

УДК 629.7.064

Г.Ф. ЦАЛИМОВ, С.В. КОЗЮРА, Е.Е. ВАСЬКО*АО «Элемент», Одесса, Украина
ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРАМИ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАПУСКА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Приведено аналитическое сравнение блоков управления стартер-генераторами постоянного тока АПД-1500 и THALES серии GCU P/N D25-XXX с разработанными в АО «Элемент» цифровыми блоками управления БЗГ-9М и БЗГ-450. Рассматриваются различные режимы работы блоков управления, а также характеристики в стартерном и генераторном режимах. Обсуждаются вопросы применения разработанных блоков управления БЗГ-9М и БЗГ-450 со стартер-генераторами СТГ9М, СТГ-3 2 серия, СТГ-150УД и THALES P/N 8260-350. Отмечено, что разработанные цифровые блоки управления БЗГ-9М и БЗГ-450 имеют более высокую точность управления по сравнению с существующими аналогами, имеют гораздо лучшие массогабаритные показатели и сравнительно легко адаптируются к разным типам стартер-генераторов.

Ключевые слова: блок управления стартер-генератором, БЗГ-9М, БЗГ-450, АПД-1500-1, GCU P/N D25-XXX.

Введение

Для запуска газотурбинных двигателей (ГТД) до настоящего времени широко применяются электрические стартер-генераторы постоянного тока. Это объясняется достаточной простотой их конструкции, обратимостью этих электрических машин и несложными способами управления.

При запуске ГТД с помощью стартер-генератора, как правило, требуется обеспечить следующую последовательность запуска:

- выборку люфтов редуктора, соединяющего стартер и ротор ГТД;
- плавную раскрутку ротора ГТД и его сопрохождение вплоть до момента запуска;
- при успешном запуске ГТД – выключение стартера и переход стартер-генератора в генераторный режим;
- в генераторном режиме – стабилизацию напряжения генерации стартер-генератора при различных оборотах ГТД и различных нагрузках;
- во время запуска и генерации обеспечить защиту стартер-генератора от нештатных режимов и выхода электрических параметров за область допустимых значений.

С целью реализации этой последовательности запуска совместно со стартер-генераторами применяются блоки управления стартер-генераторами, которые представляют собой автоматы, управляющие величиной тока в якорной и (или) шунтовой обмотках стартер-

генератора. В блоках управления применяется либо ступенчатое регулирование с применением пусковых сопротивлений, ограничивающих максимальное значение тока, – АПД-1500-1 [1], либо непрерывное регулирование – СТС-800 [3], GCU P/N D25-XXX [2], где используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) напряжения якорной и (или) шунтовой обмоток стартер-генератора для управления величиной тока стартера и, соответственно, моментом вращения и числом оборотов.

Существующие в настоящее время и широко применяемые в авиации блоки управления АПД-1500-1 и GCU P/N D25-XXX построены на аналоговых принципах регулирования и могут рассматриваться как устаревшие.

В АО «Элемент» разработаны и изготовлены цифровые программируемые блоки управления БЗГ-9М, БЗГ-450, предназначенные для применения взамен аналогов – АПД-1500-1 и GCU P/N D25-XXX, а также совместно с новыми перспективными разработками стартер-генераторов различных изготовителей.

БЗГ-9М реализует ступенчатое регулирование (4 ступени), предназначен для совместного использования со стартер-генераторами СТГ9М [4], СТГ-3 2 серия [5], СТГ-150УД.

БЗГ-450 – цифровой аналог GCU P/N D25-XXX предназначен для управления стартер-генератором THALES P/N 8260-350 с непрерывным регулированием тока в обмотке возбуждения (рис. 1).



Рис. 1. Блок БЗГ-450

БЗГ-450 обеспечивает стабилизацию тока якоря в стартерном режиме и стабилизацию напряжения генерации в генераторном режиме.

