

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИСКРЕТНО РЕГУЛИРУЕМЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Л. А. Герман, д. т. н. профессор Нижегородского филиала МИИТ;

А. С. Серебряков, д. т. н. профессор ГОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»;

Д. Е. Дулепов, аспирант ГОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»

Аннотация. Компенсация реактивной мощности в настоящее время является немаловажным фактором, позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии, в том числе на предприятиях АПК.

В статье рассматривается внедрение и область применения дискретно регулируемых установок для компенсации реактивной мощности. Рассмотрены переходные процессы в энергетических системах, приведены зависимости кратности перенапряжения от относительной величины напряжения на конденсаторе.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, дискретно регулируемые установки, переходные процессы, балластный резистор.

При постоянно меняющейся нагрузке потребителей электроэнергии работа установок для компенсации реактивной мощности (КУ) будет эффективна только в том случае, если эти установки будут дискретно регулируемы. Здесь под дискретно регулируемыми установками мы будем понимать установки, рассчитанные на частое вклю-

чение и выключение при изменениях нагрузки. Несмотря на большое количество печатных работ, посвященных анализу КУ, процессы в дискретно регулируемых КУ исследованы недостаточно полно. В предлагаемой работе делается попытка обобщить теоретические и практические исследования по созданию регулируемых установок для поперечной компенсации реактивной мощности.

Схема включения КУ приведена на рисунке 1. Известно, что в КУ последовательно с основным элементом установки - конденсатором C включается реактор L , назначение которого - ограничение токов, протекающих через конденсатор. Кроме компенсации реактивной мощности, КУ выполняет и функцию подавления 3-ей гармоники в питающем напряжении. Для этого контур LC настраивается на третью гармонику с небольшой расстройкой и сопротивление контура для третьей гармоники близко к нулю. Установка подключается к сети с помощью выключателя $Q1$. На момент включения в цепь КУ включается балластный резистор R , назначение которого - ограничение тока и напряжения на конденсаторе в начале переходного периода. В дальнейшем балластный резистор шунтируется выключателем $Q2$. Проанализируем процессы при включении КУ.

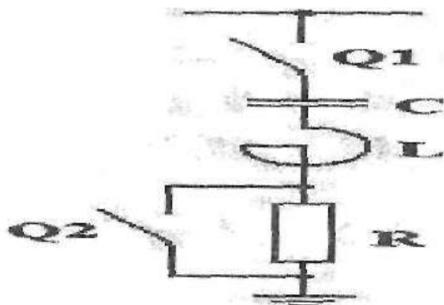


Рис.1. Схема включения КУ с балластным резистором

Из условия $X_c / 3 \approx 3X_L$ получается, что $X_c \approx 9X_L$, т.е. реактивное сопротивление конденсатора практически в 9 раз больше реактивного сопротивления реактора. Это значит, что электрическая энергия, запасаемая в конденсаторе, примерно в 9 раз больше магнитной энергии, запасаемой в реакторе. Угол сдвига по фазе между питающим напряжением и током в установившемся режиме близок к 90° , а угол сдвига по фазе между питающим напряжением и напряжением на конденсаторе близок к нулю.

Наличие двух накопителей энергии обуславливает переходный процесс, описываемый системой дифференциальных уравнений второго порядка, во время которого ток через конденсатор и напряжение на конденсаторе могут превысить свои установившиеся значения. Значения перенапряжений зависят от момента включения установки, т.е. начальной фазы питающего напряжения и начальных условий - напряжения на конденсаторе и тока в дросселе. Наиболее опасным для конденсатора является величина напряжения, от которой зависит эксплуатационная надежность конденсатора КУ. Поэтому в дальнейшем будем анализировать именно эту величину. На рис. 2 приведена зависимость коэффициента перенапряжения K_U , т.е. отношения максимального значения на конденсаторе в переходном режиме к установившемуся значению от начальной фазы ψ питающего напряжения при нулевых начальных условиях, т.е. при $i(0) = 0$ и $u_c(0) = 0$.

Как видно из рис. 2 в кривой, характеризующей перенапряжения, наблюдаются два минимума по числу накопителей энергии. Минимум при начальной фазе равной нулю соответствует совпадению значения питающего напряжения с начальным и установившимся значением напряжения на конденсаторе, равном нулю. Но в этом случае начальное значение тока не совпадает с установив-

шимся значением и это несовпадение обуславливает переходный процесс и перенапряжение на конденсаторе.

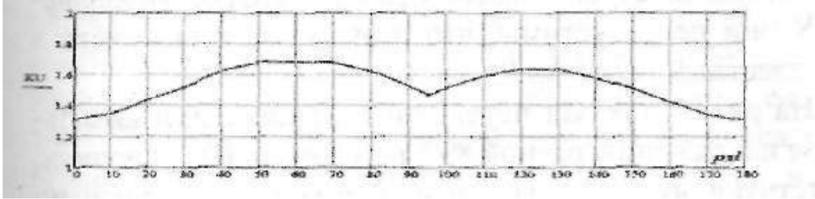


Рис. 2. Зависимость коэффициента перенапряжения K_U от начальной фазы ψ питающего напряжения при нулевых начальных условиях

Минимум при начальной фазе, близкой к 90° обусловлен совпадением нулевого начального значения тока с его установившимся значением. Однако, при этом нулевое начальное значение напряжения на конденсаторе не совпадает с его установившимся значением. Это несовпадение также обуславливает переходный процесс и перенапряжение на конденсаторе (рис. 3). Как отмечалось выше, запасаемая энергия в конденсаторе значительно больше, чем энергия, запасаемая в реакторе. Поэтому в последнем случае перенапряжение будет больше (1,462 вместо 1,305).

