

Методика проведения сертификационных испытаний устройств АОПЧ

1. Область применения

Методика должна применяться при проведении сертификационных испытаний устройств АОПЧ для их проверки на соответствие требованиям стандарта организации АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.020.003-2017 «Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматики ограничения повышения частоты. Нормы и требования» (далее – Стандарт).

2. Этапы подготовки и проведения сертификационных испытаний устройств АОПЧ

Сертификационные испытания устройств АОПЧ проводятся с использованием тестовой модели энергосистемы (математической модели энергосистемы) и программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени (ПАК РВ).

Сертификационные испытания должны содержать следующие этапы:

- сборка тестовой модели энергосистемы;
- проведение сертификационных испытаний;
- анализ результатов сертификационных испытаний.

3. Сборка тестовой модели энергосистемы

3.1 Схема тестовой модели энергосистемы

3.1.1. Тестовая модель энергосистемы должна быть собрана в соответствии со схемой, приведенной на рис.1.

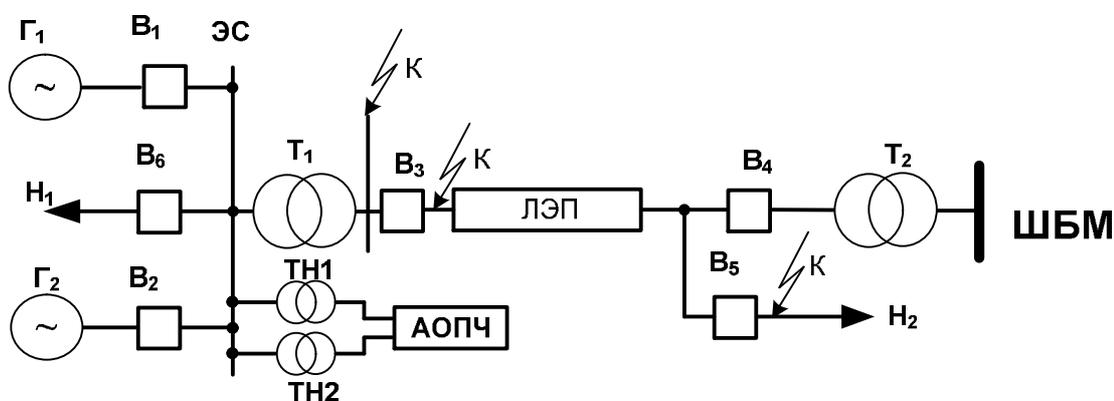


Рис.1 Схема тестовой модели энергосистемы для сертификационных испытаний устройств АОПЧ

3.1.2. Схема тестовой модели энергосистемы должна иметь трехфазное исполнение.

3.1.3. Схема тестовой модели энергосистемы должна содержать:

- эквивалент энергосистемы большой мощности (ШБМ);
- электростанцию (ЭС) с двумя параллельно работающими синхронными генераторами (G_1 и G_2);
- два трансформатора (T_1 и T_2);
- 2 узла комплексной нагрузки (H_1 и H_2);
- линию электропередачи (ЛЭП), представленную моделью воздушной линии напряжением 330 кВ.

3.1.4. В тестовой модели энергосистемы необходимо реализовать:

- автоматические регуляторы возбуждения генераторов;
- автоматические регуляторы скорости турбины;
- модели, реализующие короткие замыкания различного вида;
- устройства, моделирующие действия релейной защиты и автоматическое повторное включение;
- систему контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима.

3.1.5. Тестовая модель энергосистемы должна обеспечивать моделирование электромеханических процессов с точностью по частоте не более 0,01 Гц и точностью по времени не более 1 мс.

3.1.6. Параметры линии электропередачи, трансформаторов, синхронных генераторов должны соответствовать параметрам, приведенным в таблицах 1–3.

Параметры сопротивлений обратной последовательности линии электропередачи должны совпадать с параметрами сопротивлений прямой последовательности.

Параметры сопротивлений нулевой и обратной последовательностей трансформаторов должны совпадать с параметрами сопротивлений прямой последовательности.

Модели нагрузки H_1 и H_2 должны быть представлены шунтом, состоящим из параллельно включенных активного и реактивного сопротивлений и двигательной нагрузки равной мощности.

