

в выборке. Чем больше значение критерия, тем ниже эффективность КИМ при условии, что все погрешности не превышают установленную производителем максимальную погрешность. Наличие точек с погрешностью, превышающей 3σ , свидетельствует о наличии погрешностей изготовления или сборки узлов КИМ, компенсировать которые систематической составляющей будет затруднительно. Пример иллюстрации погрешности вдоль координатной оси дан на рис. 2.

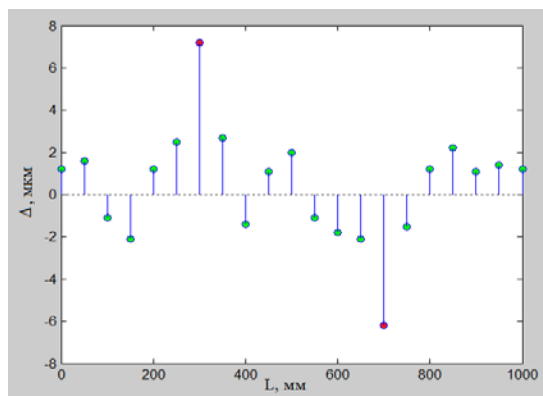


Рисунок 2 – Пример погрешности КИМ по координатной оси

Назначение весовых коэффициентов проводится в зависимости от габаритных размеров КИМ, решаемых измерительных задач и условий измерения. Целесообразно выбирать $k_2 = (5-10)k_1$. Критерий может быть использован для сравнения эффективности двух КИМ при прочих равных условиях.

Таким образом, научно обоснован статистический критерий для оценки объемной погрешности КИМ, представляющий собой взвешенную сумму отношения числа точек, в которых погрешность превышает соответственно 3σ и 2σ , к общему числу контрольных точек рабочего пространства КИМ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10204).

1. Кононов С.А. Концепция обеспечения единства координатных измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы / С.А. Кононов, В.Г. Лысенко, С.Ю. Золотаревский // Приборы. – 2008. – № 3. – С. 1–13.
2. Набока Е.В. Анализ погрешностей измерений на координатно-измерительных машинах / Е.В. Набока, В.В. Лысюк // Вестник НТУ «ХПИ» Технології в машинобудуванні: сборник наукових трудов. – 2010. – С. 84–88.
3. Суслин В.П. Методика объемной компенсации систематических погрешностей координатно-измерительных машин на основании измерения плиты со сферами / В.П. Суслин, А.В. Джунковский // Исследовано в России. – 2006. – С. 2211–2218.
4. Серков Н.А. Модель отклонения взаимного положения исполнительных органов многокоординатного станка / Н.А. Серков // Проблемы машиностроения и надёжности машин. – 2011. – № 3. – С. 68–78.
5. Телешевский В.И. Лазерная коррекция геометрических погрешностей многокоординатных систем с программным управлением / В.И. Телешевский, В.А. Соколов // Измерительная техника. – 2012. – № 5. С. 33–37.

УДК 621.316.722.1(045)(476)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Валенда А.Г., Волкодатов А.А., Прусаков А.К., Ярмлович М.А.

Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

Введение

В настоящее время высоковольтные технологии имеют самый широкий спектр применения. Огромное количество энергии передаются в Республике Беларусь по государственным перетокам напряжением 110, 220, 330 и 750 кВ и высоковольтным линиям электропередачи. Также высокие напряжения используются в медицине, транспорте, промышленности, при проведении научных исследований.

Особенности высоковольтных измерений

Особенностью высоковольтных измерений является использование выносных масштабных преобразователей для понижения измеряемого напряжения до величин, удобных и более безопасных для измерений.

Таким образом, существует отдельный класс средств измерений – масштабные преобразователи высокого напряжения переменного и постоянного тока в напряжение величиной не более 1000 В. К таким масштабным преобразователям относятся электромагнитные и емкостные трансформаторы напряжения, резистивные и резистивно-емкостные делители напряжения.

