

Identification of Synchronous Generator Electric Parameters Connected to the Distribution Grid

Frolov M. Yu., Fishov A. G.

Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. According to modern trends, the power grids with distributed generation will have an open system architecture. It means that active consumers, owners of distributed power units, including mobile units, must have free access to the grid, like when using internet, so it is necessary to have plug and play technologies. Thanks to them, the system will be able to identify the unit type and the unit parameters. Therefore, the main aim of research, described in the paper, was to develop and research a new method of electric parameters identification of synchronous generator. The main feature of the proposed method is that parameter identification is performed while the generator to the grid, so it fits in the technological process of operation of the machine and does not influence on the connection time of the machine. For the implementation of the method, it is not necessary to create dangerous operation modes for the machine or to have additional expensive equipment and it can be used for salient pole machines and round rotor machines. The parameter identification accuracy can be achieved by more accurate account of electromechanical transient process, and making of overdetermined system with many more numbers of equations. Parameter identification will be made with each generator connection to the grid. Comparing data obtained from each connection, the middle values can be find by numerical method, and thus, each subsequent identification will accurate the machine parameters.

Keywords: synchronous generator, parameter identification, distributed grid, digital modeling, analysis of oscillograms

O nouă metodă de identificare a parametrilor electrici ai generatorului sincron la racordarea lui în rețeaua de distribuție

Frolov M.Iu., Fișov A.G.

Universitatea Națională Tehnică de Stat din Novosibirsk
Novosibirsk, Federația Rusă

Rezumat. Tendința de dezvoltare a conceptului de generare distribuită de mică putere conduce la dezvoltarea arhitecturii deschise ale rețelelor electrice. Această înseamnă, că consumatorii, proprietarii instalațiilor electrice de generare, inclusiv, și instalațiilor mobile de generare trebuie să aibă acces liber de racordare la rețelele electrice, de exemplu, ca utilizatorii rețelelor Internet. Pentru aceste cazuri se preconizează utilizarea dirijării automate descentralizate, ce și determină oportunitatea utilizării tehnologiei de tip plug and play, care pot asigura condițiile în care sistemul de alimentare cu energie electrică în mod liber va determina tipul și parametrii utilajului care se racordează la rețeaua electrică. În lucrare se prezintă o nouă metodă de identificare a parametrilor generatorului sincron pentru racordarea lui la rețeaua electrică de alimentare. Se prezintă rezultatele simulării regimului în mediul Matlab Simulink la conectarea generatorului sincron la rețea. Rezultatele obținute în formă de oscillograme a curenților și tensiunilor înfășurării statorului generatorului sincron, curentului înfășurării de excitație și a vitezei rotorului se procesează cu metoda propusă pentru determinarea parametrilor electrici ai generatorului conectat la rețea. Sunt formulate recomandări pentru ridicarea preciziei de identificare a parametrilor mașinii.

Cuvinte-cheie: generator sincron, parametri de identificare, rețeaua de distribuție, simulare digitală, procesarea formei de undă.

Идентификация электрических параметров синхронного генератора при включении в распределительную сеть

Фролов М. Ю., Фишов А. Г.

Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация. В связи с современными тенденциями в сетях с распределённой малой генерацией предполагается реализовать открытую сетевую архитектуру. Это означает, что активные потребители, владельцы распределённых энергетических установок, в том числе и мобильных, должны иметь свободный доступ в сеть, такой же свободный как при использовании сети интернет. Для подобных систем предполагается использование децентрализованного автоматического управления, поэтому

появляется необходимость в plug and play технологиях, благодаря которым система будет сама определять вид подключаемого оборудования и его параметры, что позволит выдавать адекватные управляющие воздействия. В статье представлен новый метод идентификации параметров синхронного генератора при включении его в сеть. В качестве примера выполнено моделирование в Matlab Simulink процессов при включении генератора в сеть. Полученные осциллограммы токов и напряжений обмоток статора машины, ток в обмотке возбуждения и скорость вращения ротора использованы предложенным методом обработки для определения (идентификации) электрических параметров синхронного генератора. Даны рекомендации для повышения точности идентификации параметров.

Ключевые слова: синхронный генератор, идентификация параметров, распределительная сеть, цифровое моделирование, обработка осциллограмм.

