

УДК 621

Л.А. Потапов, Т.В. Смородова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Предложена конструкция генератора возвратно-поступательного движения с самовозбуждением без постоянных магнитов. С помощью программного комплекса CONSOL Multiphysics исследовано распределение магнитных полей при различных положениях подвижного магнитопровода. Приведена модель предложенного генератора в программе Electronics Workbench с указанием напряжений и токов в нагрузке и обмотках генератора.

Ключевые слова: генератор возвратно-поступательного движения, генератор с самовозбуждением, моделирование, магнитный поток.

Во всех транспортных устройствах (поездах, автомобилях) имеются амортизаторы, которые бесполезно утилизируют энергию возвратно-поступательного движения раскачивающегося на рессорах экипажа. Эту механическую энергию можно преобразовать в электрическую с помощью генератора возвратно-поступательного движения (ВПД). При этом генератор ВПД будет не только вырабатывать электрическую энергию, но и служить дополнительным демпфером-амортизатором.

Известно несколько различных конструкций генераторов ВПД [1]. Практически все эти генераторы используют в своей основе постоянные магниты, которые плохо обрабатываются, имеют большую стоимость, уменьшают свою намагниченность со временем, а некоторые постоянные магниты вообще размагничиваются при повышенных температурах. Все это ограничивает их широкое применение.

Между тем можно изготовить генератор без постоянных магнитов, если использовать генератор ВПД с самовозбуждением [2].

Возможна более простая конструкция магнитной цепи генератора ВПД (рис.1), которая более целесообразна при малых возвратно-поступательных перемещениях рабочего органа.

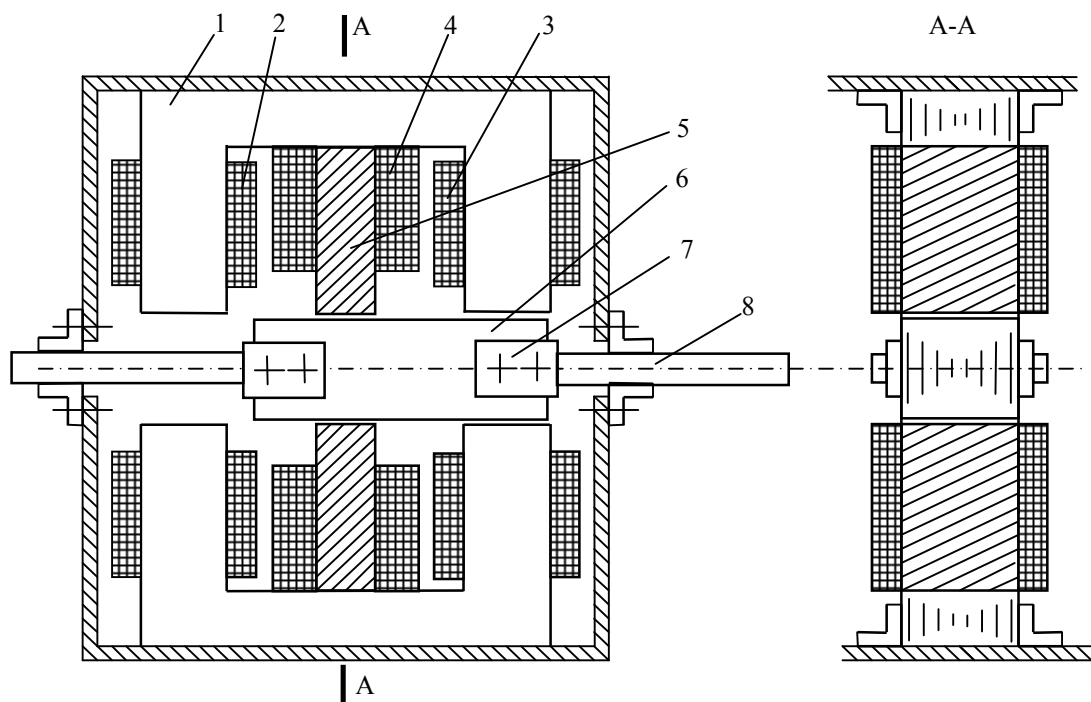


Рис.1. Генератор ВПД для малых возвратно-поступательных перемещений рабочего органа

Генератор содержит два неподвижных С-образных шихтованных магнитопровода 1 с генераторными обмотками 2 и 3 на противоположных концах (полюсах) каждого С-образного магнитопровода. Обмотки возбуждения 4 располагаются на сплошных ферромагнитных сердечниках 5 из высокоуглеродистой стали в середине С-образных магнитопроводов. Подвижный шихтованный магнитопровод 6 прямоугольной формы без зубцов расположен между неподвижными С-образными магнитопроводами. Он имеет устройство крепления 7 и направляющие 8, позволяющие ему совершать возвратно-поступательные движения от внешнего источника.

