

УДК 621.311

**САМОРАСКАЧИВАНИЕ РОТОРА ГЕНЕРАТОРА  
SELF-EXCITATION OF THE GENERATOR ROTOR**

А. С. Падрез

Научный руководитель – А. А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

A. Padrez

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

***Аннотация:** доклад посвящен важной теме самораскачивания ротора генератора. В нем рассматриваются ключевые факторы, влияющие на этот процесс, включая активное сопротивление цепи статора, нечувствительную зону и задержку действия устройства АРВ, а также последствия неправильной настройки устройства АРВ. Основательно было рассмотрено влияние активного сопротивления в статорной цепи.*

***Abstract:** the report is dedicated to the important topic of self-excitation of the generator rotor. It discusses the key factors influencing this process, including the active resistance of the stator circuit, the insensitive zone, and the delay in the operation of the automatic voltage regulation device, as well as the consequences of incorrect setting of the automatic voltage regulation device. The influence of active resistance in the stator circuit was thoroughly considered.*

***Ключевые слова:** самораскачивание, активное сопротивление цепи статора, демпфирующий коэффициент, нечувствительная зона, настройка устройства автоматической регулировки напряжения.*

***Keywords:** self-excitation, active resistance of the stator circuit, damping coefficient, insensitive zone, setting of the automatic voltage regulation device.*

**Введение**

Самораскачивание ротора генератора – это вид электромеханической неустойчивости, возникающей у генератора. В данном состоянии ротор, вращающийся с основной эксплуатационной скоростью, при некотором значении угла, начинает испытывать колебательные изменения скорости и угла. Эти колебания увеличиваются вплоть до того момента, когда ротор выпадает из синхронизма.

Самораскачивание может возникнуть по разным причинам. Вот три обобщенных фактора, которые могут способствовать этому явлению:

– большое активное сопротивление в статорной цепи: если в статорной цепи присутствует большое активное сопротивление, это может снизить демпфирование ротора и способствовать самораскачиванию;

- нечувствительная зона или задержка действия устройства автоматической регулировки возбуждения (АРВ): некорректная настройка или наличие зон, где АРВ не реагирует, может также вызвать самораскачивание;
- неправильная настройка устройства АРВ: если устройство АРВ настроено неправильно, оно может неэффективно контролировать напряжение, что повышает риск самораскачивания.

**Основная часть**

Для понимания влияния активного сопротивления в статорной цепи на самораскачивание ротора генератора используют уравнение движения ротора.

$$T_j \cdot \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + D \cdot \frac{d\Delta\delta}{dt} = P_T - P_G. \tag{1}$$

В данном уравнении величина  $D$  является величиной демпферных коэффициентов, которая отражает совокупность влияние всех демпфирующих факторов, а величина данного коэффициента прямо пропорционально зависит от влияния демпфирующих факторов на машину. В ходе исследований, проведенных ранее было выяснено, что при увеличении активного сопротивления в статорной цепи демпферный коэффициент уменьшается. Данной обстоятельство непременно приведет к появлению самораскачивания ротора генератора и, как следствие, выходу генератора из синхронизма.

Для наглядной демонстрации данного факта воспользуемся программой для моделирования процессов в электроэнергетических системах Mustang. Зададимся произвольной электроэнергетической системой и в первый раз проведем расчеты для генератора с  $D > 0$ , а во второй зададимся отрицательным значением демпферного коэффициента. Исходные данные и результаты расчетов узлов, ветвей, параметры автоматики и генераторов представлены на рис. 1–4 соответственно.

Название	N	Код	Устарт	Урасч	dU	Pно	Qно	Uном	Nсxn	Uном	Pг	Qг
БУ	1	1100	115,00	115,00				115,00		110,00	-401,4	31,9
	2	11	330,00	346,48	3,4			330,00		330,00		
	3	11	330,00	345,15	4,8			330,00		330,00		
	4	11	10,50	10,29	0,9	105,00	85,00	10,50		10,00		
	5	11	330,00	347,53	6,0			330,00		330,00		
Ст	6	1010	15,75	15,75	8,6	90,00	70,00	15,75		15,75	400,0	59,4
	7	11	330,00	345,45	6,0	95,00	75,00	330,00		330,00		
Г	8	1010	20,00	20,00	10,8			20,00		20,00	300,0	23,9

