

АНАРЭС - Динамика

Блок моделирования
электромеханических переходных
процессов

Информация о ПВК АНАРЭС

- **1989-2000** - АНАРЭС-DOS
УР, Оптимизация, Утяжеление, Динамика (с учетом ВПТ), ТКЗ, Надежность
 - **2000** - создание новой версии ПВК АНАРЭС-2000 для работы под операционными системами семейства Windows
УР, Оптимизация, Утяжеление
 - **2000-2005** - Реализация в Windows-версии таких задач как:
Динамика, ТКЗ, Надежность, ОКЗ.
 - **2005** – разработка блока моделирования ПАА
 - **2006** - учет ПАА в Динамике, улучшение сервиса и возможностей программ
-

Коллектив разработчиков

- **ООО ИДУЭС** (г. Новосибирск) – 3 разработчика занятых в проекте
- **ЗАО Энергетические технологии** (г. Иркутск) – 5 разработчиков занятых в проекте
- **ИСЭМ СО РАН** – 3 научных сотрудника постоянно занятых в проекте. Научная база.

Ведущие разработчики:

- Шепилов Олег Николаевич
 - Ушаков Евгений Иванович
 - Домышев Александр Владимирович
 - Осак Алексей Борисович
 - Вымятнин Андрей Александрович
-

Выполненные работы

- ❑ Проведена серия расчетов на схеме ОДУ Средней волги
 - ❑ Результаты сопоставлены с расчетами проведенными на программе Мустанг
 - ❑ Выполнено теоретическое сравнение моделей АНАРЭС и Мустанг
 - ❑ Проведено сравнение на тестовом примере
 - ❑ Проанализировано соответствие моделей АНАРЭС и тех. задания НИИПТ
-

АНАРЭС - Динамика

- Обзор программы
 - Применяемые технологии
 - Пути развития с учетом технического задания НИИПТ
-

Серия расчетов на схеме ОДУ

- 3-хфазное к.з. на шинах 500 кВ БАЭС
 - 3-хфазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Вешкайма с отключением ВЛ-500 Арзамас-Вешкайма
 - 3-хфазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Помары с отключением ВЛ-500 ЧеГЭС-Помары
 - Исходный режим - в ремонте ВЛ-500 ЧеГЭС-Нижегородская. к.з. на шинах 500 кВ ЗайГРЭС, отключается ВЛ-500 ЗайГРЭС-Киндери, действует САОН 600 МВт Северного энергорайона
 - АРПТ ВЛ-220 БАЭС-Степная из-за превышения допустимого тока по ВЛ-220 СарГЭС-Центральная и СарГЭС-Балаковская
-

Отличия в исходных данных

- Задание балансирующего узла (системы)
В Мустанге шины бесконечной мощности заданы сопротивлением $X' = 0,435 \text{ Ом}$

Шины бесконечной мощности в АНАРЭС заданы в виде генератора со следующими параметрами:

Р ном.	X_d	X_q	$X'd$	T_j	T_{do}
10000000	0,5	0,1	0,1	1	10000

Так как шины бесконечной мощности заданы за сопротивлением $X' = 0,435 \text{ Ом}$, то в схему ввели дополнительную ветвь 25-25000 с сопротивлением $X = 0,435 \text{ Ом}$.

Генератор, задающий шины бесконечной мощности задан в узле 25000

Отличия в исходных данных

- Для двух генераторов заданных в Мустанге как E' за X' (узлы 2915, 2925) в АНАРЭС задано

$$X_q = X'_d = X'$$

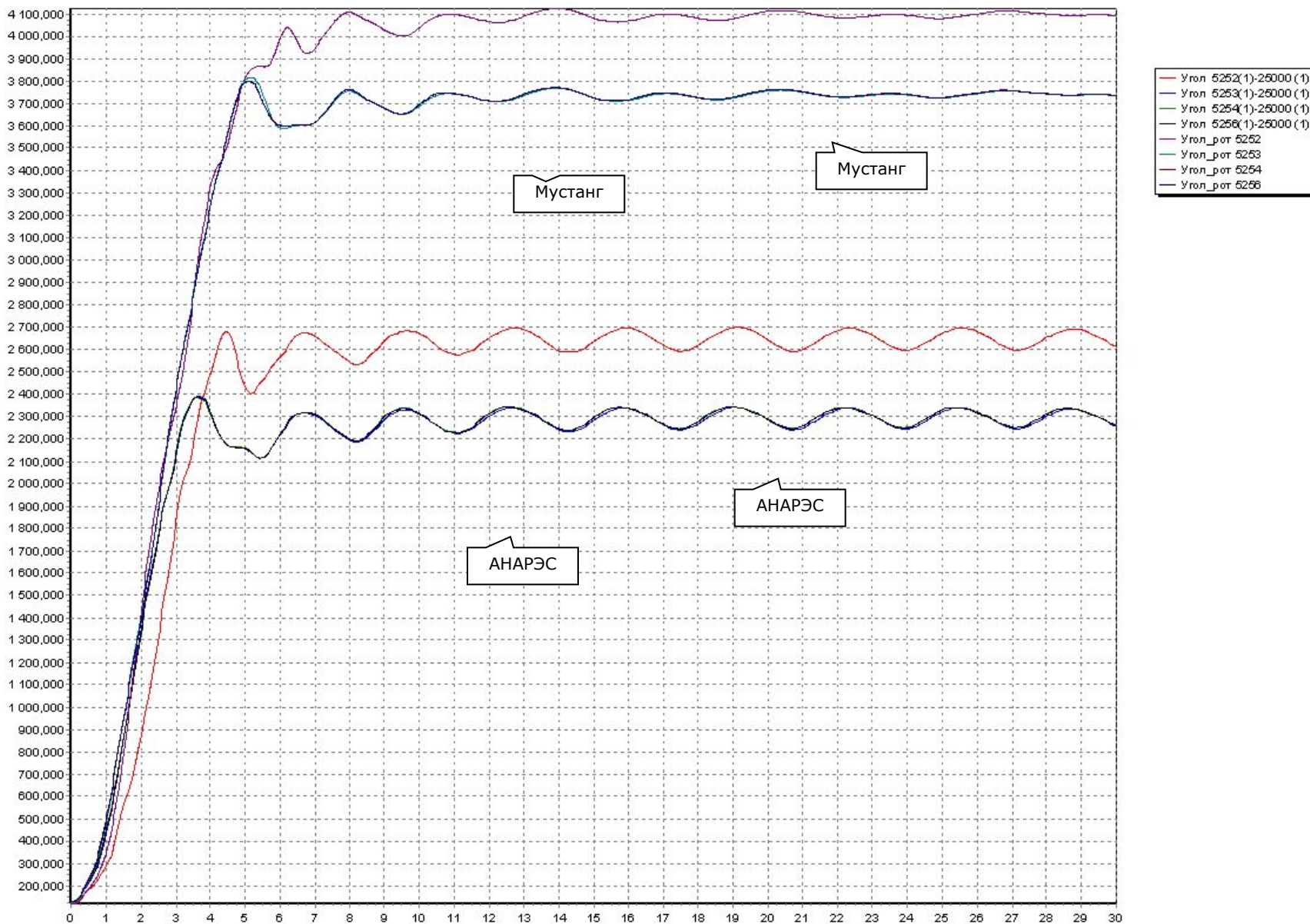
и

$$T_{d0} = 10000$$

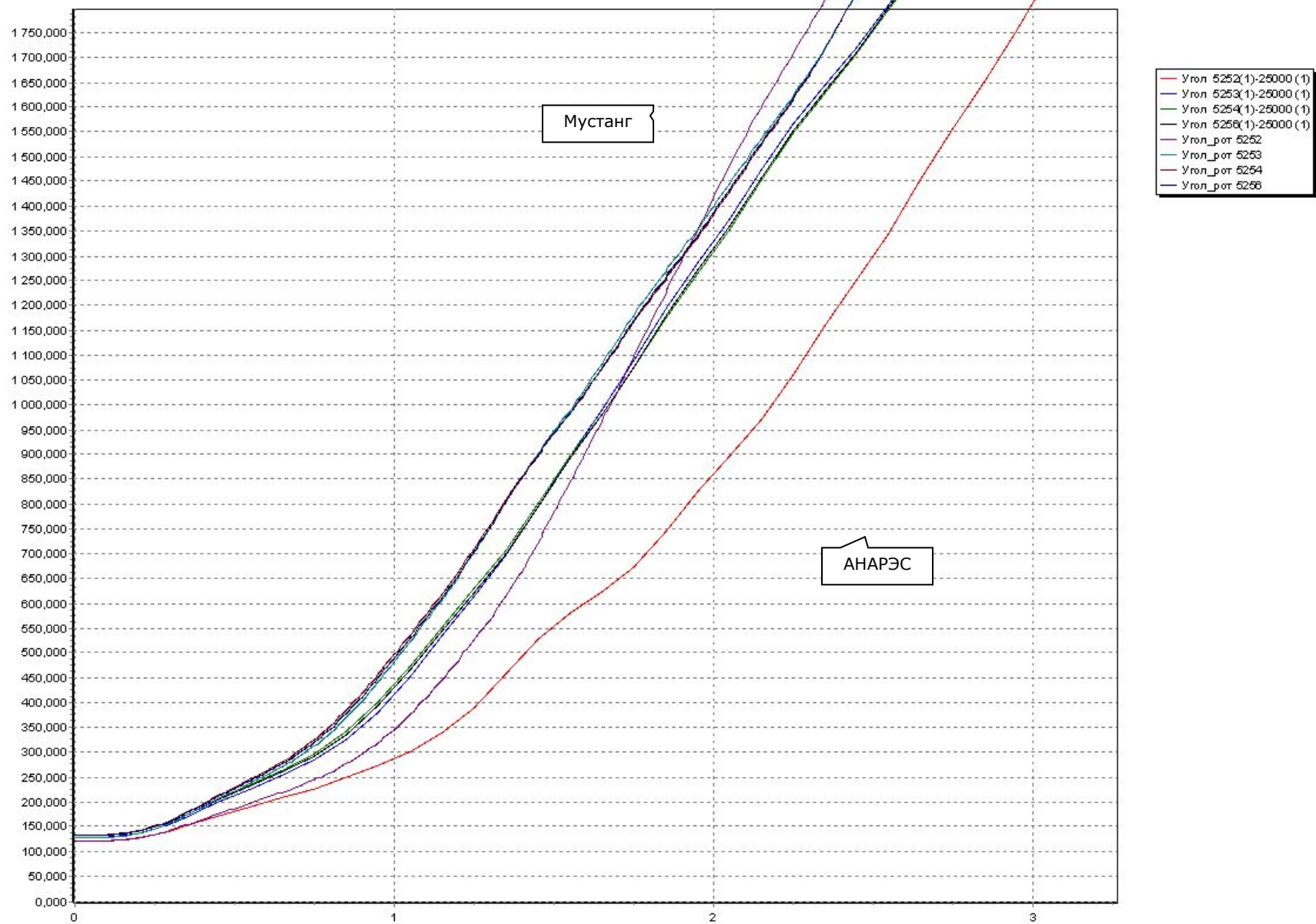
- Заданы значения X_σ из справочника
-

Отличия в исходных данных

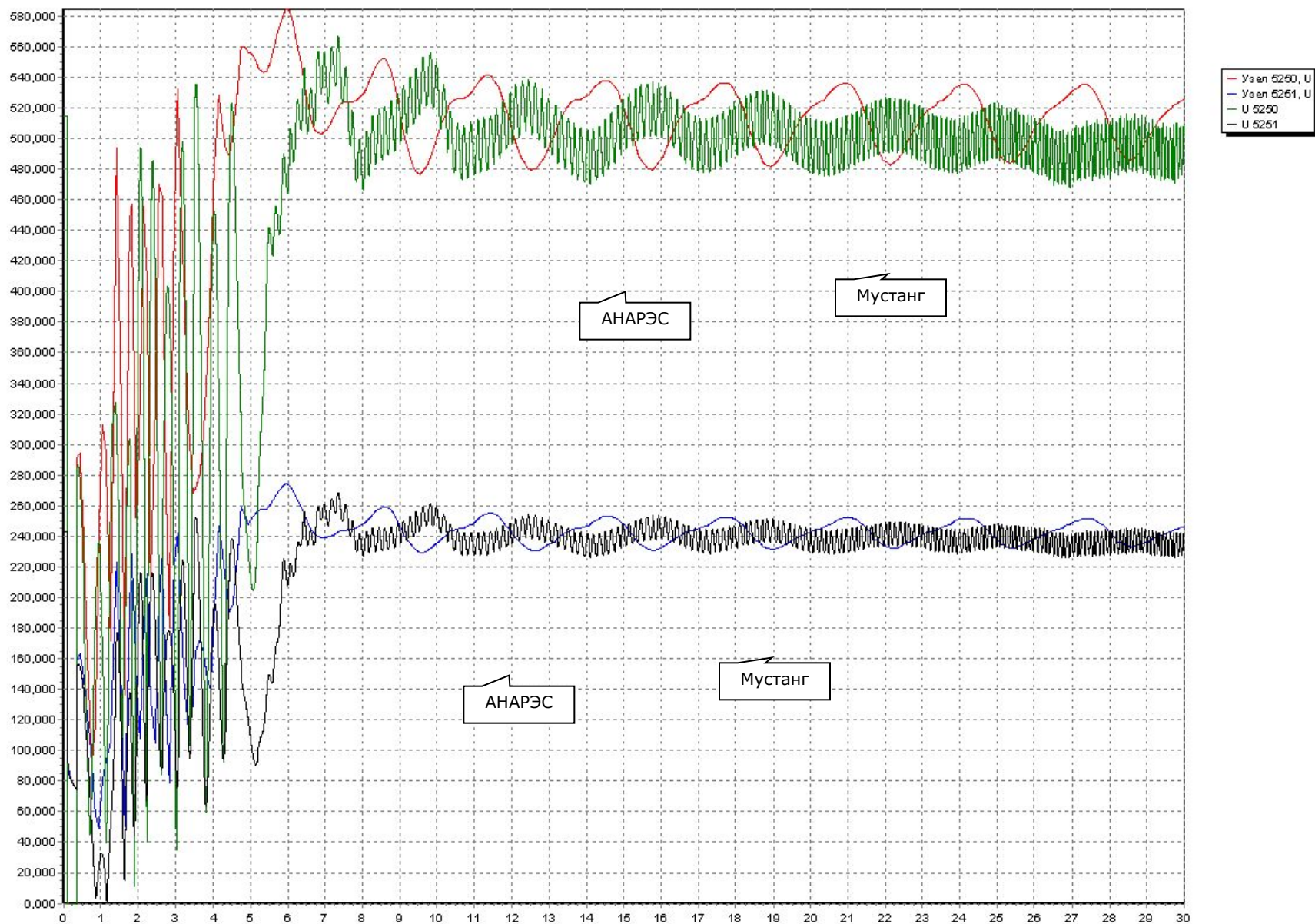
- Для АРВ в АНАРЭС взяты типовые значения недостающих постоянных времени, которые отсутствуют в Мустнге
(T_{du} , T_f , T_{f0} , T_{df} , T_{dif}).
 - Для АРВ СД в АНАРЭС исправлен коэффициент гибкой обратной связи по току возбуждения K'_{if} на типовой
-



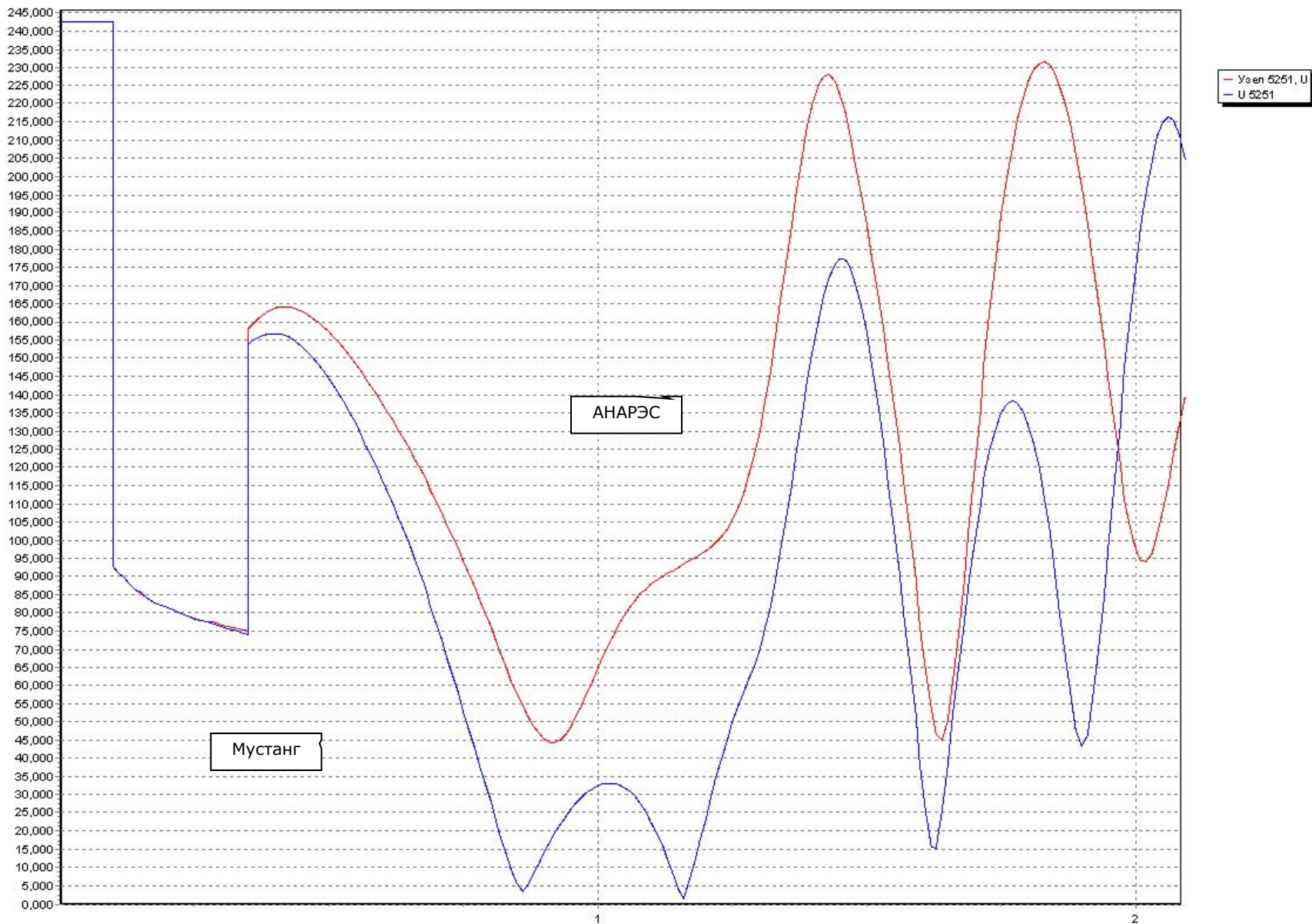
3-х фазное К.З. на шинах 500 кВ БАЭС. Время отключения 0,25
углы генераторов БАЭС



