



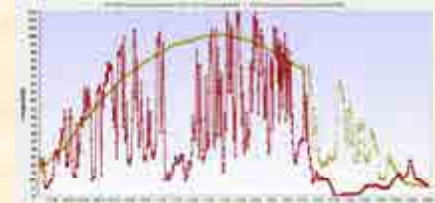
Технические аспекты взаимодействия системного оператора и СЭС для решения проблемы интеграции мощных СЭС в энергосистемы

**Главный инженер DMCC, д-р техн. наук
Павловский Всеволод Витальевич**

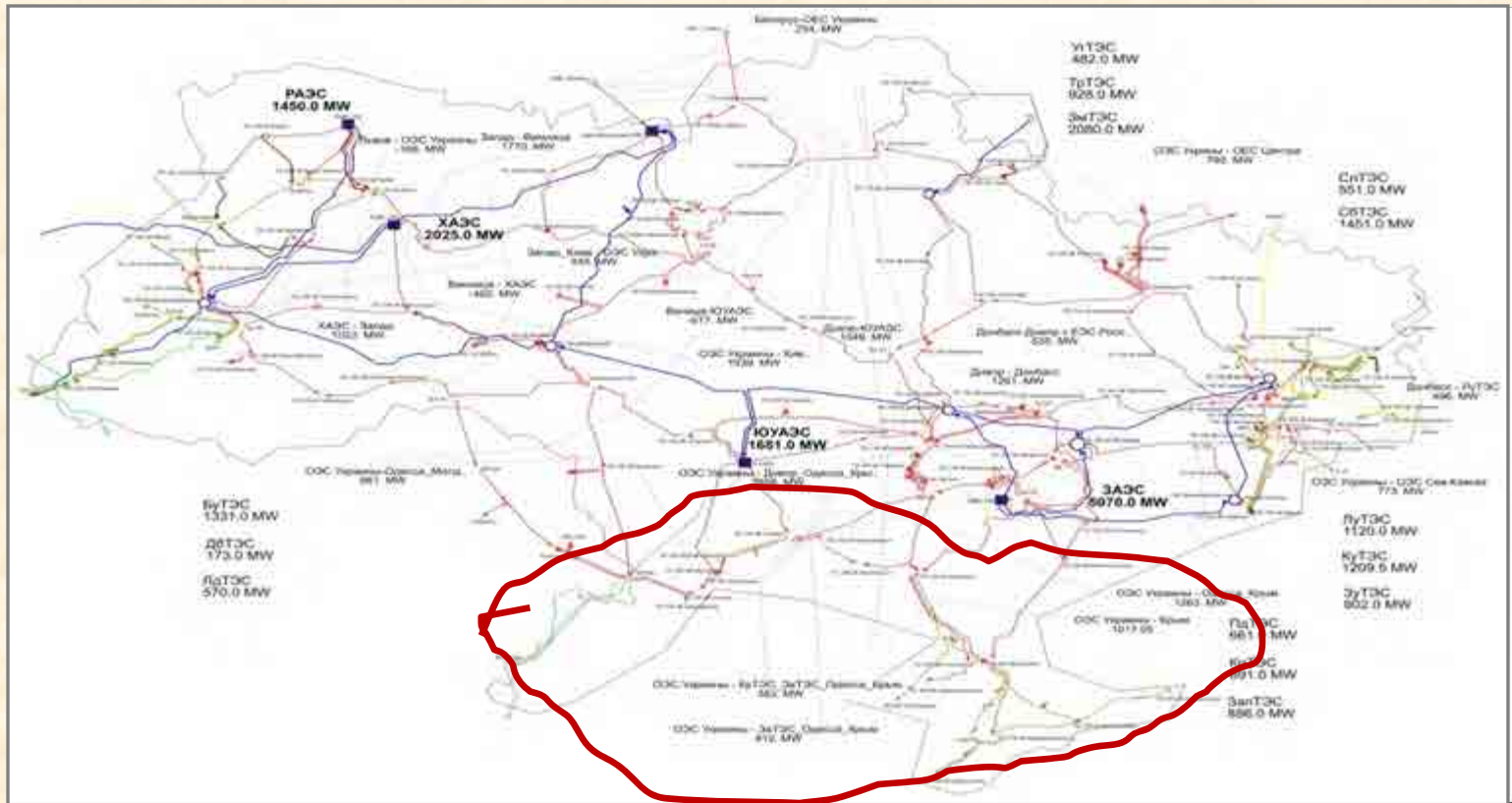
Технические аспекты взаимодействия системного оператора и СЭС для решения проблемы интеграции мощных СЭС в энергосистемы

СОДЕРЖАНИЕ

- *Интеграция мощных СЭС в энергосистемы - актуальная научно-прикладная проблема.*
- *Основные составляющие проблемы интеграции мощных СЭС в ОЭС Украины с точки зрения девелопера СЭС.*
- *Схема взаимодействия Системного Оператора, СЭС и Консультанта.*
- *Практические примеры компании DMCC.*

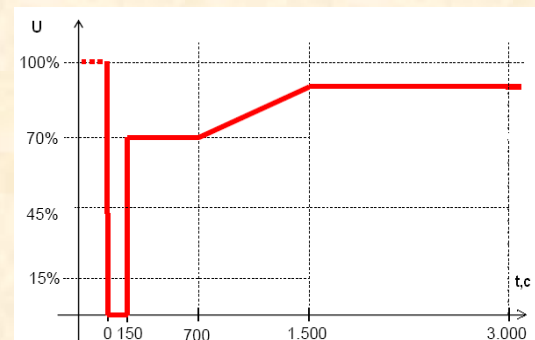
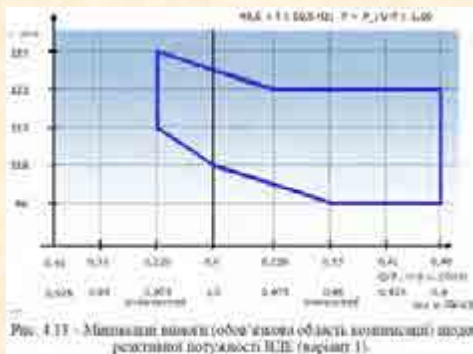


Основные составляющие проблемы интеграции мощных СЭС в ОЭС Украины с точки зрения девелопера СЭС.



