

16. Η πρόοδος στα φωτοβολταϊκά και εξειδικευμένα θέματα

Satheesh Krishnamurthy, OPEN University, UK

Μαθησιακά αποτελέσματα

Μετά την ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου, ο φοιτητής θα πρέπει να είναι σε θέση να κατανοήσει τα παρακάτω:

1. Την πρόοδο των υλικών σε φωτοβολταϊκά συστήματα και εναλλακτικές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών
2. Τα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα και την εξέταση των τεχνικών χαρακτηριστικών τους
3. Την πρόοδο στην τεχνολογία αντιστροφών

Οι πρόοδοι στα υλικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η παγκόσμια ετήσια συνολική κατανάλωση όλων των μορφών ενέργειας αυξήθηκε περισσότερο από δέκα φορές κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα, και κατά το έτος 2011 η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας ήταν κοντά στα 518.546 και 520.272 Τετρακισεκατομμύρια Btu, αντίστοιχα. Αυτό αυξήθηκε σε 537.266 και 524.076 Τετρακισεκατομμύρια Btu αντίστοιχα, το 2012, όπως εκτιμάται από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA) [1]. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν αρκετά σημαντικές και επιζήμιες επιπτώσεις στο περιβάλλον που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, ως εκ τούτου, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για μετάβαση σε καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδραυλική, η παλιρροιακή και η γεωθερμική ενέργεια. Τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως ηλιακά φωτοβολταϊκά, έχουν προβληθεί ως εναλλακτική τεχνολογία για τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια και η προβλεπόμενη εξάντληση των μη ανανεώσιμων πηγών, όπως τα ορυκτά καύσιμα, μέχρι το τέλος του αιώνα, προέτρεψε τους ερευνητές να αναπτύξουν την ηλιακή ενέργεια ως μια καθαρή και άφθονη μορφή ενέργειας. Η συνολική συνεισφορά της παγκόσμιας ενέργειας από φωτοβολταϊκά ήταν <1% το 2013 και προβλέπεται να αυξηθεί σε ~16% ως το 2050 [2]. Ωστόσο, η ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία πυριτίου έχει εγγενείς άλυτες προκλήσεις που περιορίζονται από τις ιδιότητες του υλικού, με την προβλεπόμενη θεωρητική απόδοση 33% και, ως αποτέλεσμα, η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών περιορίζεται από την πρώτη ύλη. Παρά το γεγονός ότι υπήρξε σημαντική έρευνα και ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η απόδοση μόλις

και μετά βίας αυξάνεται. Προκειμένου να ανταποκριθεί στις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις μέχρι το 2020 και έπειτα, οι ερευνητές ψάχνουν για διασπαστική εναλλακτική τεχνολογία στα συμβατικά φωτοβολταϊκά πυριτίου.

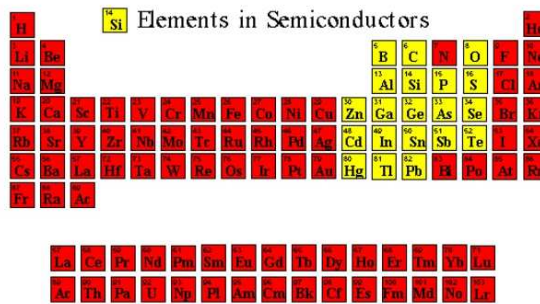
Τα ηλιακά στοιχεία γενικά κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικές γενιές με βάση τα απαιτούμενα υλικά για τη σύνθεση τους, τις εφαρμογές και τις εμπορικές προοπτικές. Η τεχνολογία πυριτίου πρώτης γενιάς κυριαρχεί σήμερα στον κόσμο της αγοράς φωτοβολταϊκών, που χρησιμοποιείται από ~ 90% των εγκαταστάσεων. Το καλύτερο εργαστηριακό ρεκόρ απόδοσης μετατροπής ισχύος για ηλιακά στοιχεία πυριτίου είναι ~ 25% για απλά ηλιακά στοιχεία και ~ 22% για πλαίσια, με την απόδοση να εξαρτάται από την ποιότητα του πυριτίου που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό. Οι συσκευές αυτές είναι αξιόπιστες, καθώς και σταθερές εκ φύσεως, αλλά πάσχουν από τα μειονεκτήματα του υψηλού κόστους παραγωγής, καθώς και την εφαρμογή σε ηλιακά πλαίσια & το θεωρητικό όριο Shockley Queisser της αποτελεσματικότητας.

