

# Решение для энергоснабжения системы выращивания коралловых рифов CCell и Vicor

**Рори Бакстер (Vicor Corporation)**

**В статье рассказывается об инновационном способе энергосбережения в системе, которая помогает восстанавливать коралловые рифы для сохранения береговой линии и защиты проживающих на ней людей.**

По последним данным, более 70% береговых линий на планете разрушаются в результате эрозии, при этом жизнь 200 миллионов человек во всём мире зависит от защиты, создаваемой коралловыми рифами. Есть мнение, что 99% существующих рифов исчезнут к 2040 году. Это создаёт серьёзные риски для проживания и благополучия людей в Мексике, Индонезии и множестве мелких островных поселений во всём мире.

Цель проекта CCell Renewables – борьба с береговой эрозией и развитие морских экосистем путём восстановления повреждённых коралловых рифов и выращивания новых.

Доктор Вольф Гильберц изобрёл революционную методику, основанную на электролизе морской воды. Методика позволяет всего за 5 лет создать невероятно прочную известняковую скалу, на формирование которой в обычных условиях потребовались бы сотни лет. Гильберц выращивал небольшие рифы, а CCell сегодня создаёт намного более крупные структуры, которые окажут значительное положительное влияние на прибрежную экосистему.

Исследования показывают, что общая энергия волн растёт на 0,4% в год из-за потепления океанических вод. Если сократить энергию волн на 5–8%, восстанавливая и создавая рифы, то можно снизить ударное воздействие волн на берег до уровня примерно 20-летней давности и полностью остановить береговую эрозию.

Для этого следует предоставить известняковую основу без посторонних примесей, на которой растут кораллы. Она должна иметь прочную молекулярную структуру и быстро расти. Процессу электролиза требуется точность, и он не должен идти слишком быстро или медленно. Если слишком медленно – ничего не вырастет, слишком быстро – известняк не удастся заселить.

## Точность и энергетические трудности

Масштабное выращивание устойчивых коралловых рифов вдалеке от развитой инфраструктуры и в нескольких сотнях метров от берега связано со множеством трудностей. Однако инженерам CCell удалось разработать для такой задачи инновационное решение.

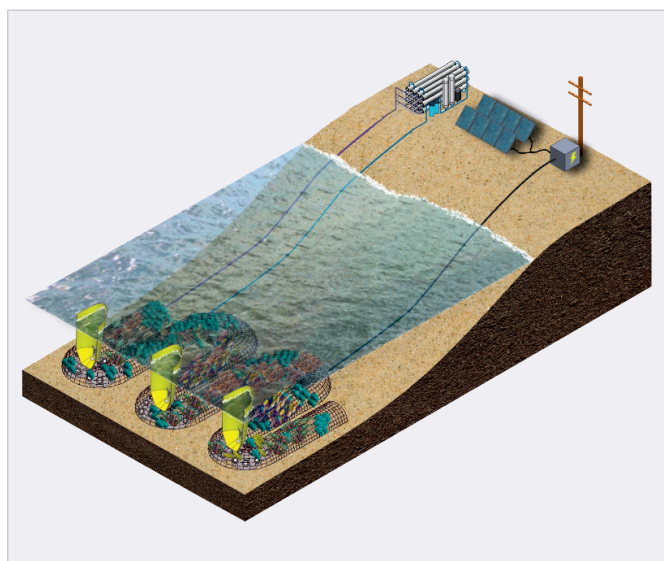
Ещё одна цель CCell – использовать для энергоснабжения систем выращивания рифов возобновляемые источники энергии, такие как солнце, ветер и волны. Выбор источника обычно определяется расстоянием от рифа до береговой линии. Для эффективной борьбы с эрозией океанские волны должны рассеиваться примерно за 300 м до берега.

Для выращивания 360 м<sup>2</sup> кораллового рифа требуется около 2 кВт энергии. Теоретически волновые энергетические установки (см. рис. 1) могут быть дороже солнечных панелей, однако чем дальше от берега они располагаются, тем выше эффективность преобразования энергии волн. В нескольких проектах, над которыми сейчас работает CCell, преобразователи располагаются на рифах дальше 700 м от берега. Помимо использования своей системы для восстановления повреждённых участков рифов, компания обсуждает устройство трёхсотметрового рифа всего в 70 м от берега. Эта система будет питаться солнечной и волновой энергией.

Все возобновляемые источники энергии имеют одно общее свойство: при выработке электроэнергии выходное напряжение крайне нестабильно из-за постоянно меняющихся окружающих условий.



**Рис. 1. Главный силовой генератор CCell, основанный на преобразователе волновой энергии компании Vicor**



**Рис. 2. Сеть энергоснабжения CCell**

Главный силовой генератор CCell основан на инновационном преобразователе волновой энергии, в котором прочная лопасть приводит в движение элементы гидравлической системы и вырабатывает электричество. Эта установка требует точной регулировки для выращивания коралла.

Помимо необходимости в нормализации широких колебаний входного напряжения, в процессе электролиза нужно учитывать состав морской воды, температуру и скорость потока через электроды (анод и катод), которые образуются стальной рамой. Все эти переменные нужно внимательно отслеживать, измерять и контролировать, чтобы разность потенциалов между анодами и катодами обеспечивала точно рассчитанный ток сквозь морскую воду. Это нужно, чтобы оптимизировать процесс электролиза и гарантировать рост прочных и устойчивых известняковых отложений (из карбоната кальция) из растворённых в морской воде минералов.