Исходная величина мощности нагрузки должна составлять $P_{H1} = 195$ МВт, $P_{H2} = 150$ МВт, $Q_{H1} = 98$ Мвар, $Q_{H2} = 75$ Мвар. Модель

нагрузки H_1 и H_2 должна обеспечивать изменение величины мощности нагрузки в диапазоне от 0 до 600 МВт.

3.1.7. Тестовая модель энергосистемы должна иметь возможность осуществления переключений (изменения схемы), необходимых для проведения опытов, указанных в таблице 5.

3.1.8. Модели турбины генераторов Γ_1 и Γ_2 должны быть оснащены устройствами, моделирующим автоматический статический регулятор скорости турбины, со статизмом регулирования по частоте 5 %.

3.1.9. Синхронные генераторы Γ_1 и Γ_2 должны быть оснащены моделями быстродействующих тиристорных систем возбуждения и АРВ сильного действия синхронных генераторов. Настройка всех АРВ, которыми оснащены синхронные генераторы тестовой модели, должна быть выполнена в соответствии с параметрами, приведенными в таблице 4.

3.1.10. Сертифицируемые устройства АОПЧ должно подключаться по цепям напряжения через два трансформатора напряжения (ТН1 и ТН2) к шинам 20 кВ.

3.1.11. Уставки устройства АОПЧ по частоте (скорости повышения частоты) и времени должны быть заданы следующими:

- первая ступень: уставка по частоте 50,6 Гц с временем срабатывания 1 с;
- вторая ступень: уставка по частоте 52 Гц с временем срабатывания 0,1 с;
- третья ступень (при наличии в устройстве АОПЧ измерительных органов по скорости повышения частоты): уставка по скорости повышения частоты 1 Гц/с с временем срабатывания 0,2 с.

Таблица 1. Параметры линии электропередачи 330 кВ тестовой модели энергосистемы

Линия	L	$R_{1л}$	$X_{1л}$	$R_{0л}$	$X_{0л}$	$b_{л}$
	км	Ом	Ом	Ом	Ом	мкСм
ЛЭП	150	5,6	58,5	28,0	146,3	495

Таблица 2. Параметры трансформаторов тестовой модели энергосистемы

Трансформатор	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{ВН ном}}$	$U_{\text{НН ном}}$	$R_{1\text{T}}$	$X_{1\text{T}}$
	МВА	кВ	кВ	Ом	Ом
T_1	400	330	20	0,9	35,8
T_2	16500	330	10,5	0,1	2,5

Таблица 3. Параметры генераторов тестовой модели энергосистемы

Генераторы	$P_{\text{Г ном}}$	$S_{\text{Г ном}}$	$U_{\text{Г ном}}$	Н	$\cos\phi$	Реактивные сопротивления					$T_{\text{до}}$
						X_d	X_d'	X_d''	X_q	X_q''	
	МВт	МВ·А	кВ	МВт*с/ МВ·А		о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	с
Γ_1	300	352,9	20	2,48	0,85	1,8	0,26	0,173	1,74	0,26	5,9
Γ_2	300	352,9	20	2,48	0,85	1,8	0,26	0,173	1,74	0,26	5,9
ШБМ	Энергосистема большой мощности, суммарная генераторная мощность которой составляет 14000 МВт, или шины бесконечной мощности										

В таблицах 1–3 используются следующие обозначения:

L – длина линии электропередачи;

$R_{1\text{Л}}$ – активное сопротивление прямой последовательности линии электропередачи;

$R_{0\text{Л}}$ – активное сопротивление нулевой последовательности линии электропередачи;

$X_{1\text{Л}}$ – индуктивное сопротивление прямой последовательности линии электропередачи;

$X_{0\text{Л}}$ – индуктивное сопротивление нулевой последовательности линии электропередачи;

$b_{\text{Л}}$ – емкостная проводимость линии электропередачи;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора;

$U_{\text{ВН ном}}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора;

$U_{\text{НН ном}}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора;

$R_{1\text{T}}$ – активное сопротивление прямой последовательности трансформатора;

$X_{1\text{T}}$ – индуктивное сопротивление прямой последовательности трансформатора;

$P_{\text{Г ном}}$ – номинальная активная мощность генератора;

$S_{\text{Г ном}}$ – номинальная полная мощность генератора;

$U_{\text{Г ном}}$ – напряжение на шинах генератора;

X_d – продольное синхронное индуктивное сопротивление;

