

**ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МАКСИМАЛНАТА МОЩНОСТ НА ЦЕНТРАЛИ ОТ  
ВЪЗОБНОВЛЯЕМИ ЕНЕРГОИЗТОЧНИЦИ В МРЕЖИ 35 КВ****Красимир Маринов Иванов<sup>1</sup>, Петър Колев Петров<sup>1</sup>, Георги Цонев Велев<sup>1</sup>,  
Цвятко Колев Върбов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>ТУ Габрово**DETERMINATION OF THE MAXIMUM POWER OF POWER PLANTS  
FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES IN 35 KV NETWORKS****Krasimir Marinov Ivanov<sup>1</sup>, Peter Kolev Petrov<sup>1</sup>, Georgi Tsonev Velev<sup>1</sup>**<sup>1</sup> TU Gabrovo**Abstract**

*This report examines 35kV medium voltage networks with connected distributed generation systems. The maximum power of the plants from renewable energy sources, which can be connected to a 35kV medium voltage power line, is determined depending on the nominal power of the power transformers, their number, the section of the wires of the overhead power line and the regulatory documents in our country..*

**Keywords:** *plants from renewable energy sources, medium voltage overhead network.*

**УВОД**

У нас към края на 2021 година има инсталирана мощност от фотоволтаични централи в размер на 1246 МВт, а от вятърни централи 705 МВт. Възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) продължават да покриват своя дял в произведената електрическа енергия изнесена към преносната и разпределителната мрежа. Общият дял на ВЕИ в преносната мрежа за периода 1 януари - 2 октомври 2022 г. отбелязва съществено увеличение с 26,29% като постига стойности от 1 225 853 MWh. По-значителен принос за това увеличение имат фотоволтаичните централи (+52,36%), както и вятърните (+14,56 %). Данните за производството на електроенергия от биомаса отбелязват скромна ръст за периода от 0,14%. Участието на ВЕИ в разпределителната мрежа спрямо предходната 2021 г. се увеличава с 13% и достига до 1 758 373 MWh, като този дял е на стойност 1 527 233 MWh. И тук увеличението се дължи на по-високия дял на фотоволтаичните (+18,56%) и вятърни

(+17,54%) централи. В същото време има спад при централите на биомаса (-19,61%).

Повишаването на цената на електрическата енергия на либеризирания пазар води до развитие на този сектор и в нашата страна и до повишаване на заетостта [1]. Експлоатационните разходи, правят вятъра особено привлекателен за инвеститорите като енергиен източник. Истина е, че вятърната енергия не може да бъде източник на произвеждана по график, съобразно потребностите на електроенергийната система, електроенергия. Но в това направление се работи като се правят центрове за прогнозиране скоростта и посоката на вятъра, а оттам и на вероятностното количество произведена електроенергия. В България също съществува потенциал за изграждане ветрови централи в крайбрежната ни ивица. Бъдещото развитие в зони при по-ниски скорости на вятъра зависи от развиването на нови технически решения. Работата на ветрогенератора зависи от скоростта и турбулентността на вятъра, височината на кулата

и плътността на въздуха, затова е важно да се познава потенциала в изборния за инсталиране регион на страната и условията, при които е получен. По-голямата част от ветрогенераторите и фотоволтаичните централи се изграждат в райони с разширени електроразпределни или преносни електрически мрежи и по този начин се свързват към електроенергийната система. Вятърните паркове и фотоволтаичните централи с мощност над 5MW<sub>p</sub> генерират по-големи количества електрическа енергия и затова се свързват към мрежи средно и високо напрежение. В някои паркове с мощности над 20 MW<sub>p</sub> предпочитателно е помощните електрически мрежи да бъдат на напрежение 35 kV, т.к. мощността която може да се предаде по тях е значително по-голяма.

## ОСНОВНО ИЗЛОЖЕНИЕ

Фотоволтаичните и ветрогенераторните са електрически генериращи системи, които се различават от традиционните директно свързани към мрежата синхронни генератори, използвани обикновено в конвенционалните електроцентрали. Поради своите различни характеристики тези генератори взаимодействат по различен начин с ЕЕС в сравнение със синхронните генератори. Това означава, че те могат да доведат до смущение като например промяна в напрежението на клемите и честотата или в първичния задвижващ източник, по различен начин и че тяхната възможност да участват в контрола на напрежението в мрежата може да бъде малка. Освен това някои аспекти на взаимодействието на ветрогенераторите с мрежата са специфични за съответния вид генератор, който се използва, особено при ветрогенератори със или без силови електронни преобразуватели (конвертори), т.е. с постоянна и с променлива скорост.

