

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Делягин В.Н., Бочаров В.И.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской Академии Наук, г. Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по оценке электромагнитной совместимости элементов системы электроснабжения автономных потребителей малой мощности. Предметом исследования являются количественная оценка уровня гармонических составляющих токов и напряжений в системе: генератор на постоянных магнитах-преобразователь постоянного тока в переменный (DC-AC)-бытовой потребитель с нелинейной нагрузкой. Исследования показали, что уровень гармоник напряжения и тока в автономной электрической сети (фермерское хозяйство), многократно (от 3 до 10 раз) превышает нормативные требования. Кратность увеличения потерь электрической энергии составляет от 5 ("чистый" синус преобразователя DC-AC) до 20 (прямоугольный меандр). При проектировании систем автономного электроснабжения необходимо предусматривать меры по снижению потерь электрической энергии, по предотвращению выхода из строя электрооборудования и ложного срабатывания электронных устройств у потребителя электрической энергии.

Ключевые слова. автономный источник, качество электроэнергии, гармоники, электромагнитная совместимость, ущерб.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF LOW-POWER AUTONOMOUS POWER SUPPLY EQUIPMENT

Delyagin, V. N., Bocharov V. I.

Siberian Federal research center for agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

Annotation. The article presents the results of research on the evaluation of electromagnetic compatibility of elements of the power supply system for Autonomous low-power consumers. The subject of the study is a quantitative assessment of the level of harmonic components of currents and voltages in systems: a permanent magnet generator-a DC-to-AC Converter-a consumer with a nonlinear load and interfering interaction of jointly working elements of this system. The level of harmonics of voltage and current in the local electrical network (farm), repeatedly (from 3 to 10 times) exceeds the regulatory requirements. The multiplicity of the increase in electrical energy losses (K-Factor) is from 5("pure" sine of the DC-AC Converter) to 20 (rectangular meander). When designing Autonomous systems, it is necessary to provide measures to reduce the loss of electrical energy, exit from standing electrical equipment and false triggering of electronic devices in the consumer of electric energy.

Keyword. Autonomous source, power quality, harmonics, electromagnetic compatibility, damage

Переход на новую элементную базу бытовой техники (программируемые и интеллектуальные системы, импульсные источники питания, системы освещения, компьютеры и т.д.), обуславливающий нелинейную нагрузку и приводящий к существенному изменению синусоидальных кривых напряжения и тока в дополнении к увеличению спектра гармоник напряжения при включении преобразователя DC-AC, приводит к материальному ущербу (увеличение потерь энергии, отключения потребителей, выход из строя электроприемников). Доля нелинейной нагрузки, при использовании преобразователей AC-DC и источников электроснабжения (генераторов) со значительным уровнем гармоник характерно для автономных систем электроснабжения фермерских хозяйств малой мощности, работающих на возобновляемых источниках энергии (фотоэлектрические станции, микрогэс и т.д.).

Несмотря на большое количество исследований по обоснованию параметров комбинированных энергетических установок малой (до 5 кВт) мощности работающих в автономном режиме, отсутствуют результаты обследования уровня "гармонического загрязнения" систем электроснабжения на реальных объектах [1]-[6]. Параметры систем определяются с использованием приближенных методов расчета,

без проверки на реальных установках из-за отсутствия должного приборного обеспечения. Целесообразно проведение прямых натурных исследований автономных систем электроснабжения. Это позволит уточнить требования по электромагнитной совместимости используемых электроустановок и дать количественную оценку качества электрической энергии в автономной системе электроснабжения предельно малой мощности.

Цель исследований - установление взаимосвязи гармонических составляющих токов и напряжений в сети 220 В со структурой системы автономного электроснабжения малой мощности, позволяющей минимизировать возможный ущерб от некачественного электроснабжения за счет её оптимизации.

Предметом исследования является количественная оценка уровня гармонических составляющих токов и напряжений в системе "генератор на постоянных магнитах - преобразователь постоянного тока(DC) в переменный(AC) - бытовой потребитель с нелинейной нагрузкой".

Материалы и методы. Измерение параметров электрической сети осуществлялось в соответствии с ГОСТ 32144-2013-нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, стандарта EN 50160. Измерения проводились на полноразмерной физической модели системы электроснабжения фермерского хозяйства с использованием миро-ГЭС.

