

УДК 621.313.32

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИНУСОИДАЛЬНО ВОЗРАСТАЮЩИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННЫХ МАШИН

Чабанов Е.А., Судаков А.И., Турпак А.М., Лоскутников В.А.

*ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru*

Работа выполнена в рамках: гранта № 13-08-96044 Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский фонд фундаментальных исследований» по теме «Новая методика исследования, идентификации и экспресс-обработки переходных процессов мощных синхронных машин на базе теории вероятностей и математической статистики по результатам стендовых испытаний»; государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации № 13.832.2014/К. Синусоидально возрастающие переходные процессы (ПП) мощных синхронных машин (СМ) в опытах восстановления напряжения (ВН) и ударного возбуждения (УВ) являются наиболее продолжительными во времени, поэтому они сильно подвержены влиянию различных случайных факторов. Идентификация данных процессов по методам отечественных стандартов характеризуется повышенной трудоёмкостью обработки осциллограмм и неточностью. Это в основном связано с выделением вершин ПП, с использованием различных графических операций по разделению процесса на составляющие для их идентификации графическим способом. В статье рассмотрены возможности вероятностно-статистических методов (ВСМ) для эффективной идентификации возрастающих ПП по результатам стендовых испытаний мощных СМ на 110 МВт в опыте ВН. Аналоговый синусоидально возрастающий ПП продолжительностью более 18 секунд преобразован цифровым запоминающим осциллографом (ЦЗО) в дискретный. После алгоритмического выделения вершин с частотой 50 Гц, ПП аналитически преобразуется к дискретно заданным элементам между огибающими с частотой 100 Гц. Разделение и идентификация составляющих ПП реализованы с широким использованием эффективных точечных выборок, на базе обоснованного случайного признака в виде постоянных времени (ПВ). В статье представлены реализации алгоритма разделения составляющих ПП и результаты исследования и идентификации ПП по результатам стендовых испытаний в опыте ВН.

Ключевые слова: синхронная машина, испытания, переходный процесс, исследования, идентификация, постоянная времени, случайный признак, математическое ожидание, дисперсия, выборка, среднеквадратичная погрешность, моделирование, оптимизация

PROBABILISTIC AND STATISTICAL METHODS OF IDENTIFICATION OF SINUSOIDAL INCREASES TRANSIENT PROCESSES OF SYNCHRONOUS MACHINES

Chabanov E.A., Sudakov A.I., Turpak A.M., Loskutnikov V.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ceapb@mail.ru

Work performed under: grant number 13-08-96044 Federal State Budget Institution «Russian Foundation for Basic Research» on the topic «New strategy of research, identifications and express-processing the connecting processes of powerful synchronous machines on base of theory of chances and mathematical statistics on results of stand test»; state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation № 13.832.2014/К. Sinusoidally rising transient processes (TP) of powerful synchronous machines (SM) in the experiments of recovery voltage (RV) and impact excitation (IE) are the most prolonged in time, so they are highly exposed to various random factors. Identification of these processes on the methods of national standards is characterized by increased laborious processing waveforms and inaccurate. This is mainly due to the release of the peaks of the TP, using various graphics operations on the separation process into components to identify them graphically. The article discusses the opportunities of the probabilistic and statistical methods (PSM) for the efficient identification of increasing TP on the results of bench tests of powerful SM for 110 MW in the experience of the RV. Analog sinusoidal incremental TP lasting more than 18 seconds was converted in binary by the digital storage oscilloscope (DSO). After algorithmic selected peaks with a frequency of 50 Hz, the TP was analytically transformed into discrete elements specified between the envelopes with a frequency of 100 Hz. Separation and identification of the components of the TP have been implemented with the widespread use of effective point samples on the basis of reasonable random factor in the form of constant time (CT). The paper presents the realization of the algorithm of separating of the TP components and results of research and identification of the TP based on the results of bench tests in the experience of the RV.

