
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.331 :621.311.025

Л.А. Герман¹, А.С. Серебряков¹, Д.Е. Дулепов²

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ УСТАНОВКИ ПОПЕРЕЧНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ТРИ ЭТАПА

Нижегородский филиал Московского государственного университета путей сообщения¹,
Нижегородский государственный инженерно-экономический институт²

Исследованы переходные процессы при включении установки поперечной емкостной компенсации (КУ) в три этапа. Цель исследований - определение оптимальных параметров демпфирующего резистора для повышения эксплуатационной надежности КУ при использовании несинхронизированных выключателей. Исследования проведены методом численного решения дифференциальных уравнений, описывающих процессы в установках емкостной компенсации. Показано, что при включении установок с демпфирующим резистором в три этапа значения перенапряжений на конденсаторах не превосходят 10%.

Область применения – электрифицированные железные дороги переменного тока.

Ключевые слова: поперечная емкостная компенсация, перенапряжения, коммутация, переходные процессы.

При включении на переменное напряжение установки поперечной емкостной компенсации (КУ), содержащей элементы C , L и R (рис. 1), возникает переходный процесс, во время которого напряжение на конденсаторе и ток через конденсатор могут значительно превосходить свои значения в установившемся режиме. Значения перенапряжений и сверхтоков зависят от начальных условий (НУ) и начальной фазы включения. Коэффициент перенапряжения K_U , равный отношению максимального значения напряжения в переходном периоде к установившемуся амплитудному значению $K_U = \frac{U_{\max}}{U_m}$, может составлять 1,7-2. Таким образом,

напряжение на конденсаторе может превысить установившееся амплитудное значение напряжения на 70–100%, что, безусловно, недопустимо, так это как ведет к повышенному износу конденсаторов и снижает их эксплуатационную надежность.

Поскольку установки емкостной компенсации в современных условиях переводятся в регулируемый режим с частыми включениями и отключениями, то указанные перенапряжения затрудняют их перевод в регулируемый режим. Коммутационные перенапряжения при включении КУ можно снизить, если при подключении КУ к сети последовательно с конденсатором и реактором включать демпфирующий (балластный) резистор R_g . Чем больше значение демпфирующего резистора, тем меньше коммутационные перенапряжения. При значении сопротивления демпфирующего резистора, равного значению волнового сопротивления контура емкостной компенсации, коэффициент перенапряжений практически становится равным единице. При большем значении сопротивления демпфирующего резистора коэффициент перенапряжений становится меньше единицы.

Таким образом, включение демпфирующего резистора позволяет значительно снизить и даже полностью исключить коммутационные перенапряжения и сверхтоки при включении КУ. Однако в этом случае возникают коммутационные перенапряжения при шунтировании

демпфирующего резистора, причем чем больше значение демпфирующего резистора, тем больше значение перенапряжений.

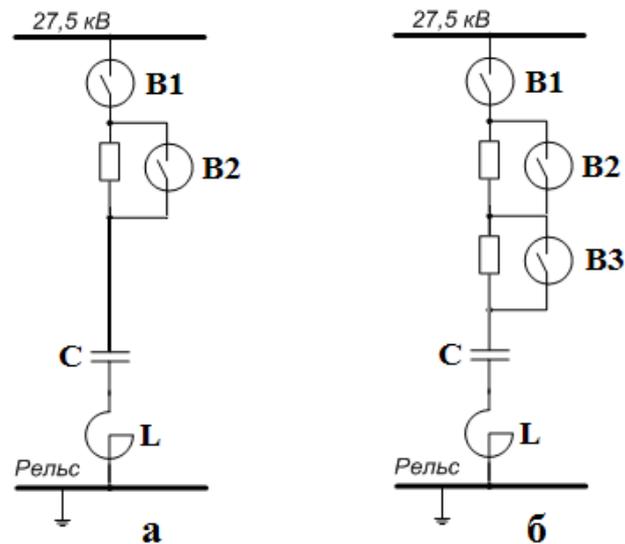


Рис. 1. Принцип двухэтапного включения КУ

Кроме того, значения K_U зависят от начальной фазы тока в момент шунтирования демпфирующего резистора. Минимальные значения перенапряжения будут при шунтировании балластного резистора в момент прохождения тока через нуль, а максимальные – в момент прохождения тока через максимум.

