

УДК 621.314.57: 62.83

М. Ю. Пустоветов**МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ ВЛИЯНИЯ СЕТЕВОГО ДРОССЕЛЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ**

Рассматривается влияние на характеристики преобразователя частоты сетевых дросселей различной индуктивности. На основании моделирования на ЭВМ определяется предел уменьшения индуктивности, ниже которого использование сетевого дросселя неэффективно. Рассматриваются варианты при наличии и отсутствии индуктивности в звене постоянного напряжения преобразователя.

Ключевые слова: сетевой дроссель, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, потребляемый из сети ток, гармонический состав.

Преобразователь частоты (ПЧ) для питания трёхфазных асинхронных электродвигателей (АД) в настоящее время является массово используемым устройством в системах автоматизации разнообразных технологических процессов. Наиболее часто встречаются ПЧ с явно выраженным звеном постоянного напряжения, имеющие в своём составе диодный выпрямитель, выполненный по 6-пульсной мостовой схеме; Г-образный фильтр нижних частот, имеющий в продольной ветви индуктивность L_d , а в поперечной — ёмкость C_d ; транзисторный автономный инвертор напряжения (АИН), выполненный по мостовой схеме (рис.). При включении ПЧ под напряжение первоначальный заряд ёмкости C_d начинается через зарядное сопротивление R , шунтируемое спустя некоторое время, достаточное для достижения напряжением на конденсаторе значения, близкого к номинальному, контактом К, через который происходит дозаряд C_d , по окончании которого можно начинать подачу напряжения питания с АИН на нагрузку. ПЧ питается от симметричного трёхфазного источника напряжения с частотой 50 Гц и действующим значением линейного напряжения 380 В. В каждую фазу на входе выпрямителя включен сетевой дроссель L . Изучается влияние сетевого дросселя на потребляемый из сети ток.

Рекомендованные значения падения напряжения на сетевом дросселе (напряжение короткого замыкания u_K) лежат в диапазоне 2...5 % от номинального напряжения фазы. Выпускаемые промышленностью сетевые дроссели соответствуют этим требованиям [1–3].

Пустоветов Михаил Юрьевич — кандидат технических наук, доцент (Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону); e-mail: mgnsn2006@rambler.ru

© Пустоветов М. Ю., 2018

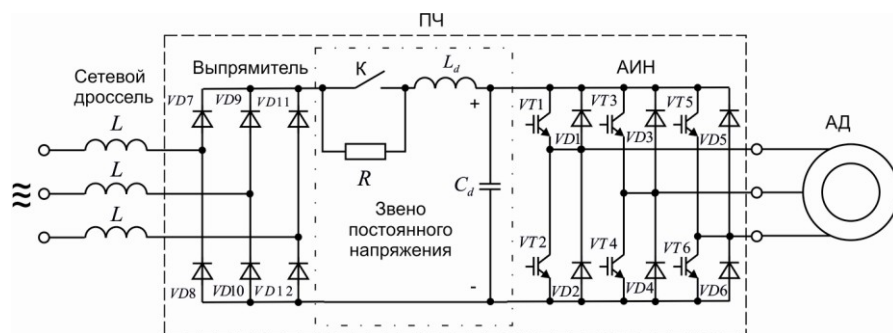


Рис. Схема силовой части частотно-регулируемого электропривода

Изготовители рекомендуют при питании группы ПЧ от одного источника питания каждый ПЧ оснащать отдельным, подобранным по длительному току сетевым дросселем, а не использовать единственный сетевой дроссель на всю группу ПЧ [3]. Мотивация этого такова, что при частичной нагрузке (если включаются не все ПЧ группы) общий на группу сетевой дроссель не сможет удовлетворительно исполнять свои функции. С другой стороны, установка индивидуальных сетевых дросселей на каждый ПЧ обходится в любом случае дороже, чем единственного дросселя на группу ПЧ. Из анализа данных, публикуемых российскими продавцами сетевых дросселей на токи 2...250 А и трёхфазное напряжение 400 В, зависимость цены Ц, руб., сетевого дросселя от номинального тока I , А (тока, потребляемого фазой ПЧ) может быть описана выражением $C = 237,58 \cdot I + 1301,9$, она представляет собой прямую линию. Сопоставление номинальной мощности питаемого АД и потребляемых тока и мощности ПЧ можно произвести, например, используя данные [4]. Например, если имеется группа, состоящая из семи ПЧ, каждый из которых питает АД мощностью 1,5 кВт, то семь сетевых дросселей на номинальный ток 6 А каждый обойдутся в 1,8 раза дороже, чем единственный дроссель на 40 А или в 1,5 раза дороже, чем единственный дроссель на 50 А.

