

М. П. БАДЕР, В. П. СЕМЕНЧУК (МИИТ, Москва, Российская Федерация),  
В. Г. СЫЧЕНКО (ДИИТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА СМЕЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

Розглянуто результати дослідження впливу пристроїв автоматичного регулювання напруги на суміжні пристрої.

Рассмотрены результаты исследования влияния устройств автоматического регулирования напряжения на смежные устройства.

Research results of voltage autocontrol devices' influence on adjacent devices are considered.

### 1. Анализ состояния проблемы и постановка задачи работы

Любое преобразование электрической энергии связано с искажением кривой сетевого тока и появлению гармоник высшего порядка. К настоящему времени на железных дорогах стран СНГ успешно применяются тяговые трансформаторы с устройствами бесконтактного автоматического регулирования напряжения (БАРН) с 6-фазным и 12-фазным режимом выпрямления. Разработан и проходит опытную эксплуатацию тяговый агрегат с 24-фазным выпрямлением. На сегодняшний день предлагается также применение усовершенствованных преобразовательных агрегатов с расширенными функциями. Структура такого преобразовательного агрегата для тяговых подстанций, показана на рис. 1. Она содержит основной выпрямитель (ОВ) по традиционной 12-пульсной схеме и обратимый вольтодобавочный преобразователь ЗВ с широтноимпульсной модуляцией на запираемых приборах с диапазоном регулирования напряжения порядка  $\pm 20\%$ , компенсирующий недостатки основного выпрямителя с точки зрения его электромагнитной совместимости с контактной сетью (КС) и питающей сетью (ПС) [1].

В частности, вольтодобавка может выступить в качестве активного фильтра (АФ) канонических и неканонических гармоник выходного напряжения основного выпрямителя, что позволяет облегчить выходной пассивный фильтр, который в настоящее время по массе и потерям энергии соизмерим с сетевым трансформатором.

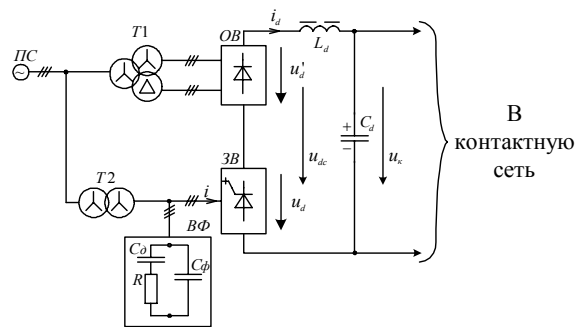


Рис 1. Структура преобразовательного агрегата для тяговых подстанций

В настоящее время зарубежными фирмами освоены новые полупроводниковые приборы: силовые запираемые тиристоры типа GTO, GCT, IGCT и силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором типа IGBT. Аналогичные полупроводниковые приборы осваивают и отечественные предприятия. Для создания 12-, 24-пульсовых выпрямительно-инверторных преобразователей тяговых подстанций наиболее эффективными полупроводниковыми приборами являются мощные биполярные транзисторы с изолированным затвором типа IGBT на ток 1800 А и напряжение 1700 В или на ток 2000 А и напряжение 3300 В и мощные запираемые тиристоры с интегрированным управлением типа IGCT на токи 3000...4000 А и напряжение 4500...6000 В.

Используя силовые IGBT транзисторы на указанные токи и напряжения, можно сделать инверторы для тяговых подстанций по 12- и 24-пульсовым схемам инвертирования мощностью 2,4 и 6 МВт на номинальные токи соответственно 600 А, 1200 А и 1800 А, а используя IGCT тиристоры, можно создать тиристорные

преобразователи мощностью 5 МВт и 10 МВт на токи 1600 А и 3150 А.

В то же время реальных исследований влияния устройств преобразовательной техники с функциями регулирования напряжения тяговых подстанций постоянного тока на смежные устройства не проводится, а выводы об их эффективности базируются на данных электронного моделирования, не учитывающего реальных условий функционирования. Несмотря на то, что приведенные ниже результаты исследований выполнены более двадцати лет назад, мы считаем, что они не утратили свою актуальность и сейчас и должны учитываться разработчиками современных устройств преобразовательной техники.

