

Я.Э.ШКЛЯРСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, *Js-10@mail.ru***В.С.ДОБУШ**, студент, *sirp@mail.ru**Санкт-Петербургский государственный горный университет***Y.E.SHKLYARSKIY**, Dr. in eng. sc., professor, *Js-10@mail.ru***V.S.DOBUSH**, student, *sirp@mail.ru**Saint Petersburg State Mining University*

ОЦЕНКА ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА

В статье предложен новый подход к моделированию процессов, возникающих при наличии частотных электроприводов, предлагающий учитывать углы сдвига фаз на различных гармониках. Исследование энергетических характеристик частотного привода проводилось на основе проведенного эксперимента.

Ключевые слова: высшие гармоники, частотный привод, энергетические характеристики, углы сдвига фаз, горные предприятия, несинусоидальные режимы, моделирование.

EVALUATION OF PHASE RELATIONSHIPS HARMONICS FREQUENCY DRIVES

In article the new approach to modelling of processes arising in the presence of the frequency electric drives is offered, offering to consider corners of shift of phases on various harmonics. Research of power characteristics of a frequency drive was spent on the basis of the spent experiment.

Key words: higher harmonics, frequency drive, power characteristics, corners of shift of phases, mining enterprises, not sinusoidal modes, modelling.

Все более широкое применение вентиляционных преобразователей мощностью до 10 МВ·А для приводов, используемых при производстве горных работ, приводит к возникновению высших гармоник в электрической сети. В современных условиях коэффициенты искажения по току и напряжению, вызванные эксплуатацией таких приводов, часто превышают допустимые значения.

В связи с этим возросла необходимость изучения работы электрической сети горных предприятий в условиях искажений. Цель исследований в этой области – разработка мероприятий по уменьшению влияния высших гармоник на работу электротехнического комплекса предприятий.

В качестве основных источников высших гармоник, как правило, рассматриваются тиристорные (транзисторные) преобразователи.

Данные о порядке высших гармоник, генерируемых наиболее распространенными

видами тиристорных (транзисторных) преобразователей (ТП), приведены в таблице [1].

Характеристики тиристорных преобразователей

Номер гармоники	Ток гармоник в долях от основной гармоники (угол открывания 30°)	
	ТП по 6-пульсной схеме выпрямления	ТП по 12-пульсной схеме выпрямления
1	1	1
5	0,192	0,0192
7	0,132	0,0132
11	0,073	0,0073
13	0,057	0,0057
17	0,035	0,0035
19	0,027	0,0027
23	0,02	0,002
25	0,016	0,0016
29	0,014	0,0014
31	0,012	0,0012
35	0,011	0,0011
37	0,01	0,001
41	0,009	0,0009
43	0,008	0,0008
47	0,008	0,0008

В теоретических работах по определению влияния высших гармоник на работу сети принято представлять нелинейную нагрузку источниками тока с соотношениями гармоник по току [3]. При этом не представляются энергетические характеристики, а именно сдвиг фаз между током и напряжением на каждой гармонике. Очевидно, что этот факт будет иметь большое значение при теоретическом определении влияния высших гармоник на работу электрооборудования.

Отсюда следует основная цель работы – определение энергетических соотношений тока и напряжения различных гармоник в асинхронных приводах с частотным регулированием и оценка их значимости при исследовании влияния гармоник на работу электротехнических устройств.

В качестве объекта исследований был взят электропривод АД (тип АМ 92-2, 73 кВт, 50 Гц, 380 В, 153 А, 2895 об/мин, $\cos\varphi = 0,83$,

КПД 87 %) с преобразователем частоты. Опыт и измерения произведены совместно со специалистами ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники и технологии» (рис. 1).

В качестве источника электроэнергии использовался синхронный генератор (СГ) соизмеримой (с преобразователем частоты) мощности. Нагрузкой для преобразователя служил асинхронный двигатель, на валу которого установлен генератор постоянного тока (ГПТ), работающий на активное сопротивление. Изменение величины нагрузки производилось путем регулирования возбуждения машины постоянного тока.

Экспериментальные результаты были получены в виде временных зависимостей тока (I_a, I_b, I_c) в трех фазах, напряжения (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}) между фазами на входе преобразователя и тока ($I_{\text{вых}}$) одной фазы на выходе преобразователя. Для примера на рис. 2 пока-

