

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Слепушкина Ж.Ю.

Представлен систематизированный материал, характеризующий связь показателей качества с эффективностью работы электропотребителей. Дана функциональная схема автономной электроэнергетической системы. Показана связь крутящего момента двигателя с цикличностью подачи топлива.

Назначение электроэнергетической системы (ЭЭС) – получение электрической энергии, распределение ее по потребителям и использование электроприемниками. Электрическая энергия, являясь продуктом, вырабатываемым ЭЭС, обладает определенными характеристиками. С целью определения пригодности электричества для потребителей, введены нормы качества электроэнергии на клеммах потребителей. Эти нормы, с одной стороны, являются требованиями к потребителям и определяют условия, при которых они должны нормально работать. С другой стороны, это требования к ЭЭС как системе электроснабжения, которые должны быть обеспечены на клеммах всех потребителей во всех режимах работы [1].

Качество электроэнергии считается идеальным при условиях: напряжение и частота на зажимах приемников электроэнергии равны номинальным значениям; форма кривой напряжения переменного тока представляет собой синусоиду, период которой соответствует номинальной частоте; напряжения фаз трехфазного переменного тока симметричны.

Влияние электричества низкого качества на разные виды потребителей представлено в таблице 1.

Приведенные данные говорят о необходимости соблюдения качественных показателей электроэнергии.

Для обеспечения необходимого качества электроэнергии принимаются определенные меры [1]. Для пуска короткозамкнутых асинхронных электродвигателей применяются специальные пусковые устройства, снижающие потребляемый при пуске ток. Чтобы избежать большой несимметрии напряжений в трехфазной системе стараются равномерно распределять однофазные потребители по фазам с учетом режимов их работы и системы в целом. Допустимая величина искажений формы кривой напряжения обес-

печивается подбором соответствующих соотношений мощностей и параметров источников и одновременно работающих статических преобразователей. Допустимые длительные и кратковременные отклонения напряжения и частоты обеспечивают установкой соответствующей системы регулирования напряжения источника электроэнергии, подбором подходящих систем регулирования частоты вращения первичного двигателя, а также учитывают влияние одновременно работающих потребителей в той или иной системе.

Многие из мероприятий по улучшению качества электричества подбираются экспериментальным путем. Более удобный способ решения этой проблемы – моделирование на ЭВМ разных ситуаций.

Представим автономный дизель-генераторный агрегат с системами регулирования и комплексной нагрузкой структурной схемой (рисунок 1), где Д – дизель, Г – генератор, РС – регулятор скорости вращения дизеля, ССН – система стабилизации напряжения генератора, Z – комплексная нагрузка, h – перемещение рейки топливного насоса, n – частота вращения вала дизель-генераторного агрегата, U_g – напряжение генератора, f – частота напряжения, U_e – напряжение в цепи возбуждения, I_a – ток якоря генератора. В этом случае автоматическое регулирование характеристик электричества U_g , f осуществляется регулятором скорости вращения двигателя РС и системой стабилизации напряжения ССН. Если для машинной обработки составить математическую модель этой системы, то необходимо рассмотреть отдельно модели каждого элемента.

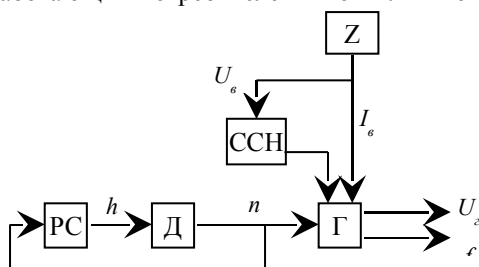


Рисунок 1 – Функциональная схема автономной электроэнергетической системы

Остановимся более подробно на некоторых свойствах двигателя внутреннего сгорания. Он является машиной циклического действия и, поэтому, на любом равновесном режиме его угловая скорость ω совершает определенные установившиеся колебания (рисунок 2). Для оценки этих колебаний введен специальный параметр $\Psi_\omega = 2 \cdot \frac{\Delta \omega_\epsilon}{\omega_0}$ – нестабильность угловой скорости коленчатого вала [2].

На рисунке введены следующие обозначения: $\Delta\omega_{зab}$ – заброс угловой скорости; $\Delta\omega_{ном}$, $\Delta\omega_{дин}$ – статическое и динамическое отклонение угловой скорости от равновесного режима; $\Delta\omega_{\epsilon}$ – фактическое отклонение угловой скорости от ее значения $\omega_{ном}(\Delta\omega_{max})$ на заданном равновесном режиме. Для разных типов и классов регуляторов эта величина колеблется от 0,5% до 4%.

Обычно при составлении математической модели дизеля цикличностью работы стараются пренебречь для упрощения исследования. Она учитывается при составлении выражения для крутящего момента дизеля в виде цикловой подачи топлива $g_{ц}$

$$M_k = k \cdot g_{ц} \eta_e,$$

где k – коэффициент пропорциональности; η_e – эффективный к.п.д. двигателя.