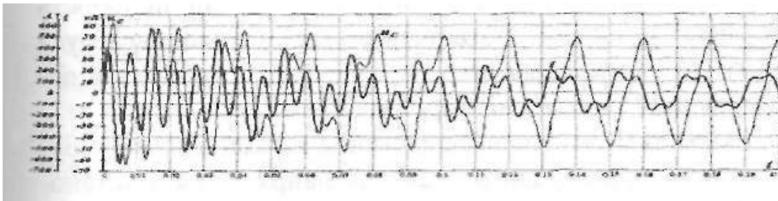


Рис.3. Переходный процесс при начальной фазе напряжения, равной 90° при нулевых начальных условиях

Максимальное значение перенапряжения на конденсаторе в наиболее неблагоприятных условиях, как вид-

но из рис. 2, может превосходить установившееся значение на 70 %. Такие перенапряжения могут очень быстро вывести конденсаторы из строя. Поэтому для дискретно управляемых КУ они не допустимы, что и вынуждает включать в цепь балластный резистор R.

На рис. 4 показан переходный процесс при начальной фазе напряжения, равной 89° при начальных условиях, соответствующих установившемуся режиму: $i(0) = 0$, $u_c(0) = 43,53$ кВ.

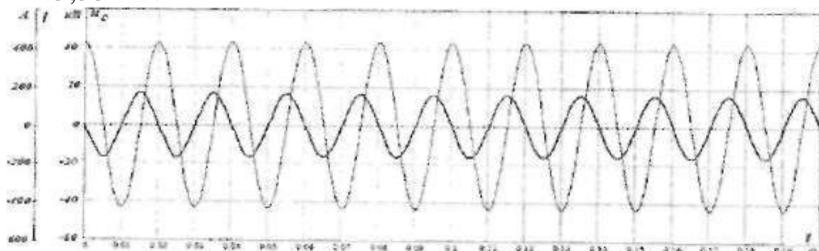


Рис. 4. Переходный процесс при начальной фазе напряжения, равной 89° при начальных условиях, соответствующих установившемуся режиму:
 $i(0) = 0$, $u_c(0) = 43,53$ кВ.

Из сказанного выше следует, что если подобрать начальные условия, соответствующие установившемуся режиму, то переходный процесс будет отсутствовать и перенапряжений на конденсаторе не возникнет.

Отметим, что если напряжение на конденсаторе будет меньше амплитудного значения напряжения в установившемся режиме, то кратность перенапряжения возрастает незначительно. Если же начальное напряжение будет больше амплитудного значения напряжения на конденсаторе в установившемся режиме, то кратность перенапряжения возрастает значительно. Это иллюстрируется рис. 5 и табл.1

Создать начальные условия, близкие к требуемым можно несколькими способами. Один из них - с включением демпфирующего резистора. Суть этого способа заключается в том, что в начальный период в цепь последовательно с конденсатором и реактором включается демпфирующий резистор **R**, сопротивление которого составляет 70-80 Ом. Через три полупериода, когда конденсатор зарядится до значения, близкого к установившемуся, в момент прохождения тока через нуль, резистор **R** выключается с помощью выключателя **Q2**, КУ подключается к сетевому напряжению и работает в штатном режиме. Чтобы выключатель **Q2** шунтировал балластный резистор **R** в момент прохождения тока через нуль, он должен быть синхронизированным и быстродействующим.

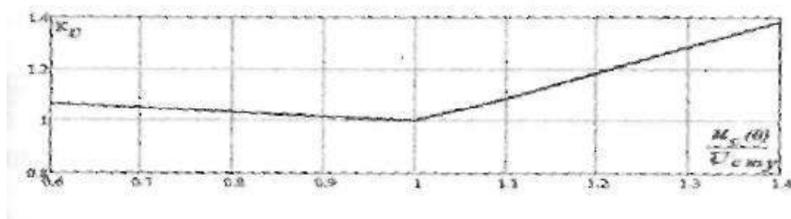


Рис. 5. Зависимость кратности перенапряжения от относительной величины напряжения на конденсаторе в начальный момент времени

Таблица 1

—	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
K_U	1.067	1.049	1.031	1.013	1.0	1.087	1.185	1.284	1.383

Перед отключением главного выключателя демпфирующий резистор целесообразно расшунтировать для того, чтобы облегчить условия работы главного выключателя, так как отключение емкостных токов вызывает затруднения. Начальная фаза тока при расшунтировании ре-

зистора может быть любой, т.е. введение балластного резистора может производиться несинхронно в любой момент времени

The analysis of transients in discretely adjustable installations for indemnification of jet capacity

L. A. Herman, doctor of technical sciences, professor of the Nizhniy Novgorod branch MIIT;

A. S. Serebryakov, doctor of technical sciences, professor, the Nizhniy Novgorod State engineering-economic institute;

D. E. Dulepov, post-graduate student of the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute

Annotation. Indemnification of jet capacity is, now, the important factor allowing solving power savings question practically at any enterprise, including at the agrarian and industrial complex enterprises.

In article introduction and a scope of discretely adjustable installations for indemnification of jet capacity is considered. Transients in power systems are considered, dependences of frequency rate of an overstrain on relative size of pressure on the condenser are resulted.

The key words: Indemnification of jet capacity, discretely adjustable installations, transients, the ballast resistor.