

Р. Ш. АБРАМЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕМПФЕРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В МНОГОМАШИНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Для облегчения расчета электромеханических переходных процессов (ЭМП) электроэнергетических систем часто используется упрощенная модель синхронного генератора в виде постоянной ЭДС за переходным сопротивлением. При этом необходимо введение в уравнение движения ротора демпферного коэффициента, пропорционального производной абсолютного угла.

В практических расчетах часто демпферный коэффициент выбирается в диапазоне 1—3 о. е., что нельзя считать обоснованным. На разных собственных частотах многомашинной системы демпферные коэффициенты одного и того же генератора различны, поэтому возникает необходимость выбора той частоты, на которой эти коэффициенты должны определяться. В зависимости от места приложения возмущения степень проявления той или иной частотной составляющей в свободной ЭМП может быть различной. Несмотря на принципиальную многочастотность, в большинстве случаев, при разных местах приложения возмущения колебания отдельных генераторов сложной системы квазиодночастотны. На основании этого разработан метод определения доминирующей формы электромеханических колебаний (ЭМК) при реальном возмущении в энергосистеме, позволяющей выбрать частоту, необходимую для определения демпферного коэффициента. Сущность метода заключается в следующем. Определяются обобщенные параметры ЭМК — собственные частоты ω , коэффициенты затухания β и распределения амплитуд абсолютных углов генераторов [1]. Принимается, что реальное возмущение действует на систему столь малое время, за которое ее координаты не успевают измениться, и что это намного меньше времени протекания ЭМП. В этом случае свободный ЭМП можно рассматривать как колебания, вызываемые ударом, и записать начальные условия [2]:

$$\Delta\delta_s(0^+) = 0; \quad \Delta\dot{\delta}_s(0^+) = \frac{F_s}{T_{Is}}, \quad (1)$$

где T_{Is} — постоянная инерции s -го генератора; F_s — доля возмущения, воспринимаемая s -м генератором.

В многомашинной системе движение s -го генератора представляет собой сумму всех форм ЭМК

$$\Delta\delta_s = \sum_{l=1}^{n-1} A_l K_{sl} e^{j_l t} \cos(\omega_l t + \varphi_l + \varphi_{sl}), \quad s = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где l — форма колебаний; K_{sl} и φ_{sl} — соответственно модуль и фаза коэффициентов распределения амплитуд. Величина $A_l K_{sl}$ есть степень проявления l -й формы ЭМК в $\Delta\delta_s$.

Принимая допущение $\varphi_l + \varphi_{sl} = \pi/2$, строго справедливое для консервативной идеализации, и представляя K_{sl} в виде действительных чисел с определенным знаком, после преобразований из (1) и (2) получаем

$$\sum_{i=1}^{n-1} A_i \omega_i (K_{si} - K_{ni}) = \frac{F_s}{F_{fs}} - \frac{F_n}{F_{fn}}. \quad (3)$$

В [3] показано, что в момент возмущения $t = 0^+$ отклонение нагрузки в узле приложения возмущения K мгновенно распределяется между генераторами в соответствии с их синхронизирующими мощностями по отношению к узлу K . С учетом принятого допущения о неизменности углов роторов в течение действия возмущения можно записать

$$F_s = \frac{P_{csk}}{\sum_{s=1}^n P_{csk}} \quad (4)$$

и, окончательно, (3) запишется в виде

$$\sum_{i=1}^{n-1} A_i \omega_i (K_{sk} - K_{nk}) = \frac{\left(\frac{P_{csk}}{T_{js}} - \frac{P_{cns}}{T_{jn}} \right)}{\sum_{s=1}^n P_{csk}}. \quad (5)$$

Разрешив (5) относительно неизвестных A_l , можно определить $A_l K_{sl}$, что позволит выбрать частоту для определения демпферных коэффициентов.

В качестве примера рассмотрим шестимашинную систему, схема которой приведена на рис. 1, а исходные данные по генераторам — в табл. 1. Рассчитанные обобщенные параметры ЭМК и демпферные коэффициенты приведены в табл. 2. В табл. 3 приведены степени проявления форм ЭМК в амплитуде изменения абсолютных углов роторов при распределенном по генераторам возмущении F , откуда видно, что в колебаниях углов роторов Г2, Г3, Г6 доминирующей является вторая форма колебаний. На рис. 2 приведены кривые переходного процесса, рассчитанные по подробным моделям с учетом дифференциальных уравнений в роторных контурах, АРВ и АРС (кривая 1) и по упрощенным

моделям $F_q^1 = \text{const}$ с введенными по предлагаемому методу демпферными коэффициентами (кривая 2). Результаты дают хорошее совпадение, чего нельзя сказать о кривой 3, полученной по моделям с демпферными коэффициентами, равными 3 о. е.

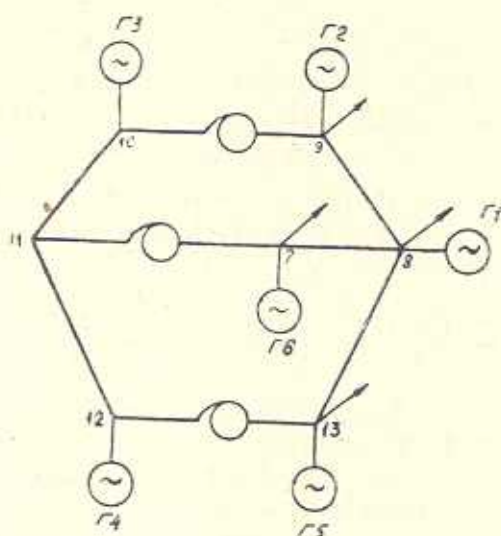


Рис. 1. Схема исследуемой шестимашинной системы.

