

## **ИЗСЛЕДВАНЕ ВХОДНО-ИЗХОДНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ХИБРИДЕН ИНВЕРТОР**

*Любомир Секулов, Мартин Златков*  
*[res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg) [dj\\_marti79@mail.bg](mailto:dj_marti79@mail.bg)*

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев” 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** възобновяеми енергийни източници, фотоволтаични системи, автономни електрически системи, системи за управление, инвертори, хибриден инвертор, соларен инвертор, мрежов инвертор.

**Резюме:** Развитието на енергетиката в областта на възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) в частта на фотоволтаичните системи в света върви паралелно, както при мощните фотоволтаични паркове така и при маломощните фотоволтаични системи (ФВС) използвани в еднофамилни къщи и домакинства. Делът на производство на електроенергия от маломощните ФВС в България в момента е незначителен спрямо мощните и това са дължи на техническите особености на тези системи и тяхната достъпност и възможност за експлоатация от потребителите.

Развитието на техниката в областта на маломощните инвертори на електрическа енергия използвани при ФВС през годините е свързано както с потребностите на пазара, така и с параметрите на преобразувателите. Тяхното лесно интегриране и интуитивна експлоатация е основен параметър при избора им. Другите качествени показатели определящи електромагнитната съвместимост са нелинейни изкривявания и синусоидалността на изходния ток и напрежение на ФВС, който е необходим за нормалната работа на електрическите прибори, машини и апарати. Приоритетно е развитието именно на такъв тип инвертори, като се търсят оптимални схемни решения свързани с тяхното приложение.

В тази връзка е изследван експериментално хибриден инвертор за електрическа енергия, като част от ФВС, който има преимуществата на съвременните инвертори и са определени неговите входно изходни характеристики.

Изследваният инвертор притежава схемно решение за силовата част, което е обяснено и са изтъкнати неговите преимущества и недостатъци.

В доклада са представени основните резултати от проведените експериментални изследвания при различен товар в реални условия на експлоатация.

### **1. Увод**

В настоящия доклад са изследвани режимите на работа на хибриден инвертор и са отчетени качествените и енергетични показатели.

## 2. Видове инвертори

За проектиране на системи за алтернативно електрооснабдяване, основна задача се явява изборът на елементите на силовото електрооборудване.

Инверторът е основния елемент от автономното електрооснабдяване. От неговият избор зависи ефективността на цялата система.

Работата на инвертора се състои от изменението на изходните параметри, ток, напрежение, честота на напрежението и неговата форма в зависимост от входните параметри.

Най-често инверторите са за преобразуване на постоянен ток и напрежение в променлив ток и напрежение посредством импулсно преобразуване и трансформатор.

Инверторите биват няколко вида според функционалното приложение. Функционална схема на инвертор е показана на Фиг. 1

**Автономен инвертор.** За осигуряване на синусоиден ток и напрежение с източник постоянен ток от акумулаторни батерии и посредством импулсно преобразуване, като те се делят на няколко вида:

Инвертори с меандрова синусоида, (модифицирана синусоида) чиято форма на напрежението и тока са показани на фиг.2.

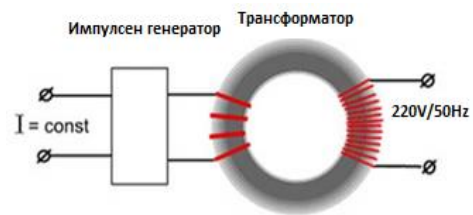
Където в участъка a-b токът е постоянен и се нарушава работата на индуктивните прибори и електродвигателите, като мощността пада на 60-70% и постоянният ток причинява значителни топлинни загуби. Участъкът c-d представлява безтокова пауза или така известен режим на прекъснат ток, който е изключително неблагоприятен за нормалната работа на асинхронните машини.

За създаване на по-добра синусоидална форма на напрежението се използва широчинно импулсна модулация показана на фиг. 3.

