

**ОЦЕНКА УРОВНЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК
НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЧАСТОТНОГО
ПРИВОДА ALTIVAR 61**

О.Г. Широков, Т.В. Алферова, О.С. Шведова,
А.А. Скулимовский

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г.Гомель Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния частотных приводов и их входных фильтров на количество и значение коэффициентов гармонических составляющих напряжения цеховой системы электроснабжения филиала «Гомельский комбинат хлебопродуктов» на примере электропривода Altivar 61, работающего в системе электроснабжения приточной вентиляции сортовой мельницы. Проведена оценка соответствия показателей качества электроэнергии требованиям ГОСТ 32144-2013 в сети электропривода Altivar 61. Измерены и оценены значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения в рассматриваемой сети до включения электропривода Altivar 61, при его работе без входного фильтра и с входным фильтром Altivar 31/Lexium 05. Показано, что влияние фильтра Altivar 31/Lexium 05 неоднозначно, поскольку может, как снижать значение некоторых высших гармонических составляющих напряжения, так и увеличивать.

Ключевые слова: показатели качества электрической энергии, одномерные коэффициенты гармонических составляющих напряжения, частотный привод.

Введение. В настоящее время в системах электроснабжения предприятий практически всех отраслей расширяется применение частотных преобразователей, предназначенных для управления режимами работы асинхронных двигателей, в том числе и для снижения их энергопотребления. Частотный привод является одним из распространенных типов регулируемого электропривода. Регулирование частоты вращения в этом случае осуществляется при помощи тиристорных преобразователей частоты, которые могут быть выполнены в виде автономных инверторов, осуществляющих преобразование постоянного тока в переменный и преобразователей с непосредственной связью, преобразующих переменный ток одной

частоты в ток другой частоты посредством переключения встречно-параллельно соединенных силовых вентилях. Частотные преобразователи (частотный привод ПЧ) являются в целом полезными устройствами, способными облегчить режимы пуска и работы асинхронных двигателей, но, вместе с тем, являясь нелинейной нагрузкой, генерируют в питающую электрическую сеть гармонические помехи [1,2]. Последние оказывают вредное воздействие на элементы систем электроснабжения и электроприемники, получающие питание от этой сети. Для снижения уровня генерации гармонических помех в питающую электрическую сеть при работе частотного привода применяют входные фильтры, к которым относятся сетевые дроссели и ЭМИ-фильтры (РЧ-фильтры)[3,4]. Предполагается, что при выполнении соответствующих рекомендаций входные фильтры способны снижать содержание высших гармоник в питающей сети.

Целью работы является оценка влияния работы частотного привода ALTIVAR 61 на уровень высших гармоник напряжения в питающей электрической сети.

Основная часть. Оценка показателей качества электроэнергии и уровня высших гармоник напряжения в электрической сети до включения частотного привода Altivar 61.

В настоящее время измерения напряжения гармонических составляющих U_n должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.7-2013 [7], однако, с учетом допущений, разрешаемых ГОСТ 32144-2013 [5] и ГОСТ 30804.4.30-2013 [6] (измерения класса В), задачи приборного контроля качества электрической энергии (проверка соответствия фактических значений параметров электроэнергии на границах раздела балансовой принадлежности сетей (ГРБП) установленным нормам, выявление виновника ухудшения качества электроэнергии) могут решаться с помощью выпускаемого в РБ прибора УК1.

Устройство контроля параметров качества электрической энергии УК1 (ТУ РБ 100230547.012-2002) представляет собой высокоточный измерительный прибор, построенный на основе современных цифровых технологий. Устройство устанавливается на энергообъектах и осуществляет сбор, обработку и хранение информации о параметрах качества электрической энергии.

Устройство УК1 внесено в Государственный реестр средств измерений РБ под № РБ 03 13 1654 02 и имеет соответствующий сертификат.

Местом проведения измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) являлись выводы Уном=0,4 кВ линии сортовой

мельницы филиала «Гомельский комбинат хлебопродуктов» ОАО «Гомельхлебопродукт».

Результаты измерений ПКЭ прибором УК1 выводятся на печать в виде протоколов измерений показателей качества электроэнергии и, при необходимости, в виде дополнений к протоколу измерений показателей качества электроэнергии с графиком изменения измеряемой величины и гистограммой ее распределения.

На рисунке 1 представлена схема подключения прибора УК1 к выводам электропривода Altivar 61, работающего в системе электроснабжения приточной вентиляции сортовой мельницы.

