

УДК 621.313.333

В. И. Сенько, д-р техн. наук,
А. М. Галиновский, Н. Г. Анпилогов, кандидаты техн. наук,
Е. А. Ленская

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В МНОГОФАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Аннотация. Сопоставлены параметры защитных цепей вентилях трехфазных и многофазных выпрямителей с нулевой и мостовой схемами преобразования в системах возбуждения бесконтактных синхронных машин

В. І. Сенько, д-р техн. наук,
О. М. Галиновський, М. Г. Анпілогов, кандидати техн. наук,
О. О. Ленська

КОМУТАЦІЙНІ ПЕРЕНАПРУГИ В БАГАТОФАЗНИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Анотація. Зрівнявлені параметри захисних ланок вентилів трифазних і багатофазних випрямлячів з нульовою та мостовою схемами перетворення в системах збудження безконтактних синхронних машин.

V. I. Sen'ko, ScD,
A. M. Galinovskiy, N. G. Anpilogov, PhD,
E. A. Lenskaja

SWITCHING SURGES IN MULTIPHASE CONVERTERS

Abstract. Compares the parameters of protective circuit valves three-phase and multiphase rectifiers with zero and bridge circuits convert in systems excitation noncontact synchronous machines

Введение.

Одно из основных требований, предъявляемых к системам возбуждения бесконтактных синхронных машин (БСМ), – обеспечение высокого качества формы выходного напряжения, которое может быть достигнуто в многофазных возбудителях [1,4,5].

Для ограничения внутренних перенапряжений, возникающих при запираии вентилях в момент окончания коммутации, их шунтируют защитными цепями, состоящими из последовательно включенных резистора R_f и конденсатора C_f . В литературе много работ посвящено расчету защитных цепей однофазных и трехфазных преобразователей с мостовыми схемами преобразования [2-5], однако мало внимания уделяется расчету коммутационных перенапряжений в многофазных преобразователях и в преобразователях с нулевыми схемами преобразования.

Цель работы: сопоставительный анализ коммутационных перенапряжений и параметров защитных цепей вентилях многофазных возбудителей БСМ с мостовыми и нулевыми схемами преобразования.

Схема многофазного мостового выпрямителя показана на рис.1: $V_1 - V_m$ – источники ЭДС; $R_{i1} - R_{im}$,

$X_{i1} - X_{im}$ – активные и индуктивные сопротивления источника; $D_1 - D_m, D_{1+m} - D_{m+m}$ – диоды; $R_{i1} - R_{im}, R_{i1+m} - R_{im+m}, C_{i1} - C_{im}, C_{i1+m} - C_{im+m}$ – активные сопротивления и емкости $R_f C_f$ – фильтра; R_n, L_n – активное сопротивление и индуктивность нагрузки.

Особенность работы преобразователей в БСМ – изменение режима работы от холостого хода до короткого замыкания (КЗ) Режимы КЗ преобразователей наступают при характерных для синхронных машин (СМ) асинхронных режимах работы. В бесконтактных синхронных двигателях (БСД) – это работа на подсинхронной скорости вращения при втягивании в синхронизм, при выпадении из синхронизма, при ресинхронизации с номинальной нагрузкой на валу. В этих режимах возбудители могут работать как при номинальных, так и при форсировочных токах возбуждения возбудителей. Поэтому расчет параметров защитных цепей вентилях БСМ проводится из условия ограничения перенапряжений во всех возможных режимах работы преобразователя при форсировочном токе возбуждения возбудителей.

Расчет параметров защитных цепей вентилях трехфазного мостового выпрямителя проводится по току и напряжению нагрузки на границе второго и третьего режимов работы выпрямителя [2]. Именно в этом режиме наибольшая величина амплитуды обратного тока вентиля, наибольшие коммутационные перенапряжения на вентилях при отсутствии защиты. Минимальная емкость $C_{f \min} = 4\tau^2 / (9L_i)$, где τ – время восстановления запирающих свойств вентиля. Активное сопротивление на границе аperiodического режима переходного процесса $R_f = \sqrt{3} \cdot \tau / C_{f \min}$.

При увеличении емкости фильтра в $2 \div 3$ раза наибольшее напряжение на вентиле $< 2A_i$, где A_i – амплитуда ЭДС источника питания [2].

