

О ДВУХ МЕТОДАХ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА АЛАР НА ОСНОВЕ РАВНОМЕРНЫХ ДАННЫХ

Д.С. Бухаров

Филиал АО «СО ЕЭС» Иркутское РДУ, г. Иркутск, Россия

В работе представлены два метода вычисления характеристики устройства АЛАР в форме трапеции. В качестве исходных данных используются годографы асинхронного режима, представляющие собой массивы значений активного и реактивного сопротивлений, вычисленные с фиксированным шагом по времени. Первый метод основан на постепенном увеличении размеров характеристики с сохранением пропорций чувствительного и грубого органов характеристики. Основания трапеции вытягиваются до тех пор, пока автоматикой не будут зафиксированы все исходные годографы. Второй метод основан на сужении грубого органа характеристики с сохранением начального размера чувствительного органа. Оба метода являются итеративными, выполняющими совокупность однотипных операций, ориентированных на вычисление характеристики минимального размера с соблюдением требований, предъявляемых к устройствам АЛАР. Основной упор в процессе вычисления характеристики делается на соблюдение условий фиксации асинхронных режимов и чувствительности устройства АЛАР. Методы реализованы в виде программы, с помощью которой проведен вычислительный эксперимент на реальных данных. Эксперимент показал эффективность представленных методов при расчете уставок автоматики. Эти методы могут быть использованы специалистами по электрическим режимам при настройке устройств АЛАР с трапециевидной характеристикой.

Ключевые слова: трапециевидная характеристика, устройство АЛАР, равномерные данные, итеративный метод, асинхронный режим, годограф.

Введение

Устройство автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР) – «...локальное устройство автоматики ликвидации асинхронного режима или функция в составе микропроцессорного устройства противоаварийной автоматики, реализующая автоматическую ликвидацию асинхронного режима» [1]. Эта автоматика «...предназначена для ликвидации асинхронных режимов отдельных генераторов, электростанций и частей энергосистем» [2].

Под асинхронным режимом понимается «...режим энергосистемы, характеризующийся устойчивыми периодическими колебаниями напряжений, токов и мощностей, периодическим изменением взаимного угла электродвигательной силы генераторов электрических станций, несинхронным вращением отдельных генераторов энергосистемы при сохранении электрической связи между ними» [3]. Асинхронный режим (АР) должен ликвидироваться устройством АЛАР путем разделения энергосистемы [4, 5].

Устройства АЛАР требуется настраивать как при вводе их в работу на объекте электроэнергетики, так и в процессе эксплуатации при изменении схемно-режимных условий в энергосистеме [6] с целью сохранения устойчивости энергосистемы и недопущения возникновения аварии [7–9].

Настройка устройств АЛАР в большинстве случаев выполняется вручную, и этот процесс состоит из многократно повторяющихся однотипных операций, что благоприятствует разработке специальных программно-алгоритмических средств [10, 11], направленных на облегчение труда специалистов по электрическим режимам.

Настройка устройств АЛАР, как правило, выполняется на основе неравномерных данных, полученных при расчете режимов в различных программных комплексах [12, 13]. Такими данными являются годографы АР (массивы значений активного и реактивного сопротивлений и меток времени), полученные в процессе вычисления переходных процессов. В таких вычислениях отсутствует единый шаг по времени, а плотность точек в годографе увеличивается при утяжелении моделируемого режима.

В настоящей работе представлены два метода настройки устройства АЛАР с трапециевидной характеристикой [14] на основе годографов АР с равномерным шагом по времени. Такие АР могут быть получены как расчетными средствами, так и зафиксированы регистраторами аварийных событий или устройствами синхронизированных векторных измерений [15–18].