Докато електроенергията произведена от вятърната и слънчева енергия в общото производство е малък, режимът и поведението на ЕЕС продължава да се обуславя от синхронните турбо- и хидрогенератори, които все още генерират най-голямата част от консумираната електрическа енергия. Поради това поведението на такава система не се различава значително от електроенер-

гийна система без генератори, задвижвани от ВЕИ. Въпреки това, когато голям брой ветрогенератори и фотоволтаични централи са присъединени към системата и те заменят значителна част от мощността, произвеждана от стандартните синхронни генератори, те започват да засягат различни аспекти на поведението на електроенергийната система. В момента балансът между генерирането на мощност и консумацията основно се поддържа чрез адаптиране на генерациите към товара. Причината за това е, че включването на товар в балансирането на системата е трудно, тъй като консумацията на електроенергия не е силно изменяща се и следователно товарът е по-скоро неизменящ се. Докато енергията, произвеждана в електроцентралите може да бъде контролирана, това не е главен проблем, макар и затруднявайки диспечирането на генераторните мощности, т.е. определяне кои електроцентрали трябва да работят за покриване на товарите най-ефективно и икономично, като се вземат предвид цената на горивата и техническите характеристики на електроцентралите. Въпреки това значителното участие на генератори, чиято изходна мощност не може да се регулира, представлява основен проблем за днешните процедури за балансиране на системата, т.к. като такива генератори не могат да допринесат за поддържането на системния баланс.

Генератори, чиято изходна мощност не се регулира, могат разбира се да покриват част от консумацията на електроенергия, без да причиняват проблеми за баланса на системата. Нивото, до което генератори, чиято изходяща мощност не се регулира, могат да допринесат за покриването на товара без допълнителни мерки, както и естествено степеня, при която трябва да бъдат предприети допълнителни мерки, за да се позволи по-нататъшно увеличаване на приноса на тези генератори зависи от такива фактори като: товаровият график на системата; процента на съотношение между товара и наличността на първичен енергиен източник, използван от не регулируемите генератори; характеристиките на останалите регулируеми централи и топологията на мрежата. Следователно не е възможно да се

направи общо твърдение по отношение на количеството на не регулируемата генерирана мощност, която може да бъде присъединена към електроенергийната система, без да се вземат допълнителни мерки, нито по отношение на точните мерки, които трябва да бъдат взети с цел допълнително увеличаване на нивото им на прилагане. Все пак е ясно, че увеличаването на броя на не регулируемите генератори, като например ветрогенераторите и фотоволтаичните централи, в крайна сметка води до проблеми при поддържането на системния баланс.

Експлоатационните изисквания за присъединяването на вятърните електрически централи (ВяЕЦ) към електрическата мрежа средно напрежение в България са регламентирани. Тези изисквания биха могли да се използват и за останалите централи от ВЕИ. Ето някои от тях:

- Инсталираната сумарна мощност от вятърната електрическа централа (ВяЕЦ) в точката на присъединяване към ЕЕС, не трябва да надвишава 5% от мощността на к.с. в този възел;

- Не се допуска работа на ВяЕЦ в островен режим (island operation);

- Допустимата несиметрия на напреженията, предизвикана от ВяЕЦ в точката на присъединяване към преносната мрежа е 2.0% и 3.0% към разпределителната мрежа;

- Допустимите отклонения от номиналната честота в точката на присъединяване на ВяЕЦ при нормална работа са (49.5Hz...50.2Hz);

- Допустимото внасяне на хармоници от ВяЕЦ в точката на присъединяване към електрическата мрежа (Total Harmonic Distortion) е  $THD \leq 8\%$  (за мрежи CpH);

- Допустимите трептения (фликер), които може да внесе ВяЕЦ в точката на присъединяване към преносната мрежа (short-term flicker indicator; long-term flicker indicator) са  $P_{st} = 0.8$ ;  $P_{it} = 0.6$  (за мрежи ВН) и  $P_{st} = 0.9$ ;  $P_{it} = 0.7$  (за мрежи CpH);

- Диапазонът на фактора на мощността на един ветрогенератор от ВяЕЦ, трябва да е най-малко 0.98 (CAP)...1...0.96 (IND);

- ВяЕЦ трябва да е оборудвана с честотна защита, която да я изключва от мрежата при отклонение на честотата извън диапазона 47.5Hz ... 50.3Hz, с времезадръжка 0.2s;

