

## АППРОКСИМАЦИЯ ПОТЕРЯННЫХ ОТСЧЕТОВ В SV-ПОТОКАХ

**Е.С. Воробьев**

ООО НПП «ЭКРА», Чувашский государственный университет

*В статье оцениваются интерполяция и экстраполяция потерянного отсчета в SV-потоке. Потеря информации моделировалась в среде Matlab. Представлены результаты моделирования – абсолютные и относительные погрешности по фазе и модулю при восстановлении информации двумя методами.*

*Ключевые слова: SV-потоки, МЭК 61850, аппроксимация, потеря отсчета*

Согласно концепции «Цифровая трансформация 2030» [1] к концу 2030 года в России должна сформироваться передовая электросетевая инфраструктура, важнейшей частью которой является цифровая подстанция (ЦПС). Наиболее полно принципы обмена информации на ЦПС формируются группой стандартов МЭК 61850.

Стандарт МЭК 61850 определяет протокол передачи МЭК 61850-9-2 SV, который описывает правила передачи оцифрованных значений (отсчетов) токов и напряжений от измерительных трансформаторов [2].

Согласно стандарту МЭК 61850-9-2 LE пакет должен содержать по одной выборке для фазных токов и напряжений, а также для тока и напряжения нейтрали [3]. Алгоритмы фильтрации очень чувствительны к потере даже одного из отсчетов. В этом случае терминал должен принять необходимые меры, которые могут включить блокирование отдельных функций или аппроксимировать потерянное значение. Первое может отрицательно сказаться на характеристиках работы защиты, поэтому более предпочтительна аппроксимация.

Существует множество методов восстановления информации, такие как принятие предыдущего отсчета за потерянный, принятие нулевого значения за потерянный, интерполяция, экстраполяция и другие. Недостатком погрешности метода принятия предыдущего отсчета за потерянный является то, что он может повлиять на определении частоты, так как она определяется по

переходам сигнала через 0; недостатком принятия нулевого значения за потерянный является его точность восстановления отсчета. Поэтому в работе рассмотрены методы линейные интерполяция и экстраполяция.

Стоит отметить, что существует более точные методы аппроксимации, которые вычислительно сложнее и используют большее окно наблюдения. В работе эти методы не рассматриваются.

Рассматриваемые методы восстановления информации представлены условно (рис. 1). На рисунке «-» показан потерянный отсчет, «+» – отсчеты, участвующие в аппроксимации потерянного отсчета, «\*» - отсчет, полученный после восстановления.

Для каждого метода восстановления отсчетов была рассчитана погрешность способа на одном периоде синусоидального сигнала промышленной частоты 50 Гц. Рассчитывалось отклонение вектора, полученного фильтрацией по Фурье результирующего сигнала для каждого отсчета отдельно.

Очевидно, что погрешность восстановления отдельных отсчетов будет зависеть от начальной фазы синусоидального сигнала. Для усреднения результатов были рассмотрены синусоидальные сигналы с начальными фазами: 0°, 30°, 45°, 90°, 120°. Все таблицы с погрешностями ниже даны для синусоидального сигнала с начальной фазой 90°. Исходный сигнал (с начальной фазой 90°) показан на рисунке 2.

# АППРОКСИМАЦИЯ ПОТЕРЯННЫХ ОТСЧЕТОВ В SV-ПОТОКАХ

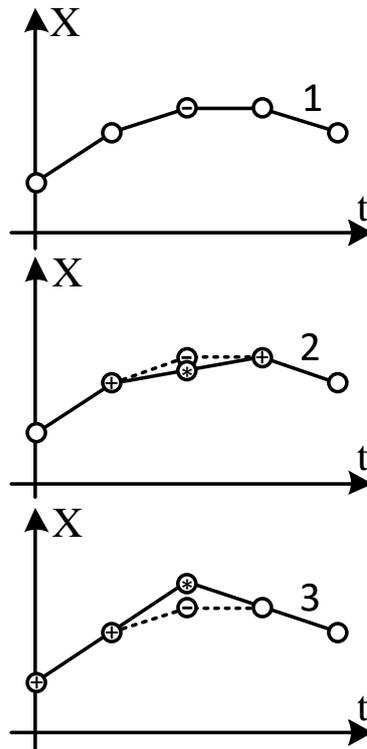


Рис. 1 – Методы восстановления информации: 1 – условный вид исходного сигнала; 2 – линейная интерполяция потерянного значения по известным соседним отсчетам; 3 – линейная экстраполяция потерянного значения по предыдущим отсчетам

