

Ю.А. Папаика

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ

Цеховые электросети 0,4 кВ промышленных предприятий характеризуются приемниками 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:

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

Цель статьи – исследовать уровни дополнительных потерь активной мощности в основном электрооборудовании распределительных сетей 0,4 кВ при несимметрии и несинусоидальности напряжения.

Объект исследования – процессы электропотребления в технологическом оборудовании при наличии несимметричных и нелинейных нагрузок в распределительной сети.

Необходимость данного исследования возникла при разработке новых способов управления режимами процесса нагрева в электропечах сопротивления нового поколения. Специфика данного оборудования заключается в том, что в качестве источника питания применяется тиристорный управляемый блок с адаптивным регулятором температуры. Поскольку такие потребители являются источниками высших гармоник $v=5,7,11,13$ порядка, то проводятся поиски схемных и технологических решений для снижения уровней генерируемых гармоник [3]. Одно из них – это применение неполнофазных режимов электропотребления печей сопротивления, что позволяет снизить уровни гармоник и осуществить корректировку несимметричных режимов [3]. Для обоснования такого подхода необходима качественная оценка регулирования с позиции снижения потерь от несимметрии и несинусоидальности, поэтому разработана модель расчета потерь в динамике изменения показателей качества.

Для расчета дополнительных потерь приняты следующие допущения:

1. Исследования проводятся для электрооборудования общепромышленного исполнения 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;
3. Изменение коэффициента несимметрии ε_U принято от 0 до 2 %, согласно ГОСТ 13109-97 для длительно допустимых режимов электросетей.

Рассмотрим влияние несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу электротехнического оборудования.

Асинхронные машины получили широкое применение в различных технологических установках и для некоторых производств их число достигает 80% от общего количества электроприемников цеха [2]. Появление в сети несимметрии напряжений приводит к значительному увеличению потерь активной мощности в обмотках двигателя вследствие низкого сопротивления обратной последовательности и к снижению вращающего момента двигателя. Так, при несимметрии напряжения в 2 % срок службы двигателей уменьшается на 10,8 %, в 4 % – вдвое. Высшие гармоники в двигателях способствуют увеличению потерь активной мощности за счет более высокого сопротивления обмоток ток-кам повышенной частоты.

Для асинхронных двигателей дополнительные потери активной мощности определяют по формуле [1,4]

$$\Delta P_{\text{АД}} = k_{\text{АД}} \left(2,41\varepsilon_U^2 + 2 \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) P_{\text{н}}, \quad (1)$$

где ε_U – коэффициент несимметрии напряжений, равный отношению напряжения обратной последовательности к номинальному; U_v – отношение напряжения v -й гармоники к номинальному; $P_{\text{н}}$ – номинальная активная мощность двигателя; $k_{\text{АД}}$ – коэффициент дополнительных потерь при несимметричном и несинусоидальном напряжении.

Значения коэффициента $k_{\text{АД}}$ зависят от мощности двигателя: до 5 кВт – от 4,0 до 3,0; от 5 до 100 кВт – от 3,0 до 1,0; более 100 кВт – от 1,0 до 0,4 [1].

Расчет дополнительных потерь $\Delta P_{\text{АД}}$ был выполнен с учетом указанных допущений отдельно от несимметрии и несинусоидальности напряжения (рис.1). При этом для расчета потерь от несимметрии уровни высших гармоник были приняты равными нулю, а при расчете потерь от несинусоидальности коэффициент ε_U был принят равным нулю. Такой подход дает возможность оценить весомость потерь активной мощности от каждой составляющей.

