZF интегрировала свой индуктивный преобразователь в вал ротора в центре катушек, устранив дополнительные 3,5 дюйма (90 мм) осевого пространства, которое, по оценкам, занимают контактные механизмы передачи электроэнергии, обеспечивая при этом плотность мощности и плотность крутящего момента, сравнимую с электродвигателями на постоянных магнитах.

ZF называет эту конструкцию внутрироторным индуктивным возбужденным синхронным двигателем (I2SM). ZF заявляет, что автопроизводители могут заменить электродвигатели с постоянными магнитами на новый тип электродвигателя, не теряя производительности. ZF также заявляет, что при непрерывной работе на высоких скоростях, например, при движении по шоссе, I2SM будет работать более эффективно, чем электродвигатель с постоянными магнитами.



Безмагнитный электродвигатель I2SM

Заменяя магниты на роторе двигателя на электрические обмотки, производители могут устранить затраты, экологический ущерб и потенциальные сбои в цепочке поставок, связанные с добычей редкоземельных материалов, необходимых для этих магнитов. Тем не менее, традиционные конструкции без магнитов вводят дополнительные физические элементы, такие как скользящие кольца или щетки, необходимые для пропускания электрического тока в обмотки ротора, увеличивая размер и вес, одновременно увеличивая трение и потенциал износа. Таким образом, производители электромобилей, как правило, идут по пути наименьшего сопротивления, используя электродвигатели с постоянными магнитами.

В настоящее время электродвигатели с постоянными магнитами являются одним из наиболее перспективных видов электродвигателей, так как позволяют обеспечить высокую плотность мощности и плотность крутящего момента, а также отличаются высокой надежностью. Разработка компании ZF требует дополнительных исследований с точки зрения надежности и массогабаритных показателей. Настоящая работа показывает, что в технике актуален поиск новых решений, которые при различных сценариях смогут стать решением определенной проблемы. При этом для решения определенных проблем текущий уровень материалов и технологий может являться достаточным.

Источник: building-tech.org/Технологии/компания-zf-разрабатывает-самый-компактный-в-мире-безмагнитный-электродвигатель-для-электромобилей

Подписывайся на наши соцсети!





Передовая инженерная школа
Моторы Будущего

Строй своё будущее здесь и сейчас, своими руками
и своим интеллектом!

