

Частина III. ГІРНИЧА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.313.333

А.М. Галиновский, канд. техн. наук

(Украина, Киев, НТУ "Киевский политехнический институт"),

Е.А. Ленская,

(Украина, Киев, Национальное агентство Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов)

ЭЛЕКТРОМАШИННО-ВЕНТИЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ АМПЛИТУДЫ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ

Актуальность разработки электромашинно-вентильных преобразователей бесконтактных асинхронизированных машин

В связи со значительным ростом цен на энергоносители особую актуальность приобрела проблема энергосбережения. Важными задачами этой проблемы является широкое внедрение генераторов постоянной частоты при переменной частоте вращения вала и регулируемых электроприводов. Одно из направлений по решению этих задач связано с созданием асинхронизированных машин (АСМ), у которых преобразователи частоты (ПЧ) расположены в роторной цепи. При ограниченном диапазоне регулирования скорости вращения машины существенно снижаются мощность ПЧ и стоимость агрегата в целом.

Требования по повышению надежности машин исключают или ограничивают применение щеточно-контактных узлов. Поэтому актуальна разработка бесконтактных АСМ (БАСМ), и, следовательно, актуальны разработка и совершенствование электромашинно-вентильных преобразователей (ЭМВП) БАСМ [5, 9, 11, 17].

В связи с разработкой новых бесконтактных устройств пуска [15] особенно актуальна разработка бесконтактных асинхронизированных двигателей (БАСД), стартер-генераторных и двигатель-генераторных установок.

Анализ предыдущих исследований, цель работы

Бесконтактная асинхронизированная машина БАСМ представляет собой электромеханический комплекс, состоящий из основной электрической машины (асинхронной машины АМ), ЭМВП и автоматического регулятора возбуждения (АРВ). ЭМВП состоит из электромашинного возбудителя и вращающегося ПЧ. В БАСМ могут быть применены каскадные и одномашинные возбудители, непосредственные ПЧ (НПЧ) с естественной (НПЧЕ) и искусственной (НПЧИ) коммутацией [9, 10, 12, 14, 17,]. В НПЧ однократное преобразование энергии обуславливает высокое значение КПД, малые габариты и массу. Во

всех НПЧ при формировании кривых выходного напряжения применяется исходная переключающая функция по частоте управления [4] – применяется циклический алгоритм управления. Во всех случаях амплитуда выходного напряжения ЭМВП регулируется изменением тока возбуждения возбудителей.

Высоким качеством формы выходного напряжения отличаются ЭМВП на базе каскадных возбудителей и НПЧЕ с модулированным входным напряжением (НПЧЕМ) при применении комбинированного соединения обмоток источника и комбинированного закона управления тиристорами [6, 7, 10, 12, 16].

Увеличенные габариты каскадных возбудителей ограничивают их применение в БАСМ малой и средней мощности. Актуальным является совершенствование БАСМ с одномашинными возбудителями [9, 14, 17].

Простотой системы управления отличаются трехфазно-трехфазные диодно-транзисторные НПЧИ – НПЧИ с ограниченным числом полностью управляемых ключей [3, 9, 14]. Несмотря на большое внимание, уделяемое в литературе ЭМВП БАСМ с такими преобразователями [3, 9, 14], они до сих пор не нашли практического применения. Это связано, прежде всего, с особенностями работы диодов, для восстановления запирающих свойств которых требуется определенное время. При выключении диодных мостов (с обычными защитными RC-цепями) управляемыми ключами наблюдается многократное увеличение коммутационных перенапряжений. Коммутационные перенапряжения можно снизить усилением фильтров. Однако, потери в фильтрах могут достигнуть величины 20% и выше от передаваемой через преобразователь мощности [14].

В работе [17] показана возможность построения ЭМВП на базе одномашинных возбудителей и НПЧЕ с циклическим алгоритмом управления. НПЧЕ отличаются высоким качеством формы тока нагрузки при промышленных и малых частотах нагрузки. Однако, при частотах, близких к нулю, форма кривой тока нагрузки несинусоидальная. ЭМВП не могут применяться в БАСМ с ограниченным диапазоном изменения скольжения, что связано с появлением высших гармоник в электромагнитном моменте машины [2].

В одномашинных ЭМВП на базе НПЧИ нет указанного выше недостатка. Поэтому целесообразно совершенствование НПЧИ, повышение его технико-экономических показателей путем снижения потерь на защитных фильтрах.

Разработка крупных БАСМ с вращающимися НПЧЕМ во многом определяется возможностью построения простых и надежных систем управления вращающимся преобразователем, степенью их адаптивности к конструкции основной машины. Поэтому представляет интерес разработка и исследование вращающихся НПЧЕМ с формированием кривой выходного напряжения без передачи сигналов управления на вращающуюся часть.

Анализ работы электромашинно-вентильных преобразователей в системах возбуждения БАСМ, совершенствование вращающихся НПЧ с естественной и искусственной коммутацией, выдача рекомендаций по их применению являются целью настоящей работы.