X_d' – продольное переходное индуктивное сопротивление;

X_d'' – продольное сверхпереходное индуктивное сопротивление;

X_q – поперечное синхронное индуктивное сопротивление;

X_q'' – поперечное сверхпереходное индуктивное сопротивление;

T_{do} – постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой статорной обмотке;

H – механическая инерционная постоянная агрегата (генератора и турбины) относительно полной мощности;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

Таблица 4. Параметры настройки АРВ синхронных генераторов тестовой модели энергосистемы

Генератор	Тип системы возбуждения	Тип АРВ	Коэффициенты					$T_{СВ}$	$T_{АРВ}$
			K_U	K_{IU}	K_{IF}	K_F	K_{IF}		
			е.в.н./ е.н.с.	е.в.н./ е.н.с./с	е.в.н./ е.т.р./с	е.в.н./ /Гц	е.в.н./ Гц/с	с	с
Г-1	Тиристорная	АРВ-СД	50	3,6	10	2,6	2,5	0,03	0,04
Г-2	Тиристорная	АРВ-СД	50	3,6	10	2,6	2,5	0,03	0,04

В таблице 4 используются следующие обозначения:

K_U – коэффициент усиления пропорционального канала регулятора напряжения (по отклонению напряжения);

K_{IU} – коэффициент усиления дифференциального канала регулятора напряжения (по производной напряжения);

K_{IF} – коэффициент усиления канала внутренней стабилизации по производной тока ротора;

K_F – коэффициент усиления канала системной стабилизации по частоте напряжения;

K_{IF} – коэффициент усиления канала системной стабилизации по производной частоты напряжения;

$T_{СВ}$ – постоянная времени системы возбуждения;

$T_{АРВ}$ – постоянная времени АРВ;

АРВ-СД – автоматический регулятор возбуждения сильного действия.

3.2. Система контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима

3.2.1. Тестовая модель энергосистемы должна быть оснащена системой контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима и выходных сигналов устройства АОПЧ.

3.2.2. Система контроля параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать возможность измерения и визуализации напряжений во всех узлах тестовой модели энергосистемы, токов и перетоков активной мощности в ветвях тестовой модели энергосистемы.

3.2.3. Система регистрации параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать одновременную синхронизированную по времени регистрацию следующих параметров:

- активная и реактивная мощности генераторов Γ_1 [P_{Γ_1} , Q_{Γ_1}], Γ_2 [P_{Γ_2} , Q_{Γ_2}] и системы [$P_{ШБМ}$, $Q_{ШБМ}$];
- ток в ЛЭП [$I_{ЛЭП}$] и генераторах Γ_1 [I_{Γ_1}], Γ_2 [I_{Γ_2}];
- напряжения фаз А, В, С на шинах 20 кВ электростанции [$U_{ЭС}$] и ШБМ [$U_{ШБМ}$];
- частоту на шинах 20 кВ электростанции [$f_{ЭС}$] и ШБМ [$f_{ШБМ}$].

3.2.4. Система регистрации параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать:

- измерение фиксируемых параметров электроэнергетического режима с дискретностью не менее 1 мс;
- запись фиксируемых параметров электроэнергетического режима в течение не менее 30 с.

3.3. Подготовка ПАК РВ и подключение сертифицируемого устройства АОПЧ

3.3.1. ПАК РВ должен быть подготовлен для проверки работы устройства АОПЧ в соответствии с заданными параметрами срабатывания с регламентируемой точностью и проверки корректности функционирования устройства АОПЧ при:

- снятии или подаче питания;
- возникновении неисправности в цепях оперативного тока;
- неисправностях цепей напряжения;
- неисправностях цепей тока (при их наличии);

- потере цепей напряжения;
- восстановлении работоспособности устройства после перерыва питания;
- аварийных режимах, не приводящих к недопустимому повышению частоты;
- аварийных режимах, приводящих к недопустимому повышению частоты.

3.3.2. ПАК РВ должен обеспечивать возможность одновременного подключения не менее:

- 16 аналоговых каналов по напряжению на выход;
- 4 аналоговых каналов по току на выход;
- 6 дискретных каналов на выход;
- 6 дискретных каналов на вход.

3.3.3. Подключение сертифицируемых устройств АОПЧ к ПАК РВ должно осуществляться в соответствии с документацией завода – изготовителя устройства АОПЧ. Подключение должно обеспечить адекватное функционирование устройств АОПЧ при выполнении всех опытов программы сертификационных испытаний.

