

EFFEKTELEKTRONIK

Dansk verdensklasseforskning baner
vej for grøn omstilling

Fotokrediteringer:
Frede Blaabjerg af GEP
Effektelektronik af Lars Horn
AAU af Lars Horn
Vindmølle af Shutterstock

Publikationen er udarbejdet af IRIS Group. En særlig tak til Frede Blaabjerg, Aalborg Universitet, Philip Carne Kjær, Vestas Wind Systems, Michael Tønnes, Danfoss Silicon Power GmbH, Bjørn Rannestad, KK Wind Solutions og Klaus Moth, CEES, for input til publikationen.

Marts 2020.

Indledning

Denne publikation er udarbejdet af IRIS Group for Aalborg Universitet i anledning af, at professor Frede Blaabjerg, Institut for Energiteknik, modtager The Institute of Electrical and Electronic Engineers' (IEEE) guldmedalje i maj 2020. Prisen regnes som en af verdens mest prestigefyldte priser inden for ingeniørvidenskab.

Frede Blaabjerg har været en pioner inden for effektelektronik i Danmark. Han har i de sidste 25 år stået i spidsen for en udvikling, hvor forskningen i effektelektronik på Aalborg Universitet er vokset fra ingenting til at være absolut verdensførende. I samme periode har Frede Blaabjerg og hans kollegaer haft et stort industrisamarbejde, der har haft markant betydning for væksten i dansk vindindustri og for udviklingen af nye, grønne forretningsområder i dansk industri som helhed.

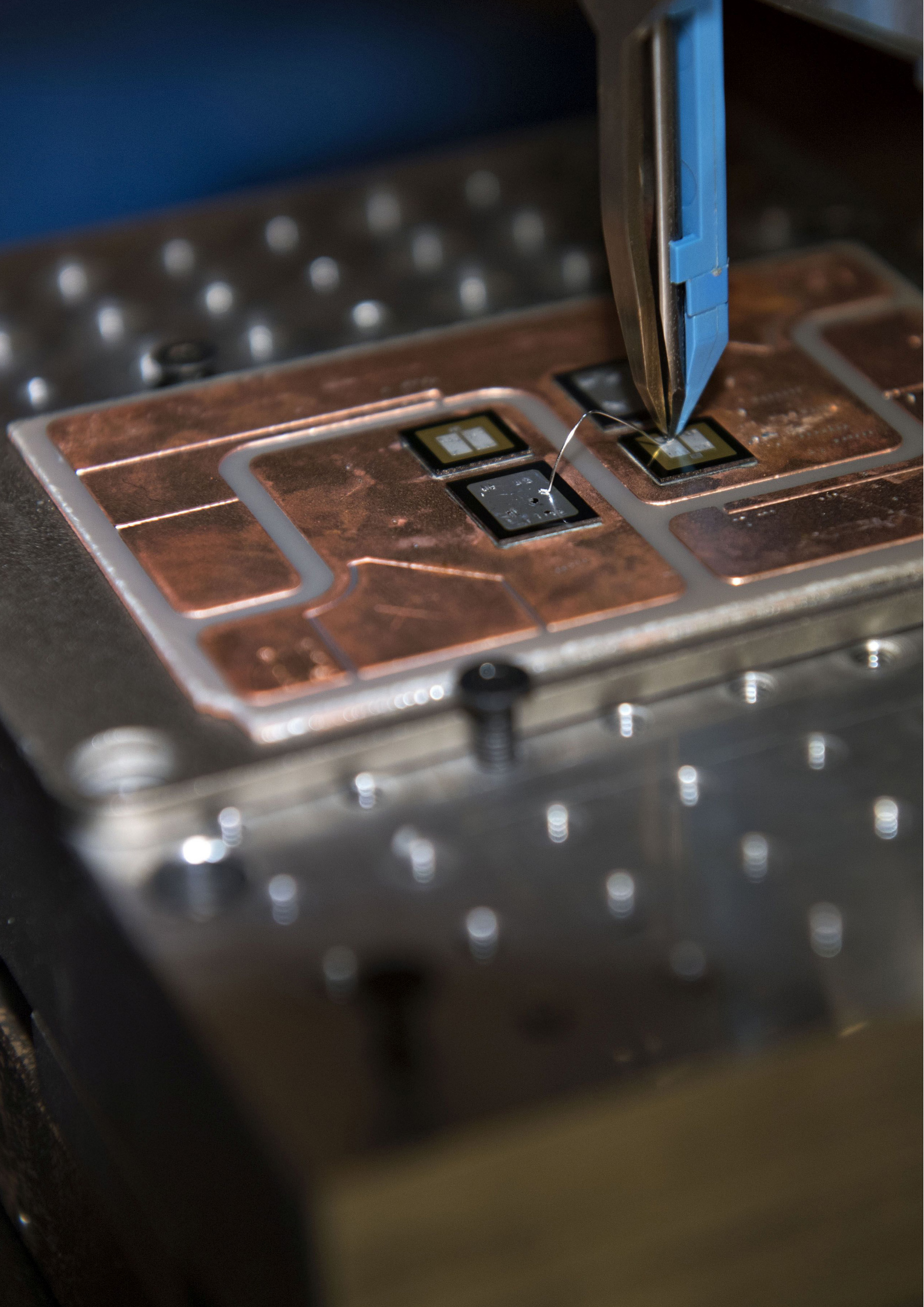
Publikationen beskriver indledningsvist, hvorfor effektelektronik er så vigtig en ingrediens i den grønne omstilling, og hvorfor universiteternes forskning er helt afgørende for at udvikle bedre effektelektronik.