Каскадные возбудители и непосредственные преобразователи частоты с модулированным напряжением и естественной коммутацией

На рис. 1 показана электрическая схема каскадного возбудителя БАСМ с трехфазно-трехфазным НПЧЕМ, где 1 и 2 – асинхронные возбудители; 3 – тиристорный преобразователь; 4 – АМ; 5 – вращающаяся часть. Асинхронные возбудители выполняются с разным ($p_1 \neq p_2$) или одинаковым ($p_1 = p_2 = p_B$) числом пар полюсов. На роторе каждого возбудителя имеется по три трехфазных обмотки, одноименные фазы которых расположены в одних и те же пазах.

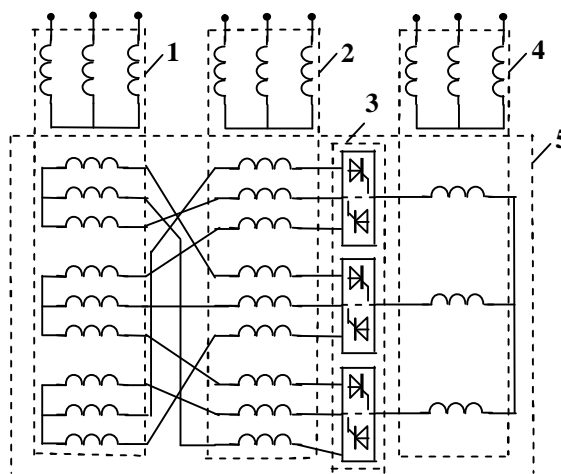


Рис. 1. Каскадный возбудитель БАСМ

При одинаковом числе полюсов на статорные обмотки двух возбудителей подается трехфазное напряжение частоты скольжения АМ f_s , направления вращения полей противоположные. На роторе каждого возбудителя расположены три трехфазные группы обмоток. В этих обмотках наводятся трехфазные ЭДС (ЭДС источников питания):

$$\begin{aligned} e_{a1} &= E_{m1} \sin(\omega_1 t + \psi_1) \\ e_{b1} &= E_{m1} \sin(\omega_1 t + \psi_1 - 120) ; \\ e_{c1} &= E_{m1} \sin(\omega_1 t + \psi_1 + 120) \\ e_{a2} &= E_{m2} \sin(\omega_2 t + \psi_2) \\ e_{b2} &= E_{m2} \sin(\omega_2 t + \psi_2 - 120) , \\ e_{c2} &= E_{m2} \sin(\omega_2 t + \psi_2 + 120) \end{aligned}$$

где $E_{m1}=E_{m2}$ – амплитуды, $\omega_1=2\cdot\pi\cdot f_1$, $\omega_2=2\cdot\pi\cdot f_2$ – угловые частоты, ψ_1 , ψ_2 – начальные значения углов ЭДС источников питания. В режиме холостого хода на вход трех фазных тиристорных преобразователей подаются биения напряжений:

$$\begin{aligned} e_a &= e_{a1} + e_{a2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6) \\ e_b &= e_{b1} + e_{b2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3 - 120) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6) , \\ e_c &= e_{c1} + e_{c2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3 + 120) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6) \\ e_{aB} &= e_{b1} + e_{c2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6 - 120) \\ e_{bB} &= e_{c1} + e_{a2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3 - 120) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6 - 120) , \\ e_{cB} &= e_{a1} + e_{b2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3 + 120) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6 - 120) \end{aligned}$$

$$e_{aC} = e_{c1} + e_{b2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6 + 120)$$

$$e_{bC} = e_{a1} + e_{c2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3 - 120) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6 + 120),$$

$$e_{cC} = e_{b1} + e_{a2} = E_m \sin(\omega_3 t + \psi_3 + 120) \cdot \cos(\omega_6 t + \psi_6 + 120)$$

где $E_m = E_{m1} + E_{m2}$ – суммарная величина амплитуды ЭДС источника питания; $\omega_3 = (\omega_1 + \omega_2) / 2 = 2\pi \cdot f_3$ – угловая частота заполнения; частота заполнения $f_3 = (f_1 + f_2) / 2$; $\psi_3 = (\psi_1 + \psi_2) / 2$ – начальная фаза ЭДС частоты заполнения; $\omega_6 = \omega_n = (\omega_1 - \omega_2) / 2 = 2 \cdot \pi \cdot f_6 = 2\pi \cdot f_n$ – угловая частота биений напряжений; $\psi_6 = \psi_n = (\psi_1 - \psi_2 - \pi) / 2$ – начальная фаза ЭДС частоты биений. Частота биения равна частоте нагрузки преобразователя и частоте скольжения АМ: $f_6 = f_n = f_s = (f_1 - f_2) / 2$.

В НПЧЕМ применяется комбинированное потенциальное разделение обмоток источника, при котором в одну звезду соединяются обмотки с одинаковой фазой частоты заполнения, и комбинированный закон управления встречно включенными тиристорами, при котором совместное управление встречно включенными тиристорами по частоте заполнения осуществляется при токах нагрузки, меньших тока уставки [7, 10, 12].

Мощность вращающегося преобразователя зависит от мощности АМ, диапазона регулируемого скольжения и закона АРВ.