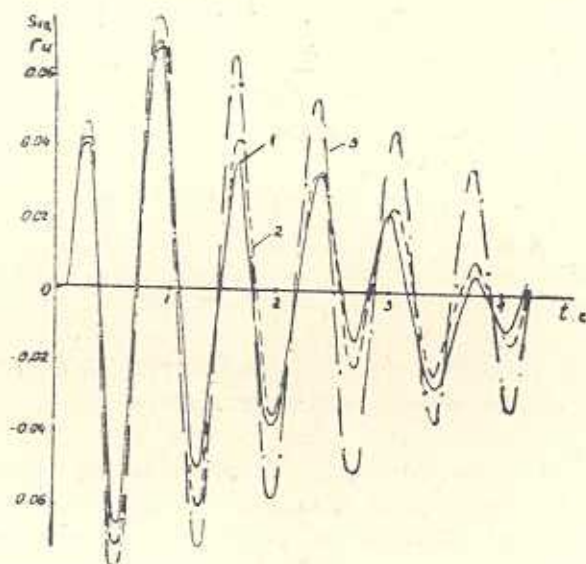


Рис. 2. Зависимость взаимного скольжения $s_{13}(t)$ при возмущении, соответствующем табл. 3. Генераторы представлены: 1 — подробными моделями; 2 — упрощенными моделями с P_α , выбранными по предлагаемому методу; 3 — упрощенными моделями с $P_\alpha = 3$ о. е.

Таблица 1

№№ генераторов	$S_{ном}$, МВА	$P_{ген}$, МВт	$U_{ном}$, кВ	T_J , с	T_d/T_q , с	X_d/X_q , с. с.	X'_d , о. с.	T_n , с	Тип АРВ
1	2116	1380	15,75	10,8	$\frac{8,5}{0,2}$	$\frac{1,07}{0,73}$	0,353	0,05	СД
2,3	470	400	15,75	7	$\frac{6,33}{1}$	$\frac{1,88}{1,88}$	0,275	0,5	ПД
4,5	1514	1280	20	6,4	$\frac{5,9}{1}$	$\frac{1,7}{1,7}$	0,260	0,5	ПД
6	320	—	15,75	2,8	$\frac{8,5}{0,4}$	$\frac{2}{2}$	0,434	0,5	ПД

Таблица 2

№№ форм ЭМК	β , 1/с	ω , p/c	Демпферные коэффициенты					
			Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	Γ_5	Γ_6
1	-0,365	4,58	7,89	5,12	5,16	4,6	4,73	2,22
2	-0,975	7,67	21,16	13,57	13,75	9,62	9,27	5,05
3	-0,753	10,64	16,04	10,64	10,47	9,64	9,63	4,71
4	-4,146	10,88	93,44	64,14	63,87	57,23	57,22	23,13
5	-1,067	11,01	23,07	14,94	14,95	13,71	13,39	5,5

Таблица 3

Вектор возмущения	№№ форм ЭМК	Степень проявления l -й формы ЭМК в $\Delta\delta_x$					
		Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	Γ_5	Γ_6
0,3	1	1	0,538	0,54	-0,513	-0,462	0,538
0,2	2	-0,878	3,803	4,826	-0,179	-0,159	2,389
0,2	3	-0,001	0,002	0,002	0,018	-0,022	0,001
0,1	4	-0,024	-0,151	-0,169	-0,005	-0,003	2,646
0,1	5	-0,003	0,231	-0,171	-0,001	0,001	0,009

Величина демпферного коэффициента полностью определяет асинхронный момент генератора [4].

В вычислительном плане задача выбора демпферных коэффициентов не представляет трудностей, т. к. она сводится к решению системы алгебраических уравнений $N-1$ порядка, где N — число генераторов.

ՄԱՐՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԲԱԶՄԱՄԵՔԵՆԱՅԱԿԱՆ
ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Էլեկտրամեխանիկական տատանումների զրսերման ձևերի աստիճանի որոշման մշակված մեթոդի հիման վրա հաշվարկված են գեներատորների մարման զորժակիցները սեպլ գրգիռների դեպքում: Դա հնարավորություն է տալիս բարդ ավտոմատ կարգավորվող էներգահամակարգի էլեկտրամեխանիկական անցումային պրոցեսները հաշվարկելիս զգալիորեն պարզեցնել գեներատորների մաթեմատիկական մոդելները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Литкенс И. В., Пуго В. И., Абдул-заде В. М. Демпферные коэффициенты синхронных генераторов в многомашинных электрических системах.— Электричество, 1984, № 3, с. 8—13.
2. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний.— М.: Наука, 1964.— 437 с.
3. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость.— М.: Энергия, 1979.— 568 с.
4. Вециков В. А., Литкенс И. В., Пуго В. И. Демпферные коэффициенты.— М.: МЭИ, 1979.— 72 с.