

ენერგეტიკა და ენერგეტიკული ტექნოლოგიები

განახლებადი ენერჯის წყაროების ერთობლივი მუშაობის  
შესაძლებლობები

**ზაზა პაპიძე**

zaza.papidze@atsu.edu.ge

**შორენა ფხაკაძე**

shorena.pkhakadze@atsu.edu.ge

**ლალი ზივზივაძე**

lali.zivzivadze@atsu.edu.ge

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
ქუთაისი, საქართველო

ნაშრომში განხილულია ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკული სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს სხვადასხვა ალტერნატიული ენერჯების წყაროებზე აგებული ელექტროსადგურების პარალელური მუშაობის შესაძლებლობებს. დამუშავებულია აღნიშნული ელექტროსისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემები. წარმოდგენილი ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკული სისტემა უნიფიცირებულია იმ თვალსაზრისით, რომ მას შეუძლია იმუშაოს როგორც ავტონომიურ რეჟიმში, ასევე ცვლადი დენის ქსელთან პარალელურად. ამის საშუალებას გვაძლევს გარდამქმნელებში გამოყენებული თანამედროვე ნახევარგამტარული ხელსაწყოები. ასეთი სისტემების გამოყენება და ფართოდ დანერგვა დადებითად აისახება, ჩვენი ქვეყნის უწყვეტ ელექტრომომარაგებაზე, ეკოლოგიასა და ეკონომიკაზე.

**საკვანძო სიტყვები:** ენერგეტიკა, გარდამქმნელი, ტრანზისტორი, ძაბვა, სიმძლავრე.

**შესავალი.** ალტერნატიული ენერჯის წყაროები განახლებადი ენერგეტიკული რესურსებია, რომელსაც ვღებულობთ ჰიდროენერჯის, მზის და ქარის ენერჯის, გეოთერმული, ზღვის ტალღების, და ბიომასის ენერჯის საშუალებით. ენერჯის ეს წყაროები არ იწურება, ამიტომაც უწოდებენ მათ განახლებად ენერჯებს. „მწვანე ენერჯის“ ირჩევენ ქვეყნები, ქალაქები, კომპანიები და მოქალაქეები. ზოგიერთი მათგანი, მაგალითად მზისა და ქარის ენერჯია კატეგორიიდან „ალტერნატიული“ ნელ-ნელა გადადის კატეგორიაში – „ძირითადი“.

მზე არის დედამიწაზე ძირითადი ენერჯის წყარო. მას იმდენი ენერ-

გია შემოაქვს, რომ ბევრად აღემატება დედამიწის მოსახლეობის მთლიან მოთხოვნებს. ფოტოელექტრული მოდულები გარდაქმნიან მზის სინათლის ენერგიას ელექტრულ ენერგიად. სილიციუმის კრისტალზე აგებული  $p-n$  გადასასვლელების მეშვეობით. ერთი ფოტოელემენტის ნომინალური ძაბვა 0,6 ვოლტია. ისინი მიმდევრობითაა შეერთებული სასურველი ძაბვის მისაღებად. ამიტომაც უწოდებთ მათ ფოტოელექტრულ ბატარეებს (Tayel ... 2022). ფოტოელექტრული მოდულები შეიძლება სამ ჯგუფად დაიყოს:

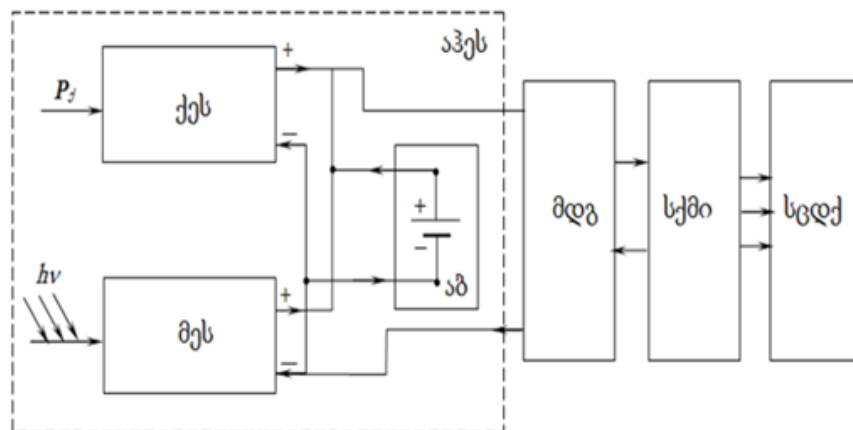
- ✓ მონოკრისტალური მოდულები;
- ✓ პოლიკრისტალური მოდულები;
- ✓ თხელაფსკოვანი მოდულები.

