

А.В.ЕФИМОВСКИЙ, соискатель, НТУ «ХПИ»

Ю.В. ВЛАДИМИРОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

Е.С. КОБЕЦ, магистр, НТУ «ХПИ»

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ В СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ В РЕЖИМЕ ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЯ

Рассмотрен вопрос дополнительных потерь в синхронных двигателях обусловленных генерацией реактивной мощности при разных режимах работы и параметрах сети питания. В сводной таблице приведены области дополнительных потерь для разных моделей двигателей.

Розглянуто питання додаткових втрат в синхронних двигунах обумовлених генерацією реактивної потужності при різних режимах роботи і параметрах мережі живлення. У звідній таблиці приведені області додаткових втрат для різних моделей двигунів.

The question of additional losses is considered in synchronous engines conditioned by the generation of reactive-power at different office hours and parameters of feed-in network. In a summary table areas over of additional losses are brought for the different models of engines

Постановка проблемы. Одним из основных вопросов при рассмотрении использования синхронных двигателей (СД) для компенсации реактивной мощности (КРМ) является наличие дополнительных потерь активной мощности ΔP , которые идут на выработку реактивной мощности (РМ). В общем случае эти потери являются функцией трёх величин [1]:

$$\Delta P = f(\alpha, \beta, U), \quad (1)$$

где α – коэффициент загрузки СД по реактивной мощности, β – коэффициент загрузки СД по активной мощности и U – напряжение питания СД. Если коэффициент β и напряжение сети U являются величинами известными для конкретного предприятия, то коэффициент загрузки по реактивной мощности можно изменить посредством изменения тока возбуждения двигателя. Минимальный коэффициент α выбирается исходя из условий статической и динамической устойчивости СД [2]. Как правило, при минимально возможном токе возбуждения (режим недовозбуждения) СД сам является потребителем РМ, т.е. ведёт себя как активно-индуктивная нагрузка. Это редкий и в большинстве случаев неустойчивый режим его работы. Поэтому при избытке РМ в узле нагрузки, СД выгодней переводить в режим работы с $\cos\varphi=1$, в котором потери в СД будут минимальны [3].

Располагаемая (максимальная) РМ генерируемая СД, определяется тепловым режимом СД с учётом форсировки возбуждения при

- усовершенствовать технологический процесс сушки-пропитки кабельных изделий с бумажной изоляцией, сократить время сушки более чем в 1,5 раза, устранить брак кабельной продукции;

- обеспечить минимальное остаточное давление в сушильно-пропиточном котле, повысить качество сушки и пропитки, а также надёжность работы вакуумной установки;

- ускорить процесс нагревания кабеля, повысить оперативность управления технологическим процессом, плавно изменять напряжение на жилах кабеля, обеспечивать заданную плотность тока в жилах кабеля, устранить магнитное поле вокруг котла;

- увеличить пропускную способность вакуумных коммуникаций, уменьшить металлоёмкость установки и увеличить скорость сушки бумажной изоляции;

- создать систему управления технологическим процессом на базе программируемого контроллера фирмы Siemens технологического контроля на различных операциях сушки-пропитки электрического кабеля с бумажной изоляцией, что позволило исключить возможность появления брака и усовершенствовать технологический процесс;

- улучшить условия труда обслуживающего персонала, повысить культуру производства, снизить загрязнение окружающей среды, уменьшить занимаемые производственные площади;

- производить кабель с сечением токопроводящей жилы до 800мм², вместо ранее существовавшего ограничения до 240мм².