Τα ηλιακά στοιχεία δεύτερης γενιάς αφορούν κυρίως άμορφου και λεπτού υμενίου τεχνολογίες όπως το άμορφο πυρίτιο, αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), ινδισεληνιούχος χαλκός (CIGS) με απόδοση ~ 21% [1] και χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Οι σύνθετες διαδικασίες με βάση το κενό για την επεξεργασία των υλικών και επεξεργασίες υψηλής θερμοκρασίας για την κατασκευή των ηλιακών στοιχείων 2ης γενιάς, καθώς και (και το πιο σημαντικό) η διαθεσιμότητα των υλικών και ως εκ τούτου το κόστος, τα καθιστούν λιγότερο ελκυστικά για τους σκοπούς της παραγωγής σε μεγάλη κλίμακα. Ωστόσο, 2ης γενιάς λεπτού υμενίου ηλιακά στοιχεία έχουν μια εξειδικευμένη αγορά σε ορισμένους κλάδους, όπως οι ευέλικτες ηλεκτρονικές εφαρμογές.

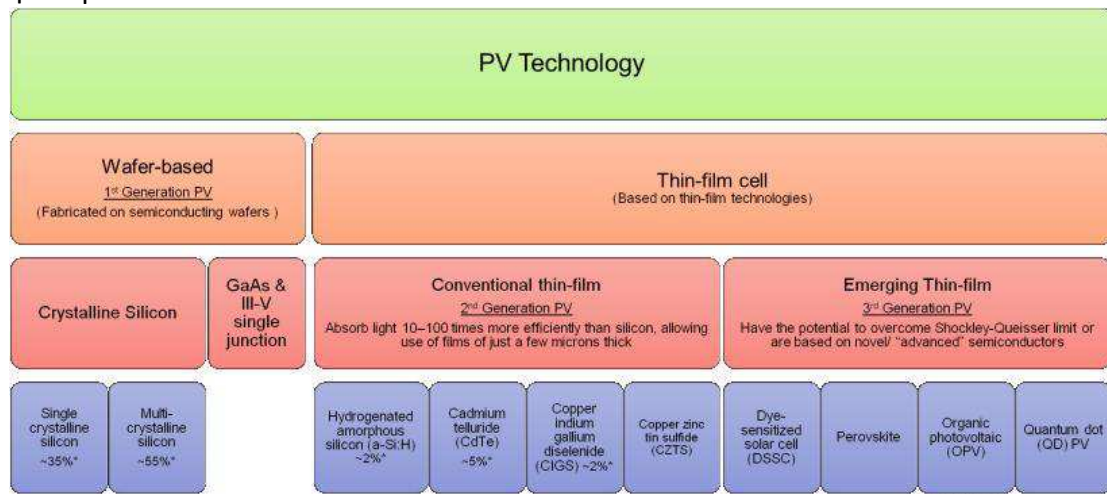
Από την 1η έως τη 2η γενιά ηλιακών στοιχείων, η μείωση του κόστους πήρε ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, αλλά το κόστος δεν είναι ακόμη αρκετά χαμηλό για σημαντική εμπορική αξιοποίηση από τους καταναλωτές ως αποτέλεσμα των εγγενών προβλημάτων με αυτές τις συσκευές.