Название Nj	Ni	Nj	Nп	Название	R	X	G	B	Kт
БУ		2	1	T2	0,395	17,659	6,2	28,0	3,017
		2	3	Л1	5,320	45,220	2,8	-484,4	
		2	5	Л4	4,800	26,480	2,8	-270,4	
		2	7	Л5	4,560	38,760	2,4	-415,2	
		3	4	T3	2,890	74,868	2,8	20,6	31,428
Ст		5	3	Л2	2,400	25,600	1,2	-280,0	
		5	6	T1	0,428	17,659	6,2	28,0	22,027
Г		7	3	Л3	5,760	39,360	3,3	-409,2	
		7	8	T4	0,610	33,112	3,0	13,3	17,350

Рисунок 1 – Исходные данные и результаты по узлам и ветвям (начало)

Ni	Nj	Np	Название	Ui	Pij	Qij	Iij	Uj	Pji	Qji	Iji	dPн	dQн	dPобщ	dQобщ	Pкор/Pтрхх	Qr/Qтрхх	Kт
2	1	T2		346,5	402,7	-4,7	0,67	115,0	-401,4	31,9	2,02	0,53	23,82	1,28	27,19	0,75	3,37	3,017
2	3	Л1		346,5	-61,6	-10,8	0,10	345,1	62,1	-45,6	0,13	0,18	1,56	0,52	-56,37	0,34	-57,93	
2	5	Л4		346,5	-203,1	11,7	0,34	347,5	205,1	-34,9	0,35	1,68	9,28	2,02	-23,28	0,33	-32,56	
2	7	Л5		346,5	-138,1	3,8	0,23	345,5	139,1	-47,1	0,25	0,76	6,43	1,05	-43,26	0,29	-49,70	
3	4	Т3		345,1	105,8	100,5	0,24	10,3	-105,0	-85,0	7,58	0,51	13,21	0,82	15,51	0,31	2,30	31,428
5	3	Л2		347,5	103,8	6,9	0,17	345,1	-103,4	-38,0	0,18	0,23	2,40	0,37	-31,19	0,15	-33,59	
5	6	Т1		347,5	-308,9	28,1	0,52	15,8	310,0	-10,6	11,37	0,34	14,09	1,09	17,47	0,75	3,38	22,027
7	3	Л3		345,5	65,1	-30,5	0,12	345,1	-64,5	-16,9	0,11	0,20	1,40	0,59	-47,39	0,39	-48,79	
7	8	Т4		345,5	-299,2	2,6	0,50	20,0	300,0	23,9	8,69	0,46	24,87	0,82	26,46	0,36	1,59	17,350

Рисунок 2 – Исходные данные и результаты по узлам и ветвям (окончание)

	Фактор	Ni	Nj	Nп	Уставка	T1
T2	Действие	Ni	Nj	Nп	Парам1	Парам2
	Время				0,200	
	Шунт		2			0,001
0,050	Отключить связь		2	5		
0,050	Шунт		2			-0,001

Рисунок 3 – Исходные данные автоматики

	Название	N	Блок	Uгном	Pгном	COS(φ)	D	Mj/Tj	X'd
	БУ	1		110,00					0,419
	Ст	6		15,75	400	0,850	10,00	400,00	0,143
	Г	8		20,00	380	0,850	18,00	2100,00	0,398

Рисунок 4 – Исходные данные генераторов

После задания системы, автоматики и генераторов запустим расчет и снимем графики, полученные в результате расчета. Графики относительного сдвига угла ротора, а также мощность генератора представлены на рис. 5.