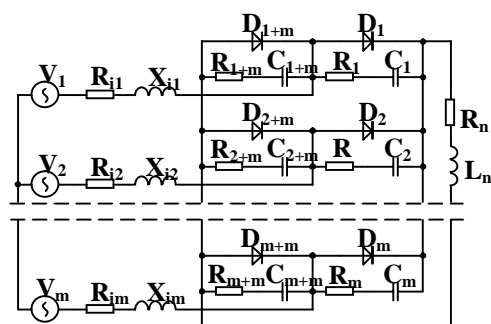


Рис.1. Схема многофазного мостового выпрямителя

Исследуем модель статического преобразователя в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap (система MC) [2,3,6].

Постоянные параметры модели: напряжение к.з. трансформатора $u_k = 0,04$; диоды MR2510 D, допустимое повторяющееся напряжение $U_{DP}=1000$ В, $\tau=5.83 \cdot 10^{-6}$ сек., полное сопротивление источника $z_i=0,035$ Ом; активное сопротивление нагрузки $R_n=0$.

Варианты параметров модели:

а) $A_i = 9$ В, $f_i = 50$ Гц, относительная величина активного сопротивления источника $k_r = R_i / X_i = 0$, $C_f = 0$, $L_n = 5$ мГн;

б) $A_i = 311$ В, $f_i = 50$ Гц, $k_r = 0.45$, $C_f = 0.45 \cdot 10^{-6}$ Ф, $R_f = 68$ Ом, $L_n = 5$ мГн;

в) $A_i = 4$ В, $f_i = 250$ Гц, $k_r = 0$, $C_f = 0$, $L_n = 5$ мГн.

На рис.2 приведены временные диаграммы напряжений и токов выпрямителя в переходных режимах (варианты а, б, в): u_n^* , i_n^* – напряжение и ток нагрузки; u_{D^*} – напряжение на диоде; $i_{23}^* = 0,75$ – значение тока выпрямителя на границе второго и третьего режимов работы при $k_r = 0$. Напряжения и токи приведены в системе о.е. нагрузки выпрямителя, в которой за базовые величины приняты напряжение холостого хода и ток к.з. выпрямителя [1,2]:

$$U_{d03} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{i3}; I_{dk3} = \sqrt{2} E_{i3} / Z_{i3}.$$

Коммутационные перенапряжения на вентилях статического преобразователя при $C_f = 0$:

при $f_i = 50$ Гц $u_d = u_n \approx 50 \cdot U_{d0}$ (рис.2, а);

при $f_i = 250$ Гц $u_d = u_n \approx 100 \cdot U_{d0}$ (рис.2, в).

Соотношения параметров многофазных возбуждателей. В БСМ малой и средней мощности с целью улучшения массогабаритных показателей за счет уменьшения вылета лобовых частей возбуждателя выполняют с повышенным числом пар полюсов: $p_b = 3 \div 8$ р; $f_i = 150 \div 400$ Гц. Увеличение сопротивления рассеяния обмотки якоря существенно влияет на режим работы преобразователя.

В работах [1,4] проведен сопоставительный анализ внешних характеристик и основных соотношений трехфазных и многофазных возбуждателей БСМ с мостовыми схемами преобразования. При анализе возбуждателей с разным числом фаз принимаются неизменными геометрия машины, число полюсов, шаг обмотки, коэффициент заполнения паза медью, индукция в воздушном зазоре, ЭДС на один виток обмотки e_w , число витков w , последовательно соединенных в обмотке якоря возбуждателя. Принимается синусоидальной форма кривой фазной ЭДС обмотки якоря – фазной ЭДС источника питания. Принимается также:

ЭДС m -фазной обмотки [1] $E_{im} = E_{i3} \cdot k_{pm} / k_{p3}$, где E_{i3} – ЭДС 3-фазной обмотки, k_{pm} , k_{p3} – коэффициенты распределения обмоток;

величины активного и индуктивного сопротивления рассеяния обмотки (сопротивления источника) прямо пропорциональны числу фаз.

При этом токи КЗ 3-фазного и m -фазного мостовых выпрямителей одинаковы [1]. При $k_r = 0$ одинаковы также токи КЗ 3-фазного и m -фазного выпрямителей с нулевыми схемами преобразования, причем

ток КЗ выпрямителя с нулевой схемой преобразования в три раза больше тока КЗ мостового выпрямителя [1,7].

