

2023

**ЕҢБЕКТЕР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**COLLECTION OF WORKS**

**V ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК  
online КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Энергия және ресурстар үнемдеу технологиялары:  
тәжірибелер және келешегі»**

**V МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ online КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Энерго- и ресурсосберегающие технологии: опыты и  
перспективы»**

**V INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC AND PRACTICAL online CONFERENCE  
«Energy- and resource saving technologies: experience and  
prospects»**

КУ имени Коркыт Ата, Кызылорда



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE  
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**ҚОРҚЫТ АТА АТЫНДАҒЫ ҚЫЗЫЛОРДА УНИВЕРСИТЕТІ  
КЫЗЫЛОРДИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ КОРКЫТ АТА  
KORKYT ATA KYZYLORDA UNIVERSITY**



**«Энергия және ресурстар үнемдеу технологиялары: тәжірибелер  
және келешегі»**

**V ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИЕЛІК  
online КОНФЕРЕНЦИЯМАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ V МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
online КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Энерго- и ресурсосберегающие технологии: опыты и перспективы»**

**MATERIALS OF THE V INTERNATIONAL SCIENTIFIC PRACTICAL  
online CONFERENCE**

**«Energy and Resource Saving Technologies: Experiences and Prospects»**

Кызылорда - 2023

## ВОПРОСЫ ИНТЕГРАЦИИ УСТАНОВОК ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛЕННУЮ СЕТЬ

**А. И. Анарбоев, Г. Х. Хасанов, Х.Н. Мамадиев, Ф.И. Авлиёкулов**

*кандидат технических наук, доцент Электроснабжение и возобновляемые источники энергии НИУ “ТИИИМСХ” Ташкент. Узбекистан*

*ассистенты кафедры Электроснабжение и возобновляемые источники энергии НИУ “ТИИИМСХ” Ташкент. Узбекистан*

*студент кафедры Электроснабжение и возобновляемые источники энергии НИУ “ТИИИМСХ” Ташкент. Узбекистан*

**Аннотация:** В данной работе разрабатывается имитационная модель для оценки и решения проблем качества электроэнергии на электростанциях, которые могут работать на основе низковольтных возобновляемых источников энергии, которые могут быть интегрированы в централизованную энергосистему, и анализируются показатели и делаются выводы.

**Ключевые слова:** Общее гармоническое искажение (THD), микрогенераторы, гармоники, имитационная модель, интеграция, фотоэлектрическая система частота.

**Аннотация:** Бұл жұмыста орталықтандырылған электр жүйесіне біріктіруге болатын төмен вольтты жаңартылатын энергия көздері негізінде жұмыс істей алатын электр станцияларындағы қуат сапасы мәселелерін бағалау және шешу үшін симуляциялық модель әзірленіп, көрсеткіштерді талдап, қорытындылар жасайды.

**Негізгі сөздер:** Толық гармоникалық бұрмалану (THD), микрогенераторлар, гармоника, модельдеу моделі, интеграция, фотоэлектрлік жүйе жиілігі.

**Annotation:** In this paper, a simulation model is developed to assess and solve power quality problems in power plants that can operate on the basis of low-voltage renewable energy sources that can be integrated into a centralized power system, and analyze the indicators and draw conclusions.

**Key words:** THD, micro generators, harmonics, simulation model, integration, photovoltaic system frequency

### **Анализ проблемы**

Широкое использование возобновляемых и децентрализованных источников энергии в распределенной энергетике рядом с потребителями – источниками небольшой мощности, т.н. микрогенерация создает проблему качества электроэнергии, увеличивая общие гармонические искажения и создавая чувствительность к промежуткам отсутствия генерации от ВИЭ, появлению высших гармоник напряжения, увеличивая дисбалансы в форме кривой электрических параметров и уменьшая коэффициент мощности в сетях низкого напряжения.

