

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ АРВ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Лукаш Н.П., Суховой Д.Н.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

a-ntare-s@yandex.ru

The paper deals with the creation and investigation of adaptive fuzzy-logic AVR for synchronous generator. The results have good prospects of development fuzzy regulators and can be used for creation practical construction AVR system.

Постановка задачи. Традиционные методы построения моделей систем регулирования не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание решаемой проблемы заведомо является неточным или неполным. Стремление получить всю исчерпывающую информацию для построения точной математической модели может привести к потере времени и средств, поскольку это может быть в принципе невозможно.

В подобных случаях наиболее целесообразно воспользоваться такими методами, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. Именно в таких ситуациях технология нечеткого моделирования оказывается наиболее конструктивной. В зарубежной теории и практике ведутся интенсивные исследования в области создания новых типов адаптивных автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) на основе нечеткой логики.

Для поддержания напряжения на шинах синхронного генератора необходимо изменять величину тока ротора в соответствии с действующим режимом. Обычные АРВ с постоянными коэффициентами усиления (жесткой настройкой) не могут обеспечить качественное регулирование во всем многообразии режимов работы синхронного генератора. Представляется целесообразным конструирование АРВ на основе аппарата нечетких выводов, позволяющего получить регулирующее воздействие, адекватное текущему режиму объекта. Это дает возможность не только повысить качество регулирования, но также расширить область устойчивости регулируемой системы.

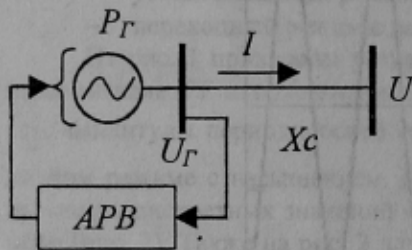


Рисунок 1

Для конструирования нечеткого АРВ была принята простая регулируемая система, рис.1, часто применяемая для решения задач синтеза АРВ. Моделировался АРВ сильного действия с жесткой настройкой и фаззи-АРВ с такими же каналами для выполнения сравнительного анализа двух систем регулирования.

Нечеткий АРВ и его исследование. Переходные процессы в простой регулируемой системе описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений в [1, с. 165].

Проведя линеаризацию по первому приближению, после несложных преобразований получим систему уравнений динамики в матричной форме Коши

$$\begin{bmatrix} \dot{\Delta\delta} \\ \dot{\Delta S} \\ \dot{\Delta E_{qe}} \\ \dot{\Delta E_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{h_d}{T_j} & 0 & 0 & -\frac{h_i}{T_j} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & s_1 & \frac{1}{T'_d} & -\frac{1}{T'_d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta S \\ \Delta E_{qe} \\ \Delta E_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \Delta P_r \quad (1)$$

$$\Delta U_r = (\partial U_r / \partial \delta) \Delta \delta + (\partial U_r / \partial E_q) \Delta E_q,$$

где $a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}$ - элементы матрицы, определяемые структурой АРВ (введенными каналами регулирования).

Системе уравнений (1) соответствует структурная схема АРВ сильного действия на рис.2 [1, с. 172], в которую для упрощения решения и анализа добавлены только каналы регулирования по производной напряжения статора и по отклонению и производной тока ротора.