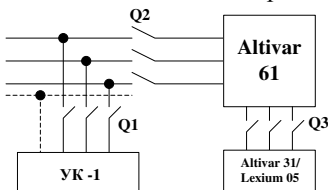


Рисунок 1 – Схема подключения прибора УК1 к выводам электропривода Altivar 61, работающего в системе электроснабжения приточной вентиляции сортовой мельницы

Результаты измерений показателей качества электрической энергии, кроме коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}, \%$, в электрической сети, питающей приточную вентиляцию сортовой мельницы, на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что значения представленных показателей качества электроэнергии не превышают уровни, установленные ГОСТ 32144-2013.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу.

Согласно данным таблицы 2 на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 и 4 порядка), а также гармоники, кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазе А является 15, а по фазам В и С - 17. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

Таблица 1 – Значения показателей качества электрической энергии электрической сети, питающей приточную вентиляцию сортовой мельницы, на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу

Положительное отклонение напряжения электропитания, %								
Канал/ Показатель	НДН	ПДН	Средн.	СКО	MIN	MAX	Тн, %	Тп, %
А		+10.00	6.43	0.51	5.15	7.10	100	0
В		+10.00	6.29	0.41	5.53	7.03	100	0
С		+10.00	5.51	0.44	4.45	6.31	90	0
Отклонение частоты, Гц								
	+0.20	+0.40	-0.00	0.01	-0.03	0.02	0	0
Суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжения, %								
А	8.00	12.00	4.31	0.10	4.01	4.57	0	0
В	8.00	12.00	5.15	0.13	4.63	5.48	0	0
С	8.00	12.00	4.99	0.15	4.61	5.46	0	0
Коэффициенты несимметрии, %								
K _{2u}	2.00	4.00	0.35	0.03	0.24	0.48	0	0
K _{0u}	2.00	4.00	0.96	0.35	0.24	1.93	0	0
Кратковременная доза доза фликера, отн. ед.								
А		1.38	0.35	0.03	0.30	0.39		0
В		1.38	0.27	0.06	0.15	0.32		0
С		1.38	0.29	0.06	0.18	0.34		0
Длительная доза доза фликера, отн. ед.								
А		1.00	0.12	0.12	0.00	0.28		0
В		1.00	0.09	0.09	0.00	0.21		0
С		1.00	0.11	0.10	0.00	0.23		0

В соответствии со схемой подключения прибора УК-1, представленной на рисунке 1, были выполнены измерения коэффициентов гармонических составляющих напряжения в электрической сети при работе частотного привода Altivar 61 без входного фильтра и с входным фильтром Altivar 31/Lexium 05.

Таблица 2 - Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, % на выводах частотного привода

Altivar 61 до его включения в работу

n	НДН	ПДН	$K_{U(n)}$ фазы А, %			$K_{U(n)}$ фазы В, %			$K_{U(n)}$ фазы С, %		
			Сред.	СКО	MAX	Сред.	СКО	MAX	Сред.	СКО	MAX
2	2.00	3.00	0.04	0.07	0.20	0.05	0.07	0.20	0.06	0.07	0.20
3	5.00	7.50	1.93	0.08	2.08	2.17	0.08	2.35	1.58	0.09	1.73
4	1.00	1.50	0.02	0.04	0.10	0.04	0.06	0.17	0.02	0.04	0.10
5	6.00	9.00	3.52	0.10	3.75	4.41	0.13	4.64	4.51	0.14	4.80
6	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5.00	7.50	0.40	0.05	0.45	0.34	0.04	0.42	0.55	0.04	0.63
8	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	1.50	2.25	1.23	0.04	1.30	1.11	0.03	1.17	1.22	0.04	1.28
10	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	3.50	5.25	0.77	0.04	0.83	0.89	0.03	0.97	0.22	0.02	0.26
12	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	3.00	4.50	0.35	0.03	0.40	0.35	0.04	0.39	0.35	0.02	0.39
14	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.30	0.45	0.16	0.02	0.20	0.19	0.02	0.22	0.16	0.02	0.20
16	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	2.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.14	0.10	0.04	0.14
18	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	1.32	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	1.25	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	1.13	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	1.08	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

На рисунках 2, 3, 4 представлены диаграммы измеренных значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ в фазах А, В и С соответственно на выводах частотного привода

Altivar 61 до его включения в работу, при работе частотного привода Altivar 61 без входного фильтра и при работе частотного привода Altivar 61 с входным фильтром Altivar 31/Lexium 05.