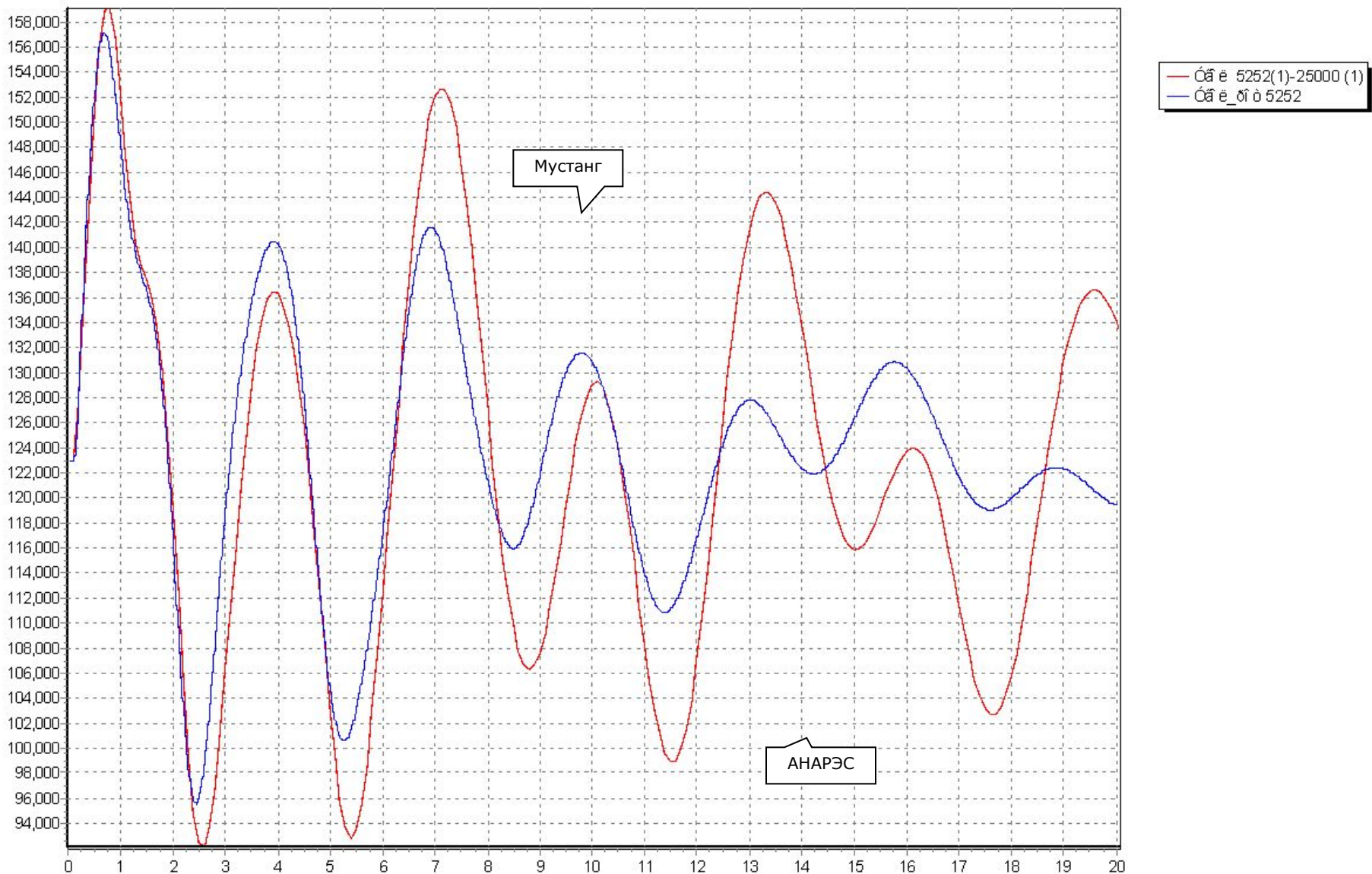
Начальный момент



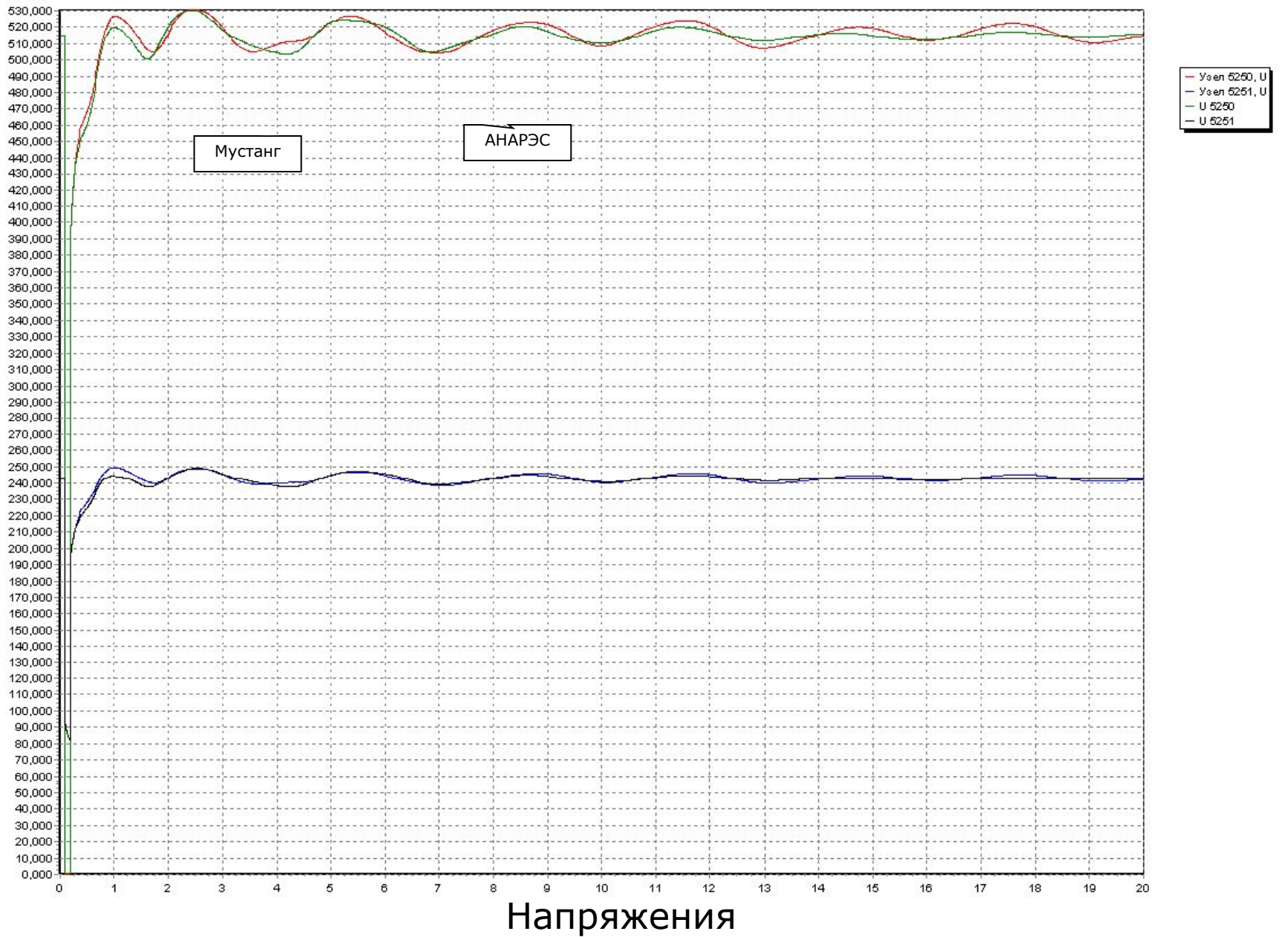
Изменение напряжений

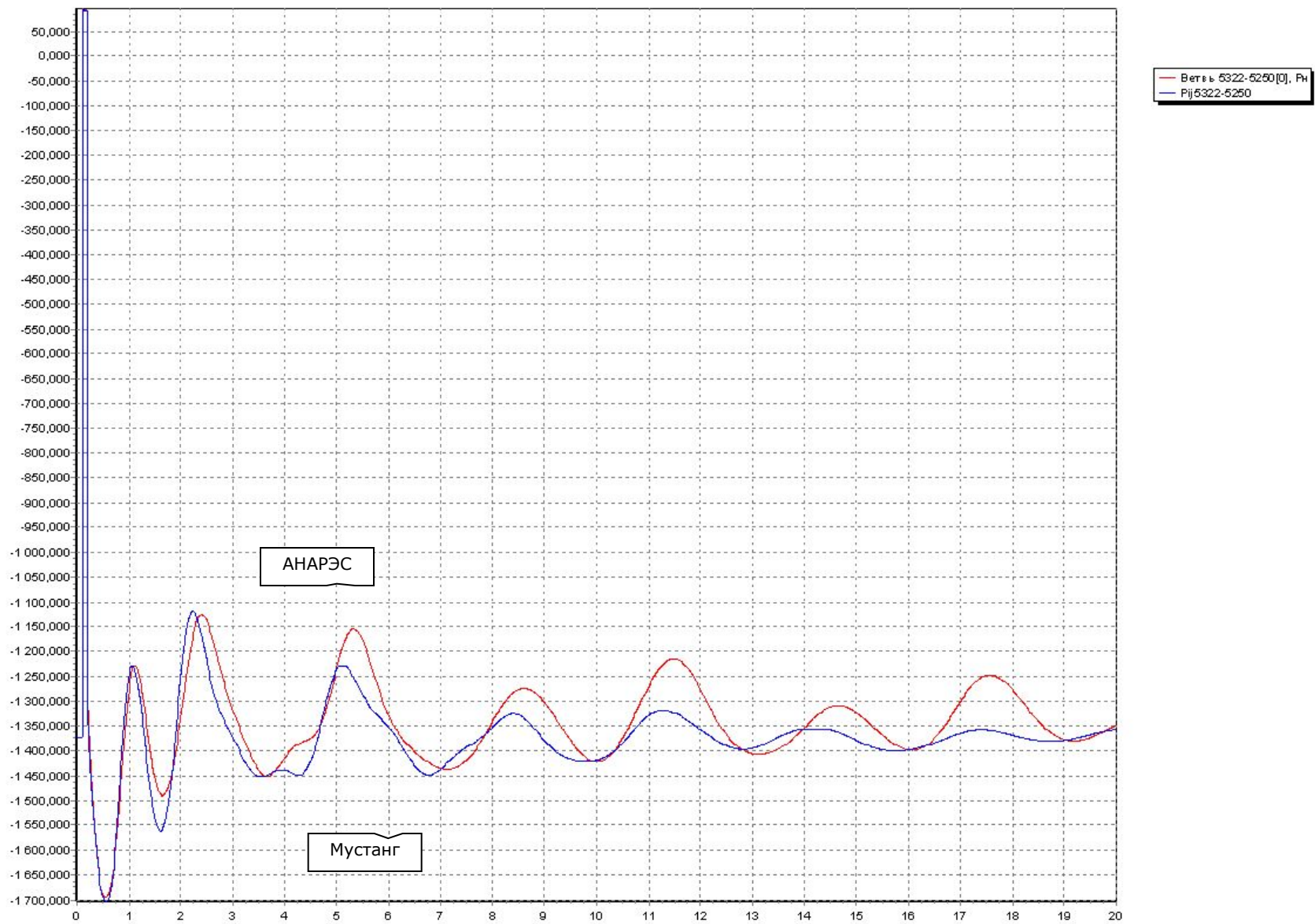


Изменение напряжений. Начальный момент



3-х фазное К.З. на шинах 500 кВ БАЭС. Время отключения 0,1
 угол ротора СМ 5252



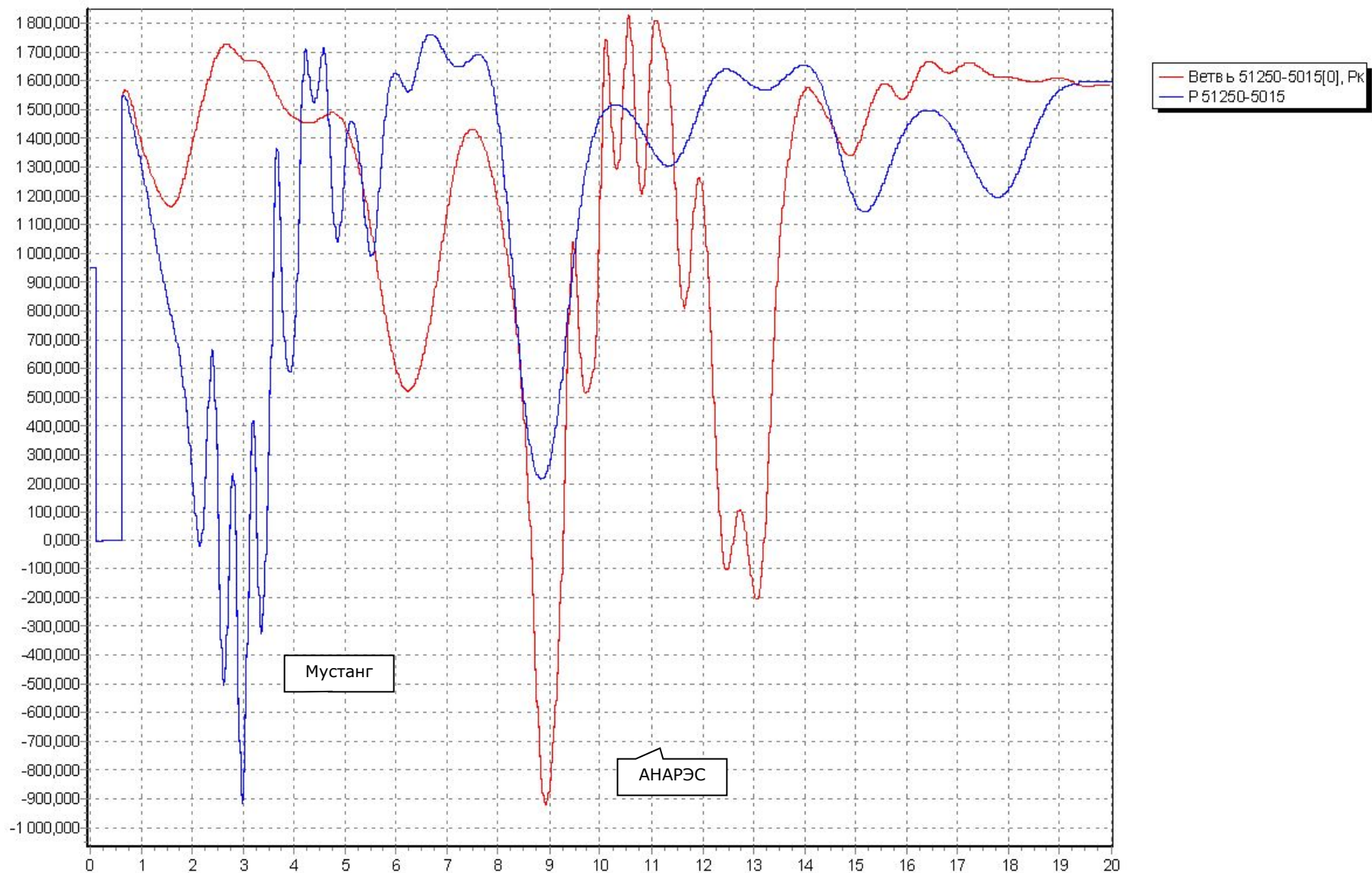


Переток по ветви 5322-5250

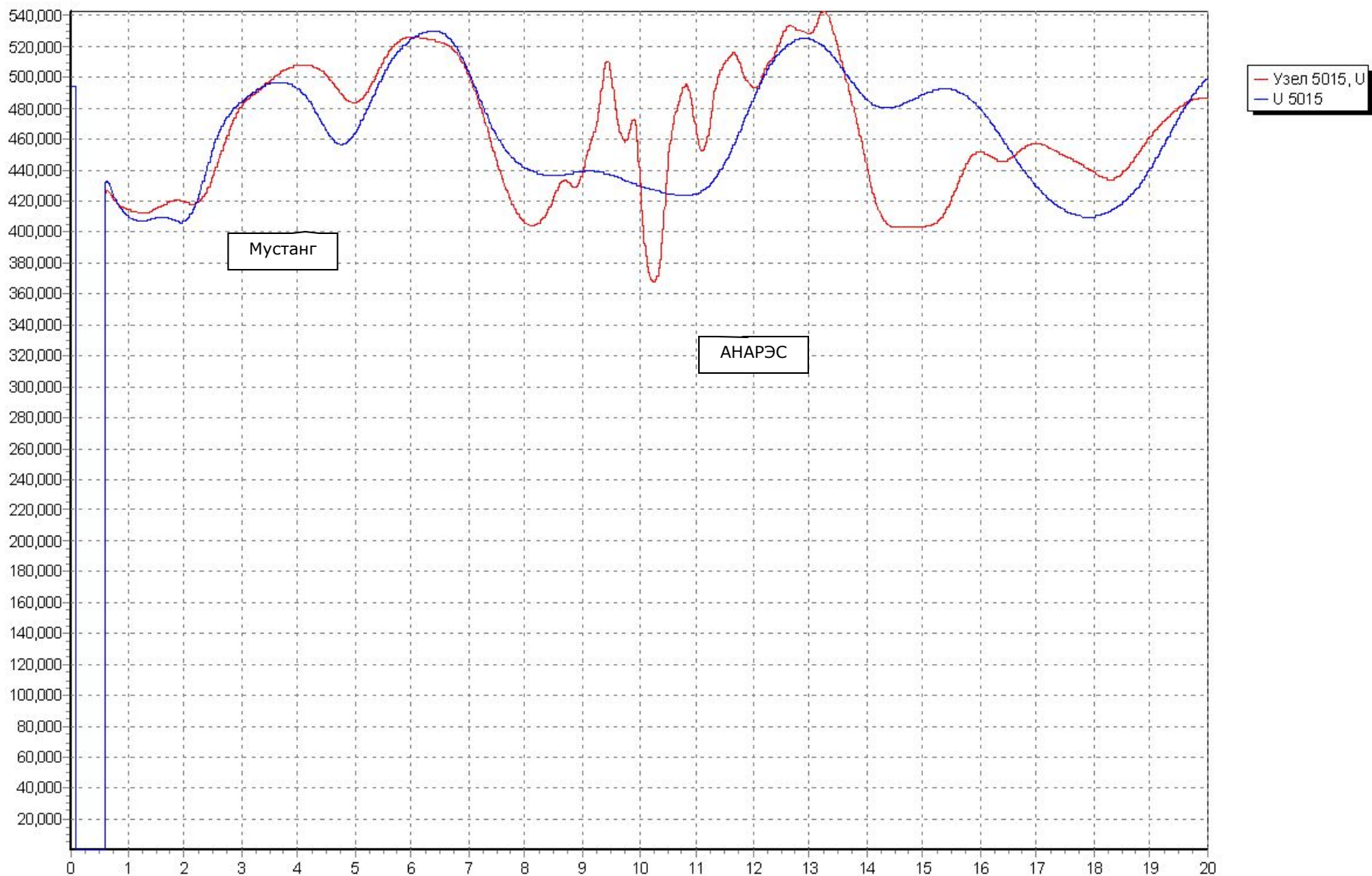
3-х фазное К.З. на шинах 500 кВ БАЭС

- Предельное время отключения АНАРЭС
0,14 сек

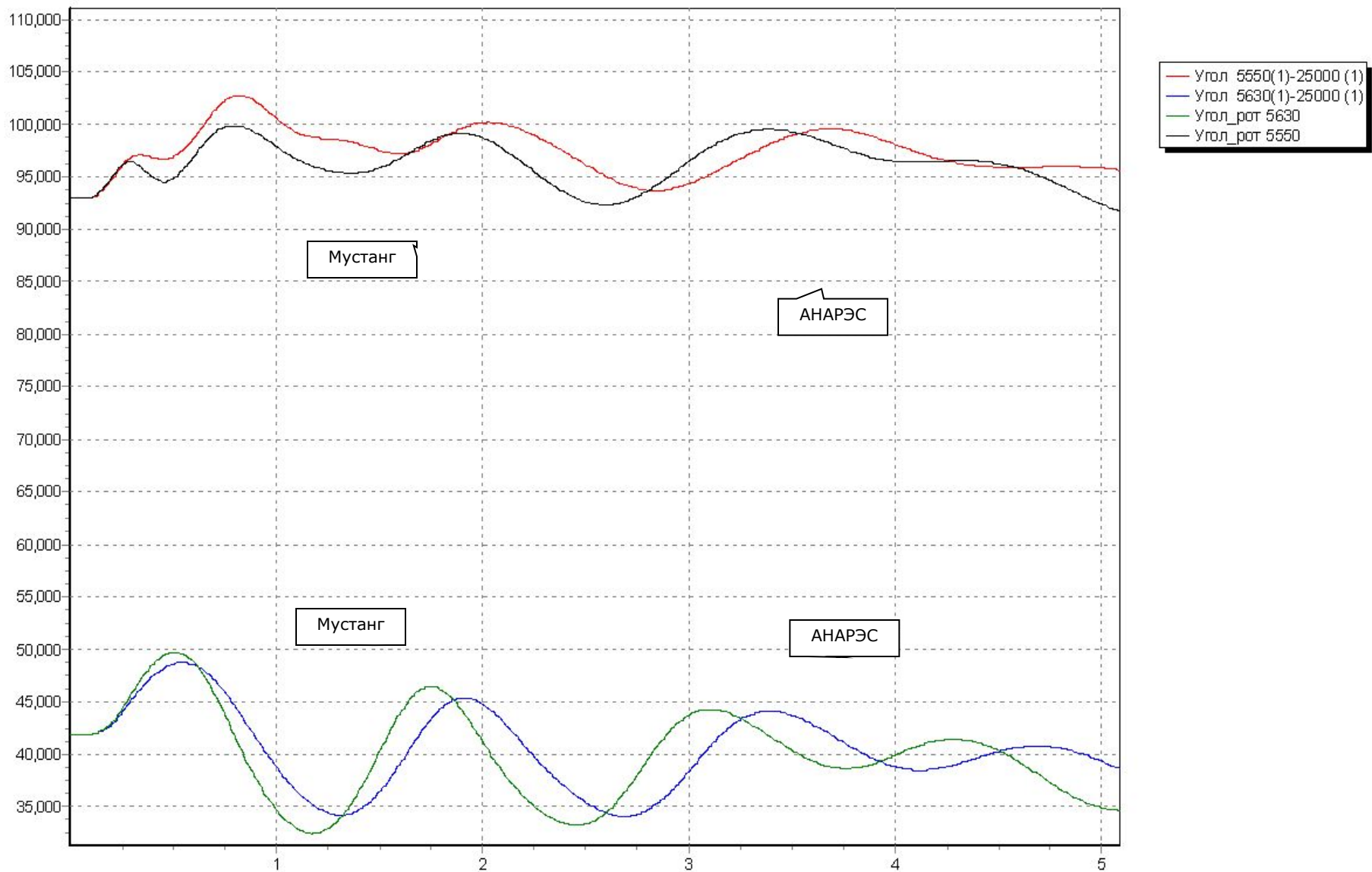
 - Предельное время отключения Мустанг
0,19 сек
-



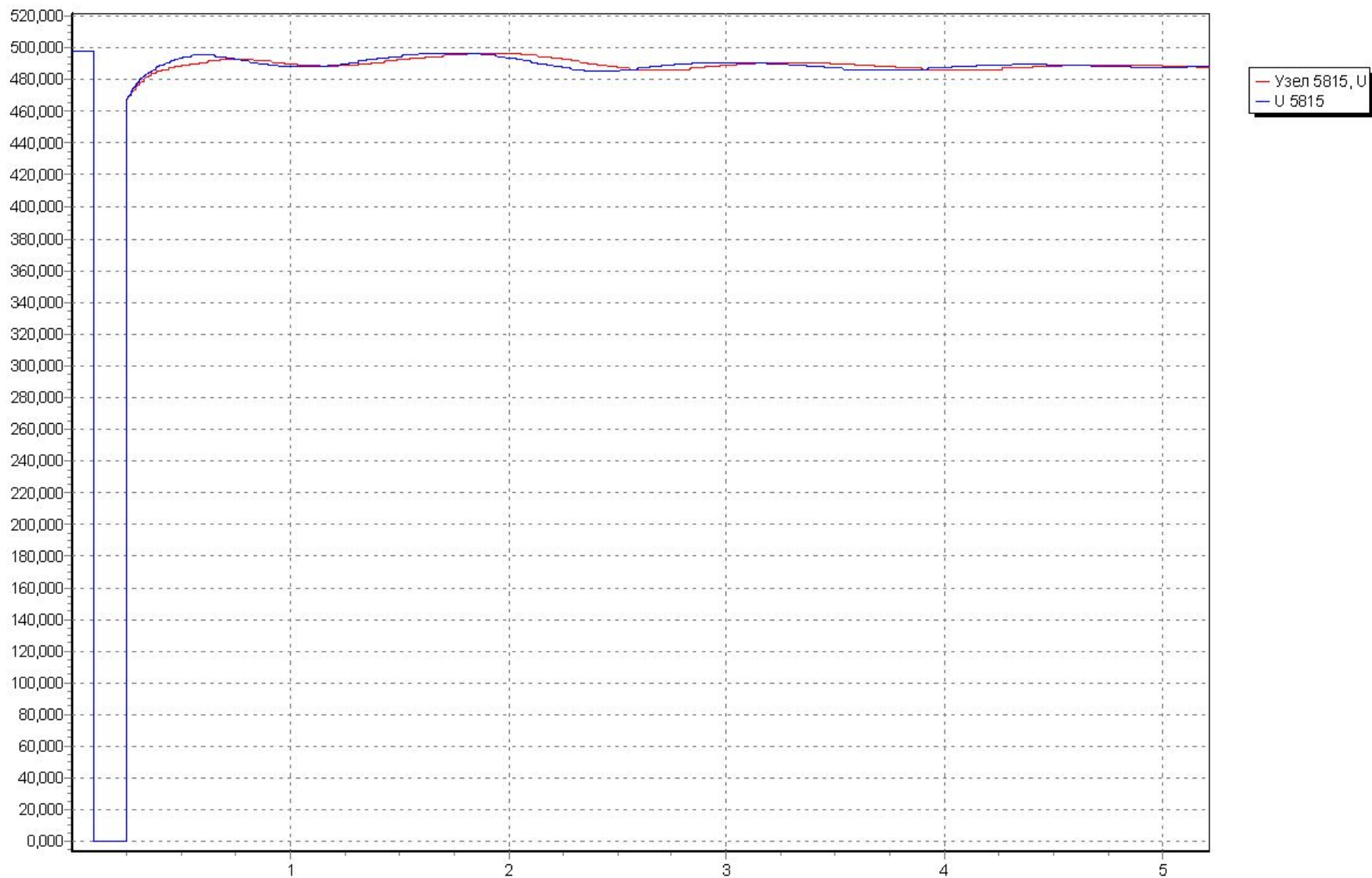
3-хфазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Вешкайма с отключением ВЛ-500 Арзамас-Вешкайма. Переток по линии Осиновка-Вешкайма



3-фазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Вешкайма с отключением ВЛ-500 Арзамас-Вешкайма. U в узле 5015 (Вешкайма)



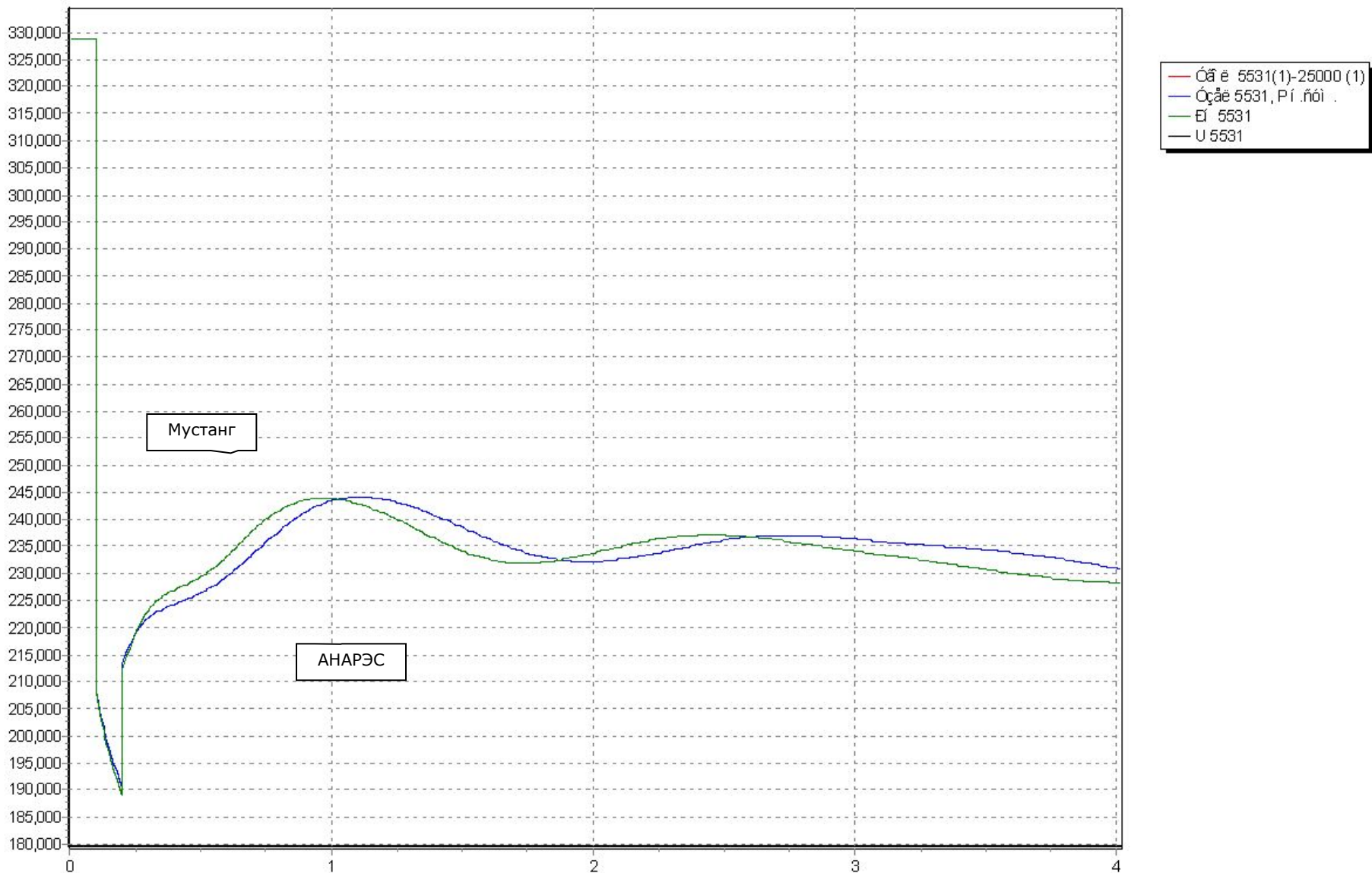
3-хфазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Помары с отключением ВЛ-500
 ЧеГЭС-Помары. Углы генераторов ЗайГРЭС и ЧеГЭС



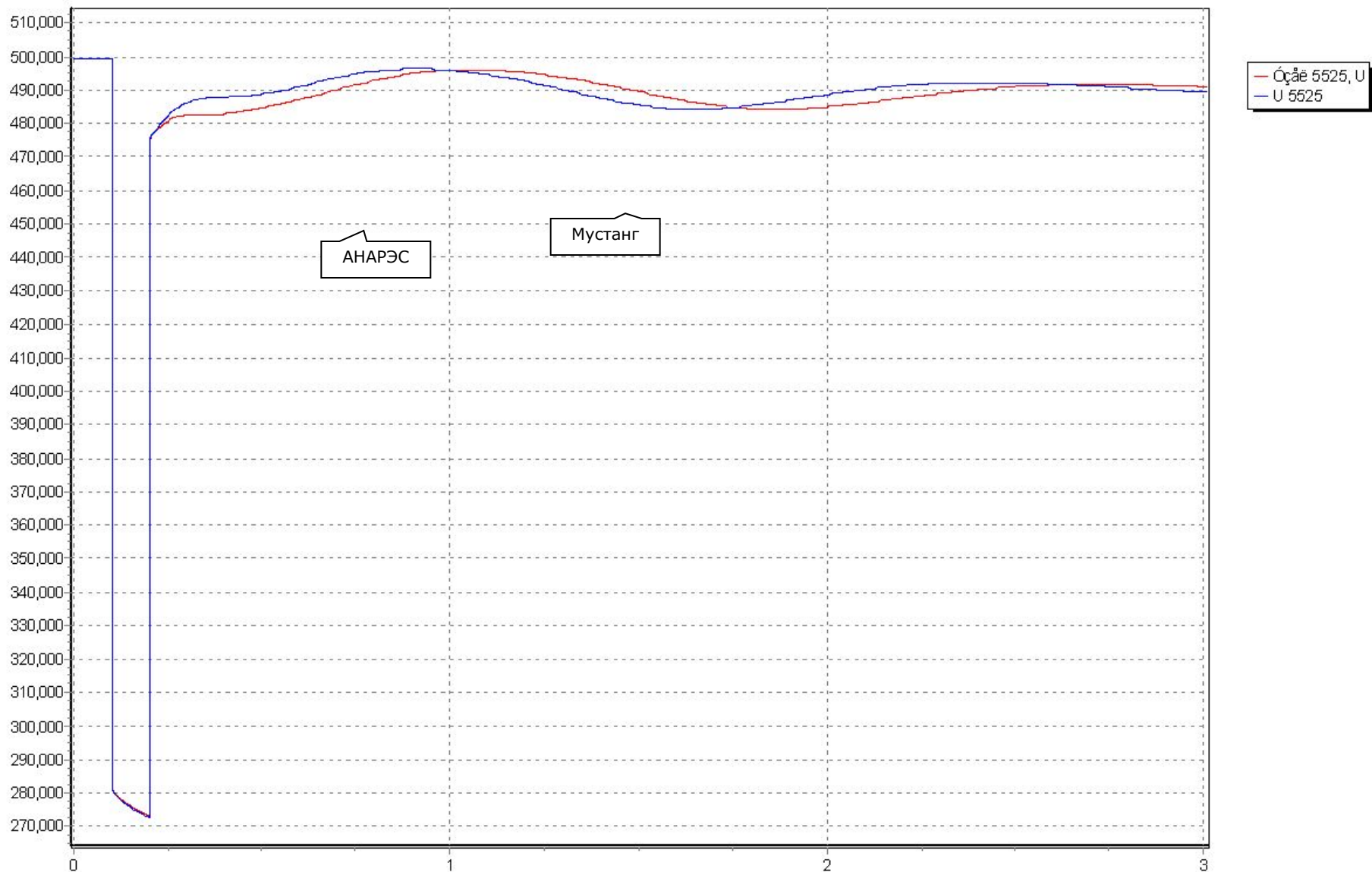
3-фазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Помары с отключением ВЛ-500
ЧеГЭС-Помары. U 5015 (Помары)



