

КОМПЕНСАЦИЯ НЕСИММЕТРИИ В ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧАХ

В. К. ЩЕРБАКОВ и Л. Д. МАЗУР

1

Инженерная мысль столкнулась с несимметрией в электрических системах сравнительно давно. Еще в начале XX века в трехфазных электрических системах возникла необходимость в питании однофазных нагрузок. Осветительная нагрузка в трехфазных сетях часто приводила к несимметричной работе сети и генераторов. Дуговые однофазные печи, сварочные трансформаторы и другие виды однофазной нагрузки часто составляли до 20 процентов мощности, отбираемой от электростанции.

Питание несимметричной нагрузки по симметричным трехфазным сетям от симметричных трехфазных генераторов (рис. 1) связано с дополнительным нагревом генераторов и с пониженным коэффициентом использования сечений проводов в сети.

Дело в том, что несимметричная трехфазная система токов (неравномерная нагрузка фаз), наблюдаемая в генераторах, может быть представлена как сумма двух симметричных трехфазных систем токов: прямой последовательности и обратной последовательности. Симметричная система токов прямой последовательности—обычная система токов. В расчете на эту систему токов сконструированы трехфазные генераторы. Симметричная система токов обратной последовательности, появившаяся в генераторах в связи с питанием однофазных нагрузок, создает в генераторе магнитное поле обратной последовательности, за счет которого в обмотках и замкнутых контурах ротора возникают паразитные токи, создающие дополнительный нагрев ротора. Тем самым снижается коэффициент использования генератора, так как предельная температура нагрева в этих условиях получается при неполной нагрузке генератора.

Желая избежать нарушения нормального режима работы трехфазного симметричного генератора, конструкторы предложили ряд схем питания несимметричных нагрузок, смысл которых, в основном, сводился к включению таких дополнительных устройств, которые бы удовлетворили спрос нагрузки на токи обратной последовательности. Следовательно, в конечном счете здесь возникала необходимость в производстве токов обратной последовательности наряду с токами прямой последовательности.

Повторим еще раз, что во всех вышеуказанных случаях речь шла о питании несимметричной нагрузки через симметричные трехфазные электрические сети.

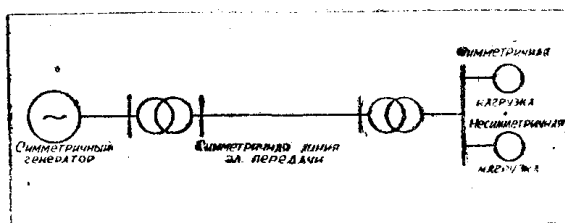


Рис. 1

Принципиально по-новому встал вопрос, когда в последнее десятилетие в практике эксплуатации электрических систем и установок появились несимметричные электропередачи: линии с заземленной фазой, линии с пофазным выключением, электропередачи с несимметричным включением трансформаторов и т. д. В этом случае речь идет о питании трехфазной симметричной нагрузки через несимметричные электропередачи. Здесь, как и прежде, за счет несимметрии в электропередачах возникают токи обратной последовательности в генераторах, но эти токи обратной последовательности здесь не нужны нагрузке; они появились не в результате спроса со стороны нагрузки, больше того—за счет несимметрии в электропередачах в симметричных приемниках электрической мощности появляются паразитные токи обратной последовательности, снижающие коэффициент полезного действия этих приемников. Если в первом случае речь шла о том, чтобы найти способы удовлетворения спроса нагрузки на токи обратной последовательности, то в этом случае, наоборот, речь идет об изыскании способов борьбы с токами обратной последовательности, которые не нужны ни генераторам, ни нагрузке и появились лишь в результате наличия несимметрии в электропередачах.

2

Степень несимметрии в моторах и генераторах, связанных с несимметричной электропередачей, может быть подсчитана [1] и достигает в отдельных случаях весьма большой величины. Так, например, в случае отключения одной фазы в трехфазной одноцепной линии передачи моторная нагрузка получает несимметрию по току в размере 30 процентов при условии оставления в работе лишь 50 процентов потребителей по мощности [1]. Можно показать, что коэффициент использования моторной нагрузки значительно снижается, так как магнитные поля обратной последовательности наводят в обмотках и замкнутых контурах роторов моторов паразитные токи, обуславливающие дополнительный нагрев моторов. Генераторы находятся в несколько лучшем положении потому, что к шинам электростанции, как правило, подключаются наряду с несимметричными и симметричные электропередачи. Обусловленные несимметрией в электропередачах токи обратной последовательности распределяются на большую генераторную мощность. Случай работы генератора только через несимметричную электропередачу является исключительно редким. В огромном большинстве случаев мощность, отдаваемая через несимметричную электропередачу, будет составлять лишь какую-то часть полной мощности электростанции, и, следовательно, несимметрия в генераторах, обусловленная подключенной к станции несимметричной электропередачей, будет невелика и, видимо, чаще всего в пределах допустимого. Кроме того, следует учесть то обстоятельство, что, положим, линии с пофазным выключением, в случае работы на неполном числе проводов линий, способны передавать лишь часть номинальной мощности. Таким образом, генераторы электростанции в этом случае частично разгружаются.

