

УДК 621.314.6

Принципы строгости в работах А.В. Поссе по теории мощных вентильных преобразователей

Ю.С. Крайчик

ОАО «НИИПТ»

Одним из ярких проявлений таланта А.В. Поссе, как выдающегося ученого и педагога, являлось его стремление к максимально возможной строгости в постановке, проведении и изложении результатов научных исследований по мощным вентильным преобразователям, которым он посвятил всю жизнь.

А.В. Поссе считал, что теория мощных вентильных преобразователей, будучи важным разделом ТОЭ, по своей строгости не должна уступать другим ее разделам. Он очень высоко оценивал работу Л.Р.Неймана, изложенную в монографии [1]. В обзорной статье [2] А.В. Поссе писал, что названная книга, вышедшая в 1946 г., явилась в то время «...вершиной теории электромагнитных процессов в системах с мощными выпрямительными установками. В ней Л.Р.Нейман выполнил наиболее полный и строгий анализ работы шестифазного выпрямителя с уравнительным реактором». При этом А.В. Поссе счел необходимым особо отметить, что «...хотя содержание книги относится к одному виду выпрямителя, однако разработанный в ней метод имеет общий характер для исследований процессов в мощных преобразователях».

А.В. Поссе неоднократно указывал, что даже незначительные на первый взгляд нестрогости в работах могут привести к ошибкам, недопустимым ни для полноценной теории, ни для практики. В выявлении и устранении подобного рода нестрогостей А.В. Поссе никогда не останавливал авторитет авторов. Так, в одной из ранних своих статей [3] А.В. Поссе указал, что в книге А. Глязера и К.Мюллер-Любека [4], переведенной на многие языки и входившей в число классических работ по мощным вентильным преобразователям, имеется нестрогость, состоящая в том, что авторами было принято допущение о конечной индуктивности в контуре выпрямленного тока, тогда как в некоторых дальнейших математических преобра-

зованиях применяются операции, правомерные лишь при бесконечно большой индуктивности в названном контуре. Эта нестрогость привела в [4] к серьезной ошибке: при рассмотрении работы однофазного выпрямителя на двигатель остались не замеченными неблагоприятные режимы, чреватые перенапряжениями и сбоями в работе преобразователей.

Нестрогость, допущенную в книге А. Глязера и К. Мюллер-Любека, А.В. Поссе проанализировал еще будучи молодым ассистентом Ленинградского политехнического института. Став впоследствии всемирно известным ученым, А.В. Поссе с не меньшей активностью продолжал критиковать нестрогие подходы в работах по теории мощных вентильных преобразователей. В частности, в своей статье [5] он показал, что нестрогости при рассмотрении энергетических процессов в преобразователях могут привести к выводам, противоречащим закону сохранения энергии. О серьезных отрицательных последствиях, связанных с нестрогими подходами к теории преобразователей, А.В. Поссе неустанно предупреждал своих коллег и учеников, в числе которых посчастливилось быть и автору данных воспоминаний.

Требовательно относясь к публикациям других ученых и исследователей, А.В. Поссе еще требовательнее относился к своим собственным. Все его публикации (а их вместе с изобретениями насчитывается более 150) являются образцами самого строгого подхода к изучаемому материалу. Какой бы вопрос А.В. Поссе ни рассматривал, он четко формулировал исходные допущения, указывал пределы их справедливости и опирался на них в ходе всего исследования. В этом плане роль допущений в работах А.В. Поссе сходна с ролью аксиом в геометрии, или других логически построенных науках. Отмечая такого рода сходство, мы видим и различия, состоящие главным образом в том, что аксиоматике в логически построенных науках преднамеренно придается абстрактный, отвлеченный от реальности характер. Поэтому основными (а зачастую и единственными) требованиями к системе аксиом являются такие ее качества, как полнота и непротиворечивость. Требования полноты и непротиворечивости предъявлял, конечно, к системе принимаемых допущений и А.В. Поссе, но вместе с тем он не только не абстрагировался от реальности, но наоборот, тщательно сравнивал каждое допущение с реальными наблюдениями и оставлял в своих работах только те из них, которые с реальными наблюдениями хорошо сходились. Такой

принцип принятия исходных допущений в сочетании со строгостью дальнейших рассуждений и математических выкладок обеспечивал общую строгость работ А.В. Поссе и убедительность получаемых результатов.