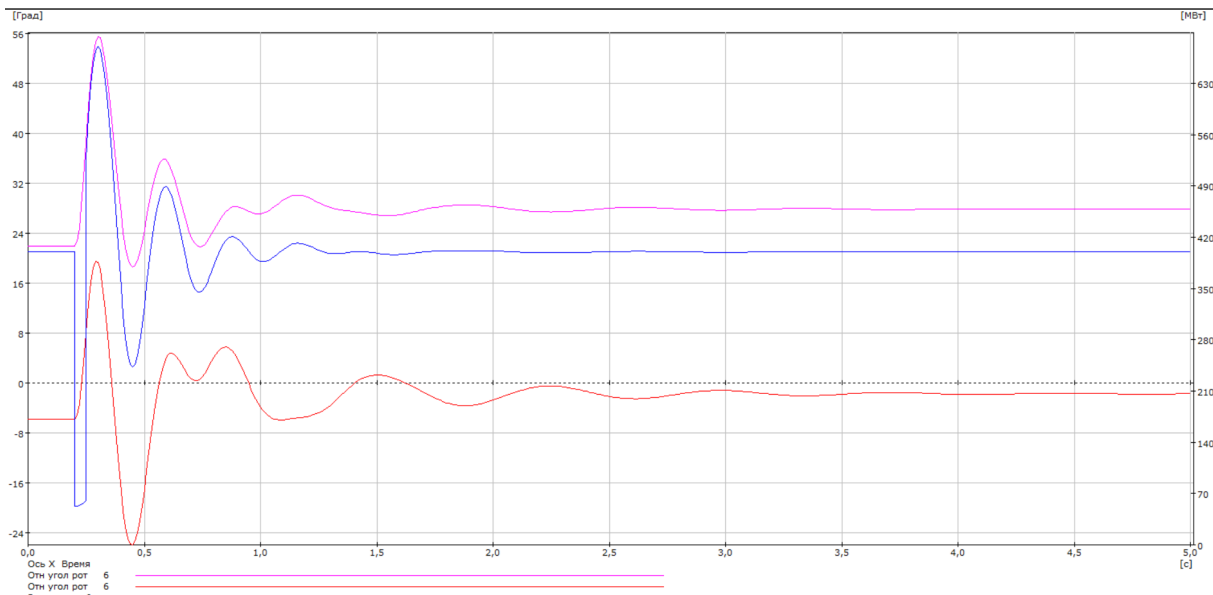


Рисунок 5 – Графики относительного сдвига угла ротора и мощности

Следующими этапом зададимся отрицательным значением  $D$  и сравним два полученных результата расчетов, после чего произведем анализ

полученных данных. Измененные параметры генераторов и результаты расчетов представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Название	N	Блок	Uгном	Rгном	COS(φ)	D	Mj/Tj	X'd
БУ	1		110,00					0,419
Ст	6		15,75	400	0,850	10,00	400,00	0,143
Г	8		20,00	380	0,850	-2,00	2100,00	0,398

