

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

302-1

20-22 октября 2022 года

УДК 621.316.722

В.Е. ЗЫКОВ, инженер-исследователь (ВятГУ), г. Киров
Т.А. ПЛЕШКОВА, к.т.н., доцент (ВятГУ), г. Киров

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАНАЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ПО ПРОИЗВОДНОЙ ТОКА РОТОРА НА СТАТИЧЕСКУЮ
КОЛЕБАТЕЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ,
ОСНАЩЕННЫХ РЕГУЛЯТОРАМИ ТИПА АРВ-М**

С развитием современной вычислительной техники всё большее распространения получают устройства релейной защиты и автоматики на микропроцессорной базе, что охватывает, в том числе, автоматические регуляторы возбуждения синхронных генераторов.

Вопрос о влиянии регулирования возбуждения по производной тока ротора на границы колебательной статической устойчивости неоднократно поднимался в прошлом при исследованиях задач, связанных с принципами регулирования возбуждения синхронных генераторов[1]. Однако с растущим распространением микропроцессорных регуляторов интерес может представлять актуализация полученных выводов для этого типа регуляторов.

В данной работе, рассматривается теоретическая возможность применения канала регулирования по производной тока ротора для улучшения условий устойчивости в режимах выдачи реактивной мощности.

Расчетная схема содержит эквивалентный блок генератор-трансформатор, работающий через внешнюю сеть, содержащую нагрузки и ЛЭП 500 кВ и 220 кВ, на мощную энергосистему. При расчетах внешняя сеть замещается собственной и взаимной проводимостями.

По условиям исследования, четыре генератора типа ТГВ-500 оснащены регуляторами возбуждения типа АРВ-М, структура исследуемого регулятора принималась в соответствии с [2] а закон регулирования имеет вид:

$$\begin{aligned}\Delta U_f(1 + 0,013p) &= \Delta\omega \left(\frac{2pK_{0\omega}}{(1 + 2p)(1 + 0,02p)} + \frac{pK_{1\omega}}{(1 + 0,05p)^2} \right) + \\ &+ \Delta U_1 \left(-K_{0U} - \frac{pK_{1U}}{(1 + 0,02p)(1 + 0,06p)} \right) - \frac{\Delta E_q \cdot K_{1If} \cdot p}{1 + 0,065p}.\end{aligned}$$

Коэффициенты настройки каналов регулирования были приняты равными:

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

302-2

20-22 октября 2022 года

$$K_{0U} = 200 \frac{\text{ед.возд.хх}}{\text{ед.напр.ст}}; K_{1U} = 6 \frac{\text{ед.возд.хх}}{\text{ед.напр.ст/с}}.$$

Анализ устойчивости производился методом D-разбиения по двум параметрам в плоскости коэффициентов каналов стабилизации регулятора $K_{0\omega}$ и $K_{1\omega}$. Также учитывалась зона реализуемых коэффициентов регулятора, ограниченная достижимыми диапазонами изменения коэффициентов каналов стабилизации:

$$K_{0\omega} \in [0; 4,8] \frac{\text{ед.возд.хх}}{\text{рад/с}}; K_{1\omega} \in [0; 1,6] \frac{\text{ед.возд.хх}}{\text{рад/с}^2}.$$

Влияние демпферных контуров учитывалось согласно методике, изложенной в [3]. Расчеты производились без учета влияния ограничений минимального возбуждения. Для анализа устойчивости производилось отыскание максимальной и реализуемой степеней устойчивости, а также оптимальных коэффициентов настройки каналов стабилизации. Здесь и далее по тексту под реализуемой степенью устойчивости понимается максимальная степень устойчивости, достижимая в области реализуемых коэффициентов регулятора.

Таблица 1

Расчетные показатели устойчивости

Режим		1	2	3	4
С учётом демпферного контура массива ротора без введения канала регулирования возбуждения по производной тока ротора					
Загрузка генераторов		4x500 МВт 4x68,7 Мвар	4x500 МВт 4x181 Мвар	3x500 МВт 3x-61 Мвар	1x400 МВт 1x-81 Мвар
Полный угол электропередачи	δ_0	88,1°	107,1°	86,7°	90,0°
Максимальная степень устойчивости	α_{\max}	3,65	3,25	4,125	4
Коэффициенты точки максимальной степени устойчивости	$K_{0\omega}$	6,58	9,0216	-2,63	3,06
	$K_{1\omega}$	0,8	0,5106	1,55	1,07
Реализуемая степень устойчивости	α'_{\max}	2,25	1,0	1,875	4
Коэффициенты точки реализуемой степени устойчивости	$K'_{0\omega}$	4,75	4,75	0,1	3,06
	$K'_{1\omega}$	1,2	1,31	1,55	1,07

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

302-3

20-22 октября 2022 года

Продолжение табл.1.

С учётом демферного контура массива ротора при введении канала регулирования возбуждения по производной тока ротора					
Максимальная степень устойчивости	α_{\max}	1,875	2	1,125	1,5
Реализуемая степень устойчивости	α'_{\max}	0,75	-	1	1

Анализ устойчивости производился для четырёх режимов исследуемой сети, при различных схемно-режимных условиях, однако основное значение имеет различная загрузка генераторов.

