

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЁННЫХ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПУТЁМ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМЫ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ГИБРИДНЫХ ЛИНИЙ**

Федорова С.П.,

научные руководители канд. техн. наук, доцент Чупак Т. М.

старший преподаватель Малеев А. В.

Сибирский федеральный университет

Облик второй промышленной революции в конце XIX века во многом определился стремительным развитием электрификации с внедрением индивидуального электропривода и электрического освещения. Принято считать, что основная конкуренция шла между системами на постоянном токе (англ. Direct Current - DC) и на переменном (англ. Alternating Current - AC). Этот период развития электротехники получил название «война токов».

Важнейшим аргументом в пользу трехфазной системы переменного тока явились изобретенные М.О. Доливо-Добровольским связанные трехпроводные линии электропередачи (более экономичные в сравнении с двухфазными четырехпроводными), трехфазные генераторы и «плоские» трехфазные трансформаторы, а также асинхронные трехфазные электродвигатели - с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором типа «беличья клетка» [1].

Несмотря на победу переменного тока, в последнее время можно наблюдать активное развитие технологий и продвижение проектов на постоянном токе.

Дальние высоковольтные и сверхвысоковольтные линии электропередачи постоянного тока находят применение уже давно. Использование дальних линий постоянного тока оправдано и не имеет аналогов для стран, имеющих большие расстояния между местами потребления и производства электроэнергии, а именно для Бразилии, России, Индии и Китая, а также для Южной Африки.

«Гибридные» (AC + DC) линии, Supergrid и Digital Grid. «Гибридные» линии электропередачи позволяют улучшить устойчивость, надежность и повысить пропускную способность линий переменного напряжения путем добавления к ним DC линий и вставок. Примером гибридной линии служит концепция Supernode. Она предусматривает прокладку параллельно с существующей AC линией «дублирующей» DC линии, которая позволяет, например, повысить ее живучесть при возникновении различных аварийных ситуаций, например обрыва или короткого замыкания одной из фаз.

Существуют также предложения по «переформатированию» существующих трехпроводных линий на передачу постоянного тока, при этом «лишний» третий провод периодически подключается то к одному, то к другому полюсу напряжения. Это позволяет увеличить передаваемую мощность до двух и более раз без изменения конструкции линии.

Планируемые проекты модернизации структур энергосистем являются пробными шагами в генеральном направлении - постепенном переходе к интеллектуальным сетям с постоянным напряжением, в которых не требуется синхронизация, нет проблем нестабильности, обеспечивается большая энергоэффективность.

Практически вся нынешняя бытовая техника питается от переменного напряжения. Однако если внимательно проанализировать схему каждого бытового прибора, то выясняется, что ни для одного из них такое электропитание не является естественным. Практически в каждом современном электроприборе происходит преобразование переменного входного напряжения в постоянное с дальнейшим самым разнообразным его

использованием различными электронными схемами для создания необходимых потребительских качеств.

Существуют уже не только предпосылки, но и технические возможности по постепенному замещению многих сетей переменного напряжения на сети постоянного напряжения. При этом следует признать, что основным трендом с наибольшей вероятностью станет развитие интеллектуальных сетей постоянного тока [1].

До сих пор заявления, касающиеся повышения энергоэффективности в интеллектуальных сетях, применения возобновляемых источников энергии и инвестирования в них, а также развития сетей постоянного напряжения, чаще всего воспринимались как декларации, далекие от реальной действительности. Однако, исследования и внедрение ряда проектов в последние годы показывают все возрастающую актуальность инновационного развития в этой области.

Рассмотрим некоторые преимущества передач постоянного тока:

- нет угла сдвига фаз напряжения $\delta = 0$;
- снимаются понятия статической и динамической устойчивости;
- максимальная передаваемая мощность определяется только нагревом проводов

$$P_{\max} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{R_0 I}, \quad (1)$$

- простота регулирования напряжения и мощности (путем изменения угла зажигания на преобразователях);

- уровень изоляции линий постоянного тока для возможных внутренних и грозовых перенапряжений может быть почти в 2 раза выше, чем в линии переменного тока

$$U_d = 2 \cdot \sqrt{2} U_{\phi}, \quad (2)$$

$$\sqrt{2} U_{\phi} = U_d / 2, \quad (3)$$

- не передается реактивная мощность, что снижает потери активной мощности, $\cos \varphi = 1$;

$$\Delta P_{\underline{=}} = I^2 R, \quad (4)$$

$$\Delta P_{\underline{=}} = 3I^2 R, \quad (5)$$

$$\frac{\Delta P_{\underline{=}}}{\Delta P_{\underline{=}}} = \frac{I^2 R}{3I^2 R} = \frac{1}{3} \approx 0,333, \quad (6)$$

т.е. потери постоянного тока составляют 1/3 потерь переменного тока при одинаковой передаваемой мощности [2].