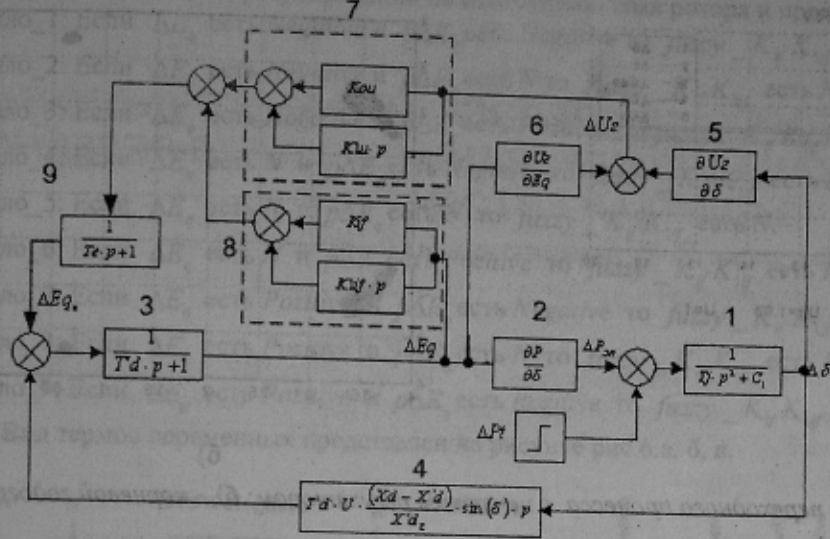


Рисунок 2 – Структурная схема автоматической системы.

Регулирование по введенным каналам определяется выражением

$$\Delta \dot{E}_{qe} = \frac{K_{ou}}{T_e} \Delta U_r + \frac{K_{lu}}{T_e} p \Delta U_r - \frac{K_{if}}{T_e} \Delta E_q - \frac{K_{lif}}{T_e} p \Delta E_q - \frac{1}{T_e} \cdot \Delta E_{qe} \quad (2)$$

Ток ротора пропорционален синхронной Э.Д.С. E_q

Для регулирования на основе нечеткой логики последнее уравнение перепишем в виде

$$\Delta \dot{E}_{qe} = fuzzy_K_{ou} + fuzzy_K_{lu} - fuzzy_K_{if} - fuzzy_K_{lif} - \frac{1}{T_e} \cdot \Delta E_{qe}, \quad (3)$$

где $fuzzy_K_{ou}$, $fuzzy_K_{lu}$, $fuzzy_K_{if}$, $fuzzy_K_{lif}$ - воздействия нечетких каналов регулирования по отклонению напряжения, по производной отклонения напряжения, по отклонению тока ротора и по производной отклонения тока ротора соответственно.

Моделировалось раздельное регулирование по введенным каналам, а также с учетом взаимного изменения входных параметров АРВ. При раздельном нечетком регулировании по каналам составлена база правил

Правило_1: Если ΔP есть *Negative* то $fuzzy_K_x$ есть *Negative*.

Правило_2: Если ΔP есть *ENegative* то $fuzzy_K_x$ есть *ENegative*.

Правило_3: Если ΔP есть *N* то $fuzzy_K_x$ есть *N*.

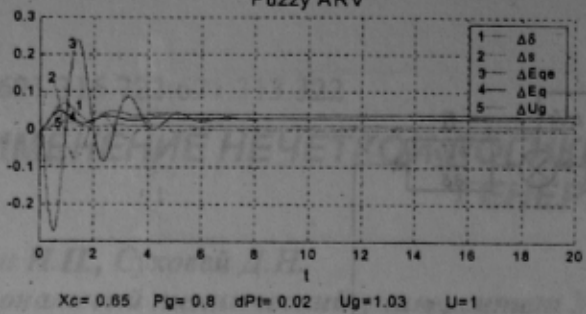
Правило_4: Если ΔP есть *EPozitive* то $fuzzy_K_x$ есть *EPozitive*.

Правило_5: Если ΔP есть *Pozitive* то $fuzzy_K_x$ есть *Pozitive*.

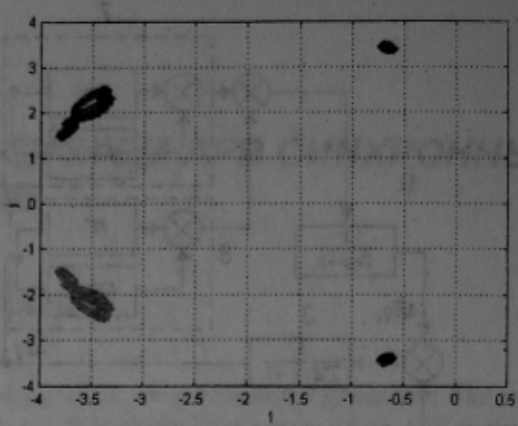
где ΔP - параметр, по которому происходит регулирование: ΔU_r , $p \Delta U_r$, ΔE_q , $p \Delta E_q$; $fuzzy_K_x$ - воздействия, вызванные входными параметрами ΔP по соответствующим нечетким каналам регулирования.

