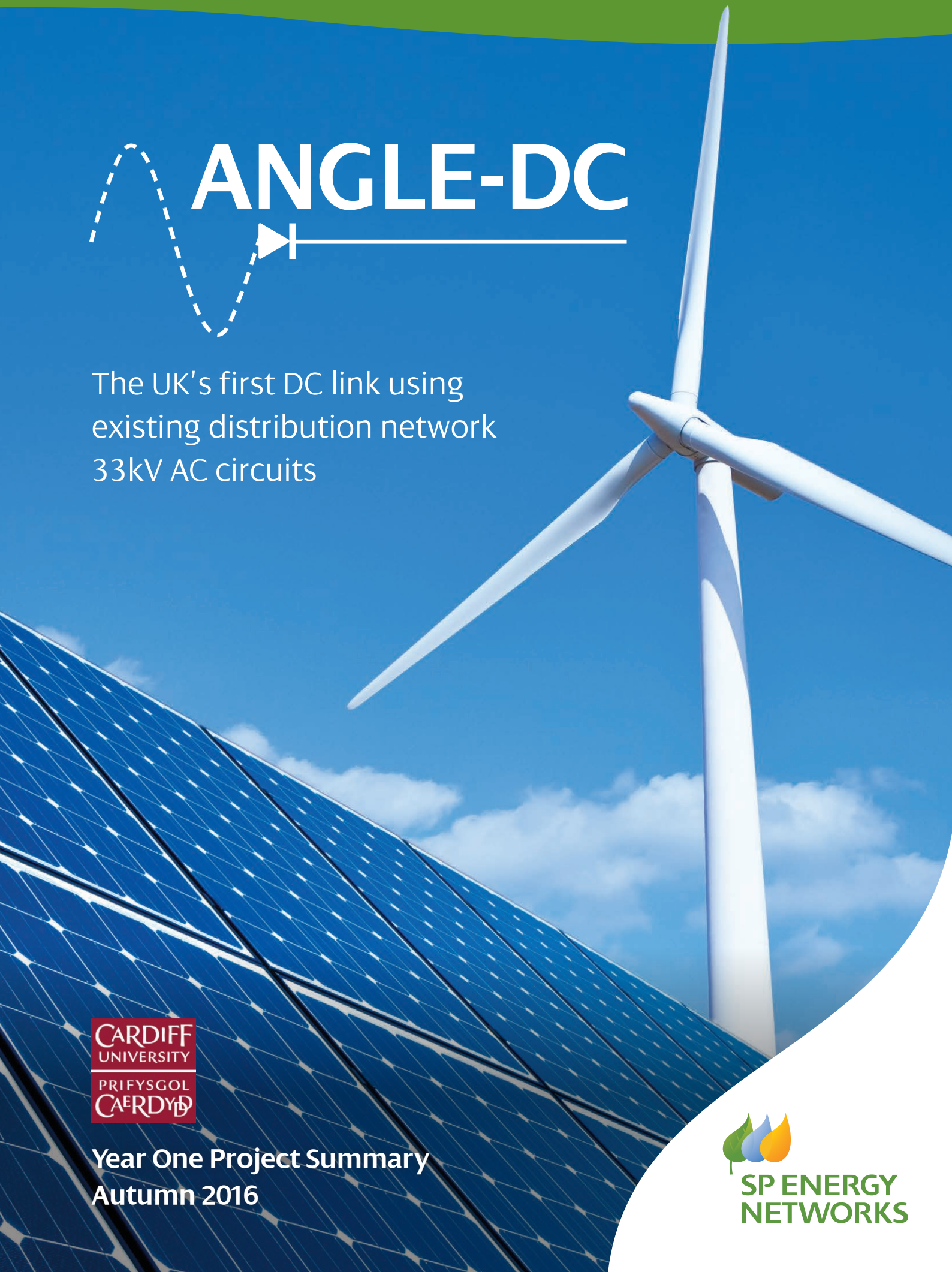
ANGLE-DC

The UK's first DC link using existing distribution network 33kV AC circuits



CARDIFF UNIVERSITY
PRIFYSGOL CAERDYDD

Year One Project Summary
Autumn 2016

SP ENERGY NETWORKS

1 Background

The Isle of Anglesey, north Wales has become an important location for energy generation. Over the last ten years there has been a significant increase in low-carbon distributed generation, including wind, solar and tidal. We have seen an increase from relatively low levels to around 80MW today, and total generation on the island is set to double beyond 2020.

Demand is also on the increase. This is due to a number of large regeneration projects and the creation of a new nuclear power station at Wylfa; which will bring many associated developments such as a new science park and housing for workers, all increasing energy demand on the island.

The island often produces more energy than is uses, and as the distribution network operator we regularly need to transport surpluses to mainland Wales. We have limited connectivity between Anglesey and the mainland, and the volume of distributed generation is beginning to cause problems on the electricity network.

The problem

The 33kV network is nearing its thermal and voltage limits, and two of the grid transformers (at Amlwch and Caergeilliog) operate at close to thermal limits during normal operational outage conditions. We are likely to exceed thermal limits within the next four years if demand on the network grows as currently forecast. Accommodating further generation will cause a breach of the upper voltage limits and cause voltage control stability issues on the Island.

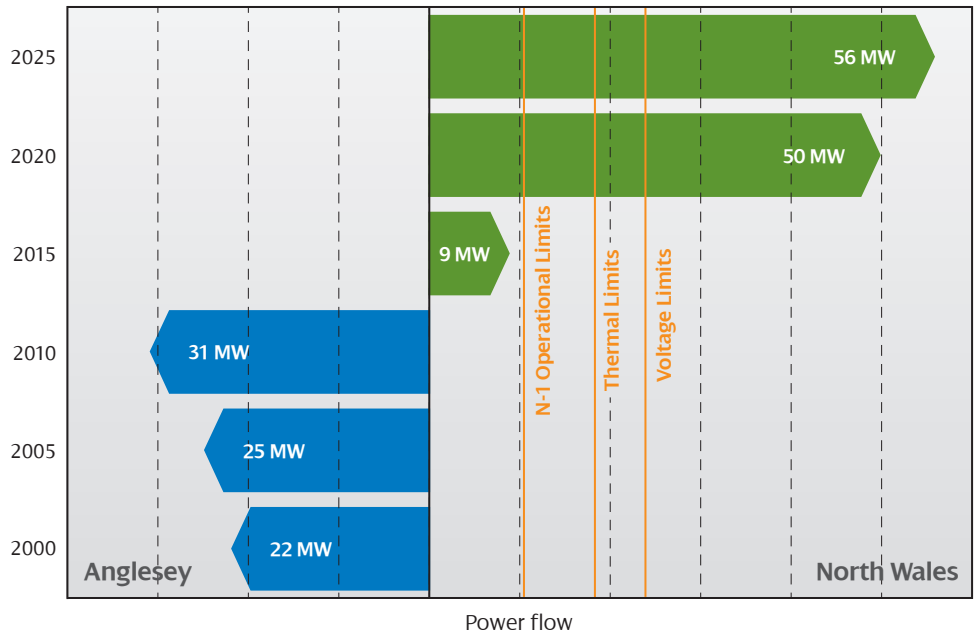
The traditional solution to this problem is to reinforce the network by building new electricity infrastructure. However, this is an expensive option; often requiring lengthy planning consent processes and introducing new electricity infrastructure into our landscapes. We are exploring whether an innovative solution would enable us to maximise the capacity of our existing network and avoid the need for reinforcements.

The innovation

We are trialling a new innovation that uses Medium Voltage Direct Current (MVDC) on an existing 33kV circuit between Anglesey and mainland North Wales. By using MVDC we can control the phase-angle between voltage and current, which means we can control the power flow across the connection.

Switching the existing cable from AC to DC operation allows more power to be transferred using the same circuit conductors, potentially allowing a total capacity increase of 23%. This increase in capacity could delay the need to reinforce networks with expensive cable and overhead line solutions.

This increase in circuit capacity and ability to control power flows, will enable us to connect more low-carbon generation to the 33kV network. It will also help alleviate the problem of voltage instability on the network caused by the increase in distributed generation.

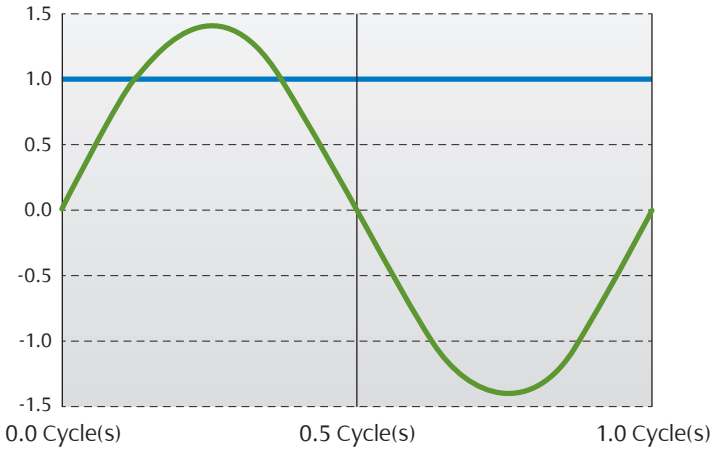


2 Transporting energy

AC and DC – what's the difference?

Most of our electricity is delivered using an alternating current (AC), which has a varying voltage and current, rather than a constant direct current (DC). Electricity networks have been using AC since the late 1880s because it was considered more efficient and less expensive than a DC network.