Derefter uddybes den globale førerposition, som Aalborg Universitet og Frede Blaabjerg har opnået inden for effektelektronik.

Til sidst giver publikationen en række eksempler på, hvad samarbejdet med Institut for Energiteknik har betydet for dansk industri.

Hovedpointer i publikationen er:

- Frede Blaabjergs forskning har været helt afgørende for, at mere end 50 pct. af elektriciteten i dag kommer fra vedvarende energikilder i Danmark.
- Aalborg Universitet spiller en afgørende rolle for, at vindmøllers kapacitet er vokset med en faktor 200 siden begyndelsen af 1990'erne.
- Langt de fleste vindmøller og solcelleanlæg i verden indeholder teknologi, der bygger på principper udviklet af forskere på Institut for Energiteknik.
- Aalborg Universitets forskning har skabt grundlaget for flere tusinde jobs i dansk industri.
- Målt på bredt anerkendte kvalitetsmål er Frede Blaabjerg verdens førende forsker inden for ingeniørvidenskab.
- Hovedparten af Aalborg Universitets forskning i effektelektronik foregår i samarbejde med virksomheder i ind- og udland.



Effektelektronik er afgørende for den grønne omstilling

Hvis Paris-aftalen og det danske mål om en 70 pct. reduktion i CO₂-udledningen skal realiseres, er det afgørende, at vi omlægger vores energiforbrug. Fossile brændsler skal erstattes med vedvarende energikilder.

Elektricitet er den energiform, der er bedst egnet til at opfylde vores ambitioner om grøn omstilling. Det skyldes, at produktionen af elektricitet effektivt kan baseres på vedvarende energikilder som vind, sol og vandkraft. Allerede i dag produceres mere end 50 pct. af elektriciteten i Danmark ved brug af vedvarende energikilder, og det politiske mål er, at den andel skal op på 100 pct. inden 2030. På verdensplan udgør elektricitet 20 pct. af det samlede energiforbrug. Et tal, der vil vokse støt i de næste mange år i takt med, at en gennemgribende elektrificering af forbrug, produktion og transport i vores samfund vil finde sted.

Elektrificeringen, og dermed den grønne omstilling, er tæt knyttet til udvikling og anvendelse af effektelektronik. Det er således moderne effektelektronik, der sørger for, at strøm produceret via vedvarende energikilder effektivt kan sendes ud i elnettet og transporteres over lange afstande (fx fra havet). Det er også effektelektronik, der sørger for, at strøm kan omdannes til de mange forskellige former for energi, som apparater, elmotorer, batterier og applikationer baserer sig på. Effektelektronik er desuden grundlaget for, at én form for energi kan omdannes til en anden. Fx hvis strøm fra vedvarende energi skal omdannes til brint, der kan bruges i transportsektoren.

Hvad er effektelektronik, og hvor findes den?