Схема измерения параметров качества электрической энергии представлена на рисунке 1. Используемое приборное обеспечение. Источник переменного тока - синхронная трехфазная машина в режиме генератора мощностью 500 Вт, рис.1. Выходное напряжение 12 В. Выпрямитель AC-DC. Преобразователь DC-AC 12/220 В типа E350-12, мощностью 350 Вт. Нагрузка генератора - асинхронные двигатели, светодиодные лампы, компьютер с импульсным источником питания, имитаторы активно-индуктивной (R-L) и активно-емкостной (R-C) нагрузки.

Параметры качества электрической энергии исследуемой системы измерялись с помощью анализаторов качества электроэнергии Fluke – 434, Metrel 2892. Синусоидальность выходного напряжения дополнительно контролировалась с помощью цифрового осциллографа GDS - 7220. Электрические параметры сети, питающей приводной асинхронный двигатель, измерялись и регистрировались с помощью трехфазного анализатора мощности АСМ - 3192.

Результаты и обсуждение. Для оценки электромагнитной совместимости элементов системы выбраны следующие показатели:

- суммарный коэффициент гармонических составляющих кривой тока THDI;
- суммарный коэффициент гармонических составляющих кривой напряжения THDU;
- коэффициент, характеризующий вклад высших гармоник в процесс нагрева трансформатора, K_{factor} ;
- пик-фактор тока (CFi)и напряжения(CFu);
- максимальные и минимальные значения токов и напряжений, потребляемая мощность.

Результаты измерений параметров системы электроснабжения автономного потребителя представлены в таблице 1.

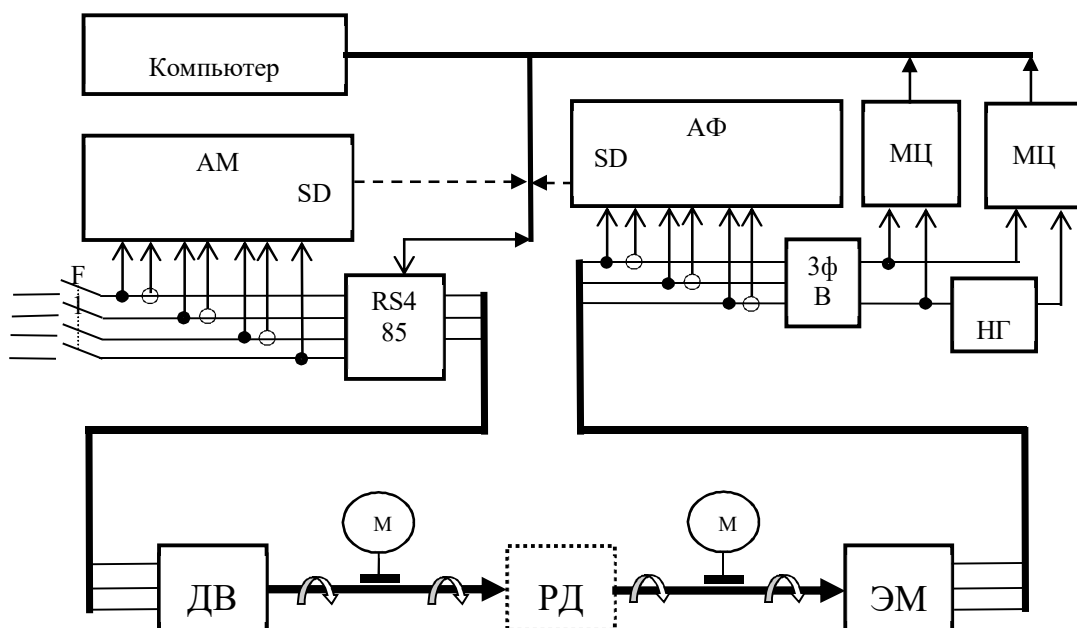
Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих кривых тока и напряжения составляют 75...85% при использовании простейших преобразователей AC-DC (меандр). В случае использования "чистых" синусных преобразователей суммарный коэффициент гармонических составляющих кривых тока и напряжения составил 18...19% при различных нагрузках. Нормируемые значения данного показателя составляют 8-12%.

Увеличение потерь энергии в элементах системы электроснабжения (K_{factor}) составило от 4 до 20.

При проведении экспериментов наблюдались ложные срабатывания элементов защиты электроприборов и нарушения в работе локальной компьютерной сети.

Значения пик-факторов тока и напряжения показывают на взаимодействия источника питания и нагрузки.