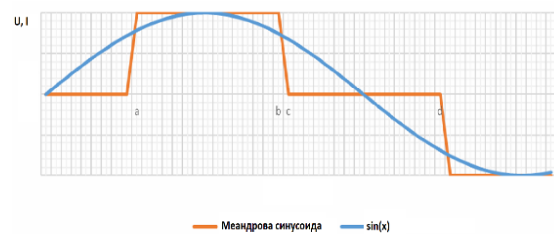
При стабилна тактова честота участъкът a-b е постоянен през цялото време на работа а регулирането се осъществява с изменение на дължината на a-c.

**Мрежови инвертор** формира изходния сигнал с помощта на синхронизация към мрежата, като това става посредством опростена схема, която повишава надеждността на работата. Получената енергия на изхода на инвертора не се акумулира, а се подава за в реално време за консумация. Основното предназначение на мрежово свързаните инвертори е преобразуването на постоянно-токовата електроенергия, постъпваща от фотоволтаичната система в променливотокова, с подходящо за мрежата напрежение, честота и фаза. Сред останалите им функции е максимизиране на производителността на фотоволтаиците чрез проследяване на максималната работна точка в променливите условия, в които работят те работят (различна слънчева радиация и температура на модула през отделните части на деня), както и осигуряването на безопасно функциониране на системата.

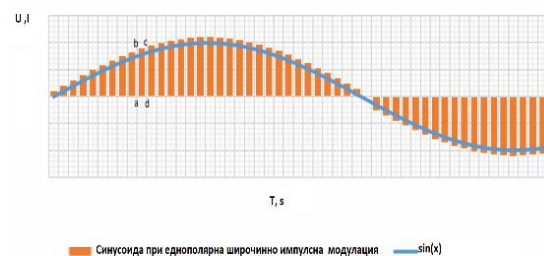
Сред техническите изисквания към мрежово-свързаните инвертори са



Фиг. 1 Схема на инвертор



Фиг. 2 Меандрова синусоида



Фиг. 3 Синусоида при еднополярна широчинно импулсна модулация

генериране на чисто синусоидално напрежение, синхронизирано със синусоидалното напрежение на мрежата, висока ефективност при пълно или частично натоварване, визуално изобразяване на производителността на фотоволтаиците и др [2].

**Хибриден инвертор.** той работи в паралелен режим с мрежата и едновременно консумира енергия от акумулаторите или от алтернативните източници на енергия, соларни системи или ветрогенератори [3][4]. Той произвежда високо качествена енергия със синусоидална форма на тока и напрежението и много малко нелинейни изкривявания.

Входното напрежение се избира в зависимост от изходната мощност на инвертора, като е прието да се използват кратни напрежения на акумулаторните батерии именно:

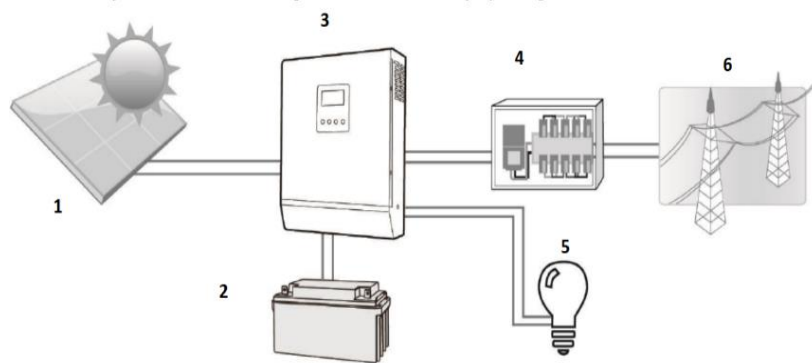
- 12 V до 2 kW ;
- 24 V от 3 до 5 kW;
- 48 V над 5 kW.

В таблица 1 са показани основните преимущества и недостатъци на различните инвертори използвани във ФВС [1].

За инверторите е важно мощността та инвертора да бъде съизмерима с максималната мощност на товара при

отчитане на пусковите токове. По време на липса на товар консумираната енергия на празен ход трябва да бъде 0.5-1% от номиналната мощност. Наличие на режима «stand-by» позволява да се запази енергията съхранена в акумулаторите.