В настоящей статье рассматриваются и обсуждаются характеристики блоков управления БЗГ-9М, БЗГ-450, полученные на испытательных стендах ГП «Ивченко-Прогресс» и АО «Мотор Сич». Характеристики блоков приводятся в сравнении с их аналогами АПД-1500-1 и GCU P/N D25-XXX.

1. Экспериментальная часть

Измерения характеристик БЗГ-450 проводились на испытательном стенде ГП «Ивченко-Прогресс». На стенде был установлен турбовинтовой двигатель (ТВД) АИ-450С со стартер-генератором THALES P/N 8260-350. В процессе запуска производились измерения тока стартера и скорости вращения вала ГТД, а также имелась возможность производить регулировку тока стартера и тем самым подбирать оптимальный режим запуска.

После завершения запуска и выхода ГТД в режим «малого газа» (МГ) блок БЗГ-450 автоматически переключался в режим управления генерацией и стартер-генератор переходил в генераторный режим.

В процессе испытаний в генераторном режиме к стартер-генератору подключались нагрузки мощностью 1, 3, 6, 12 и 17 кВт. Производились измерения выходного напряжения и тока стартер-генератора при различных нагрузках и различных скоростях вращения вала ГТД в режимах МГ, ЗМГ, ПМГ, МКР, МП. Одновременно проверялась работа установленных в блоке защит, предотвращающих аварийные режимы БЗГ-450 и стартер-генератора.

Далее блок БЗГ-450 заменялся на зарубежный аналог – THALES GCU P/N D25-300 и испытания повторялись.

Блок БЗГ-9М, как и его аналог АПД-1500-1, изначально разрабатывался только для обеспечения режима запуска двигателя, т.е. только для управления стартер-генератором в стартерном режиме. В дальнейшем, с целью обеспечения

перспективных разработок, в него были заложены аппаратные возможности управления режимом генерации. На данном этапе эти возможности не использовались.

Испытания блока управления БЗГ-9М проводились на испытательном стенде АО «Мотор Сич». На стенде был установлен ТВД АИ-450М. На него поочередно устанавливались стартер-генераторы СТГ9М и СТГ-3 2 серии.

В связи с тем, что указанные стартер-генераторы имеют разные характеристики, в блоке БЗГ-9М предусмотрена возможность переключения параметров управления для согласования с каждым из стартер-генераторов.

Во время испытаний в процессе запуска производились измерения тока стартера и скорости вращения вала ГТД. Измерения проводились для режимов «Горячий запуск», «Холодная прокрутка» и «Ложный запуск».

Блоки БЗГ-9М и БЗГ-450 разработаны на современных цифровых и аналоговых микросхемах. Алгоритм функционирования реализован с использованием микроконтроллеров ATmega16A, которые допускают работу в расширенном температурном диапазоне. В блоках имеется большое количество защит, реализованных на программном и аппаратном уровнях. Применена защита выходов от короткого замыкания и защита от перенапряжения по входам и цепям питания. Для защиты стартер-генератора от короткого замыкания в якорной цепи применены разработанные в АО «Элемент» измерительные трансформаторы тока ТТ-450 (рис. 2).

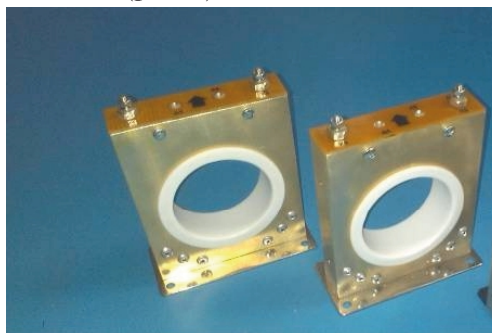


Рис. 2. Трансформаторы тока ТТ-450

Блоки имеют герметичный корпус и рассчитаны на применение в диапазоне температур – 55...80 °С.

Блоки разработаны с учетом требований стандартов ЕС, и после успешных испытаний на стендах заказчика в составе двигателей АИ-450С и АИ-450М один из блоков установлен на самолет фирмы «Diamond Aircraft Industries» DA-50 и в настоящее время проходит испытания в Австрии.