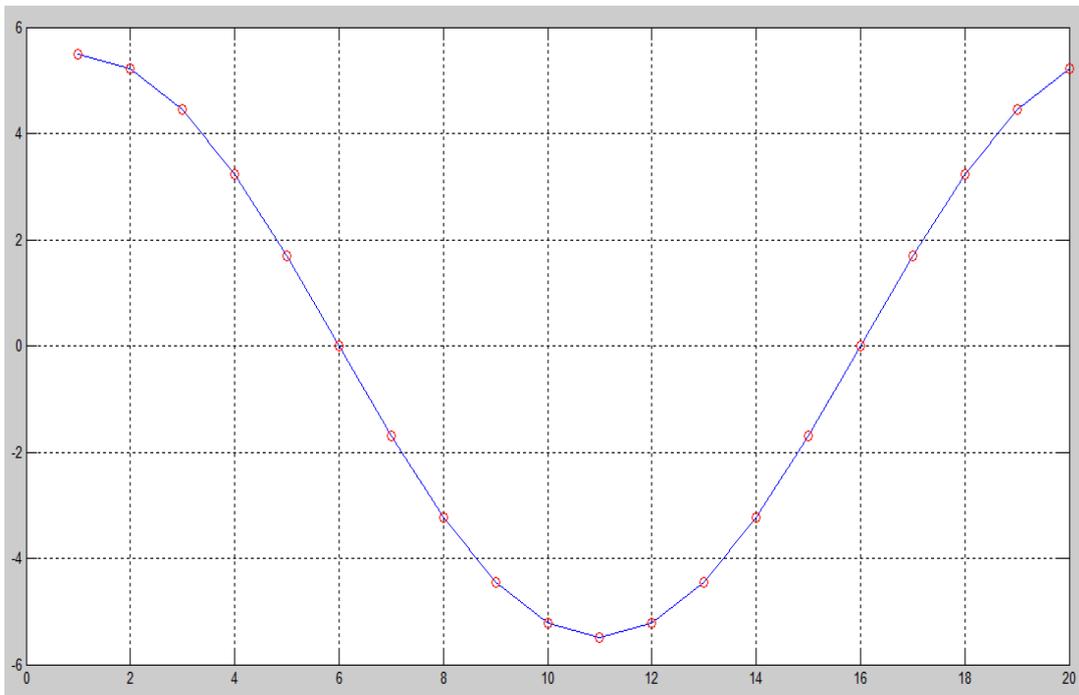


Рис. 2 – Синусоидальный сигнал с начальной фазой 90 градусов

При восстановлении отсчета с использованием линейной интерполяции, значение потерянного отсчета восстанавливается исходя из значений предыдущего и следующего отсчета. Стоит отметить, что для

первого отсчета, при его потере, считается, что значение предыдущего отсчета равно нулю. Для последнего отсчета – следующее значение отсчета равно нулю. Погрешности метода сведены в таблицу.

Таблица 1 – Абсолютные и относительные погрешности метода восстановления отсчета – линейная интерполяция

Номер отсчета	Погрешность				
	Абсолютная погрешность комплексной величины	Абсолютная погрешность модулей комплексной величины	Абсолютная погрешность фазы комплексной величины	Относительная погрешность модуля комплексной величины	Относительная погрешность фазы комплексной величины
1	0.0000 + 0.5500i	-0.5500	0.0000	-10.0000	0.0000
2	0.0083 - 0.0256i	0.0256	-0.0863	0.4656	-0.0958
3	0.0459 - 0.0632i	0.0634	-0.4729	1.1526	-0.5255
4	0.0984 - 0.0715i	0.0724	-1.0122	1.3162	-1.1247
5	0.1458 - 0.0474i	0.0493	-1.5057	0.8963	-1.6730
6	0.1700 + 0.0000i	0.0026	-1.7700	0.0477	-1.9666
7	0.1616 + 0.0525i	-0.0501	-1.6996	-0.9113	-1.8885
8	0.1240 + 0.0901i	-0.0887	-1.3135	-1.6127	-1.4594
9	0.0715 + 0.0984i	-0.0980	-0.7586	-1.7812	-0.8429
10	0.0241 + 0.0743i	-0.0742	-0.2549	-1.3499	-0.2833
11	0.0000 + 0.0269i	-0.0269	0.0000	-0.4894	0.0000
12	0.0083 - 0.0256i	0.0256	-0.0863	0.4656	-0.0958
13	0.0459 - 0.0632i	0.0634	-0.4729	1.1526	-0.5255
14	0.0984 - 0.0715i	0.0724	-1.0122	1.3162	-1.1247
15	0.1458 - 0.0474i	0.0493	-1.5057	0.8963	-1.6730
16	0.1700 + 0.0000i	0.0026	-1.7700	0.0477	-1.9666
17	0.1616 + 0.0525i	-0.0501	-1.6996	-0.9113	-1.8885
18	0.1240 + 0.0901i	-0.0887	-1.3135	-1.6127	-1.4594
19	0.0715 + 0.0984i	-0.0980	-0.7586	-1.7812	-0.8429
20	0.0241 + 0.0743i	-0.0742	-0.2549	-1.3499	-0.2833

