

Погрешности по амплитудным значениям и угловые погрешности ВЧ ИТН и ВЧ ИТТ должны быть учтены при задании уставок релейной защиты, чтобы исключить ложное срабатывание терминалов РЗА.

Список используемой литературы

1. Об использовании высокочастотного тока в терминалах релейной защиты / И. Ю. Чака [и др.] // Агропанорама. – 2025. – №2. – С. 8–13.

УДК 621.316

Зеленъкевич А.И., к.т.н., доцент, Берсенев А.В.

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск*

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ВАКУУМНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Современные тенденции в развитии металлургических и машиностроительных производств связаны с широким внедрением энергосберегающих технологий, автоматизации и повышения качества конечной продукции. Одним из наиболее прогрессивных видов оборудования, применяемых для переплава и рафинирования металлических сплавов, являются вакуумные индукционные печи (ВИП). Эти установки обеспечивают высокую чистоту металла, точное регулирование температуры и химического состава, а также позволяют реализовать гибкие технологические режимы.

Однако эксплуатация ВИП сопровождается значительными электромагнитными воздействиями на сеть электроснабжения. Индукционные печи относятся к классу нелинейных, несимметричных и нестационарных нагрузок, генерирующих высшие гармоники и создающих токи небаланса. Возникающие искажения тока и напряжения снижают качество электроэнергии, вызывают дополнительные потери в трансформаторах и кабельных линиях, перегрев и вибрацию электрических машин, а также помехи в системах управления и измерения. В ряде случаев наблюдается нарушение требований по электромагнитной совместимости (ЭМС) в промышленных сетях.

Вакуумные индукционные печи представляют собой сложные электромеханические установки. Основным элементом установки

является индукционная катушка, через которую протекает переменный ток высокой частоты (обычно 50-10000 Гц), создающий переменное магнитное поле. Под его воздействием в металле тигля индуцируются вихревые токи, которые вызывают нагрев и плавление материала.

Электрическая схема ВИП включает несколько функциональных блоков:

- силовую часть, состоящую из питающего трансформатора, тиристорного или транзисторного преобразователя частоты и индуктора;

- вакуумную систему, поддерживающую необходимое давление;
- систему охлаждения и управления, обеспечивающую стабильность технологического процесса.

С точки зрения электроснабжения, индукционная печь представляет собой нелинейную, несимметричную и переменную во времени нагрузку, поскольку её электрические параметры (активное и индуктивное сопротивления) зависят от температуры, состояния расплава и частоты индукционного поля.

Вследствие этого ВИП генерирует значительное количество высших гармоник токов и напряжений, что приводит к искажению формы синусоид, возникновению токов нулевой последовательности и ухудшению показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

Спектральный анализ токов, потребляемых ВИП, показывает, что наибольший вклад в искажения вносят нечётные гармоники (3, 5, 7, 11, 13), а также высшие кратные гармоники, обусловленные импульсным характером работы преобразователя.

Одним из эффективных путей повышения электромагнитной совместимости систем электроснабжения является применение специальных силовых трансформаторов, обладающих свойствами компенсации гармонических искажений и выравнивания фазных токов.

Силовой трансформатор, питающий ВИП, является ключевым элементом, определяющим характер взаимодействия нагрузки с сетью. От его параметров – схемы соединения обмоток, коэффициента рассеяния, индукции в магнитопроводе, уровня насыщения и конструктивного исполнения – зависит форма токов в первичной обмотке и степень фильтрации высших гармоник.

Для снижения электромагнитных искажений применяются следующие технические решения:

- использование зигзагообразных обмоток, обеспечивающих компенсацию токов третьей гармоники и выравнивание фазных токов;
- схемы соединения типа «звезда-зигзаг-треугольник», позволяющие создавать пути для циркуляции гармонических токов внутри трансформатора, не поступающих в сеть;
- трансформаторы с расщеплёнными полуобмотками и регулируемыми магнитными потоками рассеяния;
- применение трёхстержневых магнитопроводов с оптимизированными магнитными свойствами для компенсации нулевых гармоник.

Правильно выбранная конструкция силового трансформатора позволяет обеспечить фильтрацию и подавление гармонических составляющих на уровне источника, что повышает электромагнитную совместимость всей системы.

В условиях развития цифрового проектирования и моделирования актуальным становится применение цифровых моделей электромагнитных процессов в системах «электросеть-трансформатор - ВИП». Такие модели позволяют не только оценить уровень электромагнитных искажений, но и оптимизировать параметры трансформатора для достижения требуемых характеристик ЭМС.

Исследование, направленное на разработку и обоснование параметров специального питающего трансформатора для вакуумной индукционной печи, представляет собой актуальную научную задачу, имеющую как теоретическое, так и прикладное значение.

УДК 004.891.2

Бондарчук О.В., к.т.н., Дерушко Е.А., магистрант

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск*

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОСТИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК II КАТЕГОРИИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Современный агропромышленный комплекс представляет собой совокупность высокотехнологичных производств с непрерыв-