Рост рифов управляется за счёт точного контроля разности потенциалов электрического поля между электродами в пределах «обитаемой зоны», которая для системы CCell составляет от 1,2 до 4 В в зависимости от упомянутых условий окружающей среды.

## Сеть энергоснабжения

Для выращивания  $360 \text{ м}^2$  кораллового рифа требуется около 2 кВт энергии. Преобразователи волновой энергии, из которых состоит морская электростанция, размещаются в местах максимального выхода энергии вблизи береговой линии. Выходное напряжение преобразователей меняется в диапазоне от 35 до 70 В.

Сеть энергоснабжения (см. рис. 2) строится по следующему принципу: на первом этапе происходит преобразование, за которым следует регулирование в точке снятия мощности для систем мониторинга и управляющей электроники. Энергия передаётся по длинному кабелю к системе электролиза, размещающейся очень близко к стальной раме на дне океана, где восстанавливается или создаётся риф.

При мощности 2 кВт и разности потенциалов между электродами в зоне оптимальных значений (1,2...4 В) система питания электролитической установки должна выдавать ток до 1666 А на нижней границе диапазона напряжений. Эти условия привели разработ-

чиков сети энергоснабжения к нескольким проблемам:

1. входное напряжение, меняющееся в диапазоне от 30 до 70 В, преобразовывается и регулируется для управляющей системы на берегу, а электролитическая установка находится на рифе;
2. обеспечение передачи электроэнергии высокой мощности (2 кВт) на морскую электролитическую установку, находящуюся на расстоянии до 700 м от берега;
3. передача высокого тока (примерно до 1700 А) и поддержание напряжения на нужном уровне. Напряжение между электродами стальной сетки должно находиться в диапазоне 1,2...4 В, а система энергоснабжения должна уметь быстро корректировать напряжение и ток при постоянно меняющихся условиях.

Компания Vicor порекомендовала свою проверенную факторизованную архитектуру электропитания (FPA), поскольку полностью была уверена, что та соответствует всем требованиям и может обеспечить высокую плотность тока для минимизации размеров системы энергоснабжения, развёрнутой в океане. FPA включает мультипликатор тока, который также характеризуется способностью быстро реагировать на переходные процессы.

## Факторизованная система электропитания

Стандартный преобразователь DC-DC выполняет две функции, реализованные в одном устройстве: преобразование и регулирование. Разработка Vicor факторизует (разделяет) функцию преобразователя DC-DC на два отдельных модуля: регулятор PRM и мультипликатор тока VTM. Архитектура и топология каждого устройства идеально подходят для нетривиальных задач энергоснабжения, стоящих перед CCell.

Во-первых, регулятор напряжения PRM способен повышать и понижать стабилизируемое напряжение в широком диапазоне изменений напряжения на входе. Благодаря топологии, при которой переключение силовых транзисторов происходит при нулевом напряжении (ZVS), регулятор обладает очень высокими КПД и удельной мощностью, а также позволяет легко создавать параллельные массивы для энергоснабжения большей мощности. Передача энергии до рифа осуществляется на

большое расстояние, поэтому требуемая мощность составляет почти 2 кВт, однако повышенное напряжение помогает уменьшить сечение кабеля и таким образом экономить энергию. Регулятор PRM не только работает в широком диапазоне входных напряжений, но и оптимизирован для передачи более высоких регулируемых напряжений и последующего преобразования модулем VTM.

VTM представляет собой резонансный высокочастотный нерегулируемый преобразователь напряжения, выходное напряжение которого равно входному напряжению, умноженному на постоянный коэффициент. Коэффициент преобразования называется К-коэффициентом. VTM работает как трансформатор DC-DC: если К-коэффициент равен 1:8, то выходное напряжение составляет 1/8 от входного, а усиление по току становится восьмикратным. Два модуля работают вместе: PRM точно регулирует напряжение для рифа, а VTM преобразует и передаёт ток на электроды.

PRM будет регулировать входное напряжение в диапазоне 36...70 В с учётом измеренных падений напряжения в силовых кабелях до рифа. Получаемое от преобразователя волновой энергии напряжение преобразовывается и подаётся на вход модулей VTM мощностью 9,6...32 В, которые с К-коэффициентом 1:8 выдают напряжение 1,2...4 В. В зависимости от постоянно меняющихся условий окружающей среды PRM регулирует подачу напряжения на модули VTM, чтобы на выходе получалось напряжение заданного уровня.

Выверенная подача электроэнергии на стальную раму обеспечивает извлечение из морской воды минералов, которые осаждаются на раме и формируют прочную известняковую структуру. После ручного засевания кораллов на известняк, CCell может ускорить рост коралла на известняковой скале так, что коралл будет расти в 3 раза быстрее, чем в природных условиях.

Сегодня CCell создаёт в Мексике новый риф, размер которого составит  $200 \times 6 \text{ м}$ . Процесс выращивания хорошо проходит в регионах с тёплой водой, таких как Мексиканский залив и Карибское море, там известняк в сочетании с карбонатом кальция растворяется медленнее. В будущем предстоит решить аналогичную задачу для более холодных вод.