Список литературы. 1. Третьяков В.М. Сушка и пропитка силовых кабелей / В.М. Третьяков, С.Д. Холодный.– М.: Энергия, 1978.-136с. 2. А.с.346. Россия, МПК Н01В13/30. Вакуумная сушильно-пропиточная установка / В.П. Алексеенко, В.П. Карпушенко, В.А. Кутовой и др.– № 93016105; заявл. 29.03.93; опубл.15.04.95, Бюл. №4. 3. Карпушенко В.П. Силовые кабели на напряжение 1-10кВ / В.П. Карпушенко, Л.А. Щербенюк, Ю.А. Антонец, А.А. Науменко.– Харьков: Факт, 1998. – С.96-104. 4. Карпушенко В.П. Силові кабелі низької та середньої напруги / В.П. Карпушенко, Л.А. Щербенюк, Ю.А. Антонец, А.А. Науменко. Харків, «Реґіон-інформ». 2000.- С.113-117. 5. А.с. 2047. Россия, МПК Н01В13/00. Сушильно-пропиточная установка для изготовления кабелей/ В.П.Карпушенко, В.А. Кутовой, В.И Маханьков, И.Б Пешков. – №95101099; заявл. 25.01.95; опубл.16.04. 96, Бюл. №4. 6. Золотарев В.М. Мониторинг показателей качества бумажной изоляции силовых кабелей напряжением 10 кВ на заводе "Южкабель" / В.М. Золотарев, В.П. Карпушенко, Ю.А. Антонец, Н.П. Чувурин, Л.А.Щербенюк // Вісник Харківського державного політехнічного університету.- Харків: ХДПУ, 1999.- Вип. 88.- С. 22-31. 7. Гурин А.Г. Способ технологического контроля изоляции бумажно-масляных кабелей в процессе сушки и пропитки / А.Г. Гурин, Б.Г. Набока // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ, 1999.- Вип. 64.- С. 5-10. 8. Беспрозванных А.В., Набока Б.Г., Москвитин Е.С. Обследование трехфазных кабелей в металлической оболочке // Электричество. – 2011.– №1.– С. 48-54. 9. Куц П.С. Теплофизические и технологические основы сушки высоковольтной изоляции / П.С. Куц, И.Ф. Пикус.- Минск: Наука и техника, 1979.– 275 с.

Поступила в редколлегию 22.04.2011

кратковременных снижениях напряжения [4]. На тепловой режим работы СД также влияют конструктивные особенности двигателя, материал изоляции обмоток, коэффициент загрузки по активной мощности β и напряжение сети. Поэтому для каждой модели СД максимальный коэффициент загрузки по РМ α_m определяется опытным путём.

Анализ последних исследований и публикаций. Во ВНИИЭ ещё в 1967 году была проведена работа по определению возможности генерирования РМ СД и предложена методика определения относительной величины располагаемой реактивной мощности α_m и дополнительных потерь ΔP . В литературе [4] приведена таблица усреднённых значений коэффициента α_m для двигателей серий СДН, СТД, и СДЗ при различных коэффициентах β и напряжениях питания. Также представлена формула для определения дополнительных потерь, которая также приводится в других источниках [1, 5]:

$$\Delta P = D_1 \cdot \frac{Q_{СД}}{Q_{СД\text{ ном}}} + D_2 \cdot \frac{Q_{СД}^2}{Q_{СД\text{ ном}}^2} \quad (2)$$

где D_1, D_2 – коэффициенты, зависящие от мощности и КПД СД, имеющие размерность кВт. Для каждой марки двигателя они индивидуальны и являются справочными величинами. Хотелось бы отметить, что в литературе [6] представлена дополненная формула (2), которая выглядит следующим образом:

$$\Delta P = D_1 \cdot \frac{Q_{СД}}{Q_{СД\text{ ном}}} + D_2 \cdot \frac{Q_{СД}^2}{Q_{СД\text{ ном}}^2} + D_3 \quad (3)$$

где D_3 – коэффициент учитывающий потери в самой системе возбуждения СД. Величина этого коэффициента составляет 5-25 % от суммы D_1 и D_2 . Так как сейчас большинство СД снабжены тиристорной системой возбуждения, которая имеет наиболее низкое потребление энергии, то при расчётах в данной статье коэффициент D_3 был исключен.

Цель статьи. Для оценки эффективности использования синхронных двигателей в качестве источников реактивной мощности определить диапазон величин располагаемой реактивной мощности для разных типов синхронных двигателей при различных условиях их работы и параметрах питающей сети с учётом дополнительных потерь в них, обусловленных генерацией реактивной мощности.

Основные материалы исследований. На основании данных в литературе [1, 4] были произведены расчёты располагаемой реактивной мощности и дополнительных потерь ΔP при различных коэффициентах загрузки β и напряжениях питания для двигателей серий СДН, СТД и СДЗ. Для оценки эффективности использования СД в качестве КРМ были определены удельные потери активной мощности на выработку реактивной имеющие размерность кВт/квар.

