

Национальное агентство Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов  
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

## КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В МНОГОФАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

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

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

*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;  $R_{i1} - R_{im}$ ,

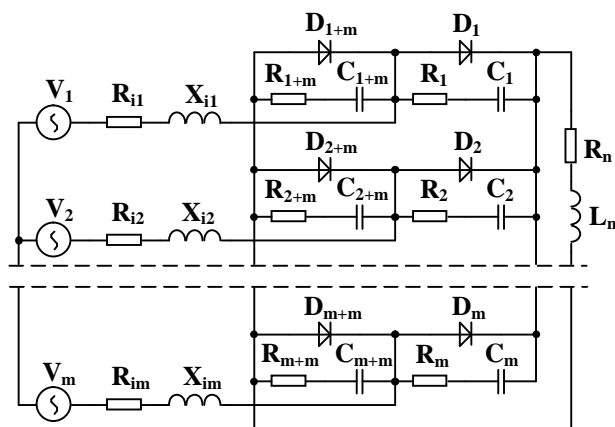


Рис.1. Схема многофазного мостового выпрямителя

$X_{i1} - X_{im}$  – активные и индуктивные сопротивления источника;  $D_1 - D_m, D_{1+m} - D_{m+m}$  – диоды;  $R_{i1} - R_{im}, R_{1+m} - R_{m+m}, C_{i1} - C_{im}, C_{1+m} - C_{m+m}$  – 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  $\tau$  – 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  $< 2A_1$ , где  $A_1$  – амплитуда ЭДС источника питания [2].

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 возбудителей.** В БСМ малой и средней мощности с целью улучшения массогабаритных показателей за счет уменьшения вылета лобовых частей возбудители 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 возбудителей БСМ с мостовыми схемами преобразования. При анализе возбудителей 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 возбудителя. 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].

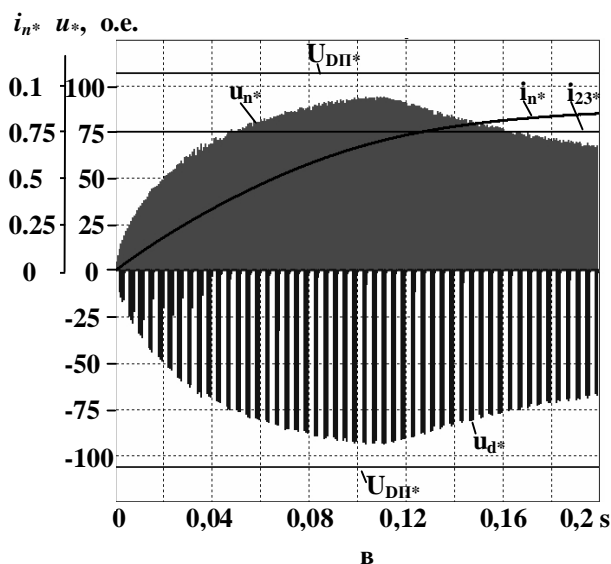
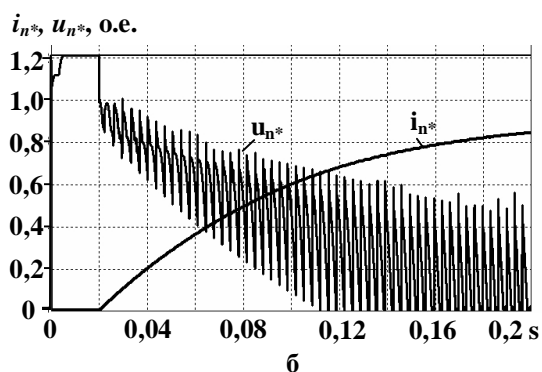
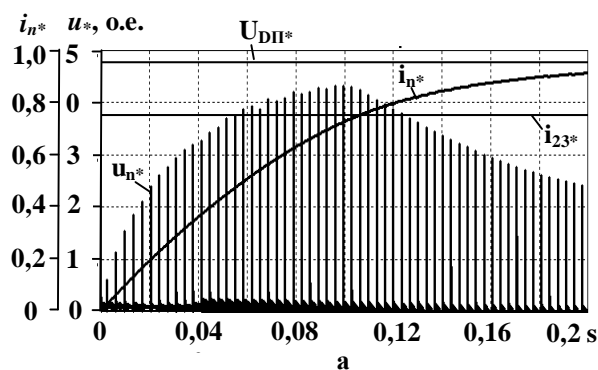


Рис.2. Диаграммы 3-фазных мостовых выпрямителей в переходных режимах

### Коммутационные перенапряжения многофазных преобразователей.

Исследуем коммутационные перенапряжения моделей 3-фазных и 12-фазных преобразователей возбудителей в системе МС. 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 режимах от холостого хода до КЗ. Напряжения и токи приведены в системе о.е. нагрузки трехфазного мостового выпрямителя.