Анализ полученных результатов показывает нецелесообразность обеспечения нормируемых показателей гармонических искажений традиционными методами (снижения полного сопротивления сети, применение активных фильтров гармоник и т.д.) даже при использовании качественных преобразователей DC-AC. Существующие тенденции современного потребительского рынка бытовых приборов констатируют все возрастающую долю оборудования с нелинейной характеристикой нагрузки. Перспективные источники электроэнергии и традиционная автономная система электроснабжения бытовых потребителей энергии (220 В переменного тока) не отвечает требованиям электромагнитной совместимости для данной категории потребителей.



Обозн.	Наименование	Обозн.	Наименование
АМ	Анализатор мощности АСМ-3192	ПЧ	Преобразователи частоты VF-S11
ДВ	Электродвигатель асинхронный	РД	Редуктор
ЭМ	Электрическая машина (генератор)	АФ	Анализатор фаз и мощности Metrel
ЦО	Цифровой осциллограф GDS-7220	ВП	Выпрямитель 3-х фазный
МЦ	Мультиметр цифровой AM-1152	НГ	Нагрузка (XR-CR)
M1, M2	Тахометр - Testo 460	F1	Автоматический выключатель

Рисунок 1 - Схема измерения параметров качества электрической энергии автономной системы электроснабжения

Таблица 1 – Характеристики системы при различном характере нагрузки

Символ	Параметр	Единица измерения	тип нагрузки		
			R-C ¹	R-L ¹	R-C ²
I	Ток	А	0,3532	0,3891	204,4
f	Частота	Гц	50,428	49,982- --	50,079
THD U	THD напряжения	В	33,687	32,048	23,237
THD U	THD напряжения	%	74,396	98,864	18,562
THD I	THD тока	А	0,1757	0,1791	0,0351
THD I	THD тока	%	85,501	82,822	19,219
CFu	Пик-фактор напряжения		4,0955	3,9727	1,5377
CFi	Пик-фактор тока		8,5436	7,5712	3,8654
K-factor	Кратность увеличения потерь		18,8247	20,04	4,8654
U _{мин}	Мин. пик. напряжение	В	-272,1	-196	-198,6
U _{макс}	Макс. пик. напряжение	В	221,92	202,37	189,41
I _{мин}	Мин. пик. ток	А	-3,009	-1,594	-0,790
I _{макс}	Макс. пик. ток	А	1,4444	2,9463	0,651
	Активная мощность	Вт	20,191	18,887	22,131
P	Реактивная мощность	Вар	-11,82	20,817	-14,4

x¹ - форма выходного напряжения преобразователя AC-DC-меандр

x²- форма выходного напряжения преобразователя AC-DC "чистый" синус

Выводы:

1. Уровень гармоник напряжения и тока в локальной электрической сети, многократно (от 3 до 10 раз) превышает нормативные требования. Кратность увеличения потерь электрической энергии может достигать от 5 ("чистый" синус преобразователя DC-AC) до 20 (прямоугольный меандр).

2. Электромагнитная совместимость традиционных элементов системы электроснабжения (DC-AC преобразователи, генераторы на постоянных магнитах) и перспективных электроприборов бытового сектора с нелинейной нагрузкой не отвечает существующим стандартам на качество электрической энергии.

3. Для обеспечения надлежащей работы электрооборудования и предотвращения возможного ущерба необходимо контролировать уровень гармоник в электрической сети, измеряя гармонический спектр тока и напряжения в реальном масштабе времени.

4. Проведенные исследования на реальной электрической сети позволяют поставить вопрос о целесообразности перехода автономных систем электроснабжения на постоянный ток с выпуском соответствующего бытового электрооборудования.

Список использованных источников

1. Капустин В.М., Лопухин А.А. Компьютеры и трехфазная электрическая сеть // Современные технологии автоматизации - СТА, №2, 1997, стр. 104-108.

2. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W. Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill, 1996. - 265 стр.

3. Fiorina J.N. Inverters and Harmonics // Cahier Technique Merlin Gerin, no 159. - 19 стр.

4. Yacamini R. Power System Harmonics. Part 3 - Problems caused by distorted supplies // Power Engineering Journal, Oct., 1995, стр. 233-238.

5. Harmonic Disturbances in Networks and Their Treatment // Cahier Technique Schneider Electric, no 152. - 25 стр.

6. Forrester W. Networking in Harmony // Electrical Contractor, Nov. / Dec., 1996, стр. 38-39.

Исследование выполнено в рамках научного проекта. № 0778-2019-0023.