Все СД выпускаемые промышленностью можно разбить на три класса:

- двигатели напряжением 6, 10 кВ с частотами вращения от 100 до 1000 об/мин и номинальной мощностью от 400 до 10000 кВт (серия СДН).
- турбодвигатели напряжением 6, 10 кВ с частотой вращения 3000 об/мин и номинальной мощностью от 630 до 12500 кВт (серия СТД).
- двигатели напряжением 380 В с частотами вращения от 375 до 1000 об/мин номинальной мощностью от 160 до 400 кВт (серия СДЗ).

Двигатели напряжением 6 и 10 кВ серии СДН являются самым распространённым типом СД. Расчёты показали, для всех скоростей вращения можно однозначно утверждать, что чем мощнее двигатель, тем меньше относительные удельные потери $P_{уд}$ (кВт/квар). Для примера на графике (рис. 1) приведены зависимости дополнительных удельных потерь двигателей напряжением питания 6 кВ и скоростью вращения 1000 оборотов в минуту при номинальном напряжении питания.

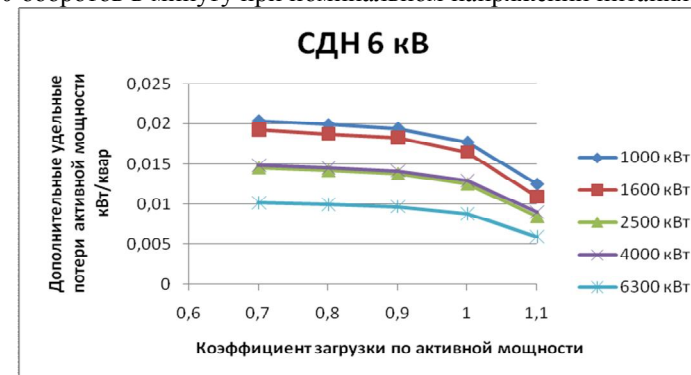


Рис. 1 – Зависимость дополнительных удельных потерь двигателей напряжением питания 6 кВ и скоростью вращения 1000 оборотов в минуту при номинальном напряжении питания

Также из рисунка 1 можно сделать вывод, что при коэффициентах загрузки от 0,7 до 0,9 дополнительные удельные потери изменяются незначительно. Для двигателей со скоростью вращения ниже 1000 оборотов в минуту характер диаграммы остаётся такой же (рис. 2).

На рисунке 2 приведены зависимости дополнительных удельных потерь для двигателей номинальной мощностью 2500 кВт с разными скоростями вращения и номинальным напряжением питания, при этом из графика видно, чем меньше скорость вращения, тем выше дополнительные удельные потери активной мощности на выработку реактивной.

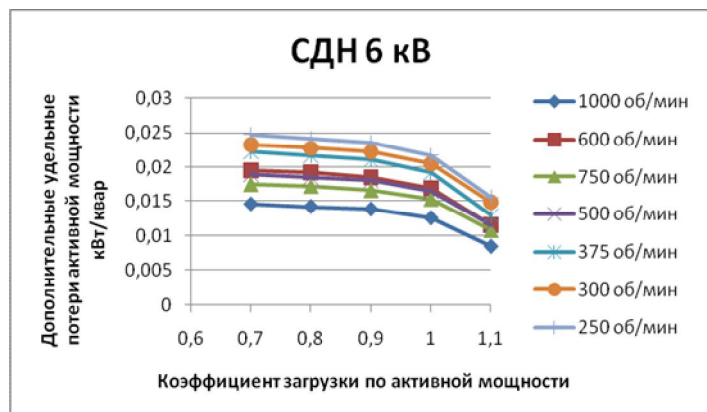


Рис. 2 – Зависимость дополнительных удельных потерь для двигателей номинальной мощностью 2500 кВт с разными скоростями вращения и номинальном напряжении питания

Так как вопросы компенсации реактивной мощности тесно взаимосвязаны с уровнем напряжения в сети, то представляет интерес рассмотреть, как изменяется располагаемая реактивная мощность и дополнительные удельные потери активной энергии при различных значениях питающего напряжения. В качестве примера на рисунках 3 и 4 представлены такие зависимости для двигателя СДН - 15-64-6 мощностью 2500 кВт и скоростью вращения 1000 оборотов в минуту.

