

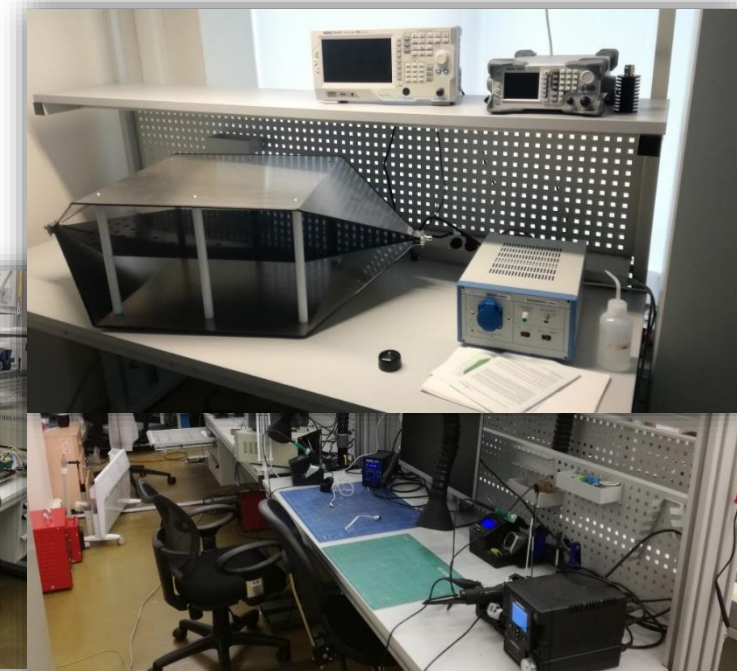
**Илья
Веретенников**

**Центр
энергетических
технологий,
Сколтех**

**Моделирование на
машинах реального
времени, как
инструмент решения
задач подключения
устройств силовой
электроники в сеть**

Лаборатория симуляций реального времени

Лаборатория Силовой
электроники



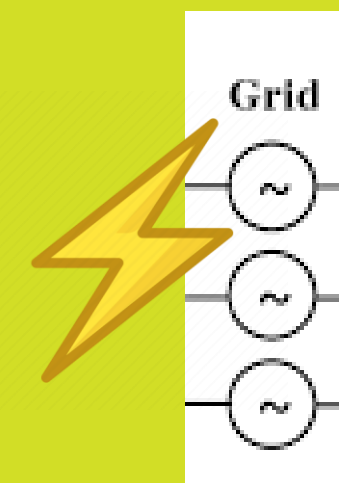
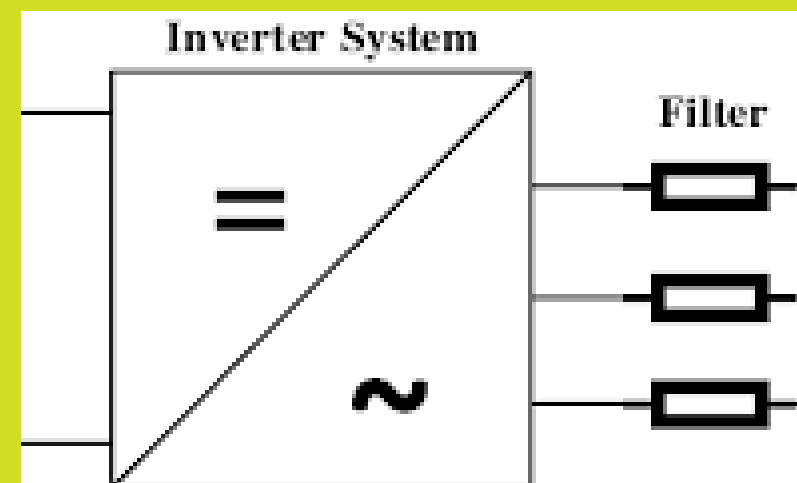
Лаборатория микроэнергосистем



Подключение к сети

Критическая точка: подключение к энергосети!