Keywords: synchronous machine, testing, transition process, research, identification, time constant, random attribute, expectation, variance, sample, rms error, modeling, optimization

К синусоидально возрастающим ПП в области испытаний мощных СМ относятся опыты ВН и УВ. Из осциллограмм данных опытов по методам отечественных стандартов получают электромагнитные ПВ и параметры СМ. В условиях эксплуатации мощных СМ для получения ПВ и параметров не всегда удается осуществить центральный опыт внезапного симметричного короткого замыкания, поэтому после него

наиболее пригодным является опыт ВН. Но при обработке осциллограммы ВН возникают проблемы с определением малых начальных значений напряжений сверхпереходной и переходной составляющих и ПВ, так как идентификация сверхпереходной составляющей требует увеличения периода записи, а переходной — уменьшение его в несколько раз из-за достижения напряжения ПП до 3/4 установившегося

значения (в мощных СМ на это требуется свыше 10 с).

В статье показаны возможности разработанных ВСМ [1–8] для исследования и идентификации с высокой точностью и достоверностью возрастающих ПП в опытах ВН и УВ, несмотря на проблемы, возникающие при обработке таких процессов по ГОСТу.

Исходные данные для апробации ВСМ получены по результатам стендовых испытаний СМ типа ТТК-110-2-П мощностью 110 МВт после отключения установившегося симметричного короткого замыкания в опыте ВКЗ. В результате чего в обмотке статора возник ПП в виде возрастающего напряжения. На рис. 1 приведена аналоговая информация ПП ВН, преобразованная с помощью интеллектуального ЦЗО в дискретную с высокой точностью (10000 выборок за период с дли-

тельностью выборки равной 40 мкс), которая сохраняется в автономной памяти ЦЗО для дальнейшего анализа и обработки. Для выделения вершин ПП информацию из памяти ЦЗО переносят в ЭВМ с целью преобразования, сжатия и сглаживания кубическим сплайном по стандартной программе (рис. 2).

Выделение вершин осуществляется последовательным сравнением на выполнение неравенства между соседними дискретно заданными значениями напряжений выборок, в результате ПП оказывается представленным в виде дискретных огибающих в узлах дискретизации с частотой 50 Гц (рис. 3).

Возрастающий ПП можно представить дискретными элементами напряжения между обеими огибающими, при этом первый элемент u_{oj} на первом шаге рассчитывают по унифицированным выражениям в [1]:

$$\left. \begin{aligned} u_{o1} &= |\pm U_{m1} - (\pm u_{n1})| \text{ при } |\pm U_{m1}| > |\pm u_{n1}| \text{ или при } |\pm u_{n1}| > |\pm U_{m1}|, \\ u_{n1} &= |1,875(\pm U_{m2}) - 1,25(\pm U_{m4}) + 0,375(\pm U_{m6})|. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

а последующие элементы u_{oj} со второго шага рассчитываются с видоизмененными интерполяционными коэффициентами при $j = \overline{2, K}$ с шагом 0,01 с

$$\left. \begin{aligned} u_{oj} &= |\pm u_{nj} - (\pm U_{mj})| \text{ при } |\pm u_{nj}| > |\pm U_{mj}| \text{ или при } |\pm U_{mj}| > |\pm u_{nj}|, \\ u_{nj} &= |0,375(\pm U_{m(j-1)}) + 0,75(\pm U_{m(j+1)}) - 0,125(\pm U_{m(j+3)})|. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

