САФУ
СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Совершенствование принципов блокирования дистанционных защит при качаниях на основе СВИ

Пискунов С.А., аспирант С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова
научный руководитель: Мокеев А.В., д.т.н., профессор

Энергия Арктики 2024
Архангельск, 18-20 декабря 2024 г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

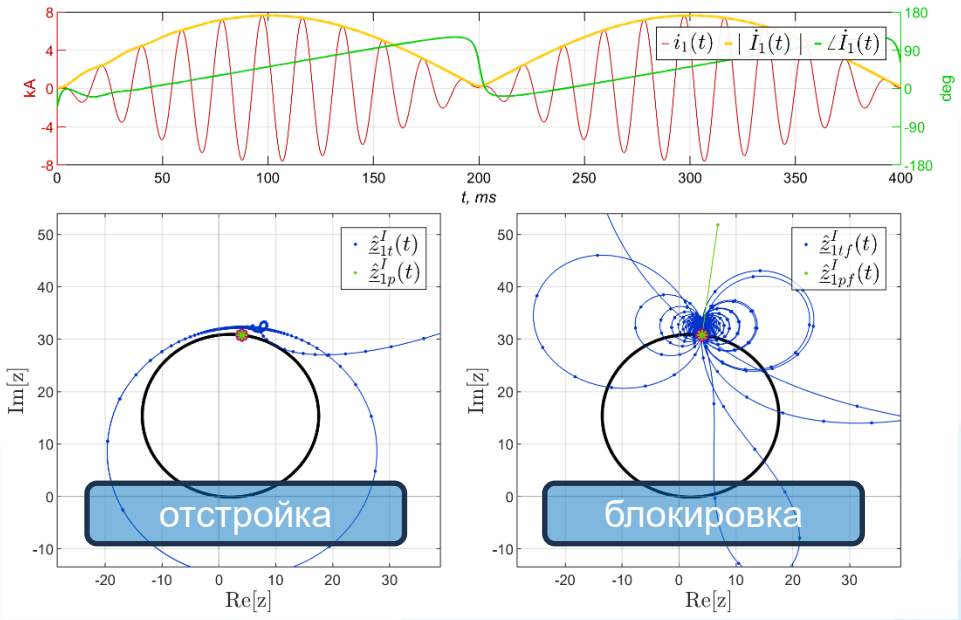
Цель – совершенствование принципов блокирования дистанционных защит (ДЗ) линии при качаниях мощности и асинхронном ходе в энергосистеме (ЭС) на основе применения и развития теории синхронизированных векторных измерений (СВИ).

Задачи исследования:

1. Анализ факторов, оказывающих влияние на дистанционную защиту.
2. Исследование классических механизмов блокирования ДЗ при качаниях мощности в ЭС.
3. Применение алгоритмов дистанционной защиты линии на основе СВИ.
4. Математическое моделирование ДЗ при качаниях.
5. Анализ полученных результатов исследования.
6. Формирование выводов.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДЗ

- переходное сопротивление в месте повреждения
- влияние режима нагрузки
- влияние **режимов качаний и асинхронного хода**
- погрешности ТТ и ТН
- параллельные линии
- статическая и динамическая устойчивость ДО



Ссылки:

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита // М.: Энергоиздат. – 2007. – 549 с.
2. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. – М.: Энергоиздат, 2005. – 322 с.
3. Мокеев А.В., Пискунов С.А. Применение технологии синхронизированных векторных измерений для совершенствования дистанционной защиты // Релейная защита и автоматизация. – 2022, № 3. – С.4-9.
4. Мокеев А.В., Пискунов С.А. Совершенствование дистанционной защиты на основе СВИ в условиях переходных процессов при учете влияния дуги // Релейная защита и автоматизация. – 2022, № 4 – С.22-29.
5. Мокеев А.В., Пискунов С.А. Дистанционная защита на основе одностороннего и двухстороннего измерения синхровекторов // Релейная защита и автоматизация. – № 1 (54). – 2024. – С. 8-15.

