

Моделирование систем импульсно-временного управления тиристорными электроприводами

в среде Micro-Cap 9 demo

Приведены результаты разработки моделей систем импульсно-временного управления (ИВУ) тиристорными электроприводами в программе Micro-Cap 9 demo, предназначенных для исследования различных процессов в системе управления и силовой части тиристорного привода.

Разработанные модели позволяют получать осциллограммы и спектрограммы разнообразных сигналов, исследовать регулировочные характеристики, моделировать переходные процессы в системе ИВУ и процессы при асимметрии управляющих импульсов.

Олег Соколов, к. т. н.

Разработка моделей для исследования систем импульсно-временного управления (ИВУ) тиристорными электроприводами актуальна для разработчиков соответствующей аппаратуры, специалистов, эксплуатирующих ее, и проходящих обучение будущих инженеров в области промышленной электроники.

С возрастанием требований к качеству выпускаемой продукции и необходимостью повышения производительности технологических агрегатов, все большее распространение получают регулируемые электроприводы производственных машин и механизмов. При этом широко применяемым является тиристорный электропривод постоянного тока (ЭПТ), в котором в качестве устройства управляемого преобразования энергии переменного тока в энергию постоянного тока применяются тиристорные преобразователи (ТП) [1].

В тиристорном электроприводе можно выделить силовую часть (СЧ) и систему управления (СУ).

СЧ состоит из узлов, которые рассчитаны на протекание в них полного тока нагрузки. СУ регулирует поток энергии от сети переменного тока к электродвигателю и обратно путем формирования в определенные моменты времени отпирающих импульсов, подаваемых на управляющие переходы тиристоры, а также воздействием на коммутационные аппараты силовой части электропривода. Для этого СУ включает в себя систему ИВУ, формирующую последовательность отпирающих импульсов с требуемыми электрическими параметрами, моменты появления которых определяются напряжением управления,

а также некоторыми дополнительными управляющими сигналами.