Известно, что строгие научные теории обладают тем большей общностью, чем больше явлений они охватывают и чем меньше допущений (аксиом) лежит в их основе. Заслуга А.В. Поссе состоит в том, что на основе минимального числа допущений он разработал теорию, которая охватывает симметричные установившиеся режимы любых многофазных преобразователей, работающих с углами коммутации, не превосходящими периода повторяемости процессов преобразования (т.е. практически все основные их рабочие режимы). Разработанная теория опирается всего на четыре хорошо апробированных допущения:

1. Синусоидальность эквивалентных ЭДС в сетях переменного тока, примыкающих к преобразователям;
2. Индуктивный характер всех учитываемых сопротивлений;
3. Идеальность вентиляей;
4. Идеальное сглаживание выпрямленного тока.

Пользуясь этими допущениями, А.В. Поссе впервые рассмотрел многофазный симметричный преобразователь безотносительно к конкретной его схеме, представив этот преобразователь в виде многополюсника, к одной стороне которого (ко входу) присоединяется внешняя трехфазная сеть переменного тока, а к другой (выходу) – контур выпрямленного тока. Кроме перечисленных выше допущений А.В. Поссе использовал только уравнения баланса мгновенных мощностей на входе и выходе многополюсника [6 – 8]. При столь общих посылах А.В. Поссе получил важный (и для многих тогда неожиданный) вывод, состоящий в том, что в основных преобразовательных режимах на зависимости между входными и выходными параметрами преобразователя влияет его фазность, но не схема. Если исходные допущения, на которых строится теория электромагнитных процессов многофазных преобразователей, уподоблять аксиомам (о чем писалось нами выше), то положения, полученные А.В. Поссе в работах [6 – 8], следовало бы считать теоремами, сформулировав и доказав которые А.В. Поссе привел эту теорию к существенно более высокому уровню общности. Можно утверждать, что именно с этих работ теория многофазных вентильных преобразователей приобрела присущий ей сейчас общий охват схем. А.В. Поссе

открыл ряд новых зависимостей между параметрами преобразовательных режимов. Вместе с тем им был пересмотрен взгляд на зависимости, известные ранее, и показано, что многие из зависимостей, приписывавшихся ранее некоторым конкретным схемам, в действительности относятся не только к ним, но и к значительному числу других известных, а может быть еще и неизвестных схем. Такой вывод имеет большое методическое и даже методологическое значение. Он дает возможность нового подхода к исследованию сложных преобразовательных схем – подхода, который сводится к переносу на исследуемые сложные схемы результатов, полученных для более простых схем. Эффективность такого подхода была наглядно показана А.В. Поссе в [7], на примере незадолго до этого предложенной им двухмостовой двенадцатифазной схемы, у которой для ограничения аварийных токов, вместо обычного параллельного соединения сетевых обмоток преобразовательных трансформаторов разных мостов, принято последовательное соединение этих обмоток.

Строгость и ясность изложения делает работы А.В. Поссе доступными для широкого круга читателей. В этом отношении следует особо отметить монографию [9], охватывающую все основные схемно-режимные проблемы электропередач постоянного тока. Несмотря на то, что эта монография написана А.В. Поссе 30 лет тому назад, она до сих пор является незаменимым пособием для специалистов, занимающихся разработкой, осуществлением и эксплуатацией электропередач постоянного тока и других объектов с мощными вентильными преобразователями. Сочетание фундаментальности с простотой изложения делает эту монографию ценной как для первоначального общего ознакомления с такого рода объектами, так и для самых углубленных их исследований. Здесь нельзя не обратить внимание на то, что по своему заголовку монография [9] относилась к передачам постоянного тока, т.е. к объектам довольно специфическим, но по фактическому содержанию она выходила далеко за пределы заголовка и не только отражала специфику названных передач, но и давала обширный новый материал, важный для общего развития преобразовательной техники.

