

УДК 621.311

**СОВРЕМЕННЫЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
MODERN AND TRADITIONAL METHODS OF VOLTAGE REGULATION:
EFFICIENCY, PROBLEMS AND PROSPECTS**

Э.Д. Мацулевич, А.М. Тарасова

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

E. Matsulevich, A. Tarasova

Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В статье рассматриваются основные методы регулирования напряжения в электрических сетях. Кратко приведены принципы работы, диапазоны регулирования, преимущества и ограничения каждого метода.

Abstract: The article reviews the main methods of voltage regulation in power grids. It briefly summarizes the principles of operation, regulation ranges, advantages and limitations of each method.

Ключевые слова: электрическая сеть, регулирование напряжения, РПН, ПБВ, компенсация реактивной мощности, конденсаторные батареи, реакторы, АРВ, статические синхронные компенсаторы.

Keywords: Power grid, voltage regulation, regulation under load, switch without excitation, reactive power compensation, capacitor banks, reactors, automatic excitation regulator, static synchronous compensators.

Введение

Электрические сети являются основой функционирования всей энергосистемы, обеспечивая передачу электрической энергии на большие расстояния и распределение между потребителями разного рода.

Качество электроснабжения напрямую зависит от ряда факторов. К ним относятся: уровень напряжения сети, качество и надежность электрических элементов распределительных сетей, а также климатические условия. Но ключевым показателем работы энергосистемы является напряжение и его стабильность.

Поэтому выбор способа регулирования напряжения – это важная задача при проектировании электрических сетей с целью обеспечения стабильной работы энергосистемы. Существуют различные способы регулирования напряжения, позволяющие решить проблемы, связанные с несоответствием отклонения напряжения нормам качества, с потерями напряжения в электрических сетях при передаче электроэнергии и с неравномерной нагрузкой фаз.

Цель настоящей работы – рассмотреть современные методы регулирования напряжения в электросетях, проанализировать их применение и проблемы, связанные с внедрением новых технологий.

Основная часть

Отклонение напряжения выше допустимого значения приводит к сбою работы электроустановок, уменьшению срока их службы и перегреву ЛЭП. То есть отклонение напряжения влияет на всю энергосистему в целом. И поэтому напряжение в сети должно поддерживаться в допустимом диапазоне, обеспечивающем нормальную работу как бытовых, так и промышленных потребителей.

Согласно ГОСТ 32144-2013, допустимые положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии при медленном изменении напряжения не должны превышать 10 % номинального значения.

Регулирование напряжения – это процесс намеренного изменения уровня напряжения в точках электрической системы с помощью специальных технических устройств. Регулирование напряжения применяется для обеспечения стабильности и качества электроснабжения, так как постоянно изменяющееся напряжение сказывается на работе электрооборудования и энергоснабжении потребителей.

Для поддержания требуемых уровней напряжения используются различные методы регулирования, которые можно классифицировать по принципу воздействия:

- изменение коэффициента трансформации с помощью регулирования под нагрузкой (РПН) или переключателя без возбуждения (ПБВ), установленных на трансформаторах;
- компенсация и регулирование реактивной мощности, что возможно с помощью реакторов, конденсаторных батарей;
- регулирование напряжения на стороне генерации электроэнергии с помощью автоматического регулирования возбуждения;
- применение статических синхронных компенсаторов (STATCOM).

Использование трансформаторов для регулирования напряжения на вторичной стороне является наиболее распространённым методом регулирования напряжения из-за своей надёжности и доступности. Однако регулирование происходит ступенчато и в ограниченном диапазоне. РПН позволяет изменять коэффициент трансформации, не отключая трансформатор от сети, что обеспечивает быстрое изменение напряжения и не прерывает электроснабжение потребителей. По средствам РПН регулирование находится в пределах $\pm 16\%$. ПБВ осуществляет регулирование при полном отключении нагрузки. Он имеет более низкие пределы регулирования – $\pm 5\%$, что не подходит для мгновенного изменения напряжения и чаще используется для предварительного задания напряжения определённого уровня. Например, для сезонного регулирования напряжения, которое меняется в зависимости от нагрузки. С помощью этих двух устройств можно увеличивать и понижать напряжение на более подходящее для потребителей значение и обеспечивать стабильную работу всей сети.