- Не се допуска автоматична ресинхронизация на ВяЕЦ към преносната мрежа, след нейното автоматично изключване от честотна защита. Такава синхронизация може да се осъществи само след разрешение на оперативния персонал на ЕСО (ЕРД);

- Качеството на произвежданата от ВяЕЦ електрическа енергия, трябва да отговаря на БДС IEC 61000-2-2 и БДС EN 50160. Когато произведената електрическа енергия не отговаря на критериите за качество, ЕСО или ЕРД имат право да прекратят достъпа на съответния производител до електрическата мрежа;

ВяЕЦ трябва да допускат краткотрайни понижени и повишени стойности на напрежението, без да се нарушава синхронната им работа с електрическата мрежа, както следва: понижени на напрежението под  $75\%U_n$  за време до 0.08s и повишени на напрежението над  $120\%U_n$  за време до 0.08s.

Стойността на допустимата сумарна мощност от всички централи от ВЕИ в ЕЕС на България се предлага ежегодно от ЕСО и се одобрява от КЕВР.

Някои от изискванията за присъединяване противоречат на европейският стандарт EN50160, в които се казва че изискванията към производителите на електрическа енергия в някои случаи са по-утежени. В Германия предписанията за присъединяване на източници на генерираща мощност от 2008г. максималната мощност която може да се присъедини към мрежите се оценява и от увеличението на напрежението в мястото на включването му съгласно следната формула:

$$\Delta U_{av} = \frac{S_{Wmax}}{S_k} \cdot \cos(\psi_k + \varphi), \quad (1)$$

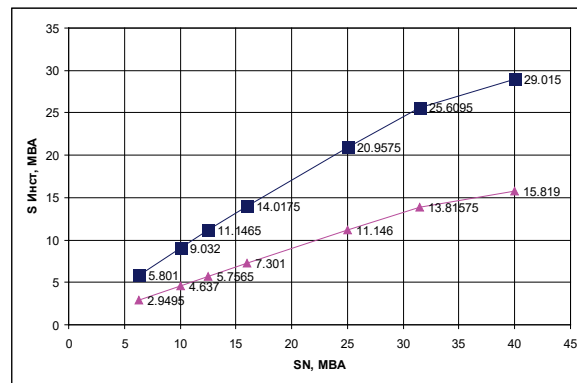
където:  $S_{kv}$  – мощност на късо съединение в точката на свързване;  $\psi_k$  – ъгъл на импеданса на късо съединение в точката на свързване;  $S_{Wmax}$  – максимална мощност на генериращ източник в точката на свързване;  $\varphi$  – ъгъл на дефазироване между напрежението и тока в точката свързване.

Това увеличение на напрежението не би трябва да надвишава 2%. В българските предписания това максимално увеличение на напрежението може да достигне 5%. Съ-

гласно немските предписания [3] фактора на мощността може да 0.95 (CAP)...1...0.95 (IND). По този начин би могло да се постигне допълнително увеличение на генериращата мощност и да тя да участва в регулирането на напрежението. Немските предписания допускат регулиране на активната мощност на вятърни и фотоволтаични централи и в определени случаи участие в регулиране на честотата на мрежа, при аварии в мрежата не изискват задължително изключване.

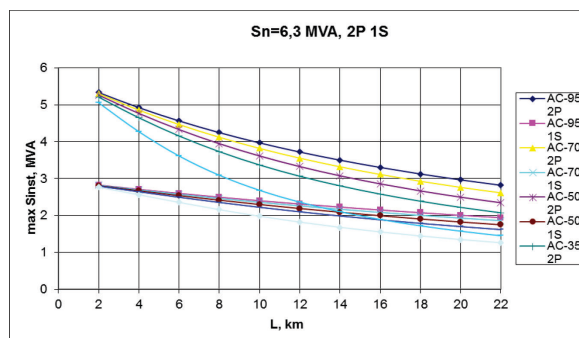
Най дългите мрежи средно напрежение у нас 35kV като правило се захранват от понизителни подстанции 110kV/35kV. Усреднената свръхпреходна мощност на късо съединение на страната 110kV е в рамките на 3500MVA. Най-често броя на използваните трансформатори в тези подстанции е два. Номиналната мощност на тези трансформатори може да бъде 6.3, 10, 12.5, 16, 25, 31.5 и 40 MVA. Когато работят в паралел тези трансформатори на страна средно напрежение се получават по-големи мощности на късо съединение и те са както следва 116.02, 180.65, 222.93, 280.35, 419.15, 512.195, 580.03 MVA. При разделна работа на трансформаторите свръхпреходните мощности на късо съединение се получават както следват 58.99, 115.13, 146.02, 222.92, 276.315, 316.38 MVA. Разработен е модел на електрическа мрежа с присъединени централи от ВЕИ (възобновляем енерго източник) към края на въздушен електропровод средно напрежение. Централите от ВЕИ (фотоволтаични и вятърни) се моделират по мощност и се състоят от инвертор със съответната мощност, присъединен към електропровода. Определената максимална мощност на централите от ВЕИ, които могат да бъдат присъединени към електрическата мрежа е при условие, че се спазват изискванията за качество на напрежението на ДКЕВР, тоест отклонението е в рамките на +/-10% и условието за не надвишаване на съотношението на генериращата мощност към мощността на к.с. от 0,05. Използвайки предписанията на ДКЕВР получените максимални мощности на вятърни електроцентрали, включени към шини 35 kV, в зависимост от номиналната мощност и броя (1 или 2) на силовите трансформатори са представени на графиката