Ранее в работе [10] были представлены алгоритмы настройки устройств АЛАР на основе не-

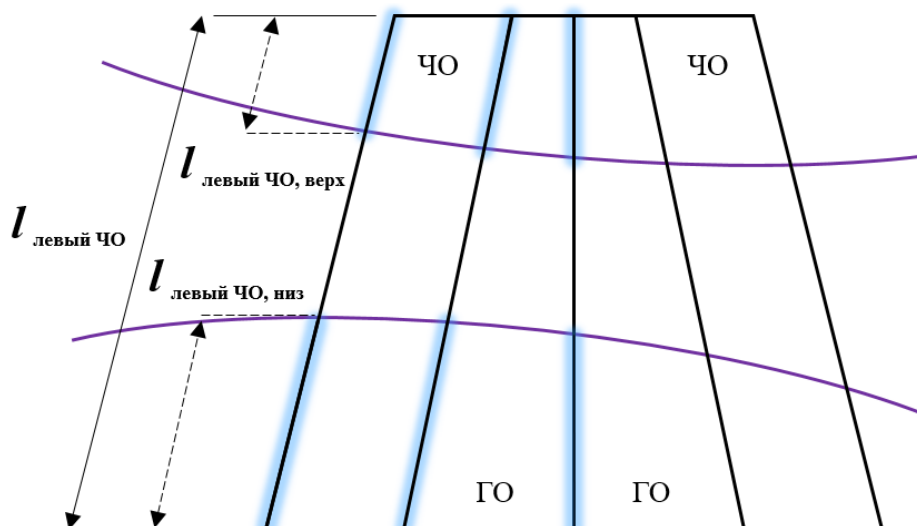


Рис. 1. Условие чувствительности

равномерных данных. Эти алгоритмы в процессе вычислений многократно изменяют форму и расположение трапеции (характеристики устройства АЛАР) с целью охвата максимального количества внутренних АР и отстройки от внешних АР.

Постановка задачи

Пусть имеется n годографов АР $G_i = \{R_{i,j}, X_{i,j}, t_{i,j} : j = \overline{1, m_i}\}$ ($i = \overline{1, n}$), содержащих по m_i замеров значений активного $R_{i,j}$ и реактивного $X_{i,j}$ сопротивлений и меток времени $t_{i,j}$, полученных с сохранением единого шага по времени ($t_{i,k+5} - t_{i,k+4} = t_{i,k+6} - t_{i,k+5} = \Delta t_i$).

Необходимо вычислить такую трапецию, при которой фиксируются все G_i ($i = \overline{1, n}$) и выполняются условия:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{ЧО/ГО}/h, \text{верх}} &> 0,1 \cdot l_{\text{ЧО/ГО}/h}, \\
 l_{\text{ЧО/ГО}/h, \text{низ}} &> 0,1 \cdot l_{\text{ЧО/ГО}/h}, \\
 l_{\text{осн, низ}} &\rightarrow \min, \\
 l_{\text{осн, верх}} &\rightarrow \min, \\
 l_h &\rightarrow \min, \\
 T_{G_i} &\geq T_{act},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где ЧО – чувствительный орган; ГО – грубый орган; h – высота трапеции; l_h – длина высоты трапеции; $l_{\text{ЧО/ГО}/h, \text{верх}}$ – длина отрезка, образованного пересечением ЧО/ГО/высоты трапеции и годографом АР, проходящего наиболее близко к верхнему основанию (рис. 1); $l_{\text{ЧО/ГО}/h, \text{низ}}$ – длина отрезка, образованного пересечением ЧО/ГО/высоты трапеции и годографом АР, проходящего наиболее близко к нижнему основанию; $l_{\text{осн, низ}}$ – длина нижнего основания трапеции; $l_{\text{осн, верх}}$ – длина

верхнего основания трапеции; T_{act} – минимально необходимое время для фиксации АР; T_{G_i} – время нахождения i -го годографа АР в ЧО характеристики.

Как отмечалось в работе [10], перед вычислением формы характеристики необходимо определиться с расположением органа направления мощности (ОНМ), на котором располагается высота трапеции. Размещается ОНМ любым удобным способом с соблюдением ключевого условия – пересечения ОНМ годографов АР в области наибольшей их плотности (рис. 2, область внутри черного прямоугольника) с целью получения трапеции минимальных размеров.