მათ სხვადასხვა ეფექტურობა, ექსპლუატაციის დრო და ფასი აქვთ. გარდაქმნიან როგორც ხილულ, ისე ინფრაწითელ სხივებს. მაქსიმალური ეფექტურობის მისაღწევად საჭიროა, მოდულები დაიხაროს ჰორიზონტიდან განსაზღვრული კუთხით. რაც უფრო შორს ვართ ეკვატორიდან, ეს კუთხე მით უფრო მეტია.

ქარის ენერგიას ჩვენი წინაპრები უხსოვარი დროიდან იყენებდნენ. დღეს ქარენერგეტიკა ერთ-ერთი სწრაფად განვითარებადი სფეროა ენერგეტიკაში.

თანამედროვე ქარგენერატორები გარდაქმნიან ქარის კინეტიკურ ენერგიას როტორის ბრუნვის კინეტიკურ ენერგიად, შემდეგ კი ის ელექტროენერგიად გარდაიქმნება (Solbrekke, Sorteberg 2022).

**ძირითადი ტექსტი.** განახლებადი ენერგიების გამოყენება ენერგეტიკაში არის ელექტრომომარაგების საიმედოობის, ეკონომიურობის და ეკოლოგიურობის საწინდარი. ამასთან, მათი გამოყენება შეიძლება ენერგიის წყაროების პარალელური მუშაობის პირობებში. ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური თვალსაზრისით, სასარგებლო იქნება ისეთი ჰიბრიდული ენერგეტიკული სისტემის აგება, რომელიც პარალელურად გამოიყენებს როგორც ჰიდრო, ასევე მზის და ქარის ენერგიას (Yongbao Chen, Junjie Xu 2022).



ნახ. 1. ჰიბრიდული პარალელური ენერგეტიკული სისტემის სტრუქტურული სქემა.

1-ელ ნახაზზე გამოსახულია ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკული სისტემის სტრუქტურული სქემა. მისი შემადგენელი კვანძებია:

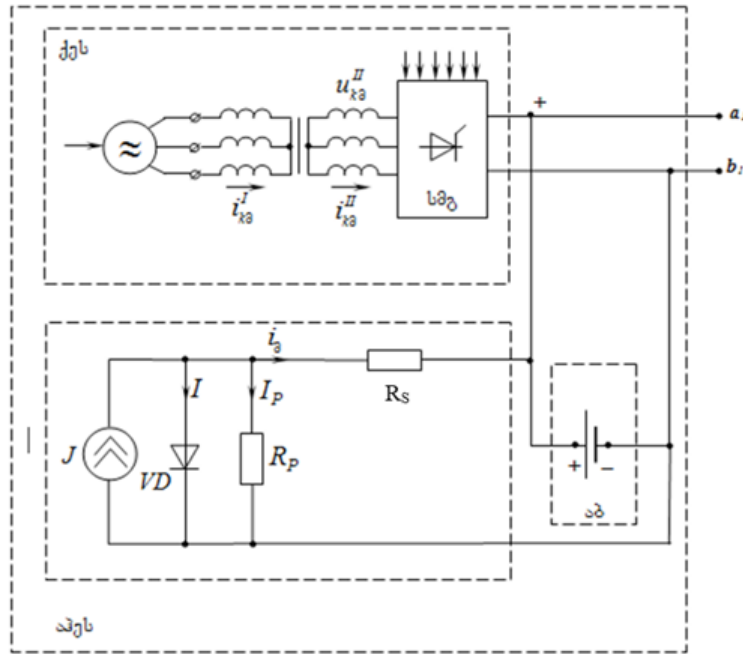
1) ქარის ელექტროსადგური (ქეს); 2) მზის ფოტოელექტრული სადგური (მეს); 3) აკუმულიატორთა ბატარეის მოდული (აბ); 4) მუდმივი დენის გარდამქმნელი (მდგ); 5) ქსელის მიმყოლი ინვერტორი.

