

Ю.А. Папаика, А.Г. Лысенко

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Постановка вопроса. Электроды сопротивления (ЭПС) – распространенные электроприемники в цехах машиностроительных предприятий. При всем разнообразии типов и конструкций этих печей, принцип их работы один – преобразование электрической энергии в тепловую, которая используется для термообработки изделий. В настоящее время большинство электродов, находящихся в эксплуатации, работают по позиционному принципу регулирования температуры. Однако, поскольку в специальной литературе [2] широко освещено, что 80% всего парка электродов изношено до предела и требует немедленной замены, в ближайшем будущем намечается тенденция массовой замены устаревшего оборудования на электроды нового поколения с тиристорными источниками питания (ТУИП). Печи с позиционными регуляторами имели хорошую электромагнитную совместимость с сетью и классифицировались как электроприемники с практически постоянным графиком нагрузок. С появлением нового поколения электродов, а главное при массовом их использовании для специалистов в области электроснабжения и качества электроэнергии возникает необходимость проведения научных исследований электромагнитной совместимости данных установок с питающей сетью.

Актуальность таких исследований заключается в следующем. Известно, что тиристорные источники питания являются генераторами высших гармоник тока и напряжения в сеть, при чем уровень этих гармоник зависит от их режима (угла отпираания тиристоров α). Необходимо отметить тот факт, что электродное оборудование термических цехов может достигать 80-90% от общего цехового электрооборудования, поэтому поиск путей улучшения электромагнитной совместимости в данных сетях с наименьшими капитальными затратами является актуальной научно-технической задачей.

Работы по повышению качества электроэнергии проводились ранее ведущими специалистами в области электроэнергетики [1, 2]. Результаты работ показали, что эффективным средством снижения вредного влияния на сети высших гармонических составляющих – это установка фильтров, что подтверждается многолетним опытом эксплуатации на предприятии. Однако необходимо отметить, что недостаточно внимания уделялось разработке методов режимного повышения качества. Имеется в виду поиск таких режимов работы “проблемных” для сетей электроприемников, которые бы обеспечивали требуемую электромагнитную совместимость, без ущерба их технологии.

Разработке указанных режимов для условий, характерных в распределительных сетях промпредприятий с печной нагрузкой, посвящена данная работа.

Цель работы – обосновать связь режимных параметров печной установки нового поколения с показателями качества электроэнергии, вывести зависимости, по которым возможно оценить вредное влияние на электрооборудование несимметрии и несинусоидальности напряжения от удаленности источника питания и режима ТУИП.

Основная часть. В работе [3] предложено использовать неполнофазные режимы нагрева ЭПС, обоснованы необходимые условия для их реализации (точки режимного перехода в неполнофазный режим). Также показано, что применение неполнофазных режимов возможно только в случае исключения негативного влияния на качество процесса термообработки заготовок в рабочем пространстве печей. При развитии этой идеи возникает задача создания математической модели, которая позволит определить потери в электрооборудовании в зависимости от места подключения электропечи к сети (удаленности от источника питания шин 0,4 кВ комплектной трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ) и режима работы самого ТУИП. Такая модель даст возможность качественно оценить предлагаемые режимы и разработать практические рекомендации для эксплуатации электропечей.

При анализе режимов тиристорного источника питания электропечей [3] выделены основные причины появления высших гармоник напряжения и показано, что наиболее эффективные режимы с точки зрения использования электроэнергии реализуются при углах отпирания тиристоров до 80 град. При больших углах установка потребляет повышенную реактивную мощность и увеличивает уровень генерации высших гармоник в сеть. В процессе эксплуатации невозможно обеспечить оптимальные режимы электропотребления системы „тиристорный регулятор мощности – печь”. Это обусловлено тем, что:

- электропечь общепромышленного исполнения имеет, как правило, широкий диапазон изменения температуры рабочего пространства;
- форсировка нагрева в начальный период требует от источника питания резерва по активной мощности до 40 % от $P_{ном}$.
- нагреватели в процессе эксплуатации имеют особенность изменять свои физические свойства, то есть с течением определенного времени сопротивление нагревателей увеличивается (процесс "старения"). В таких случаях для реализации заданного температурного режима необходимо подавать повышенное напряжение.

При разработке энергосберегающих решений во внутривоздушных сетях предприятий машиностроительной отрасли возник вопрос качественной оценки эффективности предложенных специальных режимов. Доминирующим критерием в данном случае следует считать дополнительные потери активной мощности в электрооборудовании цеховой распределительной сети. Это утверждение можно подтвердить тем, что все нормируемые значения показатели качества электроэнергии, согласно ГОСТ 13109-97 были получены именно исходя из оценки негативного влияния их на электроприемники (дополнительные потери в обмотках электрических машин, перегрев обмоток, резонансные явления в цепях конденсаторов и др.).