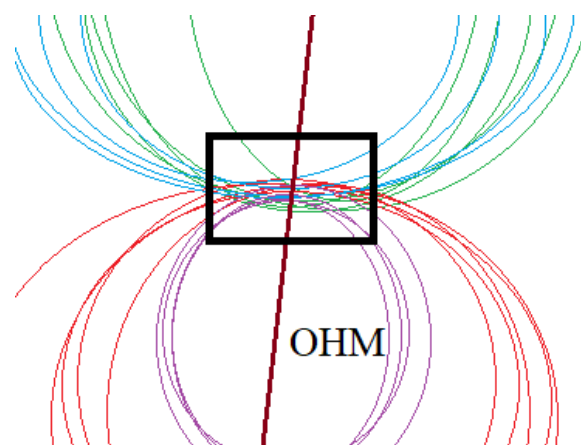


Рис. 2. Размещение ОНМ

После определения расположения ОНМ выполняется построение трапеции согласно требованиям производителя устройств АЛАР [14].

Для упрощения описания методов вычисления трапециевидной характеристики будем рассматривать пример с двумя годографами АР.

Метод № 1. Изменение размеров характеристики с сохранением пропорций ЧО и ГО характеристики

Суть метода заключается в растягивании трапеции с соблюдением условия чувствительности и пропорциональности искомой фигуры (длина основания ГО равна половине длины основания ЧО), решая задачу (1) (рис. 3).

Метод состоит из следующих шагов:

ШАГ №1. Для каждого годографа АР определяются точки t_3 , которые взаимно наиболее удалены от ОНМ и обеспечивают выполнение условия $t_1 + t_2 \geq 2 \cdot T_{act}$.

ШАГ № 2. Через эти точки проводятся прямые – будущие боковины трапеции ЧО характеристики.

ШАГ № 3. На построенных прямых откладываются необходимые отрезки с соблюдением условия чувствительности (см. рис. 1).

ШАГ № 4. Строится трапеция с сохранением симметричности фигуры и пропорциональности ГО и ЧО.

ШАГ № 5. Определяется количество АР, которые фиксируются устройством АЛАР.

ШАГ № 6. Если фиксируются все АР, то вычисления останавливаются. В противном случае трапеция расширяется так, чтобы охватить еще по одной точке каждого годографа АР, и выполняется шаг № 2.

В случае трех и более годографов АР на шаге № 2 прямая проводится через две геометрически наиболее удаленные от ОНМ точки.

Метод № 2. Сужение ГО характеристики

Данный метод используется, если допускается изменение пропорции в трапеции (рис. 4).

Метод состоит из следующих шагов:

ШАГ № 1. Для каждого годографа АР опре-

деляются точки t_3 , которые взаимно наиболее удалены от ОНМ и обеспечивают выполнение условия $t_1 + t_2 \geq 2 \cdot T_{act}$.

ШАГ № 2. Через эти точки проводятся прямые – будущие боковины трапеции ЧО характеристики.

ШАГ № 3. На построенных прямых откладываются необходимые отрезки с соблюдением условия чувствительности (см. рис. 1).

ШАГ № 4. Строится трапеция с соблюдением симметричности фигуры и пропорциональности ГО и ЧО. Эта трапеция запоминается.

ШАГ № 5. Определяется количество АР, которые фиксируются устройством АЛАР.

ШАГ № 6. Если фиксируются все АР, то вычисления останавливаются. В противном случае выполняется шаг № 7.

ШАГ № 7. Основания ГО уменьшаются так, чтобы в увеличенном по площади ЧО (см. рис. 4, фиолетовая штриховка) оказалось еще по одной точке. Если точки t_1 каждого годографа АР находятся в ГО (см. рис. 4, зеленая штриховка), то выполняется шаг № 5. В противном случае выполняется шаг № 8.

ШАГ № 8. Трапеция (сохраненная на шаге № 4) растягивается так, чтобы охватить еще по одной точке каждого годографа АР, и выполняется шаг № 2.

В случае трех и более годографов АР на шаге № 2 прямая проводится через две геометрически наиболее удаленные от ОНМ точки.

Вычислительный эксперимент

Описанные выше методы вычисления трапецевидной характеристики реализованы в рамках ПО [19].