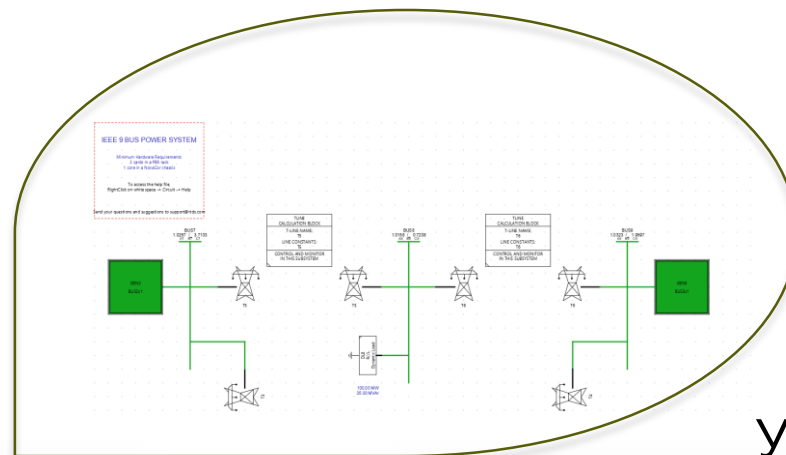
При подключении каждый параметр должен совпадать, чтобы избежать перегрузок по току и напряжению, которые могут легко вывести из строя инвертор.



О подходе Power Hardware-in-the-Loop (PHIL)

PHIL представляет собой метод тестирования, где реальное оборудование (например, инвертор) взаимодействует с виртуальной моделью сети в реальном времени.