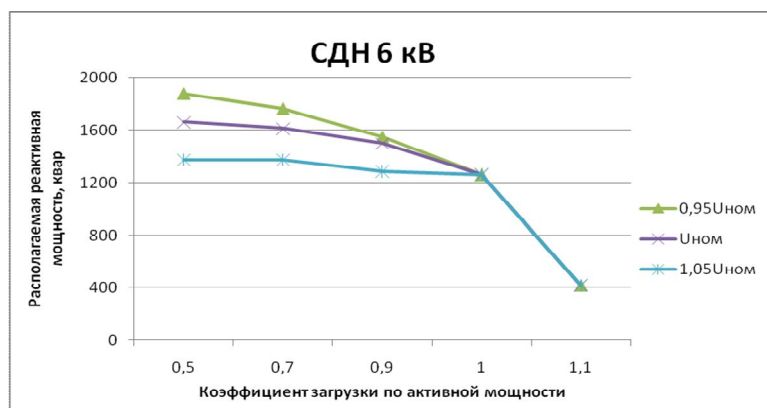


Рис. 3 – Зависимость располагаемой реактивной мощности и коэффициента загрузки по активной мощности при различных значениях питающего напряжения для двигателя СДН 6 кВ

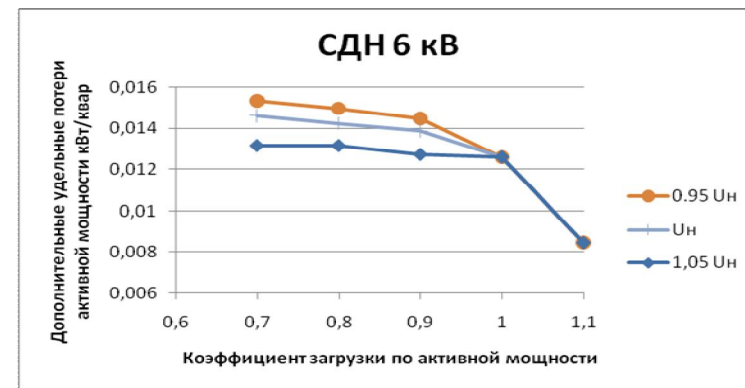


Рис. 4 – Зависимость дополнительных удельных потерь активной мощности и коэффициента загрузки по активной мощности при различных значениях питающего напряжения для двигателя СДН 6 кВ

Как видно из диаграмм (рис. 3, 4), при снижении напряжения питания повышается располагаемая РМ СД, но при этом увеличиваются дополнительные удельные потери активной мощности.

При рассмотрении второй большой группы СД – турбодвигателей серии СТД напряжением 6, 10 кВ, исследования показали, что закономерности в части генерации реактивной мощности аналогичны двигателю серии СДН. Это подтверждается приведенными в качестве примера на рисунках 5 и 6 графиками зависимости удельных потерь активной мощности для двигателя СТД-2500-2 мощностью 2500 кВт.

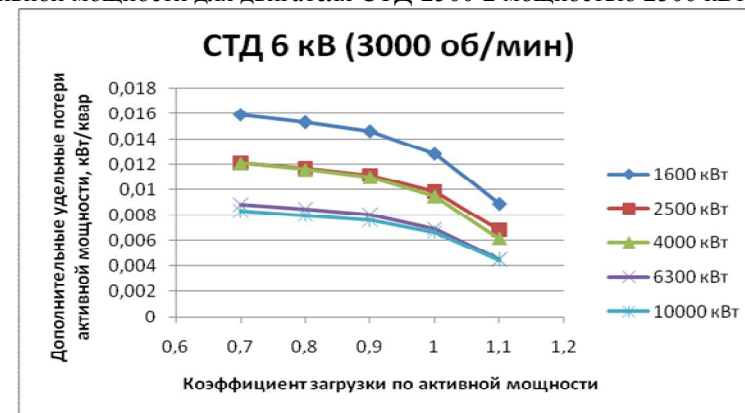


Рис. 5 – Зависимость дополнительных удельных потерь активной мощности и коэффициента загрузки по активной мощности для двигателя СТД 6 кВ