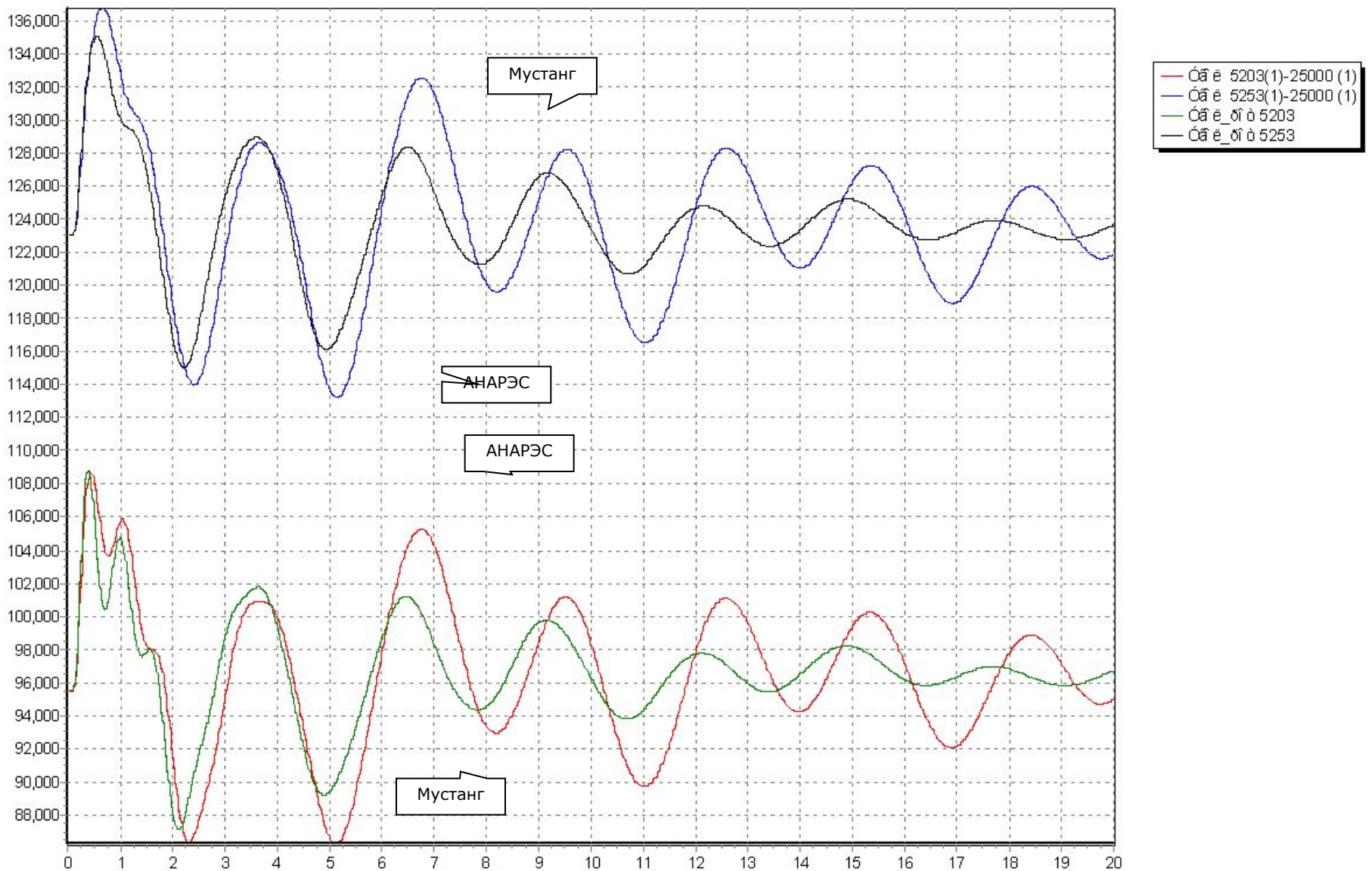
3-хфазное к.з. на шинах 500 кВ ПС Помары с отключением ВЛ-500
 ЧеГЭС-Помары. Переток ЧеГЭС - Помары



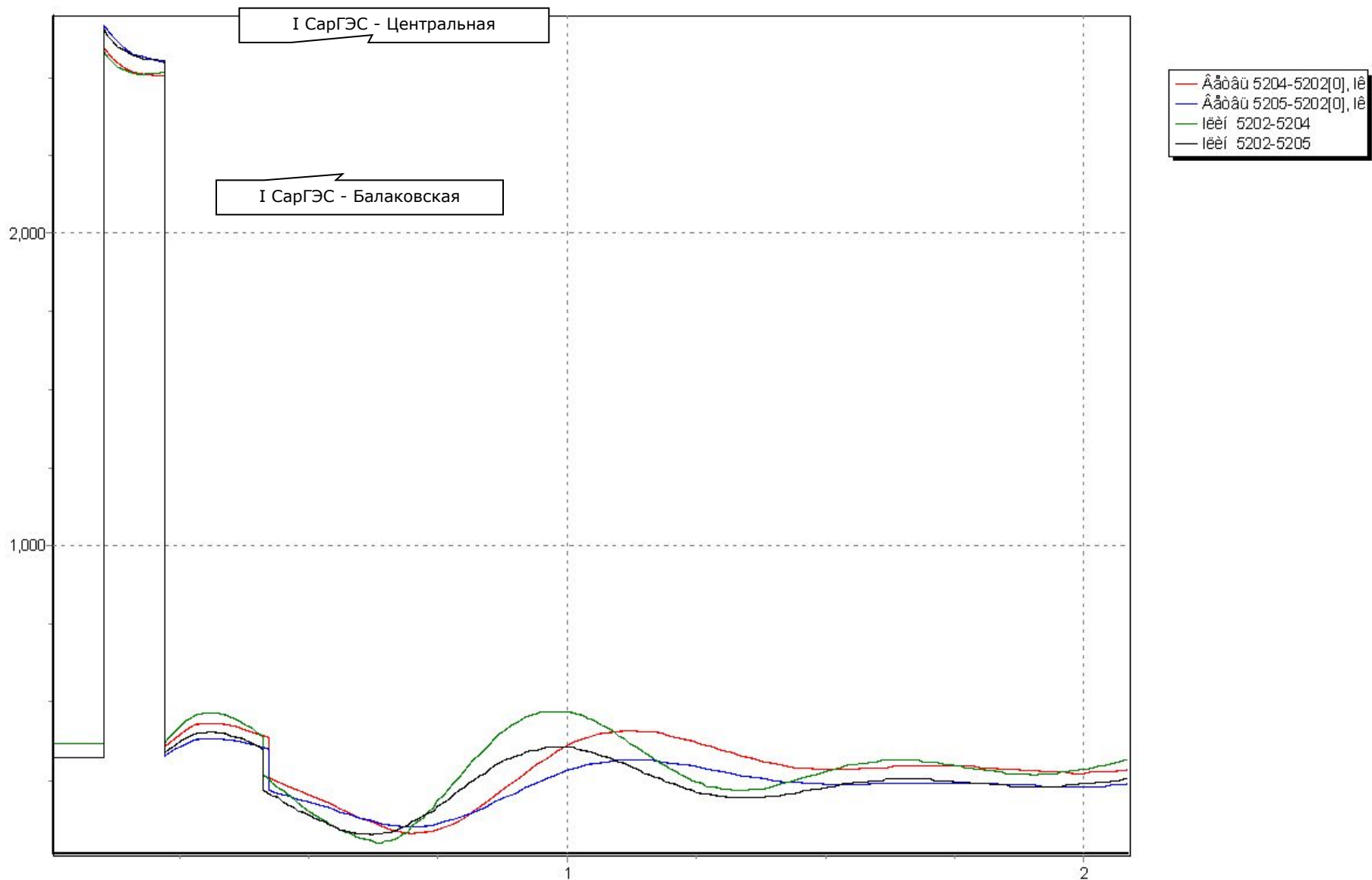
Исходный режим - в ремонте ВЛ-500 ЧеГЭС-Нижегородская. Происходит к.з. на шинах 500 кВ ЗайГРЭС, отключается ВЛ-500 ЗайГРЭС-Киндери, действует САОН 600 МВт Северного энергорайона.



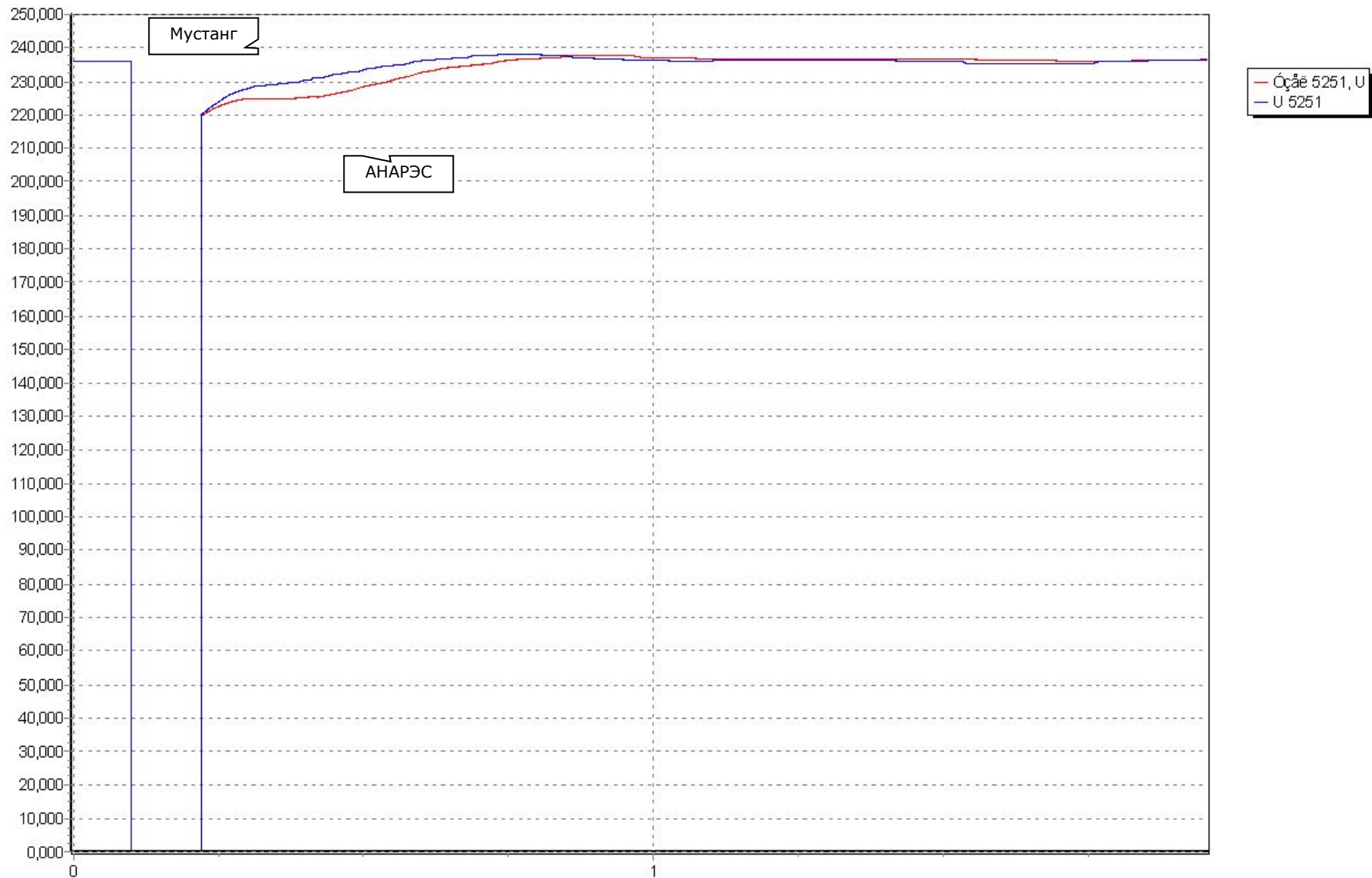
К.з. на шинах 500 кВ ЗайгрЭС. U 5025 (Киндери)



Исходный режим - генерация СарГЭС 1300 МВт, отключен блок №1 БАЭС. К.з. на шинах 220 кВ БАЭС, отключается АТ-1 500/220 БАЭС; отключается ВЛ-220 БАЭС-Степная из-за превышения допустимого тока по ВЛ-220 СарГЭС-Центральная и СарГЭС-Балаковская (уставка 1300 А).



К.з. на шинах 220 кВ БАЭС
 токи по ВЛ-220 СарГЭС-Центральная и СарГЭС-Балаковская.



К.з. на шинах 220 кВ БАЭС
U на шинах БАЭС

Выводы по сравнению расчетов

- Общие тенденции совпадают
 - Имеются отличия особенно проявляющиеся после вступления в действие АРВ
 - При этом имеют место отличия и в начальный момент переходного процесса
-

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- В АНАРЭС достаточно строгий учёт в уравнениях статорной цепи влияния изменений скорости вращения роторов СМ

$$\omega_{CB} = \sum_{i=1}^n K_i (1 + s_i) \quad \text{– средневзвешенная частота.}$$

- Ушаков Е.И. Статическая устойчивость электрических систем. Новосибирск: Наука, 1988. 273 с.
 - Ушаков Е.И. Разделение движений при исследовании переходных процессов и устойчивости ЭЭС // Изв. РАН. Энергетика. 2000. №6. С. 74-86.
 - Ушаков Е.И. Об упрощенных моделях переходных процессов ЭЭС.// «Электричество», №10, 2005.
 - Ушаков Е.И. О моделях переходных процессов ЭЭС с учетом изменения частоты (отправлена в Известия РАН «Энергетика» в январе 2007г.)
-

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- [1] T.J. Hammons, D.J. Winning. "Comparisons of synchronous machine models in the study of the transient behaviour of electrical power systems.", -Proc.IEE, vol.118, №10, October, 1971.

- Уравнения по продольной оси:

(1)

- Уравнения по продольной оси с учетом принятых в [1] допущений:

$$T_{do} \frac{dE'_{qp}}{dt} = G'E_{qe} - E'_{qp} - (x_d - x'_d)i_d \quad (2)$$

$$T''_{do} \frac{dE''_q}{dt} = G''E_{qe} + E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} \frac{dE'_{qi}}{dt}$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Уравнения по продольной оси с учетом принятых в [1] допущений:

$$T_{do} \frac{dE'_{qp}}{dt} = G'E_{qe} - E'_{qp} - (x_d - x'_d)i_d$$

$$T''_{do} \frac{dE''_q}{dt} = G''E_{qe} + E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} \frac{dE'_{qi}}{dt}$$

- Уравнение для E''

$$\psi_d = E''_q - x''_d i_d \quad (3)$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Уравнения по продольной оси с учетом принятых в [1] допущений:

$$T_{do} \frac{dE'_{qp}}{dt} = G'E_{qe} - E'_{qp} - (x_d - x'_d)i_d \quad (2)$$

$$T''_{do} \frac{dE''_q}{dt} = G''E_{qe} + E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} \frac{dE'_{qi}}{dt}$$

- Исходные уравнения в форме э.д.с.:

$$T_{do} \frac{dE'_q}{dt} = E_{qe} - E_q,$$

$$\text{где } E_q = x_{ad} i_f = \frac{x_{ad}}{x'_{ad}} E'_q - \frac{x_d - x'_d}{x'_{ad}} E''_q + \frac{x''_{ad} (x_d - x'_d)}{x'_{ad}} i_d, \quad (4)$$

$$T''_{do} \frac{dE''_q}{dt} = E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} \frac{x''_{ad}}{x'_{ad}} \frac{dE'_q}{dt}.$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Уравнения по продольной оси с учетом принятых в [1] допущений:

$$T_{do} \frac{dE'_{qp}}{dt} = G'E_{qe} - E'_{qp} - (x_d - x'_d)i_d \quad (2)$$

$$T''_{do} \frac{dE''_q}{dt} = G''E_{qe} + E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} \frac{dE'_{qi}}{dt}$$

- Третий уровень допущений:

$$T_{do} \frac{dE'_{qp}}{dt} = E_{qe} - E'_{qp} - (x_d - x'_d)i_d \quad (5)$$

$$T''_{do} \frac{dE''_q}{dt} = E'_{qp} - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} \frac{dE'_{qp}}{dt}$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Уравнения контурных токов продольной оси, используемые в АНАРЭС, записанные в форме э.д.с.

$$T_{do} dE'_q/dt = E_{qe} - E'_q - (x_d - x'_d)i_d + \underline{\underline{(x_d - x'_d)i_D}}$$

$$T''_{do} dE''_q/dt = E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + \frac{x''_{ad}}{x'_{ad}} T''_{do} E'_q/dt$$

- Упрощенные уравнения, используемые в Мустанг

$$T_{do} dE'_q/dt = E_{qe} - E'_q - (x_d - x'_d)i_d$$

$$T''_{do} dE''_q/dt = E'_q - E''_q - (x'_d - x''_d)i_d + T''_{do} E'_q/dt$$

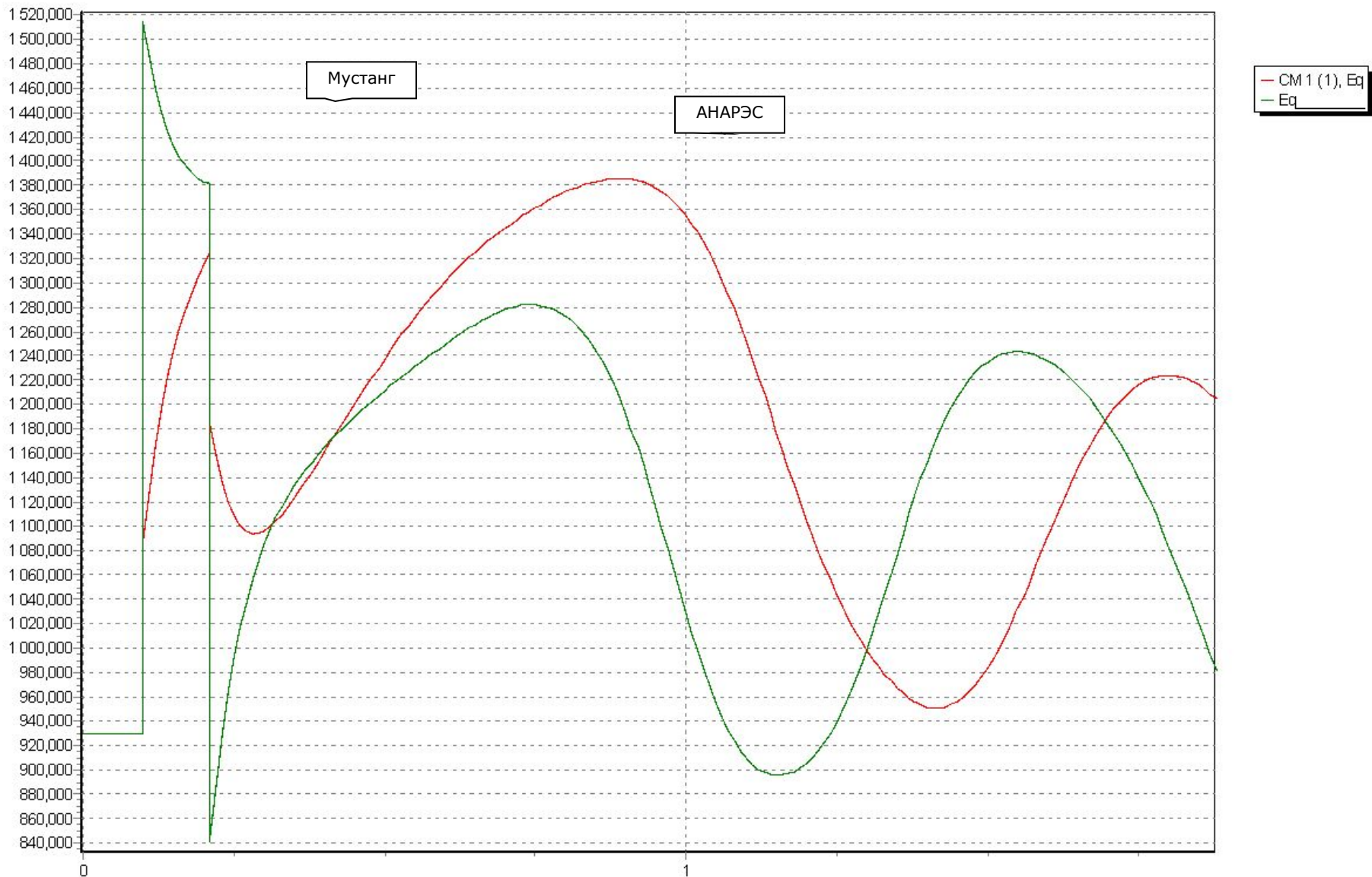
Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Корректное вычисление $E_q = x_{ad}i_f$ (АНАРЭС)

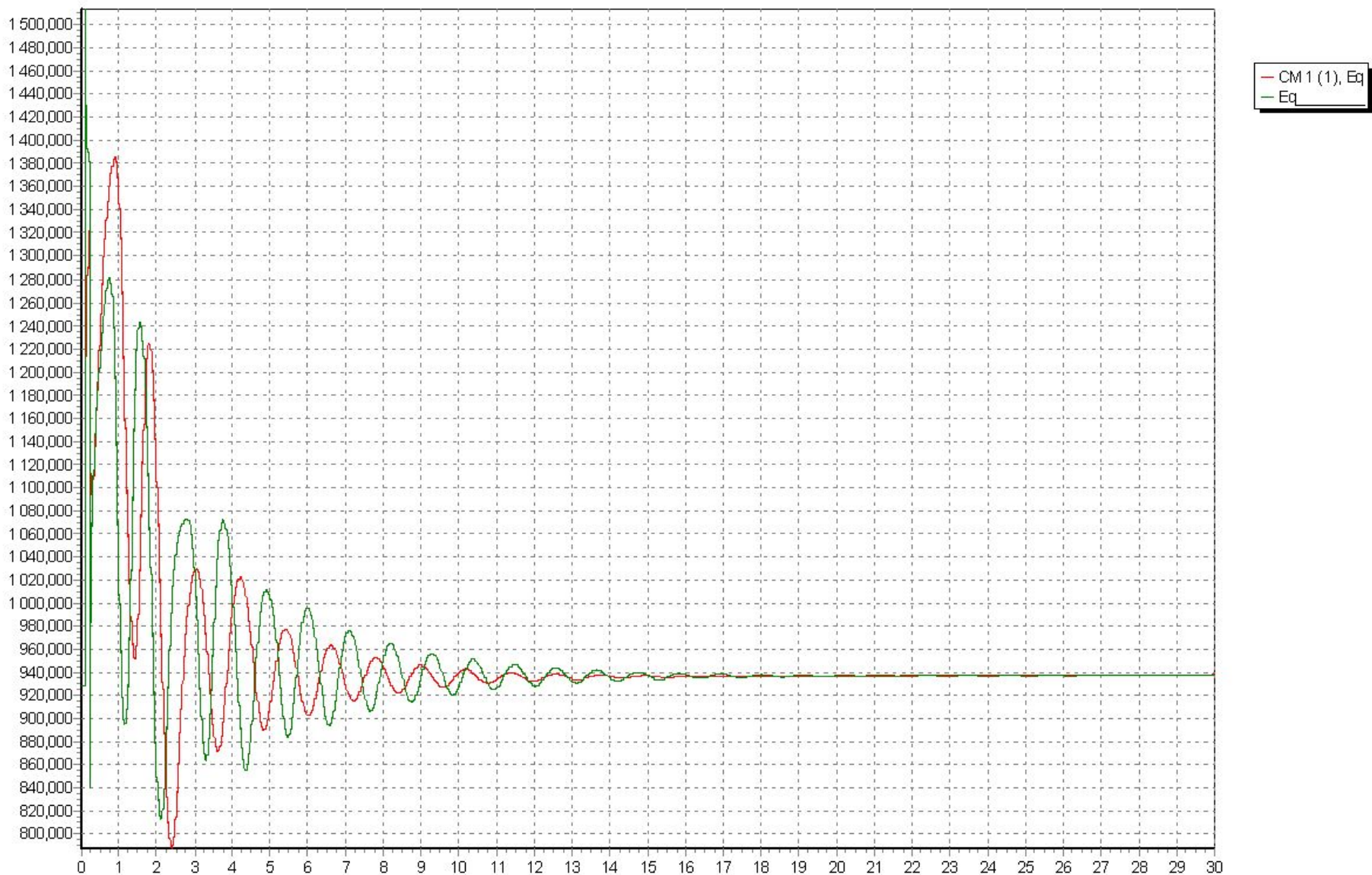
$$E_q = E_q'' + (x_d - x_d'')i_d + \underline{\underline{x_{ad}i_D}}$$

- Вычисление E_q в Мустанг

$$E_q = E_q'' + (x_d - x_d'')i_d$$



Скачек E_q при коммутации (тест на схеме 4 узла)



Дальнейшие значения Eq (тест на схеме 4 узла)

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

Вывод

- Модель продольных контуров ротора, применяемая в программе Мустанг не адекватна исходной модели этих контуров из-за неоправданных допущений
 - Модель продольных контуров ротора в АНАРЭС полностью адекватна системе (4).
-