КРИТЕРИИ БЛОКИРОВАНИЯ ПРИ КАЧАНИЯХ (УБК)

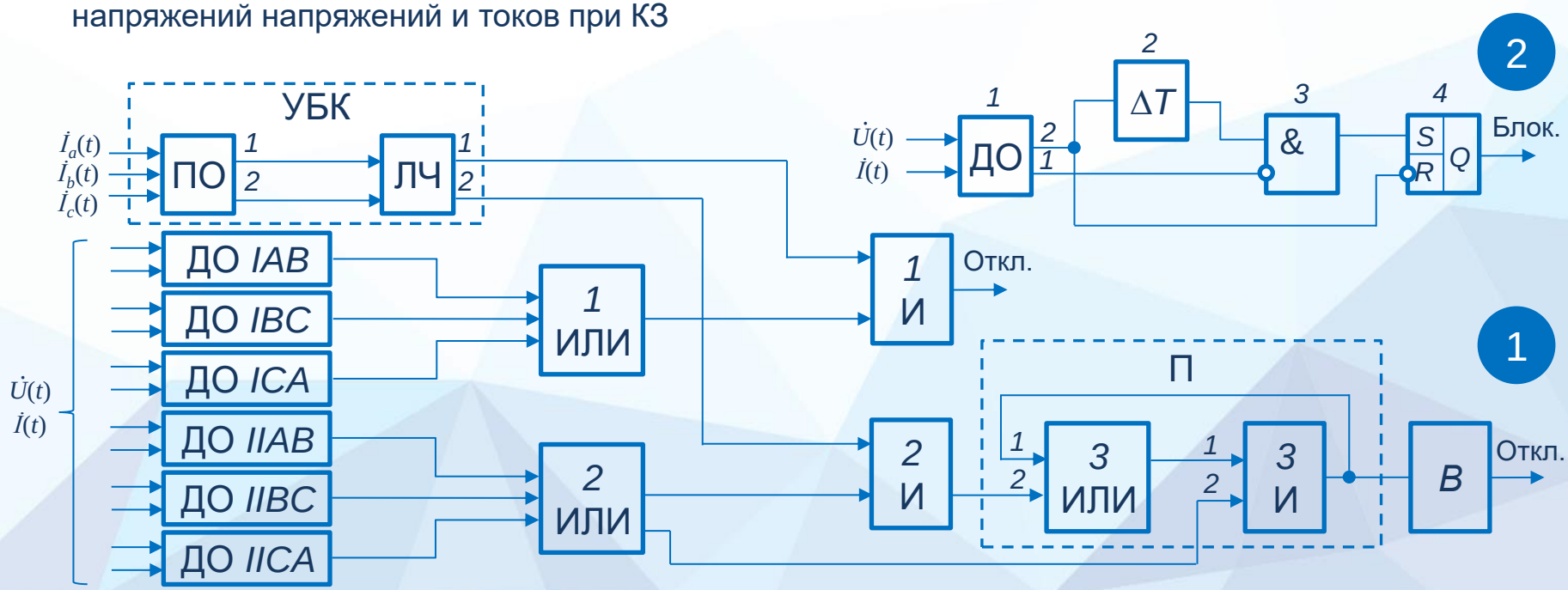
КРИТЕРИЙ БЛОКИРОВАНИЯ

1. СИММЕТРИЧНОСТЬ

- наличие симметрии фазных токов и напряжений при качаниях
- несимметрия фазных токов и напряжений напряжений и токов при КЗ

2. СТАБИЛЬНОСТЬ

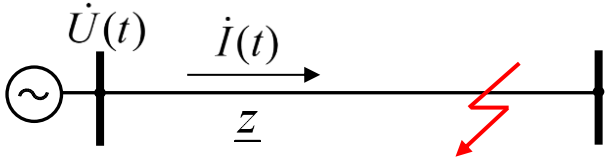
- плавное (медленное) изменение электрических величин при качаниях
- быстрое изменение величин при КЗ



ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА НА ОСНОВЕ СВИ

Математическая модель

линия с односторонним питанием



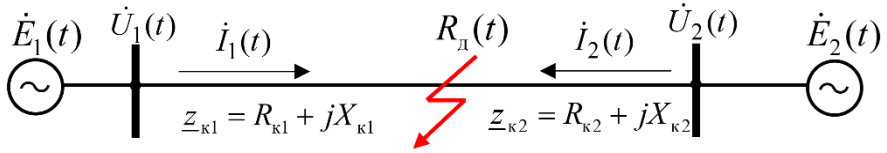
$$u(t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$ - дифференциальное уравнение линии

$$u(t) \to \dot{U}(t)e^{j\omega_0 t}, i(t) \to \dot{I}(t)e^{j\omega_0 t}$$ - подстановка

$$\dot{U}(t) = \underline{z}\dot{I}(t) + L\dot{I}'(t), \dot{I}'(t) = \frac{d\dot{I}(t)}{dt}$$ - дифф. уравнение в синхровекторах ПП

$$\hat{\underline{z}}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}\dot{I}'(t)}, \underline{k} = \frac{L_{уд}}{\underline{z}_{уд}}$$ - оценка сопротивления петли КЗ