Также, к преимуществам следует отнести то, что сети постоянного напряжения обеспечивают более эффективное подключение накопителей и альтернативных источников электроэнергии.

В филиале ОАО «МРСК Сибири» - «Красноярскэнерго» есть объект, проблемный с точки зрения качества электроэнергии. Напряжение на приемном конце электропередачи составляет 5,04 кВ, а $\Delta U = 22\%$, что недопустимо. Значение напряжения у потребителей этого объекта, особенно в зимний период, вот уже на протяжении 5 лет не превышает 160-170 В, что не соответствует ГОСТ Р 54149 на качество электроэнергии.

Некачественное электроснабжение связано с тем, что существующие ВЛ 6 кВ, не справляются с постоянно растущей нагрузкой. В настоящее время существует проблема, когда в электросетевых компаниях эксплуатируются перегруженные линии 6-35 кВ. Это приводит к существенным потерям мощности и напряжения и, как следствие, недополучение потребителями качественной электроэнергии.

Для решения вопроса улучшения качества электроснабжения предлагались следующие варианты: установка двух каскадов пунктов автоматического регулирования напряжения (ПАРН) на базе вольтодобавочных трансформаторов напряжением 6кВ и строительство ПС 110/6кВ и линией электропередачи 110 кВ.

На данный момент установка каскадов ПАРН нецелесообразна, так как коренным образом не решит вопрос качества электроснабжения.

Вариант строительства ЛЭП и новой подстанции 110 кВ отложен по причине отсутствия у филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Красноярскэнерго» собственных источников финансирования (более 400 млн. рублей), а также, из-за отсутствия софинансирования со стороны органов власти. Дополнительным препятствием может послужить процесс согласования вырубки просеки для ВЛ 110кВ, проходящих по землям федерального и частного землевладения.

В качестве альтернативы выше рассмотренных вариантов предлагается инновационное решение проблемы: переформатировать существующую ВЛ 6 кВ переменного тока в линию постоянного тока $\pm 7,5$ (15) кВ без коренной реконструкции существующей линии. Из четырех теоретически возможных был выбран вариант биполярной трехпроводной линии (рис. 1).

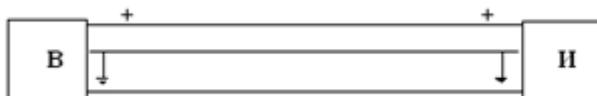


Рисунок 1 – Структурная схема линии постоянного тока

В данном случае, один из проводов (верхний) заземляется и используется в качестве грозозащитного троса. Два других провода используются как прямой (+) и обратный (-). Преимущества данной схемы: отсутствие необходимости изменения конструкции линии и увеличение пропускной способности в 2 раза с уменьшением потерь мощности и напряжения.

В связи с масштабным развитием силовой преобразовательной техники, стоимость преобразователей частоты значительно снизилась, что делает передачи постоянного и переменного тока конкурентоспособными, а решение данной проблемы более экономичной. Приблизительная стоимость ППТ 15 кВ составляет около 70 млн. руб., что в разы меньше варианта строительства новой ПС.

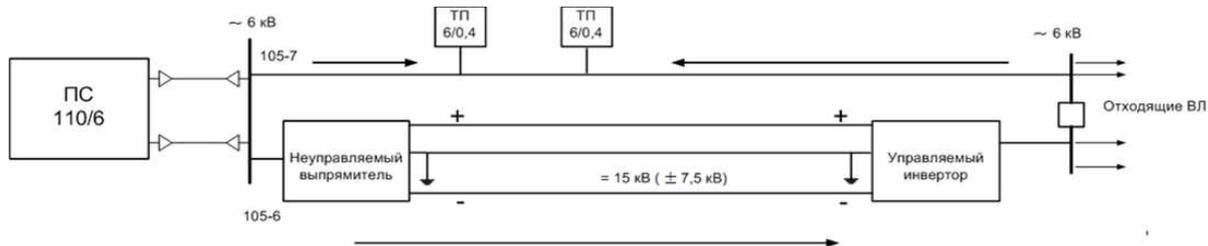


Рисунок 2 – Структурная схема совместной работы линии переменного и постоянного тока

На передающем конце предполагается установить неуправляемый преобразователь частоты (вентиль) и все переключения планируется производить на ПС 110 кВ, на приемном конце должен быть установлен управляемый (ведомый сетью) инвертор (рис.2).