На рис. 2 показаны зависимости напряжения U_2 и мощностей (P_2 , Q_2 , S_2) вращающегося преобразователя (ротора асинхронной машины) от скольжения при неизменной номинальной нагрузке бесконтактного асинхронизированного генератора (БАСГ): $P_{1N} = 100$ кВт; $U_{1N} = 400$ В; $\cos \varphi_{1N} = 0.8$; $I_{1N} = 181$ А. Активная мощность $P_2 = 0$ в точке D при скольжении $s_D = -0.04$. В этой точке изменяется направление передачи активной мощности ПЧ. При $s > s_D$ активная мощность передается от ПЧ в ротор АГ, при $s < s_D$ – с ротора АГ в ПЧ. Этот фактор учитывается при выборе типа ПЧ. При применении НПЧЕМ и НПЧЕ с циклическим алгоритмом управления скольжение рабочего режима АГ $s > s_D$.

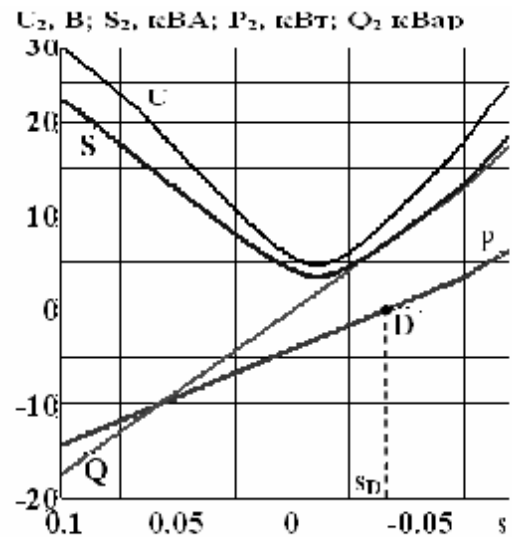


Рис. 2. Параметры ротора АМ в зависимости от скольжения

На рис. 3 показана электрическая схема каскадного диодно-тиристорного НПЧЕМ БАСГ с мостовыми схемами преобразования при самом экономичном управлении. В схеме применено совместное управление встречно включенными тиристорами при токах нагрузки, меньших тока уставки. Исследуем модель в системе схемотехнического моделирования Micro Cap [13] (система МС) при следующих параметрах схемы. Источник питания: амплитуда ЭДС $E_{m1} = E_{m2} = 125$ В; частота первого источника $f_1 = 48$ Гц, частота второго источника $f_2 = 52$ Гц; полное сопротивление $Z_i = 3.5$ Ом; относительная величина активного

сопротивления $k_r=R_i/X_i=0.25$. Сопротивление фазы одной трехфазной группы $Z_n=10.5$ Ом; $\cos\varphi_n=0.936$. Применены диоды MR2510, тиристоры B25RIA120.

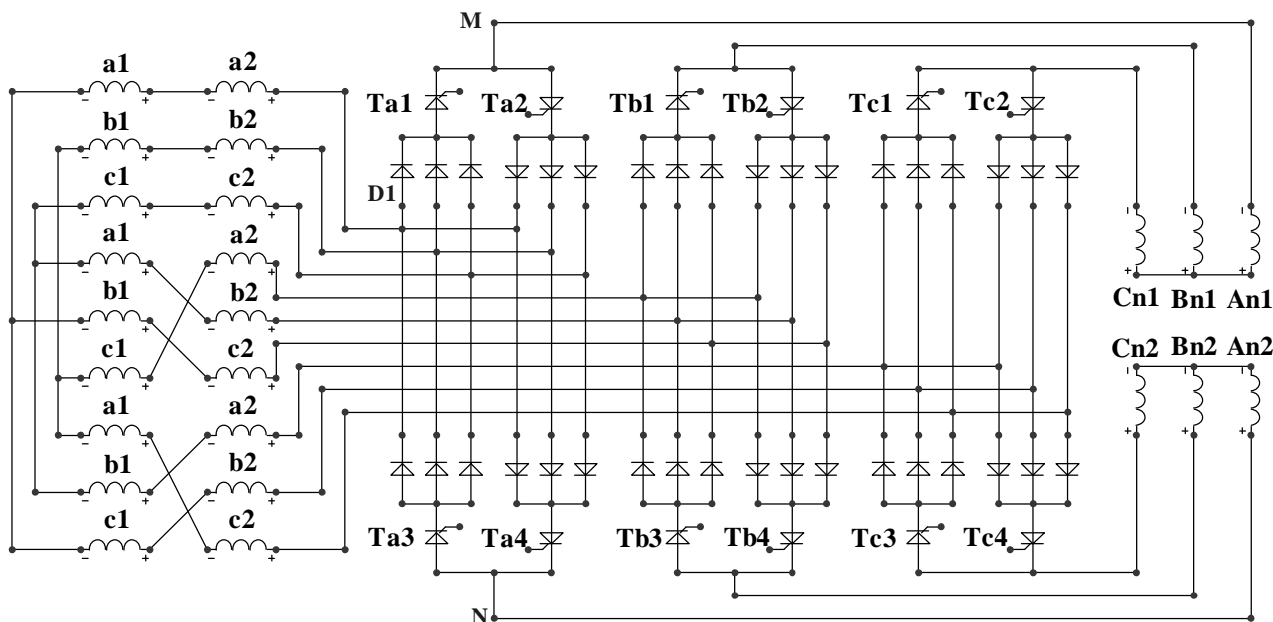


Рис. 3. Электрическая схема каскадного диодно-тиристорного НПЧЕМ с мостовыми схемами преобразования