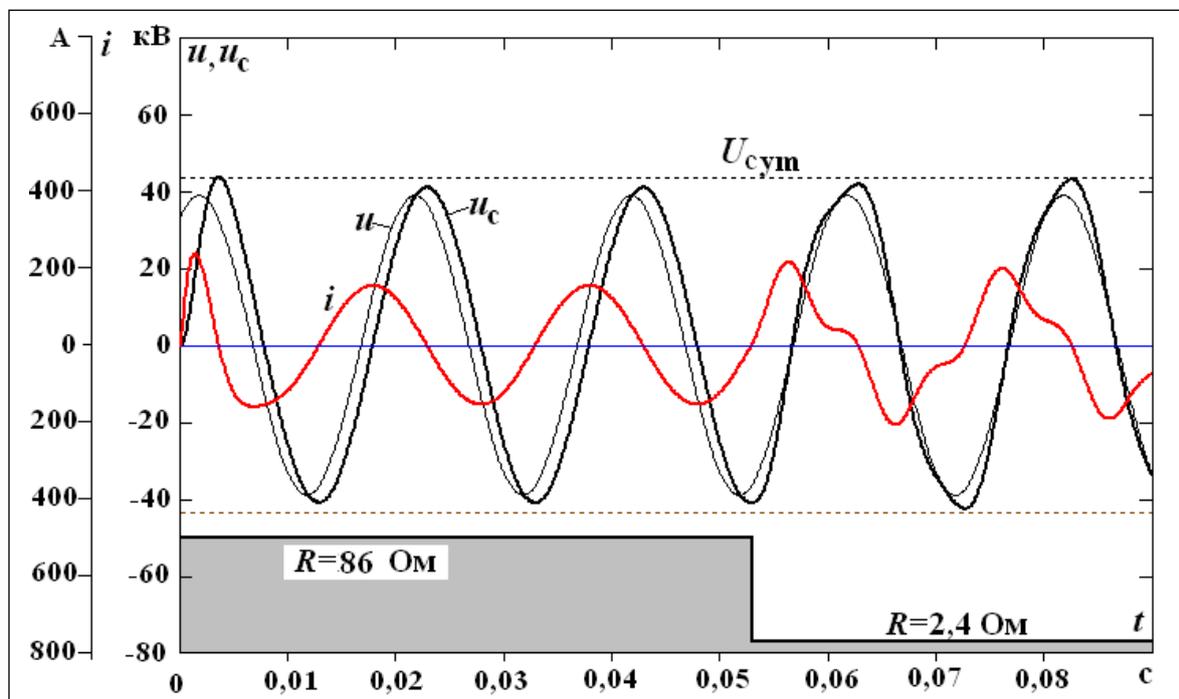


Рис. 2. Переходный процесс при включении КУ в два этапа и шунтировании демпфирующего резистора в нуль тока

Исследования авторов показали, что КУ можно включать практически без перенапряжений, по схеме на рис. 1, а, если значение демпфирующего резистора выбрать близким к значению волнового сопротивления резонансного контура CLR и шунтировать его в момент

прохождения тока через нуль (рис. 2). Это техническое решение требует одного несинхронизированного главного выключателя В1 и одного синхронизированного шунтирующего выключателя В2, который должен включаться в нуль тока. Как видно из рис. 2, перенапряжения в этом случае практически не возникают.

