ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА
Том 161 1967

НОВЫЙ ВАРИАНТ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСФОРМАТОРА, РЕГУЛИРУЕМОГО ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ШУНТА

В. П. ОБРУСНИК

(Рекомендовано научным семинаром электромеханического факультета)

В настоящее время известно большое количество различных конструкций трансформаторов, регулируемых подмагничиванием шунтов (ТРПШ) [1, 2 и др.]. Они представляют определенный практический интерес как регуляторы переменного тока и напряжения и можно было бы назвать широкий перечень электрических систем регулирования, где ТРПШ успешно применяется. Однако эти аппараты не лишены недостатков, к числу которых можно отнести наведение переменной э.д.с. нечетных гармоник в управляющих обмотках. Это очень серьезный недостаток, так как при большом числе витков управляющей обмотки в ней могут возникать большие перенапряжения, достигающие нескольких киловольт и более, что опасно для изоляции и недопустимо по технике безопасности.

В существующих конструкциях ТРПШ для уменьшения перенапряжений в управляющих цепях применяется секционирование подмагничивающих обмоток с последующим перекрестным включением секций, лежащих на разных стержнях шунта. Секционирование дает определенный эффект, но не исключает наведения нечетной э.д.с. и добавляет значительные технологи-

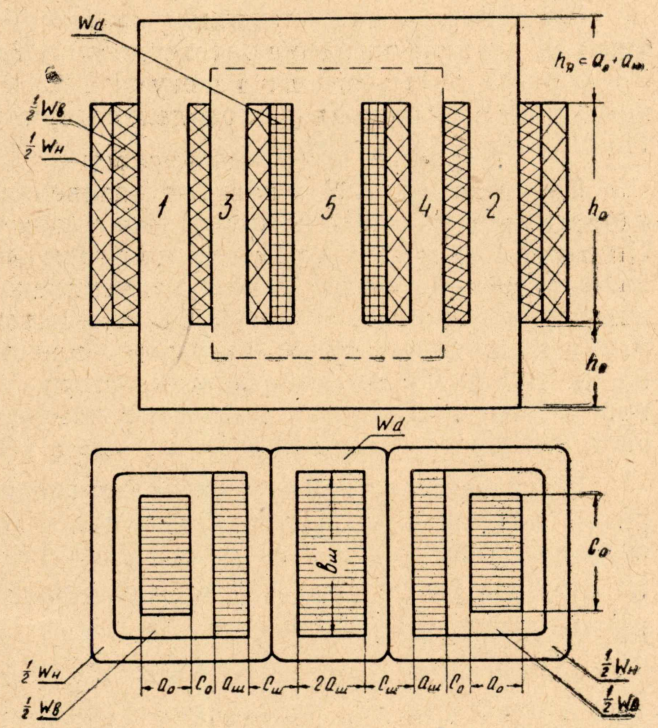

Рис. 1.

ческие трудности при изготовлении аппарата, так как каждая секция должна иметь два вывода и быть тщательно изолирована.

На рис. 1 представлена предлагаемая автором новая конструкция пятистержневого ТРПШ, позволяющая полностью исключить указанный выше недостаток не прибегая к секционированию управляющих обмоток. От уже известных она отличается формой магнитопровода и расположением обмоток. Функциональная схема соединения обмоток показана на рис. 2.

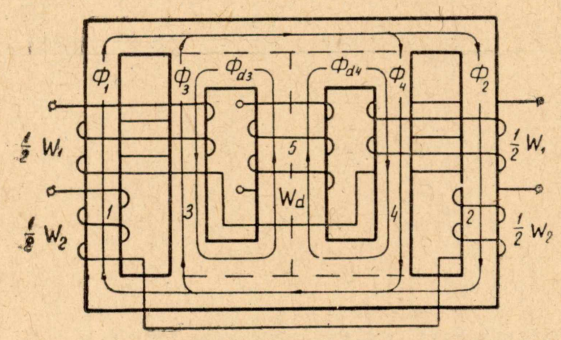

Рис. 2.