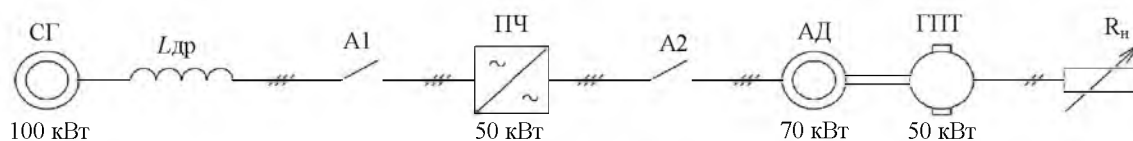


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема испытательной установки

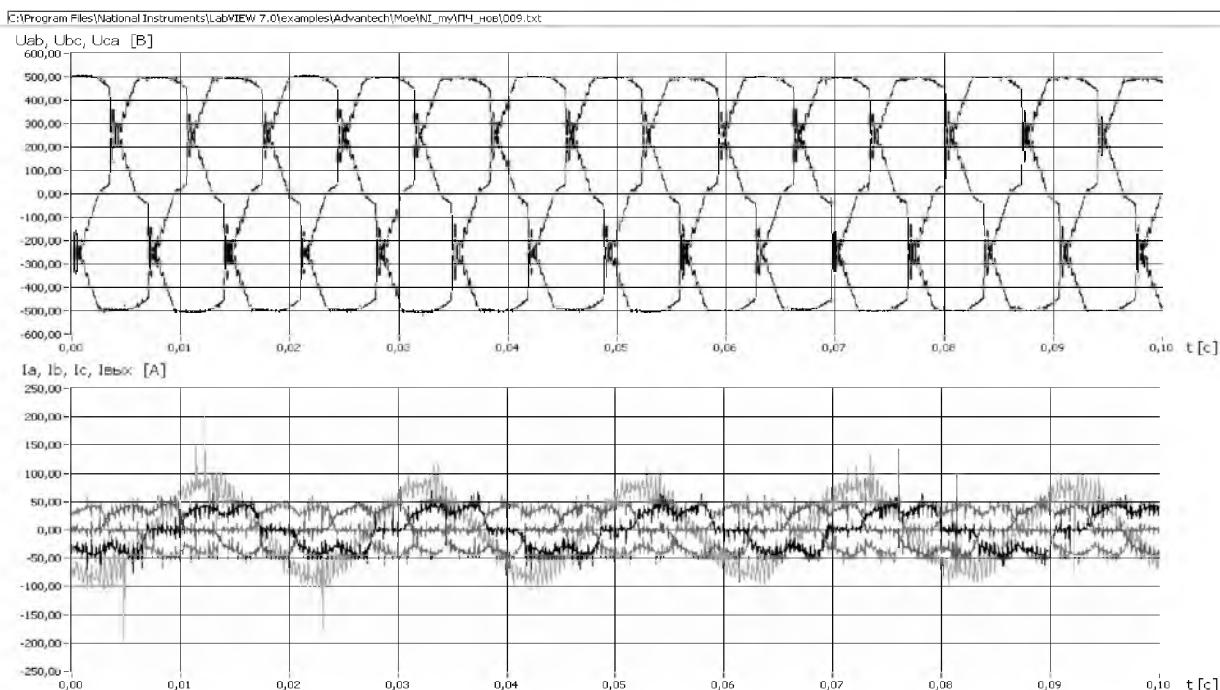


Рис. 2. Осциллограммы токов и напряжения

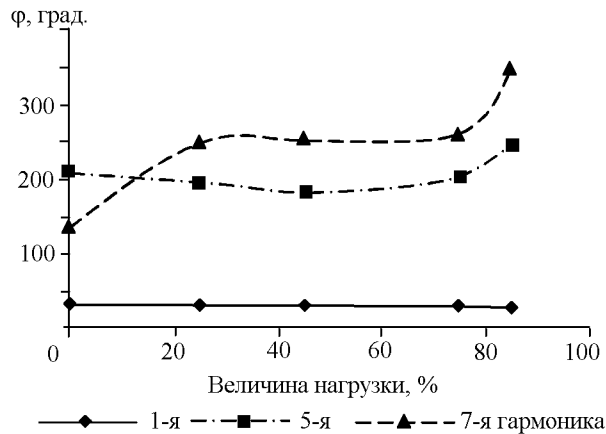


Рис.3. Зависимость угла сдвига фаз тока и напряжения от величины нагрузки

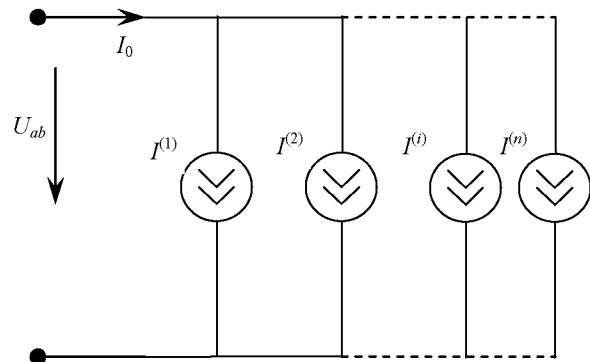


Рис.4. Схема замещения приводов с частотными преобразователями одинакового типа

зана осциллограмма при $f_{\text{вх}} = 50\text{Гц}$, $f_{\text{вых}} = 50\text{Гц}$, $L_{\text{др}} = 0,57\text{ мГн}$, $R_{\text{н}}$ (25 % нагрузки от номинальной).

