УДК 622:621.5

В.В.СОБОЛЕВ, *аспирант, velobosv@rambler.ru*
О.Б.ШОНИН, *д-р техн. наук,* **профессор,** *ninosh_eltech@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

V.V.SOBOLEV, *post-graduate student, velobosv@rambler.ru*
O.B.SHONIN, *Dr. in eng. sc., professor, ninosh_eltech@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ШАХТЫ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Приведена сравнительная оценка влияния электропривода вентиляторов главного проветривания на питающую сеть. Предложен частотно-регулируемый электропривод на основе преобразователя частоты, состоящего из выпрямителя с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и ШИМ-инвертором, который позволяет независимо регулировать коэффициент мощности и изменять производительность вентилятора.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, частотно-регулируемый электропривод, ШИМ.

COMPENSATION OF SUPPLY STATION REACTIVE POWER BY MEANS OF THE MINE MAIN FAN ELECTRIC DRIVE

On the basis of comparative analysis of the mine main fan electric drive input voltage-current characteristics, a frequency-variable drive with pulse width modulation (PWM) rectifier and PWM inverter is shown to be the most competitive one because of its capability to independently implement the substation power factor correction and the mine air flow energy-saving control.

Key words: compensation of reactive power, frequency-variable drive, PWM.

После отмены приказом Минэнерго России от 10.01.2001 № 2 «Правил пользования электрической и тепловой энергией» большинство потребителей электрической энергии перестали участвовать в поддержании коэффициента мощности и компенсации реактивной мощности на шинах нагрузок. Например, существующая на предприятиях ОАО «Воркутауголь» система дифференцированных по зонам суток расчетов за электроэнергию не предусматривает системы расчетов с компанией-поставщиком за реактивную энергию, доля которой на шахтах велика. Например, на шахте «Заполярная» средний уровень потребленной активной мощности составляет около 7700 кВт, а реактивной – приблизительно 3700 квар. Следует отметить, что права и обязанности, связанные с оказанием услуг по компенсации реактивной энергии (мощности), четко регламентированы и отражены в «Правилах недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг», утвержденных 27.12.2004 г. № 861(ред. от 31.08.2006 г.). На необходимость уменьшения в распределительных сетях балластных потоков реактивной мощности за счет ее компенсации потребителем указано также в приказе РАО «ЕЭС России» от 11.12.2006 г. № 893 «О повышении устой-

чивости и технико-экономической эффективности распределительных электрических сетей и систем электроснабжения потребителей за счет управления потоками реактивной мощности и нормализации уровней напряжения». Ведется разработка закона об ответственности потребителей за невыполнение заданного поставщиком электроэнергии режима потребления реактивной энергии и искажение параметров качества электроэнергии. Следовательно, уже сегодня важно отслеживать потоки и распределение активной и реактивной мощности (энергии) в системах электроснабжения горных предприятий.

Подстанции всех горных предприятий имеют в своем составе установки поперечной емкостной компенсации (УПОК) для централизованной генерации реактивной мощности. Основным недостатком при эксплуатации УПОК является ступенчатое регулирование реактивной мощности, частый выход из строя конденсаторных батарей (КБ) в основном из-за влияния высших гармоник сети. Плавно регулируемыми источниками реактивной мощности являются синхронные двигатели (СД), работающие в режиме перевозбуждения. Активная P и реактивная Q мощности зависят от ЭДС E, реактивного сопротивления X_Σ, напряжения сети U_c и угла δ между векторами E и U_c:

$$P = \frac{EU_c \sin\delta}{X_\Sigma}; \; Q = \frac{U_c(U_c - E\cos\delta)}{X_\Sigma}. \quad (1)$$

При номинальной мощности двигателя $S_{ном}$ и мощности нагрузки P регулирование реактивной мощности $Q = \sqrt{S_{ном}^2 - P^2}$ осуществляется за счет изменения ЭДС E под влиянием тока возбуждения. Основное достоинство таких регуляторов – отсутствие мощности искажений, недостаток – зависимость генерируемой реактивной мощности от нагрузки двигателя по активной мощности в соответствии с U-характеристиками.

Для генерации реактивной мощности удобнее использовать СД со спокойной нагрузкой на валу. К таким шахтным установкам относятся вентиляторы главного проветривания (ВГП).

Оценим возможность использования нерегулируемых электроприводов ВГП для повышения коэффициента мощности предприятия на примере шахты «Заполярная» ОАО «Воркутауголь», на вентиляционных стволах № 2 и № 3 которой эксплуатируются установки ВЦД-32М с синхронными двигателями СДВ 15-64-10 мощностью $P_{ном} = 1250$ кВт при $S_{ном} = 1460$ кВ·А.