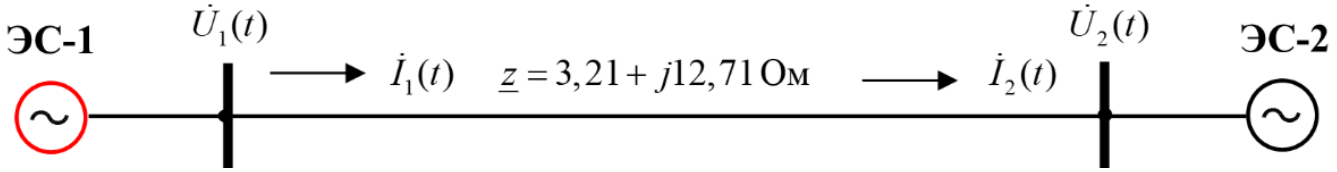
линия с двухсторонним питанием



$$\begin{cases} u_1(t) = R_{к1}i_1(t) + L_{к1}\dfrac{di_1(t)}{dt} + R_д(t)\left(i_1(t) + i_2(t)\right) \\ u_2(t) = R_{к2}i_2(t) + L_{к2}\dfrac{di_2(t)}{dt} + R_д(t)\left(i_1(t) + i_2(t)\right) \end{cases}$$

$$\hat{\underline{z}}_{к1}(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t) + \underline{z}\dot{I}_2(t) + L\dot{I}_2'(t)}{\dot{I}_1(t) + \dot{I}_2(t) + \underline{k}\left(\dot{I}_1'(t) + \dot{I}_2'(t)\right)}$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА КАЧАНИЙ В ЭС



