

Эффективные структуры транспортных каналов

генерирования постоянного повышенного напряжения с электротрансмиссионной системой запуска силовых установок

В статье рассмотрены варианты реализации электротрансмиссионных систем запуска транспортных силовых установок с совмещением функций стартера и генератора в единой двухкаскадной синхронной машине с асинхронизированным синхронным возбудителем. Предложены структуры бортовых каналов генерирования постоянного повышенного напряжения, а также комбинированных систем электроснабжения для перспективных транспортных средств: самолетов с полностью электрифицированным оборудованием, дизель-поездов и тепловозов с электротрансмиссией, судов и др.

Станислав Резников,
Д. т. н.
Денис Чув,
К. т. н.

YAllinsky@mail.ru

В связи с ускоренным развитием высоковольтной силовой электроники на базе IGBT-транзисторов и запираемых тиристоров все большее распространение получают транспортные автономные системы электроснабжения с первичными каналами генерирования постоянного повышенного напряжения (ППН). Такие системы рассматриваются, например, применительно к известной концепции «самолетов с полностью электрифицированным оборудованием» (СПЭО), тепловозов и дизель-поездов с электротрансмиссией и др. [1–4].

К основным достоинствам систем ППН относятся следующие:

- снижение массы и тепловых потерь в кабелях за счет повышенного напряжения и исключения реактивной мощности;

- исключение гидро- или пневмопривода постоянной частоты вращения (ППЧВ) для синхронного генератора;
- принципиальная возможность объединения функций стартера и генератора (благодаря отсутствию ППЧВ);
- простота обеспечения параллельной работы каналов генерирования.

Проблема запуска силовых установок (СУ), как правило, решается с помощью специальных дополнительных механических устройств (воздушных турбин или электростартерных двигателей постоянного тока), что существенно усложняет всю систему генерирования.

В тех случаях, когда на борту помимо данной силовой установки (например, маршевого авиадвигателя) присутствуют аналогичная (например, уже запущенный авиадвигатель) или вспомогательная (ВСУ), легко запускаемая от бортовой аккумуляторной батареи, можно применить электротрансмиссионную систему (ЭТС) на базе статистических преобразователей.

В качестве примера рассмотрим систему электроснабжения самолета с несколькими маршевыми и одной вспомогательной силовой установками (СУ 1–4 и ВСУ), соответствующей вышеуказанной концепции СПЭО. На рис. 1 приведена предлагаемая структура канала генерирования ППН ($0 \pm U$)П с электротрансмиссионной системой запуска силовых установок (СУ) с помощью предварительно запускаемой ВСУ.

Отличительной особенностью двухкаскадных вентильных генераторов является использование в качестве возбудителя (В) асинхронизированных синхронных генераторов (АСГ), конструктивно выполненных по аналогии с асинхронными машинами с фазным ротором. Питание трехфазных статорных обмоток осуществляется от вспомогательной низковольтной сети (U_{AB}) через преобразователи-инверторы (Π_1, Π_1')

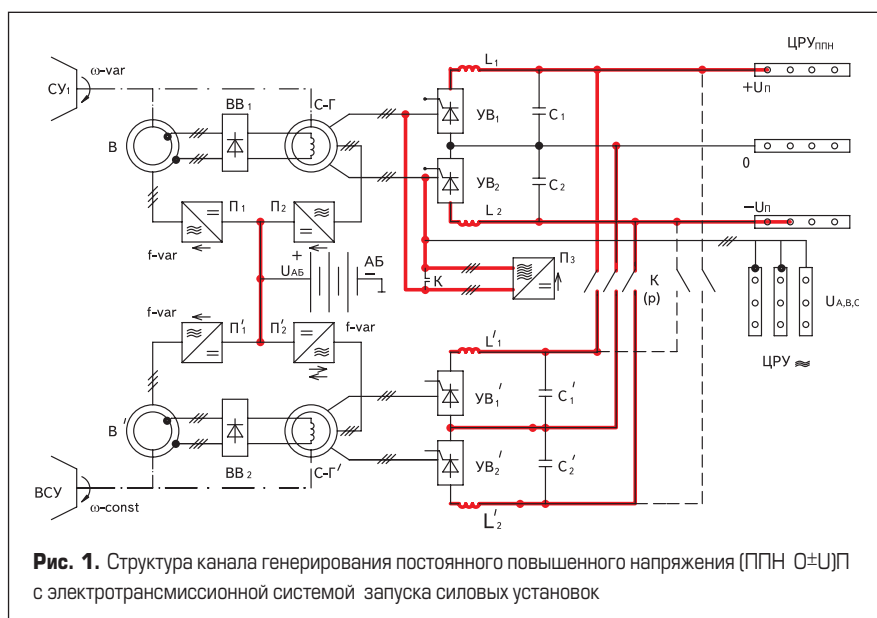


Рис. 1. Структура канала генерирования постоянного повышенного напряжения (ППН $0 \pm U$)П с электротрансмиссионной системой запуска силовых установок