На рис. 4 показаны диаграммы напряжений и токов преобразователя: e_{iA} – биения напряжений (рис. 4, а); $i_{nA1}, i_{nB1}, i_{nC1}, i_{nA2}, i_{nB2}, i_{nC2}, i_{nA}, i_{nB}, i_{nC}$ – токи в первой и второй трехфазных обмотках, результирующие токи нагрузки (рис. 4, б – д); $u_{Ap} - u_{Co}$ – сигналы управления тиристорами (рис. 4, е); u_{TA1}, u_{TA2} – напряжения на тиристорах (рис. 4, ф); u_{An1}, u_{An2} – напряжения на одноименных фазах А двух трехфазных обмоток нагрузки (рис. 4, г); u_{An} – напряжение нагрузки мостового тиристорного преобразователя фазы А – напряжение между точками М и N на рис. 3 (диаграмма на рис. 4, и); u_{D1} – напряжение на диоде D1 (рис. 4, ж). Расчет модели преобразователя проведен при отсутствии взаимоиндуктивных связей между двумя трехфазными обмотками нагрузки. При наличии этих связей результирующие фазные токи нагрузки – синусоидальные, однако появляются пульсационные гармоники в кривых фазных токов трехфазных групп [12]. Этот недостаток устраняется при построении НПЧЕМ с четным числом фаз источника на одну (нерасщепленную) фазу нагрузки.

Анализ диаграмм показывает: диодно-тиристорный НПЧЕМ с мостовыми схемами преобразования отличается высоким качеством тока нагрузки.

Проведем кратко анализ работы тиристорных преобразователей.

При регулировании амплитуды токов нагрузки НПЧЕМ (НПЧЕ) изменением токов возбуждения возбуждателей при изменении скольжения АМ качество токов ротора АМ существенно зависит как от параметров коммутации НПЧЕМ (НПЧЕ), так и от диапазона изменения скольжения.