ჰიბრიდული კომპლექსი უკავშირდება ცვლადი დენის ქსელს (სცდქ). ხოლო მზის ელექტროსადგური (მეს), ქარის ელექტროსადგური (ქეს) და ელექტროენერჯის დამაგროვებელი აკუმულიატორები, ერთობლივად წარმოადგენს ჰიბრიდულ ელექტროენერგეტიკულ სისტემას (აპეს).

წარმოდგენილი სისტემა მუშაობს ორ რეჟიმში:

ა) რეჟიმი, როცა მომხმარებლის სიმძლავრე აღემატება აპეს-ის სიმძლავრეს, არასაკმარისი სიმძლავრე კომპენსირდება ცვლადი დენის წყაროდან. ამ შემთხვევაში აუცილებელია, რომ აპეს მუშაობდეს მაქსიმალური სიმძლავრის რეჟიმში.

ბ) რეჟიმი, როცა დატვირთვის სიმძლავრე ნაკლებია აპეს-ს სიმძლავრეზე. ამ შემთხვევაში „ზედმეტი“ სიმძლავრე გადაეცემა ცვლადი დენის ქსელს (Patel 2021).



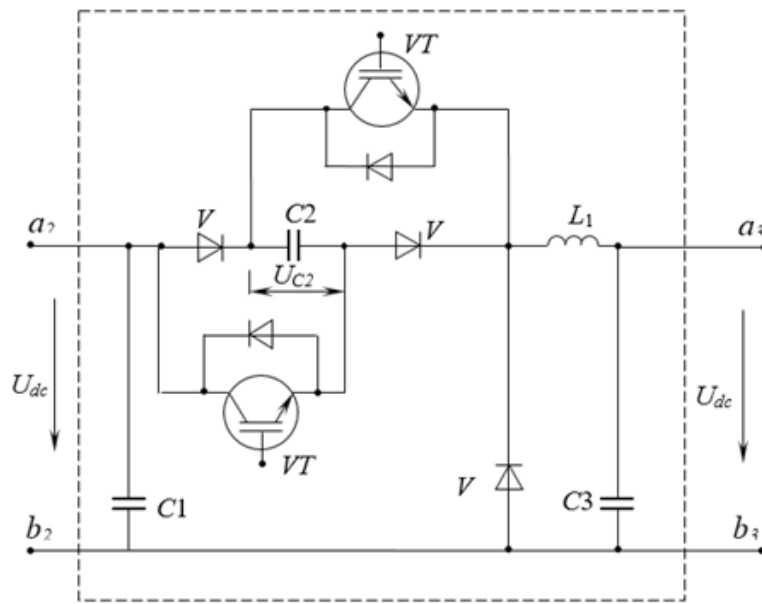
ნახ. 2. ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგეტიკული სისტემის პრინციპული ელექტრული სქემა.

მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია ჰიბრიდული ენერგეტიკული სისტემის პრინციპული ელექტრული სქემა: მზის მოდულის ჩანაცვლების ელექტრულ სქემაში კარგად ჩანს, რომ მზის მოდულში გამავალი სრული დენი  $i$ -არის გენერაციული  $j$ , დიფუზიური  $I$  და მაშუნტირებელი  $i_p$  დენის ძალების ჯამი (Tayel ... 2022, ფხაკაძე, პაპიძე 2018).