При использовании двух несинхронизированных выключателей полностью исключить перенапряжения нельзя, но можно свести их к минимуму. На рис. 3 приведены зависимости значений K_{U1} при включении КУ с демпфирующим резистором и K_{U2} при шунтировании демпфирующего резистора от значения его сопротивления, когда оба выключателя несинхронизированные и перенапряжения при каждой коммутации максимально возможные.

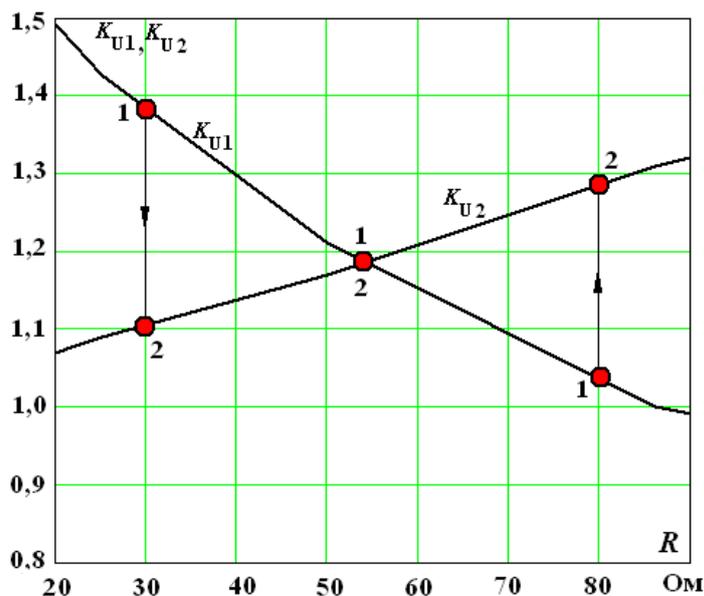


Рис. 3. Перенапряжения в КУ при включении ее в два этапа:

- 1 – при включении КУ с демпфирующим резистором;
- 2 – при шунтировании демпфирующего резистора

Как видно из рис. 3, при малых значениях $R_g=30$ Ом при включении K_{U1} составляет 1,39 (точка 1- первая коммутация), а при шунтировании резистора $K_{U2}=1,1$ (точка 2 - вторая коммутация). При большом значении $R_g=80$ Ом при включении K_{U1} составляет 1,03 (точка 1 - первая коммутация), а при шунтировании резистора $K_{U2}=1,28$ (точка 2- вторая коммутация). При значении $R_g=55$ Ом $K_{U1} = K_{U2}=1,18$ (точка 1, 2 - первая и вторая коммутации в одной точке). То есть и при первой, и при второй коммутации в этом случае получают одинаковые наименьшие коэффициенты перенапряжения и перенапряжения не превысят 18%. В действительности значение оптимального сопротивления демпфирующего резистора следует выбирать несколько меньшим, так как первое перенапряжение длится значительно меньше, чем второе. Постоянная времени затухания первой коммутации за счет включения демпфирующего резистора составляет 0,066 с, а второй – 0,00288 с.

На этом возможности схемы двухэтапного включения с несинхронизированными выключателями исчерпываются. Лучшие результаты можно получить, если шунтировать демпфирующий резистор не сразу, а по частям с помощью двух выключателей (рис. 1, б). В этом случае, например, при $R_d=70$ Ом и при шунтировании части резистора в 50 Ом (оставшаяся часть демпфирующего резистора 20 Ом) $K_{U2}=1,16$, а при третьей коммутации - шунтировании оставшейся части 20 Ом $K_{U3}=1,07$. При шунтировании половины сопротивления $K_{U2}=1,08$, а $K_{U3}=1,13$. Естественно, судя по рис. 4, можно подобрать значения оставшегося после второй коммутации сопротивления так, чтобы при всех трех коммутациях коэффициенты перенапряжений были бы равны и не превосходили бы значение 1,1 (рис. 5).