Генераторные обмотки ОГ_{1л} и ОГ_{1п}, расположенные на одном С-образном магнитопроводе, включены последовательно и встречно. Генераторные обмотки другого С-образного магнитопровода ОГ_{2л} и ОГ_{2п} включены аналогично. Они могут быть подключены последовательно или параллельно к генераторным обмоткам первого С-образного магнитопровода (рис. 2).

Переменный ток, получаемый генераторными обмотками, выпрямляется диодным мостом *VD*. На выходе диодного моста подключен конденсатор *C*, с него снимается напряжение на нагрузку и в обмотку возбуждения.

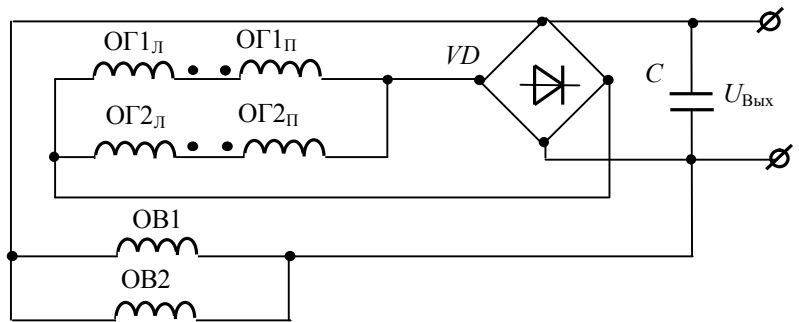


Рис. 2. Схема включения обмоток генератора

При возвратно-поступательном движении подвижного магнитопровода 6 магнитная цепь замыкается поочередно то с одного, то с другого конца С-образного магнитопровода. При этом если через одну генераторную обмотку магнитный поток возрастает, то через другую убывает, оставаясь практически неизменным в обмотке возбуждения. Изменяющийся магнитный поток наводит в генераторных обмотках ЭДС в противофазе

$$E = -d\Psi/dt,$$

где $\Psi = wBS$ – потокосцепление; w – число витков; B – магнитная индукция; S – сечение магнитопровода.

При последовательном и встречном включении обмоток, расположенных на одном С-образном магнитопроводе, эти ЭДС суммируются, затем выпрямляются диодным мостом и сглаживаются конденсатором *C*. Наличие двух С-образных магнитопроводов компенсирует силы притяжения подвижного магнитопровода к неподвижному.

Самовозбуждение генератора осуществляется следующим образом. В нерабочем состоянии сплошной ферромагнитный сердечник 5 из высокоуглеродистой стали сохраняет остаточную намагниченность и с обмоткой возбуждения 4 связан начальный магнитный поток. При запуске генератора перемещение подвижного магнитопровода 6 в одну сторону приведет к увеличению магнитного потока в одной генераторной обмотке и уменьшению в другой на каждом С-образном магнитопроводе. Затем при движении подвижного магнитопровода в другую сторону магнитный поток в первой генераторной обмотке будет уменьшаться, а в другой обмотке – увеличиваться. Это приведет к возникновению в генераторных обмотках переменных напряжений в противофазе. При последовательном и встречном включении обмоток возбуждения напряжения суммируются, затем выпрямляются диодным мостом и сглаживаются конденсатором *C*. С появлением напряжения на конденсаторе *C* появляется ток в обмотке возбуждения 4. При этом магнитный поток в сердечнике 5 и магнитопроводе 1 увеличится. При дальнейших возвратно-поступательных движениях подвижного магнитопровода 6 напряжение в генераторных обмотках 2 и 3 будет постепенно возрастать, напряжение на конденсаторе *C* и ток в обмотке возбуждения 4

тоже будут возрастать. Все это приведет к постепенному увеличению магнитного потока в магнитной цепи до тех пор, пока ее отдельные участки не войдут в режим насыщения. При этом магнитный поток в ферромагнитном сердечнике 5 будет оставаться практически неизменным, и его можно выполнить сплошным (нешихтованным). Подвижный и неподвижные С-образные магнитопроводы выполнены шихтованными, так как у них магнитный поток будет изменяться в соответствии с частотой возвратно-поступательных движений.