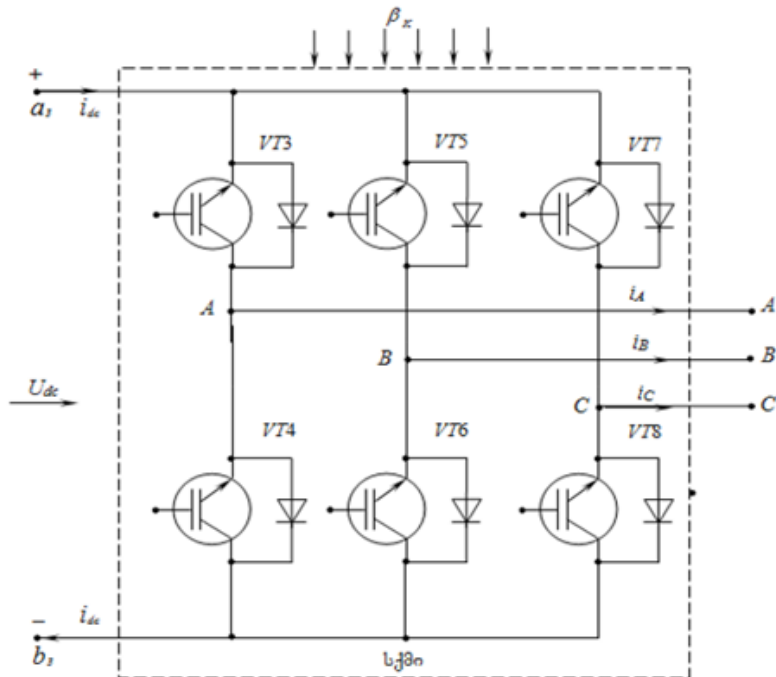
$$\vec{i} = \vec{j} + \vec{i}_p$$

ქარის ელექტროსადგური (ქეს) შედგება: სამფაზა ასინქრონული გენერატორისაგან, სამფაზა ტრანსფორმატორისაგან და სამფაზა მართვადი ტირისტორული გამმართველისაგან.

მე-3 ნახაზზე მოცემულია მუდმივი დენის გარდამქმნელის პრინციპული ელექტრული სქემა. მისი შემადგენელი ელემენტებია  $VT1$  და  $VT2$  ტრანზისტორები;  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD3$  დიოდები;  $C1, C2, C3$  კონდენსატორები და  $L1$  დროსელი. ეს მოწყობილობა, ფაქტობრივად, არის ჰიბრიდულ ენერგეტიკულ სისტემასა და ცვლადი დენის მიმყოფ ინვერტორს შორის შემათანხმებელი მოწყობილობა. მის გამოსასვლელზე გვაქვს  $U_{dc}$  - ძაბვა და  $i_{dc}$  - დენის ძალა. ეს ძაბვა და დენი წარმოადგენს ქსელის მიმყოფი ინვერტორის შესასვლელზე მოქმედ სიდიდეებს.



ნახ. 3. მულტივი დენის გარდამქმნელი.



ნახ. 4. სამფაზა ქსელის მიმყოლი ინვერტორის ელექტროპრინციპული სქემა.

მე-4 ნახაზზე წარმოდგენილია ინვერტორი, ის არის ქსელის მიმყოლი ინვერტორი ე.ი. გამოსასვლელზე ძაბვის სიდიდე, სიხშირე და სიგნალის ფორმა ფორმირდება გარე ქსელისაგან. მან ქსელს უნდა გადასცეს განსაზღვრული აქტიური სიმძლავრე.

ინვერტორი შედგება ბოგირული სქემით ჩართული  $VT3$ - $VT8$  ტრანზისტორებისაგან. ექვსივე ტრანზისტორის პარალელურად ჩართულია მაშუნტირებელი დიოდები. მოწყობილობის გამოსასვლელზე გვაქვს ცვლადი დენის ქსელის მიმართ თავსებადი  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  დენის ძალები და  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  ძაბვები.

**დასკვნა.** ჩვენ მიერ შემუშავებული ჰიბრიდული ელექტრული ენერგეტიკული სისტემა მუშაობს როგორც ქარის, ასევე – მზის ენერჯიაზე. წარმოდგენილია სისტემის სტრუქტურული და პრინციპული სქემები. თანამედროვე ნახევარგამტარულ ტრანზისტორებზე აგებულია მუდმივი დენის გარდამქმნელი და ქსელის მიმყოლი ინვერტორი. სისტემა განკუთვნილია ქარის ელექტროსადგურის, მზის ელექტროსადგურის, აკუმლატორთა ბატარეების და ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი პარალელური მუშაობისათვის, რაც უზრუნველყოფს ელექტრომომარაგების მდგრადობას ალტერნატიული ენერჯიების გამოყენების საფუძველზე.