Введение

В крупных городах с каждым годом растёт потребность во введении новых мощностей, которую можно удовлетворить за счёт строительства крупных электростанций. Однако подобное крупномасштабное строительство сопряжено с определёнными неудобствами и рисками. Во-первых, темпы роста спроса на электроэнергию превышает, темпы строительства. Во-вторых, при долгосрочном строительстве приходится опираться на данные прогнозирования темпов роста нагрузки, и в случае не достоверного прогноза большие мощности могут появиться там, где они не востребованы, или их может оказаться недостаточно, или они могут оказаться запертыми. В-третьих, и все крупные электростанции занимают огромные территории, которые отсутствуют при плотной застройке в современном городе, а возведение их за пределами города приводят к дополнительным потерям на транспортировку тепла и электроэнергии. В-четвёртых, долгий срок окупаемости приводит к непривлекательности финансирования строительства от частных предпринимателей, и подобные проекты финансируются только с государственного бюджета. Вышеперечисленные факторы являются сдерживающими для развития промышленности, предпринимательства и региона в целом, потому не удивительно, что всё чаще появляются небольшие когенерационные станции с генераторами малой мощности (до 25 МВА), которые становятся всё более конкурентоспособные из-за уменьшения потерь за счёт близости к потребителю, отсутствию необходимости строительства протяжённых линий электропередач, использованию ко-, три-, квадログенерации, и легкого доступа к топливу благодаря активной газификации страны. Подобные станции работают

изолированно от крупных энергосистем, в которых существует централизованное диспетчерское управление, однако если бы они могли соединяться между собой через распределительные сети низкого напряжения и/или присоединятся к крупным энергосистемам, это бы привело к ряду системных эффектов: выравнивание суточных графиков, повышение надёжности и т.д. Распределённая малая генерация также может предоставлять услуги крупным энергосистемам, например, продавать излишки электроэнергии в сеть и получать услуги, например по регулированию частоты. То есть можно с уверенностью сказать, что появилась потребность в модернизации современного уклада электроэнергетики, при котором будет реализовано органичное и взаимовыгодное существование большой централизованной и малой распределённой генерации [1].

Однако существует ряд технических и экономических ограничений, препятствующих свободному доступу нового генерирующего оборудования в распределительную сеть. Первым делом возникает вопрос о реализации управления распределительными сетями, в которых присутствуют не только пассивные, но и активные элементы. Так как большинство элементов генерации будут принадлежать частным лицам, которые захотят иметь свободный доступ в сеть, то реализовывать централизованное диспетчерское управление в данном случае будет просто не уместно.

Самым адекватным выходом видится создание полностью автоматического управления подобными сетями, для реализации которой необходимо в темпе процесса иметь данные о параметрах режима в генерирующих и нагрузочных узлах, а также параметров оборудования, включённого в сеть. При реализации концепции умных сетей вопросы идентификации становятся одними из

главных, без решения которых невозможно предоставить свободный доступ в сеть новых элементов. По сути, энергосистема должна сама определять тип и параметры оборудования, а также проводить автоматическую настройку соответствующих автоматик и корректировать уставки релейных защит [2-11].

В настоящее время существует множество методов определения параметров электрических машин, однако, они либо требуют создания опасных режимов, таких как короткое замыкание, либо лабораторных установок и дорогостоящего оборудования, а главное на их основе невозможно осуществить автоматическую идентификацию. Поэтому авторами статьи разработаны методы идентификации параметров синхронной машины при включении её в сеть.

I. ОСОБЕННОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА В СЕТЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Идентификация параметров синхронного генератора выполняется перед каждым включением в сеть, тем самым определяются параметры машины для их дальнейшего использования режимными и противоаварийными автоматами. По результатам идентификации может производиться проверка исправности оборудования и, в случае существенного расхождения полученных данных с ожидаемыми или предшествующими, может производиться отключение оборудования [12, 13, 14].

На рисунке 1 представлена схема, поясняющая каким образом необходимо включать генератор в сеть, чтобы из анализа возникшего переходного процесса можно было бы идентифицировать параметры синхронной машины. Схема состоит из генератора (Г), генераторного выключателя (В), силового трансформатора (Т), двух нагрузок (Н1, Н2) и мощной системы (С).