Хибридните инвертори за собствена консумация са силови устройства, които комбинират функциите на мрежов инвертор, автономен инвертор и МРРТ контролер. Хибридният инвертор не изисква сложни конфигурации, тъй като анализира и съвместява в реално време наличните енергийни източници спрямо потреблението спрямо заложените алгоритми и настройки. Ключова характеристика на инвертора е интелигентната му функция за насочване и сумиране на енергията от наличните източници – фотоволтаични панели, акумулаторни батерии и мрежовото захранване (Phase Coupling Energy). Няма нужда от превключване на източника на енергия, което често води до прекъсвания в захранване на консуматорите. Когато мрежата е на



**Фиг. 4.** Присъединяване на хибриден инвертор към електрозахранващата мрежа.

1. Соларен панел. 2. Акумулаторни батерии 3. Хибриден инвертор.  
4. Ел. табло. 5. Товар. 6. Електрозахранваща мрежа НН.

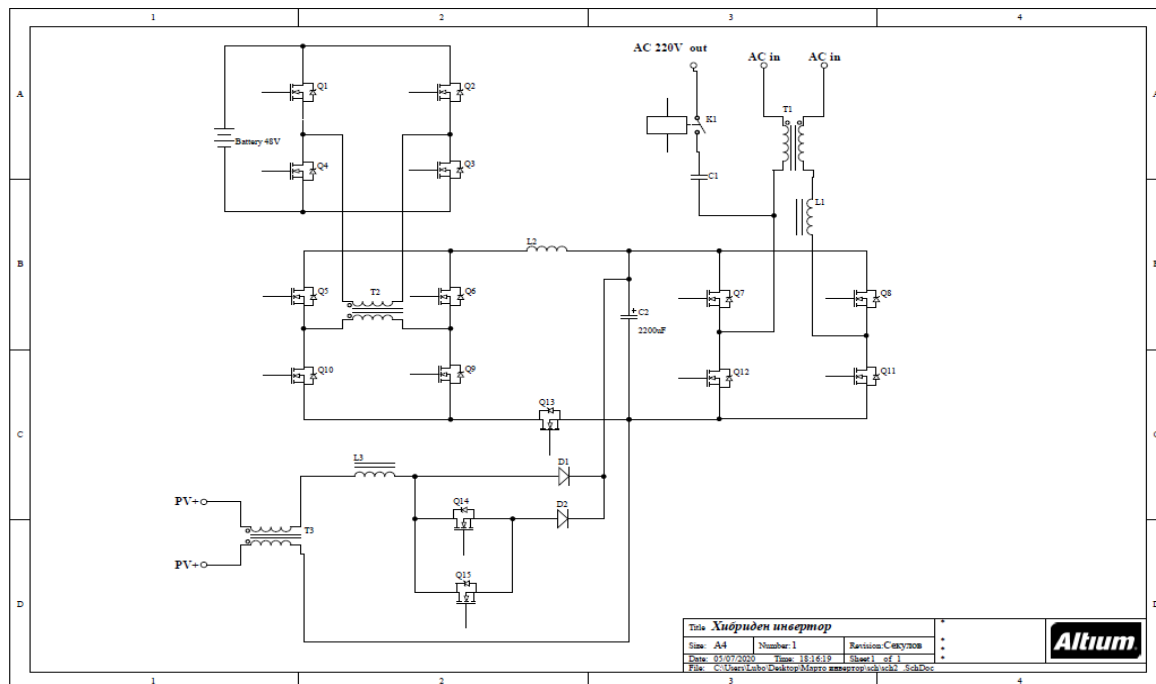
разположение, инверторът може постоянно да захранва консуматорите с двойно по-голяма от номиналната си мощност (фиг. 4). Хибридните инвертори, както монофазни така и трифазни, могат да се включват в паралел по няколко, като по този начин се увеличава изходната мощност на