Кривые D-разбиения строились в контексте решения задачи поиска коэффициентов каналов стабилизации $K_{0\omega}$ и $K_{1\omega}$. Результаты отыскания максимальной и реализуемой степеней устойчивости для каждого отдельного режима приведены в таблице 1.

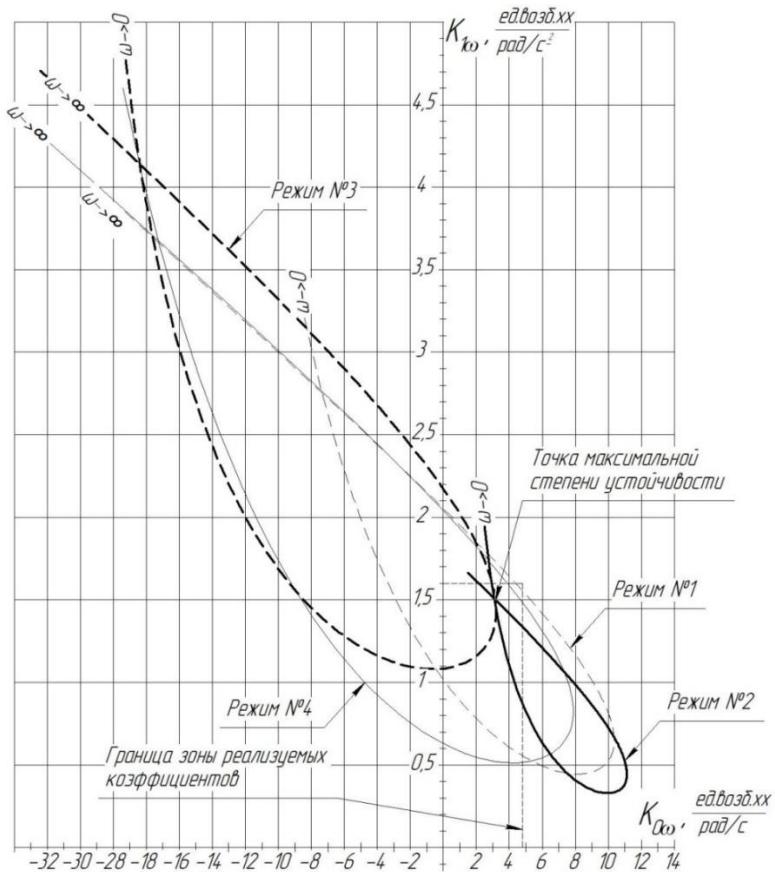


Рис.1 – Решение задачи настройки каналов стабилизации (Расчетная степень устойчивости $\alpha=0,64$).

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

302-4

20-22 октября 2022 года

Графическое решение задачи поиска коэффициентов для отключенного канала регулирования по производной тока ротора представлено на рис.1. Из этих построений видно, что реализуемая степень устойчивости ограничивается наиболее тяжелым режимом выдачи реактивной мощности и наиболее тяжелым режимом недовозбуждения (табл. 1, реж. №2 и реж. №3).

При введении в работу канала регулирования по производной тока ротора область устойчивости значительно расширяется, что было показано ранее в (1) и подтверждается расчетами в текущем исследовании. Однако область устойчивости быстро вырождается с увеличением расчетной степени устойчивости. При этом расширение зоны устойчивости в режимах недовозбуждения оказывается столь значительным, что эта зона полностью охватывает область реализуемых коэффициентов, это свидетельствует о возможности стабилизации работы регулятора в режимах недовозбуждения только за счет канала регулирования по производной тока ротора независимо от настроек каналов стабилизации.

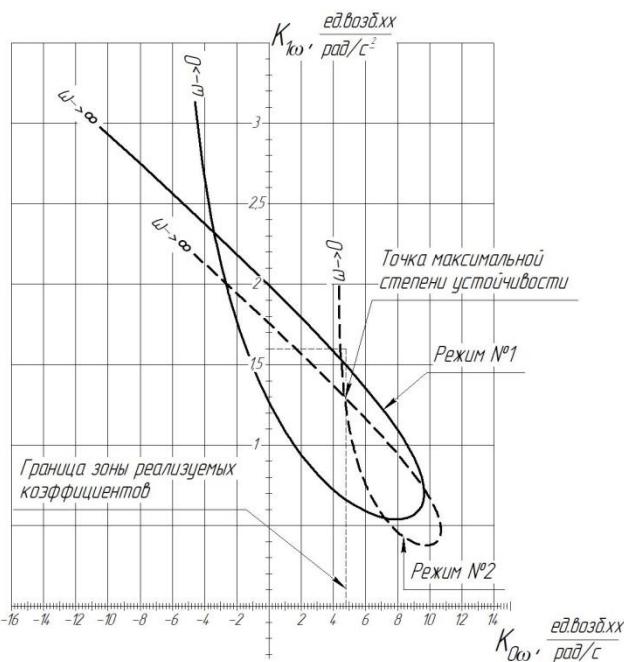


Рис.2. – Решение задачи настройки каналов стабилизации для режимов выдачи реактивной мощности (Расчетная степень устойчивости $\alpha=0,97$).