Основываясь на этих актуальных задачах, основной целью работы является создать имитационную модель низковольтной сети для оценки показателей качества электроэнергии, при подключении силовой электроники, чтобы получить более реальное представление о наиболее значительных нагрузках на низковольтную сеть электроснабжения.

Смоделированные микро генераторы на основе возобновляемых источников энергии управляются через инверторы напряжения, чтобы обеспечивать: а) коэффициент мощности, близкий к единице

(обычная распределенная генерация  $\mu G$ ); б) локальную компенсацию реактивной мощности и гармоник (активная  $\mu G$ ).

В большинстве установок HVAC (Heating/отопление, Ventilating/вентиляция и Air Conditioning/кондиционирование воздуха) преобразователь частоты делит питание переменного тока с чувствительным электронным оборудованием, таким как компьютеры, телекоммуникационные сети, освещение и генераторов тактовых импульсов. Когда система HVAC применяется в аэропорту, больнице или в исследовательском центре, количество чувствительного оборудования значительно увеличивается. Возможной проблемой в таком окружении могут быть гармонические искажения в линии питания переменного тока, генерируемые регулируемым преобразователем частоты и другим электрическим оборудованием. Для описания этих процессов используется суммарный коэффициент гармонических искажений THD (Total Harmonic Distortion). Выражаясь в процентном отношении, это простое число рассчитывается как квадратный корень суммы квадратов относительного значения каждой отдельной гармоники.

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{H_n}{H_1}\right)^2} \cdot 100\% \quad (1)$$

## 2.2. Модель низковольтной сети

Модель низковольтной сети на основе силовой электроники получена с использованием SimPowerSystems Toolbox из Matlab / Simulink. Эти модели включают трансформатор среднего/низкого напряжения (СН/НН), распределительные линии, наиболее важные электрические нагрузки и микрогенераторы на основе ВИЭ, подключенные к сети.

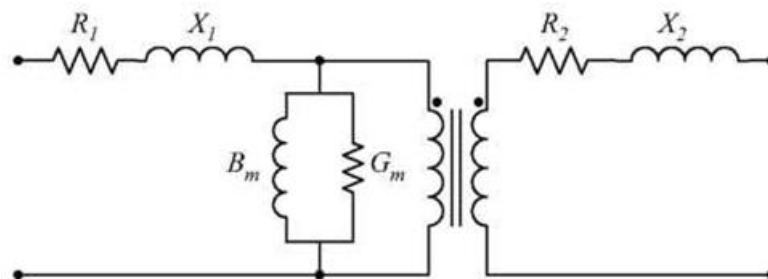


Рис. 1. Эквивалентная однофазная модель распределительного трансформатора.

При техническом испытании без нагрузки, приложив номинальное напряжение  $U_n$  ко вторичной обмотке трансформатора и оставив первичную обмотку открытой, можно получить ток намагничивания трансформатора  $I_m$ . Поскольку полное сопротивление при последовательном соединении электрической цепи намного ниже, чем полное сопротивление намагничивания, предполагается, что потери в стали почти равны потерям холостого хода  $P_0$ . Затем, исходя из номинального напряжения  $U_n$ , тока намагничивания  $I_m$  и потерь  $P_0$ , можно определить реактивное сопротивление и сопротивление намагничивания трансформатора. Намагничивающая проводимость определяется

$$G_m = \frac{P_0}{U_n^2} \quad (2)$$

Сопротивление намагничивания  $R_m$  получается из намагничивающей проводимости  $G_m$ .

$$R_m = \frac{1}{G_m} \quad (3)$$

По значениям намагничивающего тока  $I_m$  и намагничивающей проводимости  $G_m$

можно определить магнитную индукцию  $B_m$ :

$$B_m = \sqrt{\left(\frac{I_m}{U_n}\right)^2 - G_m^2} \quad (4)$$

Реактивное сопротивление  $X_m$  определяется выражением:

$$X_m = \frac{1}{B_m} \quad (5)$$

### Линейные нагрузки

Линейные нагрузки представлены в виде простых сопротивлений ( $R$ ) и индуктивностей ( $L$ ). Резистивные нагрузки могут использоваться для моделирования систем освещения при их питании от фотоэлектрических и ветровых станций или электронагревателей.