**Таблица 1** Характеристики на различните модели инвертори

Тип на инвертора	Преимущества	Недостатъци
Автономен	<ul style="list-style-type: none"> <li>• малки размери и тегло;</li> <li>• ниска себестойност;</li> <li>• бърз заряд</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• влошени изходни параметри на тока и напрежението;</li> <li>• ниска надеждност;</li> <li>• ниска изходна мощност;</li> </ul>
Мрежови	<ul style="list-style-type: none"> <li>• безтрансформаторна схема за присъединяване;</li> <li>• добри изходни показатели;</li> <li>• синусоидалност на тока и напрежението</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• липса на автономност;</li> <li>• необходимост от синхронизация с мрежата</li> <li>• висока себестойност.</li> </ul>
Хибриден	<ul style="list-style-type: none"> <li>• възможност за трифазно захранване</li> <li>• синусоидалност на тока и напрежението;</li> <li>• едновременна консумация на енергия от ВЕИ и акумулатора</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• висока себестойност;</li> </ul>

автономната система.

На фиг. 5 е показана принципната силова схема на монофазен хибриден инвертор, който е изследван.



**Фиг. 5** Силова схема на хибриден инвертор с високоволтов (300V) соларен стринг

Тя се състои от три двураменни “Н- мост”инвертора изпълнени със средномощни IGBT транзистора, два импулсни трансформатора, регулатор на напрежение изпълнен с два транзистора Q14 и Q15 , дросели и заряден кондензатор. Принципът на работа на схемата се определя от зададения алгоритъм на управление от потребителя, като именно той определя приоритети на работа на трите инвертора и регулатора в зависимост от нуждите и конкретната ФВС. Схемата се характеризира с наличието на заряден кондензатор на C2 от Фиг. 5 през който минава цялата енергия във всички посоки независимо от зададените приоритети.

### 3. Параметри на захранващата мрежа.

За нуждите на доклада бяха изследвани параметрите на захранващата мрежа на мястото на присъединяване на хибридни инвертор.

През няколко минути, на случаен принцип, преди измерванията бяха измерени ефективните стойности на

**Таблица 2**

напрежението на мрежата  $U_{rms}$ , общите нелинейни изкривявания THD%, както и трети хармоник в проценти и ефективна стойност на напрежението.

Резултатите от измерванията на параметрите на захранващата мрежа са показани в таблица 2.

Дата	Час	Vrms	THD	U <sub>THD</sub>	U <sub>h3</sub>	U <sub>rms 3</sub>
		V	%	V	%	V
03/07/2020	18:06:45	233.8	1.49	3.49	0.91	2.13
03/07/2020	18:07:57	233.9	1.48	3.47	0.97	2.27
03/07/2020	18:09:18	233.8	1.49	3.49	0.97	2.27
03/07/2020	18:11:50	233.9	1.49	3.48	0.95	2.22
03/07/2020	18:12:11	233.8	1.49	3.48	0.97	2.27
03/07/2020	18:13:22	233.7	1.52	3.55	0.95	2.22

### 4. Изследване на хибриден инвертор

Изследваният хибриден инвертор е с мощност 5kW присъединен към домакинство(еднофамилна къща) и е отчетена собствена консумация от мрежата в режим на празен ход пълна мощност 40VA, която е основният входен параметър.

В таблици 3 и 4 са направени измервания при активен товар 350W изходните параметри на напрежението при паралелна работа на инвертора с включен соларен панел и с изключен соларен панел . Аналогично са направени и измервания при произволен товар от около 750W като са отчетени активните и реактивни мощности от двата източника.