Такое разделение каналов дает возможность наблюдать влияние на качество системы и запас устойчивости включения/отключения интересующих каналов регулирования, а также выявить влияние вида термов и их размещения на оси абсцисс для каждой из входных/выходных переменных на качество решения задачи. Можно использовать основной канал регулирования по отклонению напряжения аналогового типа совместно с стабилизирующими нечеткими каналами. Любой из каналов регулирования на основе нечеткой логики обладает некоторой нелинейностью (в зависимости от вида термов), что делает возможным для малых отклонений реализовать «мягкое» (малое, среднее) регулирование, а для больших - сильное демпфирующее воздействие, направленное на быструю сходимость переходного процесса. Результат интегрирования уравнений динамики (1) при использовании фаззи-АРВ с правилами (4) для некоторого режима электропередачи приведен на рис. 3,а. На рис. 3,б представлены корневые годографы регулируемой системы, свидетельствующие о том, что фаззи-коррекция реализует АРВ с переменной настройкой, направленной на улучшение качества регулирования и сохранение устойчивости системы. Использовались гауссовы функции принадлежности. Переходный процесс в тестовой системе с АРВ с жесткой настройкой при том же режиме электропередачи подобен рис.3,а.

При утяжелении режима электропередачи до значений, приведенных на рис.4, АРВ с жесткой настройкой не обеспечивает устойчивое регулирование, в то же время фаззи-АРВ сохраняет устойчивость системы, что объясняется изменением настройки каналов в процессе фаззи-коррекции в сторону увеличения запаса устойчивости и подтверждается соответствующими корневыми годографами. При этом корневые годографы в процессе регулирования могут переходить в область правых корней, однако фаззи-коррекция все же возвращает систему в область устойчивости.

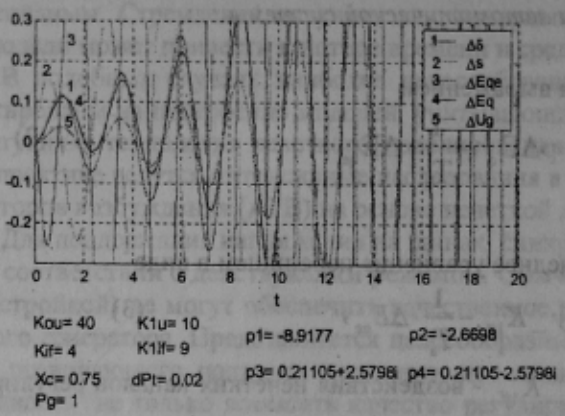


a)

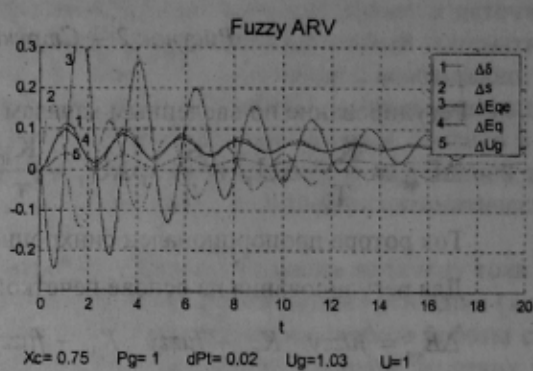


б)

Рисунок 3- а) – графики переходного процесса с нечетким регулятором; б) – корневой годограф.



a)



б)

Рисунок 4- Графики переходного процесса а) – с аналоговым регулятором с жесткой настройкой при Ug=1.03, U=1; б) – с нечетким регулятором.

Можно улучшить качество регулирования с фаззи-АРВ, объединив в единый нечеткий канал блоки по отклонению параметра и его производной. Производная параметра находится всегда в определенной зависимости от его изменения, поэтому можно создать уточненную базу правил, описывающую данное регулирование.