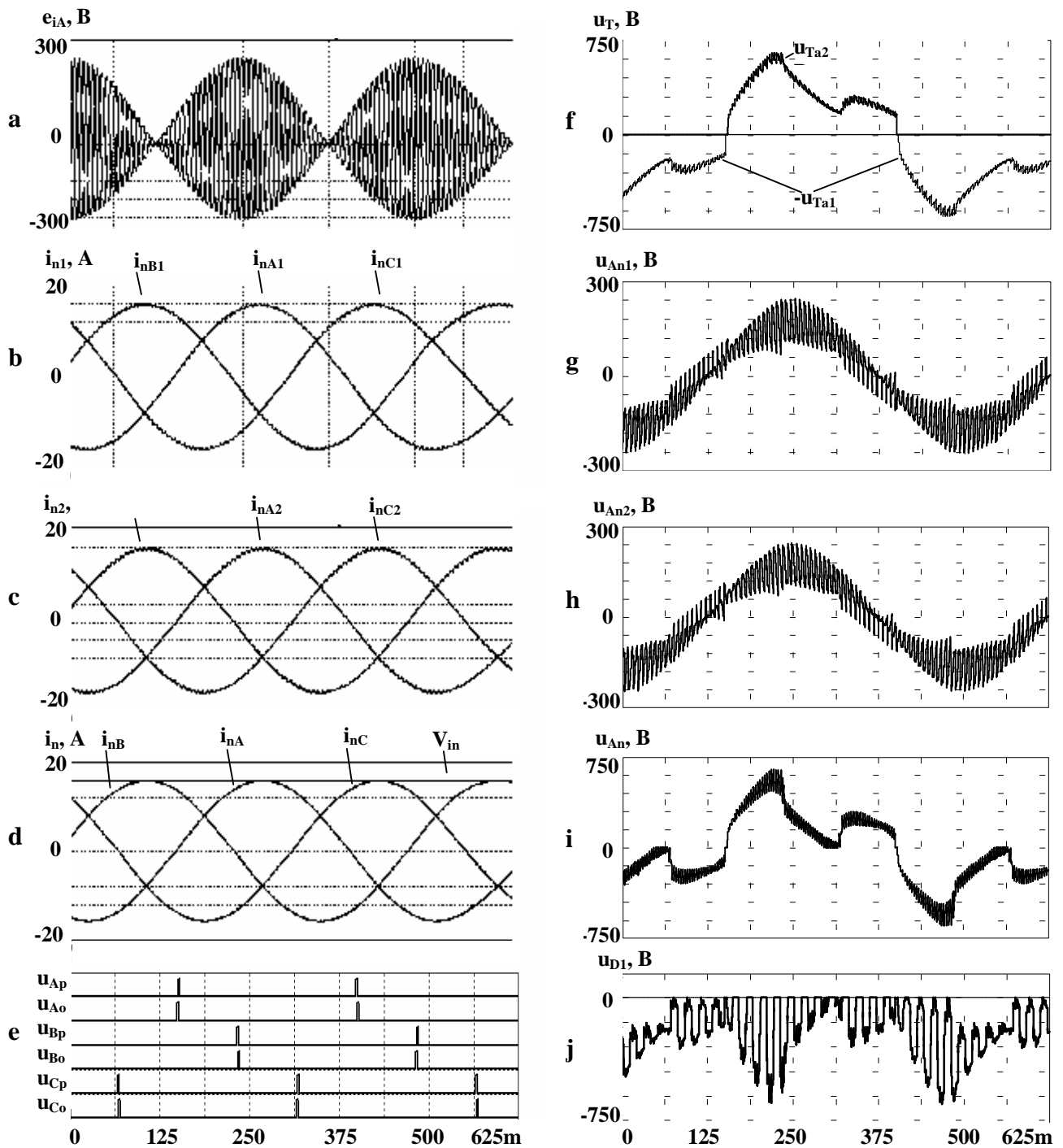


Рис. 4. Диаграммы напряжений и токов каскадного диодно-тиристорного НПЧЕМ

При увеличении расчетного диапазона скольжения АМ с неизменной (номинальной) нагрузкой увеличиваются параметры коммутации (увеличиваются сопротивления рассеяния и активные сопротивления обмоток возбуждителей). Это приводит к увеличению углов коммутации, появлению режимов КЗ, опрокидыванию инвертора и др., что может привести к нарушению работы ПЧ.

Для иллюстрации сказанного на рис. 5 приведены диаграммы напряжений тиристорного НПЧЕМ с нулевыми вентильными группами (рис. 1) при низком $\cos\varphi_n$. Параметры источника прежние. Параметры нагрузки: $R_n=10$ Ом; $L_n=2$ Гн; $\cos\varphi_n=0.37$.

На диаграммах: e_{iA} – биения напряжений; i_{iA} , i_{iB} , i_{iC} – токи источника; i_{nA} , i_{nB} , i_{nC} – токи нагрузки; V_{in} – вектор тока нагрузки.

Анализ диаграмм показывает: тиристорный НПЧЕМ обеспечивает высокое качество токов нагрузки при $\cos\varphi_n > 0.4$.

Одномашинные возбудители и непосредственные преобразователи частоты с искусственной и комбинированной коммутацией

На рис. 6 а показана электрическая схема НПЧЕ с нулевой схемой преобразования при комбинированном потенциальном разделении обмоток источника. Переставив местами фазные обмотки и тиристоры, добавив в цепи замыкающие тиристорные мостовые преобразователи, транзисторы, получим тиристорно-транзисторный НПЧИ. Он подобен диодно-транзисторным НПЧИ, анализ которых проведен в работах [3, 9, 14].

Сопоставим тиристорно-транзисторный и диодно-транзисторный НПЧИ. Последний легко представить, заменив тиристоры на рис. 6, б на диоды.

Проводим исследования моделей НПЧИ в системе МС.

Параметры источника: $E_{m2}=80$ В; $f_i=144$ Гц; $Z_i=3$ Ом; $k_r=0.25$. Нагрузка: $Z_n=12.5$ Ом; $\cos\varphi_n=0.906$. Применены вентили: транзисторы IRG4PH50SIR, частота управления $F_u=140$ Гц, длительность сигналов управления 120° ; тиристоры B25RIA120, частота управления $F_u=140$ Гц, длительность сигналов управления 120° , начала сигналов управления тиристоров и транзисторов синхронизированы, уставка по току нагрузки $i_u = 0.1$ А; диоды MR2510.

Для защиты от перенапряжений параллельно тиристорам и диодам подключены $R_f C_f$ – цепи. Расчет защитных цепей выполнен из условия ограничения повторяющихся перенапряжений двух моделей НПЧИ на одинаковом заданном уровне. Вначале определяем минимальное значение емкости из условия поглощения энергии, которая накапливается в индуктивности источника питания L_i [14]: $C_{f\min} = \tau^2/L$, где τ – время восстановления запирающих свойств вентилей. Активное сопротивление определяем по границе периодического и аperiodического