Проведен вычислительный эксперимент на обезличенных данных: даны восемь годографов АР

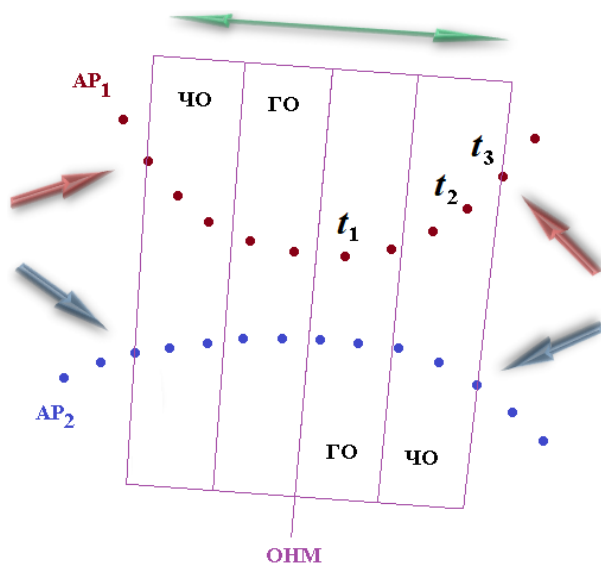


Рис. 3. Построение характеристики устройства АЛАР

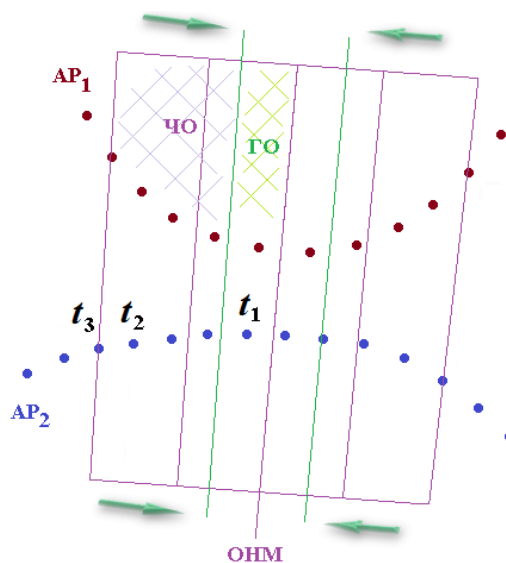


Рис. 4. Сужение ГО характеристики

G_i ($i = \overline{1,8}$), мощность которых приблизительно равна и составляет $m_i \approx 1,4 \cdot 10^4$. $T_{act} = 20$ мс. Шаг по времени варьируется от 1 до 10 мс. Решается задача (1).

На рис. 5а представлена характеристика, вычисленная методом № 1, а на рис. 5б – методом № 2.

На рис. 5 фиолетовая линия – часть вектора сопротивления линии электропередачи, на которой располагается электрический центр качания. Синие линии – годографы АР. Светло-зеленая ось – ОНМ.

В таблице представлены результаты вычислений, выполненных на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU 2.80 GHz под управлением операционной системы Windows 10.

В таблице приняты следующие обозначения:

$l_{осн ЧО, верх}$ – длина верхнего основания ЧО;

$l_{осн ЧО, низ}$ – длина нижнего основания ЧО;

$l_{осн ГО, верх}$ – длина верхнего основания ГО;

$l_{осн ГО, низ}$ – длина нижнего основания ГО.