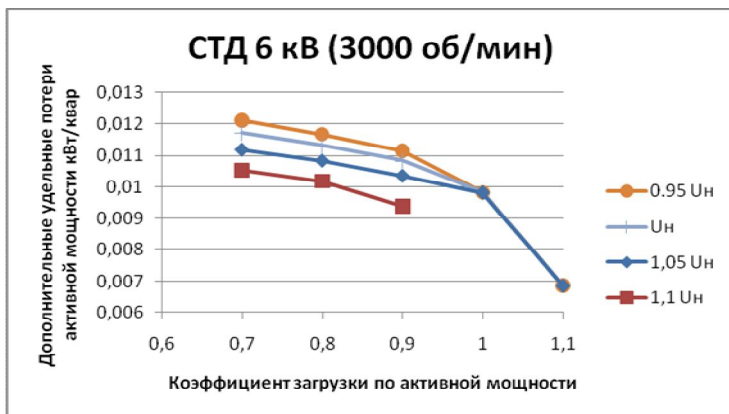


Рис. 6 – Зависимость дополнительных удельных потерь активной мощности и коэффициента загрузки по активной мощности при различных значениях питающего напряжения для двигателя СТД 6 кВ

Последняя самая немногочисленная группа - это двигатели напряжением 380 В. Как правило, их не используют в целях КРМ. В литературе [3, 7] даются рекомендации, что выгоднее переводить такие двигатели в режим работы с $\cos\mu=1$, т.е. минимизировать потери в самом СД. Из рисунка 7 видно, что действительно уровень удельных дополнительных потерь высок по сравнению с высоковольтными СД.

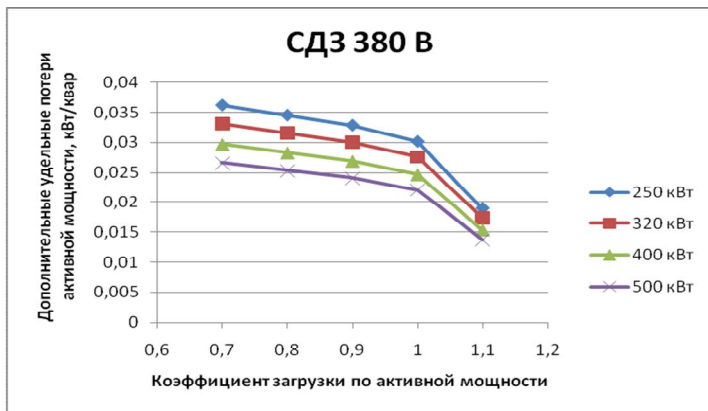


Рис. 7 – Зависимость дополнительных удельных потерь активной мощности и коэффициента загрузки по активной мощности для двигателя СДЗ 380 В

В таблице 1 представлены сводные данные по СД при номинальном напряжении питания.

Таблица 1 – Сводные данные по синхронным двигателям

Серия СД	Мощность СД, кВт	Скорость вращения, об/мин	Уровень удельных дополнительных потерь активной мощности при коэф. загрузки 0,7...1 и напряжениях питания 0,9U _н ...U _н , кВт/квар
СДН 6 (10) кВ	1000, 1600	250, 300	0,03-0,04
		375, 500	0,02-0,033
		600, 750	0,018-0,028
		1000	0,016-0,021
	2500, 4000	250, 300	0,016-0,025
		375, 500	0,013-0,023
		600, 750	0,012-0,02
		1000	0,012-0,015
	6300	500	0,011-0,015
		600, 750	0,01-0,011
		1000	0,009-0,011
	СТД 6 (10) кВ	1000, 1600	3000
2500, 4000		3000	0,01-0,012
6300, 10000		3000	0,006-0,009

Проведенные исследования показывают, что хотя в ряде случаев удельные потери в СД, обусловленные генерацией РМ и соизмеримы с потерями в конденсаторных установках КРМ (см. табл. 1), однако при решении вопроса о целесообразности использования конкретного СД в качестве КРМ необходимо учитывать полные потери в СД, состоящие из механических, магнитных, электрических потерь и дополнительных потерь вызванных генерацией РМ.

Следует отметить также, что хотя величина удельных дополнительных потерь, обусловленных генерацией РМ, может изменяться в широких пределах в зависимости от типа двигателя, коэффициента загрузки по активной мощности, скорости вращения, напряжения питания, фактический диапазон этих изменений ограничен условиями эксплуатации конкретного СД. В частности, коэффициент загрузки СД по активной мощности для большинства случаев эксплуатации выбирается в диапазоне 0,7 – 0,8 и может быть изменен только на стадии проектирования электропривода, как и скорость вращения СД для конкретных условий эксплуатации. Располагаемая

(генерируемая) же РМ будет определяться необходимостью компенсации РМ конкретной нагрузки объекта электроснабжения.