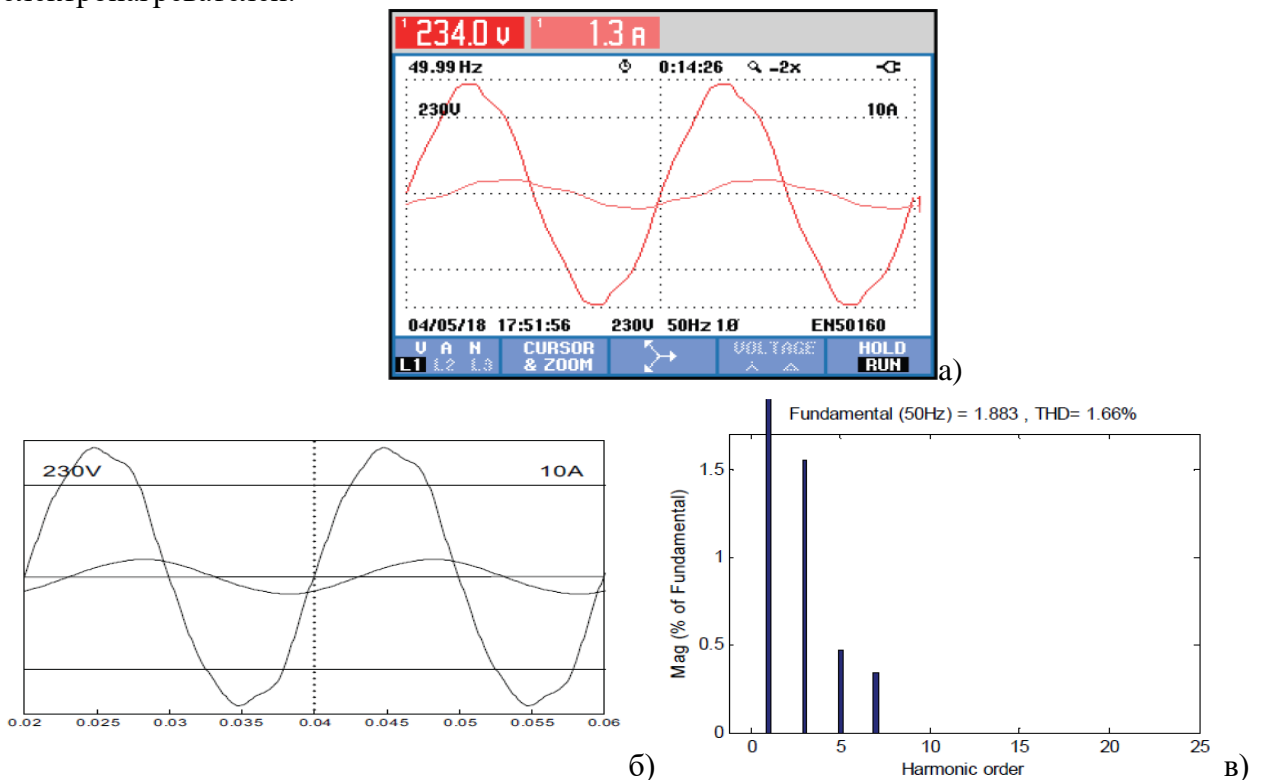


Рис. 2. Форма кривой напряжения и тока в сети, полученные для холодильника: а) Измерено с помощью Fluke 435, доля высших гармоник  $THD_i = 10,8\%$  и коэффициент мощности =  $0,57$ ; б) Получено на имитационной модели с учетом  $THD_v = 5\%$ ; в) Моделируемые гармоники тока,  $THD_i = 1,66\%$  и коэффициент мощности =  $0,57$ .