The graph illustrates the difference between AC (the green line) and DC (the blue line). Here the power delivered in each cycle is identical for both the AC and DC circuits as the areas below the lines are equal (this equates to the power being delivered). The fluctuations in the AC line means the AC peak value has to be higher than the DC level.



To increase the power transferred through an AC cable, there are three options:

1 Increase the maximum AC voltage

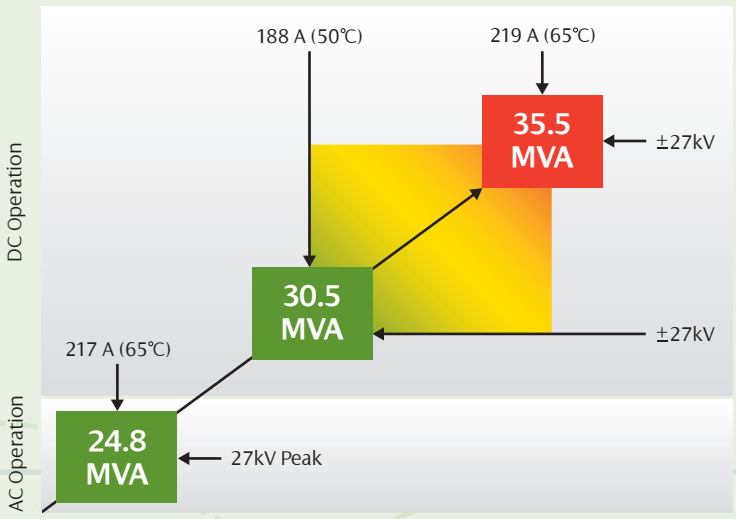
On our network the maximum voltage is set by the cable insulation. To increase the voltage in this way, we would need to replace the cable and connect to a higher voltage circuit.

2 Increase the maximum AC current

For cables approaching their current carrying capacity (i.e. thermal limit), increasing the AC current may not be possible without overheating the conductor or causing damage to its insulation/excessive sag on overhead lines. To increase thermal limits, we would need to replace cables or overhead lines with thicker conductors.

3 Maintain the same maximum voltage and current, and switch from AC to DC

We are testing this option by converting a 40-year old double circuit from AC to DC operation without replacing any assets. The AC amplitude of 33kV will be converted to ±27kV DC giving a maximum theoretical increase in cable capacity of 43%. However, because the cables are old and not designed for DC operation, the maximum cable temperature will be kept, from the normal 65°C, to 50°C by reducing the maximum DC current from 219A to 188A. Even at this reduced current, the capacity of the cable can be increased by 23% from 24.8 MVA to 30.5 MVA. Therefore, the project will trial the use of voltage source MVDC converters as a DC link circuit.

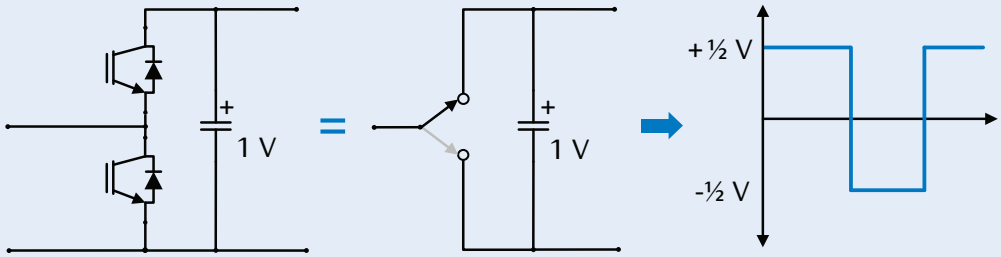


What is a voltage source MVDC converter?

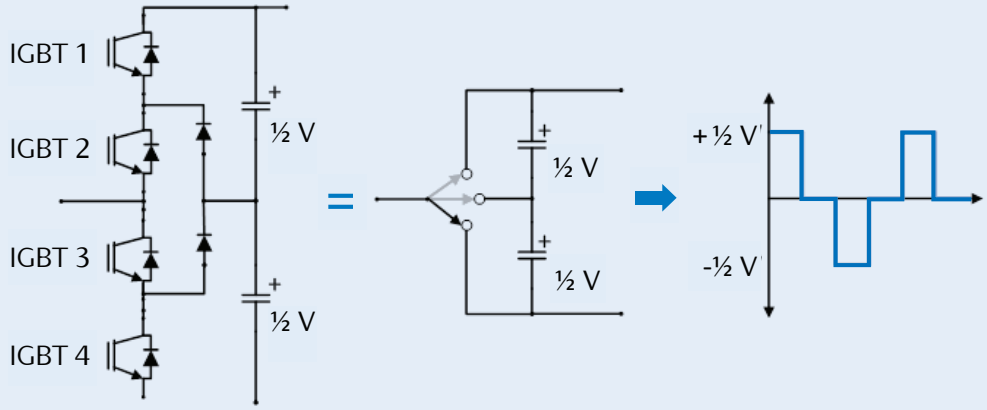
An MVDC link converts AC to DC and then back to AC at the other end. An MVDC link can sit between two electrically different networks and transfer power between them. A converter is a power electronic device, much like a solar inverter found in domestic properties which converts the DC power output from the solar panels to 230VAC so it can be connected to the mains.

How does it work?

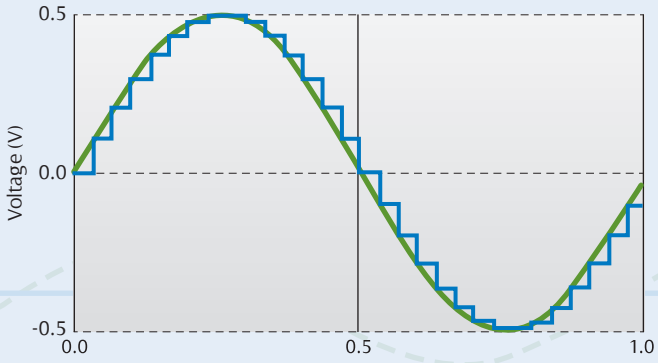
The core technology used in Angle-DC is known as an Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT), which is a semi-conductor device that acts like a low-loss switch and can be turned both on and off with a control signal. It is used within a circuit element known as a converter 'valve'. Below we can see the basic principles of operation, in which the semiconductor outputs voltages at 2-levels, ±1/2V. If the IGBTs are switched ON and OFF in sequence, a 2-level square waveform is produced, which can very crudely approximate a sine wave. This is called a 2-level Voltage Source Converter (2LVSC).



To improve the wave form, more voltage levels can be added by adding more IGBTs (switches). The next simplest scheme is called a 3-Level Voltage Source Converter (3LVSC). This type of converter requires double the number of IGBTs and more switching. Even with three levels, the output wave looks very different from a sine wave.

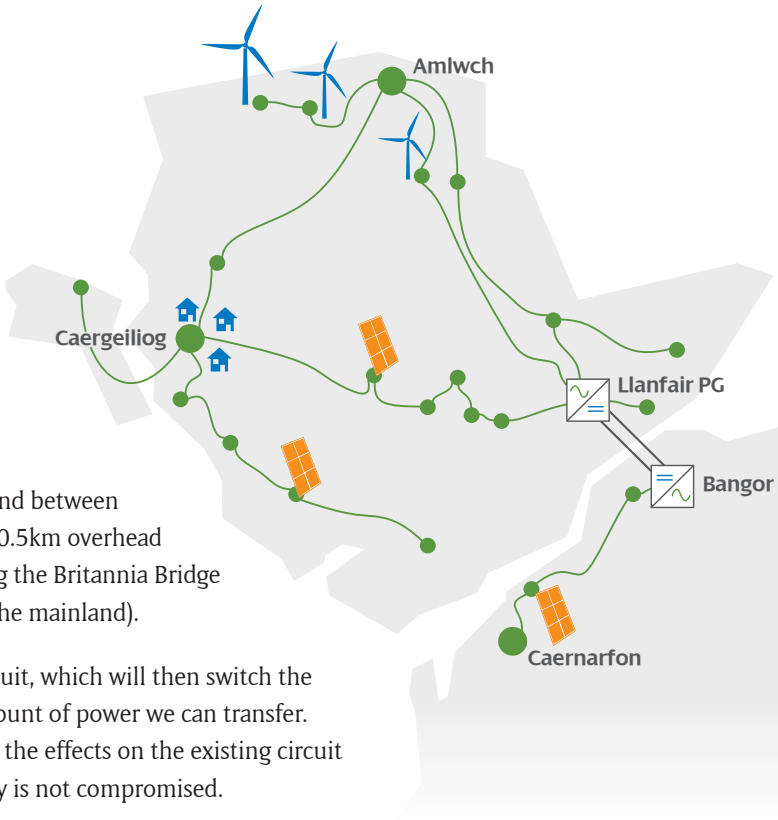


Since 2003, adding more levels has become easier to achieve due to the development of the Modular Multi-level Voltage Source Converter (MMVSC). Each valve in the MMVSC consists of independent converter submodules acting like a 2LVSC. MMVSCs can have hundreds of sub-modules and therefore output voltages at hundreds of different levels. This can allow the sine wave to be approximated much more accurately, as shown in the figure adjacent.



3 The project

The main distribution network on the Isle of Anglesey is made up of 33kV substations, cables and overhead lines. The low-carbon generation on the island is located to the north, south and south west of the island, however the area with the greatest demand for power is at Caergeilliog, some distance away from the generation. There are four grid substations which feed electricity on to Anglesey at Amlwch, Caergeilliog, Caernarfon, and Bangor Grid.