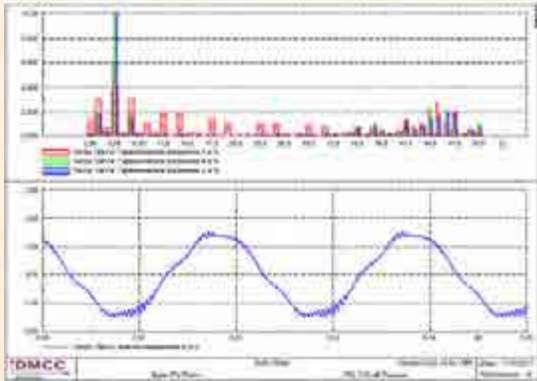
1. В Украине наиболее привлекательные с точки зрения солнечной радиации географические районы для СЭС имеют недостаточно развитые электрические сети, удаленные от мощных ТЭС, АЭС, ГЭС.

Основные составляющие проблемы интеграции мощных СЭС в ОЭС Украины с точки зрения девелопера СЭС.



2. Отсутствие в Украине нормативных документов с четкими техническими условиями подключения СЭС, разграничивающими обязанности и ответственности СО и разработчика СЭС (таких, например, как BDEW в Германии и Connection Code в Великобритании). Это создает иллюзию лёгкого, недорогого и беспроблемного подключения отдельно взятой СЭС, однако увеличивает риски ее надежной эксплуатации в дальнейшем. В Украине требования по ведению и планированию электрических режимов (по напряжению и частоте) намного ниже, чем в ENTSO-E, что усложняет эксплуатацию инверторов европейских производителей.

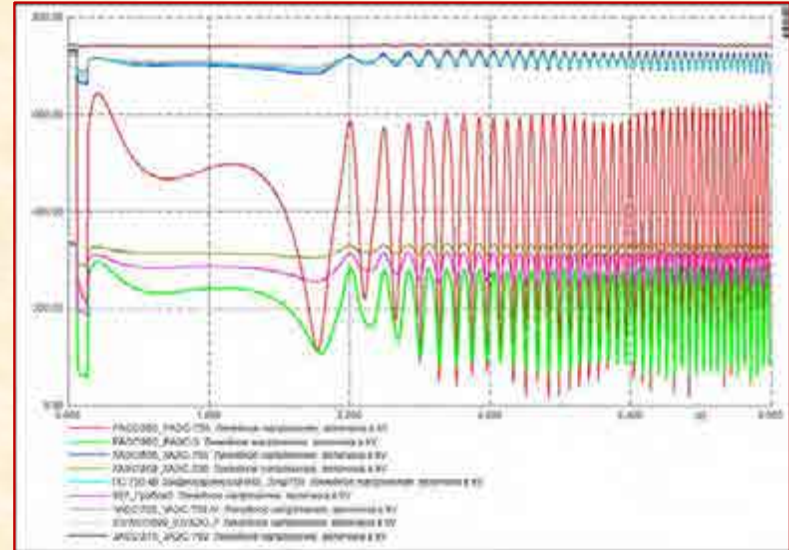
Основные составляющие проблемы интеграции мощных СЭС в ОЭС Украины с точки зрения девелопера СЭС.



3. ***Новизна технологий СЭС вызывает временный дефицит компетенций в этой области, что часто приводит к неоптимальным и даже ошибочным проектным решениям в схемах выдачи мощности. Корень проблемы в том, что часто проектировщики и консультанты не в полной мере учитывают существенные отличия в технологии получения электроэнергии на СЭС от традиционных вращающихся синхронных генераторов на АЭС, ТЭС, ГЭС, и принципиально разное влияние на устойчивость и режимы работы энергосистем. Причем дефицит компетенций характерен не только для Украины.***

Отличия в технологии получения электроэнергии на СЭС от генераторов на АЭС, ТЭС, ГЭС

1. Отсутствие синхронно вращающихся масс на СЭС снижает общую инерцию энергосистемы, что ухудшает динамическую устойчивость синхронной работы генераторов традиционных АЭС, ТЭС, ГЭС.