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Уравнения статорной цепи в АНАРЭС

$$-Ri_q + \frac{\omega_{св}}{\omega_{nom}} E_q'' - \frac{\omega_{св}}{\omega_{nom}} x_d'' i_d = u_q$$

$$-Ri_d + \frac{\omega_{св}}{\omega_{nom}} E_d'' + \frac{\omega_{св}}{\omega_{nom}} x_q'' i_q = u_d$$

- Уравнение статорной цепи в Мустанг

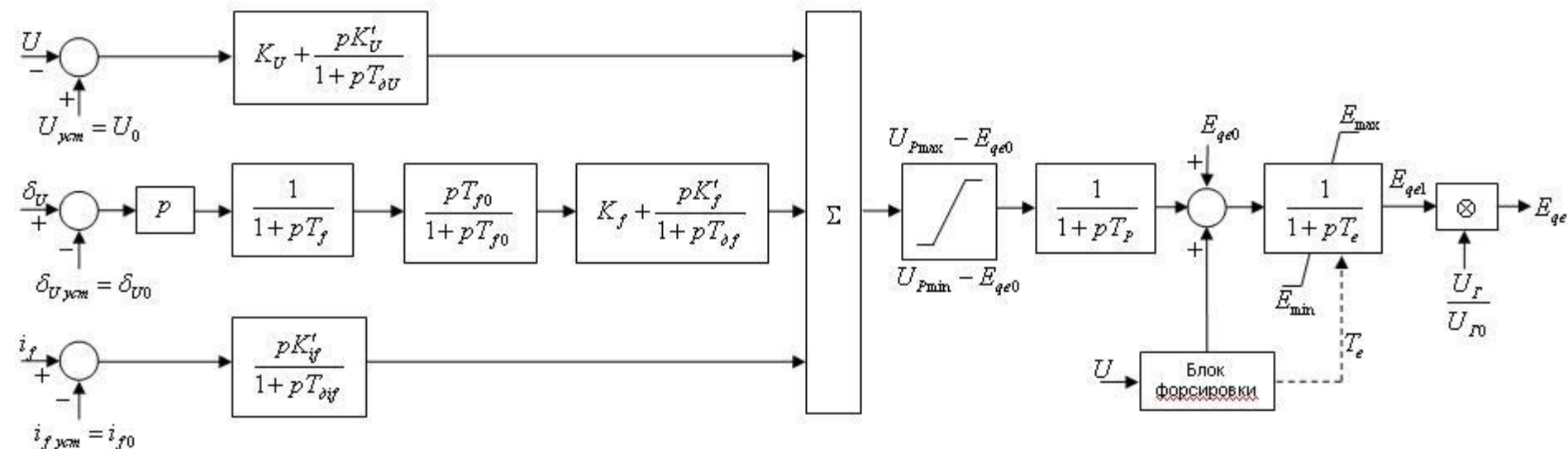
$$\frac{\omega_u}{\omega_{nom}} E_q'' - x'' i_d = u_q$$

$$x'' = (x_d'' + x_q'') / 2$$

$$\frac{\omega_u}{\omega_{nom}} E_d'' + x'' i_q = u_d$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

□ Модель АРВ СД



Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Отличие в учете зоны нечувствительности АРС
В АНАРЭС:

$$\xi = \begin{cases} \xi_{k-1}, & \text{при } |s_k - k_{cm} \cdot \xi_{k-1}| < \frac{\varepsilon}{2} \\ \frac{\left(s_k - \frac{\varepsilon}{2} \operatorname{sign}\left(\frac{ds}{dt}\right)_{k-1} \right)}{k_{cm}}, & \text{при } |s_k - k_{cm} \cdot \xi_{k-1}| > \frac{\varepsilon}{2} \end{cases}$$

В Мустанге:

$$\alpha = -\frac{s}{\pi \times \sigma_{PC}},$$
$$\begin{cases} \Psi = 0, & \text{при } |\alpha| < Z_H \\ \Psi = (|\alpha| - Z_H) \times \operatorname{sign}(\alpha) & \text{при } |\alpha| > Z_H \end{cases}$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Механическое демпфирование турбин в АНАРЭС:

$$M_T(\mu, \omega) = M_T(\mu, \omega_{nom})[1 - k_T(\omega - \omega_{nom})]$$

$$\text{где } k_T = -\frac{\omega_{nom}}{M_T(\mu, \omega_{nom})} \frac{\partial M_T(\mu, \omega_{nom})}{\partial \omega}$$

- Момент турбины в Мустанге:

$$M_T = P_T(\mu) / \omega$$

$$k_T = 1$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- При упрощенном моделировании СМ постоянством ЭДС в Мустанге

$$P_D = DP_{nom}(s - s_u)$$

- В АНАРЭС можно учесть введя:

$$k_T = P_{nom} / P_o$$

$$P_D = DP_{nom}s$$

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- **Асинхронные двигатели**
 - В Мустанге дифференциальными уравнениями учитываются только механическое движение двигателей
 - В АНАРЭС учитываются и переходные процессы в обмотках ротора

 - Ушаков Е.И. Статическая устойчивость электрических систем. Новосибирск: Наука, 1988. 273 с.
 - Ушаков Е.И. Разделение движений при исследовании переходных процессов и устойчивости ЭЭС // Изв. РАН. Энергетика. 2000. №6. С. 74-86.

 - В АНАРЭС пока не учитывается эффект вытеснения токов ротора при больших скольжениях двигателя
-

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

- Мустанг применяет отдельный подход к решению дифференциальных и алгебраических уравнений
 - Относительно большая погрешность взаимосвязи при совместном решении систем дифференциальных и алгебраических уравнений
 - Отсутствие информации для предсказания неинтегрируемых переменных после каких-либо коммутаций в схеме
 - АНАРЭС использует явный метод интегрирования 4-го порядка, свободный от указанных недостатков.
-

Отличие моделей АНАРЭС и Мустанг

□ **Заключение** по анализу моделей

АНАРЭС использует более обоснованные модели переходных процессов, чем принятые в Мустанге

Результаты сравнения АНАРЭС и Мустанг на маленькой схеме

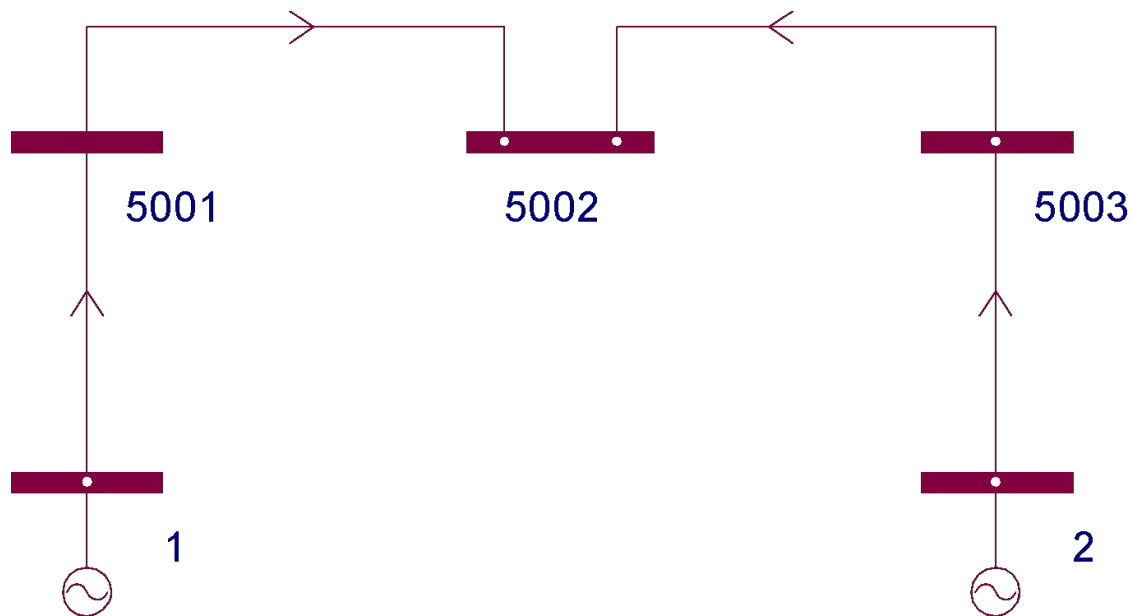
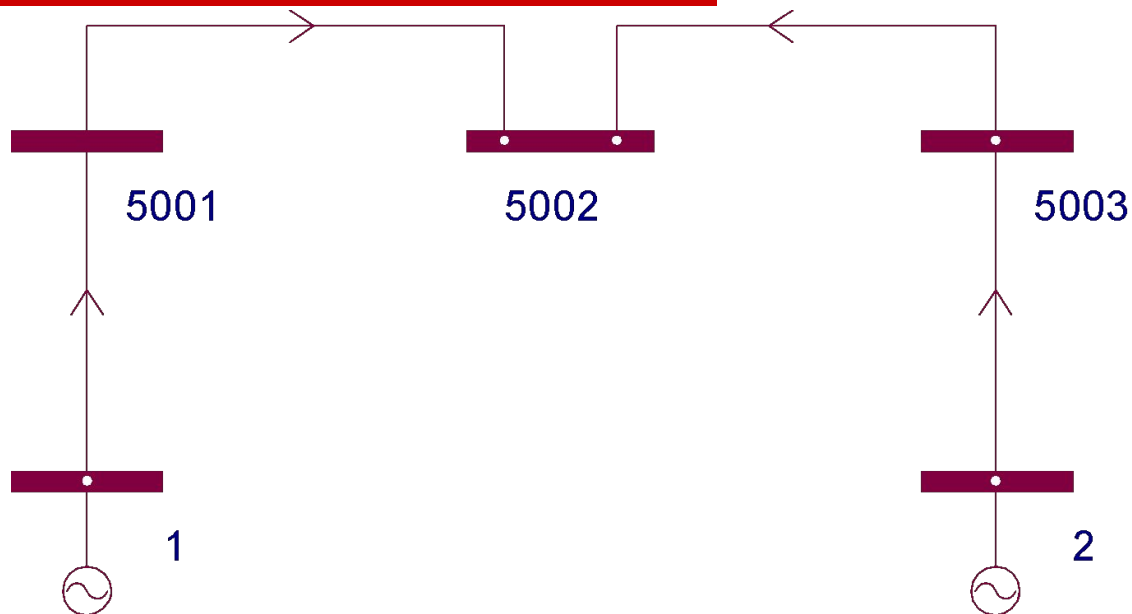


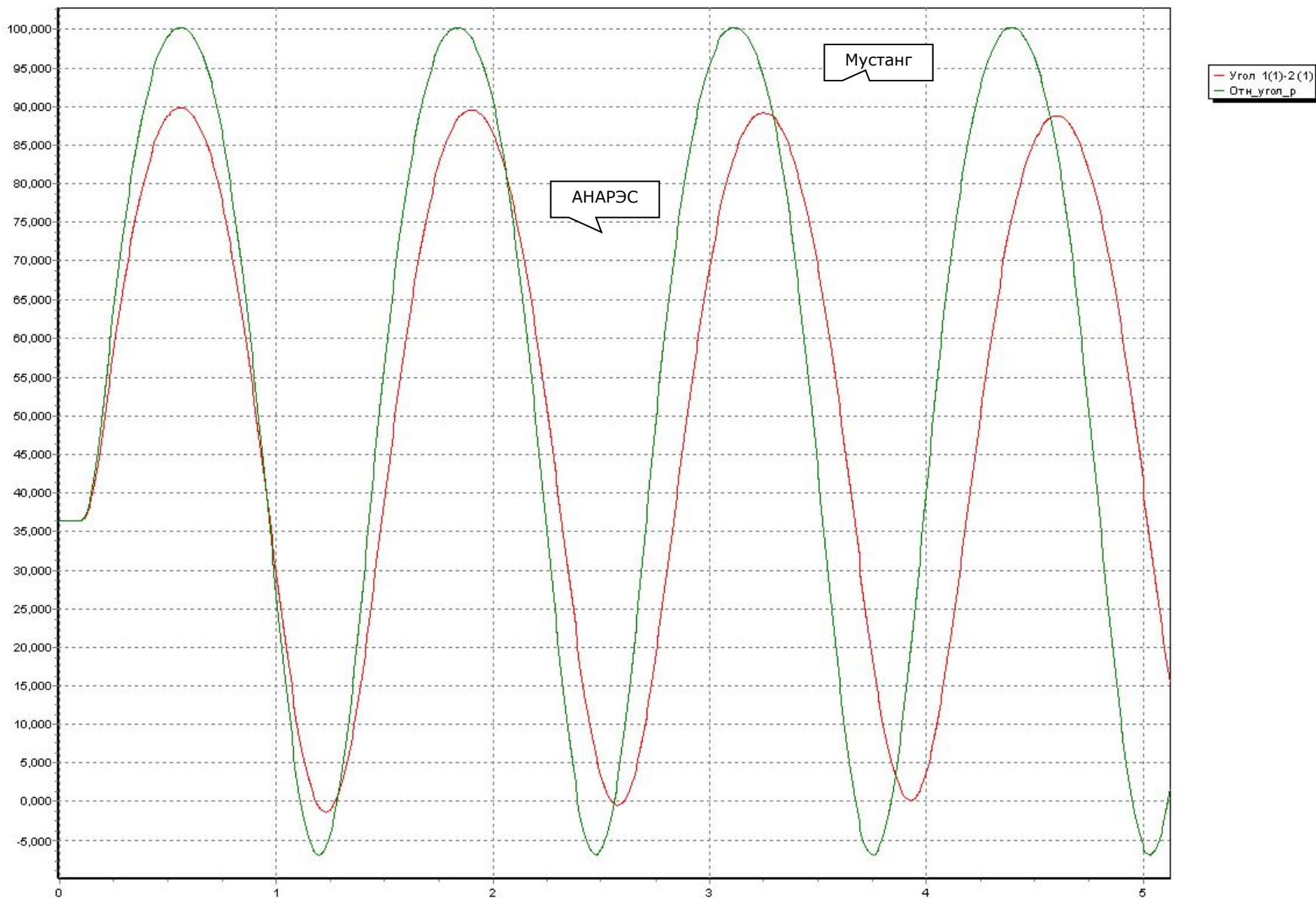
Схема сети.

Расчет с заданием генераторов в виде E' за X'

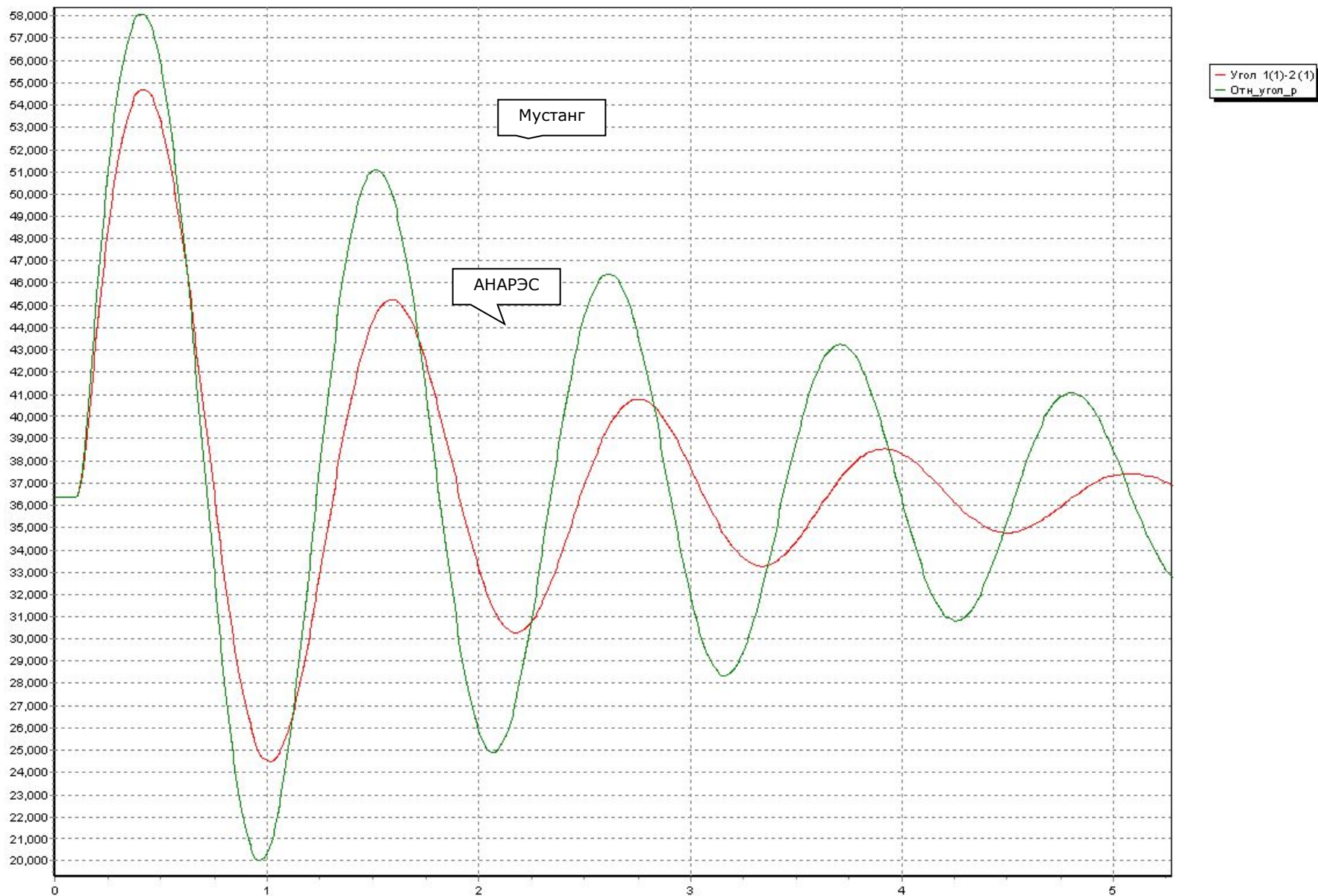


Параметры генераторов:

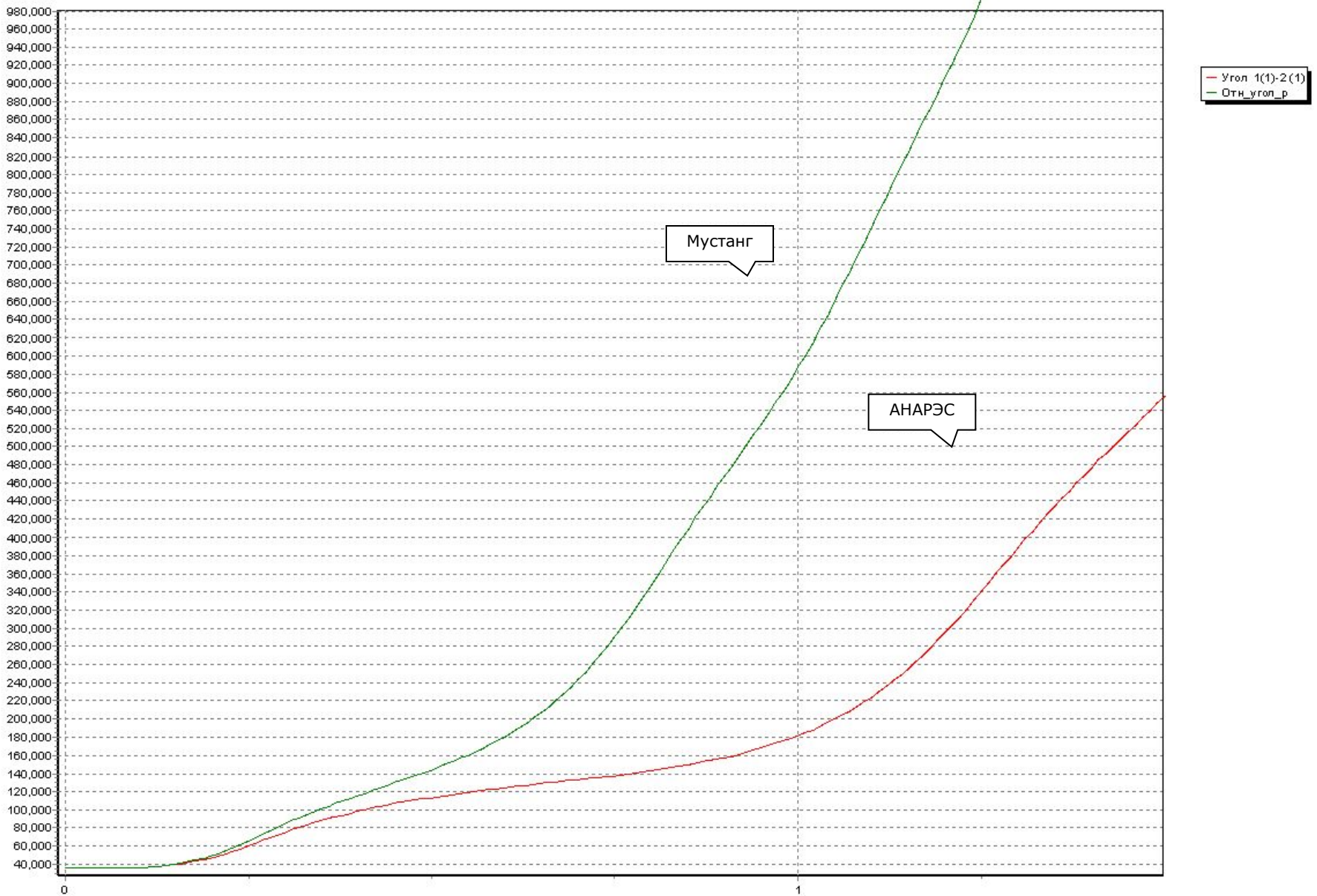
Номер узла	U ном.	cos φ ном.	P ном.	X'	T_j
1	525	0,8	4000	0,42	5
2	525	0,8	6000	0,37	6



К.з. в узле 5002 с временем отключения 0,1 с.
 Взаимные углы генераторов для случая E' за X'

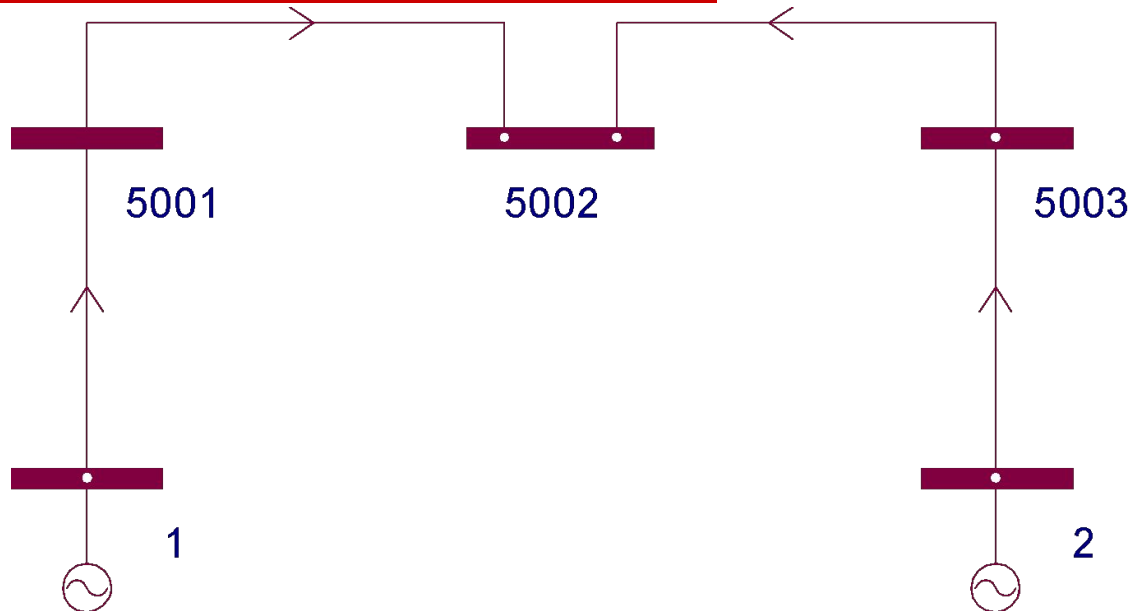


Взаимные углы генераторов для случая E' за X' с заданным коэффициентом демпфирования. $D=10$ в Мустнге. В АНАРЭС соответствующий пересчитанный K_d



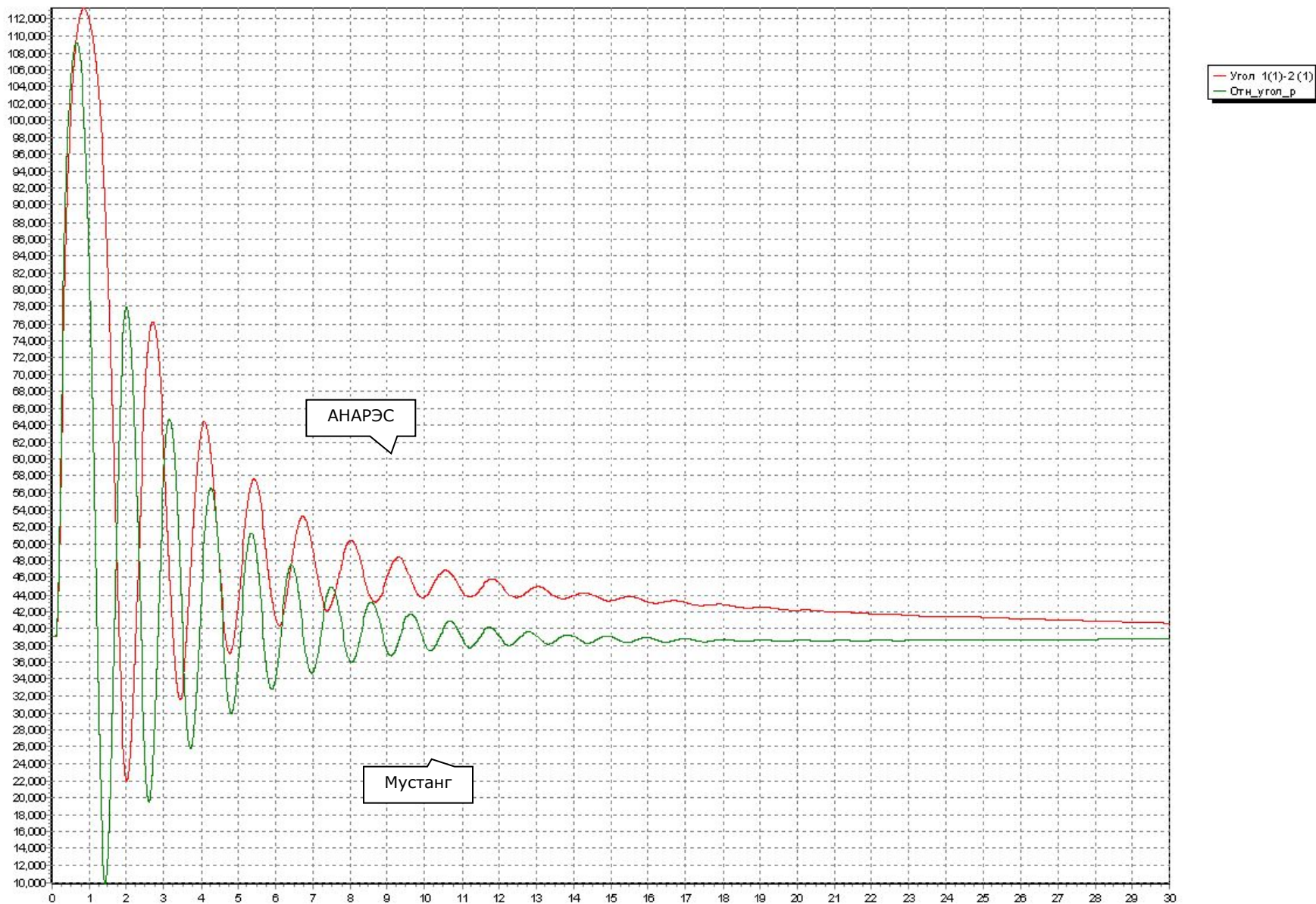
Взаимные углы генераторов для случая E' за X' с заданным коэффициентом демпфирования и КЗ, отключаемым через 1,16 с.