Τα ηλιακά στοιχεία τρίτης γενιάς που βασίζονται σε νανοδομημένα υλικά από τεχνικές κατασκευής χαμηλού κόστους έχουν προσελκύσει περισσότερη προσοχή λόγω της απλοποιημένης διαδικασίας κατασκευής, της διαθεσιμότητας των υλικών και της ανταγωνιστικότητας του κόστους. Αυτά έδωσαν κίνητρα σε διάφορες ερευνητικές κοινότητες να αναπτύξουν λύσεις που, τελικά, θα αντιμετωπίσουν όχι μόνο τις βασικές προκλήσεις για τη διαθεσιμότητα υλικών, αλλά και τη φθηνή παραγωγή και υψηλή απόδοση. Τα ηλιακά στοιχεία τρίτης γενιάς αποτελούνται από διαφορετικούς τύπους συσκευών, όπως τα ηλιακά στοιχεία ευαισθητοποιημένα χρωστικής (DSSCs), οργανικά ηλιακά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων πολυμερών συσκευών, ευαισθητοποιημένα ηλιακά στοιχεία κβαντικών ακίδων (DSSCs), περοβσκίτες και συσκευές πολλαπλών διαδοχικών στρώσεων με στοιχεία άμορφου πυριτίου ή αρσενιούχου γαλλίου GaAs. Ένας από τους πρωταρχικούς υποψηφίους με μια κάθετη αύξηση της αποδοτικότητας είναι τα πρόσφατα υλικά περοβσκίτη που έχουν αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση λόγω του κόστους τους και της υψηλής απόδοσης.

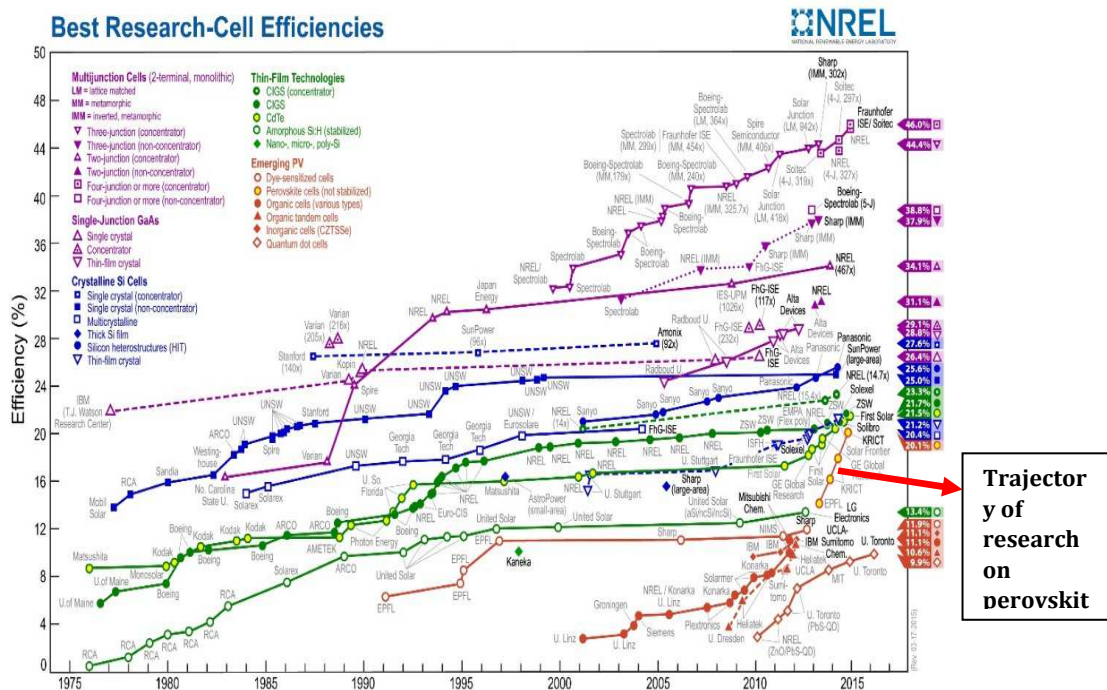
Photovoltaic Materials



Εικόνα 1. Τα στοιχεία ημιαγωγών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φωτοβολταϊκά υλικά



Εικόνα 2. Ηλιακά στοιχεία διαφορετικών γενεών που εμφανίζονται όπως συζητούνται στην ενότητα.