The Anglesey 33kV network is currently connected to the mainland between Bangor and Llanfair PG with a double AC circuit. This consists of 0.5km overhead line and 2.5km of cable, with a section of the cable running along the Britannia Bridge (which is the road and railway bridge that connects Anglesey to the mainland).

The project will build a converter station at either end of this circuit, which will then switch the current from AC to DC, and back again. This will increase the amount of power we can transfer. Monitoring equipment will be installed to ensure we understand the effects on the existing circuit and a back-up connection will be built to ensure network security is not compromised.

The MVDC Link

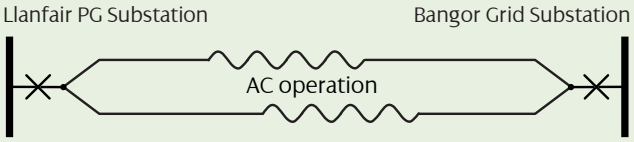
The existing 33kV circuit is a double circuit, joined at each end to a primary substation, connecting Llanfair PG substation to Bangor Grid substation. One of the cables is a 40-year old paper insulated cable. A Holistic Cable Condition Monitoring system (HCCM) will be installed on the original circuit to record information on how the circuit is ageing. The HCCM will record this information for a minimum period of 12 months.

Before the DC link is commissioned, we will install a new AC circuit between the two substations; this will provide system security while the DC converters are commissioned. Once the DC circuit is in operation the new AC circuit will act as a back-up, by remaining on open-standby to carry current when the MVDC link is offline.

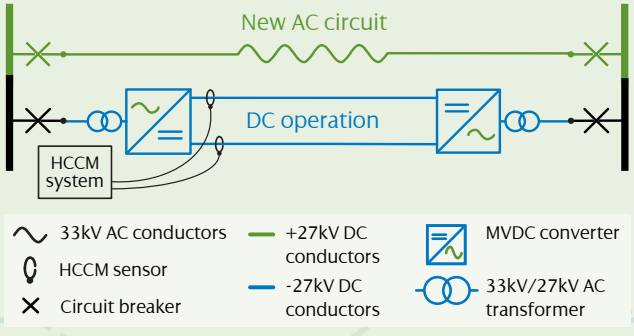
During the last year of the 4-year project, once the MVDC link is switched-on, the HCCM system will continue to monitor the cable and assess how the cable is ageing under DC operation. This comparison between AC and DC cable ageing will be a UK first, and the learning will be critical in determining whether future AC to DC conversion on existing circuits is feasible.

We predict the MVDC link will be able to operate for an additional 20–40 years (after the project ends) and continue to provide long-term benefits. We anticipate this technology could be applied to other old cables across the country to maximise capacity and facilitate more low-carbon generation.

Existing: 'double' 33kVAC circuit arrangement



Proposed: New 33kVAC circuit & existing 'double' circuit converted to DC operation



Potential benefits

When the wind is blowing, the sun is shining and renewable generation is high, but Anglesey's demand for electricity is low, it is better to send the generated power to the grid substations for transmission over the 400kV network for use on the mainland. Taking this route is more efficient because electrical losses are lower on the transmission network over long distances.

When the island's renewable generation is high and demand for electricity is high, it is better to use the 33kV network to supply local homes and businesses with electricity that has been generated on the island. The new MVDC link will enable us to control the route the electrical power flow takes and minimise losses, regardless of the weather or time of day.

The MVDC link will provide the Anglesey network with:

- Greater precision in the control of power flow through the circuit
- Active control of voltage at either end of the circuit
- Active control of reactive power flow at the end of the circuit.

This active control will facilitate:

- The reduction of losses in the distribution circuit
- Better management of renewable energy connections
- Increased capacity on the network which will allow us to connect even more low-carbon generation on Anglesey.

Project delivery

The project runs from January 2016 to February 2020 and is divided into six main work packages (WP). Each WP contains a distinct work stream, essential for the completion of the project.

WP1

Detailed design
Development of MVDC converter and HCCM system technical specifications and MVDC link control strategy.

WP2

MVDC link
MVDC converter equipment production, testing, installation and commissioning.

WP3

New AC circuit
Procurement, production, testing, installation and commissioning of the backup AC parallel circuit.

WP4

HCCM system
HCCM equipment production, testing, installation and commissioning.

WP5

Data analysis
Data collected from the HCCM system and MVDC link will be collected, analysed and shared openly.

WP6

Knowledge and learning dissemination
Partnership with Cardiff University to publish and share learning.

4 Overcoming challenges

Challenges

Sourcing the right technology
There aren't any off-the-shelf solutions available for this kind of connection. We are working to identify the technologies that can enable MVDC connections on the UK distribution networks in the future.

The backup circuit route
We need permissions from land owners and Network Rail (the owners of Britannia Bridge) to install the backup circuit. We are engaging with land owners along the route and seeking consent for the new AC cable.

Applying DC to existing AC circuits
When a conductor carries a current it emits an electro-magnetic field, which has the potential to interfere with other conductors. At a frequency of 50 Hz, AC conductors do not pose an issue; however DC conductors will emit small amounts of high frequency current which can interfere with communication circuits close-by.

Effects of DC on 33kV circuits
One of the big questions we need to answer is what effect changing from AC to DC will have on AC cables and overhead lines. If the effect is severe or happens without warning, the link may have to shut down for extended periods.

Delivery timescales
The project should be completed in just over four years, but several aspects are time-consuming. The MVDC link should be manufactured and installed in three years and the new AC circuit could take two years to install and commission.

Delivering benefits
Ultimately the MVDC link should deliver benefits for customers across the UK. This might include minimising losses on the network and maximising network capacity to allow more low-carbon generation to connect.

Stimulating the market
No innovation project is intended as a one-off. Angle-DC needs to create a market for MVDC links in the UK to realise the predicted benefits.

Solutions

A robust tender process
We launched a multistage tender process as part of WP1. The process has maximised the number of suppliers bidding to supply the MVDC link and has given us more choice in selecting the right technology at the right price.

Project Steering Group
We established a steering group of key stakeholders, including the Welsh Government and local authorities. The Steering Group offers guidance on planning and overcoming issues the project may encounter.

Collaboration with Network Rail
We are working closely with Network Rail to establish what MVDC converter design modifications will be needed to reduce any electromagnetic interference (EMI) to acceptable levels.

The holistic cable condition monitoring system
The HCCM will be installed early in the project and will monitor the cable in real time over a two-year period. Early warnings of cable degradation will enable us to take proactive measures, such as reducing the link voltage or carrying out preventative maintenance on the circuit.

Program outperformance
We have brought the timespan of each work package forward where possible, to give extra time to deal with those unforeseen challenges that often arise in innovation projects.

Sharing learning through our academic partner
Cardiff University has been tasked with extracting as much learning as possible from the project and disseminating knowledge to key stakeholders, other DNOs, local interest groups, generators and the public. This way the benefits of Angle-DC can reach as many people as possible.

A business as usual solution
We will consider the project a success when MVDC links are considered alongside other conventional solutions and prove a competitive alternative.

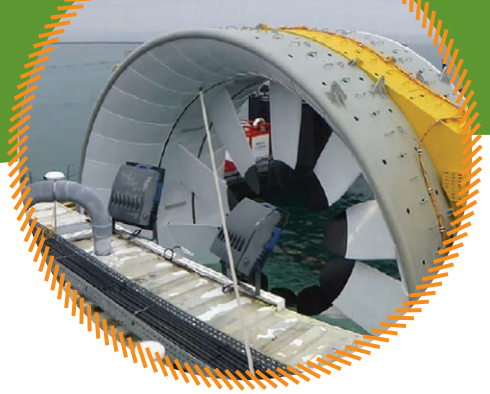
5 What's next?

What we've achieved so far

- ✓ Complete MVDC converter functional specification and tender documentation
- ✓ Complete HCCM functional specification and tender documentation
- ✓ Technical evaluation of HCCM and MVDC converter tenders
- ✓ Select HCCM supplier
- ✓ Complete first Successful Delivery Reward Criteria – HCCM Technical Specification
- ✓ Appoint academic project partner
- ✓ Establish the Angle-DC Steering Group
- ✓ Survey the Britannia Bridge site and EMI with Network Rail
- ✓ Complete power flow control strategy using local data inputs
- ✓ Set-up the project website
- ✓ Secure provisional planning consent for MVDC converter under permitted development rights
- ✓ Appoint acoustic survey consultants

What's next?

- ○ Complete the Successful Delivery Reward Criteria 2: The MVDC Converter Technical Specification
- ○ Commission and install the HCCM and start data collection
- ○ Deliver a webinar on MVDC technology
- ○ Hold a workshop on MVDC technical design
- ○ Complete the EMI safety case and converter design modifications
- ○ Hold regular Steering Group meetings with key stakeholders
- ○ Complete power flow control strategy using central data inputs, including generation and load on Anglesey and north Wales
- ○ Acoustic and site surveys
- ○ Secure planning consent under permitted development rights for the two converter stations
- ○ Secure consent, install and deploy the new AC circuit
- ○ Design and construct MVDC converter buildings, Llanfair PG and Bangor Grid substations
- ○ Design, install and deploy MVDC converters
- ○ Performance test MVDC converters
- ○ Study and disseminate MVDC operational performance
- ○ Workshop cable ageing mechanism in AC and DC cable
- ○ Determine the systems of automatic control of the DC Link
- ○ Report on project learning



6 Other MVDC projects

Network Equilibrium

Western Power Distribution (another UK DNO) is trialling a 20 MVA medium voltage (33kV) back-to-back power electronic convertor (AC-DC-AC) to overcome voltage and thermal issues at one of their primary substations. The converter is capable of importing and exporting 5 MVAr of reactive power, which will enable a network voltage change of 2.5% and unlocking additional capacity. It will transfer power between two 33kV networks that cannot currently be connected due to circulating current issues. This scheme is different to Angle-DC in that it does not feature a significant length of DC cable which creates a number of additional challenges.