По рабочим точкам ВГП, построенным путем наложения характеристик вентилятора и шахтной вентиляционной сети: $H = f(q)$ (где H – депрессия вентилятора или шахты, МПа; q – подача воздуха, м^3/с), были получены мощности вентиляторов ствола № 2 – $P_2 = 1030$ кВт и ствола № 3 – $P_3 = 960$ кВт. Если учесть коэффициенты использования двигателей и соответствующие им КПД, то при помощи каждого из электроприводов ВГП можно скомпенсировать $Q_2 \approx 971$ квар и $Q_3 \approx 1048$ квар. Суммарная реактивная мощность $Q_\Sigma = Q_2 + Q_3 = 2019$ квар позволяет снизить потребление реактивной мощности на вводах главной понизительной подстанции шахты на 50 %.

При работе комплекса СД-СВ в режиме компенсации необходимо учитывать потери активной мощности ΔP на генерацию реактивной мощности*:

$$\Delta P = b\alpha^2 Q_{ном}^2 + c\alpha Q_{ном}, \quad (2)$$

где b и c – конструктивные коэффициенты; $\alpha = Q/Q_{ном}$ – коэффициент загрузки двигателя по реактивной мощности.

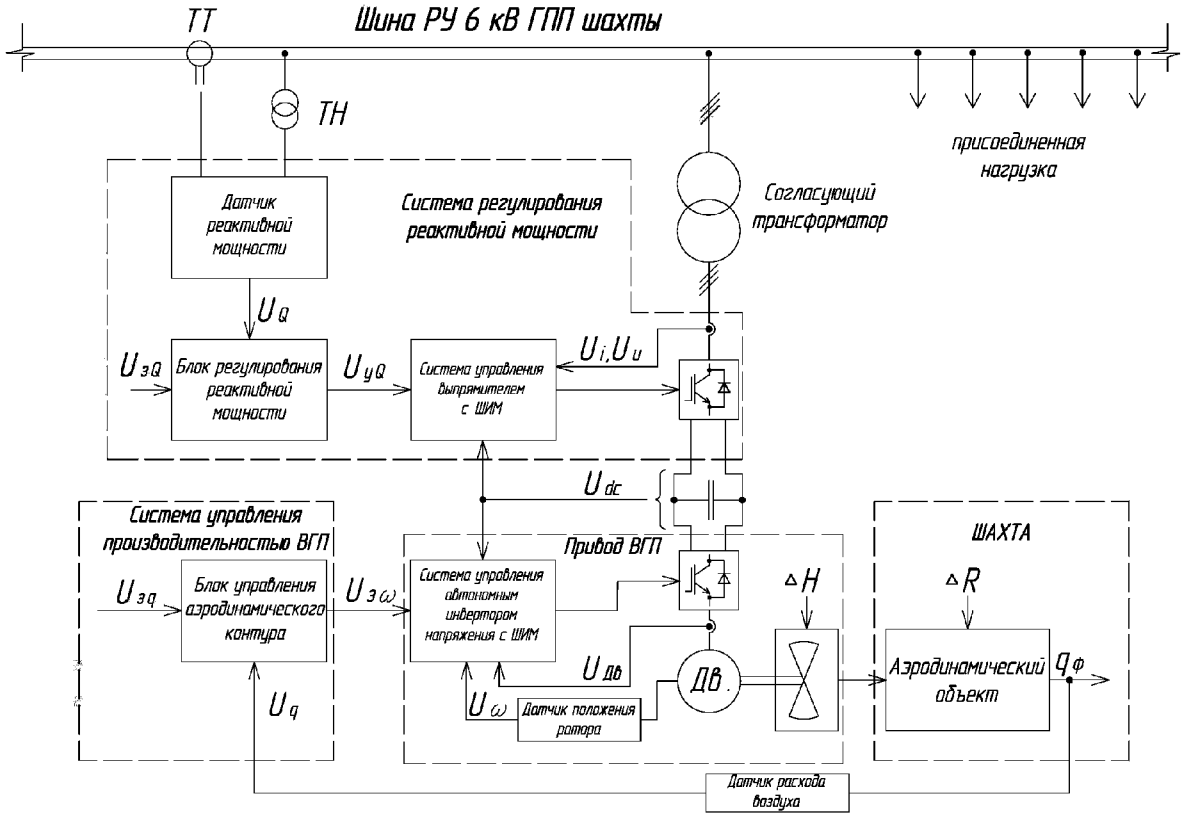
Номинальная реактивная мощность двигателя СДВ 15-64-10 составляет $Q = 754$ квар. Используя коэффициенты загрузки двигателей по реактивной мощности: $\alpha_2 = 1{,}28$; $\alpha_3 = 1{,}39$, – и значения коэффициентов $b = 0{,}0131$ и $c = 0{,}00604$, получим, что дополнительные потери активной мощности на генерацию реактивной $\Delta P_2 = 12{,}4$ кВт; $\Delta P_3 = 14{,}4$ кВт.

Современные микропроцессорные системы управления статическими возбудителями (СВ) типа ТЕ8-320/75 позволяют автома-

---

* Электромеханические комплексы с синхронным двигателем и тиристорным возбуждением / Б.Н.Абрамович, В.Я.Чаронов, Ф.Д.Дубинин, Ю.В.Коновалов. СПб.: Наука, 1995. 264 с.