## 2. Цель работы

Настоящая статья посвящена рассмотрению влияния работающих устройств бесконтактного регулирования напряжения со смежными устройствами.

## 3. Исследование влияния БАРН на смежные устройства

Для определения электромагнитной совместимости преобразователей, оснащенных БАРН, со смежными устройствами проводились экспериментальные исследования на Октябрьской ж.д. При этом осуществлялись подробные исследования спектрального состава напряжения на выходе преобразователей тяговых подстанций и наведенного псофометрического напряжения в каналах проводной связи с отключенными и работающими БАРН. Методика исследований заключалась в следующем:

- к измерительным датчикам, установленным до и после сглаживающих фильтров тяговых подстанций, подключались измерительные магнитографы типа 7005 (Брюль и Кьер). Одновременно проводилась запись линейного и псофометрического напряжений в однопроводном и двухпроводном каналах связи.

- на автоматизированном комплексе спектрального анализа исследовался гармонический состав исследуемых кривых в виде спектров и числовых характеристик (математического ожидания, среднеквадратического отклонения, максимума и минимума).

Результаты эксперимента представлены в следующем виде:

- на рис. 2 – 5 показаны характерные спектры гармонических составляющих исследуемых кривых,

- характер изменения наиболее влияющих гармонических составляющих выпрямленного напряжения во времени в зависимости от режима работы тяговой подстанций приведен на рис. 6 – 8;

- результаты статистической обработки гармонических составляющих в виде математического ожидания  $M[U_k]$ , среднеквадратического отклонения  $S[U_k]$  и максимума  $U_{kmax}$  представлены в табл. 1.

На рис. 2 приведен характерный спектр выпрямленного напряжения до сглаживающего фильтра 12-фазного преобразователя с отключенным АРН на тяговой подстанции Алешинка, а на рис. 3 – аналогичный спектр с работающим АРН. Наибольший интерес в этом спектре представляют гармонические составляющие с частотами 100, 200, 300, 600, 900, 1200 Гц, которые на рис. 6 – 8 представлены в зависимости от времени при изменяющейся нагрузке преобразователя при работающем и отключенном БАРН. Сопоставляя спектры гармонических составляющих выпрямленного напряжения 12-фазного преобразователя, представленные на рис. 2 и 3, а также анализируя их временные зависимости (рис. 6 – 8) и статистические характеристики (табл. 1), можно сделать вывод, что работа БАРН практически не сказывается на гармонических составляющих с частотами 100, 200 Гц и приводит к увеличению гармонических составляющих с частотой 300 Гц на 8...10 дБ, 600 Гц на 4...5 дБ, 900 Гц на 18...28 дБ, 1200 Гц на 2...5 дБ, 1500 Гц на 5...6 дБ, 1800 Гц на 6...8 дБ. Возрастает и ряд других неканонических гармоник (рис. 2, 3), однако наиболее существенного изменения претерпевает гармоника с частотой 900 Гц, которая практически отсутствует при отключенном АРН и достигает значения 95 В при его включении. Если учесть, что коэффициент акустического воздействия на этой частоте равен 1,072, то станет очевидно, что включение АРН на 12-фазных преобразователях приводит к ухудшению электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения и смежных слаботочных систем. Аналогичные выводы можно сделать и при работе АРН на 6-фазных преобразователях (подстанция Поплавинец), что подтверждается спектрами на рис. 4 – 5.