Нужно полагать, что в случае, когда напряжение короткого замыкания единственного на группу ПЧ сетевого дросселя составляет не менее 2 % для самого маломощного ПЧ в группе, проблема несоответствия параметров дросселя частичной нагрузке отсутствует. Проанализируем изменение влияния сетевого дросселя на характеристики ПЧ при уменьшении его индуктивности ниже рекомендованных значений. Сравнивается влияние сетевого дросселя номиналом $L = 2,03$ мГн ($u_K = 2\%$), $0,5$ мГн ($u_K = 4\%$) и $0,19$ мГн ($u_K = 0,2\%$) на потребляемый из сети ток.

Результаты, публикуемые в данной статье, получены для случая моделирования включения ПЧ при отсутствии начального заряда на C_d и частотного пуска АД номинальной мощностью 1,5 кВт с нагрузкой на валу типа вентилятора или насоса. Характеристики и параметры АД типа АЭВ 80 В2У2 даны в [5].

В таблице 1 даны характеристики и параметры Г-образного фильтра ПЧ и узла заряда конденсатора, принятые при моделировании [5]. Результаты моделирования тока, потребляемого фазой ПЧ из сети, сведены в таблице 2. Влияние на потребляемый ПЧ ток наличия или отсутствия L_d в схеме анализировалось в [5]. Используются компьютерные модели АД и ПЧ, описанные соответственно в [6, 7].

Таблица 1

Характеристики и параметры ПЧ

Наименование характеристики или параметра	Размерность	Значение
Ёмкость Г-образного фильтра	мкФ	400
Индуктивность Г-образного фильтра (при наличии)	мГн	10
Зарядное сопротивление	Ом	10
Задержка начала замыкания контакта, шунтирующего зарядное сопротивление, от момента времени подачи напряжения на ПЧ	с	0,01
Длительность замыкания контакта, шунтирующего зарядное сопротивление	мкс	1
Сопротивление шунтирующего контакта в разомкнутом состоянии	МОм	1
Сопротивление шунтирующего контакта в замкнутом состоянии	Ом	0,001

Таблица 2

Результаты моделирования тока, потребляемого фазой ПЧ

Наименование характеристики	Размерность	Значение			
		с L_d		без L_d	
		с L , мГн	без L	с L , мГн	без L
Мгновенное максимальное напряжение на C_d в процессе заряда	В	2,03		548,193	
		0,5	0,5		
		0,19	0,19		
		544,629	570,005		
Мгновенный максимальный ток при заряде C_d через зарядное сопротивление	А	38,480	39,131	44,426	46,457
		38,878		45,925	
		-36,620		41,681	
		наличие L влияет незначительно положительно		наличие L влияет значительно отрицательно	
Мгновенный максимальный ток при дозаряде C_d через контакт, шунтирующий зарядное сопротивление	А	8,750	-10,231	22,056	-134,207
		9,673		40,778	
		10,000		51,309	
		наличие L влияет незначительно положительно		наличие L влияет значительно положительно	

Наименование характеристики	Размерность	Значение			
		с L_d		без L_d	
		с L , мГн	без L	с L , мГн	без L
		2,03		2,03	
0,5	0,5				
		0,19			0,19
Мгновенный максимальный ток в процессе частотного разгона АД	А	-10,800	-12,758	15,934	49,775
		10,642		26,541	
		10,836		47,686	
		наличие L влияет значительно положительно (кроме случая $L = 0,19$ мГн без L_d , где влияние незначительно положительно)			
Амплитуда тока в установившемся режиме по окончании разгона АД	А	6,980	7,348	12,315	44,089
		7,050		22,315	
		7,509		27,675	
		наличие L влияет незначительно положительно		наличие L влияет значительно положительно	
Амплитуда 1-й гармоники тока в установившемся режиме по окончании разгона АД	А	6,030	5,927	5,682	5,913
		5,823		5,873	
		5,804		6,536	
		наличие L влияет незначительно			
THD тока в установившемся режиме по окончании разгона АД (учтены гармоники с частотами до 2000 Гц)	%	0,945	7,340	0,581	13,056
		1,803		1,775	
		5,804		6,536	
		наличие L влияет значительно положительно			

По большинству характеристик, исследованных в таблице 2, влияние наличия сетевого дросселя следует признать положительным: улучшается гармонический состав потребляемого из сети тока, снижаются его пиковые и амплитудные значения.

Тем не менее, следует принять во внимание возможность заметного увеличения пикового значения напряжения на C_d в процессе заряда в случае отсутствия L_d в схеме, а также небольшое уменьшение действующего значения основной гармоники тока из-за падения напряжения на сетевом дросселе.

Наилучший результат ожидаемо достигается при использовании сетевого дросселя $u_K = 2\%$ (т. е. рассчитанного для индивидуального использования с ПЧ соответствующей мощности), особенно при наличии L_d в составе ПЧ.

