

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОГО ТРЕХФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ**О. А. Плахтий, аспирант****ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ АКТИВНОГО ТРИФАЗНОГО ВИПРЯМЛЯЧА З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ****О. А. Плахтій, аспірант****DYNAMIC MODEL OF ACTIVE THREE PHASE RECTIFIER WITH POWER FACTOR CORRECTION****A.Plakhtiy, PhD student**

В статье представлена дискретная динамическая модель активного трехфазного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности. Достоинством предложенной модели является возможность исследований влияния управляющих коммутационных функций, реализуемых системой управления, на электродинамические процессы в преобразователе. Представлены результаты исследований предложенной модели, выполненные в программном пакете Matlab.

Ключевые слова: трехфазный активный выпрямитель, коррекция коэффициента мощности, динамическая модель.

У статті представлена дискретна динамічна модель активного трифазного випрямляча з корекцією коефіцієнта потужності. Перевагою запропонованої моделі є можливість дослідження впливу комутаційних функцій системи керування на електродинамічні процеси в перетворювачі. Представлені результати дослідження запропонованої моделі, проведені в програмному пакеті MATLAB.

Ключові слова: трифазний активний випрямляч, корекція коефіцієнта потужності, динамічна модель.

The article presents the discrete dynamic model of a three-phase active rectifier with power factor correction. This type of converter allows implementation of following options: power factor correction, sinusoidal input current, eliminating harmonic in input current, regulation of the output voltage of the rectifier, energy recovery in the network. Analysis of electromagnetic processes requires creation of a dynamic model of the converter. The dynamic model allows analyzing steady-state and transient processes, obtaining static and dynamic characteristics of the rectifier. Switching power converters can be considered either as discrete elements of automatic control systems, either as a continuous linear element. However, worth noting that by its nature the PWM rectifier is a nonlinear discrete element and its consideration as a discrete dynamical system is more accurate approach. The advantage of the proposed discrete model is the ability to research the influence of control switching functions on the electrodynamic processes in the converter.

Key words: three-phase active boost rectifier, power factor correction, dynamic model.

Введение

Применяемые в составе выпрямительных агрегатов тяговых подстанций постоянного тока диодные и тиристорные выпрямители не соответствуют

требованиям международных стандартов ИЕС 61000-3, IEEE 519, EN 61000-3-2 электромагнитной совместимости в части эмиссии высших гармоник тока. Кроме этого данные выпрямительные установки не

обеспечивают возможности реализации рекуперации энергии в питающую сеть, что снижает энергоэффективность данных преобразователей. Внедрение активных трехфазных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности (далее АВН) позволит решить проблемы электромагнитной совместимости, повышения коэффициента мощности, а также реализации рекуперации энергии в питающую сеть [1, 2].

Анализ электромагнитных процессов, протекающие в АВН, требует создания математической и динамической модели преобразователя. Математическая модель позволяет проводить анализ установившихся и переходных процессов, получения статических и динамических характеристик преобразователя, синтеза замкнутых систем автоматического регулирования, а также анализ устойчивости работы преобразователя и его системы управления.

Анализ последних исследований

При исследовании динамических свойств импульсные преобразователи энергии можно рассматривать либо как дискретные (импульсные) элементы систем автоматического регулирования (САР), либо как непрерывный линейный элемент САР. Известен подход сведения дискретных математических моделей преобразователей к эквивалентным непрерывным моделям [3, 4]. Данный подход основан на представлении силовой части преобразователя и его системы управления в виде непрерывных звеньев САР. Описание активного

выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности в виде линейного элемента САР приведено в ряде работ [2, 3]. Однако стоит отметить, что по природе физических процессов, протекающих в АВ, данный преобразователь является нелинейным дискретным элементом САР и рассмотрение его в виде дискретной динамической системы является более точным подходом. Это позволяет получить в модели наиболее близкое к реальности отображение протекающих в преобразователе переходных процессов, а также исследовать влияние коммутационных функций системы управления на работу преобразователя.

Целью данной статьи является описание результатов исследований представленной дискретной динамической модели активного трехфазного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности выполненных в пакете Matlab.