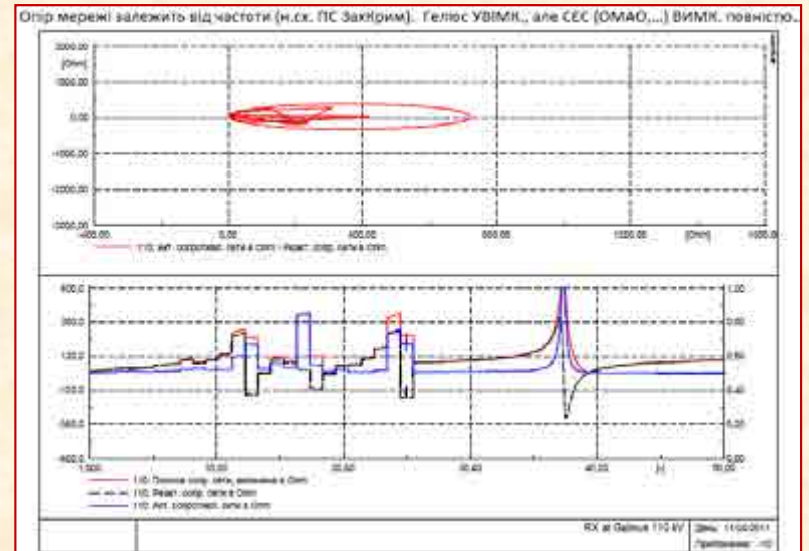
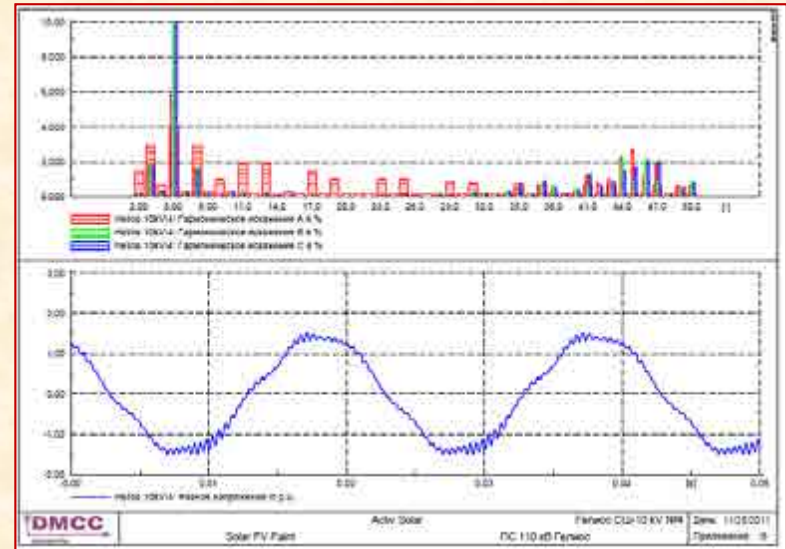
2. Чувствительность инверторов СЭС к уровням напряжений приводит к проблеме выдачи мощности СЭС в ремонтных и ремонтно-аварийных режимах работы сети, когда напряжение в сети 110-154 кВ снижается более чем на 10%.

Комбинация ремонтно-аварийных схем	Напряжение на ПС-110 кВ Зализнянское (СШ 1), о.е.					Напряжение на ПС-110 кВ Рени (СШ 2), о.е.				
	Норм. схема	ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты	ВЛ-330 кВ МГРЭС – Арцыз	ВЛ-110 кВ Болград – Вулканешты (1)	ВЛ-110 кВ Болград – Арцыз	Норм. схема	ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты	ВЛ-330 кВ МГРЭС – Арцыз	ВЛ-110 кВ Болград – Вулканешты (1)	ВЛ-110 кВ Болград – Арцыз
Генерация МГРЭС 775 МВт										
ВЛ-330 кВ МГРЭС – Арцыз	1,049	x	1,049	1,024	1,045	1,047	x	1,047	1,033	1,046
ВЛ-400 кВ Вулканешты – МГРЭС	0,983	0,979	x	0,987	0,955	0,971	0,967	x	0,976	0,941
ВЛ-110 кВ Болград – Коса – Эталон	1,078	0,982	x	1,081	1,080	1,073	0,971	x	1,077	1,075
ВЛ-110 кВ Арцыз – Болград	1,076	0,951	1,045	x	1,076	1,07	0,937	1,046	x	1,07
ВЛ-110 кВ Арцыз – ЧервоныйЯр	1,071	0,946	1,048	x	1,07	1,064	0,931	1,045	x	1,064
ВЛ-110 кВ Болград – Вулканешты (1)	1,081	0,978	1,024	1,081	x	1,077	0,966	1,033	1,077	x
ВЛ-110 кВ Измаил – Эталон	1,076	0,978	1,043	1,081	1,077	1,071	0,966	1,043	1,077	1,072
ВЛ-110 кВ Болград – Зализнян. – Арцыз	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,076	0,937	1,062	1,091	1,078
ВЛ-110 кВ ЧервоныйЯр – Килия	1,071	0,947	1,048	x	1,071	1,065	0,932	1,045	x	1,064
Снижение генерации на МГРЭС до 445 МВт										
ВЛ-330 кВ Аджалык – Усатово	1,034	0,927	0,992	1,038	1,034	1,028	0,915	0,990	1,034	1,028
ВЛ-330 кВ МГРЭС – Арцыз	1,011	x	1,011	x	1,006	1,009	x	1,009	x	1,007
ВЛ-400 кВ Вулканешты – МГРЭС	0,935	0,945	x	0,940	0,904	0,923	0,933	x	0,930	0,890
ВЛ-330 кВ ДлГЭС – Бельцы	1,025	0,914	0,982	1,029	1,024	1,019	0,902	0,981	1,025	1,019
ВЛ-330кВ ДлТЭС – Котовск	1,015	0,906	0,971	1,019	1,015	1,009	0,894	0,970	1,015	1,009
ВЛ-110 кВ Болград – Коса – Эталон	1,051	0,948	x	1,053	1,052	1,046	0,937	x	1,049	1,048
ВЛ-110 кВ Арцыз – Болград	1,050	0,915	1,005	x	1,050	1,044	0,900	1,007	x	1,044
ВЛ-110 кВ Арцыз – ЧервоныйЯр	1,043	0,904	1,007	x	1,042	1,037	0,890	1,005	x	1,035
ВЛ-110 кВ Болград – Вулканешты (1)	1,054	0,944	x	1,054	x	1,050	0,932	x	1,050	x
ВЛ-110 кВ Болград – Вулканешты (2)	1,002	0,950	0,872	0,981	0,997	0,993	0,939	0,862	0,972	0,988
ВЛ-110 кВ Измаил – Килия	1,049	0,933	1,010	1,050	1,049	1,043	0,921	1,009	1,047	1,043
ВЛ-110 кВ Измаил – Эталон	1,050	0,944	1,001	1,054	1,050	1,044	0,932	1,001	1,050	1,045
ВЛ-110 кВ МГРЭС – Старокозачье	1,048	0,939	0,998	1,052	1,048	1,042	0,927	0,998	1,048	1,042
ВЛ-110 кВ Старокозачье – Канал	1,049	0,942	1,003	1,053	1,049	1,043	0,930	1,002	1,049	1,043
ВЛ-110 кВ Болград – Зализнян. – Арцыз	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,052	0,902	1,024	1,065	1,053
ВЛ-110 кВ ЧервоныйЯр – Килия	1,044	0,906	1,008	x	1,042	1,037	0,891	1,006	x	1,036