С учётом отсутствия ограничения мгновенного максимального тока, потребляемого ПЧ из сети в процессе частотного разгона АД без L_d , а также высокого значения THD тока в установившемся режиме по окончании разгона АД можно констатировать нецелесообразность использования сетевых дросселей с $u_K < 0,4\%$. Для возможности обобщения выводов целесообразно провести аналогичные исследования для АД иных мощностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сетевые и моторные дроссели ДРТ и ДРТМ: применение. URL: hmatic.ru/files/setevye_i_motornye_drosseli_drt_i_drtm.pdf
2. Product information LR3/ALR3 // BLOCK Transformatoren-Elektronik. URL: www.block.eu/assets/data/409/.../lr3_reactor__0_9_mb_.pdf
3. Lenze AC Tech. Application note. When to use a line or load reactor protecting the drive or the motor. URL: <http://www.rae.ca/wp-content/uploads/Line%20Reactor%20White%20Paper%20AN0032.pdf>
4. Преобразователи частоты Altivar 61 для трехфазных асинхронных двигателей мощностью от 0,75 до 630 кВт. URL: <https://www.icsgroup.ru/upload/iblock/085/atv61catru.pdf>
5. Пустоветов М. Ю., Чубукин А. В. Влияние индуктивности Г-образного фильтра в звене постоянного напряжения преобразователя частоты на потребляемый из сети ток // Автоматизированные технологии и производства. 2017. № 1 (15). С. 43–49.
6. Пустоветов М. Ю. Моделирование характеристик частотно-регулируемого электропривода с синус-фильтром // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2013. № 1. С. 18–26.
7. Пустоветов М. Ю. Подход к реализации на ЭВМ математической модели асинхронного двигателя, предназначенной для использования в качестве составной части моделей электротехнических комплексов и систем // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы 16-ой Международной научно-практ. конференции, посвящённой 110-летию Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, 6–7 дек. 2016 г. Новочеркасск: Лик, 2016. С. 332–344.

* * *

Pustovetov Mikhail Yu.
SIMULATING OF THE LINE REACTOR INFLUENCE
TO FREQUENCY CONVERTER CHARACTERISTICS
 (Don State Technical University, Rostov-on-Don)

The paper deals with the examination of the line reactor with different values of inductance influence to frequency converter characteristics. On the basis of computer simulation provides determination of the limit reduction of inductance, below which the use of line reactor is ineffective. Author consider the variants at the presence and absence of inductors in the DC link of converter.

Keywords: line reactor, frequency converter, induction motor, consumed from the network current, harmonics.

REFERENCES

1. *Setevye i motornye drosseli DRT i DRTM: primeneniye* (Line and motor reactors DRT and DRTM: application), Available at: hmatic.ru/files/setevye_i_motornye_drosseli_drt_i_drtm.pdf
2. *Product information LR3/ALR3 – BLOCK Transformatoren-Elektronik*, Available at: www.block.eu/assets/data/409/.../lr3_reactor__0_9_mb_.pdf
3. *Lenze AC Tech. Application note. When to use a line or load reactor protecting the drive or the motor*, Available at: <http://www.rae.ca/wp-content/uploads/Line%20Reactor%20White%20Paper%20AN0032.pdf>

4. *Preobrazovateli chastoty Altivar 61 dlya trekhfaznykh asinkhronnykh dviga-teley moshchnost'yu ot 0,75 do 630 kVt* (Frequency converters Altivar 61 for 3-phase induction motors rated from 0.75 to 630 rW), Available at: <https://www.icsgroup.ru/upload/iblock/085/atv61catru.pdf>
5. Pustovetov M.Yu., Chubukin A.V. The influence of the inductance of L-filter in the DC link of the VVVF converter on the consumption of network current [Vliyanie induktivnosti G-obraznogo fil'tra v zvene postoyannogo napryazheniya preobrazovatelya chastoty na potrebyaemyj iz seti tok], *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva*, 2017, no. 1 (15), pp. 43–49.
6. Pustovetov M.Yu. Modeling the characteristics of VVVF-drive with a sine-wave filter [Modelirovanie kharakteristik chastotno-reguliruemogo elektroprivoda s sinus-fil'trom], *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh*, 2013, no. 1, pp. 18–26.
7. Pustovetov M.Yu. Approach to implementation on a computer mathematical model of induction motor suitable for use as an integral part of models of electrotechnical complexes and systems [Podkhod k realizatsii na EVM matematicheskoy modeli asinkhronnogo dvigatelya, prednaznachennoy dlya ispol'zovaniya v kachestve sostavnoy chasti modeley elektrotekhnicheskikh kompleksov i system], *Modelirovanie. Teoriya, metody i sredstva: materialy 16-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konferentsii, posvyashchennoy 110-letiyu Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta (NPI) imeni M. I. Platova*, (Modeling. Theory, methods and means: materials of the 16th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 110th anniversary of the South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after MI Platov), Novochechensk, Lick Publ., 2016, pp. 332–344.

* * *