Согласно диаграммам рисунков 2, 3 и 4 на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают нормальных и предельных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 и 4 порядка), а также гармоники кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазе А является 15, а по фазам В и С - 17. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

Согласно диаграммам рисунков 2, 3 и 4 на выводах частотного привода Altivar 61 при его работе без фильтра Altivar 31/Lexium 05 коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают нормальных и предельных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 и 4 порядка), а также гармоники, кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазе А является 25, по фазе В - 17, а по фазе С - 19. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

Согласно диаграммам на рисунках 2, 3 и 4 на выводах частотного привода Altivar 61 при его работе с фильтром Altivar 31/Lexium 05 коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают нормальных и предельных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 порядка в фазах А, С и 2 и 4 порядка в фазе В), а также гармоники, кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазам А и В является 17, а по фазе С - 19. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

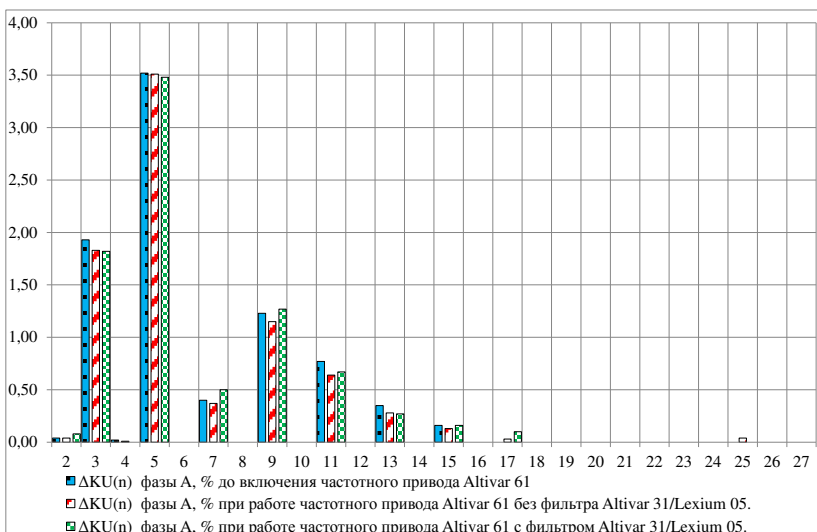


Рисунок 2 – Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы А ($K_{U(n)A, \%}$) на выводах частотного привода Altivar 61

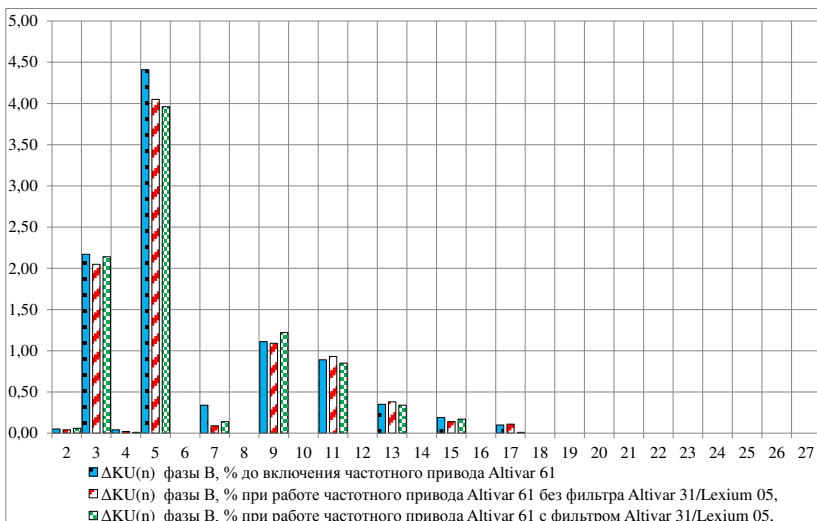


Рисунок 3 – Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы В ($K_{U(n)B, \%}$) на выводах частотного привода Altivar 61