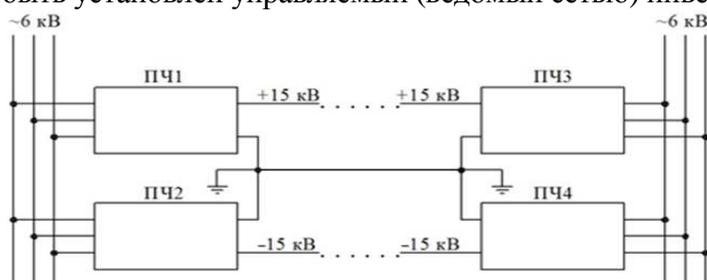


Рисунок 3 – Структурная схема биполярной передачи постоянного тока

Для исследования режимов работы электропередачи постоянного тока используется пакет прикладных программ среды MATLAB. На рис. 4 представлена модель для анализа работы электропередачи с управляемым инвертором, ПЧ 3 и ПЧ 4 (рис. 3).

Аналогичным образом моделируются и другие фрагменты предлагаемой схемы электроснабжения.

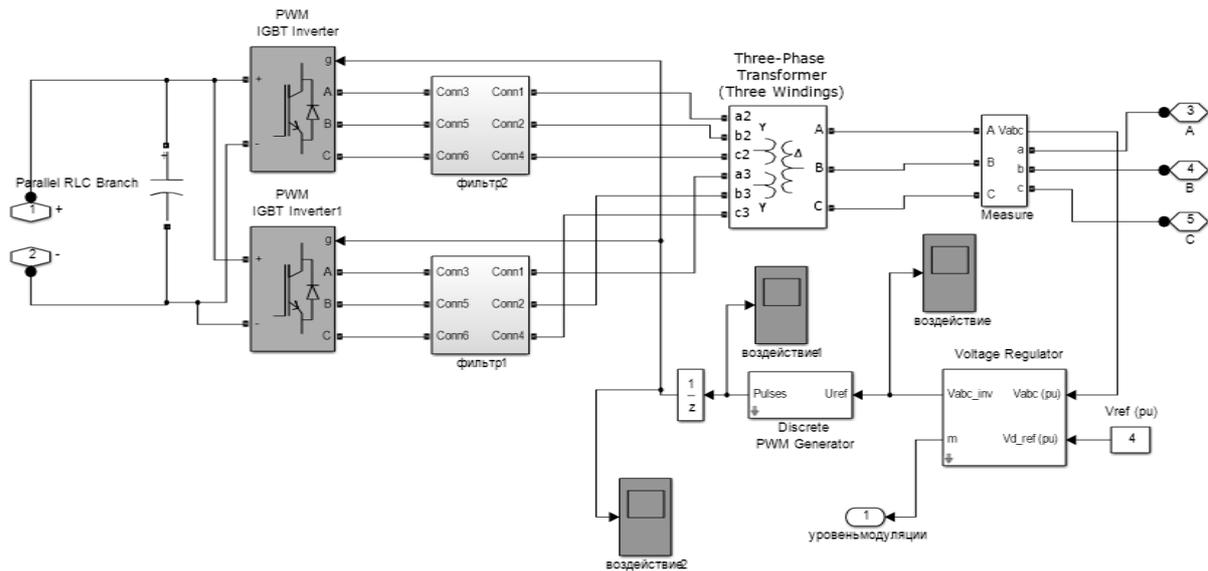


Рисунок 4 - Субмодель блока управляемый инвертор

Используемая современная преобразовательная техника гарантирует высокое качество напряжения у потребителя (рис. 5).

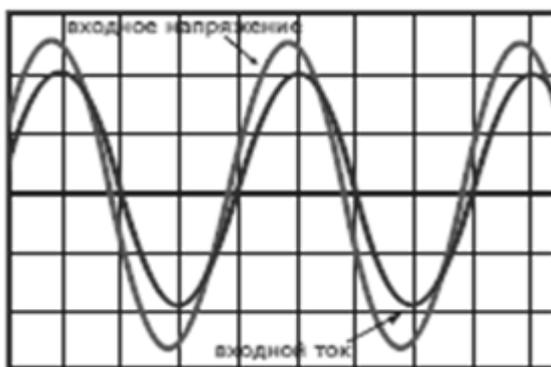


Рисунок 5 - Форма тока и напряжения на выходе преобразователей частоты ПЧ 3 и ПЧ 4, заявленная заводом изготовителем преобразователей частоты

Постепенный переход к интеллектуальным распределительным сетям с постоянным напряжением, в которых не требуется синхронизация, нет проблем нестабильности, обеспечивается большая энергоэффективность, что может способствовать тому, что гибридные линии могут стать основными элементами для создания системообразующих сетей постоянного тока.

Список литературы

1. О.Т. Зотин. В преддверии возрождения постоянного тока. [Электронный ресурс] / О.Т. Зотин // Энергосовет – 2013. – №1 (26). – Режим доступа: http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=366.
2. Рыжов Ю. П., Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 488 с.