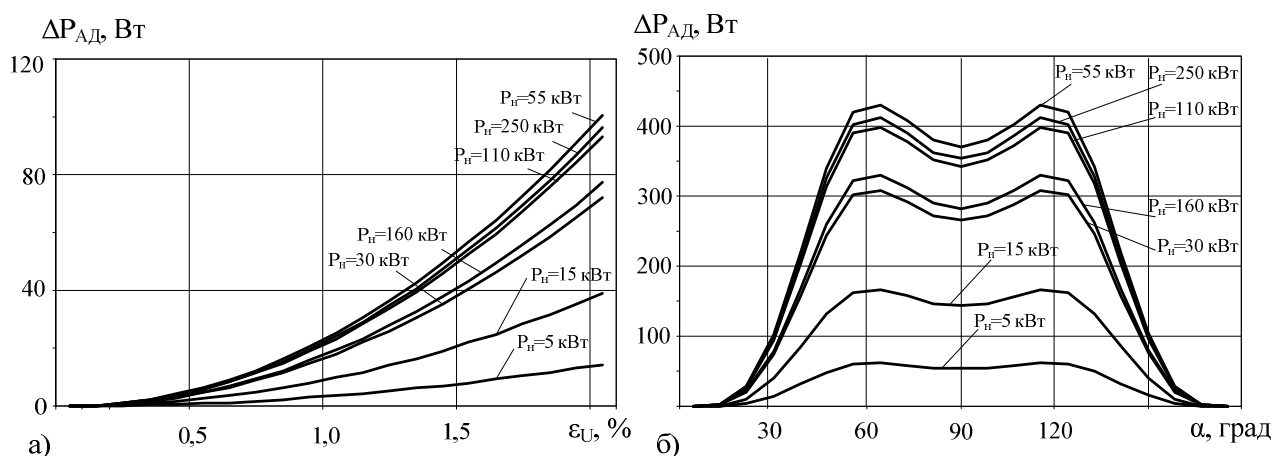


Рис. 1. Кривые дополнительных потерь активной мощности в АД при несимметричных (а) и несинусоидальных (б) режимах

Как видно из рисунков, потери активной мощности при несимметричных режимах возрастают при увеличении коэффициента несимметрии ε_U , а потери от несинусоидальности имеют довольно сложную зависимость от угла управления тиристорами с двумя экстремумами.

Конденсаторные установки – это статические устройства с одинаковыми сопротивлениями токам прямой и обратной последовательности. Конденсаторы особенно подвержены негативному воздействию высших гармоник, поскольку их сопротивление токам высших гармоник уменьшается с ростом частоты, что приводит к перегрузке конденсаторов по току, а в отдельных случаях и к резонансу напряжений на высших частотах. Дополнительные потери активной мощности от несимметрии и несинусоидальности напряжений в них определяются выражением

$$\Delta P_{\text{КУ}} = Q_{\text{НОМ}} \operatorname{tg} \delta \left(\varepsilon_U^2 + \sum_{v=2}^n v U_v^2 \right), \quad (2)$$

где $Q_{\text{НОМ}}$ – номинальная реактивная мощность конденсаторной установки; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь на основной частоте.

Анализируя полученные на (рис. 2) зависимости для стандартного ряда номинальных мощностей конденсаторных установок напряжением 0,4 кВ, можно сделать вывод, что потери активной мощности в конденсаторах при несимметричных режимах намного меньше, чем при несинусоидальных. Поэтому можно сказать, что доминирующим фактором при оценке уровня потерь активной мощности в конденсаторах являются потери от высших гармоник. Потери от несимметрии пренебрегаем из-за их малости.

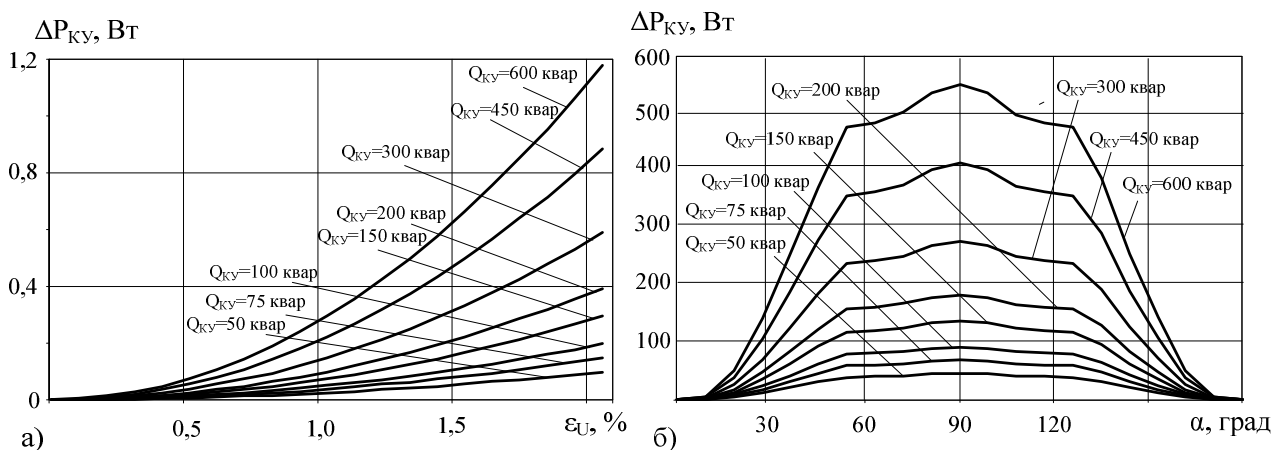


Рис. 2. Кривые дополнительных потерь активной мощности в КУ при несимметричных (а) и несинусоидальных (б) режимах

При выполнении технологических процессов в машиностроении и других отраслях часто необходимы операции электросварки и термообработки, поэтому в цеховой распределительной сети промышленного предприятия часто используются сварочные и печные трансформаторы. Особое внимание должно быть уделено потерям в цеховых трансформаторах КТП 10/0,4 кВ. Трансформаторы, как и конденсаторы, являются статическими устройствами, поэтому протекание в них токов обратной последовательности и токов высших гармоник вызывает дополнительные потери активной мощности, которые рассчитываются так [1,4]

