

---

УДК 621.314

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

### **СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВХОДНЫХ МНОГООБМОТОЧНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Совершенствование технологий в области электротехнологии существенно связано с уровнем развития науки и техники. Технологические инновации дают возможность совершенствования качества термообработки, повышения энергоэффективности электроустановок, снижения производственных издержек. В такой системе как электротехнологическая установка индукционного нагрева (ЭТУИН), высока важность каждого звена, но ключевым элементом в любой электроустановке можно считать её источник питания (ИП), от которого зависят энергетические характеристики, такие как глубина закаленного слоя в обрабатываемой детали, количество параллельно обрабатываемых зон одной детали, мощность установки, влияющая на скорость разогрева и размеры разогреваемой детали [1]. ИП ЭТУИН осуществляет ступенчатое преобразование большинства электрических параметров на пути от сети до нагрузки – индуктора, минуя основные ступени: выпрямление, инвертирование, согласование с нагрузкой. Каждая из указанных ступеней является отдельным объектом разработок и исследований.

Выпрямительный блок большинства ИП ЭТУИН включает преобразователи переменного напряжения в постоянное – полупроводниковые выпрямители, которые по своей структуре могут быть как управляемыми, так и неуправляемыми. Схемы соединения полупроводниковых ключей, встречающиеся в электротехнической литературе, весьма разнообразны [2]. Но независимо от схемы соединения, подключение к сети рациональнее осуществлять с использованием согласующего устройства – трансформатора. Их в литературе называют выпрямительными трансформаторами [3]. К преимуществам его использования относится создание гальванической развязки и повышение электромагнитной совместимости с питающей сетью. По конструкции выпрямительные трансформаторы мало отличаются от силовых многообмоточных трансформаторов. Классическая структура многообмоточного трансформатора подразумевает наличие одной первичной и нескольких вторичных обмоток, каждая из которых соединена по определенной схеме соединения, например, в звезду или треугольник.

Магнитная система выпрямительного трансформатора чаще всего имеет стержневую или броневую конструкцию с вертикальными стержнями. Магнитная система выпрямительного трансформатора представлена на рис. 1.



Рис. 1. Стержневая конструкция гибридного магнитопровода выпрямительного трансформатора

Существенным недостатком стержневых и броневых магнитных систем является разность в длине средних линий магнитного потока у разных фаз, вследствие чего наблюдается разность значений тока холостого хода между фазами, обмотки которых расположены на крайних стержнях и фазы, обмотки которой расположены на среднем стержне.

Этих недостатков не наблюдается в пространственных магнитных системах. В качестве примера такой магнитной системы может выступать магнитопровод трансформатора Минского электротехнического завода, внешний вид которого представлен на рис. 2 [4].

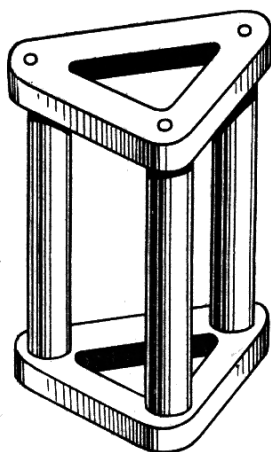


Рис. 2. Пространственный магнитопровод трансформатора Минского электротехнического завода

Недостаток пространственных магнитопроводов – суммарный поток в стержне в  $\sqrt{3}$  раз больше половины суммы фазных потоков.

Иным вариантом магнитной системы, лишенной подобных недостатков является магнитная система цилиндрической формы с выштампованными или вырезанными пазами, аналогично пакету статора асинхронной электрической машины. Трансформатор, обладающий схожей магнитной системой, имеется в преобразователях частоты компании *Siemens* (рис. 3) [5].

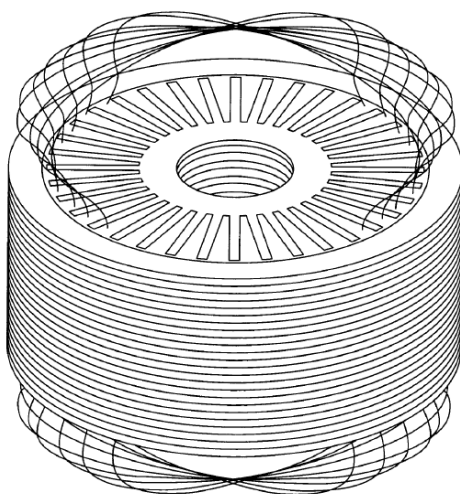


Рис. 3. Трансформатор с вращающимся магнитным полем фирмы *Siemens*

Таким образом, популярные в производстве трансформаторов броневые и стержневые типы магнитных систем имеют недостатки, связанные с неравенством длин магнитных потоков от разных фаз. Однако, в разряде инноваций существуют конструкции магнитопроводов, которые решают задачу выравнивания длин магнитных потоков и соответственно токов холостого хода, благодаря чему считаются более эффективными. При этом наиболее перспективными решениями в виду своей высокой технологичности видятся магнитные системы цилиндрической формы, наиболее схожие с магнитопроводами вращающихся электрических машин.

#### Список литературы:

1. Wesołowski, M. & Niedbała, R. Simulation of multi-zone, multi-frequency induction heating systems. 2014; 90. pp.225-229. DOI:10.12915/pe.2014.02.57.
2. Marinov, Angel.. Specialized power electronics converter for channel-type industrial induction heating furnaces. 2014 18th International

---

Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2014 - Proceedings. 1-6. DOI: 10.1109/SIELA.2014.6871871.

3. Tao Xi, Wang Shuhong, Fu You, Yuan Dong, Wang Song. Optimal design of rectifier transformer. 2015. pp.376-377. DOI:10.1109/ASEMD.2015.7453620.

4. Дубатов Б.П. Производство трансформаторов мощностью до 630 кВ-а (I и II габаритов) / Б.П. Дубатов ; Под ред. С.И. Рабиновича. - Москва : Энергия, 1977. - 112 с. : ил.; 20 см. - (Трансформаторы; Вып. 31).

5. US Patent 7948340. Three-phase multi-winding device / Rastogi M., Osman R.H., Hammond P.W., Aiello M.F. Issue date: May 24, 2011.

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)