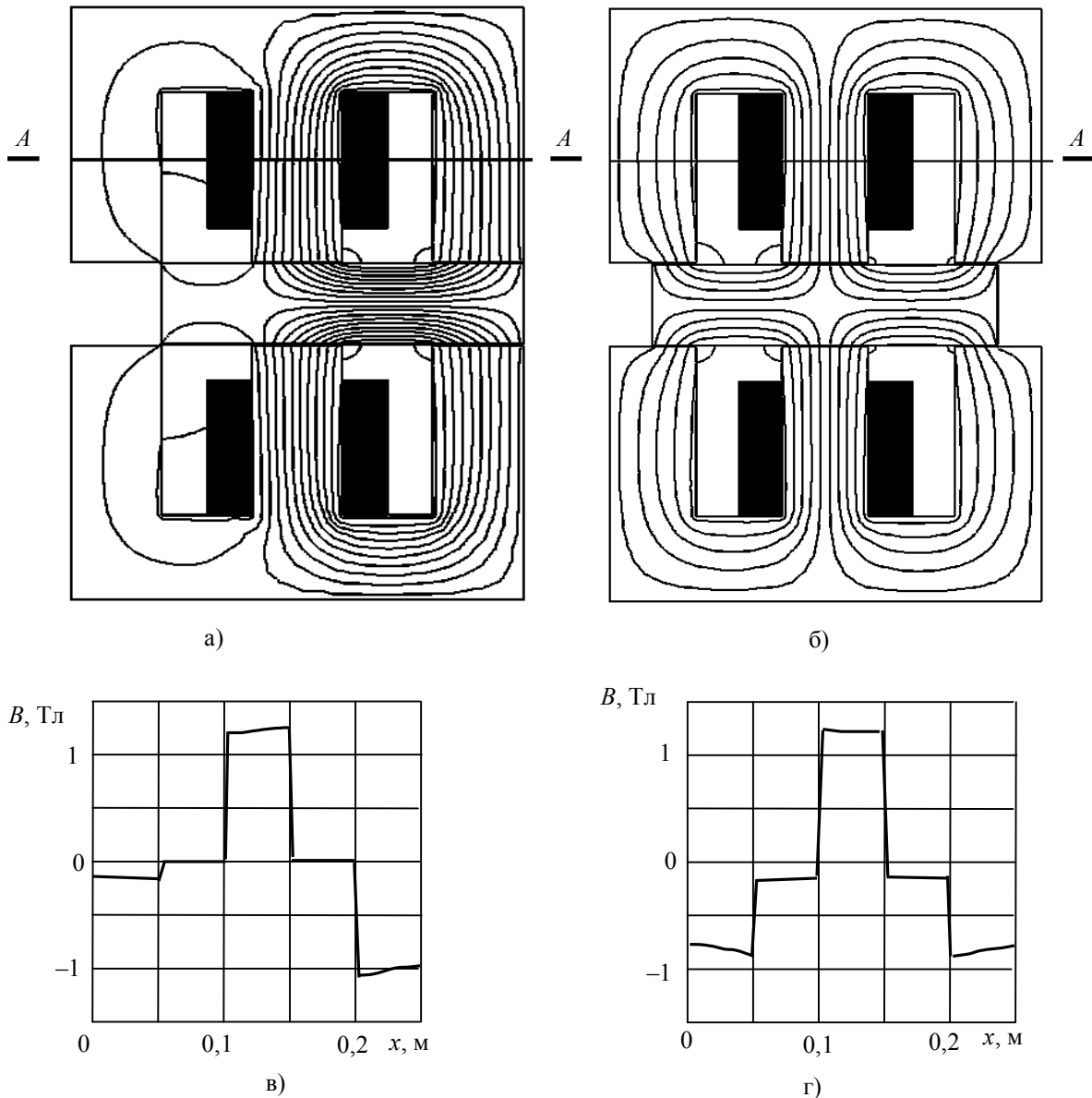


Рис. 3. Моделирование магнитной цепи генератора возвратно-поступательного движения с малым ходом подвижного магнитопровода: а – магнитопровод справа; б – магнитопровод в центре; в, г – графики распределения магнитной индукции для соответствующих положений магнитопровода

Для исследования особенностей распределения магнитных потоков в магнитопроводах выполнено численное моделирование магнитной цепи генератора (рис. 3) с помощью программного комплекса Electronics Workbench. Результаты моделирования магнитной цепи генератора ВПД приведены для двух характерных режимов, когда подвижный магнитопровод находится в центре и одном из крайних положений. Распределение магнитных потоков в генераторе иллюстрируется с помощью трубок равного магнитного потока.

Чем уже трубка, тем больше магнитная индукция в соответствующем месте магнитопровода. Численные значения магнитной индукции получены для сечения А-А, проходящего через середину обмотки возбуждения (рис. 3 б, г). Из сравнения графиков видно, что магнитный поток через центральный стержень магнитопровода остается практически неизменным. При этом в других стержнях магнитопровода магнитная индукция изменяется в соответствии с положением подвижного магнитопровода от 0,2 до 1Тл.

На рис. 4 представлена динамическая модель генератора ВПД, полученная с помощью программы Electronics Workbench. В качестве примера рассмотрен генератор ВПД малой мощности, имеющий частоту возвратно-поступательных движений 6 Гц.