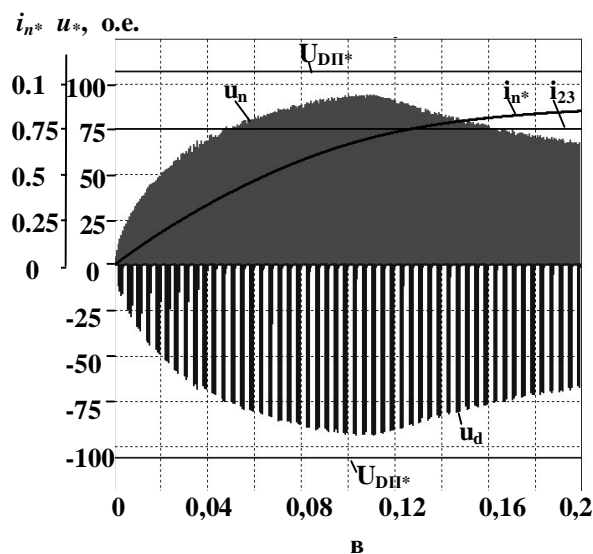
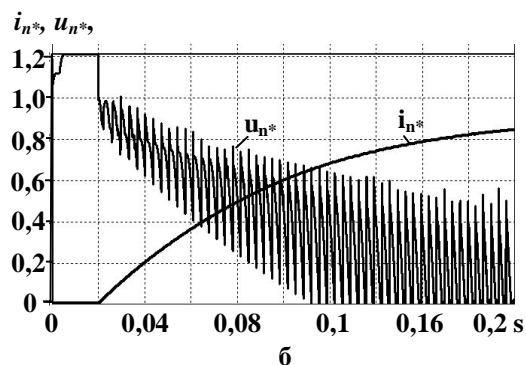
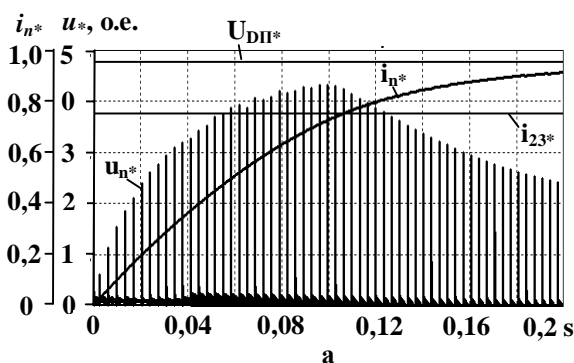


Рис.2. Диаграммы 3-фазных мостовых выпрямителей в переходных режимах

Коммутационные перенапряжения многофазных преобразователей.

Исследуем коммутационные перенапряжения моделей 3-фазных и 12-фазных преобразователей возбуждателей в системе MC. Параметры моделей:

диоды MR2510 D, $f_i=250$ Гц, $k_r=0$, $R_n=0$, $L_n=2$ Гн;

при $m=3$ $A_{i3}=51$ В, $Z_{i3}=20$ Ом;

при $m=12$ $A_{i12}=53.26$ В, $Z_{i12}=80$ Ом.

На рис.3 показаны временные диаграммы напряжений и токов 3-фазного (а – г) и 12-фазного (д – з) выпрямителей с мостовыми (а, б, д, е) и нулевыми (в, г, ж, з) схемами преобразования в переходных ре-

жимах от холостого хода до КЗ Напряжения и токи того выпрямителя.
 приведены в системе о.е. нагрузки трехфазного мос-

