

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ ДЕМПФИРОВАНИЯ
НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС
THE EFFECT OF DAMPING
ON THE ELECTROMECHANICAL TRANSIENT**

А.А. Белоус

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
volkau@bntu.by

A. Belous

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** проведен анализ динамической устойчивости электроэнергетической системы при разных коэффициентах демпфирования.*

***Abstract:** analysis of the dynamic stability of an electric power system at different damping coefficients.*

***Ключевые слова:** устойчивость, анализ системы, коэффициент демпфирования.*

***Keywords:** stability, system analysis, characteristic equation, different damping coefficients.*

Введение

Демпферный коэффициент вводится в уравнение движения синхронной машины в случаях, когда целесообразно упрощенно, без записи дифференциальных уравнений электромагнитных переходных процессов в контурах ротора, отразить влияние этих контуров в режимах асинхронной работы или синхронных электромеханических качаний синхронной машины (СМ).

Демпферный коэффициент связан с механическими и электрическими явлениями. В сложной системе, содержащей несколько несинхронно работающих генераторов, в статоре каждого из них появляются токи и напряжения, содержащие слагающие разных частот.

Эквивалентная мощность демпфирования, отражаемая значением коэффициента k_d в каждой машине является суммой ряда мощностей [3]:

- 1) обусловленных трением и пропорциональных абсолютной скорости ротора данной машины;
- 2) связанных с действием «собственного момента»;
- 3) вызванных асинхронным эффектом, появляющимся в связи с взаимодействием токов в короткозамкнутых обмотках ротора и результирующего магнитного потока.

Основная часть

Выполним оценку влияния коэффициента k_d на динамическую устойчивость.

В качестве возмущения для исследования динамической устойчивости примем:

- 1) отключение линии Л4;
- 2) короткое замыкание на линии Л4 вблизи узла 2 и последующее её отключение.

Расчеты проводим в программе Mustang. Исходные данные и результаты расчета исходного установившегося режима представлены на рисунке 1.

Название	N	Код	Устарт	Урасч	dU	Pн0	Qн0	Unorm	Nсхн	Unом	Pr	Qr	Уша	Ушр	Qmin	Qmax
БУ	1	1100	110,00	110,00				110,00		110,00	-72,9	241,2			-5000	5000
	2	11	347,00	324,34	0,4	100,00	80,00	347,00		347,00						
	3	11	347,00	312,94	1,0			347,00		347,00						
	4	11	10,50	8,97	-4,1	120,00	60,00	10,50		10,50						
	5	11	347,00	319,04	3,9			347,00		347,00						
	6	1010	15,75	15,75	7,7			15,75		15,75	400,0	-54,4			-5000	5000
	7	11	347,00	304,61	1,5	95,00	85,00	347,00		347,00						
Г	8	1010	20,00	20,00				20,00		20,00	300,0	193,8			-5000	5000
	9	11	20,00	20,00				20,00		20,00						
СТ	10	1010	17,65	17,65				17,65		17,65	400,0	129,5			-5000	5000

Название Ni	Название Nj	Ni	Nj	Nп	Название R	X	G	B	Kт
	БУ	2	1	Т2	0,190	10,512	6,8	36,6	3,017
		2	3	Л5	3,800	32,300	2,0	-346,0	
		2	5	Л4	5,520	37,720	3,1	-392,1	
		3	4	Т3	2,528	70,079	3,2	11,0	33,048
		3	7	Л3	3,000	32,000	1,5	350,0	
		5	3	Л1	6,000	41,000	3,4	-426,2	
		5	6	Т1	0,042	16,554	7,3	29,9	20,030
	СТ	6	10	СТ		0,163			
		7	5	Л2	38,065	38,065	3,4	-388,7	
	Г	7	8	Т4	0,609	33,112	3,0	13,3	17,350
	Г	9	8	Г		0,340			

Рисунок 1 – Исходные данные и результаты расчета режима

Далее в разделе «Автоматика» моделируем желаемый процесс. Через 0,2 с сработала автоматика, которая отключила линию (рисунок 2).