Рисунок 6 – Измененные данные генераторов

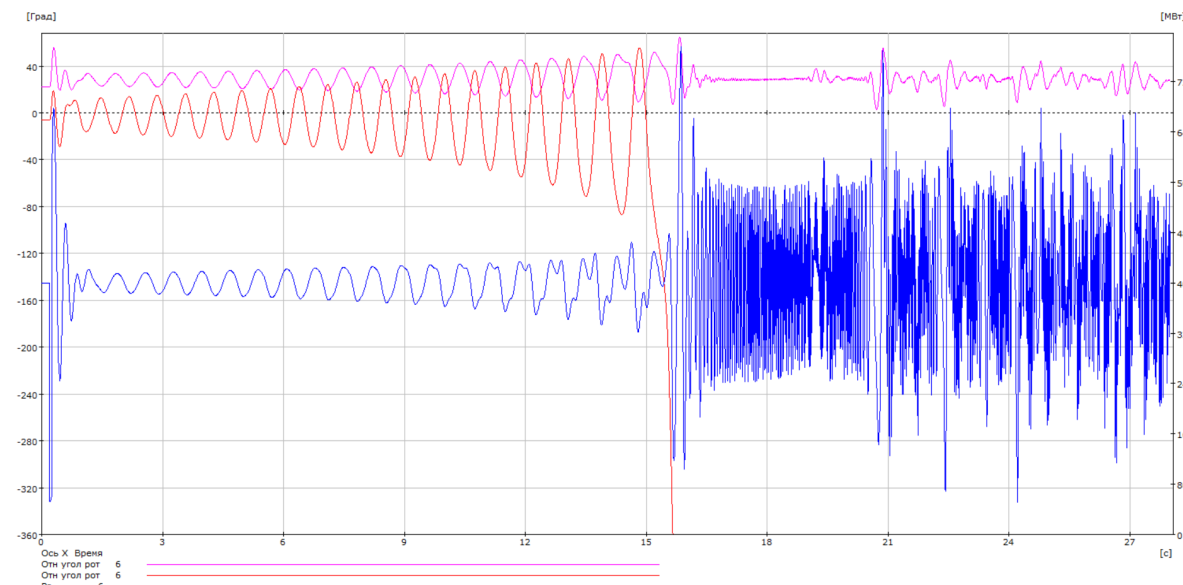


Рисунок 7 – График относительного угла ротора и мощности генератора

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что при уменьшении  $D$  сохранение устойчивости становится невозможным, что может привести к нарушению функционирования всей системы. В связи с этим фактом недопустимо применение машин, имеющих демпферный коэффициент приближающийся к 0, равным 0 и тем более имеющий значение меньше 0.

Необходимо так же отметить, что современные системы АРВ при правильной настройке могут подавлять самораскачивание ротора генератора из-за большого активного сопротивления в статорных цепях. Так же следует помнить, что не все колебания АРВ способно подавить и необходимо учитывать данный факт.

Так же ранее было сказано, что самораскачивание возникает при наличии зоны нечувствительности и запаздывания сигналов в системе АРВ. Эта проблема является так же актуальной несмотря на то, что в современных машинах данная система практически не применяется и их рассмотрение представляет собой исключительно теоретический интерес. Когда система АРВ имеет зону нечувствительности, она может проявлять недостаточную реакцию на изменения в работе генератора в этой зоне. Это может привести к нежелательным колебаниям напряжения и токов в системе, особенно если генератор находится в режиме, где требуется чувствительное регулирование, например, при быстрых изменениях нагрузки. Запаздывание сигналов системы АРВ также может

сыграть свою роль в этом процессе. Если сигналы регулирования приходят слишком поздно, система может не успевать эффективно реагировать на изменения в работе генератора, что также может способствовать возникновению колебаний и неустойчивости. Совместное воздействие зоны нечувствительности и запаздывания сигналов системы АРВ может привести к возникновению самораскачивания ротора генератора, что может вызвать нежелательные колебания напряжения и токов в системе, а также привести к ухудшению стабильности работы генератора.

При неправильной настройке устройства АРВ может произойти самораскачивание ротора генератора. Неправильная настройка может привести к тому, что АРВ будет реагировать неадекватно на изменения в работе генератора, например, при скачкообразных изменениях нагрузки. Это может вызвать нежелательные колебания напряжения и тока в системе. При неправильной настройке АРВ могут возникнуть резонансные условия, когда система начнет «перерегулироваться» в ответ на изменения, что приведет к колебаниям и неустойчивости в работе генератора. Также это приведет к самораскачиванию ротора генератора, что вызовет увеличение амплитуды колебаний напряжения и тока, что в свою очередь может привести к сбою или аварии в работе генератора и системы в целом.

### **Заключение**

Исходя из полученных данных можно прийти к выводу, что рассмотренные в докладе факторы играют значительную роль в процессе самораскачивания и существенно влияют на эффективность работы генератора и системы в целом. В ходе работы было рассмотрено влияние коэффициента демпфирования и сделан вывод о его влиянии на сохранение устойчивости генератора. Оптимизация этих параметров может привести к улучшению производительности и надежности генератора.

Однако, несмотря на проведенное исследование, остаются вопросы, требующие дальнейшего изучения. В частности, необходимо более глубокое понимание взаимосвязи между этими факторами и их влияния на процесс самораскачивания.

В целом, данное исследование представляет собой важный шаг в понимании процесса самораскачивания ротора генератора и может служить основой для дальнейших исследований в этой области.

### **Литература**

1. Гуревич, Ю. Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, А. А. Окин. М. : Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
2. Калентионюк, Е. В. Основы противоаварийного управления в энергосистемах : учебное пособие / Е. В. Калентионюк, Ю. Д. Филипчик. – Минск : Техноперспектива, 2018. – 49 с.
3. Хрущев, Ю. В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах / Ю. В. Хрущев, К. И. Заповодников, А. Ю. Юшков. – Томск : Томский политехнический университет, 2012. – 160 с.