Trajectory of research on perovskite

Εικόνα 3. Διάγραμμα των καλύτερων στοιχείων και τεχνολογιών που έχουν ερευνηθεί [1].

Η εικόνα 3 δείχνει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση από διαφορετικά υλικά ηλιακών στοιχείων. Μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι η πρόσφατη αύξηση των ηλιακών στοιχείων περοβσκίτη είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα και ταχέως αναπτυσσόμενη, όπως πολλές επενδύσεις που γίνονται τη στιγμή αυτή σε αυτή την τεχνολογία.

Τα ηλιακά στοιχεία περοβσκίτη (PSCs) είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία, η οποία έχει δημιουργήσει σήμερα τεράστιο ενδιαφέρον λόγω της πληθώρας από συναρπαστικές ιδιότητες και την προοπτική μιας χαμηλού κόστους βιώσιμης εναλλακτικής λύσης για το πυρίτιο. Ανόργανα-οργανικά υβριδικά PSCs μαζί με 2-διαστάσεων (2D) νανοδομές ωθούν την επιστήμη και την τεχνολογία πέρα από την εποχή του πυριτίου, φέρνοντας αυτά τα υλικά και τις προκλήσεις τους από την ακαδημία στη βιομηχανία και, εν τέλει, στην κοινωνία. Μόνο πρόσφατα, έντονη έρευνα στον τομέα αυτό επέτρεψε τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας αυτών των συσκευών πέραν του 20% μέσα σε διάστημα λίγων ετών, όπως φαίνεται στην εικόνα 3. Δυστυχώς, η εμπορευματοποίηση των συστημάτων αυτών είναι ακόμα αρκετά μακριά λόγω των εγγενών προκλήσεων που συνδέονται με τα οργανικά μέρη σε αυτές τις υβριδικές συσκευές περοβσκίτη.

Η ανάπτυξη των ηλιακών στοιχείων περοβσκίτη κερδίζει έδαφος μαζί με τις συμβατικές τεχνολογίες κρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου, καθώς και τα αναδυόμενα οργανικά φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις μοναδικές ιδιότητές τους, τις χαμηλού κόστους διαδικασίες κατασκευής και την ευκολία της διαθεσιμότητας των οργανικών-ανόργανων υβριδικών υλικών που απαιτούνται για τη σύνθεσή τους. Η έννοια της ενσωμάτωσης του περοβσκίτη ως ευαισθητοποιητή έχει προκύψει από τον τομέα της DSSCs, όπου μια φωτοαπορροφητική βαφή προσροφημένη στην επιφάνεια ενός μεσοπορώδους αγωγού η-τύπου και συμπληρωμένη με ένα ηλεκτρολύτη οξειδοαναγωγής, λειτουργεί αποτελεσματικά ως ένα ηλιακό στοιχείο.

Συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Εκτός από τα επίπεδα πλαίσια ή εύκαμπτων λεπτών υμενίων, ένας άλλος τρόπος για να πάρετε ενέργεια από το φως του ήλιου είναι με κάτοπτρα ή φακούς Fresnel, συγκεντρώνοντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία πάνω στα στοιχεία. Αυτή η μορφή έχει ένα μοναδικό πλεονέκτημα - ανάλογα με την αναλογία συγκέντρωσης, μόνο μια πολύ μικρότερη περιοχή απαιτείται για το ίδιο αποτέλεσμα (μεταβολή μεταξύ δύο έως αρκετές εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες φορές). Το σύστημα συγκέντρωσης πρέπει να έχει ένα άνοιγμα ίσο με εκείνο της ισοδύναμης διάταξης επίπεδης πλάκας για να συλλέξει το ίδιο ποσό της εισερχόμενης ενέργειας.

