

Анализ влияния нелинейной однофазной нагрузки на значение тока в нулевом проводе

Вагин Г. Я., доктор техн. наук, Севостьянов А. А., Солнцев Е. Б., Юртаев С. Н., кандидаты техн. наук, Терентьев П. В., Смирнов В. В., инженеры

Нижегородский государственный технический университет

Исследовано влияние нелинейной однофазной нагрузки на значение тока в нулевом проводе в сетях 380/220 В. Установлено, что при наличии в системах электроснабжения однофазных выпрямителей резко возрастает количество высших гармоник тока, в том числе кратных трем. Это приводит к увеличению тока в нулевом проводе, который может превышать фазные токи, поэтому сечение нулевых жил следует выбирать с учетом гармоник, кратных трем.

Ключевые слова: сети напряжением 380/220 В, однофазные выпрямители, генерирование гармоник тока, нагрузка нулевого провода.

В различных системах электроснабжения напряжением 380/220 В для питания электроприемников небольшой мощности и импульсных преобразователей напряжения широко применяются однофазные выпрямители (см. рис. 1, где $R_{п.с}$, $X_{п.с}$ — активное и индуктивное сопротивления питающей сети; $U_{п.с}$ — напряжение питающей сети; R_H — активное сопротивление нагрузки; C — накопительный конденсатор). В схеме на рис. 1, а ими генерируются гармоники тока, порядок и значения которых определяются соответственно из выражений:

$$n = kp \pm 1; \quad (1)$$

$$I_n = I_1/n, \quad (2)$$

где p — пульсность преобразователя; $k = 1, 2, 3, \dots$, n — номер гармоники; I_1 — действующее значение первой гармоники.

В схеме на рис. 1, б, наиболее часто используемой в импульсных источниках питания телевизоров, компьютеров, газоразрядных источников света, светодиодов и другой электронной техники, генерируются гармоники тока, порядок которых определяется из выражения (1), а значение зависит от емкости накопительного конденсатора C — с ее

увеличением коэффициент нелинейных искажений тока может достигать 260 % [1, 2].

Для определения порядка и значения гармоник тока, генерируемых преобразователями в схеме на рис. 1, б, разработана компьютерная модель преобразователя в системе Matlab Simulink [3, 4]. В табл. 1 указаны полученные по ней пределы значений гармоник тока при разных емкостях конденсатора C . Как видно, однофазная нагрузка и источники ее питания по схеме на рис. 1, б создают высокие уровни гармоник, кратных трем. Это приводит к возрастанию тока в нулевом проводе в сетях с глухозаземленной нейтралью, который определяется по формуле

$$I_N = 3 \sqrt{\sum_{n=1}^{39} I_{3n}^2}, \quad (3)$$

где I_{3n}^2 — действующее значение токов гармоник, кратных трем (от 3-й до 39-й).

Для подтверждения полученного результата с помощью анализатора качества электрической энергии Fluke 434 авторами исследованы гармоники тока, генерируемые компактными люминесцентными лампами (КЛЛ) “Navigator” и персональной ЭВМ (ПЭВМ). На рис. 2, а и б приведены соот-

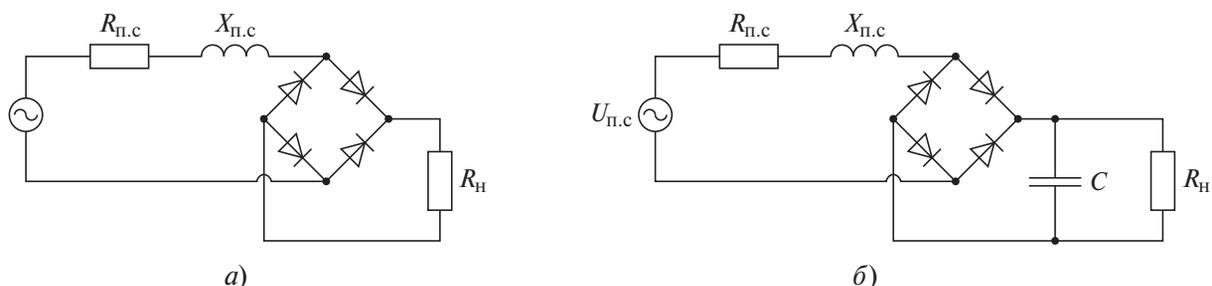
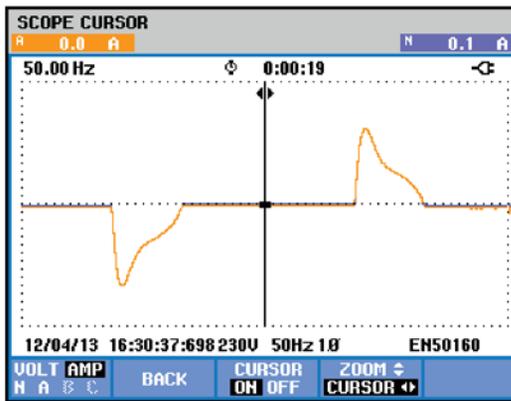