2. Анализ полученных результатов

На рис. 3 представлены характеристики запуска двигателя АИ-450С от блока БЗГ-450 (стартер-генератор THALES P/N 8260-350). Для сравнения на рис. 4 приведены характе-

ристики запуска двигателя АИ-450С с тем же стартер-генератором от блока THALES GCU P/N D25-300. Характеристики в стартерном режиме примерно совпадают. Вначале для выборки люфтов и ограничения тока стартера

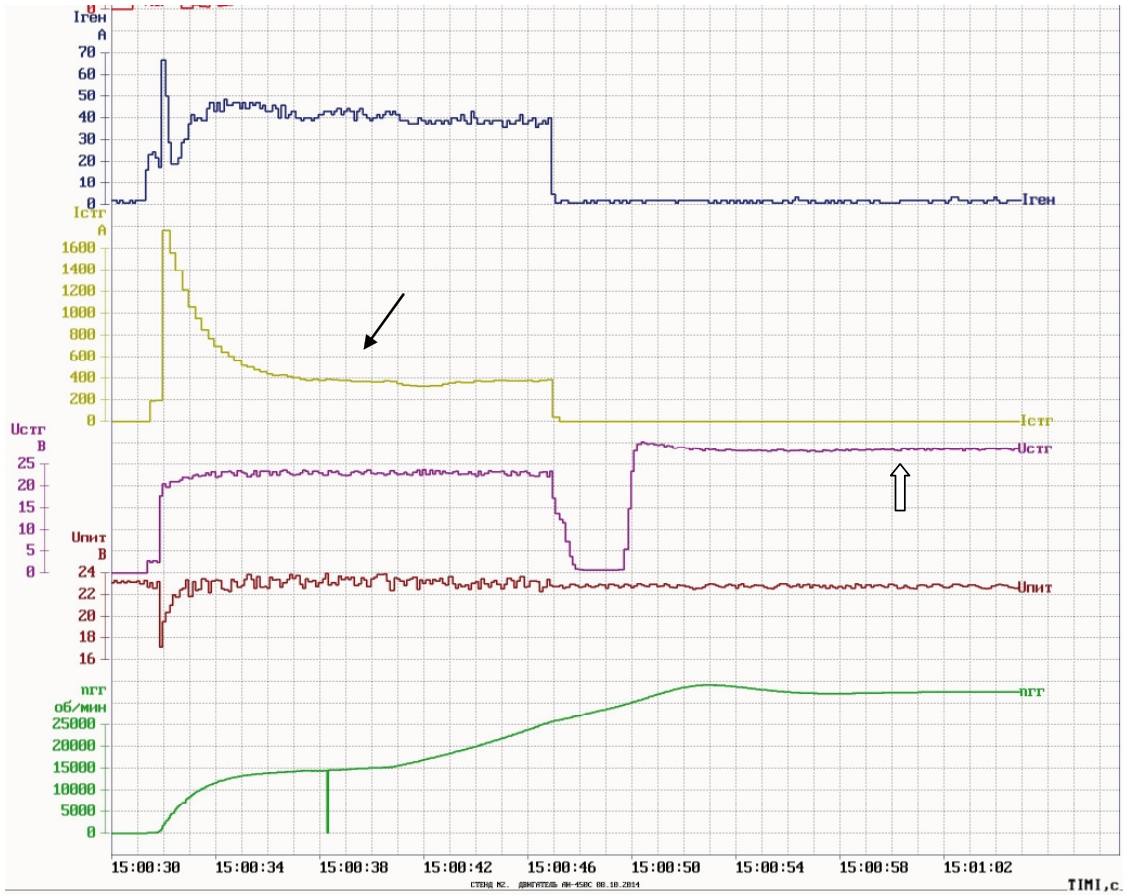


Рис. 3. Запуск от блока БЗГ-450

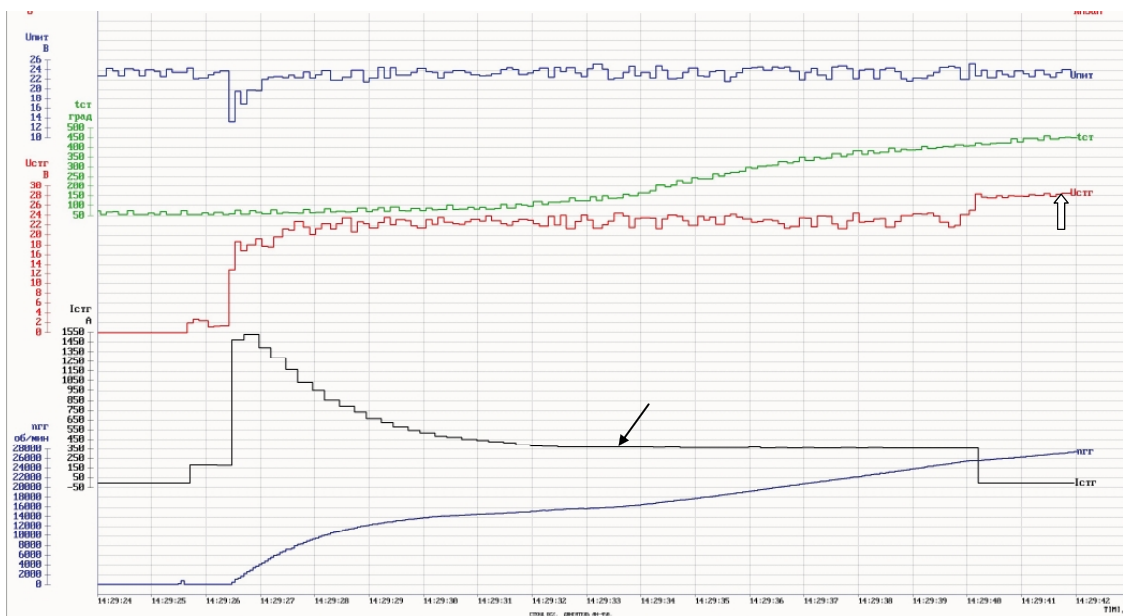


Рис. 4. Запуск от GCU P/N D25-300

включается пусковое сопротивление. Через 0,5 с пусковое сопротивление шунтируется и ток резко возрастает, обеспечивая необходимый момент вращения. (На графиках кривые отмечены сплошными стрелками.) По мере раскрутки ротора двигателя ток стартера плавно уменьшается до величины порядка 450А, после чего блоки управления переходят в режим стабилизации тока. Ток стартера остается постоянным, обеспечивая сопровождение вращения вала двигателя с положительным моментом вплоть до успешного завершения запуска двигателя. (При завершении запуска двигателя стартерный режим выключается, и ток стартера падает до нуля).

В генераторный режим оба блока переходят автоматически. БЗГ-450 с задержкой 2 с, которая регулируется и может быть, вообще говоря, отключена. Задержка была предусмотрена для того, чтобы успели переключиться контакты реле стартера и по требованию заказчика.

Стабилизация напряжения генерации обеспечивается ШИМ регулятором, осуществляющим автоматическую регулировку тока в обмотке возбуждения стартер-генератора.

В блоке БЗГ-450 применен цифровой ПИД регулятор. Наличие цифрового интегрирующего звена устраняет статическую ошибку регулирования [6]. На графиках это видно по более высокой точности поддержания выходного напряжения генератора по сравнению с GCU P/N D25-300. Графики отмечены полыми стрелками.

Заключение

Представленные в статье материалы позволяют сделать выводы:

1. Разработанные в АО «Элемент» блоки управления БЗГ-9М и БЗГ-450 не уступают своим зарубежным аналогам, а по некоторым

параметрам превосходят их. Так БЗГ-9М и БЗГ-450 имеют лучшие массогабаритные показатели (масса не более 0,7 кг) и меньшее потребление электроэнергии (более, чем на 50%) по сравнению с аналогами – АПД-1500-1 и GCU P/N D25-XXX.