4. Проведение сертификационных испытаний

4.1. Сертификационные испытания проводятся в соответствии с программой испытаний, разработанной органом по добровольной сертификации и согласованной АО «СО ЕЭС». Сертификационные испытания устройств АОПЧ проводятся в виде опытов. В ходе опытов устройство АОПЧ должно функционировать в соответствии с заданными параметрами срабатывания с регламентируемой точностью.

4.2. Программа сертификационных испытаний должна включать типовые опыты, выполняемые для подтверждения:

- отсутствия срабатывания устройства при снятии или подаче питания;
- отсутствия срабатывания устройства при возникновении неисправности в цепях оперативного тока (при их наличии);
- отсутствия срабатывания устройства при неисправностях цепей напряжения или потере цепей напряжения;

- отсутствия срабатывания устройства при аварийных режимах, не приводящих к недопустимому повышению частоты;
- восстановления работоспособности устройства с заданными уставками и алгоритмом функционирования после перерыва питания за время менее 30 с с момента подачи питания;
- срабатывания устройства с заданными уставками и точностью при аварийных режимах, приводящих к недопустимому повышению частоты.

4.3. Программа сертификационных испытаний устройств АОПЧ, должна включать типовые опыты, указанные в таблице 5.

Типовые опыты для проведения сертификационных испытаний, указанные в таблице 5, приведены как для устройств АОПЧ с измерительными органами по частоте, так и для устройств АОПЧ с измерительными органами по частоте и по скорости повышения частоты.

4.4. По результатам изучения документации на сертифицируемое устройство АОПЧ, представленной заявителем, программа сертификационных испытаний может быть дополнена органом по добровольной сертификации с учетом индивидуальных особенностей выполнения и функционирования устройства.

4.5. Проверка работы устройств АОПЧ осуществляется путем реализации в тестовой модели энергосистемы возмущений и воспроизведений COMTRADE-файлов.

4.6. Настройка сертифицируемых устройств АОПЧ должна быть выполнена органом по добровольной сертификации в соответствии с параметрами тестовой модели энергосистемы и представленными заявителем параметрами настройки устройств АОПЧ для тестовой модели энергосистемы.

4.7. Все опыты, предусмотренные в программе сертификационных испытаний, должны выполняться при неизменных параметрах настройки сертифицируемых устройств АОПЧ.

При выявлении необходимости корректировки выбранных параметров настройки устройства АОПЧ (отсутствие положительных результатов опытов) заявитель или уполномоченное им лицо вправе осуществить корректировку параметров настройки сертифицируемого устройства АОПЧ. В указанном случае все опыты, предусмотренные программой сертификационных

испытаний, должны быть выполнены повторно с измененными параметрами настройки устройства АОПЧ.

4.8. Регистрация параметров электроэнергетического режима должна проводиться для каждого опыта.

Таблица 5. Типовые опыты для проведения сертификационных испытаний устройств АОПЧ

Цель испытаний	№ опыта	Предаварийный режим	Аварийное возмущение	Характер переходного процесса	Корректное действие АОПЧ
1	2	3	4	5	6
Проверка отсутствия срабатывания при включении и отключении питания	1.1	Нормальный режим	Включение оперативного питания	–	Отсутствие срабатывания
	1.2	Нормальный режим	Отключение оперативного питания	–	Отсутствие срабатывания
Проверка отсутствия срабатывания при возникновении неисправности в цепях оперативного тока	2.1	Нормальный режим	Замыкание клеммы питания «+» на землю	–	Отсутствие срабатывания
	2.2	Нормальный режим	Замыкание клеммы питания «-» на землю	–	Отсутствие срабатывания
Проверка отсутствия срабатывания при неисправностях цепей напряжения	3.1	Нормальный режим	Отключение одной фазы вторичных цепей трансформатора напряжения	–	Отсутствие срабатывания
	3.2	Нормальный режим	Отключение двух фаз вторичных цепей ТН1	–	Отсутствие срабатывания
	3.3	Нормальный режим	Отключение трех фаз вторичных цепей от обмоток ТН1, соединенных «звездой»	–	Отсутствие срабатывания
	3.4	Нормальный режим	Отключение трех фаз вторичных цепей от обмоток ТН1, соединенных «треугольником»	–	Отсутствие срабатывания
	3.5	Нормальный режим	Замыкание фазы вторичной цепи от ТН1 на корпус (землю)	–	Отсутствие срабатывания
	3.6	Нормальный режим	Замыкание двух фаз вторичной цепи от ТН1 на корпус (землю)	–	Отсутствие срабатывания