Effektelektronik er teknologi, der bruges til at styre og omforme en elektrisk energi. Effektelektronik findes derfor alle steder i virksomheder, husholdninger og transportmidler, hvor der er behov for at omforme energi fra et elektrisk system til et andet – fx ved at justere energiens spænding, fase eller frekvens. Effektelektronik består af halvledersystemer og er indbygget i bl.a. strømforsyninger, omformere og nødstrømsanlæg.

Uden moderne effektelektronik ville en vindmølle eller en solcellefarm kun levere en brøkdel af den strøm, de leverer i dag. Det er også effektelektronik, der sørger for, at en mobiltelefon kan oplades, at en fleksibel robot udfører opgaver i fabrikshallen, at en elbil kan oplades og køre, og at en LED-pære kan lyse. I dag passerer ca. 90 pct. af elektricitet gennem effektelektronik.

I vindmølleindustrien udgør effektelektronik en helt afgørende teknologi bag opskaleringen af vindmøllers størrelse og kapacitet. Siden starten af 1990'erne er vindmøllers kapacitet steget fra omkring 50 kilowatt til 10-12 megawatt, det vil sige med en faktor 200. En vækst i kapaciteten, der er muliggjort af de frekvensomformere, der er udviklet til vindmøller. På samme vis har effektelektronik været afgørende for den stigende kapacitet inden for solcellefarme. Det er således i høj grad effektelektronik, der gør, at vedvarende energi i dag kan konkurrere med fx kul og gas.

Effektelektronik bygger bro mellem vedvarende energi og elnettet

Vindmøller skaber mest strøm, hvis deres omløbstal reguleres med vindens hastighed frem for en fast frekvens. For at føre strøm fra vindmøllens generator, der kører med variabelt omløbstal, til elnettet, der har en fast frekvens (50 Hz), er der i moderne vindmøller installeret effektelektronik i form af store frekvensomformere.

Samtidig sørger effektelektronik i vindmøllerne for at optimere produktionen af energi. Det er således effektelektronik, der gør, at vingernes position og omdrejningshastighed altid er optimale i forhold til vindstyrke og vindhastighed.

På tilsvarende vis er der mellem solcelleanlæg og elnettet indsat konvertere bestående af effektelektronik, der kan optimere solcellernes produktion og sende energien ind i elnettet.

Salget af effektelektronik på verdensmarkedet overstiger i dag 60 mia. USD, og effektelektronik indgår i salg af hardware til mere end 1.000 mia. USD. Det er tal, der vil stige kraftigt i takt med elektrificeringen af samfundet.

Effektelektronikken kommer også til at spille en nøglerolle i fremtidens intelligente energisystemer. Det er effektelektronik, der sørger for, at vi ikke er afhængige af at skulle forbruge energien, når vinden blæser, eller solen skinner. Dermed bliver effektelektronik, i samspil med apps og

smarte softwaresystemer, tandhjulet i fremtidens energisystem.

Det er fx effektelektronik, der omdanner el fra elnettets vekselstrøm til jævnstrøm, der kan lagres i fx et batteri. Og det er igen effektelektronik, der omsætter energien til vekselstrøm, når de intelligente systemer kan se, at det kan betale sig at bruge energien, fx fordi belastningen af elnettet er lav.

Endelig er effektelektronik en forudsætning for at udvikle løsninger, hvor strøm produceret af fx vindmøller kan omdannes til brændstof. Ved at omdanne strøm til methanol og brint kan fremtidens transport med fly, skibe og lastvogne foregå uden brug af fossile brændsler. Også her er effektelektronik forudsætningen for, at energien kan omdannes fra en form til en anden.

God forskning er altafgørende

Moderne effektelektronik er ikke en standardvare. Der ligger store investeringer i forskning og udvikling på universiteter og i virksomheder bag den effektelektronik, der er på markedet i dag. Og universiteternes rolle bliver endnu vigtigere i de kommende år.

Det skyldes for det første, at universiteterne mestrer de mange fagdiscipliner, det kræver at udvikle løsninger inden for effektelektronik. Forskning i effektelektronik kræver viden om strøm, magnetisme, termiske forhold, materialer og grundlæggende fysik. For det andet skal universiteterne uddanne de ingeniører, der kan rekrutteres til virksomhedernes udviklingsafdelinger.

” Virksomhederne kommer i deres udviklingsarbejde hurtigt ind på områder, hvor de ikke selv har tilstrækkelig viden. Der er brug for universiteternes åbenhed og for deres viden, når de store teknologiske udfordringer inden for effektelektronik skal håndteres.”