Реактивная мощность (Q) – это электрическая нагрузка, которая, циркулируя между источниками энергии и потребителями, не выполняет полезную работу. Это приводит к нагреву проводов и потерям мощности. При избытке реактивной мощности напряжение на шинах повышается, а при недостатке – напряжение на шинах снижается. Тогда регулирование напряжения заключается в

управлении реактивной мощностью. Если напряжение падает, то в сеть вводят конденсаторные батареи, которые повышают напряжение за счёт генерации реактивной мощности, компенсируя индуктивную составляющую нагрузки, что повышает напряжение в сети. Обратное происходит при росте напряжения – подключают реактор, который поглощает избыточную реактивную мощность, что компенсирует ёмкостную составляющую и напряжение понижается.

Устройства автоматического регулирования возбуждения генераторов (АРВ) обеспечивают быстрое увеличение тока возбуждения синхронной машины при удалённых коротких замыканиях, которые как правило приводят к снижению напряжения. АРВ позволяет быстро регулировать напряжение и предотвращает недопустимые отклонения напряжения в сети, тем самым повышая устойчивость режима работы сети.

Статические синхронные компенсаторы (STATCOM) – это современное устройство для управления реактивной мощностью, что позволяет быстро и точно регулировать напряжение в электрических сетях. Данный компенсатор обеспечивает плавное регулирование напряжения в широком диапазоне, имеет малые габариты и высокую надёжность по сравнению с реакторами и конденсаторными батареями. Так этот STATCOM является электронным устройством, **то на отклонения напряжения он** реагирует за миллисекунды, что значительно быстрее традиционных устройств компенсации реактивной мощности. Однако он имеет высокую стоимость и сложен в эксплуатации в сравнении с традиционными устройствами.

Анализируя классические методы регулирования напряжения такие как: трансформаторы с РПН и ПБВ, конденсаторные батареи, реакторы и АРВ, можно с уверенностью сказать, что они ещё долго останутся основой регулирования напряжения благодаря своей надёжности, простоте обслуживания и невысокой стоимости. Однако развитие возобновляемых источников энергии, увеличение числа потребителей и рост требований к качеству электроэнергии вынуждает изобретать более точные и быстродействующие методы регулирования, а также применять современные цифровые технологии для автоматизации процесса регулирования напряжения.

В будущем развитие технологий регулирования напряжения будет связано с автоматизацией процессов и внедрением интеллектуальных сетей, поэтому можно ожидать значительного улучшения надёжности и стабильности работы электрических сетей. Но уже на данном этапе развития технологий есть возможность сочетания классических и современных устройств регулирования напряжения. Например, трансформаторы с РПН и STATCOM. Такой комплексный метод не требует больших затрат на переоборудование всей подстанции, но при этом позволяет более эффективно регулировать напряжение.

Заключение

Таким образом, рассмотренные традиционные методы регулирования напряжения достаточно эффективны и используются повсеместно, благодаря своей надёжности, невысокой стоимости и простоте обслуживания, но они огра-

ничены по диапазону регулирования и скорости реакции. Регулирование напряжения в электрических сетях – это одно из значимых направлений для обеспечения стабильной энергосистемы и повышения качества электроэнергии.

Поэтому оптимальным путём развития данной области является комплексное применение методов регулирования напряжения, при котором классические и современные устройства регулирования будут работать в единой системе. Это обеспечит устойчивую работу электрических сетей и существенно повысит эффективность регулирования напряжения, уменьшая потери электроэнергии и улучшая качество электроснабжения потребителей.

Литература

1. Поспелов, Г. Е. Электрические системы и сети: Учебник / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев – Минск : УП Технопринт, 2004. – 720 с.
2. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : Межгосударственный стандарт : дата введения 01.04.2016 / Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. – Изд. официальное. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 124 с.
3. Образовательный сайт Школа для электрика [Электронный ресурс]: Регулирование напряжения в энергосистеме. – Режим доступа: <https://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1140-regulirovanie-naprijazhenija-v.html>. – Дата доступа: 11.04.2025.