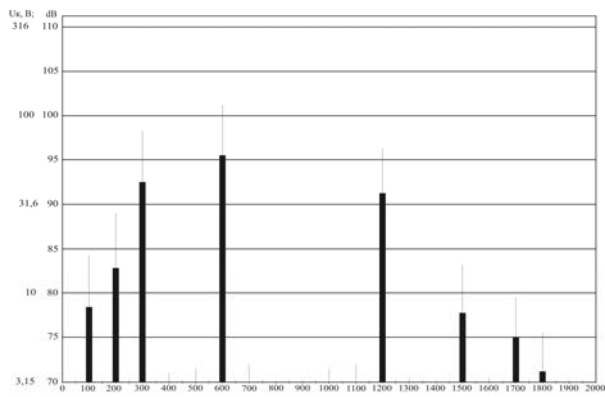


Рис. 2. Спектральный состав выпрямленного напряжения 12-фазного преобразователя при отключенном БАРН

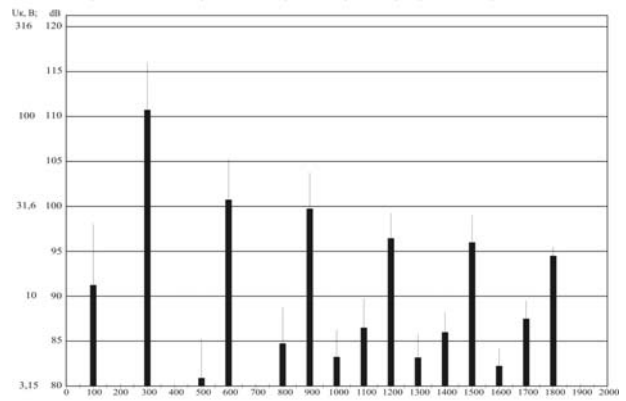


Рис. 5. Спектральный состав выпрямленного напряжения 6-фазного преобразователя при включенном БАРН

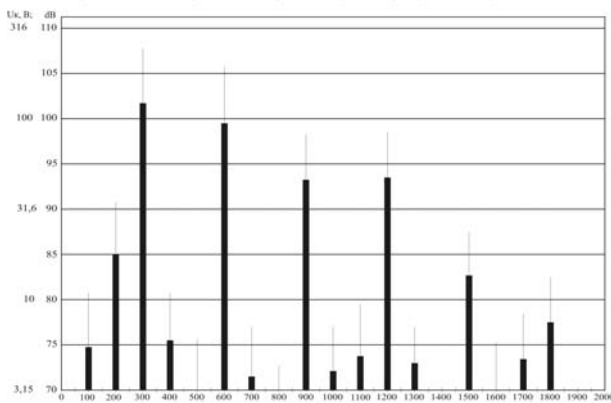


Рис. 3. Спектральный состав выпрямленного напряжения 12-фазного преобразователя при включенном БАРН

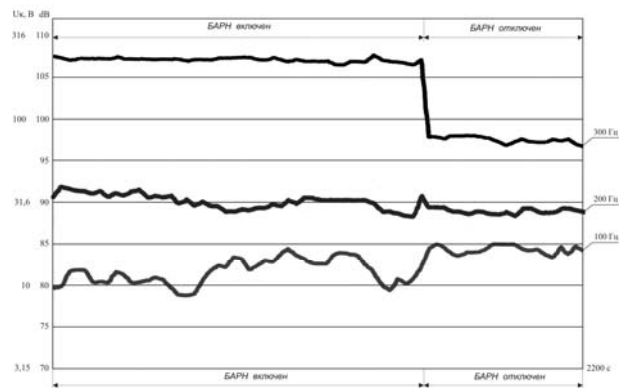


Рис. 6. Изменение во времени гармоник выпрямленного напряжения 12-фазного преобразователя при работе БАРН

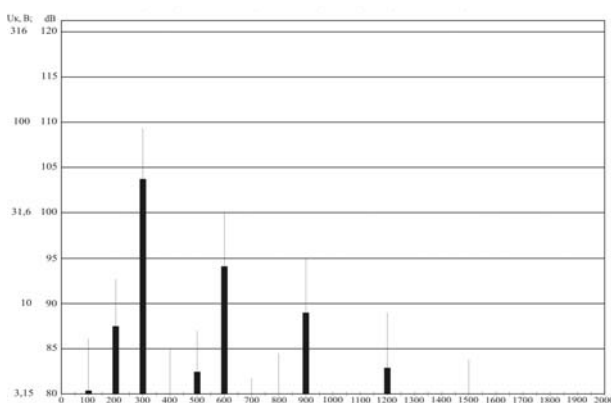


Рис. 4. Спектральный состав выпрямленного напряжения 6-фазного преобразователя при отключенном БАРН