- Klaus Moth, direktør, Center for Elektriske Energisystemer

Sådan anvendes effektelektronik



Inden for industriproduktion anvendes effektelektronik til at styre hastighed og energiforbrug i moderne produktionsanlæg.



Effektelektronik indgår i bunden af LED-pærer mhp. at omforme spændingsniveauet fra 230 volt vekselspænding til jævnspænding med få volt.



Robotter kan i dag gøres autonome og mobile gennem effektelektronik, der regulerer den elektriske energi til robotens mange forskellige funktioner.



I pumper bruges effektelektronik sammen med effektive motorer til at reducere energitabet og optimere energiforbruget.



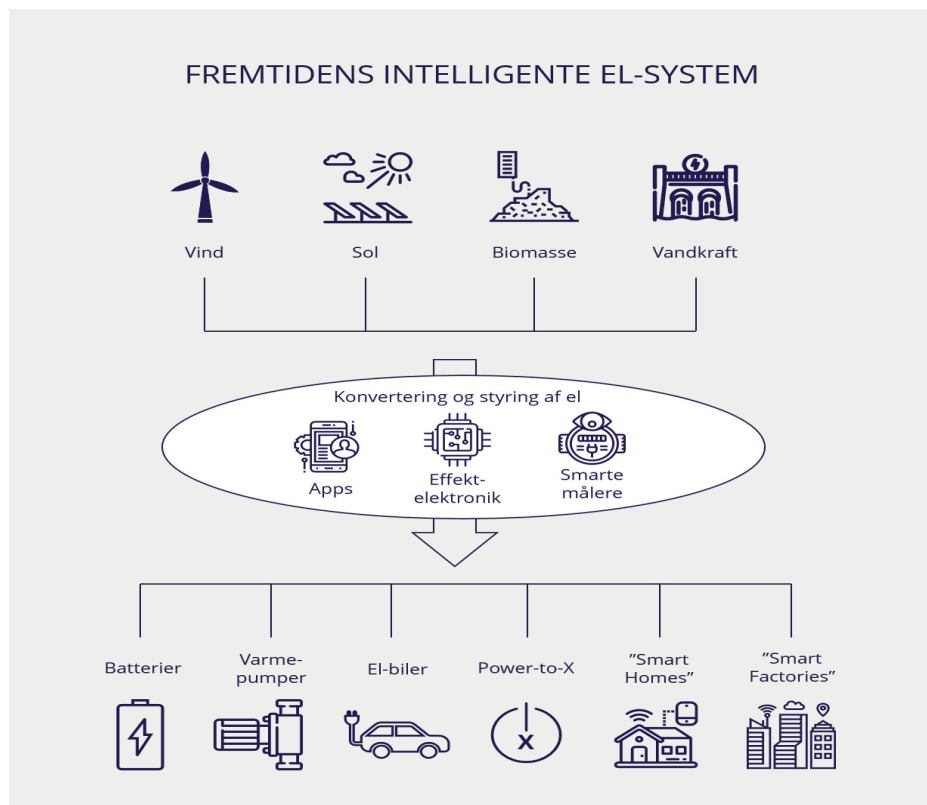
Effektelektronik anvendes til audioforstærkere, så de fylder og vejer mindre samt bruger mindre energi.



I elbiler bruges effektelektronik til at omforme vekselstrøm til jævnstrøm, som lagres i bilernes batterier. Når bilen kører, konverteres strømmen fra batterierne igen ved hjælp af effektelektronik tilbage til vekselstrøm for at drive motoren.



I datacentre er det effektelektronik, der omformer og tilpasser energien til den form, som en mikrochip forlanger. Det er også effektelektronik, der sikrer, at der ikke sker afbrydelser, og som minimerer tabet af varme og brugen af energi.