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left(\frac{\Delta P_{\text{м}}}{u_{\text{к}}^2 S_{\text{н}}} \varepsilon_U^2 + 0,607 \frac{\Delta P_{\text{м}}}{u_{\text{к}}^2 S_{\text{н}}} \sum_{\nu=2}^n \left(\frac{1+0,05\nu^2}{\nu\sqrt{\nu}} U_{\nu}^2 \right) \right) S_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{н}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; ε_U – коэффициент несимметрии напряжений, равный отношению напряжения обратной последовательности к номинальному; U_{ν} – отношение напряжения ν -й гармоники к номинальному; $\Delta P_{\text{м}}$ – нагрузочные потери в симметричном номинальном режиме, кВт; $u_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания, отн. ед.

Трансформаторы КТП 10/0,4 кВ – ответственные звенья в системе электроснабжения промышленных предприятий, от работы которых зависит надежность и бесперебойность электроснабжения всех потребителей. Исследованию дополнительных потерь активной мощности в трансформаторах при несимметрии и несинусоидальности напряжения уделялось недостаточно внимания. Особенно остро этот вопрос возник при технической переоснащенности термических производств и замене старых печей на современные печи сопротивления с тиристорными регуляторами. Поэтому задача исследования потерь активной мощности от высших гармоник – актуальна.

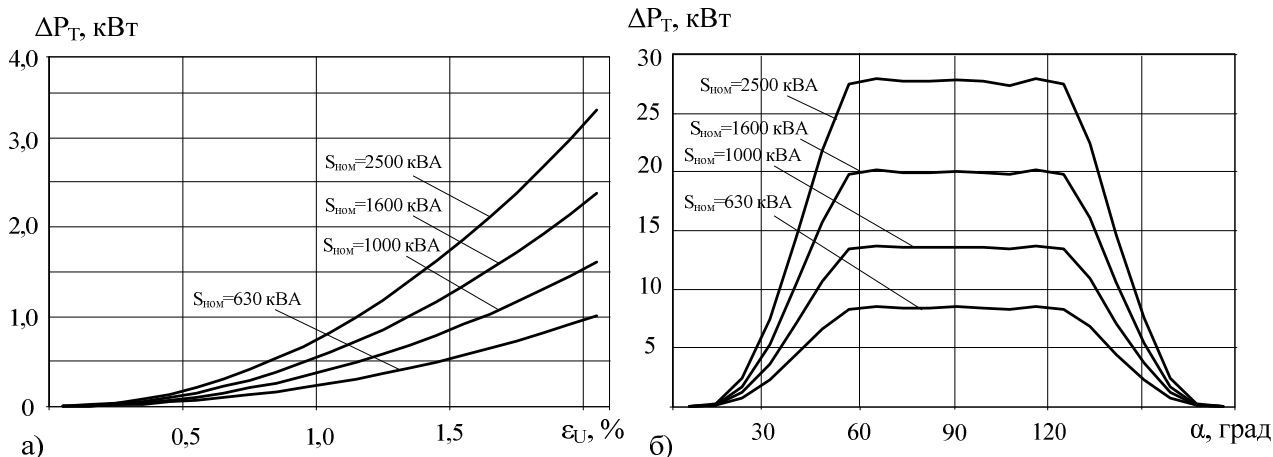


Рис. 3. Зависимости дополнительных потерь активной мощности в трансформаторах КТП 10/0,4 кВ при несимметричных (а) и несинусоидальных (б) режимах

При исследованиях были использованы масляные трансформаторы серии ТМ 630, 1000, 1600, 2500 кВА, так как они наиболее часто применяются в системах электроснабжения для цеховых комплектных трансформаторных подстанций. Графики зависимости потерь активной мощности приведены на рис. 3.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать следующие **выводы**:

1. 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. Потери активной мощности от несимметрии в АД возрастают с увеличением коэффициента несимметрии, однако максимальными они будут при номинальной мощности $P_{ном} = 55 \text{ кВт}$;

2. Уровень потерь мощности от высших гармоник в конденсаторных установках более весомый, чем от несимметрии, поэтому последними можно пренебречь. Потери от несинусоидальности имеют максимум при угле управления $\alpha = 90^\circ$ и увеличиваются с ростом номинальной мощности конденсаторной установки;

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

Список литературы

1. Овчаренко А.С., Розинский Д.И. Повышение эффективности электроснабжения промышленных предприятий. – К.: Техника, 1989.
2. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Папаика Ю.А. К вопросу повышения энергетической эффективности электропечей сопротивления. // Техническая электродинамика. – 2004. – №3.
4. Жежеленко И.В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промпредприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2000.