Abramovitch B.N., Tcharonov V.Y., Dubinin F.D., Konovalov J.V. Electromechanical complexes with synchronous motors and thyristor-based field excitation. Saint Petersburg: Nauka, 1995. 264 p.



Функциональная схема управления энергосберегающего электропривода ВГП:

ТТ и ТН – измерительные трансформаторы тока и напряжения сети; $U_{зQ}$, U_Q, $U_{уQ}$ – сигналы задания, изменения и управления по реактивной мощности; $U_{зq}$, U_q, $U_{з\omega}$ – сигналы задания, изменения и управления по расходу воздуха; U_i, U_u – сигналы тока, напряжения входной цепи ШИМ-выпрямителя; $U_{дв}$ – сигнал тока двигателя; U_{dc} – сигнал напряжения звена постоянного тока ШИМ-выпрямителя и ШИМ-инвертора; U_ω – сигнал скорости вращения; ΔH и ΔR – возмущения по давлению и аэродинамическому сопротивлению; $q_ф$ – фактическая подача воздуха в шахту

тически поддерживать заданный коэффициент мощности при минимальной потере активной мощности и обеспечении устойчивой работы СД как динамической системы. Имеющийся набор сервисных функций позволяет интегрировать комплекс СД-СВ в автоматизированные системы управления электроснабжения предприятия (АСУ ЭС) для эффективной централизованной компенсации реактивной мощности.

Развитие частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП) позволяет вывести электропривод ВГП на качественно новый уровень энергосбережения.

Частотное управление производительности ВГП при нулевом угле установки направляющего аппарата ($\alpha = 0°$) и изменяемой скорости вращения рабочего колеса ($n = \text{var}$) дает значительный выигрыш в мощности по сравнению с аэродинамическим способом регулирования ($\alpha = \text{var}$ и $n = n_{ном} = \text{const}$). Так, ранее авторами было показано*, что снижение частоты вращения до $n = 0{,}95 n_{ном}$ при сохранении рабочей точки ВГП позволяет снизить нагрузку на двигатель по мощности на 12-15 %. Экономия электроэнергии в течение срока службы шахты (20-25 лет) становится весьма заметной. Оценки показывают, что она соответст-

* *Соболев В.В.* Анализ режимов работы вентиляторов главного проветривания шахты «Заполярная» ОАО «Воркутауголь» / В.В.Соболев, О.Б.Шонин // Зап. Горного института. Т. 167. 2006. С. 201-204.

Sobolev V.V., *Shonin O.B.* Analysis of operation modes of main fans of the coal mine «Zapolyarnaya» JSC «Vorkutaugol» // Proceedings of the Mining Institute. 2006. V.167. P. 201-204.

вует пяти срокам окупаемости, включая затраты на обслуживание.

Если снабдить ЧРП активным выпрямителем с ШИМ, то возникает дополнительный эффект энергосбережения, обусловленный компенсацией реактивной мощности. При этом потребление активной мощности и генерация реактивной мощности, как и в случае с СД, описываются формулами (1), в которых изменение ЭДС E достигается за счет управления коэффициентом модуляции ШИМ-выпрямителя. При соответствующем выборе частоты ШИМ кроме компенсации реактивной мощности возможно подавление высших гармоник на шинах главной понизительной подстанции шахты (ГПП).

Функциональная схема энергосберегающего ЧРП привода ВГП показана на рисунке. Сигналы с измерительных трансформаторов тока и напряжения подаются на вход системы регулирования реактивной мощности. Возмущающим воздействием для этого контура является изменение реактивной энергии Q на шине 6 кВ ГПП, отклонение напряжения сети ΔU_C. Привод ВГП, состоящий из системы управления, ШИМ-инвертора и двигателя, имеет собственные контуры регулирования и предназначен для поддержания необходимой скорости вращения ВГП. Задание для контура регулирования скорости $U_{З\omega}$ формирует система управления ВГП, отвечающая за подачу воздуха в шахтную вентиляционную сеть $Q_Ф$. Шахта является сложным аэродинамическим объектом управления с большим числом возмущающих воздействий и инерционностью, которая на несколько порядков превышает инерционность собственно ЧРП. Поэтому к контурам управления производительностью вентилятора и компенсации реактивной мощности предъявляются различные требования по быстродействию.

Согласно требованиям «Правил безопасности в угольных шахтах» каждый ВГП должен состоять из двух идентичных установок, одна из которых находится в резерве.

Это вызывает необходимость установки двух ЧРП ВГП. При такой конструкции установки активный выпрямитель резервного электропривода может быть использован для компенсации реактивной мощности и высших гармоник на период регламентных работ механических частей ВГП и двигателя. В этом случае ШИМ-выпрямитель выполняет функцию устройств типа STATCOM.

Научный руководитель д-р техн. наук, профессор *О.Б.Шонин*