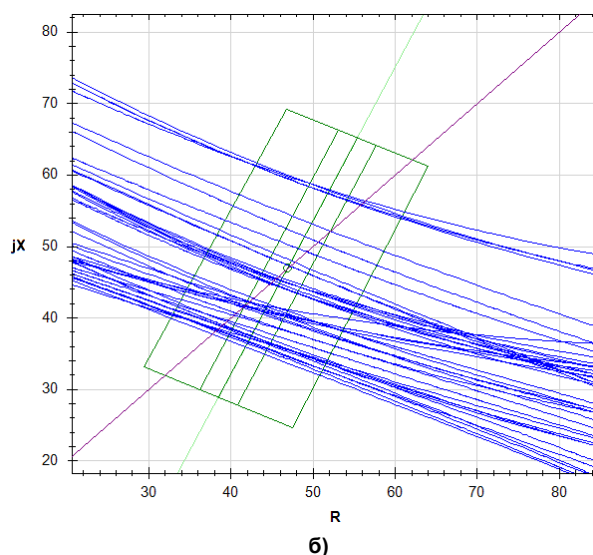
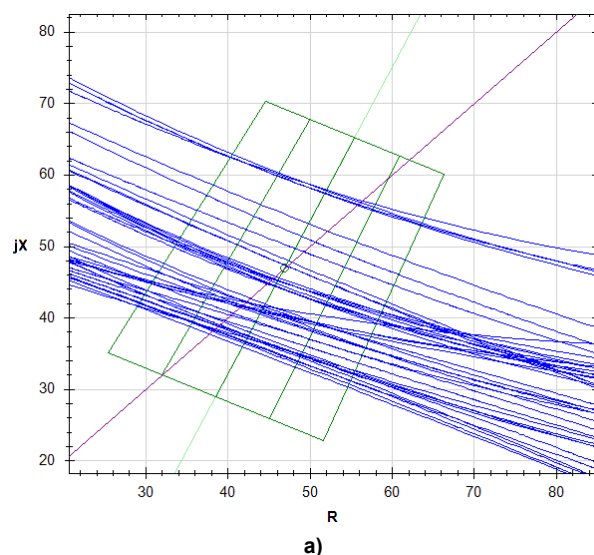


Рис. 5. Результат вычисления двумя методами

Результаты вычислений

Метод	Длина оснований, Ом	Количество проверок годографов АР	Количество обработанных точек	Время вычислений, с
Метод № 1	$l_{осн ЧО, верх} \approx 24,10$ $l_{осн ЧО, низ} \approx 28,90$ $l_{осн ГО, верх} \approx 12,05$ $l_{осн ГО, низ} \approx 14,45$	208	$\approx 6,0 \cdot 10^4$	2
Метод № 2	$l_{осн ЧО, верх} \approx 18,45$ $l_{осн ЧО, низ} \approx 20,50$ $l_{осн ГО, верх} \approx 4,20$ $l_{осн ГО, низ} \approx 4,65$	184	$\approx 5,9 \cdot 10^4$	2

Обратим внимание на то, что количество обработанных точек существенно меньше, чем общее количество точек в годографах АР. Этот факт объясняется тем, что под обработку попадают не все точки, а только располагающиеся внутри прямоугольника, описывающего характеристику. Такая обработка позволяет снизить вычислительную нагрузку и ускорить расчеты.

Без отбрасывания незначимых точек время вычисления характеристики составит около 12,5 мин (общее количество обрабатываемых точек $208 \cdot 8 \cdot 1,4 \cdot 10^4 \approx 2,3 \cdot 10^7$).

В процесс обработки каждой точки годографа АР включена процедура проверки вхождения этой точки в трапецию. На эту процедуру приходится $\approx 90\%$ всех расчетов, выполняемых при вычислении характеристики.

На рис. 6 отображена характеристика (метод № 1) и четыре годографа АР (G_1, G_4, G_5, G_6). Годографы представлены в усеченном виде: отображен только первый цикл. Все восемь АР фиксируются на первом цикле.

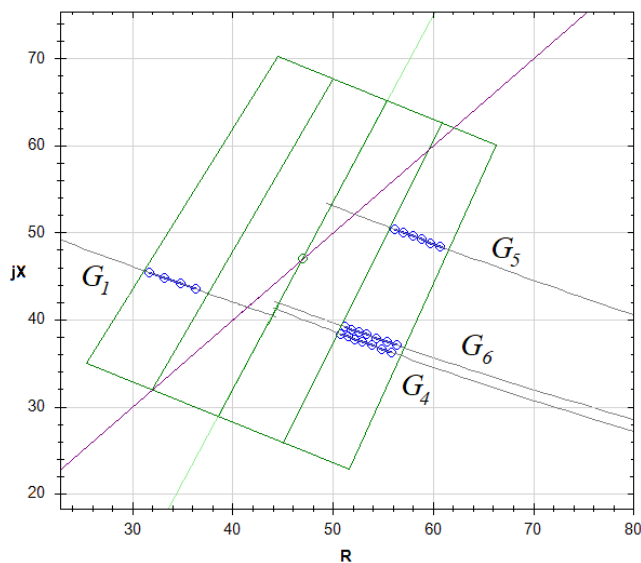


Рис. 6. Годографы на первом цикле

Из рис. 6 видно, что количество точек, находящихся внутри ЧО характеристики, отличается. Шаг по времени равен $\Delta t_1 = 10$, $\Delta t_4 = 4$, $\Delta t_5 = 5$, $\Delta t_6 = 3$ мс. Наибольшее время нахождения АР в ЧО отмечается для G_1 , наименьшее время — G_6 .