Симулятор



Усилитель

Тестируемое устройство



Сигнал



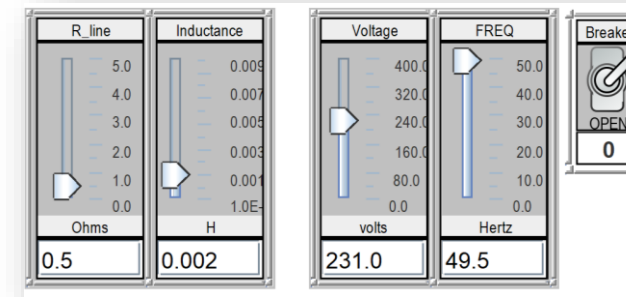
Мощность



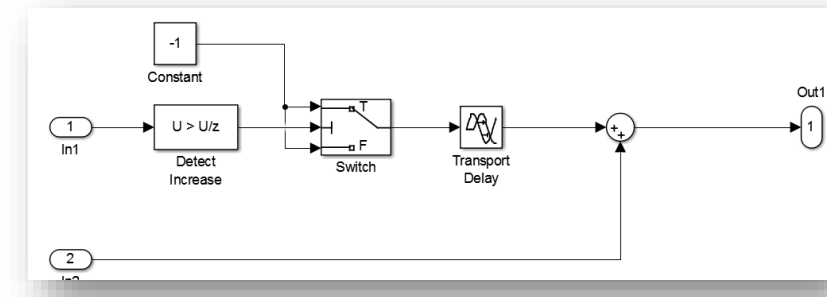
Измерения

Моделируемые сетевые события

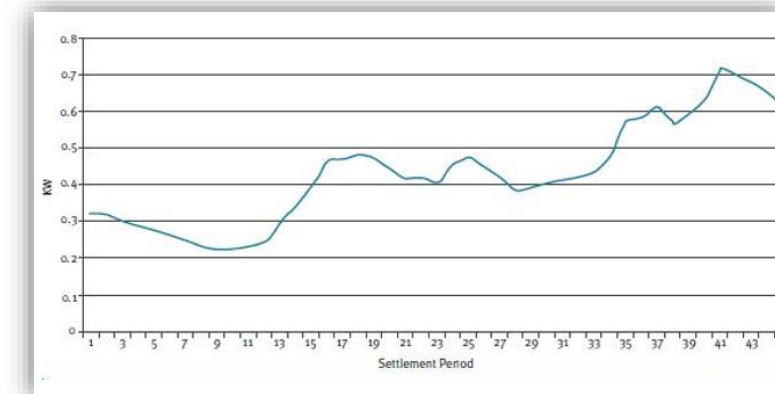
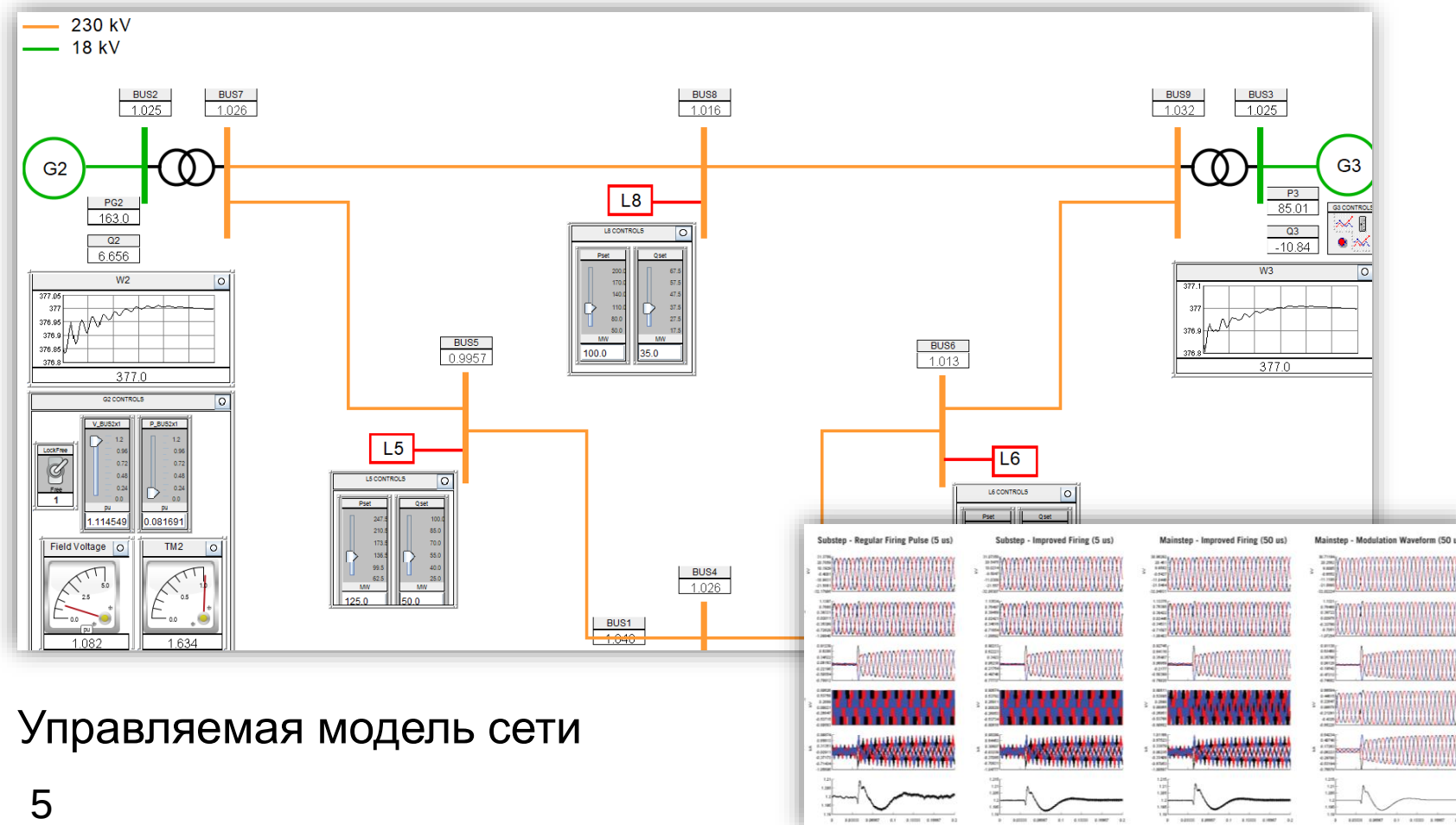
- Изменения R, L параметров сети
- Короткое замыкание в сети
- Отключение сети
- Изменение напряжения
- Нестабильность частоты
- Помехи в сети
- Коммутация оборудования