Заметим, что для схемы трехэтапного включения можно сделать коэффициенты перенапряжений при коммутациях не только равными, но и минимальными (рис. 6).

На рис. 6, кроме зависимости K_{U2} перенапряжений при полном шунтировании демпфирующего резистора, приведена зависимость перенапряжений K_{U2}^1 при частичном шунтировании резистора.

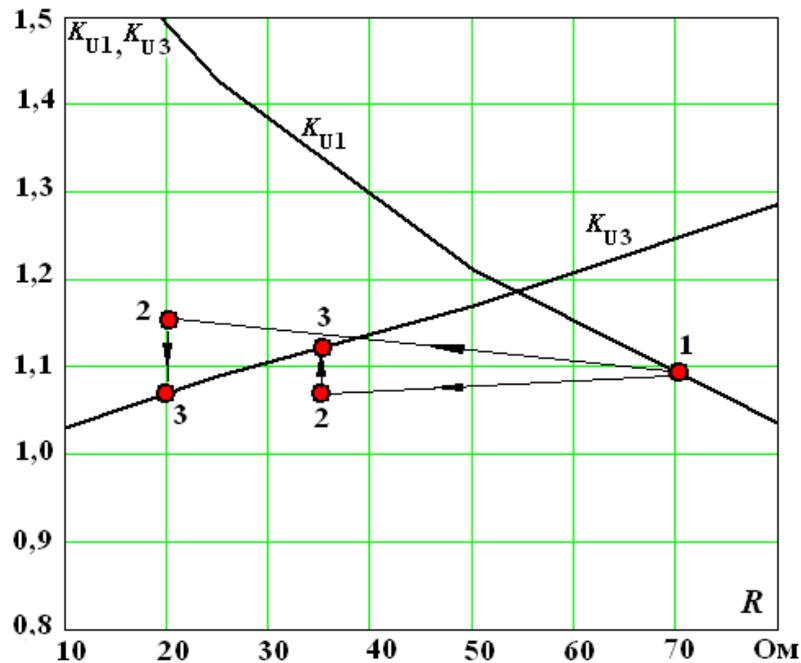


Рис. 4. Перенапряжения в КУ при включении ее в три этапа. Коэффициенты перенапряжений при коммутациях не равны

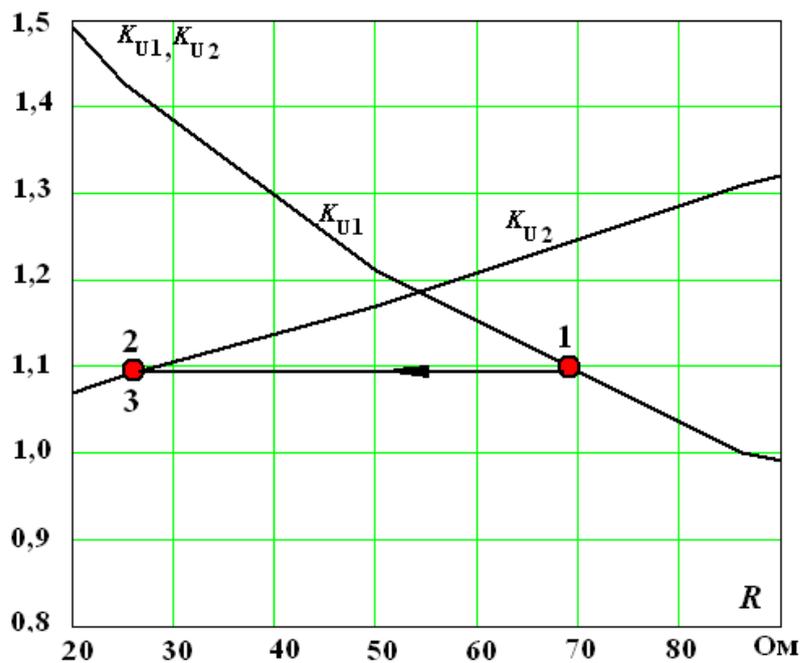


Рис. 5. Перенапряжения в КУ при включении ее в три этапа. Коэффициенты перенапряжений при коммутациях равны