Модель: ЭС-1, ЭС-2, объединенные воздушной линией 220 кВ

Среда моделирования: MATLAB / Simulink

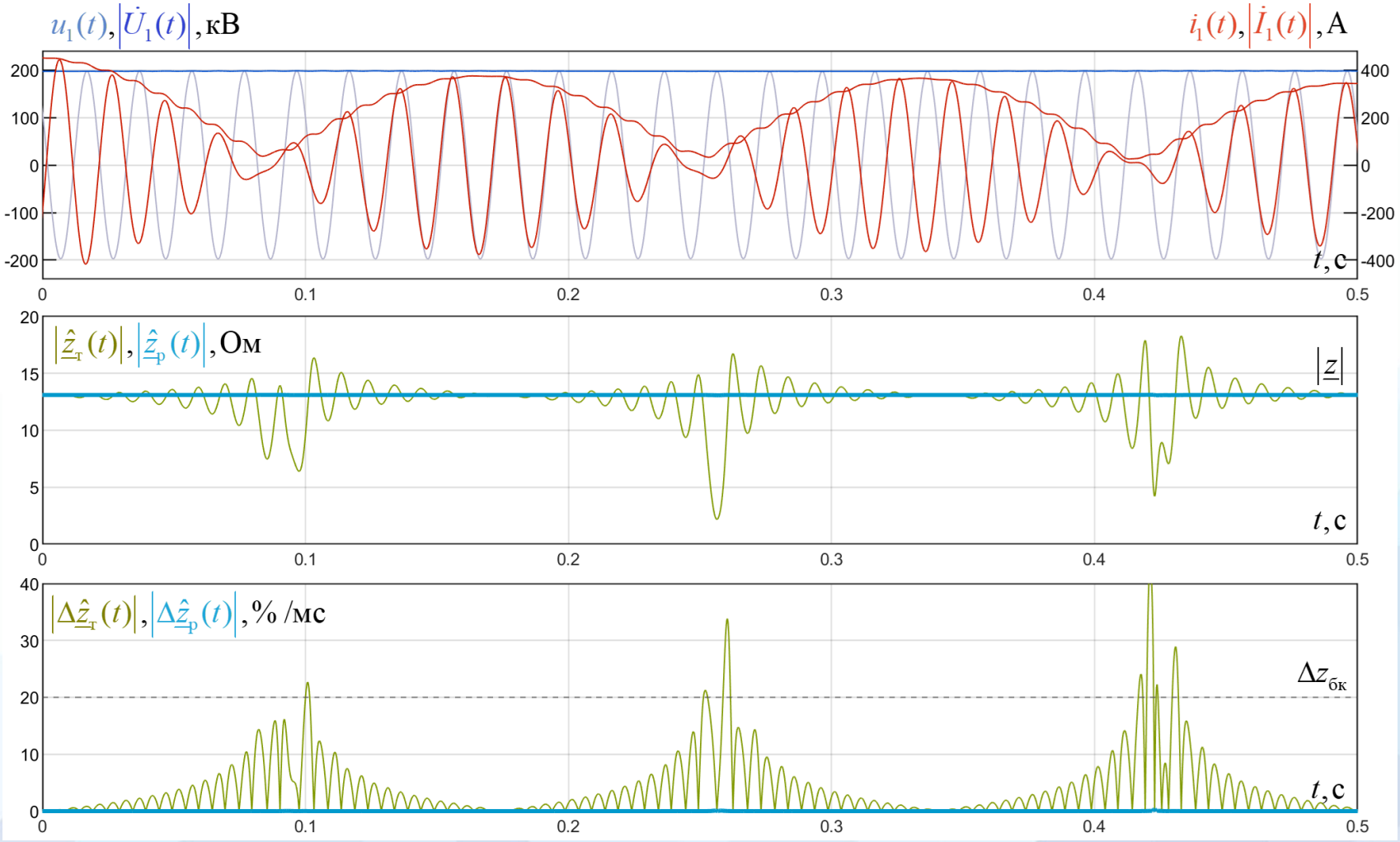
Воздействие: принужденные колебания момента турбины с частотой 3 Гц со стороны ЭС-1

Наблюдаемый результат: качания мощности в линии с частотой 6 Гц

Критерий блокировки защиты: по приращениям сопротивления ΔZ (1-я и 2-я разность, интервал усреднения 1 мс)

Оценка сопротивления петли КЗ: традиционным алгоритмом и разработанным алгоритмом на основе СВИ (алгоритм Фурье)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА КАЧАНИЙ В ЭС



РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Максимальные приращения оценки сопротивления линии

Тип алгоритма	ΔZ		$\Delta^2 Z$	
	Ом/мс	%/мс	Ом/мс^2	%/мс^2
традиционный	4,44	33,9	18,2	138,6
разработанный	0,01	0,08	0,14	1,07

- режим качаний мощности вызывает изменение в оценке сопротивления традиционным алгоритмом ДЗ, что на практике приводит к блокировке защиты на время процесса качаний
- в зависимости от алгоритма работы УБК, защита может оказаться нечувствительной к внутренним повреждениям во время блокирования
- разработанный алгоритм обеспечивает точную оценку сопротивления линии на протяжении всего времени моделирования, что исключает необходимость блокирования ДЗ

ВЫВОДЫ

1. Режимы качаний и асинхронного хода в энергосистеме являются существенными влияющими факторами на ДЗ и требуют ее отстройки/блокировки.
2. Существующие принципы работы УБК имеют определенные недостатки (возможность излишних срабатываний и/или отказа ДЗ, ограничение чувствительности и надежности действия защиты и др.).
3. Точная оценка сопротивления с помощью разработанных алгоритмов ДЗ на основе СВИ существенно снижает требования к блокированию защиты во время качаний, а также позволяет рассматривать дополнительные критерии для распознавания вида повреждения.

Спасибо за внимание!

Пискунов Сергей Александрович
аспирант кафедры «Электроэнергетика и электротехника» С(А)ФУ,
инженер группы комплексного проектирования ДЭТ
ООО ”Инженерный центр ”Энергосервис”,
s.piskunov@ens.ru

Мокеев Алексей Владимирович
профессор Северного (Арктического) федерального университета, д.т.н.,
a.mokeev@narfu.ru
зам. генерального директора ООО ”Инженерный центр ”Энергосервис”,
a.mokeev@ens.ru, http://www.enip2.ru