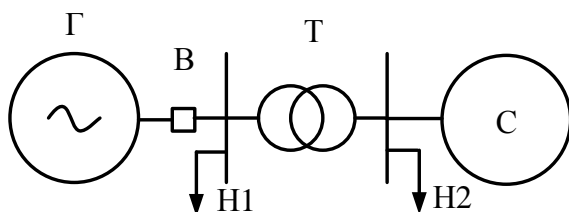


Рис. 1. Схема энергосистемы.

Идея состоит в том, что генератор включается в сеть специальным образом, при котором возникает переходной процесс. Во время данного переходного процесса осциллографируются токи и напряжения на выводах генератора всех трёх фаз, ток возбуждения генератора и скорость вращения ротора генератора. По полученным осциллограммам определяются параметры машины.

Этапы включения генератора в сеть следующие:

- Запускают и возбуждают генератор.
- Строго выполняют условия точной синхронизации с электрической сетью на выключателе В.
- Создают небольшое рассогласование по модулю напряжений по концам выключателя.
- Выводят из работы автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) синхронного генератора.
- При строгом выполнении прочих условий точной синхронизации включают генераторный выключатель.
- После затухания электромагнитного переходного процесса вводят в работу АРВ, и эксплуатируют генератор в нужном режиме.

При таком включении машины в сеть в обмотке возбуждения и демпферной обмотке возникают свободные токи, магнитные потоки которых в свою очередь вытесняют поток реакции статора из ротора. Выделив в переходном процессе сверхпереходные, переходные и установившиеся составляющие токов и напряжений, можно определить электрические параметры синхронной машины.

II. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ

В качестве примера работы предлагаемого метода идентификации параметров и пояснения способа обработки осциллограмм была создана цифровая модель, составленная в расширении Simulink программного-вычислительного комплекса MatLab. Силовая часть, состоит из последовательно соединённых явнополюсного генератора 20 МВА 13,8 кВ, выключателя, нагрузок 5 и 10 МВт, трансформатора, и мощного источника напряжения.