Вручную в реальном времени



По скрипту



По профилю

Тестирование Устройств Силовой Электроники

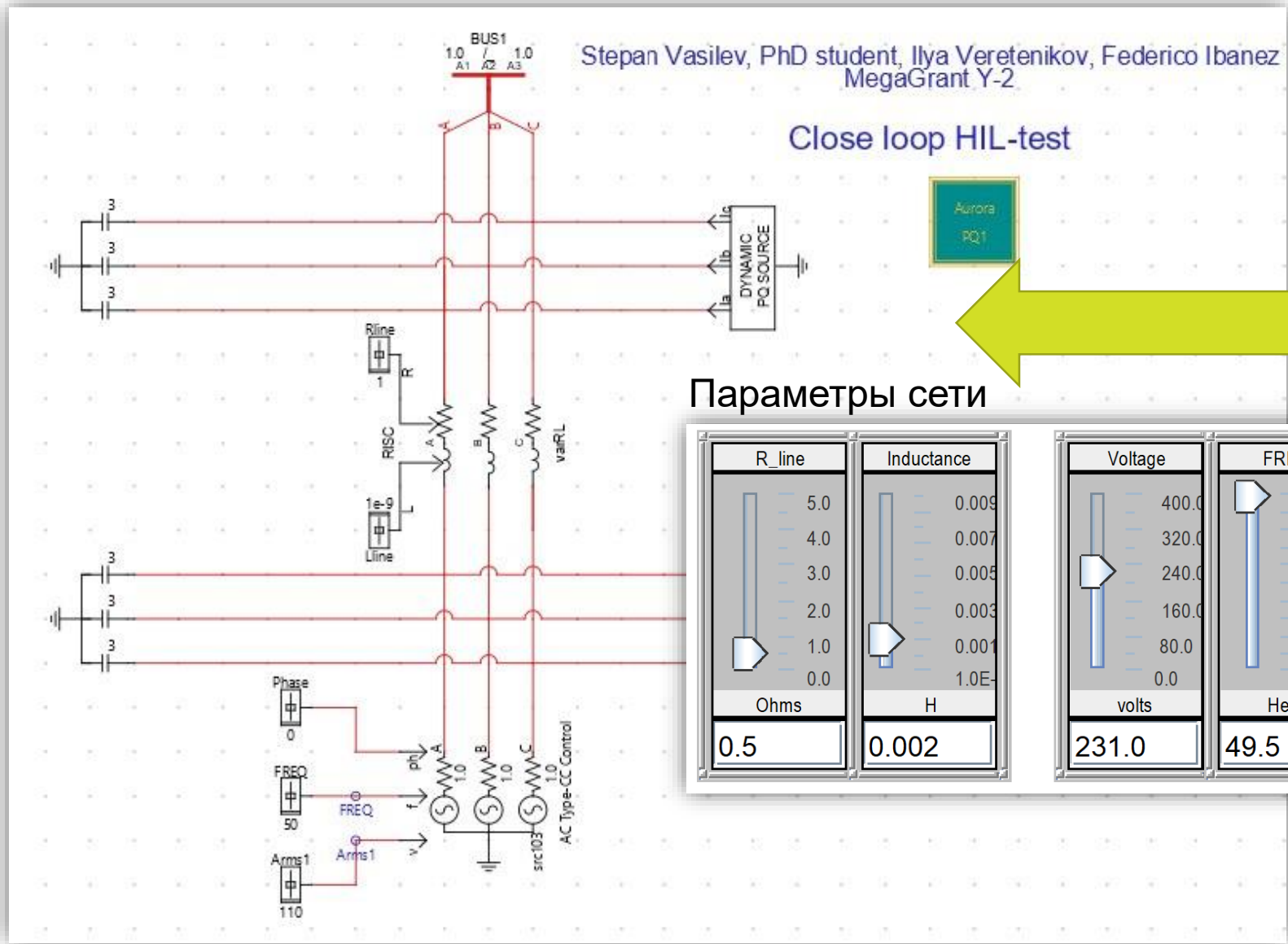
Инверторы, ИБП, выпрямители, счётчики, системы с накопителями