Hvis den grønne omstilling og elektrificeringen skal lykkes, er der blandt andet brug for forskning på universiteterne inden for følgende områder:

- Pålidelighed.** Elektronik går i stykker, og effekt-elektronik skal i fremtidens løsninger kunne holde i mange år. Der er derfor brug for forskning i materialer og komponenter, der tåler fx høj varme og fugt, og som kan holde meget længere tid end de produkter, vi kender i dag. Og der er brug for at forske i, hvordan man kan beregne og teste levetider for nye komponenter og systemer.
- Overvågning.** Der skal udvikles løsninger, der overvåger elektronikken og kan forudsige, hvornår komponenter skal skiftes ud. Fx på en havvindmølle.
- Større effekter.** Fremtidens effektelektronik skal kunne konvertere større og større mængder af strøm og transportere strømmen over lange afstande uden varmetab. Det kræver forskning i nye typer af effektelektronik (power-konvertere) med langt større kapacitet end dem, vi kender i dag.
- Stabilitet i elnettet.** Der er brug for forskning i, hvordan der kan sikres stabilitet i elnettet i takt med, at en stigende andel af strømmen kommer fra vedvarende energi.



Verdens førende forskningsmiljø findes i Aalborg

Der forskes i effektelektronik på mange tekniske universiteter rundt omkring i verden. Men det højst rangerede miljø af dem alle findes på Aalborg Universitet. Og det er også her, vi finder verdens førende forsker i effektelektronik – professor Frede Blaabjerg.

Historien tog sin begyndelse i 1995, da en ung Frede Blaabjerg afleverede sin ph.d.-afhandling. Han blev hurtigt ansat som adjunkt på Institut for Energiteknologi, hvor han fortsatte med at forske i, hvordan effektelektronik kan anvendes til at styre produktion i industrien og reducere forbruget af energi. Allerede i 1998 blev Frede Blaabjerg udnævnt til professor, og han opbyggede en støt voksende forskergruppe. I 00'erne udviklede det store forskningsfelt på Aalborg Universitet sig til at blive effektelektronik inden for vind- og solenergi.

I 2006 blev Frede Blaabjerg udnævnt til dekan. Det betød en periode med mere fokus på ledelse og lidt mindre på forskning. Men under Frede Blaabjerg havde der udviklet sig en gruppe af meget talentfulde forskere, der var klar til at tage over og udvikle egne forskergrupper. I dag huser Institut for Energiteknik mere end 200 forskere inden for effektelektronik, fordelt på fem forskergrupper.

Frede Blaabjerg vendte i 2010 tilbage som fuldtidsforsker, og hans gruppe er i dag den største med næsten 100 forskere. Mange af forskerne kommer fra førende, udenlandske universiteter.

Frede Blaabjergs vigtigste bidrag til både den globale forskning og den grønne omstilling er, at han har udviklet de principper, der gør det muligt at omforme og styre energi fra vindmøller og solcelleanlæg, så systemerne kan tilsluttes elnettet.

Frede Blaabjergs forskergruppe fokuserer i dag på to områder – nemlig pålidelighed og stabilitet i elnettet.

Frede Blaabjerg er verdens mest citerede forsker

Forskerne fra Aalborg publicerer mange artikler i førende

Pålidelighed af effektelektronik

Grænserne for effektelektronik flyttes hele tiden. Komponenterne skal holde til maksimal belastning i kæmpe-møller, megabatterier og i områder med ekstrem kulde, varme eller fugtighed. AAU forsker derfor i komponenters pålidelighed under forskelle forhold samt i levetiden for effektelektroniske systemer.

Forskningen er finansieret af en række danske og internationale virksomheder samt af midler fra bl.a. Innovationsfonden. Herudover har AAU modtaget 31 mio. kr. fra staten til at udvikle verdens mest avancerede center til test af effektelektronik. I centret kan effektelektronikken udsættes for forskellige stressfaktorer som temperatur, fugt, vibrationer og spændingsforskelle.

internationale tidsskrifter, og artiklerne er blandt de mest citerede i verden inden for effektelektronik. Samtidig er Frede Blaabjerg den mest citerede forsker inden for ingeniørvidenskab de sidste ti år!

Aalborg Universitets unikke position inden for effektelektronik afspejler sig bl.a. i følgende:

- Aalborg Universitet er rangeret som verdens næstbedste universitet inden for det brede fagområde "elektrisk og elektronisk ingeniørvidenskab", der bl.a. dækker effektelektronik.¹
- Forskere fra Aalborg Universitet publicerer ca. 10 pct. af alle forskningsartikler, der optages i de tre mest prestigefyldte internationale tidsskrifter inden for effektelektronik.²
- Den internationale forskningsdatabase, Web of Science, udarbejder hvert år en liste over højt citerede forskere globalt. Danmark har 62 forskere på listen. Fem af disse forskere er effektelektronikforskere fra Aalborg Universitet.