с регулируемой частотой выходного напряжения. Это позволяет обеспечить бесконтактное возбуждение стартер-генераторов (С-Г и С-Г') через вращающиеся выпрямители ($ВВ_1$ и $ВВ_1'$) во всем диапазоне частот вращения в стартерном и в генераторном режимах.

Электрозапуск ВСУ производится при питании статорных обмоток В' и С-Г' от аккумуляторной батареи (АБ) через $П_1$ и обратимый преобразователь $П_2'$, работающий при этом также в режиме трехфазного инвертора с регулируемой частотой.

Электрозапуск маршевой силовой установки (СУ1) производится при питании статорных обмоток В и С-Г от С-Г' через канал $П_2$ - $П_1$ и через канал $УВ_{1-2}'$ — преобразователь $П_3$ соответственно. $П_3$ представляет собой шести-фазный инвертор с регулируемой частотой. Из всех пяти перечисленных статических преобразователей он является наиболее мощным, и поэтому заслуживает особого внимания.

Для обеспечения относительно кратковременного электрозапуска в принципе не нужна синусоидальная форма питающего напряжения, позволяющая снизить тепловые потери в стали магнитопровода стартер-генератора. Поэтому можно было бы удовлетвориться обычным шести-фазным транзисторным мостом (на базе шести парно-модульных IGBT-транзисторов). Однако такой инвертор с большой установленной максимальной (пиковой) мощностью имел бы малую степень ее использования. Применение такого инвертора для питания трехфазных потребителей вызвало бы необходимость использования слишком громоздкого LC-фильтра.

Предложенные в работах [2, 4-7] принцип «плавающего потенциала» или «транспортирования заряда», а также схемы построения инверторов синусоидального напряжения, позволяют путем минимальной модернизации традиционной мостовой схемы обеспечить не только электрозапуск всех маршевых СУ от ВСУ, но и питание центрального распределительного устройства трехфазного напряжения стабильной частоты (ЦРУ \approx). Это позволяет реализовать наиболее перспективную бортовую комбинированную систему электроснабжения «постоянного повышенного напряжения и трехфазного напряжения стабильной частоты» (ППН-трехфазный).

На рис. 2 приведена принципиальная схема регулируемого шести/трехфазного инвертора для вышеуказанной комбинированной системы электроснабжения. Схема содержит шесть однотипных полумостовых емкостно-транзисторных ячеек с дросселем в выходной диагонали. Путем ШИМ-управления транзисторами VT_1 и VT_2 производится периодическое перераспределение однополярных напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 емкостного делителя таким образом, что потенциал точки их соединения изменяется по синусоидальному закону относительно средней (нулевой) шины центрального распределительного устройства ППН (ЦРУ \approx).

В режиме электрозапуска разность фаз между потенциалами соседних ячеек составляет $\pi/3$, что обеспечивает шести-фазную питающую цепь ($U_{A,B,C}$ и $U_{A',B',C'}$). В режиме пита-

ния ЦРУ \approx фазовый сдвиг между двумя из группы первых трех или из группы вторых трех ячеек составляет $2\pi/3$, а обе группы работают синхронно, что позволяет объединить их с помощью ключа (К) в единый трехфазный инвертор, питающий ЦРУ \approx .

Рассмотренная комбинированная система (рис. 1) электроснабжения имеет существенный недостаток по отношению к громоздким транспортным объектам — наличие длинных и тяжелых шести-фазных кабелей, соединяющих $П_3$ и С-Г1-4. Возможен альтернативный вариант реализации электрозапуска СУ1-4 — без указанных кабелей. Если в качестве вентилялей управляемых выпрямителей $УВ_1$, $УВ_2$ применить запираемые тиристоры, на их выходах установить силовые реакторы (L_1 , L_2), а контактор (К) дополнить до контактного реверсора (Р) (дополнение показано пунктиром), то $УВ_1$ и $УВ_2$ при электрозапуске можно использовать в режиме шести-фазного инвертора тока. В этом варианте вместо централизованного трехфазного инвертора для нагрузок переменного тока целесообразней применять индивидуальные или групповые инверторы.