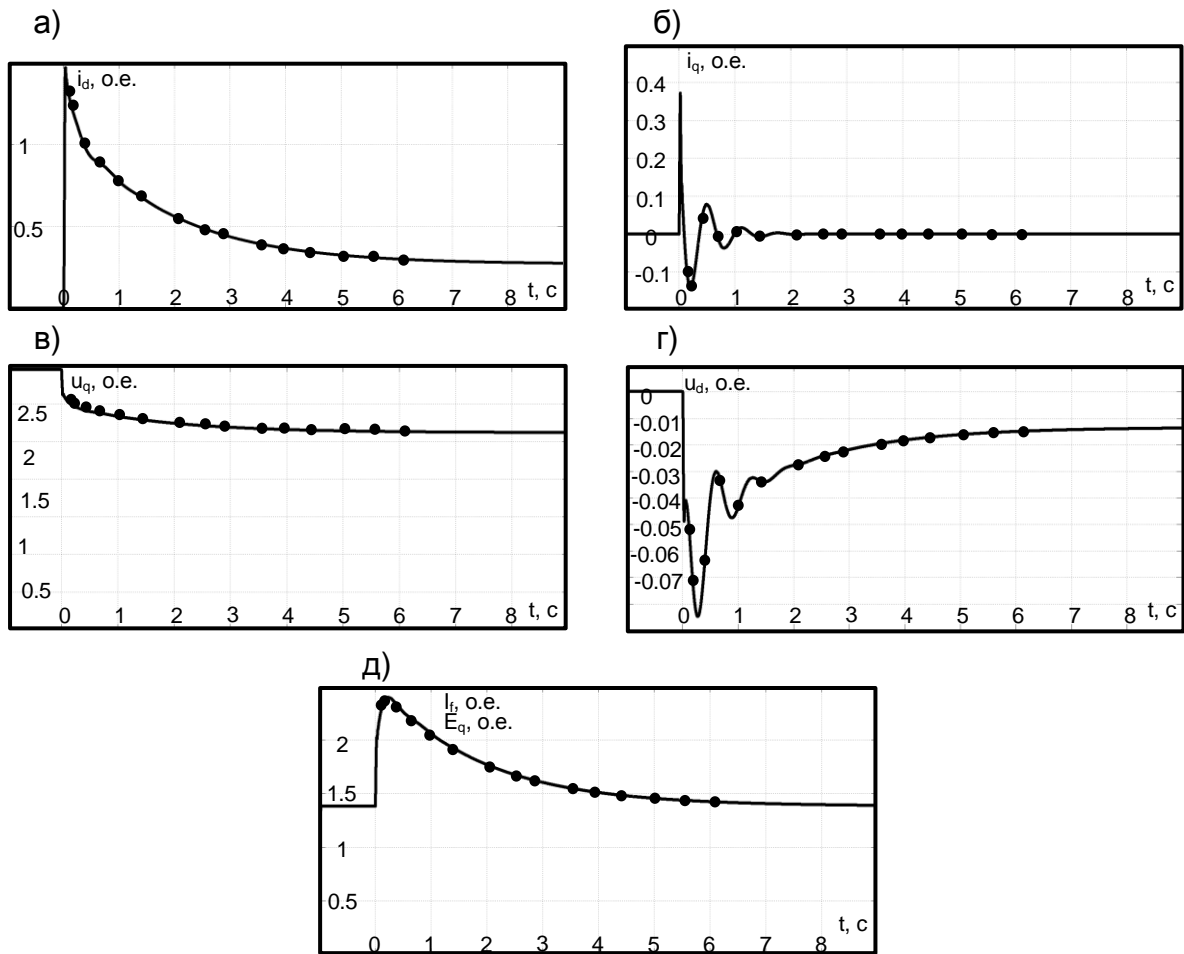


Рис. 2. Осциллограммы переходного процесса в о. е. а) Ток I_d , б) Ток I_q , в) Напряжение U_q , д) Напряжение U_a , е) Ток возбуждения I_f .

Измерительная часть состоит из блоков, измеряющих и пишущих следующие параметры: ток возбуждения, скорость вращения ротора, токи и напряжения на выводах синхронной машины во всех трёх фазах. Так же присутствуют блоки преобразующие токи и напряжения из трёхфазной системы координат abc в систему координат qd.

В момент времени равным нулю происходит включение генератора в сеть предлагаемым способом. Записываются осциллограммы токов и напряжений на выводах генератора всех трёх фаз. Преобразующие блоки «abc» to «dq0» осуществляют преобразование осциллограмм из трёхфазной системы координат abc в систему координат qd при помощи выражений (1). Так же записываются осциллограммы тока возбуждения и угловой

скорости вращения ротора генератора. На рисунке 2 изображены получившиеся осциллограммы.

$$I_d = \frac{2}{3} \left(I_a \sin(\omega t) + I_b \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + I_c \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right)$$

$$I_q = \frac{2}{3} \left(I_a \cos(\omega t) + I_b \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + I_c \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad (1)$$

$$V_d = \frac{2}{3} \left(V_a \sin(\omega t) + V_b \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + V_c \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right)$$

$$V_q = \frac{2}{3} \left(V_a \cos(\omega t) + V_b \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + V_c \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right)$$

$$V_0 = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c)$$

I_d , I_q , U_q , U_d – токи, и напряжения по продольной и поперечной осях, i_a , i_b , i_c , u_a , u_b , u_c мгновенные значения токов и напряжений

в фазах a, b, c, $\gamma = \gamma_0 + \omega t$ – угол между продольной осью d и осью фазы a, где γ_0 начальный угол, ω – угловая скорость вращения ротора.

Проанализируем осциллограмму тока по продольной составляющей $I_d(t)$. Возникающий электромагнитный переходный процесс можно разбить на три составляющие [15]: сверхпереходную - с амплитудой I''_d и затухающую с постоянной времени $T''_{d\Sigma}$, переходную - с амплитудой I'_d и затухающую с постоянной времени $T'_{d\Sigma}$, и составляющую постоянной величины, равной величине установившегося тока $I_{d\infty}$. Из-за колебаний ротора возникает электромеханический переходный процесс, создающий колебательную составляющую тока, которую можно упрощённо представить амплитудой I_{var} , постоянной времени T_{var} и частотой колебаний ω . Ток $I_d(t)$ можно описать выражением (2).