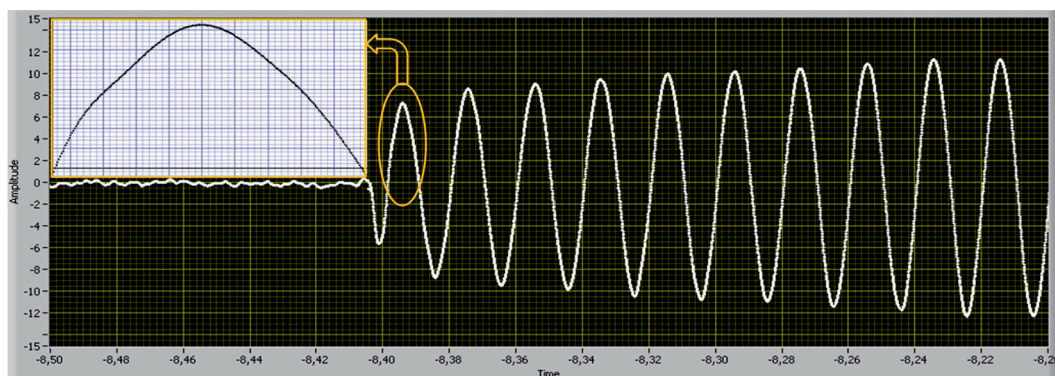


Рис. 1. Дискретный ПП с выхода ЦЗО

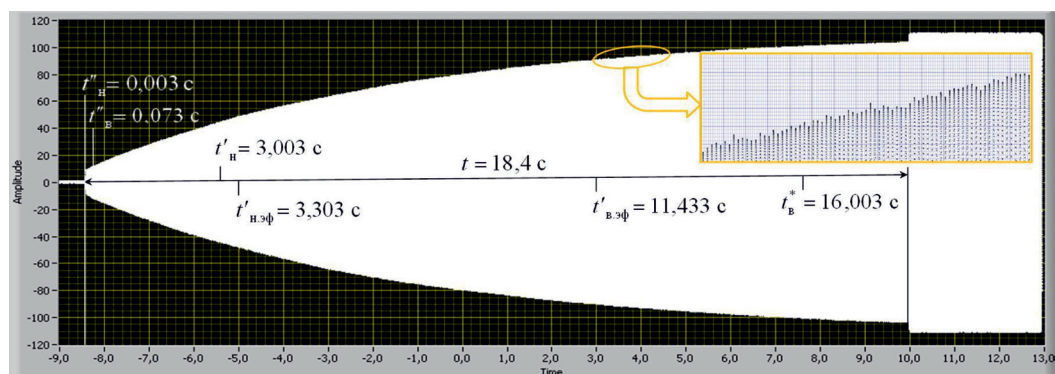


Рис. 2. Полный ПП в опыте ВН СМ

В формуле (1) интерполяционное значение напряжения $u_{и1}$ рассчитывается по 2-й, 4-й и 6-й вершинам напряжения якоря. Выведенные коэффициенты 1,875, 1,25, 0,375 на базе интерполяционной схемы Эйткена реализуют процедуру интерполяции второго порядка назад.

Аналогично выведенные коэффициенты 0,375, 0,75, 0,125 позволяют по формуле (2) рассчитать по трем амплитудным значениям напряжения якоря $U_{м(j-1)}$, $U_{м(j+1)}$, $U_{м(j+3)}$ между соседними вершинами дополнительные значения $u_{иj}$, принадлежащие огибающим напряжения якоря, реализуя скользящую интерполяцию вперед. При расположении первой вершины тока якоря над осью нечетная последовательность вершин в интерпо-

ляционном выражении напряжения $u_{иj}$ обеспечивает получение верхней огибающей в узлах дискретизации, а четная последовательность – нижней огибающей.

Преобразованный в виде элементов ПП представлен на рис. 4. На рис. 5 пояснено получение элементов по формулам (1), (2). Перевод дискретно возрастающего ПП в затухающий осуществляется вычитанием из установившегося значения текущих на каждом шаге при $j=1, K$.

$$u_{\infty} - u_{oj} = u''_{oj} + u'_{oj}. \quad (3)$$

Разность по (3) представляет собой сумму сверхпереходной и переходной составляющих в узлах дискретизации, затухающей с шагом 0,01 с (см. рис. 6).