Расчет с заданием подробных данных по генераторам без регуляторов

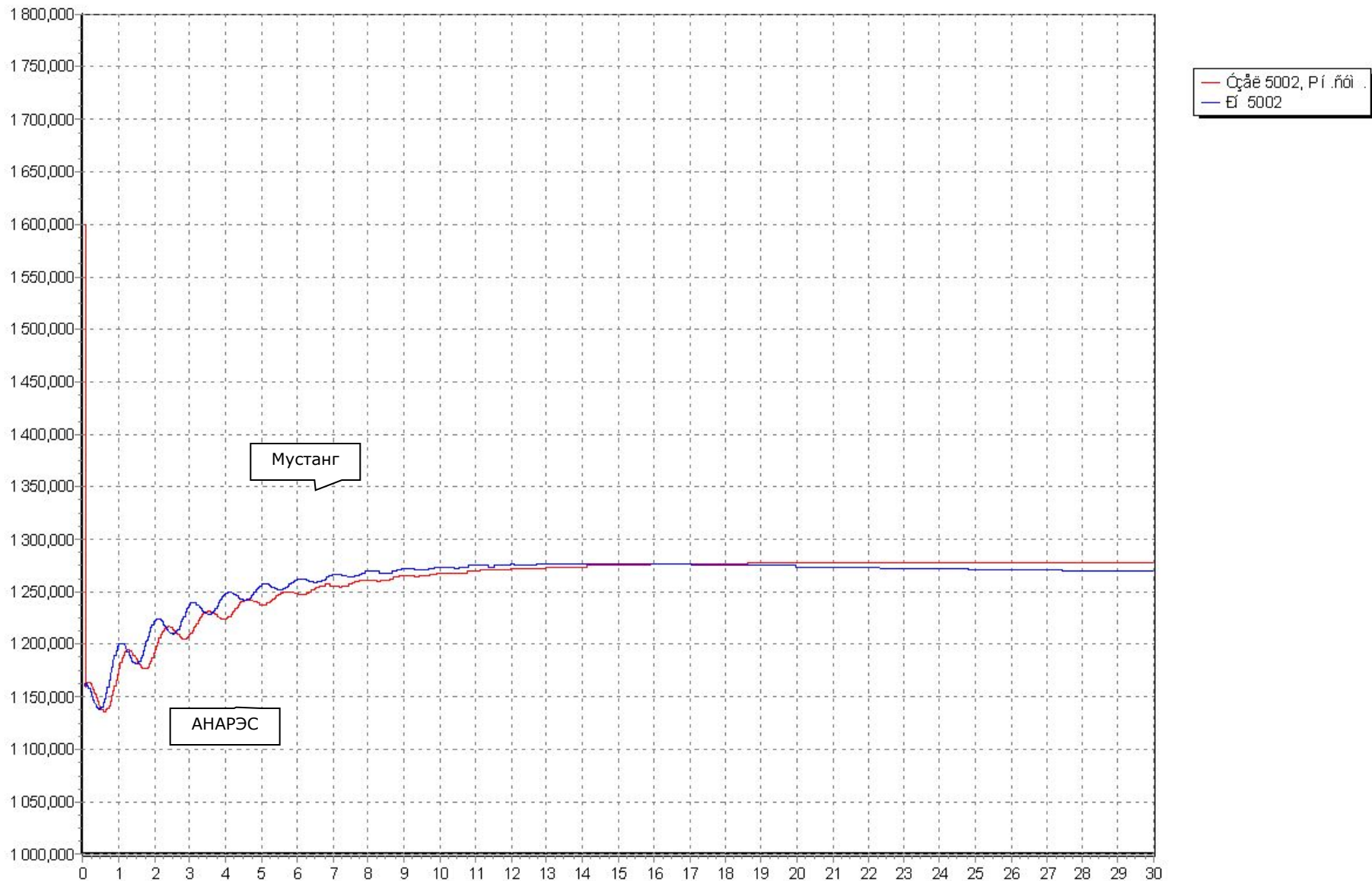


Параметры генераторов:

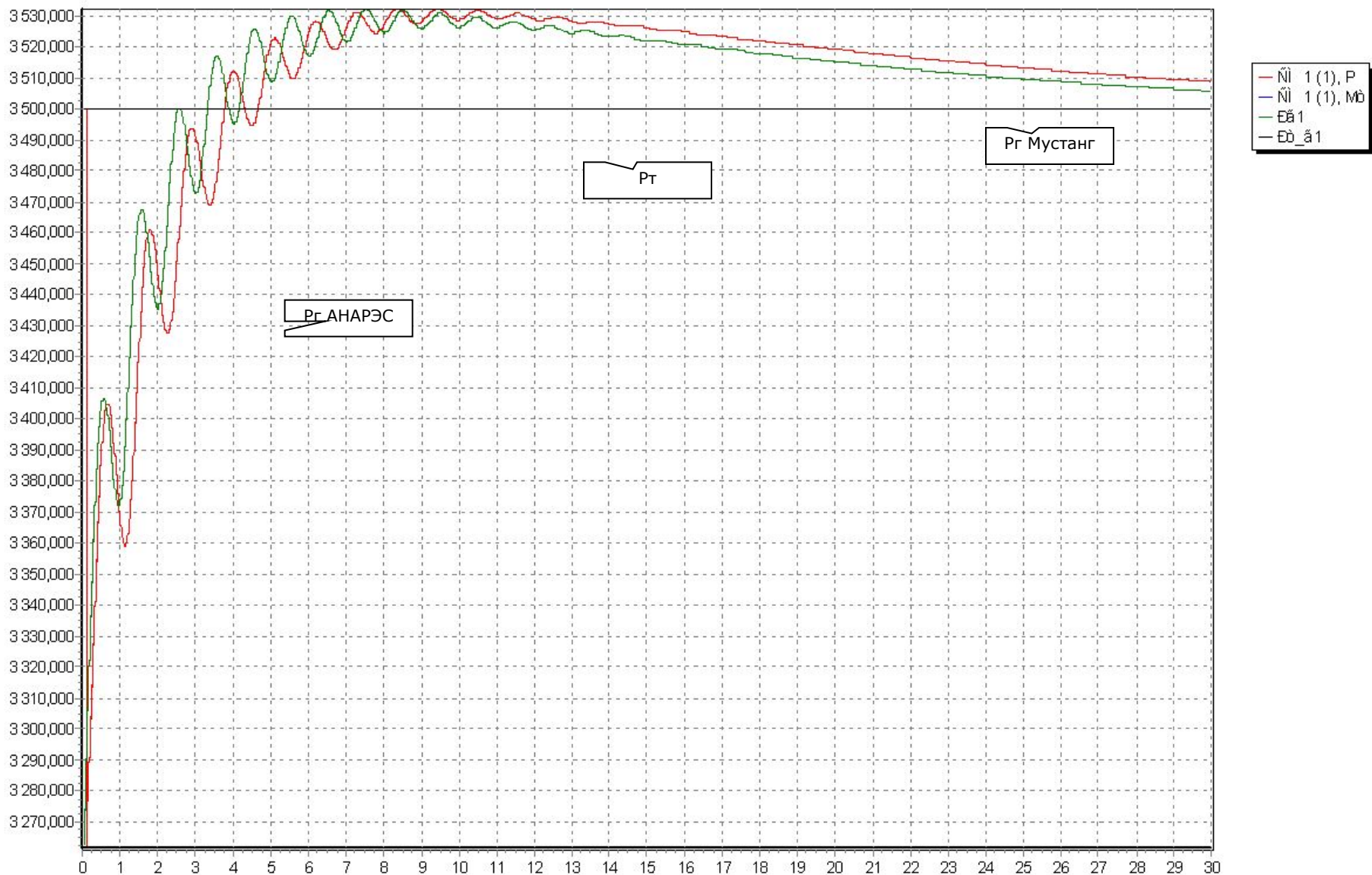
Номер узла	U ном.	cos φ ном.	P ном.	X _d	X _q	X' _d	X'' _d	X'' _q	X _b	T _j	T _{do}	T'' _d	T'' _q	k _D
1	525	0,8	4000	1,6	1,6	0,42	0,3	0,3	0,25	5	5,2	0,05	0,05	1
2	525	0,8	6000	2,16	2,16	0,37	0,24	0,24	0,25	6	6,3	0,05	0,05	1



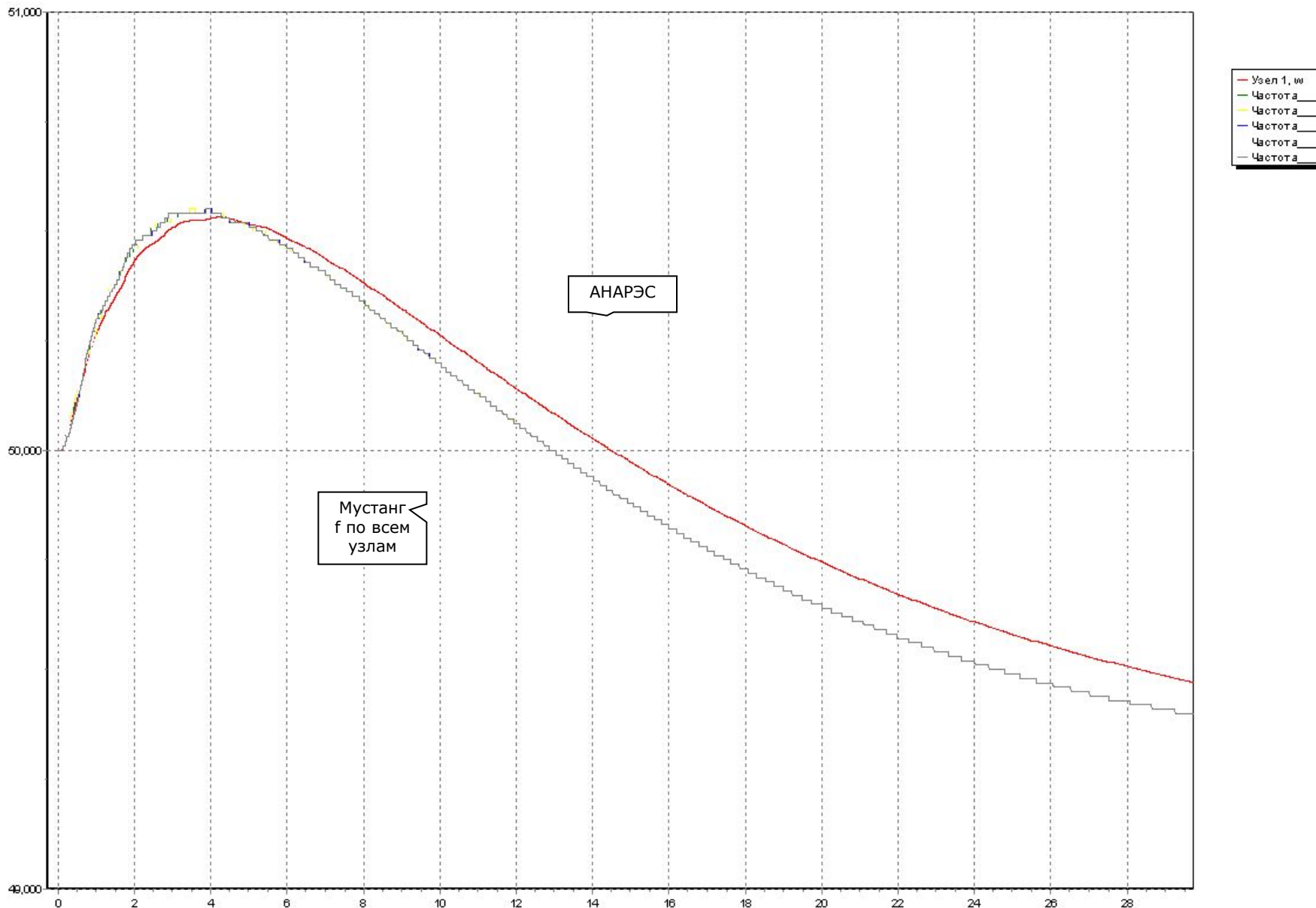
КЗ в узле 5002, отключаемое через 0,1 с. Взаимные углы генераторов



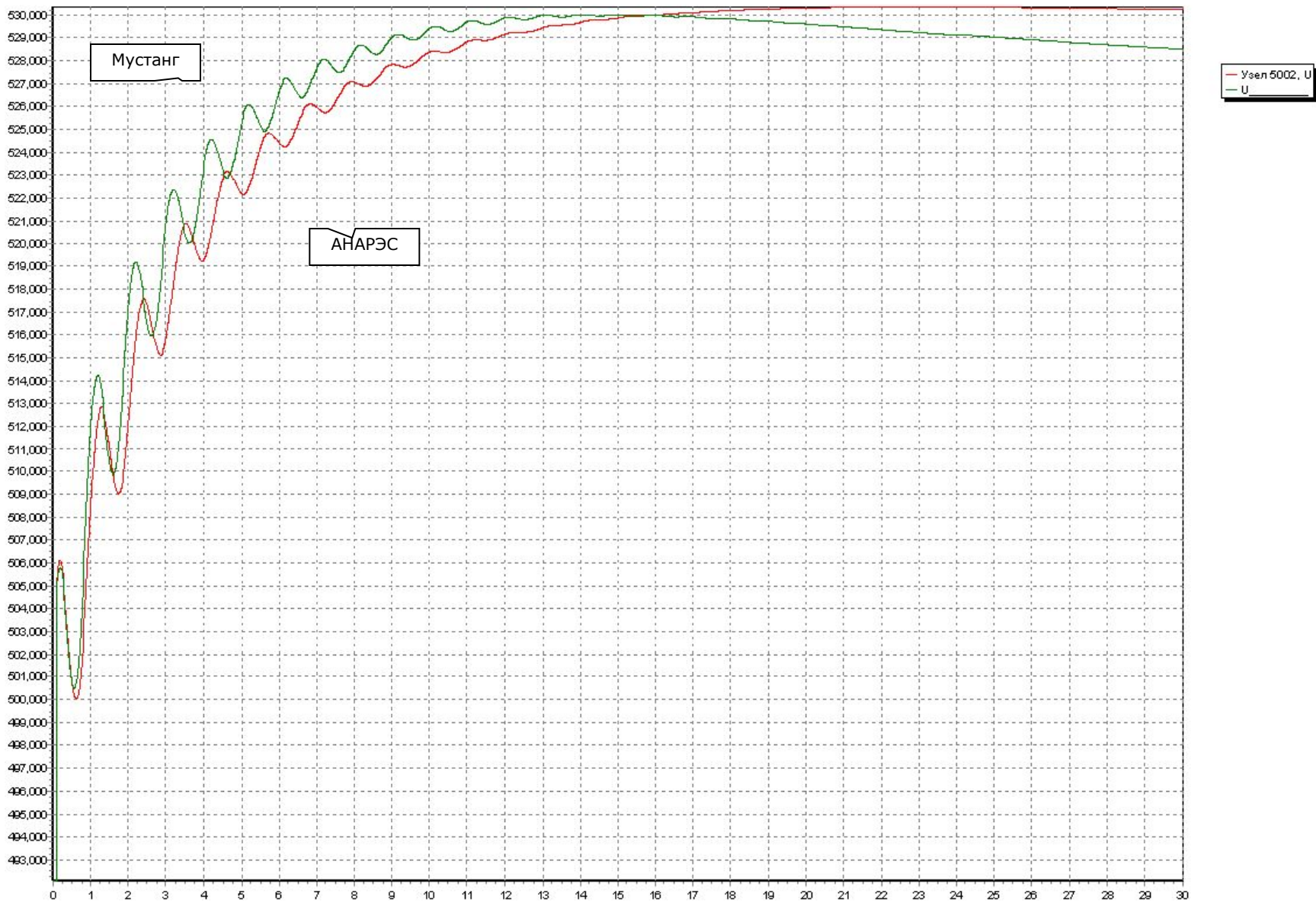
Отключение 500МВт нагрузки в узле 5002 и пропорциональное отключению активной нагрузки отключение реактивной нагрузки.



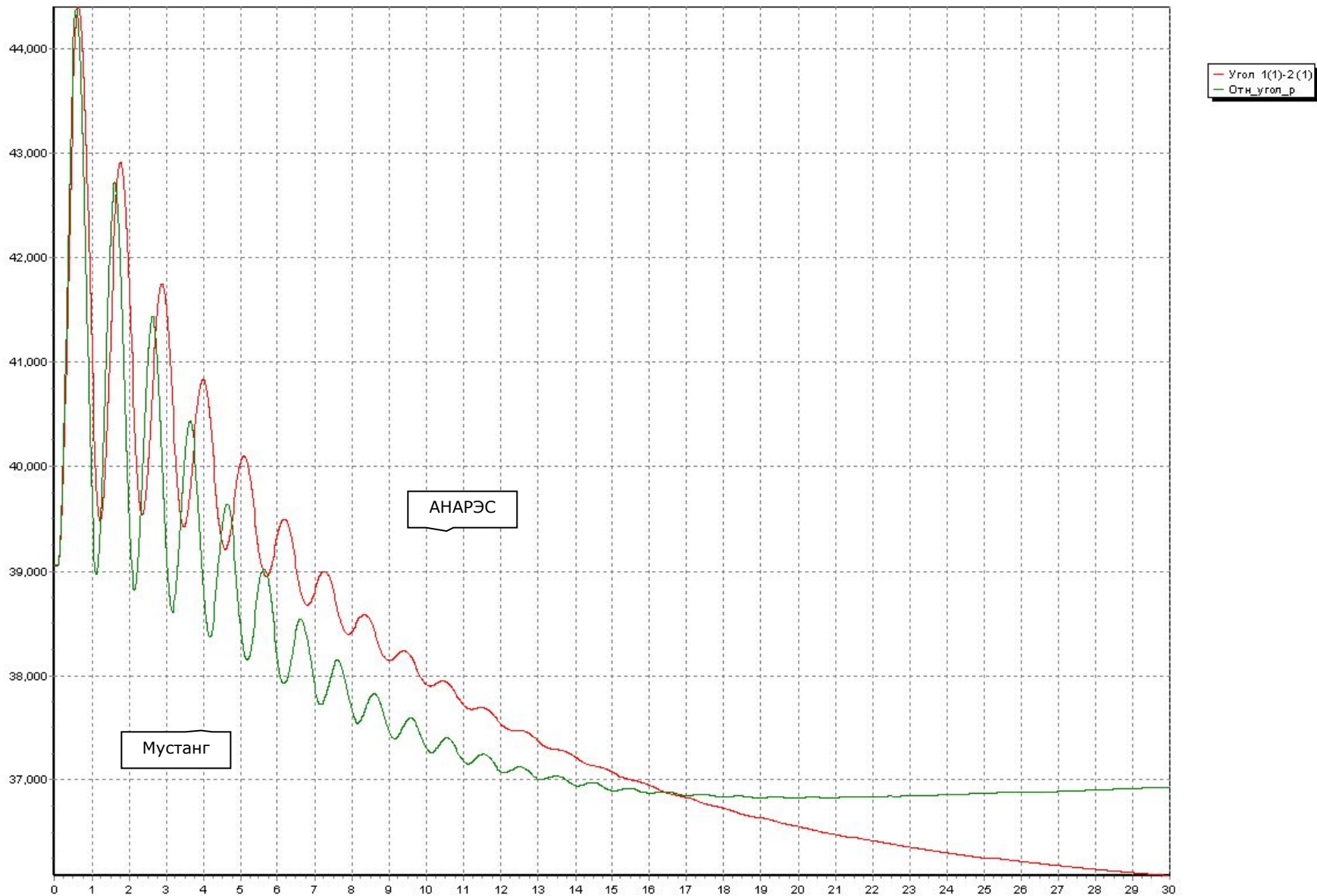
Отключение 500МВт нагрузки в узле 5002. Электрическая мощность генератора (Pг) и мощность турбины (Pт) для случая без АРС



Отключение 500МВт нагрузки в узле 5002. Частота

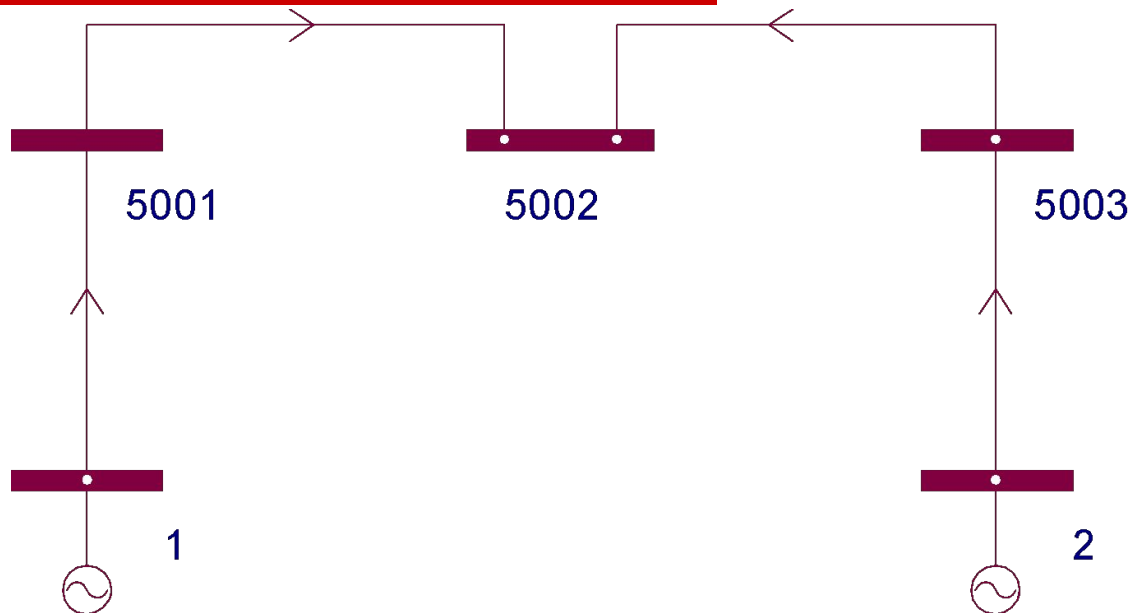


Отключение 500МВт нагрузки в узле 5002. Напряжение узла 5002



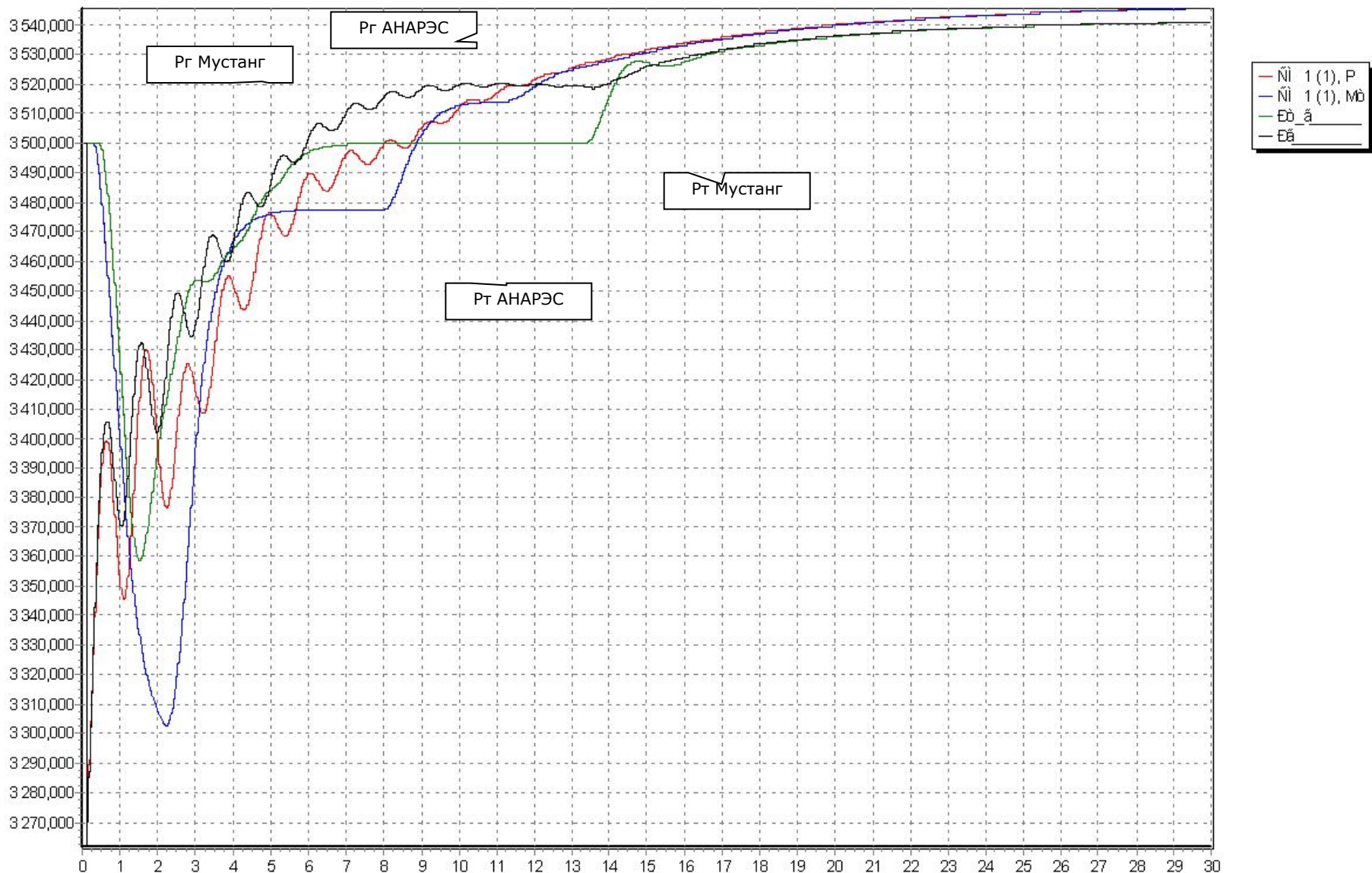
Отключение 500МВт нагрузки в узле 5002. Относительный угол генераторов 1-2