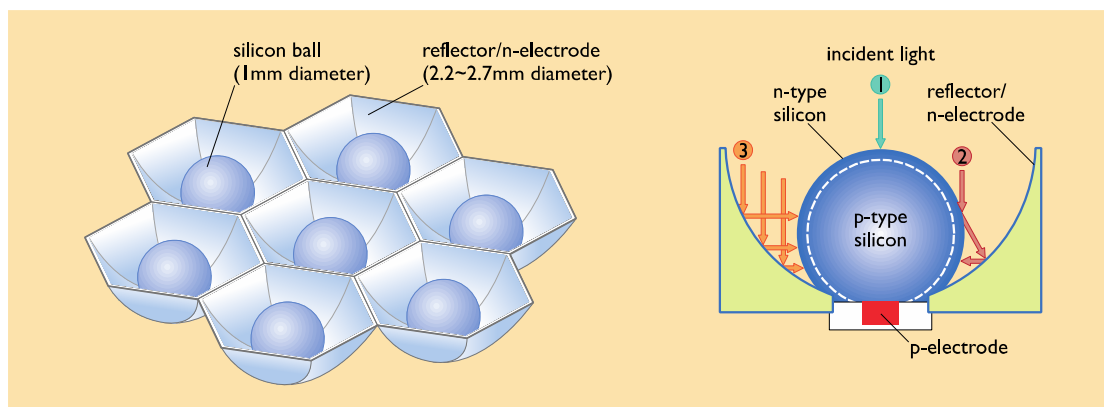
Τα συστήματα με τα υψηλότερα ποσοστά συγκέντρωσης χρησιμοποιούν αισθητήρες, κινητήρες και ελέγχους που θα τους επιτρέψουν να παρακολουθούν τον ήλιο σε δύο άξονες (αζιμούθιο και ύψος), διασφαλίζοντας ότι τα στοιχεία λαμβάνουν πάντα το μέγιστο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα στοιχεία εκτίθενται σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από ό,τι σε

μια συστοιχία επίπεδων πλαισίων, που είναι ένας λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται στοιχεία με πολλαπλή διασταύρωση III-V. Συστήματα με χαμηλότερες αναλογίες συγκέντρωσης συχνά παρακολουθούν τον ήλιο μόνο σε έναν άξονα και μπορεί να έχουν απλούστερους μηχανισμούς παρακολούθησης.

Οι περισσότεροι συγκεντρωτικοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό έχει δυσμενή επίδραση στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες όπου σχεδόν το ήμισυ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι διάχυτη, αλλά σε κλίματα με υψηλότερες αναλογίες της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικά.

Σφαίρες πυριτίου

Στη δεκαετία του 1970, στις ΗΠΑ η εταιρία Texas Instruments (TI) ανέπτυξε ένα έξυπνο τρόπο για φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιώντας μικροσκοπικές, μεγέθους χιλιοστού, σφαίρες ενισχυμένου πυριτίου ενσωματωμένες σε τακτά διαστήματα μεταξύ των λεπτών φύλλων αλουμινίου. Αυτή η προσέγγιση έχει πρόσφατα αναπτυχθεί περαιτέρω από την ιαπωνική εταιρεία Clean Venture 21 (CV21) επισυνάπτοντας κάθε μικροσκοπική σφαίρα πυριτίου στο δικό της εξαγωνικό κύπελλο αλουμινίου μικρο-ανακλαστήρα, που επικεντρώνει το φως στη σφαίρα και μειώνει τη συνολική ποσότητα πυριτίου που απαιτείται σε σύγκριση με συμβατικές κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου, εικόνα 4 [3]. Αυτή η τεχνολογία είναι σήμερα σε πολύ πρώιμο στάδιο εμπορευματοποίησης.