¹ Kilde: US News & World Report

² Kilde: Aalborg Universitet

Mange ærespriser til Frede Blaabjerg

De imponerende forskningsresultater har også ført til en lang række internationale priser. Fx modtog Frede Blaabjerg i efteråret 2019 "Global Energy Prize" i Moskva. Prisen uddeles hvert år til en eller flere forskere, der har udmærket sig ved at levere fremragende forskning på energiområdet. Den lanceres som "energiforskningens nobelpris", og blandt de tidligere modtagere af Global Energy Prize er også flere nobelprismodtagere inden for ingeniørvidenskab.

I maj 2020 får Frede Blaabjerg overrakt medaljen "IEEE Edison Medal". Prisen er den ældste og en af de mest eftertragtede priser inden for ingeniørvidenskab. Den er blevet uddelt en gang årligt siden 1904 og gives til forskere, der gennem deres karriere har skabt en lang række videnskabelige nybrud. Det er første gang, prisen uddeles til en forsker inden for effektelektronik.

Udpluk af Frede Blaabjergs priser og anerkendelser

- IEEE Edison Gold Medal, 2020
- Global Energy Prize, 2019
- Æresdoktor ved Tallinn University of Technology, Estland, 2018
- Times Higher Educations pris for verdens mest citerede forsker inden for ingeniørvidenskab, 2016
- IEEE William E. Newell Power Electronics Award, 2014 (højeste pris inden for effektelektronik)
- Villum Kann Rasmussens Forskningspris, 2014 (Villum Fondens forskningspris)
- Udnævnt til præsident for IEEE Power Electronics Society, 2019-20 (global sammenslutning af forskere i effektelektronik med 10.000 medlemmer)
- Modtaget mere end 30 priser for bedste videnskabelige artikler



Frede Blaabjerg overrækkes Global Energy International Prize i Moskva. Foto: GEP



Samarbejde med Aalborg Universitet fører til eksport af grøn teknologi

Frede Blaabjerg og hans kollegaer er ikke alene i verdenseliten, når det gælder forskning. Miljøet er også det mest attraktive i verden for virksomheder, der ønsker at samarbejde med forskere om at udvikle og teste ny effekt-elektronik.

Aalborg Universitet indgår i en lang række samarbejder med virksomheder, der udvikler effektelektronik til industri, energiproduktion og elbiler. Mange virksomheder har endda forskere placeret på Aalborg Universitet for at være helt tæt på forskerne og faciliteterne på Institut for Energiteknik. I dag samarbejder instituttet med mere end 10 udenlandske virksomheder.

Det store industrielle samarbejde kan aflæses i de bevilninger, der er hentet i de senere år. Siden 2011 har Højteknologifonden og senere Innovationsfonden støttet tre forskningsprojekter inden for effektelektronik med et samlet budget på ikke mindre end 235 mio. kr. Aalborg Universitet, Danfoss, Grundfos, Vestas, KK Wind Solutions, Danfysik og Horsodan er de primære partnere i projekterne.

Vindmølleindustrien trækker på Aalborg Universitet

For få år tilbage var effektelektronik en akilleshæl i vindmøller. Teknologien blev hentet fra tilsvarende systemer i produktionsindustrien. Men komponenterne gik ofte i stykker pga. overbelastning, fugt, lynnedslag, transport og temperaturudsving.

Det førte til et tæt og langvarigt samarbejde mellem vindmølleindustrien og Aalborg Universitet. Samarbejdet havde to formål. For det første havde industrien brug for at kunne rekruttere ingeniører og forskere med specialistviden om effektelektronik. Derfor var der et tæt samarbejde om både at tilpasse uddannelsen til vindindustriens behov og om at uddanne flere ph.d.'er. Ingeniørstuderende kom også i praktisk og gennemførte eksamensprojekter i vindindustrien.

”Frede Blaabjerg og Aalborg Universitet har haft meget stor betydning for vores udvikling. Uden samarbejdet med Aalborg Universitet havde flere af vores produkter ikke eksisteret i dag. Universitetet er også en meget vigtig videnspartner, når det handler om test og modellering af nye teknologier. Og så er det en meget stærk reference at have Aalborg Universitet bag, når vi går på markedet med nye produkter.”