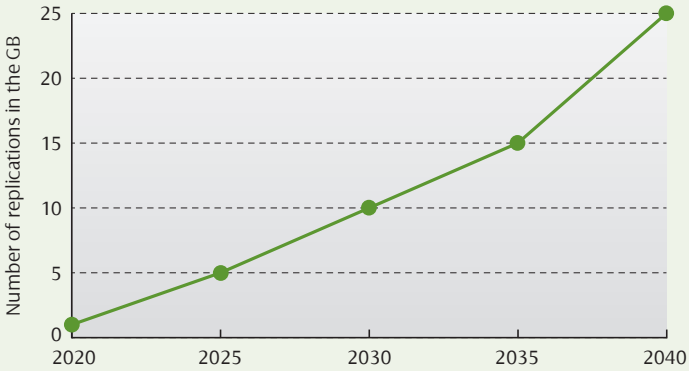
Paimpol Bréhat Tidal Farm

An MVDC converter has been deployed at the Paimpol Bréhat Tidal Demonstration Farm in France. It converts the 690V AC output from two 2MW tidal stream turbines to 10kV DC. The power is transferred through a 16km DC link, then converted to 6.6kV AC and stepped up to a mains voltage of 20kV AC on the mainland. The converter is used to accept two variable frequency power inputs and convert them to one constant frequency AC output and enables the tidal stream generators to connect to the AC network. One side of the DC converter is completely submerged in a single AC container and will be raised every five years for maintenance.

7 Beyond Angle-DC

One objective of the Angle-DC project is to create a market for MVDC converter technology. If successful, we hope the UK could see a number of other similar projects completed between now and 2040. The level of uptake depends largely on the cost of power electronics; which considering historic price trends of semi-conductor technology, could drop by up to 55% between now and 2040. This cost reduction will depend on the number of MVDC converters deployed between now and 2040.

SP Energy Networks have partnered with Cardiff University as an academic partner. This is to help with academic analysis and evaluation of the methods being trialled on this project. A number of PhD students are engaged in this project as part of their reasearch.

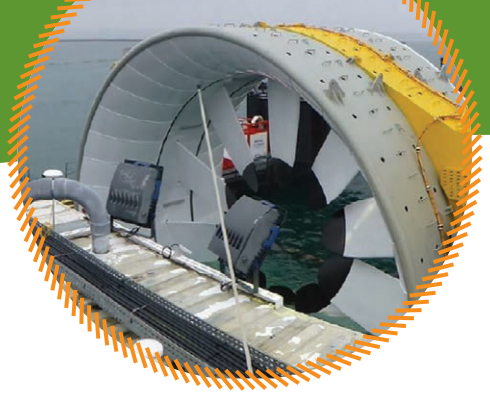


A number of organisations have supported the Angle-DC project and are actively engaged in its delivery and review. These include; Welsh Government, Anglesey Council Council, Gwynedd County Council.

FIND OUT MORE

If you would like to find out more about Angle-DC please visit the project page on the SP Energy Networks website:
www.spenergynetworks.co.uk/pages/angle_dc.asp

At various stages in the project we will be organising workshops and webinars to share our findings, and in latter stages will create a visitors' centre on site. If you would like more information on this or any other aspect of the project, please contact:
kevin.smith@spenergynetworks.co.uk



6 Prosiectau MVDC Eraill

Ecwilibriwm Rhwydwaith

Mae Western Power Distribution (DNO arall yn y DU) yn treialu trawsnewidydd electronig pŵer cefngefn (AC_DC_AC) foltedd canolig (33kV) 20 MVA er mwyn datrys problemau foltedd a thermol yn un o'u his-orsafoedd sylfaenol. Mae'r trawsnewidydd yn gallu mewnforio ac allforio 5MVAr o bŵer adweithiol, fydd yn galluogi newid 2.5% ar foltedd y rhwydwaith a datgloi capasiti ychwanegol. Bydd yn trosglwyddo pŵer rhwng dau rwydwaith 33kV na ellir eu cysylltu ar hyn o bryd oherwydd problemau cerrynt sy'n cylchredeg. Mae'r cynllun hwn yn wahanol i Angle-DC oherwydd nad yw'n cynnwys hyd sylweddol o gebl DC sy'n achosi nifer o heriau ychwanegol.

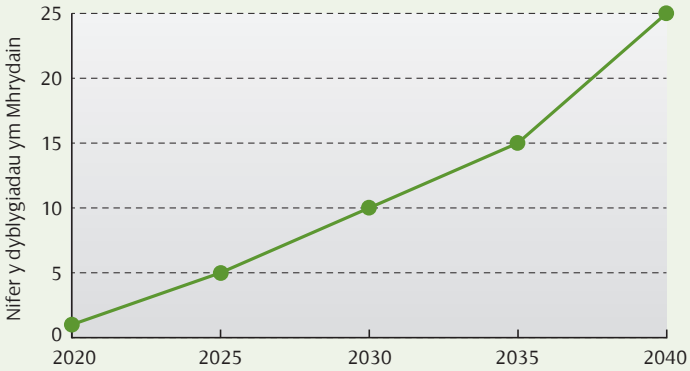
Fferm Ynni Llanwol Paimpol Bréhat

Mae trawsnewidydd MVDC wedi cael ei roi ar waith yn Fferm Arddangos Ynni Llanwol Paimpol Bréhat yn Ffrainc. Mae'n newid yr allbwn AC 690V o ddau dyrbin llif llanwol 2MW i DC 10kV. Mae'r pŵer hwn yn cael ei drosglwyddo drwy gysylltiad DC 16Km, ac yna mae'n cael ei newid i AC 6.6kV ac yn cael ei uwchraddio i foltedd prif gyflenwad AC 20kV ar y tir mawr. Mae'r trawsnewidydd hwn yn cael ei ddefnyddio i dderbyn dau fewnbwn pŵer amledd amrywiol a'u newid i un allbwn AC amledd cyson, ac mae'n galluogi cysylltu'r generaduron llif llanwol i'r rhwydwaith AC. Mae un ochr i'r trawsnewidydd DC wedi cael ei orchuddio'n llwyr mewn un cynhwysydd AC a bydd yn cael ei godi bod pum mlynedd ar gyfer gwaith cynnal a chadw.

7 Y Tu Hwnt i Angle-DC

Un amcan prosiect Angle-DC yw creu marchnad i dechnoleg trawsnewidyddion MVDC. Os bydd hynny'n llwyddiannus, rydym yn gobeithio y bydd nifer o brosiectau tebyg yn cael eu cwblhau yn y DU rhwng nawr a 2040. Bydd nifer y prosiectau yn dibynnu i raddau helaeth ar gost electroneg pŵer; ac o ystyried tueddiadau prisiau hanesyddol technoleg lled-ddargludyddion, gallai hynny ostwng hyd at 55% rhwng nawr a 2040. Bydd y gostyngiad cost yma yn dibynnu ar faint o drawsnewidyddion MVDC fydd yn cael eu defnyddio rhwng nawr a 2040.

Mae SP Energy Networks wedi partneru â Phrifysgol Caerdydd fel partner academaidd. Pwrpas hyn yw cael cymorth o ran dadansoddi a gwerthuso'n academaidd y dulliau sy'n cael eu treialu yn y prosiect hwn. Mae nifer o fyfyrwyr PhD yn gysylltiedig â'r prosiect hwn fel rhan o'u hymchwil.



Mae nifer o sefydliadau wedi cefnogi'r prosiect Angle-DC ac maent yn weithredol gysylltiedig â'r gwaith o'i gyflawni a'i adolygu. Mae'r rhain yn cynnwys; Llywodraeth Cymru, Cyngor Sir Ynys Môn, Cyngor Sir Gwynedd.

MWY O WYBODAETH

Os hoffech gael mwy o wybodaeth am Angle-DC, ewch i dudalen y prosiect ar wefan SP Energy Networks:
www.spenergynetworks.co.uk/pages/angle_dc.asp

Ar wahanol gamau yn ystod y prosiect byddwn yn trefnu gweithdai a gweminarau er mwyn rhannu ein canfyddiadau, ac yn ystod y camau olaf byddwn yn creu canolfan ymwelwyr ar y safle. Os hoffech gael mwy o wybodaeth am hyn neu unrhyw elfen arall o'r prosiect, cysylltwch â: **kevin.smith@spenergynetworks.co.uk**

5 Beth nesaf?

Yr hyn a gyflawnwyd hyd yma

- ✓ Cwblhau manyleb weithredol y trawsnewidydd MVDC a'r dogfennau tendro
- ✓ Cwblhau manyleb weithredol y HCCM a'r dogfennau tendro
- ✓ Gwerthusiad technegol o dendrau HCCM a'r trawsnewidydd MVDC
- ✓ Dewis cyflenwr HCCM
- ✓ Cwblhau Maen Prawf Dyfarnu Cyflawniad Llwyddiannus cyntaf – manyleb Dechnegol HCCM
- ✓ Penodi partner prosiect academaidd
- ✓ Sefydlu Grŵp Llywio Angle-DC
- ✓ Cynnal arolwg o safle Pont Britannia ac EMI gyda Network Rail
- ✓ Cwblhau strategaeth rheoli llif pŵer gan ddefnyddio mewnbynnau data lleol
- ✓ Sefydlu gwefan y prosiect
- ✓ Sicrhau caniatâd cynllunio dros dro ar gyfer trawsnewidydd MVDC o dan hawliau datblygiadau a ganiateir
- ✓ Penodi ymgynghorwyr arolwg acwstig

Beth nesaf?