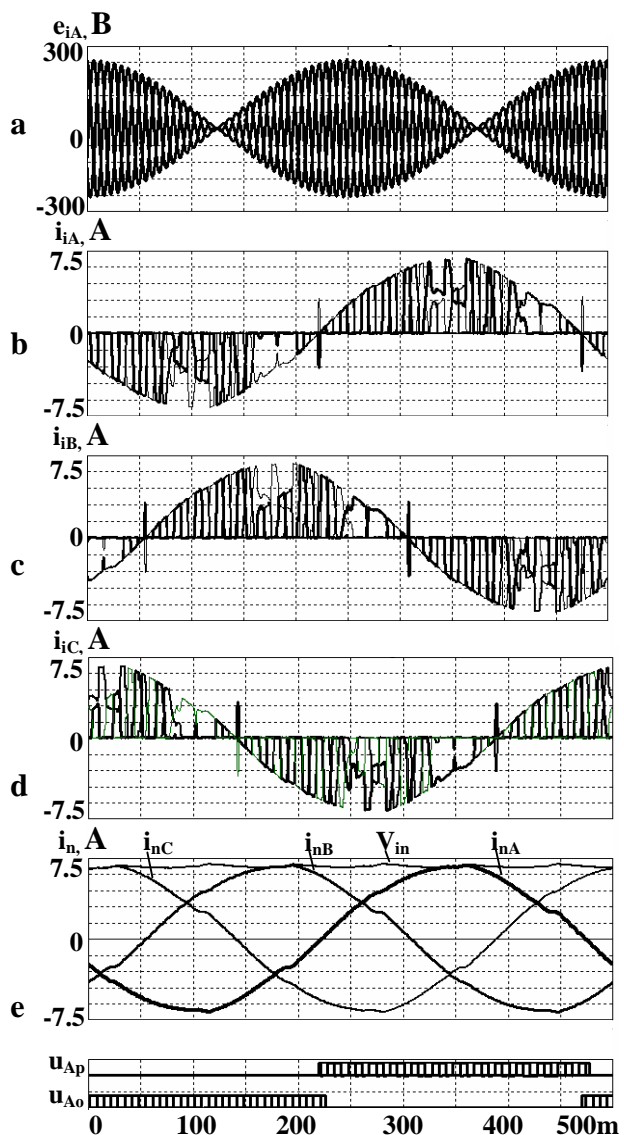


Рис. 5. Диаграммы напряжений и токов НПЧЕМ

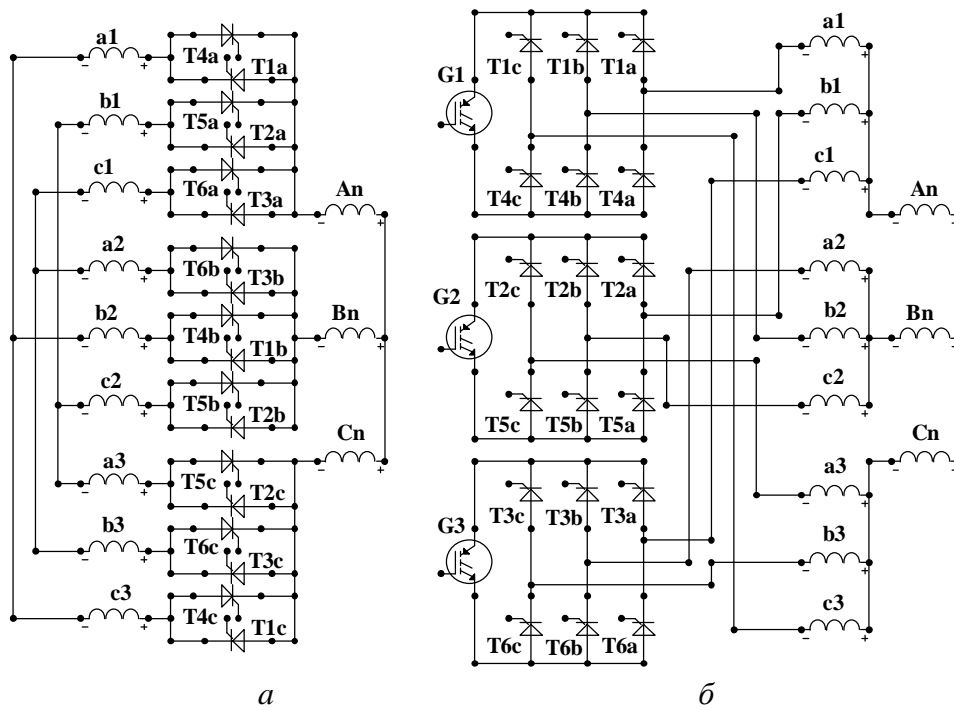


Рис. 6. Электрические схемы НПЧЕ (а) и НПЧИ (б)

ческого режимов защитной цепи: $R_f = \sqrt{2} \cdot \tau / C_{f \min}$. Затем увеличиваем величину емкости в k_{Cf} раз, оставляя постоянной времени $R_f C_f$ – цепи неизменной. В тиристорном НПЧИ $k_{Cf} = 40$, в диодном – $k_{Cf} = 25$.

На рис. 7 показаны диаграммы напряжений и токов тиристорно-транзисторного (а – d) и диодно-транзисторного (е – h) НПЧИ. На рис. 7 а и 7 е показаны токи нагрузки НПЧИ с распечаткой расчетных величин преобразователей. Мощности и токи в физических величинах: P_n – мощность нагрузки; P_1 , Q_1 , S_1 – мощности источника; p_u , p_t , p_D , p_f , p_s – потери в источнике, на тиристорах, диодах, фильтрах, суммарные потери; KPD – коэффициент полезного действия; d_p – погрешность расчета мощности; i_1 , i – результирующие величины действующих значений первой гармоники и полного тока источника, рассчитанные по первичной стороне источника; k_{is} – коэффициент искажения тока источника. На рис. 7, b – d и рис. 7 f – h показаны: u_{na} , u_{G1} , u_{T1} , u_{D1} – напряжения на нагрузке, транзисторе, тиристоре и диоде; i_{G1} , i_{T1} , i_{D1} – токи через транзистор, тиристор и диод. Величины мощностей и токов определены по текущим средним значениям переменной при интегрировании по времени [14].

Как видно из диаграмм, потери на фильтрах тиристорно-транзисторного НПЧИ примерно в два раза меньше, чем на фильтрах диодно-транзисторного НПЧИ. Однако в обоих случаях КПД преобразователей крайне низок при сравнительно больших коммутационных перенапряжениях.