### Нелинейные нагрузки

Предполагается, что нелинейные нагрузки в основном представлены диодными выпрямителями и разделены на три группы по мощности.

Первая группа включает маломощное электронное оборудование, такое как телевизоры, DVD-плееры или компьютеры.

Обычно эти электронные устройства имеют изолированные источники постоянного тока, подключенные к сети через однофазные выпрямители, и их можно смоделировать как преобразователь первой ступени: однофазный выпрямитель, питающий нагрузку постоянного тока  $R_0/C_0$  (рис.3.) [7].

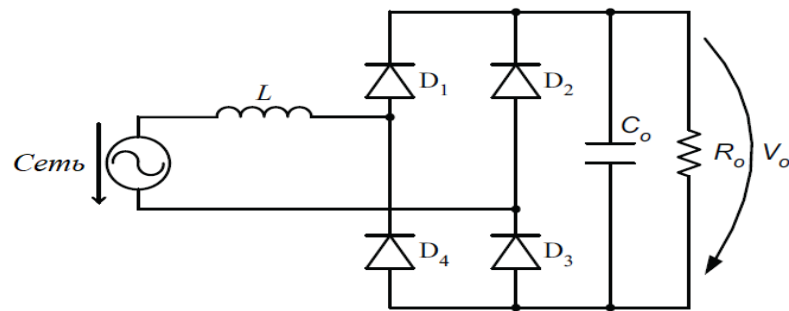


Рис. 3. Модель однофазного выпрямителя для электронных устройств

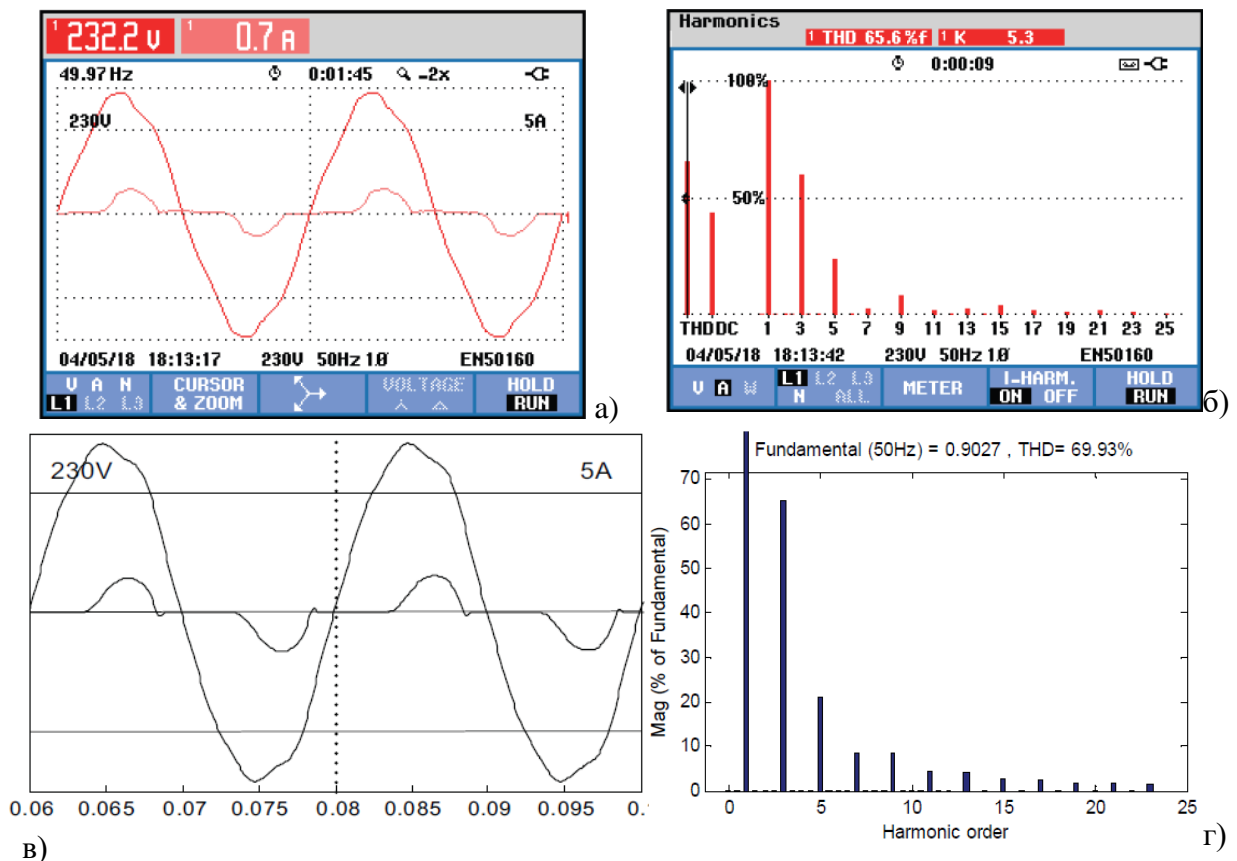


Рис. 4. Форма напряжения и тока в сети, полученная для телевизора;

а) б) Измерено с помощью Fluke 435,  $THD_i = 65,6\%$  и коэффициент мощности =  $0,75$ ; в) Получено с помощью имитационной модели с учетом  $THD_v$  напряжения =  $5\%$ ; г) Смоделированные гармоники тока,  $THD_i = 69,9\%$  и коэффициент мощности =  $0,76$ .

#### Выводы

Модель генерации в распределенной сети моделируется на основе преобразователя последней ступени, однофазного инвертора, в то время как её активная модель генерации в распределенной сети также включает в себя компенсацию гармоник высокого порядка для работы в качестве фильтра активной мощности.

Используя предложенные алгоритмы, разработана модель небольшой сети низкого напряжения с шестью группами нагрузок для оценки влияния обычных сетей распределенной генерации и активных адаптивно управляемых сетей на качество электроэнергии для сценария без нагрузки и при полной нагрузке.

### ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Durga Prasad | M. Rupesh | Dr. Neelashetty K: “Solar Photovoltaic (PV) Grid Integration Issues”. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. Vol. 2 07 July 2016, pp. 91-96
2. Kolhe, M: Techno-Economic Optimum Sizing of Stand Alone Solar Photovoltaic System. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol.24, No.2, (June 2009), pp. 511-519
3. Ciric, R. M.; Ochoa, L. F.; Padilla-Feltrin, A.; Nouri, H: ***Fault Analysis in Four Wire Distribution Networks***; IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 152, No 6, November 2005.
4. Ciric, R. M.; Padilla-Feltrin, A.; Ochoa, L. F.; ***Power Flow in Four-Wire Distribution Networks - General Approach***; IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No 4, November 2003.
5. Jensen, M. H.; Bak-Jensen, B.; ***Series Impedance of the Four-Wire Distribution Cable with Sector Shaped Conductors***, Proc. of PPT 2001, IEEE Porto Power Tech Conference, Porto, Portugal, September 2001. ***EN 50160, Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Networks, European Standard EN 50160, 2001.***
6. Jensen, M. H.; Bak-Jensen, B.; ***Shunt Admittance of the Four-Wire Distribution Cable with Sector-Shaped Conductors***, Proc. of AUPEC 2001, Australasian University Power Engineering Conference, Perth, Australia, September 2001.
7. ***EN 50438, Requirements for the Connection of Micro-Generators in Parallel with Public Low Voltage Distribution Networks, European Standard EN 50438, 2007.***
8. Mohan, N.; Undeland, T.; Robbins, W.; ***Power Electronics: Converters, Applications and Design***, 2<sup>nd</sup> Edition, 1995, John Wiley and Sons, ISBN 0-471-58408-8, USA.
9. Pogaku, N.; Prodanovik, M.; Green, T.; Modeling, ***Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter Based Microgrid***, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 22, No 2, March 2007.