Для рассматриваемого примера годограф АР G_6 является тем элементом, который ограничивает минимальный размер трапеции. Вычисление характеристики остановилось только после выполнения условия фиксации G_6 : $(T_{G_6} = 21) > (T_{act} = 20)$.

Заключение

Представленные методы позволяют вычислить характеристику устройства АЛАР, удовле-

творяющую условиям (1), в автоматическом режиме. Вычисленная характеристика может использоваться специалистом по электрическим режимам как базовая при выборе уставок автоматики. При необходимости характеристика может быть скорректирована вручную в разработанном ПО [19] и проверена на фиксацию годографов АР.

Построенная по методу № 2 характеристика устройства АЛАР имеет меньшие размеры, чем при использовании метода № 1, что объясняется минимальным растягиванием оснований трапеции и сужением ГО характеристики. Основная проблема применения описанных методов — существенный дефицит годографов АР с фиксированным шагом по времени между точками.

Литература

1. СТО 59012820.29.020.008-2015. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Автоматика ликвидации асинхронного режима. Нормы и требования. — М.: Изд-во стандартов, 2015. — 83 с.
2. ГОСТ Р 55105–2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. — М.: Изд-во стандартов, 2019. — 40 с.
3. ГОСТ Р 57114–2016. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике и оперативно-технологическое управление. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 2016. — 20 с.
4. ГОСТ Р 58085–2018. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем. Нормы и требования. — М.: Изд-во стандартов, 2018. — 32 с.
5. Матвеев, И.В. Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) / И.В. Матвеев, В.С. Пастухов, К.М. Иванов // Вологодские чтения. — 2008. — № 69. — С. 96–98.
6. ГОСТ 34045–2017. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. — М.: Изд-во стандартов, 2017. — 23 с.

7. Наровлянский, В.Г. Результаты испытаний устройства ликвидации асинхронного режима АЛАР-М / В.Г. Наровлянский, А.Б. Ваганов, И.А. Иванов // Релейная защита и автоматизация. – 2010. – № 1. – С. 16–18.
8. Наровлянский, В.Г. Современные методы и средства предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы / В.Г. Наровлянский. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 359 с.
9. Илюшин, П.В. Современные подходы к ликвидации асинхронных режимов объектов распределенной генерации с учетом их конструктивных особенностей / П.В. Илюшин, П.В. Чусовитин // Релейная защита и автоматизация. – 2014. – № 4. – С. 16–23.
10. Бухаров, Д.С. Об автоматизации настройки устройств автоматической ликвидации асинхронного режима с трапецевидной характеристикой / Д.С. Бухаров // Прикладная информатика. – 2017. – № 2. – С. 44–51.
11. Бухаров, Д.С. О методах обработки массивов значений тока в задаче настройки устройства автоматической ликвидации асинхронного режима / Д.С. Бухаров // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – № 3. – С. 54–59.
12. Stubbe, M. High Performance Simulations / M. Stubbe // Tractebel Link. – 1994. – No. 6. – P. 7–10.
13. Software RastrWin, Bars, Lincor, Rustab, RastrKZ, RastrMDP. – <http://www.rastrwin.ru/rustab> (дата обращения: 05.04.2020).
14. Комплекс противоаварийной автоматики многофункциональный. ИШМУ.656455.206-01 РЭ. – Новосибирск: Институт автоматизации энергетических систем, 2013. – 60 с.
15. Phadke, A.G. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications / A.G. Phadke, J.S. Thorp. – Berlin: Springer, 2008. – 285 p. DOI: 10.1007/978-0-387-76537-2
16. Bozchalui M.C., Sanaye-Pasand M. Out-of-step relaying using phasor measurement unit and equal area criterion / M.C. Bozchalui, M. Sanaye-Pasand // IEEE Power India Conference. – 2006. – April. – P. 10–12. DOI: 10.1109/POWERI.2006.1632612
17. Out-of-step splitting scheme based on PMUs / Li Li, Liu Yutian, Mu Hong, Yu Zhanxun // DRPT'2008 Intern. Conf., Nanjing (China). – 2008. – April. – P. 6–9. DOI: 10.1109/DRPT.2008.4523569
18. Развитие системы противоаварийного управления для предотвращения и ликвидации асинхронных режимов энергосистемы с использованием регистраторов комплексных величин (PMU) / Н.И. Воронай, К. Ретанц, Д.Н. Ефимов, Д.Б. Попов, У. Хэгер // Электричество. – 2011. – № 5. – С. 2–8.
19. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017615165 Российская Федерация. Расчет параметров устройства АЛАР / Д.С. Бухаров. – 04.05.2017.