Цель испытаний	№ опыта	Предаварийный режим	Аварийное возмущение	Характер переходного процесса	Корректное действие АОПЧ
1	2	3	4	5	6
	3.7	Нормальный режим	Смена фаз А и В вторичной цепи от ТН1	–	Отсутствие срабатывания
	3.8	Нормальный режим	Отключение нулевого вывода обмоток ТН1, соединенных «звездой»	–	Отсутствие срабатывания
Проверка отсутствия срабатывания при перезагрузке	4	Нормальный режим	Перезагрузка устройства (с помощью кнопки на устройстве, тумблера и т.д.)	–	Отсутствие срабатывания
Проверка восстановления работоспособности с заданными уставками и алгоритмом функционирования после перерыва питания	5	Нормальный режим	Отключение оперативного питания и после выдержки времени, равной 60 с, в течение которой происходит повышение частоты в энергосистеме до уставок срабатывания 1-й и 2-й ступеней АОПЧ, включение питания	–	Отсутствие срабатывания. Готовность устройства к работе за время не более 30 с
Проверка отсутствия срабатывания при допустимых нагрузочных режимах	6.1	Нормальный режим	Нормальный режим	–	Отсутствие срабатывания
	6.2	Нормальный режим	Отключение выключателя В5 (отключение нагрузки Н ₂)	–	Отсутствие срабатывания
	6.3	Нормальный режим	Отключение выключателя В6 (отключение нагрузки Н ₁)	–	Отсутствие срабатывания
Проверка отсутствия срабатывания устройства при аварийных режимах, не приводящих к недопустимому повышению частоты	7.1	Увеличение нагрузки Н ₁	Отключение выключателя В6 (отключение нагрузки Н ₁)	Затухающие синхронные качания с увеличением частоты до 50,5 Гц	Отсутствие срабатывания
	7.2	Нормальный режим	3-ф КЗ на нагрузке Н ₂ вблизи выключателя В5 с успешным АПВ	Затухающие синхронные качания	Отсутствие срабатывания

Цель испытаний	№ опыта	Предаварийный режим	Аварийное возмущение	Характер переходного процесса	Корректное действие АОПЧ
1	2	3	4	5	6
				с увеличением частоты до 50,5 Гц	
	7.3	Нормальный режим	1-ф КЗ на нагрузке Н ₂ вблизи выключателя В5 с успешным однофазным АПВ	Затухающие синхронные качания с увеличением частоты до 50,5 Гц	Отсутствие срабатывания
	7.4	Нормальный режим	3-ф КЗ рядом с шинами 330 кВ Т ₁	Затухающие синхронные качания с увеличением частоты до 50,5 Гц	Отсутствие срабатывания
	7.5	Нормальный режим	2-ф КЗ на землю рядом с шинами 330 кВ Т ₁	Затухающие синхронные качания с увеличением частоты до 50,5 Гц	Отсутствие срабатывания
	7.6	Нормальный режим	1-ф КЗ рядом с шинами 330 кВ Т ₁	Затухающие синхронные качания с увеличением частоты до 50,5 Гц	Отсутствие срабатывания
	7.7	Нормальный режим	Отключение выключателя В3 и последующее несинхронное включение	Затухающие синхронные качания с увеличением частоты до 50,5 Гц	Отсутствие срабатывания
Проверка срабатывания при аварийных режимах, приводящих к избытку активной мощности и недопустимому повышению частоты	8.1	Нормальный режим	Отключение выключателя В4	Повышение частоты до уставок срабатывания 1-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.2	Уменьшение нагрузки Н1 и Н2	Отключение выключателя В4	Повышение частоты до уставок срабатывания 1-й	Срабатывание устройства