## ლიტერატურა

- ფხაკაძე, შ. პაკიძე, ზ. 2018. “მიმდევრობით ჩართული მზის ელემენტების მასივების მუშაობის ეფექტურობის გაზრდის მეთოდები”. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. *ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერტსპექტივები*. აწსუ, ქუთაისი, 2018: 103-106.
- Patel, Mukund R. 2021. *Wind and Solar Power Systems, Design, Analysis, and Operation*, Second Edition. U.S. Merchant Marine Academy Kings Point, New York, U.S.A.
- Solbrekke, Ida Marie, Sorteberg, Asgeir. 2022. „,NORA3-WP: A high-resolution offshore wind power dataset for the Baltic, North, Norwegian, and Barents Seas”. June, 2022. <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01451-x>
- Tayel, Samir Ahmed; Ashour Eid Abu El-Maaty; Eman Mohamed Mostafa; Youssef Fayeze Elsaadawi. 2022. „Enhance the performance of photovoltaic solar panels by a self-cleaning and hydrophobic nanocoating”. 08 December, 2022.

<https://www.nature.com/articles/s41598-022-25667-4#article-info>

Yongbao Chen, Junjie Xu. 2022. „Solar and wind power data from the Chinese State Grid Renewable Energy Generation Forecasting Competition”. 21 September, 2022. <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01696-6>

## Energy and Energy technologies

### The Possibilities of Joint Operation of Renewable Energy Sources

**Zaza Papidze**

zaza.papidze@atsu.edu.ge

**Shorena Pkhakadze**

shorena.pkhakadze@atsu.edu.ge

**Lali Zivzivadze**

lali.zivzivadze@atsu.edu.ge

Akaki Tsereteli State University

Kutaisi, Georgia

*The paper discusses the hybrid energy system, which provides the possibilities of parallel operation of power plants built on different alternative energy sources. The generalized structural and principle electrical circuits of the energy system have been developed. The presented hybrid energy system is unified in the sense that it can operate both in autonomous and parallel modes with the alternating current network. The modern semiconductor devices used in converters allow us to do this. The use and widespread implementation of such systems will have a positive impact on the uninterrupted power supply, environment and the economy of our country.*

**Keywords:** energy; converter; transistor's voltage.

**Introduction.** Alternative energy sources are renewable energy resources that we obtain from hydropower, solar and wind power, geothermal energy, ocean waves, and biomass. These sources of energy are not depleted, that is why they are called renewable energies. “Green energy” is chosen by countries, cities, companies and citizens. Some of them - for example, solar and wind energy are gradually moving from the “alternative” category to the “main” category.

The Sun is a major source of energy on the Earth. It brings in so much energy that it exceeds the total demands of the Earth's population. Photoelectric modules

convert sunlight energy into electrical energy, by means of the “*p-n*” junctions built on silicon crystal. The nominal voltage of one photocell is 0.6 volts. They are connected in series to obtain the desired voltage. That’s why they are called photovoltaic batteries. [1] The photoelectric modules can be divided into three groups:

- ✓ monocrystalline;
- ✓ polycrystalline;
- ✓ thin-film modules.

They have different efficiency, operating time and price. They convert both visible and infrared rays. To achieve maximum efficiency, the modules need to be tilted at a certain angle from the horizon. The farther we are from the equator, the greater this angle is.

Wind energy has been used by our ancestors since time immemorial. Today, wind energy is one of the fastest developing areas of energy.

The modern wind turbines convert the kinetic energy of the wind into the kinetic energy of the rotation of the rotor, which is then converted into electricity. [3]

**Basic part.** The use of renewable energies in energy sector is a prerequisite for the reliability, efficiency and environmental friendliness of energy supply. Moreover, they can be used in conditions of parallel operation of energy sources. From the energy, environmental and economic perspectives, it will be useful to build such a hybrid energy system that will simultaneously use hydro, solar and wind energies.

Figure 1 illustrates the structural diagram of the hybrid energy system. Its component nodes are as follows:

- 1) Wind power plant (WPP);
- 2) Solar photovoltaic power plant (SPPP);
- 3) Rechargeable batteries module (RBM);
- 4) DC converter (DCC);
- 5) Network guide inverter (NGI).