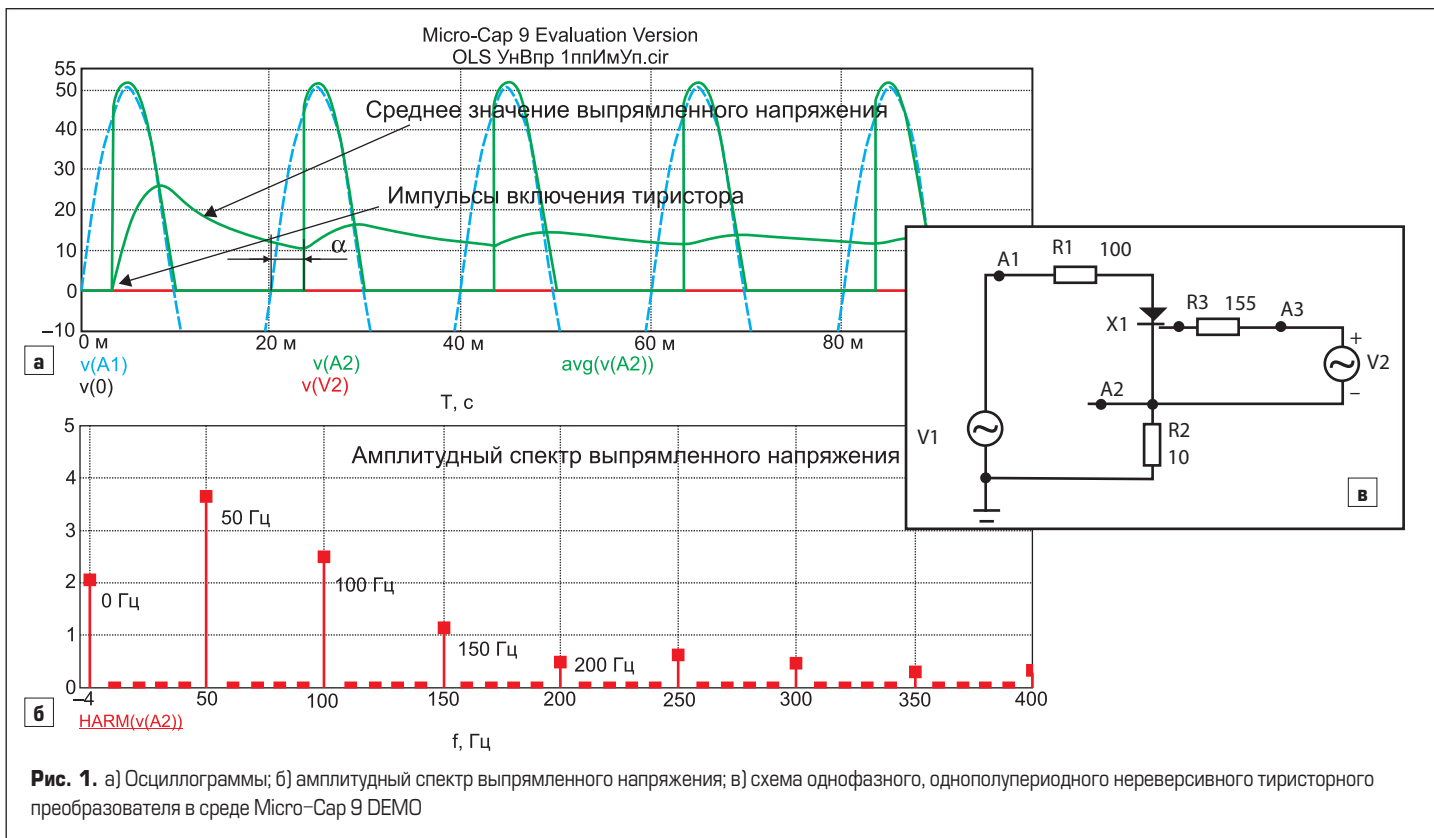
Особенности и характеристики блоков, моделирующих СЧ и СУ, и схемное построение этих блоков на уровне структурных схем рассматриваются, например, в работе [2]. При этом отсутствует описание синтеза данных устройств в широко используемой программе MicroCap 9 demo [3]. Представляет интерес моделирование различных систем ИВУ, а также возможность исследовать их характеристики в достаточно известной программе моделирования электронных средств.

Конструкция тиристоры такова, что их характеристики обладают двумя устойчивыми состояниями — закрытым (с большим внутренним сопротивлением) и открытым (с малым внутренним сопротивлением).

При изменении полярности приложенного к тиристорному напряжению эмиттерные $p-n$ -переходы тиристора будут смещены в обратном направлении, тиристор будет закрыт. При этом вольт-амперная характеристика (ВАХ) будет представлять собой обратную ветвь ВАХ обыкновенного диода.

На осциллограммах рис. 1а приведены импульсы включения тиристора от момента перехода питающего напряжения через нуль, выпрямленное напряжение и его среднее значение. Амплитудный спектр выпрямленного напряжения показан на рис. 1б.

Видно, что способом регулирования потока энергии через нагрузку является изменение момента подачи управляющего напряжения $U_y(t)$ по отношению к фазе питающего напряжения. Учитывая, что время включения и выключения тиристора много меньше времени его открытого состояния, можно



записать для мгновенного напряжения на нагрузке (схема на рис. 1в):

$$u_n = U_{A2} \sin(\omega_0 t + \alpha) - \Delta U_T \text{ при } \alpha \leq \omega_0 t \leq \pi, \quad (1)$$

где: ω_0 — круговая частота питающей сети; t — текущее время, отсчитанное от момента включения тиристора; α — угол включения тиристора от момента перехода питающего напряжения через нуль; ΔU_T — падение напряжения на открытом тиристоре.