Отличия в технологии получения электроэнергии на СЭС от генераторов на АЭС, ТЭС, ГЭС

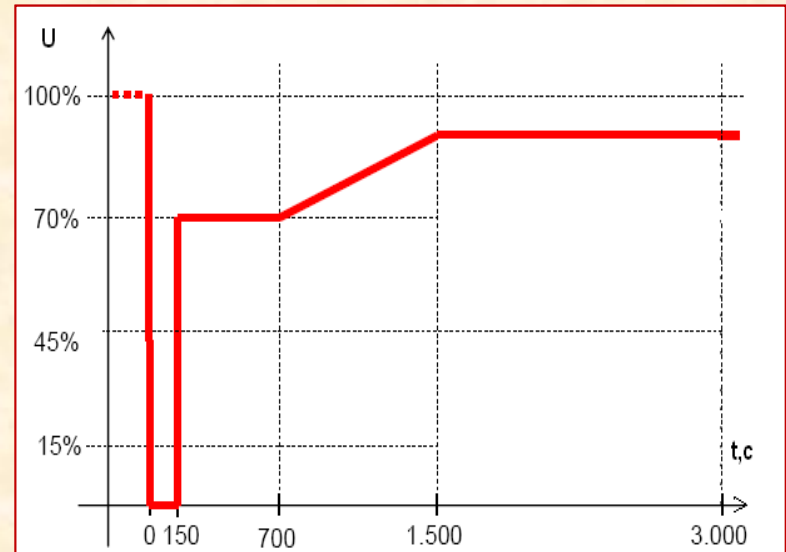
3. Негативное влияние СЭС на качество электроэнергии, что особенно проявляется в слабых сетях, электрически удаленных от генерации. Инверторы СЭС являются источником гармонических искажений формы напряжения в широком спектре частот.

4. Возможность возникновения параметрических резонансов, что может привести к усилению проявления паразитных гармоник и, как следствие, к повреждению оборудования и невозможности дальнейшей параллельной работы.

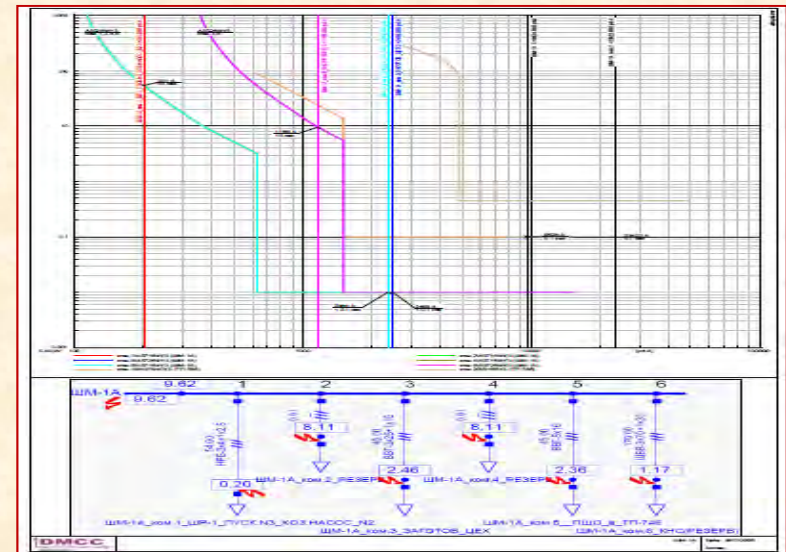


Отличия в технологии получения электроэнергии на СЭС от генераторов на АЭС, ТЭС, ГЭС

5. Чувствительность инверторов СЭС к краткосрочным провалам напряжений при КЗ в сети при недостаточном быстродействии РЗ может приводить к отключению СЭС с возникновением дефицита мощности и развитию аварии. (LVRT)