Расчет с заданием подробных данных по генераторам с АРС

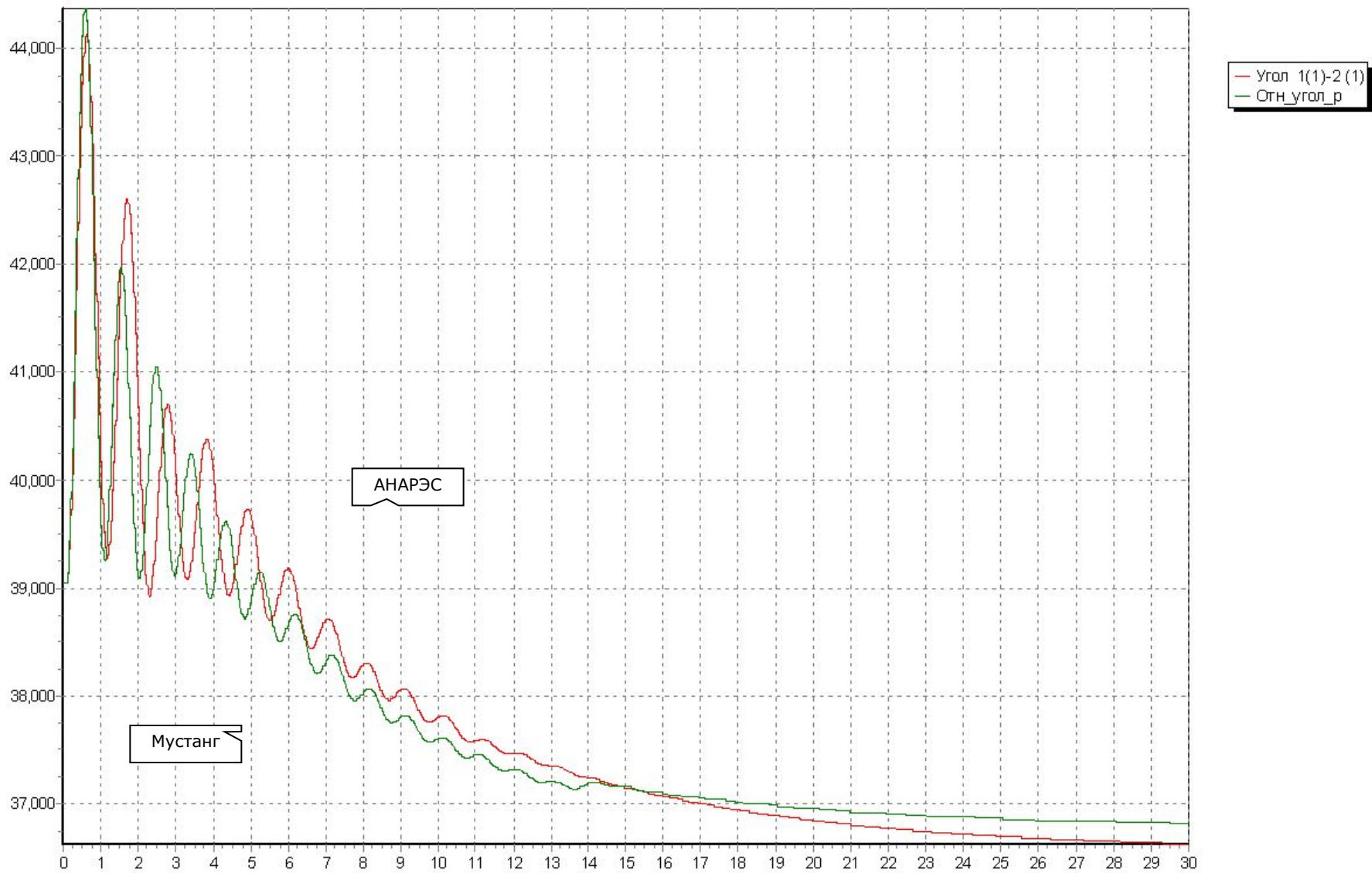


Параметры АРС:

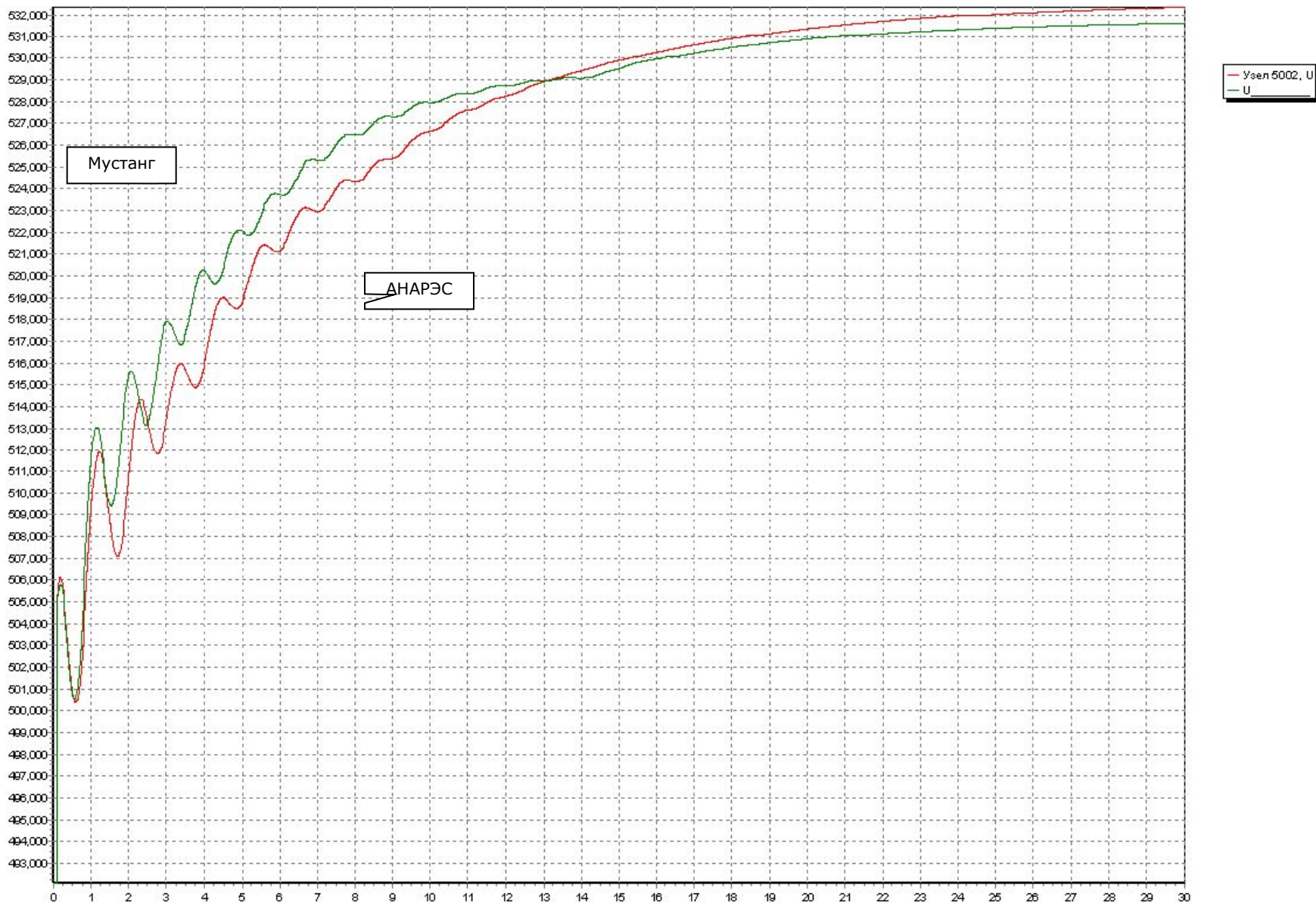
Номер узла	Рт мин.	Рт макс.	V отк.	V закр.	Кро	Тотк	Тзак	Тро	Ст рс	Зн
1	0	2,5	1	-1	0	0,5	0,5	0	0,05	0,003
2	0	3,5	1	-1	0	0,5	0,5	0	0,05	0,003



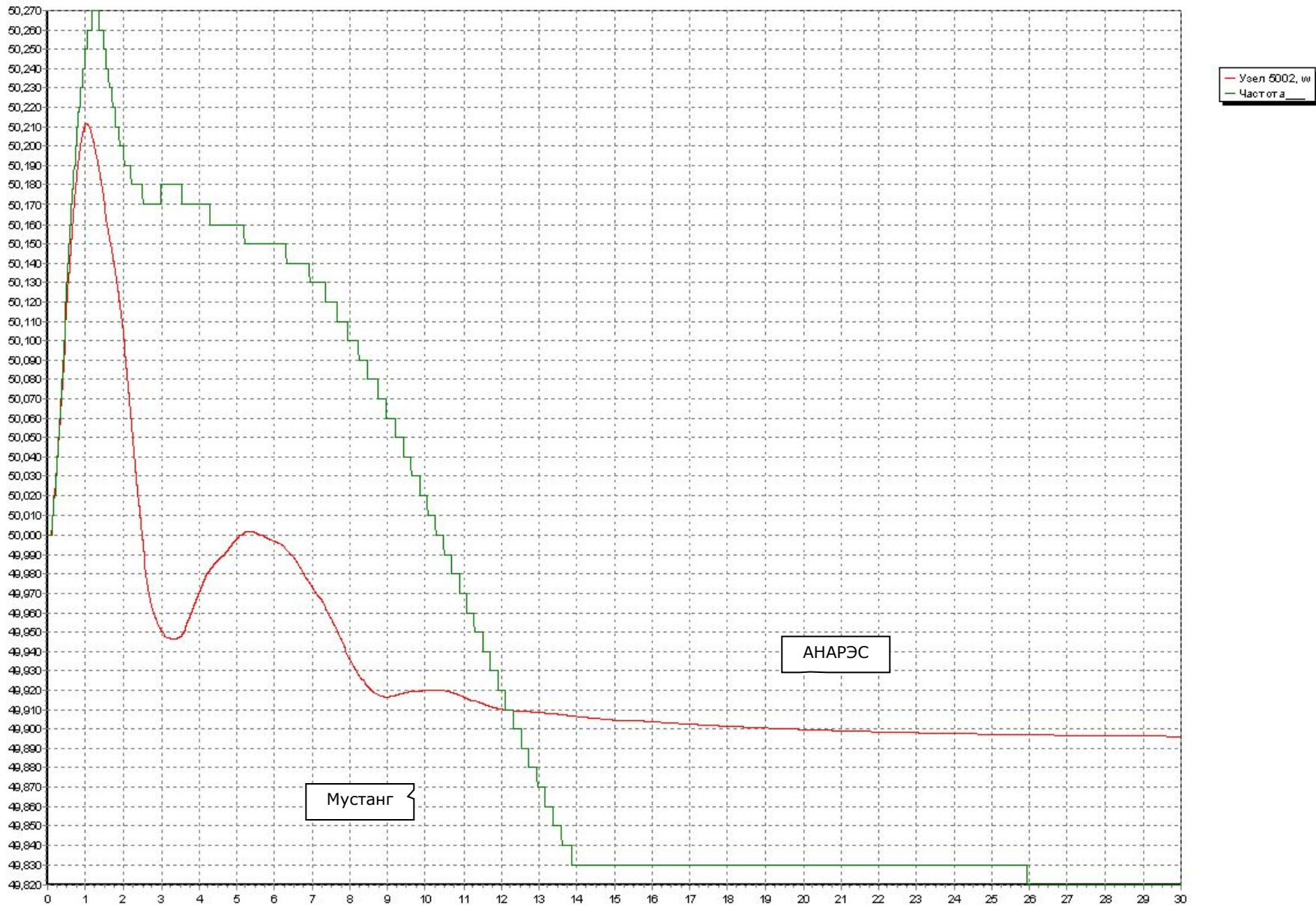
Отключение 500МВт нагрузки в узле 5002. Электрическая мощность генератора (Pг) и мощность турбины (Pт). Расчет с АРС



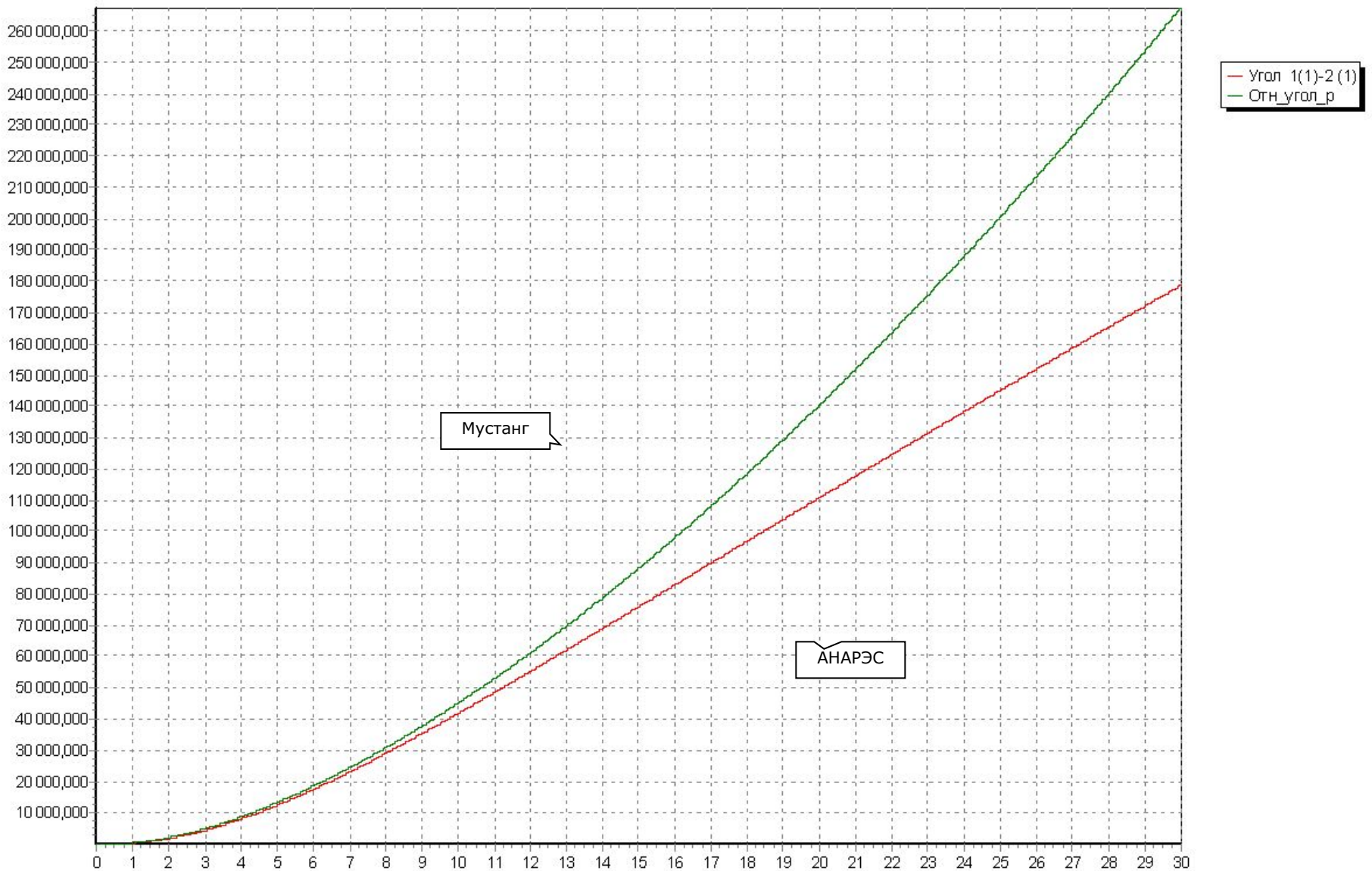
Расчет с АРС. Относительный угол генераторов 1-2



Расчет с АРС. Напряжение узла 5002

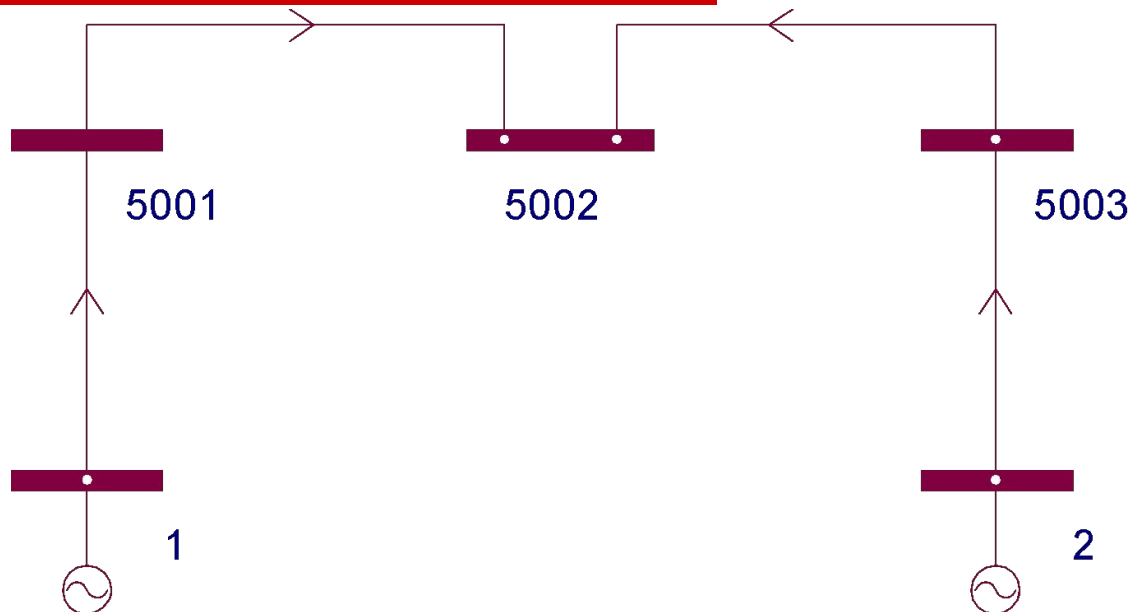


Расчет с АРС. Частота в узле 5002



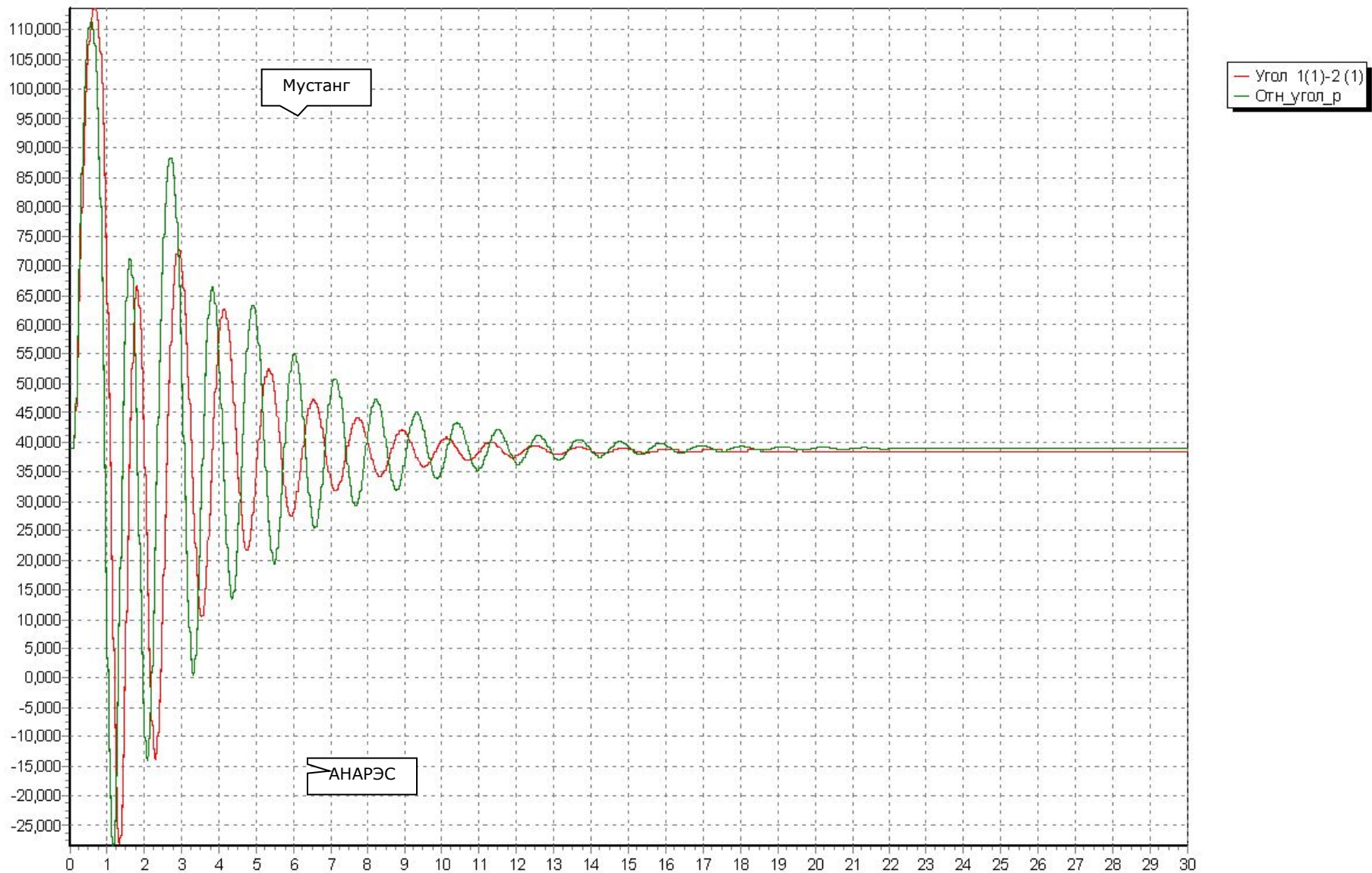
К.з. в узле 5002. Время отключения 1,1 с
 Без АРС и АРВ приводит к нарушению устойчивости

Расчет с заданием подробных данных по генераторам с АРВ ПД без АРС

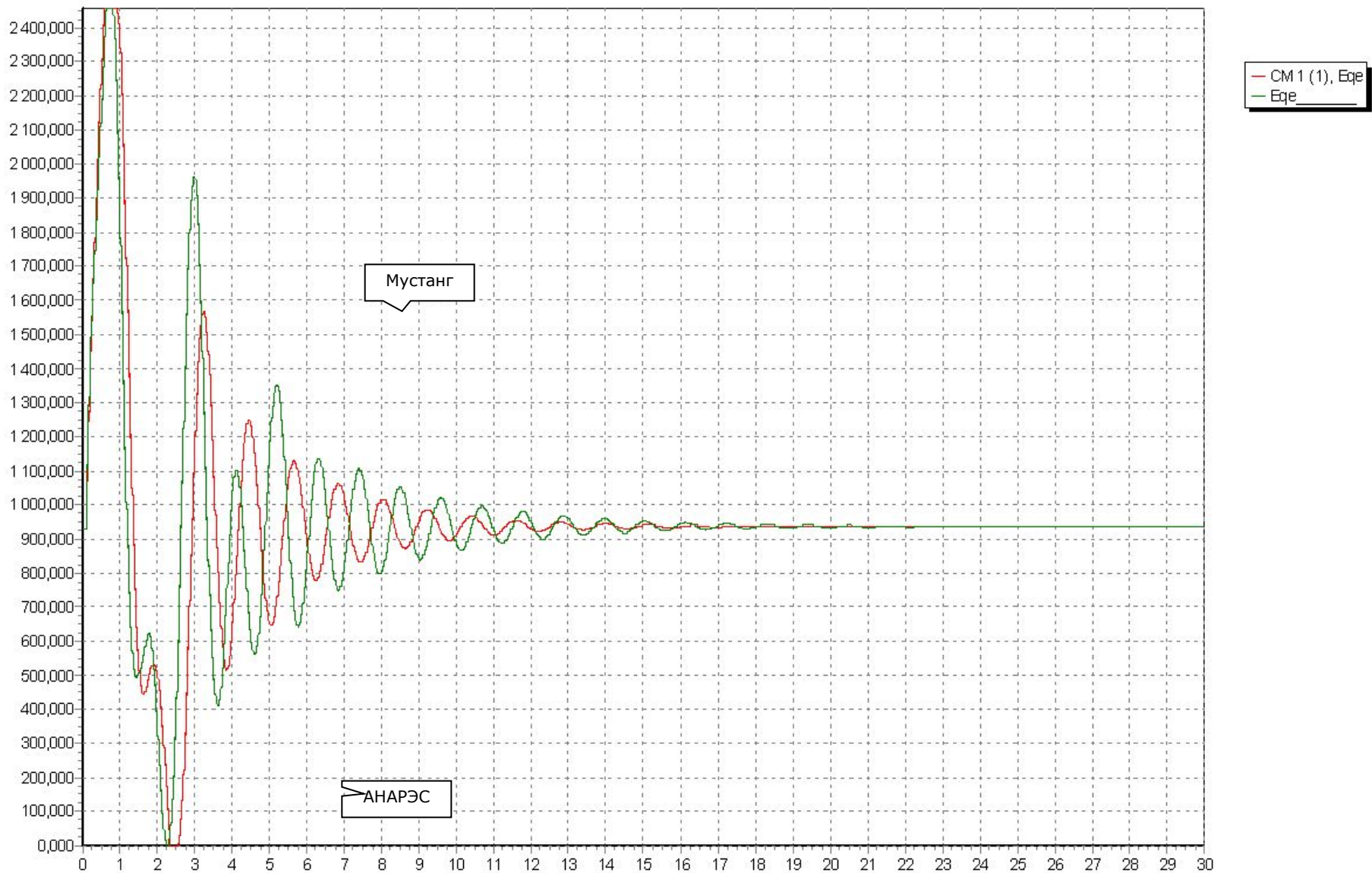


Параметры АРВ:

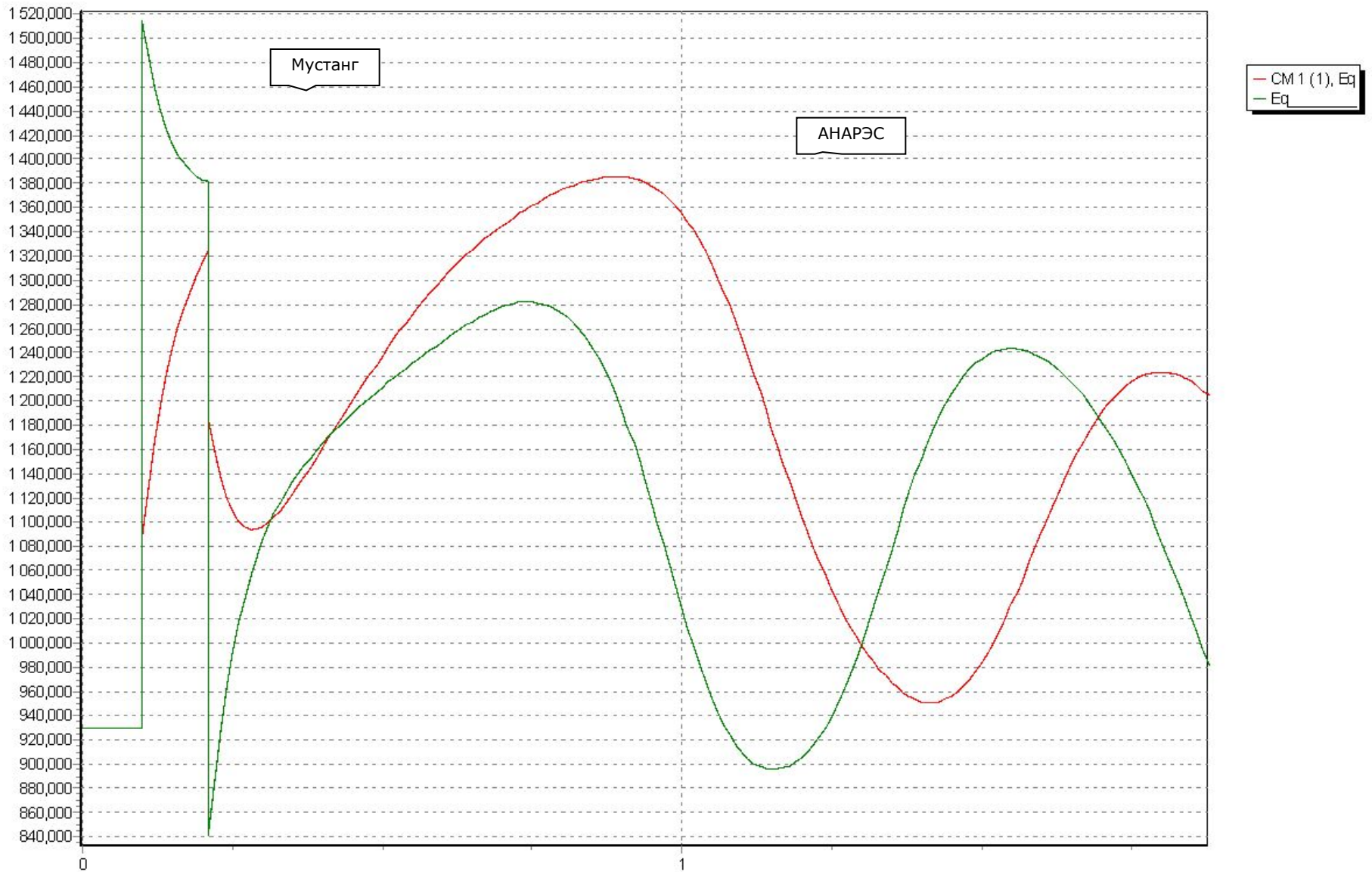
Узел	Тип	T_e	T_p	K_u	K_i	K_e	$E_{qe \text{ min}}$	$E_{qe \text{ max}}$	$U_{pв \text{ min}}$	$U_{pв \text{ max}}$
1	5	0,3	0,1	7	0,7	1,2	0	2	0	2
2	5	0,3	0,1	7	0,7	1,2	0	2	0	2



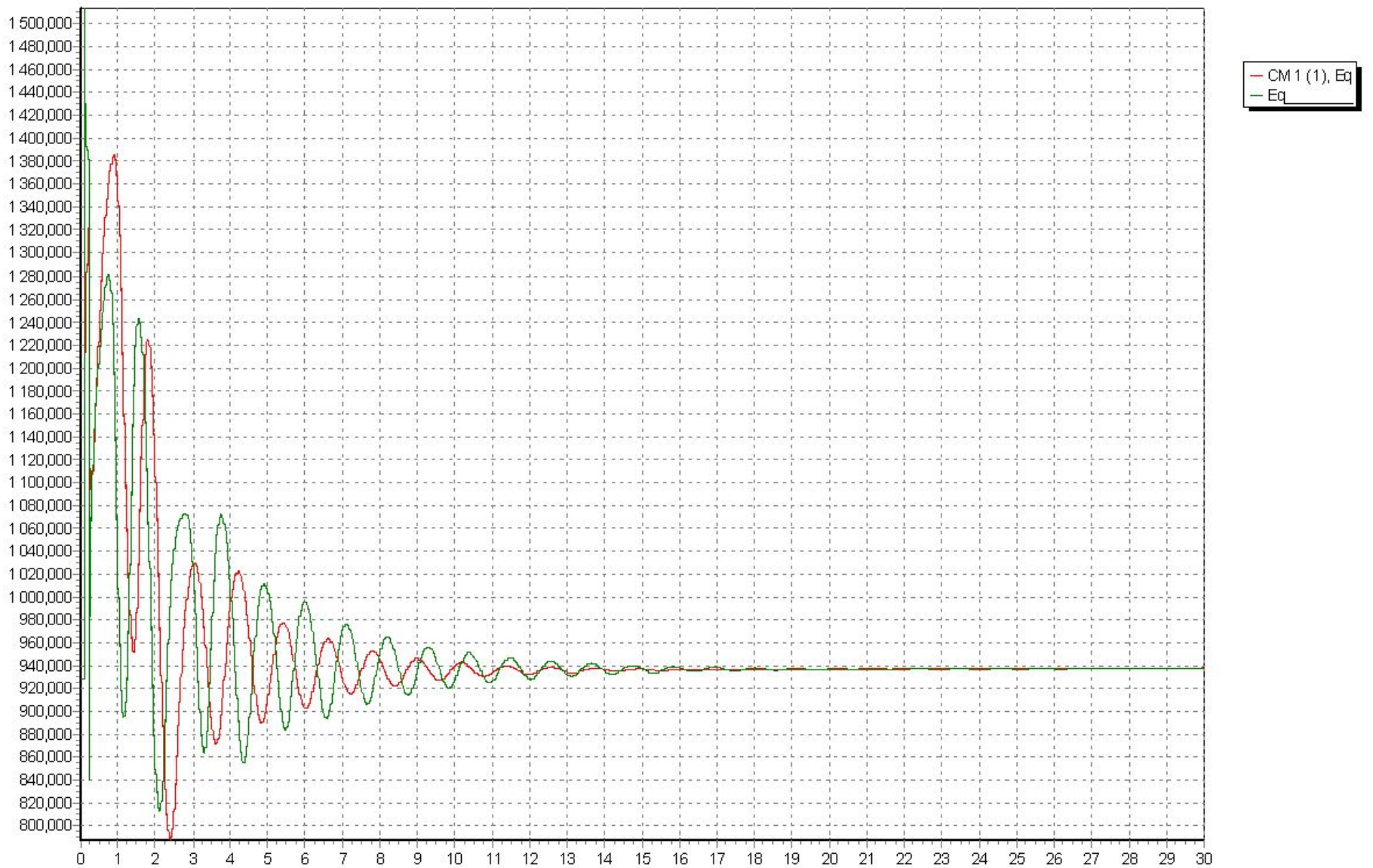
Расчет с АВВ ПД без АРС
Взаимный угол генераторов



Расчет с APB без APC
APB ПД действует одинаково (Eqs)



Расчет с АВ ПД без АРС
Скачек Eq



Расчет с АВ ПД без АРС
Скачек E_q

Расчет с заданием подробных данных по генераторам с APB СД без APC

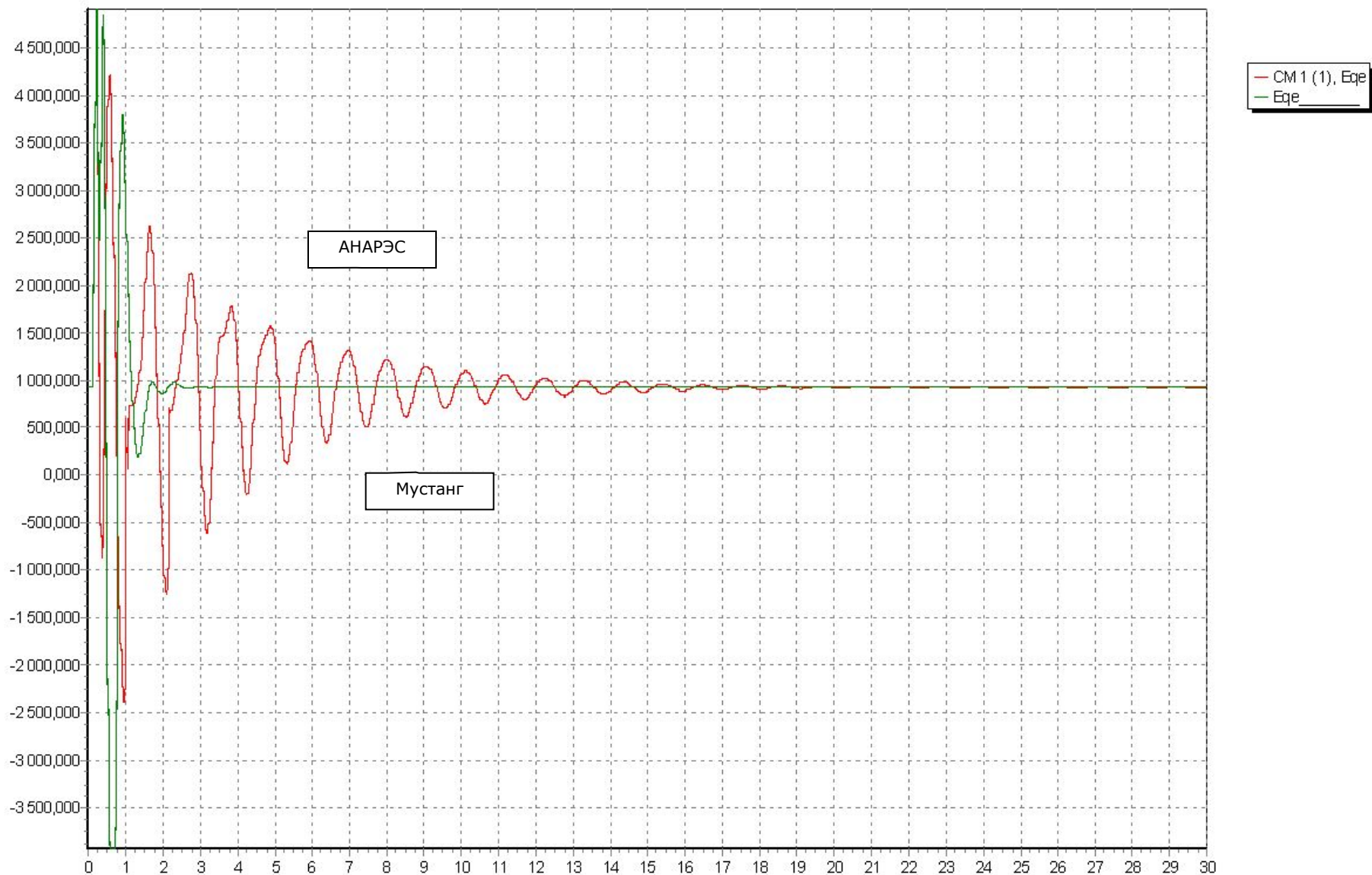
Параметры генераторов те же, что и в предыдущем расчете.

Возмущение то же.

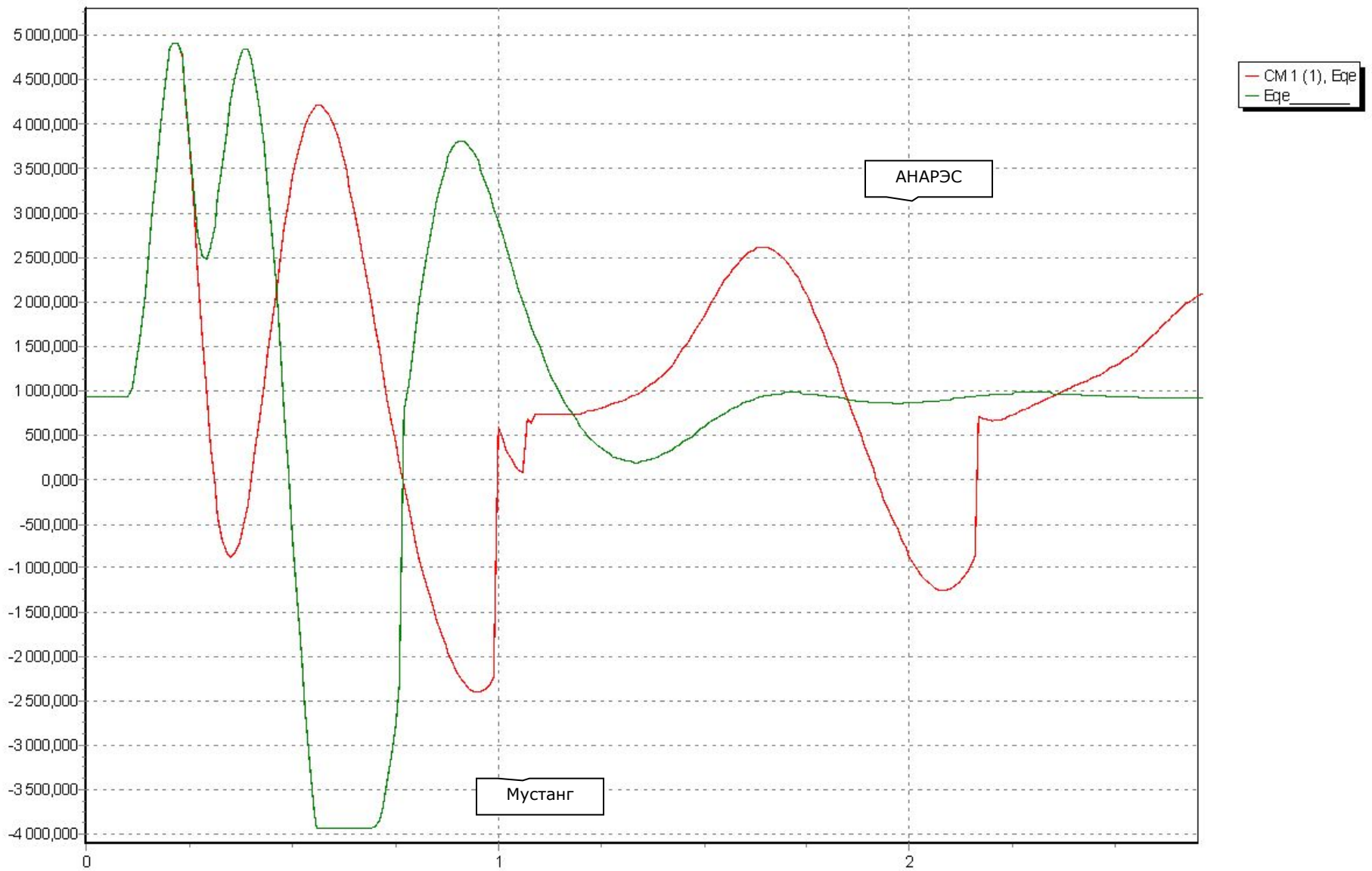
Параметры APB:

Узел	Тип	T_e	T_p	$T'u$	T_f	T_{fo}	$T'f$	$T'if$	K_u	$K'u$	K_f	$K'f$	$K'if$
1	1	0,1	0,04	0,039	0,9	0,06	0,026	0,39	25	3,6	2,6	2,5	-1,5
2	1	0,1	0,04	0,039	0,9	0,06	0,026	0,39	25	3,6	2,6	2,5	-1,5

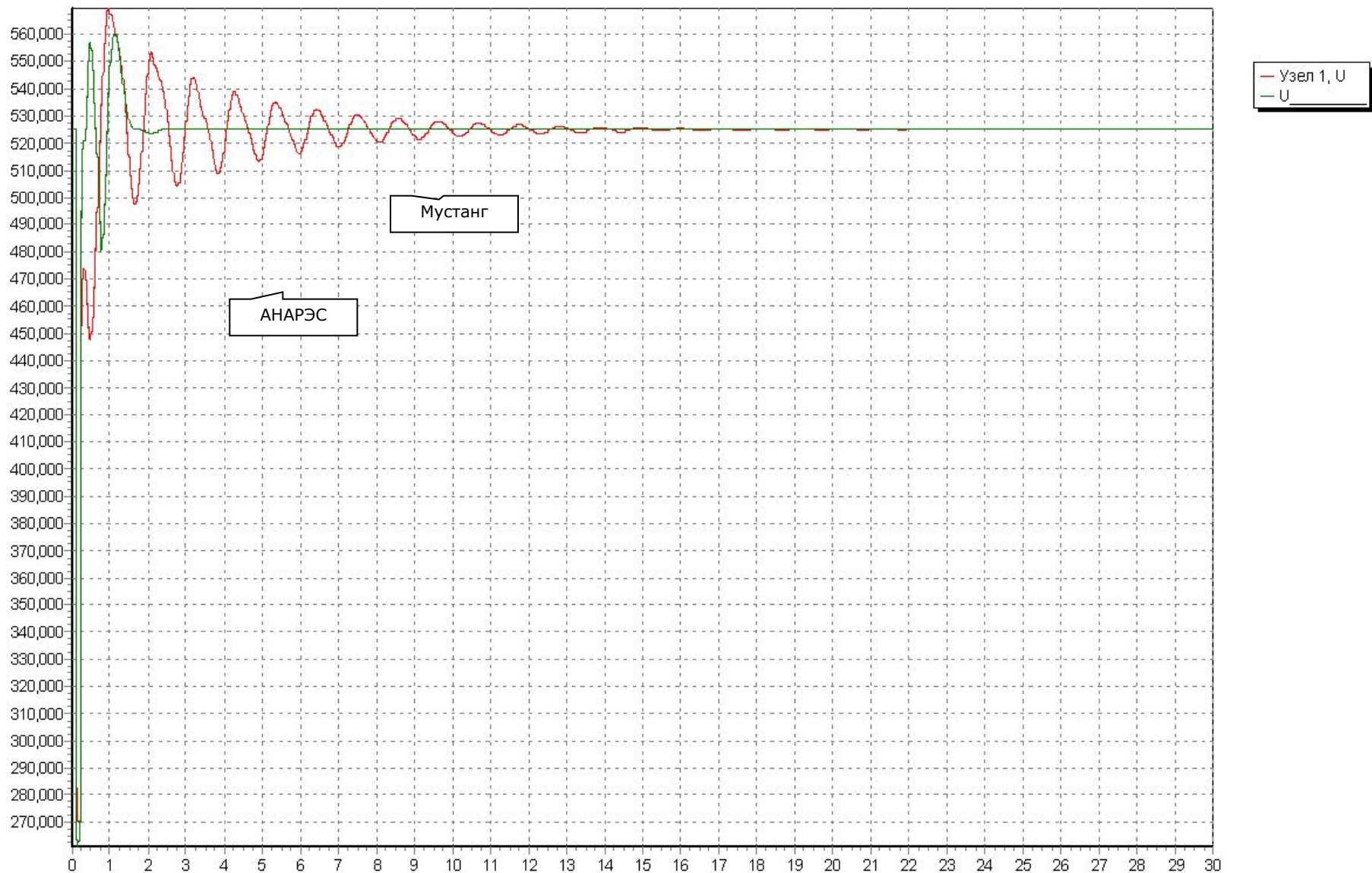
Узел	Тип	$E_q \min$	$E_q \max$	$E_{qe} \min$	$E_{qe} \max$	$U_{pв} \min$	$U_{pв} \max$
1	1	0,6	2	-3,2	4	-8	8
2	1	0,6	2	-3,2	4	-8	8



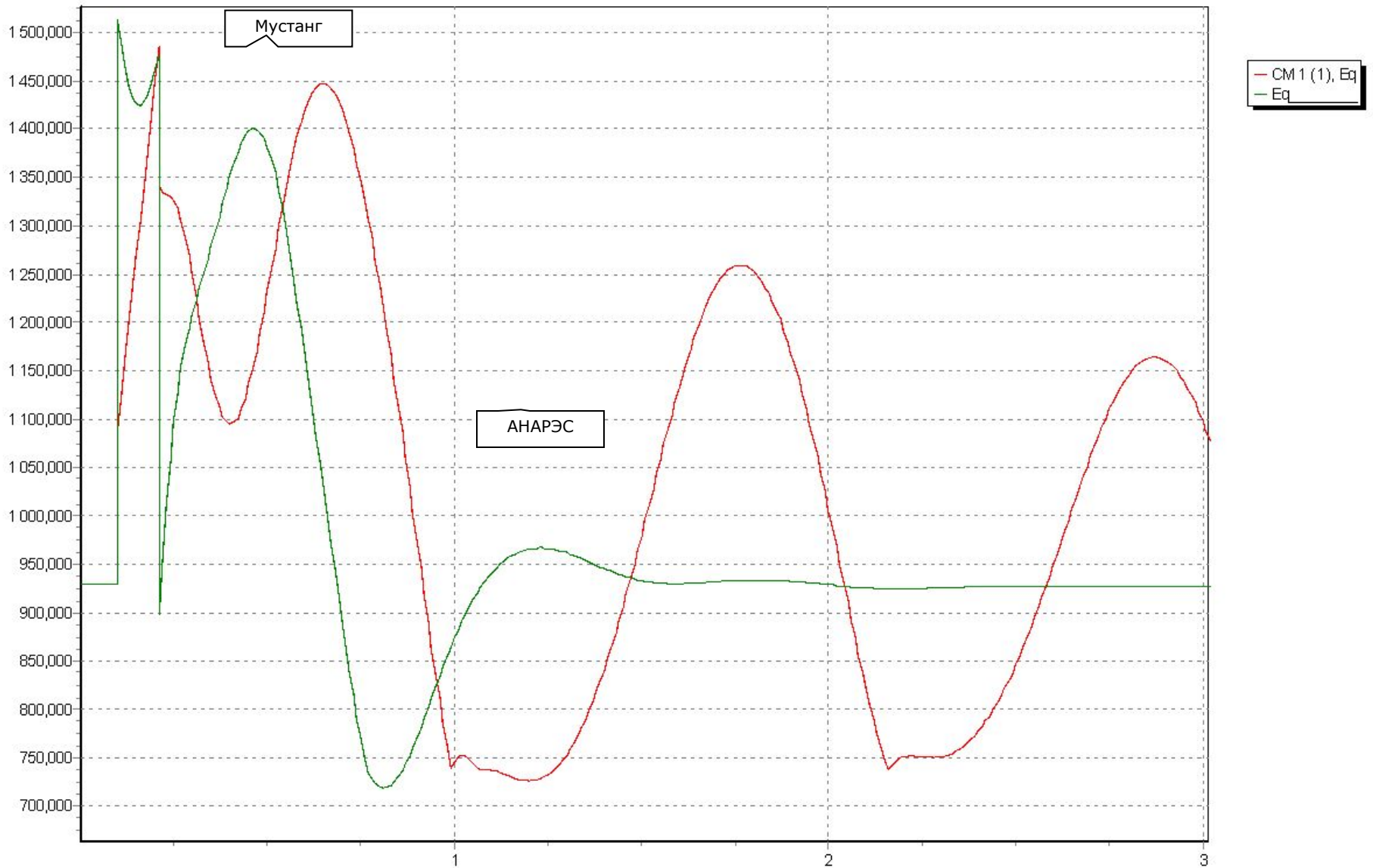
Расчет с АРВ СД без АРС. Ege генератора 1