Εικόνα 4. Η αρχή λειτουργίας των σφαιρικών φωτοβολταϊκών αναπτύχθηκε από CV2. Οι μικροσκοπικές σφαίρες ενισχυμένου κρυσταλλικού πυριτίου ενσωματωμένες σε εξαγωνικούς μικρο-ανακλαστήρες

Επιπτώσεις της ανάπτυξης τεχνολογίας φωτοβολταϊκών

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών θα προσφέρει περισσότερες ευκαιρίες για την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε κατοικίες και εμπορικά κτήρια, καθώς και σε εφαρμογές μεταφοράς. Το σύνολο του κτηρίου εξωτερικά έχει τη δυνατότητα να γίνει μια γεννήτρια ρεύματος.

Φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου ενσωματώνονται στο ορατό γυαλί που περιλαμβάνει την κατασκευή παραθύρων, φεγγίτες, προσόψεις και αίθρια. Η διαπερατότητα του γυαλιού που ενσωματώνουν λεπτού υμενίου φωτοβολταϊκά

μπορεί να μεταβάλλεται ώστε να μειώσει το εισερχόμενο φως του ήλιου και το έντονο φως ακριβώς όπως τα παραδοσιακά φιμέ τζάμια.

Αδιαφανές φωτοβολταϊκό γυαλί μπορεί επίσης να παραχθεί για χρήση ως γυαλί διαφραγμάτων που, όταν συνδυάζεται με φωτοβολταϊκό γυαλί, μετατρέπει αποτελεσματικά το σύνολο του κελύφους του κτηρίου σε μια γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας. Η στέγη του κτηρίου ήταν η παραδοσιακή θέση για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

Για επίπεδες στέγες σε εμπορικά κτήρια, οι κατασκευαστές πειραματίζονται με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε παραδοσιακά υλικά στέγης που μπορεί να εγκατασταθούν απευθείας από έναν εργολάβο στεγών ακριβώς με τον τρόπο που αυτή τη στιγμή έχουν εγκατασταθεί παραδοσιακά μονής και πολλαπλών στρώσεων υλικά στέγης. Για κεκλιμένες στέγες, τα φωτοβολταϊκά έρπητα ζωστήρα παράγονται με τη χρήση είτε κρυσταλλικού πυριτίου ή την τεχνολογία φωτοβολταϊκών λεπτής μεμβράνης. Αυτά τα φωτοβολταϊκά έρπητα ζωστήρα μοιάζουν είτε με ασφάλτινα ή ξύλινα βότσαλα. Τα λεπτής μεμβράνης φωτοβολταϊκά πλαίσια και επικαλύψεις που παράγονται για μεταλλικές στέγες μόνιμης ραφής μπορούν να παρέχονται σε μια ποικιλία χρωμάτων για να παρέχουν μία αισθητικά ευχάριστη εγκατάσταση.

Οι πρόοδοι σε μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκά έργα

Παρά το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά έργα αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς, δεν είναι συγκρίσιμα με τις συμβατικές τεχνολογίες ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά έχουν πολύ λίγες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο, η πρόοδος της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας μονάδων παραγωγής ενέργειας αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς και διαφορετικές χώρες άρχισαν την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα.

Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στον κόσμο που κατασκευάστηκε μέχρι στιγμής είναι το Gujarat Solar Park στο Γκουτζαράτ, Ινδία, με δυναμικότητα 600 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο στις ΗΠΑ είναι το Solar Star με 579 MW. Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στην Ευρώπη, η Cestas Solar Farm στη Γαλλία έχει δυναμικότητα 300 MW.

