

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

309-1

**12-14 ноября 2020 года**

---

**УДК 621.314**

А.А.МЕДНОВ, младший научный сотрудник (УГАТУ)  
Научный руководитель Л.Э. РОГИНСКАЯ, д.т.н., профессор (УГАТУ)  
г.Уфа

**ГИБРИДНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР С ВРАЩАЮЩИМСЯ  
МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ: КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ  
РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ**

Технологичность изготовления изделий в области электротехники – весомый аргумент в пользу снижения затрат на их производство. Стандартизация и унификация в узлах изделия также существенно влияют на результирующую стоимость и ремонтопригодность. Типовые решения имеют широкое распространение в разных областях промышленности [1-3]. Кроме вышеупомянутого, от применения унифицированных и стандартных изделий предприятие получает ряд позитивных эффектов: отсутствие затрат на освоение инновационных технологий; простота и доступность многих из них на рынке; экономия времени на освоение изделия в производстве. Актуальны преимущества от таких решений и в области электротехники

Для обеспечения технологичности изготовления магнитопроводов трансформаторов рациональным можно считать решение применять магнитную систему асинхронного электрического двигателя. В связи с чем проектирование выпрямительного трансформатора рационально начать с магнитной системы. Магнитная система трансформатора с вращающимся магнитным полем собирается в пакет из листов ферромагнитных сплавов, чаще всего роль которых выполняют электротехнические стали, но необходимость повышения удельной мощности преобразователей электроэнергии приводит к освоению инновационных материалов в конструкции их активной части. Так, существует спроектированная авторами магнитная система, структура которой содержит несколько магнитопроводящих материалов, степень включения в работу которых соответствует величине мгновенного магнитного сопротивления каждого из применяемых материалов при определенном уровне напряженности магнитного поля [4].

В разработанной конструкции магнитной системы трансформатора могут быть использованы, например, сталь электротехническая (материал № 1) и сплав прецизионный (материал № 2) с высоким показателем индукции насыщения (рис. 1). В листах каждого ферромагнитного материала производится выштамповка пазов и осуществляется их сборка в магнитную систему с заданным чередованием листов из применяемых

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
309-2**  
**12-14 ноября 2020 года**

материалов. Аналогичные магнитопроводы, не прошедшие через выштамповку пазов, могут применяться в конструкции магнитных систем беспазовых электрических машин.

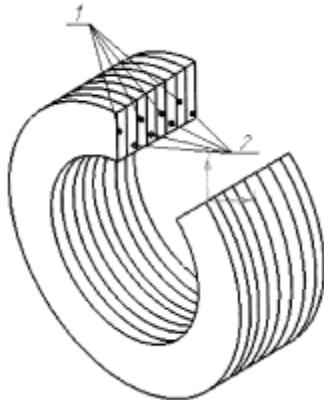


Рис. 1. Гибридная магнитная система

1 – электротехническая сталь, 2 – прецизионный магнитомягкий сплав.

Результирующие электромагнитные характеристики таких магнитопроводов описываются следующими уравнениями:

$$B(H) = \frac{\Phi(H)}{S} = \eta_1 B_1(H) + \eta_2 B_2(H), \quad (1)$$

где  $\Phi(H) = S_1 B_1(H) + S_2 B_2(H)$  – суммарный магнитный поток магнитопровода;

$S_1$  и  $S_2$  – площади в поперечных сечениях материалов №1 и №2 магнитопровода, в сумме равных общему сечению магнитопровода трансформатора  $S$ ;

$B_1(H)$  и  $B_2(H)$  – соответствующие точки на кривых намагничивания для каждого из материалов при заданном уровне напряженности;

$$\eta_1 = \frac{S_1}{S_1 + S_2}; \eta_2 = \frac{S_2}{S_1 + S_2}; \eta_1 + \eta_2 = 1 \quad \text{– доли площадей материалов в}$$

общей площади магнитопровода.

Магнитная проницаемость такой магнитной системы равна:

$$\mu_r = \frac{B(H)}{\mu_0 H} = \eta_1 \mu_1 + \eta_2 \mu_2, \quad (2)$$

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
309-3**  
**12-14 ноября 2020 года**

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – начальные магнитные проницаемости материалов №1 и №2.

Определение электромагнитных параметров трансформатора невозможно без исходных данных для проектирования (таблица 1).

Таблица 1

**Исходные данные для проектирования трансформатора**

<i>Параметр</i>	<i>Значение</i>
Входное 3-фазное напряжение, В	115
Выходное выпрямленное напряжение, В	12
Выходная мощность, кВт	5
Входная частота, Гц	400
Номинальный выпрямленный ток, А	330
Марка стали	2421/49К2ФА
Материал обмотки	медь

Конструктивные особенности разработанного трансформатора заключаются в размещении в пазах вторичной и первичной обмоток на внешнем магнитопроводе. Имеющийся внутренний магнитопровод не имеет обмоток и зафиксирован соосно внешнему на неподвижных опорах. Схематичное расположение обмоток и магнитопроводов изображено на рис. 2.