Пренебрегая падением напряжения на открытом тиристоре ΔU_T как малым по сравнению с напряжением на нагрузке, можно записать для среднего напряжения на нагрузке:

$$U_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{A2} \sin \omega_0 t d(\omega_0 t) = \frac{U_{A2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha). \quad (2)$$

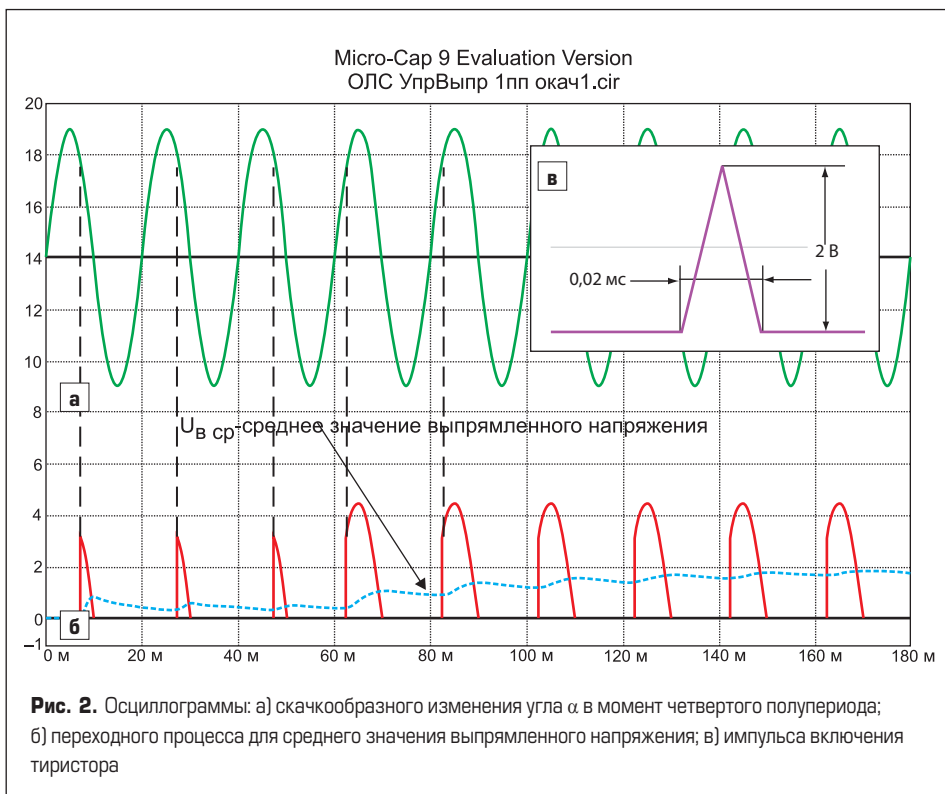
Из выражения (2) следует, что для регулирования среднего значения напряжения от 0 до максимального значения необходимо, чтобы угол α изменялся от 0 до π .