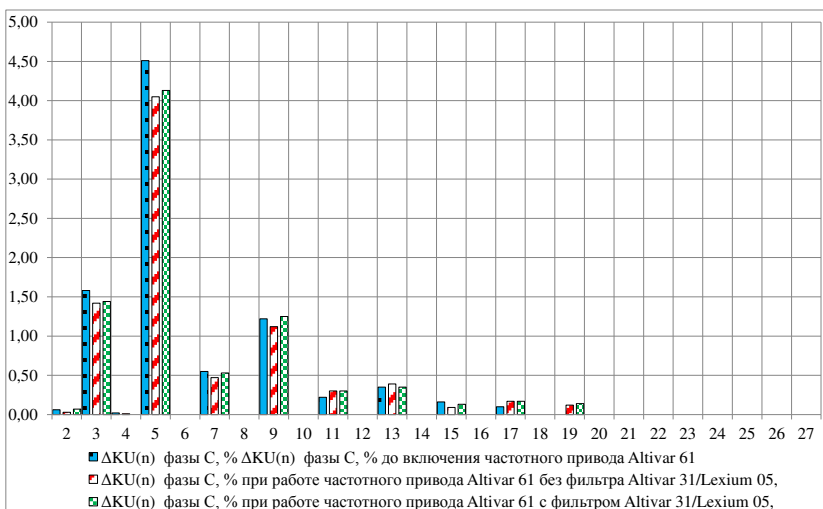


Рисунок 4 – Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы С ($K_{U(n)C, \%}$) на выводах частотного привода Altivar 61

Согласно диаграммам (рисунок 4) на выводах частотного привода Altivar 61 при его включении в работу без фильтра Altivar 31/Lexium 05 произошло как изменение значений, так и количества коэффициентов гармонических составляющих напряжения по сравнению с режимом до включения привода. При этом в фазе А произошло снижение значений восьми коэффициентов гармонических составляющих напряжения (3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15 – порядка), коэффициент 2-гармонической составляющей напряжения не изменился, возникли коэффициенты семнадцатой и двадцать пятой гармонических составляющих напряжения. В фазе В произошло снижение значений семи коэффициентов гармонических составляющих напряжения (2, 3, 4, 5, 7, 9, 15 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 11, 13 и 17 гармонических составляющих напряжения. В фазе С произошло снижение значений семи коэффициентов гармонических составляющих напряжения (2, 3, 4, 5, 7, 9, 15 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 11, 13 и 17 гармонических составляющих напряжения, возник коэффициент 19 гармонической составляющей напряжения.

Кроме того, изменение значений одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения при включении в работу привода Altivar 61 без фильтра Altivar 31/Lexium 05 по сравнению с режимом до включения привода не одинаковы по фазам.

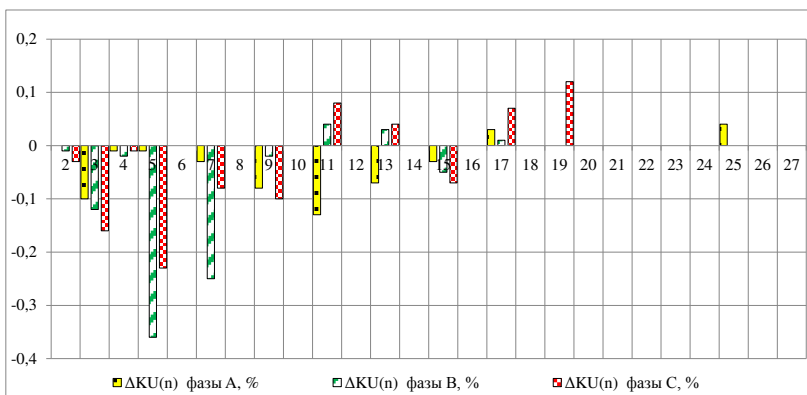


Рисунок 5 – Диаграмма разности значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $\Delta K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения его в работу

На рисунке 5 представлены диаграммы разности значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $\Delta K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения в работу фильтра Altivar 31/Lexium 05.

Согласно диаграммам рисунка 5 на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения в работу фильтра Altivar 31/Lexium 05 произошло как изменение значений, так и количества коэффициентов гармонических составляющих напряжения. При этом в фазе А произошло снижение значений пяти коэффициентов гармонических составляющих напряжения (3, 4, 5, 13, 25 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 2, 7, 9, 11, 15 и 17 гармонических составляющих напряжения. В фазе В произошло снижение значений пяти коэффициентов гармонических составляющих напряжения (4, 5, 11, 13, 17 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 2, 3, 7, 9, 15 гармонических составляющих напряжения. В фазе С произошло снижение значений трех коэффициентов гармонических составляющих напряжения (4, 5, 13 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 2, 3, 4, 7, 9, 15 и 19 гармонических составляющих напряжения.