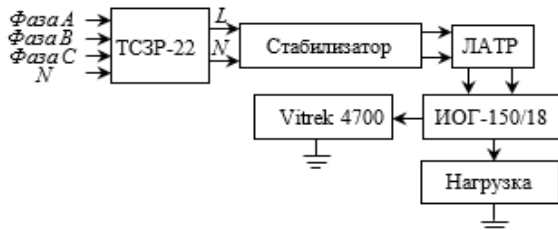
Для осуществления метрологического контроля киловольтметров и высоковольтных масштабных преобразователей служит созданная в БелГИМ высоковольтная лаборатория

Состав высоковольтного источника

Основной составной частью высоковольтной лаборатории является регулируемый высоковольтный источник напряжения переменного тока до 150 кВ, включающий в себя

повышающий трансформатор ИОГ-150/18, регулирующий автотрансформатор TDGC2-10, стабилизатор напряжения переменного тока RUHSTRAT JK 13 и сетевой трансформатор - преобразователь трехфазного питающего напряжения в однофазное ТСЗР-22 380-415/S*/216-223-230-237-244. В качестве эталонов используются киловольтметр Vitrek 4700 с делителями HVL-150, HVL-100, HVL-35 и киловольтметр KVM-100.

Структурная схема высоковольтного источника представлена ниже.



Для контроля условий выполнения измерений используются термогигрометр ИВА-6Б2 и устройство контроля параметров электрической сети УК1.

Необходимость стабилизатора

Стабилизатор напряжения является необходимой и достаточно важной составной частью регулируемого высоковольтного источника.

Многие высоковольтные лаборатории сталкиваются с проблемой флуктуации выходного напряжения высоковольтного источника вследствие изменения входного напряжения электропитания или изменения нагрузки. Данное явление оказывает негативный эффект на качество измерений и усложняет оценку результатов измерений.

Правильно выбранный стабилизатор напряжения позволяет исключить одну из составляющих неопределенности измерений и повысить точность измерений.

Описание методов стабилизации

Существуют четыре основных типа стабилизаторов напряжения: релейные, симисторные, сервоприводные (электромеханические), феррорезонансные. Каждый тип имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим каждый из них.

Принцип действия релейных стабилизаторов напряжения основан на ступенчатом регулировании напряжения путем подключения силовых реле к определенным отводам трансформатора. Чем больше отводов имеет обмотка, тем точнее может быть регулирование. К достоинствам можно отнести высокую скорость регулирования, но как следствие переключений, искажается форма синусоиды. Из-за конструктивных ограничений по количеству отводов невозможно добиться

высокой точности стабилизации в широком диапазоне входных напряжений.

Симисторные стабилизаторы напряжения осуществляют регулировку по релейному типу, но вместо реле применяются электронные ключи. Как результат имеем более высокую, чем в релейных стабилизаторах надежность и высокую скорость регулировки, но остается невысокая точность стабилизации.

Сервоприводные стабилизаторы напряжения представляют автотрансформатор с автоматическим управлением. При отклонении входного напряжения электродвигатель по команде управляющей электроники перемещает контакты в необходимое положение на обмотке. Этот способ позволяет производить плавную регулировку, что повышает точность регулирования и не искажает синусоиду выходного напряжения, но из-за применения сервоприводов имеем низкое быстродействие и низкую надежность по сравнению с другими методами.

Феррорезонансные стабилизаторы напряжения основаны на свойствах системы, включающей насыщенный и ненасыщенный дроссели и конденсатор. Вольтамперная характеристика такой системы содержит пологий участок, используемый для стабилизации напряжения. Основными достоинствами являются высокая скорость и точность стабилизации. Такие стабилизаторы не боятся короткого замыкания на выходе, допускают, для повышения мощности на нагрузке, параллельную работу нескольких стабилизаторов. Отсутствие движущихся элементов позволяет достичь высокой надежности и большого ресурса работы. К недостаткам можно отнести отсутствие возможности регулирования выходного напряжения, искажения синусоидальности и большой вес. Также применение такого типа стабилизаторов ограничено в сетях с емкостной нагрузкой.

Требования к стабилизатору напряжения

Технические требования к стабилизатору напряжения при поверке измерительных трансформаторов напряжения вытекают из требований к высоковольтному источнику напряжения, установленных ГОСТ 8.216-2011. Допускаемые колебания напряжения от установленного значения не должны превышать $\pm 3\%$ в течение 5 мин, коэффициент гармоник не более 5%.