The hybrid complex is connected to the alternating-current network (ACN), while the solar power plant (SPP), wind power plant (WPP) and the accumulators for storing electricity together represent the hybrid energy system (HES).



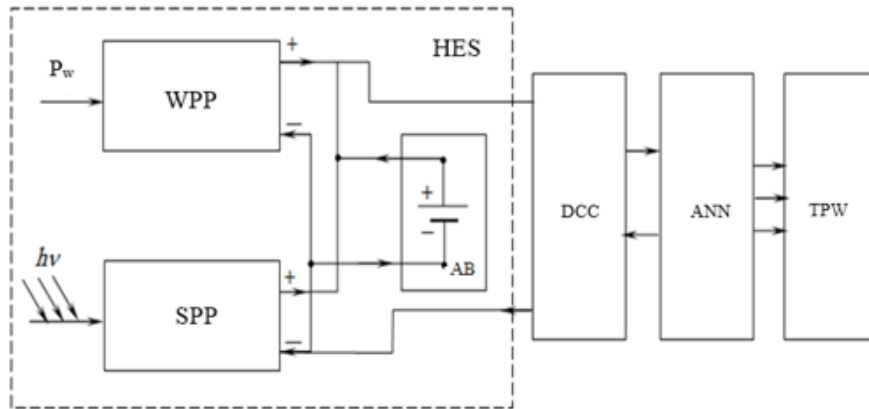


Fig. 1. The structural diagram of the hybrid energy system.

The presented system operates in two modes:

a) mode, when the power of the user exceeds the power of the HES, the insufficient power is compensated from the AC power source. In this case, it is necessary for HEPS to operate in the mode of maximum power.

b) the mode when the load power is less than the power of the HES. In this case, the “excess” power is transferred to the alternating current network.

Figure 2 illustrates the principle electrical scheme of the hybrid energy system:

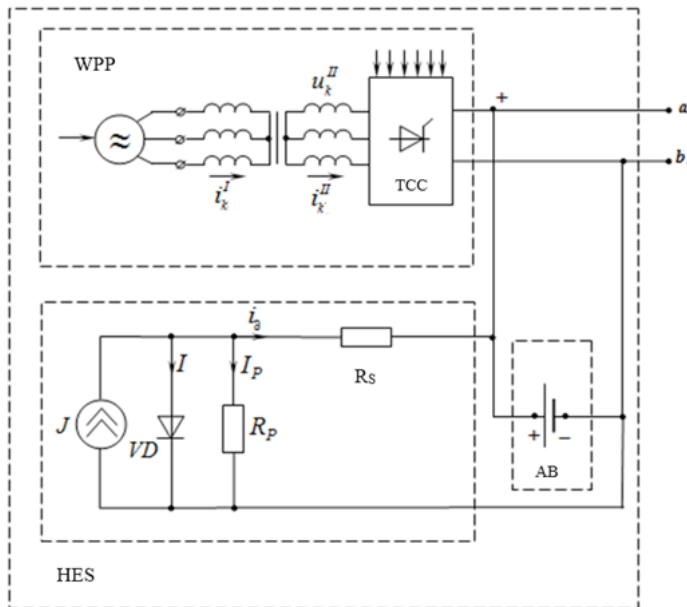


Fig. 2. The principle electrical scheme of the autonomous hybrid energy system.