Технико-экономические показатели тиристорно-транзисторного НПЧИ можно существенно улучшить, если увеличить длительность сигнала управления транзистора. В этом случае мы получаем преобразователь с комбинированной (естественной и искусственной) коммутацией.

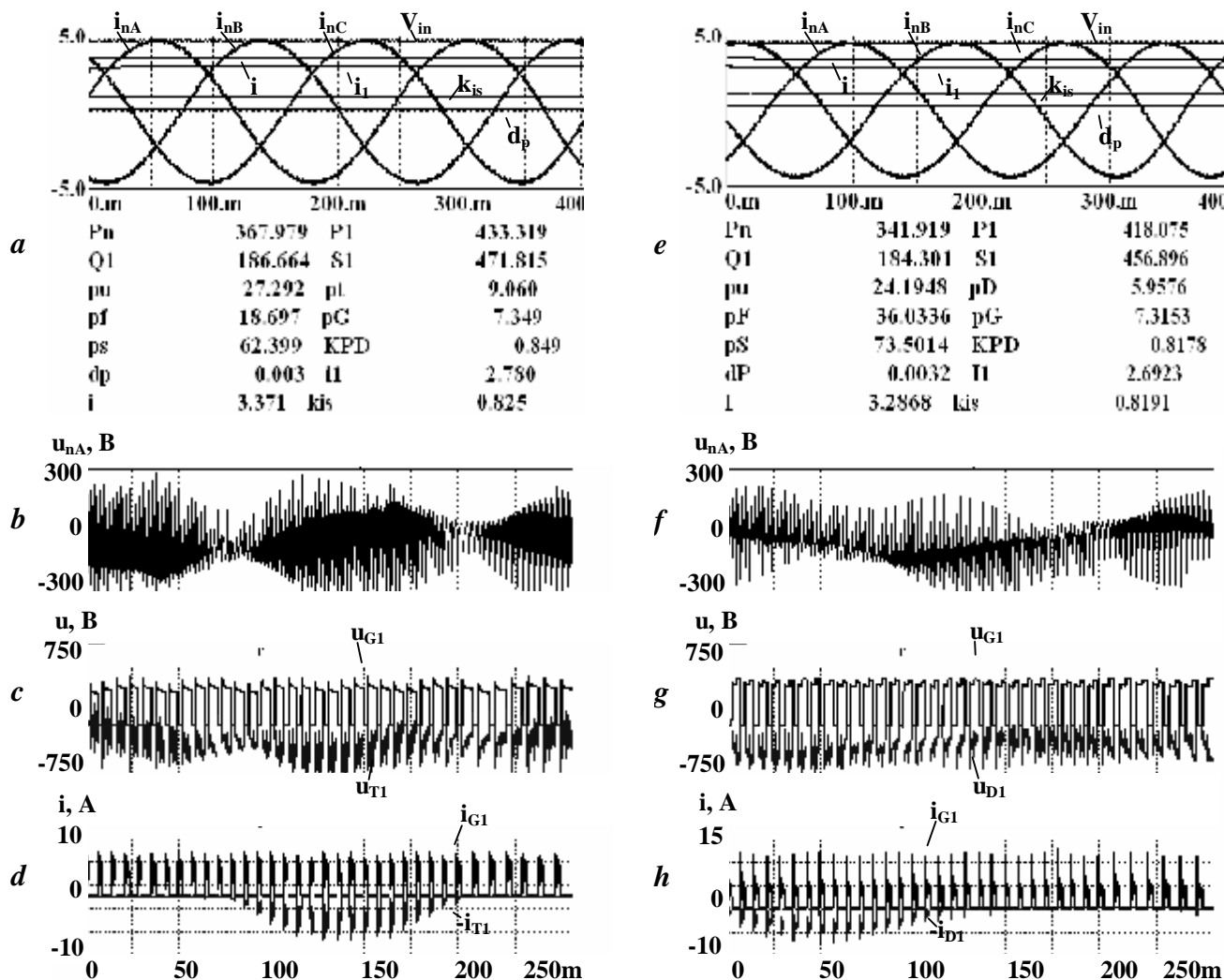


Рис. 7. Диаграммы напряжений и токов тиристорно-транзисторного (а – д) и диодно-транзисторного (е – h) НПЧИ

На рис. 8 показаны диаграммы напряжений и токов НПЧИ при длительности сигнала 180° и сохранении других исходных данных. Как видно из сопоставления диаграмм рис. 7 и рис. 8, при увеличении длительности сигнала управления транзистором существенно уменьшаются коммутационные перенапряжения на нагрузке и вентилях. При этом уменьшаются потери в источнике и фильтрах, увеличивается КПД преобразователя.