Цеховые электросети 0,4 кВ промышленных предприятий характеризуются наличием приемников электроэнергии с различными графиками электрических нагрузок. Современные технологические процессы обуславливают применение мощных несимметричных, нелинейных и быстроизменяющихся нагрузок, что вызывает резкое ухудшение показателей качества электроэнергии. В распределительных сетях 0,4 кВ таковыми есть: одно- и трехфазные сварочные установки, однофазные печи сопротивления, печи сопротивления с тиристорными источниками питания, вентильные преобразователи, которые вносят искажения в симметричную систему напряжений и являются мощными генераторами высших гармоник.

Снижение указанных показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения вызывает отрицательные последствия, среди которых наиболее существенные [1, 2]:

- ущерб от нарушения нормального хода технологических процессов;
- увеличение потерь электроэнергии в обмотках электрических машин и сетях, снижение пропускной способности шинопроводов;
- сокращение срока службы электрооборудования.

Математическая модель создается для исследования уровней дополнительных потерь активной мощности в основном электрооборудовании распределительных сетей 0,4 кВ при несимметрии и несинусоидальности напряжения для условий промышленных предприятий с печной нагрузкой (печи сопротивления косвенного нагрева).

Основной задачей моделирования является получение зависимостей потерь мощности в цеховом электрооборудовании при изменении показателей качества напряжения для оценки эффективности регулирования режимами электропотребления печей сопротивления.

Для расчета дополнительных потерь приняты следующие допущения:

1. Исследования проводятся для электрооборудования общепромышленного исполнения отечественного производства со стандартной шкалой номинальных мощностей;
2. Источниками высших гармоник являются тиристорные блоки питания электропечей сопротивления, которые генерируют 5, 7, 11, 13 гармоники при изменении угла управления α от 0 до 180 град (активная нагрузка);
3. Изменение коэффициента несимметрии e_U принято от 0 до 2 %, согласно ГОСТ 13109-97 для длительно допустимых режимов электросетей.
4. Удаленность ЭПС от источника питания моделируется изменением мощности короткого замыкания на шинах питания печи, а также наличием другого электротехнического оборудования, которое получает питание от цехового трансформатора КТП.

Рассмотрим влияние несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу основного электротехнического оборудования (асинхронных двигателей, конденсаторных установок, трансформаторов). Отметим, что любая схема распределения может быть эквивалентирована к виду, представленном на рис. 1.

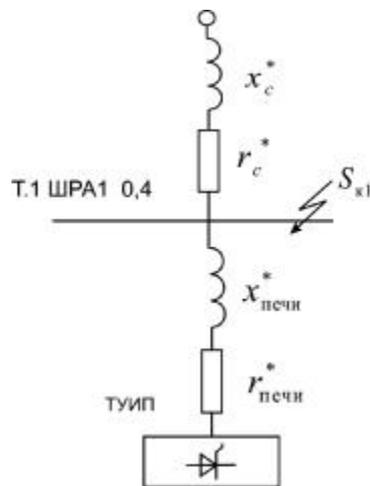


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения цеховой сети

Удаленность печи от источника бесконечной мощности моделировалась при составлении математической модели расчетов потерь следующим образом. Введено обоснованное допущение [2], что глубина коммутационных искажений ΔU_1 , а следовательно и величины высших гармонических составляющих напряжения изменяются пропорционально величине $\frac{x_c}{x_c + x_{пр}}$, где x_c – эквивалент-

ное индуктивное сопротивление от условной точки питания бесконечной мощности (шины районной подстанции) до исследуемой точки питающей сети; $x_{пр}$ – индуктивное сопротивление цепи тиристорного преобразователя, т.е. сопротивление от точки коммутации до исследуемой точки сети.

Необходимо отметить, что согласно рекомендациям, приведенных в [1], в сетях напряжением ниже 1000 В при расчетах высших гармонических составляющих необходимо учитывать активные сопротивления элементов сети для предотвращения значительных погрешностей в расчетах.

Такая постановка задачи на моделирование дает возможность определить значения напряжения высших гармоник на всех ступенях распределения электроэнергии, однако, наибольший интерес, исходя из поставленных в работе задач, представляет изменение значения высших гармоник в сети 0,4 кВ.

В полученных трехмерных моделях (рис. 2, 3, 4) принято, что по оси абсцисс располагается условная удаленность печи, выраженная в относительных единицах сопротивления, по оси ординат – угол управления тиристорами α , по оси аппликат значение дополнительных потерь мощности в ваттах.