Таблица 3

Измервания на хиориден инвертор при включена мрежа активен товар 350W и изключен солар														
Date	Time	Vrms	UTHD	Uh1	Urms1	Uh3	Urms3	Uh5	Urms5	W	var	VA	VA MIN	PF
		V	V	%	V	%	V	%	V	W	var	VA	VA	
03/07/2020	15:27:05	229.1	3.53	100	221.0128	2.85	6.52935	1.3	2.9783	342.2	---	342.2	338	1
03/07/2020	15:27:06	225.8	3.58	100	217.7164	2.89	6.52562	1.3	2.9354	345.1	---	345.1	344	1
03/07/2020	15:27:08	226.2	3.46	100	218.3735	2.9	6.5598	1.3	2.9406	346.3	---	346.3	344	1
03/07/2020	15:27:18	223.4	6.11	100	209.7503	2.81	6.27754	1.3	2.9042	352.7	---	352.7	350	1
03/07/2020	15:27:19	227.1	3.44	100	219.2878	2.92	6.63132	1.3	2.9523	341.1	---	341.1	337	1
03/07/2020	15:27:20	227.1	3.47	100	219.2196	2.85	6.47235	1.3	2.9523	351	---	351	341	1
03/07/2020	15:27:22	227.4	3.44	100	219.5774	2.9	6.5946	1.3	2.9562	338.2	---	341.7	341	1
03/07/2020	15:27:23	230	3.51	100	221.927	2.84	6.532	1.3	2.99	361.4	---	348	334	1
03/07/2020	15:27:24	231.3	3.4	100	223.4358	2.82	6.52266	1.3	3.0069	339.1	---	339.1	335	1

Таблица 4

Измервания на хибриден инвертор при изключена мрежа активен товар 350W и включен солар														
Date	Time	Vrms	UTHD	Uh1	Urms	Uh3	Urms3	Uh5	Urms5	W	var	VA	VA MIN	PF
		V	V	%	V	%	V	%	V	W	var	VA	VA	
03/07/2020	15:28:05	228.6	1.62	100	224.8967	1.31	2.99466	0.26	0.59436	328.6	---	328.6	322	1
03/07/2020	15:28:06	228	1.99	100	223.4628	1.35	3.078	0.38	0.8664	338.8	---	338.8	334	1
03/07/2020	15:28:08	227.8	1.99	100	223.2668	1.32	3.00696	0.27	0.61506	342.6	---	342.6	333	1
03/07/2020	15:28:18	228	1.7	100	224.124	1.33	3.0324	0.3	0.684	344.8	---	344.8	343	1
03/07/2020	15:28:19	228.9	1.71	100	224.9858	1.3	2.9757	0.26	0.59514	330.2	---	330.2	319	1
03/07/2020	15:28:20	229	1.73	100	225.0383	1.32	3.0228	0.28	0.6412	348.3	---	348.3	347	1
03/07/2020	15:28:22	229.1	1.68	100	225.2511	1.33	3.04703	0.32	0.73312	348.2	---	348.2	348	1

Таблица 5

Измервания на хибриден инвертор при включена мрежа товар 750W и изключен солар															
Date	Time	W	W MIN	W MAX	var	var MIN	var MAX	VA	VA MIN	VA MAX	PF	PF MIN	PF MAX	DPF	
		W	W	W	var	var	var	VA	VA	VA					
26/07/2020	14:27:18	718.7	714	723	-181.4	-182	-180	774.5	771	777	0.92	0.92	0.93	0.96	
26/07/2020	14:27:20	553.8	391	716	-175.9	-175	-175	612.2	452	772	0.89	0.86	0.92	0.98	
26/07/2020	14:27:21	707.5	704	711	-170.7	-171	-170	763.4	759	767	0.92	0.92	0.92	0.97	
26/07/2020	14:27:22	709.5	707	711	-166.1	-168	-164	766	763	768	0.92	0.92	0.92	0.97	