Вследствие отсутствия статической ошибки регулирования, точность поддержания выходного напряжения генератора ($28,5 \pm 0,3$ В) блоком БЗГ-450 выше, чем у зарубежного аналога.

Разработанный блок БЗГ-9М предназначен для управления тремя видами стартер-генераторов: СТГ9М, СТГ-3 2 серия, СТГ-150УД. Блок может управлять и другими типами стартер-генераторов. Их общее число может быть достаточно большим и ограничивается только памятью микроконтроллера.

Литература

1. Автомат пуска двигателя АПД-1500-1, Руководство по технической эксплуатации УЯИС.468333.056РЭ, 2005, 26 стр., ОАО «Аэроэлектромаш», г. Москва
2. THALES AVIONICS ELECTRICAL SYSTEMS F0296, COMPONENT MAINTENANCE MANUAL with illustrated parts list, GENERATOR CONTROL UNIT P/N D25-XXX.
3. Стабилизатор тока СТС-800, Руководство по технической эксплуатации. ЕКРФ.310.00.002РЭ.
4. Стартер-генератор СТГ9М, Руководство по технической эксплуатации, 2008, 35 стр., ОАО «Аэроэлектромаш», г.Москва
5. Стартер-генератор СТГ-3 и СТГ-3 2 серии, Техническое описание и инструкция по эксплуатации 8АО.311003ТО, 1968, 24 стр., ОАО «Аэроэлектромаш», г. Москва .
6. Александров А.Г., Артемьев В.М., Афанасьев В.Н. и др. Справочник по теории автоматического управления, М., «Наука», 1987.

Поступила в редакцию 01.06.2015

Г.Ф. Цалімов, С.В. Козюра, О.Э. Васько. Розробка електронних блоків управління стартер-генераторами для систем запуску авіаційних двигунів

Приведено аналітичне порівняння блоків управління стартером-генератором постійного току АПД-1500-1 і THALES серії GCU P/N D25-XXX з розробленими в АО «Елемент» цифровими блоками управління БЗГ-9М і БЗГ-450. Розглядаються різні режими роботи блоків управління, а також характеристики у стартерному та генераторному режимах. Обговорюються питання застосування розроблених блоків управління БЗГ-9М і БЗГ-450 із стартером-генератором СТГ9М, СТГ-3 2 серії, СТГ-150УД і THALES P/N 8260-350. Позначено, що розроблені цифрові блоки управління БЗГ-9М та БЗГ-450 мають більш високу точність управління у порівнянні з існуючими аналогами, мають набагато кращі масогабаритні показники та порівняно легко адаптуються до різних типів стартер-генераторів.

Ключові слова: блок управління стартер-генератором, БЗГ-9М, БЗГ-450, АПД-1500-1, GCU P/N D25-XXX.

G.Tsalimov, S.V.Kozura, E.Vasko. Development of starter-generators CONTROL UNIT for starting system of aviation engines

Analytical comparison of control units (CU-s) for starter-generator of direct-current APD-1500-1 and THALES series of GCU P/N D25 – XXX with developed CU-s by JSC «Element» for BZG-9M and BZG - 450 is shown. Different modes of CU operations and also characteristics in a starter and generator modes are examined. Application questions of developed CU-s for BZG-9M and BZG - 450 with starter-generator STG9M, STG - 3 2 series, STG-150UD and THALES P/N 8260-350 are discussed. It is marked that the developed digital CU-s for BZG-9M and BZG- 450 have higher control accuracy as compared to existent analogues , have the much best mass and size indexes and comparatively easily adapt oneself to the different types of starter and generator.

Key words: CU for starter - generator, BZG-9M, BZG -450, APD-1500-1, GCU P/N D25-XXX.