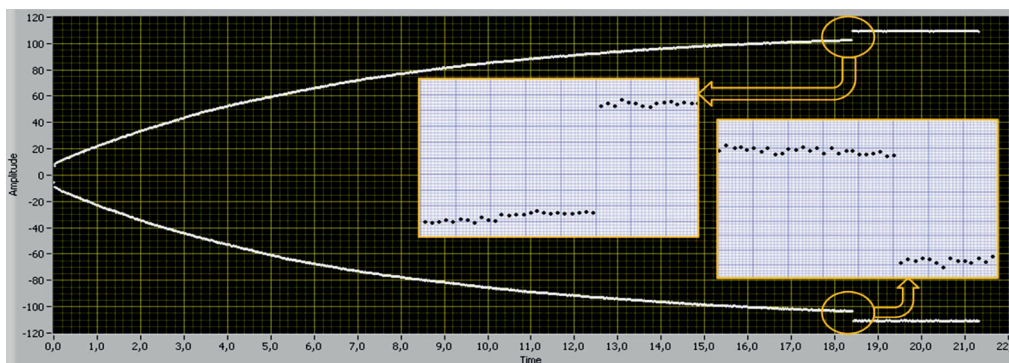


Рис. 3. Представление дискретно возрастающего ПП вершинами с шагом 0,02 с



Рис. 4. ПП, заданный элементами между обеими огибающими с шагом дискретизации 0,01 с

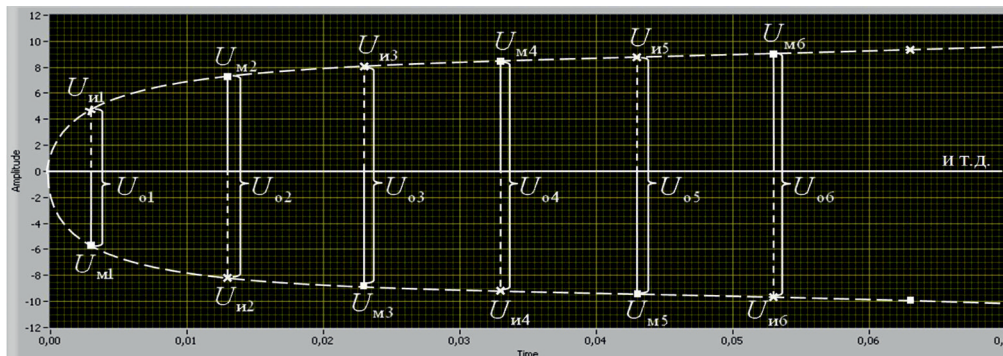


Рис. 5. К пояснению получения дискретных элементов между обеими огибающими ПП с шагом 0,01 с по формулам (1), (2)

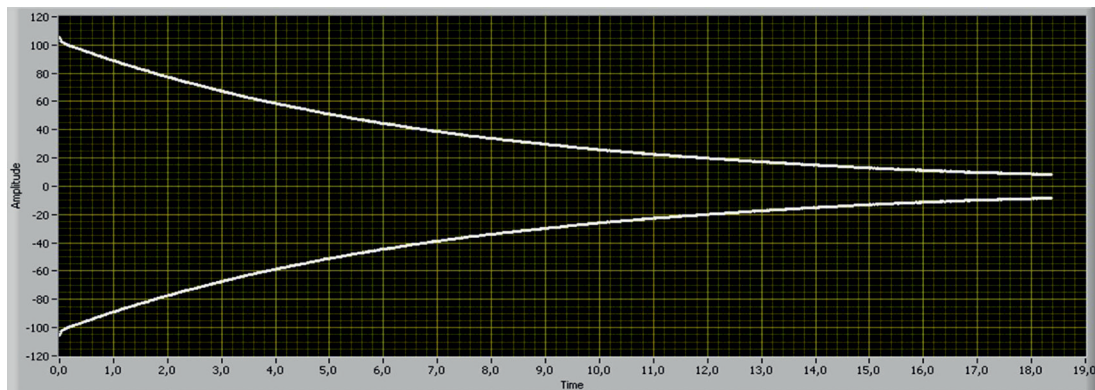


Рис. 6. Преобразованный ПП из возрастающего в затухающий

Разделение и идентификация данных составляющих осуществляются по разработанному ВСМ для затухающих ПП СМ с широким использованием эффективных точечных выборок, используемых для конструирования основных формул и для проведения исследований по оценке погрешности и анализа результатов идентификации. Алгоритм реализации операций по разделению составляющих ПП включает:

1. Обоснование границ $t'_n - t'_b$ для выделения диапазона ПП с одной переходной составляющей.