Приверженность А.В. Поссе строгим и общим положениям в теории мощных вентильных преобразователей и его собственные достижения в выработке таких положений вовсе не означают, что А.В. Поссе считал какие-либо из этих положений неизменными – раз и навсегда установленными. Будучи чуждым любому застою,

А.В. Поссе очень быстро откликался на изменения в преобразовательной технике (как правило, даже задолго предвидел их) и приводил теоретические положения (а вместе с ними и применяемые методы исследований) в соответствие с произошедшими или предвидимыми изменениями.

Особенно серьезные изменения и добавления в теории мощных вентильных преобразователей потребовались в связи с появлением запираемых тиристоров. Появление таких тиристоров, с одной стороны, позволило наделить преобразователи новыми благоприятными качествами: повышением устойчивости, быстрым восстановлением режима после коротких замыканий в примыкающих сетях, возможностью выдавать реактивную мощность в эти сети, гораздо большими возможностями управления режимами и др., но с другой – выдвинуло большое число новых задач – в первую очередь задач по управлению самими преобразователями и ограничению перенапряжений, связанных с быстрым прекращением тока при их запираии. По существу, в теории мощных вентильных преобразователей потребовалось создать новое направление, которое учитывало бы физические особенности запираемых тиристоров и собранных из них преобразователей. А.В. Поссе стал одним из основоположников такого направления.

А.В. Поссе со свойственной ему четкостью сформулировал систему допущений, адекватную процессам в преобразователях, собранных из запираемых тиристоров, и на ее базе за короткий срок построил новую, как всегда изящную теорию, применимую для широкого класса таких преобразователей: выпрямителей, инверторов тока и напряжения, устройств для регулирования активной и реактивной мощности и др. Некоторые части построенной теории оказались применимыми не только для рассмотрения преобразователей, собранных из запираемых тиристоров, но и из обычных тиристоров с шунтовыми конденсаторными батареями на стороне вентильных обмоток. Теория, построенная А.В. Поссе, позволяет кроме анализа работы подобного рода преобразователей производить и их синтез, направленный на придание преобразователям желаемых качеств: повышенной устойчивости, сниженных перенапряжений, расширенных диапазонов регулирования, улучшенной формы токов и напряжений.

Только за последние 2 года жизни, несмотря на преклонный

возраст и плохое здоровье, А.В. Поссе опубликовал 10 статей и докладов [10 – 19], в которых еще шире развита теория работы преобразователей с запираемыми тиристорами и шунтовыми конденсаторными батареями на стороне вентильных обмоток. В этих публикациях, как и во всех работах А.В. Поссе, восхищает обилие оригинальных идей, доведенных до совершенно конкретных практических рекомендаций. Многие идеи касаются преобразователей повышенной фазности. Так, в последней своей публикации [19] А.В. Поссе рассмотрел оригинальный 24-фазный инвертор с запираемыми вентилями и шунтовыми конденсаторными батареями на стороне вентильных обмоток. А.В. Поссе показал благоприятные особенности такого инвертора, состоящие в том, что он не требует установки фильтров, может выдавать в энергосистему реактивную мощность, в несколько раз большую, чем мощность шунтовых конденсаторных батарей, и что реактивная мощность, выдаваемая им в энергосистему и потребляемая из нее, может регулироваться в широких пределах. А.В. Поссе получил общие аналитические выражения, которые позволяют определять энергетические характеристики такого инвертора и параметры его оборудования, рекомендовал оптимальные соотношения между этими параметрами и показал формы токов и напряжений, воздействующих на инверторные трансформаторы, шунтовые конденсаторные батареи и вентили. Таким образом, А.В. Поссе, как всегда, дал совершенно исчерпывающий материал о предмете своего рассмотрения и обогатил теорию методами расчета преобразователей нового типа.