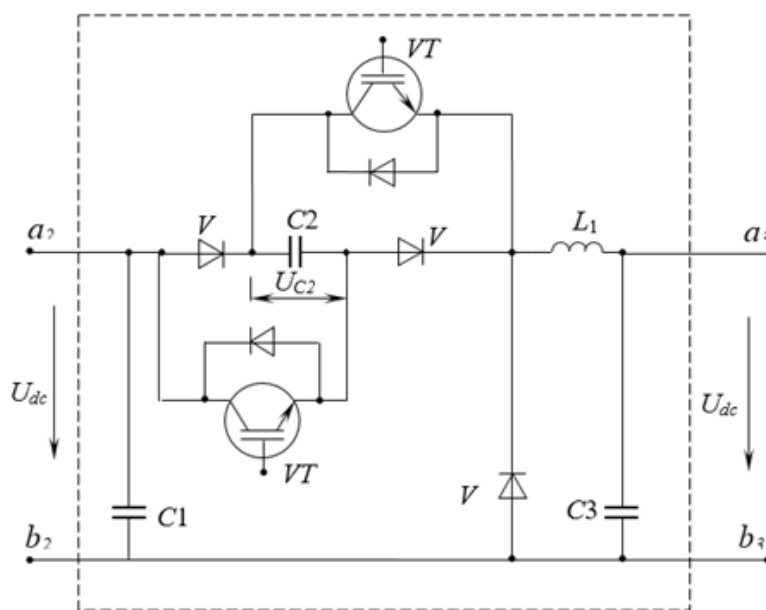


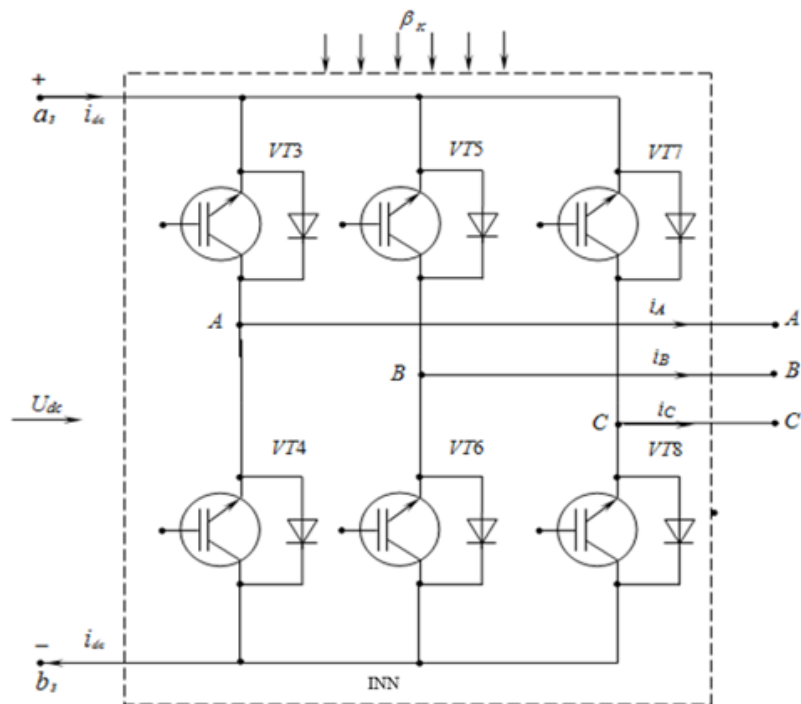
Fig. 3. DC converter.

In the electrical scheme of the replacement of the solar module, it can be clearly seen that the total current  $i$  passing through the solar module is the sum of the forces of the generation  $j$ , diffusion  $I$  and shunting  $i_p$  currents.

$$\vec{i} = \vec{j} + \vec{i}_p$$

The wind power plant (WPP) consists of: three-phase asynchronous generator, three-phase transformer and three-phase controllable thyristor controller.

Figure 3 illustrates the principle electrical scheme of the DC converter. Its constituent elements are the  $VT1$  and  $VT2$  transistors;  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD3$  diodes;  $C1, C2, C3$  capacitors and  $L1$  choke. This device is actually a compromise between a hybrid power system and the AC inverter. At its outlet, we have  $U_{dc}$  -voltage and  $i_{dc}$  – current force. The voltage and current are the quantities acting on the inlet of the network guide inverter.



**Fig.4. Three phase network guide inverter.**

Figure 4 illustrates the inverter, which is a network guide inverter, that is, the output voltage, frequency and signal form are formed from the external network. It must deliver the specified active power to the network.

The inverter comprises  $VT3 \div VT8$  transistors connected in a bridge circuit, shunting diodes are connected in parallel with all six transistors. At the outlet of the device we have the current forces  $i_A, i_B, i_C$  and voltages  $U_A, U_B, U_C$  that are compatible with the alternating current network.

**Conclusion.** The hybrid energy system that we developed runs on both wind and solar energies. The structural and schematic diagrams of system are presented. The DC converter and the tracking inverter have been constructed. The system ensures the joint parallel operation of the wind power plant, solar power plant, storage batteries and alternating current network, which ensures the sustainability of the electricity supply based on the use of alternative energies.