2. Исследования по оценке погрешности отклонения переходной составляющей от экспоненциального закона в диапазоне $t'_n - t'_b$ ПП с использованием минимизированного объёма эффективных точечных выборок.

3. Оптимизацию установившегося значения ПП.

4. Идентификацию переходной составляющей ПП.

5. Идентификацию сверхпереходной составляющей ПП.

6. Оценку погрешности идентификации всего ПП.

7. Определение параметров СМ по результатам обработки осциллограммы.

В первой процедуре алгоритма нижняя граница задаётся по условию $t'_n = 5\tau''$ в [1] верхнюю границу t'_b выбирают по достижению напряжения ПП до 3/4 установившегося значения (рис. 2).

Во второй процедуре алгоритма на базе случайного признака (5) в [2] и по сконструированным формулам (6)–(11) в [1] с использованием элементов объёмом $n = 2$ в диапазоне $t'_n - t'_b$ ПП формируются генеральная совокупность случайного признака объёмом N , выборка из него объёмом n_b и в качестве базы (для сравнения параметров названных объёмов) формируется минимизированный объём эффективных точечных выборок объёмом $n_{эф}$ с определением их параме-

тров $\tilde{\tau}'$ (математическое ожидание – МО) и σ^2 (дисперсия):

$$N = \sum_{k=1}^K \tau'_{kj} + \sum_{k=2}^K \tau'_{kj} + \dots + \sum_{k=K-1}^K \tau'_{kj}, \quad (4)$$

$$\tilde{\tau}'_0 = \sum_1^N \tau'_{kj} / N, \quad \sigma_0^2 = \sum_1^N (\tau'_{kj} - \tilde{\tau}'_0)^2 / N, \quad (5)$$

$$n_b = \sum_{k=1}^K \tau'_{kj} + \sum_{k=2}^K \tau'_{kj} + \sum_{k=3}^K \tau'_{kj} + \dots, \quad (6)$$

$$\tilde{\tau}' = \sum_1^n \tau'_{kj} / n_b, \quad \sigma^2 = \sum_1^n (\tau'_{kj} - \tilde{\tau}')^2 / n_b, \quad (7)$$

$$\tilde{\tau}'_{эф} = \frac{1}{4} \sum_{j^*}^4 \frac{t'_{j^*,эф} - t'_{k,эф}}{\ln |u'_{o,k,эф} / u'_{o,j^*,эф}|},$$

$$\sigma_{эф}^2 = \sum_{j^*=1}^4 (\tau'_{kj} - \tilde{\tau}'_{эф})^2 / 4. \quad (8)$$

В формуле (8) $k = 1, 2, 3, 4$ – переменная для задания нижней границы, т.е. $k = 1(t'_{n1,эф})$, $k = 2(t'_{n1,эф} + \Delta t)$, $k = 3(t'_{n1,эф} + 2\Delta t)$, $k = 4(t'_{n1,эф} + 3\Delta t)$ с соответствующими элементами $u'_{o,n1,эф}$, $u'_{o,n2,эф}$, $u'_{o,n3,эф}$, $u'_{o,n4,эф}$; j^* – переменная для определения верхней границы $t'_{b,эф}$ по условию (16) в [1] $u'_{o,b1,эф} = 0,33u'_{o,n1,эф}(t'_{b,1,эф})$, $u'_{o,b2,эф} = 0,33u'_{o,n2,эф}(t'_{b,2,эф})$, $u'_{o,b3,эф} = 0,33u'_{o,n3,эф}(t'_{b,3,эф})$, $u'_{o,b4,эф} = 0,33u'_{o,n4,эф}(t'_{b,4,эф})$, всегда меньше t'_b исследуемой переходной составляющей в обоснованных границах $t'_n - t'_b$ (рис. 2).