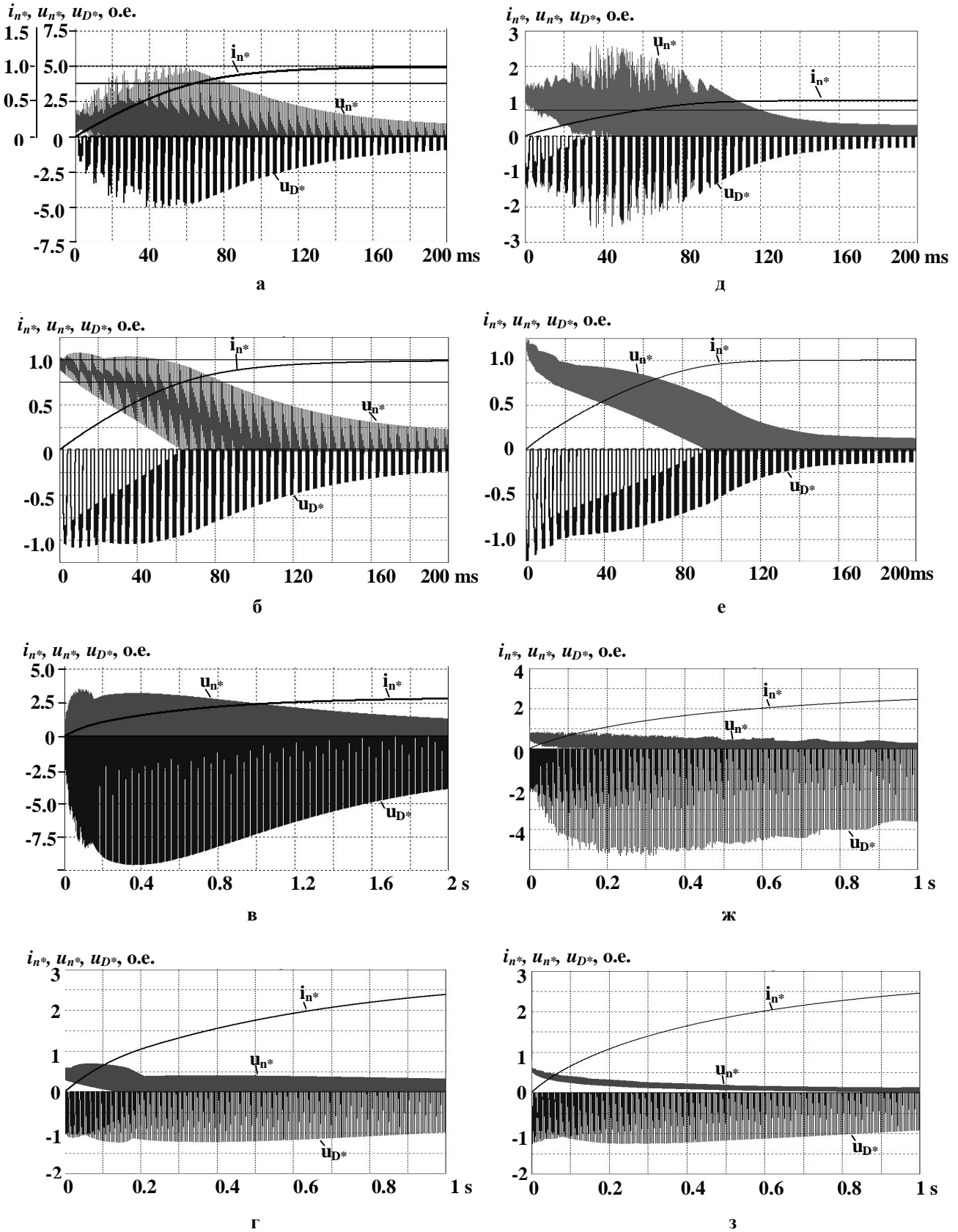


Рис.3. Напряжения и токи 3-фазного (а – г) и 12-фазного (д – з) выпрямителей в переходных режимах

Параметры защиты:

а, в, д, ж) $C_f=0$, защита отсутствует;

б) $C_f=2.4 \cdot 10^{-9} \Phi$, $R_f= 8.5$ кОм;

г) $C_f = 4.7 \cdot 10^{-9} \Phi$, $R_f = 4.3 \text{ кОм}$;

е) $C_f = 0.8 \cdot 10^{-9} \Phi$, $R_f = 10 \text{ кОм}$;

Сопоставительный анализ коммутационных перенапряжений и параметров защитных цепей вентилях трехфазных и многофазных возбудителей БСМ с мостовыми и нулевыми схемами преобразования проведен при одинаковой геометрии возбудителей, одинаковом шаге обмотки, одинаковой величине ЭДС на один виток обмотки, одинаковом числе витков, последовательно соединенных в одной параллельной ветви обмотки, одинаковом времени восстановления запирающих свойств вентилях. Расчет параметров защитных цепей вентилях трехфазного мостового выпрямителя проведен в соответствии с [2,3].