$$I_d = I''_d e^{-\frac{t}{T''_{d\Sigma}}} + I'_d e^{-\frac{t}{T'_{d\Sigma}}} + I_{d\text{var}} e^{-\frac{t}{T_{\text{var}}}} \cos(\omega t) + I_{d\infty} \quad (2)$$

Если взять пять точек на графике, соответствующих разным моментам времени, получим пять уравнений с пятью неизвестными, данная система будет иметь решение. Для повышения достоверности расчётов берётся более пяти точек на графике и формируется переопределённая система уравнений (3), определить коэффициенты данной системы уравнений можно численным методом, например, методом наименьших квадратов.

$$\begin{cases} I_d(t_1) = I''_d e^{-\frac{t_1}{T''_{d\Sigma}}} + I'_d e^{-\frac{t_1}{T'_{d\Sigma}}} + I_{d\text{var}} e^{-\frac{t_1}{T_{\text{var}}}} \cos(\omega t_1) + I_{d\infty} \\ I_d(t_2) = I''_d e^{-\frac{t_2}{T''_{d\Sigma}}} + I'_d e^{-\frac{t_2}{T'_{d\Sigma}}} + I_{d\text{var}} e^{-\frac{t_2}{T_{\text{var}}}} \cos(\omega t_2) + I_{d\infty} \\ \dots \\ I_d(t_n) = I''_d e^{-\frac{t_n}{T''_{d\Sigma}}} + I'_d e^{-\frac{t_n}{T'_{d\Sigma}}} + I_{d\text{var}} e^{-\frac{t_n}{T_{\text{var}}}} \cos(\omega t_n) + I_{d\infty} \end{cases} \quad (3)$$

Продлав описанную процедуру интересующие нас величины I''_d , I'_d , $I_{d\infty}$ станут известными. Аналогичным образом можно получить токи поперечной оси I''_q , $I_{q\infty}$ и напряжения в продольной и поперечной осях U''_q , U'_q , $U_{q\infty}$, U''_d , $U_{d\infty}$. Тем самым определить все сверхпереходные, переходные и установившиеся значения токов и напряжений в обеих осях.

На рисунке 2 д изображена осциллограмма тока в обмотке возбуждения I_f в относительных номинальных единицах, поэтому можно утверждать, что $E_q(t) = I_f(t)$, это означает, что ЭДС в любой момент времени известна [15]. Если представить схему замещения машины, как изображено на рисунке 3, то обойдя данный контур по второму закону Кирхгофа можно записать уравнение (4).

$$E_q(t) = I_d(t)x_d + I_q(t)r + U_q(t) \quad (4)$$

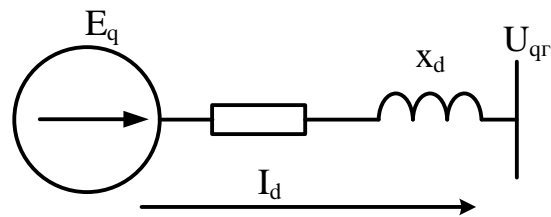


Рис. 3. Схема замещения синхронной машины.

В произвольный момент времени в выражение (5) можно подставить известные токи, напряжения и ЭДС, тогда в этом уравнении будут две неизвестные: синхронное индуктивное сопротивление x_d и активное сопротивление обмотки статора r . Взяв токи, напряжения и ЭДС для двух моментов времени переходного процесса, можно записать систему, состоящую из двух уравнений с теми же двумя неизвестными (x_d , r).

$$\begin{cases} E_q(t_1) = I_d(t_1)x_d + I_q(t_1)r + U_q(t_1) \\ E_q(t_2) = I_d(t_2)x_d + I_q(t_2)r + U_q(t_2) \end{cases} \quad (5)$$

Естественно таким образом можно составить переопределённую систему из большого количества уравнений, взяв, например, 15 точек (рисунок 2 д), найдя коэффициенты которой числовым методом, можно более точно определить параметры машины.

