

УДК 621.316

К.А.Холопова (5 курс, каф. САУ), Палуку Казингуфу (асп., каф. САУ),
А.Н.Кривцов, к.т.н., проф.

КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ПИКОВЫХ НАГРУЗКАХ

Большое число малых предприятий и жилых поселков не имеют централизованного электроснабжения, как в России, так и за рубежом. Электроснабжение осуществляется от дизель-генераторных установок (ДГУ). Во многих странах электроснабжение от ДГУ заменяется нетрадиционными источниками электроэнергии, к которым могут быть отнесены и гидрогенераторы малой мощности. Весьма часто источники электроэнергии и потребители, образующие автономную систему электроснабжения (СЭС), удалены друг от друга на значительные расстояния до нескольких километров. Поэтому на качество электроснабжения начинают влиять параметры длинной линии. При пиковых нагрузках наблюдаются существенные провалы напряжения, вызывающие нарушения нормальной работы потребителей.

Наша задача – рассчитать характер токов и электромеханические переходные процессы в системе для гаммы двигателей, широко применяемых в малых горнорудных предприятиях. Обычно диапазон мощности таких двигателей лежит в пределах 5...50 кВт. При проектировании СЭС необходимо учесть параметры как источника питания, так и линии энергоснабжения. Для качественной оценки рассчитаем моменты, токи, скорости и время разгона двигателей в относительных единицах с учетом параметров СЭС.

Для базовой системы, питаемой от сети бесконечной мощности, при расчетах была использована модель АД, заимствованная из библиотеки DS88h. Входными сигналами для модели являлись напряжение сети, ее частота и момент сопротивления, выходными сигналами были ток статора, скорость, момент двигателя. Были просчитаны переходные процессы для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью 5,5 кВт, 11 кВт, 22 кВт, 30 кВт, 45 кВт, 55 кВт серии 4А. Характер нагрузки – вентиляторный: анализируется пуск двигателя, работающего на насосную установку с моментом вида $M_c = M_0 + c \cdot \omega^2$, где $M_0 = 0,2 \cdot M_n$, $M_c = 0,8 \cdot \frac{M_n}{\omega_n}$. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1.

P_n	кВт	5,5	11	22	30	45	55
$I_{\text{пускэ}}$	А	43	94	194	286	363	440
$M_{\text{пуск}}$	Нм	106,7	197,8	325,6	473,9	555,4	691,5
t_p	сек	0,127	0,195	0,622	0,559	1,425	2,271
I_n	А	10,6	20,1	38,9	52,8	80,1	97,3

где $I_{\text{пускэ}}$ – эквивалентный ток, действующее значение которого равно действующему значению реального тока на интервале пуска, t_p – время пуска (переходный процесс по скорости с трубкой точности 5%), $M_{\text{пуск}}$ – максимальный пусковой момент двигателя.

Все рассчитанные величины будут служить для оценки сравнительных изменений динамических параметров системы электроснабжения в качестве базовых величин.

Оценим динамические провалы напряжения в автономной системе электроснабжения мощностью 200 кВА при длине ЛЭП около 2,5 км. Были выполнены инженерные расчеты ЛЭП для потребителя типа малого горнорудного предприятия и жилого поселка при нем. На базе MatLab-Simulink была составлена модель полной системы и оценены динамические

показатели, аналогичные рассчитанным выше, при подключении короткозамкнутых АД из ряда приведенного в табл. 1. Результаты моделирования сведены в табл. 2.

Таблица 2.

P_n	кВт	5,5	11	22	30	45	55
$I_{\text{пускэ}}$	отн.ед.	1,51	0,96	1,13	1,40	1,10	1,02
I_n	отн.ед.	1,42	1,00	1,54	1,52	----	----
U на двиг	отн.ед.	1,00	0,99	0,98	0,91	0,68	0,64
ΔU	%	10	14	16	25	40	44
t_n	отн.ед.	1,02	1,03	1,41	2,36	----	---

Эти исследования показывают, что двигатели малой мощности (5,5 кВт, 11 кВт) как в динамическом, так и установившемся режиме имеют те же показатели, что и в базовой системе при бесконечной мощности. Провалы в СЭС лежат в пределах допустимых значений – $\pm 15\%$ и, следовательно, можно не использовать дополнительные устройства для улучшения качества электроснабжения, которые приведут к удорожанию системы. Провалы напряжения при пуске АД мощностью от 20 до 30 кВт становятся недопустимыми и необходимо применить дополнительные компенсационные меры для его стабилизации. Такими мерами являются использование поперечной и продольной емкостной компенсации. Двигатели мощностью свыше 45 кВт не пускаются. Как показали наши предварительные расчеты, требуются дополнительные компенсационные меры (табл. 3).

Таблица 3. Результаты моделирования СЭС с использованием емкостной компенсации (УПЕК).

P_n	кВт	5,5	11	22	30	45	55	
$I_{\text{пускэ}}$	отн.ед.	1,40	0,85	1,13	1,12	0,96	1,02	3а
I_n	отн.ед.	1,27	0,90	1,29	1,42	----	----	
U на двиг	отн.ед.	1,05	1,05	1,00	1,05	0,68	0,64	
ΔU	%	7	13	22	27	40	44	
t_n	отн.ед.	0,87	0,97	1,17	1,43	----	---	
С комп.	мкФ	220,6	220,6	220,6	275,6			
$I_{\text{пускэ}}$	отн.ед.	1,40	0,90	1,19	1,26	1,24	1,02-0,91	3б
I_n	отн.ед.	1,23	1,00	1,34	1,33	1,21	0,99-0,72	
U на двиг	отн.ед.	1,09	1,09	1,05	1,07	1,10	1,15-1,55	
ΔU	%	6	12,5	15	26	22	20-38	
t_n	отн.ед.	0,79	0,92	0,92	1,48	1,40	1,54-2,99	
С комп.	мкФ	330,8	330,8	330,8	562,4	771,9	1378	

УПЕК подключается к СЭС непосредственно у потребителя. Были рассчитаны переходные процессы в случае, когда УПЕК компенсирует индуктивное сопротивление линии X_L (табл. 3а) и когда подбирается оптимальное значение емкости, обеспечивающее минимизацию провалов напряжения (табл. 3б). При компенсации только реактивности линии провалы напряжения близки к данным табл. 2, т.е. условие $|X_L| = |X_C|$ не обеспечивает стабилизации напряжения. Оптимальные значения емкости были получены из условия получения минимума провала напряжения, при этом становится возможным пуск АД при любой мощности в исследуемом диапазоне. Недостатками систем с емкостной компенсацией являются возникновение сильных колебаний в переходных процессах и появление перенапряжений, достигающих 1,5 значения по отношению к U_n .

В результате исследований автономных СЭС, в составе электрооборудования которых имеются мощные АД, можно сделать следующие выводы:

1. Для энергосистем с мощностью генераторов до 200 кВт пуски АД с P_n более 11 кВт ведут к недопустимым провалам сетевого напряжения.

2. Для компенсации провалов при $P_{АД}$ в диапазоне от 11 до 30 кВт можно использовать методы поперечной или продольной емкостной компенсации. Использование емкостных компенсаторов при больших мощностях ведет к появлению в системе недопустимых перенапряжений, что требует разработки дополнительных мер стабилизации.