Здесь приняты обозначения:

$W_н$, $W_в$ — наружная и внутренняя обмотки переменного тока.

W_d — обмотки управления.

h_0 — высота окна.

a_0, b_0 — ширина и толщина сердечников 1, 2, относящихся к основному магнитопроводу.

$a_ш$, $b_ш$ — ширина и толщина сердечников 3, 4, 5 относящихся к магнитопроводу шунта.

c_0 — ширина окна основного магнитопровода.

$c_ш$ — ширина окна магнитопровода шунта.

$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ — переменные потоки, протекающие, соответственно, по стержням 1, 2, 3, 4.

Φ_d — постоянный подмагничивающий поток, созданный управляющими обмотками.

Магнитную систему аппарата мысленно можно представить состоящей из двух магнитопроводов, слитых воедино: наружного, основного магнитопровода (стержни 1, 2 и участки ярем) и внутреннего, магнитопровода шунта (стержни 3, 4, 5 и участки ярем). На рисунке 1 они условно разделены пунктиром.

На стержнях 1, 2 основного магнитопровода помещаются катушки переменного тока $W_в$ которые назовем внутренней рабочей обмоткой. Стержни 1, 3 и 2, 4, относящиеся к основному магнитопроводу и магнитному шунту, вместе с расположенными между ними катушками внутренней рабочей обмотки охватываются катушками наружной обмотки переменного тока $W_н$. Схема соединений этих катушек показана на рис. 2. Обеим обмоткам переменного тока, внутренней и наружной, можно присваивать наименование «первичная» или «вторичная», в зависимости от того, включаются они в сеть или на нагрузку.

На среднем стержне магнитопровода шунта, обозначенном на рис. 1 цифрой 5, помещается катушка с управляющими обмотками (в общем случае управляющих обмоток может быть несколько). Ширина стержня 5 в два раза больше ширины стержней 3, 4. Весь магнитопровод симметричен относительно осевых линий.

Отличительной особенностью предлагаемой конструкции является то, что управляющие обмотки W_d расположены не на охватываемых рабочими обмотками стержнях, как это принято, а вынесены отдельно на специально предусмотренный для них стержень 5.

Картину распределения потоков в магнитной системе аппарата при его работе можно представить по рисунку 2.

Если нагрузка отключена, то переменный поток замыкается только по стержням 1, 2, 3, 4, поскольку в стержне 5 он будет взаимно вычитаться. При включенной нагрузке и наличии управляющего сигнала, в стержне 5 возможно изменение индукции только четного порядка. Таким образом, во всех режимах работы ТРПШ исключена возможность наведения э.д.с. нечетных гармоник в его управляющих обмотках.

Поток Φ_d, созданный намагничивающей силой управляющих обмоток, замыкается, в основном, по магнитопроводу шунта, то есть через стержни 5, 3, 4 и участки ярем. Изменяя величину Φ_d, можно менять постоянную составляющую индукции этого магнитопровода.

Часть общего переменного намагничивающего потока — Φ_3 и Φ_4, ответвляясь в стержни магнитного шунта 3, 4, не сцепляется с витками вторичной обмотки и не наводит в ней э.д.с. В результате — коэффициент связи между рабочими обмотками меньше единицы. Изменяя подмагничиванием постоянную составляющую индукции в сердечниках 3, 4, можно управлять количеством ответляющегося в них переменного потока, а тем самым, и величиной вторичной э.д.с.: под нагрузкой от 0 до $U_1 \frac{W_2}{W_1}$, и в холостую от $U_1 \frac{W_2}{W_1} \cdot \frac{S_0}{S_0 + S_ш}$, до $U_1 \frac{W_2}{W_1}$, где $S_0 = a_0 b_0$, $S_ш = a_ш b_ш$.