фиг. 1. На фиг. 1 стойностите на максимално възможната мощност при паралелна работа на трансформаторите са обозначени с квадрат, а тези при разделна работа с триъгълник.



Фиг. 1. Максимално възможна мощност на шините в подстанцията.

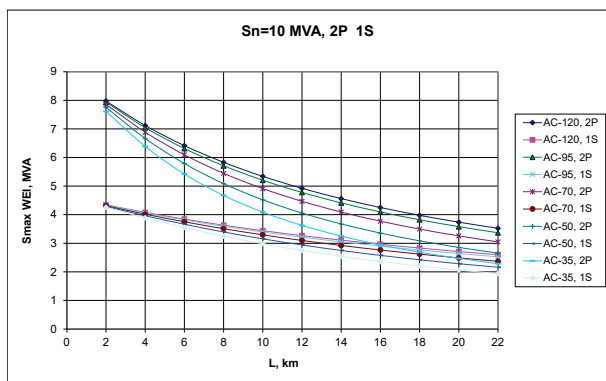
На фиг. 1 стойностите на максимално възможната мощност при паралелна работа на трансформаторите са обозначени с квадрат, а тези при разделна работа с триъгълник.



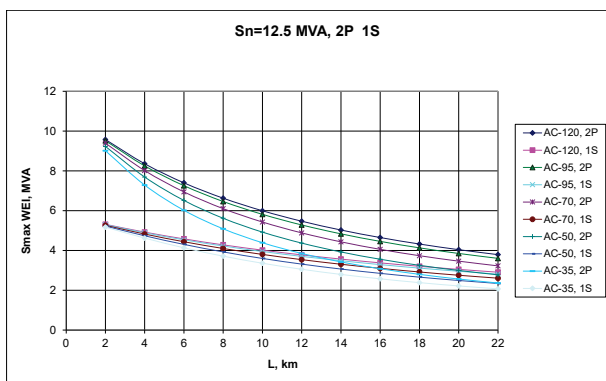
Фиг. 2. Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 6,3 MVA посредством електропровод с различно сечение и дължина

Обикновено подстанциите се намират на значителни разстояния от местата на построяване на централата. Изследвано е присъединяване на централа задвижвана от ВЕИ посредством електропровод средно напрежение 35 kV с различна дължина и сечение на електропровода (въздушен и кабелен) в зависимост от начина на работа и мощността на силовите трансформатори. На фиг. 2 са представени кривите на изменение на максималната мощност на централа от ВЕИ, която може да се присъедини към въздушен електропровод с алуминиево

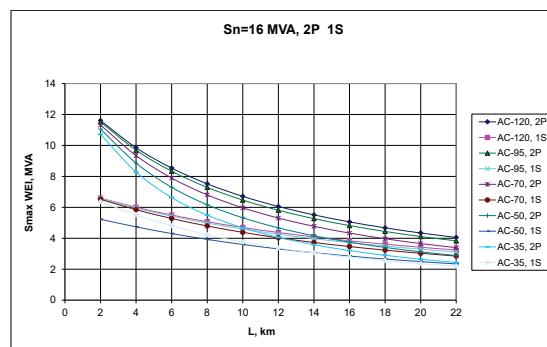
стоманен проводник със сечение от 35 до 120mm<sup>2</sup> свързан към шините 35 kV на подстанция с два силови трансформатора с номинална мощност 6,3 MVA. Дадени са и двата варианта на паралелна (2P) и разделна работа (1S) на трансформаторите. На фиг. 3, 4, 5, 6, 7 и 8 са представени кривите на изменение на максималната мощност на централи от ВЕИ, която може да се присъедини към въздушен електропровод с алуминиево стоманен проводник със сечение от 35 до 120mm<sup>2</sup> свързан към шините 35 kV на подстанция 110 kV с два силови трансформатора с номинални мощности 10, 10, 12.5, 16, 25, 31.5 и 40 MVA. Изчислени са двата варианта на паралелна и разделна работа на трансформаторите. Тези криви биха могли да се използват за да се определя максималната инсталирана мощност на централа от ВЕИ присъединена към електропровод, свързан към разпределителна подстанция високо напрежение с различни мощности и брой на понижаващите трансформатори.