В самое последнее время А.В. Поссе работал над идеей повышения фазности преобразователей, собранных из запираемых тиристоров, без применения фазоповоротных трансформаторов, т.е. исключительно за счет надлежащего управления тиристорами. Это должно было привести к существенному упрощению преобразовательных схем, имеющих фазность, большую 12-ти, и способствовать их внедрению. Исследование одной из таких схем на цифровой модели дало положительные результаты. А.В. Поссе приступил к созданию общей теории подобного рода схем. Кончина помешала ему завершить эту работу.

Нет сомнений в том, что существующая теория мощных вентильных преобразователей своим созданием, развитием и достижением ею своей строгости во многом обязана трудам А.В. Поссе. Надо полагать, что подходы А.В. Поссе к исследованиям мощных

вентильных преобразователей, как и вообще строгие подходы к научным исследованиям, будут плодотворно продолжены его многочисленными учениками.

Список литературы

- [1] **Костенко М.П., Нейман Л.Р., Блавдзевич Г.Н.** Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками. Изд. АН СССР. 1946.
- [2] **Кадомский Д.Е., Крайчик Ю.С., Поссе А.В.** Развитие теории преобразования тока // Электрические станции. 1995. № 12.
- [3] **Поссе А.В.** Анализ работы однофазного выпрямителя при нагрузке на двигатель // Труды ЛПИ. 1950. № 3.
- [4] **Глязер А., Мюллер-Любек К.** Теория электронных и ионных преобразователей тока. Трансжелдориздат. 1938.
- [5] **Поссе А.В.** Расчет мощности трансформатора выпрямительной установки // Электричество. 2001. № 4.
- [6] **Поссе А.В.** Общие зависимости между входом и выходом многофазных преобразователей (без учета длительности коммутационных процессов) // Известия НИИПТ. 1962. № 9.
- [7] **Поссе А.В.** Общие зависимости, характеризующие работу многофазных преобразователей // Электричество. 1963. № 5.
- [8] **Поссе А.В.** Использование энергетического принципа для вывода общих уравнений многофазного преобразователя // Труды 2-ой Всесоюзной конференции по методам расчета нелинейных электрических цепей. 1963.
- [9] **Поссе А.В.** Схемы и режимы электропередач постоянного тока. ЛО Энергия. 1973.
- [10] **Поссе А.В.** Анодное напряжение запираемых вентилей у 12-фазного преобразователя // Известия РАН. Энергетика. 1999. № 2.
- [11] **Балыбердин Л.Л., Поссе А.В.** Преобразователи с шунтовыми конденсаторами на базе запираемых и незапираемых вентилей // V Симпозиум «Электротехника 2010» / Сборник докладов. 1999. Т.2.
- [12] **Балыбердин Л.Л., Поссе А.В.** Дважды 12-фазный преобразователь // Известия НИИПТ тока. 2000. № 57.

-
- [13] **Поссе А.В.** Регулирование активной и реактивной мощности инвертора напряжения // Известия РАН. Энергетика. 2000. № 4.
- [14] **Галанов В.И., Поссе А.В.** Отечественная электроэнергетическая наука – преобразовательной технике передач и вставок постоянного тока // Энергетик. 2000. № 12.
- [15] **Балыбердин Л.Л., Поссе А.В.** Характеристики компенсатора реактивной мощности с двумя преобразователями напряжения // Известия НИИПТ. 2001. №58.
- [16] **Поссе А.В.** Регулирование активной и реактивной мощности инвертора напряжения // Известия РАН. Энергетика. 2000. № 4.
- [17] **Поссе А.В.** Коммутация тока в преобразователе с комбинированными вентилями // Известия РАН. Энергетика. 2001. № 2.
- [18] **Поссе А.В.** Определение параметров конденсаторной батареи для инвертора напряжения // Известия РАН. Энергетика. 2001. № 6.
- [19] **Поссе А.В.** Аналитические выражения для расчета 24-фазного инвертора с запираемыми вентилями // Известия РАН. Энергетика. 2002. № 2.