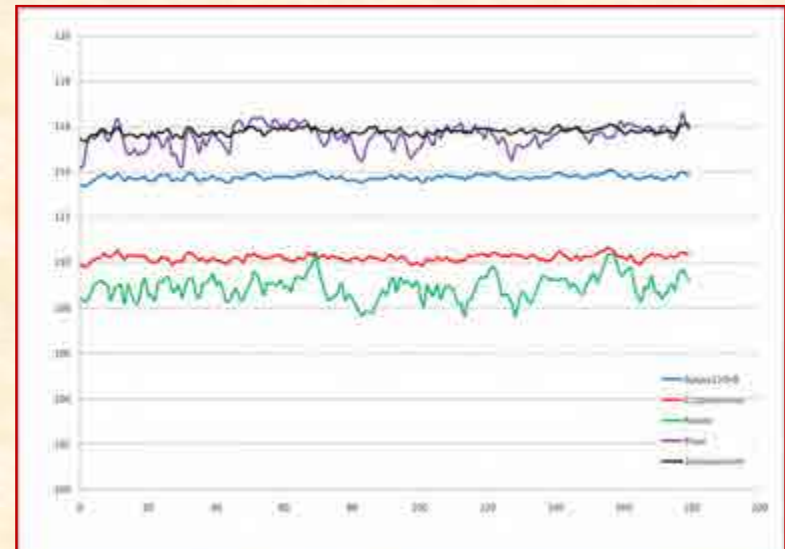
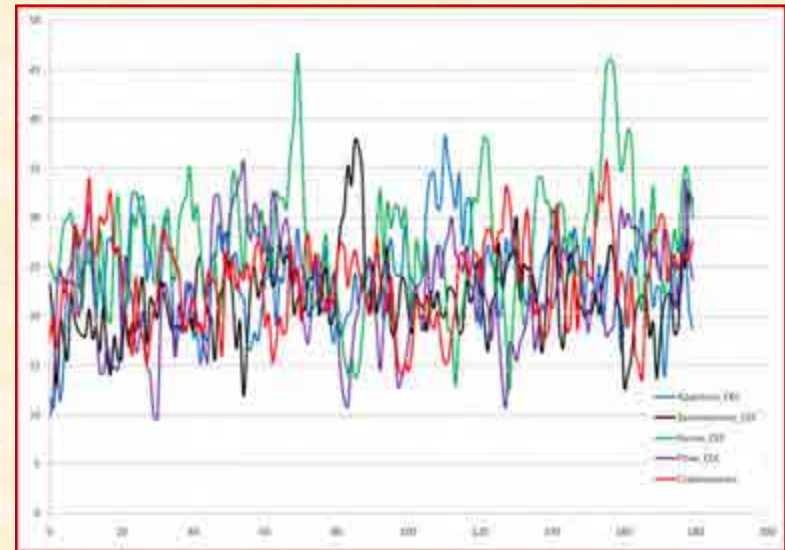
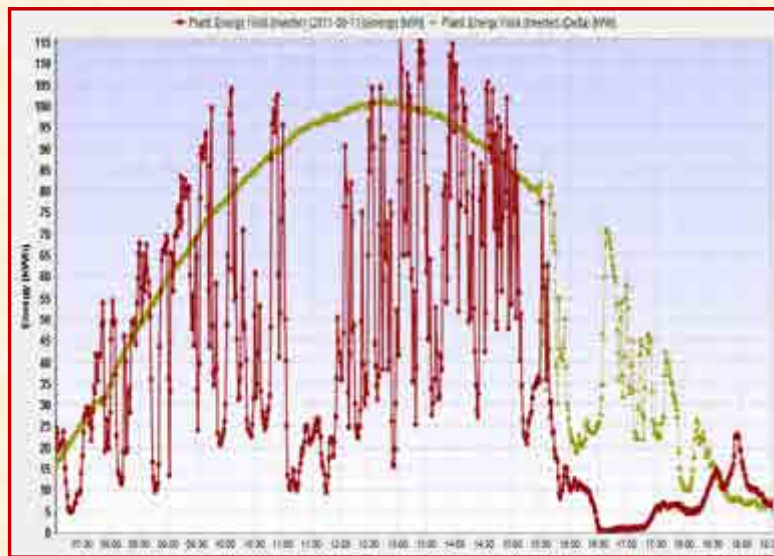


6. Отсутствие «подпитки» места КЗ снижает чувствительность РЗ, что может приводить к повреждению оборудования вследствие неотключения КЗ.



Отличия в технологии получения электроэнергии на СЭС от генераторов на АЭС, ТЭС, ГЭС

7. Флуктуации генерируемой активной мощности СЭС при прохождении туч вызывают колебания напряжений в сети 110 кВ и проблему фликера.



Ілюстрація режиму проходження хмар над СЕС



Схема взаимодействия Системного Оператора, СЭС и Консультанта

1. Расчеты свидетельствующие, что СЭС удовлетворяет требованиям СО.
(сертификат СЭС).
2. Модель СЭС в ПО DlgSILENT PowerFactory.

1. Техн. требования к СЭС для подключения.
2. Эквивалент и/или перспективные режимы ОЭС Украины.

- ПО DlgSILENT Power Factory (Германия)
- Верифицированная модель ОЭС Украины.
- Сертифицированные инженеры.
- Консалтинговая поддержка лучших экспертов.



Производитель инверторов



Модель инверторов (SMA, AEG,...) в ПО PowerFactory (FGW)

Проект СЭС (схема, тип инвертора, КЛ, трансформаторы и т.п.).

Практические примеры компании DMCC



планирование, анализ и оптимизация электрических систем и сетей • [english version](#)

- [ГЛАВНАЯ](#)
- [УСЛУГИ](#)
- [ПО POWER FACTORY](#)
- [DIGSILENT CONSULTANCY](#)
- [ПРОЕКТЫ](#)
- [ВАКАНСИИ](#)
- [ПУБЛИКАЦИИ](#)
- [ПАРТНЕРЫ](#)
- [ИСТОРИЯ](#)

ISO 9001:2000 certified

- [КОМПАНИЯ](#)

DMCC это научно-техническая инжиниринговая и консалтинговая компания, образованная профессиональными инженерами и научными сотрудниками, имеющими отечественный и международный опыт работы в сфере электроэнергетики.

