

СНИЖЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Повышение электромагнитной совместимости электровозов переменного тока с системами тягового и внешнего электроснабжения является важной проблемой на электрифицированных железных дорогах России. Этой проблеме уделяется особое внимание. Одним из направлений решения данной задачи является снижение негативного влияния выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП) электровоза, работающего в режимах тяги и рекуперативного торможения, на качество электроэнергии в контактной сети. Влияние электровозов проявляется в искажении синусоидальной формы напряжения, подаваемого в контактную сеть электроснабжающей организацией. Природа этого явления заключается в том, что распределенная индуктивность и распределенная емкость контактной сети вызывают переходные колебательные процессы в системе «контактная сеть – электровоз». В результате таких переходных процессов возникают высокочастотные свободные колебания напряжения на токоприемнике электровоза с частотами 750 – 1950 Гц.

В статье делается попытка объяснить причины возникновения и предложить путь снижения амплитуды свободных колебаний напряжения в сети (повышение качества электроэнергии) при ра-

боте электровоза в режиме рекуперативного торможения, когда ВИП работает инвертором. В этом случае на тиристоры плеч инвертора подаются импульсы управления β .

Свободные колебания напряжения на токоприемнике (рис.1) вызваны процессами перехода инвертора электровоза из режима проводимости в режим коммутации в момент подачи управляющих импульсов β на тиристоры (возникают коммутационные колебания) и обратным переходом в режим проводимости после окончания коммутации в момент $\beta - \gamma$ (возникают послекоммутационные колебания).

Возникновение высокочастотных колебаний напряжения на токоприемнике электровоза в процессе сетевой коммутации объясняется тем, что во время подачи управляющих импульсов с углом β на тиристоры инвертора происходит резкое снижение эквивалентного индуктивного сопротивления электровоза. Снижение эквивалентного сопротивления происходит из-за возникновения тока короткого замыкания, протекающего через коммутирующие тиристорные плечи инвертора и вторичные обмотки силового трансформатора электровоза.

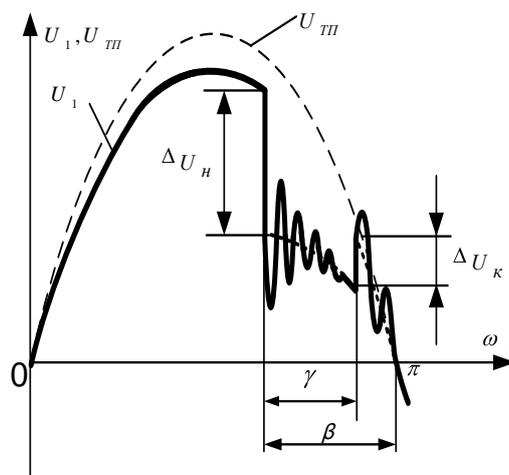


Рис. 1. Свободные колебания напряжения на токоприемнике электровоза
($U_{ТП}$ – напряжение на шинах тяговой подстанции, U_1 – напряжение на токоприемнике электровоза)

Результатом этого является скачок принужденной составляющей напряжения контактной сети на токоприемнике на величину ΔU_H (рис.1) и возникновение высокочастотных коммутационных колебаний этого напряжения. Причиной появления этих колебаний является возникновение колебательного контура, который образован результирующей индуктивностью электровоза и контактной сети, а также емкостью контактной подвески относительно земли.

После окончания сетевой коммутации в момент перехода инвертора в режим проводимости (угол $\beta - \gamma$) возникают подобные им послекоммутационные колебания. Данные колебания появляются вследствие увеличения принужденной составляющей напряжения контактной сети на токоприемнике на величину ΔU_K из-за увеличения эквивалентного индуктивного сопротивления электровоза.

Одним из путей снижения амплитуд коммутационных и послекоммутационных колебаний напряжения на токоприемнике электровоза является воздействие на протекание токов в преобразователе в процессе сетевой коммутации инвертора электровоза с помощью другого алгоритма управления. Как уже было сказано выше причина возникновения свободных коле-

баний напряжения на токоприемнике электровоза – резкий скачок в сторону снижения принужденной составляющей напряжения в контактной сети, являющийся результатом короткого замыкания тока через коммутирующие тиристорные плечи инвертора электровоза и части секций вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза.

Особенностью предлагаемого алгоритма управления инвертором является постепенное снижение принужденной составляющей напряжения на токоприемнике электровоза за счет поэтапного снижения его эквивалентного индуктивного сопротивления. На рис. 2 показана форма кривой напряжения в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, на которой видно, что принужденная составляющая напряжения снижается не так резко как при типовом алгоритме (см. на рис.1 величину ΔU_H), а постепенно в два этапа: сначала на величину ΔU_{H1} , а затем на ΔU_{H2} . Это позволяет снизить амплитуду свободных коммутационных колебаний, что приводит к снижению коэффициента искажения синусоидальности напряжения в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, а значит и в контактной сети.

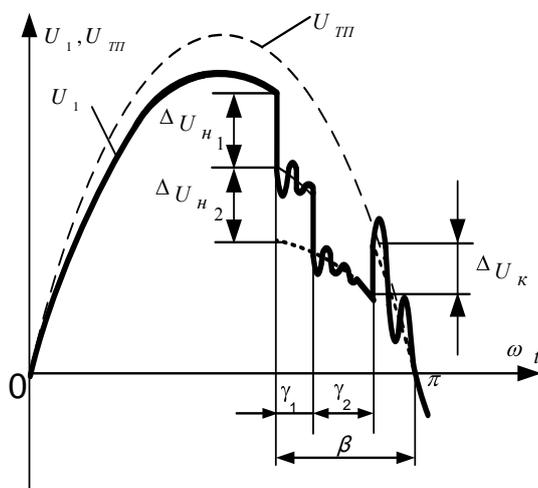


Рис. 2. Форма напряжения на токоприемнике электровоза при новом способе управления ($U_{ТП}$ - напряжение на шинах тяговой подстанции, U_1 - напряжение на токоприемнике электровоза)

Проведенное математическое моделирование процессов работы инвертора электровоза в номинальном режиме на 4-ой зоне регулирования с типовым и предлагаемым алгоритмами управления показало, что коэффициент искажения синусоидальности напряжения сети с предлагаемым алгоритмом управления уменьшился на 21% по сравнению с типовым, что дает достаточно хорошее повышение качества электроэнергии в тя-

говой сети при работе электровоза в рекуперативном торможении.

Ключевые слова: электровоз переменного тока, рекуперативное торможение, выпрямительно-инверторный преобразователь, инвертор, свободные коммутационные и послекоммутационные колебания напряжения, качество электроэнергии в контактной сети, коэффициент искажения синусоидальности напряжения.