При этом значение $g_{ц}$ зависит от используемой марки топлива, от конструкции самого двигателя и его топливopодающей системы (эти характеристики двигателя не меняются со временем), а так же от частоты вращения двигателя. Она является действительно переменной величиной. Однако при этом не учитывается изменение положения органа, регулирующего топливopодачу, и изменение из-за этого давления в топливном трубопроводе, т.е. не берут во внимание переходные процессы в топливной аппаратуре, которые могут оказать существенное влияние на выходные характеристики двигателя.

Представим цикловую подачу топлива в неустановившемся режиме в виде [3]

$$g_{цк}^H = g_{цк}^H + \alpha_c \cdot V_H \cdot (P_{ок-1} - P_{ок}),$$

где $g_{цк}$ – цикловая подача топлива k -ого цикла установившегося режима; α_c – коэффициент сжимаемости топлива; V_H – объем нагнетательного трубопровода; $P_{ок-1}$, $P_{ок}$ – остаточные давления в $(k-1)$ и k -ом циклах. При этом принимаем, что они безинерционно следуют положению рейки топливного насоса h_p и частоте вращения ω_n . Тогда цикличность работы топливной аппаратуры двигателя будет учтена величинами остаточных давлений в предыдущем и последующем циклах работы.

Следовательно, если учесть специфику работы топливной аппаратуры дизеля при составлении математической модели ЭЭС (рисунок 1), то мож-

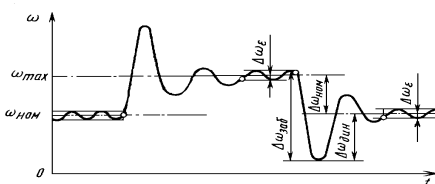


Рисунок 2 – Параметры переходного процесса системы автоматического регулирования двигателя внутреннего сгорания

но оценить влияние работы двигателя (в частности, его топливной аппаратуры) на качество электроэнергии, производимой в системе.

Таблица 1 – Влияние показателей качества электроэнергии на потребителей

№ п/п	Величина отклонения показателя качества электроэнергии	Влияние на характеристики потребителя
1	2	3
1	Показатель качества – отклонение напряжения [1] $\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \%,$ где U – действующее значение напряжения, В; $U_{ном}$ – номинальное значение напряжения, В.	

Продолжение таблицы 1

	Менее чем до 65% номинального напряжения	Происходит отключение пусковых станций асинхронных электроприводов
	Снижение на 1%	Вызывает уменьшение производительности труда в отраслях промышленности на 0,1...2,0%
	Увеличение на 10%	Срок службы осветительных установок сокращает в 4 раза
	Снижение на 7-10%	Пуск и работа люминесцентных ламп ненадежный, световая отдача снижается приблизительно пропорционально снижению уровня напряжения
2	Показатель качества – несимметрия напряжений (характеризуется коэффициентом обратной последовательности напряжения), В, $K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{ном}} \cdot 100\%,$ где $U_{2(1)}$ – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В; $U_{ном}$ – номинальное значение междуфазного напряжения, В.	
	Снижение на 2%	Сокращается срок службы асинхронных двигателей (АД) на 10,8%, синхронных двигателей (СД) – на 16,2%, трансформаторов – на 4%, конденсаторов – на 20%
	Около 1%	Создается несимметрия токов 7 - 9% в обмотках индукционных машин
	$k_{2U} = 3,5$	Температура обмоток двигателя повышается на 25%
	Амплитудно-фазовая несимметрия напряжений и токов	
		Погрешности измерений у обычных счетчиков могут достигать 33%
3	Показатель качества – несинусоидальность напряжения	

	$k_{исU} = 10 \times \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{ном}},$ где $U_{(n)}$ – действующее значение n-й гармонической составляющей напряжения; $U_{ном}$ – номинальное значение напряжения; n – порядок гармонической составляющей напряжения; N – номер последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения [1].
	Увеличение активного сопротивления токам высших гармоник, а это в свою очередь вызывает в АД значительные потери активной мощности и повышенный нагрев; дополнительный нагрев обмоток синхронных машин, рабочая температура нагрева существенно

Продолжение таблицы 1

	влияет на срок службы изоляции обмоток машин; особенно опасны перегревы обмотки возбуждения, которые приводят к быстрому выходу из строя оборудования
4	Суммарные потери активной мощности от несинусоидальности напряжения [3] $\Delta P_{см}'' = \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2 \cdot k_{см}''}{v \cdot \sqrt{v}} \times P_n,$ где P_n – номинальная активная мощность; U_v – отношение напряжения v-й гармоники к номинальному; v – порядковый номер гармоники напряжения; $k_{см}'' = k_{пот}'' + k_{см}''$, $k_{пот}''$, $k_{см}''$ – коэффициенты синхронных машин (см. таблицу 21 [3]).
	То же, что и в пункте 3

Библиография

1 Справочник судового электротехника / Под ред. Г.И. Китаенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1980. — Т. 1: Судовые электроэнергетические системы и устройства. — 528 с.

2 Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания / В.И. Крутов: Учеб. для вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. — 416 с.

3 Полуэктов В.С. Модель топливоподающей аппаратуры дизеля с учетом цикличности топливоподачи / В.С. Полуэктов, Е.И. Блаженков // Изв. высш. учебн. заведений. Сер. Машиностроение. — 1989. — № 4. — С. 78–83.

Поступила в редакцию 28.10.1999 г.