1. Математическая модель активного трехфазного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности

Схема замещения исследуемого активного трехфазного выпрямителя представлена на рисунке 1. В состав данного преобразователя входит шесть полностью управляемый IGBT-ключей с параллельными диодами (VT1-VT6); три входных дросселя L_a , L_b , L_c ; выходной конденсатор C ; три входных сопротивления R_a , R_b , R_c имитирующие активное сопротивление входных дросселей.

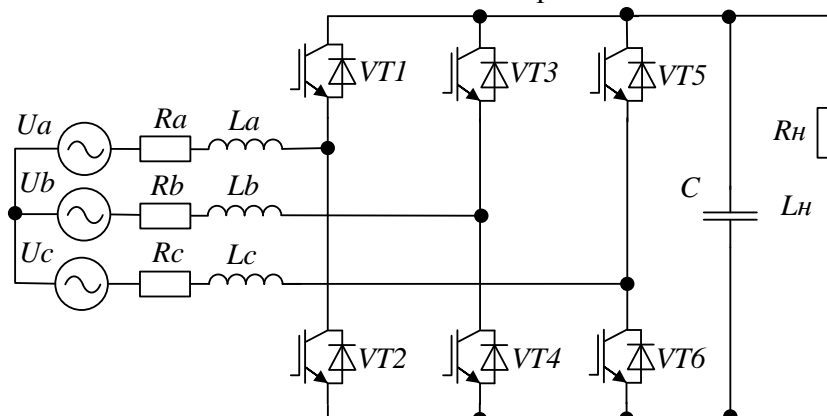


Рис. 1 – Схема замещения активного повышающего выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности

На данный момент существует несколько принципиально разных систем управления АВН. Автором предложена гистерезисная система управления, реализующая высокие энергетические

показатели, а также коэффициент мощности близкий к единице, как в режиме выпрямления, так и в режиме рекуперации [4, 5]. Структурная схема предложенной системы управления приведена на рис.2

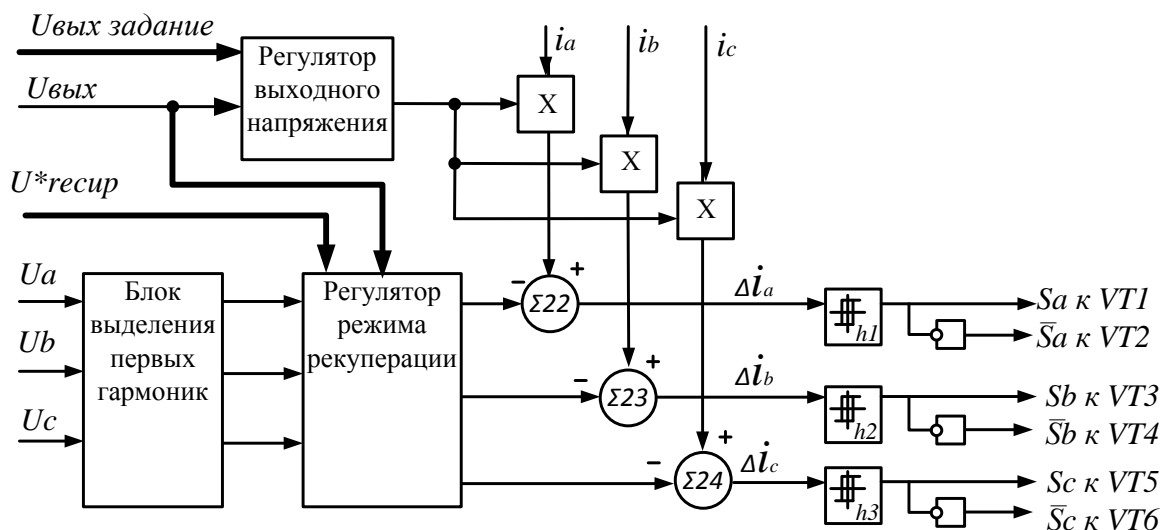


Рис.2 – Гистерезисная система управления активного трехфазного выпрямителя

Система управления формирует управляющее воздействие на ключи АВН. При этом вводится понятие коммутационных функций (далее КФ). Коммутационная функция описывает состояние ключей плеча преобразователя. Если значение КФ равно

единице, то включен ключ анодной группы; а если КФ равно нулю, то включен ключ катодной группы. Коммутационные состояния ключей активного выпрямителя приведены на рис.2.