Таблица 4

Измервания на хибриден инвертор при изключена мрежа товар 750W и включен солар															
Date	Time	W	W MIN	W MAX	var	var MIN	var MAX	VA	VA MIN	VA MAX	PF	PF MIN	PF MAX	DPF	
		W	W	W	var	var	var	VA	VA	VA					
26/07/2020	14:27:39	718.8	717	719	-162.1	-162	-161	775.3	773	776	0.92	0.92	0.92	0.97	
26/07/2020	14:27:40	717.4	716	718	-159.4	-159	-159	772.7	772	772	0.92	0.92	0.92	0.97	
26/07/2020	14:27:41	747	747	747	-166.8	-171	-162	790	776	803	0.92	0.92	0.92	0.97	
26/07/2020	14:27:42	723.2	718	728	-168.5	-170	-166	780.8	776	784	0.92	0.92	0.92	0.97	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мощността на инвертора се определя от пиковата мощност на конкретната фотоволтаична група. Тя трябва да бъде над 90% от пиковата мощност на панелите. Тоест, за 10 kWp група е препоръчително използването на инвертор с мощност 9 - 10 kW. Ако мощността на инвертора 10% по-малка от тази на панелите, добивът на енергия ще бъде намален, а експлоатационният му срок съкратен. Изключения се допускат в случаите, когато фотоволтаичната инсталация няма да достигне оптимална работа, поради неоптимално ориентация или наклон на панелите. При никакви обстоятелства обаче, максималният ток и напрежение на фотоволтаичните модули не трябва да превишават допустимите нива на входните напрежения и тока на инвертора, тъй като това ще го повреди. Когато инверторът е претоварен, той намалява своята мощност и не е в състояние да обработва пълната отработена мощност на фотоволтаичната група.

Също така е препоръчително диапазонът на напрежение, в който инверторът ще следи точката на максимална мощност на една фотоволтаична група, да съответства на работните напрежения на групата. Избраният инвертор трябва да е в състояние да издържа на максималните напрежение и ток на цялата група.

Изследванията показват, че в конкретния случай реактивната консумирана енергия е с преобладаващ капацитивен характер, което предвид факта, че измерванията са

многократни и в различен времеви интервал, може да се обобщи, че домакинствата изразходват основно реактивна енергия с капацитивен характер.

Изследваният хибриден инвертор показва по-добри изходни технически параметри, отколкото са тези на електроснабдителната мрежа и те са свързани с по-ниските стойности на нечетните хармоници и нелинейните изкривявания. Изходните енергетични параметри на инвертора са идентични с тези на захранващата мрежа, като те не се влияят от характера на товара.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Daychman R. A., "Recommendations for the selection of equipment combined (hybrid) autonomous systems alternative power" ORCID 0000-0001-8134-3483
- [2] <https://xpi.bg/solarni-invertori/mrezhovi-invertori-fronius/mrezhov-invertor-fronius-symo-6-0-3-M>
- [3] <https://xpi.bg/avtonomni-solarni-invertori-fsp>
- [4] <http://www.ed-energy.eu/node/187>

## **TESTING THE INPUT/OUTPUT PARAMETERS OF A HYBRID INVERTER**

**Lyubomir Sekulov, Martin Zlatkov**

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *Grid inverter, solar inverter, solar panels, hybrid inverter, photovoltaic panels, solar panels, string, string inverter, on-grid, off-grid, grid-tie, UPS, MPPT, tracker, full sine wave, modified sine wave, solar controller.*

**Summary:** *On a global scale, the development of the energy sector in the field of renewable energy sources (RES), and of photovoltaic systems in particular, moves on parallel tracks for both high-power and for the low-power photovoltaic systems (PVS), which are applicable to family lodgings and households. At present, Bulgaria's share of energy generation by low-power PVS is negligible as compared to that of the high-power PVS, which can be attributed to the technical features of the former, as well as to their affordability and the consumers' capacity to use them.*

*The developments of technology in the field of low-power invertors of electric energy over the recent years is driven by both their parameters and by market demand. Their easy integration and intuitive use are the key factors for user preference. The other quality indicators, which determine their electromagnetic capability, are the THD and the sinusoidalisation of PVS output current and voltage, which is required for the normal operation of electric meters, machinery and equipment. Developmental trends focus primarily on this and optimal circuit solutions are sought to match such applications.*

*Thereby, a hybrid electric energy inverter, which shares all the advantages of modern-day invertors, was experimentally tested on an operational PVS and its input/output characteristics were outlined.*

*A circuit solution is offered for the high-power section of the inverter undergoing the testing, and explanation is provided as to its advantages and drawbacks.*

*The report contains the main results of the experimental testing under various loads in real exploitation conditions.*