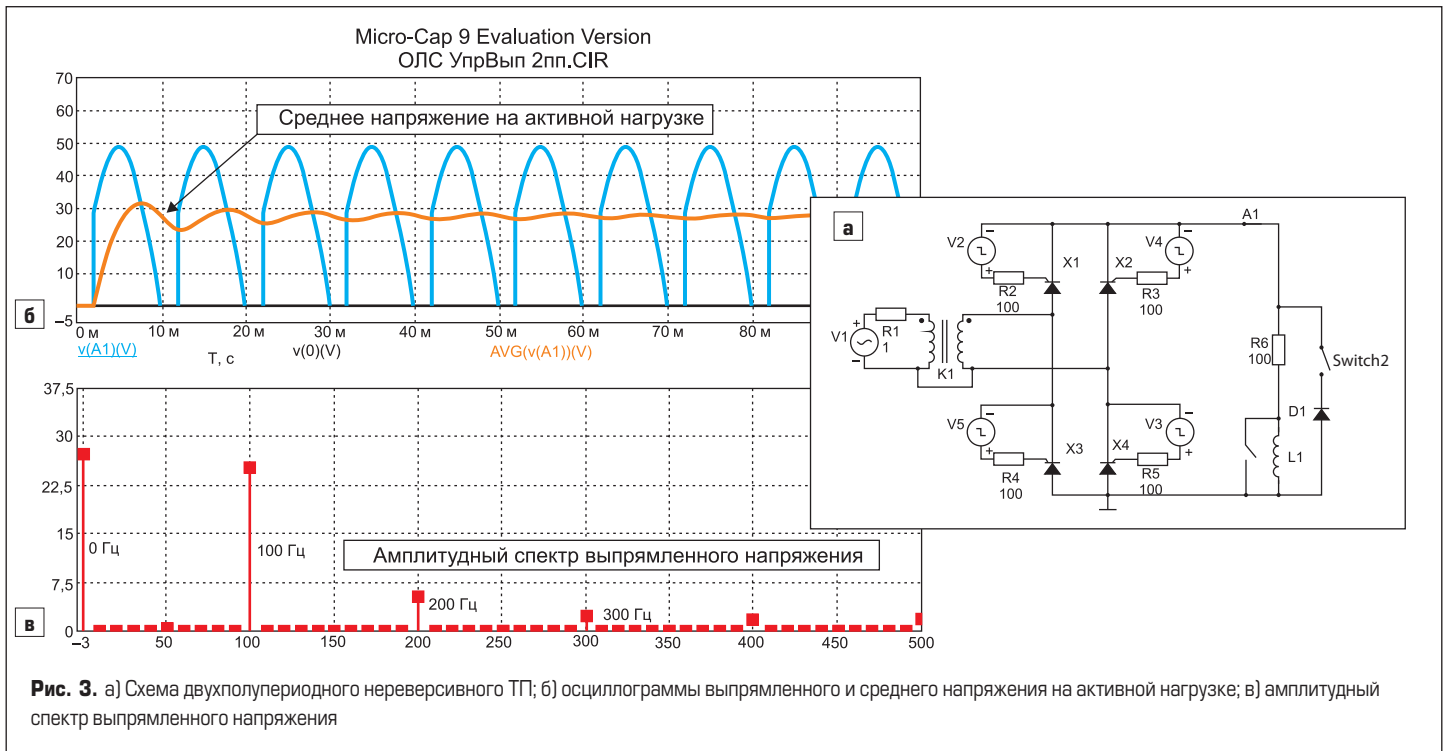
В ряде случаев представляет интерес исследование переходных процессов при скачкообразном изменении угла α . На рис. 2 показаны скачкообразное изменение угла α в момент четвертого полупериода и соответствующий переходный процесс для среднего значения выпрямленного напряжения.

Однотактные преобразователи используются редко. Чаще применяются многотактные преобразователи энергии [1]. В этом случае в системе должно быть предусмотрено m каналов системы ИВУ, в которых время управляющих импульсов отсчитывается от определенного значения питающего напряжения.

На рис. 3а приведена схема двухполупериодного нереверсивного ТП с комбинированной нагрузкой, синтезированная в среде Micro-Cap 9 demo. На схеме ключи Switch1 и Switch2 показаны в положении подключения активной нагрузки R6. Для подключения активно-индуктивной нагрузки ключ Switch1 следует разомкнуть, а ключ Switch2 — замкнуть. Схема управления тиристорами состоит из генераторов импульсов V2–V5 и резисторов R2–R5.

Рассмотрим режим активно-индуктивной нагрузки, при котором между сетью переменного тока и индуктивным сопротивлением нагрузки происходит обмен энергией. Этот обмен энергией снижает коэффициент мощности выпрямителя, который характеризует отношение активной мощности к полной мощности на входе выпрямителя. Простым способом, позволяющим повы-





шать коэффициент мощности выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку, является применение нулевого вентиля $D1$ [1].

Аналогично показанному на рис. 2 скачкообразному изменению углов α в момент четвертого полупериода, также можно получить соответствующий переходный процесс для среднего значения выпрямленного напряжения в схеме двухполупериодного нереверсивного ТП.