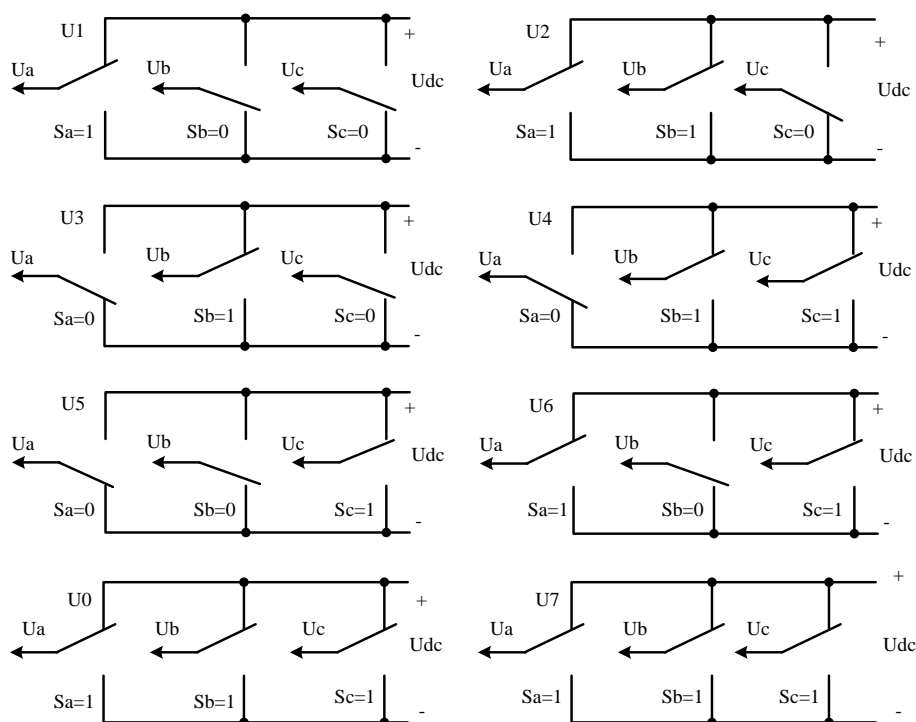


Рис. 2 – Коммутационные состояния ключей активного выпрямителя

Векторная диаграмма коммутационных состояний ключей АВН приведения в $\alpha\beta$ -системе координат представлена на рис. 3.

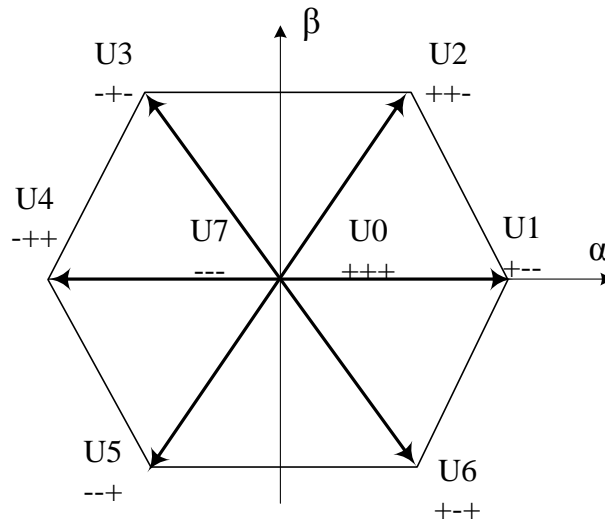


Рис. 3 – Векторная диаграмма напряжений АВН в $\alpha\beta$ -системе координат

Исходя из коммутационных состояний ключей АВН, соотношение выходного напряжения АВН с коммутационными функциями и линейными (межфазными) напряжениями, может быть представлено в виде следующих уравнений:

$$u_{DC} = \begin{cases} (S_A - S_B) \cdot u_{AB} \\ (S_B - S_C) \cdot u_{BC} \\ (S_C - S_A) \cdot u_{CA} \end{cases} \quad (7)$$