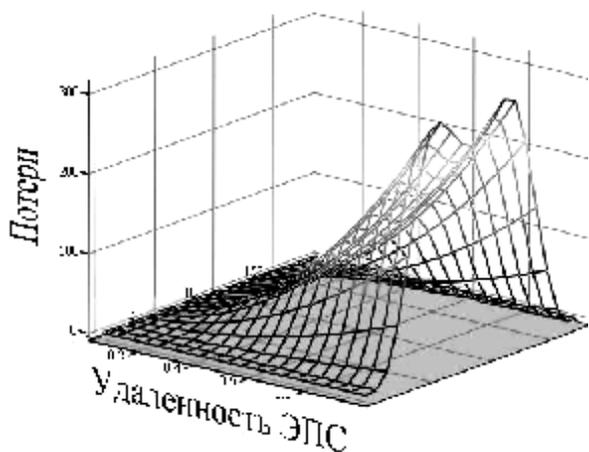


Рис. 2. Дополнительные потери в асинхронных двигателях $P_{\text{номАД}} = 30 \text{ кВт}$ при изменении угла отпирания тиристоров α и точки подключения ЭПС к питающей сети

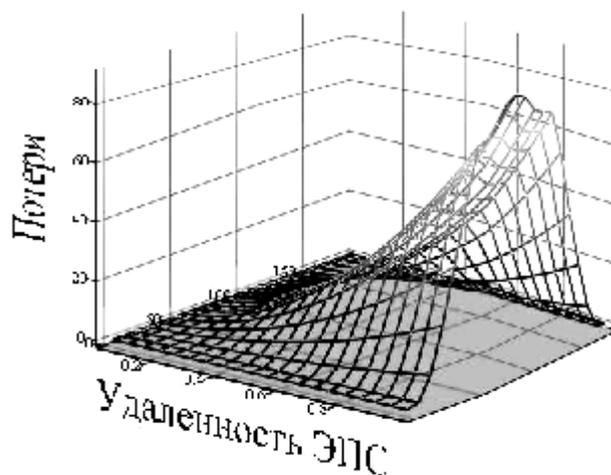


Рис. 3. Дополнительные потери в конденсаторных установках $Q_{\text{номКУ}} = 100 \text{ кВар}$ при изменении угла отпирания тиристоров α и точки подключения ЭПС к питающей сети

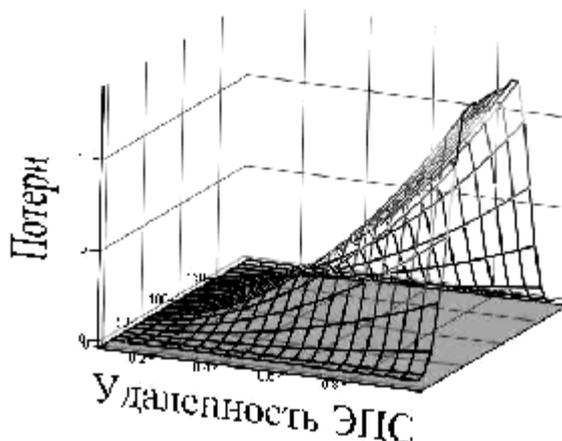


Рис. 4. Дополнительные потери в трансформаторах КТП $S_{\text{нт}} = 1000 \text{ кВА}$ при изменении угла отпирания тиристоров α и точки подключения ЭПС к питающей сети

Эквивалентная схема замещения представлена на рис. 1. Здесь ветвь $(x_c^* - r_c^*)$ представляет собой эквивалентные контур сети до точки подключения печи, а ветвь $(x_{\text{печи}}^* - r_{\text{печи}}^*)$ – активные и индуктивные сопротивления печной установки и соединительных проводов до точки подключения к распределительному шинному проводу. Подобные схемы можно составить для всех характерных точек распределения электроэнергии по промышленному предприятию. Такой подход дает возможность определить значение дополнительных потерь мощности в электрооборудовании от нарушения качества напряжения, учитывая топологию системы электроснабжения предприятия.

Отметим, что практическая ценность полученных трехмерных моделей состоит в возможности выделения областей с наибольшими потерями мощности от некачественной электроэнергии в зависимости от режимных параметров тиристорного источника питания и удаленности печей от источника. При разработке оптимальных, с точки зрения электропотребления, режимов печей сопро-

тивления эти области принудительно выводятся из технологического процесса, что можно расценивать как один из возможных способов режимного улучшения электромагнитной совместимости электрооборудования и питающей сети.

Выводы

1. Величина дополнительных потерь от нарушения качества электроэнергии зависит от точки подключения печной установки к сети. Наибольшие потери имеют место в электрооборудовании, подключенном к тому же шинопроводу, что и печь. При удаленности от точки подключения потери снижаются;

2. Потери активной мощности от высших гармоник в асинхронных двигателях изменяются с увеличением угла управления тиристорами, причем, явно выраженные максимумы при углах 60° и 120° . При разработке режимов управления электропечами эти углы рекомендуется исключить из работы;

3. Потерь мощности от высших гармоник в конденсаторных установках имеют максимум при угле управления $\alpha = 90^\circ$ и увеличиваются с ростом номинальной мощности конденсаторной установки;

4. Потери активной мощности от несинусоидальности напряжения в цеховых трансформаторах увеличиваются пропорционально увеличению номинальной мощности. В диапазоне регулирования угла $90 \leq \alpha \leq 120$ потери – максимальные.

Список литературы

1. Жежеленко И.В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промпредприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 187 с.
3. Папаика Ю.А. Рациональные режимы электропотребления печей сопротивления с тиристорным регулированием. /Технічна електродинаміка. – 2006. – №4. – С. 87-89.