- ○ Cwblhau Meini Prawf Cyflawni Llwyddiannus 2: Manyleb Dechnegol Trawsnewidydd MVDC
- ○ Comisiynu a gosod y HCCM a chychwyn casglu data
- ○ Darparu gweminar ar dechnoleg MVDC
- ○ Cynnal gweithdy ar ddyluniad technegol MVDC
- ○ Cwblhau cas diogelwch EMI ac addasiadau dyluniad trawsnewidydd
- ○ Cynnal cyfarfodydd Grŵp Llywio rheolaidd gyda rhanddeiliaid allweddol
- ○ Cwblhau strategaeth rheoli llif pŵer gan ddefnyddio mewnbynnau data canolog, yn cynnwys cynhyrchiant a llwyth ar Ynys Môn a gogledd Cymru
- ○ Arolygon acwstig a safle
- ○ Sicrhau caniatâd cynllunio o dan hawliau datblygiadau a ganiateir ar gyfer y ddwy orsaf drawsnewid
- ○ Sicrhau caniatâd, gosod a rhoi'r gylched AC newydd ar waith
- ○ Dylunio ac adeiladu adeiladau trawsnewidyddion MVDC, isorsafoedd Llanfairpwll a Grid Bangor
- ○ Dylunio, gosod a rhoi trawsnewidyddion MVDC ar waith
- ○ Profi perfformiad trawsnewidyddion MVDC
- ○ Astudio a rhannu perfformiad gweithredol MVDC
- ○ Cynnal gweithdy ar fecanwaith heneiddio ceblau AC a DC
- ○ Penderfynu ar systemau rheoli'r Cysylltiad DC yn awtomatig
- ○ Adrodd ar yr hyn a ddysgwyd o'r prosiect

4 Goresgyn heriau

Heriau

Caffael y dechnoleg briodol
Nid oes yna ddatrysiadau parod ar gael ar gyfer y math yma o gysylltiad. Rydym yn gweithio i ganfod technolegau all alluogi cysylltiadau MVDC ar rwydweithiau dosbarthu'r DU yn y dyfodol.

Llwybr y gylched wrth gefn
Rydym angen caniatâd gan dirfeddianwyr a Network Rail (perchnogion Pont Britannia) er mwyn gosod y gylched wrth gefn. Rydym yn ymgysylltu â thirfeddianwyr ar hyd y llwybr ac yn ceisio caniatâd ar gyfer y cebl AC newydd.

Cymhwyso DC i gylchedau AC presennol
Pan fo dargludydd yn cario cerrynt, mae'n allyrru maes electromagnetig, ac mae'n bosibl i hwnnw effeithio ar ddargludyddion eraill. Ar amledd o 50Hz, nid yw dargludyddion AC yn achosi problem; fodd bynnag bydd dargludyddion DC yn allyrru ychydig bach o gerrynt amledd uchel all effeithio ar gylchedau cyfathrebu gerllaw.

Effeithiau DC ar gylchedau 33kV
Un o'r cwestiynau y mae'n rhaid i ni ei ateb yw pa effaith fydd newid o AC i DC yn ei gael ar geblau a llinellau uwchben AC. Os bydd yr effaith yn ddifrifol ac yn digwydd yn ddirybudd, efallai bydd yn rhaid diffodd y cysylltiad am gyfnodau hir.

Amserlen Gyflawni
Dylai'r prosiect gael ei gwblhau mewn ychydig dros bedair blynedd, ond mae nifer o elfennau yn mynd i gymryd llawer o amser. Dylai'r cysylltiad MVDC gael ei weithgynhyrchu a'i osod mewn tair blynedd a dylai gymryd dwy flynedd i osod a chomisiynu'r gylched AC newydd.

Creu buddion
Yn y pen draw dylai'r cysylltiad MVDC greu buddion i gwsmeriaid ar draws y DU. Gallai hynny gynnwys lleihau colledion ar y rhwydwaith a gwneud y mwyaf o gapasiti rhwydwaith er mwyn galluogi cysylltu mwy o gynhyrchiant carbon isel.

Ysgogi'r farchnad
Ni fwriedir i unrhyw brosiect arloesol fod yn brosiect untro. Mae angen i Angle-DC greu marchnad ar gyfer cysylltiadau MVDC yn y DU er mwyn gwireddu'r buddion a ragdybir.

Datrysiadau

Proses dendro gydnerth
Bu i ni lansio proses dendro aml gam fel rhan o WP1. Mae'r broses wedi uchafu nifer y cyflenwyr sy'n ymgeisio i gyflenwi'r cysylltiad MVDC, ac mae wedi rhoi mwy o ddewis i ni wrth ddewis y dechnoleg briodol am y pris priodol.

Grŵp Llywio'r Prosiect
Bu i ni sefydlu grŵp llywio o randdeiliaid allweddol, yn cynnwys Llywodraeth Cymru ac awdurdodau lleol. Mae'r Grŵp Llywio yn cynnig arweiniad ar gynllunio ac unrhyw broblemau all y prosiect eu wynebu.

Cydweithredu â Network Rail
Rydym yn gweithio'n agos â Network Rail er mwyn sefydlu pa addasiadau i ddyluniad y trawsnewidydd MVDC fydd eu hangen er mwyn gostwng unrhyw ymyriant electromagnetig (EMI) i lefelau derbyniol.

Y system monitro cyflwr ceblau holistig
Bydd y HCCM yn cael ei osod yn gynnar yn ystod y prosiect a bydd yn monitro'r cebl mewn amser real dros gyfnod o ddwy flynedd. Bydd rhybuddion cynnar ynglŷn â diraddiad y cebl yn ein galluogi i gymryd camau rhagweithiol, megis gostwng foltedd y cysylltiad neu wneud gwaith ataliol ar y gylched.

Perfformio'n well na'r rhaglen
Rydym wedi symud terfynau amser pob pecyn gwaith ymlaen pan fo'n bosibl, er mwyn rhoi amser ychwanegol i ddelio â'r heriau anrhagweladwy hynny sy'n aml yn codi mewn prosiectau arloesol.

Rhannu'r hyn a ddysgir drwy ein partner academaidd
Mae Prifysgol Caerdydd wedi cael y dasg o gasglu cymaint â phosibl o'r hyn a ddysgir o'r prosiect a rhannu gwybodaeth â rhanddeiliaid allweddol, Gweithredwyr Rhwydwaith Dosbarthu eraill, grwpiau buddiant lleol, cynhyrchwyr a'r cyhoedd. Drwy wneud hynny bydd buddion Angle-DC yn cyrraedd cymaint o bobl â phosibl.

Datrysiad busnes fel arfer
Byddwn yn ystyried bod y prosiect wedi bod yn llwyddiant pan fo cysylltiadau MVDC yn cael eu hystyried ochr yn ochr â datrysiadau confensiynol ac y profir eu bod yn ddewis arall cystadleuol.

Buddion posibl

Pan fo'r gwynt yn chwythu, yr haul yn tywynnu a chynhyrchiant adnewyddadwy yn uchel, ond bod y galw am ynni ar Ynys Môn yn isel, mae'n well anfon y pŵer a gynhyrchir i is-orsafoedd y grid i'w drawsyrru ar y rhwydwaith 400kV i'w ddefnyddio ar y tir mawr. Mae defnyddio'r llwybr hwn yn fwy effeithlon oherwydd mae colledion trydan yn is ar y rhwydwaith trawsyrru ar bellteroedd mawr.

Pan fo cynhyrchiant adnewyddadwy'r ynys yn uchel ac mae'r galw am drydan yn uchel, mae'n well defnyddio'r rhwydwaith 33kV i gyflenwi trydan a gynhyrchwyd ar yr ynys i gartrefi a busnesau lleol. Bydd y cysylltiad MVDC newydd yn ein galluogi i reoli llwybr y llif trydan a lleihau colledion, beth bynnag fo'r tywydd a'r adeg o'r dydd.

Bydd y cysylltiad MVDC yn rhoi i Ynys Môn:

- Rheolaeth fwy manwl ar lif y pŵer drwy'r gylched
- Rheolaeth actif ar foltedd ar ddau ben y gylched
- Rheolaeth actif ar lif pŵer adweithiol ar ben draw'r gylched.

Bydd y rheolaeth actif hon yn hwyluso:

- Lleihau colledion yn y gylched ddosbarthu
- Gwell rheolaeth ar gysylltiadau ynni adnewyddadwy
- Mwy o gapasiti yn y rhwydwaith fydd yn ein galluogi i gysylltu hyd yn oed mwy o gynhyrchiant carbon isel ar Ynys Môn.

Cyflawni'r prosiect

Bydd y prosiect yn cael ei gynnal o Ionawr 2016 i Chwefror 2020 a bydd yn cael ei rannu yn chwe phrif becyn gwaith (WP). Mae pob WP yn cynnwys llif gwaith penodol, sy'n hanfodol ar gyfer cwblhau'r prosiect

WP1
Dyluniad manwl
Datblygu manylebau technegol trawsnewidydd MVDC a system HCCM a strategaeth rheoli cysylltiad MVDC.

WP2
Cysylltiad MVDC
Cynhyrchu, profi, gosod a chomisiynu offer trawsnewidydd MVDC.