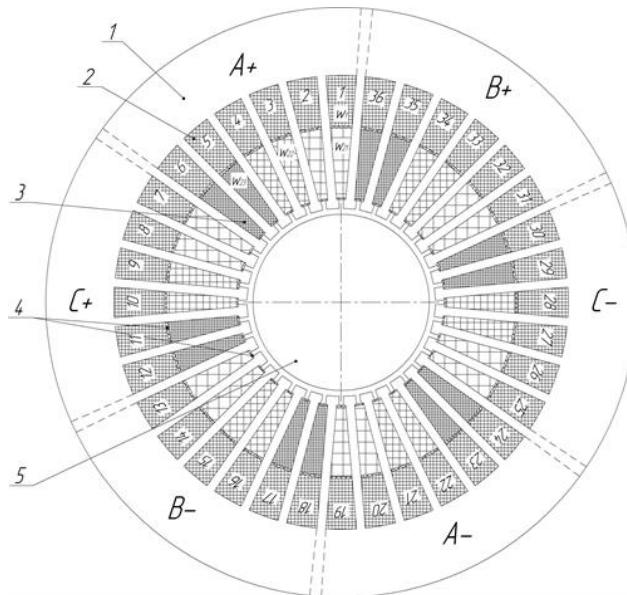


Рис. 2. Трансформатор с вращающимся магнитным полем  
1–внешний магнитопровод, 2–первичная обмотка трансформатора,  
3,4–вторичные обмотки, 5–внутренний магнитопровод.

Количество пазов в магнитопроводе данного трансформатора с вращающимся магнитным полем равно:

$$Z = 2pmq, \quad (3)$$

где  $p$  – количество пар полюсов в трансформаторе;

$m$  – число фаз питающей сети;

$q$  – число пазов на полюс и фазу.

В разработанной конструкции первичная обмотка располагается во всех пазах, а вторичная обмотка укладывается по определенному закону. Общеизвестно, что выпрямительный трансформатор имеет многофазную вторичную обмотку, у которой сдвиг фаз определяется геометрическим смещением вторичных обмоток относительно первичной по пазам. У трансформатора с 36 пазами в магнитопроводе, разработанного для применения в составе 18-пульсного выпрямителя, сдвиг фаз соседних катушек обмотки равен  $20^\circ$  (рис. 3).

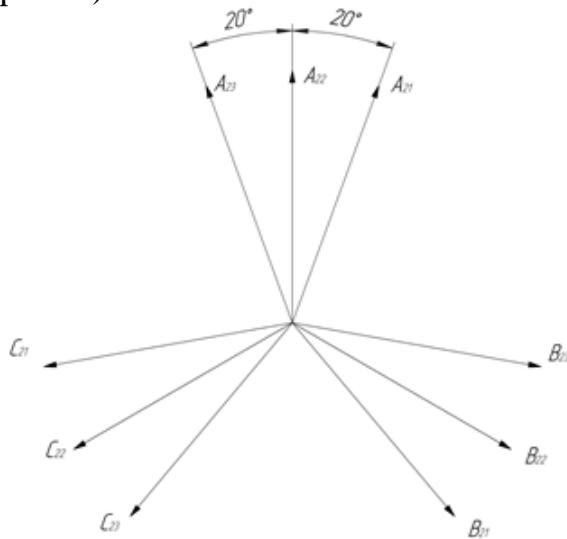


Рис. 3. Векторная диаграмма напряжений вторичных обмоток трансформатора с вращающимся магнитным полем

Таким образом, применение трансформаторов, магнитная система которых имеет высокую степень унификации с магнитной системой традиционных электродвигателей, таких как асинхронные электрические машины, позволяет достичь ряд экономических эффектов и сократить время на освоение инноваций. А применение гибридных магнитных систем позволяет сочетать в магнитной системе достоинства различных конструкционных материалов.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
12-14 ноября 2020 года**

---

---

309-5

Список литературы:

1. Схиртладзе А. Г., Ярушин С. Г. Проектирование нестандартного оборудования. – М.: Новое знание, 2006. – 424 с.
2. Кононенко В. Г., Кушнаренко С. Г., Прялин М. А. Оценка технологичности и унификации машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.
3. Марков А.Б., Лялин В.Н., Волобуев Е.В. Оценка ремонтопригодности сборочной единицы // Наука и военная безопасность. – СПб, 2019. № 4 (19). – С. 57-66.
4. Патент РФ 2656861 Магнитопровод трансформатора (варианты) / Вавилов В.Е., Гусаков Д. В. Исмагилов Ф. Р., Меднов А. А. Минияров А. Х., Хайруллин И. Х. // Бюл. – 2018. – № 16.

Информация об авторах:

Меднов Антон Александрович, младший научный сотрудник кафедры Электромеханика, УГАТУ, 450000, г.Уфа, ул. Карла Маркса д.12 корп.4. e-mail: [antonkind@inbox.ru](mailto:antonkind@inbox.ru)

Рогинская Любовь Эммануиловна, д.т.н., профессор кафедры Электромеханика, УГАТУ, 450000, г.Уфа, ул. Карла Маркса д.12 корп.4.  
e-mail: [roginskaya36@mail.ru](mailto:roginskaya36@mail.ru)