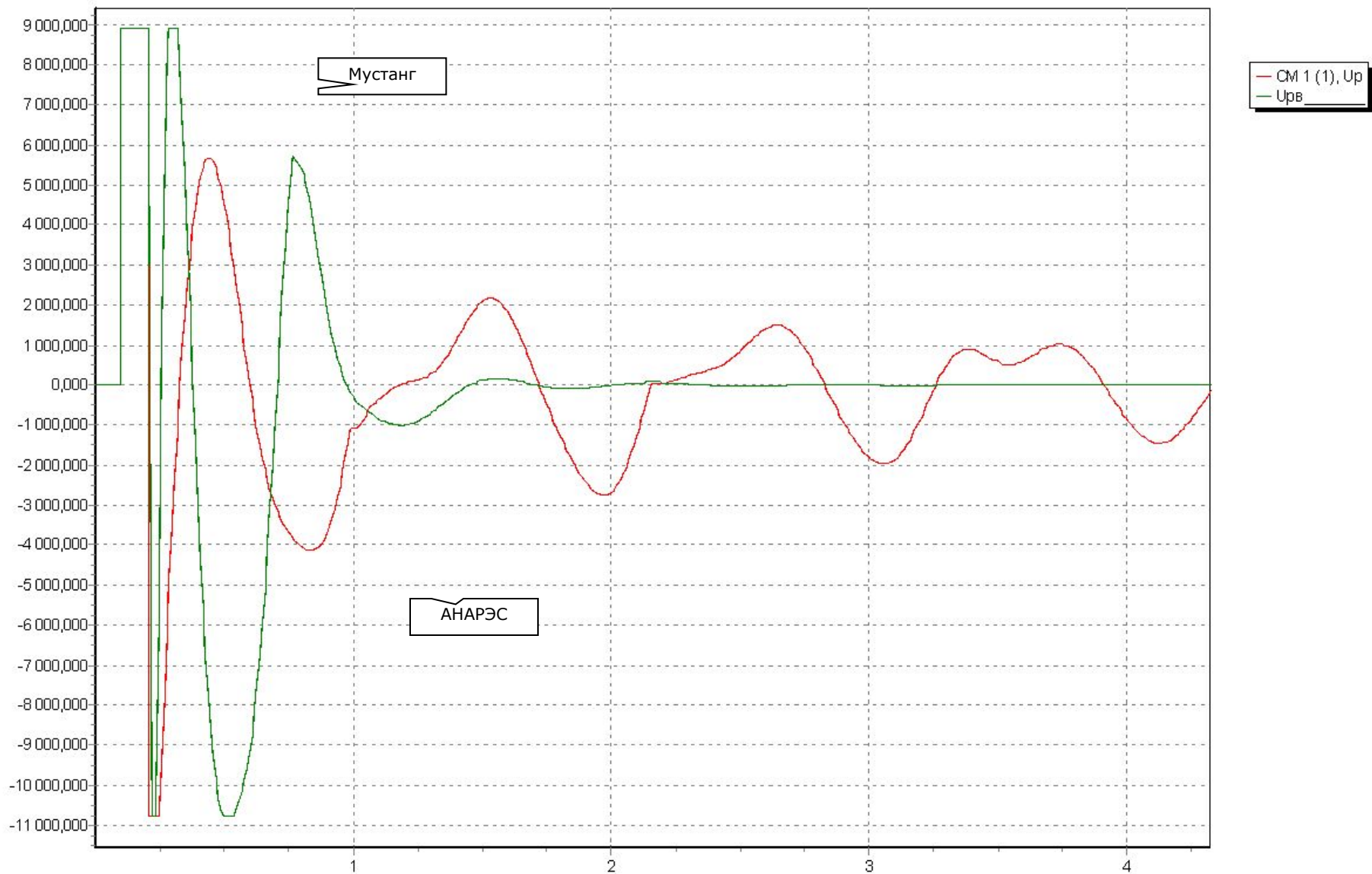
Расчет с APB СД без APC. Ege генератора 1 в начальный момент



Расчет с АВ СД без АРС. Напряжение в узле 1



Расчет с АРВ СД без АРС. Скачек Eд



Расчет с АВВ СД без АРС. Напряжение на выходе РВ

Соответствие моделей АНАРЭС и ТЗ НИИПТ на ПО расчета динамической устойчивости

Модель СМ

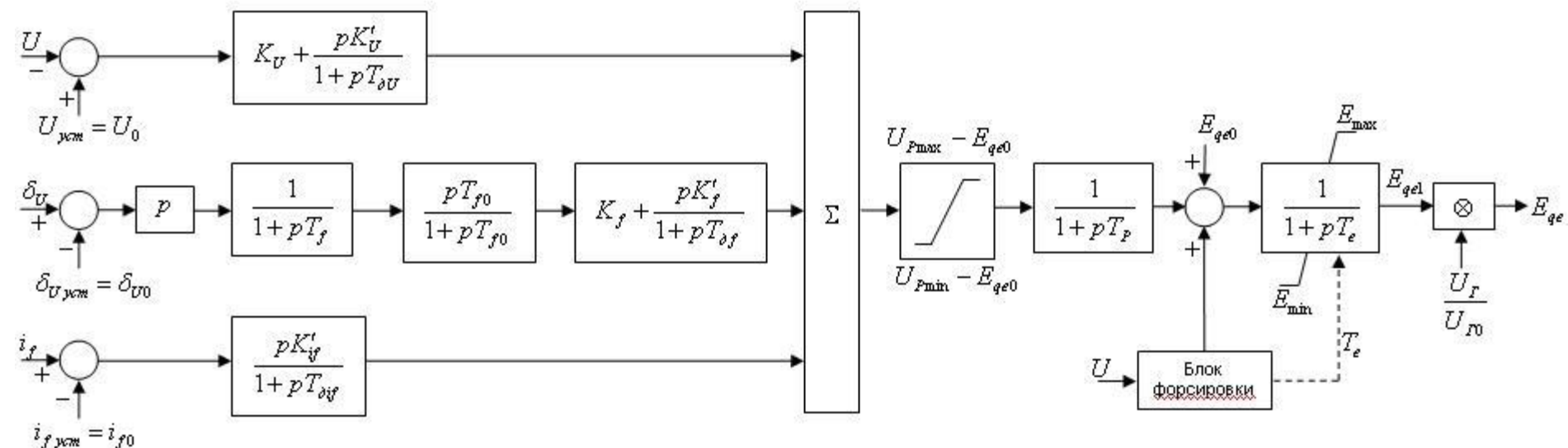
- Модель СМ применяемая в АНАРЭС в основном соответствует полной модели описанной в ТЗ НИИПТ на ПО расчета динамической устойчивости
 - Отличия – учет частоты
 - В АНАРЭС – учет частоты в статорной цепи через средневзвешенную частоту (скорость центра инерций машин)
 - В ТЗ – скорость роторов ротора машины.
 - Предлагается учитывать частоту в статорной цепи через средневзвешенную
-

Соответствие моделей АНАРЭС и ТЗ НИИПТ на ПО расчета динамической устойчивости

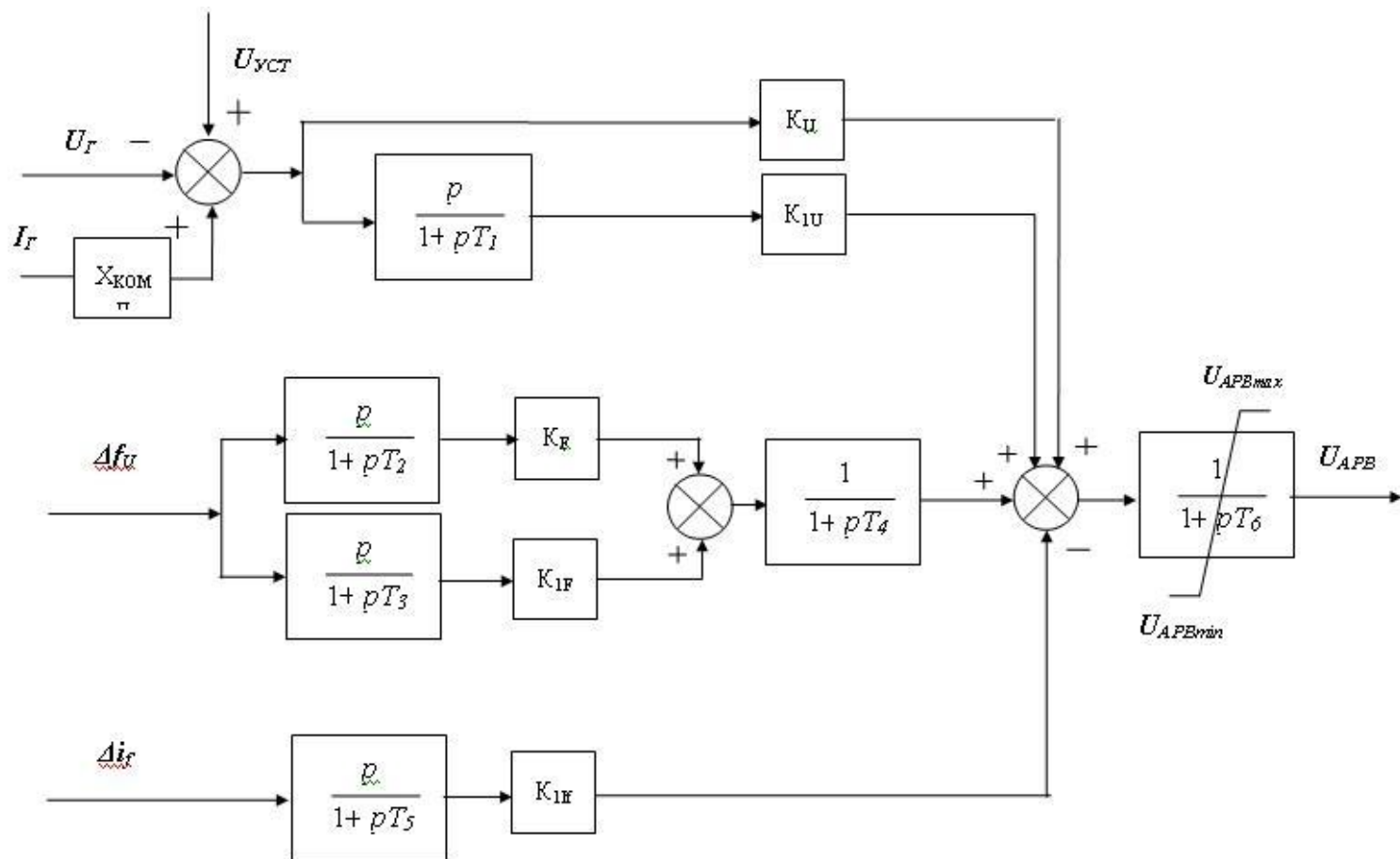
Модель АРВ

- Модель АРВ ПД применяемая в АНАРЭС совпадает с предложенной в ТЗ
 - Модель АРВ СД применяемая в АНАРЭС совпадает со стандартной моделью регулятора возбуждения АРВ-СД на магнитных усилителях, предложенной в ТЗ.
-

Модель АРВ СД АНАРЭС



Стандартная модель регулятора возбуждения АРВ-СД на магнитных усилителях ТЗ НИИПТ



Соответствие моделей АНАРЭС и ТЗ НИИПТ на ПО расчета динамической устойчивости

Модель АРС

- В ТЗ предлагается моделировать зону нечувствительности АРС так как это сделано в Мустанге.
-

Соответствие моделей АНАРЭС и ТЗ НИИПТ на ПО расчета динамической устойчивости

Модель нагрузки

- Моделирование СХН в переходных процессах в АНАРЭС в настоящий момент не включено, но планируется.
 - В асинхронных двигателях учитываются также переходные процессы в роторе.
-

Соответствие моделей АНАРЭС и ТЗ НИИПТ на ПО расчета динамической устойчивости

Модели ППТ, ВПТ, FACTS

- Сейчас не реализовано. Планируется

Модели котлов и турбин

- Сейчас не реализовано. Планируется

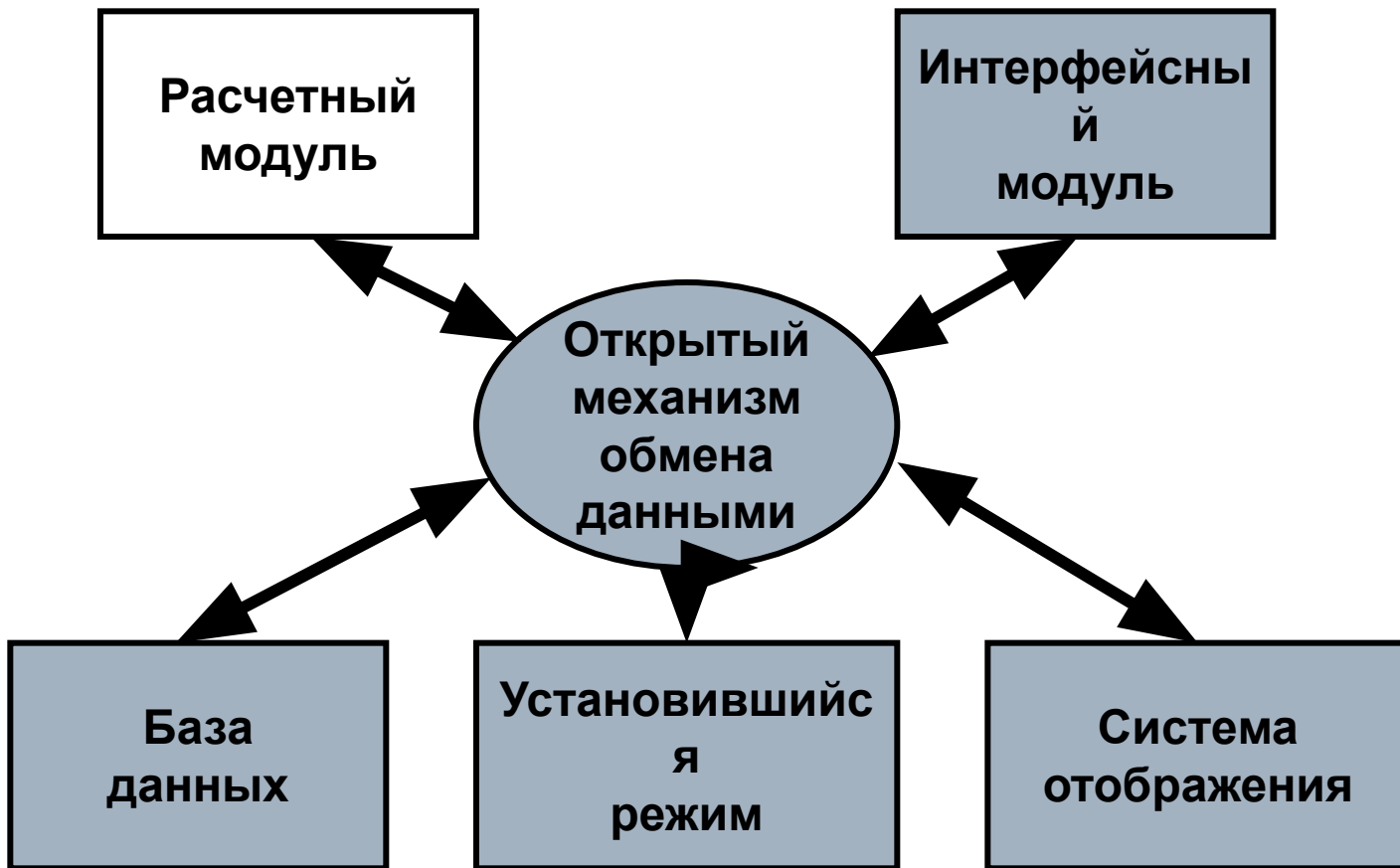
Системы автоматического управления

- Могут быть реализованы на основе существующего механизма ПАА.
-

АНАРЭС - Динамика

- Структура программы
 - Структура расчетного блока
 - Блок моделирования ПАА
 - Взаимодействие с блоком пользовательского интерфейса
 - Планы развития
-

Структура программы



Структура расчетного блока

- Модуль численного интегрирования
 - Модуль решения СЛАУ
 - Модель СМ
 - Модель АМ
 - Модуль АРВ
 - Встроенные модели АРВ
 - Механизм внешних регуляторов
 - Модуль АРС
 - Встроенная модель АРС
 - Механизм внешних АРС
 - Модуль ПАА
 - Модуль моделей котлов и турбин (заглушка)
 - Модуль дополнительных регуляторов (заглушка)
-

Структура расчетного блока

Модуль АРВ

- ❑ Построен по объектной модели
 - ❑ Компактное хранение данных
 - ❑ Высокая скорость работы
 - ❑ Возможность подключения внешних регуляторов по СОМ-технологии (Inprocess Server).
 - ❑ Спецификация на интерфейс подключаемых регуляторов будет открыта.
-

Структура расчетного блока

Модуль дополнительных регуляторов

- В каждый узел и ветвь может быть добавлен шунт и сопротивление соответственно, вычисляемые динамически с помощью внешних регуляторов.
 - Возможность подключения внешних регуляторов по COM-технологии (Inprocess Server).
 - Интерфейс подключаемых аналогичен АРВ.
-

Моделирование систем ПАА и РЗА

- Универсальная имитационная объектная модель устройств РЗ и ПАА.
 - Специализированный редактор ПАА
 - Возможность создания шаблонов ПАА
 - Возможность задания сложной логики
 - Структура логики адаптирована для максимально быстрой проверки логики ПАА
-

Объекты ПАА

- Первичные коммутационные элементы;
 - Вторичные коммутационные элементы;
 - Датчики (реле тока, напряжения, мощности и т. п.);
 - Варианты состояния схемы сети (состояние элементов сети, при которых работают определенные устройства);
 - Пусковые органы (событие, при возникновении которого идет запуск устройств РЗ и ПАА);
 - Управляющие воздействия (которые выдают устройства РЗ и ПАА);
 - Устройства РЗ и ПАА, имеющие набор условий срабатывания и несколько ступеней со своими уставками и управляющими воздействиями.
-

Управляющие воздействия

- Отключение/включение элементов ЭЭС (ЛЭП, генераторы, нагрузка, выключатели и т.п.).
 - Изменение нагрузки.
 - Изменение генерации.
 - Воздействие на другие устройства РЗ и ПАА.
 - Набор управляющих воздействий может пополняться.
-

Программируемая логика

- ❑ Логические операции;
- ❑ Арифметические операции;
- ❑ Условные операторы;
- ❑ Операторы специального назначения;
- ❑ Алгоритмы типовых устройств РЗ и ПАА.
- ❑ Алгоритмы регуляторов и др.

Применяется для:

- ❑ Выбора вариантов состояния схемы сети;
 - ❑ Проверки условия срабатывания устройств РЗ и ПАА;
 - ❑ Проверки условий выдачи управляющего воздействия
-

Редактор ПАА

АНАРЭС-2000: Редактор ПАА

Файл Правка Вид Объекты Сервис ?

Объекты

Файл 'АРПТ ЛЕТО 2005'

- Условия
 - 1. АРПТ ВЛ-110 кВ Магистральная-ТЭЦ2-1ц
 - 2. АРПТ ВЛ-110 кВ Магистральная-ТЭЦ2-2ц
 - 6. АРПТ ВЛ-220 кВ Киндери-3.Дольская
 - 3.1. АРПТ (осн.компл) ВЛ-220 кВ Киндери-Центральне
 - 7. АРПТ ВЛ-220 кВ Киндери-ТЭЦ3
 - 5. АРПТ ВЛ-220 кВ Букаш-Нижнекамская
 - 11. АРПТ ВЛ-110 кВ Тэшевская 1ц(КТЭЦ2)
 - 12. АРПТ ВЛ-110 кВ Тэшевская 2ц(КТЭЦ2)
 - 13. АРПТ ВЛ-110 кВ Южная-Центральная 1ц
 - 14. АРПТ ВЛ-110 кВ Южная-Центральная 2ц
 - 17. АРПТ ВЛ-110 кВ КТЭЦ1-Западная
 - 19. АРПТ ВЛ-110 кВ КТЭЦ2-Западная 1ц
 - 20. АРПТ ВЛ-110 кВ КТЭЦ2-Западная 2ц
 - 24. АРПТ ВЛ-220 кВ ЗГРЭС-Узловая 1ц
 - 25. АРПТ ВЛ-220 кВ ЗГРЭС-Узловая 2ц
 - 21. АРПТ ВЛ-110 кВ 3.Дольская-Тяг-ТЭЦ3
 - 22. АРПТ ВЛ-110 кВ 3.Дольская-Волна-ТЭЦ3
 - 23. АРПТ ВЛ-110 кВ Уруссу-Азнакаево
 - 27. АРПТ ВЛ-220 кВ Бугульма-Абдр-Уэл обе ВЛ Заинс
 - АЛАР(осн.компл) ВЛ-220 кВ Киндери-Центральная-Бу
 - АЛАР(рез.компл) ВЛ-220 кВ Киндери-Центральная-Бу
 - 8. АРПТ Сторона 220 кВ АТ-1 Киндери
 - 15. АРПТ Сторона 220 кВ АТ-1 Центральная
 - 16. АРПТ Сторона 220 кВ АТ-2 Центральная
 - 18. АРПТ ВЛ-110 кВ КТЭЦ1-Новокремлевская
 - 26. АРПТ ВЛ-110 кВ Азнакаево - Якеево
 - 28. АРПТ ВЛ-220 кВ Бугульма-Абдр-Уэл одна ВЛ Заинс
 - 29. АРПТ ВЛ-220 кВ Бугульма-Письмянка обе ВЛ Заинс
 - 30. АРПТ ВЛ-220 кВ Бугульма-Письмянка одна ВЛ Заинс
 - 3.0. АРПТ (осн.компл) ВЛ-220 кВ Киндери-Центральне
- Схемы сети
- Пусковые органы
- Упр. воздействия
- Датчики
- РЗА
- Выключатели

Условие

Название
1. АРПТ ВЛ-110 кВ Магистральная-ТЭЦ2-1ц

Схема: [Не определена]

ПО: [Не определены]

Команды

название

инициализация

```

I=ДАТЧИК[ВЛ-110 кВ Магистральная-ТЭЦ2(1ц)ток]; //3
dT=ДАТЧИК[dT]; //Приращение времени от предыдуш
ClearT=ДАТЧИК[ClearT]; //Признак сброса времени
$T=0.0; //Текущее время
$S=0; //Текущее состояние
    
```

выполнение

```

Еслию =(ClearT,1,0.1); // if (ClearT>=1)
Присвоить(T,0.0); // T=0;
Сложить(T,dT); // T=T+dT;
Еслик (<I,down,2); // if k<I,down
Присвоить(T,0.0); // T=0;
!Присвоить(S,0); // S=0;
Еслию =(I,Imax,1); // if I>=Imax
!Присвоить(S,1); // S=1;
    
```

Уставки

- IP
- RESULT
- IMAX
- IDOWN
- TSET
- I
- DT
- CLEAR
- T
- S
- 1.0
- 1
- 0.0
- 2
- 0

Ступени

Название	Начало	Окончание	Уставка	Упр.воздействие
Сигнальная ступень			IMAX=510.0 IDOWN=500.0 TSET=9.0	
Ступень 1 лето	01.04.2005	01.10.2005	IMAX=150.0 IDOWN=140.0 TSET=10.0	ОН от ШОН-100 на КТЭЦ-2
Ступень 1 зима	01.10.2005	01.04.2006	IMAX=660.0 IDOWN=567.6 TSET=10.0	ОН от ШОН-100 на КТЭЦ-2
Ступень 2 лето	01.04.2005	01.10.2005	IMAX=620.0 IDOWN=533.2 TSET=15.0	ОН от ШОН-300 на КТЭЦ-2
Ступень 2 зима	01.10.2005	01.04.2006	IMAX=660.0 IDOWN=587.4 TSET=15.0	ОН от ШОН-300 на КТЭЦ-2

Отладка ПАА

The screenshot shows a debugger window titled "Отладчик логики ПАА 'Условие: 1. АРПТ ВЛ-110 кВ Магистральная-ТЭЦ2-1ц, Ступень: Ступень 2 зима'". The interface is divided into three main sections:

- Code Editor (Top Left):** Contains the main logic code in Russian. Comments describe parameters like relay settings and current values.
- Code Editor (Top Right):** Shows the compiled ladder logic code in a more compact format.
- Variable Table (Bottom Right):** A table listing the current values of variables used in the logic.

Main Logic Code (Top Left):

```
$Imax=510.0; //Уставка срабатывания реле
$Idown=500.0; //Уставка возврата реле
$Tset=9.0; //Уставка по времени
I=ДАТЧИК(ВЛ-110 кВ Магистральная-ТЭЦ2-1ц)ток; //Значение тока ВЛ
dT=ДАТЧИК(dT); //Приращение времени от предыдущего расчета
ClearT=ДАТЧИК(ClearT); //Признак сброса времени
$T=0.0; //Текущее время
$S=0; //Текущее состояние
```

Compiled Code (Top Right):

```
Если=!(ClearT.1.0.1); // if (ClearT)=1
Присвоить(T,0.0); // T=0;
Сложить(T,dT); // T=T+dT;
Если<(I.Idown,2); // if I<Idown
Присвоить(T,0.0); // T=0;
Присвоить(S,0); // S=0;
Если<=(I.Imax,1); // if I>=Imax
Присвоить(S,1); // S=1;
Если=(S,1,2); // if S=1
Если=(T.Tset,1); // if T>=Tset
Установить(Result); // return true
Сбросить(Result); // return false
```

Variable Table (Bottom Right):

Переменная	Значения
IP	0
RESULT	-1
IMAX	660.000
IDOWN	587.400
TSET	15.000
I	696.021
DT	0.000
CLEAR_T	1.100
T	0.000
S	0
1.0	1.000
1	1

Current Step Code (Bottom Left):

```
ЕДТ<=CLEAR_T.1.0.1
ПРИСВОИТЬ(T,0.0)
СЛОЖИТЬ(T,dT)
ЕСЛИ<(I.IDOWN,2)
ПРИСВОИТЬ(T,0.0)
ПРИСВОИТЬ(S,0)
ЕСЛИ>=(I.IMAX,1)
ПРИСВОИТЬ(S,1)
ЕСЛИ=(S,1,2)
ЕСЛИ>=(T.TSET,1)
УСТАНОВИТЬ(RESULT)
СБРОСИТЬ(RESULT)
<-Конец>
```


Части ПАА, реализованные внутри программы

Части ПАА, реализованные внутри программы:

- Датчики
- Управляющие воздействия
- Обобщенные алгоритмы устройств

Набор может пополняться

Части ПАА, реализованные средствами редактора ПАА:

- Взаимосвязь между элементами ПАА;
 - Логика работы записанная на макроязыке.
 - Уставки (с возможностью задания по сезонам), привязки к расчётной схеме и т.д.
-

Взаимодействие с пользовательским интерфейсом

- Расчетный модуль выполнен в виде (InProcess) COM-сервера.
 - Спецификация на интерфейс будет открыта.
 - Интерфейс близок к идеологии OPC-сервера, но оптимизирован именно под расчетные задачи
-

Пользовательский интерфейс

- Отображение в табличном виде
 - Отображение на графиках.
 - Связь с MS Excel (возможна как для ввода исходных данных, так и для вывода результатов).
-

Планы развития

- Исследования и реализация моделей: котлов, турбин, ППТ, FACTS и др.
 - Реализация задания логики ПАА с помощью графического языка функциональных блоков
 - Поддержка формата обмена данными CIM/XML
 - Работа по улучшению пользовательского интерфейса как программы Динамика, так и всего комплекса АНАРЭС.
-

Предложения по этапности работ в соответствии с ТЗ НИИПТ

- Тестирование существующей версии программы динамики «АНАРЭС» на имеющейся в СО ЦДУ программе Eurostag.
 - Доработка программы с учетом требований ТЗ к моделированию АРВ, РЗА, но без учета автоматике распределения активных и реактивных мощностей и уравнений котлов. Доработка ТЗ в части АРВ.
 - Доработка ТЗ и учет котлов.
 - Доработка ТЗ и учет ППТ и ВПТ.
 - Доработка ТЗ и учет вторичного регулирования частоты и активной мощности.
-