Бухаров Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук, заместитель начальника службы – начальник отдела внедрения и сопровождения, служба автоматизированных систем диспетчерского управления, Филиал АО «СО ЕЭС» Иркутское РДУ, г. Иркутск; bukharovds@gmail.com.

Поступила в редакцию 6 апреля 2020 г.

DOI: 10.14529/power200304

ON TWO METHODS TO COMPUTATE THE TRAPEZOIDAL CHARACTERISTIC OF AUTOMATICS FOR ELIMINATION OF ASYNCHRONOUS OPERATION BASED ON EQUAL-STEP DATA

D.S. Bukharov, bukharovds@gmail.com

Branch of SO UPS, JSC “Regional Dispatching Office of Irkutsk region Power System”,
Irkutsk, Russian Federation

The paper presents two methods to compute the trapezoidal characteristic of automatics for elimination of asynchronous operation (AEO). The source data are hodographs of asynchronous operations (AO hodographs). Every AO hodograph is an array of active and reactive resistances values, which have been received or calculated with equal time step. The first method is based on the phase increase of characteristic size without proportions sacrificing of sensitive and coarse elements of the characteristic (trapeze). Trapeze bases are

stretched as long as we have unfixed AO hodographs for AEAO. The second method is based on narrowing the coarse characteristic element without sacrificing the initial size of the sensitive element. Both methods are iterative homogenous operations algorithms. These homogenous operations are necessary to compute the characteristic with minimal size and keep constraints for AEAO. The main emphasis of the characteristic computation is on keeping the sensitivity constraints and fixing the AO hodographs. These methods are used to build up a software. The paper also describes a computational experiment based on actual data. The experiment showed these methods are effective when calculating the AEAO sets. Experts on electrical modes can use these methods to adjust the AEAO with trapezoidal characteristic.

Keywords: trapezoidal characteristic, automatics for elimination of asynchronous operation, equal-step data, iterative method, asynchronous operation, hodograph.