Совокупности случайного признака объёмом N и n_b упорядочиваются по возрастанию от минимальной величины случайного признака до максимальной (или по убыванию), образуя вариационные ряды. Относительные отклонения минимальных и максимальных значений случайного признака

между собой или от МО характеризуют размах вариационных рядов. Анализ полученных оценок размаха вариационных рядов, а также оценок их дисперсий σ^2 позволяют судить о степени отклонения составляющих ПП от экспоненциального (таблица).

В третьей процедуре алгоритма оптимизация установившегося значения ПП осуществляется по выражению (16) в [1], которое представляет собой статистическую функцию с реализацией операций моделирования переходной составляющей с заданным шагом на участке ПП $t'_n - t'_b$ с вариацией установившегося значения и нижней границы одновременно с процедурой минимизации погрешности приближения модели к опытным данным затухающего ПП

$$\bar{\Delta}'_K(t_k) = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k_n}^{k_n} (u_{ок.мод.}(t_k) - u_{ок.оп.}(t_k))^2}. \quad (9)$$

Оптимизация установившегося значения завершается представлением среднеквадратичной погрешности приближения модели переходной составляющей к опытным данным в виде поверхности в трёхмерной системе координат. В итоге алгоритмически определяются границы эффективных точечных выборок, величина электромагнитной ПВ, начальное значение переходной составляющей, рассчитанные по минимизированному объёму эффективных точечных выборок и обеспечивающие по (9) минимальную погрешность приближения (рис. 7).

В четвёртой процедуре алгоритма идентификация переходной составляющей рассчитана по опытным данным ПП в диа-

пазоне $t'_n - t'_b$ по (11), (15) в [1] с использованием минимизированного объёма $n_{эф} = 4$ эффективных точечных выборок.

В пятой процедуре алгоритма идентификация сверхпереходной составляющей ПП реализована по исходным данным сверхпереходной составляющей $u''_{oj} + u'_{oj} - (u'_{oj})_{мод}$ с использованием нижней границы t''_n , соответствующей первому элементу ПП по рис. 2, с использованием эффективных точечных выборок. В зависимости от уровня зашумлённости ПП предусмотрены варианты идентификации данной составляющей.

В шестой процедуре алгоритма представлена оценка погрешности идентификации всего ПП по результатам приближения его модели к опытным данным в узлах дискретизации в диапазоне от $t''_n - t'_b$

$$\bar{\Delta}_K(t_K) = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k''}^{k''} (u_{ок.мод.}(t_k) - u_{ок.оп.}(t_k))^2}, \quad (10)$$

где моделью является сумма идентифицированных переходной и сверхпереходной составляющих ПП.

В седьмой процедуре алгоритма рассчитываются параметры x'_d, x''_d по известным формулам в стандартах.

В таблице представлена информация о степени отклонения ПП от экспоненциального затухания и результаты идентификации ПП в опыте ВН для СМ на 110 МВт.

Исследования и идентификация ПП ВН выполнены с использованием программно-инструментальной среды LabVIEW и электронных таблиц Excel.

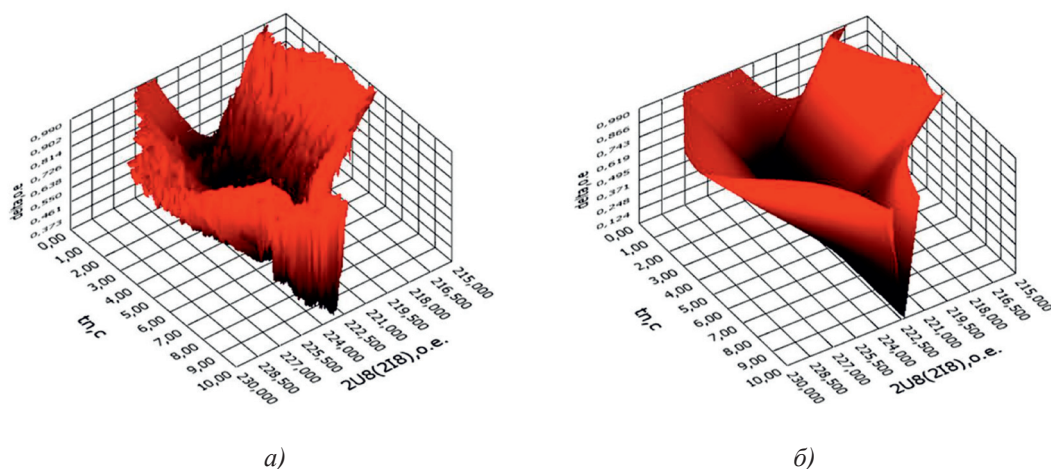


Рис. 7. Среднеквадратичная поверхность приближения $\bar{\Delta}'$ в диапазоне ПП $t'_n - t'_b$ переходной составляющей: а – по опыту; б – для модели