Правила для блока регулирования по отклонению напряжения и производной отклонения напряжения:

- Правило_1: Если ΔU_r есть Negative и $p\Delta U_r$ есть Negative то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть NegativeSum.
- Правило_2: Если ΔU_r есть Negative и $p\Delta U_r$ есть N то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть NegativeK_{0u}.
- Правило_3: Если ΔU_r есть Negative и $p\Delta U_r$ есть Pozitive то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть EvNegative.
- Правило_4: Если ΔU_r есть N и $p\Delta U_r$ есть Negative то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть NegativeK_{1u}.
- Правило_5: Если ΔU_r есть N и $p\Delta U_r$ есть N то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть N.
- Правило_6: Если ΔU_r есть N и $p\Delta U_r$ есть Pozitive то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть PozitiveK_{1u}.
- Правило_7: Если ΔU_r есть Pozitive и $p\Delta U_r$ есть Negative то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть EvPozitive.
- Правило_8: Если ΔU_r есть Pozitive и $p\Delta U_r$ есть N то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть PozitiveK_{0u}.
- Правило_9: Если ΔU_r есть Pozitive и $p\Delta U_r$ есть Pozitive то fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$ есть PozitiveSum.

Вид термов переменных представлен на рисунке рис.5. а, б, в.

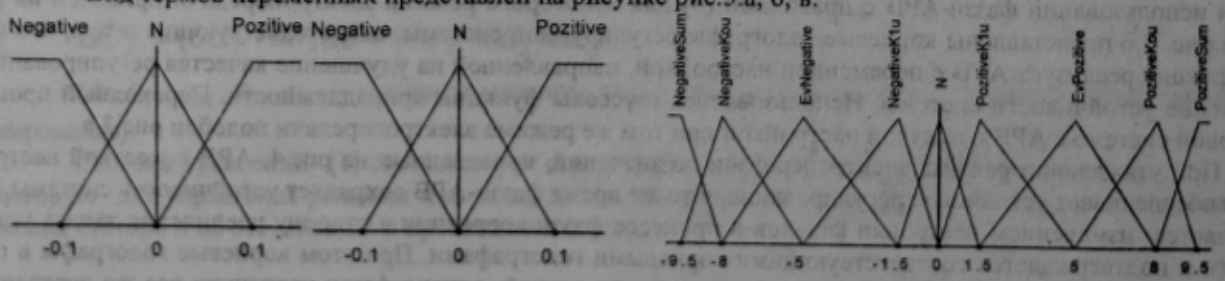


Рисунок 5 – Вид термов функций принадлежности для а) – отклонения напряжения ΔU_r ; б) – производной отклонения напряжения $p\Delta U_r$; в) – выхода нечеткого блока fuzzy_ $K_{0u} K_{1u}$.

Правило_1: Если ΔE_q есть Negative и $p\Delta E_q$ есть Negative то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть NegativeSum.

Правило_2: Если ΔE_q есть Negative и $p\Delta E_q$ есть N то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть NegativeK_{if}.

Правило_3: Если ΔE_q есть Negative и $p\Delta E_q$ есть Positive то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть EvNegative.

Правило_4: Если ΔE_q есть N и $p\Delta E_q$ есть Negative то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть NegativeK_{1if}.

Правило_5: Если ΔE_q есть N и $p\Delta E_q$ есть N то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть N.

Правило_6: Если ΔE_q есть N и $p\Delta E_q$ есть Positive то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть PositiveK_{1if}.

Правило_7: Если ΔE_q есть Positive и $p\Delta E_q$ есть Negative то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть EvPositive.

Правило_8: Если ΔE_q есть Positive и $p\Delta E_q$ есть N то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть PositiveK_{if}.

Правило_9: Если ΔE_q есть Positive и $p\Delta E_q$ есть Positive то $fuzzy_K_{if}K_{1if}$ есть PositiveSum.

Вид термов переменных представлен на рисунке рис.6.а, б, в.