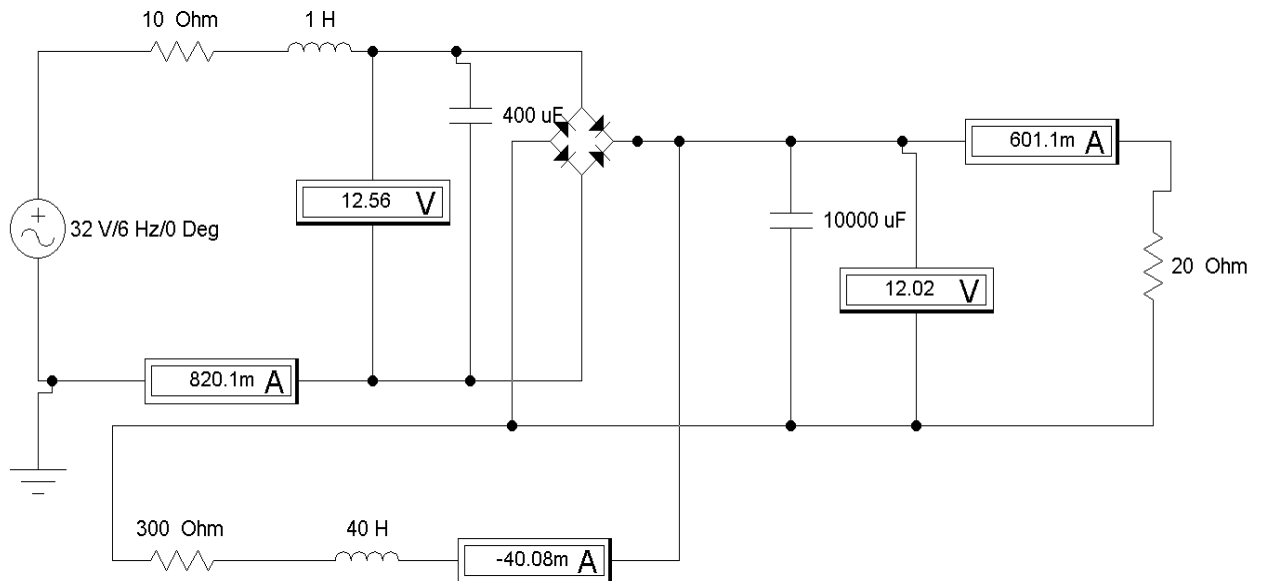


Рис. 4. Модель генератора ВПД с самовозбуждением в программе Electronics Workbench

Созданная в генераторных обмотках ЭДС представлена на модели источником синусоидального напряжения. Эта ЭДС определяется уравнением

$$E = 4,44 f w B_m S,$$

где f – частота возвратно-поступательных движений; w – число витков генераторных обмоток; S – сечение магнитопровода; B_m – амплитуда магнитной индукции.

Все четыре генераторные обмотки представлены активным сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 1 Гн, а две обмотки возбуждения, имеющие большое число витков для создания большой МДС при малом токе, представлены активным сопротивлением 300 Ом и индуктивностью 40 Гн.

После выпрямления синусоидального напряжения диодным мостом и сглаживания конденсатором (10000 мкФ) генератор ВПД имеет на выходе постоянное напряжение 12 В. При этом в сопротивлении нагрузки 20 Ом выделяется полезная активная мощность 7,2 Вт при постоянном токе 600 мА, а небольшая мощность порядка 0,5 Вт используется для питания обмоток возбуждения.

Предложенные конструкции генераторов возвратно-поступательного движения с самовозбуждением являются простыми в изготовлении, не содержат дефицитных и дорогостоящих материалов и могут быть применены не только на транспорте, но и в других устройствах с возвратно-поступательным движением.

Установив подобный генератор в автомобиле или железнодорожном вагоне вблизи рессор, можно получить практически бесплатный источник электрической энергии для подзарядки аккумуляторных батарей. Учитывая большое количество транспортных

средств, перемещающихся по различным дорогам, можно внести ощутимый вклад в дело энергосбережения даже при небольшой мощности предлагаемых генераторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хитерер, М.Я. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения / М.Я. Хитерер, И.Е. Овчинников.– СПб.: Корона Принт, 2008. – 368 с.
2. Линейный генератор возвратно-поступательного движения: пат. 2496216 Рос. Федерация: МПК Н02К35/00 / Потапов Л.А., Смородова Т.В.; заявитель и патентообладатель Брян. гос. техн. ун-т. – №2012108778/07; заявл. 07.03.12; опубл. 20.10.13, Бюл. № 29. – 4с.

Материал поступил в редколлегию 2.12.14.