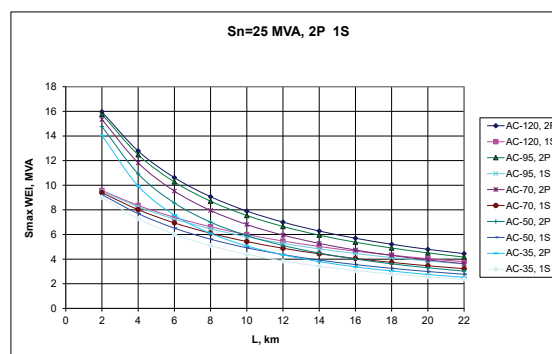
**Фиг. 3.** Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 10 МВА посредством електропровод с различно сечение и дължина



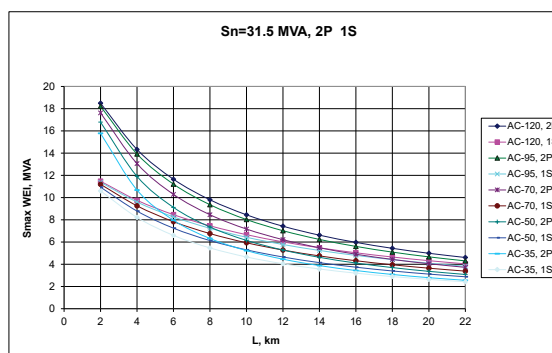
**Фиг. 4.** Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 12,5 МВА посредством електропровод с различно сечение и дължина



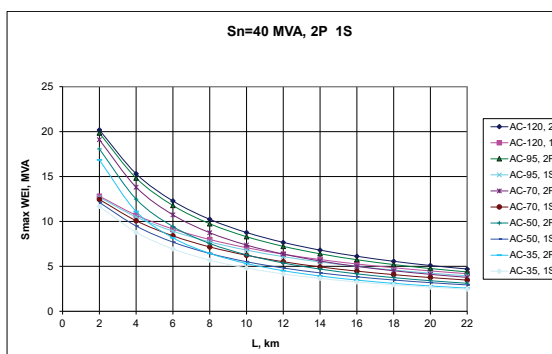
**Фиг. 5.** Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 6,3 МВА посредством електропровод с различно сечение и дължина



**Фиг. 6.** Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 25 МВА посредством електропровод с различно сечение и дължина



**Фиг. 7.** Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 31,5 МВА посредством електропровод с различно сечение и дължина



**Фиг. 8.** Максимална мощност на централа от ВЕИ присъединена към подстанция с трансформатори 40 МВА посредством електропровод с различно сечение и дължина

Загубата на напрежение в електропровода с централа от ВЕИ с максимална мощност, представена на графиките, не надвишава 4% при приемане, че произвежданата мощност е изцяло активна. Продължителният ток на проводниците също не се надвишава.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На територията на България има подходящи условия за изграждане на централи от ВЕИ, които се използват все по силно. Определянето на максималните мощности на тези електроцентрали, които се включват в края на електропровод 35 kV, е основна цел която е постигната при изследване на възможностите на подстанция високо (110 kV) средно напрежение със силови трансформатори с различна мощност и

брой. Изследванията са осъществени са представени в графичен вид..

## **REFERENCE**

- [1] Gankova-Ivanova, Zvetelina, Renewable Energy Sources and Employment (Erneuerbare Energiequellen und Beschäftigung), Plenary talk, FDIBA Conference Proceedings, vol.2, 2018, S.1-10
- [2] Stiebler, Manfred: Wind energy systems for electric power generation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [3] Volker Quaschnig: Regenerative Energiesysteme, Technologie – Berechnung – Simulation, Hanser Verlag Muenchen, 7. aktualisierte Auflage, 2011.
- [4] Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz Ausgabe Juni 2008, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.