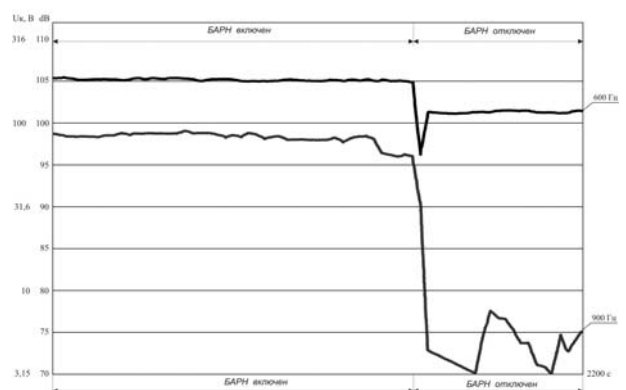


Рис. 7. Изменение во времени гармоник выпрямленного напряжения 12-фазного преобразователя при работе БАРН

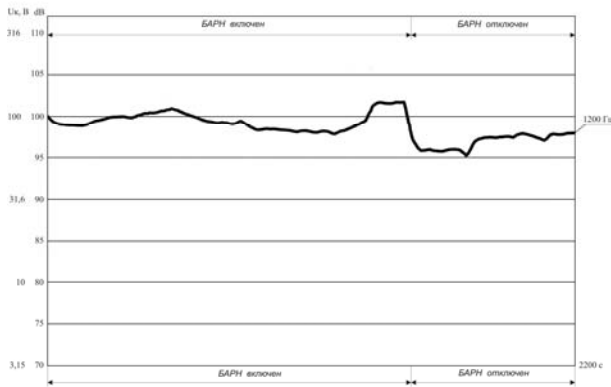


Рис. 8. Изменение во времени гармоник выпрямленного напряжения 12-фазного преобразователя при работе БАРН

## Выводы

При рассмотрении вопросов проектирования преобразовательных устройств с функциями регулирования напряжения необходимо учитывать ухудшение их электромагнитной совместимости со смежными устройствами. Среди способов снижения влияния при использовании АРН следует назвать применение современных активных способов подавления помех [2].

Таблица 1

### Результаты статистической обработки гармонических составляющих

Частота гармоник, Гц	Регулятор отключен			Регулятор включен		
	$M[U]$	$S[U]$	$U$	$M[U]$	$S[U]$	$U$
100	2,19	0,87	5,12	5,73	5,73	9,12
200	8,19	1,29	11,7	7,59	1,05	11,48
300	65,86	12,5	89,01	132,1	20,4	190,5
400	3,7	0,4	4,46	2,25	0,7	5,37
500	-	-	-	1,73	0,35	4,78
600	54,2	4,92	64,5	70,69	17,84	100,1
700	-	-	-	4,9	1,95	15,84
800	-	-	-	5,7	1,67	16,98
900	11,5	7,4	28,8	87,0	17,22	117,5
1000	1,54	0,26	2,39	9,6	2,3	15,84
1100	2,27	0,33	3,16	7,25	3,5	28,18
1200	32,4	3,6	38,9	83,67	14,62	134,69
1300	-	-	-	9,82	3,08	24,5

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергоэффективный преобразовательный агрегат с функциями фильтрации гармоник выходного напряжения тяговой подстанции системы электроснабжения постоянного тока напряжением 3 кВ [Текст] / В. М. Самсонкин и др. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 66-72.
2. Сыченко, В. Г. Силовой активный фильтр для тяговой подстанции постоянного тока [Текст] / В. Г. Сыченко, В. А. Зубенко // 7-й Межд. симп. по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Материалы симпозиума. Санкт-Петербург. 26-29.06.2007 г. – С. 66-69.

Поступила в редколлегию 04.02.2009.