WP3
Cylched AC newydd
Caffael, cynhyrchu, profi, gosod a chomisiynu'r gylched AC gyfochrog wrth gefn.

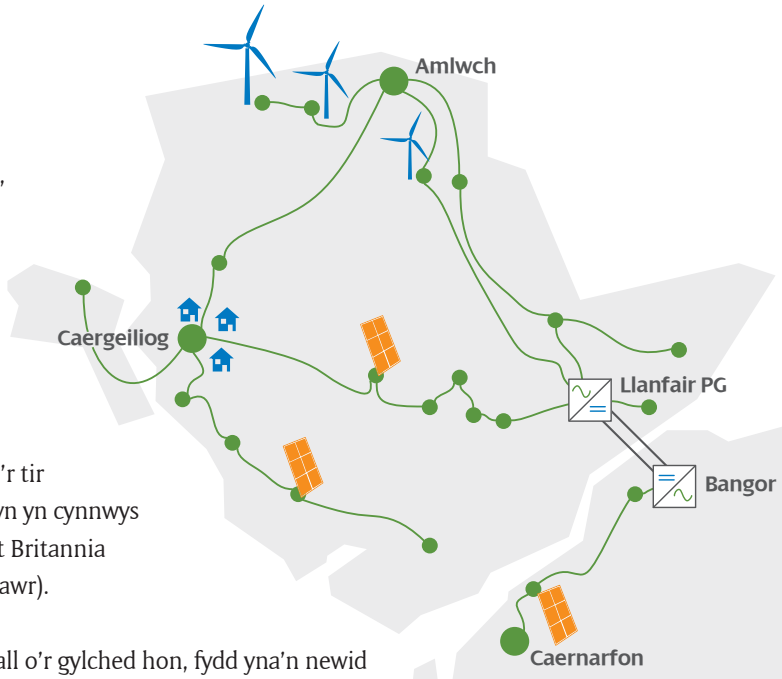
WP4
System HCCM
Cynhyrchu, profi, gosod a chomisiynu offer HCCM.

WP5
Dadansoddi data
Bydd data a gesglir o'r system HCCM a'r cysylltiad MVDC yn cael ei gasglu, ei ddadansoddi a'r rannu'n agored.

WP6
Rhannu gwybodaeth a'r hyn a ddysgwyd
Partneriaeth â Phrifysgol Caerdydd i gyhoeddi a rhannu'r hyn a ddysgwyd.

3 Y prosiect

Mae prif rwydwaith dosbarthu Ynys Môn yn cynnwys isosrafoedd, ceblau a llinellau uwchben 33kV. Mae'r cynhyrchiant carbon isel ar yr ynys wedi'i leoli yng ngogledd, de a de orllewin yr ynys. Fodd bynnag, yr ardal sydd â'r galw mwyaf am bŵer yw Caergeiliog, sydd beth pellter i ffwrdd o'r cynhyrchiant. Mae yna bedair is-orsaf sy'n bwydo trydan i Ynys Môn, yn Amlwch, Caergeiliog, Caernarfon a Grid Bangor.



Ar hyn o bryd mae rhwydwaith 33kV Ynys Môn wedi ei gysylltu â'r tir mawr rhwng Bangor a Llanfairpwll gyda chylched AC dwbl. Mae hyn yn cynnwys 0.5km o linell uwchben, gyda rhan o'r cebl yn rhedeg ar hyd Pont Britannia (sef y bont cerbydau a rheilffordd sy'n cysylltu Ynys Môn a'r tir mawr).

Bydd y prosiect yn adeiladu gorsaf drawsnewid ar y naill ben a'r llall o'r gylched hon, fydd yna'n newid y cerrynt o AC i DC ac yna'n ôl eto. Bydd hynny'n cynyddu swm y pŵer allwn ei drosglwyddo. Bydd offer monitro yn cael ei osod er mwyn sicrhau ein bod yn deall yr effeithiau ar y gylched bresennol, a bydd cysylltiad wrth gefn yn cael ei adeiladu er mwyn sicrhau na fydd diogelwch y gylched yn cael ei gyfaddawdu.

Y Cysylltiad MVDC

Mae'r gylched 33kV bresennol yn gylched ddwbl, sydd wedi ei chysylltu yn y ddau ben i isorsaf sylfaenol, sy'n cysylltu isorsaf Llanfairpwll ac isorsaf Grid Bangor. Mae un o'r ceblau yn gebl 40 oed wedi'i hynysu â phapur. Bydd system Monitro Cyflwr Ceblau Holistig (HCCM) yn cael ei gosod ar y gylched wreiddiol er mwyn cofnodi gwybodaeth ynglŷn â sut mae'r gylched yn heneiddio. Bydd y HCCM yn cofnodi'r wybodaeth hon am gyfnod o 12 mis o leiaf.

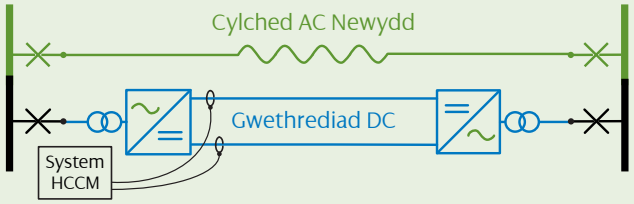
Cyn comisiynu'r cysylltiad DC, byddwn yn gosod cylched AC newydd rhwng y ddwy isorsaf; bydd hynny'n darparu diogelwch i'r system tra bod y trawsnewidyddion DC yn cael eu comisiynu. Pan fo'r gylched DC yn weithredol, bydd y gylched AC newydd yn gweithredu fel cylched wrth gefn, gan barhau i fod yn barod i gario cerrynt pan fo'r cysylltiad MVDC yn all-lein.

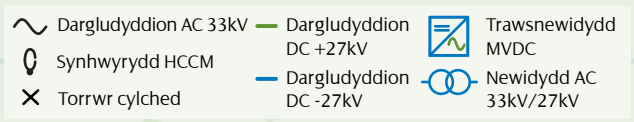
Yn ystod blwyddyn olaf y prosiect 4 blynedd, pan fo'r cysylltiad MVDC yn cael ei roi ymlaen, bydd y system HCCM y parhau i fonitro'r cebl ac yn asesu sut mae'r cebl yn heneiddio pan fo DC yn weithredol. Dyma fydd y tro cyntaf yn y DU i'r broses o heneiddio ceblau AC a DC gael eu cymharu, a bydd yr hyn a ddysgir yn allweddol wrth benderfynu a fydd newid o AC i DC ar gylchedau presennol yn ddichonadwy yn y dyfodol.

Rydym yn rhagweld y bydd y cysylltiad MVDC yn gallu gweithredu am 20-40 mlynedd ychwanegol (ar ôl i'r prosiect ddod i ben) ac yn parhau i ddarparu buddion hirdymor. Rydym yn disgwyl y bydd y dechnoleg hon yn gallu cael ei chymhwyso i hen geblau eraill ar draws y wlad er mwyn gwneud y mwyaf o gapasiti a hwyluso mwy o gynhyrchiant carbon isel.

Presennol: Trefniant cylched 33kVAC 'ddwbl'

Arfaethedig: Cylched 33kVAC newydd a'r gylched 'ddwbl' bresennol wedi eu troi'n weithrediad DC



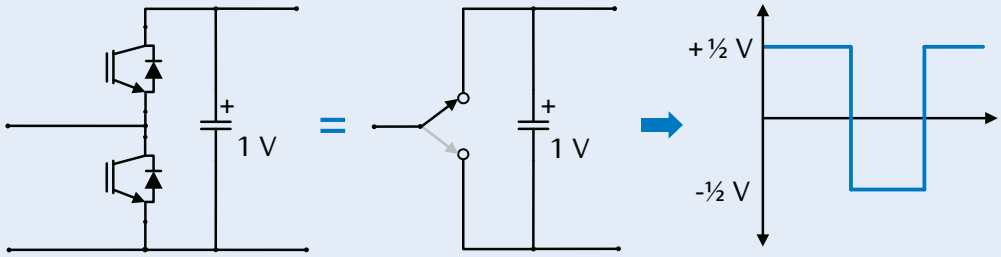


Beth yw trawsnewidydd MVDC ffynhonnell foltedd?

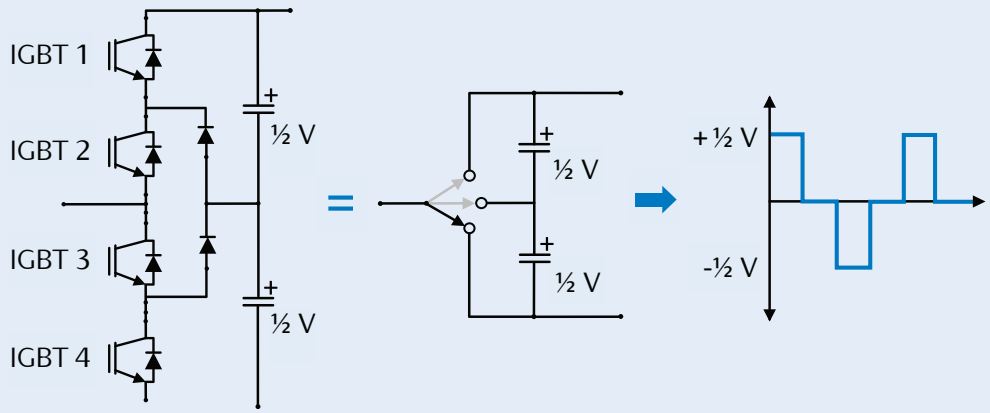
Mae cysylltiad MVDC yn trawsnewid AC yn DC ac yna'n ôl i AC yn y pen arall. Gall cysylltiad MVDC fodoli rhwng dau rwydwaith trydan gwahanol a throsglwyddo pŵer rhyngddynt. Dyfais pŵer electronig yw trawsnewidydd, sy'n debyg iawn i wrthdroydd solar a geir mewn eiddo domestig sy'n newid yr allbwn pŵer DC o'r paneli solar i 230VAC fel y gellir ei gysylltu i'r prif gyflenwad.