- Реакция на внештатные ситуации
- Критические условия работы
- Соответствие стандартам
- Стабильность работы
- Влияние сети на устройства
- Влияние устройства на сеть



Пример: тестирование двунаправленного инвертора

Работоспособность при различных значениях эквивалентного импеданса сети



Параметры инвертора

INVERTER3

curr_D 1.00 mode slave start stop plot

curr_Q 0.00

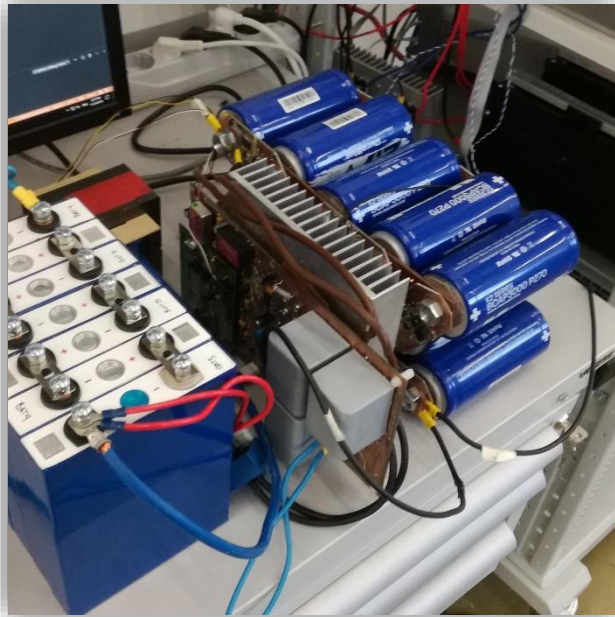
INVERTER3

volt_D	neutr_deviat_fact	ph_curr_trhold	curr_z.Kp	Mast_sin_ampl_w
163.0000	0.0020	17.0000	1.0000	1.0000
volt_Q	N_max_deviat_fact	full_curr_trhold	curr_z.Ki	lpf_pwr_d
0.0000	0.1500	22.0000	0.0010	100.0000
PMR_Kps	acquire_step	VDC_trhold	volt_d.Kp	lpf_pwr_q
0.0840	10.0000	180.0000	0.0200	100.0000
PMR_Kr_1s	acq_data_%_before_evt	ph_volt_trhold_fact	volt_d.Ki	acquire_event
20.0000	30.0000	0.7500	0.0010	TRIG_OFF
curr_limit	pll_phase_shift	curr_d.Kp	volt_q.Kp	
7.0000	4.5000	5.0000	0.0200	
boost_V_ref	delt_theta_deg	curr_d.Ki	volt_q.Ki	
150.0000	25.0000	0.0050	0.0010	
boost_V_tolr_fact	virtual_r	curr_q.Kp	Mast_sin_ampl_u	
0.3500	10.0000	5.0000	1.0000	
VDC_UVLO_fact	virtual_x	curr_q.Ki	Mast_sin_ampl_v	
0.7000	5.0000	0.0050	1.0000	

awaiting UPDATE CLOSE

Определение максимального количества grid-following инверторов в сети

Другие HIL проекты



Оптимальное использование гибридной системы хранения на основе суперконденсатора и литий-ионного аккумулятора для электромотоциклов.