Во всех перечисленных вариантах в стартерном режиме С-Г и С-Г' можно использовать в качестве синхронных двигателей (с управлением по сигналам обратной связи от датчика положения ротора), а также в качестве асинхронных двигателей (с использованием мощной демпферной клетки). Во втором случае пусковой момент будет существенно меньше (особенно при явнополюсной конструкции синхронной машины), однако не потребуются цепи обратной связи по положению ротора.

Заключение

Рассмотренные два варианта реализации электротрансмиссионных систем запуска транспортных силовых установок (с централизованным транзисторным инвертором напряжения или с обратимыми выпрямителями-инверторами тока) представляются весьма эффективными, так как предполагают совмещение функций стартера и генератора в единой двухкаскадной синхронной машине

с асинхронизированным синхронным возбудителем.

Предложенные структуры бортовых каналов генерирования постоянного повышенного напряжения, а также комбинированных систем электроснабжения (постоянного и переменного тока), могут быть рекомендованы для таких перспективных транспортных средств, как самолеты с полностью электрифицированным оборудованием, дизель-поезда и тепловозы с электротрансмиссией, суда и др.

Литература

1. Резников С. Б. Самолетная система электроснабжения с распределенным преобразованием «Переменная скорость — стабильная частота» // Авиакосмическое приборостроение. 2004. № 4.
2. Резников С. Б. Самолетная система электроснабжения квазипостоянного повышенного напряжения. // Авиакосмическое приборостроение. 2004. № 4.
3. Резников С., Чуев Д., Савенков А. Пути модернизации автономных транспортных электротехнических комплексов с тяговой электротрансмиссией // Силовая электроника. 2005. № 4.
4. Резников С., Чуев Д., Савенков А. Новая структура универсальной тяговой схемы дизель-электропоезда с импульсным регулированием и защитой от перенапряжений // Силовая электроника. 2005. № 3.
5. Резников С. Б., Молочников А. Ю. Патент РФ на полезную модель №33274 от 10.09.2003. Обратимый импульсный преобразователь постоянных напряжений.
6. Резников С. Б. Новая концепция железнодорожных импульсных тяговых электроприводов на базе реверсивных активных делителей постоянного напряжения и много-режимных обратимых инверторов // Практическая силовая электроника. 2003. № 12.
7. Резников С., Булеков В., Болдырев В., Бочаров В. Новый принцип обратимого выпрямительно-инверторного преобразования с ШИМ-коррекцией мощности // Силовая электроника. 2005. № 1.

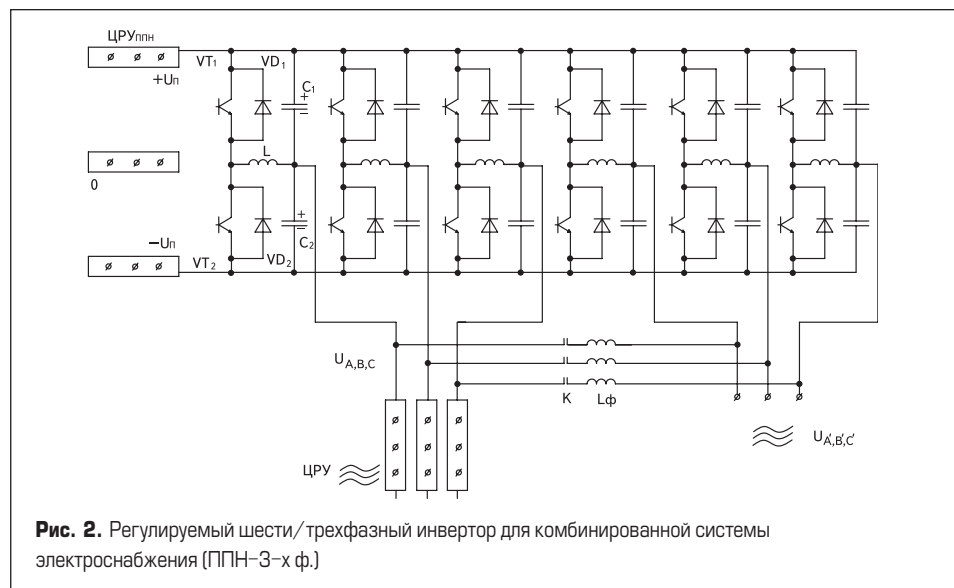


Рис. 2. Регулируемый шести/трехфазный инвертор для комбинированной системы электроснабжения (ППН-3-х ф.)