Из сказанного следует, что в рассматриваемом случае несимметрии специальное внимание должно быть уделено освобождению моторной нагрузки от токов обратной последовательности. Здесь важно заметить, что передача мощности через несимметричную электропередачу, т. е. передача токов прямой последовательности, возможна лишь при одновременном протекании через линию и токов обратной последовательности. Если же нейтрали трансформаторов заземлены, то протекание токов прямой последовательности будет связано с одновременным протеканием токов обратной и нулевой последовательностей.

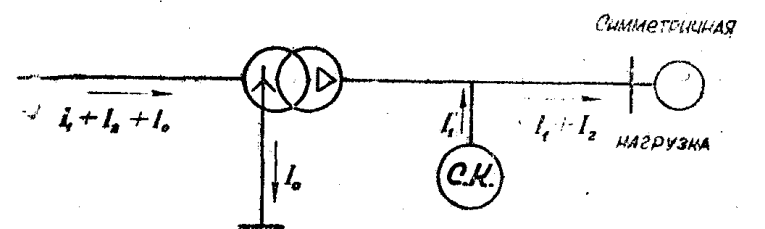
Ограничение токов обратной или нулевой последовательностей в линии будет означать одновременное ограничение тока прямой последователь-

ности в линии [1]. Можно было бы ограничить ток обратной последовательности в линии и тем самым снизить величину этого тока до минимальных размеров в моторной нагрузке за счет увеличения тока нулевой последовательности. Однако протекание тока нулевой последовательности в линии связано с возвратом этого тока через землю и, следовательно, с отрицательными действиями тока в земле. Таким образом, этот путь ограничения тока обратной последовательности не представляется целесообразным. Остается как будто бы единственно правильное решение—допустить существование токов обратной последовательности в линии и одновременно не допустить эти токи в обмотку моторов.

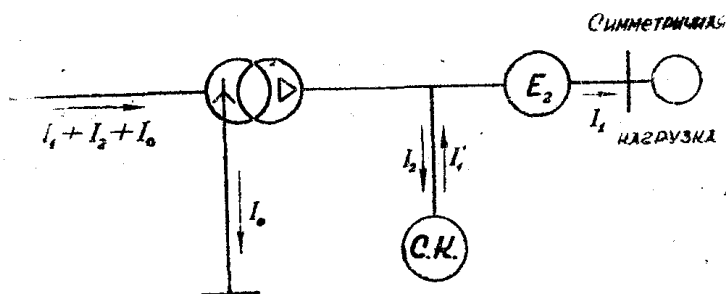
3

Преградить путь токам обратной последовательности к моторной нагрузке, вероятно, можно несколькими способами. Ниже рассматривается схематично один из таких способов.

Как видно из схемы рис. 2, перед нагрузкой включается дополнительно синхронный генератор обратной последовательности с частотой, равной



а. Схема протекания токов различных последовательностей при обрыве одной фазы линии без включения дополнительного генератора



б. Схема протекания токов различных последовательностей при обрыве одной фазы линии и включением дополнительного генератора

Рис. 2

частоте тока электропередачи. При отсутствии такого генератора токи обратной последовательности замыкаются через нагрузку и синхронный компенсатор или статический конденсатор, часто устанавливаемые на по-

низительных подстанциях или непосредственно у нагрузки. Если генератор обратной последовательности даст электродвижущую силу, равную напряжению обратной последовательности на зажимах нагрузки, то ток обратной последовательности через нагрузки протекать не будет, ток будет замыкаться только через синхронный компенсатор. Величина ЭДС обратной последовательности должна составлять несколько процентов от величины номинального напряжения электропередачи, так как асимметрия по напряжению обычно не превышает нескольких процентов. Следовательно, мощность дополнительного генератора также составит лишь несколько процентов от мощности, передаваемой по электропередаче.

Регулирование величины и фазы ЭДС обратной последовательности может быть осуществлено комбинированной обмоткой возбуждения, дающей в каждый данный момент сумму двух магнитных потоков, действующих во взаимно перпендикулярных плоскостях. Изменяя величину одного или другого компонента суммарного магнитного потока ротора генератора, можно менять фазу ЭДС генератора. Возможность такого регулирования фазы ЭДС генератора была давно принципиально указана применительно к серийной компенсации реактивности линий передач. Затем доцентом Г. Е. Пуховым этот метод регулирования фазы ЭДС был подробно разобран в его кандидатской диссертации [2].

Наличие синхронного компенсатора или статических конденсаторов совершенно необходимо на подстанции или вблизи нагрузки в том случае, если отсутствует отдельно подключенная и достаточно мощная немоторная нагрузка.

Дело в том, что существование токов обратной последовательности в линии электропередачи, как было показано выше, неизбежно. Следовательно, эти токи должны иметь путь для протекания с сравнительно небольшим сопротивлением. Немоторная нагрузка (например, электропечи) может допустить без ущерба для себя протекание токов обратной последовательности. В случае отсутствия такой отдельно подключенной, достаточно мощной немоторной нагрузки, токи обратной последовательности могли бы замыкаться через синхронный компенсатор, как это показано на рис. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Щербakov—Несимметричные электропередачи. Изд. Томского политехнического института, 1945.
2. Г. Е. Пухов—К вопросу о серийной компенсации реактивности линий электропередач. Диссертация, 1943.