Стандартные	АЛАР	Программируемые					
Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Nп	Уставка
			Т2	Ni	Nj	Nп	Парам1
			Время				
			0,200	2	5		
			Отключить связь				

Рисунок 2 – Ввод действий автоматики

Затем заполним раздел «Генераторы» (рисунок 3).

Название	N	Блок	Uгном	Pгном	COS(φ)	D	Mj/Tj	X'd	X
ЭС	1		110,00					0,399	
Ст	6		15,75	400,00	0,850	18,00	2720,00	0,163	
Г	8		20,00	300,00	0,850	18,00	2100,00	0,340	

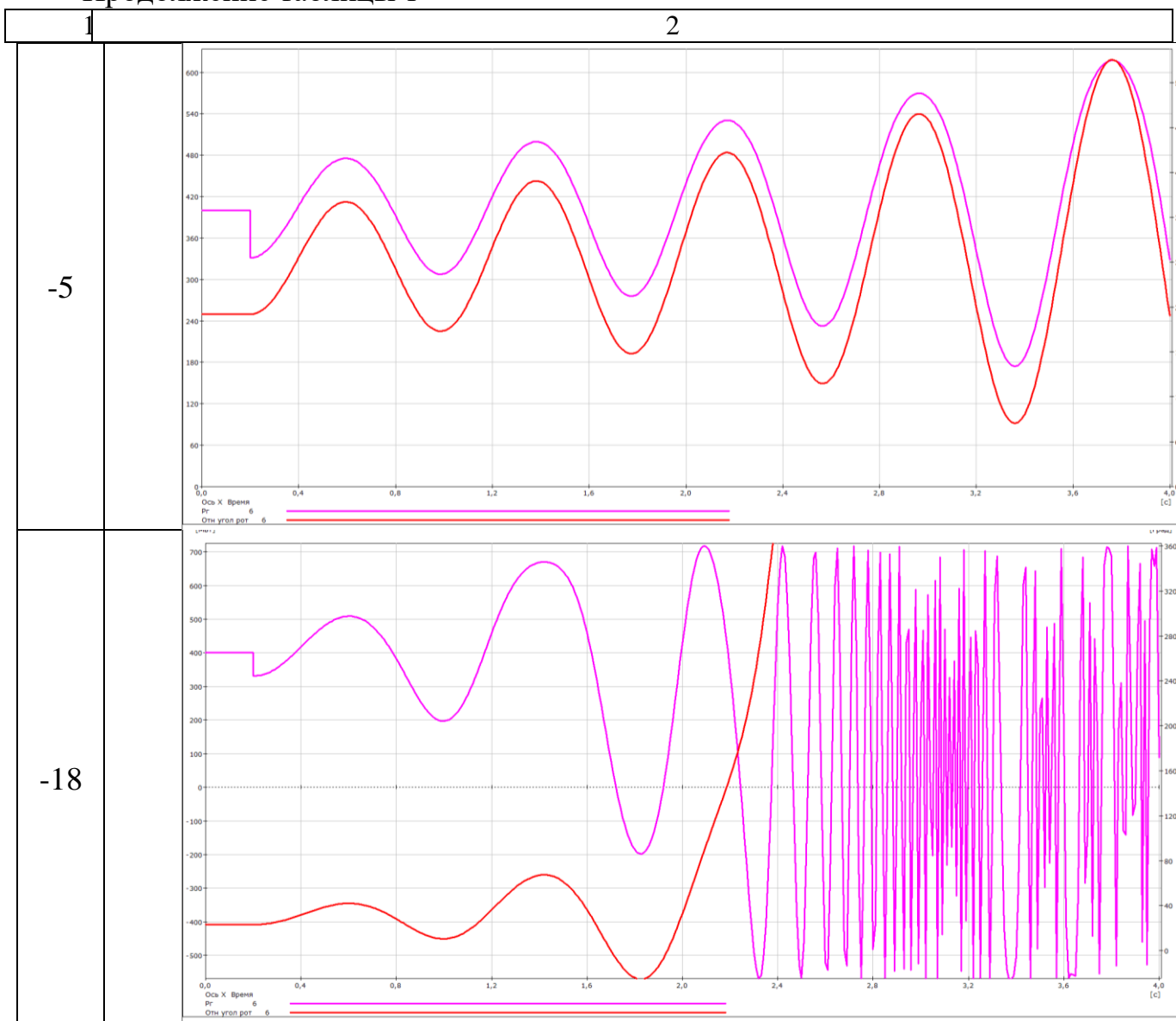
Рисунок 3 – Ввод данных о генераторах

Далее в таблице 1 покажем графики зависимостей $P_{Г6}$, δ_6 от времени при изменении коэффициента демпфирования.