Данные осциллограммы фазного тока и линейного напряжения для дальнейшего анализа были разложены в ряд Фурье графическим методом [2]. При этом определены начальные фазы фазного тока и линейного напряжения. Но для получения угла сдвига фаз между напряжением и током на различных гармониках частотного привода необходимо знать начальные фазы фазного напряжения, а не линейного. Для перевода несинусоидального линейного напряжения в фазное получена следующая формула:

$$u_a = \frac{U_{\pi_1}}{\sqrt{3}} \sin(\beta_1 - 30) + \frac{U_{\pi_5}}{\sqrt{3}} \sin(\beta_5 + 30) + \frac{U_{\pi_7}}{\sqrt{3}} \sin(\beta_7 - 30). \quad (1)$$

При обработке опытных данных получены результаты, представленные в виде зависимости угла сдвига фаз от величины нагрузки (рис.3).

Из полученных опытных данных и их теоретического анализа следует, что при использовании частотного электропривода необходимо учитывать энергетические характеристики на каждой гармонике:

- на первой гармонике с увеличением нагрузки $\cos\phi$ изменяется незначительно и близок к его номинальному значению;
- на высших гармониках привод может работать в «генераторном» режиме с доста-

точно значительным изменением сдвига фаз между током и напряжением при изменении нагрузки.

Полученные результаты важны, в первую очередь, в тех случаях, когда используются электромеханические устройства, работа которых управляется частотными преобразователями разного типа.

Известно, что в схеме замещения электрической сети частотные приводы представляются источниками тока для каждой выявленной и значимой гармоники. Схема замещения приводов одного и того же типа представлена на рис.4 ($I^{(1)}$, $I^{(2)}$, ..., $I^{(n)}$ – суммарные токи приводов на i -й гармонике, где $i=1, 2, \dots, n$). Такая схема справедлива, так как сдвиг фаз между напряжением U_{ab} и током на i -й гармонике на каждом отдельном приводе будет совпадать, и суммарный ток в этом случае

$$I_0 = \sqrt{I^{(1)^2} + I^{(2)^2} + \dots + I^{(i)^2} + \dots + I^{(n)^2}}, \quad (2)$$

где $I^{(1)}$, $I^{(2)}$, ..., $I^{(i)}$, ..., $I^{(n)}$ – арифметические суммы токов соответствующих гармоник всех приводов, к которым подведено напряжение U_{ab} .

Если применяются приводы с различными типами частотных преобразователей, то расчет токов гармоник будет производиться следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{I}^{(1)} &= \sum_{k=1}^h \dot{I}_k^{(1)}; \dot{I}^{(2)} = \sum_{k=1}^h \dot{I}_k^{(2)}; \\ \dot{I}^{(i)} &= \sum_{k=1}^h \dot{I}_k^{(i)}; \dots; \dot{I}^{(n)} = \sum_{k=1}^h \dot{I}_k^{(n)}, \end{aligned}$$

где h – количество приводов.

Очевидно, что

$$\dot{I}_0 = \dot{I}^{(1)} + \dot{I}^{(2)} + \dots + \dot{I}^{(i)} + \dot{I}^{(k)}. \quad (3)$$

Ток I_0 будет равен модулю комплексного значения тока \dot{I}_0 .

В этом случае разность между токами, определяемыми по выражениям (2) и (3), может достигать значительных величин, соизмеримых с самим значением I_0 .

Выводы

1. Применение в горной промышленности частотно-регулируемых приводов способствует искажению напряжения и тока в виде высших гармонических составляющих.

2. При теоретическом исследовании режимов работы электрической сети, питающей приводы с частотным регулированием, необходимо учитывать сдвиг фаз между напряжением и током на каждом из электромеханических устройств.

3. Неучет сдвига фаз может привести к значительным погрешностям при теоретическом исследовании работы электромеханического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асафов В.Н. Разработка секционированной конденсаторной установки повышенной надежности для сети горного предприятия с вентильной нагрузкой: Автореф. дис. ... канд техн. наук. СПб, 1995.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., 1996.
3. Муравьева И.В. Взаимосвязь параметров питающей сети и мощных тиристорных электроприводов шахтных подъемных машин / И.В.Муравьева, А.Г.Павлович // Научные сообщения. 1981. Вып 203.

REFERENCES

1. Asafov V.N. development of the partitioned condenser installation with raised reliability for a mountain factory energetic system with nonlinear loading: The scientific degree dissertation, Saint Petersburg, 1995.
2. Bessonov L.A. Theoretical basics of electrotechnics. Moscow, 1996.
3. Muraveva I.V., Pavlovich A.G. Interrelation of parameters of power line and powerful electric drives of mine hoist mechanisms // Scientific messages. 1981. Is.203.