Выводы: 1. Чем больше номинальная мощность и скорость вращения СД, тем ниже дополнительные удельные потери, при этом у двигателей мощностью 10000 и 12000 кВт величина удельных потерь приближается к уровню конденсаторных установок, поэтому использование СД серии СТД в качестве КРМ имеет приоритет.

2. В отличие от конденсаторных установок при снижении напряжения питания располагаемая реактивная мощность СД увеличивается при практически пропорциональном увеличении дополнительных удельных потерь активной мощности в СД.

3. Двигатели на напряжение 380 В в силу высокого уровня дополнительных активных потерь не привлекательны для целей компенсации реактивной мощности. Их выгоднее использовать в режиме с $\cos\varphi=1$, при котором потери в них минимальны.

Список литературы: 1. Карпов Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / Ф. Ф. Карпов. – М. : Энергия, 1975. 2. Петелин Д.П. Автоматическое управление синхронными электроприводами / Д.П. Петелин. – М. : Энергия, 1968 г. 3. Ипатенко Н. Р. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных двигателей средней мощности на постоянство $\cos\varphi=1$ / Н. Р. Ипатенко. Брянск, 1974. 4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Том I. Электроснабжение / под ред. А. А. Фёдорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. 5. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчётов – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.: ил. 6. Абрамович Б. Н., Круглый А. А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей / Б. Н. Абрамович, А. А. Круглый. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 128 с. 7. Чиликин М. Г. Синхронные приводы / М. Г. Чиликин. – М. : Энергия, 1967. – 80 с.

Поступила в редколлегию 30.05.2011

УДК 621.314

О.А. ЗАГАЙНОВА, ассистент, НТУ «ХП»

АНАЛІЗ ПОГРІШНОСТІ ПРИСТРОЮ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПУ У МАСЛОНАПОВНЕНОМУ ВИСОКОВОЛЬТНОМУ УСТАТКУВАННІ

У статті проведено аналіз погрішності пристрою безперервного контролю електричних параметрів ізоляції конденсаторного типу маслонаповненого високовольтного устаткування по напрузі і куту залежно від навантаження вторинних ланцюгів трансформаторів напруги для ряду типових схем розподільних пристроїв підстанцій.

В статті проаналізована погрешность устройства непрерывного контроля электрических параметров изоляции конденсаторного типа маслонаполненного высоковольтного оборудования по напряжению и углу в зависимости от нагрузки вторичных цепей трансформаторов напряжения для ряда типовых схем распределительных устройств подстанций.

In the article the error of device of continuous control of electric parameters of isolation of condenser type of the oil-immersed high-voltage equipment is analysed from an error on tension and corner of measurements transformers of tension of substation depending on loading of the second chains of transformers of tension for the row of model charts of distributive devices of substations.

Постановка проблеми. Основою підвищення ефективності, надійності високовольтного маслонаповненого устаткування є вдосконалення методів неруйнівного контролю і діагностики.

Підвищення достовірності контролю і діагностики високовольтного маслонаповненого устаткування – це комплексне наукове завдання, вирішення якого залежить у тому числі і від підвищення точності перетворень первинної інформації.

Контроль характеризується достовірністю, яка кількісно оцінюється вірогідністю того, що результат контролю відповідає дійсному стану об'єкту контролю (високовольтних ввідів та трансформаторів струму) [1-3]. Основною причиною зниження достовірності може бути наявність погрішностей виміру контрольованого параметра.

Основними джерелами погрішностей про параметр контролю високовольтних ввідів та трансформаторів струму (tg , ємність і т. д.), що містяться в результатах вимірів контрольованих величин за допомогою пристроїв безперервного контролю об'єктів під робочою напругою є наступні:

– погрішності технічних вимірів в ході контролю (квантування за розміром безперервної вимірюваної величини, представлення інформації середніми значеннями сигналів, що дискретизують, кусочно-лінійною апроксимацією при відновленні сигналів, визначення робочої фазної