В Украине свою деятельность компания направила на оказание инжиниринговых услуг в области моделирования, концептуального проектирования, проектирования, расчетов и анализа сложных энергетических систем, аудита потерь электроэнергии.

DMCC использует самые современные компьютерные инструменты моделирования, разработанные мировыми лидерами в области электроэнергетического консалтинга и компьютерного анализа электрических систем. Наша компания являемся официальным представителем в Украине ведущей международной консалтинговой электроэнергетической фирмы [DigSILENT GmbH](#).

DMCC также активно сотрудничает с университетами и

- [НОВОСТИ, СОБЫТИЯ, АНОНСЫ](#)



Компания DigSILENT успешно ввела в эксплуатацию собственную солнечную электростанцию на PV-модулях. Солнечная электростанция состоит из 12 систем слежения с управлением по двум осям. Солнечная электростанция компании DigSILENT использует инверторы SMA и SMA Sunny Web Box Интернет-интерфейс.

[DigSILENT выпустил на рынок новое ПО для верификации тестирования](#)

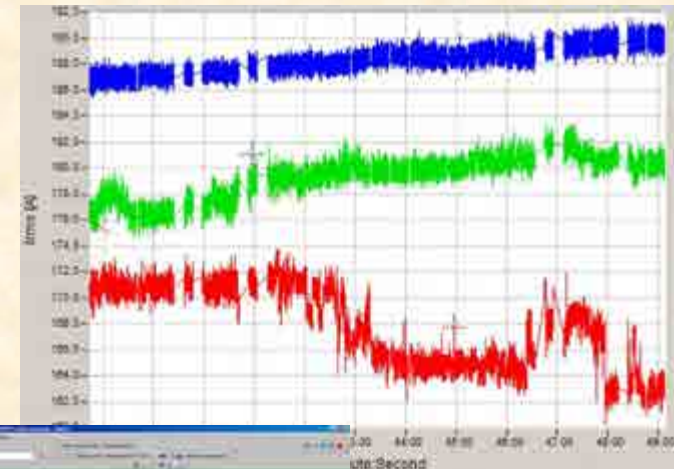
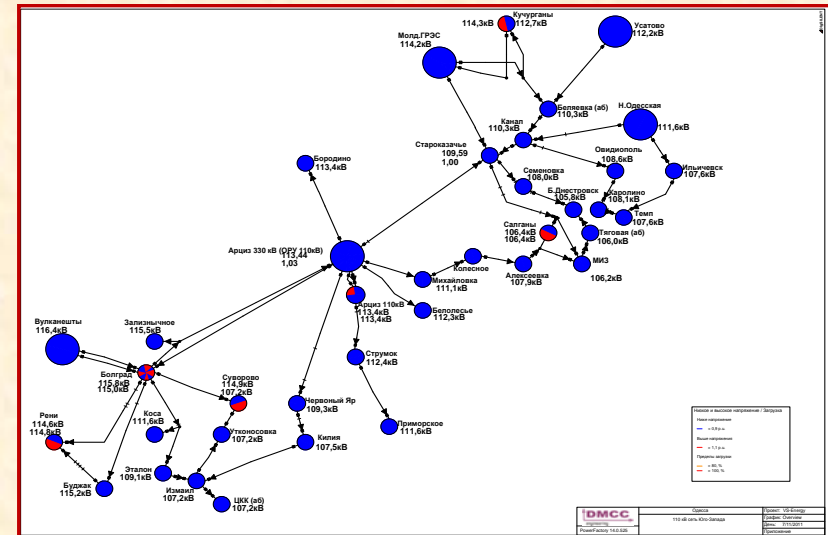
- [ВХОД ДЛЯ КЛИЕНТОВ](#)

Login:

Практические примеры компании DMCC

Выполнено:

- **Разработка мероприятий, направленных на обеспечение надежной выдачи мощности 5 планируемых СЭС в сети 110 кВ Юго-Западной части Одесской с точки зрения поддержания уровня напряжений.**
- **Исследования проблемы искажений напряжений и резонансных частот в сетях АР Крым с мощными СЭС и формирование рекомендаций по подавлению высших гармоник при планировании новых подключений СЭС.**
- **Разработка функциональных блоков АСУ ТП ПС 110 кВ выдачи мощности СЭС («Таврия»). Совместно с ИЭД НАНУ.**