При этом удобно связать значение фазных напряжений питания и напряжения в звене постоянного тока:

$$u_{DC} = \begin{cases} f_a \cdot u_{AN} \\ f_b \cdot u_{BN} \\ f_c \cdot u_{CN} \end{cases} \quad (10)$$

Где:

$$f_a = \frac{2S_A - (S_B + S_C)}{3} \quad (13)$$

$$f_b = \frac{2S_B - (S_A + S_C)}{3} \quad (14)$$

$$f_c = \frac{2S_C - (S_A + S_B)}{3} \quad (15)$$

Переменные f_a, f_b, f_c могут принимать значения $0, \pm 1/3, \pm 2/3$.

Система уравнений, описывающая баланс напряжений в преобразователе приведена в системе уравнений ниже.

$$\begin{bmatrix} u_{Sa} \\ u_{Sb} \\ u_{Sc} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_{Ca} \\ i_{Cb} \\ i_{Cc} \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{Ca} \\ i_{Cb} \\ i_{Cc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_c \\ u_c \\ u_c \end{bmatrix} \quad (16)$$

Дифференциальное уравнение, описывающее зависимость выходного напряжения от величины фазных токов с учетом мгновенных значений коммутационных функций приведено ниже.

$$C \frac{du_{dc}}{dt} = S_a i_{Ca} + S_b i_{Cb} + S_c i_{Cc} - i_{dc} \quad (17)$$

Динамическая модель АВН

Вышеприведенные уравнения (7-17) преобразовать в динамическую модель, активной трехфазного выпрямителя можно которая приведена на рисунке 4.

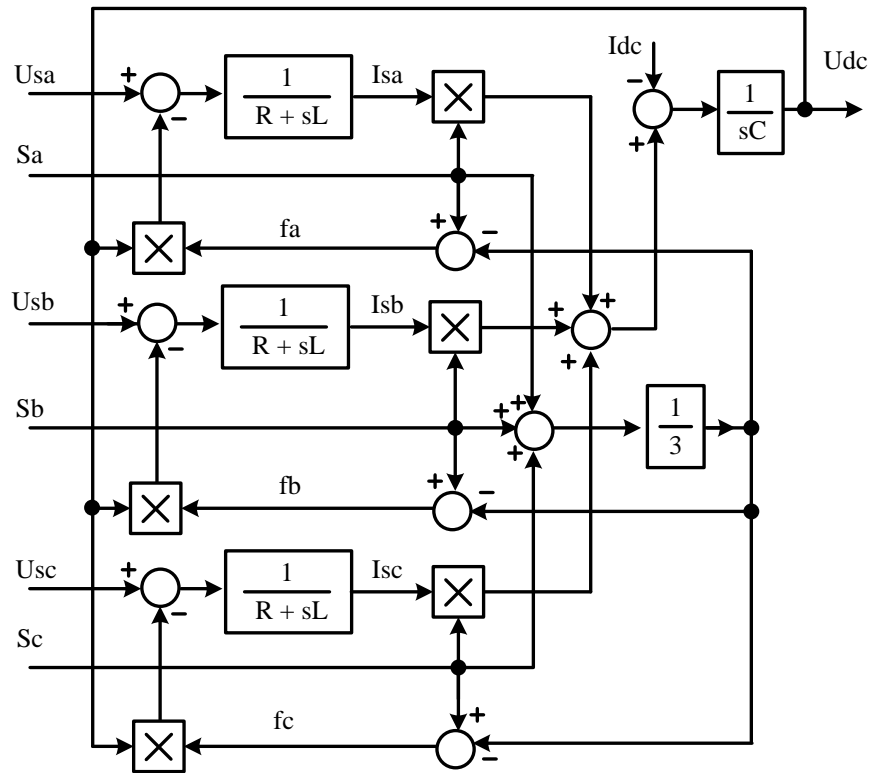


Рис. 4 –Динамическая модель активного трехфазного выпрямителя

В программе Matlab была создана дискретная динамическая модель АВН. Параметры модели: $L_a=0,2\text{мГн}$; $R_a=0,01\text{ Ом}$; $C=6\text{мкФ}$; $R_H=2\text{ Ом}$; $L_H=20\text{ мГн}$.