Для любого режима синхронной машины можно начертить векторные диаграммы, основанные на упрощённых уравнениях Парка-Горева, анализируя которые можно установить связь между режимными параметрами и электромагнитными параметрами генератора. Исходный режим – холостой ход, его векторная диаграмма изображена на рисунке 4 а), так как в этом режиме разомкнута обмотка статора, то ток в ней не протекает, а, следовательно, падение

на сопротивлении машины отсутствует, поэтому, измерив напряжение на выводах генератора, можно определить ЭДС E_q , E'_q , E''_q . Режим, возникающий в первый момент времени коммутации, можно разделить на три составляющие: сверхпереходный, характеризующийся сверхпереходной ЭДС E''_q и сверхпереходным индуктивным сопротивлением x''_d ; переходный, характеризующийся переходной ЭДС E'_q и переходным индуктивным сопротивлением x'_d ; и постоянной составляющей, идентичной установившемуся режиму, характеризующийся ЭДС E_q и индуктивным сопротивлением x_d ; В связи с чем, на рисунке 4 б) изображена векторная диаграмма на момент коммутации, учитывающая сверхпереходной процесс, обусловленный демпферной обмоткой, на рисунке 4 с) изображена векторная диаграмма на момент коммутации только переходной процесс без учёта влияния демпферной обмотки, и на рисунке 4 д) изображена векторная диаграмма в установившемся режиме.

Исходя из первого закона коммутации при скачкообразном изменении схемно-режимных параметров суммарное потокосцепление, а, следовательно, и ЭДС E''_q демпферной обмотки скачком измениться не могут, поэтому E''_q на диаграмме б) известно и равно напряжению на выводах генератора в режиме холостого хода. Если рассуждать аналогично, то можно утверждать, что E'_q на диаграмме с) тоже равно напряжению холостого хода. После затухания переходного режима E_q станет равной напряжению холостого хода благодаря исключению влияния регулятора возбуждения. В итоге задача заключается в определении векторов падений напряжений на сопротивлениях машины. Для этого составляется система уравнений на основании представленных диаграмм (б).

$$\begin{aligned} E''_q &= I''_d x''_d + I''_q r + U''_q \\ E'_q &= I'_d x'_d + I'_q r + U'_q \\ E_q &= I_d x_d + I_q r + U_q \\ E''_d + I''_q x''_q &= I''_d r + U''_d \\ I_q x_q &= I_d r + U_d \end{aligned} \quad (6)$$

Исходя из того, что начальный режим холостой ход, а потокосцепление демпферной обмотки скачком измениться не может, то

$E''_d=0$. Так как во всех уравнениях определены токи, напряжения, ЭДС, x_d , r , то в каждом уравнении присутствует не более одной неизвестной, поэтому отсюда можно легко определить x'_d , x''_d , x_q , x''_q . После определения всех сопротивлений постоянные времени можно вычислить по следующим выражениям.

$$\begin{aligned} T_{d0} &= \frac{x_d}{wr} & T'_d &= \frac{x'_d}{wr} & T''_d &= \frac{x''_d}{wr} \\ T_{q0} &= \frac{x_q}{wr} & T''_q &= \frac{x''_q}{wr} \end{aligned}$$

В качестве примера было взято по 15 точек на каждом графике в одни и те же моменты времени (отмечены на рисунке 2). Для определения токов и напряжений статора по продольной и поперечной осям были составлены переопределённые системы уравнений, коэффициенты которых были определены методом Левенберга-Марквардта. Описанным выше способом были идентифицированы параметры модельного генератора.

Результаты идентификации представлены в таблице 1. В первом столбце указан параметр, во втором указано значение параметра модели, в третьем представлены значения параметров, полученные в результате идентификации, а в четвёртом рассчитана погрешность относительная погрешность расчёта.

Таблица 1
Результаты идентификации

Параметр	Начальные значения (о.е.)	Полученные значения (о.е.)	Погрешность (%)
x_d	1,242	1,235	0,56
x'_d	0,171	0,166	3,06
x''_d	0,069	0,063	8,46
x_q	0,662	0,665	0,45
x''_q	0,077	0,082	6,93
r	0,05	0,051	1,52
T_{d0}	24,84	24,22	2,51
T'_d	3,265	3,368	3,06
T''_d	1,244	1,359	8,46
T_{q0}	13,24	13,04	1,52
T''_q	1,622	1,517	6,93