Η Μαροκινή πόλη Ouarzazate στην άκρη της ερήμου Σαχάρας έχει προγραμματίσει τέσσερις ενωμένες ηλιακές μέγα-εγκαταστάσεις που, παράλληλα με υδροηλεκτρική και αιολική ενέργεια, θα βοηθήσουν στην παροχή σχεδόν του ήμισυ της ηλεκτρικής ενέργειας του Μαρόκου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020. Το έργο είναι κλειδί για τις φιλοδοξίες του Μαρόκου να χρησιμοποιήσει τις ανεκμετάλλευτες ερήμους και να γίνει μια παγκόσμια ηλιακή υπερδύναμη με δυναμικότητα 580 MW.



Εικόνα 5. Φωτοβολταϊκό πάρκο στο Γκουτζαράτ, Ινδία.

Εφαρμογές μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκών έργων:

Τα μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκά έργα έχουν εξελιχθεί λόγω της ανάγκης για εναλλακτική παραγωγή ενέργειας με πολλές διαφορετικές εφαρμογές, όπως:

- Διασυνδεδεμένο σύστημα ισχύος
- Αυτόνομη ηλεκτροδότηση για τα χωριά ή κοινότητες
- Συστήματα εφεδρικής ενέργειας για τηλεπικοινωνίες
- Αφαλάτωση και άντληση νερού
- Ψυχρή αποθήκευση για τη συντήρηση των τροφίμων

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πολλές από αυτές τις εφαρμογές είναι εφαρμόσιμες σε τοπικό επίπεδο μόνο, διότι το σύστημα αποθήκευσης έχει εγγενή προβλήματα. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι τα αυτόνομα μεγάλα φωτοβολταϊκά έργα είναι λιγότερο αποδοτικά από ότι σε διασυνδεδεμένη λειτουργία. Αυτό οφείλεται στο ότι σε διασυνδεδεμένη διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς όλη την παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια, μειώνοντας έτσι το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτόνομες εφαρμογές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη ζήτηση ισχύος του απομονωμένου φορτίου και, ως εκ τούτου, η περίσσια ενέργειας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Οι πρόοδοι στην τεχνολογία αντιστροφεία φωτοβολταϊκών στα συστήματα διανομής

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι επιστήμονες και οι τεχνολόγοι προσπαθούν να καθορίσουν τον τρόπο για να δεχθούν καλύτερα το αυξανόμενο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά (PV) στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας είναι αβέβαιες σχετικά με τις επιπτώσεις των υψηλών επιπέδων της μεταβλητής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην αξιοπιστία του συστήματος, την ποιότητα ισχύος, και την ασφάλεια των εργαζομένων και του εξοπλισμού, αλλά οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αντιστροφείων τους έχουν δώσει πολύτιμα εργαλεία για τη διαχείριση αυτών των πτυχών της λειτουργίας του δικτύου. Στην ιδανική περίπτωση, όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και κάθε μορφή αποθήκευσης ενέργειας, παράγουν είτε συνεχές ρεύμα (DC) ή ισχύ εξόδου μεταβλητής συχνότητας. Όλη η ενέργεια από αυτές τις πηγές πρέπει να περάσει μέσα από ένα μετατροπέα συχνότητας (DC σε AC ή AC να AC) προκειμένου να τροφοδοτήσει το ηλεκτρικό δίκτυο σταθερής συχνότητας με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Αυτό το επιπλέον στάδιο της μετατροπής της ενέργειας εισάγει πρόσθετο εξοπλισμό, κόστος και απώλειες ενέργειας. Από τη θετική πλευρά, η ανάγκη για μετατροπή συχνότητας έχει ως αποτέλεσμα την ταχέως αναπτυσσόμενη κατηγορία των ηλεκτρονικά συζευγμένων γεννητριών (ΗΚΓ) που συνδέονται με το δίκτυο, με δυνατότητες ελέγχου που είναι πιο ευέλικτες σε σύγκριση με εκείνες των συμβατικών περιστρεφόμενων σύγχρονων γεννητριών. Δικαιολογημένα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν δει την έλευση αυτών των ΗΚΓ με μία ορισμένη απροθυμία, τόσο λόγω των άγνωστων χαρακτηριστικών λειτουργίας τους και λόγω της θέσης τους σε συστήματα διανομής, όπου παραδοσιακά υπήρξε ελάχιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το επίπεδο ανησυχίας αυξήθηκε με την ραγδαία αύξηση του μεγέθους των προτεινόμενων έργων σε σχέση με την αξιολόγηση τροφοδοτή και / ή τα ελάχιστα επίπεδα φορτίου. Είναι βέβαια απόλυτα εφικτή η παραγωγή ενέργειας σε νέα ή υπάρχοντα κυκλώματα διανομής, ακόμη και για την εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πίσω στο σύστημα μετάδοσης, αλλά με αυτόν τον τρόπο προκαλούμε μερικές από τις παραδοσιακές παραδοχές που έχουν γίνει στη νομοθεσία για το σχεδιασμό της προστασίας και τα συστήματα ρύθμισης τάσης για αυτά τα κυκλώματα διανομής. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση υψηλότερων επιπέδων διείσδυσης για την παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας.