Следует отметить, что в схеме двухполупериодного ТП возможно моделирование асимметрии управляющих импульсов, которая возникает в реальных системах ИВУ под влиянием различных факторов. Такое

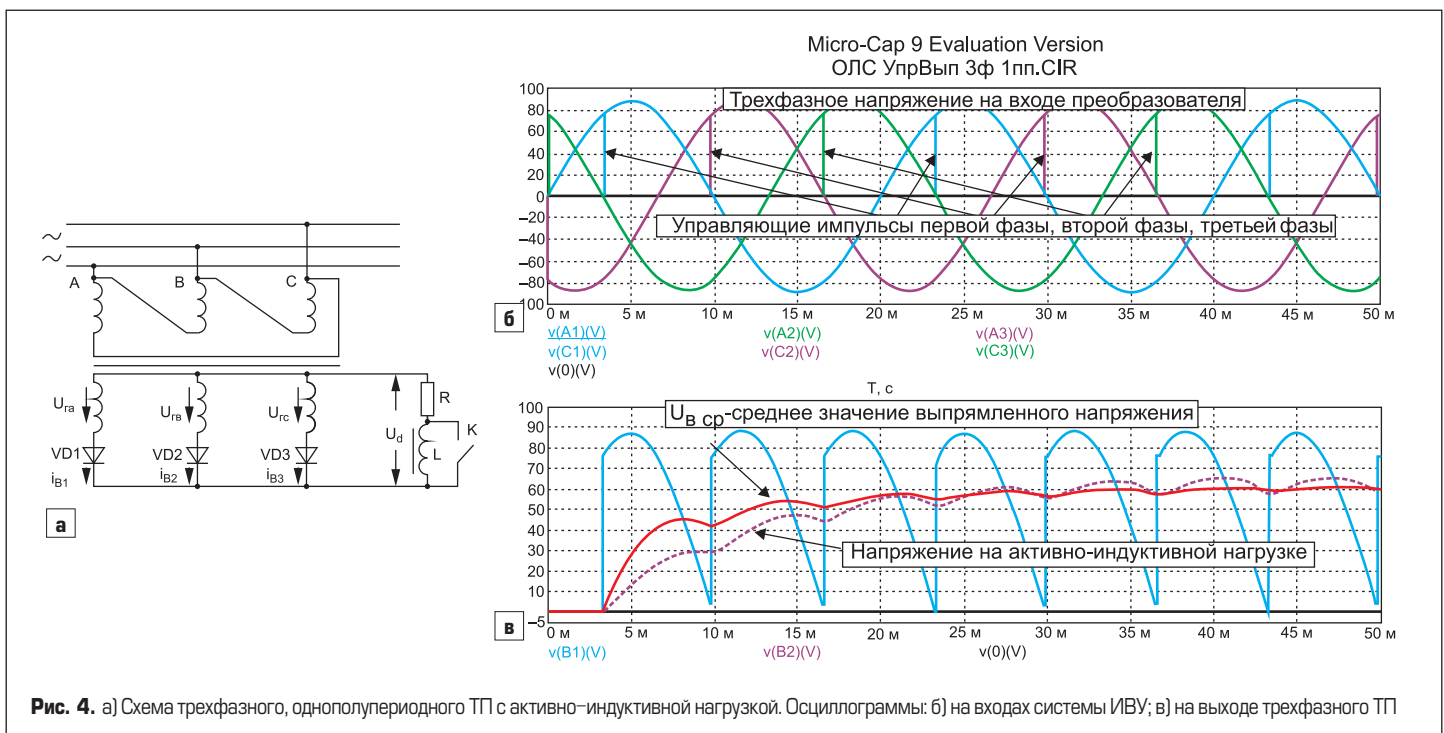
моделирование может производиться также в схемах многотактных ТП.