НПЧИ с новым способом управления может быть применен в бесконтактном асинхронизированном двигателе с вентиляторной характеристикой нагруз-

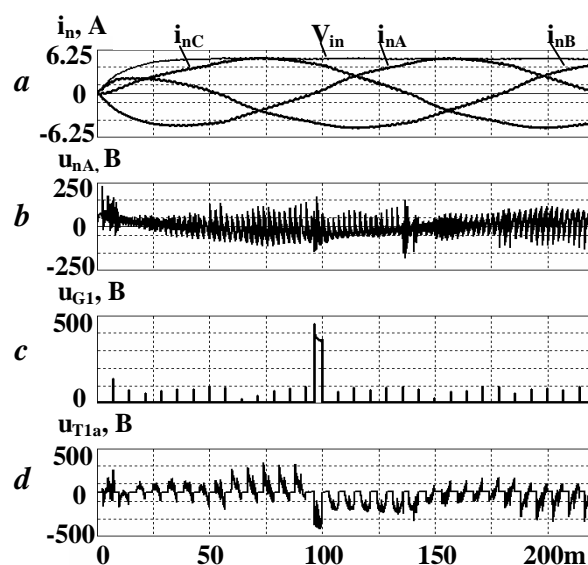


Рис. 8. Диаграммы напряжений и токов НПЧИ при удлинённых сигналах управления транзисторами

ки. При номинальном скольжении (наибольшая скорость выше синхронной) напряжение и ток нагрузки – наибольшие. В этом случае НПЧИ работает при естественной коммутации. С уменьшением напряжения нагрузки НПЧИ при уменьшении скорости вращения двигателя возможно появление режима искусственной коммутации из-за увеличения углов коммутации. При этом коммутационные перенапряжения уменьшены в связи с уменьшением величины тока нагрузки преобразователя.

Выводы по результатам исследований

1. Электромашино-вентильные преобразователи на базе каскадных или одномашинных возбуждателей и непосредственных преобразователей частоты с естественной коммутацией обеспечивают высокое качество токов нагрузки при $\cos\varphi_n > 0.4$.

2. При применении комбинированного потенциального разделения обмоток источника и нагрузки, четном числе фаз источника на фазу нагрузки в БАСМ могут быть применены мостовые диодно-тиристорные преобразователи с управлением встречно включенными тиристорами короткими импульсами по току нагрузки. Преобразователь может быть применен в крупных БАСМ с ограниченным диапазоном изменения скольжения.

3. В бесконтактных асинхронизированных двигателях с вентиляторной характеристикой могут быть применены тиристорно-транзисторные преобразователи при применении комбинированного закона управления тиристорами и управлении транзисторами удлиненными импульсами.

4. Необходимо дальнейшее совершенствование вращающихся НПЧЕ в направлении создания БАСМ с широким двухзонным изменением скольжения при комплексном регулировании напряжения преобразователя током возбуждения возбуждателей и углом управления тиристорами.

Список литературы

1. Брускин Д.Э. Генераторы, возбуждаемые переменным током. – М.: Высш.шк., 1974, – 128 с.
2. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
3. Бернштейн А.Я. и др. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе.- М.: Энергия, 1980.-328 с.
4. Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
5. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 192 с.
6. Галиновский А.М., Дубчак Е.М. Преобразователь частоты. А.с. СССР №1206922. Оpubл. в БИ, – 1986. – №3, С. 12.
7. А.с. СССР №1339821. Способ комбинированного управления тиристорным преобразователем частоты / А.М. Галиновский, Е.М. Дубчак. //Открытия. Изобретения. – 1987. – №35. – С. 10
8. Глебов И.А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин. – Л.: Наука, 1988. – 322с.

9. А.с. SU 1534744 5H02P 9 / 14 Савельев Ю.Е. и др. Устройство для возбуждения асинхронизированной синхронной машины. Бюл. №1, 08.01.90.
10. Галиновский А.М. Электромашинно-вентильные модулированные преобразователи в бесконтактных генераторах стабильной частоты. // Техн. електродінаміка. Спец. вип. 2. т.2. Силовая электроника и энергоэффективность. – 1998. – Т. 2. – с.61-65.
11. Павловский М.А. и др. Тенденции развития автономной энергосберегающей энергетики и устройств связи энергосистем. // Тез. докл. Регионального Европейского форума ВЕР "Киев-2000" "Ринкові перетворення в енергетиці. Перспективи на початок III тисячоліття". – К., – 2000. – с.116-119.
12. Галиновский А.М., Васылив К.Н., Ленская Е.А. Исследование бесконтактного асинхронизированного генератора с модулированным напряжением. // Весник НТУ "ХП". – 2001. – № 16. – С 196.
13. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 6. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 344 с.
14. Галиновский А.М., Ленская Е.А., Эрхард Айхофер. Исследование моделей электромашинно-вентильных преобразователей с ограниченным числом полностью управляемых вентилей. // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – №5. – с.22 – 29.
15. Пат. України. 11174. Обмотка з перемиканням ефективного числа витків фаз електричної машини змінного струму. / О.М. Галіновський, О.О. Ленська // Открытия. Изобретения. – 2007. – № 11.
16. Галиновский А.М. и др. Генератор постоянной частоты для ветроустановок и нетрадиционных источников энергии. // Відновлювана енергетика. – 2008.– №2. – С. 51– 57.
17. Галиновский А. М., Кузьминский Е. В., Ленская Е.А. Электромашинно-вентильные преобразователи бесконтактных асинхронизированных машин с синхронными возбудителями. // Вісник КДПУ .– 2008. – Вип. 3, ч. 2. – С. 46 – 50.