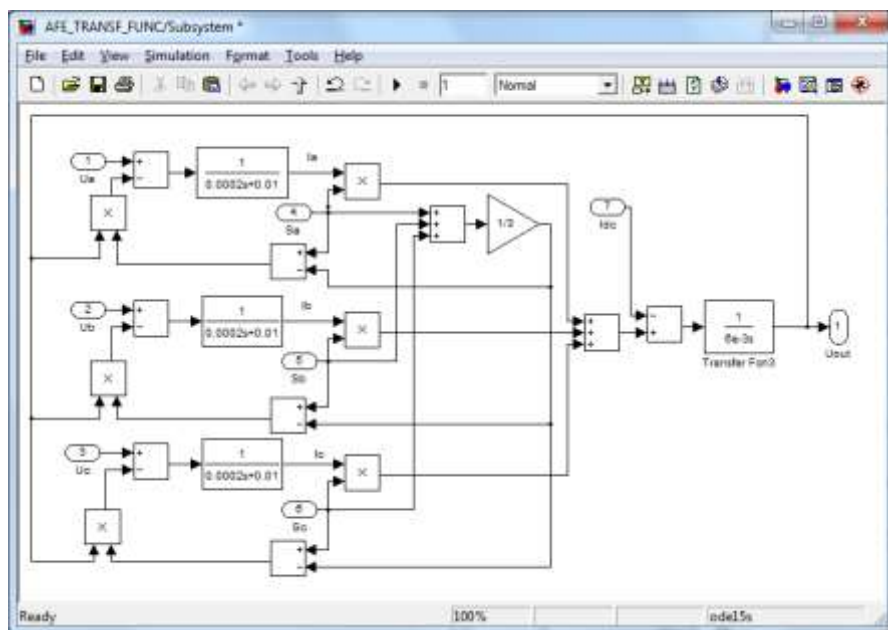


Рис. 5 —Дискретная динамическая модель АВН

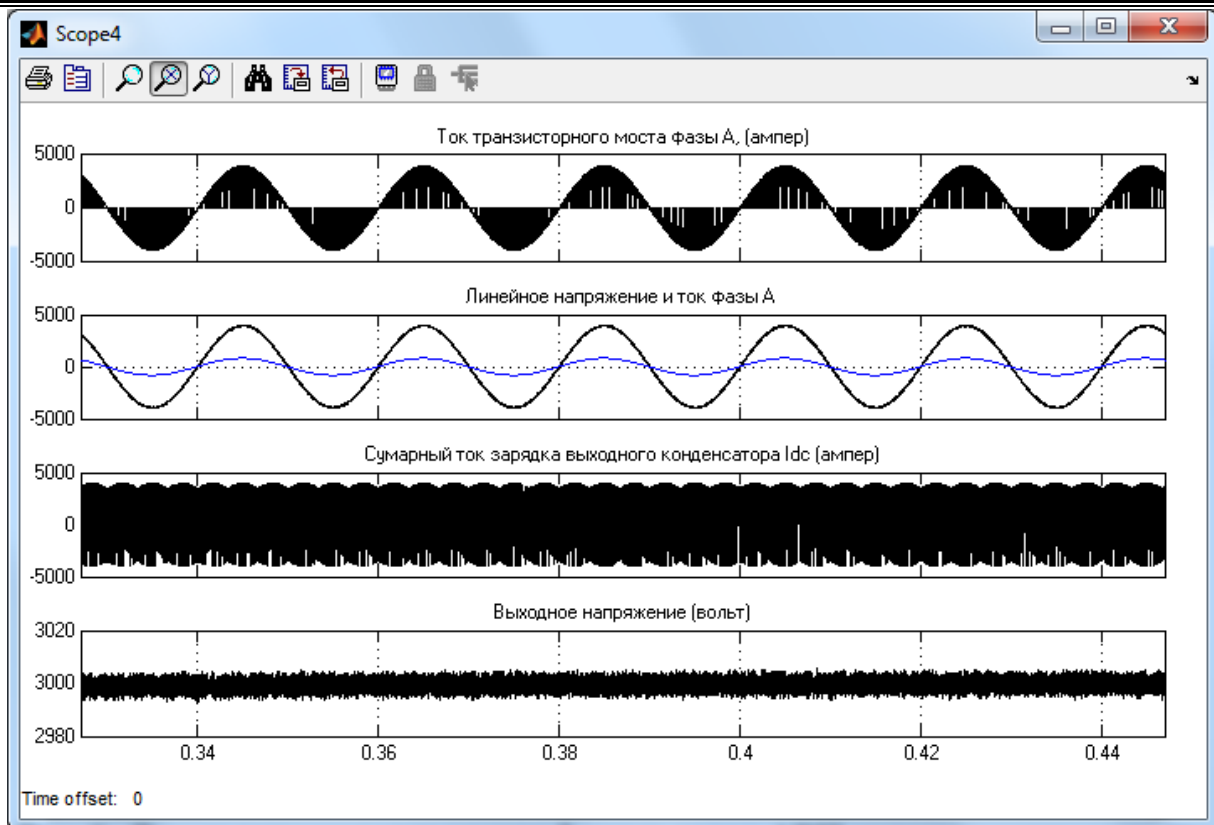


Рис. 6 –Результаты моделирования фазных токов АВН при математическом и имитационном моделировании

Из проведенного моделирования можно сделать следующие выводы:

- активный выпрямитель обеспечивает коррекцию коэффициента мощности в режиме выпрямления;
- амплитуда пульсаций выходного напряжения менее 10В.

Выводы:

В статье представлены исследования дискретной динамической модели активного трехфазного выпрямителя. Достоинством

предложенной модели по сравнению с непрерывной моделью является то, что она учитывает коммутационные функции, полученные из системы управления. Адекватность модели подтверждено результатами имитационного моделирования.

Разработанная модель далее будет использована для анализа устойчивости активного выпрямителя, как элемента системы автоматического регулирования.

Список литературы:

1. Maswood A.I, A novel variable hysteresis band current control of three-phase three-level rectifier with constant switching frequency [Текст], IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 1, Issue , 12-16 June 2005, С. 23- 27.
2. Казачковский Н.Н. Способ управления векторным релейным регулятором тока в электро- приводах с ШИМ [Текст] / Н.Н. Казачковский, Д.В. Якупов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 3/2004 (26). – С. 46-49.