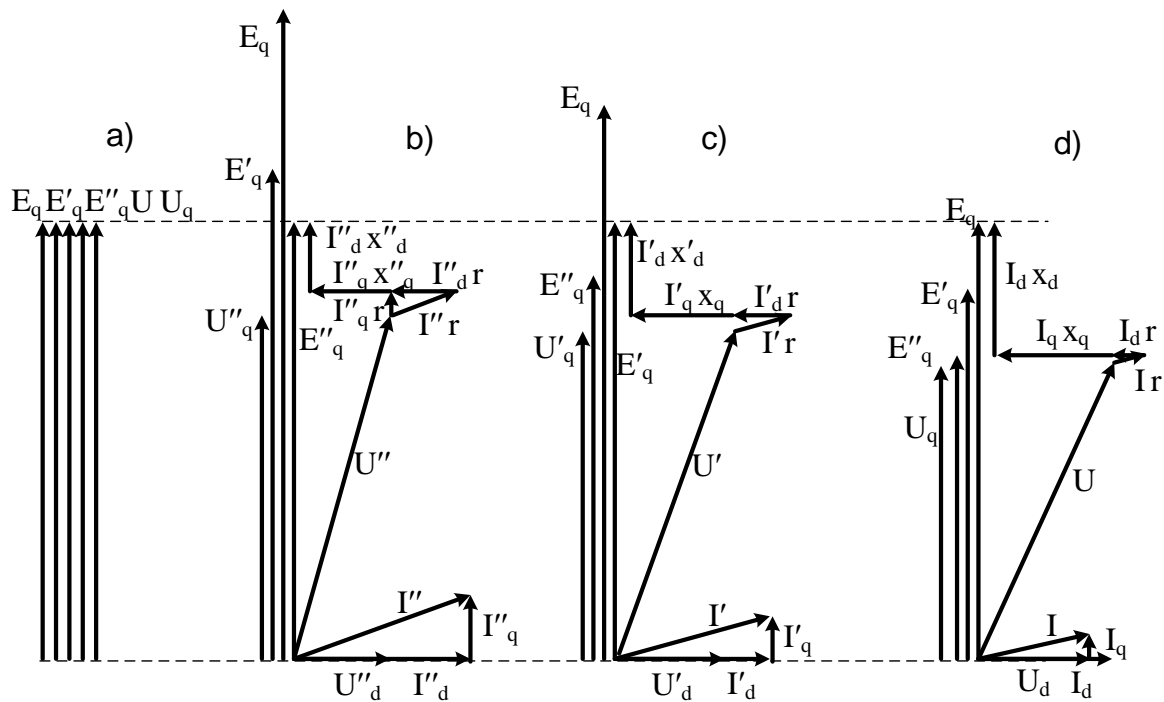


Рис. 4. Векторные диаграммы синхронной машины для режимов: а) холостой ход, б) сверхпереходной, в) переходной д) установившейся.

III. ВЫВОДЫ

Предложен способ идентификации электрических параметров синхронной машины, который подходит как для явнополусной, так и для неявнополусной машины. Особенностью способа является то, что идентификация параметров выполняется попутно с включением генератора в сеть. Тем самым он органично вписывается в технологический процесс эксплуатации машины и не влияет на быстродействие включения машины. Также способ обладает ещё рядом преимуществ перед аналогами. Для его реализации не нужно создавать опасные для машины режимы работы, не нужно иметь дополнительное дорогостоящее оборудование.

Повысить точность определения параметров можно более точным учётом электромеханического переходного процесса, и составляя переопределённые системы из большого количества уравнений (взять больше точек на графиках). Предполагается идентификация параметров при каждом включении генератора в сеть. Сравнивая данные полученные при каждом включении, можно находить усреднённые значения

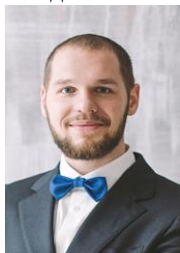
численным методом, тем самым каждая последующая идентификация будет уточнять параметры машины.

Литература (References)

- [1] *Natsional'naya tekhnologicheskaya inithiativa. Enerdzhi net* [National technological initiative. Roadmap. Energy net] Available at: <http://www.nti2035.ru/markets/energynet> (accessed: 14.03.2017)
- [2] Karrari M. and Malik O. P. Identification of Physical Parameters of a Synchronous Generator From Online Measurements. *IEEE Transactions on energy conversion*, 2004, vol. 19, no 2, pp. 407-415.
- [3] Wamkeue R., Jollette C., Mpanda Mabwe A., B. Cross-Identification of synchronous generator parameters from RTDR Test Time-Domain Analytical Responses. *IEEE Transactions on energy conversion*, 2011, vol. 26, no 3, pp. 776-786.
- [4] Zhao Zh., Zheng F., Gao J., Xu L., A Dynamic On-Line Parameter Identification and Full-scale System Experimental Verification for Large Synchronous Machines. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1995, vol. 10, no 3, pp. 392-398.