Выводы по результатам исследований трехфазных и многофазных преобразователей в системах возбуждения БСМ:

при отсутствии защитных цепей вентилях коммутационные перенапряжения в выпрямителе с нулевой схемой преобразования примерно в два раза больше, чем перенапряжения в мостовом выпрямителе;

рекомендуется в выпрямителе с нулевой схемой преобразования выбирать величину емкости защитной цепи вентиля примерно в два раза больше, чем в мостовом выпрямителе;

величина емкости защитной цепи вентиля m -фазного выпрямителя $C_{fm} \approx 3C_{f3}/m$, где C_{f3} – величина емкости 3-фазного выпрямителя с мостовой (или нулевой) схемой преобразования.

Заключение

1. Разработана методика сопоставительного анализа величин коммутационных перенапряжений и выбора параметров защитных цепей вентилях многофазных преобразователей бесконтактных синхронных машин.

2. Целесообразно проведение сопоставительного анализа величин коммутационных перенапряжений в многофазных реверсивных преобразователях бесконтактных синхронных машин и в преобразователях бесконтактных асинхронизированных машин.

Список использованной литературы

1. Галиновский А.М. Многофазные синхронные возбудители в бесконтактных системах возбуждения синхронных машин / А.М. Галиновский, Е. А. Ленская // Праці Ін-ту електродин. Нац. акад. наук України. – 2003. – № 1. – С. 29-33.

2. Галиновский А.М. Методика расчета защитных цепей вентилях выпрямителя / А.М. Галиновский, Е.А. Ленская, Эрхард Айхофер // Техніч. електродин. – 2005. – № 4. – С. 43-50.

3. Галиновский А.М. Коммутационные перенапряжения вращающегося преобразователя бесконтактной синхронной машины в асинхронном режиме работы / А.М. Галиновский, Е.А. Ленская, Эрхард Айхофер // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 6. – С. 9-15.

з) $C_f = 1 \cdot 10^{-9} \Phi$, $R_f = 10 \text{ кОм}$.

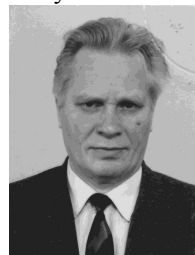
4. Глебов И.А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин / И.А. Глебов – Л.: – Наука, 1988.– 322 с.

5. Полупроводниковые выпрямители / Е.И. Беркович, В.Н. Ковалев, Ф.И. Ковалев [и др.]; под ред. Ф.И. Ковалева и Г.П. Мостковой. – М., Энергия, 1978. – 448 с.

6. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 6 / В.Д. Разевиг – М.: “СОЛОН”, Горячая линия – Телеком, 2001. – 344 с.

7. Размадзе Ш.М. Преобразовательные схемы и системы / Ш.М. Размадзе – М.: Высш. шк., 1967. – 527 с.

Получена 19.07.2011



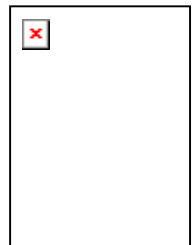
Галиновский
Александр Михайлович,
канд. техн. наук,
доц. каф. электромеханики
Нац. технич. ун-та Украины
«КПИ»,
г. Киев, пр. Победы, 37, тел.
8068 3579026\ alga40@mail.ru



Ленская
Елена Александровна,
начальник отдела науч.-
технич. политики
Департамента технич.
политики Нац. агентства Ук-
раины по вопросам обеспече-
ния эффективного использо-
вания энергетических ресур-
сов, г. Киев, ул. Героев Днеп-
ра, д.35, кв.198, тел.
80955710172



Сенько Виталий Иванович,
д-р технич. наук,
проф. каф.
теоретической
электротехники
Нац. технич. ун-та Украины
«КПИ»,
г. Киев, пр. Победы, 37,
тел. 044 4349035



Анпилов
Николай Георгиевич,
канд. техн. наук,
доц. каф. электромеханики
Нац. технич. ун-та Украины
«КПИ»,
г. Киев, пр. Оболонский,
д. 16, кв. 252,
тел. 044418.84.56