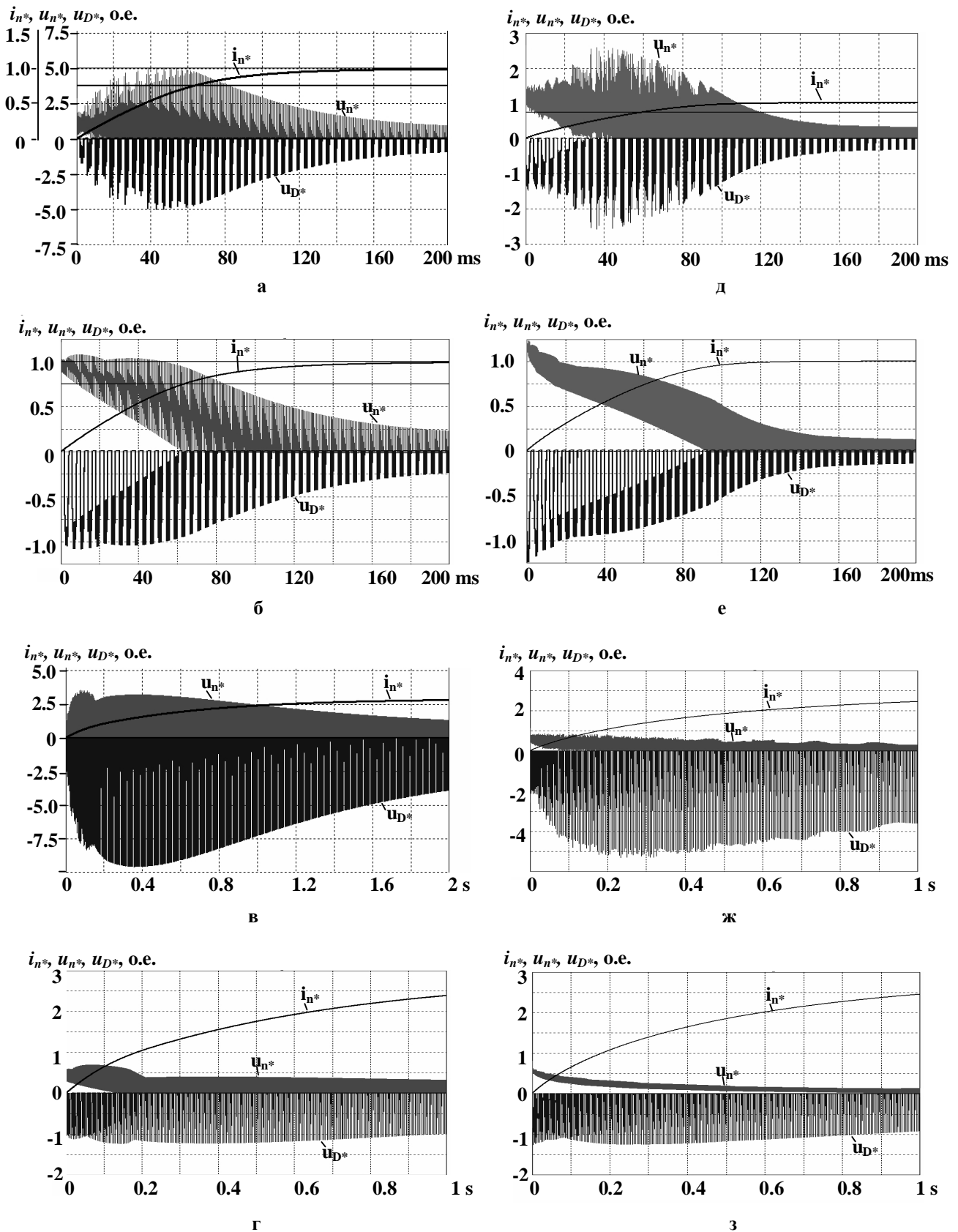


Рис.3. Напряжения и токи 3-фазного (а – г) и 12-фазного (д – з) выпрямителей в переходных режимах

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

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

з)  $C_f=1 \cdot 10^{-9}\Phi$ ,  $R_f=10$  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  $C_{im} \approx 3C_{f3}/m$ , 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 преобразователях 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.

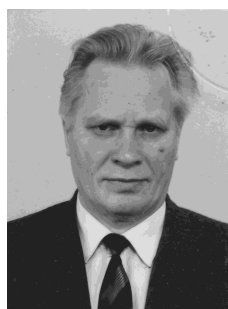
4. Глебов И.А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин / И.А. Глебов – Л.: – Наука, 1988.– 322 с.

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.: “СОЛЮН”, 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



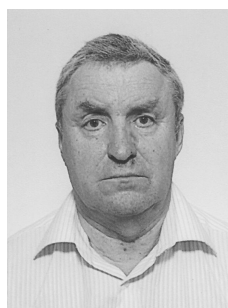
Галиновский  
Александр Михайлович,  
канд. техн. наук,  
доц. каф. электромеханики  
Нац. технич. ун-та Украины  
«КПИ»,  
г. Киев, пр. Победы, 37, тел.  
8068 3579026\ alga40@mail.ru



Ленская  
Елена Александровна,  
начальник отдела науч.-  
технич. политики  
Департамента технич.  
политики Нац.  
агентства Украины  
по вопросам обеспечения  
эффективного использования  
энергетических ресурсов,  
г. Киев, ул. Героев Днепра,  
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



Анпилогов  
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