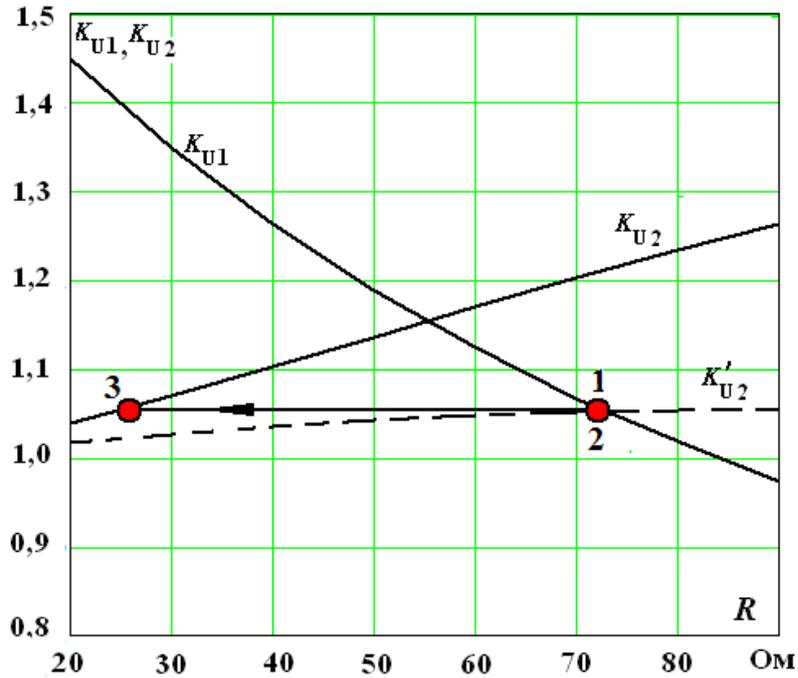


Рис. 6. Перенапряжения в КУ при включении ее в три этапа. Коэффициенты перенапряжений при коммутациях равные и минимальные