Предлагаемая здесь и известные ранее конструкции ТРПШ имеют практически одинаковую физику происходящих процессов и характер статических и динамических характеристик. Параметры предлагаемого ТРПШ можно рассчитывать, используя литературу [1, 2, 3]. Оптимальные соотношения геометрических размеров даются в табл. 1.

Предлагаемый вариант конструкции ТРПШ был изготовлен и испытан автором на кафедре электрификации промпредприятий Томского политехнического института.

При отсутствии обратных связей аппарат может использоваться как регулятор тока. При наличии глубокой положительной обратной связи по току с коэффициентами $K_{ос} = W_{ос}/W_н = 1 \div 1{,}03$, когда обмотка обратной связи включается последовательно с наружной рабочей обмоткой и $K_{ос} = W_{ос}/W_в = 1 \div 1{,}03$, когда она включается последовательно с внутренней рабочей обмоткой, ТРПШ имеет жесткие внешние характеристики и обладает высокой чувствительностью к управляющему сигналу. В этом случае он может использоваться как регулятор напряжения.

Габариты и вес предлагаемого ТРПШ не больше, а в некоторых случаях меньше, чем у известных конструкций. Наиболее компактной и удобной в изготовлении конструкция получается при сечениях шунта, близких по величине к сечению основного магнитопровода, а именно, когда $S_ш/S_0 = 1 \div 0{,}7$. Математический анализ оптимальных размеров магнитопровода позволяет для указанных соотношений $S_ш/S_0$ рекомендовать следующие данные (см. табл. 1).

Таблица 1

	$\frac{h_0}{a_к}$	$h_я$	$\frac{c_0}{a_0}$	$\frac{b_0}{a_0}$	$b_ш$	$\frac{c_ш}{a_0}$	$a_ш$
Для минимальных габаритов	5	$a_0 + a_ш$	$0{,}45 \div 0{,}5$	2,5	$b_0 + c_0$	$1 \div 1{,}2$	$\frac{S_ш}{b_ш}$
Для минимильного веса	5	»	$0{,}8 \div 1$	3,0	»	$1{,}9 \div 2$	»

При пользовании таблицей сечение основного магнитопровода нужно рассчитывать пользуясь выражениями:

для минимальных габаритов

$$S_0 = \frac{10^4}{5{,}8a_0} \cdot \sqrt{\frac{P_1}{B_{то} \cdot j \cdot k_м \cdot k_с}},$$

для минимального веса

$$S_0 = \frac{10^4}{8{,}4a_0} \cdot \sqrt{\frac{P_1}{B_{то} \cdot j \cdot k_м \cdot k_с}},$$

где: $P_1 = U_1 \cdot I_{1\,ном}$ [*ва*] — габаритная мощность ТРПШ;

$B_{то}$ [*гс*] — амплитудное значение индукции в основном магнитопроводе при полном насыщении шунтов (выбирается чуть ниже колена перегиба основной кривой намагничивания сердечников 1, 2);

j, $k_м$ — усредненные плотность тока и коэффициент заполнения медью для рабочих обмоток.

$$k_м \cong 0{,}3 \div 0{,}4, \quad j \cong (200 \div 300);$$

$k_с$ — коэффициент заполнения стали.

Шихтовка магнитопровода — обычная для пятистержневых сердечников.

Предлагаемый новый вариант конструкции ТРПШ можно рекомендовать для практического применения наряду с другими конструкциями ТРПШ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Бамдас, В. А. Сомов, А. С. Шмидт. Трансформаторы и стабилизаторы, регулируемые подмагничиванием шунтов. Госэнергоиздат, 1959.
2. А. М. Бамдас, С. В. Шапиро, О. Д. Гатманенко. Определение оптимальных конструкций трансформаторов и автотрансформаторов, регулируемых подмагничиванием, и их расчет. Труды ГПИ им. А. А. Жданова, том XVIII, вып. 1, 1962.
3. В. П. Обрусник. Определение параметров шунтов ТРПШ, оптимальных для заданного режима его работы. Известия ТПИ им. С. М. Кирова, том 117, 1963.