- [5] Verbeeck J., Pintelon R., Lataire P. Identification of Synchronous Machine Parameters Using a Multiple Input Multiple Output Approach. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999, vol. 14, no 4, pp. 909-917.
- [6] Zivanovic R. Parameter estimation by solving multivariate polynomial system: a synchronous machine example. 2012 20th Mediterranean conference on control & automation (MED), 2012 pp. 604-609.
- [7] Karayaka H. B., Keyhani A., Heydt G. T., Agrawal B. L., Selin D. A. Synchronous Generator Model Identification and Parameter Estimation From Opening Data // IEEE transactions on energy conversion, 2003. vol. 18. pp. 121-126.
- [8] Rahman K. M., Silva H. Identification of Machine Parameters of a Synchronous Motor // IEEE transactions on industry applications, 2005, vol. 41, no 2., pp. 557-565.
- [9] Polyakhov N. D., Prikhod'ko I. A., Rubtsov I. A., *Metod opredeleniya vneshnego induktivnogo soprotivleniya sinkhronnogo generatora kak obobshchennogo parametra, kharakterizuyushchego sostoyaniye sistemy.* [Method of identification of the output synchronous inductive resistance as the whole parameter, which characterizes the power system condition] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [The modern problems of science and education]. – 2012. Vol 5. - 8 p.
- [10] Shulacov N. V. Sudakov A. I. Chabanov E. A., *Novye podkhody k polucheniyu iskhodnoj infirmatsii i metodam identifikatsii perekhodnykh protsessov moshchnikh sinkhronnykh mashin* [New ways of getting initial data and transition processes identification methods of mighty synchronous machines] // *Elektrotehnika, informatsionnie tekhnologii, sistemy upravleniya*, 2013 № 8 S. 114-127. [Electrical engineering, information technology, control systems, 2013 Vol. 8, pp. 114-127]
- [11] Sun L., Qu P., Huang Q., Parameter identification of synchronous generator by using ant colony optimization algorithm // *Industrial Electronics and Applications*, 2007. ICIEA 2007. 2nd IEEE Conference on, pp 2834 – 2838.
- [12] Fishov A. G., Frolov M. Yu., *Sposob upravleniya rezhimom sinkhronnoi mashiny vklychennoi v elektricheskuyu set'* [Control Method by synchronous machine mode connected to the grid] Patent RF, no 2572108, 2014.
- [13] Frolov M. Yu. Identifikatsiya parametrov sinkhronnykh mashin v ekspluatatsionnykh rezhimakh. Diss. mag. [Synchronous machine parameter identification in operation mode. Diss. of mas. deg.]. Novosibirsk, Publ, 2014. P 93.
- [14] Myshlyannikov D. A., Fishov A. G., Frolov M. Yu., *Identifikatsiya uzlovykh parametrov dlya zadach upravleniya rezhimami energosistem* [Identification of node parameters for control problems of network], *Modern ways of development of power system protection*, "Sovremennye napravleniya razvitiya sistem releinoi zashchity i avtomatiki energosistem 01-05 iyunya 2015 Sochi", [Modern ways of development of relay protection and automation of power systems 01-05 June 2015, Sochi], Sochi, pp. 42-48.
- [15] Ulyanov S. A., *Electromagnitnye perekhodnye protsessy v elektricheskikh sistemakh* [Electromagnetic transient processes in electrical systems]. Textbook power engineering faculties. M.: Energy 1970.

Сведения об авторах.



Фролов М. Ю. аспирант кафедры АЭС НГТУ, инженер 2 категории. Область научных интересов: Идентификация параметров элементов энергосистем, моделирование энергосистем. E-mail: m.frolov@corp.nstu.ru



Фишов А. Г. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АЭС НГТУ, Область научных интересов: Управление режимами электроэнергетических систем и электрических сетей. E-mail: fishov@ngs.ru