References

1. *STO 59012820.29.020.008–2015*. [Industry Standard 59012820.29.020.008-2015. Relay Protection and Automation. Automatic Emergency Control by Power System Modes. Automatics for Elimination of Asynchronous Operation. Standards and Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 83 p. (in Russ.)
2. *GOST. 55105–2019*. [State Standard 55105–2019. United Power System and Isolated Power Systems. Operational Dispatching Management. Automatic Emergency Control by Power System Modes. Automatic Protective Devices of Power Systems. Standards and Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 40 p. (in Russ.)
3. *GOST. 57114–2016*. [State Standard 57114–2016. United Power System and Isolated Power Systems. Electric Energy System. Operational Dispatching Management in Electric-Power Industry and Operational Process Management. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 20 p. (in Russ.)
4. *GOST. 58085–2018*. [State Standard 58085–2018. United Power System and Isolated Power Systems. Operational Dispatching Management. Rules of Extension Prevention and Trouble Elimination of Normal Conditions in Electrics of Power Systems. Standards and Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 32 p. (in Russ.)
5. Matveev I.V., Pastuhov B.C., Ivanov K.M. [Automatics for Elimination of Asynchronous Operation (AEAO)]. *Vologdinskije chteniya* [Readings from Vologda], 2008, no. 69, pp. 96–98. (in Russ.)
6. *GOST. 34045–2017*. [State Standard 34045–2017. Electric Energy System. Operational Dispatching Management. Automatic Emergency Control by Power System Modes. Automatic Protective Devices of Power Systems. Standards and Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 23 p. (in Russ.)
7. Narovlyanskiy V.G., Vaganov A.B., Ivanov I.A. [Test Results of Automatics for Elimination of Asynchronous Operation ALAR-M]. *Releynaya zashhita i avtomatizaciya* [Relay Protection and Automatization], 2010, no. 1, pp. 16–18. (in Russ.)
8. Narovlyanskiy V.G. *Sovremennye metody i sredstva predotvrashcheniya asinhronnogo rezhima elektroenergeticheskoy sistemy* [Later Methods and Tools for Elimination of Asynchronous Operation of Electric Energy System]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2004. 359 p.
9. Ilyushin P.V., Chusovitin P.V. [Novel Approaches to Prevent Out-Of-Step Operation of Distributed Generation Units with Construction Features Taken into Account]. *Releynaya zashhita i avtomatizaciya* [Relay Protection and Automatization], 2014, no. 4, pp. 16–23. (in Russ.)
10. Bukharov D.S. [On Computer-Aided Adjustment of Automatics for Elimination of Asynchronous Operation with Trapezoidal Characteristic]. *Prikladnaya Informatika* [Journal of Applied Informatics], 2017, no. 2, p. 44–51. (in Russ.)
11. Bukharov D.S. [On Methods of Current Values Sets Processing for Adjustment of Automatics for Elimination of Asynchronous Operation]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy* [Electrical and data processing facilities and systems], 2018, no. 3, p. 54–59. (in Russ.)
12. Stubbe M. *High Performance Simulations*. Tractebel Link, 1994, no. 6, pp. 7–10.
13. *Software RastrWin, Bars, Lincor, Rustab, RastrKZ, RastrMDP*. Available at: <http://www.rastrwin.ru/rustab> (accessed 05.04.2020).
14. *Kompleks protivooavariynoy avtomatiki mnogofunktsional'nyy. IShMU.656455.206-01 RE* [Multifunctional Complex of Emergency Automation. 656455.206-01 Facilities Management]. Novosibirsk, Institute of automation energy systems Publ., 2013. 60 p. (in Russ.)
15. Phadke A.G., Thorp J.S. *Synchronized Phasor Measurements and Their Applications*. Berlin, Springer Publ., 2008. 285 p. DOI: 10.1007/978-0-387-76537-2
16. Bozchalui M.C., Sanaye-Pasand M. Out-of-step Relaying Using Phasor Measurement Unit and Equal Area Criterion. *IEEE Power India Conference*, 2006, April, pp. 10–12. DOI: 10.1109/POWERI.2006.1632612
17. Li Li, Liu Yutian, Mu Hong, Yu Zhanxun. Out-of-Step Splitting Scheme Based on PMUs. *DRPT'2008 International Conference*, Nanjing (China), 2008, April, 6–9. DOI: 10.1109/DRPT.2008.4523569

18. Voropay N.I., Retanc K., Efimov D.N., Popov D.B., Hyeger U. [Evolving the System of Emergency Control for Prevention and Elimination of Asynchronous Operation of Power System with the Use of Phasor Measurement Unit (PMU)]. *Elektrichestvo* [Electrical Technology Russia], 2011, no. 5, pp. 2–8. (in Russ.)

19. Bukharov D.S. *Raschet parametrov ustroystva ALAR* [Parameter Determination of Automatics for Elimination of Asynchronous Operation]. Certificate of the Russian Federation on the State Registration of the Computer Program, no. 2017615165, 04.05.2017.

Received 6 April 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Бухаров, Д.С. О двух методах вычисления трапециевидной характеристики устройства АЛАР на основе равномерных данных / Д.С. Бухаров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 33–40. DOI: 10.14529/power200304

FOR CITATION

Bukharov D.S. On Two Methods to Compute the Trapezoidal Characteristic of Automatics for Elimination of Asynchronous Operation Based on Equal-Step Data. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 33–40. (in Russ.) DOI: 10.14529/power200304