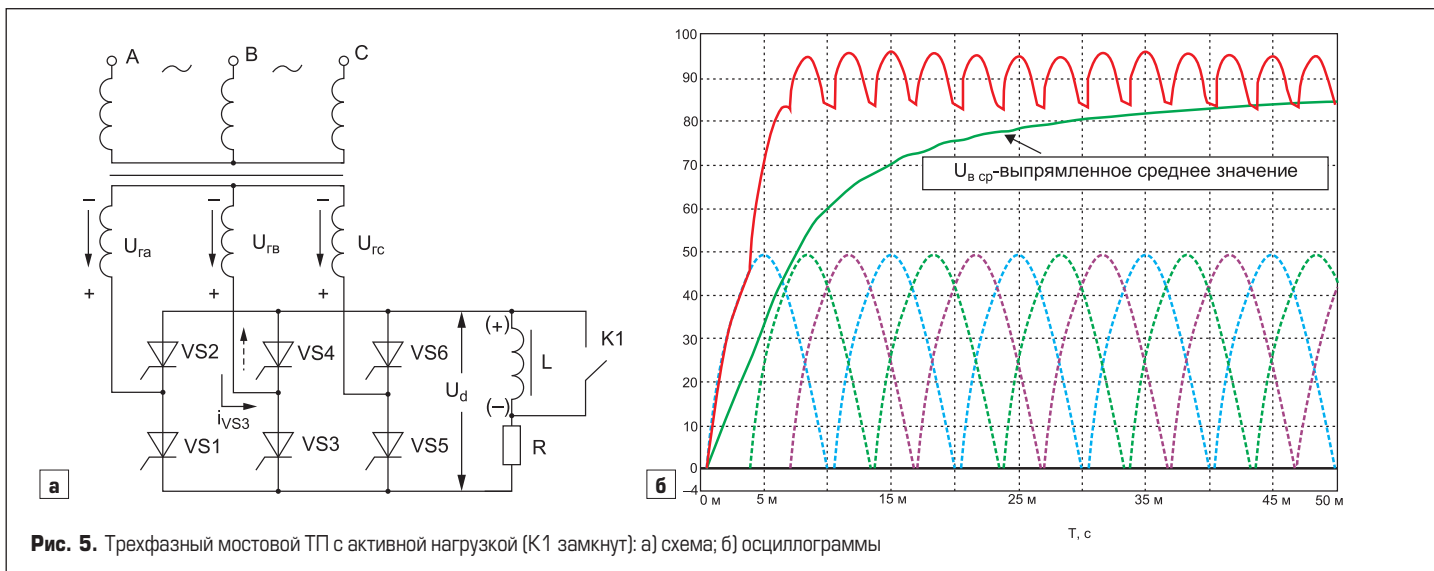
Схема трехфазного однополупериодного ТП с активно-индуктивной нагрузкой (без схемы системы ИВУ), осциллограммы на входах системы ИВУ, а также на выходе трехфазного тиристорного преобразователя приведены на рис. 4.

На осциллограммах показана работа без нулевого вентиля на активно-индуктивную нагрузку в граничном режиме при $\alpha = \pi/6$. При значениях $\alpha > \pi/6$ в выпрямленном напряжении появляются интервалы времени, когда сеть становится потребителем энергии, а не источником. Снижается выпрямленное напряжение, уменьшается коэффициент мощности выпрямителя.

На рис. 5а приведена схема трехфазового (двухполупериодного) ТП с активной нагрузкой (ключ $K1$ замкнут). На рис. 5б показаны осциллограммы напряжений в этой схеме при малом угле регулирования $\alpha \approx 0,157$ рад. Пунктирные линии осциллограмм представляют полусинусоиды фазных напряжений.

На рис. 6 приведены осциллограммы напряжений на активно-индуктивной нагрузке (ключ $K1$ разомкнут в схеме рис. 5а) трехфазного мостового ТП. Они демонстрируют управляющие импульсы, подаваемые на входы тиристоры, напряжение на активной нагрузке $U_{Rн}$, среднее выпрямленное напряжение $U_{в\text{ ср}}$ и напряжение на индуктивности U_L .





* * *

Разработанные модели позволяют проводить широкий круг исследований регулировочных характеристик различных ТП, в том числе при асимметрии управляющих импульсов, а также при различных видах нагрузок. Кроме того, модели также допускают исследование переходных процессов при различных воздействиях. Представленные модели представляют интерес для разработчиков соответствующей аппаратуры и для студентов вузов, изучающих промышленную электронику.

Литература

1. Буранов С. А. Электроника. Учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: СЗТУ. 2003.
2. Перельмутер В. М., Сидоренко В. А. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока. М.: Энергоатомиздат. 1988.
3. Амелина М. А. Компьютерный анализ и синтез электронных устройств (часть 1): конспект лекций. Смоленск: МЭИ (ТУ). 2005.