Sut mae'n gweithio?

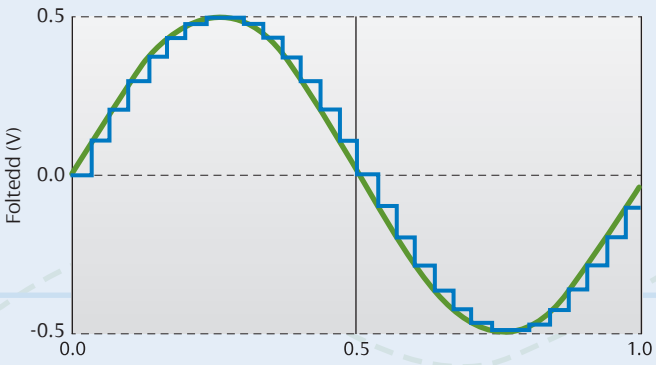
Gelwir y dechnoleg graidd a ddefnyddir mewn Angle-DC yn Dransistor Deubegynnol Giât Ynysedig (IGBT), sy'n ddyfais lled-ddargludydd sy'n gweithredu fel switsh colled isel, a gellir ei droi ymlaen a'i ddiffodd gyda signal rheoli. Fe'i defnyddir mewn elfen cylched a elwir yn 'falf' drawsnewid. Isod gallwn weld egwyddorion sylfaenol y gweithrediad, gyda'r lled-ddargludydd yn allbynnu folteddau ar 2 lefel ±1/2V. Os caiff yr IGBTau eu rhoi YMLAEN a'u DIFFODD mewn dilyniant, cynhyrchir tonffurf sgwâr 2 lefel, sy'n fras iawn yn ymdebygu i don sin. Gelwir hyn yn Drawsnewidydd Ffynhonnell Foltedd 2 lefel (2LVSC).



Er mwyn gwella'r donffurf, gellir ychwanegu mwy o lefelau foltedd drwy ychwanegu mwy o IGTBau (switshis). Gelwir y cynllun symlaf nesaf yn Drawsnewidydd Ffynhonnell Foltedd 3 lefel (3LVSC). Mae'r math yma o drawsnewidydd angen dwywaith cymaint o IGBTau a mwy o switshis. Hyd yn oed gyda thair lefel, mae'r don allbwn yn edrych yn wahanol iawn i'r don sin.



Ers 2003, mae ychwanegu mwy o lefelau wedi dod yn haws o ganlyniad i ddatblygu'r Trawsnewidydd Ffynhonnell Foltedd Aml-lefel Modiwlaidd (MMVSC). Mae pob falf yn y MMVSC yn cynnwys isfodiwlau trawsnewid annibynnol sy'n gweithredu fel 2LVSC. Gall MMVSCau gynnwys cannoedd o isfodiwlau, a folteddau allbwn ar gannoedd o wahanol lefelau o ganlyniad i hynny. Mae hyn yn galluogi i'r don sin gael ei brasamcanu'n llawer cywirach, fel y dangosir hynny yn y ffigwr ar y dde.

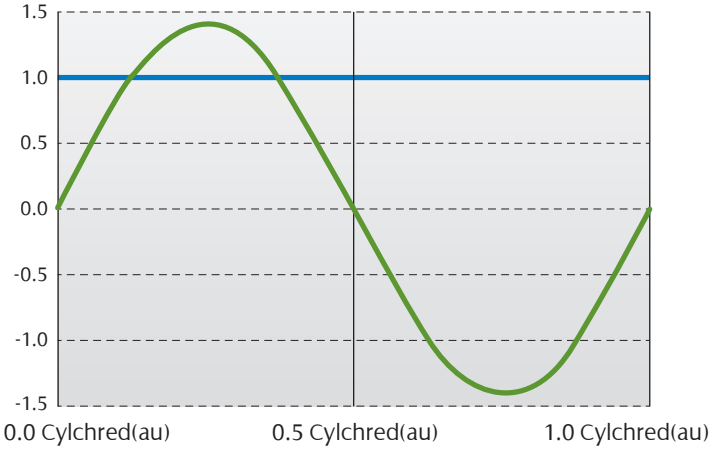


2 Trawsgludo ynni gyda

AC a DC, beth yw'r gwahaniaeth?

Mae'r rhan fwyaf o'n trydan yn cael ei gyflenwi gan ddefnyddio cerrynt eiledol (AC), sydd â foltedd a cherrynt sy'n amrywio, yn hytrach na cherrynt uniongyrchol (DC) cyson. Mae rhwydweithiau trydan wedi bod yn defnyddio AC ers yr 1880au hwyr oherwydd yr ystyriwyd bod hynny'n fwy effeithlon a rhatach na rhwydwaith DC.

Mae'r graff yn dangos y gwahaniaeth rhwng AC (y llinell las) a DC (y llinell goch). Yma mae'r pŵer a gyflenwir ym mhob cylchred yn union yr un fath yn achos cylchedau AC a DC oherwydd bod yr arwynebedd o dan y llinellau yn hafal (mae hyn yn cyfateb i'r pŵer a gyflenwir). Mae'r toniant yn y llinell AC yn golygu bod yn rhaid i begwn gwerth yr AC fod yn uwch na lefel y DC.



Er mwyn cynyddu'r pŵer a drosglwyddir drwy gebl AC, mae yna dri opsiwn:

1 Cynyddu uchafswm foltedd AC

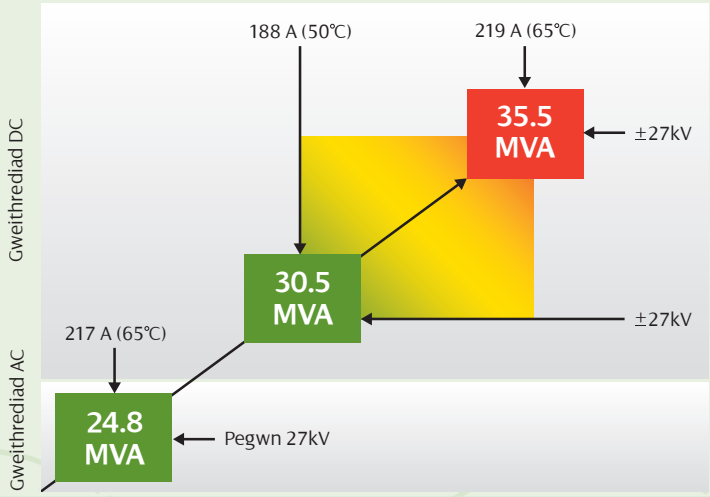
Ar ein rhwydwaith mae'r uchafswm foltedd yn cael ei bennu gan ynysiad y cebl . Er mwyn cynyddu'r foltedd yn y modd yma, byddai angen i ni osod cebl newydd a chysylltu i gylched foltedd uwch.

2 Cynyddu uchafswm cerrynt AC

Yn achos ceblau sy'n agosáu at eu capasiti cario cerrynt (h.y. terfyn thermol), nid yw cynyddu'r cerrynt AC yn bosibl heb orboethi'r dargludydd neu achosi difrod i'w ynysiad / gormod o ysigiad mewn llinellau uwchben. Er mwyn cynyddu terfynau thermol, byddai angen i ni osod ceblau neu linellau uwchben newydd sydd â dargludyddion mwy trwchus.

3 Cynnal yr un uchafswm foltedd a cherrynt, a newid o AC i DC

Rydym yn profi'r opsiwn yma drwy newid cylched ddwbl 40 oed o weithrediad AC i DC heb newid unrhyw asedau. Bydd osgled AC 33kV yn cael ei drosi i DC ±27kV fydd yn rhoi uchafswm cynnydd damcaniaethol o 43% mewn capasiti cebl. Fodd bynnag, oherwydd bod y ceblau'n hen a heb eu dylunio ar gyfer gweithrediad DC, bydd uchafswm tymheredd cebl yn cael ei ostwng o'r 65°C arferol i 50°C drwy ostwng yr uchafswm cerrynt DC o 219A i 188A. Hyd yn oed gyda'r cerrynt gostyngedig yma, gellir cynyddu 23% ar gapasiti'r cebl, o 24,8 MVA i 30.5 MVA. Felly, bydd y prosiect yn treialu defnyddio trawsnewidyddion MVDC ffynhonnell foltedd fel cylched cysylltiad DC.



Y broblem

Mae'r rhwydwaith 33kV yn agosáu at ei derfyn foltedd a thermol, ac mae dau o'r newidyddion grid (yn Amlwch a Chaergeiliog) yn gweithredu'n agos i'w derfyn thermol dan amodau gweithredu arferol. Mae'n debygol y byddwn yn croesi'r terfyn thermol o fewn y pedair blynedd nesaf os bydd y galw ar y rhwydwaith yn tyfu yn ôl y rhagolygon presennol. Bydd cynnal mwy o gynhyrchiant yn arwain at groesi'r terfynau foltedd uchaf ac yn arwain at broblemau sefydlogi rheolaeth foltedd ar yr Ynys.