Цель испытаний	№ опыта	Предаварийный режим	Аварийное возмущение	Характер переходного процесса	Корректное действие АОПЧ
1	2	3	4	5	6
				ступени устройства АОПЧ	
	8.3	Нормальный режим	Отключение выключателя ВЗ	Повышение частоты до уставок срабатывания 2-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.4	Нормальный режим	3-ф КЗ на нагрузке Н ₂ вблизи выключателя В5 с неуспешным АПВ	Повышение частоты до уставок срабатывания 1-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.5	Нормальный режим	1-ф КЗ на нагрузке Н ₂ вблизи выключателя В5 с неуспешным однофазное АПВ	Повышение частоты до уставок срабатывания 1-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.6	Нормальный режим	3-ф КЗ на ЛЭП рядом с выключателем ВЗ с неуспешным АПВ	Повышение частоты до уставок срабатывания 2-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.7	Нормальный режим	2-ф КЗ на землю на ЛЭП рядом с выключателем ВЗ с неуспешным АПВ	Повышение частоты до уставок срабатывания 2-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.8	Нормальный режим	1-ф КЗ на ЛЭП рядом с выключателем ВЗ с	Повышение частоты до уставок срабатывания 2-й	Срабатывание устройства

Цель испытаний	№ опыта	Предаварийный режим	Аварийное возмущение	Характер переходного процесса	Корректное действие АОПЧ
1	2	3	4	5	6
			неуспешным однофазное АПВ	ступени устройства АОПЧ	
	8.9	Нормальный режим	Отключение выключателя ВЗ с одновременным отключением одного из ТН АОПЧ (работа от одного ТН)	Повышение частоты до уставок срабатывания 2-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.10	Нормальный режим	1-ф КЗ на ЛЭП рядом с выключателем ВЗ с неуспешным однофазным АПВ, при отключении одного из ТН АОПЧ (работа от одного ТН)	Повышение частоты до уставок срабатывания 2-й ступени устройства АОПЧ	Срабатывание устройства
	8.11	COMTRADE-файл	COMTRADE-файл. Отделение электростанции с небалансом 134 МВт и работой устройства АОПЧ	Повышение частоты до 52 Гц	Срабатывание устройства
	8.12	COMTRADE-файл	COMTRADE-файл. Отделение электростанции с небалансом 240 МВт и работой устройства АОПЧ	Повышение частоты до 52,5 Гц	Срабатывание устройства
	8.13	COMTRADE-файл	COMTRADE-файл. Отделение электростанции с небалансом 345 МВт и работой устройства АОПЧ	Повышение частоты до 53 Гц	Срабатывание устройства
	8.14	COMTRADE-файл	COMTRADE-файл. Отделение электростанции с небалансом 500 МВт и работой устройства АОПЧ	Повышение частоты до 54 Гц	Срабатывание устройства

5. Анализ результатов сертификационных испытаний

5.1. При проведении сертификационных устройств АОПЧ с измерительными органами по частоте корректность функционирования устройства АОПЧ проверяется путем анализа срабатывания / несрабатывания ступеней с уставками по частоте.

При проведении сертификационных устройств АОПЧ с измерительными органами по частоте и по скорости повышения частоты корректность функционирования устройства АОПЧ проверяется путем анализа срабатывания / несрабатывания ступеней с уставками по частоте и с уставками по скорости повышения частоты.

5.2. Результаты сертификационных испытаний считаются положительными, а устройство АОПЧ – прошедшим сертификационные испытания при одновременном выполнении следующих условий:

5.2.2. Отсутствие срабатывания устройства АОПЧ при неисправностях цепей напряжения и потере напряжения, а также при включении / отключении оперативного питания, перезагрузке устройства и неисправностях в цепях оперативного тока.

5.2.3. Восстановление работоспособности устройства АОПЧ с заданными уставками и алгоритмом функционирования после перерыва питания за время менее 30 с с момента подачи питания.

5.2.4. Отсутствие срабатывания устройства АОПЧ в допустимых нагрузочных или устойчивых переходных режимах без повышения частоты.

5.2.5. Отсутствие срабатывания устройства АОПЧ при аварийных режимах, не приводящих к недопустимому повышению частоты.

5.2.6. Срабатывание всех ступеней устройства АОПЧ с заданными уставками и точностью согласно требованиям раздела 5 Стандарта при аварийных режимах, приводящих к недопустимому повышению частоты.

5.2.7. Правильная работа устройства АОПЧ в каждом из опытов в соответствии с заданными уставками и точностью.

5.2.8. Устройство АОПЧ считается не прошедшим сертификационные испытания, если хотя бы в одном из опытов оно работало неправильно.