3. Казачковский Н. Н. Управление активным выпрямителем с широтно-импульсной модуляцией при возмущениях со стороны нагрузки [Текст] / Н.Н. Казачковский., Д.В. Якупов // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр.– Маріуполь, – Вип. 18, 2008. –С. 40-43.

4. Плахтий А.А. Гистерезисная система управления активного трехфазного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности [Текст] / // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2013: – Вип. 4. – С. 82-88.

5. Щербак Я.В. Исследование режима рекуперации активного трехфазного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности [Текст] / Я.В. Щербак, А.А. Плахтий // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012: – Вип. 143. – С. 188-194.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Я.В.Щербак

Плахтий Александр Андреевич, Аспирант кафедры автоматизированных систем электрического транспорта, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Контактный телефон: +38 093 9176020, E-mail: 83et@mail.ru

Plakhtiy Alexandr Andrievich, Phd. Student, Chair Automated control systems of railway transport, Ukrainian State Academy of railway transport, Contact phone: +38 093 9176020, E-mail: 83et@mail.ru

Плахтій Олександр Андрійович, Аспірант кафедри автоматизованих систем електричного транспорту, Українська державна академія залізничного транспорту, Контактний телефон: +38 093 9176020, E-mail: 83et@mail.ru

Стаття поступила 20.04.2015