Электродвигатель вместо сети.



Подключение ванадиевых окислительно-восстановительных аккумуляторов к сети.

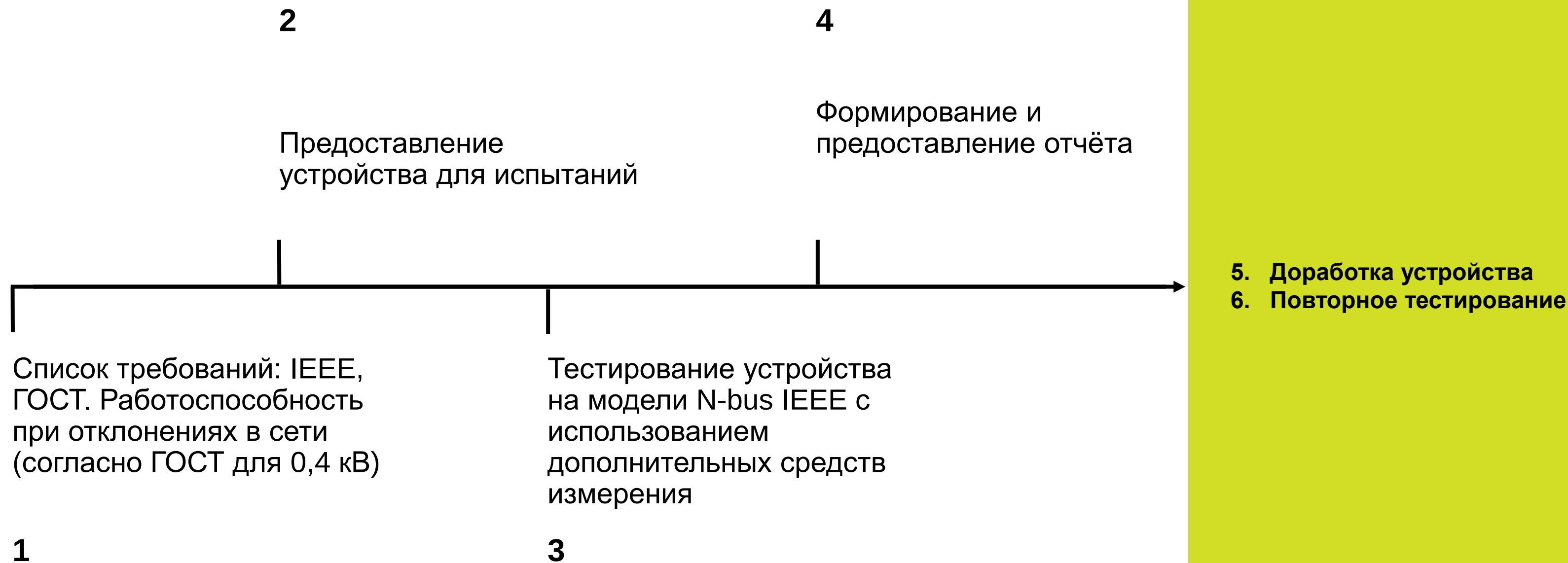


Системы управления перетоком мощности в многопортовом преобразователе с несколькими источниками (Energy Hub).

Сценарий сотрудничества



Сценарий сотрудничества: инвертор



Заключение

- Быстрое тестирование
- Полностью подконтрольная сеть
- Полностью измеряемая сеть
- Любые силовые устройства

Илья Веретенников

Contacts:

Инженер лаборатории,

Центр энергетических
технологий,
Сколтех

I.Veretennikov@skoltech.ru



Настоящая презентация выполнена в
рамках реализации постановления
Правительства РФ № 220 от
09.04.2010 и Соглашения
№ 075-10-2021-067 от 17.06.2021,
заключенного между
Минобрнауки России и Сколтехом
(ИГК 000000S707521QJX0002).

Social media accounts:

Telegram
[@Illusion24](https://t.me/Illusion24)

Skoltech