При поверке высоковольтных делителей напряжения и киловольтметров требования к точности поддержания напряжения стабилизации и, соответственно, выходного напряжения высоковольтного источника при напряжениях 100 кВ и выше можно определить исходя из типового предела погрешности $\pm 1\%$ поверяемых киловольтметров или делителей напряжения и погрешности применяемого эталонного киловольтметра Vitrek 4700 $\pm 0,12\%$. При минималь-

ном запасе точности $\pm 0,33\%$ с учетом погрешности эталонного оборудования нестабильность напряжения должна составлять не более $\pm 0,3\%$.

Таким образом, стабилизатор напряжения, используемый в регулируемом высоковольтном источнике, должен обладать следующими характеристиками: колебания выходного напряжения не более $\pm 0,33\%$ в течение времени измерения, коэффициент гармоник не более 5% .

Анализ существующих типов стабилизаторов показывает, что стабилизатор феррорезонансного типа в наибольшей мере отвечает требованиям по скорости и точности стабилизации, по вносимому коэффициенту гармоник и уровню надежности. По результатам маркетинговых исследований выбрана модель феррорезонансного стабилизатора, наиболее полно отвечающая приведенным выше требованиям и произведена закупка стабилизатора JK13 немецкой компании RHNSTRAT.

Исследование характеристик

С целью определения реальных технических характеристик приобретенного стабилизатора напряжения JK13 и его возможностей в составе высоковольтного источника напряжения проведено исследование его основных функциональных зависимостей:

- зависимости напряжения стабилизации от изменения входного напряжения $\pm 10\%$ при постоянной нагрузке;
- временной стабильности выходного напряжения при неизменных входном напряжении и сопротивлении нагрузки;
- зависимости коэффициента гармоник от входного напряжения на стабилизаторе;
- спектральной диаграммы выходного напряжения;

- зависимости напряжения стабилизации от силы тока нагрузки при понижении входного напряжения от -10% до -20% ;

- зависимости напряжения стабилизации от силы тока нагрузки.

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что стабилизатор модели JK13 немецкой компании RHNSTRAT отвечает всем требованиям к работе в составе источника высокого напряжения высоковольтной лаборатории БелГИМ и может использоваться для повышения стабильности выходного напряжения высоковольтного источника при колебаниях напряжения питающей сети. Наилучшая стабильность и минимальный коэффициент гармоник для данной модели стабилизатора обеспечиваются при нагрузках от $0,95$ до $1,15$ Рном и пониженном входном напряжении от минус 10% до минус 20% от U ном. В случаях, когда снижение входного напряжения для минимизации гармонических искажений невозможно, в составе лаборатории могут применяться силовыенизкочастотные фильтры, разработка компонентов которых производится в настоящее время совместно с ОАО «МЭТЗ им. В.И. Козлова».

Для стабилизации напряжения высоковольтного источника при нагрузках до 12 или 18 кВт можно рекомендовать включение в параллельную работу двух или трех аналогичных стабилизаторов на одну нагрузку.

1. Стабилизатор напряжения модели JK13: брошюра производителя.
2. Стабилизаторы напряжения сети Б2-2. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Паспорт. ЕЭЗ.238.006 ТО.

УДК 533.6.089.68(047)(476)

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭТАЛОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ

Манкевич О.Д., Ровнейко И.В.

Белорусский государственный институт метрологии

Минск, Республика Беларусь

В докладе рассмотрены основные типы и принципы действия средств измерений скорости воздушного потока, а также эталонная база для проведения метрологического контроля этих средств измерений в Республике Беларусь. Описан состав и принцип действия аэродинамической установки, имеющейся в БелГИМ, приведены ее метрологические характеристики. Указаны перспективы развития эталонной базы Республики Беларусь в области измерения скорости воздушного потока.

Измерение скорости воздушного потока широко используется в следующих сферах деятельности:

- для санитарного, экологического и технического надзора в жилых и производственных помещениях,
- при мониторинге окружающей среды, контроле выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и контроле качества атмосферного воздуха,
- в системах кондиционирования, отопления и вентиляции,
- в шахтах и рудниках всех категорий на предприятиях химической, горно-рудной промышленности,
- для обеспечения безопасной работы на подъемниках, вышках, грузоподъемных кранах и