- Bjørn Rannestad, Senior Specialist, KK Wind Solutions

For det andet har de to parter samarbejdet om at udvikle bedre teknologier og produkter. For ti år siden var fokus især på udvikling af komponenter, modellering og simulering. I dag samarbejdes der bl.a. om pålidelighed, test af nye komponenter og stabilitet i elnettet.

Der er også et meget tæt samarbejde om at udvikle mere effektive frekvensomformere. Der samarbejdes bl.a. om udvikling af materialer, der er mere robuste og har en højere spænding.



Foto: Niels Krogh

” Institut for Energiteknik har været helt afgørende for Vestas’ forskning og produktion af frekvensomformere til vindmøller de seneste 20 år. Uden samspillet med Aalborg Universitet kunne meget af vores udvikling og produktion af effektelektronik være endt i udlandet eller outsourcet til tredjepart. I dag beskæftiger vi 700 mand inden for effektelektronik alene i Danmark, og vi har nået en omsætning på frekvensomformere i mega-watt klassen, som er større end nogen anden virksomhed globalt.”

- Philip Carne Kjær, Chief Specialist, Vestas Wind Systems

Tæt makkerskab med Danfoss

I årene efter Frede Blaabjergs ph.d.-afhandling indledte Danfoss og Aalborg Universitet et tæt samarbejde. Danfoss så tilbage i 1990’erne et stort potentiale i effektelektronik og havde brug for et universitet, der både kunne levere forskning og uddanne ingeniører inden for effektelektronik.

Aalborg Universitet og Danfoss udviklede sammen et såkaldt ”professorprogram”. Målet var at skabe et forskningsmiljø i international topklasse og samtidig udbyde en verdensklasseuddannelse med topundervisere. Programmet betød, at Aalborg Universitet blev i stand til at tiltrække førende forskere fra andre lande. Samtidig igangsatte de to parter flere fælles forskningsprojekter. Det var med dette afsæt, at Aalborg Universitet gik fra at være et lokalt til et internationalt miljø inden for effektelektronik.

For Danfoss betød samarbejdet, at virksomheden kunne trække højt kvalificerede medarbejdere til Danfoss Drives, der udvikler frekvensomformere til industrien. Danfoss’ frekvensomformere bruges bl.a. i pumper, styring af fabriksanlæg og i transportbånd. Divisionen omsætter i dag for ca. 10 mia. kr., og dens udvikling er i høj grad knyttet til samarbejdet med Aalborg Universitet.

Samarbejdet mellem Danfoss og Aalborg Universitet udviklede sig til andre forretningsområder. Fx så Danfoss for

nogle år tilbage et nyt forretningspotentiale i at udvikle en såkaldt inverter inden for brændselsceller, der kunne anvendes til at generere el på nettet fra vedvarende energi. Aalborg Universitet blev kontaktet for et samarbejde, og universitetet udviklede en prototype og beskrev principperne for løsningen. Det betød ifølge Danfoss en løsning med en meget høj virkningsgrad, der var let at synkronisere med elnettet. Siden blev løsningen udskilt i et selvstændigt selskab, der blev opkøbt af den tyske virksomhed SMA.

I dag har Danfoss et tæt samarbejde med Aalborg Universitet om at udvikle principperne bag næste generation af frekvensomformere, der skal anvendes i bl.a. pumper og industrianlæg. Det er Danfoss’ forventning, at de nye teknologier vil blive markant bedre, fylde mindre og være mere energieffektive end de produkter, der er på markedet i dag. Samtidig vil de blive intelligente, så de selv kan forudsige, hvornår fejl vil opstå.

” Samarbejdet med Aalborg Universitet betød, at vi fik uddannet folk med den rigtige profil og de rette kompetencer. Det var helt afgørende for, at vi kunne udvikle forretningen. Jeg vil vurdere, at ca. 25 pct. af den samlede forretning i Danfoss i dag er knyttet til effektelektronik, og den andel vil kun blive større i takt med elektrificeringen.”

- Michael Tønnes, R&D Director, Danfoss Silicon Power

AALBORG UNIVERSITET

FREDRIK BAJERS VEJ 7K | 9220 AALBORG Ø
AAU@AAU.DK | AAU.DK

IRIS GROUP

JORCKS PASSAGE 1B, 4. SAL | 1162 KØBENHAVN K
IRISGROUP@IRISGROUP.DK | WWW.IRISGROUP.DK