Κύρια θέματα καθυστέρησης ή παρεμπόδιση της σύνδεσης των μεγάλων φωτοβολταϊκών έργων

Με την εισαγωγή των ευνοϊκών τιμολογίων πώλησης ενέργειας (FIT) και εκπτώσεις φόρου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παράλληλα με την ταχεία μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών μονάδων, υπήρξε μια πρωτοφανής βιασύνη για την εγκατάσταση μεγάλων φωτοβολταϊκών έργων σε πολλά μέρη του κόσμου. Κατά συνέπεια, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν κατακλυστεί με αιτήματα για τη διασύνδεση με το δίκτυο. Σε πολλές περιπτώσεις το δίκτυο διανομής ήταν απροετοίμαστο για να το αντέξει αυτό, ιδίως στην περίπτωση των

έργων μεγάλης κλίμακας (5 MW ως και >10 MW) που ζητούν διασύνδεση σε επίπεδα τάσης του συστήματος διανομής. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το πρότυπο που επικρατεί (IEEE 1547) δεν παρέχει τις απαντήσεις που απαιτούνται για να καθυστερήσουν τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, επειδή αυτά τα σενάρια υψηλής διείσδυσης δεν αναμένονταν όταν το πρότυπο καταρτίστηκε.

Τα κύρια θέματα και οι απαιτήσεις που πλήττουν σήμερα τη διασύνδεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων περιλαμβάνουν:

- ικανότητα βραχυκυκλώματος
- Περιορισμός ισχύος-απόστασης
- Transfer-trip μέθοδοι για φωτοβολταϊκά
- Ειδικά προσαρμοσμένες απαιτήσεις για την παραγωγή άεργου ισχύος
- Εξατομικευμένες απαιτήσεις ride-through
- Απαιτήσεις ποιότητας τάσης
- Μέθοδοι γείωσης του φωτοβολταϊκού συστήματος

Μια λεπτομερής περιγραφή για όλα τα παραπάνω είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής του παρόντος κεφαλαίου.

Εν ολίγοις, εξελιγμένες δυνατότητες αντιστροφών θα μπορούσαν να διευκολύνουν υψηλά επίπεδα διείσδυσης της παραγωγής φωτοβολταϊκών και ενδέχεται επίσης να οδηγήσουν σε πιθανή εξοικονόμηση τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, μειώνοντας τις απώλειες γραμμής. Προηγμένοι αντιστροφείς μπορούν να μειώσουν δραστικά τον κύκλο εργασιών του ρυθμιστή, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, τη μείωση του κόστους συντήρησης, την αναβολή του κόστους των νέων μπαταριών, κ.λπ..

Βιβλιογραφία

[1] International Energy Agency (IEA) report

[2] International Energy Agency (IEA) report: Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy, 2014 edition (International Energy Agency report 2014)

[3] Graham-Rowe, Duncan. "Solar cells get flexible." *Nature Photonics* 1.8 (2007): 433-435.