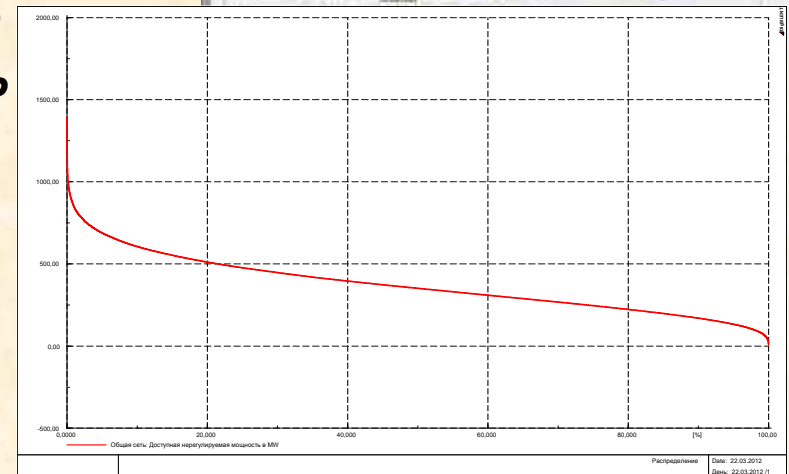
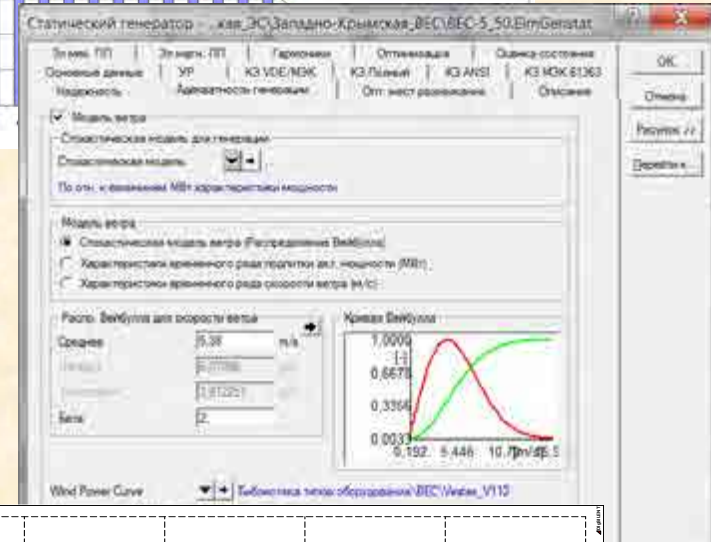
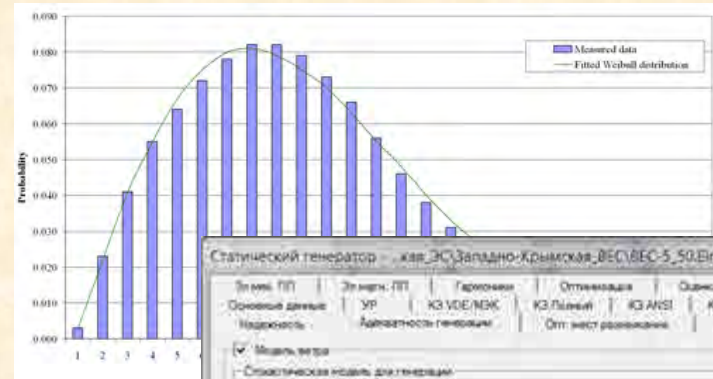
Практические примеры компании DMCC

В процессе выполнения...

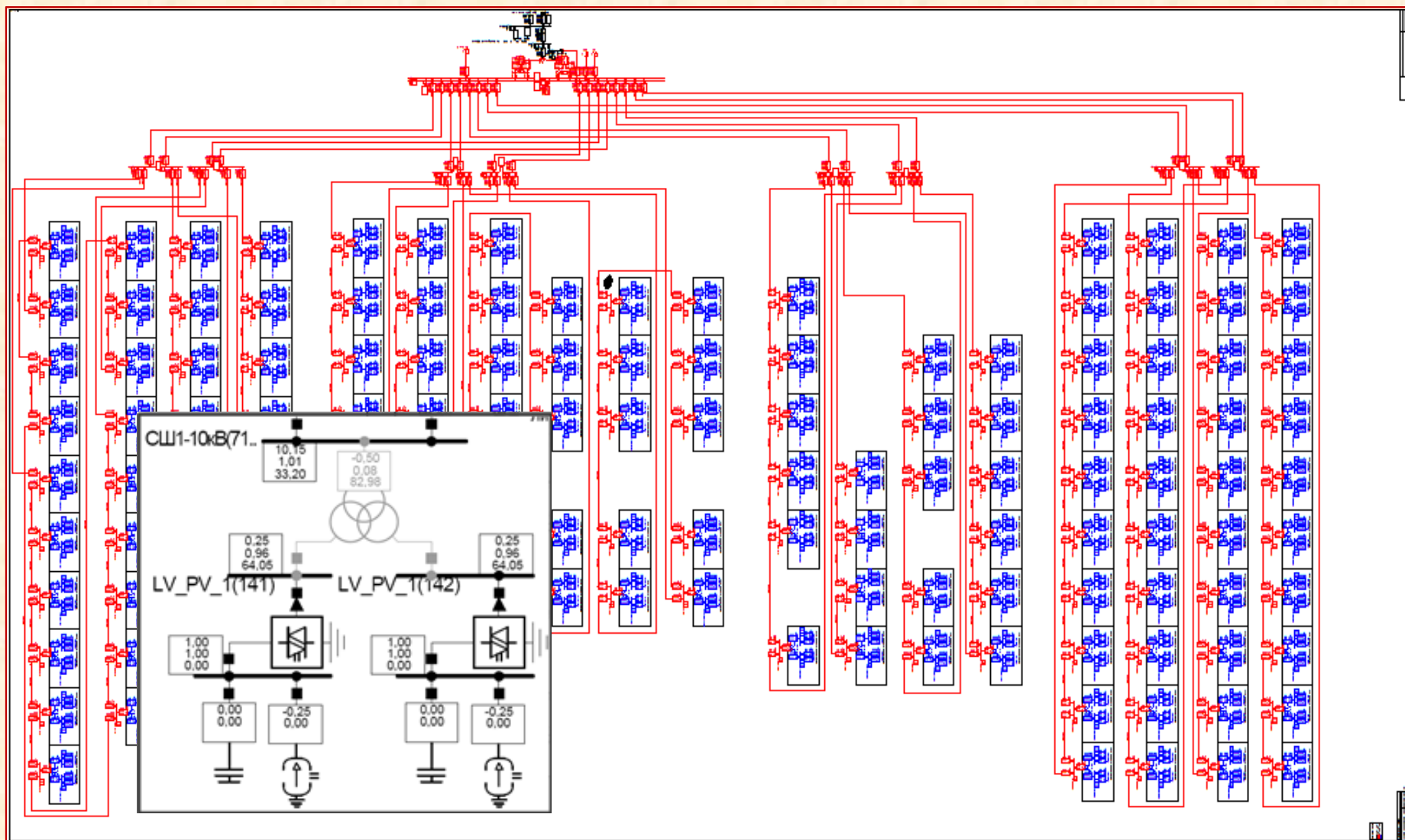
- **Консультирование СО (НЭК Укрэнерго) по стратегическим вопросам интеграции СЭС и ВЭС в ОЭС Украины (оценка доли СЭС и ВЭС в перспективной структуре генерации – Generation Adequacy и др).**