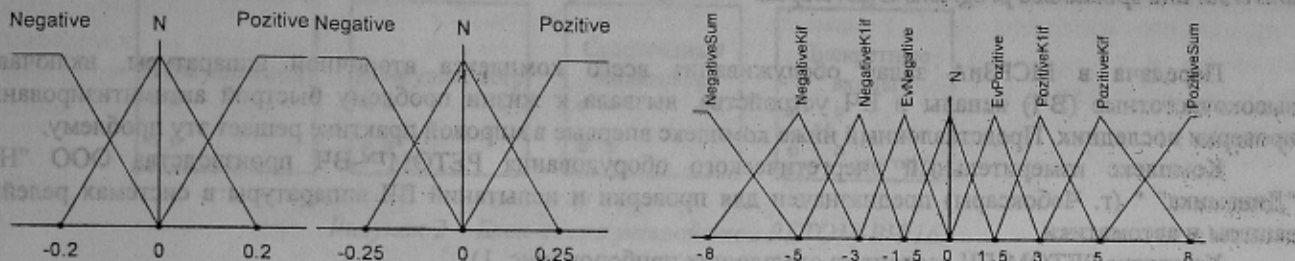
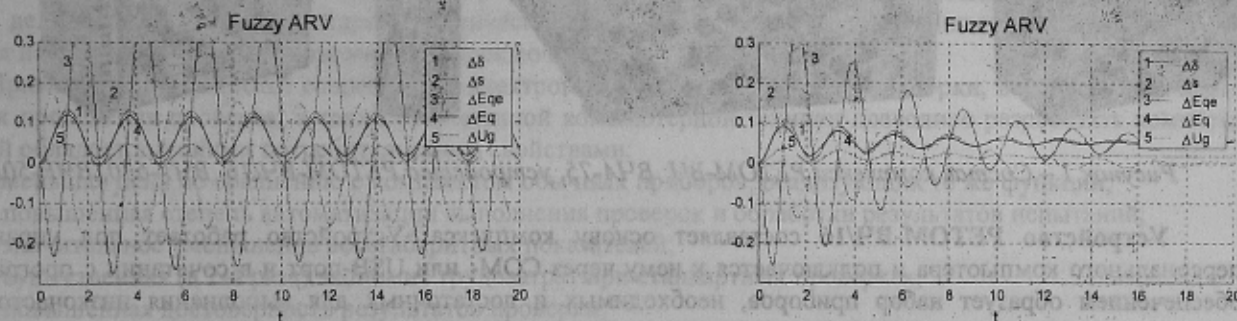


Рисунок 6 – Вид используемых термов функций принадлежности для а) – отклонения тока ротора ΔE_q ; б) – производной отклонения тока ротора $p\Delta E_q$; в) – выхода нечеткого блока $fuzzy_K_{if}K_{1if}$.

На рис.7 приведены решения уравнений динамики (1) с указанными параметрами режима электропередачи при использовании фаззи-АРВ с отдельными каналами (база правил (3)) и попарно объединенными каналами (база правил (4-5)), откуда видно, что предложенное объединение фаззи-каналов обеспечивает устойчивое регулирование в ситуации, когда фаззи-АРВ с отдельными каналами его практически не обеспечивает. АРВ с жесткой настройкой не обеспечивает устойчивость такой системы ни при какой настройке каналов.



$X_c = 0.79$ $P_g = 1$ $dPt = 0.02$ $U_g = 1.03$ $U = 1$

а)

б)

Рисунок 7 – Графики переходного процесса а) – с отдельными нечеткими блоками АРВ; б) – объединенными нечеткими блоками АРВ.

Обобщая полученные результаты можно сделать вывод о том, что фаззи-АРВ, обеспечивая адаптивное регулирование, имеет существенные преимущества по сравнению с АРВ с жесткой настройкой и имеет хорошие перспективы практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В.А. Веников. *Переходные электромеханические процессы в электрических системах*. – М.: Высшая школа, 1978. – 416с.
- 2 Дьяконов В, Круглов В. *Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник*. – СПб: Петербург, 2001. – 480 с.: ил.
- 3 Леоненко А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.

Рекомендовано до друку д.т.н. проф. Рогозиним Г.Г.