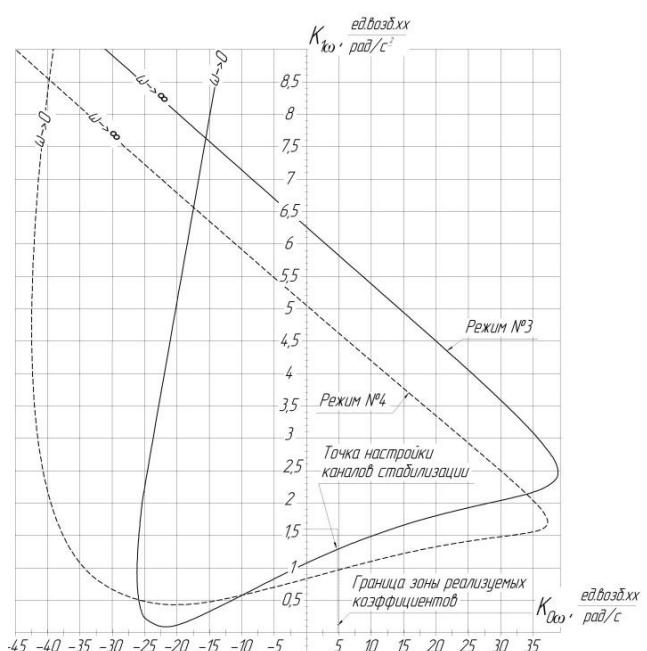


Рис.3. – Решение задачи настройки каналов стабилизации для режимов недовозбуждения (Расчетная степень устойчивости $\alpha=0,74$).

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

302-5

20-22 октября 2022 года

Такая постановка вопроса позволяет предположить, что если канал регулирования по производной тока ротора входит в структуру регулятора по подключаемой схеме и может вводиться или выводиться устройствами автоматики, то задача настройки каналов стабилизации может решаться отдельно для рабочих режимов выдачи реактивной мощности и режимов недовозбуждения, предполагая, что стабилизация регулятора в режимах недовозбуждения перекладывается на канал регулирования по производной тока ротора.

Для исследуемой схемы было выполнено решение задачи настройки каналов стабилизации с применением данного подхода. При выборе настройки каналов стабилизации оптимальными для режимов выдачи реактивной мощности реализуемая степень устойчивости возросла до 0,98 (рис. 2). При этом в режимах недовозбуждения (табл. 1, реж. №3 и реж. №4) сохраняется реализуемая степень устойчивости 0,74 (рис. 3) при введении канала регулирования по производной тока ротора, но сохранении настроек каналов стабилизации оптимальными для режимов выдачи реактивной мощности.

Расчеты областей устойчивости и анализ построений позволяют сделать следующие выводы:

1. Положительным влиянием регулирования по производной тока ротора можно считать значительное расширение области устойчивости в режимах недовозбуждения, которое позволяет обеспечивать устойчивость в широком диапазоне режимов недовозбуждения, независимо от настройки каналов стабилизации.
2. Предполагая, что канал регулирования по производной тока ротора будет вводиться в работу лишь в режимах недовозбуждения, возможно решать задачу настройки регулятора в диапазоне режимов выдачи реактивной мощности, отбрасывая режимы недовозбуждения и получая возможность обеспечить больший декремент затуханий.
3. При выборе настройки регулятора оптимальной для режимов выдачи реактивной мощности, требуется проверка условий устойчивости в режимах недовозбуждения при введении канала регулирования по производной тока ротора.
4. Уменьшение максимальной степени устойчивости при активном канале регулирования по производной тока ротора, т.е. быстрое вырождение области устойчивости с увеличением степени устойчивости, позволяет говорить об отрицательном влиянии данного канала регулирования на устойчивость в режимах выдачи реактивной мощности.

Список литературы:

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

302-6

20-22 октября 2022 года

1. Плешкова Т.А., Рагозин А. А. Влияние регулирования по производной тока ротора на статическую устойчивость генераторов при учете их демпферных контуров.// Энергетика – М.: Изв. вузов.- 1987. - № 11.- С. 46-50
2. Реализация системных функций АРВ сильного действия синхронных генераторов / А. Л. Комков, Е. Н. Попов, Н. Ю. Филимонов [и др.] // Электрические станции. – 2019. – № 2(1051). – С. 33-36. – EDN ZABMOD.
3. Плешкова Т.А., Рагозин А. А. Моделирование массива ротора турбогенератора при решении задач статической устойчивости.// Энергетика – М.: Изв. вузов.- 1988.- № 11.- С. 46-50

Информация об авторах:

Зыков Владислав Евгеньевич, аспирант гр. ЭЭа-1801, инженер-исследователь, ВятГУ, 610000, Российская Федерация, Кировская область, г. Киров , ул. Московская, д. 36, usr22734@vyatsu.ru

Плешкова Татьяна Алексеевна, к.т.н., доцент, ВятГУ, 610000, Российская Федерация, Кировская область, г. Киров , ул. Московская, д. 36, usr00318@vyatsu.ru