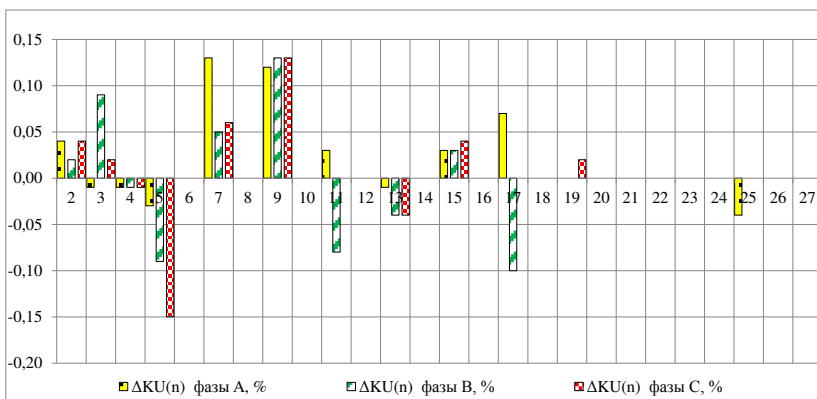


Рисунок 6 – Диаграмма разности значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $\Delta K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения в работу фильтра Altivar 31/Lexium 05

Таким образом, включение частотного привода Altivar 61 в работу без фильтра Altivar 31/ Lexium 05 приводит как к изменению значений, так и количества коэффициентов гармонических составляющих напряжения по сравнению с режимом до включения привода. При этом может происходить как снижение, так и увеличение значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения, а также генерация новых гармонических составляющих напряжения, при этом значение некоторых коэффициентов гармонических составляющих напряжения может не изменяться. Такое воздействие частотного привода Altivar 61 на количество и уровень гармоник напряжения может зависеть от сочетания различных режимов регулирования частотных приводов, работающих в общей электрической сети.

Выводы. Влияние фильтра Altivar 31/ Lexium 05 при работе частотного привода Altivar 61 на количество и уровень гармоник напряжения в электрической сети неоднозначно, поскольку включение фильтра при снижении гармоник напряжения 25, 13, 5, 4 порядка, увеличило гармоники напряжения 19, 15, 9, 7, 2-го порядка. При этом гармонические составляющие 17, 11 и 3 порядка в разных фазах или усиливались или подавлялись. Такое положение свидетельствует о некорректной настройке и работе фильтра и является поводом для включения в дальнейшем в рамках приемо-сдаточных испытаний проведения измерений, направленных на определение эффективности применения фильтра.

Список использованных источников:

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 330 с.
2. Влияние нелинейной нагрузки на качество электроэнергии / Наумкин И.Б., Паскарь И.Н., Завьялов В.М. // Электротехника.–2015.– С.76-78.
3. Кравцов, А.В. Качество электроэнергии в системах электроснабжения/ Фильтры гармоник/ А.В. Кравцов [Электрон. ресурс]. –2004. –Режим доступа <http://khomovelectro.ru/filtry-garmonik/aktivnyy-filtr-garmonik.html> 18.04.2018.
4. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И.В. Жежеленко [и др.]– М.: Энергоатомиздат, 2007.–296с.
5. ГОСТ 32144- 2013. Электрическая энергия Совместимость технических средств электромагнитная Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). Госстандарт Республики Беларусь. 2015 г.
6. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. Госстандарт Республики Беларусь. 2014 г.
7. ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. Госстандарт Республики Беларусь. 2014 г.

THE LEVEL ASSESSMENT OF VOLTAGE HIGHER HARMONICS IN THE ELECTRICAL NETWORK DURING THE OPERATING OF FREQUENCY DRIVE ALTIVAR 61

O. G. Shirokov, T. V. Alferov, O. S. Shvedova, A. A. Skulimowski

EE "Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy", Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The results of the study of the influence of frequency drives and their input filters on the number and value of the harmonic coefficients of voltage of the shop power supply system of the branch "Gomel bakery" on the example of the electric drive Altivar 61, operating in

the supply system for supply ventilation of a sorting mill are presented. The conformity of the power quality indicators to the requirements of GOST 32144-2013 in the Altivar 61 electric drive network was evaluated. The values of the harmonic components of the voltage in the network in question were measured and evaluated before the Altivar 61 drive was switched on, without the input filter and with the Altivar 31 / Lexium 05 input filter. It is shown that the effect of the Altivar 31 / Lexium 05 filter is ambiguous, since it can both increase the value of some higher harmonic voltage components and increase it.

Key words: power quality indices, one-dimensional coefficients of voltage harmonic components, frequency drive.