Таблица 1 – Зависимость δ_6 и $P_{Г6}$ от времени при отключении Л4

k_d	Характер изменения параметров
1	2
18	<p>The graph for $k_d = 18$ shows the time response of power $P_{Г6}$ (red line) and angle δ_6 (magenta line) after a disturbance. The x-axis represents time in seconds from 0.0 to 4.0. The left y-axis is power in MW (0 to 450), and the right y-axis is angle in degrees (0 to 36). Both variables start at a steady state of approximately 300 MW and 30 degrees. At $t \approx 0.2$ s, there is a step change. The power curve rises to a peak of about 430 MW at $t \approx 0.6$ s, then settles to a new steady state of approximately 380 MW. The angle curve rises to a peak of about 34 degrees at $t \approx 0.6$ s, then settles to a new steady state of approximately 30 degrees. The legend indicates: Ось X: Время; Рг: 6; Оты угол rot: 6.</p>
5	<p>The graph for $k_d = 5$ shows the time response of power $P_{Г6}$ (red line) and angle δ_6 (magenta line). The axes and initial conditions are the same as in the $k_d = 18$ case. After the disturbance at $t \approx 0.2$ s, both variables exhibit damped oscillations. The power curve oscillates between approximately 320 MW and 430 MW, while the angle curve oscillates between approximately 28 degrees and 34 degrees. The amplitude of the oscillations decreases over time. The legend indicates: Ось X: Время; Рг: 6; Оты угол rot: 6.</p>
0,001	<p>The graph for $k_d = 0,001$ shows the time response of power $P_{Г6}$ (red line) and angle δ_6 (magenta line). The axes and initial conditions are the same as in the previous cases. After the disturbance at $t \approx 0.2$ s, both variables exhibit sustained, high-frequency oscillations. The power curve oscillates between approximately 290 MW and 440 MW, while the angle curve oscillates between approximately 27 degrees and 35 degrees. The legend indicates: Ось X: Время; Рг: 6; Оты угол rot: 6.</p>

Продолжение таблицы 1



Далее в разделе «Автоматика» моделируем следующее возмущение. Считаем, что в момент времени 0,2 с на линии Л4 вблизи 2-го узла произошло 3-х фазное КЗ. Через 0,2 с сработала автоматика, которая отключила линию (рисунок 4).

Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Nп	Уставка	T1	Кв	
			T2	Действие	Ni	Nj	Nп	Парам1	Парам2	Пар
				Время						
			0,100	Шунт	2			0,001		
			0,200	Отключить связь	2	5				
			0,200	Шунт	2			-0,001		