Результаты исследования переходной составляющей на отклонение от экспоненциальности					
	Объем	МО	Дисперсия	Размах случайного признака, %	
				вариационных рядов	от МО
Генеральная совокупность τ'_{kj}	$N = 8512$	$\tilde{\tau}'_0 = 7,214161$	$\sigma_0^2 = 1,054$	$96 \div 2546$	$68 \div 734$
Выборка из ген. совокупности	$n_{\text{в}} = 2187$	$\tilde{\tau}' = 7,206968$	$\sigma^2 = 0,0304$	$46 \div 87$	$28 \div 34$
Объем эф. точечных выборок	$n_{\text{эф}} = 4$	$\tilde{\tau}'_{\text{эф}} = 7,237067$	$\sigma_{\text{эф}}^2 = 0,0008$	1	1
Результаты идентификации					
	Переходная составляющая			Сверхпереходная составляющая	
Диапазон, с	$(t'_{\text{н}} - t'_{\text{в}}) = 3,003 - 16,003$			$(t''_{\text{н.эф}} - t''_{\text{в.эф}}) = 0,003 - 0,073$	
Постоянная времени, с	7,317610			0,059326	
Начальное значение, о.е.	202,159			8,702	
Установившееся значение, о.е.	222,3				
Среднеквадратичное отклонение, о.е.	$\bar{\Delta}'_{1301} = 0,285 (0,141 \%)$			—	
Среднеквадратичное отклонение по всему процессу, о.е.	$\bar{\Delta}_{1601} = 0,546 (0,245 \%)$				

Выводы

1. ВСМ подтверждают их эффективное использование для исследования и идентификации возрастающих ПП мощных СМ в опытах ВН, УВ. Для опытов УВ при замкнутой обмотке статора в используемых формулах и зависимостях следует вместо напряжений подставлять токи.

2. ВСМ с использованием ЦЗО и современных электронно-вычислительных средств для исследования и экспресс-обработки ПП мощных СМ по программе приёмочных стендовых испытаний трудоёмкость обработки (особенно при выделении вершин) снижается в десятки и сотни раз.

3. ВСМ исследования и идентификации ПП мощных СМ обеспечивают высокую точность и достоверность оценочных результатов идентификации в условиях влияния различных случайных факторов на ПП.

4. ВСМ позволяют на высоком уровне проводить погрешностный анализ различных идентифицируемых составляющих ПП мощных СМ.

5. ВСМ благодаря использованию ЦЗО позволяют в отличие от методов отечественных стандартов идентифицировать ПП мощных СМ без проблем из единой записи при любой длительности их протекания.

Список литературы

1. Судаков А.И. Модернизация вероятностно-статистических методов исследования переходных процессов

мощных синхронных машин / А.И. Судаков, Е.А. Чабанов, Н.В. Шулаков // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 20–26.

2. Судаков А.И. Вероятностно-статистические методы исследования переходных процессов мощных синхронных машин / А.И. Судаков, Е.А. Чабанов, Н.В. Шулаков // Электротехника. – 2010. – № 8. – С. 22–29.

3. Судаков А.И. К вопросам исследования и идентификации переходных процессов мощных синхронных машин вероятностно-статистическими методами / А.И. Судаков, Е.А. Чабанов, Н.В. Шулаков // Электричество. – 2013. – № 3. – С. 34–39.

4. Судаков А.И. Новые подходы к идентификации переходных процессов синхронных машин в опытах внезапного симметричного короткого замыкания вероятностно-статистическими методами / А.И. Судаков, Е.А. Чабанов, Н.В. Шулаков // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22). – С. 207–213.