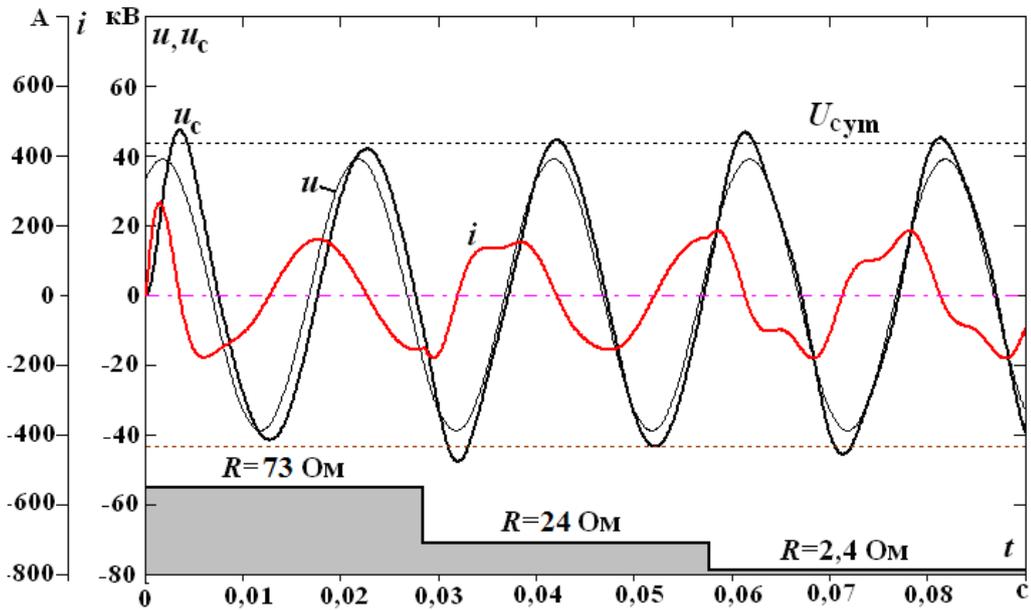


Рис. 7. Переходный процесс при трехэтапном включении

Если демпфирующий резистор шунтируется не полностью, то зависимость коэффициента перенапряжений K_{U2}^1 от значения демпфирующего резистора пойдет ниже зависимости K_{U2} . Чем больше остается не выключенная часть резистора, тем ниже идет зависимость K_{U2}^1 . На рис. 6 зависимость K_{U2}^1 приведена для значения оставшегося сопротивления демпфирующего резистора, равного $0,32R_g$. Как видно из рис. 6, в точке пересечения кривых K_{U2} и K_{U2}^1 (точка 1, 2) при значении демпфирующего резистора $R_g=73$ Ом коэффициенты перенапряжения при первой и второй коммутациях будут равны 1,05. Оставшаяся часть сопротивления

демпфирующего резистора будет равна $0,32 \cdot 73 = 23$ Ом. По зависимости K_{U2} для $R=23$ Ом находим $K_{U2}=1,05$. Все три коэффициента перенапряжений будут равны. В относительных единицах для трехэтапного включения сопротивление демпфирующего резистора следует брать равным 0,85 от волнового сопротивления КУ, а после второго этапа оставлять 0,25-0,3 от волнового сопротивления. На рис. 7 показаны временные диаграммы для этого случая.

Выводы

Эксплуатационную надежность регулируемых установок поперечной емкостной компенсации с несинхронизированными выключателями можно повысить, применив схему трехэтапного включения. Значение демпфирующего резистора на первом этапе включения должно составлять 0,85 от волнового сопротивления КУ, а на втором этапе – 0,25–0,3 от волнового сопротивления. Перенапряжения в этом случае не превосходят 5% от номинального значения напряжения на конденсаторах.

Библиографический список

1. **Бородулин, Б.М.** Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог / Б.М. Бородулин, Л.А. Герман, Г.А. Николаев. – М.: Транспорт, 1983. – 183 с.
2. **Герман, Л.А.** Синхронизированные выключатели для регулирования поперечной емкостной компенсации / Л.А. Герман [и др.] // Локомотив. 2011. №1. С. 41-43.
3. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации, ЦЭ-462. – М.: МПС РФ, 1997. – 79 с.
4. **Берковский, А.М.** Мощные конденсаторные батареи / А.М. Берковский, Ю.И. Лысков. – М.: Энергия, 1967. – 168 с.
5. **Герман, Л.А.** Поперечная емкостная компенсация в тяговой сети железных дорог // Промышленная энергетика. 2009. № 10. С. 30–35.

*Дата поступления
в редакцию 19.04.2013*

L.A. German¹, A. S.Serebryakov¹, D.E. Dulepov²

THE ANALYSIS OF TRANSIENT PROCESS AT INCLUSION OF INSTALLATION CROSS-SECTION CAPACITOR COMPENSATIONS IN THREE STAGES

Nizhny Novgorod branch of the Moscow State University of Railway¹,
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics²

Transient processes are investigated at inclusion of installation of the cross-section capacitor compensation (compensator installation) in three stages. Objective of researches is definition optimum parameters of the dempffing resistor for increase of operational reliability of compensator installation at use of not synchronized switches. Researches are lead by a method of the numerical decision of the differential equations describing processes in installations of the capacitor compensation. It is shown, that at inclusion of installations with the dempffing resistor in three stages of value of overstrain on condensers do not surpass 10 %. Scope is the electrified railways of an alternating current.

Key words: the cross-section capacitor compensation, overstrain, switching, transients.