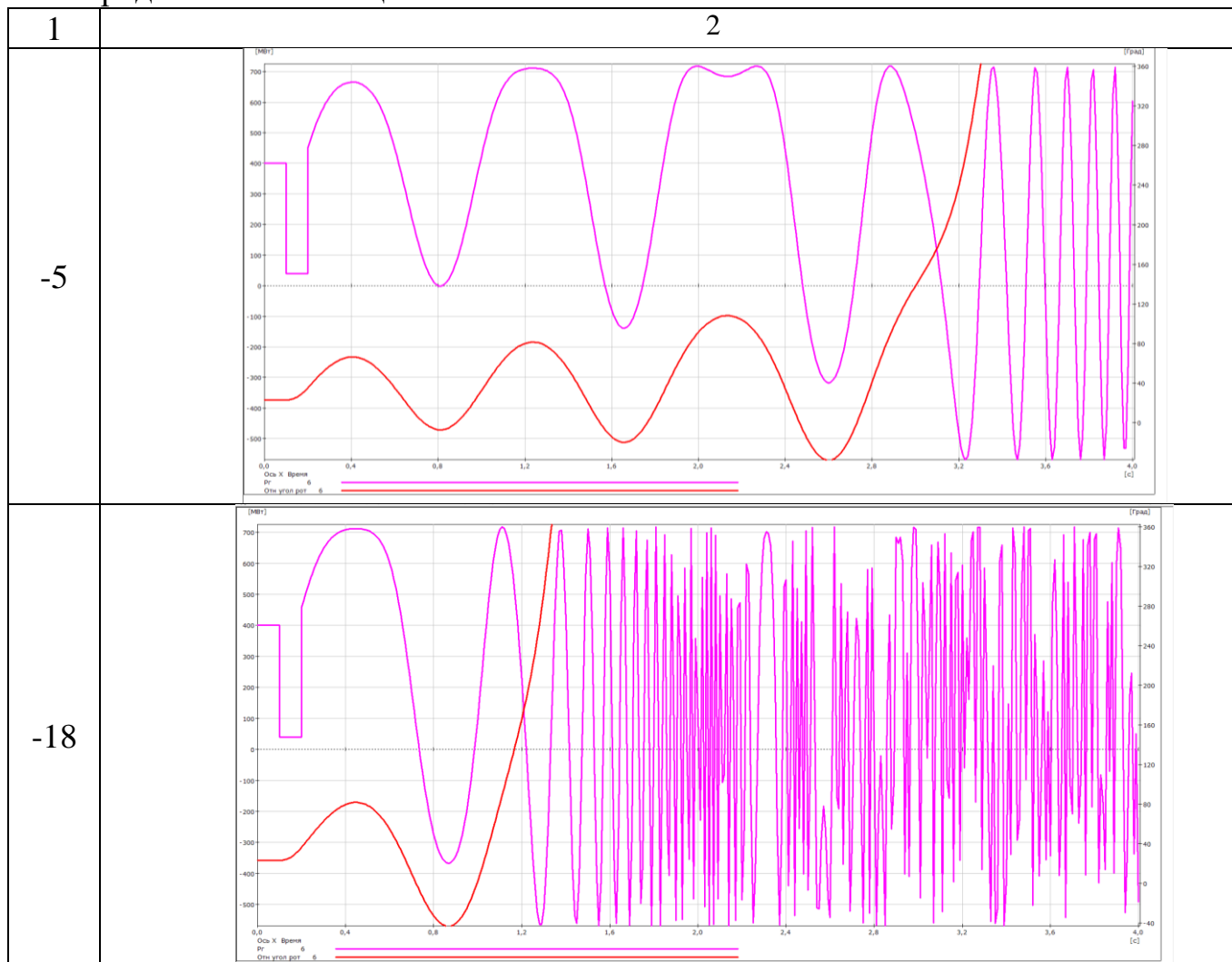
Рисунок 4 – Ввод действий автоматике

Далее в таблице 2 покажем графики зависимостей $R_{Г6}$, δ_6 от времени при изменении коэффициента демпфирования.

Таблица 2 – Зависимость δ_6 и $P_{Г6}$ от времени при КЗ и отключении Л4

k_d	Характер изменения параметров
1	2
18	
5	
0,001	

Продолжение таблицы 2



Заключение

Изменение коэффициента демпфирования k_d приводит к изменению характера переходного процесса. При коэффициенте демпфирования $k_d = 18$ колебания режимных параметров носят затухающий характер. При уменьшении коэффициента демпфирования система теряет устойчивость. Таким образом, демпфирование положительно влияет на устойчивость системы и превращает незатухающие колебания, возникающие при возмущениях в системе, в затухающие. В случае, когда эквивалентный коэффициент демпфирования принимает отрицательное значение, устойчивость системы ухудшается, и любое малое возмущение в такой системе вызывает ее нарушение.

Литература

1. Калентионюк, Е. В. Устойчивость электроэнергетических систем / Е. В. Калентионюк. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 376 с.
2. Гуревич, Ю. Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, А. А. Окин. / М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
3. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников. – Изд. 4-е. / М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.