5. Судаков А.И. Развитие возможностей вероятностно-статистических методов достоверной идентификации длительных переходных процессов мощных синхронных машин в опытах гашения поля / А.И. Судаков, Е.А. Чабанов, Н.В. Шулаков, С.В. Шутемов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22). – С. 213–220.

6. Sudakov A.I. Novel approaches to analysis of transition processes identification error by probability-statistical methods during sudden symmetric short-circuit tests of synchronous machines / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). – 2013. – Vol. 58, № 4. – P. 381–392.

7. Чабанов Е.А. Новые подходы достоверного определения ударного тока якоря синхронной машины / Е.А. Чабанов, А.И. Судаков // Электротехника. – 2014. – № 11. – С. 42–46.

8. Чабанов Е.А. Метод точной оценки косвенно определяемых величин в электромеханике / Е.А. Чабанов, А.И. Судаков // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2014. – № 9. – С. 62–70.

References

1. Sudakov A.I. Modernizatsiya veroyatnostno-statisticheskikh metodov issledovaniya perehodnykh protsessov moshnykh sinhronnykh mashin [The modernization of probabilistic-

statistical methods of the studying transient processes in powerful synchronous machines] / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov // *Elektrotehnika*. 2010. no. 6. pp. 20–26.

2. Sudakov A.I. Veroyatnostno-statisticheskie metodovy issledovaniya perehodnyh protsessov moschnykh sinhronnykh mashin [Probable-statistical methods transient phenomena research of powerful synchronous machines] / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov // *Elektrotehnika*. 2010. no. 8. pp. 22–29.

3. Sudakov A.I. K voprosam issledovaniya i identifikatsii perehodnyh protsessov moschnykh sinhronnykh mashin veroyatnostno-statisticheskimi metodami [To research and identification of transient processes in powerful synchronous machines by probabilistic and statistical methods] / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov // *Elektrichestvo*. 2013. no. 3. pp. 34–39.

4. Sudakov A.I. Novye podhody k identifikatsii perehodnyh protsessov sinhronnykh mashin v opytah vnezapnogo simmetrichnogo korotkogo замыкания veroyatnostno-statisticheskimi metodami [Novel approaches to identification of transition processes by probability-statistical methods during sudden symmetric short-circuit tests of synchronous machines] / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov // *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*. 2013. no. 2(22). pp. 207–213.

5. Sudakov A.I. Razvitie vozmozhnostey veroyatnostno-statisticheskikh metodov dostovernoy identifikatsii dlitelnykh perehodnyh protsessov moschnykh sinhronnykh mashin v opytakh gasheniya polya [Developing the capacity of probabilistic and statistical methods of accurate identification of long transient processes during field suppression experiments of powerful synchronous machines] / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov, S.V. Shutemov // *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*. 2013. no. 2(22). pp. 213–220.

6. Sudakov A.I. Novel approaches to analysis of transition processes identification error by probability-statistical methods during sudden symmetric short-circuit tests of synchronous machines / A.I. Sudakov, E.A. Chabanov, N.V. Shulakov // *Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved)*. 2013. Vol. 58, no. 4. pp. 381–392.

7. Chabanov E.A. Novye podhody dostovernogo opredeleniya udarnogo toka yakorya sinhronnoy mashiny [Novel approaches reliable determination of impact of the armature current of the synchronous machine] / E.A. Chabanov, A.I. Sudakov // *Elektrotehnika*. 2014. no. 11. pp. 42–46.

8. Chabanov E.A. Metod tochnoy otsenki kosvenno opredelyaemykh velichin v elektromehanike [Accurate estimation method of indirectly amount evaluation in electromechanics] / E.A. Chabanov, A.I. Sudakov // *Informazionno-izmeritelnye i upravlyayuschie sistemy*. 2014. no. 9. pp. 62–70.

Рецензенты:

Кавалеров Б.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь;

Цаплин А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Общая физика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 29.12.2014.