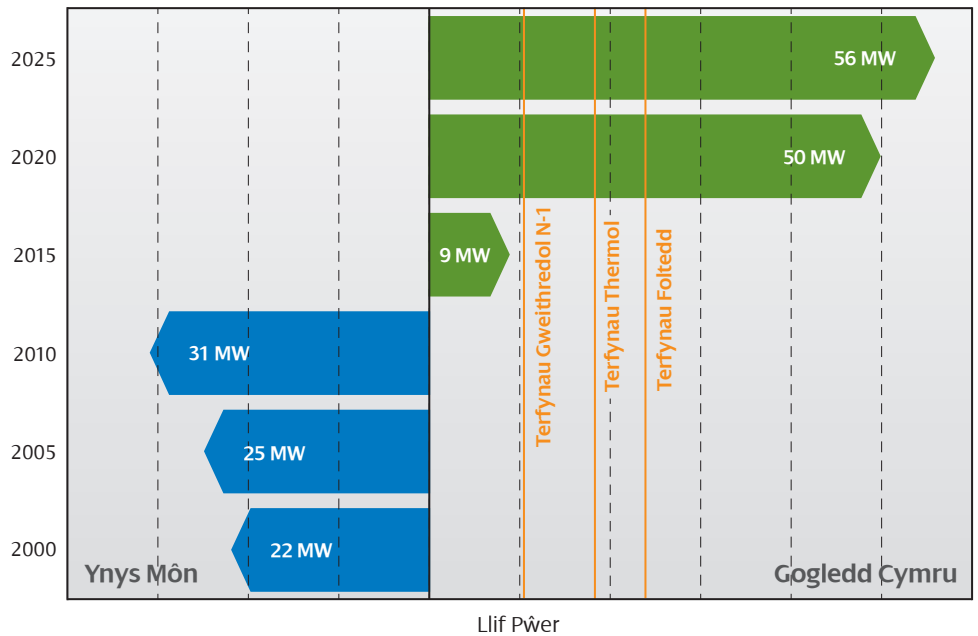
Yr ateb traddodiadol i'r broblem hon yw atgyfnerthu'r rhwydwaith drwy adeiladu seilwaith trydan newydd. Fodd bynnag, mae hwn yn opsiwn drud; mae'n aml yn golygu prosesau caniatâd cynllunio maith a gosod seilwaith trydan newydd yng nghanol ein tirluniau. Rydym yn archwilio a fyddai ateb arloesol yn ein galluogi i wneud y mwyaf o gapasiti ein rhwydwaith presennol gan osgoi'r angen i atgyfnerthu.

Y newyddbeth

Rydym yn treialu newyddbeth sy'n defnyddio Cerrynt Uniongyrchol Foltedd Canolig (MVDC) ar gylched 33kV bresennol rhwng Ynys Môn a thir mawr Gogledd Cymru. Drwy ddefnyddio MVDC gallwn reoli'r ongl wedd rhwng foltedd a cherrynt, sy'n golygu y gallwn reoli llif y pŵer ar draws y cysylltiad.

Mae newid y cebl presennol o weithrediad AC i DC yn galluogi i fwy o bŵer gael ei drosglwyddo gan ddefnyddio'r un dargludyddion cylched, fydd o bosibl yn caniatáu cynnydd o 23% mewn cyfanswm capasiti. Gallai'r cynnydd hwn mewn capasiti ohirio'r angen i atgyfnerthu rhwydweithiau â datrysiadau cebl a llinellau uwchben costus.

Bydd y cynnydd hwn mewn capasiti cylched a'r gallu i reoli llifoedd pŵer yn ein galluogi i gysylltu mwy o gynhyrchiant carbon isel i'r rhwydwaith 33kV. Bydd hynny hefyd yn helpu i ddatrys problem ansefydlogrwydd foltedd y rhwydwaith a achosir gan y cynnydd mewn cynhyrchiant a ddosberthir.



1 Cefndir

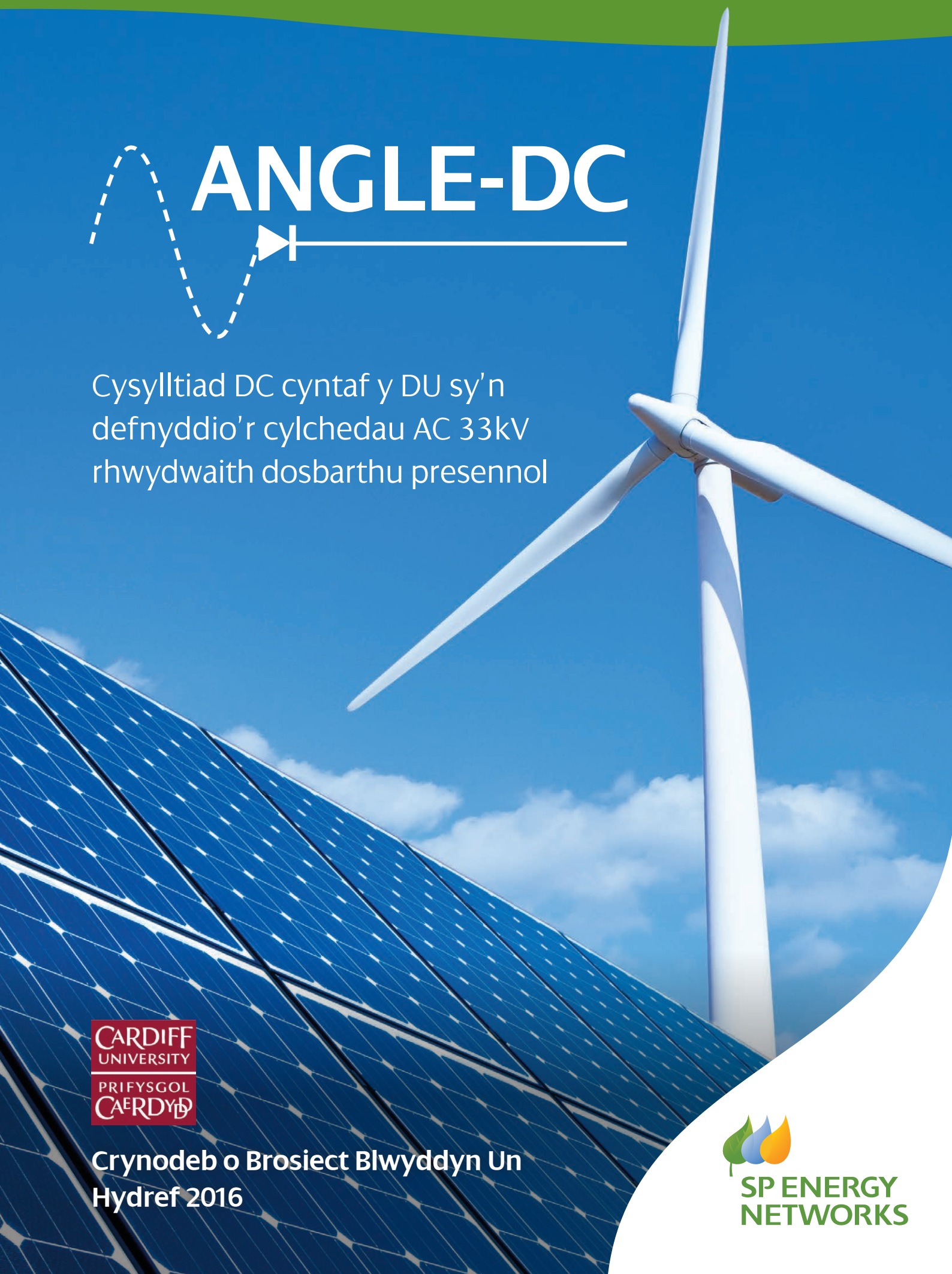
Mae Ynys Môn yng ngogledd Cymru wedi dod yn lleoliad pwysig ar gyfer cynhyrchu trydan. Yn ystod y deng mlynedd diwethaf, bu cynnydd sylweddol mewn cynhyrchu ynni carbon isel a ddosbarthir, yn cynnwys ynni gwynt, solar a llanwol. Rydym wedi gweld cynnydd o lefelau cymharol isel i tua 80MW heddiw, a bwriedir i gyfanswm cynhyrchiant ar yr ynys ddyblu ar ôl 2020.

Mae'r galw hefyd ar gynnydd. Mae hyn o ganlyniad i nifer o brosiectau adfywio mawr a chodi gorsaf niwclear newydd yn Wylfa; fydd yn arwain at nifer o ddatblygiadau cysylltiedig megis parc gwyddoniaeth newydd a thai i weithwyr, a bydd y cyfan yn cynyddu'r galw ar yr ynys.

Yn aml mae'r ynys yn cynhyrchu mwy o ynni na mae'n ei ddefnyddio, ac fel gweithredwr y rhwydwaith dosbarthu mae angen i ni gludo ynni dros ben yn aml i dir mawr Cymru. Cysylltedd cyfyngedig sydd gennym rhwng Ynys Môn a'r tir mawr, ac mae swm y cynhyrchiant a ddosberthir yn dechrau achosi problemau i'r rhwydwaith trydan.

ANGLE-DC

Cysylltiad DC cyntaf y DU sy'n defnyddio'r cylchedau AC 33kV rhwydwaith dosbarthu presennol



CARDIFF UNIVERSITY
PRIFYSGOL CAERDYDD

Crynodeb o Brosiect Blwyddyn Un
Hydref 2016

SP ENERGY NETWORKS