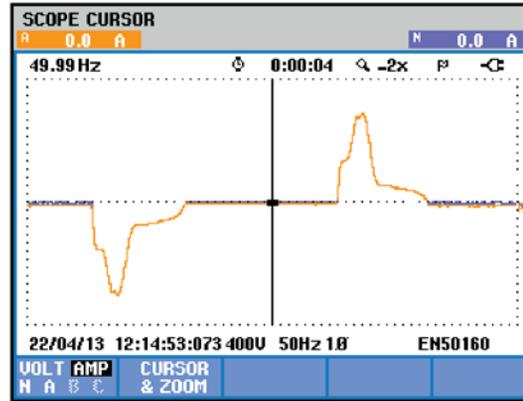
Рис. 1

Таблица 1

Гармоника	Пределы значений гармоник тока (в % от I_1)	Гармоника	Пределы значений гармоник тока (в % от I_1)
3-я	74 – 100	17-я	2 – 65
5-я	40 – 98	19-я	1 – 63
7-я	7 – 95	21-я	0,8 – 50
9-я	7 – 90	23-я	0,6 – 45
11-я	6 – 82	25-я	0,5 – 38
13-я	4 – 77	27-я	0,4 – 33
15-я	3 – 70	–	–

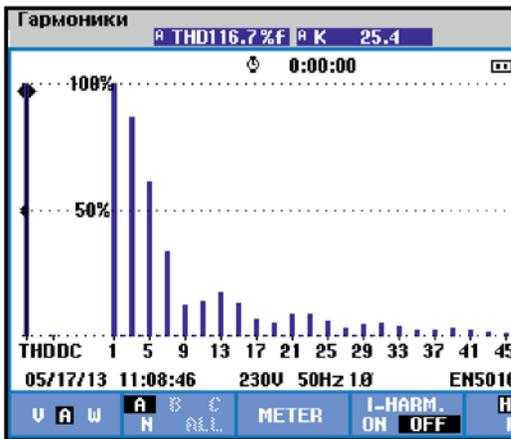


а)

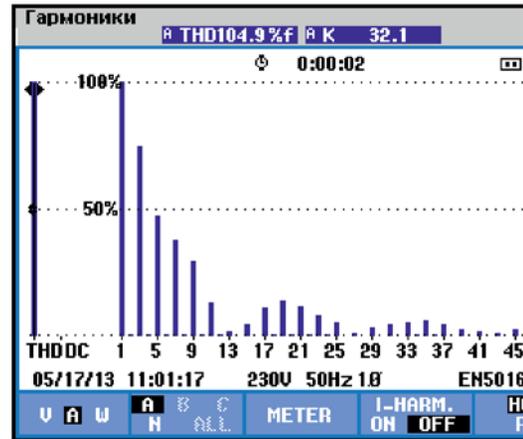


б)

Рис. 2



а)



б)

Рис. 3

ветствующие осциллограммы, а на рис. 3, а и б — спектры потребляемого ими тока. В табл. 2 даны значения гармонических составляющих токов (в % от первой гармоники). Исследование уровней гармоник подтвердило

результаты, полученные при моделировании (см. табл. 1).

В процессе моделирования выявлено влияние доли нелинейной нагрузки $I_{НЛ}/I_{\Sigma}$ на соотношение токов I_0/I_{Φ} в нулевом и фаз-

Таблица 2

Источник генерации гармоник тока	Ток гармоник (в % от I_1)									
	1-й	3-й	5-й	7-й	9-й	11-й	13-й	15-й	17-й	19-й
КЛЛ	100	77	51,6	43,2	38,1	26	14,8	9,5	7,9	8,5
ПЭВМ	100	81,9	53,6	29,9	25,9	27,9	23,1	15,5	12,3	12,1

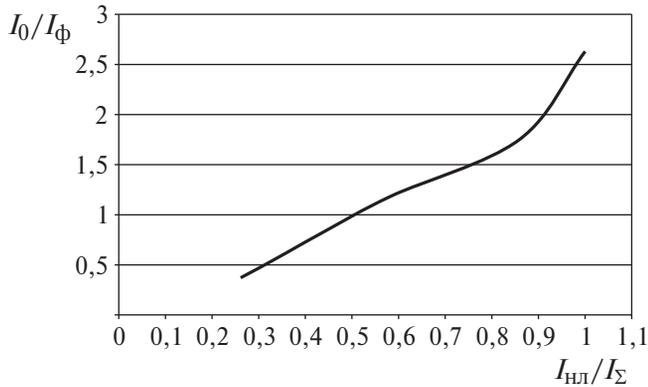


Рис. 4

ном проводах (см. рис. 4). Видно, что при 100 %-ной нелинейной нагрузке ток в нулевом проводе может в 2,5 раза превышать ток в фазном проводе, а при 50 %-ной нелинейной нагрузке эти токи одинаковы.

Выводы

1. При наличии однофазных выпрямителей в сетях напряжением 380/220 В резко возрастают токи всех высших гармоник, в

том числе кратных трем, что приводит к увеличению токов в нулевых проводниках.

2. При выборе сечения нулевых жил проводов и кабелей в таких сетях необходимо учитывать суммарный ток нечетных гармоник, кратных трем.

3. Если ток в нулевом проводе больше, чем в фазном, необходимо увеличить его сечение либо уменьшить токи гармоник путем оснащения электроприемников с однофазными выпрямителями корректорами коэффициента мощности.

Список литературы

1. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях / Пер. с англ. — М.: Додэка-XXI, 2008.
2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — М.: Энергоатомиздат, 2004.
3. Дьяконов В. П. MATLAB 7.*/R2006/ R2007: Самоучитель. — М.: ДМК Пресс, 2008.
4. Simulink 7 — User Guide ©COPYRIGHT, 1990 – 2010 by The Math Works, Inc.

terentyevpv@inbox.ru