В ближайшей и вероятной перспективе...

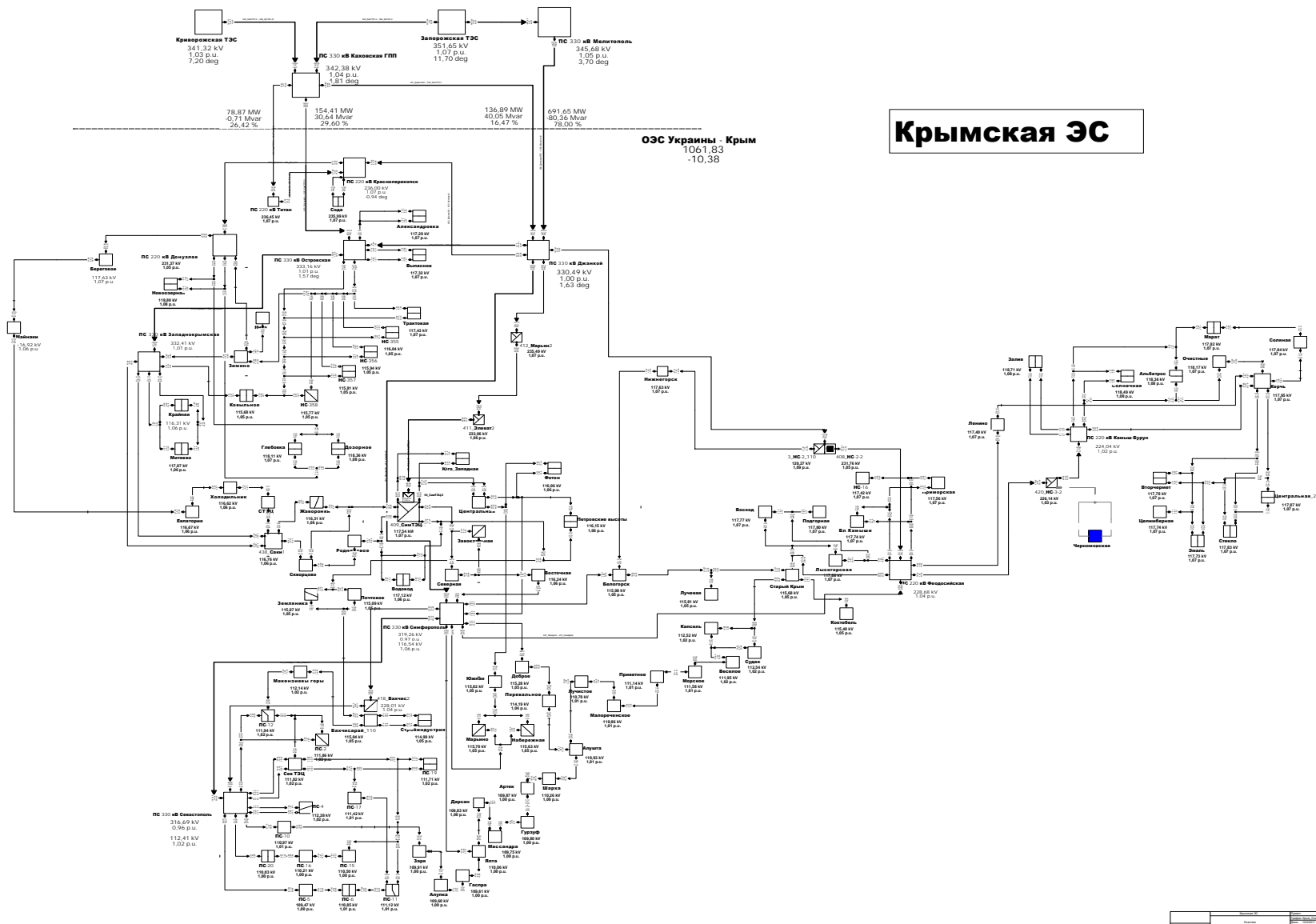
- **Участие в международном консорциуме компаний по выполнению проекта ЕБРР связанного с созданием Мастер-плана развития южной части ОЭС Украины, необходимого для интеграции планируемых объёмов возобновляемой генерации (ВЭС и СЭС).**



Модель СЕС 80 МВт для аналізу режимів роботи електричних мереж



Модель электрических сетей 110-330кВ Крымской энергосистемы



Крымская ЭС

ОЭС Украины - Крым
1061.83
-10.38