## АППРОКСИМАЦИЯ ПОТЕРЯННЫХ ОТСЧЕТОВ В SV-ПОТОКАХ

При восстановлении отсчета с использованием линейной экстраполяции, значение потерянного отсчета восстанавливается исходя из значений двух предыдущих отсчетов. Стоит отметить, что для первого

отсчета, при его потере, используется метод принятия нулевого значения, для второго отсчета – использование предыдущего отсчета за потерянный. Погрешности метода сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Абсолютные и относительные погрешности метода восстановления отсчета – линейная экстраполяция

Номер отсчета	Погрешность				
	Абсолютная погрешность комплексной величины	Абсолютная погрешность модулей комплексной величины	Абсолютная погрешность фазы комплексной величины	Относительная погрешность модуля комплексной величины	Относительная погрешность фазы комплексной величины
1	0.0000 + 0.5500i	-0.5500	0.0000	-10.0000	0.0000
2	0.0083 - 0.0256i	0.0256	-0.0863	0.4656	-0.0958
3	0.0301 - 0.0414i	0.0415	-0.3112	0.7546	-0.3458
4	0.0352 - 0.0256i	0.0257	-0.3654	0.4675	-0.4060
5	0.0301 - 0.0098i	0.0099	-0.3130	0.1793	-0.3477
6	0.0166 + 0.0000i	0.0000	-0.1733	0.0005	-0.1926
7	0.0000 + 0.0000i	0.0000	0.0000.	0.0000	0.000
8	-0.0135 - 0.0098i	0.0098	0.1400	0.1781	0.1555
9	-0.0186 - 0.0256i	0.0256	0.1929	0.4660	0.2143
10	-0.0135 - 0.0414i	0.0414	0.1392	0.7535	0.1546
11	0.0000 - 0.0512i	0.0512	0.0000	0.9310	0.0000
12	0.0166 - 0.0512i	0.0512	-0.1717	0.9314	-0.1908
13	0.0301 - 0.0414i	0.0415	-0.3112	0.7546	-0.3458
14	0.0352 - 0.0256i	0.0257	-0.3654	0.4675	-0.4060
15	0.0301 - 0.0098i	0.0099	-0.3130	0.1793	-0.3477
16	0.0166 + 0.0000i	0.0000	-0.1733	0.0005	-0.1926
17	0.0000 + 0.0000i	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	-0.0135 - 0.0098i	0.0098	0.1400	0.1781	0.1555
19	-0.0186 - 0.0256i	0.0256	0.1929	0.4660	0.2143
20	-0.0135 - 0.0414i	0.0414	0.1392	0.7535	0.1546

Для каждого метода рассчитывались абсолютная погрешность модуля комплексной величины, абсолютная погрешность фазы комплексной величины, относитель-

ная погрешность модуля комплексной величины, относительная погрешность фазы комплексной величины (табл. 3).

Таблица 3 – Среднее значение погрешностей способов восстановления отсчетов

Метод восстановления	Вид погрешности			
	абсолютная погрешность модуля комплексной величины	абсолютная погрешность фазы комплексной величины	относительная погрешность модуля комплексной величины	относительная погрешность фазы комплексной величины
Линейная интерполяция	0.0376	0.2473	0.6867	0.5074
Линейная экстраполяция	0.0401	0.2295	0.7303	0.6007

Из двух методов более предпочтительным выглядит метод линейной экстраполяции, потому что для восстановления потерянного отсчета по двум предыдущим отсчетам не требует ожидание следующего, после потерянного, отсчета, как в методе линейной интерполяции.

#### Список литературы

1. Концепция «Цифровая трансформация 2030» // ПАО «Россети»: [сайт]. [2019]. URL: [https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf) (дата обращения 10.09.2019);
2. Воробьев Е.С. Цифровизация энергообъектов: задачи и их решения / Е.С.

Воробьев и др. // Сборник материалов III Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности» / Чуваш. ун-т. - Чебоксары. – 2019. С. 267-272.

3. IEC 61850-1 TR Ed.2 Communication networks and systems for power utility automation – Part 1: Introduction and overview. – Germany. – 2012. – 31 с.

**Воробьев Евгений Сергеевич** – инженер 3 категории, Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ЭКРА», Чувашский государственный университет, e-mail: vorobev\_es@ekra.ru.